

フレート・ターミナルにおけるクレーン群管理方式

Multi-Crane Control at Freight Terminal

日本国有鉄道は、貨物輸送の近代化を図るために、列車とトラックによるコンテナの協同一貫輸送システムを推進中で、電子計算機により橋形クレーンの制御、コンテナ情報の管理などを行なうフレート・ターミナルの建設を進めている。

本稿では、このターミナルでのクレーン群の最適な次作業を決定するクレーン群管理方式を日本国有鉄道と共同で開発したことについて述べる。本方式は、トラックへのサービスの最適化、クレーン作業の最適化、列車作業の最適化、仮置場スペースの有効利用などを実現するもので、メモリ容量、処理速度の面からも実用的な方式であることを明らかにした。

高藤政雄* Takatō Masao
横島 皓* Yokoshima Akira
今田義照** Imada Yoshiteru
後藤宗治*** Gotō Muneharu

1 緒 言

近年、日本国有鉄道(以下、国鉄と略す)では、貨物輸送の合理化、近代化を図るために列車とトラックによるコンテナの協同一貫輸送システム(特急コンテナ輸送システム)に力を入れ、コンテナ基地の整備を進めている。このコンテナ基地での取り扱い貨物量が増大するに伴い、従来のフォーク・リフトによる荷役と人間によるコンテナ管理ではコンテナ捜し時間、トラック待ち時間が増加し、需要に対処できなくなりつつある。こうしたことから国鉄は、従来のコンテナ基地の荷役方式に代わって、電子計算機による橋形クレーンの制御及びコンテナ情報の管理を行なう複合ターミナルの建設を計画している。これらのターミナルでは、コンテナ荷役とコンテナ情報管理とを一体化することにより、用地の有効利用をはじめとし、ターミナルの総合的効率向上を図るとともに、正確、かつ迅速な荷役を行ない、流通業者へのサービス向上

を目指している。

本稿では、これらシステムの技術的可能性を検討するために、このほど具体化した東京貨物ターミナル(大井)の先行システムでのクレーン群の管理方式を中心に述べる。

2 フレート・ターミナル計算機制御システムの概要

2.1 フレート・ターミナルの概要

列車とトラックの接点となるフレート・ターミナルの基本機能は、クレーンを介して列車とトラックとの間でコンテナの積み替えを行なうことである。この作業は図1に示すコンテナ荷役場で行なわれる。このためコンテナ荷役場は、クレーン下に列車及びトラックがそれぞれ荷役を受けるための貨車線、積卸線及び仮置場を備えている。ここで、仮置場は列車の荷役時間帯とトラックの到着時刻とのずれにより、列車

