

インテリジェント パレタイジング システム

Intelligent Palletizing Systems

近年、自動車、家庭電気品などの海外生産拡大に伴いノックダウン部品の輸出が増加している。ノックダウンの場合、多種多様の部品を取り扱うことが多く、これらを大形の外装箱に高効率かつ高速に積み込む必要があり、これを自動化することが流通経費節減上のひとつの重要な課題となっていた。しかし、従来のパレタイザは一定形状の貨物を定量だけ積載する機能しかもっておらず、このような要求を満足できなかった。そこで、あらかじめ定められた外装箱に、寸法の異なる多数のダンボール箱をむだな空間をできるだけ少なく自動的に積載する新形のパレタイジングシステムを開発した。

本システムは、外装箱内のダンボール箱配置を決定する積付計画支援システムと、そこで作成する配置データを用いて各ダンボール箱を数値制御して積載する直角座標ロボットで構成している。本システムは最近稼動に入ったので、その概要を紹介する。

1 緒言

近年、製造業、流通業では輸送費を低減するため製品の出荷、集配のあらゆる段階で合理化施策が進められている。その一環として、寸法の異なる貨物をすき間なく効率よく積載したいという要求があり、多品種混合生産の場合はますますその傾向が強くなっている。例えば自動車業界では、海外生産の拡大に伴いノックダウン部品の輸出が増加しており、多種多量の部品を大形の外装箱にすき間なく自動的に積み込むことが流通経費節減上、最近の重要課題となっていた。このたび、これらの要請にこたえて日産自動車株式会社に納入されたインテリジェント パレタイジング システムについて、その概要を紹介する。

従来のパレタイジング システムは、一定形状品を定量だけ取り扱うもので、あらかじめ制御装置の中に記憶してあるデータで反復動作しているにすぎない。しかし、これでは寸法の異なる数種の外装箱に3,000種以上に及ぶ部品(ダンボール箱にこん包されている。)を、自由な組合せで積載したいという要求には対応できない。そこで、最近の知識工学を駆使して、外装箱に最適な貨物配置を計算する積付計画支援システムを開発した。更に、そこで作成されたデータを用いて大幅に寸法の異なる貨物を安全確実に把持して積載する崭新なパレタイズ用ロボットを考案した。そして、両者を結合し、新しいタイプのインテリジェント パレタイジング システムを実現することができた。

本ラインの設備全体は、外装箱へダンボール箱を積載したあと外装箱のはり(梁)木取付け、天板取付け、くぎ(釘)打ち、あて先のマーキング作業を行なう自動一貫ラインであるが、本稿では前工程であるパレタイジング システムに絞ってその概要を説明する。

2 システム概要

図1は、今回開発した自動外装ライン設備の一部であるパレタイジング システムの鳥観図である。本システムはランダムに投入したダンボール箱を一時保管したのち、命令に従っ

山田 仁*	Hitoshi Yamada
栗嶋 実*	Minoru Awashima
渡瀬 英夫**	Hideo Watase
明石 吉三***	Kichizô Akashi
吉岡 達夫****	Tatsuo Yoshioka
伊津野 仁一**	Zin'ichi Izuno

て積載順序に出庫するマーシャリング装置、あらかじめ外装箱の決められた場所にダンボール箱を積載するパレタイズ用ロボット、上記を結合する搬送コンベヤ及びこれらを統括制御する制御システムで構成している。制御システムは、積付計画を実施するための積付計画支援システムと設備を制御する制御装置とで構成している。

本システムでは、生産に先立って積付計画支援システムを使って、寸法の異なる数種類の外装箱の中へ多種多量の貨物(ダンボール箱)を効率よく配置するための積付計画を実施する。そして、そこで決まった外装箱内の配置データから積載順序、動作経路などのロボット用動作データを自動的に創成しておく。次に、生産計画が決まった時点で制御装置に当日生産する予定の外装箱を登録する。この生産計画に従って、制御装置は生産する外装箱のロボット用動作データを積付計画支援システムから受け取り、積載する順序にマーシャリング装置からダンボール箱を出庫する。それを、ロボット用動作データの指令に応じてロボットが自動的に外装箱に積載する。

本システムの主要素である積付計画支援システムを図2に、パレタイズ用ロボットを図3に示す。更に、前者を3章で、後者を4章で詳述する。

3 積付計画支援システム

本システムは、寸法の異なる数種の外装箱に対応して、それぞれ積み付けることにした貨物群の寸法データを用いて、積載率を最大にするように個々の貨物の積付位置を決定するものである。3.1節で本システムの特長を、3.2節でハードウェアとソフトウェアの構成について述べる。

3.1 システムの特長

本システムは積付計画者による貨物の積付配置計画を支援するものであり、次に述べるような特長をもっている。

(1) 対話形貨物配置決定機能¹⁾

本システムは計画者との対話形式により貨物配置を決定する機能をもっている。すなわち、計画者から「どの場所(平面)

