

# ファクトリーオートメーションシステムの計画技法

## Planning Tools for Factory Automation Systems

FAシステムの開発で、要求の多様化、問題の複雑化などに伴い、システム要求、レイアウト、最適な運用方式などを短期間でまとめるには、科学的手法を用いた計画技法が不可欠である。本稿では、FAシステムの計画技法として下記の3点を取り上げ記述した。すなわち、(1)システム要求分析技法として、システムに対する要求を体系立てて行なう標準手順と、多様な要求を目的樹木の形に階層的に整理支援する方法、(2)システム代替案評価技法として、複雑なシステムの動的解析を計算機シミュレーションにより行なう方法、(3)設備能力・レイアウト計画技法として、入手可能な最小限のデータによりレイアウト、設備構成及び運用方式を出力する方法、である。これにより多種多様なFAシステムの最適構築を短期間で行なうことを指向している。

姫路正明\* Masaaki Himeji  
 橋本友孝\* Tomotaka Hashimoto  
 岸野清孝\* Kiyotaka Kishino  
 都島 功\*\* Isao Tsushima  
 高橋 勉\*\*\* Tsutomu Takahashi

### 1 緒 言

近年、各企業でFA(ファクトリーオートメーション)の導入気運が高まっており、生産性の向上や工場の合理化に対する設備投資が盛んになってきている。ことにロボットに代表されるメカトロニクス機器や高度な自動化設備、またそれらを生産スケジュールや現場からの情報によって制御する計算機制御システムなどが取り入れられており、このような設備計画を短期間で行ない、実現化するためには、従来のように勘や経験に頼っていた方法では、設備の柔軟性や拡張性に欠け、最適なシステムを構成することは困難である。日立製作所ではこのような複雑なFAシステムを計画するために、科学的手法を用いた各種の計画技法や評価技法を開発しており、各方面で利用されている(表1)。このうち本稿では特に、(1)システムに対する要求を分析して合理化課題を抽出する技法、(2)生産進行システムの代替案を評価する技法、(3)設備能力・レイアウト計画に使われる技法の3点に焦点を絞り、各々事例を挙げて紹介する。

表1 FAシステムの設計技法 FAシステムの設計技法の分類を示す。  
 \*印は、計画技法として本稿で紹介したものである。

設計手順	経 営	生 産 ・ 流 通
ニーズの探究	●システム要求分析技法(PPDS)* ●工場診断法	
システムの計画	●経営情報システム設計法	●生産設備能力計画法: CASE-PLANET* REPLICA UNSOR ●物流設備能力計画法: CAD-WH* ●生産進行・在庫シミュレータ: BRAIN GPSS利用
システムの設計	●意思決定支援システム設計法(EXCEED)	●生産ライン工程編成法: CADAP GROUP ●生産性評価法: 加工性 組立性
システムの運用	●需要予測法	●スペース配置計画法: ALPS* SPACE* ●生産管理法: BRAIN SCOPE ●工程管理法: SIGNAL PRINCE

### 2 システム要求分析技法“PPDS”

#### 2.1 目 的

要求の多様化、問題の複雑化などに伴い、システムに対する要求をまとめることが難しくなっている。顧客ニーズの発掘から、システムへの要求仕様の明確化までを、定形的に、かつ効率良く行なうことを目的に、PPDS(Planning Procedure to Develop Systems)を開発した。

#### 2.2 方 法

PPDSは、顧客ニーズを「目的樹木法」により分析、展開する方法を採用している。目的樹木とは、目的、要求、問題点などに関する項目を、目的-手段の関係により、階層構造に表現したものである(図1)。システムの目的をこのような樹木状に整理することによって、全体目的と各部門での具体的要求との関連がビジュアルに示され、要求、結果に対して各関係者のコンセンサスが得やすくなり、問題点の優先順位付けが的確に行なえる。PPDSでは目的樹木を容易に作る事ができるように、以下の三つの技術を開発した。

