

運輸省港湾技術研究所

= 2-2 コレクション

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

資料係
文献複写
禁持出

VOL. 10

10

NO. 3

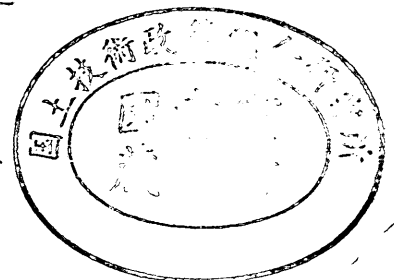
3

SEPT. 1971

MAR.

1971

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。
報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第10巻 第3号 (Vol. 10, No. 3), 1971年9月 (Sept. 1971)

目 次 (CONTENTS)

1. 来島海峡潮流模型実験 (第1報)
..... 木村久雄・宮原英治・須藤 茂
柴山煒彦・浜田徳一..... 3
(A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait (1st Report)
..... Hisao KIMURA, Hideharu MIYAHARA, Shigeru SUDO, Akihiko
SHIBAYAMA and Tokuichi HAMADA)
2. クイの負の周面摩擦についての近似計算法..... 沢口正俊..... 67
(Approximate Calculation of Negative Skin Friction of a Pile
..... Masatoshi SAWAGUCHI)
3. 砂質土の現場 CBR と室内 CBR の関係
..... 須田 澁・佐藤勝久・吉田富雄..... 89
(The Relations between Field and Laboratory CBR Values of Sandy Soils
..... Hiroshi SUDA, Katsuhisa SATO and Tomio YOSHIDA)
4. 砂杭を打設した粘性土地盤の挙動
——衣浦港における実験について——..... 木庭宏美・堀江宏保.....135
(Behavior of Cohesive Soil Stratum with Driven Sand Piles
—On the field tests at Port of KINUURA—
..... Hiromi KOBAYASHI and Hiroyasu HORIE)
5. コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察
..... 奥山育英・中井典倫子・久保重美.....159
(Study on Determination of Container Yard Requirements and Container Handling
System..... Yasuhide OKUYAMA, Noriko NAKAI and Shigemi KUBO)
6. 浚渫土質と掘削機構に関する研究 (第1報) 岩田尚生.....237
(Study on the Soil to be Dredged and the Mechanism of an Excavation (The first
report) Hisao IWATA)
7. 超音波斜入射が測深精度と反響記録特性に及ぼす影響について
..... 木原純孝・奥出 律.....265
(Study on Echo-Sounder—Effect of Oblique-Incident Ultrasonic wave on Echo-
Sounding precision and Echo-Recording Characteristics—
..... Sumitaka KIHARA and Tadasu OKUDE)

5. コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

奥山育英*・中井典倫子**・久保重美**

要 旨

コンテナ・ターミナルの規模はコンテナ埠頭の荷役方式が定まれば、ターミナルに貯留されるコンテナ数によって決定される。本論文では、まず貯留コンテナ数を決定する要因を考察し、それらがコンテナ船の運航特性、取り扱いコンテナ数、揚げ積みの方法およびコンテナ・ターミナルのコンテナ搬出入特性等であることを明らかにした。ついで、それらの要因を決定すれば、貯留コンテナ数が求められるようなシミュレーション・プログラムを作成し、数ケースについて計算を実施した。

いっぽう、コンテナ・ターミナル内の荷役機器の特性と能力を観測データから求め、これを用いて各荷役機器の能力と台数を与えたときの稼働状況や遊休状況がわかるような図表を、各荷役方式ごとに、待ち合わせ理論を用いて作成した。

* 設計基準部 数理計画主任研究官

** 設計基準部 システム研究室

5. Study on Determination of Container Yard Requirements and Container Handling System in Container Terminal

Yasuhide OKUYAMA*

Noriko NAKAI**

Shigemi KUBO**

Synopsis

The number of containers on the container yard determines the required size of the container terminal according to the container handling system in it. Factors affecting the number of containers were found. They are the number of vessels, the schedule of them, the number of loading and unloading containers of each vessel, the number of containers to be received from, and delivered to the street, and so on. By simulating the flow of containers to and from the terminal, the number of containers in the terminal are obtained.

By analyzing data observed at container yards, the characteristics of container cranes, chassis, straddle carriers, and transtainers are shown. Queueing tables of each container handling system are also made by the aid of the queueing theory.

* Senior Research Engineer, Design Standard Division

** Systems Laboratory, Design Standard Division

目 次

ま え が き	163
1. コンテナ・ターミナルにおけるコンテナ貯留個数	163
1.1 コンテナ船の運航特性	163
1.2 一船の揚げ積みコンテナ個数	167
1.3 揚げ積みの方法に関する考察	168
1.4 コンテナ・ターミナルにおける搬出入の特性	174
1.4.1 実入りコンテナの搬出入	174
1.4.2 空コンテナの搬出入	176
1.5 コンテナ貯留個数のシミュレーション	179
1.5.1 コンテナ貯留個数に影響をおよぼす要因の決定	180
1.5.1 a 運 航 特 性	180
1.5.1 b 一船の揚げ積み個数	180
1.5.1 c 揚げ積みの方法	180
1.5.1 d 搬出入分布	180
1.5.2 モデルの考察	180
1.5.2 a バース待ちに対する考察	180
1.5.2 b コンテナ・ヤードの荷役方式について	182
1.5.2 c 貯留個数と搬出入個数	182
1.5.3 シミュレーション実施ケース	182
1.5.3 a ケース I	182
1.5.3 b ケース II	184
1.5.3 c ケース III	184
1.5.3 d ケース IV	184
1.5.4 シミュレーションに関する問題点について	184
1.5.5 シミュレーション結果	184
1.5.6 シミュレーション結果と現実との比較	198
2. コンテナ・ターミナルにおける荷役方式	203
2.1 現行の荷役方式	203
2.1.1 シャーシー方式	203
2.1.2 セミ・シャーシー方式	204
2.1.3 ストラドル・キャリア方式	204
2.2 荷役機械の能力	205
2.2.1 クレーン	205
2.2.2 ヤード上の荷役機器	208
2.2.2 a 各荷役機器のヤードにおける速度	208
2.2.2 b トランステナーのスプレッダーの速度	212
2.2.2 c ピック・アップおよびリリースの時間	212

目 次

2.2.2d ストラドル・キャリアのサイクルタイム	213
2.3 待ち合わせ理論による荷役機器の能力に関する考察	214
2.3.1 アーラン分布について	214
2.3.2 クレーン換算能力 ρ	214
2.3.3 シャーシー方式の定常解	214
2.3.4 ストラドル・キャリアの定常解	219
2.3.5 セミ・シャーシー方式の定常解	224
2.4 荷役方式とヤード上のコンテナ積み付け方式の関係	227
2.4.1 シャーシー方式	227
2.4.2 セミ・シャーシー方式	228
2.4.3 ストラドル・キャリア方式	228
あ と が き	228
謝 辞	229
参 考 文 献	229
付録 A サイクル・タイムが一定のときの入港時間隔分布	230
付録 B シミュレーションのフロー・チャート	232
付録 C 待ち合わせ理論における状態方程式	234

まえがき

近年、海上輸送のコンテナ化は予想を上回って促進され、各船社はそれぞれが信ずる道を進み、その結果、いろいろなタイプのコンテナ・ターミナルが使用されている。今後も、コンテナ化はますますひろがり、高速フルコンテナ船の就航、大型ターミナルの出現からそれらを連続して使用する連続ターミナルの構想、さらにはターミナルの自動化・無人化の動き等があり、将来のコンテナ・ターミナルがどのような形に落ち着くのか、なかなか予想し難い。

このような背景のもとでコンテナ埠頭を建設する側の京浜外貿埠頭公団と港湾全般を研究対象とする港湾技術研究所が共同して、コンテナ埠頭の規模およびレイ・アウトに関する研究に着手した。研究のアプローチとしてははじめに大筋を予測して、次に関連データをしらみつぶしに収集し、整理・解析する方向をとった。予想外のことがらが生じたりしたが、コンテナ・ターミナルの規模およびレイ・アウトを決定するには、それ以前にコンテナ・ターミナルをはっきり決めねばならないということが明らかにされた。すなわち、そのターミナルを利用するコンテナ船の隻数、取り扱い貨物量、その他の諸量を決定してはじめて規模もきまりレイ・アウトも考えられるということである。そうだとすると一般的に規模を論ずるには、これら諸量のすべての組み合わせを考えて、そこから結果を得てその傾向なり性質などを調べなければならない。しかし、考慮すべき各量が数種類であったとしても、各量が数通りづつあると、すべての組み合わせは莫大な数となり、また各量が数値ならば実験計画法の手法を用いて組み合わせの一つ一つについてまで考察しなくてもすむかもしれないが、その量が分布型で与えられたり、数値でなく性質で与えられたりすると、限られた時間の中で一般的に論ずるのは不可能にちかと思われる。

本報告書では、1でターミナルの規模決定の問題を取り扱い、まず、ターミナルにおけるコンテナの貯留個数を決定する要因をしらべ、ついで、それらの要因を与えたときのコンテナ貯留個数を求めるシミュレーション・プログラムを作成した。ここでは、規模をターミナルの面積でなく貯留個数であらわし、最終的に荷役方式を決定してから面積に戻すという考えにたっている。

2では、ターミナル内の荷役方式を従来の3方式、す

なわち、シャーシー方式、セミ・シャーシー方式、ストラドル・キャリア方式に限定して考察している。したがって、1と2は全く独立に扱うことができる。

はじめの予定では、さらに3を設けて具体的にターミナルを想定し1と2で述べた手法を用いて、コンテナ・ターミナルの規模と荷役方式とレイ・アウト等の決定までを例示するつもりであった。しかし、今後もひきつづきコンテナ埠頭に関する共同研究を、おもに具体的なターミナルについてのケース・スタディを中心課題として、行なうつもりなので、今回はそれらにはふれなかった。

この作業において、コンテナ関係の大量のデータ処理を行なったが、海上コンテナ輸送がはじまって間もないため、データ自身も過渡的な様相を呈しまだ安定しているとは思えなかった。しかし、これらのデータから得られる将来もかわらないような本質的なことがらを認識することは、従来のターミナルと異なる未知のターミナルのシステム設計を行なうときに、非常に重要なポイントになるであろう。

1. コンテナターミナルにおけるコンテナ貯留個数

コンテナ・ターミナルにおけるコンテナ貯留個数を決定することは、荷役方式に応じてコンテナを置く方法がきまると、そのまま、コンテナヤードの所要面積につながり、コンテナ・ターミナルの規模を決定することになる。

ここでは、貯留個数に影響を及ぼす要因を考察し、最後に典型的なモデルを作成してシミュレーションを行ない、その場合の貯留個数を求めた。

なお、20フィート・コンテナと40フィート・コンテナの区別は特に考慮しなかったが、同様の方法で取り扱うことは可能である。

1.1 コンテナ船の運航特性

コンテナ船があまり到着しないターミナルでは貯留個数は大きくないであろうし、またつづけて数船が入港するようなときは貯留個数が著るしく大きくなるであろう。ここでは、貯留個数に影響を及ぼす一要因としてコンテナ船の運航特性を考える。

在来型貨物船の入港分布は、従来、ランダムである、いかえれば、ポアソン分布になると仮定している場合

が非常に多い。¹⁾

しかし、コンテナ船について考えてみると、コンテナ船の数が少ないこと、およびコンテナ化のための莫大な設備投資をできるだけ回収するようコンテナ船の運航計画は在来船よりもはるかに厳密になされていることから、入港はランダムではあり得ない。実際に、バース待ちが生じそうなときの寄港順序の変更や遅れたときの抜港など、コンテナ船を予定どおり運航させるために相当の努力が払われている。ストライキや荷役機械の故障等

でコンテナ船が予定より遅れても、少々の遅れはその後
の2、3航海でとり戻せるという関係者の話もある。

したがって、コンテナ船の入港は一定のサイクルで運航している数船の入港の重ねあわせとして考えるのが適当であると思われる。表 1.1、1.2、1.3 は船社が作成した運航スケジュールであるが、オーストラリア航路の表 1.1 からは、26~28 日が1サイクルであり、表 1.2 の PNW (パシフィック・ノースウェスト) 航路および表 1.3 の PSW (パシフィック・サウスウェスト) 航路に

表 1.1 オーストラリア航路

E.S.S. スケジュールによる横浜港入港予定日 (6月作製)

A. ENTERPRISE	7/14 ⁽¹¹⁾	8/10 ⁽¹²⁾	9/7 ⁽¹³⁾	10/5 ⁽¹⁴⁾	11/2 ⁽¹⁵⁾	11/30 ⁽¹⁵⁾	12/28 ⁽¹⁷⁾
M. FLINDERS	7/27 ⁽²⁾	8/24 ⁽³⁾	9/21 ⁽⁴⁾	10/19 ⁽⁵⁾	11/16 ⁽⁶⁾	12/14 ⁽⁷⁾	
A. SEALOADER	8/5 ⁽¹⁰⁾	8/31 ⁽¹¹⁾	9/28 ⁽¹²⁾	10/26 ⁽¹³⁾	11/23 ⁽¹⁴⁾	12/21 ⁽¹⁵⁾	

E.S.S. スケジュールによる横浜港入港予定日 (10月作製)

A. ENTERPRISE					11/9 ⁽¹⁵⁾	12/7 ⁽¹⁶⁾	1/6 ⁽¹⁷⁾
M. FLINDERS				10/24 ⁽⁵⁾	11/23 ⁽⁶⁾	12/21 ⁽⁷⁾	
A. SEALOADER				11/2 ⁽¹³⁾	11/30 ⁽¹⁴⁾	12/18 ⁽¹⁵⁾	

E.S.S. 各船の横浜港実入港日

A. ENTERPRISE	7/16 ⁽¹¹⁾	8/12 ⁽¹²⁾	9/10 ⁽¹³⁾	10/12 ⁽¹⁴⁾	11/9 ⁽¹⁵⁾	12/8 ⁽¹⁶⁾	1/7 ⁽¹⁷⁾
M. FLINDERS	7/27 ⁽²⁾	8/24 ⁽³⁾	9/21 ⁽⁴⁾	10/23 ⁽⁵⁾	11/23 ⁽⁶⁾	12/22 ⁽⁷⁾	
A. SEALOADER	8/5 ⁽¹⁰⁾	9/1 ⁽¹¹⁾	9/28 ⁽¹²⁾	11/1 ⁽¹³⁾	11/30 ⁽¹⁴⁾	12/28 ⁽¹⁵⁾	

これらの船はロール・オン・オフ型のフル・コンテナ船である。

() 内の数字は VOYAGE NUMBER である。

寄港地は四日市一名古屋一横浜一大阪一シドニー一メルボルン一シドニー一ブリスベインの順である。

表 1.2 P.S.W 航路

PSW SCHEDULE (東京港) 1970年12月14日作製

加 州 丸	12/7-8 ⁽²⁵⁾	1/2-5	[1/7-14]	1/18-19 ⁽²⁶⁾	2/17-18 ⁽²⁷⁾
ゴールデン・ゲート・ブリッジ	12/16-17 ⁽²⁵⁾	1/11	[1/14-20]	1/24-25 ⁽²⁶⁾	2/22-24 ⁽²⁷⁾
ジャパソ・エース	12/23-24 ⁽²⁵⁾	1/18	[1/21-27]	1/31-2/1 ⁽²⁶⁾	3/2-3 ⁽²⁷⁾
アメリカ丸	12/28-29 ⁽²⁶⁾	1/23	[1/26-2/4]	2/8-9 ⁽²⁷⁾	3/9-10 ⁽²⁸⁾

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

上記各船の実停泊日

加 州 丸	12/7-8 ⁽³⁵⁾	12/31-1/4	1/18-1/19 ⁽³⁶⁾	2/17-19 ⁽³⁷⁾
ゴールデン・ゲート・ブリッジ	12/16-17 ⁽³⁵⁾	1/11	1/23-25 ⁽³⁶⁾	2/25-26 ⁽³⁷⁾
ジャパン・エース	12/23-24 ⁽³⁵⁾	1/17-18	1/31-2/1 ⁽³⁶⁾	3/2-3 ⁽³⁷⁾
アメリカ丸	12/28-30 ⁽³⁵⁾	1/25-26	2/8-9 ⁽³⁶⁾	3/9-10 ⁽³⁷⁾

() 内の数字は VOYAGE NUMBER である。

[] 内はドック入りの期間である。

寄港地は神戸—名古屋—東京—ロス・アンジェルズ—オークランド

表 1.3 コンテナの運航予定と実際 (P.N.W 航路)

PNW CONTAINER LINE SCHEDULE (横浜港) 1971年2月1日

穂 高 丸	1/16-18 ⁽⁶⁾	2/15-16 ⁽⁶⁾	3/17-18 ⁽⁷⁾
ゴールデン・アロー	1/24-26 ⁽¹⁰⁾	2/25-26 ⁽¹¹⁾	3/25-26 ⁽¹²⁾
米 州 丸	2/9-10 ⁽⁵⁾	3/7-8 ⁽⁶⁾	4/5-6 ⁽⁷⁾

上記各船の実停泊日

穂 高 丸	1/17-19 ⁽⁶⁾	2/15-16 ⁽⁶⁾	3/18-19 ⁽⁷⁾
ゴールデン・アロー	1/24-26 ⁽¹⁰⁾	2/26-27 ⁽¹¹⁾	3/25-26 ⁽¹²⁾
米 州 丸	2/9-10 ⁽⁵⁾	3/11-12 ⁽⁶⁾	4/10-12 ⁽⁷⁾

() 内の数字は VOYAGE NUMBER である。

寄港地は神戸—名古屋—横浜—シアトル—バンクーバー—ポートランドであるが、ポートランドは上記3船が1回おきにしかな寄港しない。

おいても約1カ月弱のサイクルであることがわかる。

表1は長期スケジュールであるが、短期予定、すなわち、現在コンテナ船が入港している時点での次の到着予定はどのようになっているであろうか。コンテナ船が入港している時点で、その船の次回入港予定日までの予定サイクルを破線で、そのときの実サイクルを直線で図示すると図1.1~8になる。オーストラリア航路におけるずれはオーストラリアの港湾ストライキが主原因であり、北米航路におけるずれは荷役機械の故障が主要因である。また、一旦出港してしまえば入港日が予定日とずれるのは非常に稀れである。入港約1週間前の予定入港日*と実際の入港日とは、シーランド社のコンテナ船を除いては、ほとんどずれることはない。シーランド社の

例外は他のコンテナ船のように数社による共同配船ではないので自由がききやすいこと、および文献2の広告欄にのっていないので止むを得ず数週間も入港予定日がかからないこともある入港船舶欄から求めたデータである

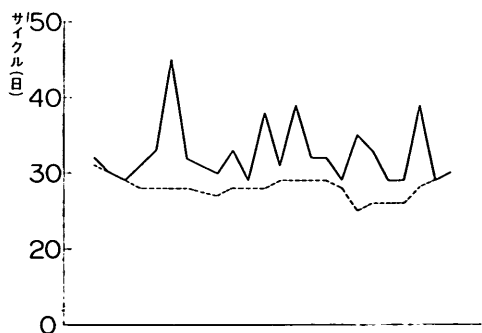


図 1.1 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (オーストラリア航路)

* 船舶の時刻表ともいうべき週刊誌²⁾で予定入港日を求めた。シーランド社のみ入港船舶欄を、他社に関してはそこを用いず荷主への広告欄を利用した。

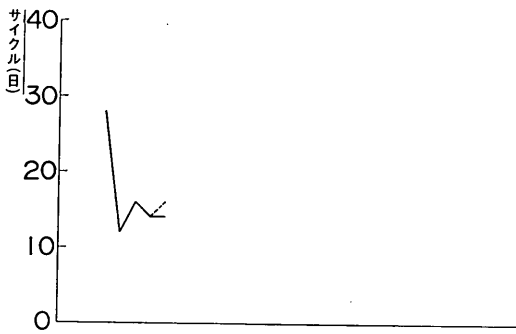


図 1.2 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (オーストラリア航路)

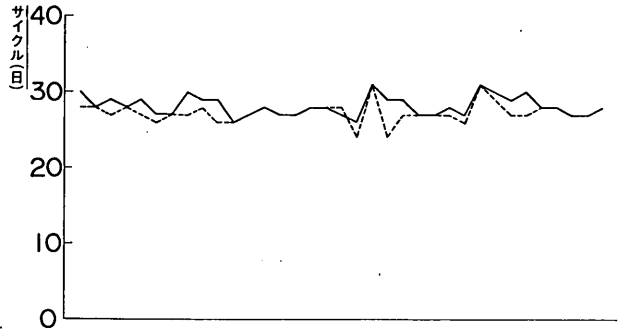


図 1.5 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (P.S.W. 航路)

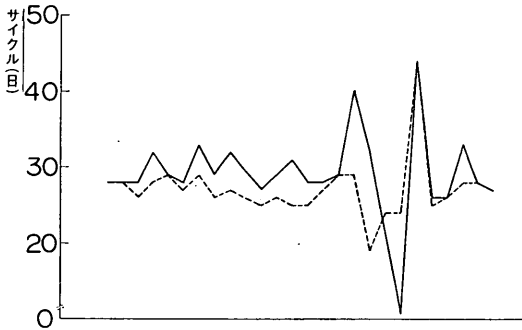


図 1.3 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (オーストラリア航路)

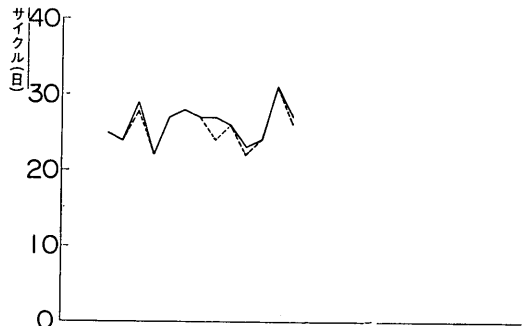


図 1.6 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (P.N.W. 航路)

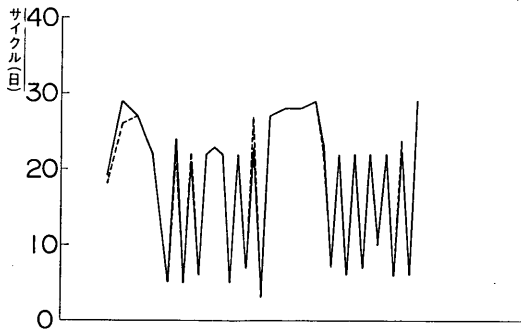


図 1.4 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (P.S.W. 航路)

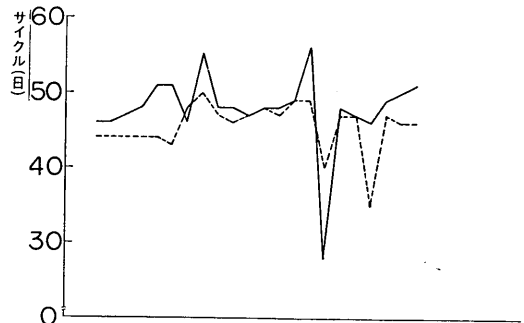


図 1.7 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (P.S.W. 航路)

ことによって説明されよう。

図 1 をみると、オーストラリア航路はよく遅れるが、太平洋航路では図 1.7 のシーランド社の場合を除くと 4 日以上のはずれは 1 度しかない。28 日サイクルの 4 隻のコンテナ船がウィークリー・サービスを行なっているとき (図 1.5) の実サイクルの頻度分布を図 2 に示した。な

お、図 2 の曲線は、平均 28 日、標準偏差 1 日の正規分布である。

オーストラリア航路のようにストライキが頻繁におこる場合と、シーランド社のように数多くのフル・コンテナ船を同一航路に投入して遊びのないように運行する場合を除けば、コンテナ船は入港間隔がほぼ一定であるよう

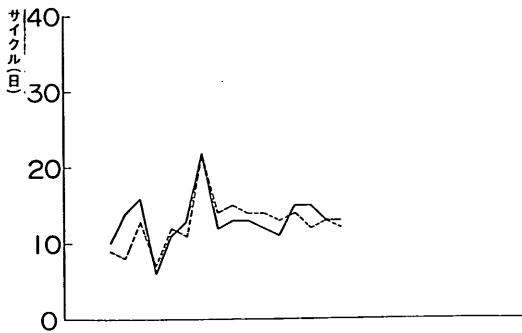


図 1.8 コンテナ船の予定サイクルと実サイクル (フィーダー・サービス)

に運航計画をたてて、実際には、その計画から最大3日のずれをもって運航しているといえよう。近い将来、北米東岸および欧州航路にコンテナ船が就航すれば、この3日という値はかわるであろうが、似たような傾向は残ると思われる。

また、各船社が共同配船をやめたときには自由性が増し、運航計画とのずれが生ずる可能性が大になろう。それは船待ちを調整するようなよい方向へのずれと、集荷

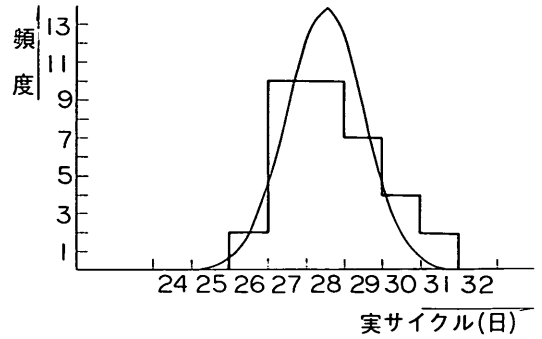


図 2 実サイクルの分布

の関係からくるずれとが考えられるが、コンテナ輸送の「早くて安全確実」という性格上、それほどひどくならないことは確実であろう。

1.2 一船の揚げ積みコンテナ個数

ターミナルの規模を考察するには、一船毎の揚げおよび積みのコンテナ個数を知ることでもある。将来、2,000個積み以上のフル・コンテナ船が就航するが、そのとき、一船の取り扱いコンテナ数がどのようになる

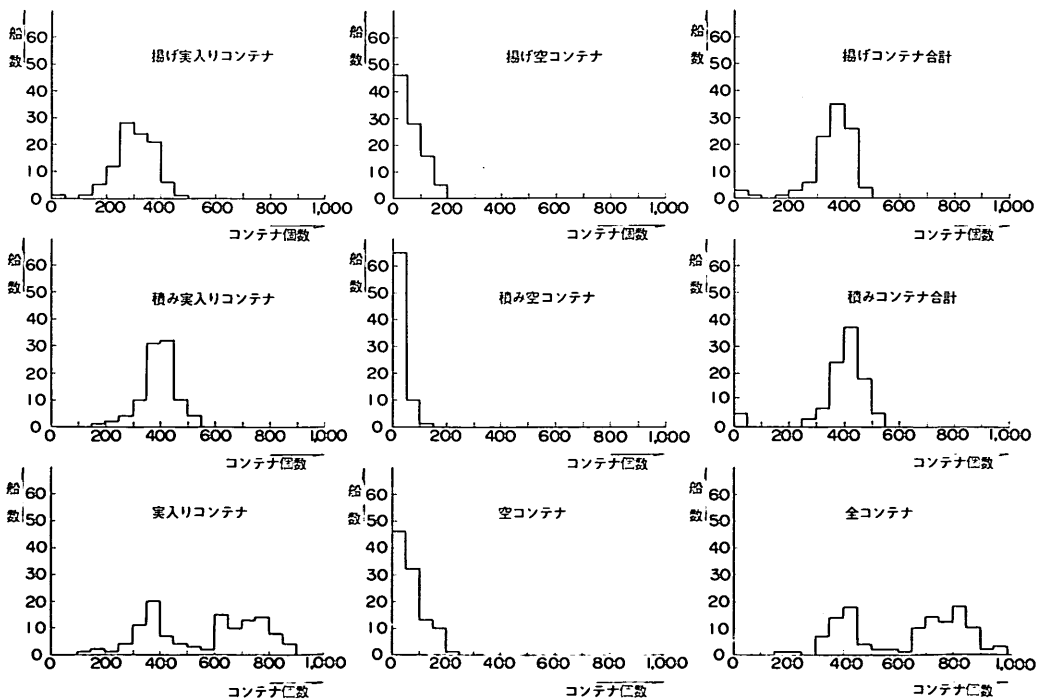


図 3.1 一船の取り扱いコンテナ個数 (東京港品川コンテナ埠頭)

か、はっきりとは予測できないが、取り扱い個数は増加しようともその分布型が現在と似かよっていると仮定できれば、取り扱いが容易になろう。

ここでは、東京港品川埠頭を利用する P.S.W. 航路のコンテナ船 6 隻（積載容量は、20フィート・コンテナに換算して 752, 752, 708, 723, 716, 714 個である）について、揚げ積み別、実入りコンテナ空コンテナ別に取り扱い個数の頻度分布を求めた。（図 3.1）

また、横浜港本牧埠頭の公団コンテナ埠頭の同様の結果が図 3.2 であるが、数が少ないので、揚げ積み別および実入り空別は省略して合計だけにとどめた。

実入りコンテナと空コンテナの違いは、ターミナルにおける貯留という点から考えると、揚げの場合についていえば船から卸された実入りコンテナは数日以内に受荷主または他の荷役業者に配達されて、最終的に空になってターミナルへ戻ってくる。もちろん、一部の实入りコンテナはコンテナ・フレート・ステーション (C.F.S.) で小口貨物にばらされて、コンテナがターミナルより搬出されないこともある。空コンテナの場合には、船から卸されたらターミナル外に Van pool がない限り、ターミナルに貯留すると考えられる。一方、積みの実入りコンテナは、ターミナルへの搬入日より数日前にターミナルから空コンテナが搬出されて実入りコンテナとなって搬入されるわけである。この場合も小口貨物でターミナル内の C.F.S. へ搬入されてそこで実入りコンテナとなる場合もある。

本牧埠頭の公団埠頭を使用する 3 ターミナルのうち 2 ターミナルで、一船の取り扱いコンテナ数に対する実入りコンテナの比率を図 4.1 (揚げ), 図 4.2 (積み) に示す。図において、○印はオーストラリア航路の 560 個積みのロール・オン・オフ型のフル・コンテナ船 (3 隻), □印は同航路の約 1,100 個積みのフル・コンテナ船 (2 隻), △印は同航路の約 1,000 個積みのフル・コンテナ船 (3 隻), ▽印は P.N.W. の約 750 個積みのフル・コンテナ船 (2 隻), +印は P.N.W. の約 1,000 個積みのフル・コンテナ船 (1 隻) である。

他の 1 ターミナルの実入りコンテナの比率は、ほとんどの船が揚げの場合は 0 で積みの場合が 1 なので省略した。

次に、C.F.S. 経由コンテナの比率であるが、東京湾全体でコンテナ統計書³⁾によると揚げの場合 22.2%, 積みの場合 11.6% とある。ターミナル関係者によると 20~30% ではないかということである。本牧公団埠頭

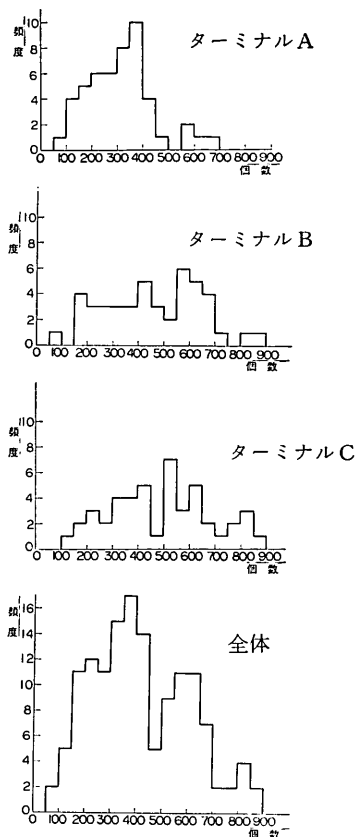


図 3.2 一船の取り扱いコンテナ個数
(横浜港本牧公団コンテナ埠頭)

についてしらべた結果は、揚げ 2.0%, 積み 36.4% および揚げ 4.6%, 積み 16.0% であり、残りの 1 ターミナルに関しては C.F.S. 経由コンテナ数は揚げ積みとも 0 であった。統計書およびターミナル関係者の数字は、純粋にターミナル内の C.F.S. 経由のコンテナ数ではなく、港頭地区にある C.F.S. 経由のコンテナの数も入っていると思われる。

この値は、ターミナルのフレート・ステーションの規模に直接関係するから、今後の調査や C.F.S. の利用計画によって明らかにされねばならない。

1.3 揚げ積みの方法に関する考察

コンテナ・クレーンが揚げ積みをするとき、さきにコンテナを揚げてから次に積むわけであるが、揚げと積みを交互に行なうときと、さきに揚げコンテナを全部揚げたから積みコンテナを積む場合では、コンテナ・ヤード

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

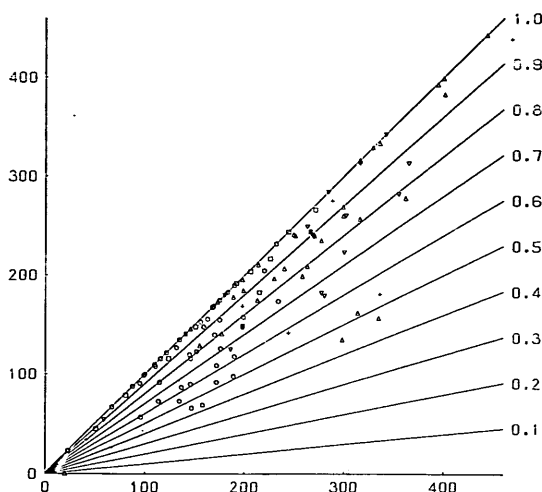


図 4.1 一般の取り扱いコンテナ数における実入りコンテナの比率(揚げ)

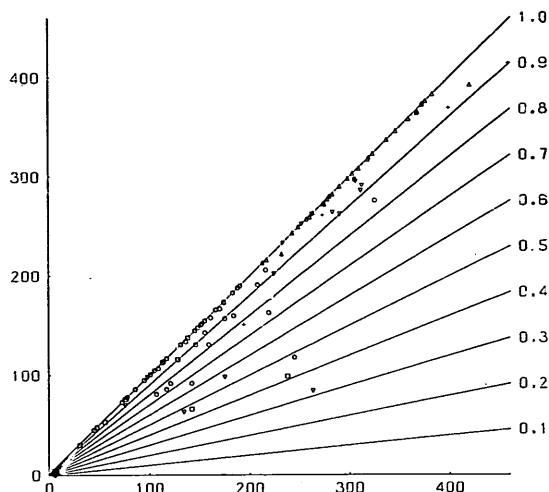


図 4.2 一般の取り扱いコンテナ数における実入りコンテナの比率(積み)

に置かれるコンテナの最大個数は当然かわってくる。すなわち、コンテナの揚げ積みを1回毎に交互に行なえば、所要コンテナ置き場所は、揚げコンテナ総数と積みコンテナ総数の大なる方だけあれば足りるが、揚げコンテナを全部揚げてから積コンテナにとりかかる場合では、揚げ積みコンテナの総和の分をおけるだけ広くなければならない。実際には、コンテナ船は8段以上コンテナを積んでいるので、1個1個交互に揚げ積みを行なうことは不可能である。しかし、1ハッチを全部揚げてからそのハッチにコンテナを積む場合も考えられるし、次のような揚げ積みの方法だとさらに揚げ積みの際の所要コンテナ置き場所はせまくてすむ。例えば、10ハッチあって、各ハッチは船艙5段積み、甲板4段積みで、8列の構造をもつコンテナ船が、720個のコンテナを揚げて、720個のコンテナを積む場合を想定してみる。全部揚げてから全部積む場合は一時的にせよ1,420個分の置き場所が必要になるが、1ハッチ毎に揚げ積みを行なうならば $720 + 9 \times 8 = 792$ 個分でまにあう。さらに、甲板上の $4 \times 8 = 32$ 個を揚げ、ハッチのふたを移動したあと、船艙第1列目の5個を全部揚げてから、その一列目に5個積み、次に2列目の5個を揚げてからそこに5個積むという方法にすると、 $720 + 32 + 5 = 757$ 個の置き場所さえあれば、揚げ積み各々720個計1,440個の荷役がなされるわけである。基本の720個を除けば、揚げ積みのために一時的に必要とする場所の広さはコンテナ個数に換

算して、1クレーンあたり、それぞれ、720個、72個、37個となる。また最後に述べた方法は、甲板上と第1列目のコンテナを揚げてからは、5個積みと5個揚げを交互にくり返さず必要はなく、1列目に積みこんだ戻りのクレーンで2列目のコンテナを揚げるようなオペレーションを行なえば、クレーン1往復で揚げ積みの両方を行なう、いわゆる、デュアル・オペレーションとなる。したがって、この揚げ積み方法は、クレーンの有効利用の面からみても望ましい。

さて、それでは実際の揚げ積みはどう行なわれているであろうか。本牧の公団バースで二船のデータが得られたので、これを説明する。

一般は、シャシー方式*のターミナルA**を利用し、コンテナ船の積載量は602個で、このときは揚げコンテナ、積みコンテナともに278個であった。この船は改造フル・コンテナ船であることからデリック・クレーンを利用して若干個のコンテナ揚げ積みも行なわれた。荷役はコンテナ・クレーンを2台用い、クレーンIは揚げ166個、積み195個、クレーンIIは揚げ112個、積み83個の

* シャシー方式、セミ・シャシー方式、ストラドル・キャリア方式ともに、コンテナ・ターミナルにおけるコンテナ荷役方式で具体的には2で説明する。

** ターミナルを区別するため、A, B, Cを使うが、これは、各節にのみ有効で他節のA, B, Cターミナルとは必ずしも一致しない。

荷役をした。船は9時に入港し、10時10分に接岸して、翌朝4時13分に離岸した。なお、クレーンIは13時7分から13時22分まで15分間故障のため荷役を中断した。

他の一船は、セミ・シャーシー方式をとるBターミナルを利用し、積載量は736個である。このときは揚げコンテナは201個、積みコンテナは347個であった。クレーンはやはり2台使われ、クレーンIは揚げ115個、積み173個、クレーンIIは揚げ86個、積み174個の荷役を行なった。船は10時45分に接岸し、翌日の23時に離岸した。

ターミナルAのクレーンIは、11番ハッチの揚げ積み各64個を10時17分から16時32分まで荷役し、16時39分から55分まで10番ハッチの揚げ積み各4個、16時58分から22時44分まで9番ハッチの揚げ積み各67個、22時54分より翌日1時55分までクレーンIIで前日残した6番ハッチの揚げ14個積み43個、1時57分から2時19分まで4番ハッチの揚げ積み各7個、2時22分より2時53分まで3番ハッチの揚げ積み各9個の荷役をした。クレーンIIは、10時から18時までとなりのターミナルから賃借し、10時15分より15時50分まで8番ハッチの揚げ積み各67個、15時58分より17時45分まで6番ハッチで揚げ45個積み16個の荷役をした。なお、ターミナルAのコンテナはすべて35フィート・コンテナである。