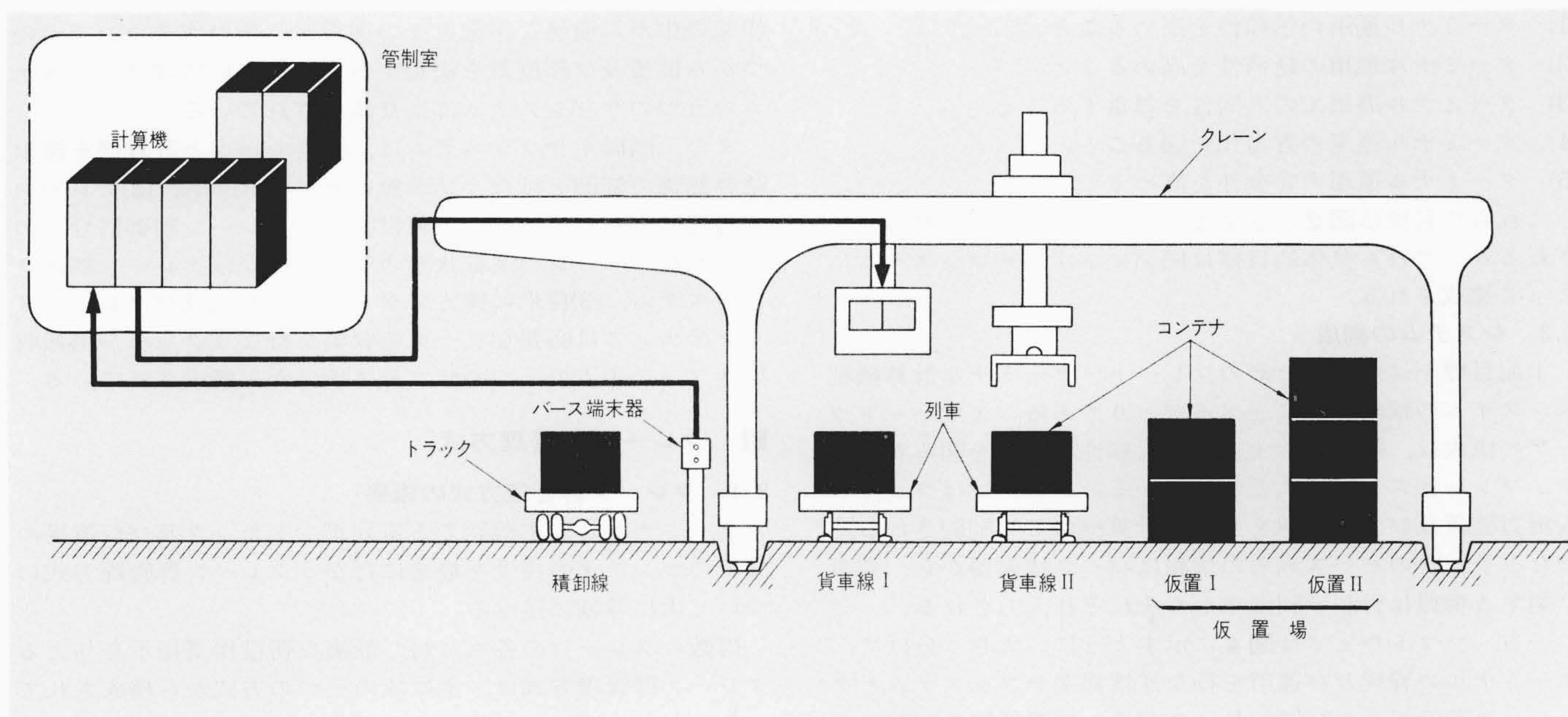


図1 コンテナ荷役場 計算機により制御される橋形クレーンを介して、列車～トラック～仮置場間でコンテナの移載作業を行なう場所を示している。

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所システム技術本部

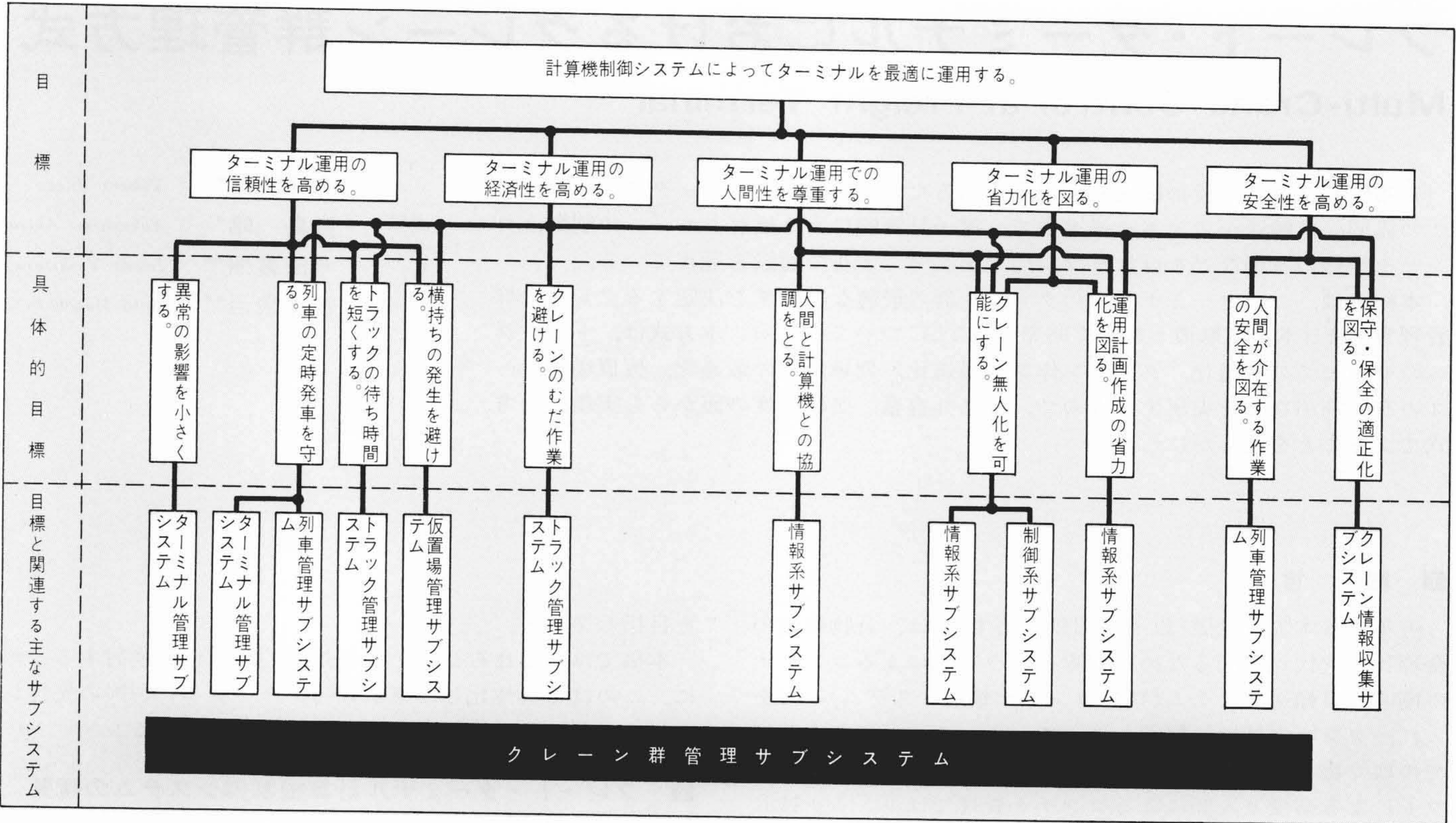


図2 フレート・ターミナル計算機制御システムの目標とサブシステムとの関連 システムの目標とその目標を達成するサブシステムとの関連を示している。

とトラックとの間で直接コンテナの授受が不可能なときに、コンテナを一時仮置くバッファの役目をする。

2.2 システムの目標

前節で述べたフレート・ターミナルの運用を最適に行なうための計算機制御システムの目標は、図2に示すように大きく五つに分けられる。

- (1) ターミナル運用の信頼性を高めること。
- (2) ターミナル運用の経済性を高めること。
- (3) ターミナル運用での人間性を尊重すること。
- (4) ターミナル運用の省力化を図ること。
- (5) ターミナル運用の安全性を高めること。

これらの目標は図2に示すように、更に具体的目標に分類されるが、これら具体的目標は同図に示す各サブシステムによって達成される。

2.3 システムの構成

上記目標を達成するためのフレート・ターミナル計算機制御システムの構成は次に述べるとおりである。まずハードウェアの構成は、図3に示すように信頼性の向上を図るためにデュプレックスシステムとなっている。クレーンはプロセス入出力装置及び誘導無線を介して計算機により制御される。またトラックのバース到着の情報はバース端末器から、列車に関する情報は管制室制御卓からそれぞれ入力される。

