

汎用生産工程シミュレータ “MAFLOS”の開発

“MAFLOS”-A Generalized Manufacturing System Simulator

In the design of a manufacturing system, preliminary evaluation of its production capacity is important, and for this purpose, simulators assume a key role.

Conventional general purpose simulators have their drawbacks in function, accuracy and operability, and this makes them inadequate for practical application to manufacturing systems.

A newly developed simulator, “MAFLOS,” has been designed for exclusive use with manufacturing systems, and features the following:

- (1) Material flow and control system behaviour can be simulated simultaneously.
- (2) Simulation can be performed with high accuracy.
- (3) Modeling of manufacturing systems is easy.

For achieving these features multi-layer structure has been adopted. In actual applications the “MAFLOS” has proved to have every necessary function satisfying the requirements of such simulation works.

三留和幸* Kazuyuki Mitome

津原 進* Susumu Tsuhara

関 進* Susumu Seki

1 緒 言

加工・組立作業を主とする製造業では、従来、その生産形態は多種少量生産か、あるいは少種多量生産が主であった。しかし、最近市場において、製品の多様化の要請が高まるにつれ、生産コストを低下させるために有効な多量生産と、顧客の多様な要求を満足させるために必要な多種生産との両立を迫られてきている。

多種多量生産では、工程における加工物の流れは複雑化し、それを管理するための情報の流れも複雑になる。このため、一部の工程におけるわずかな作業遅れや情報の遅れが、工程全体の進行をはなはだしく混乱させる場合が生ずる。そこで、作業の進行に応じて、ダイナミックに作業計画の作成・変更を実施⁽¹⁾して、工程を管理制御することが必要となってきた。さらに、そうした管理・制御に適合した加工・組立諸設備のレイアウトの最適化が望まれている⁽²⁾。

しかし一方、生産システムにおいては、新しい提案や、既存システムの改善案が創案されても、それらの提案を実際の工程で実験することがむずかしいため、それらの機能や効果を、事前の評価により正しく確認することが困難であった。このために、それら提案が実際の生産システムに適用されるまでに長い時間を要したり、あるいは適用後に問題点が発見され、それが解決するまでに、生産システムの正常な運転が阻害されるような場合が多かった。このような事態を解決し、新提案をすみやかに工程で活用するためには、現実に近い状況のもとで、その提案方式の効果を定量的に検証することが望まれる。その方法の一つとして、シミュレーションによって、性能を評価することが考えられている^{(3)~(5)}。

ところで、生産システムのシミュレーションを計算機で行なうための従来のシミュレータとしては、GPSS (General

Purpose Systems Simulator)⁽⁶⁾やJob Shop Simulator⁽⁸⁾などが代表的なものである。従来のシミュレータでは、レイアウトと生産管理制御系を総合的に模擬することができないなど、生産システムを設計するためには機能が不足していた。そこで、新たに汎用生産工程シミュレータ（以下 **Material Flow Simulator**を略し“MAFLOS”と記す）を開発した⁽⁷⁾⁽⁹⁾。“MAFLOS”の特長は、(1)物流機構と合わせて生産管理機構の模擬が可能である。(2)物流機構の模擬精度が高い。(3)生産システムのモデル化が容易などである。

“MAFLOS”の適用範囲は、製造業に見られるディスクリートな（非連続・個別的な）加工物を扱う工程には適用できる。また、自動倉庫システムなどにも適用できる。

2 生産システムの設計過程と“MAFLOS”

図1は、生産システムを設計する過程を示すものである。生産システムは、製品群、設備レイアウト、設備能力、設備および加工物の管理方式といった要因を総合的に検討して、最適に構成されなければならない。生産システムの性能（パフォーマンス）は生産能力（たとえば、台数/日）や、生産に要する平均日数（すなわち、製造リードタイム）などによって評価される。したがって、生産システムの計画案が作成されると、それが目標とした性能に達しているか否かを判断するために、その計画案の性能を事前に評価する必要がある。しかし、多種多量生産工程では、前述の要因が複雑にからみあって性能が決まるので、それを評価することはきわめて困難なことである。これを解決する一つの方法として、シミュレーションが考えられている。今回開発した汎用生産工程シミュレータ“MAFLOS”はこのためのものである。“MAFLOS”

