

自動倉庫システム設備計画プログラム“CAD-WH”

Computer Aided Design of Automatic Warehouse

倉庫の設備計画に当たっては、その倉庫が使用される流通環境の違いに応じて計画されねばならない。ところが、最近の流通形態の多様化は、顧客の要求にマッチした倉庫の設備計画を困難なものにしている。

これに対処するため、約600種類の倉庫形態の中から、顧客の要求にマッチしたものを選び、更に、各種設備能力を算定する自動倉庫システム設備計画プログラムを開発した。計画に必要な環境データは、最小限のものしか要求していないこと、求められたレイアウトが、X-Yプロッタにより描かれて出てくることが、特徴の一部である。

このプログラムの適用により、設備計画日数が短縮でき、しかも、倉庫設備計画の専門家でなくても、定量的な計画が行なえる。

都島 功* Tsushima Isao
三森定道** Mitsumori Sadamichi
鍋島康夫*** Nabeshima Yasuo
今西永光**** Imanishi Hisateru

1 緒 言

最近の流通形態の複雑さは、倉庫を単なる保管庫から、物流管理の主要拠点へと変えてきている。そのため、倉庫設備の計画の良し悪しが、物流コストに大きな影響を与える。

さて、倉庫のレイアウト、運用方式は、扱い品目による流通形態の違いから異ならざるを得ない。倉庫設備を計画する際には、その倉庫が使用される流通環境の違いに応じて計画されなければならない。そのためには、計画すべき倉庫の環境を調べる必要があり、それは膨大な作業量となる。このことから、設備計画日数の短縮を図るためには、必要最小限の環境データで、倉庫の設備計画ができる手法の開発が望まれる。

自動倉庫設備計画プログラム〔Computer Aided Design of Automatic Warehouse (以下、CAD-WH と略す)〕^{1),2)}は、この目的のために開発されたもので、必要最小限の環境データだけで、約600種類の倉庫形態の中から、顧客の要求にマッチした倉庫形態を選択し、更に、その定量的設備能力を求めるものである。

2 自動倉庫システム

2.1 自動倉庫の処理機能

倉庫の目的は、マクロには二つある。一つは、需給の時間的調整を図ること、他の一つは、入荷形態をある定められた出荷形態へと変換することであり、入荷した各種の物品を、注文単位にまとめることがこれに当たる。図1に、これらの目的を実現するための処理機能を示す。

(1)トラックからの荷卸し、(2)パレタイズ……パレットと呼ばれる箱に物品を格納すること。(3)荷捌場でのパレット搬送、(4)入庫……クレーンにより、荷捌場から保管場(ラック)へパレットを搬送すること。(5)ラックでの保管、(6)出庫、(7)ピッキング……パレットから、要求数量だけ物品を取り出すこと。(8)アセンブル……注文単位に物品をまとめること。(9)トラックへの荷積み、(10)荷捌場での一時保管

なお、各処理機能は、環境に応じて、考察の対象になるかどうかが決まる。例えば、入荷単位のまま、出荷される倉庫では、アセンブル機能は不要である。

2.2 自動倉庫の設備、レイアウト、及び運用方式

倉庫の機能が、物の流れの変換であることから、倉庫形態を異ならせるものは、物の流れの変換の違いであると言える。それには、変換形態の違いと変換頻度の違いとがある。

(1) 変換形態の違い

(a) 量的変換における違い……量的変換とは、入荷ロットから出荷ロットへの、ロットの大きさの変換を言う。入荷ロット/出荷ロットの大小は、パレタイズ方式や再入庫方式などの選択に関係する。

(b) 組合せ的変換における違い……組合せ的変換とは、入荷ロットの品目構成を、出荷ロットの品目構成へ変換することを言う。この変換の違いは、品目数/注文、複数注文にまたがる品目数で表わせ、ピック、アセンブル方式などの選択に関係する。

(2) 変換頻度の違い

この違いには、総品目としての入出庫頻度の違いと、品目間の入出庫頻度の違いとがある。例えば、前者の入出庫頻度が小である場合は、保管中心の倉庫形態となる。後者の入出庫頻度の違いは、入庫棚の割付方式の選択に関係する。

ほかに考慮すべき環境条件には、主に保管機能に関する扱い品目数の違いがある。

(3) 扱い品目数の違い

図2に、自動倉庫の設備、レイアウト、及び運用方式に関する各種代替案と、前述した環境条件との関連を示す。一例として、ラックについて説明する。

ラックには、1台のクレーンで2列の棚から入出庫するシングルラックと、4列の棚からの入出庫が可能なダブルラックとがある。後者は前者に比べ、スペースが少なく済む。しかし、クレーン台数は逆の関係となる。というのは、ダブルラックでは、手前の棚にパレットがある状況下で、奥の棚のパレットを出庫する場合、まず、手前のパレットを他の棚へ移す作業(配替え)が必要となるためである。

以上の関係を踏まえ、ダブルラックが選択される環境を考えてみよう。そのような環境とは、入出庫頻度が小で、保管効率の向上が中心となる環境の場合、あるいは扱い品目数が

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所笠戸工場 **** 日立製作所機電事業本部産業技術本部