ターミナルBのクレーンIは、11時から13時50分まで5番ハッチから1個、13番ハッチから27個の40フィート実入りコンテナを揚げ、14時5分から14時45分まで14番ハッチから40フィート空コンテナ11個、20フィート空コンテナ9個、実入りコンテナ4個を揚げ、14時45分から15時15分まで15番ハッチから実入りコンテナを15個揚げ、15時35分から16時まで14番ハッチから実入りコンテナを14個揚げ初日の荷役を終了した。翌日は、8時5分から8時35分まで14番ハッチから実入りコンテナを14個揚げ、8時35分から9時30分まで15番ハッチから実入りコンテナを22個揚げ、9時35分から10時20分までに14番ハッチへ実入りコンテナを26個積み、10時25分から11時5分まで15番ハッチへ実入りコンテナを22個積み、11時30分から13時25分までに14番ハッチに実入りコンテナを24個を積み、13時25分から14時15分までに15番ハッチに実入りコンテナを24個積み、14時30分から14時50分までに7番ハッチから実入りコンテナを9個揚げ、14時55分から16時20分までに7番ハッチへ20フィート実入り

コンテナ11個と40フィート実入りコンテナを8個積み、16時20分より19時20分までに13番ハッチに40フィート実入りコンテナを28個積み、19時40分より20時30分までに13番ハッチに40フィート実入りコンテナを25個積んで全荷役を終了した。クレーンIIは、となりのターミナルから借り、その荷役については、ハッチ番号と揚げ積み個数のみを時間の順にあげると、5番8個、4番1個、3番3個、1番2個、5番30個、4番22個、3番20個で、以上はすべて揚げの実入りコンテナであり、1日目の荷役を終えている。翌日は、すべて実入りコンテナの積みで、40フィートコンテナはほんの数個である。ハッチ番号と個数は、6番15個、5番30個、4番22個、5番24個、4番24個、3番38個、1番6個、6番15個である。

以上の荷役をしたとき、コンテナ・ヤード上のコンテナ個数の増減を時間的に示すと図5.1A, 1Bになる。ヤード上の揚げコンテナおよび積みコンテナの数の時間的な増減を示したのが図5.2A, 2Bである。A, BはターミナルA, ターミナルBの意味である。図5.3A, 3Bは、クレーンの稼働時間とそのときのクレーン能力を表わしている。クレーン能力が0のときは、ストーキング・フレーム*の移動、ハッチ・カバーの開閉、クレーンの故障、クレーンの移動、休けい時間等である。ただし、それらの時間があまりにも短かくて図中に示せないときは省略した。図5.3Aで、揚げも積みも能力が0でないときがみられるが、これはデュアル・オペレーションであり、双方の和がこの場合のクレーン能力である。

ターミナルAのオペレーションだと、揚げ積み計556個のコンテナを扱うのに、最大必要コンテナ置き場所は、コンテナ個数に換算すると図5.1Aより352個分である。ターミナルBでは揚げ積み計548個で、図5.1Bよりわかるようにコンテナ・ヤードには最高時503個も置かれるのである。

なお、ストラドル・キャリア方式をとるターミナルに関しても、この種のデータは得られたが、時間が記されていないので図5.5のようにはまとめられなかったので割愛する。ターミナル関係者によると、全部を揚げてから、次に積みはじめる方式はとらず、いくらか揚げた時点で積みはじめる、また揚げて積むという方法をとって

* コンテナを甲板に積むとき、コンテナがくずれ落ちないようにするために使用するフレーム。コンテナ船によって甲板上のコンテナ固縛方法は異なる。

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

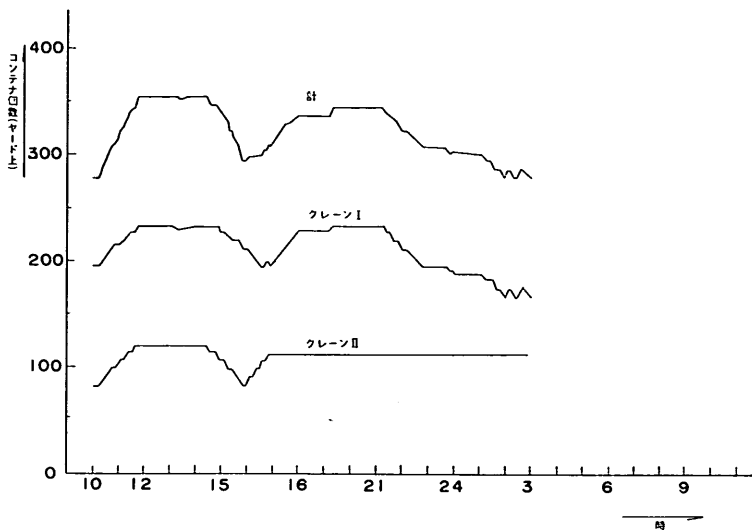


図 5.1A 揚げ積みの方法 (コンテナ・ヤード上のコンテナ個数—ターミナル A)

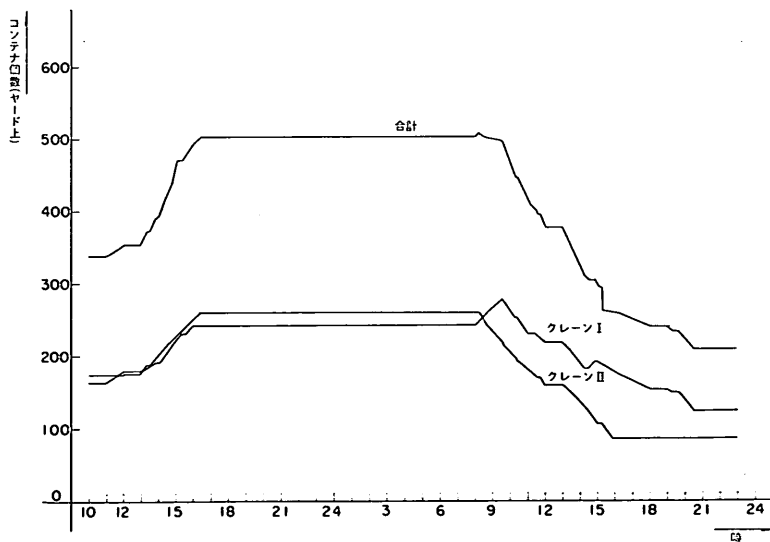


図 5.1B 揚げ積みの方法 (コンテナ・ヤード上のコンテナ個数—ターミナル B)

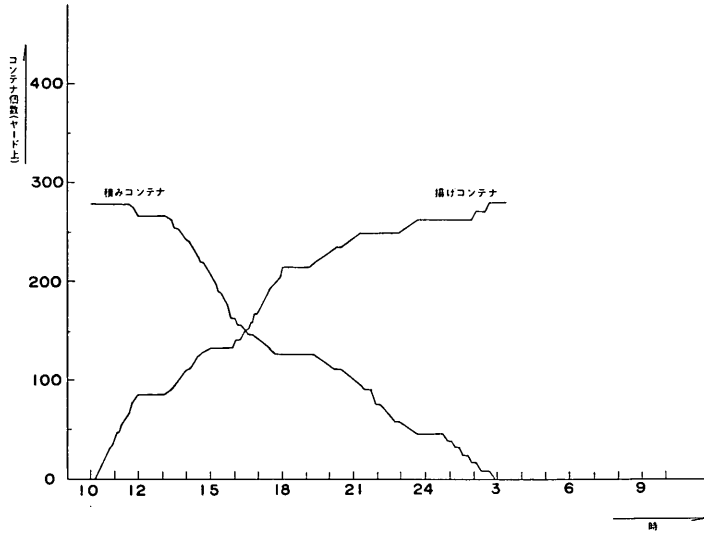


図 5.2A 揚げ積みの方法 (コンテナヤード上の揚げおよび積みコンテナ個数—ターミナルA)

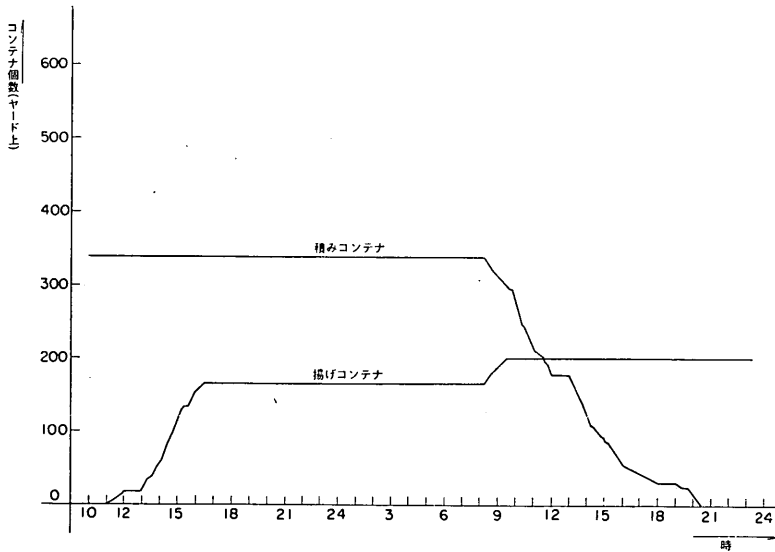


図 5.2B 揚げ積みの方法 (コンテナ・ヤード上の揚げおよび積みコンテナ個数—ターミナルB)

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

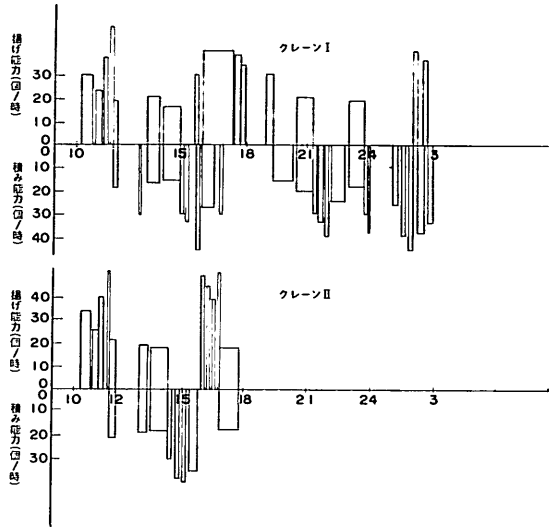


図 5.3 A 揚げ積みの方法 (クレーンの稼動状況—ターミナル A)

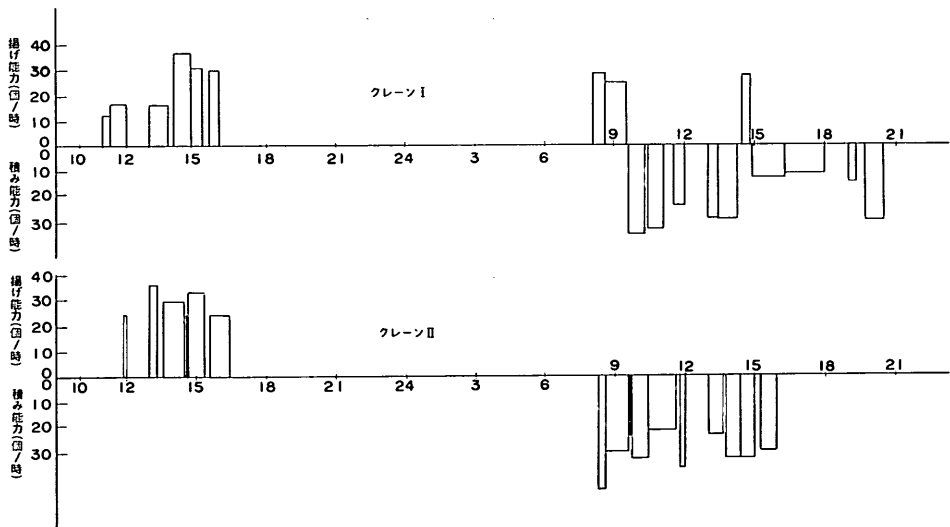


図 5.3 B 揚げ積みの方法 (クレーンの稼動状況—ターミナル B)

いるそうである。

揚げ積みの方法は、2でもふれるが、ターミナルにおける荷役方式に密接な関係があり、一概にどれがよいとは言いがたいが、コンテナ・ヤードの規模を決定する一要因であることが、以上により十分認識されよう。

今秋、完工が予定されている高速大型コンテナ船鐵倉丸は、積載コンテナ数が 20 フィート換算で 1836 個で

あるが、船体をかさあげして、船艙内に 9 段 10 列のコンテナを積み甲板上は 1 段におさえている。これは、高速で航行することからくる構造学上の問題や、固縛上の問題点、固縛作業の省力化等からきまってきたと思われるが、甲板上のコンテナ積載個数が少なくなることは、ここで述べたように、ヤードの広さにも、クレーンのデュアル・オペレーションにとっても好都合になっている。

1.4 コンテナ・ターミナルにおける搬出入の特性

積みコンテナは、ターミナルへ積みすべきコンテナ船の到着前に搬入されるのが普通であるが、いつ頃から搬入されるのであろうか。同様に揚げコンテナはどのくらいターミナルへ留まってから搬出されるのであろうか。さらに、搬入される積みコンテナは空コンテナが数日前にターミナルから搬出されているはずだし、揚げコンテナに関しては、搬出されたあと数日後に空コンテナがターミナルへ戻ってくるはずである。コンテナ・ターミナルが倉庫がわりに使われて揚げコンテナをなかなか荷主がとりにこななければ、コンテナ・ヤードは広大でなければならず、逆に回転が早ければコンテナ船との揚げ積みだけを考慮した広さで足りるのであろう。

実入りコンテナおよび空コンテナの搬出入は、コンテナ貨物によっても、コンテナ流通経路によってもかわると考えられる。ここでは、品目毎のコンテナ滞留日数やコンテナの流通経路によって生じる搬出入個数の増減を調べずに、コンテナ搬出入の現実データから、マクロ的にコンテナの搬出入をみる。実際、コンテナ搬出入のパターンはターミナル毎にも、船毎にも、また時期的にも異なると考えられるから以下の考察は一例としてみるのが妥当と思われる。

1.4.1 実入りコンテナの搬出入

一船毎のコンテナの搬出入データを、ターミナルA*で搬入を36船ぶん、搬出を43船ぶん得た。そのうちから、適当に7つとりあげて図示すると図6になる。図の

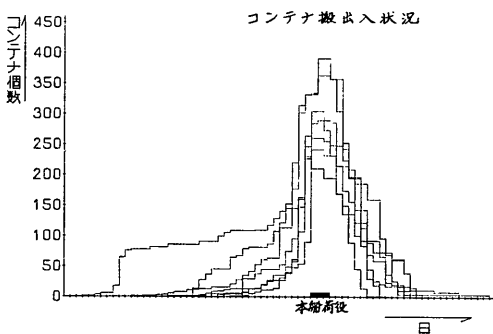


図6 実入りコンテナの搬出入（一船毎）

みかたは、横軸は1目盛1日を示し、ほぼ中央に本船接岸日がある。これは、接岸日数が1日、2日、3日の場

* すでに断わったように、このターミナルAは他の節のターミナルAと同一とは限らない。

合があったが、すべて3日にした。縦目盛は、その船の積みコンテナ（本船荷役より左側の場合）および揚げコンテナ（本船荷役より右側の場合）のコンテナ・ヤード上にある個数を示している。全ケースをあたってみると種々雑多で、搬出入カーブをそれらから直接にきめるのは難かしいので、船毎に合計して入港日前の搬入率および出港後の搬出率を求めると図7.1~2*となる。さらにこれらの入港と出港の回数と重みをつけて荷重平均をとると図7.3~4となる。ここで、搬出と搬入を比較してみると、搬出の場合は出港後10日で6.4%しかヤードに残っていないのに対して、搬入の場合は入港10日前に

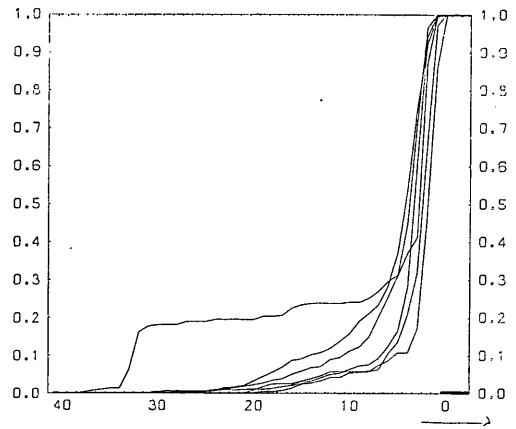


図7.1 実入りコンテナの搬出入（船毎の搬入カーブ）

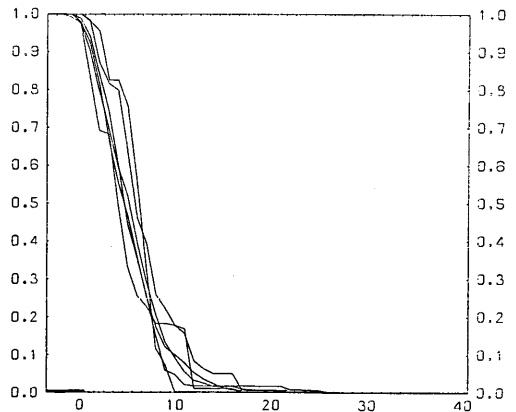


図7.2 実入りコンテナの搬出入（船毎の搬出カーブ）

* 図6は、現実例なので日曜、祭日を考慮しているがここでは日曜祭日は他の例と比較して補正した値を用い、特別に区別していない。

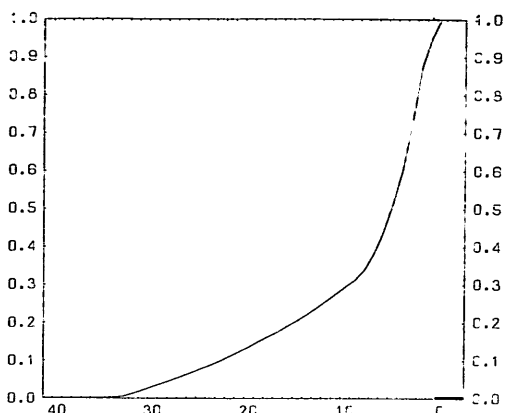


図 7.3 実入りコンテナの搬出入 (搬入カーブ全体)

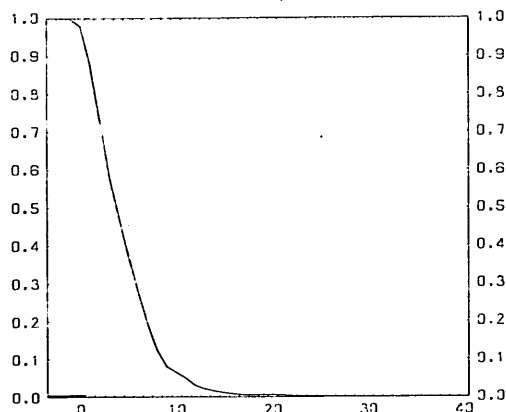


図 7.4 実入りコンテナの搬出入 (搬出カーブ全体)

29.3%もコンテナ・ヤードにある。これは、コンテナ船の遅れがあった場合、コンテナは出港予定日にあわせて搬入されるから結果的には実入港日よりずっと以前に搬入されたケースのデータも含まれていることによる。

ここで、すべての搬出および搬入カーブを、直線で近似して、その勾配と本船の揚げコンテナ数および積みコンテナ数とをプロットすると図 8.1~2 になる。ここで、搬出入カーブは累積コンテナ数であるからその平均勾配は、一日あたりの平均変化コンテナ数、すなわち、搬出コンテナ数または搬入コンテナ数である。

図 8.1 において、本船の揚げコンテナ数を S 、平均一日コンテナ搬出個数を a とすると、点列を近似する直線として、例えば、 $S=0$ 、 $a=10$ と $S=400$ 、 $a=17$ を通る直線を考えると、直線の式は

$$a = \frac{7}{400}S + 10 \quad \dots\dots\dots(1)$$

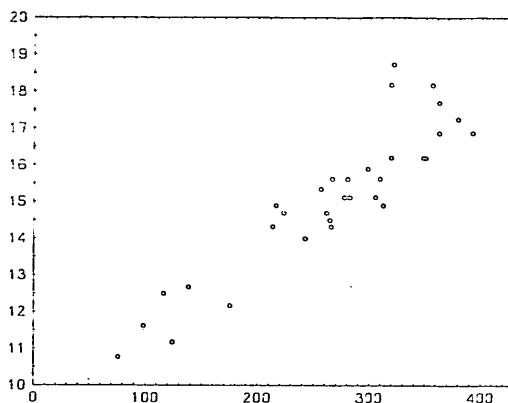


図 8.1 本船のコンテナ取り扱い数と一日平均搬出入の数との相関 (揚げコンテナ数と平均搬出量の相関)

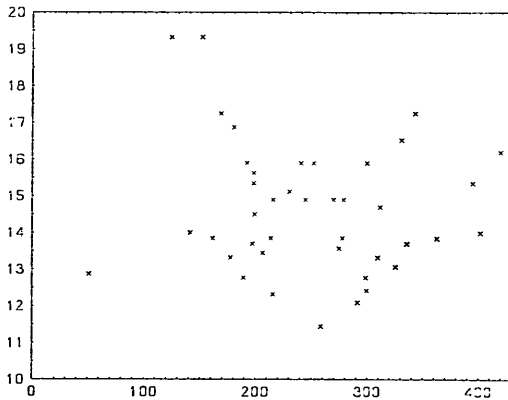


図 8.2 本船のコンテナ取り扱い数と一日平均搬出入の数との相関 (積みコンテナ数と平均搬入量の相関)

となる。 S は揚げコンテナ数で a はその搬出カーブを直線で近似したときの勾配だから、搬出直線は、コンテナ個数を y 軸に、日を出港日を 0 として x 軸にとると、

$$y = -ax + S \quad \dots\dots\dots(2)$$

と表わされるが、(1) の関係により、

$$y = -\left(\frac{7}{400}S + 10\right)x + S \quad \dots\dots\dots(3)$$

が成立し、直線 (3) は、 S の値にかかわらず、

$$x = \frac{400}{7} \doteq 57.1, \quad y = -\frac{4000}{7} \doteq -571$$

なる点を通る。これを用いて、一般に S を与えたときの搬出直線は図 9 のようにして求まる。搬出入カーブを式で与えるのは、数値を与えるよりも融通性に富む

ので、直線以外でも何か近似曲線を考える必要があろう。

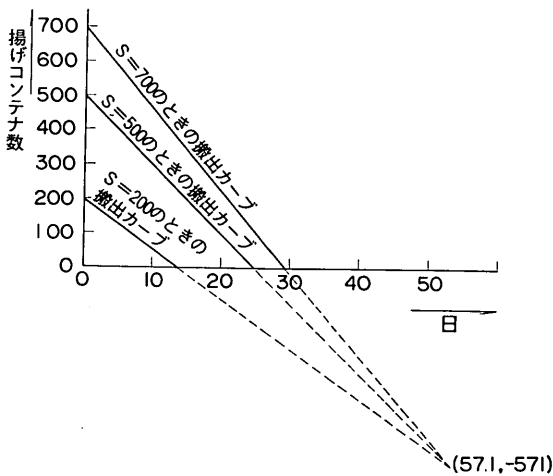


図9 実入りコンテナ搬出カーブの直線近似

さて、搬入カーブについては、図8.2をみてもわかるように本船の積みコンテナ数と平均一日コンテナ搬入個数とは、相関がない。このことは、図7.3のカーブを搬入カーブとして使えないことを意味する。これは搬入コンテナの溜りはじめる日が、変動しているとも考えられる。そこで積みコンテナが溜りはじめる日が各船によって変動するのは何故かを考えてみる。もしも、現在到着している船と同じ航路のコンテナ船が、そのターミナルを幾日か前に出港したとすると、その出港日より前に搬入したコンテナは前の船に積まれはしないだろうか。これが、事実だとすると、同一航路の直前の船の出港日がいつも直後の船の出港日より一定間隔だけ以前でない限り、その航路の積みコンテナがたまりはじめる日は変動することになる。しかも、調査したデータは1航路に1船しか就航していないときから、3~4船就航しているときまでのデータであるので、さらに入港の場合は船の入港日を基準にとるから遅れが生じることも加わって図8.2のような結果になったと考えられる。

実際に、同一航路の一つ前の船の出港日に、次の船に残されるコンテナの個数の次の船の積みコンテナ総数に対する百分率を求めると、37個残して20.8%、90個残して24.9%、109個残して39.2%の3ケースを除いた残り33ケースはすべて10%以下で、総積み残し個数172個で平均5.2個を積み残し百分率でみると平均して積み残し個数の2.9%ほどしかない。最近では、積み残し個数がこの値よりも多くなっているようで、その理由として

は、共同配船によるスペース・チャーター方式をとるため一社のスペースを全部使用すると、その船社は積みコンテナがあっても積めなくなることと、例えばコンテナがターミナルへ搬入されていても通関を終えてないと本船につめないこと、およびコンテナ船が積載量だけ積んでそれ以上積む余地がないこと等があげられる。上に述べた3船に関して、その航路の直前の横浜港での積み個数を調べると、各々、393個、335個、274個で、神戸港で積んだコンテナを考えると、直前の船も満船で出港したという理由から大量の積み残しが生じたといえるのではなかろうか。

実入りコンテナの搬入個数の分布型がこのように説明されると、ここにまた一つコンテナ・ヤードの規模を決定する要因として、航路別が挙げられる。すなわち、ターミナルを利用するコンテナ船の航路がすべて異なれば、航路毎にコンテナはその航路のコンテナ船が来るまでコンテナ・ヤードに滞留するはずである。このとき、その航路の船の到着直前にコンテナが搬入されるならばよいが、そうとばかり限らないであろう。一方、すべての航路が同じならば、搬入されたコンテナは同じ先行の船へ積んでしまうから、よほどの理由がない限り積み残しはおこらない。

今回は行なわなかったが実入りコンテナの搬入に関しては、遅れや上で述べた同一航路の直前入港船等を考慮して、考察しなおすことも必要だと思われる。

1.4.2 空コンテナの搬出入

空コンテナはターミナルの規模にどの程度影響を及ぼすであろうか。

まず、ターミナル外にVan pool等の空コンテナを貯留するところがなく、用のない空コンテナはターミナルに集まるとして、また実入り揚げコンテナは搬出されたら一旦空となって必ずターミナルへもどるものとして、この問題を考えてみる。

実入りコンテナの搬出入分布を、揚げの場合は出港日を基準に日の経過とヤード上に残っている揚げコンテナ数の本船揚げコンテナ数に対する比率で、積み場合は入港日を基準に、日をさかのぼって数えて、そのときヤード上に搬入されているコンテナ数の本船積みコンテナ数に対する比率で定義したが、空コンテナの搬出入分布を一日一日の空コンテナの搬出入数ではなく、搬入の場合は搬入された空コンテナが実入りコンテナで搬出された日から何日かかったかを調べ日毎のコンテナ数の比率によって、また搬出の場合は搬出された空コンテナが実

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

入りとなってターミナルへ戻ってくる日毎のコンテナ数の比率によって定義する。

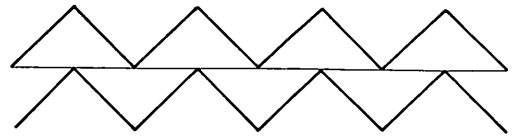
空コンテナの搬出入分布を決定しても、空コンテナのターミナルでの貯留個数は決定されないばかりでなく、空コンテナの回転の早さは滞留個数の増加に働くときもあれば減少に働くこともある。しかし、空コンテナの回転の早さは、総必要コンテナ数を、実入りコンテナの搬出入分布と共に決定している。

これを示すために、次のような単純なモデルを考える。

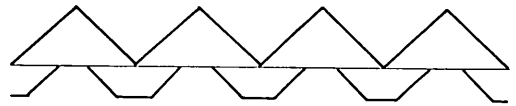
- (i) コンテナ船は一定のサイクル・タイム a 日をもって運航されている。
- (ii) 実入りコンテナの搬出入分布は共に $a/2$ 日で 0 になるような直線で示される。
- (iii) 空コンテナの搬出分布と搬入分布は同一で、すべての搬出コンテナは b 日かかってターミナルへ搬入され、すべての搬入コンテナはその b 日以前の日にターミナルより搬出される。C.F.S. 経由のコンテナや他のターミナルとの間でのコンテナのやりとりを考えない。
- (iv) 実入りの揚げ積みコンテナ個数は等しく C 個である。

以上のモデルで、 a を一定にして、 b を 0 から a まで $a/8$ 毎にかえて、ターミナルに貯留するコンテナ数を図示すると図 10 となる。図で横軸より上は実入りコンテナの貯留個数を下は空コンテナの貯留個数を示し、ターミナルに貯留するコンテナ数は実入りコンテナを示すグラフと空コンテナを示すグラフとの間の長さで表わされる。 b が a より大のときは b を a で割ったときの余り b' (数学的にいえば $b' = \text{mod}(b, a)$) を求めて、 $0 \leq b' < a$ であるからこの図を利用すればよい。はじめに、空コンテナの搬出入分布を決定しても云々と述べたが、それを示すには上の論法で a を固定して b を動かしているのを逆に b を固定して a を動かせばよい。

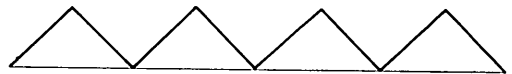
これをみると、 b が a の半分のときに最もヤードを広く必要とする。コンテナの貯留という見地からみると、 b が a より小さいときに望ましいことがわかる。すなわち、コンテナ貯留個数は C を越えない。本船が接岸して荷役するときに、ヤード上の滞留コンテナが少なければ少ない程荷役しやすいという考えにたつと、 b は $a/8$ より大で $2a/8$ より小が望ましい。 b が $2a/8$ になると空コンテナの貯留はなくなるが、 b が少し増えたときにヤードの貯留個数が C を越えてしまう。また、コンテナ



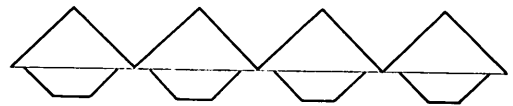
$$b = 0 \text{ 又は } a$$



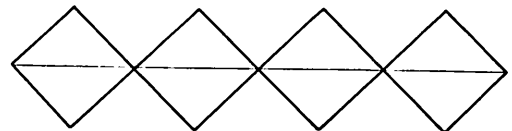
$$b = \frac{a}{8} \text{ 又は } \frac{7a}{8}$$



$$b = \frac{2a}{8} \text{ 又は } \frac{6a}{8}$$



$$b = \frac{3a}{8} \text{ 又は } \frac{5a}{8}$$



$$b = \frac{4a}{8}$$

図 10 実入りコンテナと空コンテナの貯留状況

の搬出入個数は、常に一日あたり $4c/a$ である。なお図 10 では、空コンテナの貯留量の最小値が正の場合は、コンテナの数が多すぎことを意味し、ヤード上には空コンテナがつかねに少なくとも最小値の数だけ溜っているのであるが、そのような場合には最小貯留個数が 0 になるように平行移動した。貯留量の最小値が負になる場合も同様の処置をした。

ついでにコンテナ数にふれておくと、揚げ地および積み地において上の仮定 (i)~(iv) を満たすとすると、 $b < a$ のときは $3C$ 、 $a \leq b < 2a$ のときは $5C$ だけコンテナを用意する必要がある。当然のことではあるが、空コンテナの回転の早さは用意すべきコンテナ数の減少にはたつき、回転が遅ければコンテナを大量に用意せねばならない。一般に、積載量 C のコンテナ船を一隻建造すると、用意すべきコンテナ数は最小 $3C$ 個だけ必要となるが、現実的には $3C$ 以上なければ円滑には運営されないのである。しかし、同一ターミナルを利用するときは、

2 隻なら $6C$ 個、3 隻なら $9C$ 個、一般に n 隻なら $3n$ C 個のコンテナを準備する必要はなく、運営が最もうまく行なわれるときは、2 隻なら $4C$ 個、3 隻なら $5C$ 個、一般に n 隻なら $(n+2)C$ 個で足りることから、十分余裕をみても、 n が 2 より大になれば $3nC$ 個より大幅に少なくてもすむのである。コンテナ船を一隻建造すると、ほぼそれと同額分のコンテナを用意せねばならないといわれているが、コンテナ船を数多く就航させて同じターミナルを利用して、しかもコンテナの回転をうまく調整すれば、少数のコンテナ船を運航するのと比較して大きなメリットがある。このような場合に連続パスにして、荷役機器やヤードを融通しあえば投資効果は飛躍的に増大するであろう。

仮定 (i)~(iv) は現実的ではないが、現実の場合もその結果については値の大小およびグラフの形はかわろうとも似たような挙動をすることは確実であろう。空コンテナ用の Van pool を別に考えたり、空コンテナをター

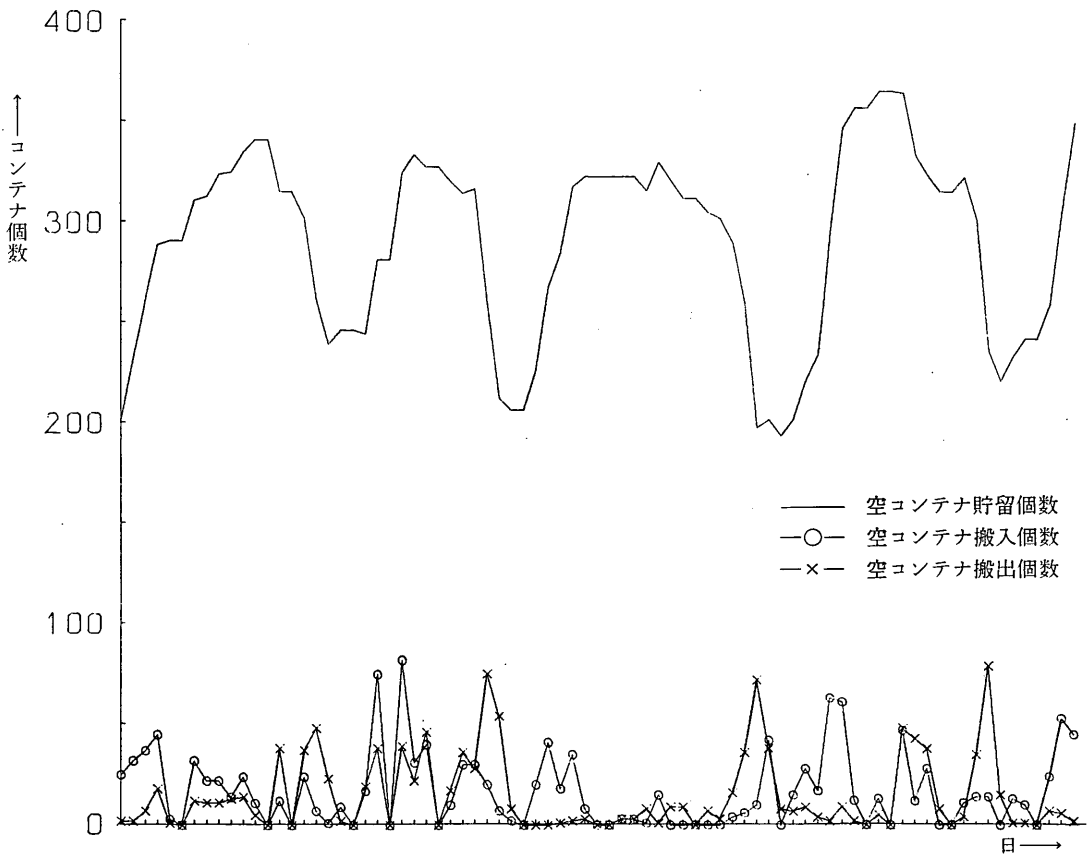


図 11 空コンテナの貯留個数および搬出入個数

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

ミナルへ戻さず直接に仕出場所へ運んだりすることも含めて、空コンテナの問題をここで一般的に取り扱うことは余りにも難かしい。将来、ターミナルの特性をすべて与えたときにのみ、それは初めて可能ではないかと思われる。

また空コンテナをヤード上に置くのは実入りコンテナを置く場合と比較すると、多段積みをしてかまわないし、下の段のコンテナをとるといような積み替えの問題も生じない。したがって、貯留個数を考察する場合には、空コンテナを実入りコンテナと同一視せずに別々に取り扱うことも今後必要になるとと思われる。

さて、実際の空コンテナの搬出入と貯留状況のターミナルAでの結果は図 11 のようであった。この場合、常に 200 個近くあるのでその分だけ差し引いてもさしつかえないと考えられるが、数社共同で使用しているターミナルなので、各社毎には、さらに数種類あるコンテナの型毎には、最低が 0 に近いとも説明されよう。

最後に、実際の空コンテナ搬出入分布を図 12.1~2 に示す。これは、ターミナルBの一般のデータであるが、図 12.2 の搬入分布については不明のコンテナが多く、68個しかわからなかった。なお、実入りコンテナの搬入は、図 12.3 に示すように、ターミナルから搬出された空コンテナを使用する以外に、C.F.S. 経由(これは当日、場合によっては翌日戻りの場合と考えてもよい)の場合と他のターミナルまたはそれに準ずる場所の空コンテナを使用している場合がある。

空コンテナの搬出入分布も、実入りコンテナ同様ターミナル毎に異なるようで、ターミナルCでは、搬出実入

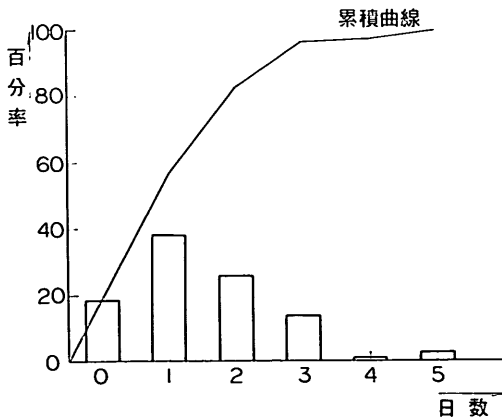
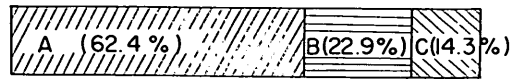


図 12.1 空コンテナの搬出分布 (空コンテナが搬出してから実入りコンテナとなって搬入するまでの所要日数)



