

# 港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 758      June 1993

コンテナクレーンの高能率化基礎調査  
—パナマックス型コンテナ船の荷役調査—

中 島 忠 男  
高 橋 康 弘

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	3
2. 調査の概要 .....	4
2. 1 調査場所, 調査対象コンテナクレーンおよび調査対象コンテナ船の概要	4
2. 2 荷役状況およびスプレッド軌跡の調査方法 .....	7
3. スプレッド軌跡の解析方法 .....	8
4. コンテナ荷役の概要 .....	8
4. 1 コンテナターミナルにおけるコンテナ荷役の種類 .....	8
4. 2 コンテナクレーンの計算シングルサイクルパス .....	9
4. 3 コンテナクレーンの荷役能力の評価法 .....	11
5. 調査結果および考察 .....	11
5. 1 コンテナクレーンの荷役状況 .....	11
5. 2 オペレータの運転技量および荷役動作 .....	16
5. 3 コンテナの大きさおよび種類別荷役機械効率, 荷役動作 .....	30
6. まとめ .....	32
7. あとがき .....	33
参考文献 .....	33
記号一覧表 .....	34

# An Investigation on Handling Efficiency to and from a Panamax-size Containership by a Container Crane

Tadao NAKAJIMA\*  
Yasuhiro TAKAHASHI\*\*

## Synopsis

An investigation on handling efficiency to and from a Containership by a container crane was performed at Shimizu Port on 15th of April in 1990.

The results obtained from this investigation are as follows.

- 1) It was revealed that good handling operations are not only achieved by operator's experience but also by operator's inherent capacity.
- 2) It was also revealed that good operator can reduce cycle times by short-cutting cycle passes, doubling operations and stabilizing the operations, furthermore, good operator can only control trolley speed smoothly not to roll the containers but also can put container precisely at target position in short time.

**Key Words:** Investigation, Handling efficiency, Container crane, Operator, Cycle pass

---

\* Chief of Machinery Systems Laboratory, Machinery Division

\*\*Member of Machinery Systems Laboratory, Machinery Division

# コンテナクレーンの高能率化基礎調査 ——パナマックス型コンテナ船の荷役調査——

中 島 忠 男\*  
高 橋 康 弘\*\*

## 要 旨

コンテナクレーンの高能率化を図るとともに、将来におけるコンテナクレーンの自動化荷役に資する資料を得るために、去る平成2年4月に静岡県清水港において、荷役機械効率の主要な影響因子であるコンテナクレーンオペレータの運転技量に着目した荷役調査を実施した。以下にその主要な結果を示す。

- 1) オペレータの運転技量は、運転経験年数とともに緩やかに向上して行くと考えられるものの、一方では、オペレータの個人的な資質に負うところも大きいと考えられる。
- 2) コンテナつり；ありの場合において、スプレッドを巻き下げつつできるだけ揺らせないようにトロリ横行速度を制御するという複合動作（いわゆる「減揺荷役動作」）、並びにその後スプレッドを巻き下げつつ巻き下げ速度が低速になった時点で、すなわちコンテナつり上げ高さが低くなった時点でトロリを一旦停止させ、さらにスプレッドを巻き下げつつトロリを微小横行させて短時間で位置合わせを終了させるというスムーズな複合動作（いわゆる陸側「位置合わせ荷役動作」）が、一連の荷役動作の中でも難度が高くかつ重要な荷役動作と言える。
- 3) オペレータ間の運転技量差は、コンテナ船側「位置合わせ荷役動作」および陸側「位置合わせ荷役動作」において生じており、他の荷役動作においてはほとんど差がないと言える。

キーワード：コンテナクレーン、コンテナ荷役、高能率化、自動化、荷役調査、荷役効率、オペレータ、運転経験年数、サイクルタイム、サイクルパス

## 1. まえがき

1960年代当初にアメリカ東部沿岸およびオーストラリア沿岸で開始された海上コンテナ輸送は、その後の急激なコンテナリゼーションの進展にともない、既に現在では第四世代とも言われる時代に突入している。特に昨今の北米定期航路における海上コンテナ輸送の低価格化競争はとどまるところを知らず、我が国を始めとした各国船社は必死になって生き残りをかけた熾烈な競争を展開している<sup>2)</sup>。

このようなコンテナリゼーションの情勢とあいまって、我が国の大港湾における各コンテナターミナルでは、従来のパナマックス型コンテナ船からオーバーパナマックス型コンテナ船へというコンテナ船の大型化に呼応すべ

く、オーバーパナマックス型コンテナ船対応のコンテナクレーン、いわゆる揚程およびアウトリーチを従来型コンテナクレーンより大きくしたスーパーコンテナクレーンの新規設置もしくは代替設置等その準備を怠いでいるところである。このようなコンテナリゼーションの拡大による必然の結果としてのコンテナ取扱い個数の増加は、コンテナターミナルにおけるマーシャリングヤード荷役および経岸荷役双方の高能率化を求めることになるが、一方では、非ISO (ISO:国際標準化機構) 規格のコンテナ数の増加、リーファコンテナ(もしくは冷凍コンテナ)数の増加等や、マーシャリングヤードにおけるコンテナ積み段数の増加とそれにとりあう荷役効率の低下という悪循環<sup>3)</sup>、空コンテナ数の増加、輸入コンテナの滞留日数の増加等コンテナターミナルの高能率化を妨げる新たな問

\* 機械技術部 機械作業システム研究室長

\*\* 機械技術部 機械作業システム研究室

題も惹起しつつある。いずれにしても、現在のコンテナターミナルにおいては、いかにしてコンテナターミナル全体の高能率化を計るかが最重要課題となっている。そのような状況の中で、経岸荷役の主役であるコンテナクレーンのオペレーションをも含めた高能率化は、いっそう重要性を増している。

ところでコンテナクレーンの荷役効率は、アンローダ荷役と同様に荷役時間効率と荷役機械効率との積という形で表せる<sup>4)</sup>。この中の荷役時間効率に対する影響因子には制御不可能なものが多いだけでなく、荷役中におけるコンテナクレーン自体のトラブルに基づく中断・休止時間はアンローダ荷役の場合と同様にきわめて少ないと考えられる。つまり、荷役時間効率の改善には限度があると考えられる。したがって、荷役効率を高めるためには、必然的に荷役機械効率を高めなければならない。この荷役機械効率の影響因子としては、もっとも支配的と考えられるオペレータの運転技量を始めとしてコンテナの大きさおよび種類、コンテナクレーンの主要仕様、荷役対象船型、自然条件等が存在するが、それらの荷役機械効率に及ぼす影響については、系統立てて調査された例がなく必ずしも明らかではない。また、オペレータ運転室内の作業環境は必ずしも快適とは言い難い面があり、昨今の若年労働者における3K業種への敬遠に象徴される社会意識の変化を考え合わせても、自動化荷役の実現が望まれつつある。したがって、コンテナクレーンの高能率化を達成するためには荷役機械効率の影響因子による影響を明らかにしていくとともに、オペレータの運転技量に左右されないような自動化荷役を実現していく必要がある。その具体的な解決方法例としては、コンテナクレーン自体へ新技術（新振れ止めシステム、ファジー制御システム、新モニタリングシステム、超伝導技術の採

用、その他）を積極的に導入していくことが考えられる。

このような状況を踏まえ、コンテナクレーンの高能率化を図るとともに将来におけるコンテナクレーンの自動化荷役に資する資料を得るために、去る平成2年4月に静岡県清水港において、荷役機械効率の主要な影響因子であるオペレータの運転技量に着目した荷役調査を実施した。とりわけ、オペレータ別の実サイクルタイムおよび実サイクルパスを中心に解析することによって、コンテナクレーンの高能率荷役動作はどのようなものなのかを探った。

本資料は、その結果をまとめたものである。

## 2. 調査の概要

### 2.1 調査場所、調査対象コンテナクレーンおよび調査対象コンテナ船の概要

調査場所は、静岡県清水港袖師第一ふ頭7号バース（-12m）であり、その位置図および平面図を図-1および図-2に示す。

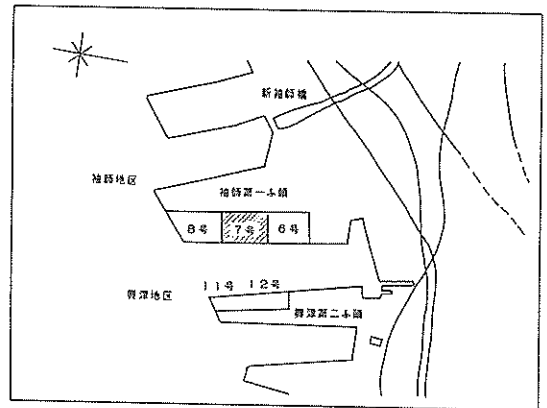


図-1 清水港袖師第一ふ頭の位置図

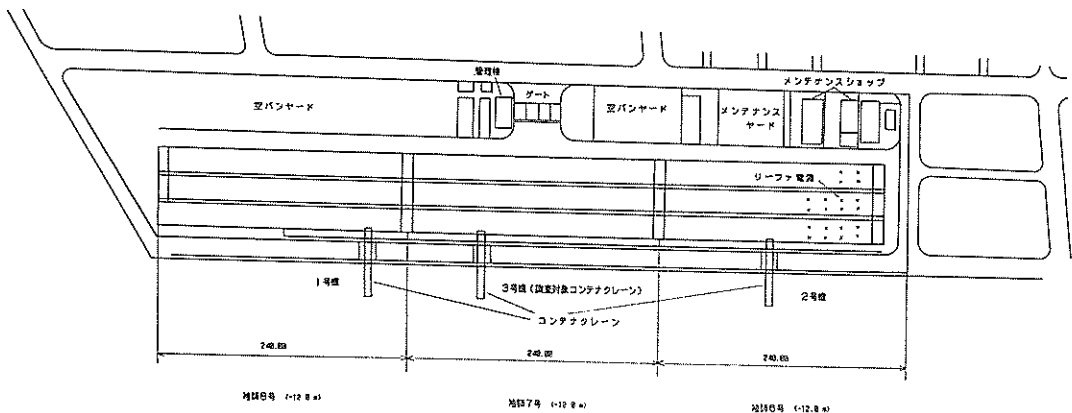


図-2 清水港袖師第一ふ頭の平面図

調査対象コンテナクレーンは、昭和60年に清水港袖師第一ふ頭に設置された重量物兼用コンテナクレーン（通称3号機）である。その全体組立図および主要仕様をそれぞれ図-3および表-1に示す。

また調査対象コンテナ船は、写真-1に示す最大積載量3,613TEU（TEU：20ftコンテナ換算個数）のコンテナ専用船であり、調査時の積み付け率は60～70%程度であった。図-4は、その調査対象コンテナ船の最大積み付け断面

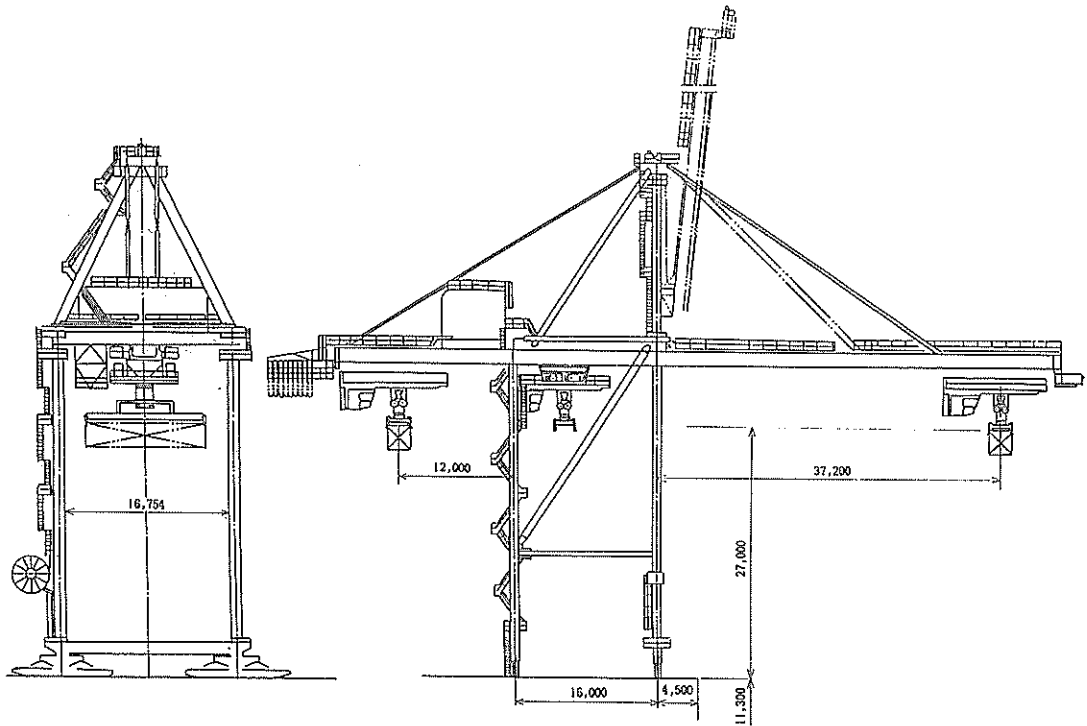


図-3 調査対象コンテナクレーンの全体組立図

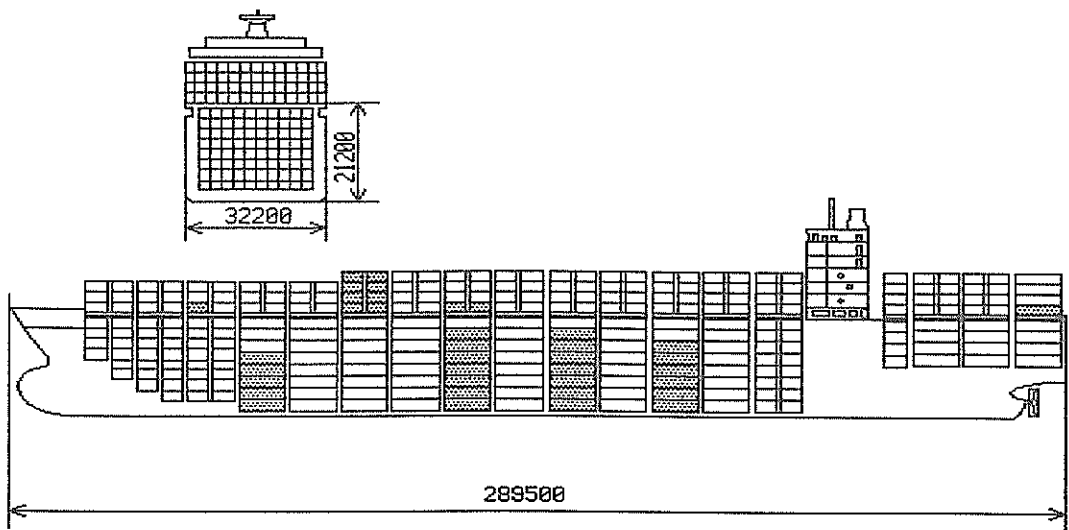


図-4 調査対象コンテナ船の最大積み付け断面図および調査対象コンテナの積み付け位置

表-1 調査対象コンテナクレーンの主要仕様

定格荷重 (t)		30.5
つり上げ荷重(t)		41.5
クレーン重量(t)		639.8
レールスパン(m)		16.0
脚内有効間隔(m)		16.75
横行	全横行距離	65.2
	アウトリーチ	37.2
距離 (m)	バックリーチ	12.0
	全揚程	38.3
揚程 (m)	レール面上揚程	27.0
	レール面下揚程	11.3
巻上げ下げ速度 (m/min)	無負荷	120.0
	全負荷	50.0
横行速度(m/min)		150.0
走行速度(m/min)		45.0
起伏速度(min/cycle)		8.0
軌法線間距離 (m) (海側レール～岸壁法線距離)		4.5



写真-1 調査対象コンテナ船

図を示したものである。調査対象コンテナは、図-4中の網がけ部分であり主としてホールド内コンテナであった。またその主要仕様を表-2に示す。

表-2 調査対象コンテナ船の主要仕様

船名	KAMAKURA
全長	289.5 m
船幅	32.2 m
深さ	21.2 m
喫水	13.0 m
載貨重量トン数	59,441 DWT
ホールド内積み段数	8段
デッキ上積み段数	4段
最大コンテナ積載量	3,613 TEU

## 2. 荷役状況およびスプレッド軌跡の調査方法

図-5は、現地荷役調査の配置図である。具体的な調査方法としては、図-6に示すように荷役作業開始前にスプレッド上部中央に白色の約10cm四方の磁石板（もしくはマーカー、以後磁石板と呼ぶ）を取り付け、図-5に示すように調査対象コンテナクレーンの荷役状況を隣接コンテナクレーンの橋桁（もしくはポータルビーム）上に設置したビデオカメラによって撮影し、後にその画

像から磁石板の軌跡、すなわちスプレッドの軌跡を解析することにした。また荷役中は、コンテナクレーンの近傍にいる作業員と無線によって絶えず連絡を取るとともに、隣接コンテナクレーンの橋桁（もしくはポータルビーム）からも双眼鏡によって観察し、もし荷役状況に何らかの変化があった場合は、その時刻とともに内容をメモするという方法を採用した。写真-2は、荷役状況をメモしている様子を示したものである。