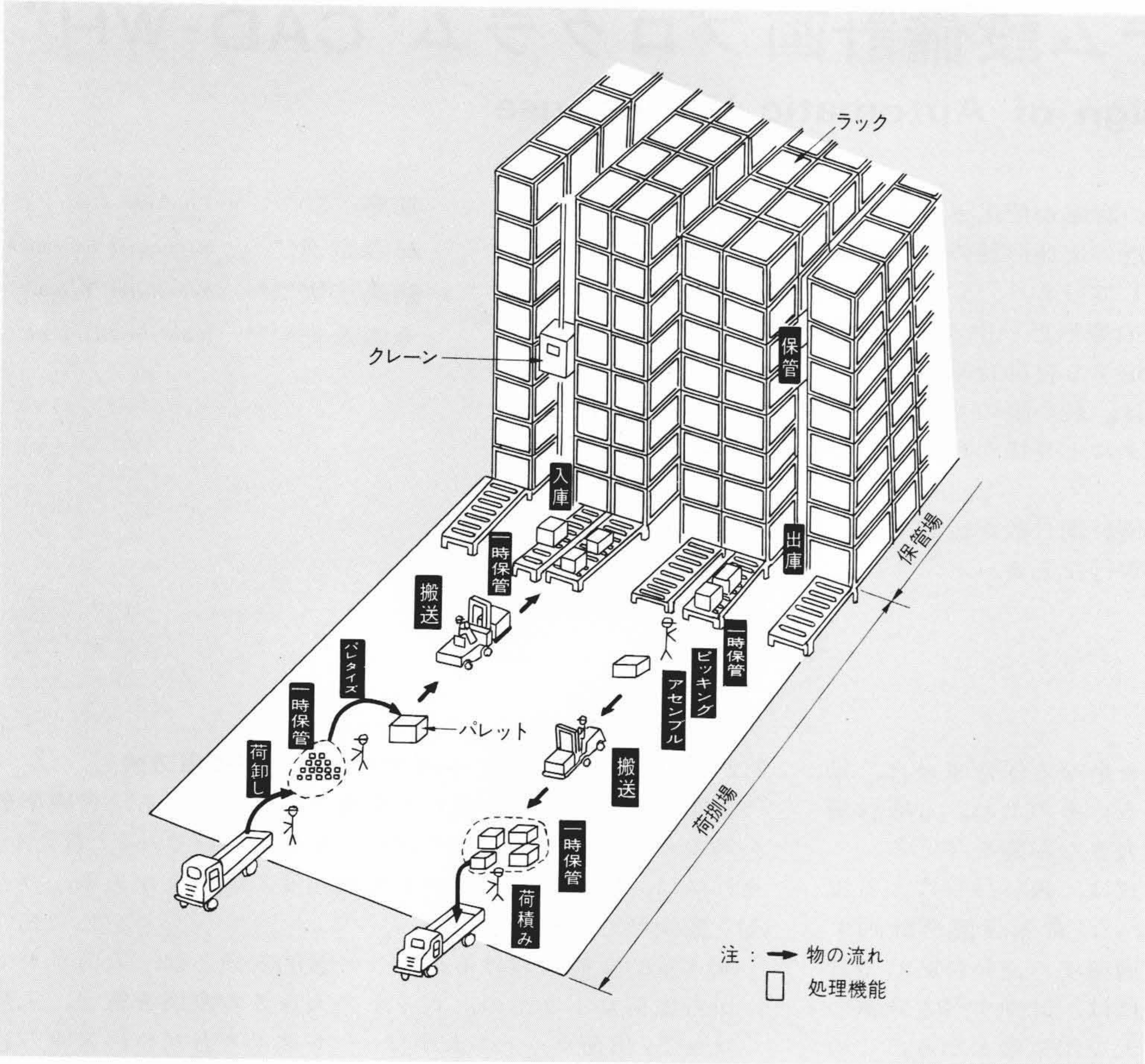


図1 自動倉庫の処理機能 自動倉庫システムには、図に示す10個の基本的な処理機能がある。

環境条件 設備、運用方式、レイアウトの代替案			変換形態の違い			変換頻度の違い		扱い品目数
			量	組合せ		総品目としての 入出庫頻度	品目間の入出 庫頻度の違い	
				入荷ロット/ 出荷ロット	一注文当たり の品目数			
荷役設備	ラック	(1) シングルラック						
		(2) ダブルラック						
設備	クレーン	(1) 無人運転クレーン						
		(2) 有人運転クレーン						
備	荷捌場の搬送機	(1) コンベヤ						
		(2) フォークリフト						
運用方式	パレタイズ方式	(1) 入荷ロット単位のパレタイズ						
		(2) 荷捌場の端数パレットとの集約パレタイズ						
方式	入庫棚の割付け方式	(3) ラック内の端数パレットとの集約パレタイズ						
		(1) ランダム						
・レイアウト方式	出庫順序方式	(2) 入庫口優先						
		(3) 出庫頻度：大の品目を入庫口へ						
レイアウト方式	ピック, アセンブル方式 (ピック単位の違いから)	(1) 先入先出						
		(2) 端数パレット優先						
アウ	ピック, アセンブル方式 (作業場の違いから)	(1) 品種集中ピック						
		(2) 注文集中ピック						
ト	再入庫方式	(1) コンベヤ上ピック						
		(2) 平場ピック						
方式	荷捌場の搬送方式	(3) クレーン上ピック						
		(1) 再入庫あり						
		(2) 再入庫なし						
		(1) コンベヤ中心のレイアウト(パレット)						
		(2) コンベヤ中心のレイアウト(パレット+バケット)						
		(3) フォークリフト中心のレイアウト(パレット)						
		(4) フォークリフト中心のレイアウト(パレット+バケット)						

注：■=大, ▨=中, ▩=小

図2 自動倉庫の設備、レイアウト、及び運用方式 自動倉庫の設備、レイアウト、及び運用方式に関する各種代替案と、それらが選ばれる環境条件との関係を示した。

少なく、手前と奥の棚に同一品目のパレットが格納でき、配
替えのほとんど必要がない環境である。

3 CAD-WH

3.1 CAD-WHの概要

CAD-WHでは、約600種類の倉庫形態を選択の対象として
いる。これらは、図2に示した設備、レイアウト及び運用方
式の各種代替案の組合せとして実現されるものである。