計 266 個

- A;ターミナルから空コンを搬出して搬入
- B;外から搬入
- C;C. F. S. でVan詰め

図 12.2 搬入コンテナの仕出地

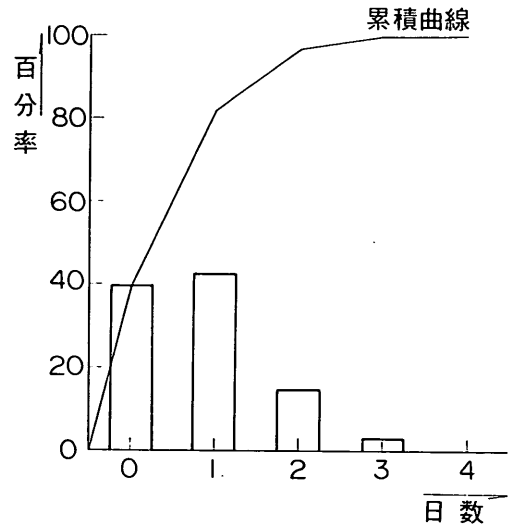


図 12.3 空コンテナの搬入分布 (実入りコンテナが搬出してから空コンテナとなって搬入するまでの所要日数)

りコンテナは 100% が当日空コンテナに戻り、搬入実入りコンテナは 60% が当日空コンテナ搬出で 40% が前日空コンテナ搬出だそうである。これは輸入貨物は東京・神奈川周辺へほとんどがいき、輸出貨物は東京・神奈川周辺が 1 日、その他遠隔地が 2 日で、その比率が 60:40 ぐらいであることを根拠にしている。

以上述べてきたように、空コンテナに関しては一つターミナルの規模だけに留まらず、多くの問題があると思われる。

1.5 コンテナ貯留個数のシミュレーション

1.1 より 1.4 までで、直接的にターミナルの規模に影響を及ぼす要因をほぼ挙げつくしたと思うが、これらを決めるとターミナルにおけるコンテナの貯留個数はどう

なるであろうか。ここでは、現在稼動しているコンテナ・ターミナルを想定してモデルを作り、その要因を与えてターミナルにおける貯留個数をみる。

1.5.1 コンテナ貯留個数に影響を及ぼす要因の決定

1.5.1a 運航特性

i 番目のコンテナ船のサイクル・タイムは平均 m_i 、標準偏差 σ_i の正規分布に従うとする。最大3日のずれがあるならば $\sigma_i=1$ とすればよい。すなわち正規分布の仮定により、最大のずれはほぼ 3σ に等しいからである。また、1.4.1 で述べたように搬入分布は航路にも影響を受けるときがあるので各船の航路も他と異なる区別ができるように決めておく。このシミュレーションを行なう電子計算機のプログラムでは、サイクル・タイムをサブ・ルーチンで求めているから、そこだけをかえることによって簡単に任意の分布に従うサイクル・タイムを作ることができる。

シミュレーションを実施したケースにおけるサイクル・タイムの値は、北米西岸およびオーストラリア航路を想定したときは $m=28$ 、北米東岸およびヨーロッパ航路を想定したときは $m=49$ とした。実際のヨーロッパ航路は $m=63$ または 70 であろうが、週に何回来るかという方に重点を置いたので船数を調節すれば大差はないと考えて共に 49 とした。

サイクル・タイムの標準偏差は $0, 0.5, 1.0$ の3ケースを行なった。

1.5.1b 一般の揚げ積み個数

これも、シミュレーション・プログラムにおいては、サブ・ルーチンで任意の分布に従わせることができる。さらに、実入りコンテナの比率も任意の分布にかえることができる。しかし、今回は揚げ積み個数は共に等しい一定値とした。その理由は、そうしないと空コンテナが溜まり過ぎたり足りなくなったりするからであり、これは任意の分布で行なうときは、平均値でならされるのでその必要はなくなる。この一定値は、在来コンテナ船を想定するときは、1,000 個積みだが、日本における他港も半分受けもつとして、揚げ積み各 500 個とした。欧州およびニューヨーク航路に就航が予定されている大型船(2,000 個積み)も、やはり、他港と半分にして、揚げ積み各 1,000 個とした。

実入りコンテナの比率も一般毎、揚げ積み毎に分布を与えておいて、乱数を用いて確率的にきめることも可能であるが、ここでは日本は原材料を輸入して製品を輸出

する国であることを考慮して積みは 100%、揚げは 80% の一定値を用いた。

1.5.1c 揚げ積みの方法

1.3 で述べた揚げ積みの方法を、本船の荷役のために一時的に必要とするヤードの広さをコンテナ個数で換算した値で表わすことにする。クレーンを複数台使用すると考えて、シミュレーション実施ケースについては、その値を 100, 300, 500 と 3 通り与えた。

1.5.1d 搬出入特性

搬出入の累積カーブまたは個々の日の搬出入個数を与える。一船一船が図 6 のように異なってもマクロ的に図 7.3~4 を得られるから、図 7.3~4 を与えればよい。船毎に異なる場合は、図 7.1~2 を各船に与えてもよい。シミュレーションを厳密に行なうには、この分布に従うような乱数をコンテナ個数だけ発生させて、図 6 のように船毎に搬出入分布をかえるべきであろう。今回はマクロ的に貯留個数を推定しようということから、各船の取り扱うコンテナの搬出入は常に同じ搬出入カーブをもつとし、それは図 7.3 と図 7.4 をもとにした。図 7.3 と図 7.4 では入港日後に搬入があるし、出港日以前も搬入があるが、コンテナ船が 2 日以上在港するのは過渡的な現象であり将来は在港時間は 1 日以内であろうと考えて入港日以後の搬入、出港日以前の搬入は考えていない。また、つづけて同一航路の船が入港するときは 1.4.1 で述べたように、前の船の入港日以前には後の船の搬入コンテナはないとした。しかし、二船の間隔が余りにも近づきすぎているときは後の船の 4 日前から搬入するようにした。

空コンテナの搬出入に関しては、他のターミナルとの相互輸送や、実入りコンテナの C.F.S. 経路を考えずに、すべて図 12.1~2 の分布に従うとした。

1.5.2 モデルの考察

1.5.1 で規模の決定に影響を及ぼす要因を一応現実の値をもとにして決めたが、その他、今回行なったケースについて述べておくべきことをあげる。

1.5.2a パース待ちに対する考察

海上コンテナ輸送では船舶の高速化、荷役作業の効率化をはかり、コンテナ船の遊休率をできるだけひき下げようとしている。将来、2,000 個積の船が揚げ積み 1,000 個づつ計 2,000 個を扱うとすると、在港時間はクレーン 3 台を仮定して、1 台が 1 時間に約 30 個のコン

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

テナを処理すれば、約 22.2 時間となり、1 日以内ですむ。参考までに、本牧 3 ターミナルと全体の接岸時間分布を図 13 に示す。また、接岸時間 1 時間あたりの平均取り扱いコンテナ数の分布を図 14 に示す。これらは、コンテナ船が少ないうえにクレーンが 1 台しかないときのデータも含んでいるので、多くの船が 1 日以上も接岸している。これらのデータには、クレーンを 3 台使用した例はないから、図 14 にある 50~55 個扱った例は 2 台のクレーンを使用したときであり、これは 3 台に換算すると 75~82.5 個となるが、この値は、2,000 個を 24 時間でとり扱うときの値 83.3 個にほぼ匹敵し、接岸時間を 1 日以内にすることは可能である。

次に、今回のシミュレーションでは、最高週 2 回の寄港をとりあつかっているが、そのとき、船がバース待ち

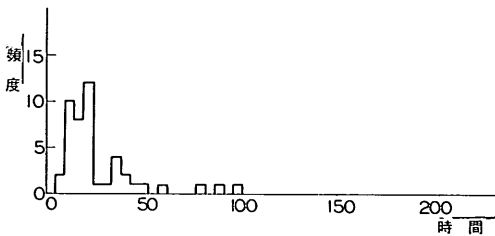


図 13.1 コンテナ船の接岸時間分布 (ターミナル A)

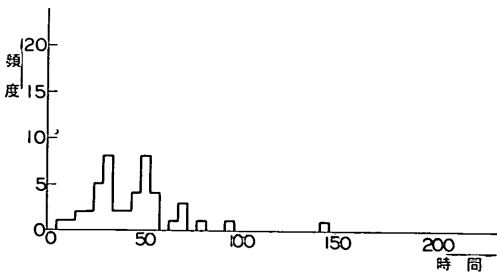


図 13.2 コンテナ船の接岸時間分布 (ターミナル B)

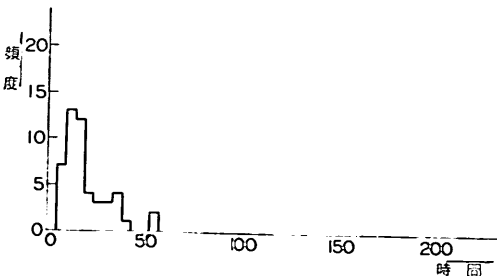


図 13.3 コンテナ船の接岸時間分布 (ターミナル C)

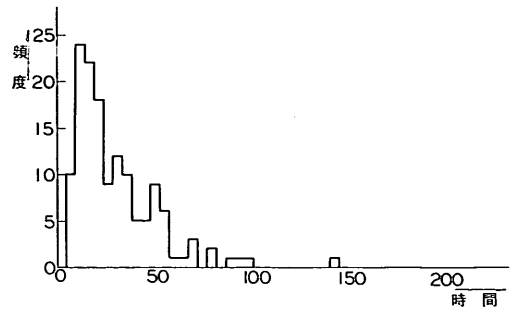


図 13.4 コンテナ船の接岸時間分布 (全体)

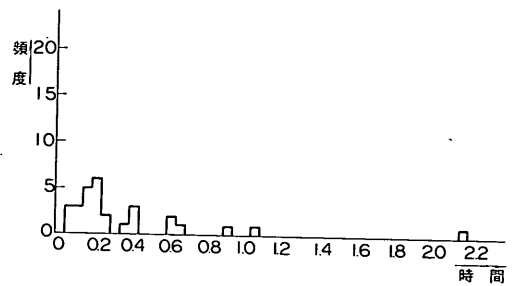


図 13.5 コンテナ船の接岸時間分布 (フィーダー・サービス)

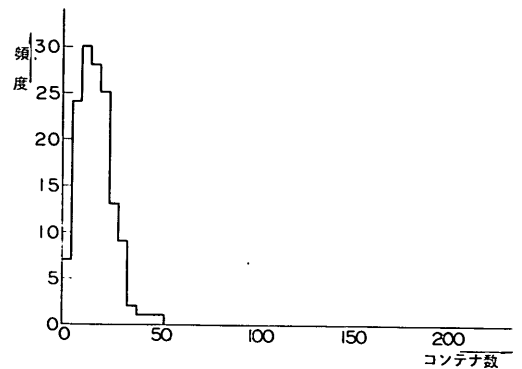


図 14 接岸時間 1 時間あたりのコンテナ取り扱い数

をする確率を評価してみる。そのために、船はランダムに入港するが、平均すると週 2 回入港し、接岸時間は 1 日であるという仮定を設ける。この仮定は、サイクル・タイムが正規分布である場合と比較すると、バース待ちをする確率を非常に大きくみている。このとき、バースの空いている確率は 0.7143 で、1 隻だけ接岸している確率は 0.2357 で、残りの 0.0500 は 1 隻接岸して他に

表 2 コンテナ埠頭の利用率

	合計時間 (A)	接岸時間		$\frac{B_1+B_2}{A}$ 利用率	$\frac{B_1}{A}$	$\frac{B_2}{A}$
		フルコンテナ (B ₁)	その他 (B ₂)			
4号 ジャパンコンテナサービス(株)	2208 h	488.72h	417.5h	0.4104	0.2213	0.1890
5号 関東郵船	5136 h	1465.60h	57.0h	0.2964	0.2853	0.0111
6号 大東運輸(株)	5136 h	716.07h	1449.5h	0.4216	0.1394	0.2822

バース待ちしている船がある確率*である。同様に週1.5回、週1回の確率を求めると、週1.5回の場合の確率は、各々、0.7857, 0.1878, 0.0265で、週1回では各々、0.8571, 0.1320, 0.0109である。今回のシミュレーションでは、船の到着は各船のサイクル・タイムを正規分布としたのでバース待ちの確率はより小になること、およびバース待ちを考慮しないので、すなわち、1ターミナルに2船以上同時に接岸すると考えたので、ターミナルの貯留個数は実際より増加する。したがって、結果の貯留個数は余裕をみていることになるので、表6.2のケースを除いて他のケースはバース待ちを考慮しなかった。

なお、上記の場合の埠頭の利用率は、各々、0.2857, 0.2143, 0.1429である。

実際の埠頭の利用率として、本牧の各ターミナルの値を表2に示す。

1.5.2b コンテナ・ヤード内の荷役方式について

このシミュレーションは、コンテナ・ターミナル内の挙動はブラック・ボックスと考え、海側からのコンテナ船によるコンテナの揚げ積みの量と、陸側の輸送機器によるコンテナの搬出入のパターンだけによって、ターミナルにおけるコンテナの貯留個数を求めるのである。ブラック・ボックスであるターミナル内については、荷役方式による必要荷役機器台数を2で行なう。さらにターミナルの特性すなわち取り扱いコンテナ数や規模をきめたときに、荷役方式に応じた必要荷役台数等のケース・スタディはこの研究にひきつづいて行なう予定である。

1.5.2c 貯留個数と搬出入個数の決定方法

貯留個数は毎日増減し、その平均値や分散で論じるだけではうまくゆかない。ここでは、少ない方では1%, 5%, 10%, 多いでは90%, 95%, 99%の限界値を求め

ている。空コンテナの場合は、はじめに与えた個数のままシミュレーションを行なっていくと、常にターミナルに空コンテナが溜っているとかが、その逆に搬出空コンテナが多いときは負になってしまうことがある。そこで、空コンテナに関しては結果を得たあとで1%限界値を0として、他の限界値およびターミナル内の総コンテナ数の補正をした。このことは、1%より小さい確率でターミナル内の空コンテナがたりなくなるわけである。いつでも貯留空コンテナが、なくならないようにすると、理論的には、無限個のコンテナを用意せねばならないし、シミュレーション結果でも、1%限界値のときよりたくさん用意せねばならない。一つの目安として1%限界値を使用したのであって、この値で不安ならば、それに若干個を加えるか、0%の値を基準にするか、これらの値を参考にしてきめるかすればよい。その場合、空コンテナの他の限界値と全体の貯留個数をかえねばならないが、それ以外の量はそのままよい。

1.5.3 シミュレーション実施ケース

すでに述べてきた方法で、シミュレーションを行ない、ターミナルの貯留個数を求めるには、対象のターミナルに必要な制約条件を設けることが必要である。そこで対象とすべきターミナルとして、次の4ケースを考える。各ケースについて、コンテナ船を増減して、週1回、週1.5回、週2回の到着を考え、その各々にサイクル・タイムの標準偏差を0日、0.5日、1日の場合、すなわち総計4×3×3回のシミュレーションを行なった。

1.5.3a ケース I

平均サイクル・タイムが28日の航路AとBに1,000個積みのコンテナ船が就航し、ターミナルにおける本船の揚げ積み個数は共に半分の500個で、積みコンテナ数に対する実入りコンテナ数の比率は1.0、揚げのときのこの比率は0.8である。コンテナ搬出入特性は、実入り

* 文献4) p. 73, 4.2.2 "M/D/1 の場合" を参照。

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 3.1 実入りコンテナの搬出入分布 (現状)

搬出日	出港日	1 日後	2 日後	3 日後	4 日後	5 日後	6 日後	7 日後
累積率	1.000	0.882	0.734	0.588	0.477	0.369	0.278	0.191
搬出日	8 日後	9 日後	10 日後	11 日後	12 日後	13 日後	14 日後	15 日後
累積率	0.123	0.078	0.064	0.048	0.029	0.020	0.015	0.010
搬出日	16 日後	17 日後	18 日後	19 日後	20 日後	21 日後	22 日後	23 日後
累積率	0.007	0.004	0.004	0.004	0.004	0.002	0.002	0.001
搬出日	24 日後	25 日後	26 日後	27 日後	28 日後	29 日後	30 日後	31 日後
累積率	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
搬入日	入港日	1 日前	2 日前	3 日前	4 日前	5 日前	6 日前	7 日前
累積率	1.000	0.946	0.869	0.727	0.597	0.510	0.437	0.378
搬入日	8 日前	9 日前	10 日前	11 日前	12 日前	13 日前	14 日前	15 日前
累積率	0.336	0.310	0.293	0.273	0.255	0.236	0.220	0.203
搬入日	16 日前	17 日前	18 日前	19 日前	20 日前	21 日前	22 日前	23 日前
累積率	0.189	0.173	0.162	0.147	0.134	0.121	0.109	0.097
搬入日	24 日前	25 日前	26 日前	27 日前	28 日前	29 日前	30 日前	31 日前
累積率	0.086	0.076	0.066	0.056	0.047	0.038	0.030	0.021
搬入日	32 日前	33 日前	34 日前	35 日前	36 日前	37 日前	38 日前	39 日前
累積率	0.013	0.005	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000

表 3.2 実入りコンテナの搬出入分布 (仮定)

搬出日	出港日	1 日後	2 日後	3 日後	4 日後	5 日後	6 日後	7 日後
累積率	1.000	0.882	0.588	0.369	0.191	0.078	0.048	0.020
搬出日	8 日後	9 日後	10 日後	11 日後	12 日後	13 日後	14 日後	15 日後
累積率	0.010	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
搬入日	入港日	1 日前	2 日前	3 日前	4 日前	5 日前	6 日前	7 日前
累積率	1.000	0.946	0.727	0.510	0.378	0.310	0.273	0.236
搬入日	8 日前	9 日前	10 日前	11 日前	12 日前	13 日前	14 日前	15 日前
累積率	0.203	0.173	0.147	0.121	0.097	0.076	0.056	0.038
搬入日	16 日前	17 日前	18 日前	19 日前	20 日前	21 日前	22 日前	23 日前
累積率	0.021	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

コンテナは図 7.3~4 (表 3.1), 空コンテナには 図 12.1~2 を使用する。搬入の際の同一航路船の扱いはすでに述べたとおりである。

1.5.3b ケース II

平均サイクル・タイムが 49 日の航路 A と B に, 2,000 個積みコンテナが就航し, ターミナルにおける本船の揚げ積み個数は共に半分の 1,000 個で, 積みコンテナ数に対する実入りコンテナの比率は 1.0, 揚げのときのこの比率は 0.8 である。搬出入特性はケース I に同じ。

1.5.3c ケース III

ケース I で, 実入りコンテナの搬出入カーブをかえただけである。(表 3.2 参照)

1.5.3d ケース IV

ケース II で, 実入りコンテナの搬出入カーブをケース III と同じものにした。

1.5.4 シミュレーションに関する問題点について

以上の各ケースとも 1 年を 365 日として 20 回シミュレーションをした。シミュレーションにおける解の収束の問題は, コンテナ個数をこまかく求めずに 50 個, または 10 個単位で求めたので精度の面からはあまり問題はない。このシミュレーション自身も, 他の複雑なシミュレーションと違い構造が簡単であるばかりか, 確率的にきめられているのは船のサイクル・タイムだけなので, 5 回, 10 回, 20 回, 100 回と試みてみたが, 100 回も 10 回もほとんど等しく, 値がかわっても 50 個または 10 個なので, 20 回ほど行なえばよいと判断した。

現実の現象と比較してみると, 現実では, 抜港, 経路変更のような人為的な運航補正をしているばかりでなく, 表 1.2 のように, ドック入りのときにも, 補正のチャンスがある。しかし, このシミュレーションプログラムでは, 船の到着がどんなに平均サイクルからずれてもある時点でそれを直すようなフィード・バック装置もっていない。そのため, 20 年間分をそのままつづけて行なうとずれがますます大きくなり, 定期サイクルに近い運航はつづけていても, その発着はばらばらになってしまうので, 1 年分が終わったところで各船の間隔を調整してシミュレーションを再開して, それを 20 回行なっている。このずれの問題については, ずれが絶対に生じないとき(サイクル・タイムの標準偏差=0)もシミュレーション結果があるので(当然このときは 20 回行なわずに 1 回だけしか行なっていない), そのときの値と, 標準偏差=0.5 のとき(まずほとんどの船のずれは 1.5 日以内である)の値と, 1.0 のとき(同じく 3 日以内)の値

を参考にさせていただきたい。シミュレーション開始および終了に関する部分, はじめの部分と最後の部分でヤード上のコンテナ貯留個数は定常になっていないので, はじめに 100 日, あとに 50 日をつけて, 515 日分を行ない, 中央の 101 日目から 465 日目までの値を使用した。

1.5.5 シミュレーション結果

シミュレーションの結果は表 4.1~12 である。

表のみかたは, ターミナルに貯留しているコンテナ数と, ターミナルのゲートを通過する搬出入コンテナ数に関して, 日平均および標準偏差を求め, さらに日毎にその値は変化するので, $365 \times 20 = 7,300$ 日の値のうち, 最小値を 0% に示し, 下から数えて 73 番目の値を 1%, 同じく 365 番目の値を 5%, 同じく 730 番目の値を 10% の欄に示し, 以下同様に 90%, 95%, 99%, 100% の値を求めた。したがって, 100% の値は最大値であり, 99% の値はそれを越える日は 1% 以下であることを意味する。また, この表ではヤード上のコンテナ数は 50 個単位に, 搬出入コンテナ数は 10 個単位にとっており, 0, 1, 5, 10% の場合は常に切下げを, 90, 95, 99, 100% の値は常に切上げを行なった。空コンテナ数については, すでに述べたように 1% の値を 0 に設定した。したがって, 0% の値は負になっているが, 稀に空コンテナが足りなくなるときがあるということであり, これは出港予定の近い船がつながってターミナルの空コンテナが実入りコンテナとなって空コンテナが不足して起こる現象である。この値を 1% におさえた理由は, このシミュレーションでは運航の調整を考えていないので, 3% ぐらいの値でも空コンテナは十分足りるのではないかと思われるからである。空コンテナの 1% 貯留値を 0 とし, 実入りコンテナ, 空コンテナおよび両方を合わせた合計の 99% の値が 図 15.1~4 である。直線, 破線, 一点鎖線は, ケース I, III については 4 隻, 6 隻, 8 隻を示し, それらが 3 本づつあるのは下からサイクルタイムの標準偏差が 0, 0.5, 1.0 を示している。

これをみると, 船の隻数が倍になっても貯留個数は倍にはならずターミナルを広くして船の隻数を多くした方が有利になることがわかる。ただし船数を多くするとバース待ちが生ずるから, 数バース連続して 1 つのターミナルをつくれればよいであろう。1 バースである限りは, 貯留個数を非常に大きくして, コンテナ船をたくさん投入してもバース待ちの方からデメリットが生じ, 大きくした意味がなくなる。したがって, 適正な規模が考えられるわけだが, これは今後の問題にしたいと思う。

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 4.1 ケース I (週 1 回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1 船の取り扱い コンテナ数		実 入 入 コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数				
			揚	積	揚	積	揚	実 入		空	
								20800	5200		
航路 A	2	28 日	500	500	0.8	1.0	揚	20800	5200		
航路 B	2	28 日	500	500	0.8	1.0	積	26000	0		
							計	46800	5200		

			平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイクルタイムの標準偏差 II 0	揚積	コンテナ数 (実入り)	283	122	100	100	100	100	500	500	500	500	
		コンテナ数 (実入り)	388	158	150	150	150	150	650	650	650	650	
	搬出	搬出	実入り	57	16	30	30	30	30	80	80	80	80
			空計	71	12	50	50	50	50	100	100	100	100
		合計	129	13	100	100	100	100	150	150	150	150	
	搬入	搬入	実入り	71	18	40	40	40	40	110	110	110	110
			空計	57	8	40	40	40	40	70	70	70	70
		合計	129	16	100	100	100	100	160	160	160	160	
	揚積の方法	100	実入り	628	83	550	550	550	550	850	850	850	850
			空計	121	39	0	0	0	0	200	200	200	200
		合計	749	85	650	650	650	650	1000	1000	1000	1000	
		300	実入り	657	148	550	550	550	550	1050	1050	1050	1050
			空計	121	39	0	0	0	0	200	200	200	200
		合計	778	154	650	650	650	650	1200	1200	1200	1200	
	500	実入り	685	216	550	550	550	550	1250	1250	1250	1250	
空計		121	39	0	0	0	0	200	200	200	200		
合計	806	224	650	650	650	650	1400	1400	1400	1400			
サイクルタイムの標準偏差 II 0.5	揚積	コンテナ数 (実入り)	283	144	0	0	50	50	500	550	650	800	
		コンテナ数 (実入り)	382	179	0	50	100	100	650	700	750	1000	
	搬出	搬出	実入り	57	22	0	0	20	30	90	100	110	130
			空計	71	22	10	20	30	40	100	110	120	160
		合計	129	22	50	70	90	90	160	170	190	230	
	搬入	搬入	実入り	71	26	10	20	20	30	110	120	140	180
			空計	57	16	0	10	30	30	80	90	100	120
		合計	129	23	60	80	90	100	170	170	190	230	
	揚積の方法	100	実入り	622	127	250	350	400	450	850	850	950	1150
			空計	339	112	-150	0	100	100	500	550	650	700
		合計	960	101	800	800	850	850	1150	1200	1300	1350	
		300	実入り	650	191	300	350	400	400	1000	1100	1200	1400
			空計	381	131	-200	0	100	150	600	650	750	850
		合計	1031	168	750	800	850	850	1400	1450	1550	1650	
	500	実入り	679	243	300	350	400	450	1200	1250	1350	2050	
空計		362	110	-100	0	100	150	550	550	600	650		
合計	1041	230	750	750	800	850	1600	1650	1750	2300			
サイクルタイムの標準偏差 II 1.0	揚積	コンテナ数 (実入り)	282	190	0	0	0	0	550	650	850	1000	
		コンテナ数 (実入り)	381	222	0	0	50	100	700	800	1000	1350	
	搬出	搬出	実入り	57	31	0	0	0	10	100	110	150	180
			空計	71	37	10	10	20	20	120	140	190	320
		合計	129	39	30	50	70	80	180	200	260	390	
	搬入	搬入	実入り	71	42	10	10	10	20	130	150	200	620
			空計	57	27	0	0	10	20	100	110	130	160
		合計	129	42	20	50	70	80	180	200	260	660	
	揚積の方法	100	実入り	620	199	200	250	300	350	900	1000	1200	1550
			空計	542	195	-200	0	150	250	850	900	1000	1100
		合計	1178	125	800	950	1000	1050	1400	1450	1600	1650	
		300	実入り	649	245	200	250	300	350	1050	1150	1350	1950
			空計	517	186	-200	0	150	200	750	850	1050	1150
		合計	1166	179	700	950	950	1000	1500	1600	1750	2200	
	500	実入り	678	297	200	250	350	350	1250	1350	1550	2400	
空計		535	197	-200	0	150	200	800	900	1000	1150		
合計	1213	258	800	900	950	950	1700	1850	2050	2750			

表 4.2 ケース I (週 1.5 回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1 船の取り扱い コンテナ数		実 入 り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積		実 入	空
航路 A	3	28 日	500	500	0.8	1.0	揚	31200	7800
							積	39000	0
航路 B	3	28 日	500	500	0.8	1.0	計	70200	7800

		平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイクルタイムの標準偏差 II 0	揚積	コンテナ数 (実入り)	424	127	200	200	200	250	600	650	650	
		コンテナ数 (実入り)	488	153	200	200	200	250	700	750	750	
	搬出	実入り	搬出	86	18	50	50	50	60	110	110	110
			空計	107	10	90	90	90	120	130	130	130
	搬入	実入り	搬入	193	22	150	150	150	220	230	230	230
			空計	107	18	70	70	70	140	140	140	140
	搬出	実入り	搬入	86	7	70	70	70	100	100	100	100
			空計	193	20	160	160	160	230	230	230	230
	搬入	実入り	搬出	386	33	330	330	330	430	440	440	440
			空計	848	82	700	700	700	1000	1050	1050	1050
	揚積の方法	100	実入り	891	160	700	700	700	1200	1250	1250	1250
			空計	151	37	0	0	0	250	250	250	250
300		実入り	999	94	900	900	900	1200	1200	1200	1200	
		空計	891	160	700	700	700	1200	1250	1250	1250	
500		実入り	151	37	0	0	0	250	250	250	250	
		空計	1041	176	900	900	900	1400	1400	1400	1400	
サイクルタイムの標準偏差 II 0.5	揚積	コンテナ数 (実入り)	424	176	0	50	100	150	700	900	1100	
		コンテナ数 (実入り)	478	215	0	50	100	150	750	900	1250	
	搬出	実入り	搬出	86	26	0	20	40	120	130	160	180
			空計	107	31	20	30	50	60	150	160	300
	搬入	実入り	搬入	193	30	90	120	140	150	230	250	380
			空計	107	37	20	30	50	60	160	170	220
	搬出	実入り	搬入	86	19	10	30	50	110	120	140	160
			空計	193	34	100	120	140	150	240	250	300
	搬入	実入り	搬出	386	59	200	260	290	310	460	490	560
			空計	837	156	400	500	600	600	1050	1150	1300
	揚積の方法	100	実入り	429	147	-150	0	100	150	650	700	750
			空計	1267	134	950	1000	1050	1100	1500	1550	1600
300		実入り	880	221	400	500	550	600	1250	1350	1450	
		空計	425	144	-200	0	100	150	650	700	750	
500		実入り	1350	197	950	1000	1050	1100	1700	1750	1800	
		空計	924	291	400	500	600	650	1450	1550	1650	
サイクルタイムの標準偏差 II 1.0	揚積	コンテナ数 (実入り)	424	223	0	0	50	100	750	850	1050	
		コンテナ数 (実入り)	467	243	0	50	100	100	850	950	1050	
	搬出	実入り	搬出	86	36	0	0	30	40	140	150	180
			空計	107	47	10	20	30	50	170	200	260
	搬入	実入り	搬入	193	54	60	90	110	130	270	300	370
			空計	107	59	10	20	20	40	180	210	320
	搬出	実入り	搬入	86	31	0	20	30	40	130	140	170
			空計	193	61	70	90	110	120	270	300	400
	搬入	実入り	搬出	386	110	140	200	240	260	520	580	750
			空計	827	223	300	400	450	550	1150	1250	1450
	揚積の方法	100	実入り	644	228	-300	0	150	250	950	1050	1150
			空計	1471	158	1050	1150	1200	1250	1750	1800	1950
300		実入り	868	274	250	400	450	550	1300	1400	1700	
		空計	530	204	-200	0	100	200	800	900	1000	
500		実入り	1397	212	850	1100	1150	1150	1750	1850	2050	
		空計	906	362	300	400	450	550	1500	1600	2150	
		650	262	-200	0	150	250	1050	1150	1350		
		1556	335	850	1100	1150	1200	2050	2250	2550		

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 4.3 ケース I (週 2 回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻 数	サイクル・ タ イ ム	1 船の取り扱い コンテナ数		実 入 り コ ン テ ナ 率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積		実 入	空
航路 A	4	28 日	500	500	0.8	1.0	揚	41600	10400
航路 B	4	28 日	500	500	0.8	1.0	積	52000	0
							計	93600	10400

		平 均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイ クル タイ ムの 標 準 偏 差 Ⅱ 0	揚積	コンテナ数 (実入り)	565	122	350	350	350	750	750	750	750	
		コンテナ数 (実入り)	597	143	350	350	350	350	850	850	850	
	搬出	実入り	搬出	114	15	80	80	80	130	130	130	130
			空計	143	8	120	120	120	160	160	160	160
	搬入	実入り	搬入	143	19	110	110	110	180	180	180	180
			空計	114	5	100	100	100	130	130	130	130
			搬出入合計	257	21	220	220	220	290	290	290	290
	揚積 の 方 法	100	実入り	514	36	450	450	450	570	570	570	570
			空計	1076	80	950	950	950	1250	1250	1250	1250
		300	実入り	128	29	0	0	0	200	200	200	200
			空計	1204	97	1100	1100	1100	1400	1400	1400	1400
		500	実入り	1133	169	950	950	950	1450	1450	1450	1450
空計			128	29	0	0	0	200	200	200	200	
		搬出入合計	1261	187	1100	1100	1100	1600	1600	1600	1600	
サイ クル タイ ムの 標 準 偏 差 Ⅱ 0.5	揚積	コンテナ数 (実入り)	565	204	50	150	250	300	850	950	1100	
		コンテナ数 (実入り)	560	233	0	50	150	200	900	1000	1100	
	搬出	実入り	搬出	114	30	10	40	60	70	160	170	190
			空計	143	41	30	60	80	90	200	220	280
	搬入	実入り	搬入	257	45	110	160	190	200	320	340	400
			空計	143	55	20	50	70	80	210	240	310
	搬入	実入り	搬入	114	23	40	60	70	80	150	160	180
			空計	257	55	130	160	180	190	320	350	460
			搬出入合計	514	93	240	340	380	410	620	670	840
	揚積 の 方 法	100	実入り	1039	177	550	650	750	800	1300	1400	1500
			空計	471	174	-200	0	100	150	750	800	900
		300	実入り	1511	155	1050	1200	1250	1300	1750	1800	1900
空計			1097	248	550	650	750	800	1500	1550	1850	
500		実入り	477	161	-150	0	150	200	700	750	850	
		空計	1570	224	1100	1250	1300	1300	1950	2000	2300	
		搬出入合計	1152	341	550	650	750	800	1700	1750		
サイ クル タイ ムの 標 準 偏 差 Ⅱ 1.0	揚積	コンテナ数 (実入り)	566	250	0	50	150	200	900	1050	1250	
		コンテナ数 (実入り)	534	245	0	50	100	200	900	1000	1150	
	搬出	実入り	搬出	115	41	0	20	40	60	170	190	220
			空計	143	62	10	30	50	70	230	270	340
	搬入	実入り	搬入	257	74	70	120	150	170	360	410	490
			空計	143	88	10	20	50	60	230	300	580
	搬入	実入り	搬入	115	35	0	30	50	60	160	180	210
			空計	257	93	80	120	150	170	350	430	710
			搬出入合計	515	157	170	250	320	350	700	800	1170
	揚積 の 方 法	100	実入り	1015	245	300	500	600	700	1350	1450	1700
			空計	652	261	-250	0	150	250	1000	1100	1300
		300	実入り	1667	187	1050	1300	1350	1400	1950	2000	2150
空計			1076	326	350	500	600	700	1550	1700	2100	
500		実入り	697	249	-450	0	200	300	1050	1100	1250	
		空計	1774	246	1150	1350	1450	1500	2150	2250	2550	
		搬出入合計	1127	416	400	500	600	650	1750	1900		
		搬出入合計	698	282	-300	0	150	250	1100	1300		
		搬出入合計	1826	354	1100	1300	1400	1450	2350	2550	2900	

表 4.4 ケースⅡ (週1回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1船の取り扱い コンテナ数		実入り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積	揚	実入	空
航路A	4	49日	1000	1000	0.8	1.0	揚	41600	10400
航路B	3	49日	1000	1000	0.8	1.0	積	52000	0
							計	93600	10400

		平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ0	揚積	コンテナ数(実入り)	565	244	200	200	200	200	1000	1000	1000	1000	
		コンテナ数(実入り)	781	317	250	250	300	300	1250	1250	1350	1350	
	搬出	実入り	空	114	32	70	70	70	70	160	160	160	160
			計	143	27	100	100	110	110	190	190	220	220
	搬入	実入り	空	143	37	80	80	90	90	210	210	240	240
			計	114	17	80	80	80	80	140	140	140	140
		搬出	計	257	34	190	190	210	210	310	310	340	340
		搬入	計	514	52	390	390	410	410	590	590	650	650
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	1247	141	1050	1050	1100	1100	1550	1500	1600	1600
			空コンテナ数	294	84	0	0	100	100	350	350	450	450
			計	1541	136	1400	1400	1400	1400	1900	1900	1900	1900
		300	実入コンテナ数	1275	200	1050	1050	1100	1100	1750	1750	1800	1800
空コンテナ数			294	84	0	0	100	100	350	350	450	450	
		計	1570	205	1400	1400	1400	1400	2100	2100	2100	2100	
500	実入コンテナ数	1304	265	1050	1050	1050	1100	1950	1950	2000	2000		
	空コンテナ数	294	84	0	0	100	100	350	350	450	450		
	計	1598	274	1400	1400	1400	1400	2300	2300	2300	2300		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ0.5	揚積	コンテナ数(実入り)	565	271	50	100	150	200	950	1050	1150	1550	
		コンテナ数(実入り)	766	341	50	150	250	300	1250	1300	1450	2000	
	搬出	実入り	空	114	39	10	30	60	70	180	180	200	250
			計	143	41	30	50	70	90	200	210	250	390
	搬入	実入り	空	143	50	30	40	70	80	210	230	280	550
			計	114	27	20	50	70	80	160	160	180	210
		搬出	計	257	46	130	170	190	200	320	340	390	650
		搬入	計	514	80	250	340	380	410	620	650	730	1170
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	1231	200	700	800	900	950	1550	1600	1700	2150
			空コンテナ数	508	177	-300	0	150	200	750	850	900	1100
			計	1739	155	1450	1500	1550	1550	2000	2100	2200	2250
		300	実入コンテナ数	1259	262	650	800	900	950	1700	1800	1950	2250
空コンテナ数			541	203	-200	0	150	200	850	900	1050	1150	
		計	1799	226	1450	1500	1550	1550	2250	2350	2500	2600	
500	実入コンテナ数	1287	303	600	800	900	950	1900	1950	2100	2400		
	空コンテナ数	474	184	-150	0	150	200	750	800	1050	1400		
	計	1762	290	1350	1450	1500	1550	2400	2450	2550	2850		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ1.0	揚積	コンテナ数(実入り)	564	342	0	0	50	100	1050	1200	1500	2000	
		コンテナ数(実入り)	765	411	0	100	150	200	1300	1450	1850	2200	
	搬出	実入り	空	114	54	0	10	10	30	190	210	250	330
			計	143	62	20	30	40	60	230	260	310	510
	搬入	実入り	空	143	72	20	30	40	50	240	270	350	1090
			計	114	44	0	10	30	50	180	200	220	290
		搬出	計	257	70	70	130	150	170	350	390	460	1170
		搬入	計	514	128	140	270	320	350	680	740	860	1810
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	1230	317	500	600	750	800	1700	1850	2100	2600
			空コンテナ数	851	318	-350	0	250	350	1300	1400	1500	1650
			計	2081	199	1450	1700	1800	1850	2400	2500	2650	3000
		300	実入コンテナ数	1259	335	500	650	750	850	1750	1900	2200	3250
空コンテナ数			773	287	-550	0	250	350	1150	1250	1450	1800	
		計	2037	252	1400	1600	1700	1750	2500	2600	2750	3250	
500	実入コンテナ数	1286	389	500	650	750	850	1900	2100	2450	3300		
	空コンテナ数	798	309	-350	0	250	350	1250	1350	1600	1750		
	計	2050	325	1400	1700	1750	1800	2700	2850	3100	3800		