* 日産自動車株式会社本牧埠頭 KD技術課

** 日立製作所土浦工場

*** 日立製作所システム開発研究所 工学博士

**** 日立製作所システム事業部

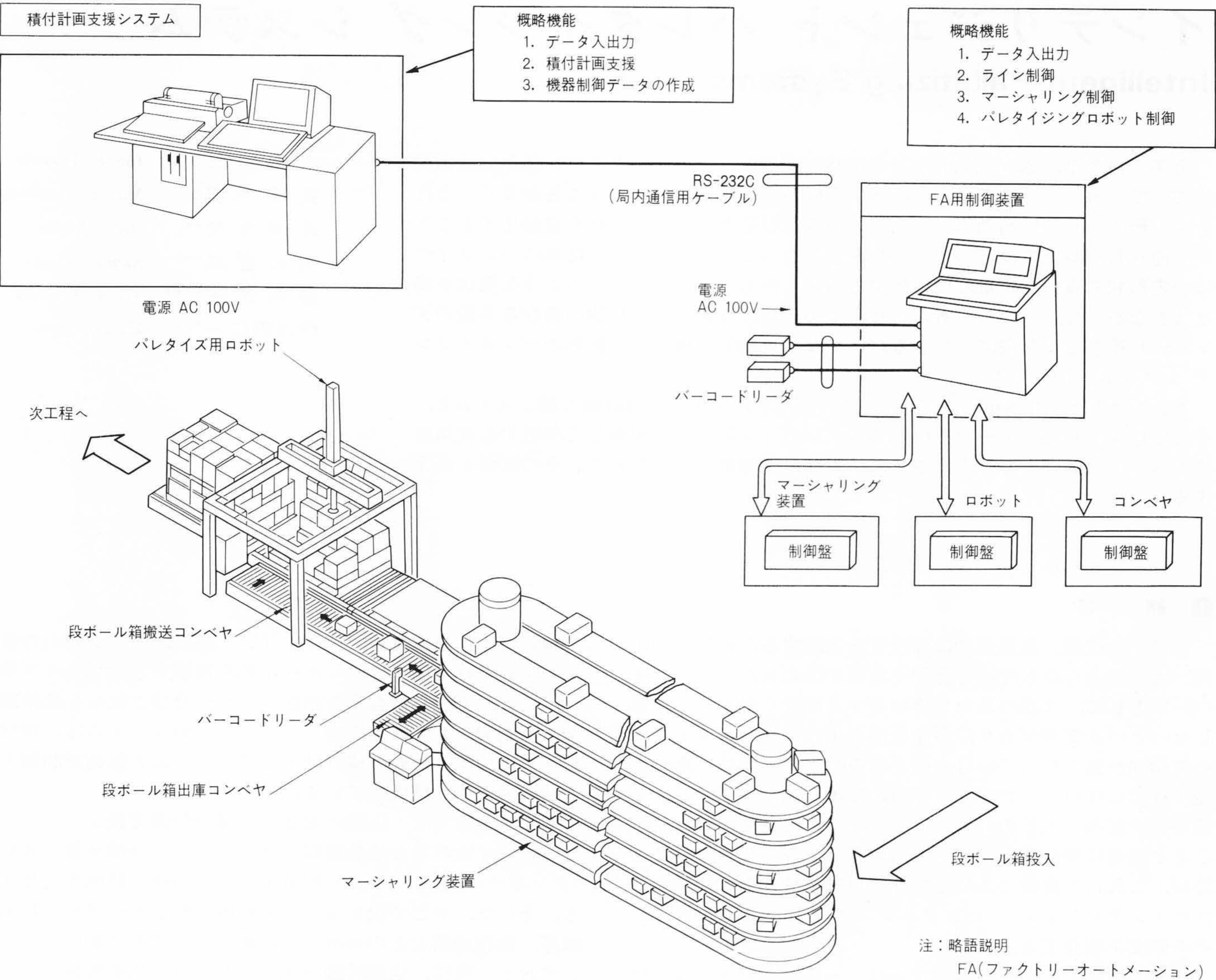


図1 インテリジェント パレタイジング システム 最適の積付配置を計算機上で決定できる積付計画支援システムと、その積付配置どおりに実際に貨物を積載することのできるパレタイジング システムである。



図2 積付計画支援システム 汎用のワークステーションであるHIDIC ES-310を採用した。16ビットマイクロプロセッサで積付配置の演算が可能である。

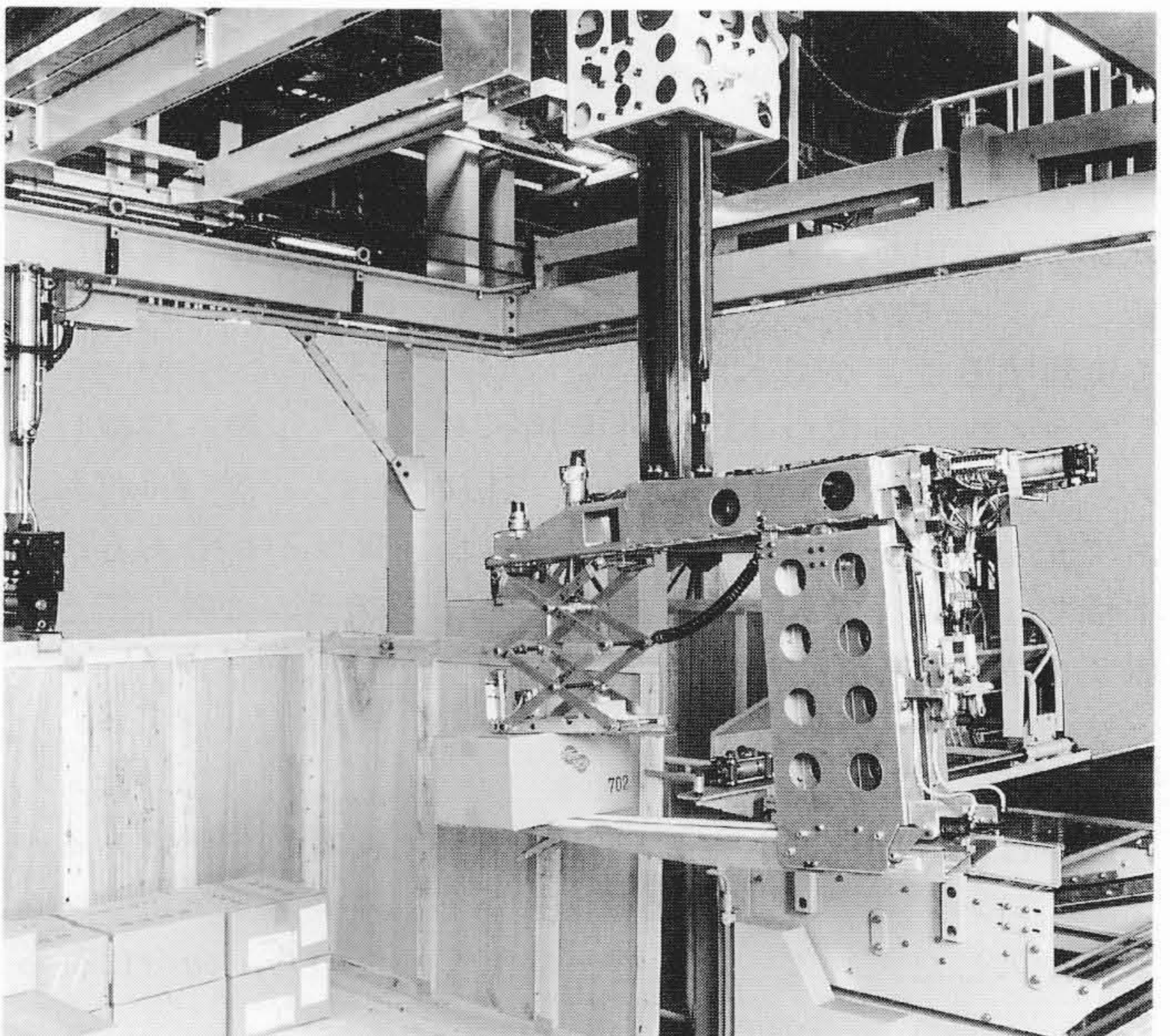


図3 パレタイズ用ロボット 上位システムの配置データによって、数値制御できる直角座標ロボットである。

に、どの貨物を配置したい」という配置要求を受け付けると、貨物の配置計算を行なって、その配置結果を短時間に表示する。その結果、計画者は配置の不具合点を短時間に摘出でき、むだな試行時間が省け、より早く最適配置を決めることができる。計画者は、次のような配置要求コマンドをスタイラスペンを使って入力することができる。これによって操作の簡素化を図っている。

- 支持した場所へ支持した貨物を配置する。
 - 同一貨物を重ね積み配置する。
 - 外装箱に配置した貨物を、すべて削除して計画のやり直しができる(計画のやり直し)。
 - 配置を修正するため前回指示した貨物だけを削除する。
- 更に、図4に示すように貨物配置結果を透視画法で表示することができ、配置結果を容易に評価できるようにしてある。

(2) 貨物配置自動決定機能

本システムは貨物配置の自動決定機能ももっている。これは、計画者がもつ配置決定に関するノウハウ(これを積付知識と呼ぶ。)と2次元平面上での最適配置を決定するアルゴリズム(これを配置決定アルゴリズムと呼ぶ。)とを融合することにより実現している。すなわち、積付知識を知識ベース化したうえで、次の手順を繰り返して貨物配置を決定する。

- 既に決められた貨物配置について、例えば「広い面が存在する」、「大きい貨物が残っている」といった配置の特徴を抽出する。そして、この特徴を有効に生かすため知識ベースの中の知識を用いて、「どの面に、どの貨物を、どう配置すべきか」という問題に対する幾つかの案(代替案)を自動的に作成する。
 - 各代替案について、個々の貨物配置を配置決定アルゴリズムにより求める。
 - 上記により求められた複数の代替案の中から、最適な配置案を選択する。
- 以上の計画プロセスを図5に示す。以下に上記手順(a), (b), (c)についてやや詳しく述べる。