* 日立製作所システム開発研究所

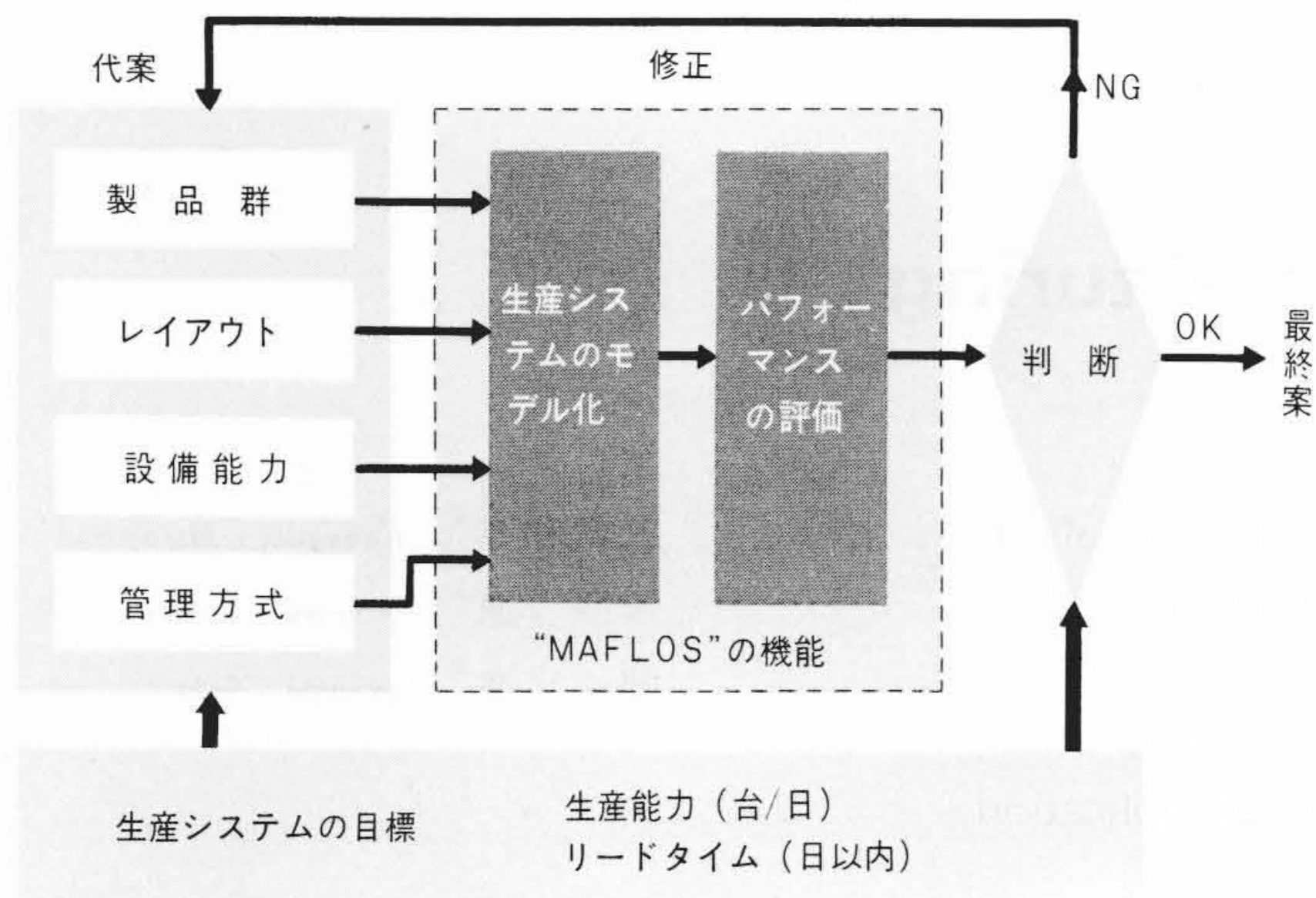


図1 生産システム設計過程 生産システムのパフォーマンスを決定する要因と生産システムの設計過程における“MAFLOS”の機能を示す。

Fig. 1 Steps for Manufacturing System Planning

の機能は、図1において、生産システムのモデル化およびパフォーマンス評価の部分の機能に相当している。したがって、実際には次のような手順で“MAFLOS”は利用できる。まず、第1近似として考えた生産システムの計画案を“MAFLOS”のインプットとして入れて、“MAFLOS”によって実際の生産工程が稼(か)動したのと同様の現象を模擬し、アウトプットとしてその計画案の挙動および性能を評価したデータを得る。それが目標の性能に達していない場合には、はじめの計画案を修正し、代替案を作成して再びシミュレーションを行なう。目標性能が達成されるまでくり返し上記操作を行ない生産システムの最終案を決定する。

3 従来シミュレータの欠陥

これまでに、システムシミュレータとして、いくつかのものが開発されている。たとえば、(a)GPSS、(b)DYNAMO (Dynamic Model) (c)Job Shop Simulator などがある。(a)および(b)は各種のシステムに適用できるように考案された汎用シミュレータであり、(c)は生産システム用に作成されたものである。また、(a)および(c)は離散形シミュレータであり、(b)は連続形シミュレータである。

ここで、加工・組立作業を主とする製造システムは離散的な現象を扱う必要があり、離散形のシミュレータが適している。GPSSはサービス窓口などのように、待ち行列でモデル化できるシステムには適合しているが、これを生産システムに適用しようとするとき次のような点に使いにくさがある。

- (1) 生産設備の動作を詳細に模擬しにくい。
- (2) スケジューリング機能の模擬がむずかしい。
- (3) ミクロな言語で記述する必要があるため、モデル作成に時間がかかる。

また、Job Shop Simulator の適用できる工程は、加工機械から成る機械工場(ジョブ ショップ)である。したがって、たとえば部品の組立工程を含むような生産システムのシミュレーションはできない⁽⁸⁾。