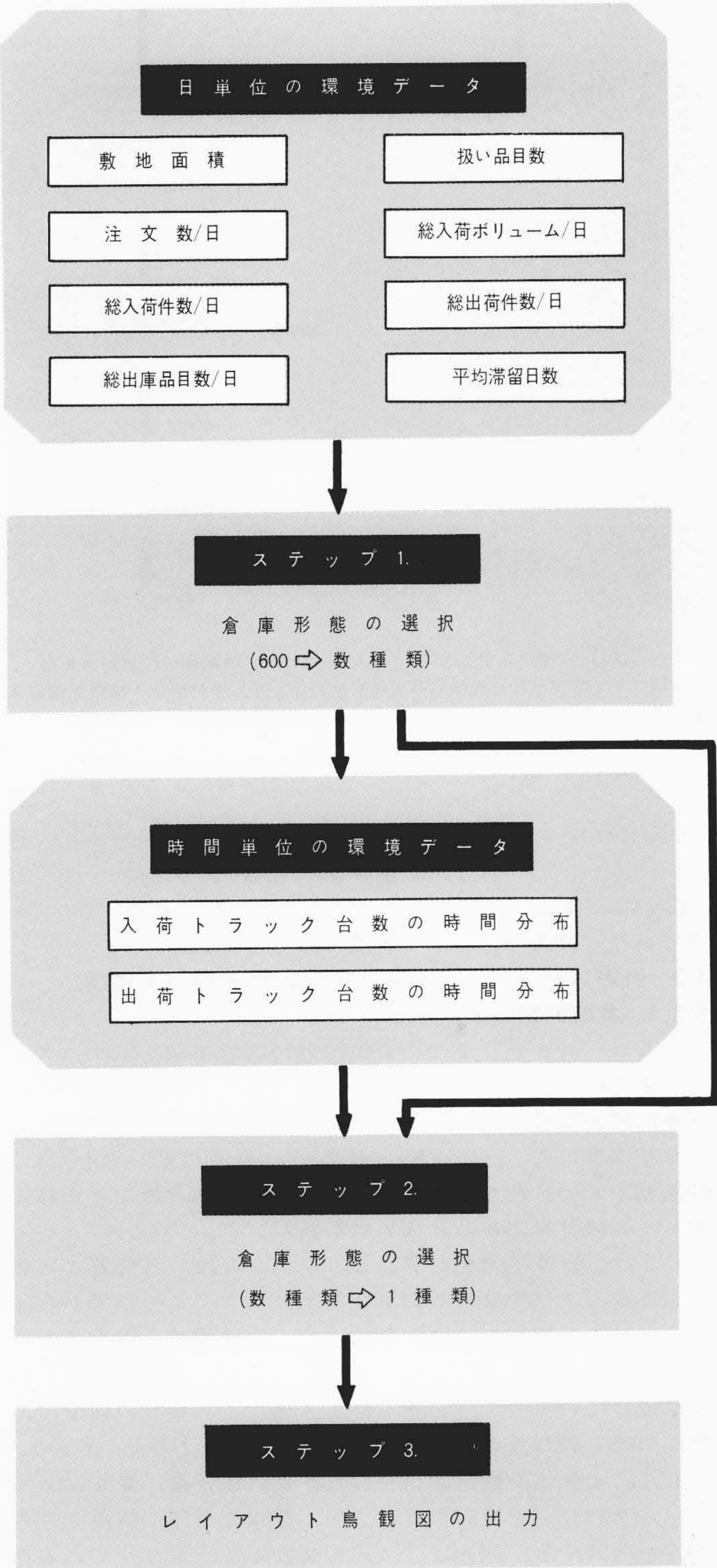


図3 CAD-WHの計画手順 計画手順は、3段階に分かれている。計画
に必要な環境データは、品目単位でなく、総品目としてのデータでよく、必要
最小限のデータしか要求しない。

倉庫形態を選択するための評価尺度は、次の五つを採用し
ている。(1)ラックの設備費、(2)クレーンの設備費、(3)土地の
費用、(4)荷捌場の搬送機の設備費、(5)人件費。

図3は、CAD-WHの概要を示す。必要な環境データは、日
単位のデータである総入荷ボリューム/日、総入荷件数/日な
どの8種類と、時間単位のデータである入出荷トラック台数
の時間分布だけでよい。しかも、これらは品目単位でなく総
品目としてのデータであるため、調査すべきデータ量は少な
くて済む。これにより、計画日数のかなりの部分を占める環
境データの調査時間が短縮される。

計画手順のステップ1は、日単位のデータを用い約600種類
の倉庫形態の中から、最適な倉庫形態の候補として数種類を
選ぶステップである。ここでは、設備台数、作業員数などを
平均値としてとらえる。

ステップ2は、時間単位のデータを用い、ステップ1で選
択された数種類の倉庫形態の中から、最終的に1種類を選ぶ
ステップである。ここでは、時間軸上での負荷を考慮し設備
台数、作業員数などを算定する。

ステップ3では、最終的に選んだ倉庫形態のレイアウトを
X-Yプロッタにより、鳥観図として出力する。

さて、倉庫形態の選択を2段階に分離したねらいは、デー
タ調査を容易にすることにある。すなわち、ステップ1で求
めた倉庫形態の候補を示すことにより、ステップ2で必要な
データを調査しようという、モチベーションを顧客に起こさ
せる。

次に、分離の妥当性について述べる。実際の倉庫では、設
備台数、作業員数の低減のため、それらの負荷を平滑化し運
用している。これは、設備台数、作業員数を、日単位のデー
タを用い平均値として求めてよいことを意味する。しかし、
どのような環境、倉庫形態に対しても、完全に負荷の平滑化
ができるとは言えない。そのため、CAD-WHでは、ステップ
1で最適な倉庫形態の候補を選び、ステップ2で候補の中か
ら最適なものを選ぶという手順をとっている。

3.2 計画ステップ1：倉庫形態の選択(600→数種類)

3.2.1 パレットサイズを媒介変数とした倉庫効率の把握

設備台数、スペース及び作業員数は、相互に関連する。こ
れらの相互関係は、パレットサイズ(以下、 p_s で示す)を媒介
変数にとると、うまく表現できる。以下、これについて説明
する。