(a) 代替案の作成

現段階で定まっている貨物配置と配置が定められていない貨物群(これを残貨物と呼ぶ。)とから代替案を作成する。代替案を作成するということは、それまでに定められた貨物配置の特徴、すなわち既に配置された貨物の上面で構成

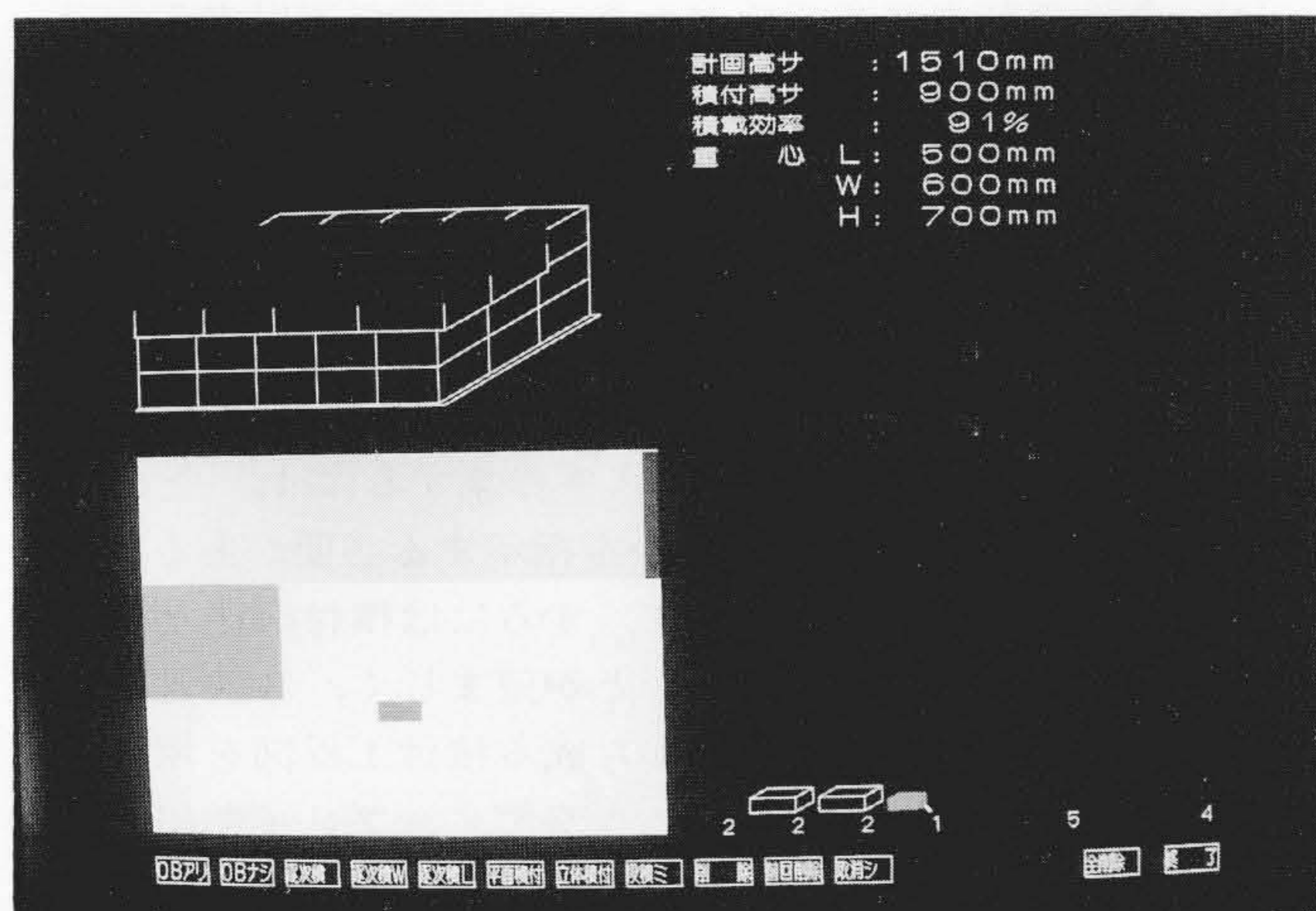


図4 積付計画支援システムのCRT画面 コンピュータ上で積付配置を演算した結果をCRT(Cathode Ray Tube)画面上に透視画法で表示している。

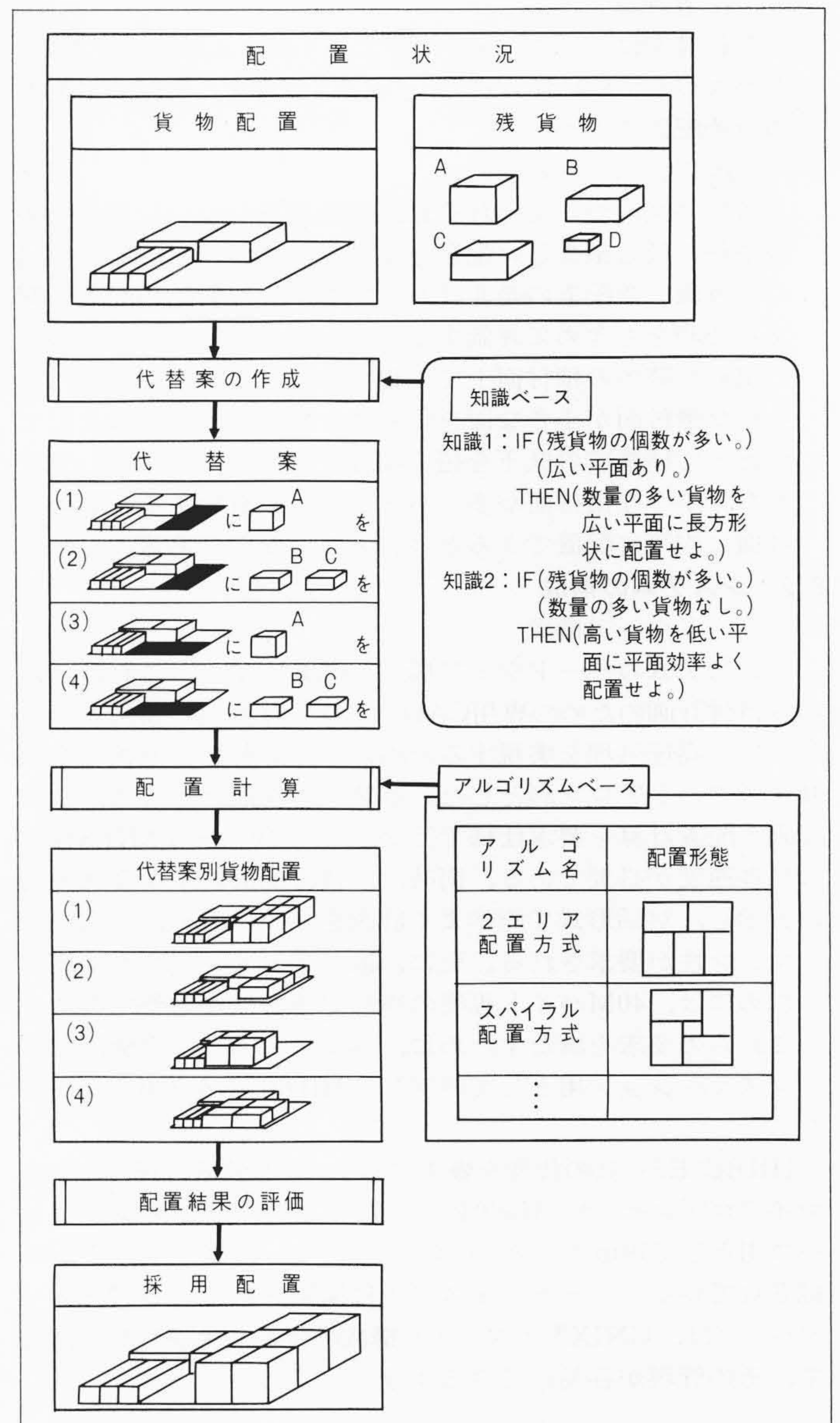


図5 自動決定プロセス 代替案の作成、配置計算、配置結果の評価を繰り返して、貨物配置を自動決定する。

される面(これを積付面と呼ぶ。)の特徴と残貨物全体の特徴をとらえて、「どの積付面に、どの貨物を、どう配置すべきか」を決定することである。それには次のステップを踏むことになる。

ステップ1(特徴の抽出)

積付面と残貨物の特徴を抽出する。

- 積付面の特徴とは「広い」、「低い」といった個々の積付面の特徴と「広い積付面が存在する」といった積付面全体の特徴とを意味する。
- 残貨物の特徴抽出とは「大きい」、「高い」といった個々の貨物の特徴と「残貨物が多い」、「高い貨物が残貨物の中に存在する」といった残貨物全体の特徴を抽出する。

ステップ2(代替案の作成)

抽出した特徴をもとに「積付知識」を活用して代替案を作成する。「積付知識」とは、ある特徴をもつ積付面に対して、その面に配置しようとする貨物とそれを配置した場合の形状とを、図5に示すようにIF-THEN形のルールで表現したものである。

