

立体自動倉庫の計画・設計手法について

矢野 禎一・天海 清志

I. ま え が き

生産・流通・消費という経済活動において、生活レベルの向上にともなう消費の増大につれて、生産活動におけるコスト低減や合理化、省力化は設計および製造の分野で徹底して進められてきた。

しかし、生産と消費を結ぶ流通活動については近年やっとその重要性が認識され、物的流通・商的流通の両面から合理化が進められている。企業においても、今後健全な発展を遂げるためには、売上げの30%以上を占めると推定されている潜在物流コストの低減以外に道はないとさえいわれている。

このような背景のもとで、わが国の土地狭隘や、地価の高騰にともなう空間の有効利用、また人件費の削減や、作業環境の改善に役立ち、さらにコンピュータを用いて情報の集約化を行なうことで商的流通分野においても合理化の図れる立体自動倉庫システムが注目され、今後もさらに需要が増大するものと予想されている。

立体自動倉庫は、写真1に示すように、荷を倉庫の入口から格納する棚へ、また棚から出口へ自動的に搬送するスタッカークレーンと、クレーン

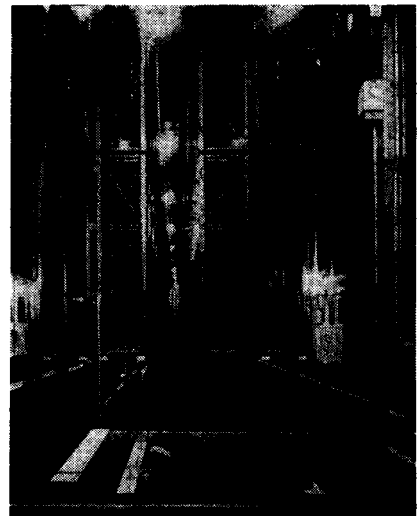


写真1 立体自動倉庫内部

の両側に配置された荷を格納する棚をユニットとし、いくつかのユニットを横へ連結することでシステムが構成されている。

立体自動倉庫システムの設計は、正確な調査データにもとづいて分析・予測を行ない、得られた設計条件にしたがって何回となく試行錯誤をくりかえしながら行なわれるのが通例であった。そこでわれわれは、計画・設計手順の中で必要でかつ標準化できるものに対して、コンピュータを用いて解析することにより試行錯誤に要する莫大な時間と人員を削減する目的で各種の設計手法を開発した。

やの ていいち、てんかい きよし

笹竹中工務店 技術研究所

本報告は、立体自動倉庫システムの設計に必要な

な調査データの分析から、設計されたシステムの評価にいたる過程において用いる各種の計画・設計手法の概要を紹介したものである。

II. 本論

1. 計画・設計手法の概要

本設計手法は、8本のプログラムと1つの選択手法で構成されている。立体自動倉庫のシステム設計手順にしたがって本設計手法の概要および使用方法を説明すると表1のようになる。

これらの設計手法は、プログラムを1本化することにより理想システムを短時間で設計することが可能である。しかし、各プログラムの入力や出力に設計者の判断が反映されるように、またシステム評価からのフィードバックが可能のように、さらには他のシステムとの関連や自動化レベルの調整などの設計思想が生かされるよう各手法は独立して