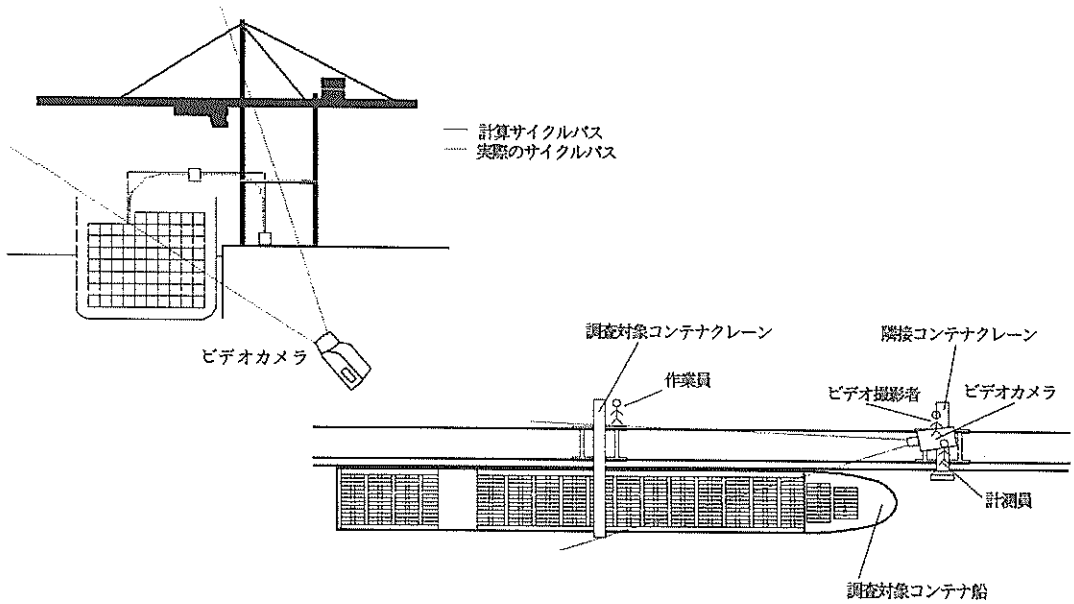


図-5 現地荷役調査の配置図

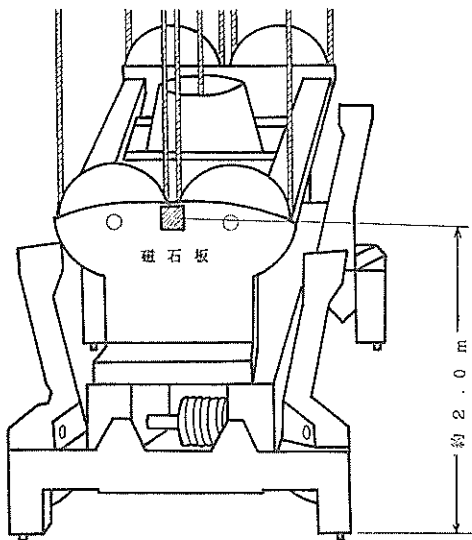


図-6 スプレッドへの磁石板取り付け位置図

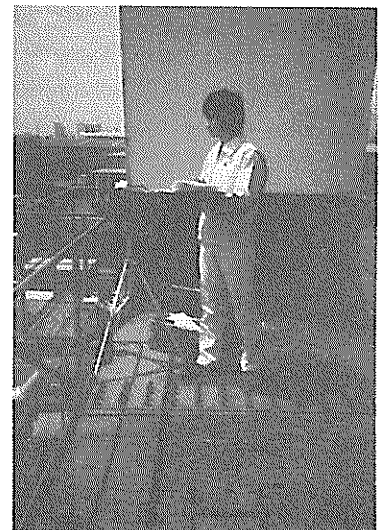


写真-2 荷役状況をメモしている様子



### 3. スプレッド軌跡の解析方法

コンテナ荷役時におけるスプレッドの運動は、主として鉛直方向および水平方向だけであり、それ以外の運動は微小であり無視できると考えられる。したがって、スプレッドの運動は、1鉛直面上の運動と見なすことができる。

ビデオカメラによってコンテナ荷役状況を撮影した場合、ビデオ画像上におけるスプレッド中央の磁石板の座標値には、縮小分およびひずみ分が含まれている。したがって、スプレッド軌跡を解析するに当たっては、実際面における座標に変換する必要がある。

ここで、実際面およびビデオ画面上において既知の4点を知れば、それぞれの座標への相互変換が可能である。例えば、図-7のようにコンテナクレーンの脚部の2点、頂点部の1点およびトロリの走行桁の先端部の1点の合計4点を既知として、それぞれ  $(p_i, q_i)_{i=1\sim 4}$  とする。一方、ビデオ画面上におけるそれらの座標を  $(x_i, y_i)_{i=1\sim 4}$  とすれば、これらの平面間には次の座標変換式が成り立つ<sup>6)</sup>。

$$p_i = \frac{a_1 x_i + b_1 y_i + c_1}{a_3 x_i + b_3 y_i + 1} \dots\dots\dots (1)$$

$$q_i = \frac{a_2 x_i + b_2 y_i + c_2}{a_3 x_i + b_3 y_i + 1} \dots\dots\dots (2)$$

ただし  $a_1 \sim a_3$  : 未知係数

$b_1 \sim b_3$  : 未知係数

$c_1 \sim c_2$  : 未知係数

$p_i$  : 実際面上における水平座標

$q_i$  : 実際面上における鉛直座標

$x_i$  : ビデオ画面上における水平座標

$y_i$  : ビデオ画面上における鉛直座標

$i = 1 \sim 4$  の整数

ここで、これらの既知の点の座標を(1)および(2)式にそれぞれ代入して方程式を解けば、未知係数である  $a_1 \sim a_3$ 、 $b_1 \sim b_3$  および  $c_1 \sim c_2$  は決定されることになる。そうすれば、双方の画面上の任意の点は相互に変換が可能となる。ちなみに、コンテナクレーンの陸側脚とポータル高さの交点を第5の点として、ビデオ画面上から実際面上の座標を計算して検定した結果は、表-3に示すように水平方向および鉛直方向とも3%前後の誤差であった。したがって、この程度の誤差を許容すれば、スプレッド軌跡は、このような手法によってじゅうぶん解析が可能であると言える。

表-3 ビデオ画面から実際面への座標解析による精度

	ビデオ画面上の座標 $(x_i, y_i)$ (mm,mm)	実際面上の座標 $(p_i, q_i)$ (mm,mm)
①	(291.5, 329)	(0, 0)
②	(357, 329.5)	(-16000, 0)
③	(293.5, 43.5)	(840, 55690)
④	(116.5, 160.5)	(43890, 33400)
⑤	(355, 265)	(-16000, 12920)
	計算によって求めた座標	(-15584, 12500)
	計算値-実際値 /実際値	(2.60%, 3.25%)

### 4. コンテナ荷役の概要

#### 4.1 コンテナターミナルにおけるコンテナ荷役の種類

コンテナターミナルにおけるコンテナ荷役は、マーシャリングヤード荷役と経岸荷役とに大きく分けられる。マーシャリングヤード荷役および経岸荷役について、概括説明すれば以下のとおりである。

##### (1) マーシャリングヤード荷役

我が国におけるマーシャリングヤード荷役には、ストラドルキャリア方式、トランスファクレーン方式、オールシャーシ方式、フォークリフト方式等がある。あるいは、これらの方式の組み合わせによる場合もある。ちなみに本調査対象地では、この中のトランスファクレーン方式が採用されていた。

ここで、トランスファクレーン方式の陸揚げ荷役作業を説明すると以下のとおりである。まずコンテナクレーンによってコンテナ船から陸揚げされたコンテナは、マーシャリングヤードからコンテナを受け取りに来たコンテナ直下のトレーラ上に降ろされる。その後、トレーラによってマーシャリングヤードへと運ばれる。トレーラ上のコンテナは、そこでトランスファクレーンによってつり上げられ所定の場所に降ろされる。コンテナをコンテナ船に船積みする場合は、逆の手順となる。

##### (2) 経岸荷役

コンテナ船側と岸壁側間のコンテナ荷役、すなわち経岸荷役は、大規模コンテナターミナルでは通常コンテナクレーンによって行われる。そして、このコンテナクレーンによる荷役方式においても、1荷役サイクルの中で陸側もしくはコンテナ船側への一方向のみで荷役をするシングルサイクルバス荷役、あるいはそれらの両方向で荷役をするデュアルサイクルバス荷役の2通りの荷役様式に分けられる。現在の我が国では、デュアルサイクル

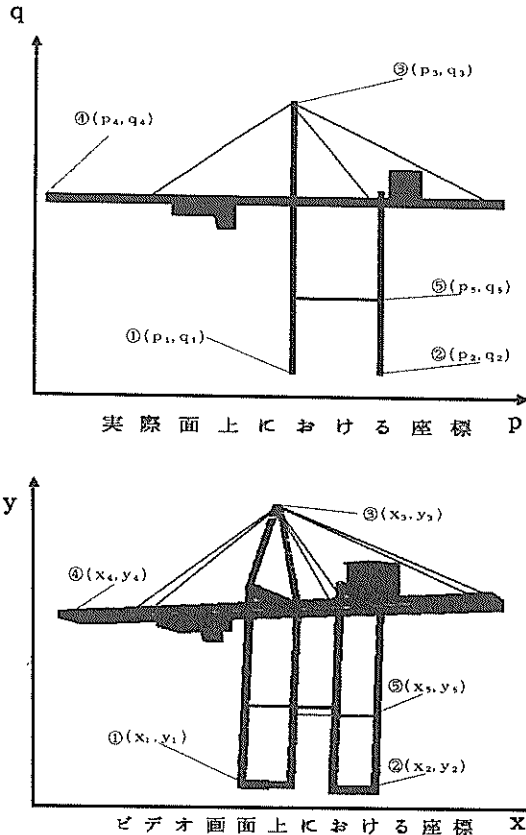


図-7 ビデオ画面から実際面への座標解析に用いた既知の点

バス荷役はあまり行われず、シングルサイクルバス荷役が一般的に行われている。

#### 4. 2コンテナクレーンの計算シングルサイクルバス

今回の調査対象コンテナクレーンには、設計時に設定された計算デュアルサイクルバスしか用意されていなかったこと、本調査の対象船型がコンテナクレーンの設計時対象船型とは異なっていたこと、並びに本調査では荷役様式がシングルサイクルバスであったことなどから、本調査の対象船型に対する計算シングルサイクルバスを設定する必要がある。そこで、文献<sup>8,11)</sup>に基づいて、以後の解析に用いた計算シングルサイクルバスを図-8のように設定した。

計算シングルサイクルバスを設定した基本的な考え方は、以下のとおりとした。

- ①計算対象の船型は、本調査コンテナ船とする。すなわちホールド内は10列8段、デッキ上は13列4段積みのパナマックス型コンテナ船とし、積み付けコンテナの高さはすべて8ft6mとする。
- ②計算対象のコンテナは、ホールド内コンテナについてはホールド内積み付け断面図心、並びにデッキ上コンテナについてはデッキ上積み付け断面図心位置にあるものとする。
- ③トロリ横行時のコンテナつり上げ高さとしては、ホールド内コンテナについては、コンテナ底面がデッキ面から0.5mのクリアランスを採った高さ、デッキ上コンテナについては、デッキ上コンテナ積み付け断面図心から0.5mのクリアランスを採った高さとする。
- ④陸側におけるコンテナの着地点としては、コンテナクレーン下における海側からの第1レーン近傍（海側レーンから6.5mの地点<sup>10,11)</sup>とした）のトレラ上（地上高さ1.2m）とする。

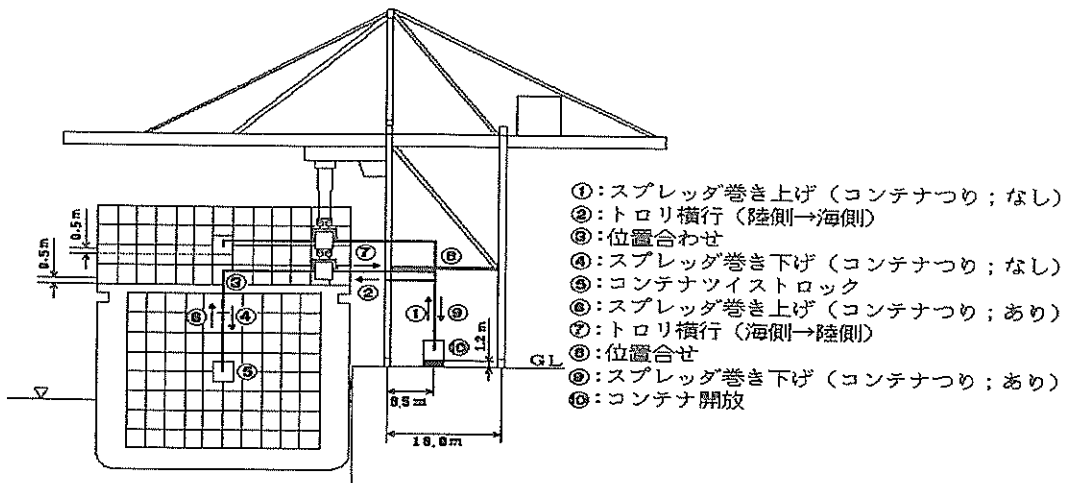


図-8 計算シングルサイクルバス

ここで、図-8および図-9(a)~(b)にしたがって、コンテナを陸揚げする場合のコンテナクレーンの荷役動作について説明すれば、以下のとおりである。

- ①コンテナ開放直後のスプレッドを巻き上げる。
- ②トロリを海側に横行させる。
- ③コンテナ船上の陸揚げ目標コンテナの真上にスプレッドを位置合わせする。
- ④スプレッドを巻き下げる。
- ⑤コンテナをツイストロクする。
- ⑥コンテナつり上げ状態のスプレッドを巻き上げる。
- ⑦トロリを陸側に横行させる。
- ⑧スプレッドをトレーラ上のコンテナ着地点の真上に位置合わせする。
- ⑨コンテナつり上げ状態のスプレッドを巻き下げる。
- ⑩スプレッドからコンテナを解放する。

しかしながら実際の荷役動作においては、各荷役動作を完全に独立して実行するばかりではなく、二つの荷役動作を同時に実行するといういわゆる複合動作を行うことが多い。

図-9(a)~(b)は、このようにして設定した計算シングルサイクルパスから文献<sup>9)</sup>に基づいて作成したデッキ上コンテナおよびホールド内コンテナに対する計算シングルサイクルダイヤグラムである。この結果、デッキ上コンテナおよびホールド内コンテナに対する計算シングルサイクルタイムは、それぞれ80.8sおよび98.0sとなり、コンテナ船全体の計算シングルサイクルタイムは、デッキ上コンテナ数およびホールド内コンテナ数の比率で加重平均して90.7sとなり、計算荷役能力=3600/90.7[個/h]=39.7[個/h]となった。コンテナ船全体の計算シングルサイクルタイムとしては、従前はホールド内コンテナのみを対象とした計算シングルサイクルタイムが使用されて来た<sup>9)</sup>が、昨今ではデッキ上のコンテナを含めたより現実的な計算シングルサイクルタイムが使用されるようになって来ている<sup>10,11)</sup>。したがって、コンテナ船全体の計算シングルサイクルタイムとしては、デッキ上コンテナも含めることとした。

なお、荷役能力の向上という観点からは、スプレッド巻き上げ・下げ速度およびトロリ横行速度をできるだけ高速化すべくスプレッド巻き上げ・下げ用電動機の動力およびトロリ横行用電動機の動力を上げることが考えられるが、後者の場合は、図-9(a)~(b)の計算シングルサイクルダイヤグラムから推測されるように、トロリ横行用電動機の動力が一定の場合は、トロリ横行速度に上限を設定せず必要以上に高速化しても、加・減速度領域ばかりになってしまいあまり意味がない。かと言って、トロリ速度を高速化するために必要以上にトロリ横行用

電動機の動力を上げて、トロリ横行速度が一定の領域(フラット領域)が増大することにはそれほどつながらず、むしろトロリ横行速度を高速化することによるスプレッドの揺れによってその後のコンテナ離着脱作業に悪影響を与えかねない。ただし、無負荷時すなわちスプレッドのみの場合の巻き上げ・下げ加・減速度については、図-9(b)に示すように負荷時すなわちコンテナをつり上げている場合よりもいくぶん低く抑えられている(図-9(b)において無負荷時のスプレッド巻き上げ・下げ速度の勾配が、負荷時より小さい)ことから、安全性を考慮することは当然としても、荷役能力の向上という観点からの無負荷時のスプレッド巻き上げ・下げ速度の高速化は、今後の課題と言えるかもしれない。

いずれにしても図-9(a)~(b)を見てわかるように現行の電動機を選択において、ハードウェア的な観点からの大きな不備は見当たらない。したがって、現状技術を前提に置く限りにおいては、計算シングルサイク