(b) 配置計算

各代替案について、図5に示すように2エリア配置方式²⁾とかスパイラル配置方式³⁾などのアルゴリズムを用いて個々の貨物配置を求める。

(c) 配置結果の評価

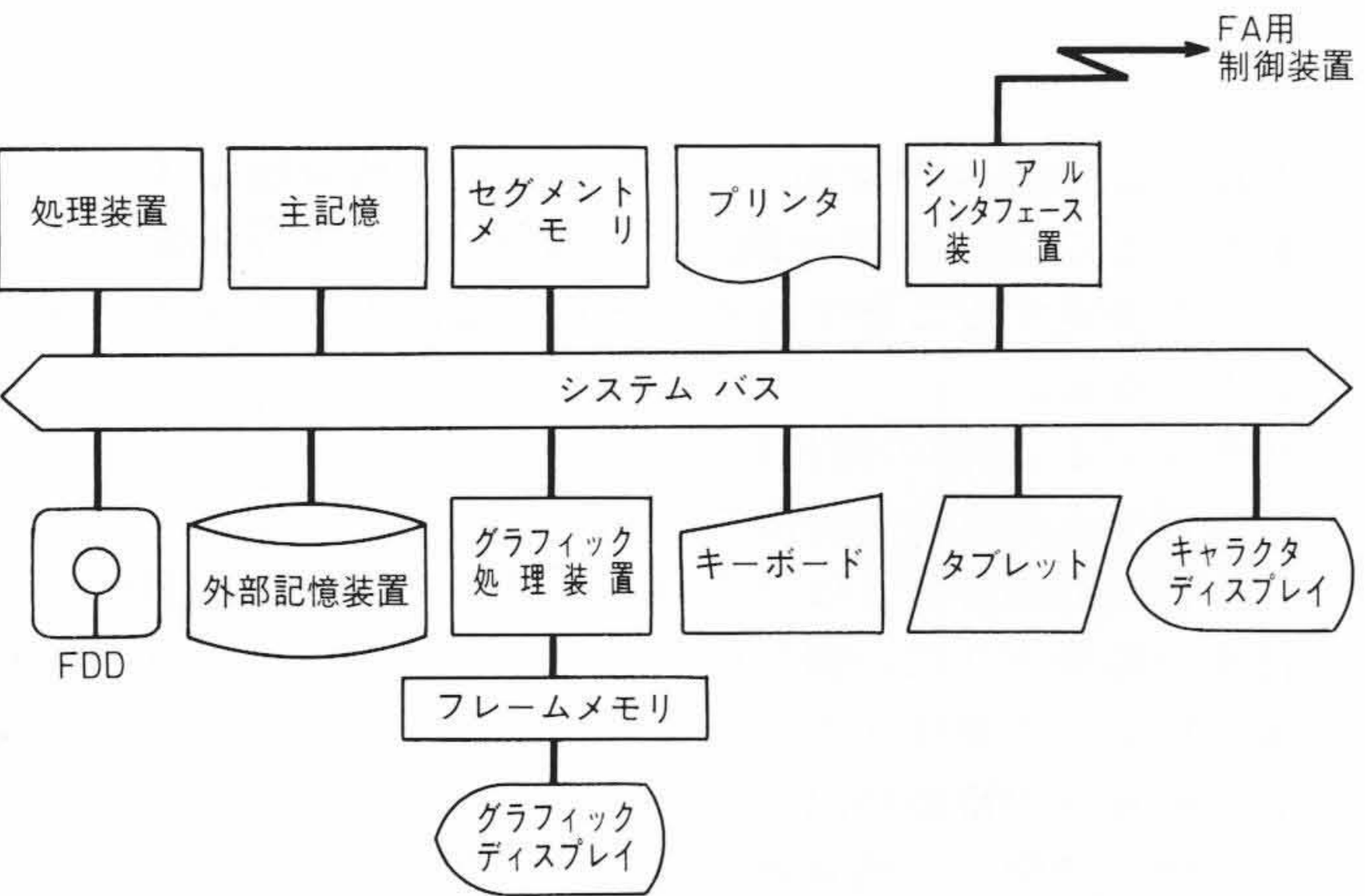
各代替案についてそれぞれ配置計算を行ない、その結果の中から最も望ましい配置を1個選択する。この際、該当の積付面での配置の是非ばかりでなく、残貨物の配置に関する是非をも含めて評価する必要がある。それは、代替案で定めた該当の積付面上での貨物の占有率が高くても、得られた積付面が小さな面を作ることになれば、全体としてかえって積載率の低下を招く場合があるからである。すなわち、小さな積付面が多くあっても、残貨物をそれらの積付面に均等に配置できるとは言えないからである。

3.2 システムの構成

(1) ハードウェア構成

本システムのハードウェア構成を図6に示す。これはいわゆる積付計画のための専用CADであり、計算機の利用形態としては、高速処理を実現するために大形計算機と直接結合させずスタンドアロン形とした。計算機の性能としては、積付計画の配置計算を要求仕様で行なうために0.5～1 MIPS程度の処理速度が必要である。同時に、積付配置結果を3次元的に表示し、対話形式で能率よく計画を進めるためには高いマンマシン性が要求される。更に、設計データベースを構築するためには、40Mバイト程度の補助記憶装置が必要である。これらの要求を満たすために、本システムでは高機能なワークステーション用として開発したHIDIC ES-310を採用した。