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 4.5 ケースⅡ (週 1.5 回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・タイム	1船の取り扱いコンテナ数		実入りコンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積	揚	実入	空
航路A	5	49日	1000	1000	0.8	1.0	揚	59200	14800
							積	74000	0
航路B	5	49日	1000	1000	0.8	1.0	計	133200	14800

			平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%		
					揚積	揚積	揚積	揚積	揚積	揚積	揚積	揚積	揚積	揚積
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0	揚積	コンテナ数(実入り)	806	255	450	450	450	450	1200	1200	1200	1200		
		コンテナ数(実入り)	946	305	450	450	450	450	1400	1400	1500	1500		
	搬出	実入り	搬出	163	39	90	90	90	90	210	210	210	210	
			空計	204	19	180	180	180	180	230	240	260	260	
		空計	搬入	367	45	280	280	280	280	420	440	440	440	
			空計	204	37	140	140	140	140	260	260	280	280	
	搬入	実入り	搬入	163	15	130	130	130	130	180	190	200	200	
			空計	367	42	310	310	310	310	430	450	450	450	
		空計	搬出	735	68	610	610	610	610	820	850	860	860	
			空計	1610	131	1450	1450	1450	1450	1850	1850	1950	1950	
	揚積の方法	100	実入り	空コンテナ数	271	77	0	0	50	100	400	400	400	400
				空計	1881	151	1750	1750	1750	2200	2200	2200	2200	
空計			実入り	1651	204	1450	1450	1450	1450	2050	2050	2150	2150	
			空計	271	77	0	0	50	100	400	400	400	400	
300		実入り	空コンテナ数	1922	231	1750	1750	1750	2500	2500	2500	2500	2500	
			空計	1691	282	1450	1450	1450	1450	2250	2250	2350	2350	
		空計	実入り	271	77	0	0	50	100	400	400	400	400	
			空計	1962	312	1750	1750	1750	2600	2600	2600	2600	2600	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0.5		揚積	コンテナ数(実入り)	806	300	50	250	350	400	1250	1300	1500	1900	
			コンテナ数(実入り)	931	367	100	200	300	400	1400	1500	1850	2100	
		搬出	実入り	搬出	163	44	10	70	90	90	220	230	260	310
				空計	204	45	60	100	120	140	270	280	320	410
	空計		搬入	367	51	190	240	270	290	440	450	490	570	
			空計	204	56	40	90	120	130	290	300	340	470	
	搬入	実入り	搬入	163	30	40	90	110	120	200	220	240	280	
			空計	367	54	220	260	280	300	440	460	500	610	
		空計	搬出	735	94	440	520	580	610	860	900	970	1140	
			空計	1595	226	900	1100	1200	1300	1900	2000	2200	2600	
	揚積の方法	100	実入り	空コンテナ数	570	213	-250	0	150	200	850	950	1100	1250
				空計	2165	183	1800	1850	1900	1950	2450	2550	2700	2950
空計			実入り	1636	289	850	1050	1200	1250	2100	2200	2400	2900	
			空計	683	242	-250	0	250	350	1050	1100	1250	1450	
300		実入り	空コンテナ数	2319	268	1850	1950	2000	2000	2800	2900	3000	3500	
			空計	1676	359	900	1100	1200	1250	2300	2400	2650	3600	
		空計	実入り	601	237	-300	0	150	200	950	1000	1150	1350	
			空計	2277	339	1750	1850	1900	1900	2950	3050	3100	3900	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 1.0		揚積	コンテナ数(実入り)	806	400	0	50	200	250	1350	1550	1800	2400	
			コンテナ数(実入り)	920	465	50	100	200	250	1600	1800	2050	2550	
		搬出	実入り	搬出	163	61	0	20	60	80	250	270	320	390
				空計	204	75	30	50	80	100	310	340	430	650
	空計		搬入	367	78	110	200	240	260	470	510	620	890	
			空計	204	90	30	40	70	100	320	370	480	1130	
	搬入	実入り	搬入	163	50	10	40	80	90	230	250	290	350	
			空計	367	86	130	210	240	260	480	520	650	1300	
		空計	搬出	735	155	250	420	490	540	940	1010	1250	2000	
			空計	1584	355	600	800	1000	1100	2100	2250	2500	3050	
	揚積の方法	100	実入り	空コンテナ数	998	387	-350	0	250	400	1500	1650	1900	2250
				空計	2582	280	1800	2050	2150	2200	2950	3200	3350	3750
空計			実入り	1626	399	550	800	1000	1100	2200	2350	2650	3300	
			空計	977	359	-300	0	300	450	1450	1600	1800	2050	
300		実入り	空コンテナ数	2603	306	1800	2000	2100	2250	3100	3200	3450	4050	
			空計	1671	453	600	850	1000	1150	2350	2550	2950	3950	
		空計	実入り	932	340	-600	0	250	400	1400	1500	1700	2050	
			空計	2603	359	2000	2150	2250	2300	3350	3400	3500	4200	

表 4.6 ケースⅡ (週 2 回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1 船の取り扱い コンテナ数		実 入 り コ ン テ ナ 率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積	実 入	空	
航路 A	7	49 日	1000	1000	0.8	1.0	揚	83200	20800
							積	104000	0
航路 B	7	49 日	1000	1000	0.8	1.0	計	187200	20800

			平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0	揚積	コンテナ数 (実入り)	1130	245	750	750	750	750	1500	1500	1500	1500	
		コンテナ数 (実入り)	1194	286	700	700	700	700	1700	1700	1700	1700	
	搬出	実入り	搬出	229	29	170	170	170	170	260	260	260	260
			空計	286	16	250	250	250	250	310	310	310	310
		搬入	搬入	514	36	460	460	460	460	570	570	570	570
			空計	286	38	220	220	220	220	350	350	350	350
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	229	9	210	210	210	210	250	250	250	250
			空コンテナ数	514	41	450	450	450	450	570	570	570	570
		搬出入合計		1029	72	910	910	910	910	1130	1130	1130	1130
		300	実入コンテナ数	2124	117	1950	1950	1950	1950	2350	2350	2350	2350
	空コンテナ数		155	58	0	0	0	0	300	300	300	300	
	500	計		2279	150	2100	2100	2100	2100	2550	2550	2550	2550
実入コンテナ数		搬入	2181	204	1950	1950	1950	1950	2550	2550	2550	2550	
		空コンテナ数	155	58	0	0	0	0	300	300	300	300	
計		2336	240	2100	2100	2100	2100	2750	2750	2750	2750		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0.5	揚積	コンテナ数 (実入り)	1130	353	150	400	550	650	1600	1750	2000	2450	
		コンテナ数 (実入り)	1137	420	50	200	400	550	650	1750	1900	2050	2400
	搬出	実入り	搬出	229	51	50	110	140	160	300	320	360	410
			空計	285	62	70	140	180	200	370	390	460	640
		搬入	搬入	514	69	270	360	400	420	600	640	700	830
			空計	285	81	60	120	160	190	390	430	510	1200
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	229	36	80	140	170	180	280	290	320	370
			空コンテナ数	514	79	270	350	390	410	620	650	730	1370
		搬出入合計		1028	135	620	750	820	860	1200	1260	1400	2000
		300	実入コンテナ数	2067	264	1200	1450	1600	1700	2450	2550	2750	3100
	空コンテナ数		699	258	-300	0	200	300	1050	1150	1300	1500	
	500	計		2766	223	2200	2300	2400	2500	3100	3200	3350	3750
実入コンテナ数		搬入	2125	342	1250	1450	1600	1700	2650	2750	3050	3900	
		空コンテナ数	746	275	-450	0	100	200	1050	1150	1400	1600	
計		2871	306	2100	2250	2350	2400	3250	3350	3700	4150		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 1.0	揚積	コンテナ数 (実入り)	1128	458	50	200	400	500	1750	1950	2300	2750	
		コンテナ数 (実入り)	1100	496	50	150	250	400	1800	1950	2200	3100	
	搬出	実入り	搬出	228	72	10	70	100	130	330	350	400	500
			空計	285	101	50	90	130	160	410	470	610	840
		搬入	搬入	513	111	220	300	350	380	660	720	870	1220
			空計	285	137	40	80	120	140	430	510	800	1640
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	228	57	30	90	130	150	370	330	360	450
			空コンテナ数	513	138	230	290	340	370	670	740	980	1890
		搬出入合計		1027	233	500	620	720	780	1300	1430	1830	2000
		300	実入コンテナ数	2029	390	950	1150	1400	1500	2550	2750	3050	3850
	空コンテナ数		1088	439	-500	0	300	450	1650	1800	2100	2550	
	500	計		3117	330	1950	2400	2550	2700	3550	3700	3900	4350
実入コンテナ数		搬入	2081	480	750	1050	1350	1500	2750	2950	3450	4550	
		空コンテナ数	1041	420	-550	0	300	450	1600	1800	2100	2500	
計		3122	345	2200	2450	2650	2750	3600	3800	4150	5000		
500	実入コンテナ数	2136	552	700	1000	1350	1500	2900	3150	3700	5650		
	空コンテナ数	1025	428	-650	0	300	400	1600	1800	2200	2600		
計		3161	433	2100	2500	2600	2650	2850	4000	4550	5500		

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 4.7 ケースⅢ (週1回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・タイム	1船の取り扱いコンテナ数		実入り率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積	実入	空	
航路A	2	28日	500	500	0.8	1.0	揚	20800	5200
航路B	2	28日	500	500	0.8	1.0	積	26000	0
							計	46800	5200

		平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ0	揚積	コンテナ数(実入り)	183	144	0	0	0	0	450	450	450	450	
		コンテナ数(実入り)	347	174	100	100	100	100	650	650	650	650	
	搬出	搬出	実入り	57	37	10	10	10	10	120	120	120	120
			空計	71	30	30	30	30	30	120	120	120	120
	搬入	搬入	実入り	129	25	90	90	90	90	160	160	160	160
			空計	71	39	20	20	20	20	130	130	130	130
	出入合計	搬出入合計	実入り	57	21	20	20	20	20	90	90	90	90
			空計	128	32	80	80	80	80	180	180	180	180
	揚積の方法	100	実入り	257	41	170	170	170	170	310	310	310	310
			空計	488	116	350	350	350	350	750	750	750	750
			実入り	157	51	0	0	0	0	250	250	250	250
			空計	645	99	550	550	550	550	900	900	900	900
実入り			516	178	350	350	350	350	950	950	950	950	
空計			157	51	0	0	0	0	250	250	250	250	
300	300	実入り	524	166	550	550	550	550	1100	1100	1100	1100	
		空計	524	166	550	550	550	550	1100	1100	1100	1100	
		実入り	545	244	350	350	350	350	1150	1150	1150	1150	
		空計	157	51	0	0	0	0	250	250	250	250	
		実入り	702	235	550	550	550	550	1300	1300	1300	1300	
		空計	157	51	0	0	0	0	250	250	250	250	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ0.5	揚積	コンテナ数(実入り)	183	153	0	0	0	0	450	450	500	800	
		コンテナ数(実入り)	339	183	0	50	100	100	600	650	700	1000	
	搬出	搬出	実入り	57	40	0	0	0	0	120	130	140	210
			空計	71	33	10	20	20	30	120	120	130	220
	搬入	搬入	実入り	129	38	30	40	70	80	190	200	230	290
			空計	71	42	0	20	20	20	140	140	150	240
	出入合計	搬出入合計	実入り	57	28	0	0	0	10	90	100	130	160
			空計	129	39	30	50	70	80	190	210	230	280
	揚積の方法	100	実入り	257	66	70	110	150	170	360	380	420	520
			空計	479	151	100	200	250	250	750	750	850	1100
			実入り	337	125	-150	0	100	150	550	600	700	750
			空計	842	109	600	650	700	700	1050	1100	1200	1250
実入り			506	212	100	150	200	250	950	950	1050	1300	
空計			403	140	-150	0	100	150	350	400	500	650	
300	300	実入り	909	173	600	650	700	750	1300	1350	1450	1500	
		空計	506	212	100	150	200	250	950	950	1050	1300	
		実入り	536	267	100	200	250	250	1150	1150	1250	2050	
		空計	388	126	-100	0	100	150	600	600	700	750	
		実入り	924	239	550	600	650	750	1500	1550	1550	2250	
		空計	924	239	550	600	650	750	1500	1550	1550	2250	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ1.0	揚積	コンテナ数(実入り)	183	184	0	0	0	0	450	500	800	900	
		コンテナ数(実入り)	326	218	0	0	50	50	650	700	1000	1300	
	搬出	搬出	実入り	57	51	0	0	0	0	130	150	210	250
			空計	71	46	0	10	10	20	130	160	220	340
	搬入	搬入	実入り	129	58	10	20	40	50	210	240	300	430
			空計	71	55	0	0	10	20	140	160	250	600
	出入合計	搬出入合計	実入り	57	41	0	0	0	0	110	140	170	200
			空計	128	58	20	30	40	60	210	230	320	630
	揚積の方法	100	実入り	257	108	30	60	90	120	400	440	580	1030
			空計	467	221	0	100	150	200	800	900	1100	1500
			実入り	599	204	-250	0	150	250	900	950	1050	1150
			空計	1066	120	650	850	900	900	1250	1300	1450	1600
実入り			498	270	0	100	150	200	950	1030	1300	1850	
空計			575	203	-200	0	150	250	850	950	1050	1150	
300	300	実入り	1073	182	600	800	850	900	1400	1500	1600	2050	
		空計	1073	182	600	800	850	900	1400	1500	1600	2050	
		実入り	527	321	0	100	150	200	1150	1200	1500	2250	
		空計	581	222	-300	0	150	200	800	1000	1100	1250	
		実入り	1109	269	700	750	800	850	1600	1750	2000	2700	
		空計	1109	269	700	750	800	850	1600	1750	2000	2700	

表 4.8 ケースⅢ (週 1.5 回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1 船の取り扱い コンテナ数		実 入 り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積	実 入	空	
航路 A	3	28 日	500	500	0.8	1.0	揚	31200	7800
航路 B	3	28 日	500	500	0.8	1.0	積	39000	0
							計	70200	7800

			平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0	揚積	コンテナ数 (実入り)	274	132	50	50	50	50	450	500	500	500	
		コンテナ数 (実入り)	420	166	150	150	150	150	650	700	700	700	
	搬出	実入り	86	28	40	40	40	40	130	140	140	140	
			空計	107	22	60	60	60	60	140	140	140	
		搬入	実入り	107	37	50	50	50	50	150	160	160	160
				空計	86	12	60	60	60	60	110	110	110
	揚積の方法	100	実入り	630	91	500	500	500	500	800	800	800	800
			空計	136	48	0	0	0	0	250	250	250	250
		300	実入り	673	166	500	500	500	500	1000	1000	1000	1000
			空計	136	48	0	0	0	0	250	250	250	250
	500	実入り	716	245	500	500	500	500	1200	1200	1200	1200	
			空計	136	48	0	0	0	0	250	250	250	250
搬出入合計		386	56	260	260	260	300	460	470	470	470		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0.5		揚積	コンテナ数 (実入り)	275	185	0	0	0	0	500	600	800	1000
	コンテナ数 (実入り)		410	218	0	50	100	100	700	800	1000	1200	
	搬出	実入り	86	49	0	0	10	10	150	170	210	290	
			空計	107	44	20	30	40	40	160	190	230	310
		搬入	実入り	107	56	20	30	30	30	170	200	270	480
				空計	86	35	0	10	20	30	140	150	170
	揚積の方法	100	実入り	621	187	150	250	300	350	900	1000	1150	1400
			空計	518	177	-200	0	150	200	750	800	900	1050
		300	実入り	663	245	200	250	300	350	1050	1150	1300	1700
			空計	467	160	-250	0	100	200	700	750	850	1000
	500	実入り	707	313	150	250	350	400	1250	1350	1500	2100	
			空計	442	153	-300	0	100	150	650	700	800	950
搬出入合計		1149	282	700	800	850	900	1700	1750	1850	2500		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 1.0		揚積	コンテナ数 (実入り)	275	219	0	0	0	0	600	750	850	1350
	コンテナ数 (実入り)		406	243	0	0	50	100	750	850	1050	1550	
	搬出	実入り	86	61	0	0	0	10	170	210	250	370	
			空計	107	59	10	20	30	30	190	220	280	410
		搬入	実入り	107	74	10	20	20	30	200	240	310	690
				空計	86	48	0	0	10	20	160	170	210
	揚積の方法	100	実入り	617	244	150	200	250	300	1000	1100	1300	1850
			空計	645	242	-300	0	150	250	1000	1050	1200	1350
		300	実入り	658	301	100	200	250	300	1100	1250	1650	2050
			空計	568	228	-250	0	100	200	900	950	1100	1250
	500	実入り	700	395	100	200	250	300	1300	1500	2050	3050	
			空計	741	309	-200	0	200	300	1200	1400	1550	1700
搬出入合計		1441	362	750	1000	1050	1050	1950	2100	2500	3800		

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 4.9 ケースⅢ (週2回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1船の取り扱い コンテナ数		実入り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
			揚	積	揚	積	実入	空	
航路A	4	28日	500	500	0.8	1.0	揚	41600	10400
							積	52000	0
航路B	4	28日	500	500	0.8	1.0	計	93600	10400

		平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ0	揚積コンテナ数(実入り)	366	129	150	150	150	150	600	600	600	600		
	搬入コンテナ数(実入り)	494	154	200	200	200	200	750	750	750	750		
	搬出コンテナ数	実入り	114	26	80	80	80	80	170	170	170	170	
		空計	143	17	110	110	110	110	170	170	170	170	
	搬入コンテナ数	実入り	143	29	90	90	90	90	190	190	190	190	
		空計	114	10	100	100	100	100	140	140	140	140	
	搬出入合計		514	38	440	440	440	440	560	560	560	560	
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	774	87	650	650	650	650	900	900	900	900
			空コンテナ数	104	38	0	0	0	0	200	200	200	200
		計		878	99	750	750	750	750	1050	1050	1050	1050
		300	実入コンテナ数	831	171	650	650	650	650	1100	1100	1100	1100
			空コンテナ数	104	38	0	0	0	0	200	200	200	200
計		935	188	750	750	750	750	1250	1250	1250	1250		
500	実入コンテナ数	888	260	650	650	650	650	1300	1300	1300	1300		
	空コンテナ数	104	38	0	0	0	0	200	200	200	200		
計		992	278	750	750	750	750	1450	1450	1450	1450		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ0.5	揚積コンテナ数(実入り)	365	214	0	0	0	50	700	800	900	1200		
	搬入コンテナ数(実入り)	479	248	0	50	100	100	850	1000	1050	1500		
	搬出コンテナ数	実入り	114	51	0	0	20	40	200	220	260	340	
		空計	143	57	30	40	50	60	230	250	310	430	
	搬入コンテナ数	実入り	143	75	20	30	40	50	240	290	370	700	
		空計	114	40	0	20	40	60	170	180	220	260	
	搬出入合計		514	120	190	280	340	370	670	720	850	1470	
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	759	216	200	300	400	450	1050	1150	1350	1750
			空コンテナ数	553	208	650	0	150	200	850	900	1050	1200
		計		1311	183	750	950	1000	1050	1600	1600	2300	2000
		300	実入コンテナ数	817	283	200	300	400	500	1250	1350	1650	2050
			空コンテナ数	550	195	-200	0	150	200	850	900	1000	1150
計		1367	244	850	950	1050	1100	1750	1800	2100	2500		
500	実入コンテナ数	872	377	200	350	400	450	1450	1550	2100	3100		
	空コンテナ数	615	199	-250	0	200	300	900	950	1050	1150		
計		1488	332	750	1000	1100	1150	2050	2100	2600	3300		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ1.0	揚積コンテナ数(実入り)	367	243	0	0	0	0	750	850	1050	1550		
	搬入コンテナ数(実入り)	468	254	0	50	100	100	850	1000	1100	1550		
	搬出コンテナ数	実入り	115	67	0	0	10	20	210	240	300	420	
		空計	143	71	10	20	40	50	240	280	350	530	
	搬入コンテナ数	実入り	143	99	10	20	30	40	260	300	560	930	
		空計	115	53	0	0	20	40	190	210	250	320	
	搬出入合計		515	186	70	180	260	300	740	850	1170	1820	
	揚積の方法	100	実入コンテナ数	749	264	150	250	350	400	1100	1250	1500	2050
			空コンテナ数	738	295	-300	0	150	250	1150	1200	1450	1600
		計		1487	229	800	1000	1100	1150	1800	1900	2050	2550
		300	実入コンテナ数	809	359	150	250	300	400	1300	1500	1900	2650
			空コンテナ数	749	279	-450	0	250	300	1150	1250	1350	1500
計		1858	266	900	1100	1150	1250	1950	2100	2400	3050		
500	実入コンテナ数	864	448	150	200	300	350	1500	1700	2300	3550		
	空コンテナ数	841	329	-400	0	200	350	1300	1450	1700	1900		
計		1705	390	900	1050	1150	1250	2250	2500	2850	3450		

表 4.10 ケースIV (週1回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1船の取り扱い コンテナ数		実入り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数				
			揚	積	揚	積	揚	実入	空	積	計
航路A	4	49日	1000	1000	0.8	1.0		41600	10400		
航路B	3	49日	1000	1000	0.8	1.0		52000	0		
								93600	10400		

	平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
											サイクルタイムの標準偏差II.0
	コンテナ数(実入り)	676	353	150	150	200	250	1250	1250	1300	
搬出	実入り	114	73	20	20	20	20	240	240	240	
	空計	143	62	40	40	60	60	230	230	270	
搬入	実入り	143	82	30	30	50	50	260	260	310	
	空計	114	41	50	50	50	50	170	170	170	
搬出入合計		257	52	160	160	170	180	310	320	350	
揚積の方法	100	実入りコンテナ数	942	213	600	600	650	700	1350	1350	1400
		空コンテナ数	315	114	0	0	50	50	500	500	550
300	実入りコンテナ数	1258	168	1050	1050	1050	1050	1650	1650	1650	
	空コンテナ数	971	268	600	600	650	700	1550	1550	1600	
500	実入りコンテナ数	315	114	0	0	50	50	500	500	550	
	空コンテナ数	1286	233	1050	1050	1050	1050	1850	1850	1850	
揚積の方法	500	実入りコンテナ数	999	329	600	600	650	700	1750	1750	1800
		空コンテナ数	315	114	0	0	50	50	500	500	550
		計	1315	300	1050	1050	1050	2050	2050	2050	
サイクルタイムの標準偏差II.0.5	揚積コンテナ数(実入り)	366	298	0	0	0	850	850	900	1550	
	コンテナ数(実入り)	663	361	0	100	200	200	1200	1250	1300	
搬出	実入り	114	77	0	0	0	20	240	250	260	
	空計	143	66	20	40	50	60	230	250	290	
搬入	実入り	258	71	70	130	160	170	360	390	450	
	空計	143	86	20	30	40	50	270	280	330	
搬出入合計	実入り	114	50	0	10	20	30	170	180	210	
	空計	257	78	90	120	150	160	370	410	470	
揚積の方法	100	実入りコンテナ数	515	122	190	280	320	360	700	740	840
		空コンテナ数	929	256	300	400	500	550	1350	1400	1450
300	実入りコンテナ数	556	203	-450	0	150	250	850	900	1050	
	空コンテナ数	1485	176	1100	1200	1250	1250	1800	1900	1950	
500	実入りコンテナ数	959	314	250	400	500	550	1550	1600	1650	
	空コンテナ数	592	227	-300	0	150	200	900	1000	1150	
揚積の方法	500	実入りコンテナ数	1551	243	1150	1200	1250	1300	2000	2050	2250
		空コンテナ数	987	360	300	400	500	600	1750	1800	1850
		計	528	223	-300	0	100	200	850	950	1200
		計	1515	319	1050	1100	1150	1200	2150	2250	2400
サイクルタイムの標準偏差II.1.0	揚積コンテナ数(実入り)	366	345	0	0	0	850	900	1300	1850	
	コンテナ数(実入り)	653	410	0	50	100	150	1200	1350	1750	
搬出	実入り	114	95	0	0	0	0	240	270	380	
	空計	143	83	10	20	40	50	250	280	380	
搬入	実入り	258	98	40	70	100	140	390	440	530	
	空計	143	100	0	20	30	40	280	320	450	
搬出入合計	実入り	114	73	0	0	0	10	200	250	310	
	空計	257	99	40	80	120	140	400	440	540	
揚積の方法	100	実入りコンテナ数	515	179	90	160	240	290	760	830	1010
		空コンテナ数	919	367	100	250	350	450	1450	1550	1900
300	実入りコンテナ数	979	363	-400	0	300	450	1500	1600	1750	
	空コンテナ数	1898	234	1250	1450	1550	1600	2300	2400	2500	
500	実入りコンテナ数	956	394	200	300	400	500	1550	1700	2050	
	空コンテナ数	913	328	-850	0	300	400	1350	1450	1650	
揚積の方法	500	実入りコンテナ数	1869	268	1100	1400	1500	2300	2500	2600	3150
		空コンテナ数	981	443	200	300	400	450	1750	1850	2250
		計	897	329	-400	0	250	400	1350	1450	1600
		計	1878	325	1200	1350	1450	1550	2500	2650	2850

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 4.11 ケースIV (週 1.5回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タ入ム	1船の取り扱い コンテナ数		実入り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数								
			揚	積	揚	積	揚	実入	空	積	計				
航路A	5	49日	1000	1000	0.8	1.0	揚	59200	14800	積	74000	0	計	133200	14800
航路B	5	49日	1000	1000	0.8	1.0									

	平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%			
			サイクルタイムの標準偏差II0	揚積コンテナ数(実入り)	522	265	150	150	150	150	900	900	1000
	揚積コンテナ数(実入り)	820	335	300	300	350	350	1250	1250	1350	1350		
サイクルタイムの標準偏差II0	搬出	搬出 実入り	163	58	90	90	90	90	260	260	270	270	
		搬出 空計	204	46	130	130	130	130	260	270	280	280	
		搬出 合計	367	75	250	250	250	250	440	450	510	510	
		搬入	搬入 実入り	204	76	100	100	100	100	300	300	310	310
			搬入 空計	163	22	120	120	120	120	190	200	210	210
			搬入 合計	367	82	260	260	260	260	470	480	490	490
	揚積の方法	100	実入りコンテナ数	1199	143	1000	1000	1000	1450	1450	1500	1500	
			空コンテナ数	306	87	0	0	100	150	450	450	450	450
		300	実入りコンテナ数	1240	212	1000	1000	1000	1650	1650	1700	1700	
			空コンテナ数	306	87	0	0	100	150	450	450	450	450
		500	実入りコンテナ数	1280	287	1000	1000	1000	1850	1850	1900	1900	
			空コンテナ数	306	87	0	0	100	150	450	450	450	450
計	1586	318	1350	1350	1350	1350	2250	2250	2250	2250			
サイクルタイムの標準偏差II0.5	搬出	搬出 実入り	521	318	0	0	50	50	900	1000	1300	1650	
		搬出 空計	800	379	50	150	200	250	1250	1350	1700	2100	
		搬出 合計	163	80	0	0	20	20	270	280	380	480	
		搬入	搬入 実入り	204	71	40	60	80	100	290	300	380	470
			搬入 空計	367	88	90	190	210	240	490	520	580	690
			搬入 合計	204	94	40	60	60	70	310	330	410	550
	揚積の方法	100	実入りコンテナ数	1180	275	400	550	700	800	1550	1600	1900	2300
			空コンテナ数	700	287	-400	0	200	250	1100	1200	1400	1700
		300	実入りコンテナ数	1879	243	1350	1450	1500	1550	2250	2350	2600	2800
			空コンテナ数	1220	336	400	550	700	800	1700	1800	2050	2750
		500	実入りコンテナ数	776	289	-300	0	200	300	1150	1250	1400	1750
			空コンテナ数	1996	306	1350	1450	1550	1600	2500	2650	2800	3000
計	1259	404	450	600	700	800	1900	2000	2300	3100			
	860	287	-650	0	300	450	1250	1350	1500	1800			
	2119	371	1400	1500	1650	1750	2750	2900	3100	3800			
サイクルタイムの標準偏差II1.0	搬出	搬出 実入り	522	388	0	0	0	0	1050	1200	1600	2250	
		搬出 空計	798	447	0	100	150	250	1350	1600	2000	2950	
		搬出 合計	163	105	0	0	0	20	300	360	440	620	
		搬入	搬入 実入り	204	98	30	50	60	70	320	380	470	770
			搬入 空計	367	116	70	110	190	220	520	570	680	980
			搬入 合計	204	122	30	40	60	60	340	410	540	1310
	揚積の方法	100	実入りコンテナ数	1178	385	300	450	600	650	1700	1900	2250	3150
			空コンテナ数	1068	439	-400	0	250	450	1650	1850	2100	2500
		300	実入りコンテナ数	2245	343	1200	1500	1700	1800	2750	2900	3150	3700
			空コンテナ数	1216	486	300	400	550	650	2000	2250	2750	3750
		500	実入りコンテナ数	1240	436	350	0	300	500	1750	1950	2250	2500
			空コンテナ数	2456	344	1400	1700	1800	1850	3050	3250	3600	4400
計	1259	527	300	400	550	650	2000	2250	2750	3750			
	1162	456	-650	0	300	500	1750	1950	2250	2500			
	2420	444	1400	1700	1800	1850	3050	3250	3600	4400			

表 4.12 ケースIV (週2回) 滞留個数のシミュレーション結果

	隻数	サイクル・ タイム	1船の取り扱い コンテナ数		実入り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数				
			揚	積	揚	積	揚	実入	空	計	
航路A	7	49日	1000	1000	0.8	1.0		83200	20800		
航路B	7	49日	1000	1000	0.8	1.0		104000	0		
								187200	20800		

	平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%
			サイクルタイムの標準偏差II 0	揚積コンテナ数 (実入り)	731	258	300	300	300	300
	揚積コンテナ数 (実入り)	988	307	450	450	450	450	1450	1450	1450
搬出	実入り	228	52	160	160	160	160	340	340	340
	空計	286	34	220	220	220	220	330	330	330
搬入	実入り	286	57	190	190	190	190	370	370	370
	空計	229	20	200	200	200	200	270	270	270
	出入合計	514	54	440	440	440	440	590	590	590
揚積の方法	100	実入コンテナ数	1519	135	1300	1300	1300	1700	1700	1700
		空コンテナ数	159	75	0	0	0	300	300	300
	300	実入コンテナ数	1678	154	1500	1500	1500	1950	1950	1950
		空コンテナ数	1576	214	1300	1300	1300	1900	1900	1900
	500	実入コンテナ数	159	75	0	0	0	300	300	300
		空コンテナ数	1735	242	1500	1500	1500	2150	2150	2150
		計	1633	299	1300	1300	1300	2100	2100	2100
			159	75	0	0	0	300	300	300
			1792	331	1500	1500	1500	2350	2350	2350
サイクルタイムの標準偏差II 0.5	揚積コンテナ数 (実入り)	731	372	0	50	150	200	1200	1350	1650
	揚積コンテナ数 (実入り)	961	439	50	150	250	350	1600	1700	2050
搬出	実入り	228	95	0	20	90	110	360	400	480
	空計	286	91	60	90	120	160	410	450	510
搬入	実入り	514	105	190	290	340	380	660	690	790
	空計	286	119	50	70	110	120	440	480	580
揚積の方法	100	実入コンテナ数	228	65	0	70	120	140	320	340
		空コンテナ数	514	114	160	280	330	360	660	700
	300	実入コンテナ数	1028	190	400	610	720	790	1270	1350
		空コンテナ数	1492	331	500	750	950	1050	1950	2100
	500	実入コンテナ数	838	316	-450	0	200	300	1250	1350
		空コンテナ数	2338	258	1650	1800	1900	1950	2700	2800
		計	1552	393	400	700	950	1050	2100	2250
		空コンテナ数	884	322	-500	0	300	400	1300	1450
		計	2436	327	1600	1850	1950	2000	2950	3050
		実入コンテナ数	1606	485	550	700	900	1050	2300	2500
		空コンテナ数	837	330	-450	0	200	350	1300	1400
		計	2444	420	1550	1750	1900	2000	3100	3250
サイクルタイムの標準偏差II 1.0	揚積コンテナ数 (実入り)	731	469	0	50	100	1450	1600	1950	2500
	揚積コンテナ数 (実入り)	947	515	50	100	200	250	1700	1950	2100
搬出	実入り	228	128	0	0	20	40	410	460	570
	空計	286	133	50	70	90	110	470	520	670
搬入	実入り	514	158	100	210	290	330	720	810	990
	空計	285	180	40	60	70	80	500	570	1060
揚積の方法	100	実入コンテナ数	229	97	0	30	60	100	360	400
		空コンテナ数	514	183	130	210	280	320	730	810
	300	実入コンテナ数	1028	312	270	460	610	690	1410	1560
		空コンテナ数	1478	464	450	600	750	850	2100	2300
	500	実入コンテナ数	1431	514	-900	0	450	700	2100	2250
		空コンテナ数	2909	390	1550	2050	2250	2350	3450	3550
		計	1537	555	400	500	700	850	2300	2600
		空コンテナ数	1293	527	-350	0	350	550	1000	2200
		計	2830	430	1450	1950	2200	2300	3450	3600
		実入コンテナ数	1593	625	400	550	700	850	2450	2750
		空コンテナ数	1342	521	-550	0	400	600	2050	2200
		計	2935	513	1600	2100	2250	2300	3700	3950

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

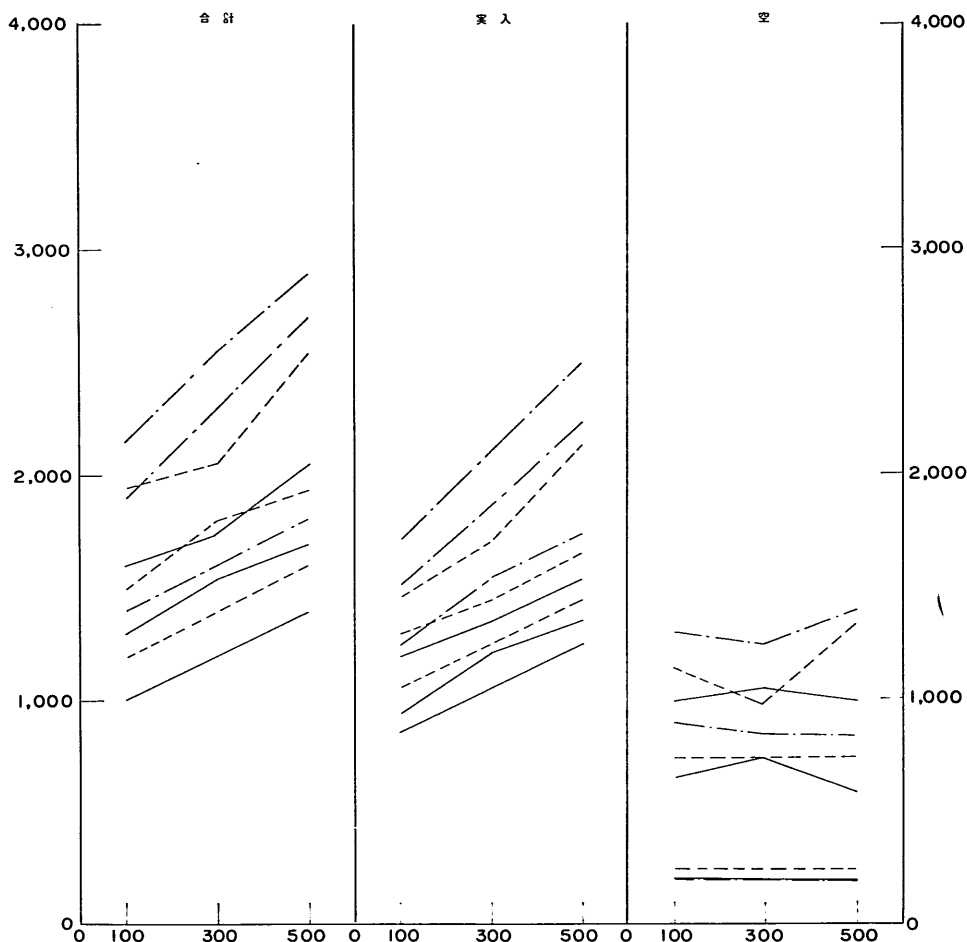


図 15.1 シミュレーション結果 (ケース I)

実入りコンテナの搬出入分布は、今回行なったケース I と III, II と IV においてはあまり結果はかわっていません。試験的に行なったシミュレーションの結果（直線近似で行なった場合でプログラムのチェックのために行なった）ほどにはきいてこなかった。

それに反して、サイクル・タイムの標準偏差は貯留個数に非常に影響を及ぼす。これは、船がつづけて入ってくれば揚げコンテナも積みコンテナも倍近く溜るから当然といえよう。この結果からコンテナ船の運航計画はいかに重要かわかり、抜港や寄港地の順序変更等の処置はもっともであるとうなずかれる。

空コンテナの貯留個数は予測もつかなかったが、揚げ

積みの方法にあまり関係しないようである。

揚げ積みの方は実入りコンテナに関しては、揚げ積みの際仮置される量の差だけの差が出ており、もっともな結果である。ただし、週 2 回到着するときでサイクル・タイムの標準偏差が 1 のときはこの差が仮置される量の差の倍になっている。これは同じ日に船が 2 隻到着することから起こるのであり、1.5.2a からわかるようにこの確率は 5% 以下であることから、この場合は 99% の値を使うより、95% の値を用いた方が適切であろう。パス待ちが 5% 近く生ずるかということ、実際には生じないようにコントロールされて船が到着すると考えた方が自然と思われる。