表1 本設計手法の概要

設計手順	本設計手法の使用手法
調査	<ul style="list-style-type: none"> 各種調査表を用いて、物の流れ、物流コストなど、現状の物流システムの調査を行なう。
	<ul style="list-style-type: none"> 配送センターとして使用する場合は、 <ol style="list-style-type: none"> 立地計画プログラムを用いて最適な立地を選定する。 格納品決定プログラムを用いて、自動倉庫に格納すべき品種を決定し、現時点での販売量、または格納量を把握する。 包装モジュール・積付パターン算定プログラムを用いて、最も空間効率が高くなるように、カートンサイズ・パレット上の積付けパターンを決定し、ユニットロードの重量を算出する。 格納する品種のユニットロードに対して、 <ol style="list-style-type: none"> 適正在庫量算定プログラムを用いて将来予測を行ない、自動倉庫の在庫量を決定する。
分析	<ul style="list-style-type: none"> ⑤ 自動倉庫概略設計プログラムを用いて、ラックの形状、クレーンの台数、処理能力などを決定し、概略のレイアウトを設定する。
	<ul style="list-style-type: none"> ⑥ ラック自動設計プログラムを用いて、ラックの最小重量設計を行ない、見積りに必要な鋼材量を算出する。 ⑦ 荷役・運搬機器の選択手法を用いて、適切な周辺機器を選定する。
計画	<ul style="list-style-type: none"> ⑧ 収支目録見算定プログラムを用いて、設計された自動倉庫の採算計算を行ない、投資限度を決定する。
	<ul style="list-style-type: none"> ⑨ 物流シミュレーションプログラムを用いて、システム全体の評価を行なう。
設計	
評価	

機能させるものとした。

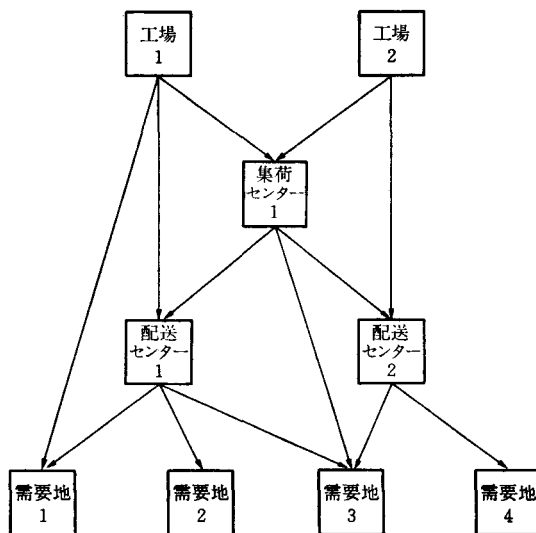


図1 一般的な輸送ネットワークモデル

2. 配送センター立地計画プログラム

本プログラムは、企業の最も重要な意思決定問題の1つである物流施設の最適設置場所を、選定することを目的とする。

2.1 モデル

配送センターなどの物流施設の立地問題は、工場などの供給地から数段階の中継地（配送センターなど）を経由して需要地まで、製品を運ぶ場合に発生する。一般的には、直送、直配が加わり、図1に示すネットワークモデルで表わすことができる。

2.2 混合整数計画法の適用

この種の立地問題は、需要地の要求を満足させ

ながら、輸送ネットワーク上で発生する総費用を最小にする物流施設の最適設置場所を、設置候補地の中から選定することである。この問題を解く非常に有用な手法の1つが混合整数計画法で、本プログラムはこの手法を使用した。

なお、総費用の内訳は、工場から集荷センターまでの輸送費、集荷センターから配送センターまでの輸送費、配送センターから需要地までの配送費、工場から配送センターまでの直送費、工場から需要地までの直配費、集荷センターから需要地までの直配費、集荷センターおよび配送センターの建設固定費、集荷センターおよび配送センターの運営費である。

2.3 プログラムの機能構成

本プログラムは、混合整数計画問題を解くための分枝限定法のアルゴリズムにおいて最適解に達する主プログラムと、使用者が作成したテーブル形式の数値データを主プログラムの入力データに効率的に変換し、生成させる副プログラムとで構成する。