HIDIC ES-310の仕様を表1に示す。処理装置は16ビットのマイクロプロセッサ(M68010)であり、マンマシンインタフェース用として19inグラフィックディスプレイとタブレットが接続されている。ハードディスク上に構築されている設計データベースは、UNIX^{※)}のファイル構成の特長を生かした木構造で、その管理が容易にできるようにしてある。



注：略語説明 FDD(フロッピーディスク装置)

図6 積付計画支援システムのハードウェア構成 16ビットマイクロコンピュータを中央処理装置とし、コストパフォーマンスの高いエンジニアリングワークステーションを実現している。

※) UNIX：米国ベル研究所で開発されたオペレーティングシステムの名称である。

表1 積付計画支援システムのハードウェア仕様 計算機システムは、汎用性の高いワークステーションとしてHIDIC ES-310を採用している。

項 目	仕 様
処 理 装 置	M68010(12.5MHz) 16ビットマイクロプロセッサ
記 憶 容 量	主記憶：2Mバイト セグメントメモリ：0.5Mバイト 補助記憶：40Mバイト(ハードディスク)
グラフィックディスプレイ	19inビットマップ方式(1,280×1,024) 16色同時表示
シリアルインタフェース	RS-232C 9,600bps DMA転送方式
基 本 ソ フ ト	OS UNIX 言語 C, f77 グラフィックサブルーチン CORE

注：略語説明 DMA(Direct Memory Access)
OS(Operating System)
UNIX(米国ベル研究所で開発されたオペレーティングシステムの名称)
C(C言語)
f77(フォートラン)
CORE(Graphics Standard Planning Committeeがまとめた標準化システム)

(2) ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図7に示す。設計データベース管理とは、データベースの登録及び更新を行なうことである。データベース運用の基本はバッチ処理であり、顧客上位計算機から出力したフロッピーディスクを本システムに入力し、データ変換したのち、データベースに登録する。この上位計算機からの入力処理は10日ごとに行なわれるのに対し、日々の業務の中でも計画変更、仕様変更が発生する。これらの変更にも対応できるように、対話形式でデータベースを編集する機能を設けてある。

分配計算は、サイト別に発送する多数のダンボール箱を複数の外装箱にどのように配分すればよいか計算するものである。これは次のような制約条件を満足しながら、すべてのダンボール箱を最少の外装箱に配分することをねらっている。

- (a) 特定の貨物群は同一の外装箱に積み付ける。
- (b) 特定の貨物群は他の貨物とは同一の外装箱に積み付けない。
- (c) 条件の許す範囲で極力小さい外装箱を選択する。

数学的には最適配分問題で、これを自動計算する。また、一部の部品が変更になったときに最初から配分し直すのは時間の損失が大きいため、計算結果の一部を対話形式で変更する機能を設けてある。

積付工程図作成は、積付け後の荷姿確認とパレタイズ用ロボットの積付異常時の復旧作業を行なうための工程図を作成する機能である。工程図を見て人手作業するには、「どの貨物を」「どの位置に」積み付けるかを指示する必要がある。そして、図面による作業をやりやすくするには積付順序と部品番号が一目で分かるようにすることが望ましく、3次元的に表現された複数枚の積付配置図から成る積付工程図を用いる。工程図は、対話形式でグラフィックディスプレイを用いて作成し、プリンタにハードコピーする。その出力例を図8に示す。

生産データ管理は、積付計画支援システムと生産管理を行なっているFA用制御装置の間を接続する機能である。指定さ

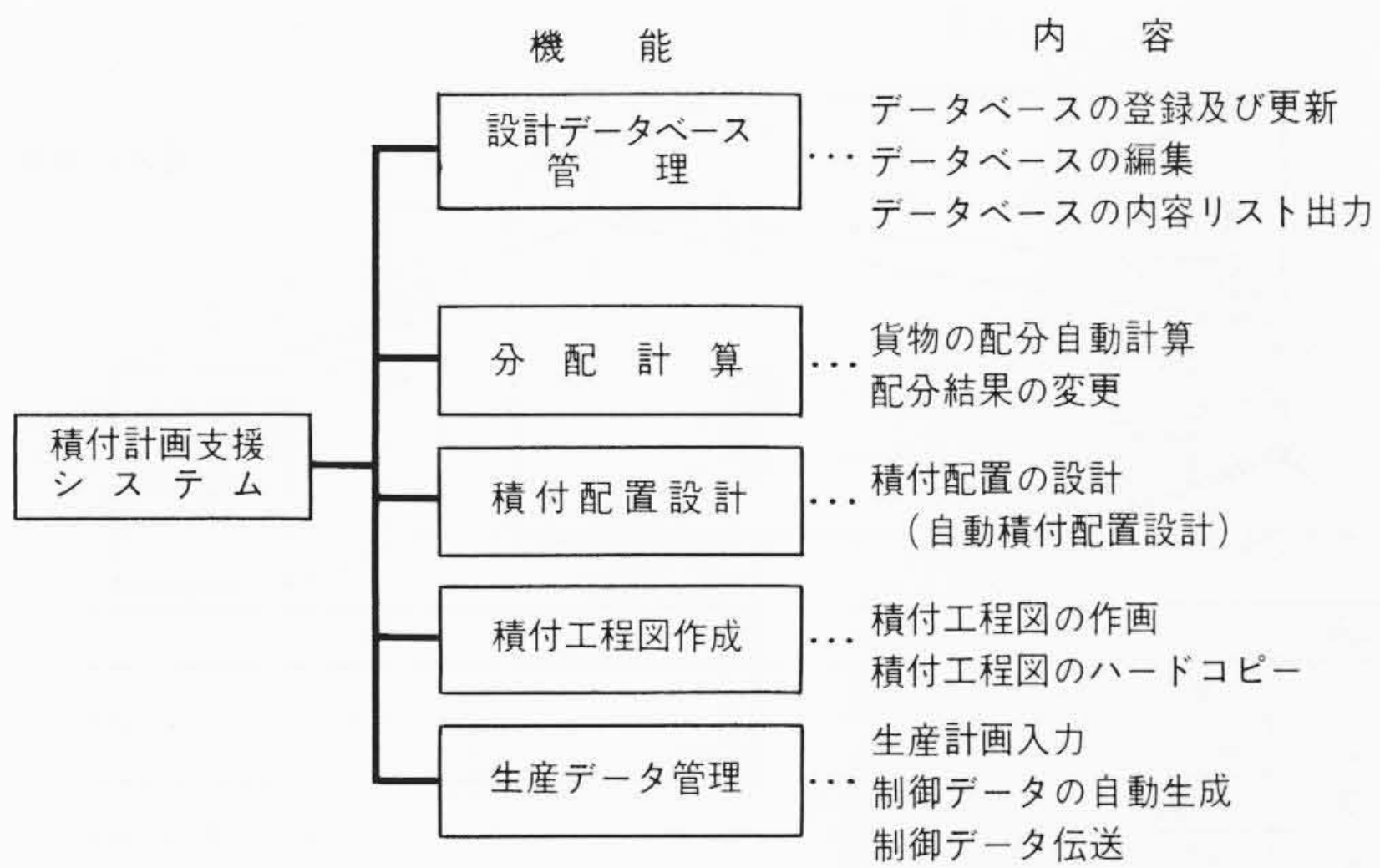


図7 積付計画支援システムのソフトウェア構成 本図に示すように、本適用例では積付配置設計機能のほかに、四つの機能によりシステムが構成されている。

れた生産計画に従って、設計データベースを使って自動外装ラインの制御データを生成する。制御データは、

- (a) パレタイズ用ロボットの積付データ
 - (b) マーシャリング装置への入庫貨物データ
 - (c) マーシャリング装置からの貨物の出庫順序データ
- である。