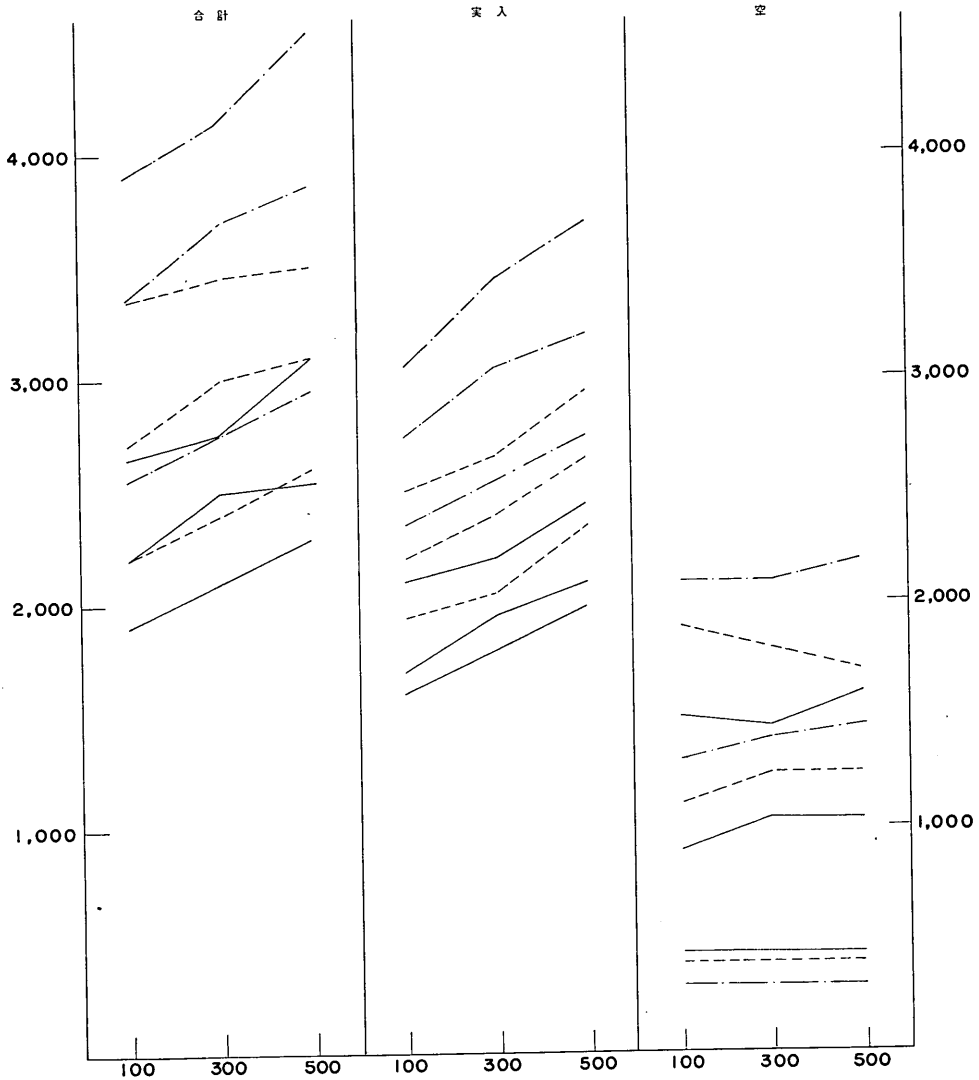


図 15.2 シミュレーション結果 (ケースII)

この種のグラフを、運航特性、航路、一船のコンテナ扱い個数、搬出入分布等をいろいろとかえて作成し、ある一つの立場をとると、いいかえればある評価基準をきめると、どのようなときに最適かということが決定できるであろう。しかし、まえがきでも述べたように一般的にそれらを論ずるには限界があり、今後は、一つのターミナルを設定し、その環境を考慮した上で、評価基準を設定し、最適な姿を求めるという方向をとっていくこと

になろう。

1.5.6 シミュレーション結果と現実との比較

シミュレーションによって実際現象をどこまでシミュレートできるか、現実のデータを入力とするシミュレーションを実施してみた。しかし、コンテナ・ターミナルはまだ完全に安定した状態になっているわけではなく、過渡期にあると思われるから、現実のデータといっても

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

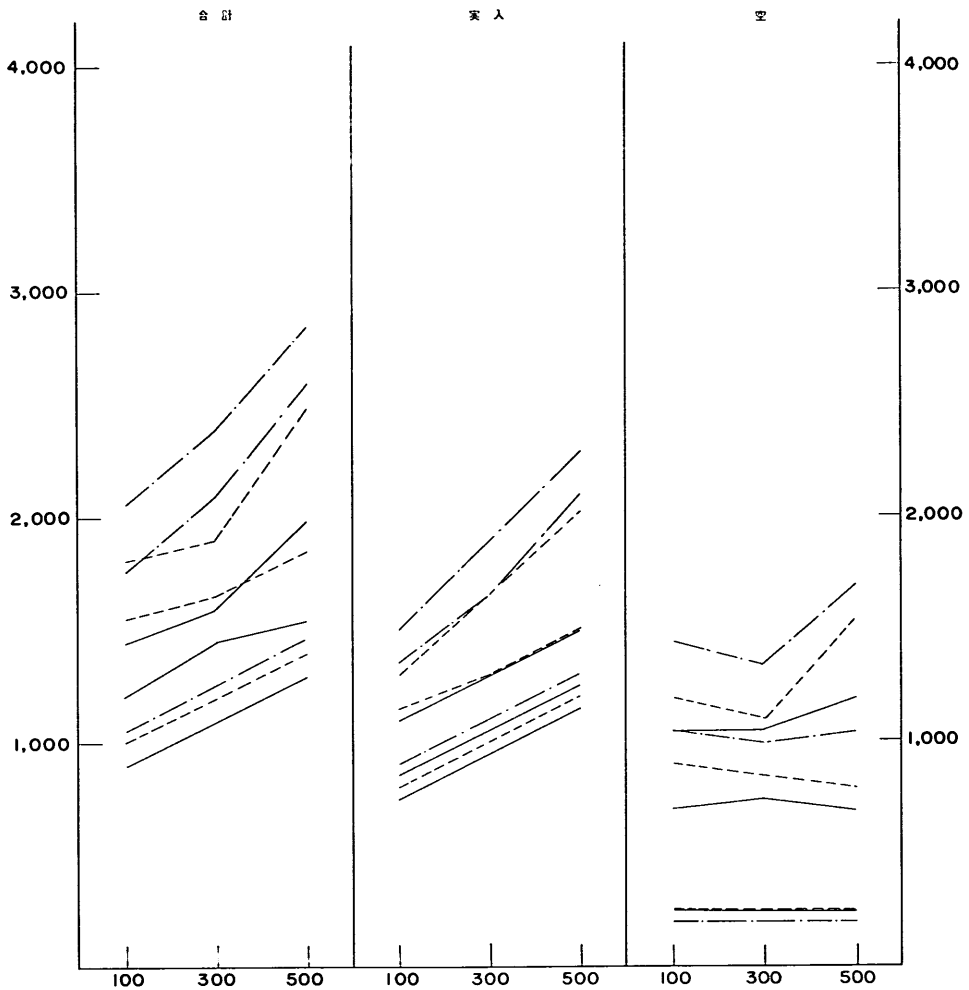


図 15.3 シミュレーション結果 (ケースⅢ)

限度がある。ここでは、最も安定した状態にあると思われるターミナルAの最新のデータを使用してみた。

コンテナ船は、49日サイクルで同一航路の14隻を想定、すなわち週2回のサービスを考える。各船のコンテナの揚げ積み個数は250個であるが、揚げはすべて空コンテナで積みはすべて実入りコンテナである。

揚げ積みの方法は甲板上のコンテナを揚げたから、船艙のコンテナをデュアルで行ない、最後にまた甲板上へ

積むという方法をとっている。したがって、仮置きコンテナ数を37個とし、2クレーンで作業することから最大74個の仮置きを考えた。

実入りコンテナの搬入分布は、表5を用い、空コンテナの搬出は実入りコンテナ搬入日1日前が40%、当日60%のターミナル関係者による値を用いた。実入りコンテナの搬出と空コンテナの搬入は、揚げの実入りコンテナが0なのでこの場合関係ない。

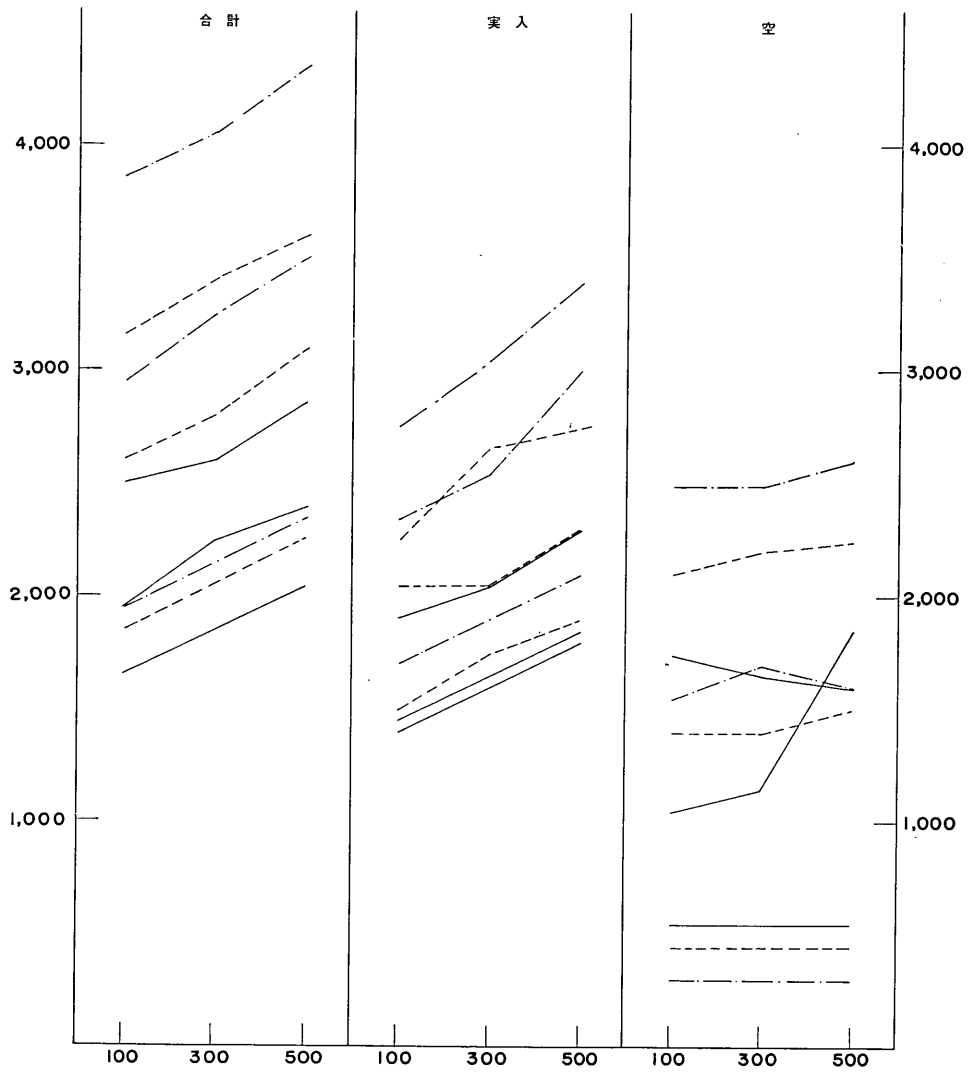


図 15.4 シミュレーション結果 (ケースIV)

表 5 実入りコンテナの搬入分布

搬入日	7日前	6日前	5日前	4日前	3日前	2日前	1日前	入港日
集貨率	0.017	0.016	0.060	0.049	0.182	0.268	0.232	0.176
累積率	0.017	0.033	0.093	0.142	0.324	0.592	0.824	1.000

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

表 6.1 シミュレーション結果 (バース待ちを考慮しない場合) 滞留個数のシミュレーション結果

隻数	サイクル・ タイム	1船の取り扱い コンテナ数		実入り コンテナ率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
		揚	積	揚	積	実入	空	
14	49日	250	250	0.0	1.0	揚	0	26000
						積	26000	0
						計	26000	26000

			平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0	揚コンテナ数 (実入り)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	積コンテナ数 (実入り)		144	71	0	0	0	0	250	250	250	250	
	搬出入コンテナ数	搬出	実入り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			空計	71	9	50	50	50	50	90	90	90	90
		搬入	実入り	71	13	40	40	40	40	100	100	100	100
			空計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	搬出入合計		71	13	40	40	40	40	100	100	100	100	
	揚積の方法	74	実入コンテナ数	143	21	110	110	110	110	180	180	180	180
			空コンテナ数	166	100	0	0	0	0	350	350	350	350
			計	199	73	0	0	0	0	350	350	350	350
		計	364	146	250	250	250	650	650	650	650		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 0.5	揚コンテナ数 (実入り)		0	0	0	0	0	0	400	400	400	100	
	積コンテナ数 (実入り)		145	94	0	0	0	0	250	300	400	550	
	搬出入コンテナ数	搬出	実入り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			空計	71	27	0	10	20	30	120	120	140	190
		搬入	実入り	71	31	0	0	10	20	120	130	140	200
			空計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	搬出入合計		71	31	0	0	10	20	120	130	140	200	
	揚積の方法	74	実入コンテナ数	143	57	0	20	30	50	230	240	270	390
			空コンテナ数	166	123	0	0	0	0	350	400	500	650
			計	333	112	-150	0	50	100	500	550	550	600
		計	499	161	350	350	350	750	800	850	1150		
サイクルタイムの標準偏差Ⅱ 1.0	揚コンテナ数 (実入り)		0	0	0	0	0	0	400	450	500	100	
	積コンテナ数 (実入り)		144	113	0	0	0	0	300	400	450	650	
	搬出入コンテナ数	搬出	実入り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			空計	71	37	0	0	10	20	130	140	180	210
		搬入	実入り	71	40	0	0	0	10	130	140	180	230
			空計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	搬出入合計		71	40	0	0	0	10	130	140	180	230	
	揚積の方法	74	実入コンテナ数	143	77	0	0	20	30	250	280	350	440
			空コンテナ数	166	143	0	0	0	0	400	450	600	900
			計	452	150	-300	0	100	200	650	700	750	750
		計	618	184	450	450	450	900	950	1200	1600		

表 6.2 シミュレーション結果 (バース待ちを考慮した場合) 滞留個数のシミュレーション結果

隻数	サイクル・タイム	1船の取り扱いコンテナ数		実入り率		ターミナル年間取り扱いコンテナ数		
		揚	積	揚	積	実入	空	
14	49日	250	250	0.0	1.0	揚	0	26000
						積	26000	0
						計	26000	26000

			平均	標準偏差	0%	1%	5%	10%	90%	95%	99%	100%	
サイクルタイムの標準偏差II.0	揚コンテナ数(実入り)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	積コンテナ数(実入り)		144	71	0	0	0	0	250	250	250	250	
	搬出入コンテナ数	搬出	実入り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			空	71	9	50	50	50	50	90	90	90	90
			計	71	9	50	50	50	50	90	90	90	
	搬入	搬入	実入り	71	13	40	40	40	40	100	100	100	100
			空	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			計	71	13	40	40	40	40	100	100	100	
	搬出入合計			143	21	110	110	110	110	180	180	180	180
	揚積の74	方法	実入コンテナ数	166	100	0	0	0	0	350	350	350	350
空コンテナ数			199	73	0	0	0	0	350	350	350	350	
		計	364	146	250	250	250	250	650	650	650	650	
サイクルタイムの標準偏差II.0.5	揚コンテナ数(実入り)		0	0	0	0	0	0	400	400	400	100	
	積コンテナ数(実入り)		145	84	0	0	0	0	250	300	350	350	
	搬出入コンテナ数	搬出	実入り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			空	71	24	0	10	20	30	110	120	130	130
			計	71	24	0	10	20	30	110	120	130	
	搬入	搬入	実入り	71	27	0	10	10	40	110	120	130	140
			空	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			計	71	27	0	10	10	40	110	120	130	
	搬出入合計			143	50	0	30	40	70	220	230	240	260
	揚積の74	方法	実入コンテナ数	166	112	0	0	0	0	350	400	400	400
空コンテナ数			283	102	-50	0	50	50	450	500	500	550	
		計	449	153	300	300	300	300	700	750	800	850	
サイクルタイムの標準偏差II.0	揚コンテナ数(実入り)		0	0	0	5	0	0	400	450	500	100	
	積コンテナ数(実入り)		144	92	0	0	0	0	300	300	350	350	
	搬出入コンテナ数	搬出	実入り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			空	71	31	0	0	10	20	120	130	130	130
			計	71	31	0	0	10	20	120	130	130	
	搬入	搬入	実入り	71	33	0	0	10	10	120	130	130	140
			空	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			計	71	33	0	0	10	10	120	130	130	
	搬出入合計			143	63	0	0	30	40	230	240	260	260
	揚積の74	方法	実入コンテナ数	165	120	0	0	0	0	400	400	400	400
空コンテナ数			399	130	-50	0	100	150	600	650	700	700	
		計	564	165	400	400	400	400	850	900	950	1000	

C.F.S. 経由コンテナは0とした。

なお、同一航路船の積み残しのコンテナは、続いた日に2船入る場合を除いては本船取り扱いの5%以下になっているが、続いた日に2船入るときは各々とも独立に荷が集るようである。もっとも、この表5は7船の集計で、そのうち2船は幾分タイプの異なるコンテナ船なので、あまりはっきりと断定はできない。また、積みコンテナの搬入で問題となる同一航路の場合の処置は省いた。

この結果が表 6.1 である。総貯留コンテナ数の99%値は、サイクルの標準偏差 0, 0.5, 1.0 に応じて、650, 850, 1200 であり、95% 値は、各々 650, 800, 950 であった。空コンテナは1%の値を0に採用している。

週2回では、バース待ちが生ずる可能性もあるので、このシミュレーションにおいては、バース待ちも考慮してみた。その結果が表 6.2 である。これを見ると、99%値で、サイクルの標準偏差に応じて各々 650, 750, 900 で、95%値で、各々 600, 750, 900 である。

これらの値は、このターミナルの規模をコンテナ個数に換算した値、約700個に見合う値であり、現状では規模に関しては丁度よいが、揚げがはじまったら狭くなるのではないかという、ターミナル関係者の話と一致しており、うまく現実をシミュレートしていることがわかる。

2. コンテナ・ターミナルにおける荷役方式

2では、1においてブラック・ボックスであったターミナル内の荷役について考察する。

ターミナルにおける荷役方式は、コンテナ・クレーン(図 16.1)を使用する場合は、シャーシー方式、セミ・シャーシー方式、ストラドル・キャリア方式の3方式が、現在採用されている。各方式とも一長一短があり決



図 16.1 ヤード上の荷役機械(コンテナ・クレーン)

定的な方式とはいえないようで、各ターミナル毎に荷役方式は異なっている。将来建設されるコンテナ埠頭の荷役方式はこれらとも異なる方式*も考えられており、まだ定着した考えはないのが現状である。

これらの他に、ロール・オン・オフ式の荷役方法もあるが、これは船価が高くつくりには積載容量は大きくなく、今回の考察からは外した。小さな港でもコンテナを取り扱うようになるとフェリーによるコンテナのロール・オン・オフ荷役も考慮されねばならないであろう。また、フォーク・リフトを使用する場合もあるが、これはコンテナ化の過渡期にあらわれた一現象で、将来はC.F.S. 経由の小口貨物の取り扱いに使用されるぐらいで、リフト・オン・オフのコンテナ荷役においては空コンテナの取り扱い等ほんの一部でしか使われなくなるであろう。

2においては、現状の3荷役方式についてのみ考察する。将来荷役形態が変わるであろうときに備えて、新方式の能率がわかればそれと在来3荷役方式と大まかにでも比較ができるように、したがってどの方式が最も有利になるかある程度の判断ができるようにしたいと思う。経済面からみた最適の方式の決定は、具体的なターミナルについて行なう必要が生じるがここでは経済的な面からの考察は行っていない。

2.1 現行の荷役方式

2.1.1 シャーシー方式**

ヤードに貯留するコンテナは、シャーシー方式では直接地面の上に置かれず、シャーシーの上に置かれる(図 16.2)。この方式は、シャーシーとそれを牽くトラクター、および2における3荷役方式に共通に必要なコンテナ・クレーン以外の荷役機器を必要としない。すなわち、積みの場合、内陸からコンテナを積んだシャーシーをトラクターが牽いてターミナルに入り、指定された置場所へコンテナを積んだシャーシーを置いていく。そして、本船荷役のときに、ヤード・トラクターがそのコンテナを積んだシャーシーを牽いてコンテナ・クレーンの下へ運び、コンテナだけが本船へ積まれる次第であ

* 商船三井の M.O. 方式やカイザー方式など、自動化、完全無人化に近い方式を目指している。

** アメリカのシーランド社が開発、広く採用している方法で、シーランド方式ともよばれる。なお、シャーシーはトラクターが牽くのだが、以後シャーシーというだけでトラクターが牽いている状態をさすこともある。

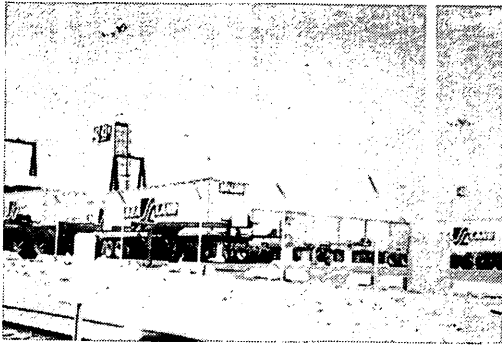


図 16.2 ヤード上の荷役機械（シャーシー）

る。揚げの場合は全くこの逆である。

シャーシー方式の利点としては、特に搬出入のための荷役機器を必要としないことにある。内陸輸送についてもシャーシーを都合しなくてもよく、トラクターさえあればよい。また、多段積みをしないことと、コンテナ・ヤード上に特別の荷役機器がないので、ヤードの舗装が3方式のうちでは一番軽くてよい。

欠点としては、多段積みができないことと、すべてのシャーシーがトラクターで出し入れできるように置かねばならないことから、コンテナ・ヤードの面積効率が低い。したがって大量のコンテナを取り扱うには、大規模なターミナルにするか、搬出入を調整してターミナルにコンテナが溜らないようにするか、またはターミナル外に Van pool のような緩衝施設を設けるかせねばならない。また、シャーシーをコンテナ貯留個数だけ用意する必要が生じる。さらに、シャーシーはそのまま一般道路を走行するので、車検のため毎日数台のトラクターをそちらへ回さねばならない面もある。ただし、車検場が近かったり、ターミナル内のメンテナンス・ショップが車検の機能をもつようになるとこの問題はなくなる。

2.1.2 セミ・シャーシー方式*

コンテナ・ヤード内のコンテナ輸送機器としてトラクターとシャーシーを使用するのはシャーシー方式と同じであるが、ヤードにコンテナを置くのは直接地上におきしかも多段積みをする。その荷役はトランスターナまたはトランスファー・クレーンとよばれる移動可能クレーンで行なう（図 16.3 参照）。

この方式の利点は、3段または4段積みも可能であり

* ヤード上の作業でトランスターナを使用することから、トランスターナ方式ともよばれる。トランスターナはトランスファー・クレーンともよぶのでこの名でよばれるときもある。

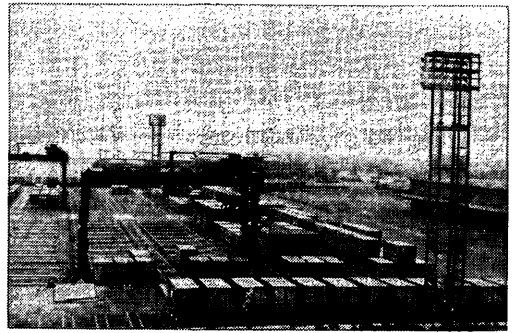


図 16.3 ヤード上の荷役機械（トランスターナ）

ヤード面積の効率は非常によい。

欠点は、揚げまたは積みコンテナをヤード上で荷役するとき、それらがヤード上のどの場所で荷役してもよいというわけにはいかないことである。もちろん、トランスターナは移動できるから各コンテナ毎にヤード上を走り回ることも考えられなくはないが、走り回る機能は最小限にしたクレーンであるから能率が非常にわるくなる。したがって一旦トランスターナがとまって荷役をはじめたら、そこで荷役できるだけ荷役をし、次にすこし移動してそこでの荷役を全部終え、またすこし移動するという方法をとるのが望ましく、そのためにはヤード上のコンテナの置きかたを前もって工夫しておく必要が生ずる。コンテナ船はただでたためにコンテナを積みわけではなく、船の重心や回転モーメントを計算しながら積みねばならず、ヤード・プランとストウェイジ・プランに荷役順序までを考慮して、荷役計画を作成することは相当難かしいことと思われる。（p. 170 参照）

この他に、多段積みの場合に、下段のコンテナを取り出すときに上段のコンテナをどかさねばならないという欠点もある。また、搬出入の際もトランスターナを必要とするので本船荷役日の搬出入は荷役機器を十分準備しておかないと、ターミナル内外が非常に混雑する。舗装に関しては、トランスターナは巨大な移動クレーンであるので厚くする必要があるが、ヤード上をくまなく通過するわけでなく、車輪の通過する所はあらかじめきめておくことができる場合が多いので、その部分だけを重舗装にすればよい。

2.1.3 ストラドル・キャリア方式*

この方式は、走ることに重点を置いた移動クレーンと

* アメリカのマトソン社がはじめたのでマトソン方式ともよばれる。

もいうべきストラドル・キャリアを用いる方法で名前のとおりコンテナを跨いで走行し、ヤード内のどこでも自在にコンテナを持ち運びできる(図 16.4 参照)。

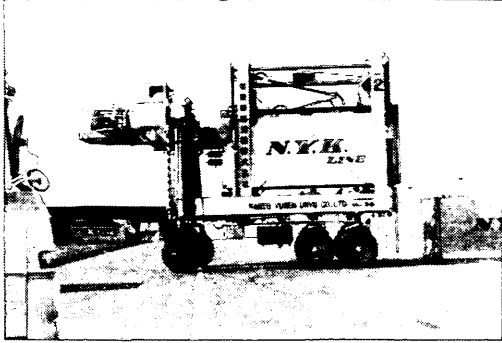


図 16.4 ヤード上の荷役機械(ストラドル・キャリア)

この方式の利点は、機動力があり、多段積みも可能なことである。2.3 で述べるように待ち合わせ上の問題で有利な面もある。

欠点は、一段クリアーのキャリアがコンテナを運んでいるときは二段積みの地点から先へは行けなくなることである。また、このとき、運んでいるコンテナを一時的に空いている場所へ置いて、二段積みのコンテナを移動するのであるが、トランスターナのようにその隣へ置くということは、隣にコンテナが置いてある限り無理で、コンテナが置いていない地点まで運んでから現在運んでいるコンテナの仮置地点へ戻ってそのコンテナをかかえて所定の位置へ輸送せねばならない場合もある。したがって最近では二段クリアーのキャリアもあるが、この場合も三段積みになると同様の問題が生じる。搬出入の際の積み替えもキャリアが行なうので、トランスターナ方式と同じ欠点がある。しかし、本船荷役日にトランスターナが搬出入も受けもって能力不足になるときは、トラクターとシャーシーを数台余分に用意して、それに本船荷役コンテナを仮置しておけばその数台分の時間だけ、トランスターナは搬出入に時間をさくことができるが、ストラドル・キャリアではそれができず、能力不足のときに搬出入コンテナをさばくためには、本船荷役コンテナをエプロンに仮置きするか、キャリアの台数を増やすかせねばならない。

舗装は、移動クレーンがヤード上をくまなく動き回るので、ほぼ全面を重舗装せねばならない。

2.2 荷役機械の能力

コンテナ・ターミナルのコンテナ荷役方式が、将来ど

うかわろうとも、一つの基準として現状の荷役機械の能力を知ることは、後で役立つことと思う。ここでは、クレーン、シャーシー、トランスターナ、ストラドル・キャリアの現状データからみた能力について述べる。これらは、目視観測、ヘリコプターを利用したメモ・モーション・カメラによる観測、高い建物からメモモーション・カメラによる観測、ビデオ・テープによる観測、ターミナルの荷役機械関係のデータ等によって得られたものである。

2.2.1 クレーン

クレーンのサイクル・タイムは、コンテナ・ターミナルにおいて短縮したい要素である。クレーンの遅れは、そのまま本船の遅れとなり、サイクル・タイムが早ければ早いほどよいのであるが、限度があるので、絶対にクレーンを遊ばせないようにしたり、クレーン台数を増やす等の処置がとられる。コンテナをクレーンでつかんで所定の位置に置くのは、オペレーターの技術によって巧拙があり、サイクル・タイムも相当にばらつく。

図 17 は、横浜港本牧 A 突堤の公団パースのクレーンのサイクル・タイムである。図 18 は東京港品川埠頭の調査によるクレーン・サイクルの分布で揚げ積み別ばかりでなく、甲板積みと船艙積み別もある。なお、サイク

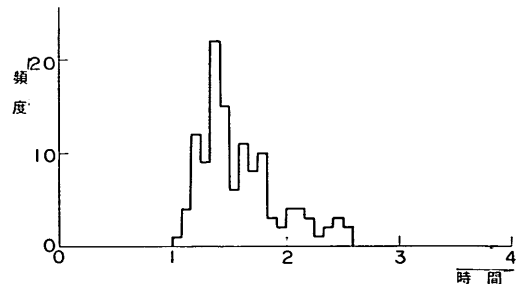


図 17.1 クレーンのサイクル・タイム(本牧埠頭一揚げ)

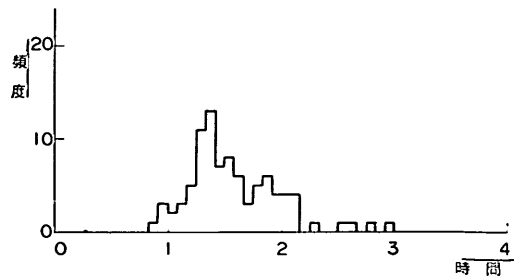


図 17.2 クレーンのサイクル・タイム(本牧埠頭一積み)

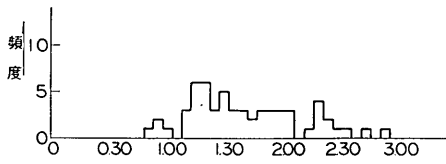


図 18.1 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一積み(船艙))

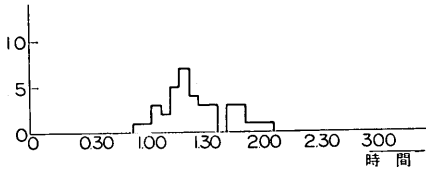


図 18.2 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一積み(甲板))

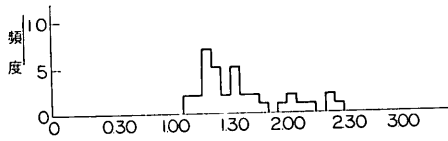


図 18.3 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一揚げ(船艙))

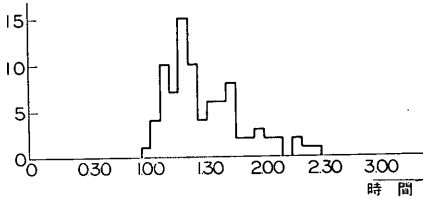


図 18.4 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一揚げ(甲板))

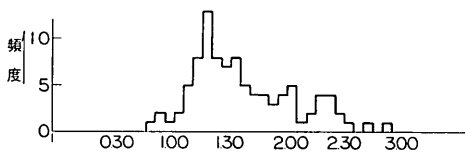


図 18.5 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一船艙)

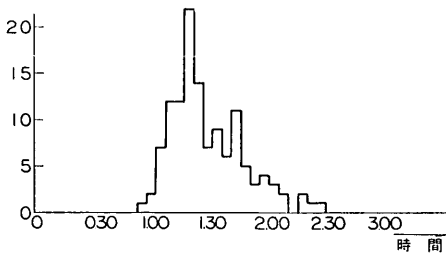


図 18.6 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一甲板)

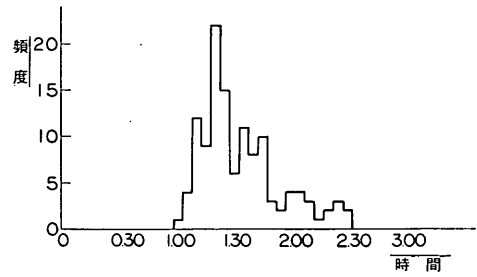


図 18.7 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一揚げ)

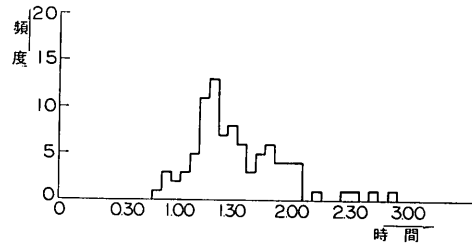


図 18.8 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一積み)

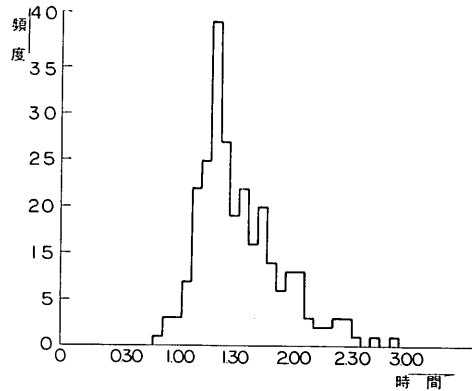


図 18.9 クレーンのサイクル・タイム
(品川埠頭一全体)

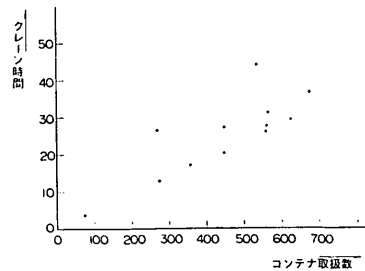


図 19 クレーン使用時間と取り扱い個数の関係

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

ル・タイムは、クレーンが往復するとき、同じ場所を通過する時間隔で定義し、クレーンが故障したり、コンテナまたはシャーシーおよびキャリア待ちで遊んでいるときははずした。ピック・アップまたはリリースの失敗によるやり直しのロス・タイムはサイクル・タイムに含まれている。

1 サイクル毎の分布でなければ、図 5.3A, 3B に1時間あたりのクレーン能力もあり図 5.3A ではデュアル・オペレーションの能力が平均的にではあるがわかる。

図 19 は、同一コンテナ船について、コンテナ取り扱い個数とクレーン時間をプロットしたものである。相関係数は 0.81167 で、最小自乗法を適用すると

$$\text{クレーン時間} = 0.0491 \times \text{コンテナ個数} + 2.98$$

$$\text{コンテナ個数} = 13.4 \times \text{クレーン時間} + 114$$

となり、各々の分散の推定値を開平して標準偏差を求めると、5.95, 98.5 となる。

本来、コンテナ個数が0のときはクレーン時間は0であるし、またその逆もいえることから、この制限をつけて最小自乗法を適用すると、

$$\text{クレーン時間} = 0.0549 \times \text{コンテナ個数}$$

$$\text{コンテナ個数} = 17.3 \times \text{クレーン時間}$$

が得られる。この場合の標準偏差は各々 5.98, 107 である。

これから、2000 個のコンテナを扱うには 109.8 時間かかり、クレーン時間の推定値から2シグマをひいてもまだ4台のクレーンが必要になる。24時間で扱かえるコンテナ個数は、415.2 個であり、この場合もシグマを考慮しても、1日で 2000 個をとり扱うには最低4台のクレーンが必要になる。

なお、このクレーン時間は、クレーンに電源をいれていた時間なので、実際の能率は、幾分この値より上回る。

クレーン時間は接岸時間を決定すると思われるが、両者の比率を図示すると図 20 になる。比率が1より大な

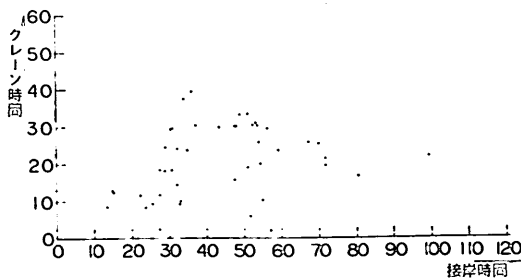


図 20.1 クレーン時間と接岸時間 (ターミナルA)

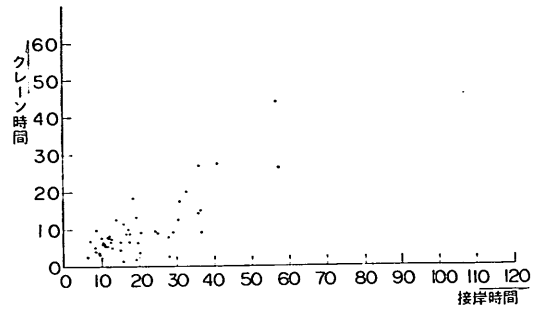


図 20.2 クレーン時間と接岸時間 (ターミナルB)

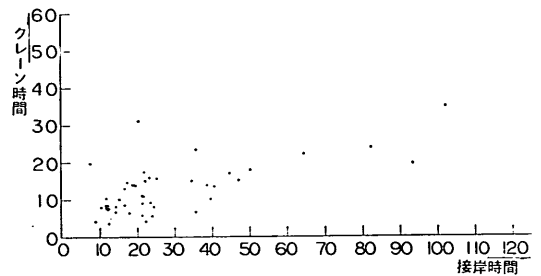


図 20.3 クレーン時間と接岸時間 (ターミナルC)

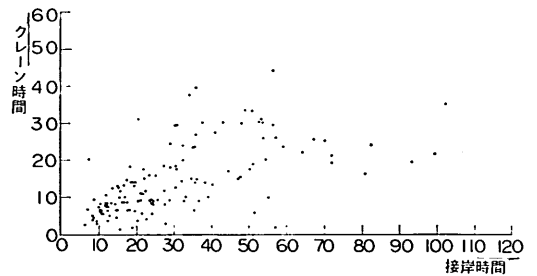


図 20.4 クレーン時間と接岸時間 (全体)

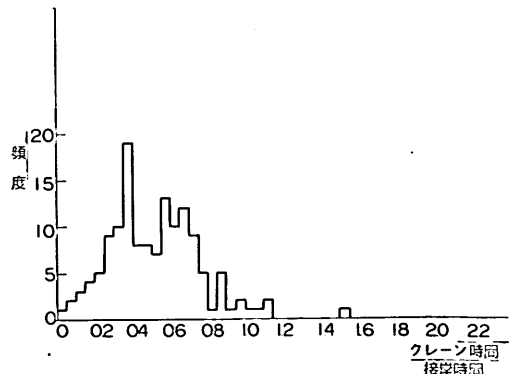


図 20.5 クレーン時間と接岸時間 (クレーン時間と接岸時間の比率)

のは2台のクレーンを使うときがあるからである。これよりクレーン時間以外の時間も接岸時間のうちには相当占められていることがわかるが、コンテナ船も少なく、コンテナ取り扱い個数も少ないので、それほど急いでいないからであろう。実際、図 5.1B をみると夜間荷役をしていないことがわかる。

一船のクレーン使用時間は、そのときのコンテナ荷役個数によってかわるが、過去のデータからみると図 21 になる。

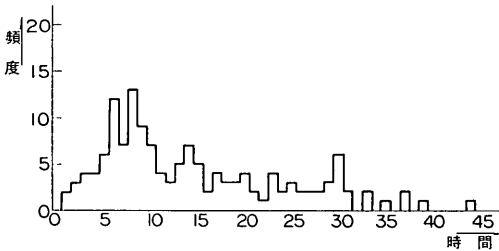


図 21 クレーン使用時間分布

2.2.2 ヤード上の荷役機器

ヤード上の荷役機器についても、サイクル・タイムを得ればよいが、ヤード・トラクターやストラドル・キャリアはコンテナを運ぶ距離によってサイクル・タイムはかわる。また、トランステーナは上段のコンテナをどかして、下段のコンテナをとり出すことがある。したがって、陸上荷役機器の能力は、単純にサイクル・タイムというよりは荷役機器の速度や、スプレッダーの速度であ