#### (1) 関係者利害関連表

この表はマトリックスの横軸に対象システムに関連する部

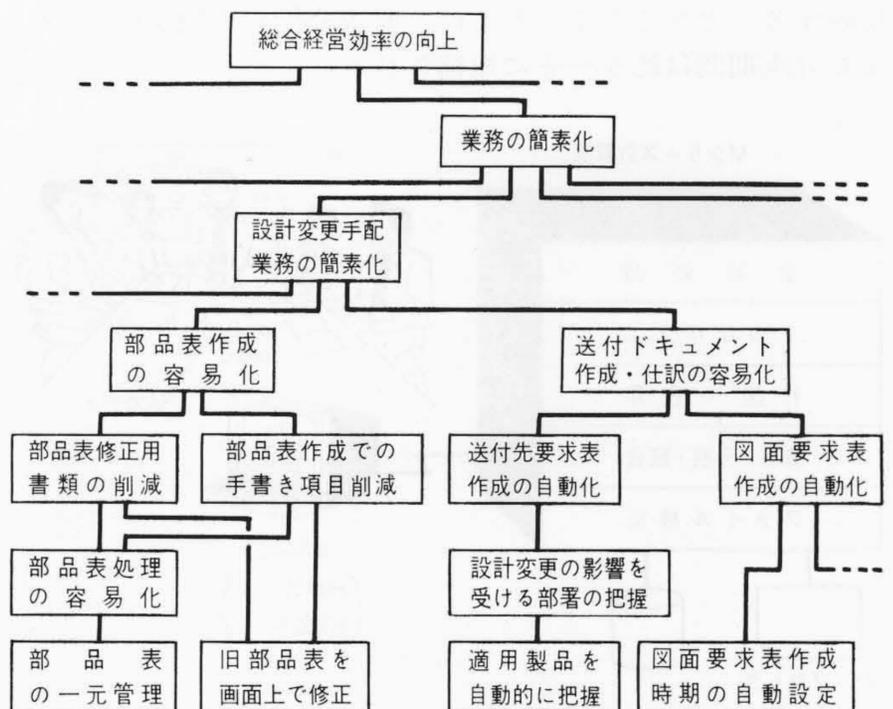


図1 目的樹木の例 関係者利害関連表により抽出した項目を、目的-手段の関連で階層的に表示したものである。

\* 日立製作所システム事業部 \*\* 日立製作所システム開発研究所 \*\*\* 日立製作所生産技術研究所

門を、縦軸にシステムの個々の機能を与え、問題の提起促進と範囲の設定と課題提案チェックの判断に利用される。

(2) 階層構造化アルゴリズム“HSA”

HSA (Hierarchical Structural Analysis) は、項目 1 対ごとの順序関係を与えることにより全項目の順序関係を階層構造化し、目的樹木を作り出すアルゴリズムである。

(3) 計算機対話形構造化

目的に関する全体構造をビジュアルに表示する、複数回にわたる煩雑な修正作業を効率的に行なわせるなどのため、上記の構造化アルゴリズムHSAを基本に、PPDSは図2に示す機能をもっている。

2.3 手順

要求分析手順の始めは項目抽出であり、関与者利害関連表により問題の枠組みを明確にし、抽出した項目を表の該当箇所当てはめる。次に、項目の関連づけを行なう。この関連づけの結果をPPDSに入力し、目的樹木の全体図を得る。目的樹木は、当初から良いものが得られることはあり得ない。項目相互の関連がビジュアルに示されて初めて項目の抜け、関連のおかしい部分の発見が促される。修正はキーボードから容易に行なえる。目的樹木の最終結果は、X-Yプロッタに漢字交じりの日本語で見やすく出力される。これを会社幹部、部門の長などに提示して、意見をもらう。図1は、ある工場での「設計・生産管理支援システムの開発」をテーマにした目的樹木の一部である。

解決すべき課題が明確にされると、以下のようにして、システムに対する要求仕様を明確にすることができる。

(a) 業務機能情報関連図の作成

サブ機能ごとに、これら課題を満たすように、機能情報関連図を展開する。これにより、課題実現のために必要な機能要素、及び情報が明確にされる。

(b) 業務処理フロー図の作成

上記の機能情報関連図の個々の機能、情報に、実施部署、EDP(Electronic Data Processing)化の要否、伝送媒体を割り当て、業務処理フロー図を作成する。

2.4 効果

本PPDSにより、顧客ニーズを的確にシステム要求仕様へ反映することができるのと同時に、要求分析の工数が約 $\frac{1}{5}$ に、また計画期間は約 $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{5}$ に短縮される。