スペースは、保管パレット数(p_s の関数)と p_s との積から求
まる。これによりスペースを決める基本変数は、 p_s と言える。

設備台数は、扱いパレット数(p_s の関数)と1サイクル当
たりの移動時間(スペースの関数)との積から求まる。ところが、
スペースは前述したように p_s の関数である。したがって、設
備台数を決める基本変数も p_s と言える。作業員数についても
同様に言えるが、ここでは省略する。

以上から、設備台数、スペース及び作業員数の相互関係は、
パレットサイズを媒介変数として表わせると言える。

3.2.2 倉庫形態の選択手順

図4に、ステップ1での倉庫形態の選択手順を示す。図3
に示した日単位のデータを調査する(#1)。これらのデータ
を用い、設備容量、作業員数を算定した結果が#2である。
これらは、 p_s との関係で示され、X-Yプロッタで出力される。

#2に示した結果から、計画担当者と顧客は、敷地面積を
満たさない倉庫形態を除く。もし、すべての倉庫形態が敷地
面積を満たさない場合は、#3でスペックの変更をする。例
えば、スペース効率を低下させる在庫量の少ない品目群は、

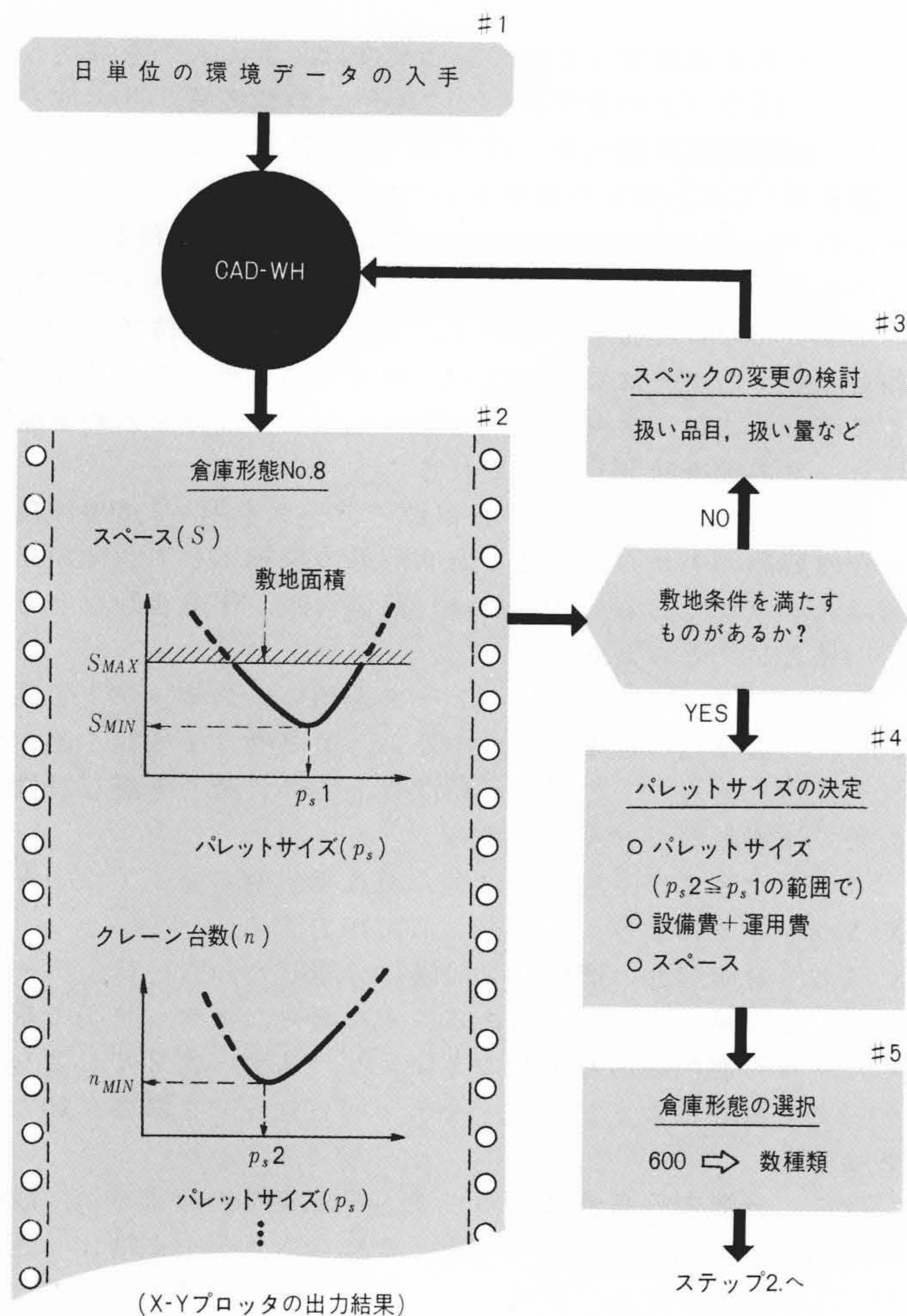


図4 CAD-WHのステップ1 パレットサイズを媒介変数とし、スペース、作業台数、設備台数間の相互関係を定量的に把握する。

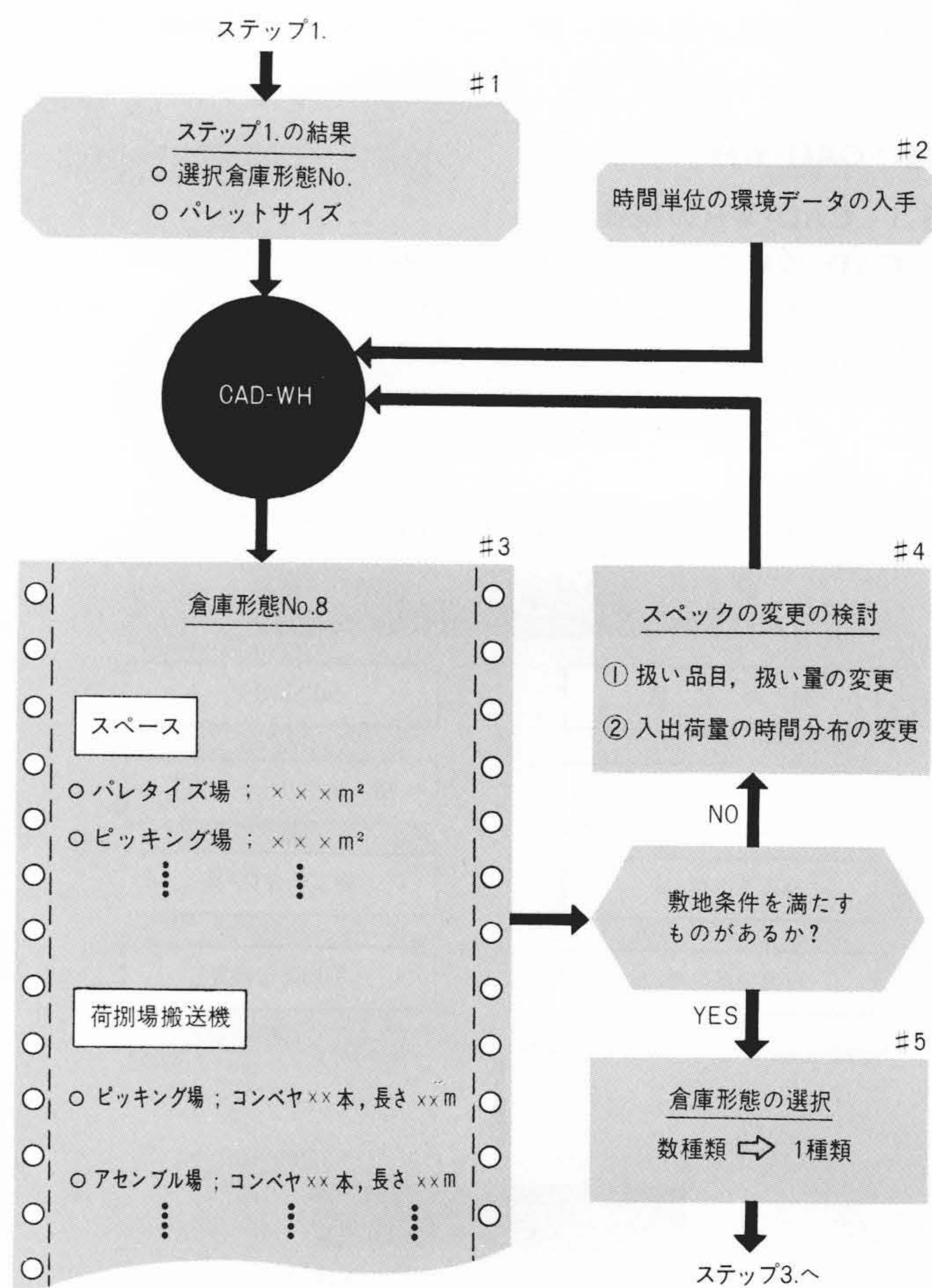


図5 CAD-WHのステップ2 ステップ2は、時間単位の入荷データを用い、ステップ1で選択された数種類の倉庫形態の中から、最終的に1種類を選ぶステップである。

それらに合ったパレットで平屋倉庫に保管する手段をとる。

#4は、倉庫効率を算定するブロックである。#3に示した結果で、 p_s を p_{s1} にすると、最小スペース S_{MIN} になる。スペースの低減を最優先する顧客であれば、 p_s として、 p_{s1} を採用することになる。ただし、この場合、クレーン台数は最小値 n_{MIN} ($p_s = p_{s2}$ のとき)より大となる。#5は、#4で求めた結果から最適な倉庫形態の候補を選択するブロックである。