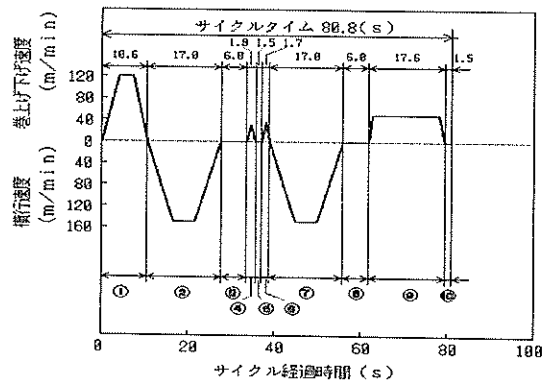


図-9(a) デッキ上積み付け断面図心におけるコンテナの場合

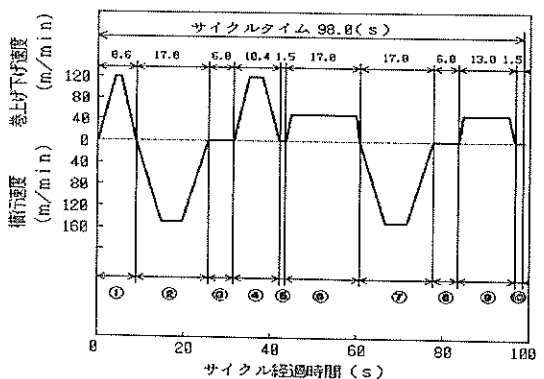


図-9(b) ホールド内積み付け断面図心におけるコンテナの場合

図-9 計算シングルサイクルダイヤグラム

ルタイムを短縮するためのハードウェア的な改善の余地は多くないと言える。

#### 4. 3 コンテナクレーンの荷役能力の評価法

荷役機械の荷役能力を評価する方法としては、絶対的な能力を評価する方法と相対的な能力を評価する方法があることは既に報告している<sup>4)</sup>。個々のコンテナクレーンの効率性を客観的に評価する立場からは、相対的評価方法が用いられる。その具体的な指標としては、荷役効率<sup>5)</sup>が用いられる。

コンテナ荷役の荷役効率は、アンローダ荷役の場合<sup>6)</sup>に準じて次式で表される。

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_c} = \frac{N_p/T}{N_c/T} = \frac{N_p}{N_c} = \frac{T_p/t_p}{T/t_c} \\ = \frac{T_p}{T} \cdot \frac{1/t_p}{1/t_c} = \eta_i \cdot \eta_m \dots \dots \dots (3)$$

ただし  $\eta$  : 荷役効率

$Q_p = N_p/T = \eta_i/t_p$  : 単位時間当たり実荷役コンテナ個数もしくは実荷役能力

$Q_c = N_c/T = 1/t_c$  : 単位時間当たり計算荷役コンテナ個数もしくは計算荷役能力

$T$  : 計算荷役作業時間もしくは公称荷役作業時間

$T_p = T - T_d$  : 実荷役時間

$T_d$  : コンテナクレーン荷役中断時間

$N_p = T_p/t_p$  : 実荷役サイクル数もしくは実荷役コンテナ個数

$N_c = T/t_c$  : 計算サイクル数もしくは計算荷役コンテナ個数, または公称サイクル数もしくは公称荷役コンテナ個数

$t_p$  : 実サイクルタイム

$t_c$  : 計算サイクルタイムもしくは公称サイクルタイム

$\eta_i$  : 荷役時間効率

$\eta_m$  : 荷役機械効率

すなわち荷役効率  $\eta$  は、荷役時間効率  $\eta_i$  および荷役機械効率  $\eta_m$  の積で表される。

ただし荷役時間効率  $\eta_i$  および荷役機械効率  $\eta_m$  は

$$\eta_i = \frac{T - T_d}{T} = \frac{T_p}{T} \dots \dots \dots (4)$$

$$\eta_m = \frac{1/t_p}{1/t_c} = \frac{t_c}{t_p} = \eta_c \dots \dots \dots (5)$$

である。ここで

$$\eta_c = t_c/t_p \dots \dots \dots (6)$$

である。

ただし  $\eta_c$  : サイクル効率<sup>7)</sup>

すなわちコンテナ荷役においては、荷役機械効率はサイクル効率に等しくなる。したがって(3)式は

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_m = \eta_i \cdot \eta_c \dots \dots \dots (3')$$

とも表せる。

コンテナ荷役ではアンローダ荷役と異なり、絶対的評価方法の指標であるサイクルタイムもしくは単位時間当たり荷役コンテナ個数(もしくは荷役能力)によって整理することが多いので、以後の解析にはサイクルタイムもしくは単位時間当たり荷役コンテナ個数(もしくは荷役能力)も随時用いることとした。

#### 5. 調査結果および考察

ここでは、コンテナクレーンの荷役状況を荷役時間効率、荷役機械効率および荷役効率の観点から巨視的に分析するとともに、コンテナクレーンの高能率化を図るためのソフトウェア的な面からのアプローチとして、オペレータの運転技量および荷役動作の観点から実サイクルパスを微視的に解析し、高能率コンテナ荷役というものはどのようなものなのかを探ることにした。加えて、コンテナの大きさおよび種類が荷役機械効率および荷役動作に及ぼす影響についても検討した。

##### 5. 1 コンテナクレーンの荷役状況

###### (1) 荷役状況一覧、荷役時間効率

表-4は、調査日におけるコンテナクレーンの荷役状況の一覧を示したものであり、あわせて写真-3~写真-7は、代表的な荷役状況の様子を示したものである。ここでは、カンチレバー下げ操作を開始した時をもって作業開始時、カンチレバー上げ操作を終了した時をもって作業終了時とした。また作業開始後、初めてコンテナ荷役動作に入った時を荷役開始時、同様に最後のコンテナの荷役動作を終了した時を荷役終了時とした。また、荷役状況の変化において、60秒以内のものは荷役状況の変化とは見なさないこととした。

表-4を見ると、中断時間の内訳としては、ハッチカバーの開閉作業による中断、荷役中のコンテナクレーンの移動による中断が目につく。ここで、表-4中における昼休みのための中断時間は、本調査の趣旨とは異なるので、作業時間および荷役中断時間のいずれからも除外することにした。

表-4中の中断原因は、アンローダ荷役の場合<sup>8)</sup>と同様に次のように分類できる。

- 分類A：作業前後の付帯業務管理時間（準備，連絡，後片付けにともなう中断時間）  
 分類B：作業中の付帯業務管理時間（作業中の準備，連絡，移動にともなう中断時間）  
 分類C：コンテナクレーンの本体の保全時間（コンテナクレーン本体のトラブル等にともなう中断時間）  
 分類D：コンテナクレーン本体以外の付帯設備の保全時間（コンテナクレーン本体以外の付帯設備

のトラブル等にともなう中断時間）  
 分類E：その他（上記以外の自然条件等に起因する中断時間）

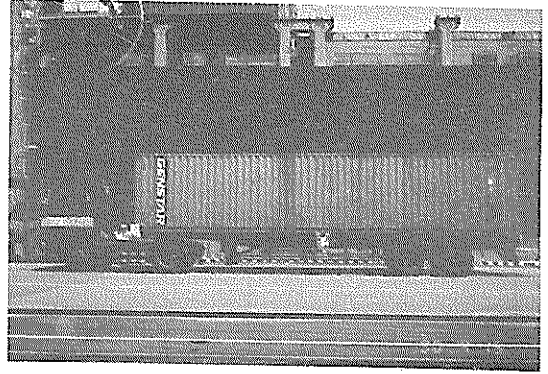
ここで，分類Aおよび分類Bは，荷役におけるソフトウェアの要素を持ち，分類Cおよび分類Dは，荷役におけるハードウェアの要素を持ち，分類Eは，突発的かつ不可抗力的要素を持つものと言うことができる。このような分類別にしたがって，中断時間および実荷役時間の公称作業時間における時間構成比を示したものが，表一

表一 4 コンテナクレーン荷役状況一覧  
 平成2年4月15日（日） 天候：晴れ

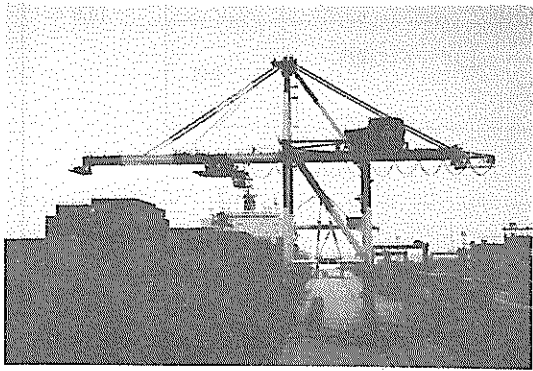
時:分'秒"	荷 役 状 況	ホールド
8:48'00"	作業開始，（写真－3）カンチレバー下げ操作のため中断（200秒）	MOOR.DK
8:51'20"	荷役準備のため中断（129秒）	
8:53'29"	荷役開始	
9:03'10"	カンチレバー上げ操作のため中断（230秒）	
9:07'00"	コンテナクレーン移動のため中断（152秒）	No.6
9:09'32"	カンチレバー下げ操作のため中断（238秒）	
9:14'47"	荷役再開 （写真－4）コンテナクレーンの荷役作業時の様子	No.5
9:34'24"	ハッチカバーの開け作業のため中断（106秒）	
9:36'10"	荷役再開	No.4
10:01'47"	ハッチカバーの閉じ作業のため中断（118秒）	
10:03'45"	荷役再開	No.3
10:17'54"	ハッチカバーの開け作業のため中断（426秒）	
10:25'00"	荷役再開（オペレータ交代）	No.2
11:24'20"	昼休みのため中断（4,195秒）	
12:34'15"	荷役再開	No.1
13:01'17"	ハッチカバーの閉じ作業のため中断（306秒）	
13:06'23"	荷役再開	No.3
13:08'33"	コンテナクレーン移動のため中断（118秒）	
13:10'31"	ハッチカバーの開け作業のため中断（269秒） （写真－5，6）荷役状況の様子	No.2
13:15'00"	（写真－7）コンテナクレーン移動のため中断（90秒）	
13:16'30"	荷役再開（オペレータ交代）	No.1
14:12'28"	ハッチカバーの閉じ作業のため中断（272秒）	
14:17'00"	荷役再開	No.1
14:18'05"	荷役終了，後片付けのため中断（100秒）	
14:19'45"	カンチレバー上げ操作のため中断（218秒）	No.1
14:23'23"	作業終了	



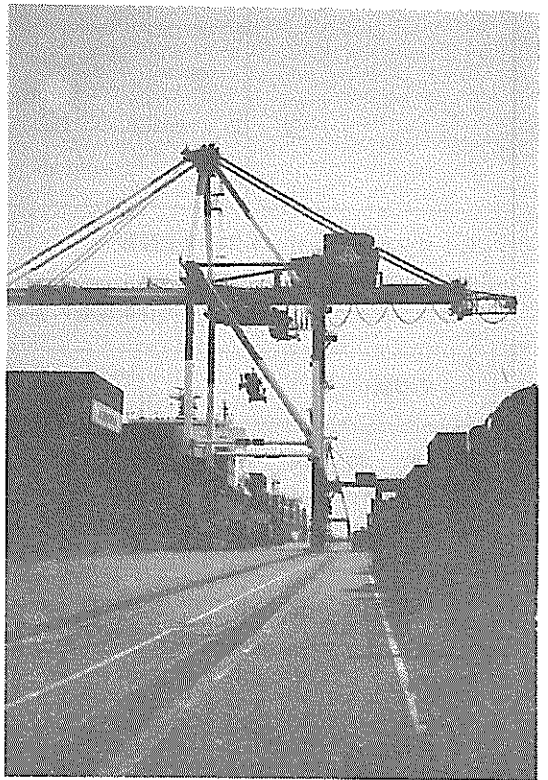
写真一三 荷役開始前カンチレバー下げ操作の様子



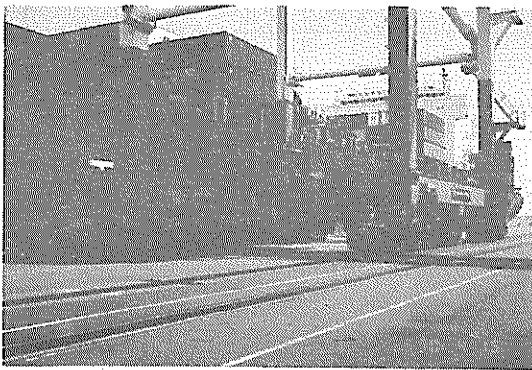
写真一六 コンテナの船積み荷役を待つトレーラ



写真一四 コンテナクレーンの荷役作業時の様子



写真一七 コンテナクレーンの移動による荷役中断の様子



写真一五 スプレッドがトレーラ上のコンテナをつかむ様子

表一5 コンテナクレーン荷役における荷役中断時間の原因別時間構成比

大分類	小分類	原因事象	時間(s)	構成比(%)
A：作業前・後付帯業務管理時間	①	荷役準備・後片付けによる中断	229	4.1
	②	荷役作業前・後のカンチレバー上げ・下げ操作による中断	418	
	小 合 計		647	
B：作業中付帯業務管理時間	①	作業中のコンテナクレーンの移動による中断	360	14.6
	②	ハッチカバー開閉作業による中断	1,497	
	③	作業中のカンチレバー上げ・下げ操作による中断	468	
	小 合 計		2,325	
C：コンテナクレーン本体の保全時間			0	0
D：コンテナクレーン本体以外の付帯設備の保全時間			0	0
E：その他			0	0
中 断 時 間 合 計			2,972	18.7
実 荷 役 時 間			12,956	81.3
公 称 作 業 時 間			15,928	100

5である。表一5から、「分類B：作業中の付帯業務管理時間（作業中の準備，連絡，移動にともなう中断時間）」①作業中のコンテナクレーンの移動による中断（360s，写真一3），②ハッチカバーの開閉作業による中断（1,497s），③作業中の船橋越えのためのカンチレバー上げ・下げ操作による中断（468s，写真一4）を合計すると2,325s（14.6%）となり，中断時間の中でもっとも大きかった。次いで「分類A：作業前後の付帯業務管理時間（準備，連絡，後片付けにともなう中断時間）」は，①荷役準備，後片付けによる中断（229s），②荷役作業前後の

カンチレバー上げ・下げ操作による中断（418s）を合計して647s（4.1%）であった。「分類C：コンテナクレーン本体の保全時間（コンテナクレーン本体のトラブル等にともなう中断時間）」，「分類D：コンテナクレーン本体以外の付帯設備の保全時間（コンテナクレーン本体以外の付帯設備等のトラブルにともなう中断時間）」および「分類E：その他（上記以外の自然条件等に起因する中断時間）」は，アンローダ荷役の場合と異なりいずれも出現しなかった。つまり，コンテナ荷役ではアンローダ荷役以上に荷役機械類に基づく中断が生じないように配慮され

荷役作業が行われていると見なすことができる。いずれにしても、これらの中断時間の合計は2,972s (18.7%)であり、公称作業時間の15,928s (100%)から差し引けば、実荷役時間は12,956s (81.3%)となる。そしてこの公称作業時間に占める実荷役時間の構成比自体が、全体的な荷役時間効率 (81.3%, すなわち  $\eta_t=0.813$ ) ということになる。

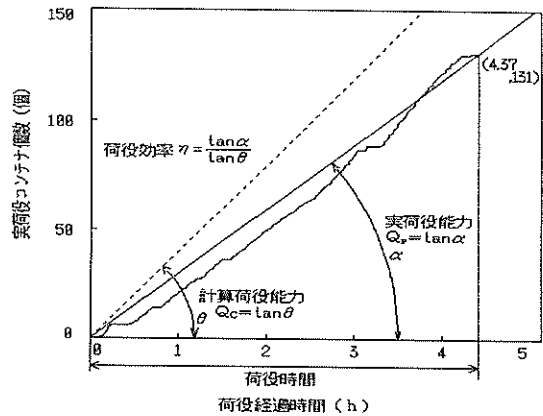
図一10は、表一5のコンテナ荷役の中断原因別の時間構成比をそれらの中断発生回数とともに棒グラフで示したものである。「分類A：作業前・後付帯業務管理時間 (準備・連絡・後片付けにともなう中断時間)」および「分類B：作業中付帯業務管理時間 (作業中の準備・連絡・移動にともなう中断時間)」のいずれも時間構成比と発生回数はほぼ比例した傾向を示している。

以上述べてきた荷役状況は、アンローダ荷役の場合りと比較しても同様な結果であった。つまり、荷役時間効率を高めるためには、「分類A：作業前後の付帯業務管理時間 (準備, 連絡, 後片付けにともなう中断時間)」および「分類B：作業中の付帯業務管理時間 (作業中の準備, 連絡, 移動にともなう中断時間)」の荷役作業前後および荷役作業中における作業管理を手際よく実施することが重要ということになる。しかしながら、コンテナ荷役およびアンローダ荷役のいずれの場合も荷役時間効率が0.80前後であったことから荷役の中断を極力少なくするような荷役作業を既に実施しているとも考えられ、上記の荷

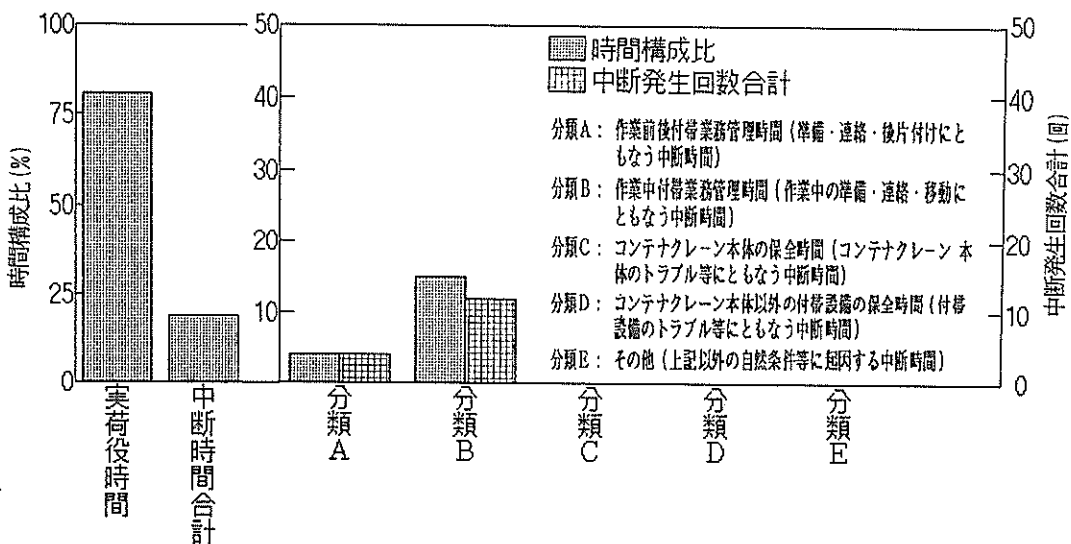
役中断時間は、荷役作業に付随して避けられないものであり、これ以上の改善はなかなか見込めないものとも考えられる。これについては、今後の調査によってさらに見極めていくことが必要と考えられる。