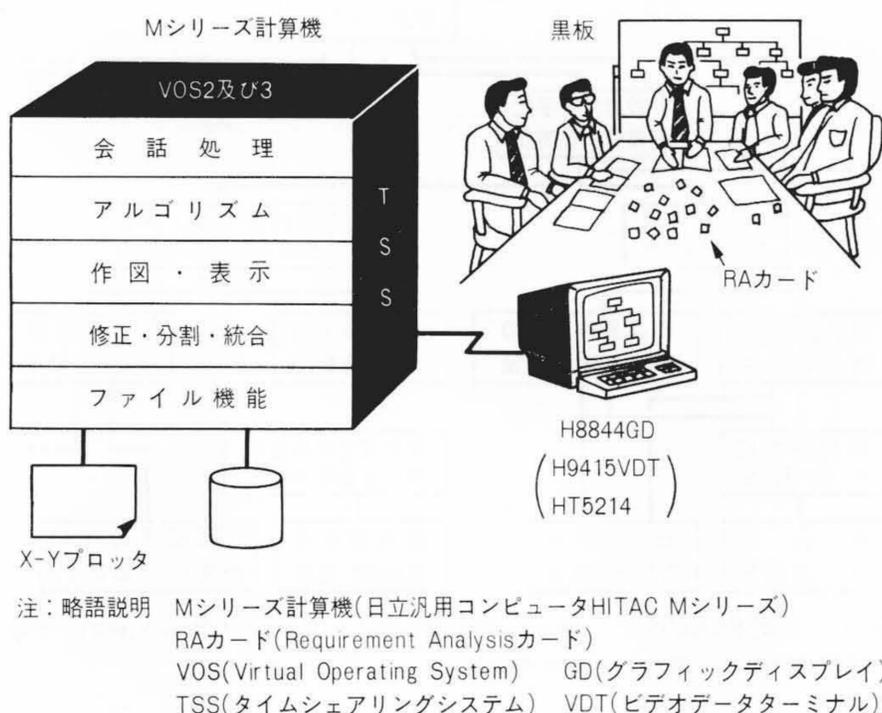


図2 PPDSの構成 目的樹木の作成を支援するシステムであり、マンマシンインタラクティブに目的樹木を効率良く作成できる。

従来のブレンストーミング法、KJ法に対し、PPDSは多数の関与者からの多数の要求を分析し、結果の質が分析者の能力に左右されないところが特徴である。

3 生産進行システム代替案評価汎用技法

3.1 目的

システムの基本設計あるいは詳細設計の段階で、種々の代替案を設計し、また代替案の中から最適システムを評価し、選択することが、システムの構築上重要なポイントである。

FAシステムのように種々の設備が複雑に絡むシステムでは、機器単体の評価の集合は系全体の評価と大幅に異なる。特に、機械同士が相互干渉を起こす場合には、計算機によってシステムの解析シミュレーションを行なう必要がある。

3.2 方法

代替案評価のための物流シミュレーションには、GPSS (General Purpose System Simulator) を利用することが多い。大部分のFAシステムでは、加工機械、コンベヤ、自動倉庫、台車などの設備で構成されるが、GPSSではこれらの機器と運用計画、制御ロジックなどを、プログラムとして容易に表現できる。また計算結果も標準化されており、FAシステムの代替案評価として必要な項目、例えば(1)各機器の稼働率、(2)処理量、(3)サイクルタイム、(4)待ち時間、(5)待ち個数、(6)バッファ使用量などが出力され、評価技法として適している。

3.3 事例

比較的簡単な例として、自動倉庫システムを取り上げる。図3にシステムレイアウトを示すが、特徴として(1)2パレット同時に処理可能なスタッククレーン、(2)2台のスタッククレーンが相互干渉を起こす、(3)入出庫口が多い、ことである。

このシステムの代替案としては、(1)スタッククレーン1台案、(2)スタッククレーン2台案、の二つである。これら二つの案を評価するためにシミュレーションを行ない、運用計画と処理能力について評価した。