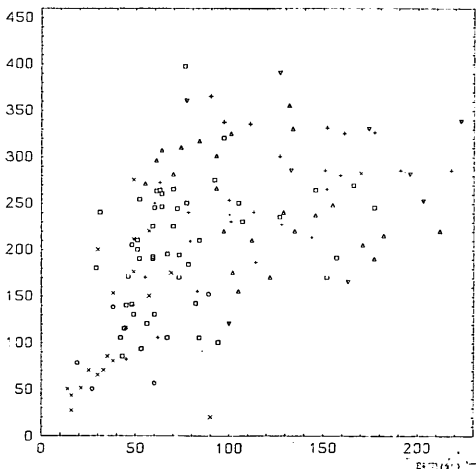


図 22.1 シャーシー方式におけるトラクターの走行距離と走行時間の関係(コンテナ積み)

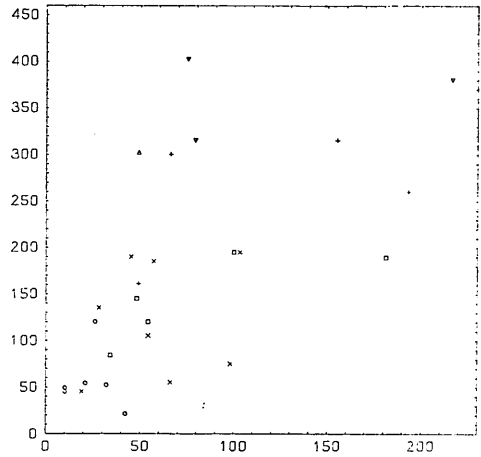


図 22.2 シャーシー方式におけるトラクターの走行距離と走行時間の関係(空)

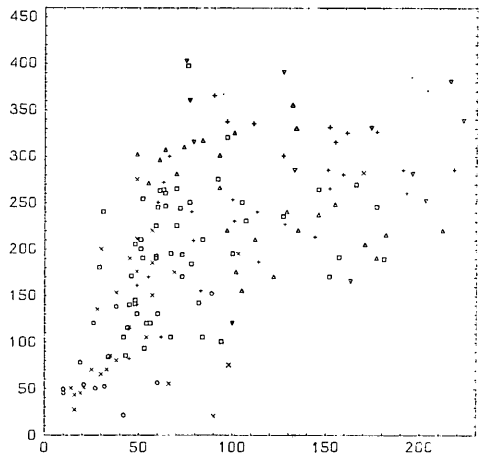


図 22.3 シャーシー方式におけるトラクターの走行距離と走行時間の関係(全体)

ろう。サイクル・タイムは、コンテナ輸送距離やトランステーナの場合は積み替えの比率を与えられると、簡単に求まる。

2.2.2a 各荷役機器のヤード内における速度

シャーシー方式のコンテナヤードにおけるトラクターの走行距離と時間の関係をプロットしたのが図 22.1~3 である。セミ・シャーシー方式のトラクターの場合が図 23.1~3 であり、ストラドル・キャリアの場合が図 24.1~3 である。各図で1はコンテナ積みするとき、2は空荷のとき、3はコンテナ積みと空荷を一緒にした場合である。また、○, ×, □, +, △, ▽ の印は、各々直進、1

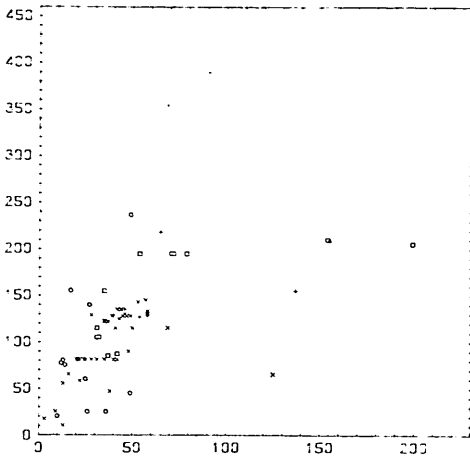


図 23.1 セミ・シャシー方式におけるトラクターの
走行距離と走行時間の関係 (コンテナ積み)

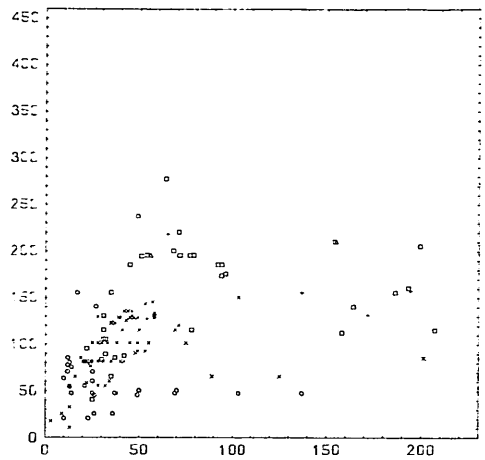


図 23.3 セミ・シャシー方式におけるトラクターの
走行距離と走行時間の関係 (全体)

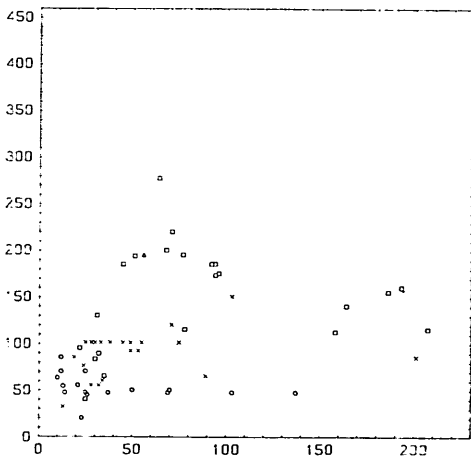


図 23.2 セミ・シャシー方式におけるトラクターの
走行距離と走行時間の関係 (空)

回曲がった場合, 2回曲がった場合, 3回曲がった場合, 4回曲がった場合, 5回以上曲がった場合であり, 横の1目盛は10秒単位, 縦の1目盛は10m単位で, 横の1目盛は縦の2倍なので, 勾配の2倍が秒速である。

これを見ると, 最高は秒速8m(時速約30km)くらいで走行していることがわかる。平均すると, 時速10kmくらいで走行している。

各荷役機の速度分布は図25である。これは曲がり回数は考慮していない。

曲がり回数と平均速度の関係は図26になる。ここで1回曲がる毎にどれだけのロス・タイムがでるかを考え

てみよう。走行距離を l , 曲がった回数を n , 輸送機器の本来の速度を v , 所要時間を t , 1回曲がることによるロス・タイムを T とすると,

$$t = \frac{l}{v} - nT$$

が成立する。 l と t と n は既知で, v は直進のときの値で代用して, 最小自乗法を用いて T を求めると, シャシー方式では, コンテナ積み13.3秒, 空荷4.8秒, 全体10.5秒であった。セミ・シャシー方式のトラクターの場合は, 各々25.2秒, 35.2秒, 30.9秒で, ストラドル・キャリアの場合は, 各々18.0秒, 39.8秒,

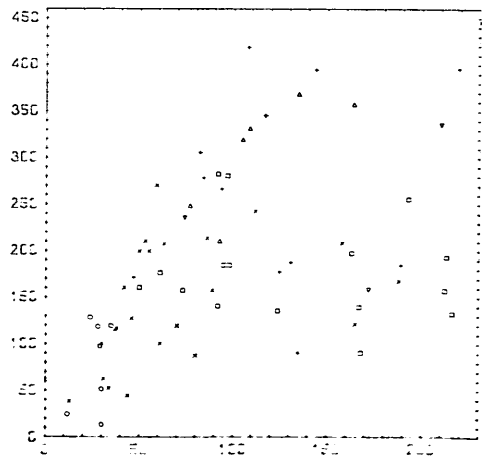


図 24.1 ストラドル・キャリアの走行距離と走行
時間の関係 (コンテナ積み)

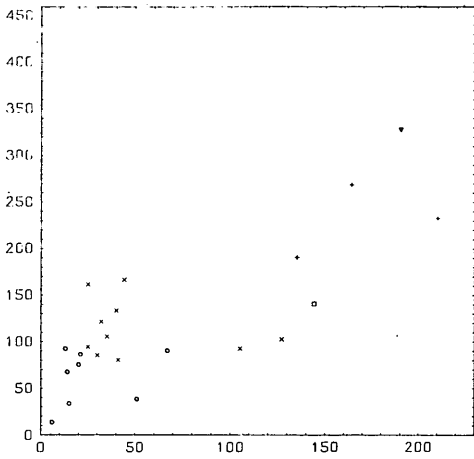


図 24.2 ストラドル・キャリアの走行距離と走行時間の関係 (空)

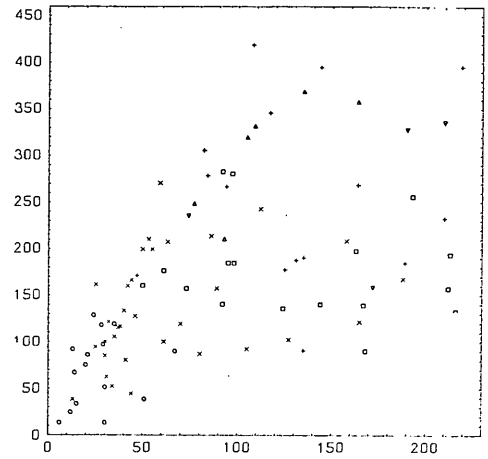


図 24.3 ストラドル・キャリアの走行距離と走行時間の関係 (全体)

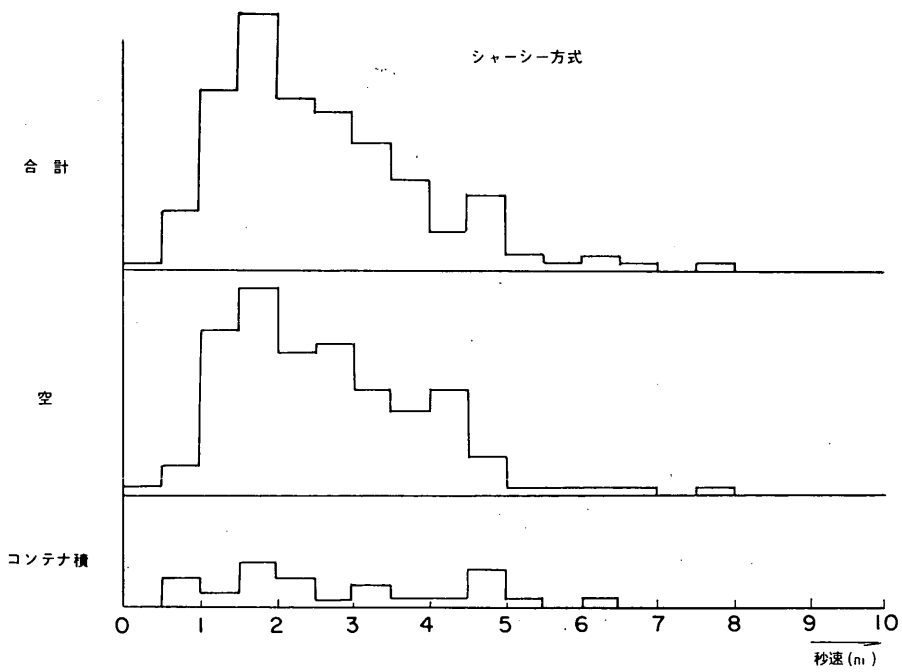


図 25.1 荷役機器の速度分布 (シャーシー方式におけるトラクター)

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

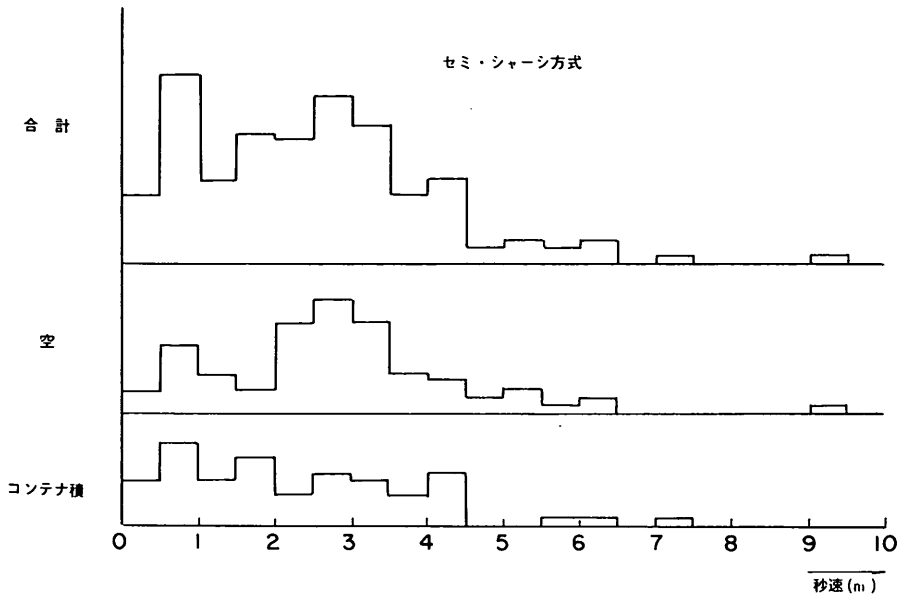


図 25.2 荷役機器の速度分布 (セミ・シャシー方式におけるトラクター)

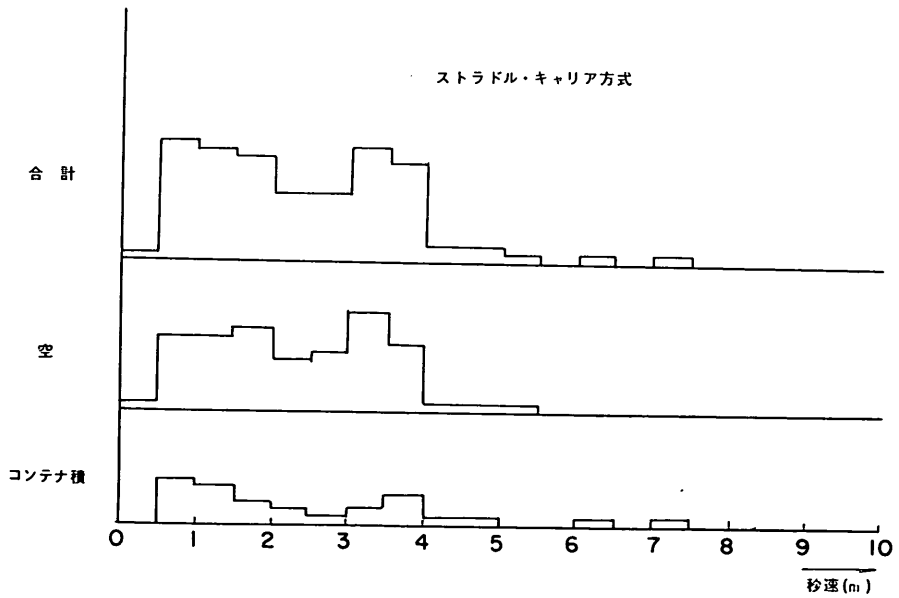


図 25.3 荷役機器の速度分布 (ストラドル・キャリア)

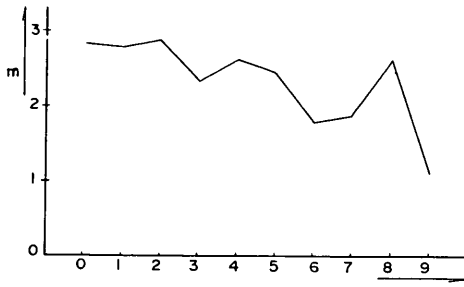


図 26.1 速度と曲がった回数との関係 (シャーシー方式におけるトラクター)

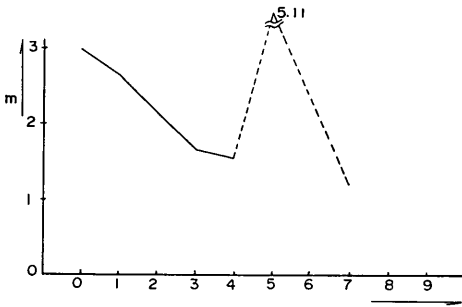


図 26.2 速度と曲がった回数との関係 (セミ・シャーシー方式におけるトラクター)

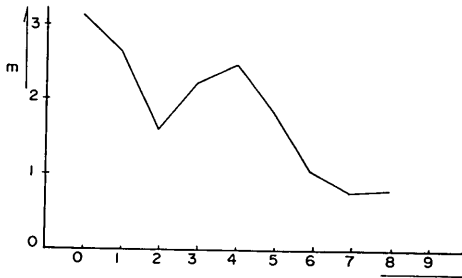


図 26.3 速度と曲がった回数との関係 (ストラドル・キャリア)

22.6 秒であった。これらの推定値の分散は非常に大きかったので参考に留めるだけにしてほしい。ヤード内の輸送機器を運転するのが人間であるから、クレーンを待つ台数が多いときはゆっくり運転したり、その逆で少いときは急いだりするということもあるだろうし、本船出港時までの余裕の有無によっても、ヤード内の荷役作業の能率は相当ばらつくものと思われる。

2.2.2b トランステーナのスプレッダーの速度

トランステーナのサイクル・タイムは、短いときは40秒内外から、長いときは3分を越える。下段のコンテ

ナを、とり出すために積み替えがあるときは当然長くなるので、トランステーナでシャーシーへコンテナを積み込む場合の方が、シャーシーからコンテナを卸すときより時間がかかることが多い。

ここでは、一つのデータとして、スプレッダーの移動時間の分布を移動距離毎に示す (図 27)。ここで、1の距離は約 3.7m, 2, 3 は各々 6.5m, 9.3m である。各位置で静止したらスプレッダーの上げの時間とピック・アップとリリースの時間があるわけだが、その種のデータは得ることができなかった。この場合も、これらの値は機器の目安を与えると考えの方が適当であろう。

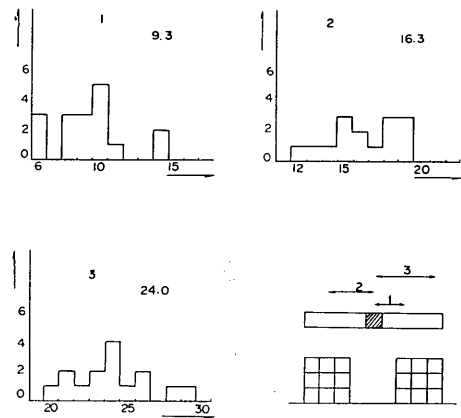


図 27 トランス・テナのスプレッダーの移動時間の分布

2.2.2c ピック・アップおよびリリースの時間

シャーシー方式では、走行距離と速度が求まっても、シャーシーのサイクル・タイムは決定できない。すなわち、シャーシーを所定位置に置くため、バックしてその位置に入り、その後、シャーシーをトラクターから切り離さねばならない。最近では、ヤード・トラクターのみではあるが運転席でシャーシーを切り離せるようなものもあるが、いずれにせよ走向時間以外に余分な時間がかかるのである。

ストラドル・キャリアでも所定の位置についてもすぐ走り出すわけではなく、コンテナのピック・アップまたはリリースに時間がかかるのである。

これらの時間は、やはり、オペレーターの技術によって差があると思われる。なお、このデータは現在所有していないので、調査して次の機会までに整理するつもりである。(なお、ヘリコプターによる撮影フィルムを解析すれば、ヤード・トラクターがシャーシーをつけたり

切り離したりする時間は容易に判読できるが、ストラドル・キャリアのピック・アップおよびリリース時間は判読不能であろう。)

2.2.2d ストラドル・キャリアのサイクル・タイム

シャーシー方式におけるシャーシーのサイクル・タイムは非常に長く、ターミナル関係者によると5分ぐらいかかるそうである。したがって、コンテナ・クレーンが遊ばないように、トラクターが数多く使用される。そのため、ヘリコプターで撮影したフィルムを解析してみても、ヘリコプターが風に流されたりして動いて画面が切れてしまい、標準的なデータは得られなかった。

セミ・シャーシー方式のトラクターがクレーンとトランスレーナの間を走るのはそれほど時間がかからず、サイクル・タイムの分布は出たが、10個も扱わないうちに、トランスレーナが移動するのでまとまったデータにはならなかった。

ストラドル・キャリアに関しては、サイクル・タイムが求まったので、図28に示す。ただし、このサイクル・タイムも走行距離によって違うから、あくまでも参考となるだけである。

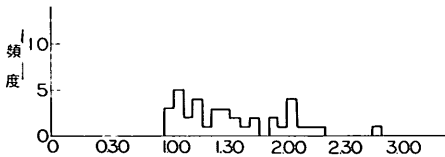


図 28.1 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (揚げ—船艙)

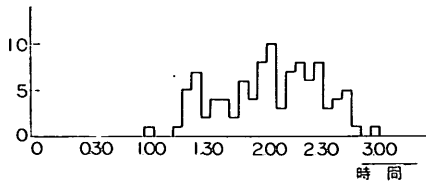


図 28.2 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (揚げ—甲板)

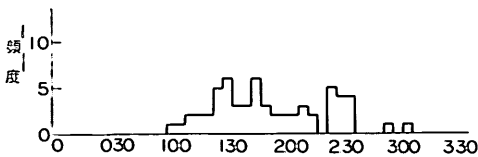


図 28.3 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (積み—船艙)

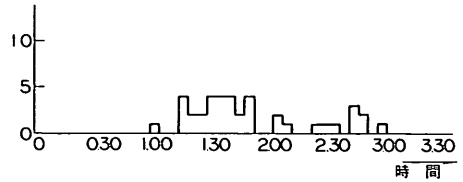


図 28.4 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (積み—甲板)

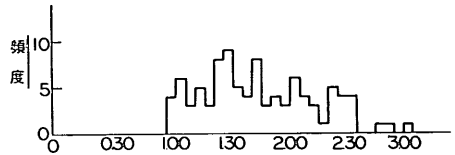


図 28.5 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (船艙)

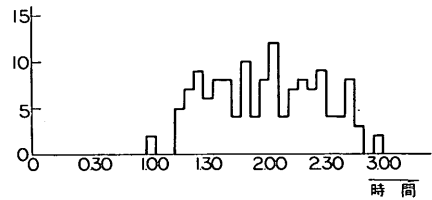


図 28.6 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (甲板)

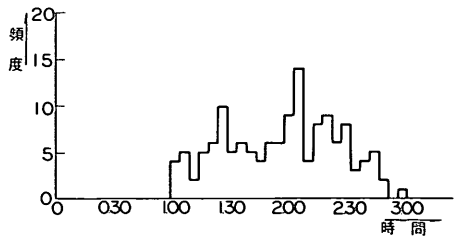


図 28.7 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (揚げ)

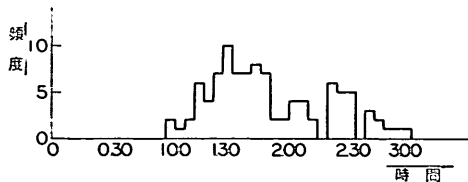


図 28.8 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (積み)

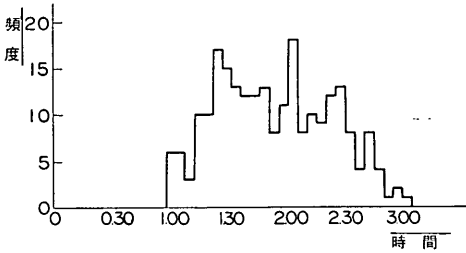


図 28.9 ストラドル・キャリアのサイクル・タイム (全体)

2.3 待ち合わせ理論による荷役機器の能力に関する考察*

荷役機器の能力や台数については、2.2 で求めた分布を利用して、シミュレーションを実施することによって、考察することは可能である。しかし、その方法はターミナルの特性を全部決定したケース・スタディの場合に適していると思われる。本報告書のように、この問題をできるだけ一般的に取り扱おうとすると、シミュレーションを多数回行ねばならず、この型のシミュレーションは多くの経験が示すように、解の安定性にも十分な考察を必要とする。

ここでは、それを避けてある程度の仮定を設け待ち合わせ理論を用いて、理論的に解いた。解はすべて定常解で論じたが、同じ荷役機器が戻ってくるのだから、すべての荷役機器がクレーンを1回通過してしまえば、はじめの位置による履歴は関係しなくなるから、実際の現象はすべて定常状態になるといえる。この結果は、仮定された条件をよく検証すれば、そのままでも使えるが、将来、ターミナルの特性を決定して複雑な現象までもとり入れたシミュレーションを考えるとときに、目安の値として使うことをも意図している。

2.3.1 アーラン分布について

待ち合わせ理論を用いて現実的に解を得ようとするときは、到着分布や、サービス時間分布が一般の分布ではまず不可能で指数分布またはその重ね合わせであるアーラン分布で取り扱う必要が起る。これは指数関数 $y = ae^{-ax}$ を見ればすぐわかるように、この曲線の $x \geq 0$ の部分と $x \geq a$ (a は任意の正の数) の部分とは相似であることにより、条件付き確率がその条件によらなくなり取り扱いが非常に簡単になるからである⁵⁾。アーラン分布

は2つのパラメーター、平均値 λ と phase (相ともいう) k を持ち、これは、独立な k 個の平均値 λ/k の指数分布に従う確率変数の和の分布である。この定義からわかるようにアーラン分布は、 $k=1$ のときは指数分布に $k=\infty$ のときは regular 分布になり、両極端にランダムな分布と常に定数である分布をもち、一つ山の分布であればほとんどの分布はある程度近似できる分布である。図 29 に、phase 2, 5, 9, 25 で平均値 1 のアーラン分布を示す。平均値 a , phase k のアーラン分布の分散は a^2/k , したがって標準偏差は a/\sqrt{k} である。

以下では、クレーンのサイクル・タイム、シャーシーのサイクル・タイム、ストラドル・キャリアのサイクル・タイム、トランスターナのサイクル・タイムにアーラン分布を適用している。

2.3.2 クレーン換算能力 ρ

荷役機械の能力を無次元化するため、クレーン換算能力 ρ を次のように定義する。考え方は、待ち合わせ理論における利用率 ρ とほとんど同じものである。すなわち、クレーンの能力を1としたときに、ヤード上の荷役機器の能力を平均値で論じた値である。例えば、クレーンが平均2分のサイクルで、平均3分のサイクルのストラドル・キャリアを2台投入する場合は、クレーンが1分毎に1/2個処理するのに、キャリアは1分毎に2/3個処理するわけで、クレーン換算能力は $\rho = (2/3)/(1/2) = 4/3 = 1.33$ である。一般にシャーシーとストラドル・キャリアの場合は、クレーンのサイクル・タイムを a , シャーシーまたはストラドル・キャリアのサイクル・タイムを b , 投入台数を n とすると、 $\rho = na/b$ である。

トランスターナに関しては、トランスターナが一群のコンテナを取り扱うまで動かないことから、シャーシー・サイクルは変動させずに、トランスターナのサイクルだけを問題にして、クレーン換算能力 ρ をきめた。クレーン・サイクルの平均値を a , トランスターナのサイクルの平均値を b とすると、 $\rho = a/b$ である。

2.3.3 シャーシー方式の定常解

クレーンのサイクル・タイムの分布を phase 25 のアーラン分布、シャーシーのサイクル・タイムの分布を phase 2 のアーラン分布にして $\rho = 0.5$ から 3.0 までの状態確率を、シャーシー台数 n が2台から8台までのグラフを作成した(図 30.1~7)。ここで状態は C, E_0, E_1, \dots, E_n の $(n+2)$ 個あるが、各々は

- C ……クレーンの遊ぶ状態 (シャーシーを待つ)。
- E_0 ……クレーンも n 台のシャーシーも遊ばない状態。

* 付録Cを参照

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

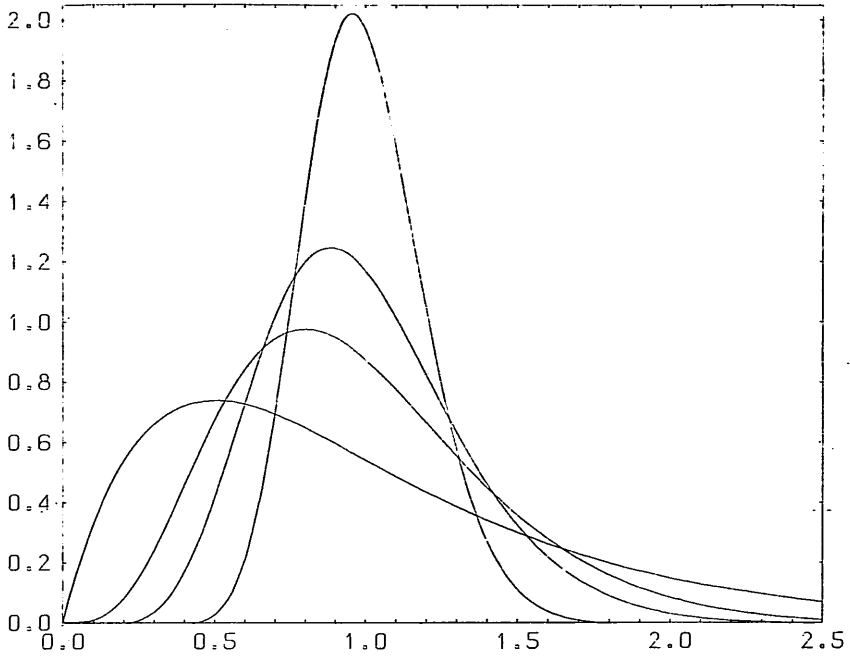


図 29 アーラン分布

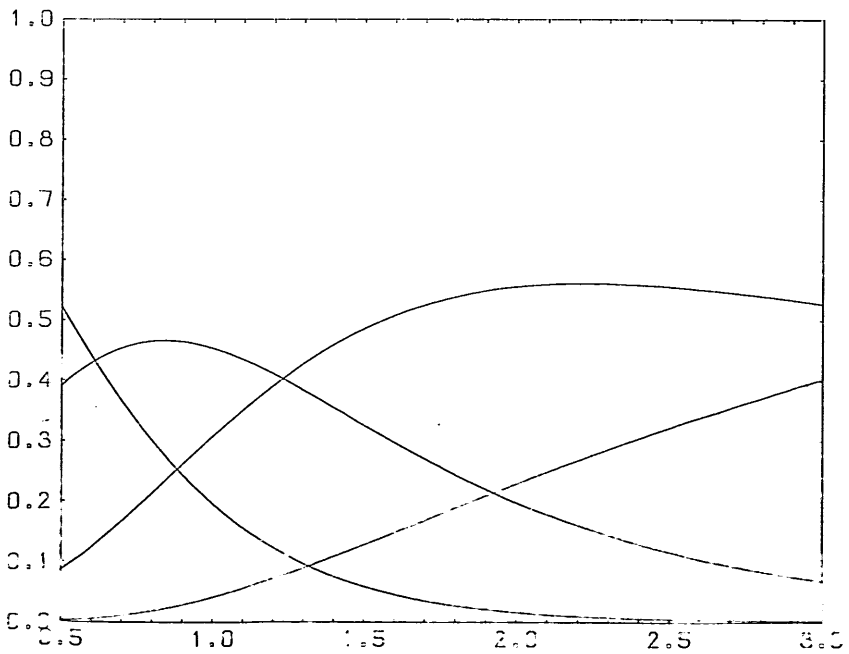


図 30.1 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=2台)

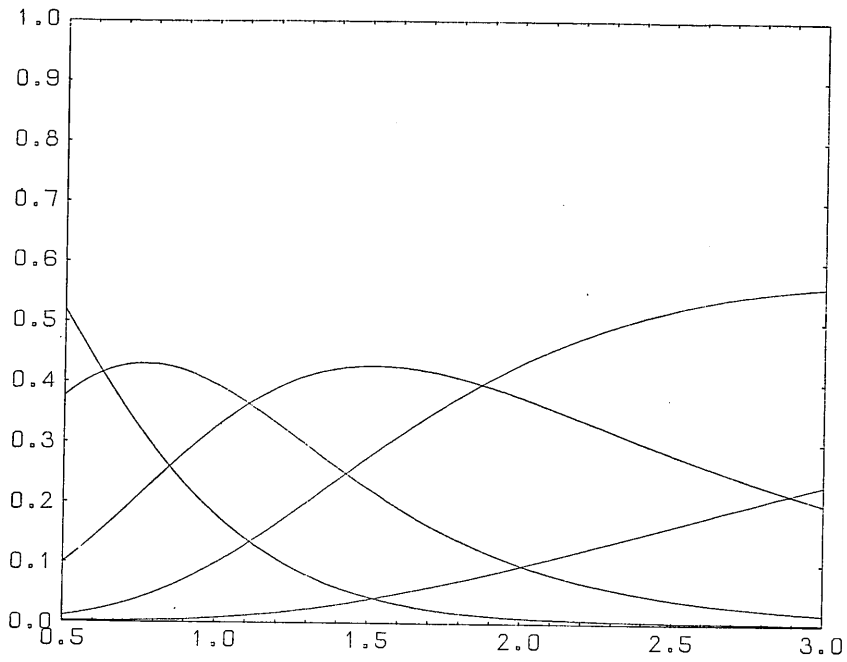


図 30.2 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=3台)

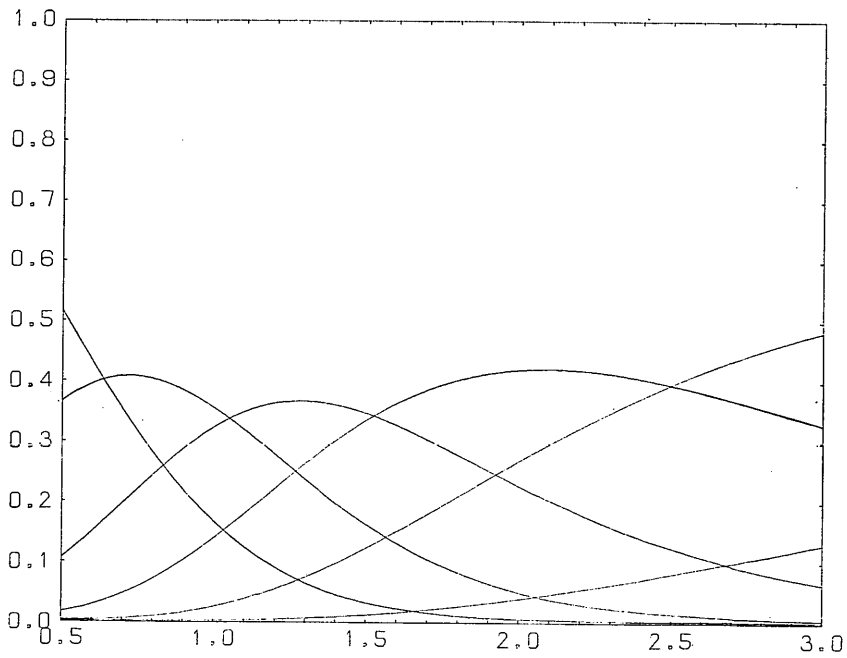


図 30.3 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=4台)

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

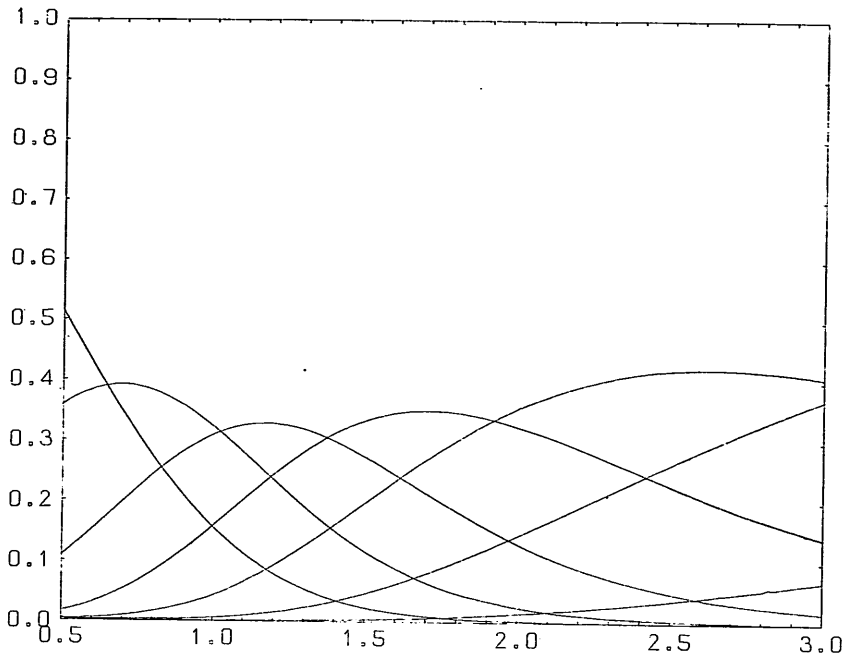


図 30.4 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=5台)

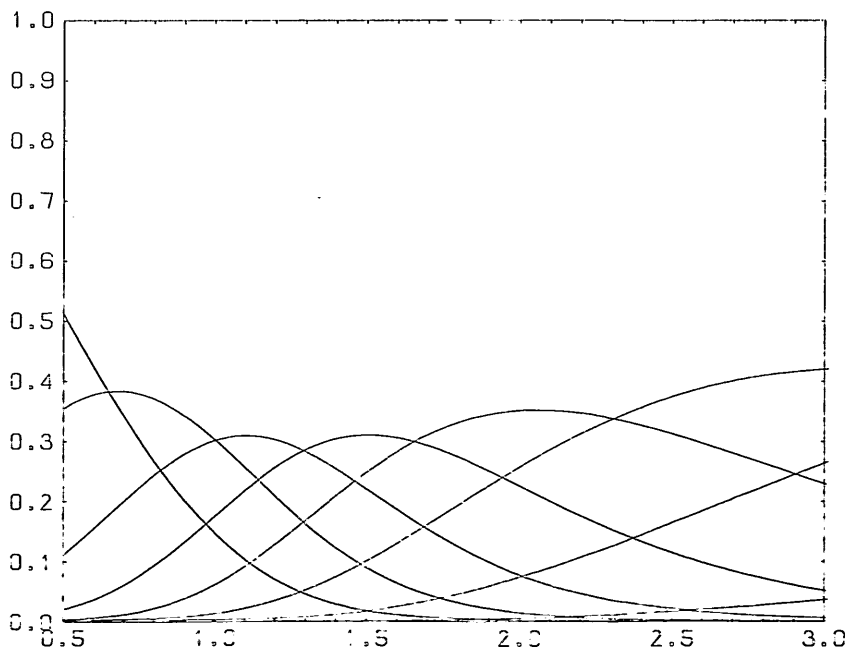


図 30.5 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=6台)