(2) 荷役機械効率, 荷役効率

表一6は、荷役経過時間とともに荷役開始からの実荷役コンテナ個数の推移を示したものである。また図一11は、x軸に荷役開始後の荷役経過時間、y軸に実荷役コンテナ個数をとって、時系列的に示したものである。



図一11 荷役時間の経過にともなう実荷役コンテナ個数の推移



図一10 コンテナクレーンの中断原因別による時間構成比および中断発生回数合計



図-11において、破線の正接 $\tan \theta$ は、4.3の(3)式に示すように単位時間当たり計算荷役コンテナ個数もしくは計算荷役能力 $Q_c$ を表すことになる。また荷役作業終了時点(4.37, 131)と原点(0, 0)を結んだ正接 $\tan \alpha$ は、4.3の(3)式に示すように単位時間当たり実荷役コンテナ個数もしくは実荷役能力 $Q_p$ を表すことになる。つまり以下のように表される。

$$\tan \theta = \frac{N_c}{T} = Q_c \dots \dots \dots (7)$$

$$\tan \alpha = \frac{N_p}{T} = Q_p \dots \dots \dots (8)$$

したがってそれぞれの正接の比は

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \theta} = \frac{N_p}{N_c} = \frac{Q_p}{Q_c} = \eta \dots \dots \dots (9)$$

(9)式のようになり、荷役効率を表すことになる。

ただし $\tan \theta$  : 計算荷役能力

$\tan \alpha$  : 実荷役能力

ちなみに今回の調査における荷役効率は

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_c} = \frac{131/4.37 \text{ [個/h]}}{3,600/90.7 \text{ [個/h]}}$$

$$= \frac{30.0 \text{ [個/h]}}{39.7 \text{ [個/h]}} = 0.756$$

であった。また表-5より荷役時間効率は $\eta_t = 0.813$ であったので、(3)式から荷役機械効率は

$$\eta_m = \frac{0.756}{0.813} = 0.930$$

と算出される。これらの結果を一覧に示したものが表-7である。

従来、荷役時間効率および荷役機械効率はそれぞれ0.80程度と考えられ、したがって荷役効率はそれらの積ということで0.65程度と見込まれることが多かった。本調査では、荷役時間効率は上記の値とほぼ同程度であったが、荷役機械効率では0.80を上回り、したがって荷役効率としても0.65を上回った結果となった。

表-6 荷役経過時間ともなう実荷役コンテナ個数の推移

時刻	荷役経過時間	実荷役コンテナ個数
8時53分29秒	0時間00分00秒	0 個
9時24分02秒	0時間29分16秒	10 個
9時47分13秒	0時間52分27秒	20 個
10時08分43秒	1時間13分57秒	30 個
10時31分35秒	1時間36分49秒	40 個
10時49分43秒	1時間54分57秒	50 個
11時09分54秒	2時間15分08秒	60 個
12時38分49秒	2時間35分25秒	70 個
12時52分53秒	2時間49分29秒	80 個
13時18分03秒	3時間14分39秒	90 個
13時29分48秒	3時間26分24秒	100 個
13時41分44秒	3時間38分20秒	110 個
13時54分45秒	3時間51分21秒	120 個
14時11分50秒	4時間08分26秒	130 個
14時18分05秒	4時間14分41秒	131 個

表-7 本調査全体におけるサイクルタイム、荷役能力および荷役効率の計算と実際の比較

		計 算	実 際
サイクルタイム(s)		$t_c$ 90.7	$t_p$ 98.9
荷役能力(個/時)		$Q_c$ 39.7	$Q_p$ 30.0
効 率	荷 役	1.00	$\eta$ 0.756
	荷役時間	1.00	$\eta_t$ 0.813
	荷役機械	1.00	$\eta_m$ 0.930

### 5.2 オペレータの運転技量および荷役動作

コンテナクレーンの荷役効率は、4.3の(3)式から荷役時間効率と荷役機械効率の積という形で表わすことができる。荷役時間効率は、公称作業時間に対する実荷役時間の割合である。この中の荷役時間効率に対する影響因子には制御不可能なものが多いだけでなく、コンテナ船およびコンテナクレーンが高価であることから、現

実には中断時間が極力発生しないようにコンテナ荷役作業を実施していると考えられ、5.1で示したように荷役中におけるコンテナクレーン自体のトラブルに基づく中断・休止時間はきわめて少ない。つまり荷役時間効率の大幅な改善には限度があると言える。したがって荷役効率を高めるには、必然的に荷役機械効率を高める必要がある。荷役機械効率の影響因子には、もっとも支配的と考えられるオペレータの運転技量を始めとして、コンテナの大きさおよび種類、コンテナクレーンの主要仕様、対象船型、自然条件等が存在するが、それらの荷役機械効率に及ぼす影響は必ずしも明らかではない。

荷役機械効率を高めるには4.3の(5)式から必然的に実サイクルタイムを短縮しなくてはならない。しかし、図-9の計算シングルサイクルダイヤグラムを見てもわかるように、計算シングルサイクルダイヤグラム自体がスプレッド巻き上げ・下げ用電動機の動力およびトロリ横行用電動機の動力をほぼ十分に活用するべく設定されているので、スプレッド巻き上げ・下げ速度およびトロリ横行速度を上げることによって実サイクルタイムを短縮することはなかなかむずかしいと言える。したがって実サイクルタイムを短縮するためには、安全性を確保した上で実サイクルパス自体をいかに短縮するか、限られたスプレッド巻き上げ・下げ加・減速度およびトロリ横行加・減速度の中でいかに手際よくそれらを制御して

荷役動作をする（具体的には複合動作を行うこと）かにかかっている。言い換えれば、オペレータの運転技量というソフトウェア的な面に負っていると言っても過言ではない。しかしながら、オペレータが上記の荷役動作を経験的にどのようにして行っているかについては明らかではない。

そこで、コンテナ荷役の実サイクルタイムおよび実サイクルパスを中心に解析することによって、オペレータは経験的にどのような荷役動作を行っているのか、運転技量が高いオペレータは、具体的にどのような荷役動作をしているのかということについて検討した。

(1) オペレータの運転経験年数および実サイクルタイム  
荷役条件が同様であれば、4.3の(5)式から実サイクルタイムがオペレータの運転技量の評価指標と成り得る。そこで、オペレータの運転技量をオペレータの運転経験年数と実サイクルタイムの関係から検討した。

調査対象オペレータとしては、コンテナクレーンオペレータとしての運転経験年数の異なる3名を選んだ。それらオペレータの運転経験年数はそれぞれ2年、5年および20年であり、以下それぞれオペレータA、オペレータBおよびオペレータCと呼ぶこととする。ここでの調査対象の荷役作業は、図-12（コンテナ船の前方から見た図であり、右側が陸側）斜線に示すように3区分した同様な箇所のコンテナを特に調査対象コンテナとして選

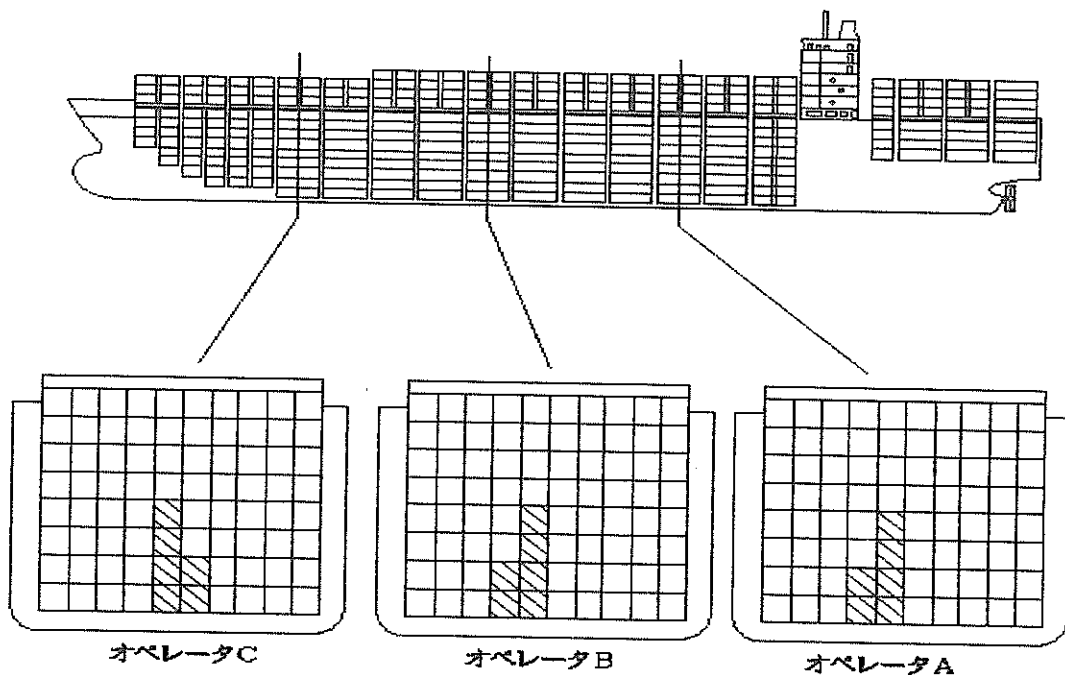


図-12 調査対象コンテナの積み付け位置図

び、それらについてオペレータA、オペレータBおよびオペレータCが順次陸揚げ荷役を行うこととした。図-12に示すようにそれぞれのオペレータの調査対象コンテナは、同一bay列にある同一積み付け列もしくは隣接積み付け列のものであり、コンテナ船ホールド内における同様の積み付け位置を選んだ。つまり、各オペレータ間および調査対象コンテナ間における荷役条件を極力同じにした。

図-13は、調査対象オペレータの運転経験年数と実サイクルタイム（荷役時間効率を度外視すれば、単位時間当たりの実荷役コンテナ個数もしくは実荷役能力に対応）の関係を示したものである。図-13中の黒丸は、オペレータ別調査対象コンテナに対する実サイクルタイムの平均を示し、そこから出たたて線は、その変動幅を示す。また白丸は、オペレータ別調査対象コンテナに対する計算サイクルタイムの平均を示したものである。また破線は、4.2で示した調査対象コンテナ船ホールド内コンテナに対する平均計算サイクルタイム（ホールド内積み付け断面図心におけるコンテナの計算サイクルタイム98.0s）を示し、さらに一点鎖線は、4.2で示したようにホールド内コンテナのみならずデッキ上コンテナをも含めたいわゆる調査対象コンテナ船全体に対する計算サイクルタイム（デッキ上コンテナ数およびホールド内コンテナ数で加重平均した計算サイクルタイム90.7s）を示したものである。

図-13に示すように、オペレータA、オペレータBおよびオペレータCの平均実サイクルタイムはそれぞれ113.1s、121.3sおよび100.3sであった。つまり、オペレー

タCの平均実サイクルタイムは、オペレータ中もっとも短かく、次いでオペレータA、オペレータBの順であった。またオペレータCの調査対象コンテナの一部の実サイクルタイムを除き、いずれのオペレータ別調査対象コンテナの平均実サイクルタイムも、ホールド内コンテナおよび調査対象コンテナ船全体に対する平均計算サイクルタイムよりも長かった。このおもな理由は、図-12に示す調査対象コンテナの計算サイクルパス自体が、ホールド内コンテナおよび調査対象コンテナ船全体の計算サイクルパスよりも長いためと考えられる。

ここで、オペレータの運転経験年数と実サイクルタイムの関係を最小自乗法で近似すると、右下がりの緩やかな曲線になった。ばらつきはあるものの全体的な傾向としては、オペレータの運転経量は、運転経験年数とともに緩やかに向上していくことを示している。しかしながら、オペレータAとオペレータBを比較すれば、運転経験年数が短いオペレータAの方が運転経験年数の長いオペレータBよりも実サイクルタイムが短く、かつ実サイクルタイムの変動幅が少ないことから、運転経験年数の少ないオペレータAの方が、オペレータBよりも運転経量はいくぶん上回っているとみさせる。

さらに、実サイクルタイムの変動幅からオペレータ別の荷役動作の安定度を考えると、オペレータAとオペレータBを比較する限りにおいては、オペレータAの方がオペレータBよりも明らかに上回っていると言えることができる。しかし、オペレータAとオペレータCを比較すると、オペレータCの方がオペレータAよりも実サイクルタイムが短いにもかかわらずその変動幅は大きく、荷

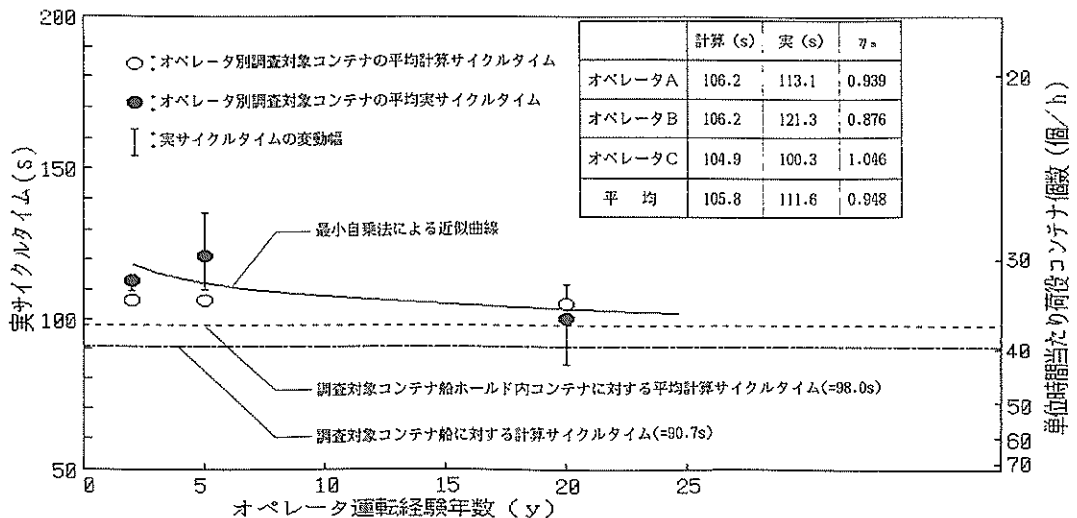


図-13 オペレータの運転経験年数と実サイクルタイムの関係

役動作の安定度という点では、オペレータAよりも見かけでは下回っているかのように見える。これは、オペレータAよりもオペレータCの方が不安定な荷役動作を行っているということよりも、オペレータCは、荷役動作中において実サイクルバスもしくは実サイクルタイムを短縮できるような状況下では、臨機応変的な荷役動作をすることで実サイクルタイムを短縮していると解釈するとうまく説明できる。

以上の結果をまとめるとオペレータの運転技量は、運転経験年数と実サイクルタイムの関係から運転経験年数とともに緩やかに向上して行くと考えられるものの、一方では、オペレータの個人的な資質に負うところも大きいと考えられる。

図-14 (a) ~ (c) は、図-13に示したオペレータ別調査対象コンテナの実サイクルタイムの結果をさらに詳細に示したものである。すなわち、オペレータ別調査対象コンテナ個々の計算サイクルタイム（調査対象コンテナ1個ずつの計算サイクルタイム）と実サイクルタイムをそれぞれx軸およびy軸に採って示したものである。

図-14 (a) ~ (c) を見ると、オペレータCの場合のみが勾配1.0の直線よりも下に白丸がプロットされており、実サイクルタイムは計算サイクルタイムよりも短いことがわかる。しかしながら、オペレータAおよびオペレータBの場合は、白丸が勾配1.0の直線より上にプロットされており、実サイクルタイムは計算サイクルタイムよりも長いことがわかる。なお黒丸は、図-13右上に示したオペレータ別調査対象コンテナに対する実サイクルタイムの平均および計算サイクルタイムの平均をプロットしたものである。4. 3の(5)式からわかるようにこの黒丸と原点を結んだ勾配は平均荷役機械効率の逆数（すなわち平均サイクル効率）を表すことになり、したがって平均荷役機械効率は $\bar{\eta}_m = \cot \beta$ と表すことができる。つまり、図-13右上に示すようにオペレータ別の平均荷役機械効率 $\bar{\eta}_m$ は、オペレータAが0.939、オペレータBが0.876、オペレータCが1.046となり、オペレータ3名の平均荷役機械効率は $\bar{\eta}_m = 0.948$ である。なお、この平均荷役機械効率 $\bar{\eta}_m = 0.948$ という結果と表-7に示す本調査全体の荷役機械効率 $\bar{\eta}_m = 0.930$ という結果は同程度となっており、コンテナ荷役個数が増加しても安定した値を示していることから、これらの値前後が、現実的な荷役機械効率と見なせるようである。