図4、5は、それぞれクレーン1台案、2台案の場合のクレーンの動きを示すもので、これにより運用アルゴリズムの良否判定が可能である。

4 設備能力・レイアウト計画技法

4.1 目的

設備能力・レイアウト計画では、目的に応じて設備の稼働率、台数などの最適化を図るとともに、生産量、リードタイ

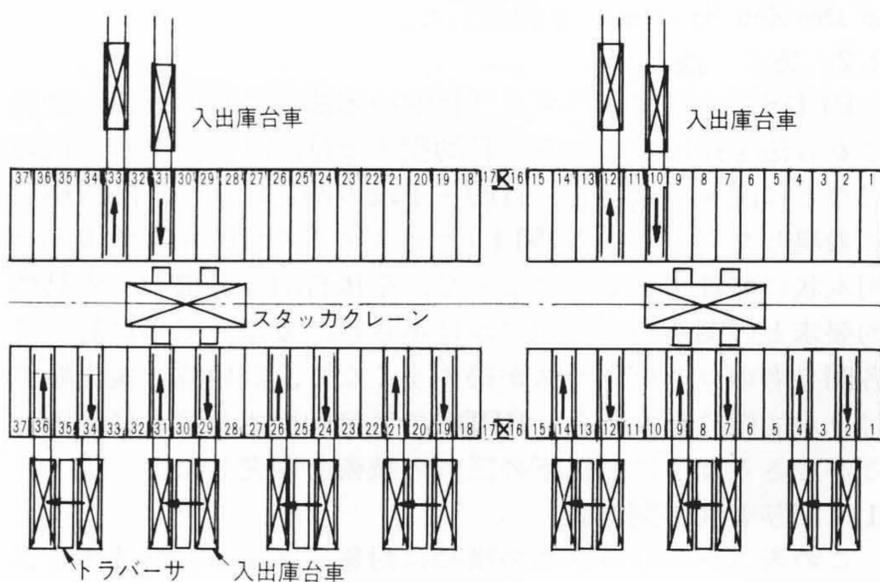


図3 システムレイアウト(最終案) ダブルフォーク式スタッククレーン2台と入出庫台車18台及びトラバーサ7台から成る自動倉庫システムで、実パレットの入出庫、空パレットの返送を実現した倉庫である。