3.2.3 設備容量の算定式

ステップ1で用いられている設備容量の算定式を、クレーンの入庫作業での負荷の算定を例にとり説明する。

入庫負荷は入庫パレット数から求められる。これは、パレタイズの方法により異なる。この方法には、図2に示した三つがあるが、以下では入荷ロット単位ごとにパレタイズする方法を考える。

負荷を厳密に定式化しようとする、次式のように示される。

$$(\text{入庫パレット数}) = \sum_{i,j} (\text{品目 } i, \text{ ロット } j \text{ の入荷量}) / (p_s / \text{品目 } i \text{ の体積}) \cdots \cdots (1)$$

(1)式では、品目ごとのデータが必要であり、データ調査の作業量は膨大なものとなる。そこで次の前提をおき、(2)式のように定式化した。なお、前提の妥当性は種々のデータをもとに確かめてある。

前提1：入荷ロットごとに、一つの端数パレット(物品を満杯に格納していないパレット)が発生する。

前提2：端数パレットの物品格納効率は50%とする。

$$(\text{入庫パレット数}) = (\text{入荷件数}) + \{ (\text{入荷ボリューム})$$

$$- 0.5 \times (\text{入荷件数}) \times p_s \} / p_s \cdots \cdots (2)$$

(2)式で必要なデータは、品目単位でなく総品目としてのデータであり、調査すべきデータ量は少なくて済む。

3.3 計画ステップ2：倉庫形態の選択(数種→1種類)

3.3.1 倉庫形態の選択手順

図5に、ステップ2での倉庫形態の選択手順を示す。ステップ2で新たに入力するデータは、ステップ1で選択された倉庫形態の番号、そのパレットサイズ(#1)、及び図3に示した時間単位の入荷データである(#2)。これらのデータを用い、時間軸上での負荷を考慮し、設備台数や作業台数などを算定する。この計算アルゴリズムは3.2.2に示してある。