本システムは、自動外装ラインの設備の制御を行なっているFA用制御装置とシリアル回線により結合しており、制御装置からのデータ要求により、制御データを伝送する。

4 パレタイズ用ロボット

4.1 装置概要

装置構成を図9に示す。装置はハンド、ハンドを3次元的に移動させるロボット本体、ワーク(ダンボール箱)を供給するコンベヤ、位置決め装置、反転機、外装箱矯正機及びこれらを制御するロボット制御盤並びに上位計算機からの数値制御データを受信するロボット操作盤で構成している。同図中の付表に仕様を示す。

4.2 機能の特長

(1) 装置の特長

装置の特長は、3自由度をもつフレキシブルハンドに集約される。このハンドは図10に示すように、ダンボール箱の長さ、幅、高さ寸法が広範囲に変わるワークを取り扱うことのできるフレキシブルなハンドである。このような目的を達成するために、次のような工夫を施している。

- (a) 左右2本のフォークによるワーク下部指示方式とした。これにより、ワークの強度や表面の汚れの影響を受ける側面把持方式や真空吸着方式に潜在するワーク落下の危険性を排除した。
- (b) 移動中のワーク姿勢崩れと飛出し落下を防ぐために、

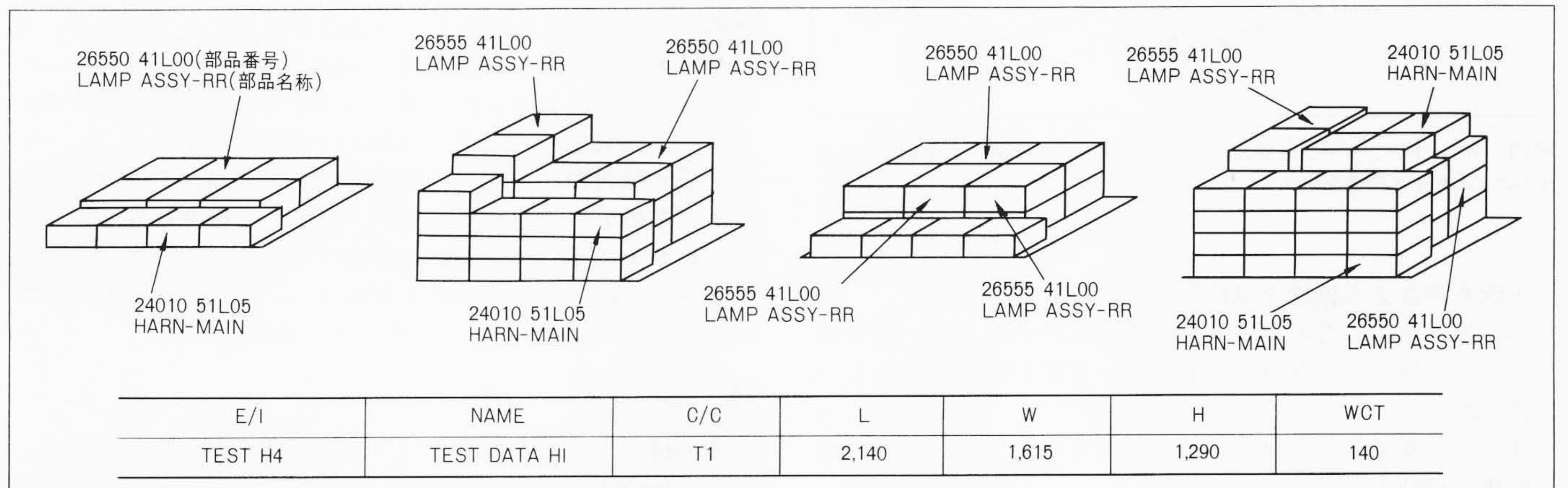


図8 積付工程図の印字出力 積付配置はCRT画面上で確認したのち、その内容を記録しておくためにプリンタにハードコピーがとれる。

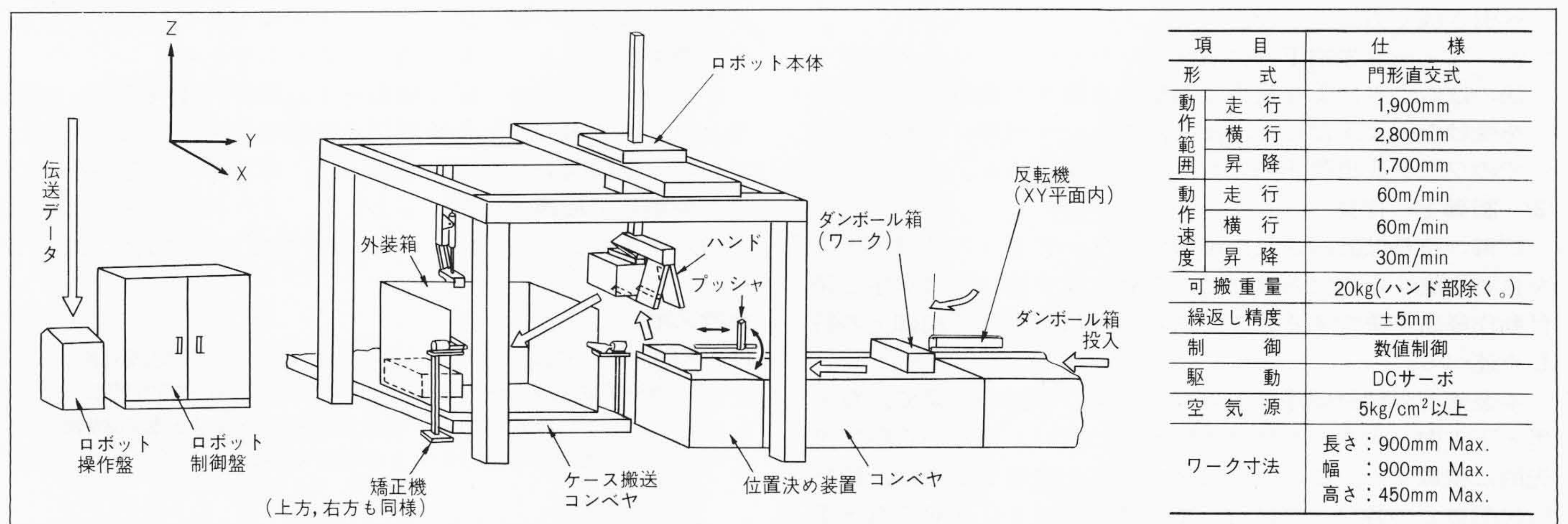


図9 パレタイズ用ロボットの構成 本装置は、ハンドとロボット本体、ワークを供給するコンベヤ、位置決め装置、反転機、外装箱矯正機及びロボット制御盤、ロボット操作盤で構成している。