4 “MAFLOS”の基本構想

生産工程用シミュレータを開発するにあたっては、各種の生産システムの設計過程に適用できるように、次の基本的な構想に基づいて開発することにした。

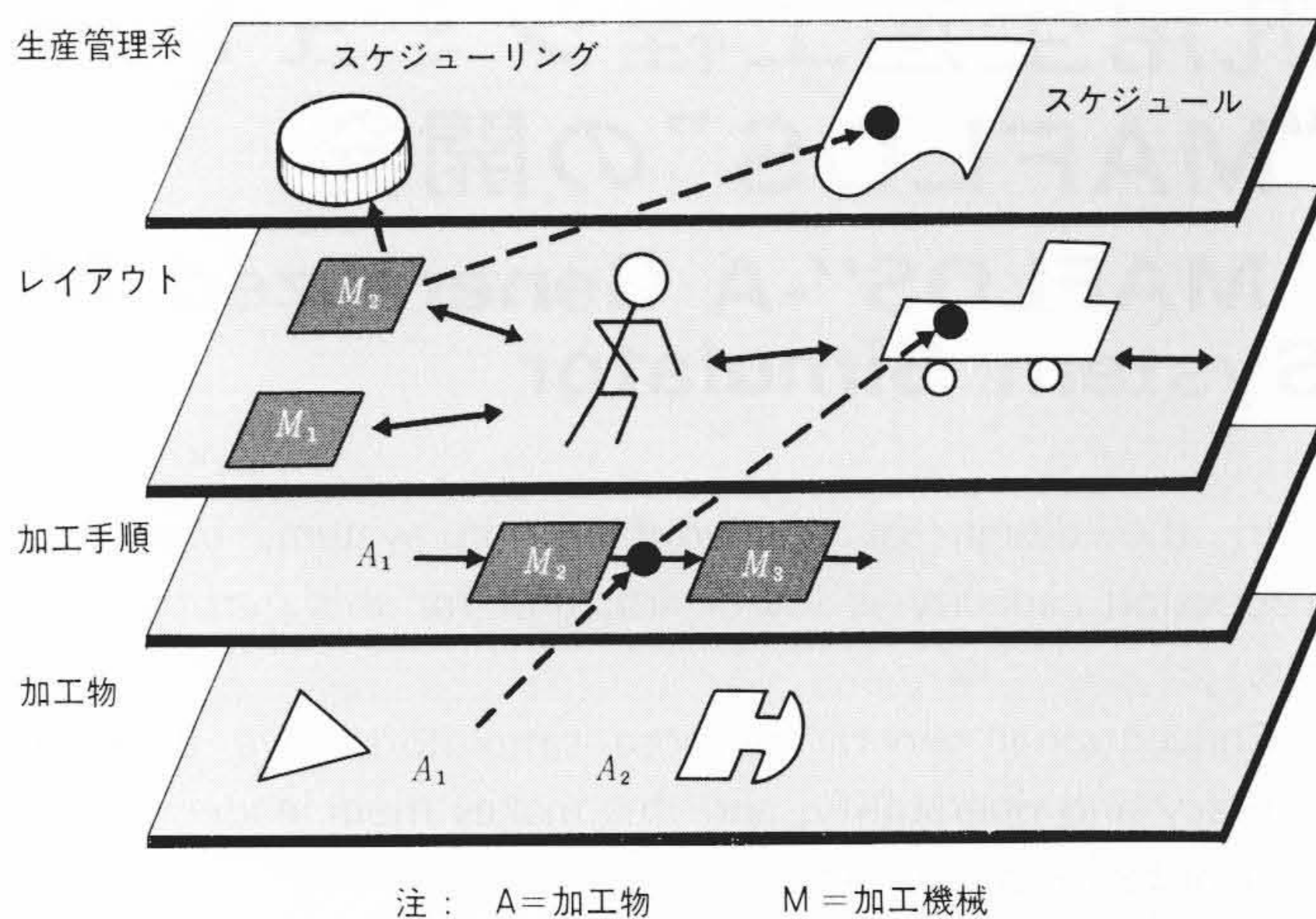


図2 多層構成“MAFLOS” 生産システムの設計過程における代替案のそう入の容易さをねらった“MAFLOS”の構造を示す。

Fig. 2 Multi-layer Structure of “MAFLOS”

- (1) 生産システムの性能を評価するために、加工物の設備間の待ち時間およびリードタイムの精度の高い把(は)握ができるようにすること(→ハンドリング機能とスケジューリング機能の導入)。
- (2) 代替案のそう入が容易にできるようにすること(→シミュレータの多層構成の提案)。
- (3) 設備レイアウトの記述が容易に行なえるようにすること(→工程記述用の基本要素の導入)。

4.1 ハンドリング機能とスケジューリング機能

生産システムを計画する際には、製造リードタイムを短縮することが、重要な課題の一つである。リードタイムは、加工機械や搬送機械の競合によって発生する加工待ち時間・運搬待ち時間によって大幅に変化する。そこで、これらの待ち時間を正確に把握しなければリードタイムが伸びてしまう理由を正しく解析できない。待ち時間は加工物を移動させる機能(ハンドリング機能)をもつ設備の動作特性および運用方式によって変化する(以後、実際には一つの機械で複数の機能を有していても、ハンドリング機能のみもつ機械を独立したものと想定して、これをハンドリング機械と呼ぶことにする。たとえば、後述の図5で作業者が加工物を機械にセットする機能や運搬車の機能がこれに相当している)。そこで、ハンドリング機械の動作を忠実に模擬するとともに、加工物の待ち時間を管理し、ハンドリング機械の作業順序を決定するスケジューリング機能の模擬を行なうようにした。