#3は、負荷平滑化計算により求められた、各部署ごとの設備容量、及び作業台数の算定結果を示す。この結果から、ステップ1で選んだ倉庫形態の中で、敷地面積を満たさないものを除く。これは、ステップ1ではスペースを平均値として算定しているため、ステップ1で選択されたものの中に、敷地面積を満たさないものの生ずる可能性があるためである。

もし、すべてが敷地面積を満たさない場合は、#4に示すスペックの変更を検討する。まず、倉庫側だけで解決できる手段を検討する。例えば、スペース効率を低下させている在庫量の少ない品目群は、その在庫量に合ったパレットで平倉庫に保管する。倉庫側だけで解決できない場合は、環境条件(入出荷量の時間分布)の変更を検討する。例えば、入荷が集

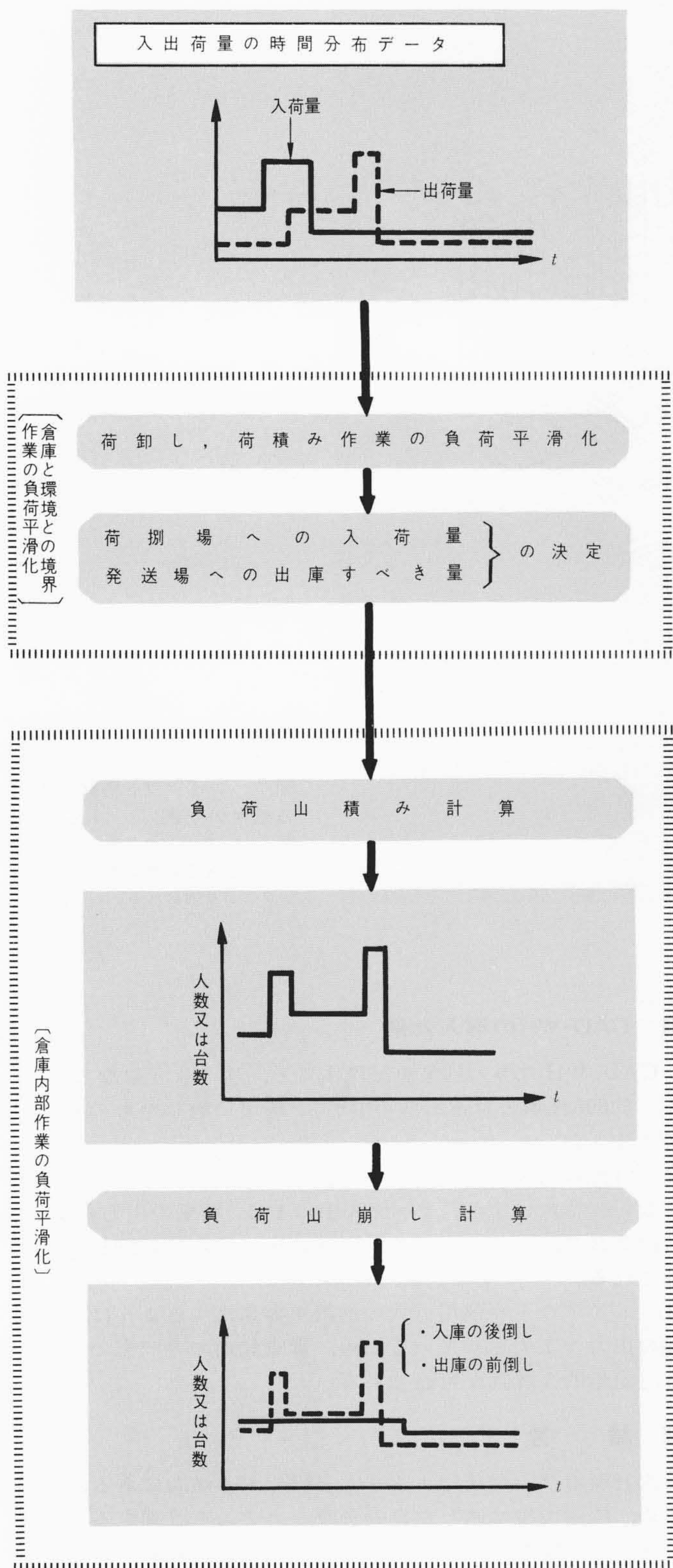


図6 負荷平滑化計算アルゴリズムの概要 入出荷に対する応答時間を満たす範囲内で、各荷のラックへの入庫時刻やラックからの出庫時刻をずらすことにより、負荷の平滑化を行なう。

中しないように、入荷先に入荷時刻を指定する。

#5は、#3で算定したスペース、設備費+運用費から、最終的に1種類の倉庫形態を選択するブロックである。

3.3.2 負荷平滑化計算アルゴリズム

倉庫とその環境との境界作業である荷卸し、荷積み作業は、入出荷トラックの許容待ち時間の範囲内でだけ、その作業の

前倒しや後倒しにより負荷の平滑化ができる。一方、パレタイズやアSEMBルなどの倉庫内部作業は、負荷平滑化に十分な余裕を持つ。例えば、入庫に関連する作業は、その日の作業時間の範囲内で作業の後倒しができる。出庫に関連する作業は、出荷に間に合う範囲内で作業の前倒しができる。そのため、CAD-WHの負荷平滑化計算では、まず、荷卸し、荷積み作業の負荷平滑化を行ない、次に、倉庫内部作業の負荷平滑化という手順をとっている。その手順を図6に示す。

#2は、#1のデータを用い、トラックの許容待ち時間の範囲内で、作業の前倒しや後倒しにより、荷卸し、荷積み作業の負荷平滑化を図るブロックである。#2で得られた結果から、各時間帯ごとの、荷捌場への正味の入荷量と、発送場へ遅くとも出庫しなければならない量が求まる(#3)。

#4は、#3で求めた各時間帯ごとの入出荷量曲線に従って作業をしたときの作業員や設備の山積み負荷の計算結果を示す。この場合、各作業が入出荷量の時間分布にそって作業されるため、荷捌場の一時保管スペースはゼロでよいが、設備や作業員は、かなり高いピーク負荷を持つであろう。