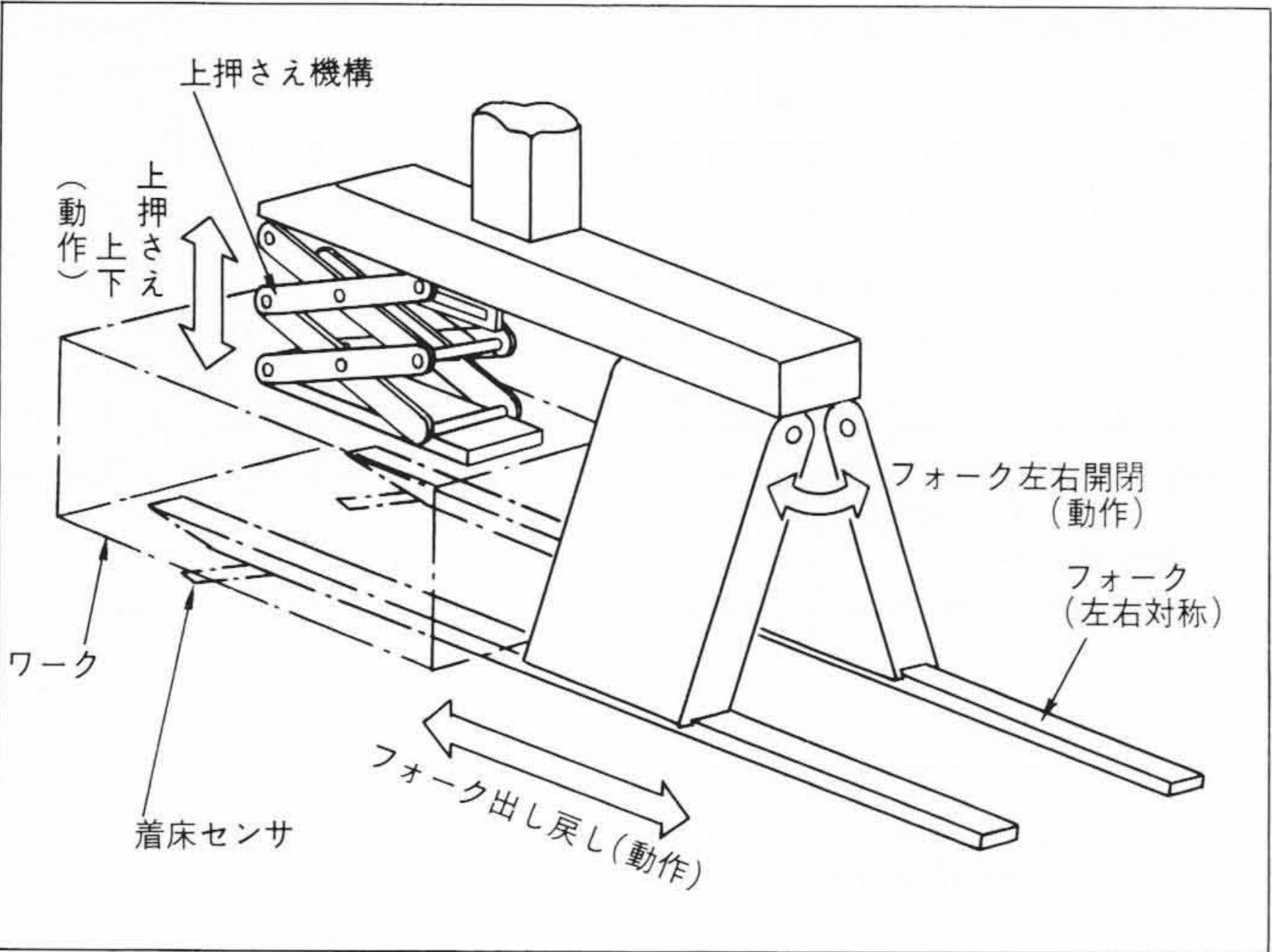
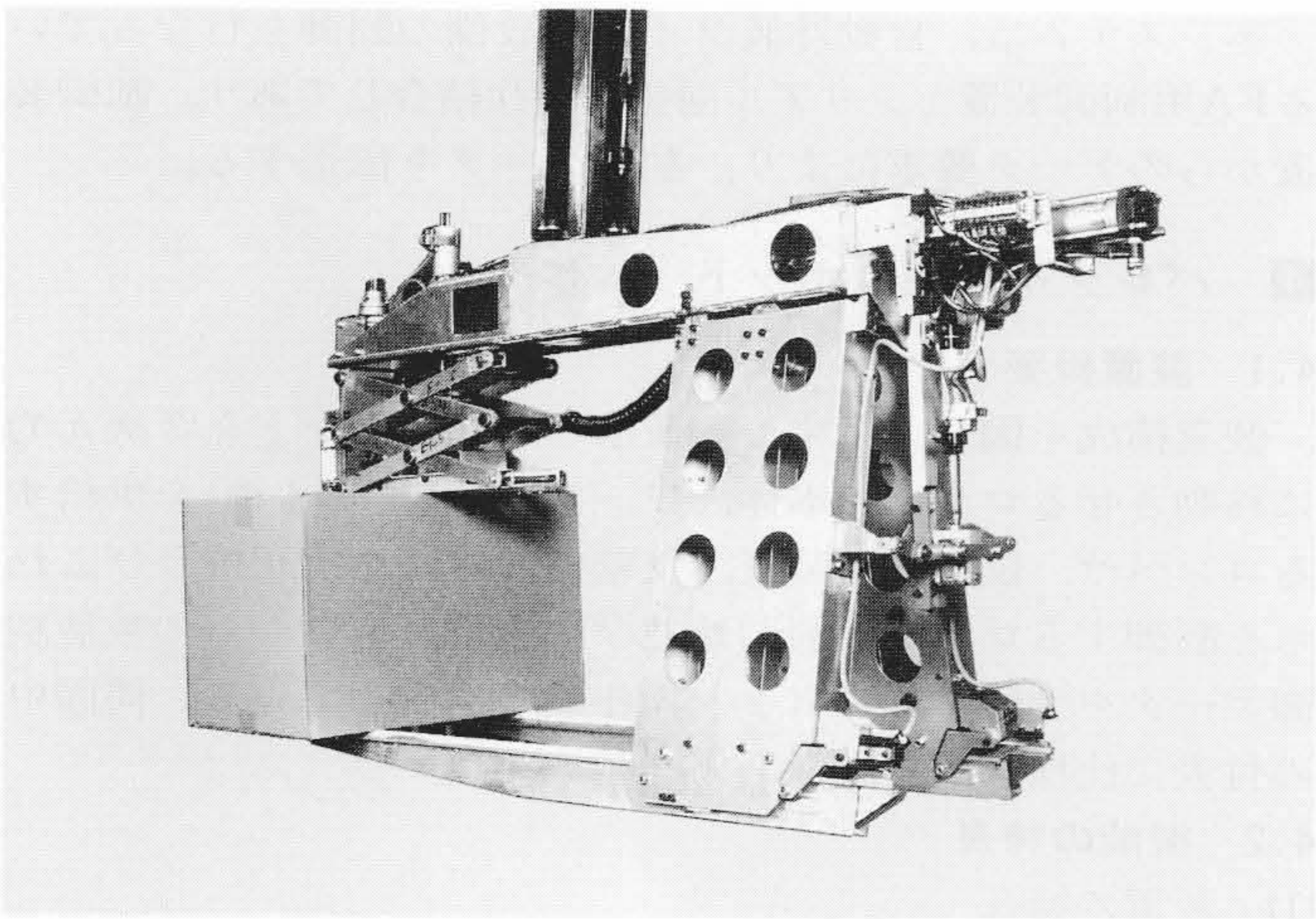