一方、ソフトウェアは図4に示すように、大きく分けて、ターミナルの管理及び運用を行なう情報系サブシステムとクレーンの荷役指令の制御信号への変換、誘導無線の制御などを行なう制御系サブシステムの二つのサブシステムにより構成される。

情報系サブシステムは、(1)管制員からの列車作業進捗状況などの問合せに対する情報の出力、及び計算機の二重系切換え処理などの計算機システムに必要な各種処理を行なうター

ミナル管理サブシステム、(2)ターミナルに到着したトラックの作業登録及び行先指示を行なうトラック管理サブシステム、(3)列車が積載してきたコンテナの情報の登録及び列車作業状態の管理を行なう列車管理サブシステム、(4)仮置場管理情報の入出力を行なう仮置場管理サブシステム、(5)トラック～列車～仮置場間でコンテナの積み替えを行なうクレーンの荷役作業の中から最適な作業を一つ選択し、その作業コンテナのつかみ位置及び卸位置を決定するクレーン群管理サブシステムの五つのサブシステムにより構成されている。

また、制御系サブシステムは、(1)クレーンと計算機を結ぶ誘導無線の制御を行なう誘導無線サブシステム、(2)クレーン群管理サブシステムからの荷役指令のクレーン制御信号への変換及びクレーンの運転状態の管理を行なうクレーン制御サブシステム、(3)将来に備えてクレーン無人化及びクレーンメンテナンスに必要なデータの収集を行なうクレーン情報収集サブシステムの三つのサブシステムから構成されている。