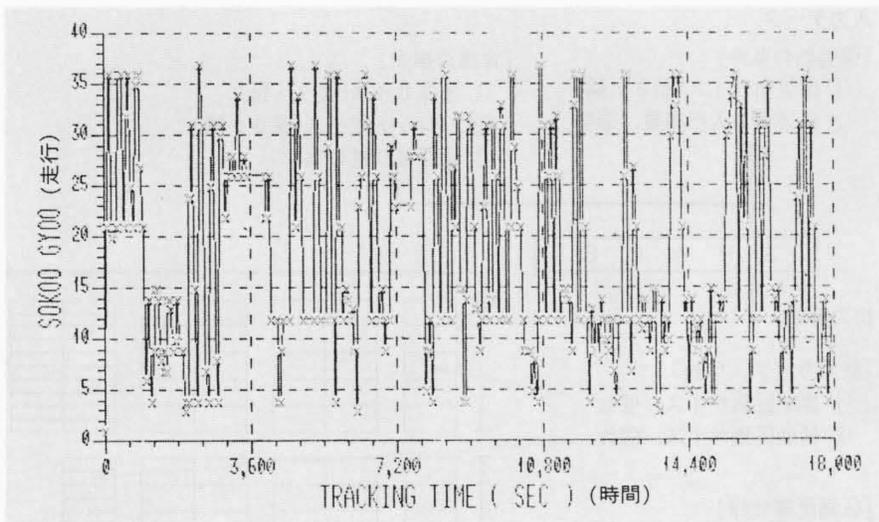


図4 スタッククレーン1台案の動作軌跡 100%稼働し余裕のない状況が分かる。

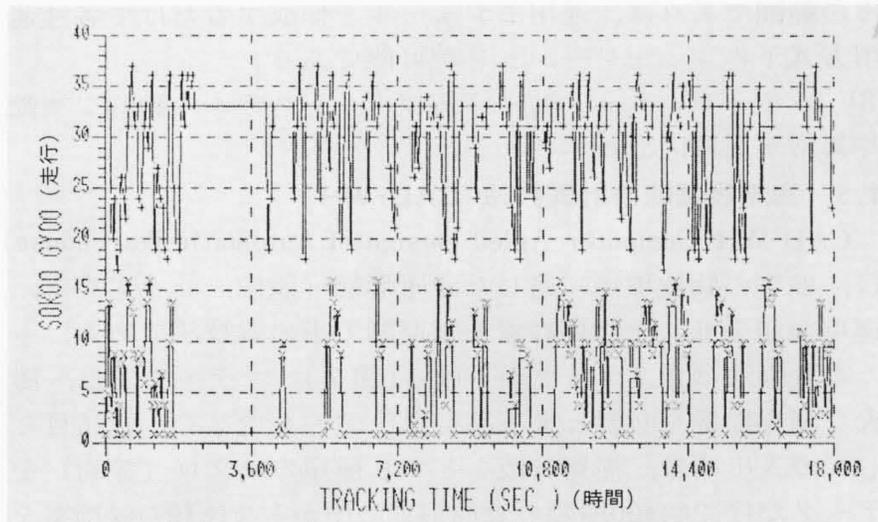


図5 スタッククレーン2台案の動作軌跡 横軸の線はスタッククレーンが停止していることを示し、この分が余裕となる。

また、この軌跡によりスタッククレーンが干渉していないことが判明し、運用ロジックの正しいことが証明できる。

ムなどの事前評価のための設備能力・レイアウト計画技法が必要となる。これらの各目的に応じた汎用計画技法、及び計画ツールとしてのパッケージプログラムがある。

#### 4.2 生産設備能力計画技法“CASE-PLANET”

FAシステムでの最適な設備構成、運用方式を短期間で計画、設計可能とするための生産設備能力計画技法“CASE-PLANET”(Computer Aided System Engineering-Plan Network)を開発した。本計画ソフトウェアは、図6に示す構造をもっており、その特長を以下に述べる。

(1) 物流システムエンジニアが、運用規則を“IF(条件), THEN(動作)”形の運用ルールにより記述し入力すれば、システムの状態に応じて運用論理コントローラが自動的に最適ルールを編集し、設備モジュールを制御する。そのため、各種の運用方式の作成と修正が大幅に容易化した。

(2) 本計画ソフトウェアでは、設備モジュールと運用モジュールとを完全に分離した構造をとっている。そのため、設備モジュールは設備ごとに一度作成すれば、他の計画にも再利用できる。いくつかの設備モジュールは既に用意されており、