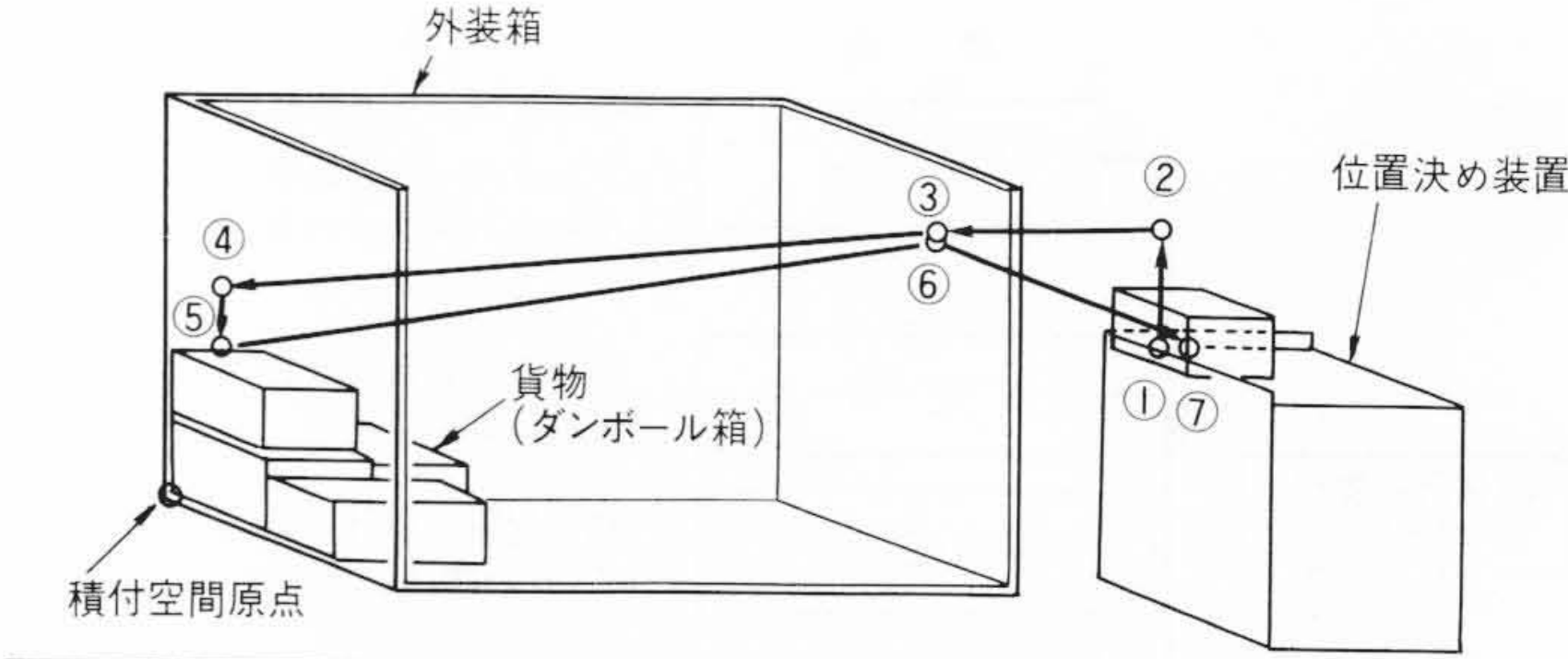
図10 ハンド ワークを安定かつ確実に把持するために、左右2本のフォークと上押さえ機構を設けた。

- 上面を押さえる機構を採用した。
- (c) 幅寸法の異なるワークを安定に支持するため、幅寸法の大きいワークのときは左右フォーク間距離を広げるようにした。
 - (d) つかみ動作は、ワークを下からすくい上げ、上押さえ機構で把持する方式とした。
 - (e) はなし動作は、はなしたときのワーク位置が移動しないように、上押さえ機構を作動状態のままフォークを手元へ引き抜く方式とした。
 - (f) フォーク先端下部に着床センサを付け、ワーク個別寸法のばらつきにより発生する積付点高さの累積誤差の影響を受けないようにした。また、本センサ利用により、空中でのワーク放出防止のインタロックが組める。

(2) 制御上の特長

制御の特長は計画された配置からワーク各々の積付データを自動生成する点にあり、この自動生成手法は積付順序と積付動作経路を決定することである。図11を用いて制御上の特長を述べる。

本装置での積付順序は、外装箱を開口部側から見て、左・奥・下方向、すなわち積付空間原点に近いところから順次優先的に積載する。この場合に積付順序を決定するには、最終積付配置での各ワークに対して、積付順序とは反対の右・手前・上方向の3方向を遮る貨物が存在しない面をもっている貨物を求め、その貨物から降ろしていくものとして計算する。



項番	名 称
①	n 個目のワークつかみ点
②	n 個目のワーク持上げ点
③	n 個目のワーク y 方向移動点
④	n 個目のワーク3軸移動点
⑤	n 個目のワークはなし点(積付点)
⑥	n 個目のワーク復路通過点
⑦	$n+1$ 個目のワークつかみ点

図11 動作データと経路 積付は外装箱の左・奥・下方向を優先的に行なう。経路とポイントは本図のように、つかみ点①から次のワークつかみ点⑦の繰り返して構成している。

この条件が成立する貨物が複数個ある場合には、より高く、手前にある貨物の一つを選ぶことにする。この降載の順番を反転された結果を積付順序とする。

積付順序決定後、ロボットハンドの移動経路を決定しなければならない。移動経路は図11に示すようなつかみ点①から次のワークのつかみ点⑦までの7点の直線経路とし、各々一義的に定まる点にしてある。停止位置は点①と⑤だけで、その他は通過参考点にして高速化を図った。この経路パターンに沿って、ワークごとに点①から⑦までの座標及びハンドのフォーク幅設定のデータを自動的に演算作成する。

上記の積付順序とワーク経路データとで積付データが完成する。このデータを数値制御データとして図9の左下部に示すパレタイズ用ロボットの操作盤に入力することによって、さまざまな配置状態の積載を可能にし、高速かつフレキシブルなインテリジェント パレタイザを実現させた。

5 結 言

多品種混合生産の拡大に伴う部品種類の増加に対応して、これを効率よく、かつ自動的に外装するシステムのニーズが高まっている。すなわち、寸法の異なる多種多様な部品を外装箱の中へ、すき間のむだを最少にして自動的に積み付けるシステムは活用の幅が広く、これを実現することによって流通経費を削減することが期待できるからである。

本システムは海外へ部品輸出をする場合の外装ラインへ適用した一例であるが、今後更にその適用範囲の拡大を期待している。今回開発した技術をもとに、流れてくる部品をその場で判別して最適に積載するような、より自動化された知能形パレタイジング システムに発展させていく考えである。

参考文献

- 1) 天満, 外: 知識工学技術を応用した対話型貨物配置計画方式, 昭和60年電気学会東京支部大会論文集, 251~252(昭60-12)
- 2) 小西, 外: 三次元Cutting Stock問題の一解法と製品積載計画問題への適用, 日本OR学会春季研究発表会アブストラクト集(昭57-10)
- 3) E.Bischoff, et al.: An Application of Micro to Product Design and Distribution, J. Opl. Res. Soc. Vol.33, No. 3 (1982)