3 クレーン群管理方式

3.1 クレーン群管理方式の概要

ターミナルの基本機能である列車、トラック及び仮置場の間でのコンテナの授受を最適に行なうクレーン群管理方式について次に詳細に述べる。

複数のクレーンの各々に対し最適な荷役作業指示を与えるクレーン群管理方式は、主に次の三つの方式から構成されている。

- (1) 次作業決定方式
- (2) 仮置位置決定方式
- (3) 列車積載座席決定方式

次作業決定は、クレーンの複数の作業群(表1参照)の中からクレーンが次に行なうべき作業を一つ選択する処理であり、

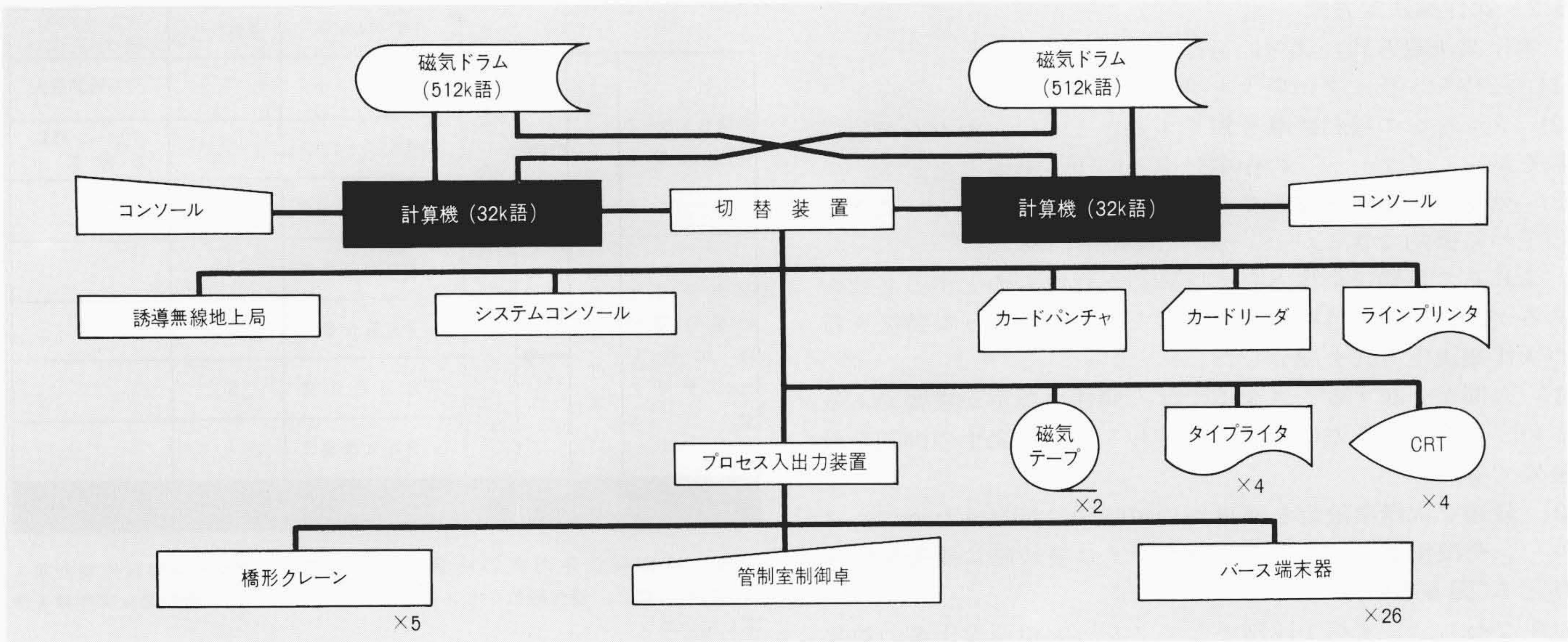


図3 ハードウェア構成図 システムの信頼性向上のために計算機は二重系(デュプレックス)としている。

フ レ ー ト ・ タ ー ミ ナ ル 計 算 機 制 御 シ ス テ ム										
人 間	マンマシン・インタフェース (CRT T/W 設定盤 など)	計 算 機	ターミナル管理サブシステム							
			情報系サブシステム	タ計 ーミ 算 ナル 機	ターミナルの管理及び計算機制御システムで必要となる名種処理を行なう。					
				トラック管理サブシステム		列車管理サブシステム		仮置場管理サブシステム		
			トラ ック	トラックの作業登録及び 行先指示を行なう。	列 車	列車の作業登録及び 作業 状態の管理を行なう。	仮 置 場	仮置場管理の情報の入出力 処理を行なう。		
			システム	クレーン群管理サブシステム						
				クレーン	クレーン荷役作業の対象となる作業から、次作業候補として最適な作業の一つを選び、仮置場へ仮置く場合には、仮置位置決定を、 列車上へ積載する場合には列車積載座席決定を行なう。					
			制御系サブシステム	誘導無線サブシステム		クレーン制御サブシステム		クレーン情報収集サブシステム		
				誘導無線	クレーンと計算機とを結ぶ 誘導無線の制御を行なう。	クレーン	クレーン群管理サブシステムの決定 に従い、クレーンハードを制御する 情報をクレーンに与え、クレーンの 運転状態の管理を行なう。	クレーン	クレーン無人化及び クレーン・メンテナンスに必要な データの収集を行なう。	

注：各サブシステムの内容

サブシステム名	
管理対象及び制御対象	機能の概略

図4 フレート・ターミナル計算機制御システムの構成 ソフトウェアは大きく情報系サブシステムと制御系サブシステムの二つのサブシステムにより構成される。

表1 クレーン荷役作業の種類 クレーンの荷役作業は、コンテナの移動に着目すると大きく6種類になる。

項番	作業種類
	A → B
1	トラック → 列車
2	トラック → 仮置場
3	列車 → トラック
4	列車 → 仮置場
5	仮置場 → 列車
6	仮置場 → トラック

注：A→Bは、コンテナをAからBへ移すことを示す。

仮置位置決定は、上記次作業決定によって選択された次作業コンテナを仮置場へ卸す場合の仮置位置を決定する処理であり、列車積載座席決定は、次作業コンテナを列車に積載する場合の列車上座席を決定する処理である。このうち列車積載座席決定は、トラックが入門したときの作業登録で積載車両があらかじめ指示されるなど、処理は比較的簡単である。