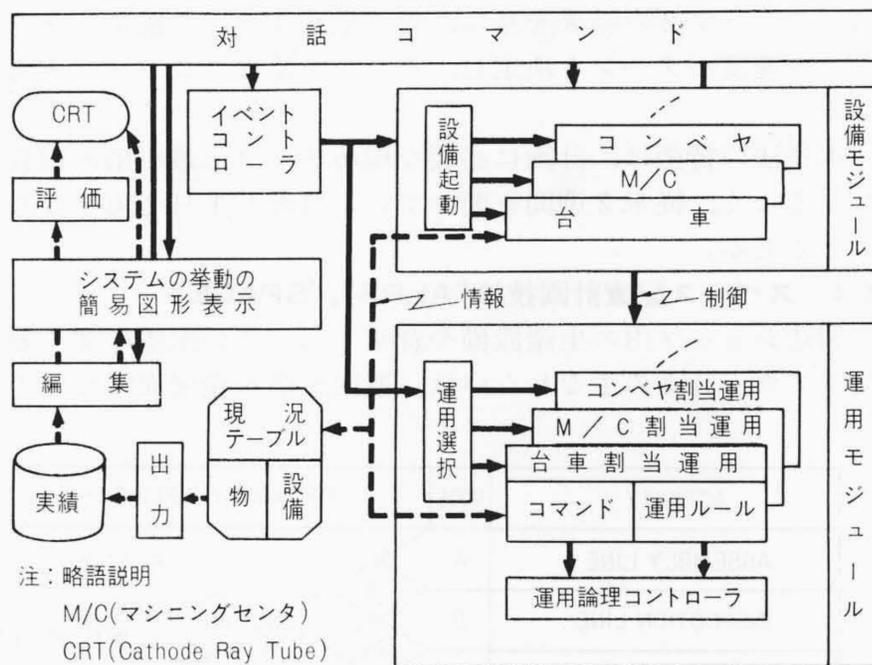


図6 CASE-PLANETの構造 運用ルールを分野の言葉でそのまま入力すれば、運用論理コントローラは、システム現況に即した最適ルールを自動決定する。

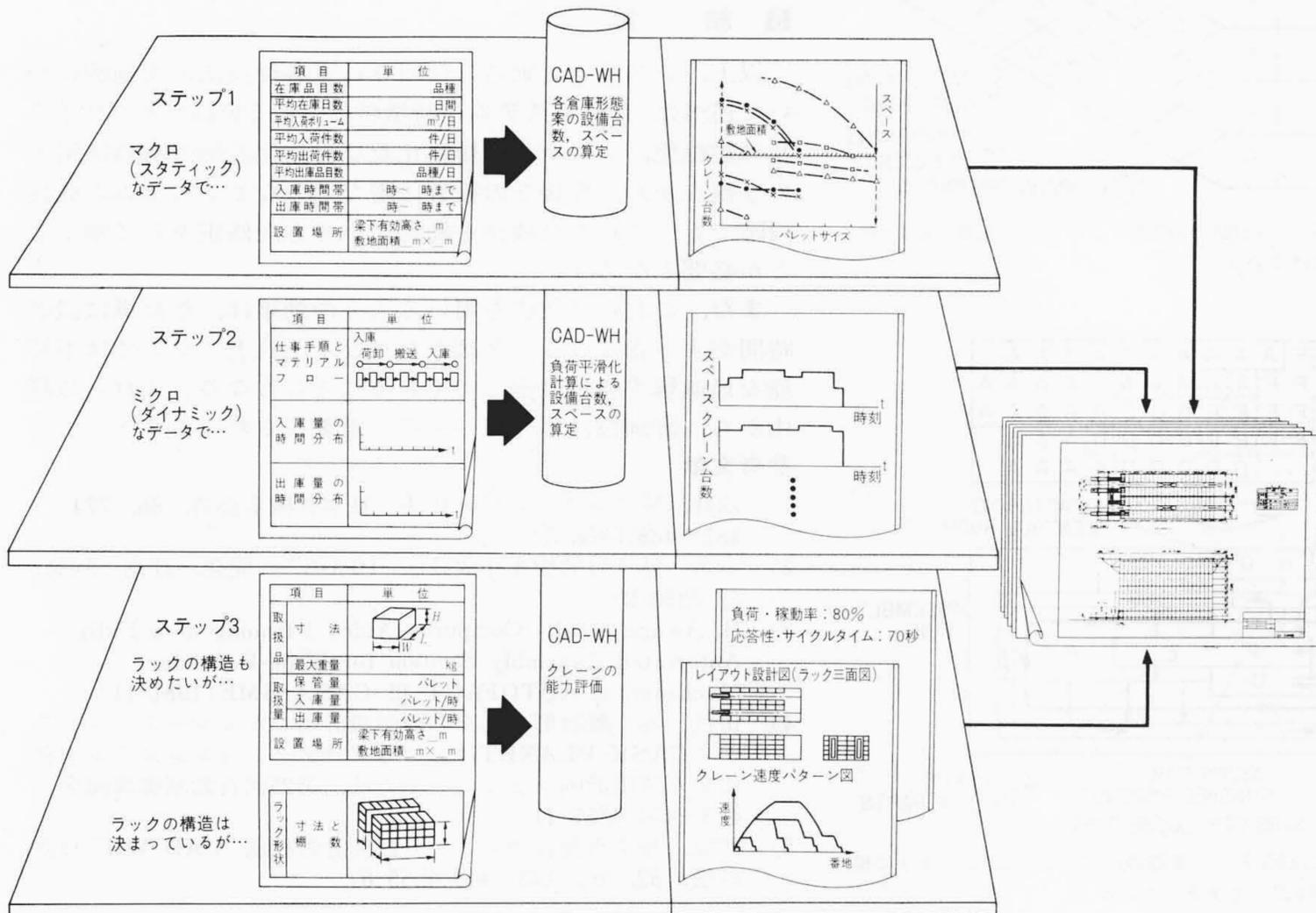


図7 CAD-WHの計画ステップと入出力項目 各ステップに必要な入出力項目は品目単位ではなく、総品目としてのデータでよく、それらを基にCAD-WHは、スペースや設備容量などの相互関係を定量的に出力する。