4.2 シミュレータの多層構成

前述2.のように、生産システムの設計過程では、生産管理方式、レイアウトなどの要因を最適に組み合わせることが重要である。このためには、それらの要因の一つを修正して初めの計画案に対する代替案を作成する必要がある。たとえば、生産管理方式のみ変更したり、プロダクトミックスのみを変更することである。このようなデータの部分的修正が容易にできるように、生産システムの性能を決めるデータを分離して記述できるようにし、シミュレータの構成を図2のような多層構成にした。

4.3 工程記述用の基本要素

生産システムの設備レイアウトを記述する際には、位置や距離的な関係をもって広がっている三次元パターンを記述する必要がある。このパターンを従来の一次元的な言語で記述

すると、設備の相互関係を定義するために、多くの複雑な作業を必要とする。これを解消するために、レイアウトパターンを記述するための専用の基本要素を準備することにした。工程記述用基本要素は図3に示す7種類であり、これらの要素を組み合わせることにより任意の生産工程のレイアウトパターンが記述できるようにした（基本要素の機能および組合せの例については後述する）。

5 “MAFLOS”の構造

5.1 基本的処理方式

図4は、“MAFLOS”のプログラム上の基本的な処理方式の一部を示すものである。本図において、レイアウトモデルとは設備レイアウトをモデルとしてどう取り扱うかを示したものであり、物流方程式とは加工物の移動経路を決定する論理を示したものである。

生産工程の機能を分析してみると、貯蔵（S）、選択（C）、処理（M）、送出（D）、移動（T）の五つの基本機能から成っていることがわかる。“MAFLOS”はこれらの機能を組み合わせて、次の2種類の機能ブロックを有している。

- (1) 貯蔵（S）と処理（M）を組み合わせた機能ブロック（MS）。
- (2) 生産工程の機能として重要な加工物の動きを制御する機能、すなわち選択（C）と送出（D）にハンドリング機械の移動機能（T）を組み合わせた機能ブロック（CTCTD）。

これらの機能ブロックを用いて工程をモデル化した例が図4に示すレイアウトモデルである。この2種類の機能ブロックでもって、各種の生産工程の記述が詳細にでき、加工物の流れに関して精度の高いシミュレーションをすることができる。さらに、物流方程式は、工程全体の状態をとらえて経路を決定するスケジューリング機能（ f_j ）を外部から付加することができる構造になっている。なお、図4の物流方程式の意味は次のとおりである。