これに対し、次作業決定及び仮置位置決定は、クレーンの作業効率の向上及び仮置場スペースの有効利用などの関連において数多くの考慮すべき事項がある。

次にこれらの事項を考慮した次作業決定方式、及び仮置位置決定方式について述べる。

3.2 次作業決定方式

次作業決定方式の具体的目標は、

(1) 長待ちトラックの発生を抑制すること。

(2) クレーンの移動距離を短くするとともに、むだな荷役回数を減らしてクレーンの作業効率を向上させること。

(3) 列車ダイヤを厳守しても積み残しコンテナがないこと。

の三つに要約できる。

これらの目標は全体として協調のとれたものとする必要があるが、これらの目標を達成するために次のような特徴を持つ次作業決定方式を開発した。

(1) 人間が介在するシステムでは人間性の尊重が重要であるという基本的考え方により、長待ちトラック発生を抑制を最優先する。

(2) 最適な次作業決定を簡単かつ短時間に行なうために、クレーン荷役作業の対象となるコンテナに多段階に優先順位を与える(図5参照)。

すなわち、まず第1段階としてクレーンの荷役作業の対象となる作業を大きく、(a)トラック作業、(b)列車作業に分け、トラック作業を優先させる。

第2段階として、(a)トラック作業についてはトラックの待ち時間によってグループ分けを行なう。すなわち、トラック作業グループをトラック運転手の待ち時間標準値 T_s 、待ち時間限界値 T_l により次の三つに分類し、番号順に次作業を決定する。

(i) 長待ちトラックグループ
 $t \geq T_l$ なるトラックグループ

(ii) 標準待ちトラックグループ
 $T_s < t < T_l$ なるトラックグループ

(iii) 近着トラックグループ
 $t \leq T_s$ なるトラックグループ

ここで、 t ：トラックの待ち時間

また、(b)列車作業については列車の作業種類により次のように分類し、番号順に優先順位を与える。

(i) 優先列車作業

(ii) 発列車作業Ⅰ(仮置場→発列車)

(iii) 着列車作業(着列車→仮置場)

(iv) 発列車作業Ⅱ(仮置場→発列車)

ここで発列車とは発送列車で、着列車とは到着列車のことである。

上記(i)~(iv)の順に優先順位を与えたのは、次の理由による。

(i) 優先入力された列車の作業を他の列車の作業より優先させることにより、列車作業の進行状態を調整することができ、列車ダイヤの厳守が可能となること。

(ii) 仮置場→列車の作業を、列車→仮置場の作業より優先させることにより、発列車に積載する作業が着列車から卸す作業より優先的に行なわれるため、積み残しコンテナが減少すること、及び仮置場を介さずに着列車からトラックに直接引き取る確率が大きくなるため、クレーン荷役回数を減らすことができること。

(iii) 発列車作業(仮置場→発列車)で、段積みになっているコンテナの下段コンテナよりも上段コンテナを優先させることにより、下段コンテナを引き取る時に上段コンテナを他の場所に移すというクレーンのむだ作業を減らすことができること。

最後に、第3段階として(a)トラック作業及び(b)列車作業の各作業グループ内のコンテナについては、トラックの待

		作業グループ	優先順位	グループ内 優先基準	
長待ちトラック 発生 の 抑 制	ク レ ー ン 作 業	(a) トラック作業	(i) 長待ちトラック	1	待ち時間最大
		(ii) 標準待ちトラック	2	クレーン移動 距離 最 小	
		(iii) 近着トラック	3	"	
列車ダイヤ の 厳 守 及 び 積 み 残 し の コ ン テ ナ の 減 少	効 率 の 向 上	(b) 列車作業	(i) 優先列車作業	4	"
		(ii) 発列車作業Ⅰ	5	"	
		(iii) 着列車作業	6	"	
		(iv) 発列車作業Ⅱ	7	"	
目 標		達 成 方 法			

図5 次作業決定方式の目標と達成方法 クレーン荷役作業対象を段階的に分類し、優先順位を与えることにより各クレーンの最適な次作業を決定している。

ち時間あるいはクレーンの移動距離の大小により優先順位を与え、優先順位に従って次作業を決定する。

(3) 上記(2)で各コンテナに与えた優先順位を現在の列車作業の状態(例えば、列車の到着直後、発車間際あるいは列車作業に対する人間の介在の有無など)に対応してダイナミックに変更することにより、その時点の列車の作業状態に対応した最適な作業を簡単に選択できる。

3.3 仮置位置決定方式

3.3.1 仮置位置決定方式の目標とその達成方法

仮置位置決定方式の目標は、仮置場の構造上の制約及びクレーンの運用上の制約のもとで、仮置場運用の効率化を図ることである。

仮置場の構造上の制約としては、

(1) 仮置場は複数バース(1バースは貨車1両に対応する)から成り、バース間をまたいでコンテナを仮置くことはできない。

(2) 仮置スペースとして1バース、1列当たり、5tコンテナは5個、10tコンテナは3個しか置けない。

(3) 5tコンテナ、10tコンテナの混積はできない。

などがある。

また、クレーンの運用上の制約としては、

(1) クレーンには守備範囲がある。

(2) 1レーン内複数クレーンの衝突を防止する必要がある。

などがある。

クレーンの守備範囲は図6に示すように、A~Bであるが、クレーンの移動可能範囲は両隣クレーンとの衝突防止のためにA'~Bにせまられる。守備範囲はクレーン相互の作業負荷バランスをとるために設けたもので、ターミナルの作業状況に応じてCathode Ray Tube(以下、CRTと略す)画面からオペレータが設定できる。また、衝突防止のための閉そくエリアは、クレーンが移動するに従いソフトウェア的に自動的に更新される。したがって、クレーンの移動可能範囲は両隣クレーンの動きに応じてダイナミックに伸縮する。なお、閉そくエリアの初期設定は上記守備範囲と同一画面にオペレータが設定できる。