2.4 解析例

図2は、某製薬会社の全国配送ネットワークモデルである。2カ所の集荷センター候補地から1

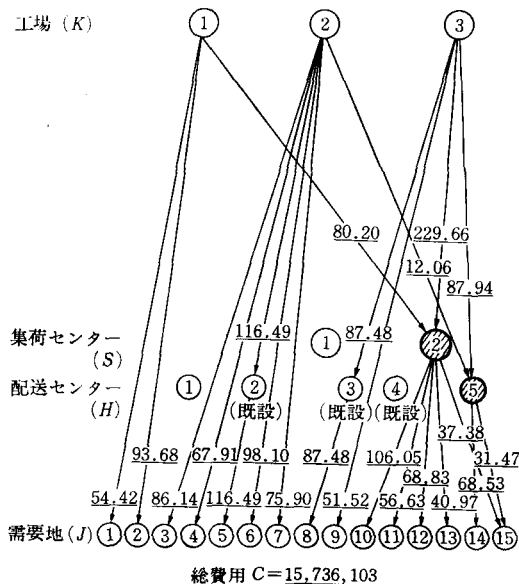


図3 解析後のネットワークモデル

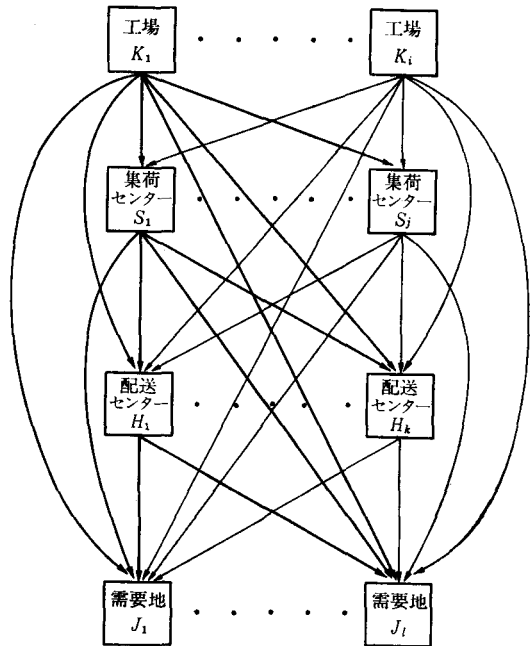


図2 解析に使用したネットワークモデル
 $i=1,2,3$ $j=1,2$ $k=1,2,3,4,5$ (ただし H_3, H_4 は既定) $l=1,2,3,\dots,14,15$

カ所、2カ所の配送センター候補地(ただし、他の3カ所の配送センターは既定)から1カ所を選定した結果を図3に示す。集荷センター②と配送センター⑤が選定され、既定の配送センター④を通過する荷は、なくなった。この場合の総費用、各ルート最適輸送量は、ネットワーク上に示したとおりである。

2.5 プログラムの限界

本プログラムの実行時間は、探索される物流施設の個数に影響される。このため、問題によっては実用的な実行時間で最適整数解を求めることが困難な場合がある。このような場合には、それまでに求まっている整数解を近似最適整数解として処理を打ち切る必要がある。しかし、整数解が存在する場合は、最終的には最適整数解が求まることが保証されている。

3. 格納品決定プログラム

数多い格納品(原材料、仕掛品、製品)をすべて立体自動倉庫に格納するのは得策でなく、格納品

の性格によっては平置管理をすることが有利な場合がある。本プログラムは対象格納品の管理レベルを分析し、立体自動倉庫に格納すべき品目を決定するための判断資料を提供することを目的としている。

本プログラムは、①品目ごとに一定期間の売上げ高または販売数量についてABCのグループに分ける「ABC分析」、②発注経費または製作準備経費と保管経費の比較を行なって格納すべき品目を決定する「格納品決定」、③調達期間、販売実績より発注点を求める「発注点計算」、④発注経費と在庫管理費用から適切な発注量を決定する「経済ロット計算」の4つの機能をもっている。本プログラムで概略の在庫量も計算できるが、各品目ごとの詳細な在庫量は、別項の適正在庫量算定プログラムで算出する。

4. 包装モジュール・積付けパターン算定プログラム

立体自動倉庫を効率良く運用するためには、ユニットロードの設定が重要なポイントである。格納される品物は、それぞれ個装の大きさや販売単位が異なっているため、カートンの大きさが品種によりさまざまである。これらのカートンがある大きさのパレットに効率よく積付け、一定の大きさに統一したものをユニットロードという。