#5は、#4で求めた山積み負荷をベースに、入庫の後倒しや出庫の前倒しにより、負荷の山崩しを行なった結果である。なお、山崩しに際しては、荷捌場で必要となる一時保管スペースの最小化を考慮している。

#5で求められた負荷変動曲線のピーク値から、設備台数、作業員数及びスペースを算定する。

3.4 レイアウト鳥観図の出力：ステップ3

ステップ2で、最終的に求められた倉庫形態のレイアウトを、鳥観図としてX-Yプロットにより出力することがステップ3の仕事である。ステップ3で、計算機に新たに入力するデータは、ステップ2で選択された倉庫形態番号だけでよい。

図7は、ある倉庫形態の鳥観図の出力結果例である。これらの鳥観図は、ステップ2で求めた設備容量に基づき(設備間の大きさの比を保ち)描かれることが特徴である。

3.5 CAD-WHの適用例

CAD-WHをその妥当性の検証のため、ある稼動中の倉庫に適用した。その倉庫は、綿密なシミュレーションを繰り返して計画された。現在、順調に稼動しており、理想的な計画がなされたと言ってもよいものである。

(1) 倉庫形態の選択の妥当性

CAD-WHで求められた倉庫形態は、稼動中のもの(図8の●印)を含めて5種類であった。図8から分かるように、稼動中の倉庫形態より良いと思われるものに、△印と▲印の倉庫形態がある。しかし、△印に必要なスペースは、ほぼ敷地面積に等しく、将来の扱い量の増大を考えると、△印は選択すべきでない。一方、▲印は稼動中のもの(●印)に比べクレーン台数を多く必要とするが、それ以上に、スペースが少なく済む。そのため、▲印が選ばれてもよいわけであるが、本倉庫での扱い物が積卸し回数の多いことを嫌う性質を持つことから、積卸し回数の少なく済む稼動中の倉庫形態が選択されたと推測できる。

以上から、(1)の妥当性が言えたと考える。

(2) 設備容量算定の妥当性

本倉庫では、12,000m²の敷地に7台のクレーンが稼動中である(使用パレット幅は100cm)。一方、CAD-WHによる算定では、図8に示すように(●印)、スペース11,000m²、クレーン台数7台という結果を得た。スペースに関し、現状と算定結果との間に若干の差があるが、実際には安全率を見込む。したがって、(2)の妥当性が言えたと考える。