仮置場運用の効率化の具体的目標としては、

(1) クレーンむだ作業の減少

(2) 仮置場スペースの有効利用

(3) クレーン移動距離の短縮

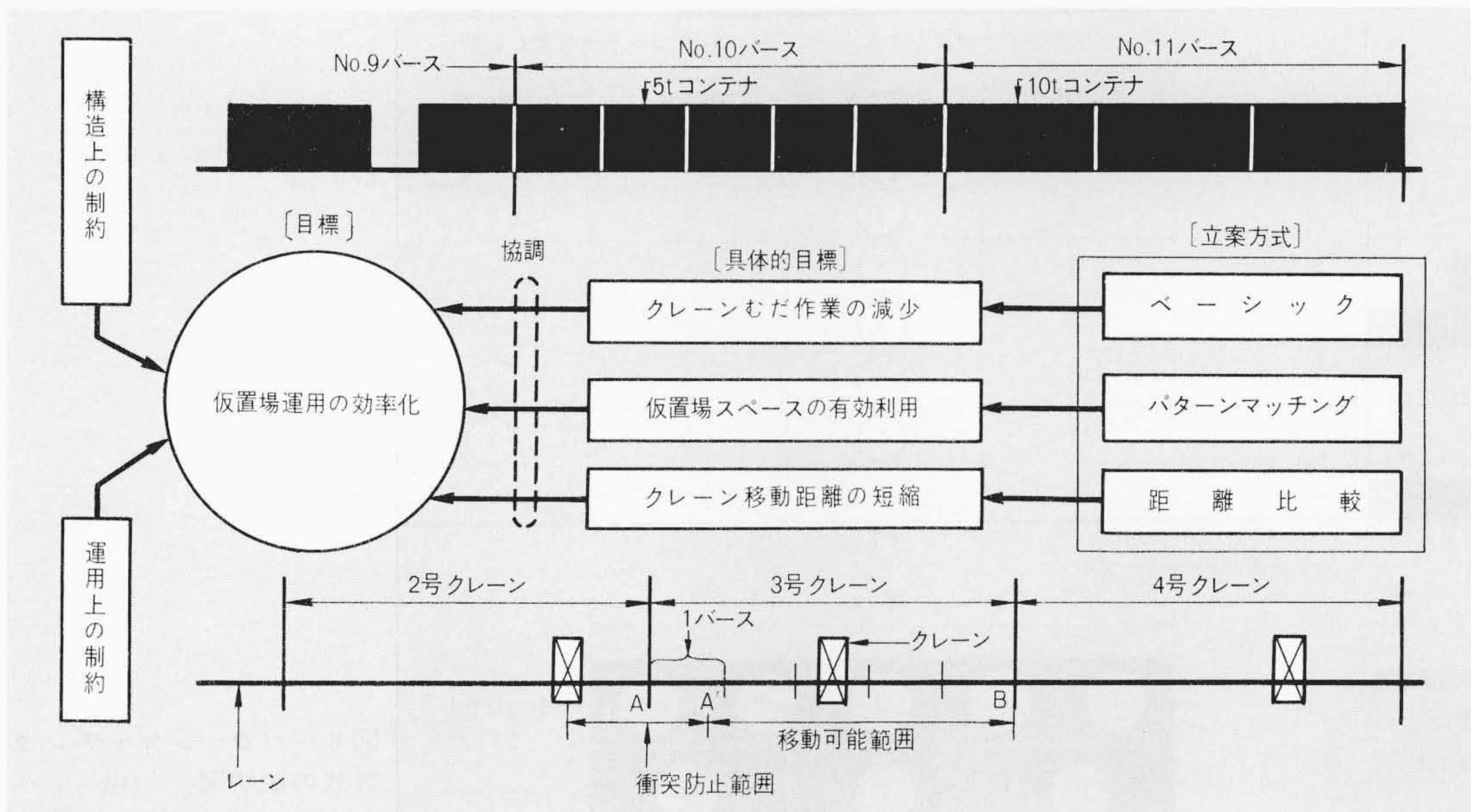


図6 仮置位置決定方式の目標 仮置位置決定方式の目標は、仮置場の構造上の制約及びクレーンの運用上の制約のもとで、仮置場運用の効率化を図ることである。

がある。

これらの目標を達成する方式として、

- (1) クレーンむだ作業の減少に対しては、同一列車に積載するコンテナを積極的に段積みするなど、積み卸し時の特質に基づいたベーシック方式。
- (2) 仮置場スペースの有効利用に対しては、仮置場の構造を考慮したパターンマッチング方式。
- (3) クレーン移動距離の短縮に対しては、クレーンの移動距離を考慮した距離比較方式。