その範囲であれば、運用モジュールを作成するだけで各種運用方式下のシミュレーションが可能である。

(3) シミュレーション結果に基づく、システムの動的な挙動や異常が簡易図形表示される。

### 4.3 物流設備能力計画技法“CAD-WH”

CAD-WH(Computer Aided Design of Automatic Warehouse)は、顧客の物流環境に適した倉庫形態(設備, レイアウト, 運用の組合せ)と設備容量を短時間で求める技法である。

本計画法は3ステップから成る(図7)。ステップ1は、膨大な調査作業を必要とする品目単位データでなく、総品目としての入出荷量, 滞留日数などの8種類のマクロ(静的)なデータだけで約400種類の倉庫形態の中から数種類の候補案を選択する。ステップ2は、前記の結果と入出荷量の時間分布などのミクロ(動的)なデータとを基に、設備間の負荷平滑化計算を行ない、精度の高い必要設備容量を算出する。その結果から、最終的に1種類の倉庫形態を選択する。ステップ3は、ステップ2の結果を基に、更に最適なラック構造, クレーンの速度パターンを決定し、それらをX-Yプロッタへ出力する。

本技法の特徴は、計画に必要な環境データは最小限の項目だけでよく、従来2週間に要していた処理が1日で可となることである。

### 4.4 スペース配置計画技法“ALPS”, “SPACE”

製造ショップ内の生産設備や倉庫スペースの配置に関するレイアウト計画の主なねらいは、運搬距離や建屋面積などの

ACTIVITY	CODE	PROXIMITY WEIGHT	
ASSEMBLY LINE	A	-8	REASON
INSPECTION LINE	B	-8	(W) TRANSFER INTENSITY
CORRECTION LINE	C	8w	8w
AS/RS FOR LOOSE PARTS	D	2w	0
AS/RS FOR LINED UP PARTS	E	8y	0
AS/RS FOR FINISHED PRODUCTS	F	8z	4y
MANUFACTURING CONTROL ROOM	G	4y	1x
MAINTENANCE PREPARATION ROOM	H	8x	(X) MONITORING FREQUENCY
			(Y) CONFIRMING FREQUENCY
			(Z) COMMON OPERATION

図8 近接性評価テーブル 近接性の程度によって、A=8, E=4, I=2, O=1, U=0, X=-8の重みを付けている。

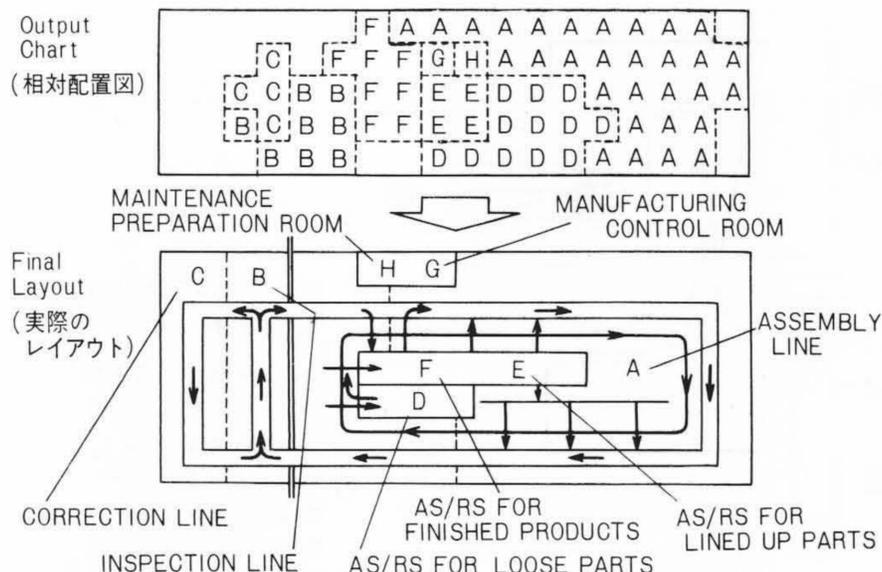


図9 ALPSによる設備配置結果 実際のレイアウトは、このように相対配置図を基に、詳細な面積を補正して決定している。

入力データ

- [保管物の条件]
  - ① 保管物サイズ(長さ・幅)
  - ② 保管物の入出庫量, 回数
- [倉庫の構造]
  - ① 倉庫サイズ(長さ・幅)
  - ② パレットサイズ(長さ・幅)
  - ③ 通路及び柱の幅