本プログラムは、あらかじめ設定されたパレットごとに、立体自動倉庫に格納する各品種の販売単位となるカートンの大きさ、パレット平面上へのカートンの積付けパターン、さらに設定された高さの範囲でカートンの段数を計算し、ユニットロードとしての空間効率を算出するものである。

設計者は、算出された空間効率から最適なユニットロードを選択し、採用すればよい。

本プログラムの計算手順を図4に示す。

5. 適正製品在庫量算定プログラム

立体自動倉庫の規模を決定するためには、在庫

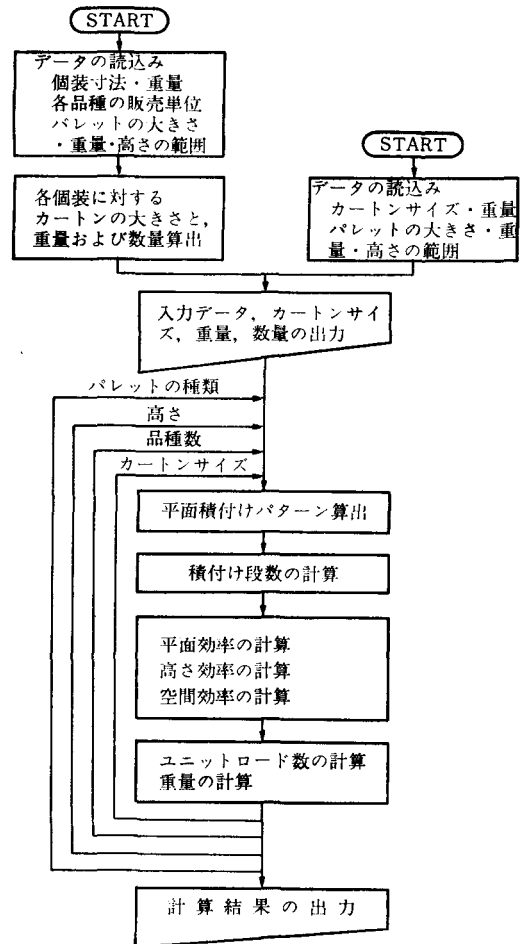


図4 包装モジュール・積付けパターン算定プログラムの計算手順

量を適切に把握しなければならない。在庫量は在庫管理方式によりさまざまな変動をするために、いちがいに決定することは危険であり、困難でもある。

本プログラムは、製品在庫についての適正在庫量の算定を目的とし、従来の倉庫中心の在庫管理方式でなく、生産ライン、製品在庫、販売の動的な関連に着目した「在庫管理モデル」を設定し、現状に近い形で在庫管理活動をコンピュータ内で再現し、解析を行なっている。

5.1 製品在庫管理モデル

外部からの出荷要求に対して必要な資材を調達し、生産、出荷することが常に期限内に効率よく

- σ_i : 期待需要量補正係数
- β : 在庫安全率
- n : リードタイム

5.4 プログラムの適用範囲

本プログラムの計算手順を図6に示す。本プログラムにより作成される資料は、製品別在庫量の推移表(図7), 製品別工程表, 製品別在庫容積表がある。

本プログラムは、在庫量を最少側へ導くよう設定されている。そのため、在庫安全率、期待需要量の補正係数は当初1に設定し、欠品などの異常時にはその原因を探り、補正しながら解析を行なうために、解析結果は他の解析法と比較して最少必要在庫量を得ることができる。また、生産計画の変更にもなる在庫量の増減値から効率のよい生産計画をたてるための資料とすることも可能である。さらに、開発範囲を製品在庫に限定したが、設定条件である生産活動を外注先、需要実績を生産実績とすれば資材在庫への適用も可能である。

6. 自動倉庫概略設計プログラム

立体自動倉庫は、必要な格納量を有し、設定された入出庫量を処理できる能力をもち、かつ与えられた敷地内に周辺環境を考慮しつつ、最も効率のよい形状を選定し、設計されなければならない。