の3方式を立案した。仮置場運用の効率化を図るためには、これら3方式をうまく組み合わせて仮置位置を決定することが重要である。そのため仮置位置決定方式は、コンテナ移載時の基本的特質に主眼をおいたベーシック方式を骨子とし、これにパターンマッチング方式を運用し、距離比較方式は部分的に使用するものとした。

3.3.2 ベーシック方式

仮置場には発送コンテナ(以下、発コンと略す)と到着コンテナ(以下、着コンと略す)が混在する。これらのコンテナをランダムに段積みすると、コンテナを列車あるいはトラック

に引き取ろうとする場合、そのコンテナが仮置場の下段に位置することが多々ある。このような場合は、上段コンテナを配置換えした後でないと目的とするコンテナの作業ができない。このような配置換えは前作業と呼ばれ、クレーンのむだ作業となる。この前作業の発生を少なくするために、図7に示す順序で仮置位置を決定するのがベーシック方式である。

仮置要求コンテナが発コンの場合は、

- (1) 積載すべき列車と同一の列車に積載する発コンの1段積みがあるときは、そのコンテナの上に仮置く。
- (2) 積載すべき列車より後で出発する列車に積載する発コンの1段積みがあるときは、そのコンテナの上に仮置く。
- (3) 1段目に仮置く。
- (4) 着コンの上に仮置く。
- (5) 任意の位置に仮置く。

の順序で仮置位置を決定する。(5)の場合、下段コンテナは先発列車に積載する発コンであるため、引き取る際には前作業が生ずる。

仮置要求コンテナが着コンの場合は上記(3)、(4)、(5)の順序で仮置位置を決定する。

仮置優先順位 仮置くコンテナ	1	2	3	4	5	
発送コンテナ (トラック→仮置場)	同一発コン	後発発コン		着コン	先発発コン	
到着コンテナ (列車→仮置場)				着コン	発コン	
クレーンむだ作業の減少	○	○	○	△	×	