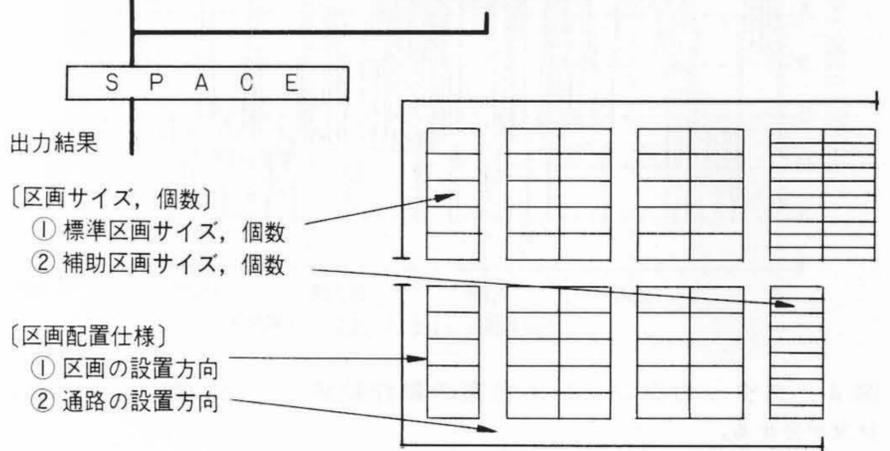


図10 SPACEによる区画配位結果 保管物の条件, 倉庫の構造入力により、倉庫レイアウトが出力される。

空間配置の最適化である。

ALPS(Advanced Layout Planning System)とSPACE(Space Allocation Evaluator)は、生産設備や倉庫スペースの空間的配置効率の最適化を行なう目的で開発した。

ALPSでは、10~50種類の設備に関する望ましい近接性を、近接性の強い順にA(絶対必要)からE, I, O, U, X(離反関係)の6段階に評価(図8)して入力すると、各設備が占有する面積の重心と、それぞれの間の距離などの近接性に関する重みから、あらかじめ与えられた面積枠の中に、それぞれの設備を自動的に最適配置する(図9)。

SPACEは、保管物をパレットで搬出入する平屋建倉庫の保管効率の向上を目的としたレイアウト計画技法であり、倉庫の構造と保管物の条件(パレット寸法, 個数)を入力すると、少種多量製品保管用の標準区画と多種多量製品保管用の補助区画の寸法, 個数, 配置及び区画に対する通路の位置が決定される(図10)。

## 5 結 言

以上、システム計画時に使用される各種技法の実施例について述べた。FAシステムに特徴付けられる製品ライフサイクルの短縮化, システムの複雑化及び自動化設備の有効活用という観点から、今後その投資段階だけでなくシステムの成長段階でも、これらの技法を随時用いて方向修正をしていくことが必要となろう。

また、これらの技法を用いることの効果は、ただ単に設計時間が $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{10}$ になることばかりでなく、机上プランでは不可能な最適解を見付け出してくれることにもなる。これらの理由から、計画技法は今後いっそう重要視されてこよう。

### 参考文献

- 1) 油井, 外: システム計画技法, 日本機械学会誌, 86, 774, 482~488(昭58-5)
- 2) 春名, 外: 目的樹木作成技法“PPDS”の開発, 計測と制御, 22(昭58-2)
- 3) H. Awane et al.: Computer Aided Planning of a Fully Automated Assembly System for Tape-Recorder Mechanisms, AUTOFACT III CASA/SME(1981-11)
- 4) 田代, 外: 離散形システム計画設計用シミュレーションシステムCASE-PLANETにおけるプロダクションシステムを利用した運用計画シミュレート方法, 第25回自動制御講演会, 473~474(昭57-11)
- 5) 西原, 外: 自動倉庫システム設備計画技法“CAD-WH”日立評論, 62, 6, 443~446(昭55-6)