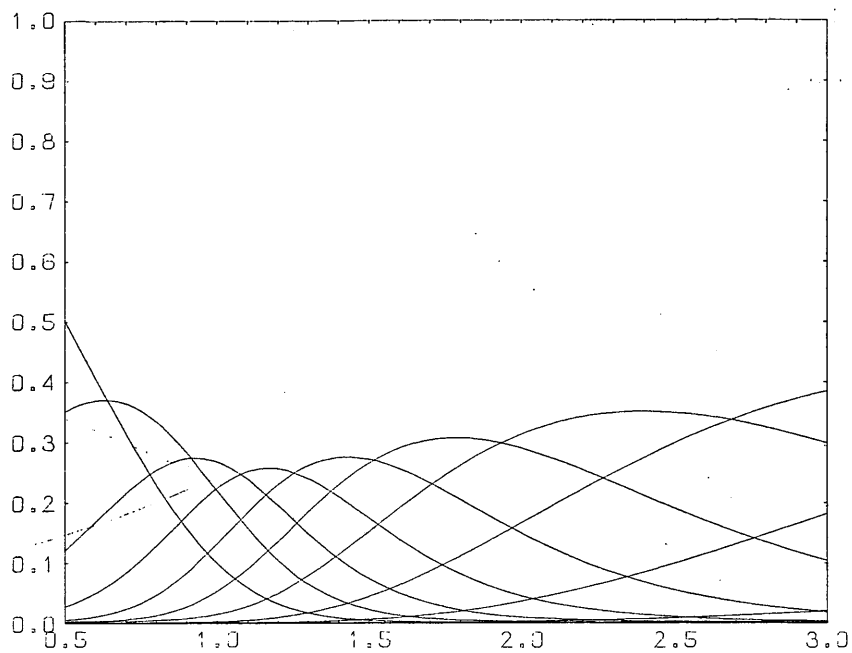


図 30.6 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=7台)

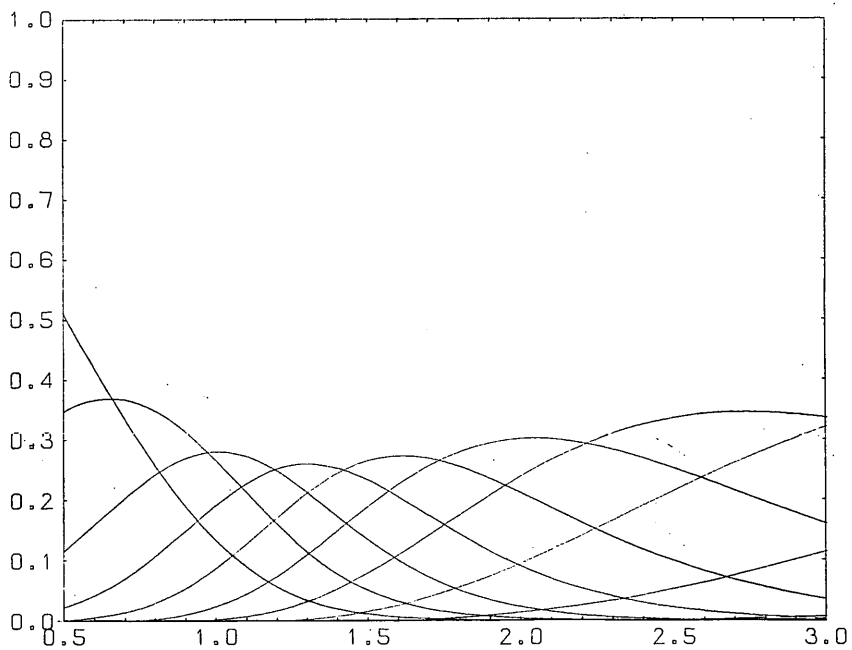


図 30.7 シャーシー方式の定常解 (トラクター台数=8台)

- E_1 ……1台だけシャシーがクレーンを待つ状態
- \vdots
- E_i …… i 台のシャシーがクレーンを待つ状態
- \vdots
- E_n ……すべてのシャシーがクレーンを待つ状態

である。図 30 の各図では、左側の山形をした曲線から C, E_0, E_1, \dots, E_n の状態確率を示している。

シャシー・サイクルが phase 2 のアーラン分布であるという仮定は、ランダム性が強すぎるので、実際はもっとクレーン待ちが起こらない方へずれるはずである。

クレーンの平均サイクル・タイムが2分、シャシーの平均サイクル・タイムが5分のときに、ヤード・トラクターの必要台数を n 台とすると、 $\rho=2n/5$ であるから、 $n=6$ として図 30.5 より $\rho=2.4$ のとき、状態 C 、すなわち、クレーンの遊ぶ確率はほぼ0になっており、ヤード・トラクターが6台あれば、クレーンをまず遊ばせないといえる。

2.3.4 ストラドル・キャリア方式の定常解

クレーンのサイクル・タイムを phase 25 のアーラン分布、ストラドル・キャリアのサイクル・タイムを phase 9 のアーラン分布で、キャリアが2台のときの状態確率を図 31.1 に各々を9と5にしたときを図 31.2 に、各々を5と2のときを図 31.3 に示す、クレーンの phase が25でストラドル・キャリアのサイクル・タイムを phase

2 のアーラン分布でキャリアが2台から7台までの状態確率を図 32.1~6 に示す。2台のときは、クレーンのサイクル・タイムの phase は25でキャリアのサイクル・タイムが phase 9 と phase 2 の両方の場合があるので、phase による差がどのくらいか見られる。

2台の場合に、数ケース行った理由は、キャリアは、1クレーンに平均1.5台必要であるそうなので、特に2台という限界値近辺を調べるためであると同時に phase によって状態確率がどうかわるかをみるためである。

n 台のとき、考えられる状態は、積みのときは、 $C, E_{00}, E_{01}, E_1, E_2, \dots, E_n$ 、揚げのときは $C, E_{02}, E_{01}, E_1, E_2, \dots, E_n$ の $(n+3)$ 個であり、各々

C ……クレーンが遊んでいる状態（キャリアを待つ）

E_{00} ……クレーンもキャリアも遊ばない状態で、クレーンとキャリアのコンテナ積み替え場所にコンテナがないときの状態

E_{01} ……クレーンもキャリアも遊ばない状態で、クレーンとキャリアのコンテナ積み替え場所にコンテナが一つ置いてあるときの状態

E_1 ……キャリアが1台クレーン待ちしている状態

\vdots

E_i ……キャリアが i 台クレーン待ちしている状態

\vdots

E_n ……キャリアが n 台クレーン待ちしている状態

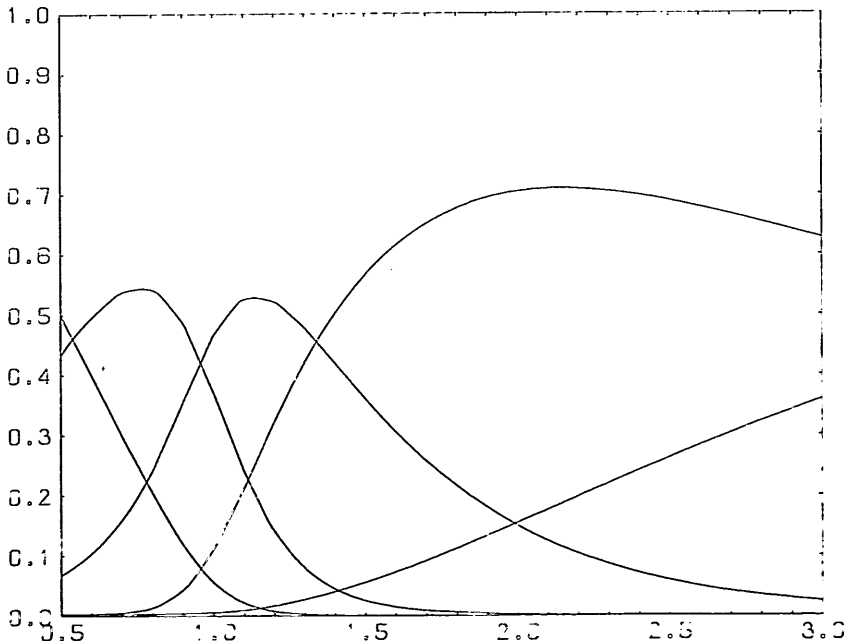


図 31.1 ストラドル・キャリア方式の定常解（キャリア台数=2）
クレーン phase=25, キャリア phase=9

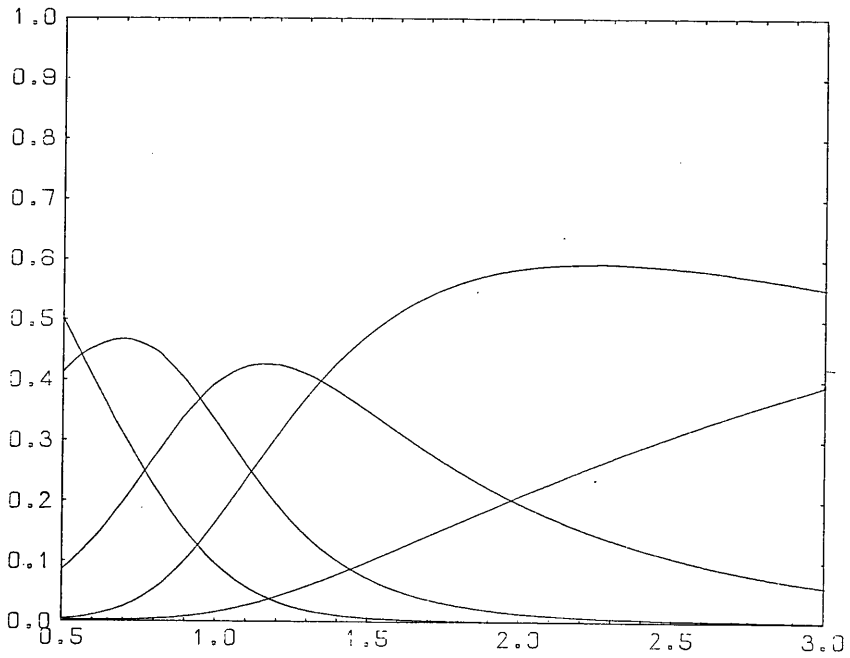


図 31.2 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=2)
クレーン phase=9, キャリア phase=5

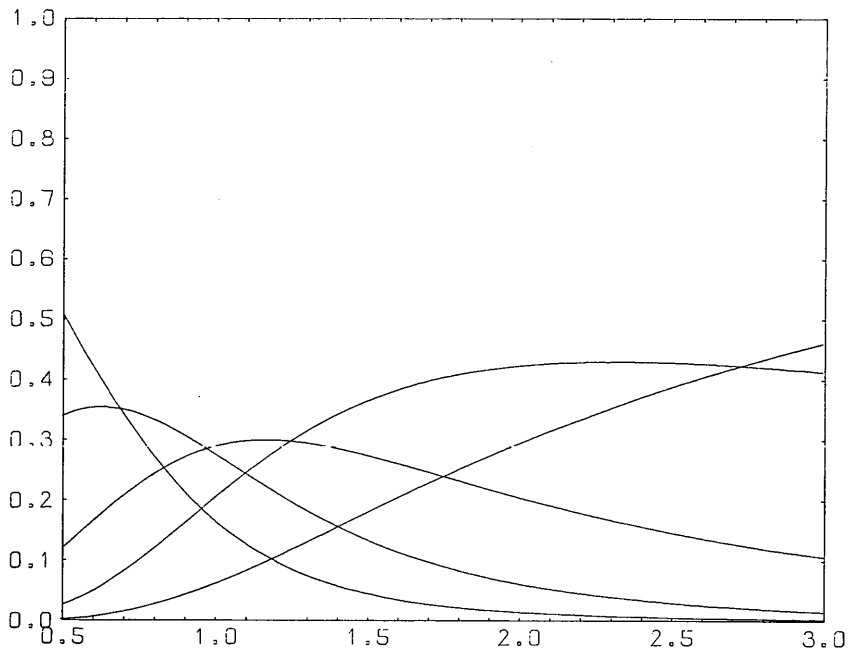


図 31.3 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=2)
クレーン phase=5, キャリア phase=2

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

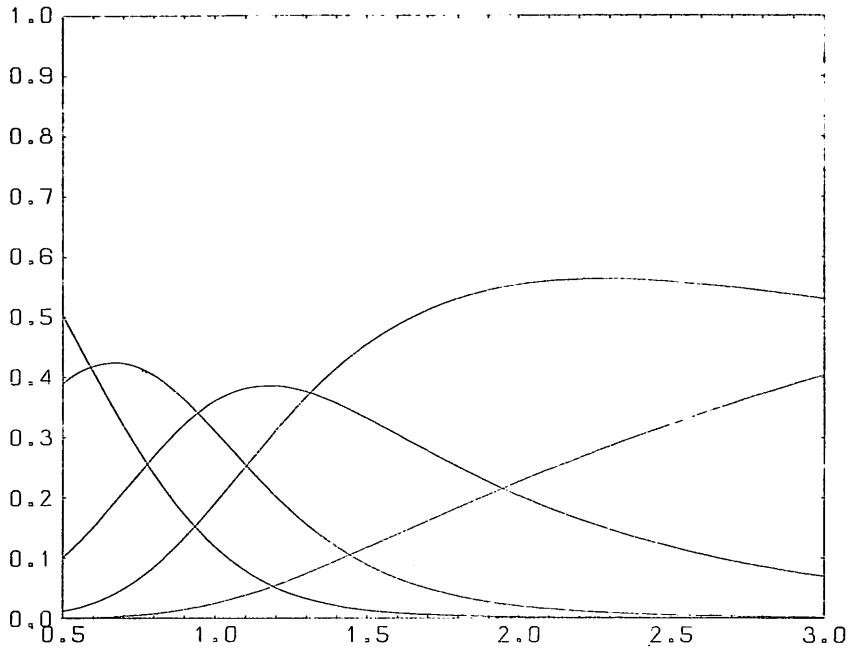


図 32.1 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=2)

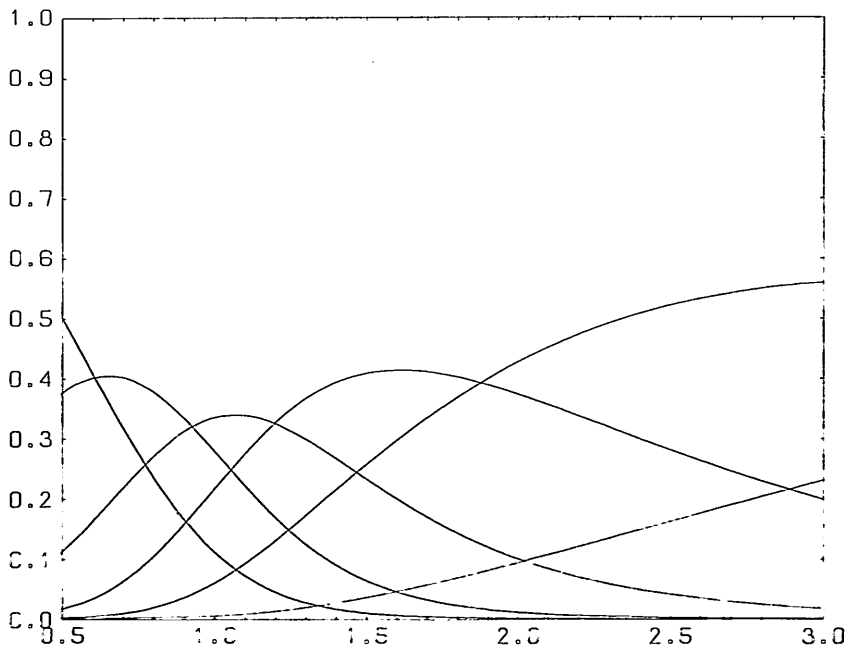


図 32.2 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=3)

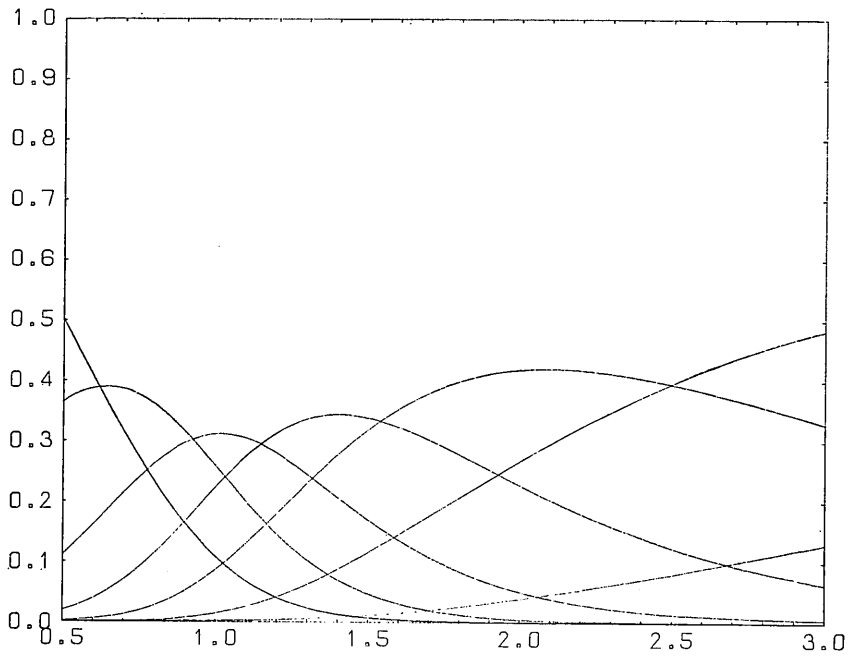


図 32.3 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=4)

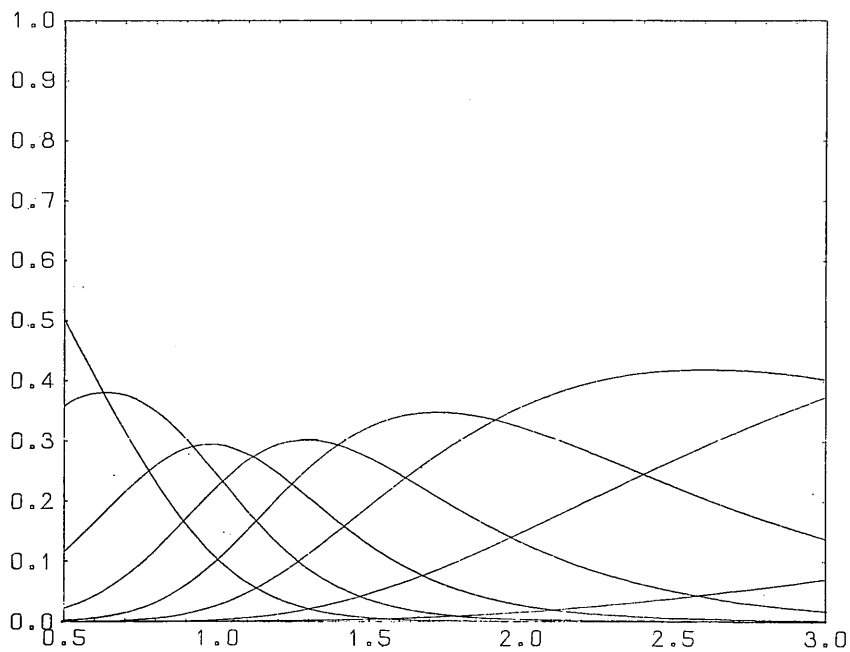


図 32.4 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=5)

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

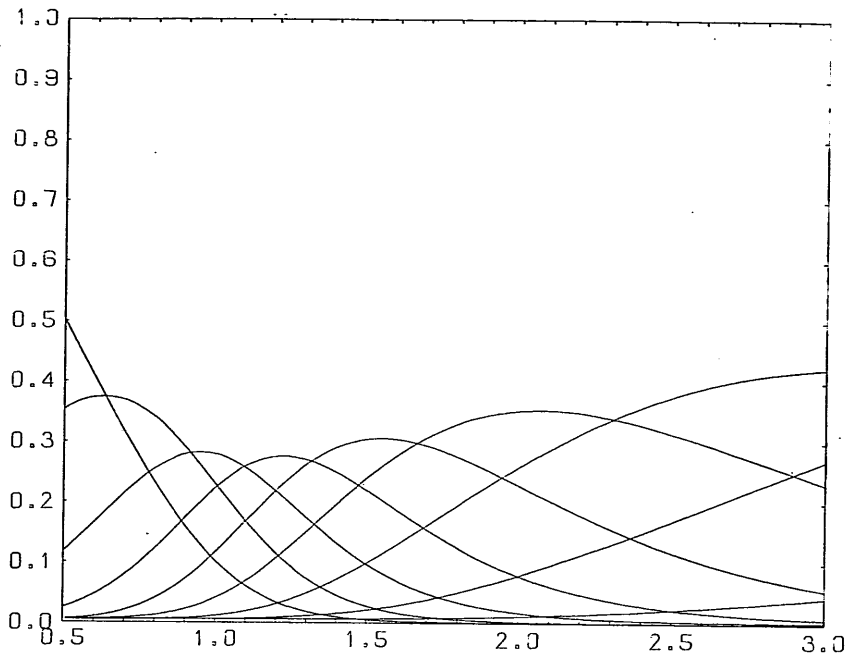


図 32.5 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=6)

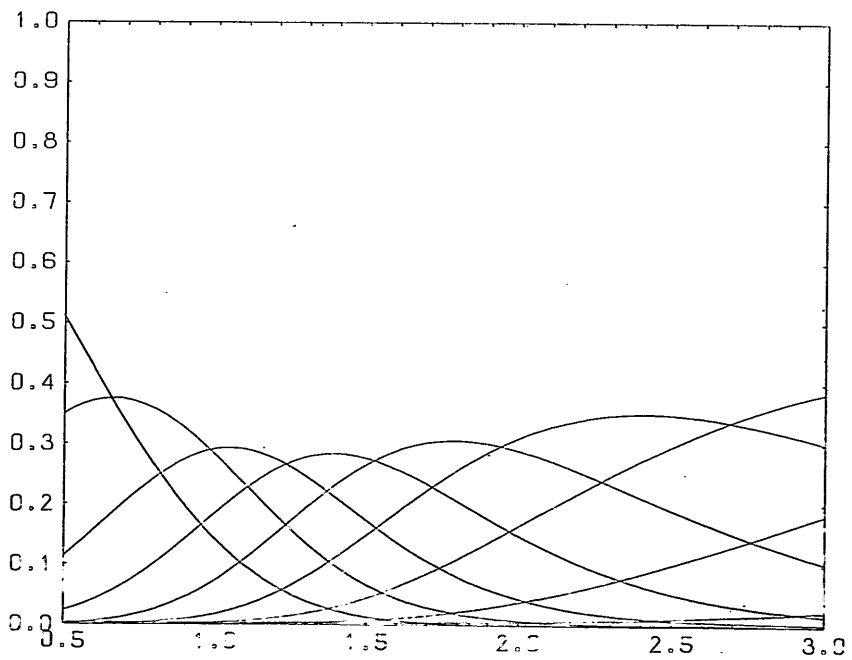


図 32.6 ストラドル・キャリア方式の定常解 (キャリア台数=7)

である。 E_1, \dots, E_n は、積みの場合には、ストラドルキャリアの他に、クレーン下に置かれたコンテナもクレーンを待っている(図33参照)。揚げと積みでは方程式が異なるがこれら $(n+3)$ 個の状態確率は結果的に一致した(E_{00} と E_{01} は揚げと積みでは逆になるが、そうなるはずである。)

図31, 図32においては、各状態は左側の山から $C, E_{00}, E_{01}, E_1, E_2, \dots, E_n$ の状態である。ただし E_{00} と E_{01} は揚げと積みで入れかわる。

シャーシーと比較するため、ストラドル・キャリアの平均サイクルを5分、クレーンを2分とすると、 $n=5$ のときに $\rho=2.0$ であり、図32.4により C の値はほぼ0だから、このときはキャリアが5台あれば、クレーンの遊びがほとんどなくなる。このときの各状態確率は

$$C=0.0002$$

$$E_{00}=0.0030 \text{ (揚げの場合は } E_{01} \text{ である)}$$

$$E_{01}=0.0266 \text{ (揚げの場合は } E_{00} \text{ である)}$$

$$E_1=0.1313$$

$$E_3=0.3225$$

$$E_3=0.3556$$

$$E_4=0.1464$$

$$E_5=0.0143$$

であり、クレーン待ちをしているストラドル・キャリアの平均台数は2.5台であり、それらはコンテナの搬出入へまわることができ、待ちが少なくなったのを見はから

って、クレーンの待ちへ加わればよい。シャーシーの場合と状態確率が変わったのは、ストラドル・キャリア方式では、キャリアとクレーン間のコンテナ受け渡しに状態 E_{01} のような緩衝状態があって、コンテナ1個分の待ちはシャーシーと異なり、キャリアまたはクレーンが待たなくて済むからである。もしも、 E_{01} の状態でもう一つコンテナを仮置できると、ますます荷役機器の効率はよくなる。ストラドル・キャリアでデュアルを行なうことがあるので、2個まで置くことをゆるせば、ストラドル・キャリアが揚げ積み荷役をしながら同時に、搬出入を行なう余裕が生じる。この場合の図は用意しなかったが、近似的に、 n 台の場合は $(n+1)$ 台の図を用いて、 $C, E_{00}, E_{01}, E_1, E_2, \dots, E_{n+1}$ を $C, E_{00}, E_{01}, E_{02}, E_1, \dots, E_n$ と見做せばよい。この場合、 E_{02} は本来はコンテナが2つクレーン下に置いてあり、キャリアはそのコンテナを置いてヤード上の荷役をしているはずである。従って $(n+1)$ 台の図を用いてその E_1 を E_{02} に見做すことは、キャリアが1台クレーンの下で待っていることになり、キャリアにとってはきつく、いいかれば、クレーンの遊びにとっては、多目にみることになり、この場合のようにクレーンの遊休率で判定する場合には都合よくなっている。

2.3.5 セミ・シャーシー方式の定常解

トランステーナを使用する場合は、クレーンとヤード・トラクターとトランステーナのサイクル・タイムを考

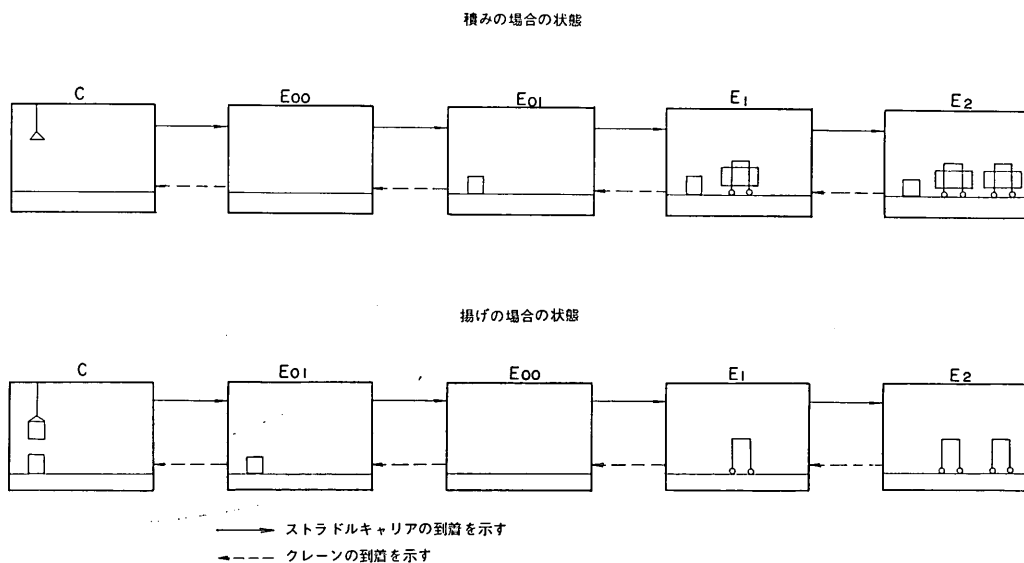


図33 ストラドル・キャリア方式の場合の状態

慮して理論をうちたてねばならない。しかし、それでは複雑すぎて現実と合わないような仮定を設けねば無理のようである。ここでは、三機器を同時に考察することはやめる。

まず、一つの方法はクレーンとトランスレーナでは、トランスレーナの方が作業能率がよいと考えられるから、トランスレーナとコンテナのうけわたしに要する時間を含めたシャシーのサイクル・タイムを利用する方法である。この場合の解は図 28 と全く同じである。

上の考え方で実用上は問題ないと思われるが、トランスレーナとクレーンだけに確率的要素を与えて、トラクターの走行時間は変動しないとみなして、次のようなモデルも考えられる。トラクターの走行時間が変動しないという根拠はクレーンもトランスレーナも一群のコンテナを扱い終わるまでは移動しないから、また、たとえトランスレーナが移動しても、その近くへ移動するならば、トラクターのトランスレーナへ向う距離が短かくなっても、一方通行でリンクを成しているため、クレーンへ向う距離は、短かくなった分だけ長くなり、合計すれば同じことになるからである。もちろん、2.2 でみたようにトラクターの速度も変動しているが、これは待ちを見越して遅くしたりする場合もあり、走向距離が一定なら、そこを走る時間もほぼ一定であるとみて差支えないと思われる。

まず、その一定の走行時間をクレーンのサイクル・タイムで割った商だけトラクター台数をきめる。その小数に端数があれば切り上げることにし、このトラクターをダミーのトラクターとよぶことにする。このトラクターがクレーンとトランスレーナの間を走行するという大胆な仮定をたて、他の n 台のトラクターについては次のように考える。すなわち、クレーンで荷役作業を終えたら、すぐそのトラクターはトランスレーナに到着し、トランスレーナで荷役作業を終えたらすぐにクレーンに到着するときめるのである。もちろん、荷役作業を終えた瞬間に他の機器に到着するのは上に述べたダミーのトラクターである。そして、今、荷役を終えたトラクターが新しくダミーのトラクターになるのである。このようにしてダミーでないトラクター台数 N と、クレーンの平均サイクル・タイム a とトランスレーナの平均サイクル・タイム b を与えて、状態確率を示したのが 図 34.1~6 である。このとき、トランスレーナのクレーン換算能力 ρ は a/b である。また、分布型は、クレーンは phase 25、トランスレーナは phase 9 のアーラン分布とした。

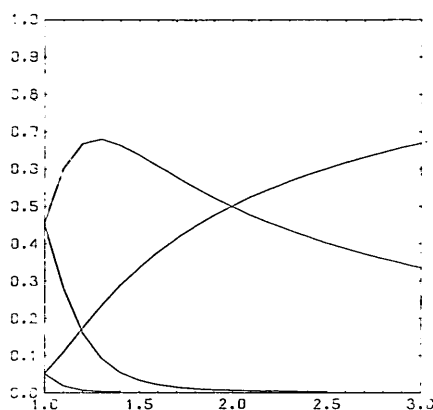


図 34.1 セミ・シャシー方式の定常解 (シャシー台数=1)

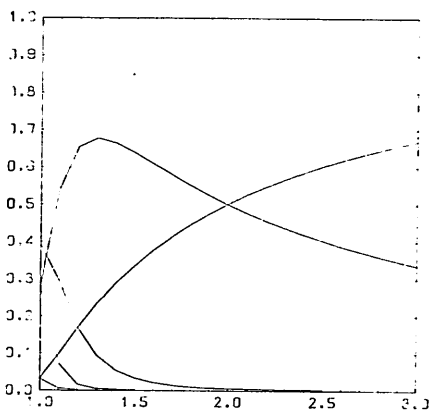


図 34.2 セミ・シャシー方式の定常解 (シャシー台数=2)

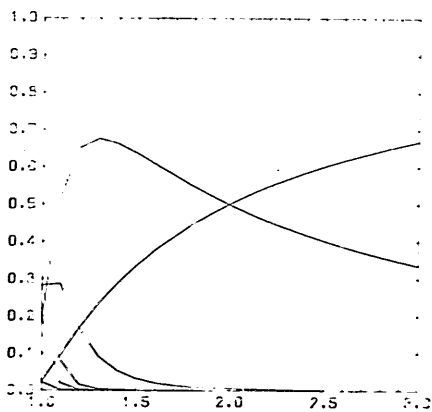


図 34.3 セミ・シャシー方式の定常解 (シャシー台数=3)

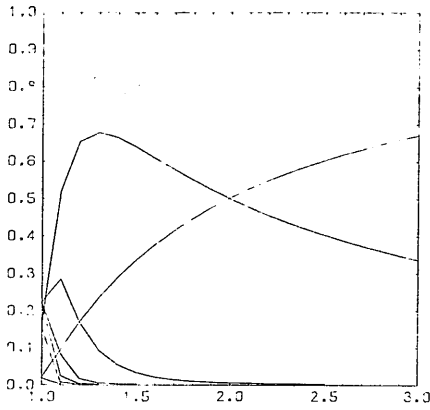


図 34.4 セミ・シャーシ方式の定常解
(シャーシ台数=4)

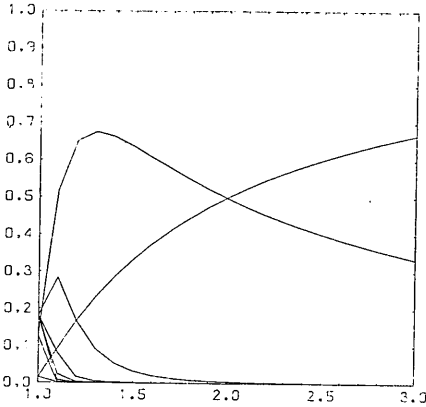


図 34.5 セミ・シャーシ方式の定常解
(シャーシ台数=5)

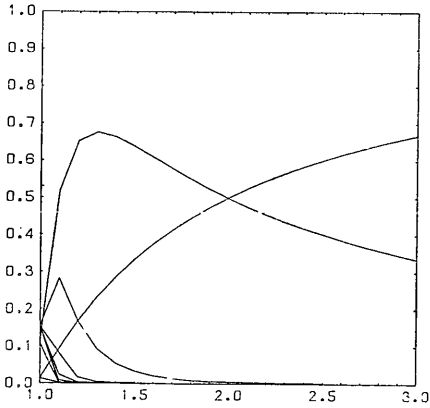


図 34.6 セミ・シャーシ方式の定常解
(シャーシ台数=6)

考え得るすべての状態は、トラクター台数を n とすると次の $(n+3)$ とおりである。

- C …… クレーンがトラクターを待っている状態
- C' …… クレーンは荷役しているが、トラクターはクレーンの下で1台も待っていない。
- E_1 …… クレーンが荷役していて、トラクター1台クレーンの下で待っている。
- \vdots
- E_i …… クレーンもトランスレーナも荷役していて、トラクターが i 台クレーンの下で、 $(n-i)$ 台トランスレーナの下で待っている。
- \vdots
- E_{n-1} …… クレーンが荷役していて、 $(n-1)$ 台のトラクターがクレーンの下で待っている。
- \vdots
- T' …… トランスレーナは荷役しているが、トラクターはトランスレーナの下で1台も待っていない。この場合、すべてのトラクターは次の状態 T と同様、クレーンの下で待っている。

T …… トランスレーナがトラクターを待っている。

例えば、 $n=1$ のときは考えられる状態は C, C', T', T である。 E_1 の状態はなくて、それが T' と T の2つの状態にわかれていることに注意してほしい。また、ダミーのトラクターは n 台のうちに入っていない。

図 34.1 から 6 において、各曲線と上で述べた各状態は、左側の山から $C, C', E_1, \dots, E_{n-1}, T', T$ となっている。右側の山からいけばこの逆順になっている。

なお、図 34 の各図で実際に計算した ρ の値は図 31~ 図 33 と同様 0.1 きざみである。他図の場合は計算しない ρ の値は、計算した ρ の値をもとにして各点で接線が等しくなるような円で補間しているが、図 34 の場合は刻み幅が 0.1 では大きすぎて、この方法ではうまくいかなかったので、直線で補間している。

具体的な例をあげてみよう。トラクターはクレーンからトランスレーナまで 160m、およびトランスレーナからクレーンまで 200m 走行し、秒速 3m とする。クレーンとトランスレーナの平均サイクル・タイムは、各々、2分と1分30秒とする。このとき、クレーンの遊ぶ確率が 0.5% 以下になるようなトラクター台数を上で述べた2つの方法で求めてみよう。

まず、はじめに述べた方法では、トラクター台数を n とするとクレーンのサイクル・タイム 120秒とトラクターのサイクル・タイム 190秒より、 $\rho = n \times 120 / 190 \approx 0.63 \times n$ である。 $n=3$ だと $\rho=1.89$ で図 28.2 よりそのときのクレーンの遊ぶ確率は約 1.5%、 $n=4$ だと $\rho=2.52$ で図 28.3 より、そのときのクレーンの遊ぶ確率は

約0.05%となり求める台数は4台とわかる。このとき、ヤード内にいるトラクターの平均台数は、1.57台である。

後に述べた方法では、まずダミーのトラクター台数が3台いる。 ρ は120/90で1.33である。状態Cの曲線が $\rho=1.33$ で0.005より小になる最小の n は $n=1$ のときで、ダミーの3台とで計4台のヤード・トラクターが必要である。図34.1よりクレーンの遊ぶ確率は0.001であり、トランスレーナが遊ぶ確率は0.23である。このことから、本船荷役4、搬出入荷役1の割合で荷役できる。もっとも、これはトランスレーナが動かなくてすむと仮定した場合である。

トラクターとシャーシーは他の荷役機器と比較すると、非常に安価なので、トランスレーナ方式を考察するにあたっては、クレーンを遊ばせないと同時に、できるだけトランスレーナを遊ばせてその時間を搬出入荷役にあてた方がよい。すなわち、約20倍高価なトランスレーナを購入するより、シャーシーとトラクターを数台余分に備える方が本船荷役が毎日あるわけではないので経済的である。二番目の方法によると、 N を十分大きくするとトランスレーナの遊ぶ確率は $0.3/1.3=0.25$ まであげることが可能である。このことは、搬出入コンテナもトランスレーナが移動せずに荷役できるとすると、本船荷役3台に搬出入トラクター1台のわりでさばけることになる。しかし、そのためにはヤード・トラクターを限りなく用意しなければならず、上述の4台で23%はまず満足すべき線であろう。

ここで述べた方法は、あくまでも凡その台数を求めるための便法で、図29のようには精密でないのははじめの仮定から明らかである。これらは、ターミナルの設計を比較する場合の第一次近似として使うべきものであり、ターミナルの性格がはっきりときまり、大雑把な数でなく、非常に細かい数を必要とするときは、そのターミナル専用のシミュレーションをしてそれらを求めるべきであろう。