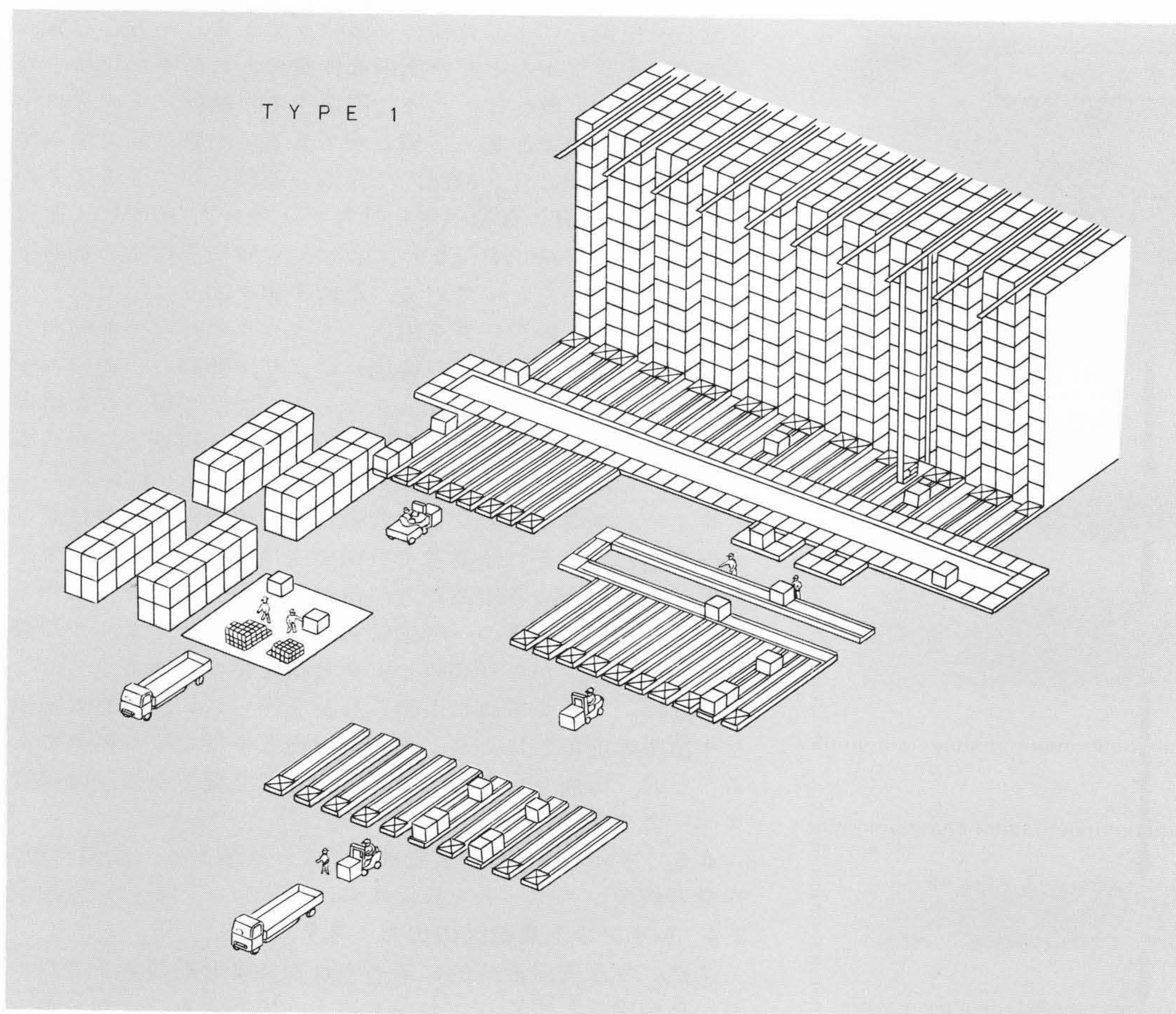


図7 レイアウト鳥観図の出力結果の一例 これらの鳥観図は、CAD-WHのステップ2で求めた設備容量に基づき、Y-Yプロッタにより描かれる。

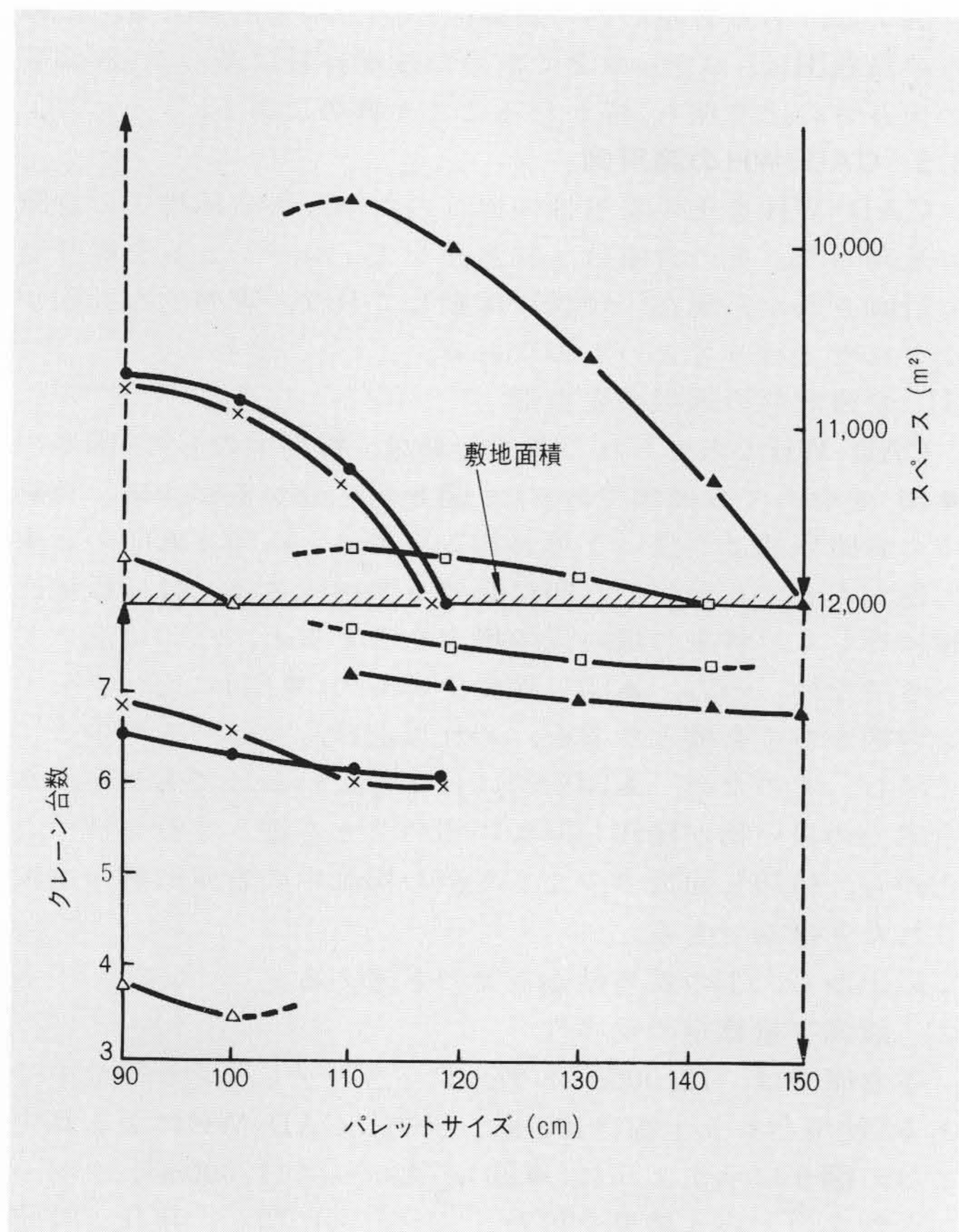


図8 CAD-WHの適用結果 CAD-WHをある稼働中の倉庫に適用した結果を示す。●印が現状の倉庫形態に対応する。

4 CAD-WHの導入効果

CAD-WHの導入効果を整理すると、次のようになる。

- (1) 約600種類の倉庫形態の中から、環境に適したものが選択できる。
- (2) 計画に必要な環境データは、必要最小限のものしか要求しない。これにより、データ入手に1日、結果の出力に1日、合計2日で計画できるので、現状に比べ約 $\frac{1}{10}$ に計画日数が短縮される。
- (3) レイアウトや運用方式の選択を容易にするように、計算機の出力が工夫されているため、倉庫計画の専門家でなくても、定量的な計画が可能である。

5 結 言

流通環境は、今後、ますます多様化する傾向にある。そのため、流通環境に適した自動倉庫システムを計画することは、いっそう困難なものになると思われる。自動倉庫システム設備計画プログラム“CAD-WH”は、このような事情に対処するために開発されたものであり、今後多方面での活用を期待する。

終わりに本研究に際し、御助力いただいた日立製作所の関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- 1) 都島, 三森ほか: 自動倉庫システムの計画技法, 電気学会全国大会講演論文集, 2049 (昭50-4)
- 2) 都島, 三森ほか: 自動倉庫レイアウトの計画技法, 電気学会全国大会講演論文集, 1692 (昭51-4)