## (2) 実サイクルバス（スプレッド軌跡）

3. で述べたスプレッド軌跡は厳密な意味ではコンテナ側面図心が描く軌跡とは鉛直高さがいくぶん異なるが、ここでは、3. で述べたスプレッド軌跡を実サイクルバ

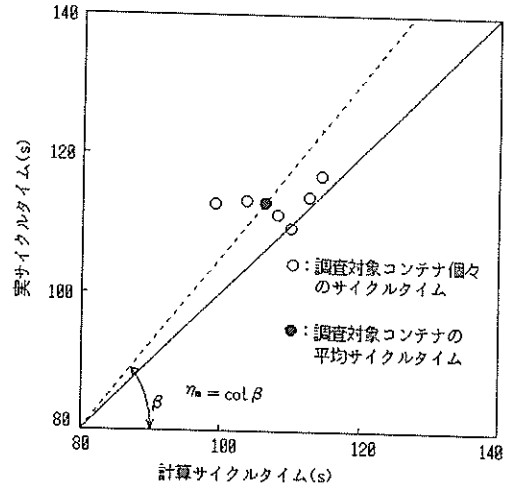


図-14 (a) オペレータA

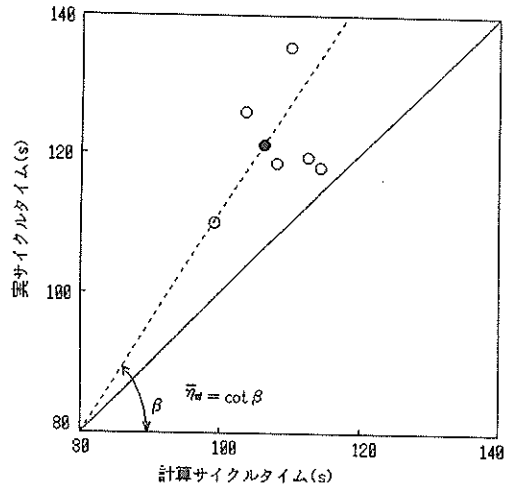


図-14 (b) オペレータB

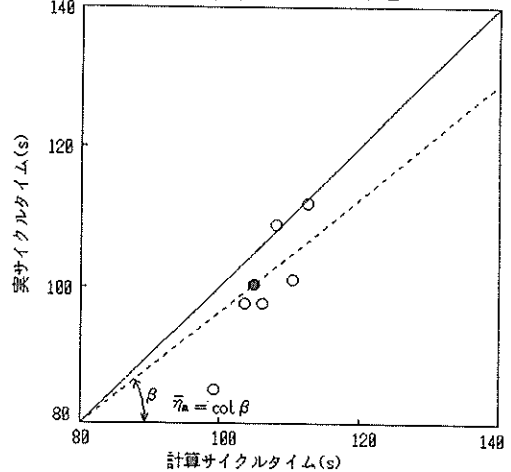


図-14 (c) オペレータC

図-14 計算サイクルタイムと実サイクルタイムの比較

スと見なして（以下3.で述べたスプレッド軌跡を実サイクルパスと呼ぶことにする）以下の解析を進めた。つまり、オペレータの運転技量をそれぞれのオペレータの上記実サイクルパスの特性から検討した。

図-15 (a) ~ (c) は、それぞれオペレータA、オペレータBおよびオペレータCのスプレッドの軌跡、いわゆる実サイクルパスの代表的な1例を示したものであり、図-15 (d) は、図-15 (a) ~ (c) をまとめて示し比較したものである。図-15 (a) ~ (d) におけるコンテナつり；なしおよびコンテナつり；ありとは、それぞれスプレッドがコンテナをつり上げていない場合、並びにスプレッドがコンテナをつり上げている場合を意味する。

まずトロリ横行時のコンテナつり上げ高さという点からオペレータの運転技量を考えてみる。トロリ横行時のコンテナつり上げ高さが高ければ高いほど、デッキ面上

の他のコンテナ等障害物との衝突の危険性は薄れそれだけ安全性も確保されかつスプレッドも揺れにくくなるが、それにとまって実サイクルパスは長くなりひいては実サイクルタイムも長くなる。逆に、トロリ横行時のコンテナつり上げ高さが低ければ低いほど、安全性は徐々に薄れていくとともにスプレッドも揺れ易くなるが、それにとまって実サイクルパスは短くなりひいては実サイクルタイムも短くなる。したがって、トロリ横行時のコンテナつり上げ高さの点から、オペレータの運転技量の一要素としての危険高さ認識能力もしくは減揺能力が評価できると考えられる。

図-15 (a) ~ (c) を見ると、コンテナつり；ありの場合のコンテナつり上げ高さは、オペレータAがオペレータBおよびオペレータCよりもわずかに高くなっているものの、全体的に大きな差はない。しかし、コンテナつり；なしの場合のコンテナつり上げ高さは、オペレ

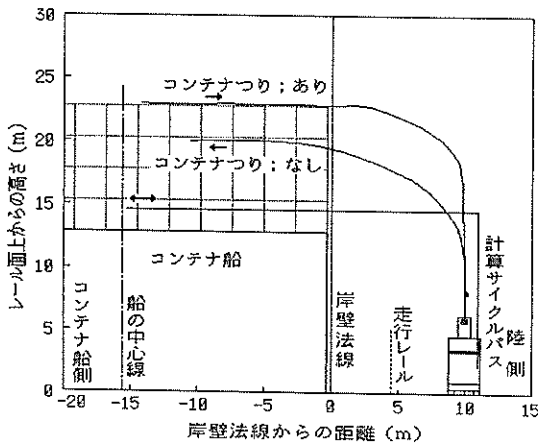


図-15 (a) オペレータA

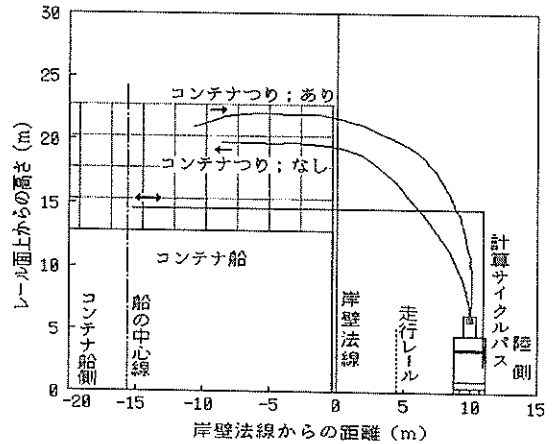


図-15 (c) オペレータC

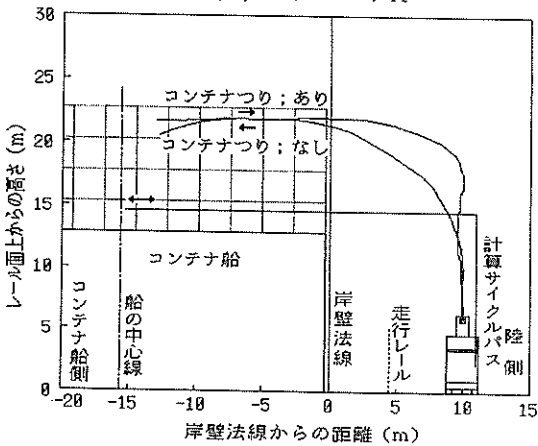


図-15 (b) オペレータB

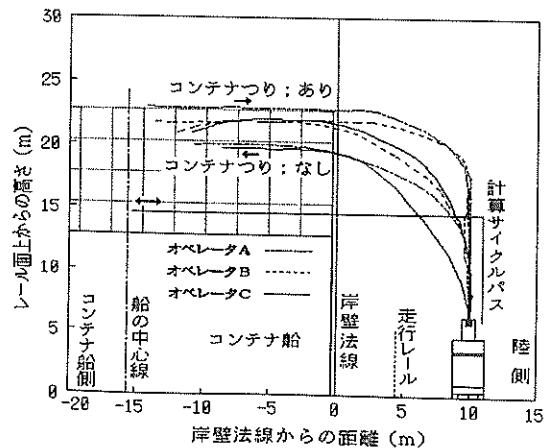


図-15 (d) 全オペレータ

図-15 オペレータ別による実サイクルパスの比較

ータAおよびオペレータCのいずれもコンテナつり；ありの場合よりも約コンテナ高さ1個分だけ低いのに対し、オペレータBは、コンテナつり；ありの場合とほぼ同じである。したがって、オペレータBにおいては、コンテナつり；なしの場合にもかかわらずコンテナつり；ありの場合と同様なつり上げ高さでトロリ横行動作をしていることで、オペレータAおよびオペレータCと比較してその分だけ実サイクルパスは長くなり、ひいては実サイクルタイムが短縮されていないと推測される。

以上をまとめると、コンテナつり；ありの場合のオペレータ別コンテナつり上げ高さには大差がなかったが、コンテナつり；なしの場合のオペレータ別コンテナつり上げ高さでは、オペレータBのみがコンテナつり；ありの場合と同じコンテナつり上げ高さを示し、その分だけ実サイクルタイムが短縮されていないと推測される。

ところで、コンテナつり上げ高さをもっとも低かったオペレータCのデッキ面からの高さは、図-15(c)から約9.5mと読み取れるので、図-6に示したスプレッド下端から磁石板までの取付位置高さ約2.0mとコンテナ高さ約2.6mを差し引けば、デッキ面からコンテナ底面までの高さは約4.9mとなる。したがって、4.2の③および図-8に示したように計算サイクルパスにおいて設定されているデッキ面クリア高さ0.5mよりも現実にはかなり高いコンテナつり上げ高さでデッキ面上を通過していることがわかる。すなわち、計算サイクルパスで設定されているデッキ面クリア高さ0.5mは、現実には実現が困難であることを示していると言える。なお本調査において、いずれのオペレータの調査対象コンテナの荷役時もサイクルパス途中にはデッキ上コンテナが存在しなかった。つまり、いずれのオペレータの調査対象コンテナの荷役時も、サイクルパス途中のデッキコンテナを越えての荷役、いわゆる「山越し荷役」ではなかった。したがって、計算サイクルパスにおけるデッキ面クリア高さ0.5mという設定値に対しては、今後一考の余地があると思われる。

次にスプレッド巻き上げからトロリ横行、並びにトロリ横行からスプレッド巻き下げへ移行する場合の複合動作の点から、オペレータの運転技量を検討した。

まず図-15(a)～(d)までに示す実サイクルパスの複合動作部分を見ると、いずれのオペレータも程度の差こそあれ複合動作を実行していることがわかる。つまり図-8に示した計算シングルサイクルパスのように陸側へのトロリ横行動作終了後スプレッドの巻き下げ動作に移るのではなく、トロリ横行動作とスプレッド巻き下げ動作は複合動作として同時に実行されていることがわかる。

図-15(a)～(d)までに示す実サイクルパスの複合動作部分の見かけの曲率半径を比較すると、見かけの曲率半径は、オペレータBよりもオペレータA、オペレータAよりもオペレータCという順に大きくなっている。見かけの曲率半径が大きければ、それだけ実サイクルパスが短縮され、ひいては実サイクルタイムも短縮されると考えられる。オペレータCは、図-15(c)に示すようにコンテナつり；ありの場合であっても岸壁法線を通過する直前から早目に複合動作に入り、ショートカットを大きくすることで実サイクルパスを短縮し、ひいては実サイクルタイムを短縮していると考えられる。

次にコンテナつり；ありの場合の陸側におけるコンテナ解放前の実サイクルパスの曲線の滑らかさすなわちコンテナ解放前のスプレッドの揺れという点から、複合動作の安定度を検討した。つまり、コンテナ解放前のスプレッドの揺れは、実サイクルタイムに悪影響を及ぼすと考えられるからである。

図-15(a)および図-15(c)を見るとわかるようにオペレータAおよびオペレータCの実サイクルパスの複合動作部分は、コンテナつり；ありの場合であっても比較的滑らかな曲線を描いていることがわかる。つまり、オペレータAおよびオペレータCの複合動作は、コンテナ解放前のスプレッドを揺れさせないように安定していることがわかる。これに対しオペレータBの複合動作は、図-15(b)に見られるようにぎざぎざな曲線を示しており、コンテナ解放前のスプレッドが揺れていると推測され安定していないことがわかる。加えて、オペレータBのコンテナつり；ありの場合の複合動作は、図-15(b)に見られるように陸側にいくぶんふくれた形も示した。ただしこれについては、コンテナつりの影響、荷役方向の影響あるいはオペレータBの固有の特性の影響によるものかは判然としない。そこで、それらについても以下で検討した。

図-16(a)～(b)は、オペレータBにおけるコンテナつり；なしの場合でかつ陸側からコンテナ船側およびコンテナ船側から陸側の両方の荷役方向に対しての実サイクルパスをあわせて示したものである。図-16(a)～(b)を見ると、荷役方向が同じであればコンテナつり；ありの場合およびコンテナつり；なしの場合にかかわらず同様な形の実サイクルパスを示している。ただしコンテナ船側から陸側への荷役方向の場合は、複合動作はそれほど行われず陸側にふくれた形を示している。この点については、コンテナつり；ありの影響というよりはオペレータB固有の荷役方向に対する特性というように理解できる。

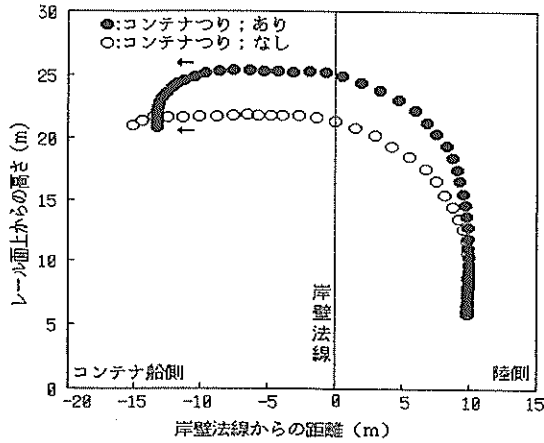


図-16 (a) 陸側からコンテナ船側

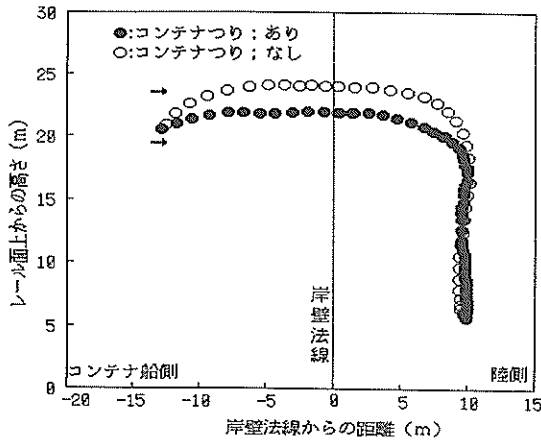


図-16 (b) コンテナ船側から陸側

図-16 オペレータBの荷役方向別による実サイクルパスの比較

以上の結果をまとめると、次のとおりである。  
 コンテナつり；ありの場合のトリロ横行からスプレッド巻き下げにかけての複合動作は、オペレータの運転技量の重要な要素であり、コンテナ解放前のスプレッドが揺れないように安定的にかつ荷役方向に依らないで実サイクルパスをショートカットするように実行することが重要であると言える。

次に図-15 (a) ~ (d) の複合動作部分に対して、それぞれのオペレータの実サイクルパスへ曲線近似式を当てはめ、その形からオペレータの運転技量を検討した。

図-17 (a) ~ (e) は、コンテナつり；なしの場合の岸壁側からコンテナ船側への荷役方向、並びにコンテナつり；ありの場合のコンテナ船側から陸側への荷役方向における複合動作部分のオペレータ別実サイクルパスを示すとともに、それらの実サイクルパスに対して、最

表-8 実サイクルパスの曲線近似式 $y=a(x-b)^n+c$ 中の係数一覧

	係数	コンテナつり；なし	コンテナつり；あり
オペレータA	a	$-3.86 \times 10^{-3}$	$-6.53 \times 10^{-2}$
	b	-3.85	1.86
	c	20.2	23.5
	n	2.96	2.10
オペレータB	a	$-9.74 \times 10^{-4}$	$-8.55 \times 10^{-3}$
	b	-2.03	2.97
	c	21.8	21.9
	n	3.70	3.14
オペレータC	a	$-1.35 \times 10^{-2}$	$-3.06 \times 10^{-1}$
	b	3.25	-1.20
	c	20.5	22.7
	n	2.63	3.31

小自乗法によって曲線近似式を当てはめたものである。なお図中の各プロットは、0.5sごとに示したものである。その結果、曲線近似式は、コンテナつり；なしの場合およびコンテナつり；ありの場合にかかわらず、一般的な形として $y=a(x-b)^n+c$ と表すことができる。それらの曲線近似式を図-17 (a) ~ (e) の上部にそれぞれ示す。

表-8は、これらの係数を一覧にして示したものである。一般に $y=a(x-b)^n+c$ と表された曲線近似式において、べき乗指数が大きくなると、スプレッド巻き上げからトリロ横行もしくはトリロ横行からスプレッド巻き下げへの複合動作時の実サイクルパスの示す見かけの曲率半径は小さくなる。すなわち実サイクルパスは、計算サイクルパスに近づいていく傾向となる。したがって、コンテナつり；ありの場合、コンテナをつり下げていることでそれだけ実サイクルパスのショートカットはむずかしくなっていくものと直感的に考えられるが、オペレータCを除けばオペレータAおよびオペレータBとも必ずしもそのような傾向を示さなかった。

ここで、表-8の係数間の相関関係についても調べてみた。図-18は、x軸に指数n、y軸に係数a、bおよびcを採って表-8の結果をプロットしたものである。図-18を見ると、係数aは、曲線近似式中の指数nの増加とともに曲線的な増加傾向を示した。一方、係数bおよび係数c