クレーンが荷を受け取り、入庫または出庫処理を行ない基準の位置へもどるまでの時間をサイクルタイムと呼ぶ。クレーンの台数を増せば倉庫全体として1つの荷を処理する時間、つまりサイクルタイムが短くなる。一方、ラックの形状が大きくなれば、クレーンの走行距離が長くなりサイクルタイムが長くなる。また、ラックの形状そのものでもサイクルタイムは異なる。図8にクレーンが走行、昇降を同時に行なった場合の荷の位置の軌跡を示した。この軌跡と水平方向、および垂直方向で交差する棚(図8の斜線で示した)までのサ

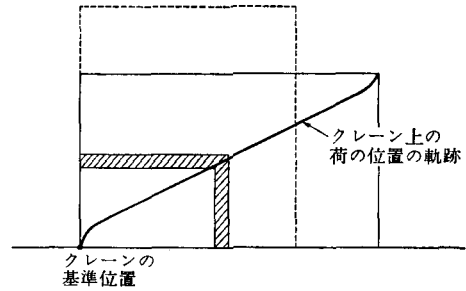


図8 ラックとクレーン上の荷の軌跡

イクルタイムは同一であることがわかる。したがって、実線で示したラックの形状と、点線で示したラックの形状では、格納量が同じでもサイクルタイムは点線のラックのほうが長くなる。

このように、クレーンの台数、サイクルタイム、ラックの形状の3つの要素は互いに関連しあっている。そこで、上記の3要素の1つに仮定を設け、他の2つの要素を在庫量を条件としてコンピュータ内でシミュレーションし、種々の制約条件を満足させながら最適なラック形状、クレーン台数を決定させることが本プログラムの目的である。

本プログラムの計算手順を図9に示す。

7. ラック自動設計プログラム

立体自動倉庫の躯体構造は、荷を格納するために設けられた鉄骨造のラック(棚)を構造体とし、ラックに外壁、屋根を直接とりつけているものが多い。ラックのスパン、階高は、格納される荷の大きさで決定されるが、通常スパン1.0~1.5m、階高1.5~2.0mで、1,000~10,000個の荷が格納される。このため、構造計算は部材数や節点数、荷重の数が多く解析が容易ではない。

しかし、ラックの架構構成を規則的に設計することで、節点および部材の情報をコンピュータで自動的に発生させることが可能になり、荷重についても不利な状態となる在庫パターンをあらかじめ設定することにより、積載荷重を自動的に発生できる。

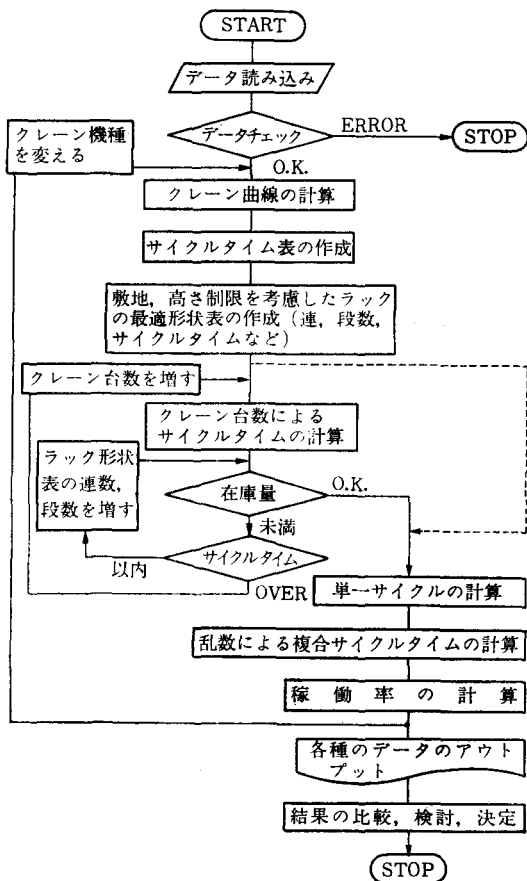


図 9 自動倉庫概略設計プログラムの計算手順

これらの理由で、ラックの構造設計ならびに積算の手助けをする目的で、最小重量設計の考えにもとづいて作成されたのがラック自動設計プログラムである。

本プログラムは、あらかじめ設定された4つのタイプの架構形式、使用部材種類、荷の大きさ、ラックの規模をインプットするだけで、構造計算書と応力図、変形図をアウトプットする機能もっている。計算結果の一例を図10に示す。