2.4 荷役方式とヤード上のコンテナ積み付け方式の関係

1では、コンテナ・ターミナルの規模を面積でいわずに、コンテナの個数で示した。その理由は、荷役方式が変わればヤード上のコンテナ配置方法が変わったり、多段積みが可能または不可能となり、面積が一定しないからである。また、荷役方式がきまっても、レイ・アウト

の方法によって、同じ規模でもコンテナ最大貯留量は異なる。レイ・アウトの問題は、それ自身独立しているわけではなく、同じ荷役システムでも荷役機器の性能にも依存するのである。例えば、1段クリアーのストラドル・キャリアと2段クリアーのそれとは、2段積と3段積の違いのほかに、キャリアの車輪幅がかわり、この方法で車輪幅がかわることはヤード上に置かれるとなりあうコンテナの間隔がかわり、貯留個数はかわってしまう。したがって、レイ・アウトに関しても一般的に取り扱うのは難しく、ターミナルを決定したら1の方法で貯留個数を求め、次にその個数を収容できるコンテナ荷役システムを選び、それから、レイ・アウトと併行して荷役機器の台数を2の結果を参考にして、フィード・バックしながらきめる作業となる。

したがって、ここでは一般的に各荷役方式ではどの程度のスペースがあるかを現実のターミナルの値で示すだけにとどめる*。

2.4.1 シャーシー方式

図35は、本牧A-4公団コンテナ埠頭である。シャーシー方式を採用しているが、このコンテナだけは国際標準規格外の35フィートコンテナである。

具体的な数字は、シャーシーとシャーシーの左右間隔

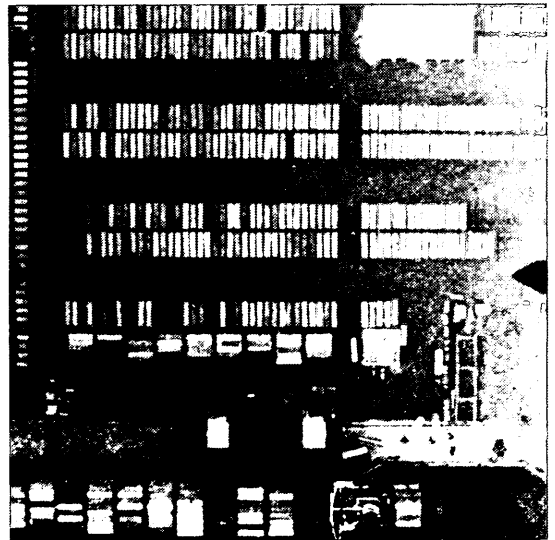


図35 シャーシー方式を採用するコンテナ・ターミナル

* 文献6)7)にトランスレーナとストラドル・キャリアの場合についてこの種の考察がある。

は約 70cm, シャーシー後部の間隔は 3m 道路幅は 9m, シャーシーをバックして入れる道路の幅は 18m である。道路と道路の間はコンテナ幅 36 個または 37 個分あって, 100m 強ある。この長さを短かくすると, シャーシーには便利になるが, 貯留個数は減る。

このターミナルのコンテナ収容数は 697 個である。

2.4.2 ストラドル・キャリア方式

図 36 は, 本牧 A-5 公団コンテナ埠頭であり, ストラドル・キャリア方式を採用している。

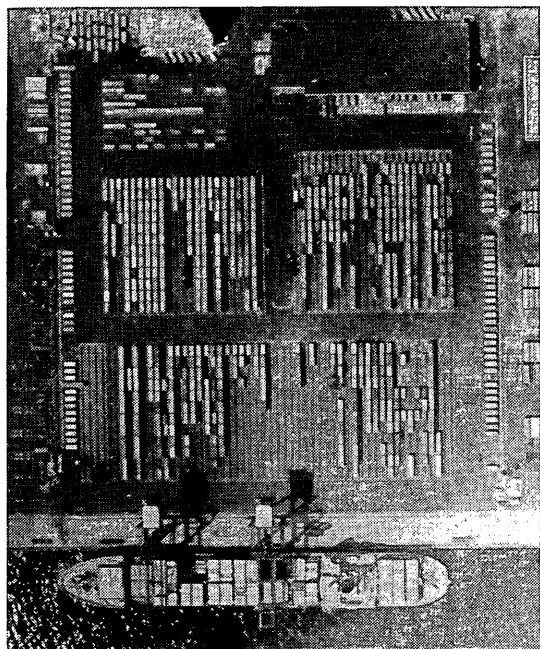


図 36 ストラドル・キャリア方式を採用するコンテナ・ターミナル

コンテナの横方向の間隔は 1.5m, たて方向は 16~27cm ぐらいである。たて方向の間隔が, 一定しないのは, ストラドル・キャリアの性質上, 前後にずれるから当然である。

中央に搬出入用の幅の広い通路があり, その幅は 23m である。他の通路は幅 16~18m ぐらいである。

このターミナルの収容数は 20 フィート・コンテナに換算して 1 段づみにして 1177 個と冷凍コンテナ用 1 段で 99 個である。全部 2 段積みになると, $1177 \times 2 + 99 = 2453$ 個になるが, 1 段クリアーのキャリアは使用できなくなるから, 実際の貯留個数は 2000 個をこえないようである。

2.4.3 セミ・シャーシー方式

図 37 は, 本牧 A-6 公団コンテナ埠頭で, 他のターミナルと比較して面積がせまいので, 収容数の大きいセミ・シャーシー方式をとっている。コンテナの横方向は 3 個あわせて 7.95m であり, したがって各コンテナの横の間隔は, 37.5cm である。たて方向の間隔は約 30cm である。トランステーナと積み替えをするためのシャーシー用の通路は一方通行だから, 幅 5m と少ない。他の通路は幅 20.4m で端だけが 31.4m と多くなっている。

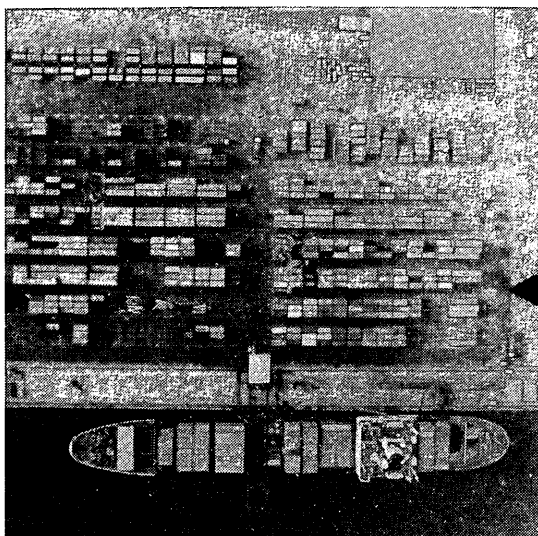


図 37 セミ・シャーシー方式を採用するコンテナ・ターミナル

コンテナ収容数は, 20 フィート換算 1 段積み 912 個, 冷凍コンテナ 99 個で, 3 段積みをするると $912 \times 3 + 100 = 2836$ 個となる。この場合もストラドル・キャリア方式と同様にすべてを 3 段にすると, 積み替えの関係から作業能率がおちるので, 3 列のうち中央の列だけ 1 段にするとかの処置が必要で, 実際にはこの数を相当下まわっている。

あ と が き

本報告では, コンテナ埠頭の規模と荷役方式について両者をほとんど独立に扱ったため, 比較的すっきりとまとめることができた。1 においても 2 においても, 今後, 方法論は改善されるであろうが, 考え方は似たような方向がとられるのではないかと思う。

1 の結果から, 運航特性や搬出入分布等がある程度管

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

理できれば、同じ規模のコンテナ・ターミナルでも、取り扱いコンテナ数は増大することが示唆される。したがって、その次には、それだけのコンテナを扱うには荷役方式をきめて必要な荷役施設をとりそろえればよく、それは2の対象となる。

シャーシー方式では貯留コンテナ数を大きくできない欠点があり、セミ・シャーシー方式とストラドル・キャリア方式では搬出入の問題と積み替えの問題があり、これらをうまく調整、解決できない限りターミナルは能率よく運営されないであろう。今回は基礎的考察が主で、これらの問題にはふれなかったが、まえがきに述べたようにそれらについての研究は今後行なうことになっている。ここで行なった考察は、連続バースや自動化・無人化の方向へも進みはじめたコンテナ・ターミナルにも、それとは逆に地方の小港で、コンテナを扱かおうというときにも応用できると確信している。

なお、今回の調査で、ヘリコプターにのってメモ・モーション・カメラを用いてコンテナ・ターミナルの撮影も行なった。ヘリコプターの滞空時間が普通1時間ぐらいなので、荷役機器のサイクル数を余りとれなかったきらいもあったが、数量的データとしての価値よりも、いつでもくり返してコンテナ埠頭を観察できるという長所があり、問題が生ずる毎にフィルムをみて解決をはかったり、フィルムをみながら問題をみつけたしたりしたことなど、広大なターミナルを観察するのに非常に有益であった。今回ふれなかったコンテナ・ターミナルのレイアウトを考察する際にも十分利用できよう。

また、コンテナ関係のデータも数多く収集し、整理するのに相当の労力を費やした。本文中にあるものはそれらの最終的な姿にはほかならないが、それでもなお、今回の内容から発表を差し控えた分もあり、それらは機会をみて発表したく思っている。

最後に、この報告書の内容に関して、実際にコンテナをとり扱っている各船社および各ターミナル等関係各位の御意見を拝聴したく思っている。

謝 辞

本報告書は、各コンテナ・ターミナル会社と各船社の協力なくしては、できあがらなかった。本牧埠頭A突堤4号、5号、6号ターミナルの関係者および京浜外貿埠頭公団を通じて各船社等の関係者に深く感謝申し上げる次第である。

また、京浜外貿埠頭公団の木内計画部長、落合調査課長、広本調査課長代理、川上調査係長、船越技師、および前任者である森本前計画部長、小倉前調査課長、山口前調査課長代理、後藤技師の皆様は強力な御援助を頂いた。ここに、併わせて謝意を表する次第である。

最後になったが、港湾技術研究所工藤システム研究室長には、有意義な示唆を頂いたばかりでなく、観測にも御援助を頂き感謝に堪えない。また、データ整理を一部システム研究室の渡辺技官にお願いしたので、謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 奥山育英・工藤和男・中村松子・中井典倫子
「待ち合わせ理論の港湾への適用に対する考察
—その前提条件の実証的解析—」
港湾技研発表会講演概要、1968、12
- 2) 「Shipping Gazette」ジャパン・プレス社(週刊誌)
- 3) 「東京・横浜両港における外貿コンテナ貨物流動調査報告書」京浜外貿埠頭公団、1969、9
- 4) 本間鶴千代「待ち行列の理論」理工学社、1966、3
- 5) 森村英典、大前義次「待ち行列の理論と実際」日本科学技術連盟出版社、1962
- 6) 三菱重工業株式会社「コンテナ・ハンドリング方式ストラドル・キャリア方式とトランスファークレーン方式の比較」近代港湾、2巻9号、1970、9、pp. 57~64
- 7) 三井造船株式会社「トランステーナ・システムとストラドル・キャリアシステムの比較について」近代港湾、2巻9号、1970、9、pp. 65~79
- 8) 工藤和男、高野聖三、奥山育英「埠頭の貨物取り扱い能力についての研究」港湾技研報告、4巻8号、1965、11、pp. 64~65
- 9) 「埠頭能力報告書」第一港湾建設局、1968、3、pp. 83~90

(1971.6.30 受付)

付録 A サイクル・タイムが一定のときの入港時間隔分布

1.1 で、コンテナ船のサイクル・タイムは、ある平均値のまわりにばらつくことを示したが、ここでは、一つ目のやすとしてばらつかないとき、いいかえれば、サイクル・タイムが一定値をとるときの入港時間隔の分布について考察する。

同じサイクル・タイム a の船が n 隻運航している場合は、それらの入港間隔は、集荷等の都合により、 a/n だけと考えるとよいだろう。したがって、以下では異なるサイクル・タイムの場合を考察する。

1) 異なるサイクル・タイムが2種類の場合

異なるサイクル・タイムを a, b とし、サイクル・タイム a の船が m 隻、 b の船が n 隻運航するとする。各船は、一定のサイクル・タイムで運航していることから、この場合の入港時間隔は各サイクル・タイムの船が等間隔で運航している限りサイクル・タイム a/m の船が1隻、 b/n の船が1隻運航している場合の入港時間隔と完全に一致する。それゆえ、 $a/m, b/n$ をあらためて a, b とおき、各サイクル・タイムの船は1隻である場合を考察すればよい。

まず、 $a < b$ とし、 a と b が互いに素、すなわち、 a と b の最大公約数が1であるときの入港時間隔分布を求めてみよう。このとき、 ab 時間経過すると2船の間隔の関係は最初と同じになり、あとはそれをくりかえすだけだから0と ab の間で入港時間隔を調べるだけでよい。

0と ab の間では、サイクル・タイム a の船は b 回、 b の船は a 回到着するから、あわせて $(a+b)$ 回の到着があり、したがって、 $[0, ab]$ 間には $(a+b+1)$ 個の到着間隔が考えられるが、周期的であること、すなわち、0と ab で丸くつながっていることから、 $(a+b)$ 個の到着時間隔ができる。したがって、到着時間隔のうち、1つは0から最初の到着までの時間と最後の到着から ab までの時間の和となるのである。

これら $(a+b)$ 個の到着時間隔の時間幅の分布は次のようにして求まる。

まずはじめに、小さい方のサイクル・タイム a の船の到着を時間隔 $[0, ab]$ 上にはりつける。次に、サイクル・タイム b の船をこの上に重ねあわせる。 $b > a$ の条件から、重ねあわせ後に、サイクル・タイム a の船の連続した2つの到着の間にサイクル・タイム b の船が到着するのはただか1回で、 a と b が互いに素である条件から、あら

たに、1, 2, ……、 $(a-1)$ の到着時間隔があらわれる。したがって、1の到着時間隔は $(a-1)$ の到着時間隔と連続してあられ、1, $(a-1)$ と $(a-1)$, 1と連続する場合の2回だけ起こる。一般に $i (< a)$ の場合は、 $a-i$ の到着時間隔と連続してあられ、 $i, (a-i)$ と $(a-i)$, i の2回だけ起こる。その他の到着時間隔は、0か a であるが、0は同時刻到着のことであるから、 $[0, ab]$ 間では1回しか起こらず、したがって、表 A-1 の度数分布表が求まる。

表 A-1 2船のサイクル・タイムが a, b ($a < b$ で互いに素) のときの到着時間隔の1周期における度数分布

到着時間隔	度数
0	1
1	2
2	2
3	2
⋮	⋮
i	2
⋮	⋮
$a-1$	2
a	$b-a+1$

次に、 a, b が互いに素でない場合には、上の論法を用いても結果を得られるが、各船の初期の位置が問題になるので、 a, b の最大公約数を m とし、 $a=ma', b=mb'$ と表わしたとき a' と b' は互いに素であるから、改めて時間の単位を m にするとはじめの方法に帰着される。この場合結果は表 A-1 で到着時間隔を $m, 2m, ……$, $a-m$ とすればよく、各船の初期の位置の問題は、 m 時間のうちでずれると考えればよい。

例えば、28日サイクルの船4隻と35日サイクルの船2隻の場合の到着時間隔分布を求めてみよう。28/4と35/2は各々7と17.5であるので、サイクル7日の船1隻とサイクル17.5日の船1隻が就航している場合と到着時間隔分布は等しい。整数にするために2倍して、14と35となるがこれらは最小公倍数7を持つので最終的に2と5になり、このときの単位時間は3.5日である。表 A-1 で、 $a=2, b=5$ を代入して、単位時間が3.5日であることを考慮すると、表 A-2 を得る。このときは、

$$2 \times 5 \times 3.5 = 35(\text{日})$$

毎に同じ到着時間がくりかえされる。

ここで、注意しておかねばならないのは、はじめの2船の位置によって3.5日単位の時間隔内で接近も離れも

表 A-2 28日サイクルの船4隻と35日サイクル2隻就航の場合の到着時間隔分布

到着時間隔	度 数	比 率
3.5 日以内	1	0.1429
3.5 日～7 日	2	0.2857
7 日～10.5 日	4	0.5714

するわけで、最初の二船の到着時刻の差が3.5日を法として* 大なるとき、たとえば、3以上のときは各間隔内で二船の到着は少なくとも3以上離れているが、となりの間隔での到着と非常に近づくことである。したがって表 A-2 で評価しようというときは、最初の二船の到着時刻の差の3.5日を法とした値をあまり大きくしてはいけない。逆に小さくしすぎると、二船の到着が非常に接近することがあるわけである。

2) 異なるサイクル・タイムが3種類以上のとき

現状のように、コンテナ船が数社のスペース・チャーター方式をとり、それに応じてコンテナ・ターミナルも共同使用する場合は、いくつもの異なった航路が同一ターミナルを使用することはないが、各船社毎にターミナルを持ったり、コンテナ航路が増えると、サイクル・タイムの異なる船が数隻も同一ターミナルを使用するであろう。

この場合、サイクル・タイムがみな異なる n 隻の船が運航しているときの1周期の到着時間の度数分布を $x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_a$ とする。 x_i は到着時間隔 i が1周期にあらわれる回数であり、 a は n 隻のサイクル・タイムのうちの最小値である。

ここに、 $(n+1)$ 隻日の船舶が加わったときの到着時間隔を求めるのだが、その周期 α は $\alpha > a$ で、しかも α は他のどのサイクル・タイムとも互いに素であるとす。このときの到着時間隔の度数分布を $y_0, y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_a$ とすると次式が成立する。ここに、 y_i は到着時間隔 i が1周期内に表われる回数で、その1周期は n 隻のときの周期の α 倍である。

$y_0 = \{(n+1) \text{ 隻の運航によって生ずる到着間隔}$

$$\text{の総数}\} - \sum_{k=1}^a y_k$$

$$y_1 = \alpha x_1 + 2 \sum_{k=2}^a x_k$$

$$y_2 = \alpha x_2 + 2 \sum_{k=3}^a x_k - x_2$$

* 最初の二船の到着時刻を各々 x, y とすると $|x-y|$ を3.5で整除した余りの値のこと。

$$y_3 = \alpha x_3 + 2 \sum_{k=4}^a x_k - 2x_3$$

⋮

$$y_i = \alpha x_i + 2 \sum_{k=i+1}^a x_k - (i-1)x_i$$

⋮

$$y_a = \alpha x_a - (a-1)x_a$$

y_0 を上のようきめると、はじめの n 隻に関しては a が最小でありさえすればよく n 隻のサイクル・タイムが素である必要はなくなることを確かめられた。ただし、 $(n+1)$ 隻目のサイクル・タイム α がはじめの n 隻のサイクル・タイムと素であることは必要である。

上式を用いて、サイクル・タイムが a, b, c (a が最小で、互いに素とする) の場合の到着時間隔分布を求めると表 A-3 となる。

表 A-3 三船のサイクル・タイムが a, b, c (a が最小で互いに素) のときの到着時間隔の1周期における度数分布

到着時間隔	度 数
0	$a+b+c-1$
1	$2(a+b+c)-6$
2	$2(a+b+c)-12$
3	$2(a+b+c)-18$
⋮	⋮
i	$2(a+b+c)-6i$
⋮	⋮
$a-1$	$2(a+b+c)-6(a-1)$
a	$(b-a+1)(c-a+1)$

さらに、4航路を考えてサイクル・タイムが a, b, c, d (a が最小で、互いに素とする) の場合は表 A-4 となる。以下、航路数が増えても上述の関係式を順次用いれば到着時間隔分布が求まる。

表 A-4 四船のサイクル・タイムが a, b, c, d (a が最小で互いに素) のときの到着時間隔の1周期における度数分布

到着時間隔	度 数
0	$ab+ac+ad+bc+bd+cd-a-b-c-d+1$
1	$12-6(a+b+c+d)+2(ab+ac+ad+bc+bd+cd)+2$
2	$48-12(a+b+c+d)+2(ab+ac+ad+bc+bd+cd)+2$
3	$108-18(a+b+c+d)+2(ab+ac+ad+bc+bd+cd)+2$
⋮	⋮
i	$12i^2-6i(a+b+c+d)+2(ab+ac+ad+bc+bd+cd)+2$
⋮	⋮
a	$(b-a+1)(c-a+1)(d-a+1)$

これらの表では、到着時間隔0の場合が何回続くかが、いいかえれば、同時到着隻数がわからない。しかしその回数はサイクル・タイムが a, b, c の3船である場合は、 $[0, ab]$ 間で2隻同時に到着するのは1回で、他の $(a+b-1)$ 回の到着は単独だから、これにサイクル c の船が加わると、周期は $[0, abc]$ となり、3船同時到着が1回、2船同時到着は新たに $(a+b-2)$ 回増える。しかも、2船の場合の周期の c 倍になったことから2隻の同時到着は c 倍になるがそのうち1回は3隻同時到着にまわるから $(c-1)$ 回増え、合計すると1周期内に $(a+b+c-3)$ 回の2隻同時到着が起こる。まとめると、周期 $[0, abc]$ で3隻同時入港が1回、2隻同時入港は $(a+b+c-3)$ 回生ずることになる。

サイクルが a, b, c, d の4隻の場合は、4隻の同時入港が1回生ずる。3隻同時入港は $(a+b+c-3)$ 回新たに生じ、周期が d 倍になったことから d 回増えるがそのうちの1回は4隻同時到着にまわるから、合計して $(a+b+c+d-4)$ 回となる。一方、2隻同時到着は $\{(ab+bc+ca)-3-2(a+b+c-3)\}$ 回新たに増え、周期が d 倍になったことから $d(a+b+c-3)$ 回増えるが、そのうちの $(a+b+c-3)$ 回は3船同時到着になるから、合計して $\{ab+ac+ad+bc+bd+cd-3(a+b+c+d)+6\}$ 回となる。

以上の理論では、 a, b, c, d が互いに素であることが条件であって、そうでないときはその場に応じてこの方法を応用せねばならない。

例えば、28日サイクルの船が2隻、49日の船が4隻、63日の船が4隻の場合を想定すると、これは14日サイクル、12.25日サイクル、15.75日サイクルの船が各1船ずつ就航している場合と同じ到着分布を持つ、4倍すると各々56, 49, 63となるから7で割って、8, 7, 9の3サイクルで考察すればよい。この場合、単位時間は $7/4$ 日 = 1.75日である。表 A-3 を用いて、この場合の到着時間隔の度数分布は表 A-5 となる。なお、同時到着の比率は表 A-6 となる。

これらの結果は、各サイクルの船が各々定まった間隔で運航している場合を重ね合わせたときであり、それをくずして、到着時間隔をつめたくないときは、例えば28日サイクルの船2隻は1日と15日に到着するように、49日サイクルの船は8日、22日、36日、43日に到着するように、63日サイクルの船は4日、18日、32日、46日に到着するように運航させると、少なくとも3日間に2船到着することはないから船の混雑はないが、各航路の船

表 A-5 28日サイクルの船が2隻、49日の船が4隻、63日の船が4隻就航した場合の到着時間隔分布

到着時間隔	度数	比率
1.75 日以内	23	0.1204
1.75日～ 3.5 日	42	0.2199
3.5 日～ 5.25日	36	0.1885
5.25日～ 7.00日	30	0.1571
7.00日～ 8.75日	24	0.1257
8.75日～10.75日	18	0.0942
10.75日～12.25日	12	0.0628
12.75日～14.00日	6	0.0314

表 A-6 28日サイクルの船が2隻、49日の船が4隻、63日の船が4隻就航した場合の同時到着船数の比率（この場合、同時到着とは1.75日以内で考える）

同時到着の船数	時間的比率	到着船数に対する比率
3 隻	0.0020	0.0157
2 隻	0.0417	0.2094

が等間隔で入港しないので、一定の割で積みコンテナが搬入されるような場合に、一船あたりの取り扱いコンテナ数の変動が大きくなる。

付録 B シミュレーションのフロー・チャート

本文 1.5 のシミュレーションのフロー・チャートを図 B に示す。なお、このシミュレーションの実施で使った乱数の統計的諸性質を調べるべきだが、このシミュレーションは単に試験的に行なったものであるから省略した。

フロー・チャートにおいて使用した記号の意味は以下のとおりである。

n ……コンテナ船の隻数

t_k …… k 番目のコンテナ船の到着日

U_t ……時刻 t における実入り揚コンテナの貯留個数

L_t ……時刻 t における実入り積みコンテナの貯留個数

F_t ……時刻 t における実入りコンテナの貯留個数

E_t ……時刻 t における空コンテナの貯留個数

T_t ……時刻 t におけるコンテナ貯留個数

RL_t ……時刻 t における搬入実入りコンテナ数

DL_t ……時刻 t における搬出実入りコンテナ数

コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察

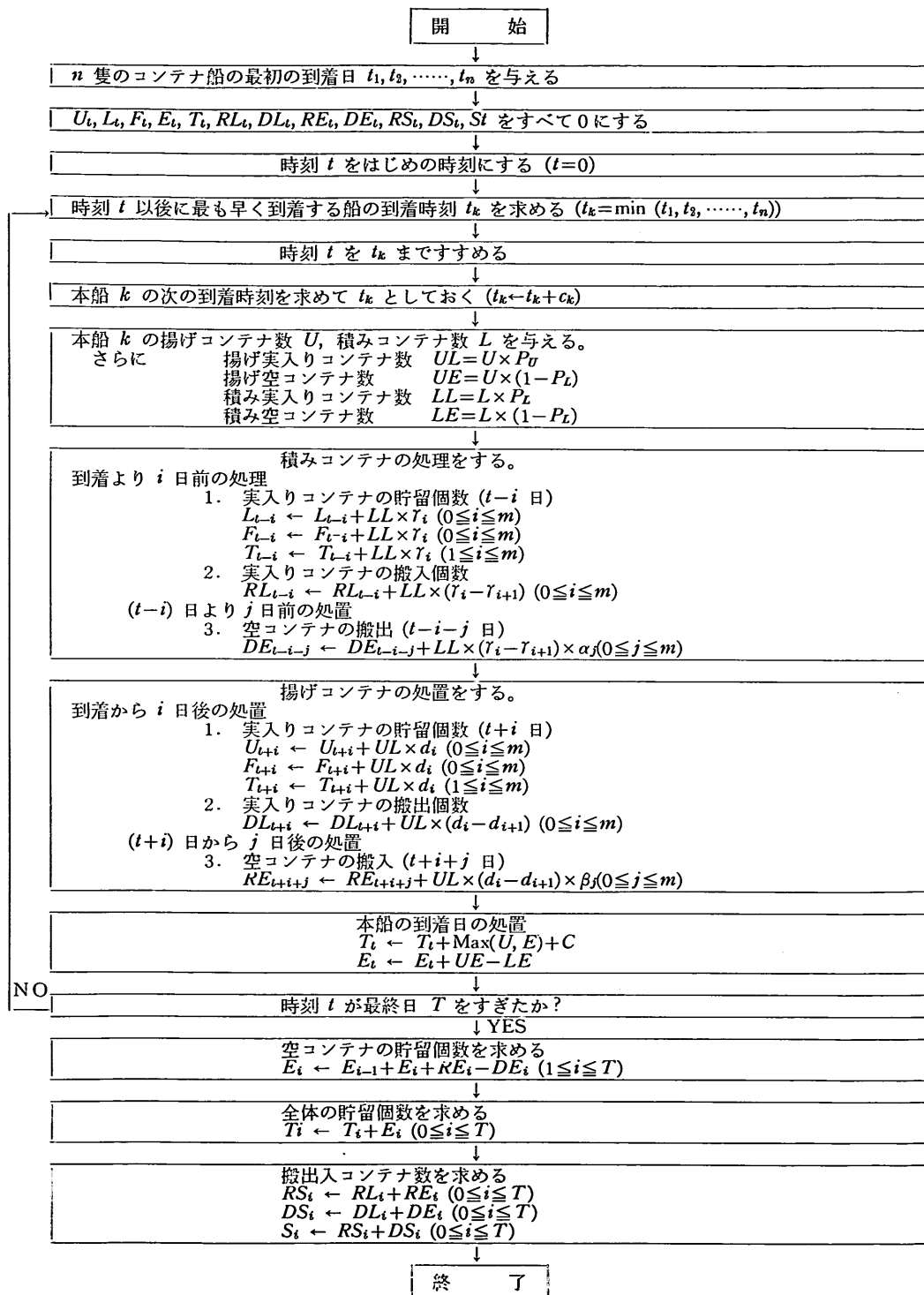


図 B シミュレーションのフロー・チャート

- RE_i ……時刻 t における搬入空コンテナ数
- DE_i ……時刻 t における搬出空コンテナ数
- RS_i ……時刻 t における搬入コンテナ数
- DS_i ……時刻 t における搬出コンテナ数
- S_i ……時刻 t における搬出入コンテナ数
- U ……本船の揚げコンテナ数
- L ……本船の積みコンテナ数
- P_U ……本船の揚げコンテナ数における実入りコンテナ数の占める比率
- P_L ……本船の積みコンテナ数における実入りコンテナ数の占める比率
- UL ……本船の揚げ実入りコンテナ数
- UE ……本船の揚げ空コンテナ数
- LL ……本船の積み実入りコンテナ数
- LE ……本船の積み空コンテナ数
- γ_i ……実入りコンテナの搬入分布。 i 日前までに搬入している比率である。
- d_i ……実入りコンテナの搬出分布。 i 日後にまだコンテナ・ヤードに留まっている比率である。
- α_j ……空コンテナの搬出分布。実入りコンテナとなって搬入する日から j 日前に空コンテナの搬出する比率である。
- β_j ……空コンテナの搬入分布。実入りコンテナが搬出した日から j 日後に空コンテナとなって搬入する比率である。
- T ……シミュレーションを終える最後の日である。
- m ……コンテナの搬出入分布で、 m 日より大になると搬出入が 0 となるような値。
- C ……揚げ積みの方法で述べた仮置き個数。

付録 C 待ち合わせの方程式

C-1 シャーシー方式

1 台のクレーンに n 台のシャーシーをはりつける場合を考える。クレーンの平均サイクル・タイムを a , シャーシーの平均サイクル・タイムを b として、最初にクレーン、およびシャーシーのサイクル・タイムを、ランダムであるとする。 C, E_0, E_1, \dots, E_n を 2.3.3 と同じ意味に用い、時刻 t における各々の状態確率を、 $c(t), e_0(t), e_1(t), \dots, e_n(t)$ とおくと、次式が成立する。

$$c(t+Dt) = (1-n\lambda Dt) c(t) + \mu Dte_0(t) + O(Dt)$$

$$e_0(t+Dt) = (1-n\lambda Dt - \mu Dt) e_0(t) + n\lambda Dtc(t) + \mu Dte_1(t) + O(Dt)$$

$$e_1(t+Dt) = (1-n-1\lambda Dt - \mu Dt) e_1(t) + n\lambda Dte_0(t) + \mu Dte_2(t) + O(Dt)$$

$$\vdots$$

$$e_i(t+Dt) = (1-n-i\lambda Dt - \mu Dt) e_i(t) + \overline{n-i+1}\lambda Dte_{i-1}(t) + \mu Dte_{i+1}(t) + O(Dt)$$

$$\vdots$$

$$e_n(t+Dt) = (1-\mu Dt) e_n(t) + \lambda Dte_{n-1}(t) + O(Dt)$$

(ただし、 $\lambda=1/b, \mu=1/a, \lim_{Dt \rightarrow 0} \frac{O(Dt)}{Dt} = 0$ とする。)

これらの式を変形して、 $Dt \rightarrow 0$ とすると、次式が導びかれる。

$$c'(t) = -n\lambda c(t) + \mu e_0(t)$$

$$e_0'(t) = -(n\lambda + \mu) e_0(t) + n\lambda c(t) + \mu e_1(t)$$

$$e_1'(t) = -(\overline{n-1}\lambda + \mu) e_1(t) + n\lambda e_0(t) + \mu e_2(t)$$

$$\vdots$$

$$e_i'(t) = -(\overline{n-i}\lambda + \mu) e_i(t) + \overline{n-i+1}\lambda e_{i-1}(t) + \mu e_{i+1}(t)$$

$$\vdots$$

$$e_n'(t) = -\mu e_n(t) + \lambda e_{n-1}(t)$$

(ただし、' は t で一回微分したことを示す。)

有限マルコフ連鎖は定常解をもつことから、 $t \rightarrow \infty$ としたとき、各状態確率は t に依存しない値 $c, e_0, e_1, \dots, e_i, \dots, e_n$ に各々が等しくなり、したがって上式の左辺は 0 だから、 $(n+2)$ 個の未知数の連立方程式ができる。上の $(n+2)$ 式は、独立ではないので各状態確率の値は決まらないが比が決まる。一方、これらの確率の和は 1 であることを利用して、 $c, e_0, e_1, \dots, e_i, \dots, e_n$ の値を決定する。

具体的な形は、

$$e_k = \frac{1}{(n-k)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-k} / S \quad (k=0, 1, 2, \dots, n)$$

$$c = \frac{1}{n \cdot n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n+1} / S$$

ここに

$$S = \frac{1}{n \cdot n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n+1} + \sum_{k=0}^n \frac{1}{(n-k)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-k}$$

で、与えられる。

以上は、最も簡単なランダムの場合であるが、本文では、クレーンのサイクル・タイムは phase 25 のアーラン分布、シャーシーのサイクルタイムは phase 2 のアーラン分布と仮定している。この場合上の各状態に 3 個の添字 i, n_1, n_2 , をつけて、クレーンの phase を i , phase 1 にいるシャーシー台数を n_1 , phase 2 にいるシャーシー台数を n_2 として、状態を細分すると同様の方程式が成立する*。この場合の解析解は難解なので直接連立方程式を計算機で解いた。

* 文献 8)9) に同様の手法がある。

C-2 ストラドル・キャリア方式

1台のクレーンに n 台のストラドルキャリアをはりつける場合を考える。クレーンおよびストラドル・キャリアの平均サイクル・タイムを、各々 a, b とする。最初に、サイクル・タイムは共にランダムであるとする。 $C, E_{00}, E_{01}, E_1, E_2, \dots, E_n$ を 2.3.4 と同じ意味に使用して、積みの場合とする(揚げの場合は E_{00} と E_{01} の順序を変更するだけでよい)。この場合も C-1 とほとんど同様の式が成立し、定常解が存在することから、それらを各々、 $c, e_{00}, e_{01}, e_1, e_2, \dots, e_n$ とすると、

$$c = \frac{1}{n^2 \cdot n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n+2} / S$$

$$e_{00} = \frac{1}{n \cdot n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n+1} / S$$

$$e_{01} = \frac{1}{n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^n / S$$

$$e_k = \frac{1}{(n-k)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-k} / S \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

ただし

$$\lambda = 1/b, \mu = 1/a, S = \frac{1}{n^2 \cdot n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n+2} + \frac{1}{n \cdot n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n+1} + \sum_{k=0}^n \frac{1}{(n-k)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-k}$$

である。

本文では、クレーンのサイクル・タイムが phase 25 のアーラン分布、ストラドル・キャリアのサイクル・タイムが phase 9 のアーラン分布(キャリアが2台のとき)と phase 2 のアーラン分布の場合を計算した。phase 2 のアーラン分布の場合は C-1 のシャーシーの場合と全く同じ考え方である。

キャリアが2台でそのサイクル・タイムが phase 9 のアーラン分布の場合は、各状態を $A_{ij_1j_2k}$ で表わした。この状態は、クレーンが i phase に、2台のストラドル・キャリアが各々、 j_1 phase と j_2 phase にいて k は0または1で、0はクレーンとストラドルキャリアが作業中でクレーンの下にコンテナが置いていない状態を、1は置いてある状態を示す。この $A_{ij_1j_2k}$ で状態方程式を作った。積みの場合は7156元、揚げの場合は4631元の連立方程式となるが、揚げ積み共、本文の図33の各状態の確率は小数点以下10桁目で、理論的には一致するはずの、揚げの場合の解と積みの場合の解がくいちがった。

C-3 セミ・シャーシー方式

クレーンとトランスレーナのサイクル・タイムはラン

ダムであり、その平均値を各々 a, b とする。 n 台のシャーシーがクレーンとトランスレーナで交互にサービスを受ける場合を想定する。このとき状態は Q_0, Q_1, \dots, Q_{n+3} の $(n+3)$ 個が考えられ、各々次のような状態である。(本文ではこの順に $C, C', E_1, E_2, \dots, E_{n-1}, T', T$ である。)

Q_0 ……クレーンが遊んでいる。このときは当然トランスレーナが荷役中で、そこで n 台のシャーシーが待っている。

Q_1 ……クレーンもトランスレーナも共に作業中であり、トランスレーナを n 台のシャーシーが待っている。

Q_2 ……共に作業中。トランスレーナ下でシャーシーが $(n-1)$ 台待つ。すなわち、クレーン下で1台待つことと同じである。

Q_3 ……共に作業中。クレーン下で2台待っている。

Q_i ……共に作業中。クレーン下で $(i-1)$ 台シャーシーが待つ。

Q_n ……共に作業中。クレーン下で $(n-1)$ 台のシャーシーが待っている。すなわち、1台のシャーシーがトランスレーナ下で待っている。

Q_{n+1} ……共に作業中。クレーン下で n 台のシャーシーが待っている。

Q_{n+3} ……トランスレーナが遊んでいる。クレーン下で n 台のシャーシーが待っている。

上の各状態間の推移は、 $Q_i \rightarrow Q_{i+1}$ はトランスレーナの1サイクルの終了によって、 $Q_i \rightarrow Q_{i-1}$ はクレーンの1サイクルの終了によって生じる。微小時間 dt におけるこれらの推移確率は各々 dt/b および dt/a であり、C-1と同じ方法で状態方程式がたち、この場合も定常解が存在するから、それらを、各々、 q_0, q_1, \dots, q_{n+3} とすると、これらの間には次の関係式が成立する。

$$q_i(1/a + 1/b) = q_{i+1}/a + q_{i-1}/b$$

$$(i=0, 1, 2, \dots, n+2 \text{ ただし } q_{-1} = q_{n+3} = 0)$$

これを解くと $q_i = (a/b)^i q_0$ であり、すべての確率の和は1に等しいことを利用して

$$q_0 = \{1 + a/b + (a/b)^2 + (a/b)^3 + \dots + (a/b)^{n+2}\}^{-1} = \frac{1 - a/b}{1 - (a/b)^{n+3}}$$

を得る。

次に、クレーンのサイクル・タイムが phase 25 のアーラン分布、トランスレーナのサイクル・タイムが phase 9 のアーラン分布を持つ場合を考える。この場合の状態は

上で述べた q_0 から q_{n+3} に添字 i, j をつけてクレーンの phase を i , トランスターナの phase を j で示せばすべてをつくり、それらの中で状態方程式をたてればよい。 n

台のシャーシーを考えたときは, $\{(n+1) \times 25 \times 9 + 25 + 9\}$ 元の連立方程式となる。