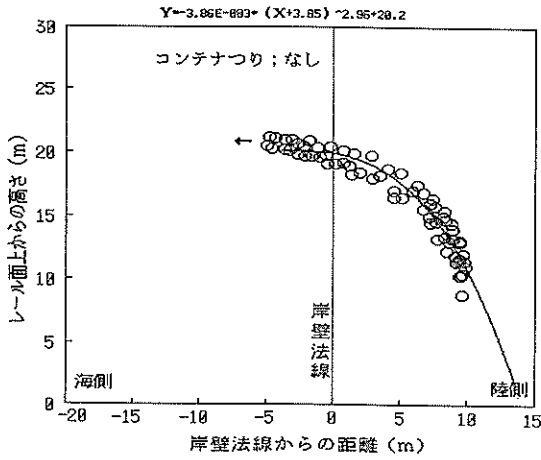


図-17 (a) オベレータ A (コンテナつり; なしの場合)

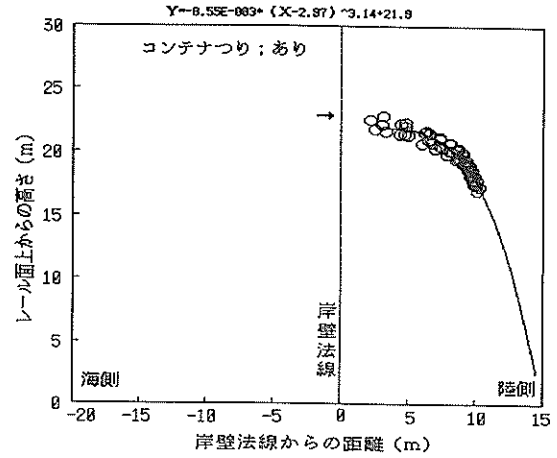


図-17 (d) オベレータ B (コンテナつり; ありの場合)

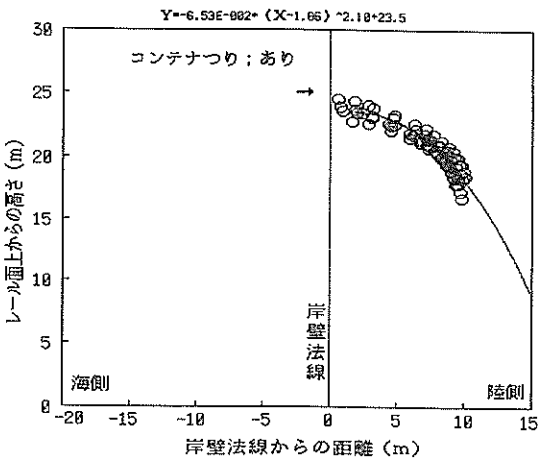


図-17 (b) オベレータ A (コンテナつり; ありの場合)

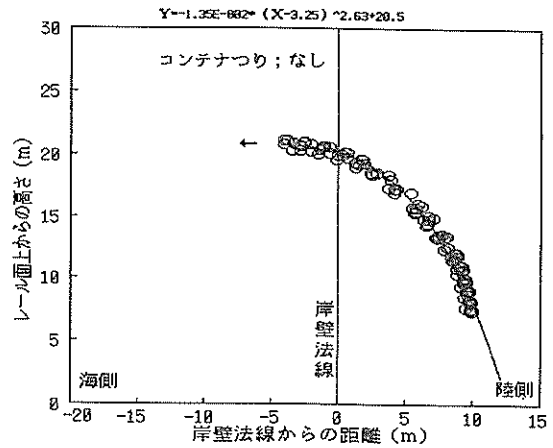


図-17 (e) オベレータ C (コンテナつり; なしの場合)

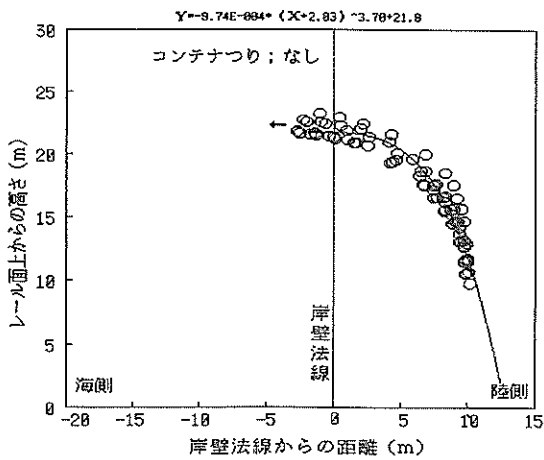


図-17 (c) オベレータ B (コンテナつり; なしの場合)

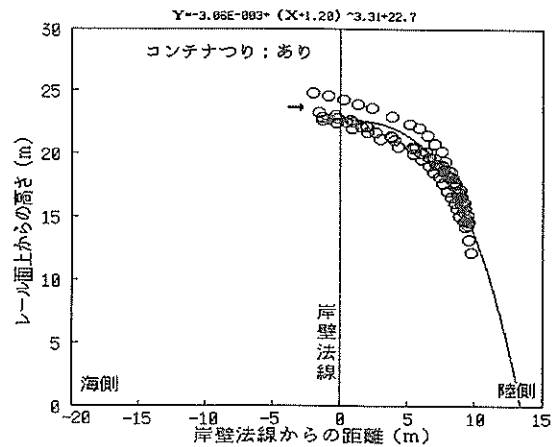


図-17 (f) オベレータ C (コンテナつり; ありの場合)

図-17 オベレータ別実サイクルパスの曲線近似式への当てはめ



は、指数nに対して特に相関関係を示さなかった。

(3) 実サイクルダイアグラム

ここでは、実サイクルダイアグラムの特性からオペレータの運転技量を検討した。

図-19 (a) ~ (c) は、オペレータ別の代表的な実サイクルタイムダイアグラムをホールド内コンテナの計算サイクルタイムダイアグラムとともに示したものである。図-19 (a) ~ (c) 中の実サイクルタイムダイアグラムにおいて、コンテナつり；なしの場合のスプレッド巻き下げ荷役動作部分、並びにコンテナつり；ありの場合のスプレッド巻き上げ荷役動作部分が示されていないのは、コンテナ船デッキ上のコンテナに遮られてビデオ撮影ができなかったためデータが欠測したからである。

図-19 (a) ~ (c) を見てわかるように、スプレッド巻き上げからトリロ横行、並びにトリロ横行からスプレッド巻き下げという複合動作は、計算サイクルパスでは前提とされていないものの、いずれのオペレータにおいても長時間にわたって実行していることが特徴的である。またコンテナつり；ありの場合の陸側における複合動作中のトリロ横行速度の変化について着目すると、すなわち図-19 (a) ~ (c) の丸囲み部を見ると、オペレータBにおいては、計算サイクルタイムダイアグラムに比較的忠実であるのに対し、オペレータAおよびオペレータCにおいては、トリロ横行速度は緩やかに減速されていることが特徴的である。つまりオペレータAおよびオペレータCにおいては、スプレッドを巻き下げつつ

かつ揺れさせないようにトリロ横行速度を早目にかつ緩やかに減速していると考えられる。これは、オペレータAおよびオペレータCが、以後のスプレッドからのコンテナ解放動作を容易にすることを考えているためと思われる。このようなスプレッドを巻き下げつつスプレッドを揺れさせないようにトリロ横行速度を制御する複合動作を、ここでは「減揺荷役動作」と称することにする。図-19 (a) ~ (c) を見るとわかるように、オペレータAおよびオペレータCにおいてこのような「減揺荷役動作」を実行しており、とりわけオペレータCがもっとも顕著であると言える。

ところでこのような「減揺荷役動作」は、コンテナ解放前のスプレッド水平方向速度 (=トリロ横行速度+つりロープ長さ×スプレッドの揺れ角速度) の変化からも認められる。つまり、このコンテナ解放前のスプレッド水平方向速度には、トリロ横行速度のみならずスプレッドの揺れ速度も含まれているからである。

図-20 (a) ~ (c) は、オペレータ別のサイクル経過時間に対するスプレッド水平方向 (トリロの横行方向) 速度の変化を示したものである。図-20 (d) は、図-20 (a) ~ (c) までの結果を一緒にまとめて示したものである。ここで、x軸はサイクル経過時間、すなわち1サイクルの開始時間 (つまり陸側のコンテナ解放地点において、スプレッドからコンテナを解放した瞬間) を起点とした後の経過時間を表す。y軸はスプレッド水平方向速度を表し、コンテナ船側から陸側へ向かう速度を正

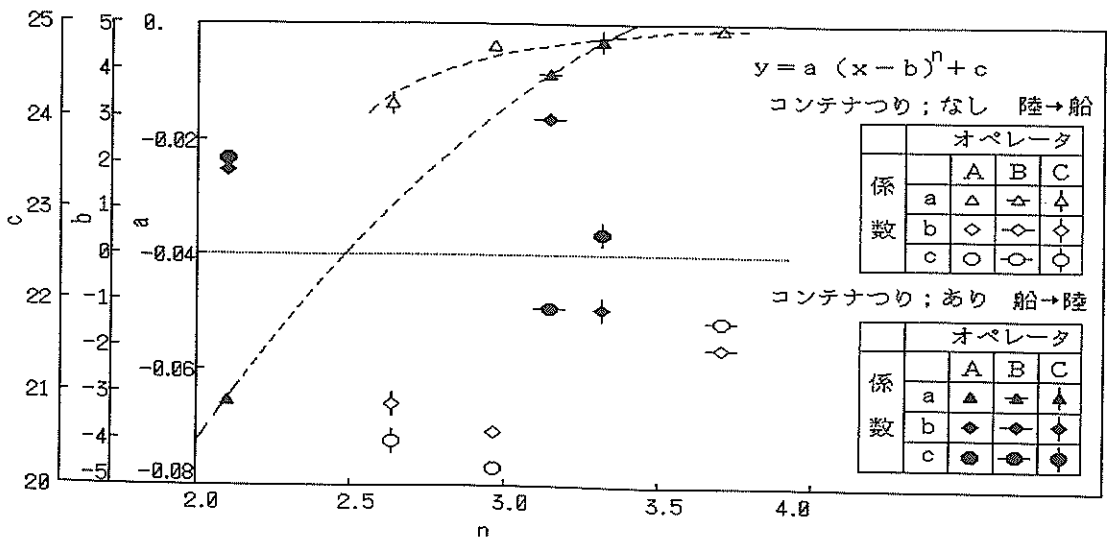


図-18 実サイクルパス曲線近似式 $y=a(x-b)^n+c$ 中係数の相関関係

とし、その逆を負としたものである。

まずコンテナつり；ありの場合における陸側でのコンテナ解放前のスプレッド水平方向速度の変化に着目すると、すなわち図-20 (a) および図-20 (b) の右半分を見るとわかるように、オペレータAおよびオペレータBにおいては、解放前のスプレッド水平方向速度は緩やかに減速されずその後の揺れもいくぶん大きいことがわかる。一方、図-20 (c) の右半分を見るとわかるように、オペレータCにおいては、コンテナ解放前のスプレッド水平方向速度は緩やかに減速されており、その後のスプレッドの揺れも小さいことがわかる。つまり、オペレータCにおいては、コンテナ解放前のスプレッドを巻き下げつつできるだけ揺れさせないようにトロッコ横行速度の制御、すなわち「減揺荷役動作」をきわめて上手に実行していることがわかる。

この「減揺荷役動作」をさらに検討するために、実サイクルパスとトロッコ位置の関係をつり下げロープとともに簡略的に示したものが図-21 (a) ~ (e) である。図-21 (a) ~ (e) は、コンテナ陸揚げ荷役の場合のオペレータ別実サイクルパスとトロッコ位置の関係を往・復にわたって示したものである。

図-21 (e) ~ (f) に示すオペレータCにおける実サイクルパスとトロッコ位置の関係図は、コンテナつり；なしの場合およびコンテナつり；ありの場合のいずれも図-21 (a) ~ (d) に示すオペレータAおよびオペレータBにおける実サイクルパスとトロッコ位置の関係図よりも、つり下げロープの乱れが少ないことから安定した荷役動作をしていることがわかる。特にコンテナつり；ありの場合におけるコンテナ解放前の複合動作である「減揺荷役動作」に着目すれば、つり下げロープの乱れが少なくかつつり下げロープの間隔が徐々に狭くなっていることから、スプレッドを巻き下げつつスプレッドをできるだけ揺れさせないようにトロッコ速度を制御していることがわかる。いわゆる「減揺荷役動作」を上手に実行していることがわかる。

以上述べてきたトロッコ横行速度の変化、スプレッド水平速度の変化および実サイクルパスとトロッコ位置の関係から、コンテナつり；ありの場合において、スプレッドを巻き下げつつできるだけ揺れさせないようにトロッコ横行速度の制御をするという複合動作、いわゆる「減揺荷役動作」が一連の荷役動作の中でも難度が高かつ重要な荷役動作と言える。

次に、「減揺荷役動作」以後の荷役動作を考えてみる。既に示した図-19 (a) ~ (c) のオペレータ別実サイクルタイムダイアグラムおよびホールド内計算サイクルタイムダイアグラム

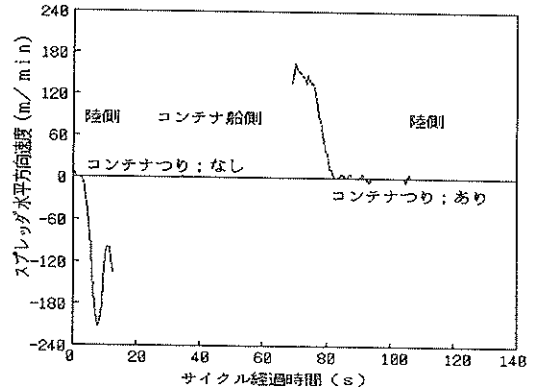


図-19 (a) オペレータA

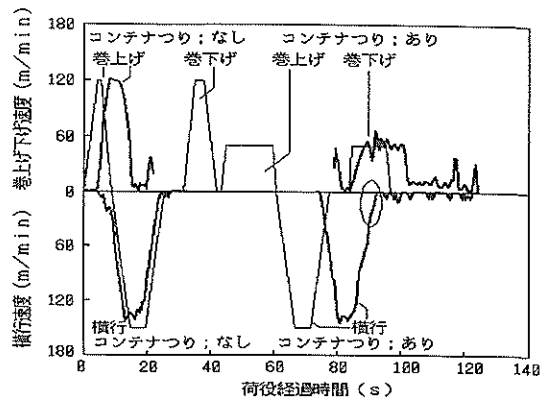


図-19 (b) オペレータB

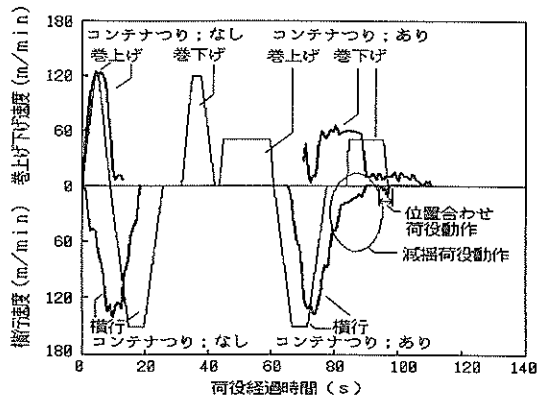


図-19 (c) オペレータC

図-19 オペレータ別実サイクルタイムダイアグラムおよびホールド内計算サイクルタイムダイアグラム

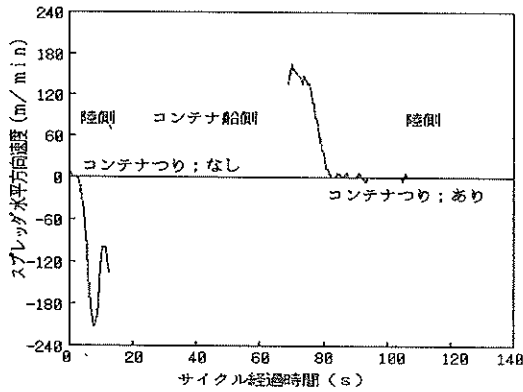


図-20 (a) オペレータ A

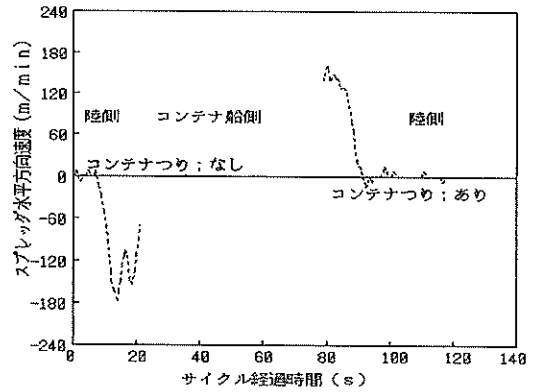


図-20 (b) オペレータ B

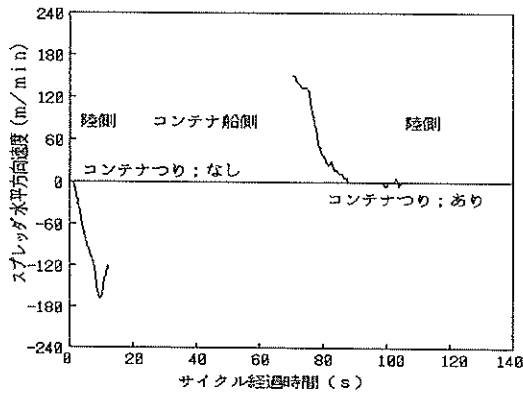


図-20 (c) オペレータ C

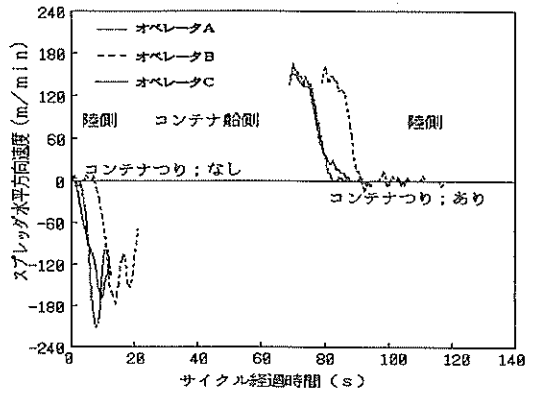


図-20 (d) 全オペレータ

図-20 オペレータ別スプレッド水平方向速度の変化

ブレッダを巻き下げつつトロリを微小横行させて位置合わせするという複合動作を陸側「位置合わせ荷役動作」と呼ぶことにすれば、そのような陸側「位置合わせ荷役動作」は、「減揺荷役動作」の終了後に出現していることがわかる。つまり、コンテナつり; ありの場合の陸側「位置合わせ荷役動作」は、図-9 (a) ~ (b) に示した計算シングルサイクルダイヤグラムのようにトロリ横行動作とスプレッド巻き下げ動作の間に単一動作として明確に出現するのではなく、図-22 に示したようにスプレッド巻き下げ動作の中に出現している。