8. 荷役・運搬機器の選択手法

荷役・運搬作業を合理化しようとする際、まず第1に考えることは作業を機械化しようとするのであろう。最近では多種多様な荷役・運搬機器が開発され、従来、機械化が困難であった作業も機械化の対象とすることができるようになった。

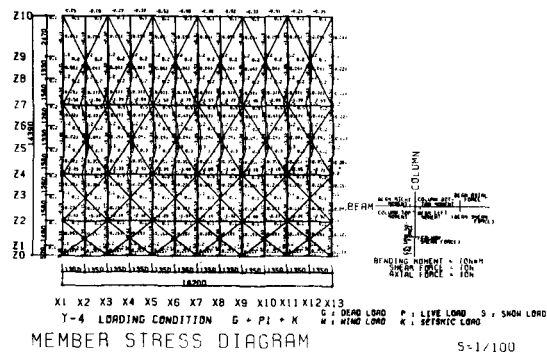
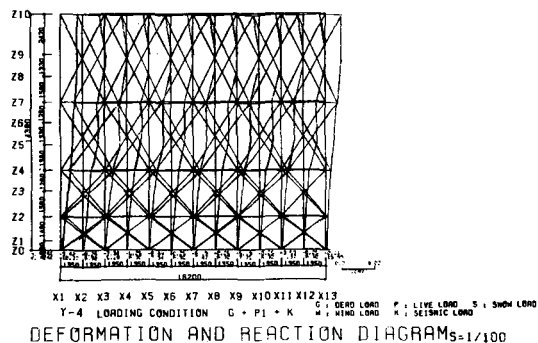
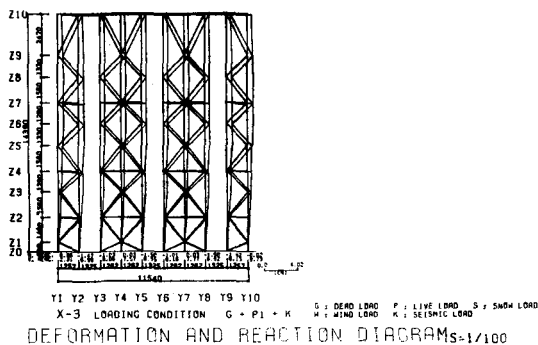


図 10 ラック自動設計プログラムの計算結果

このため、単純な作業でもいくつかの作業方法および作業用機器の組合せを考えることができる。それらの方法や考え方の中から、合理化しようと考えている計画に最も適した方法や機器を選び出すことが、荷役・運搬機器の設備計画である。

しかし、機械化が必ずしも合理化につながらない場合もあるので、合理化の対象を荷役・運搬作業にしばらずに、関連する作業をも含めたトータルシステムとしてとらえ、総合的に評価することが大切である。

合理的な荷役・運搬システムを計画設計するた

めに必要な手順を図11に示した。

計画された種々の案の中から技術的に可能で、最もよい実行可能案について具体的な機能、能力および台数などを決定するために、選択の手順にしたがって各項目を指定すれば、システム設計のベテランでなくても比較的無難な機器が選定できる階層構造の選択表として作成したのが本手法である。本手法を用いて最適機器を選択し、決定する手順を図12に示した。

9. 物流シミュレーションプログラム

シミュレーションは、設計された自動倉庫を中心とした物流システム案にしたがって、物の流れをコンピュータ内に表現し、それらを観察することで主として各機器の適応性、物の流れ、トータルシステムとしてのバランスについて評価資料を得て最適なシステムを決定するために用いる。