注：□ コンテナ仮置位置

○ 効果大

△ 効果小

× 負の効果

発コン＝発送コンテナ

着コン＝到着コンテナ

図7 ベーシック方式の説明図 ベーシック方式はクレーンのむだ作業の減少を図ることを主眼にしている。

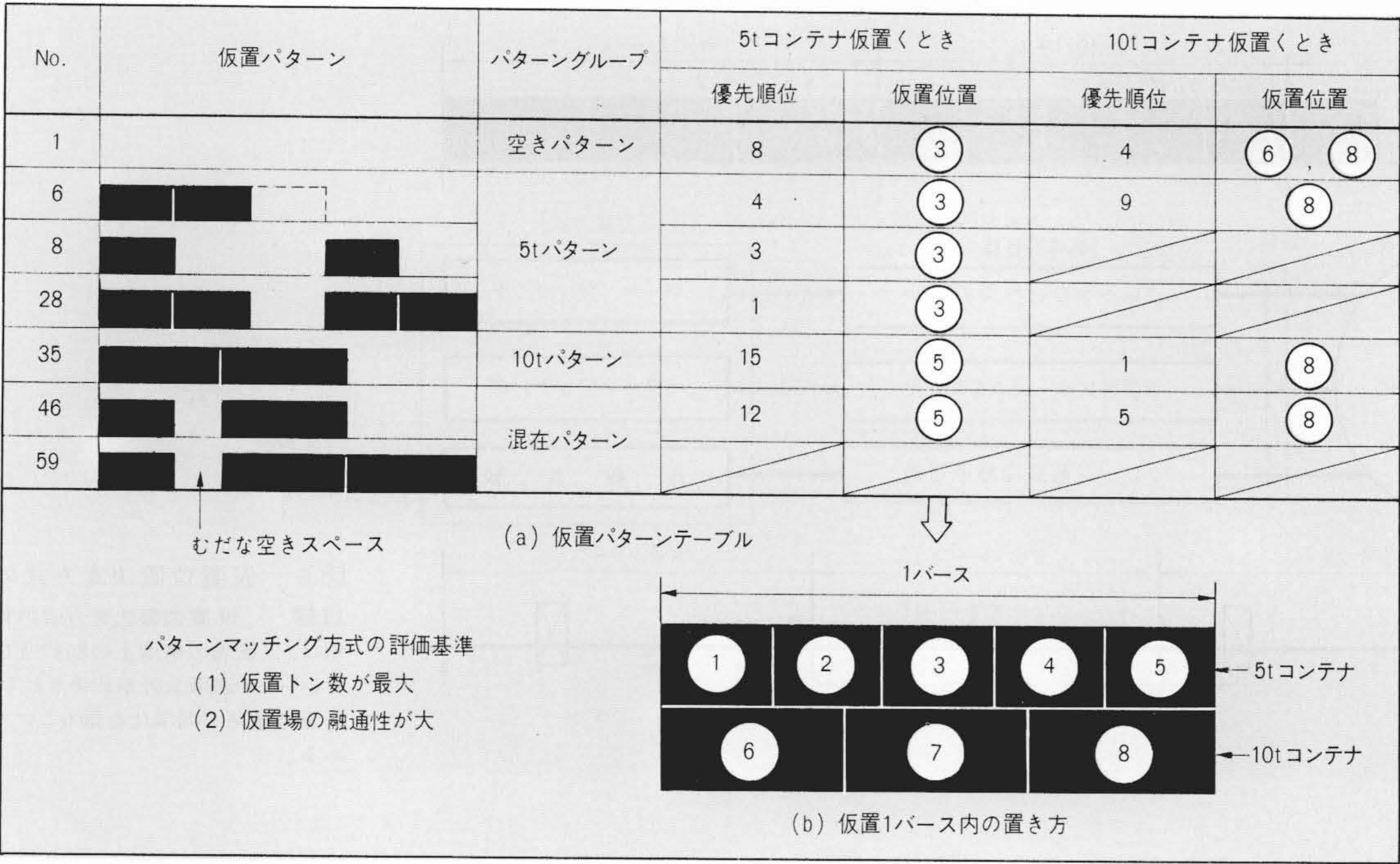


図8 パターンマッチング方式の説明図
パターンマッチング方式は、仮置場の特質を考慮した方式で、仮置場スペースの有効利用を主眼にしている。

なお、仮置場スペースの有効利用は、1段目のコンテナ在席状態に大きく依存するため、1段目のコンテナを最適に仮置くことが最も重要である。次に述べるパターンマッチング方式はこの1段目の仮置位置を決定する際に用いられる。

3.3.3 パターンマッチング方式

コンテナを仮置場に適当に仮置くと、図8(a)に示すようにむだな空きスペースが生ずる。このむだな空きスペースを減らし、可能な限り多くのコンテナを仮置くことにより仮置場スペースの有効利用を図るのがパターンマッチング方式の目的である。

本方式の前提条件である仮置場の物理的制約として、仮置場の1バース、1列のコンテナの置き方が図8(b)のように限定されていることが挙げられる。同図から分かるように、②の位置に5tコンテナが存在する場合は、⑥及び⑦の位置に10tコンテナは仮置けない。また逆に⑦の位置に10tコンテナがある場合は②、③、④の位置に5tコンテナを仮置くことは不可能である。このような物理的制約のために、1バース、1列における1段目のコンテナの仮置状態(仮置パターンと称する)は、図8(a)に示すような59種類の仮置パターンに分かれるが、これらは、5tコンテナだけから成る5tパターングループ、10tコンテナだけから成る10tパターングループ、5tコンテナ及び10tコンテナが混在する混在パターングループ並びにコンテナが存在しない空きパターングループのいずれかに属する。

本方式の特徴は、簡単かつ短時間に最適な仮置位置を決定するために、まずオフラインで仮置場の状態を表わす仮置パターンの優先順位及び仮置位置を、

- (1) 仮置トン数が最大であること。
- (2) 仮置場の融通性が大であること。

の2点を評価基準として決定し、仮置パターンテーブルとして登録しておき、オンラインではこのテーブルを参照し、その時点の仮置場の状態にマッチした最適な仮置位置を決定することである。ここで、優先順位は上記複数のパターンのうちのどのパターンのバースにコンテナを優先的に仮置けばよいかを、仮置位置はパターン中のどの位置にコンテナを仮置け

ばよいかを示している。また、上記(2)の仮置場の融通性が大きいとは、仮置位置決定を要求しているコンテナをあるバースに仮置くと仮定したとき、将来そのバース内のコンテナが移動したときでも、できるだけ多くのコンテナが仮置けることである。

4 クレーン群管理方式の評価

机上シミュレーションの結果、3.で述べた次作業決定方式、仮置位置決定方式などから成るクレーン群管理方式により、トラック待ち時間、仮置場スペースの有効利用率は、従来と比較してそれぞれ15%程度の減少、及び4%程度の向上が図られることが明らかになった。また、上記クレーン群管理方式は、東京貨物ターミナルの実機モデルによる試験によってもメモリ容量、処理時間の面で十分実用に耐え得ることが明らかになった。

5 結 言

以上、国鉄と共同で開発してきたフレート・ターミナルのクレーン群管理方式の中で、最も重要かつ技術課題の多い次作業決定方式及び仮置位置決定方式の概要について述べたが、今後は本システムの試行運転の評価を通し、更に優れたシステムの実現に努めたい。

終わりに、本研究開発の機会と、検討の過程での確な御指導をいただいた日本国有鉄道工作局機械課、東京第一工事局機械二課及び東京システム開発工事局システム課の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 二宮ほか：橋形クレーンによるコンテナの自動荷役方式，日立評論，58，349（昭51-5）
- 2) 横島，高藤ほか：フレートターミナル情報システム(先行システム)におけるクレーン群管理，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，第13回，131（1976-11）
- 3) 高藤ほか：物流基地における輸送物の仮置制御方式，第19回自動制御連合講演会前刷，3058，533（昭51-11）