既に示した図-19 (a) ~ (b) を見ると、オペレータ A およびオペレータ B においては、陸側「位置合わせ荷役動作」に長時間を要していることがわかる。特にオペレータ B においては、トロリの微小横行動作の中には”手戻り”的なトロリ微小横行動作も多分に含まれていると推測される。一方、図-19 (a) および図-19 (c)

を見ると、オペレータ A およびオペレータ C においては、陸側「位置合わせ荷役動作」時間はオペレータ B と比較して短いことがわかる。特にオペレータ C においては、図-19 (c) に示すようにスプレッドを巻き下げつつ巻き下げ速度が低速になった時点で、すなわちコンテナつり上げ高さが低くなった時点でトロリを一旦停止させ、さらにスプレッドを巻き下げつつトロリを微小横行させて短時間で位置合わせを終了させるというようなスムーズな陸側「位置合わせ荷役動作」をしていることがわかる。これに対し、オペレータ A およびオペレータ B においては、図-19 (a) および図-19 (b) に示すようにスプレッドが最高速度の時点で、すなわちコンテナつり上げ高さが高い時点でトロリを一旦停止させ、以後スプレッドが巻き下げられ低速になって停止するまで長時間にわたってトロリを微小横行させて位置合わせを終了させるというような陸側「位置合わせ荷役動作」をしてい

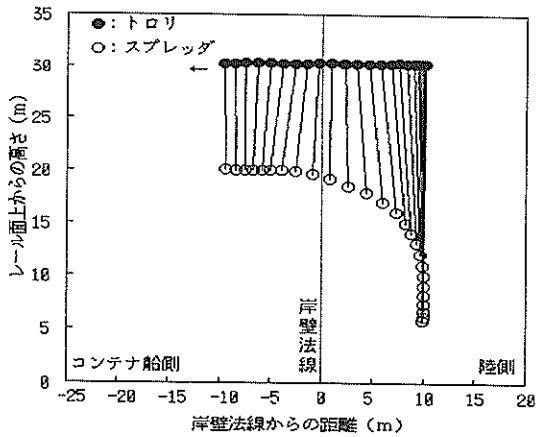


図-21 (a) オベレータA (陸揚げ; 往)

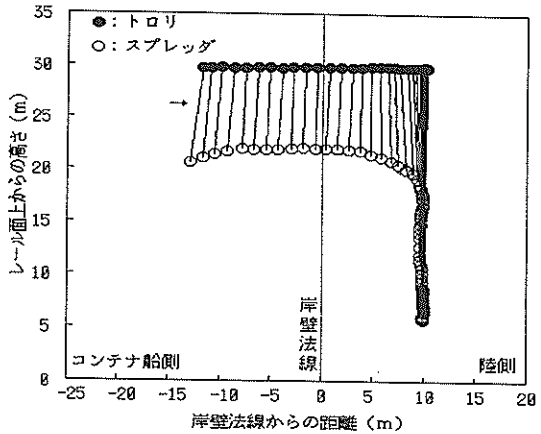


図-21 (d) オベレータA (陸揚げ; 復)

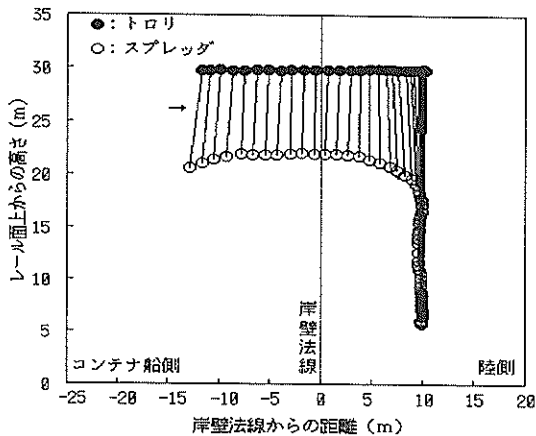


図-21 (b) オベレータB (陸揚げ; 往)

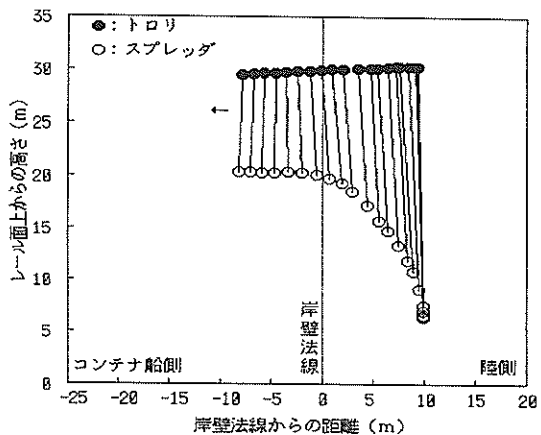


図-21 (e) オベレータB (陸揚げ; 復)

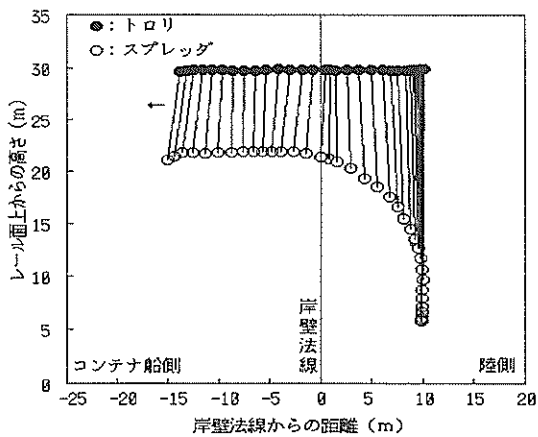


図-21 (c) オベレータC (陸揚げ; 往)

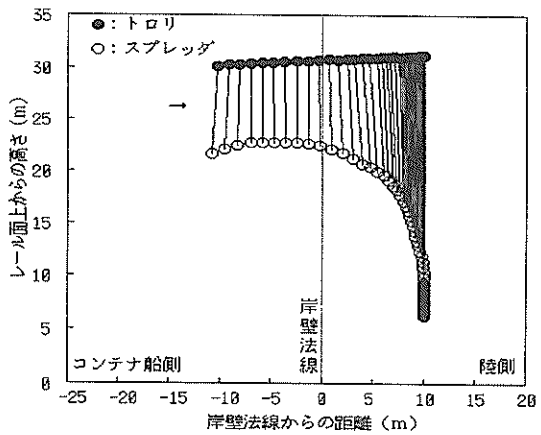


図-21 (f) オベレータC (陸揚げ; 復)

図-21 オベレータ別実サイクルパスとトロリ位置の関係

ることがわかる。なお位置合わせを終了させるまでの時間は、オペレータB、オペレータAの順に長い。すなわち、オペレータAおよびオペレータBにおいては、「減揺荷役動作」から陸側「位置合わせ荷役動作」へ移行する時のスプレッド巻き下げ動作とトリ横行動作のタイミングを含めた連携のスムーズさが欠けていると言えよう。

以上から、「減揺荷役動作」の終了後に出現する陸側「位置合わせ荷役動作」、すなわちスプレッドを巻き下げつつ巻き下げ速度が低速になった時点で、すなわちコンテナつり上げ高さが低くなった時点でトリを一旦停止させ、さらにスプレッドを巻き下げて行く時にトリを微小横行させて短時間で位置合わせを終了させるというようなスムーズな陸側「位置合わせ荷役動作」も、一連の荷役動作の中でも難度が高くかつ重要な荷役動作と言える。

#### (4) 実サイクルタイムダイアグラムの要素時間

図-8および図-9(a)～(b)の計算サイクルタイムダイアグラムを見てもわかるように、スプレッド巻き上げからトリ横行もしくはトリ横行からスプレッド巻き下げという複合動作は含まれていない。しかしながら、実サイクルタイムダイアグラムにおいては、これまで述べたように、程度の差こそあれ上記の複合動作が含まれているのが通常であり、複合動作はオペレータの運転技量を評価する重要な要素でもある。そこで、実サイクルタイムダイアグラムを構成する各荷役動作の要素時間を図-22に示すように単一動作と複合動作に模式的に分けて、要素時間の点からオペレータの運転技量を検討した。図-22における $t_1, t_2, \dots, t_{10}$ は、図-9(a)における荷役動作の①～⑩に対応する単一動作を表し、 $t_{12}, t_{23}, \dots, t_{39}$ は、①～⑨に対応する各荷役動作の複合動作を表す。

表-9は、図-19(a)～(c)に示したオペレータ

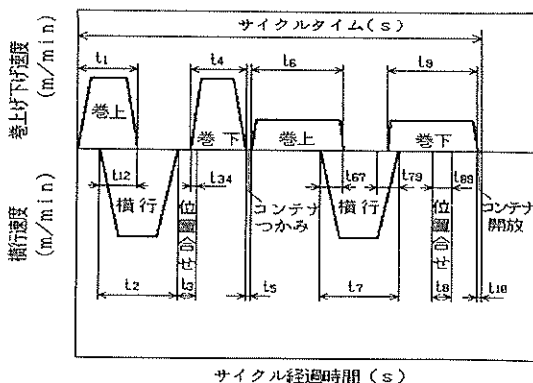


図-22 実サイクルタイムダイアグラムの模式図

別の実サイクルタイムダイアグラムから求めた各要素時間の平均をホールド内計算サイクルタイムダイアグラムの要素時間とともに示したものである。なおオペレータ間の要素時間を比較するためにオペレータCに対する要素時間の比率もあわせて示してある。そして図-23(a)～(b)は、表-9の結果を棒グラフで示したものである。

単一動作については、表-9および図-23(a)に示すように $t_3, t_{456}$ (コンテナ船ホールド内の荷役動作であるために荷役動作の境界が不明瞭)、 $t_8$ および $t_9$ が、オペレータC、オペレータA、オペレータBの順に短かく、その他の荷役動作については差がないことがわかる。一方、複合動作については、表-9および図-23(b)に示すように $t_{34}$ および $t_{39}$ がオペレータC、オペレータA、オペレータBの順に短いことがわかる。またオペレータCとの比率においても、オペレータAおよびオペレータBの単一動作の $t_3, t_8$ および複合動作の $t_{39}$ が大きいことがわかる。特に図-23(a)～(b)に示す単一動作の $t_3$ および複合動作の $t_{34}$ に着目すると、オペレータCにおいては、オペレータAおよびオペレータBと比較してほとんどと言ってよいほど時間を要していないことが特徴的である。

つまり、トリを荷役対象コンテナが格納されているセルガイド(セルガイド：ホールド内へコンテナを格納するための間仕切り)上方に横行させた後、スプレッドを巻き下げつつセルガイドに位置合わせしセルガイドに沿って巻き下げるまでのコンテナ船側「位置合わせ荷役動作」、並びにコンテナつり；ありの場合でトリを陸側へ横行させた後、トレーラ上着地点へスプレッドを巻き下げつつ位置合わせする陸側「位置合わせ荷役動作」において、オペレータCは、オペレータAおよびオペレータBと比較して運転技量が明確に上位であることを示している。ただし、ここで言う「位置合わせ荷役動作」とは、前述したようにトリを微小横行させて行う純然な位置合わせ動作とスプレッド巻き下げ動作との複合動作を称している。なお上述の結果は、オペレータCがオペレータAおよびオペレータBと比較して陸側「位置合わせ荷役動作」を上手に実行しているだけではなく、前述したようにオペレータCにおいては「減揺荷役動作」が顕著であったことから、このような「減揺荷役動作」が以後の陸側「位置合わせ荷役動作」に対しても大きく寄与していると推測される。

以上の結果をまとめると、コンテナ船側「位置合わせ荷役動作」および陸側「位置合わせ荷役動作」においてオペレータ別の運転技量差が生じており、他の荷役動作

においては、オペレータ間の運転技量差はほとんどないと言える。

ここで、実サイクルタイムとホールド内計算サイクルタイムそれぞれの要素時間について比較した。トロッコ横行時の要素時間  $t_2$  および  $t_7$  を見るとわかるように、オペレータ間およびホールド内計算サイクルタイムともほとんど差がないことがわかる。また、それぞれのオペレータの実サイクルタイムとホールド内計算サイクルタイムとを比較すると、 $t_8$ 、 $t_9$  および  $t_{10}$  においては、いずれのオペレータもホールド内計算サイクルタイムの要素時間よりも長い。つまりコンテナつり；ありの場合でのスプレッド巻き下げからコンテナ解放までの陸側「位置合わせ荷役動作」は、ホールド内計算サイクルタイムで提案されているような荷役動作が、現実には実現困難で

あることを示している。コンテナつり；ありの場合は、コンテナ着地時においてコンテナの衝撃をできるだけ減少させる必要があること、並びにコンテナ解放時にスプレッドとコンテナの離着脱をスムーズにする必要があることなどからどうしてもトロッコ横行動作およびスプレッド巻き下げ動作を緩やかにする必要があるためと考えられる。また、ホールド内計算サイクルタイムでは、複合動作が前提とされていない。

以上から、もし荷役機械効率を相対的な荷役能力の指標として考えるならば、アンローダ荷役のJIS B 8809のように、現実的な計算サイクルパスという観点からも、複合動作を前提において実サイクルパスに近い形で計算サイクルパスを設定することも今後の検討課題と考えられる。

表-9 オペレータ別実サイクルタイムとホールド内計算サイクルタイムにおける各要素時間の比較

	ホールド内計算 サイクルタイム	オペレータA		オペレータB		オペレータC	
	要素時間 (s)	要素時間 (s)	オペレータC との比率	要素時間 (s)	オペレータC との比率	要素時間 (s)	オペレータC との比率
$t_1$	8.6	9.9	1.01	10.3	1.05	9.8	1.00
$t_2$	17.0	17.1	1.02	17.5	1.04	16.8	1.00
$t_3$	6.0	2.7	—	6.8	—	0.3	—
$t_{456}$	28.9	57.5	1.13	63.0	1.23	51.1	1.00
$t_7$	17.0	17.5	0.95	17.5	0.95	18.5	1.00
$t_8$	6.0	22.7	1.43	25.0	1.57	15.9	1.00
$t_9$	13.0	33.2	1.08	35.2	1.14	30.8	1.00
$t_{10}$	1.5	4.3	1.16	3.0	0.81	3.7	1.00
単一動作合計	98.0	164.9	1.12	178.3	1.21	146.9	1.00
$t_{12}$	0.0	7.0	0.79	7.2	0.81	8.9	1.00
$t_{24}$	0.0	6.9	1.33	5.3	1.02	5.2	1.00
$t_{34}$	0.0	2.7	—	6.7	—	0.3	—
$t_{67}$	0.0	3.9	0.63	6.1	0.97	6.2	1.00
$t_{79}$	0.0	8.6	0.85	6.7	0.66	10.1	1.00
$t_{89}$	0.0	22.7	1.43	25.0	1.57	15.9	1.00
複合動作合計	0.0	51.8	1.11	57.0	1.22	46.6	1.00
サイクルタイム	98.0	113.1	1.13	121.3	1.21	100.3	1.00