本シミュレーションプログラムは、各種のマテリアルハンドリング機器および自動倉庫を個々にモデル化し、モジュール化してある。これらのモジュールを設計されたレイアウトにしたがって結合することにより、全体システムのシミュレーションプログラムとして形成される。モデルの設定は、シミュレーション結果が分単位で状況把握が可能であることを目標としてそのレベル設定した。

9.1 モデル化
本プログラムでは物流システムを、生産ライン、

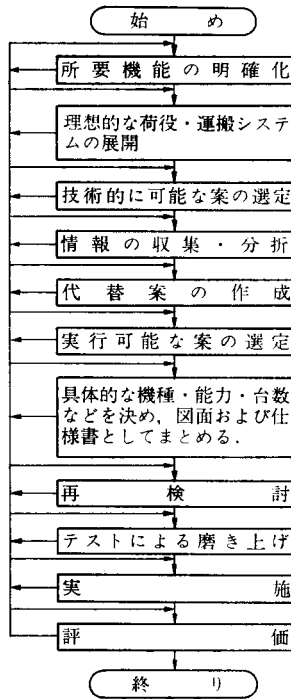


図 11 荷役・運搬システムの計画手順

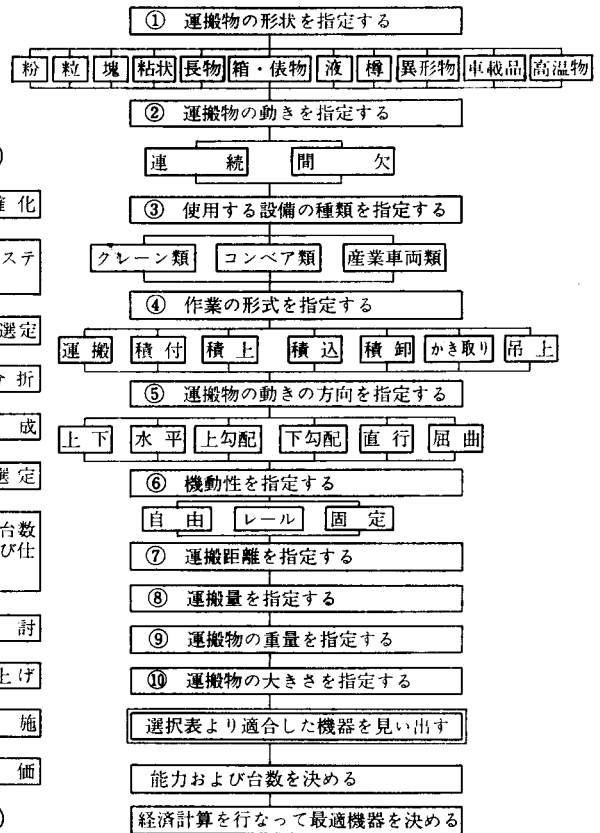


図 12 最適機器の選択と決定の手順

ストレージコンベア、連続搬送コンベア、シーラー、パレタイザー、デパレタイザー、合流装置、分岐装置、自動倉庫、仕分け装置、客先または内部からの出庫注文の11のサブシステムに分解し、それぞれのサブシステムについてモデル化し、GPSS—Vの言語でプログラミングした。

一例として自動倉庫のモデル化について、入庫時と出庫時に分けて図13に示した。

9.2 全体の流れ

物流システムを構成する各種の機器は、11種類のサブシステムの構成要素としてモジュール化され、サブルーチンになっている。設計されたシステムに対する全体のプログラムは、レイアウトの物の流れにしたがって、GPSS—VのMACRO命令を用いて各サブルーチンをつなぎ合わせることで構成される。複雑な合流制御などの場合にはそ