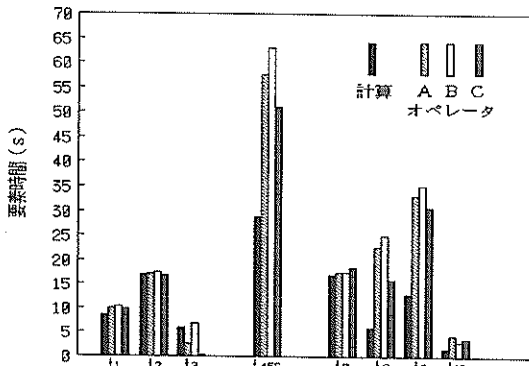


図-23 (a) 単一動作

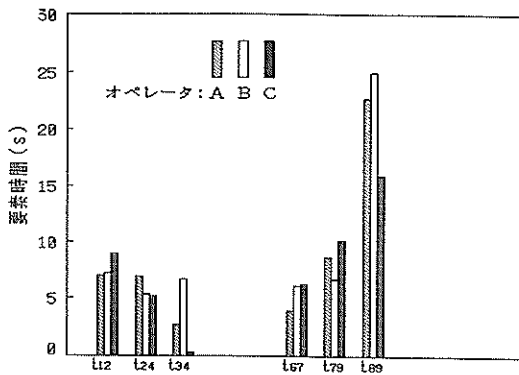


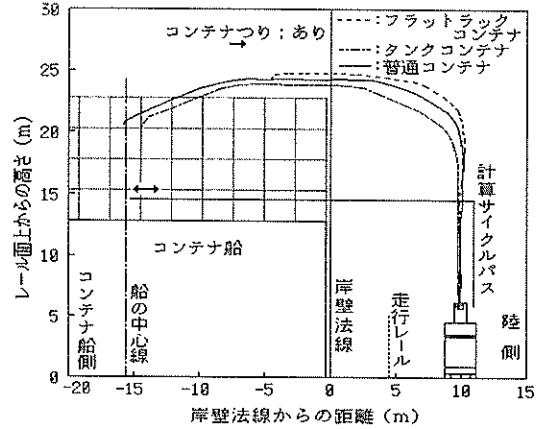
図-23 (b) 複合動作

図-23 オペレータ別実サイクルタイムダイヤグラムにおける要素時間

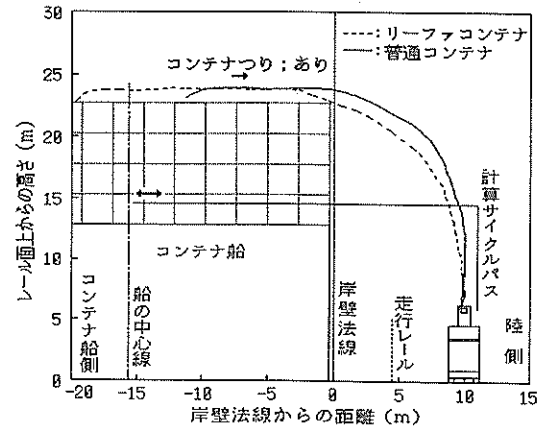
### 5. 3 コンテナの大きさおよび種類別による荷役機械効率、荷役動作

ここでは、コンテナの大きさおよび種類別の評価指標として荷役機械効率を選んだ。一般的には、大きさが20ftもしくは40ftの普通コンテナであれば、コンテナ個々の荷役機械効率としては大差がないと考えられる。しかしながら近年いわゆる普通コンテナ（もしくはドライコンテナ）以外の特殊コンテナや非ISO規格の大きさのコンテナも増加しつつある。ここでは、それらが荷役機械効率に及ぼす影響について調べることにした。

表-10は、オペレータAにおける20ftコンテナおよび40ftコンテナの大きさ別荷役機械効率を示したものである。この結果から、20ftコンテナおよび40ftコンテナの大きさ別の荷役機械効率にはほとんど差がないことがわかった。



(a) オペレータA



(b) オペレータC

図-24 オペレータAおよびオペレータCによるコンテナ種類別実サイクルパス

図-24 (a) ~ (b) は、オペレータAおよびオペレータCによるコンテナ種類別実サイクルパスを示したものである。まず図-24 (a) に示したオペレータAについて見ると、普通コンテナ、フラットラックコンテナおよびタンクコンテナの場合ともほとんど差がないことがわかる。一方図-24 (b) に示したオペレータCについて見ると、リーファコンテナおよび普通コンテナの場合ともほとんど差がないことがわかる。つまりオペレータが同一であればコンテナ種類別による実サイクルパスはほとんど差がないようである。

表-11は、オペレータAおよびオペレータCにおけるコンテナ種類別荷役機械効率を示したものである。ただしタンクコンテナの場合については、コンテナクレーン移動直後であったために完全なサイクルを確保できなかったために約半サイクル分のみの値を示してある。

表-10 オペレータAにおけるコンテナ大きさ別荷役機械効率

		計 算	実 際	荷役機械効率
40フィート コンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 98.0	$t_p$ 113.1	$\eta_m$ 0.866
	荷役能力 (個/時)	$Q_c$ 36.7	$Q_p$ 31.8	
20フィート コンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 98.0	$t_p$ 114.0	$\eta_m$ 0.860
	荷役能力 (個/時)	$Q_c$ 36.7	$Q_p$ 31.6	

表-11 オペレータAおよびオペレータCにおけるコンテナ種類別荷役機械効率

			計 算	実 際	荷役機械効率
オペ レ ー タ A	フラットラック コンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 80.8	$t_p$ 69.8	$\eta_m$ 1.16
		荷役能力 (個/時)	$Q_c$ 44.6	$Q_p$ 51.6	
	* タンクコンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 42.1	$t_p$ 48.0	$\eta_m$ 0.88
		荷役能力 (個/時)	$Q_c$ -----	$Q_p$ -----	
	普通コンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 80.8	$t_p$ 75.2	$\eta_m$ 1.07
		荷役能力 (個/時)	$Q_c$ 44.6	$Q_p$ 47.9	
オペ レ ー タ C	リーファ コンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 80.8	$t_p$ 80.8	$\eta_m$ 1.00
		荷役能力 (個/時)	$Q_c$ 44.6	$Q_p$ 44.6	
	普通コンテナ	サイクルタイム (s)	$t_c$ 80.8	$t_p$ 64.2	$\eta_m$ 1.26
		荷役能力 (個/時)	$Q_c$ 44.6	$Q_p$ 56.1	

\*：コンテナクレーン移動直後のためサイクル前半のデータは欠測

まずオペレータAについて見ると、実サイクルタイムおよび荷役機械効率の値は、普通コンテナの場合とフラットラックコンテナの場合とではそれぞれ $\eta_m=1.07$ および $\eta_m=1.16$ であり大差がないものの、タンクコンテナの場合は $\eta_m=0.88$ であり普通コンテナの場合の $\eta_m=1.07$ と比較して荷役機械効率は多少低いことがわかる。すなわちタンクコンテナの場合は、普通コンテナの場合やフラットラックコンテナの場合と比較して荷役時間が多少長い

ことがわかる。一方、オペレータCについて見ると、リーファコンテナの場合は $\eta_m=1.00$ であり普通コンテナの場合の $\eta_m=1.26$ と比較して荷役機械効率は多少低いことがわかる。すなわちリーファコンテナの場合は普通コンテナの場合と比較して荷役時間が多少長いことがわかる。タンクコンテナ、フラットラックコンテナおよびリーファコンテナ間の差については、オペレータが同一ではなかったので明確な比較はできなかった。



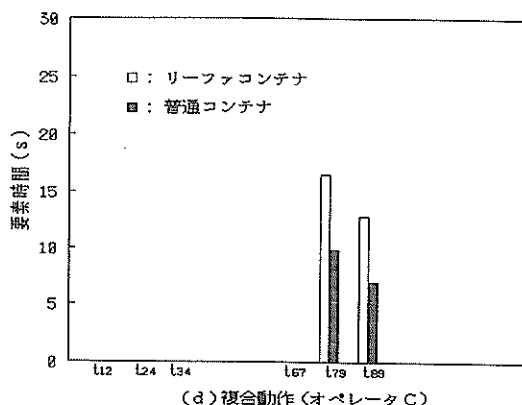
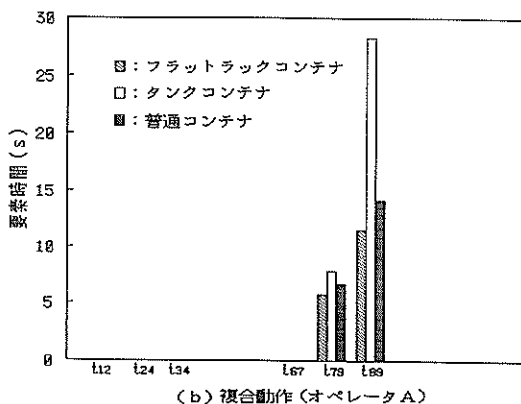
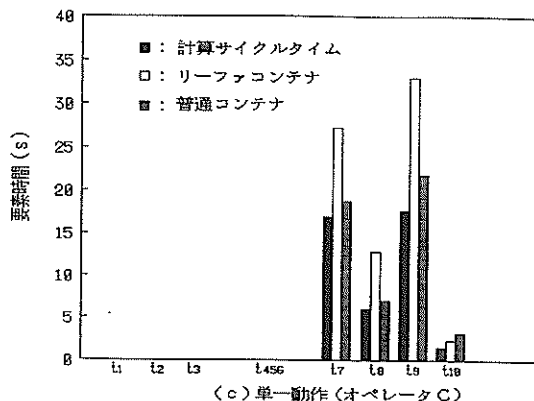
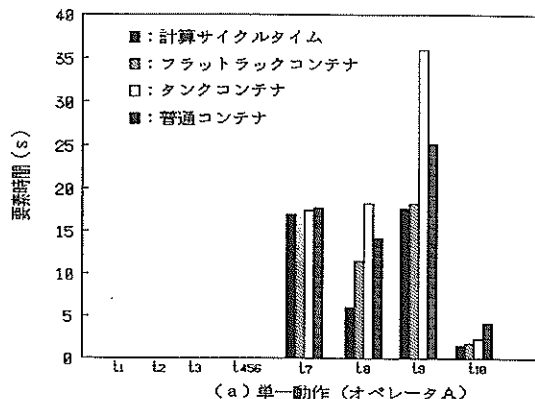


図-25 オペレータAおよびオペレータCによるコンテナ種類別実サイクルタイムの要素時間

いずれにしても、特殊コンテナの場合は、普通コンテナの場合と比較して荷役時間は多少長くなり、荷役機械効率は低いと言える。

図-25 (a) ~ (d) は、表-11の結果に基づいてオペレータAおよびオペレータCによるコンテナ種類別実サイクルタイムの要素時間を単一動作および複合動作に分けて示したものである。図-25 (a) ~ (b) を見るとわかるように、タンクコンテナの  $t_9$  および  $t_{89}$  がフラットラックコンテナおよび普通コンテナと比較して特に長いことから、オペレータAはタンクコンテナの巻き下げ動作からコンテナの解放動作にかけて荷役時間を要していることが特徴的である。つまりタンクコンテナでは、フラットラックコンテナおよび普通コンテナよりも慎重に荷役していると推測される。

一方、図-25 (c) ~ (d) を見るとわかるように、リーファコンテナの要素時間が全体的に普通コンテナよりも長いことから、オペレータCはリーファコンテナの荷役動作全体に時間を要していることがわかる。つまりリーファコンテナでは、普通コンテナよりも慎重に荷役

していると推測される。

以上から、特殊コンテナの場合は、普通コンテナの場合と比較して荷役時間を要していることが特徴的であるが、特殊コンテナそのものが荷役ににくいというよりも、特殊コンテナに対しては慎重な荷役を行っていると考える方がうまく説明できるようなのである。

## 6. まとめ

本調査から得られた主要な結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 荷役時間効率を高めるには、作業中の付帯業務管理時間および作業前後の付帯業務管理時間を短縮することが重要である。
- 2) 本調査におけるコンテナ荷役の荷役時間効率、荷役機械効率および荷役効率は、それぞれ0.813、0.930および0.756であった。
- 3) オペレータの運転技量は、運転経験年数と実サイクルタイムの関係から運転経験年数とともに緩やかに向上して行くと考えられるものの、一方では、オペ

レータの個人的な資質に負うところも大きいと考えられる。

- 4) 水平方向を $x$ 、鉛直方向を $y$ として実サイクルパスに対して曲線近似式を当てはめると、コンテナつり；なしの場合もしくはコンテナつり；ありの場合にかかわらず、一般的な形として $y=a(x-b)^n+c$ と表すことができる。
- 5) コンテナつり；ありの場合において、スプレッドを巻き下げつつできるだけ揺らせないようにトロリ横行速度を制御するという複合動作（いわゆる「減揺荷役動作」）、並びにその後スプレッドを巻き下げつつ巻き下げ速度が低速になった時点で、すなわちコンテナつり上げ高さが低くなった時点でトロリを一旦停止させ、さらにスプレッドを巻き下げつつトロリを微小横行させて短時間で位置合わせを終了させるというスムーズな複合動作（いわゆる陸側「位置合わせ荷役動作」）が、一連の荷役動作の中でも難度が高かつ重要な荷役動作と言える。
- 6) オペレータ間の運転技量差は、コンテナ船側「位置合わせ荷役動作」および陸側「位置合わせ荷役動作」において生じており、他の荷役動作においてはほとんど差がないと言える。
- 7) 20ftコンテナおよび40ftコンテナ大きさ別の荷役機械効率、ほとんど差がなかった。また、特殊コンテナの場合の荷役機械効率は、普通コンテナの場合と比較すると低いと言える。

## 7. あとがき

本調査では、コンテナクレーンの高能率化を図るとともに、将来におけるコンテナクレーンの自動化荷役に資する資料を得るために、コンテナクレーンの荷役機械効率、とりわけオペレータの運転技量ということに焦点を当てて、実サイクルタイムおよび実サイクルパスを中心に解析することによって、コンテナクレーンの高能率荷役動作はどのようなものなのかを探った。その結果、従来感覚的にしか捉えられていなかったコンテナクレーンのオペレータの運転技量について、いくつか定性的に明らかにすることができた。そして本調査結果から、既存のコンテナクレーンの改善および新規コンテナクレーンの設計を含めたコンテナクレーンの高能率化、並びに将来のコンテナクレーンの自動化荷役に結びつく示唆が得られたと考える。例えば、コンテナとスプレッドの位置合わせや実サイクルパスのショートカットを容易にするような新型コンテナ、コンテナクレーン付帯設備、認識システム、運転室内モニタリングシステムの採用、ある

いは運転技量の高いオペレータが実行している「減揺荷役動作」を基本にしたエキスパートシステムの導入等である。

なお、本資料の定量的な傾向ということについては、現地調査が1回であったことを考え合わせて、今後とも本調査結果の精度を高めていく形で資料の蓄積を図って生きたい。

本資料が、将来コンテナ荷役の高能率化、並びにコンテナクレーンの高能率化、自動化のための資料となれば幸いである。

(1993年3月31日受付)

## 謝 辞

今回の調査に対し、資料の提供を始め快く協力下さった静岡県清水港の(株)鈴与の關係者に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) コンテナターミナルの計画と自動化システム、1986年2月、財団法人 横浜港埠頭公社、PP.1~8
- 2) 轉法輪 奏：複合一環輸送と船舶物流、物流技術情報、1989年3月号、pp.29~50
- 3) 杉本 禎：コンテナターミナルの現状と将来、港湾Vol.66、1989年12月、P.53
- 4) 中島忠男・高橋康弘・田辺政夫・木村一郎：穀物用連続アンローダの荷役調査 —ニューマチックアンローダおよび機械式連続アンローダの荷役特性について—、港湾技研資料No.678、1990年6月、42p.
- 5) 山谷弘幸・木村一郎・中島忠男・中園嘉治・秋園純一・竹内孝之：水平引込式アンローダの港湾荷役調査事例、港湾技研資料No.610、1988年3月、107p.
- 6) 奥山育英・早藤能伸・中辻隆・佐々木芳寛・吉田行英：水域計画手法に関する研究、港湾技術研究所講演集、1976.12、pp.143~169
- 7) 石塚浩次・岩崎峯夫・中島忠男・大友健：噴流式ゴミ回収装置の実船試験、港湾技研資料No.292、1978年6月、p.11
- 8) コンテナクレーン設計書、三井造船株式会社内部資料、1985.1
- 9) コンテナ施設整備計画調査報告書、社団法人 港湾荷役機械化協会、1987.3、pp.124~126
- 10) 香椎パークポート地区荷役機械基本設計調査報告書、社団法人 港湾荷役機械化協会、1991.1、pp.33~36
- 11) 青海埠頭第3バース コンテナクレーン基本設計調査報告書、社団法人 港湾荷役機械化協会、1992.10、pp.38~39

## 記号一覧表

$a_1 \sim a_3$  : 未知係数

$b_1 \sim b_3$  : 未知係数

$c_1 \sim c_2$  : 未知係数

$N_c = T/t_c$  : 計算サイクル数もしくは計算荷役コンテナ個数, または公称サイクル数もしくは公称荷役コンテナ個数

$N_p = T_p/t_p$  : 実荷役サイクル数もしくは実荷役コンテナ個数

$t_1 \sim t_{10}$  : 単一動作における要素時間

$t_{12} \sim t_{89}$  : 複合動作における要素時間

$t_c$  : 計算サイクルタイムもしくは公称サイクルタイム

$t_p$  : 実サイクルタイム

$T$  : 計算荷役作業時間もしくは公称荷役作業時間

$T_d$  : コンテナクレーン荷役中断時間

$T_p = T - T_d$  : 実荷役時間

$p_i$  : 実際面上における水平座標

$q_i$  : 実際面における鉛直座標

$Q_c$  : 単位時間当たり計算荷役コンテナ個数

$Q_p$  : 単位時間当たり実荷役コンテナ個数

$x_i$  : ビデオ画像における水平座標

$y_i$  : ビデオ画像における鉛直座標

$\alpha = \tan^{-1} Q_p$  : 実荷役コンテナ個数曲線における荷役作業終了時刻と原点を結んだ場合の横軸とのなす角

$\beta = \tan^{-1} (1/\eta_m)$  :  $\tan^{-1}$  (実サイクルタイム/計算サイクルタイム)

$\eta$  : 荷役効率

$\eta_c$  : サイクル効率

$\eta_t$  : 荷役時間効率

$\eta_m$  : 荷役機械効率

$\overline{\eta}_m$  : オペレータ別平均荷役機械効率

$\theta = \tan^{-1} Q_c$  : 計算荷役コンテナ個数直線と横軸とのなす角

港湾技術資料 No.758

1993・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1993) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。