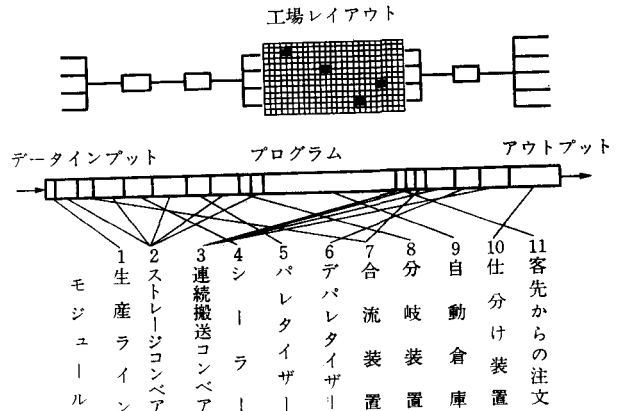
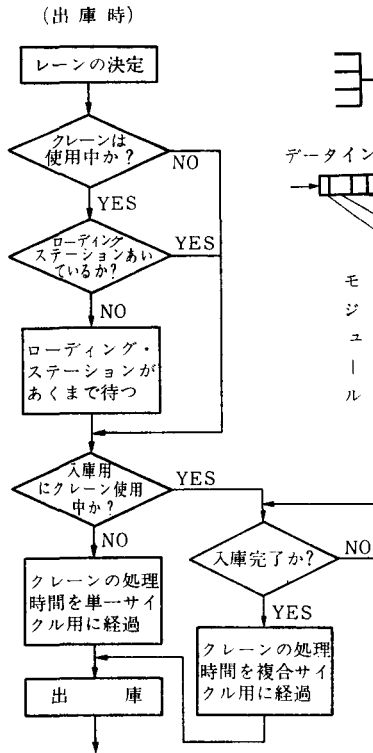
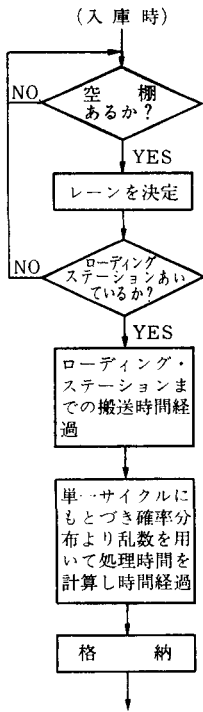


図 14 モジュールの結合例

図 13 自動倉庫のモデル

のつどプログラムを修正をする必要が生ずるが、本方法により短時間でプログラムが作成でき、物流システムのシミュレーションが容易に行なえるようになった。某工場の生産ラインから自動倉庫を含み、出荷までのレイアウトに対するモジュールの結合例を図14に示した。

III. まとめ

本報告は、立体自動倉庫システムに関する企画・計画・設計・評価の各過程において、当社がシステム設計に用いている各種の手法の概要を紹介したものである。

立体自動倉庫システムは10年余の歴史しかなく、現在まで作業環境の改善、省力化、情報の集約化などの旗標のもとで、ハード機器を中心として発展してきたものである。しかし、立体自動倉庫を採用するか否かは企業にとって多大な投資であり、また採用しても所期の目的が達せられない、ランニングコストが高すぎるなどの問題点も近年耳にするようになってきた。

これらの問題は、すべてハード機器中心にシステムを考える設計思想にその原因があると考えられる。倉庫の役割は、その前後のシステムを円滑に動かすためのバッファであり、立体自動倉庫システムは倉庫の形態のうちの一種類であることを銘記しなければならない。当社の経験で恐縮であるが、建築主より立体自動倉庫の建設を依頼され、種々の検討を重ねた結果、平置倉庫を提案し納得していただいたこともある。

物流システムの戦略を考えることは企業の経営そのものであると一言で過言ではない。したがって、その設計にあたってはシステムの、さらには企業の運営方針を中心に、いいかえればソフトウェアを中心に考えるユーザー指向型でなければならないと考えている。

最後に、私どもの立体自動倉庫システムを紹介する機会を与えて下さった貴誌編集委員会の皆さまに厚くお礼申し上げます。