C_j ：加工物を貯蔵しているストレージを選択する機能

C_j^* ：ストレージから加工物を選択する機能

D_j ：加工機械を選択し、加工物をその機械へ移す（送出）機能

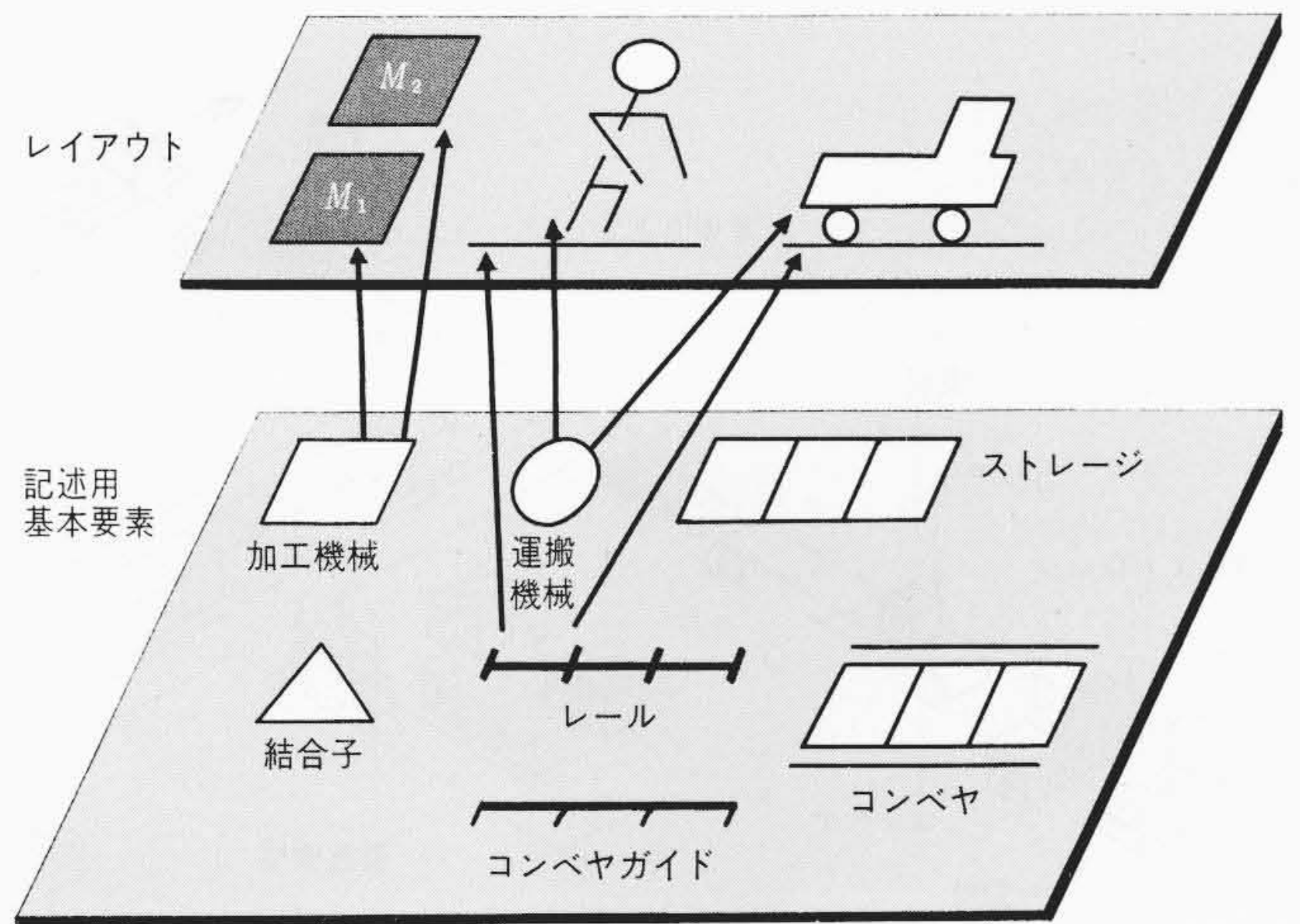
ここで、たとえば、 C_j^* の式の機能を詳細に示せば次のとおりである。 A_i はストレージ S_j の中にある加工物で、 $\{A_i\}$ はその集合である。また、 $Sel[\{A_i\}:\varphi]$ は $\{A_i\}$ の中から条件 φ に適合した加工物 A_j^* を選択する操作を意味する。 Rc は加工物の選択基準であり、スケジューリング機能 f_j によって決定される。

5.2 “MAFLOS”による生産システムの記述法

加工・組立工程の機能を分析して、“MAFLOS”では前述のように、7種の工程記述用基本要素を導入したが、それは、工程における次の設備の機能に類似している。

- (1) 加工機械（P/M）：加工物の加工および組立機械
- (2) ハンドリング機械（H/M）：マシンハンドおよびクレーンなどのような運搬機械
- (3) コネクタ（C/N）：単純化したH/M
- (4) レール（R/L）：H/Mを誘導するPath
- (5) コンベヤ（C/V）：ベルトコンベヤ、オーバヘッドコンベヤなどのような運搬機械
- (6) コンベヤガイド（C/G）：C/Vを誘導するPath
- (7) ストレージ（S/G）：加工物の貯蔵倉庫

また、表1は基本要素の主要パラメータと記号を示すものである。また図5は、この記号を用いて、工程をモデル化した例を示すものである。



注：運搬機械＝ハンドリング機械

図3 レイアウト記述用基本要素“MAFLOS” 設備レイアウトが容易に記述できることを目的として“MAFLOS”が採用した7種の基本要素を示す。

Fig. 3 Unit Element to Describe Equipment Layout in Manufacturing System

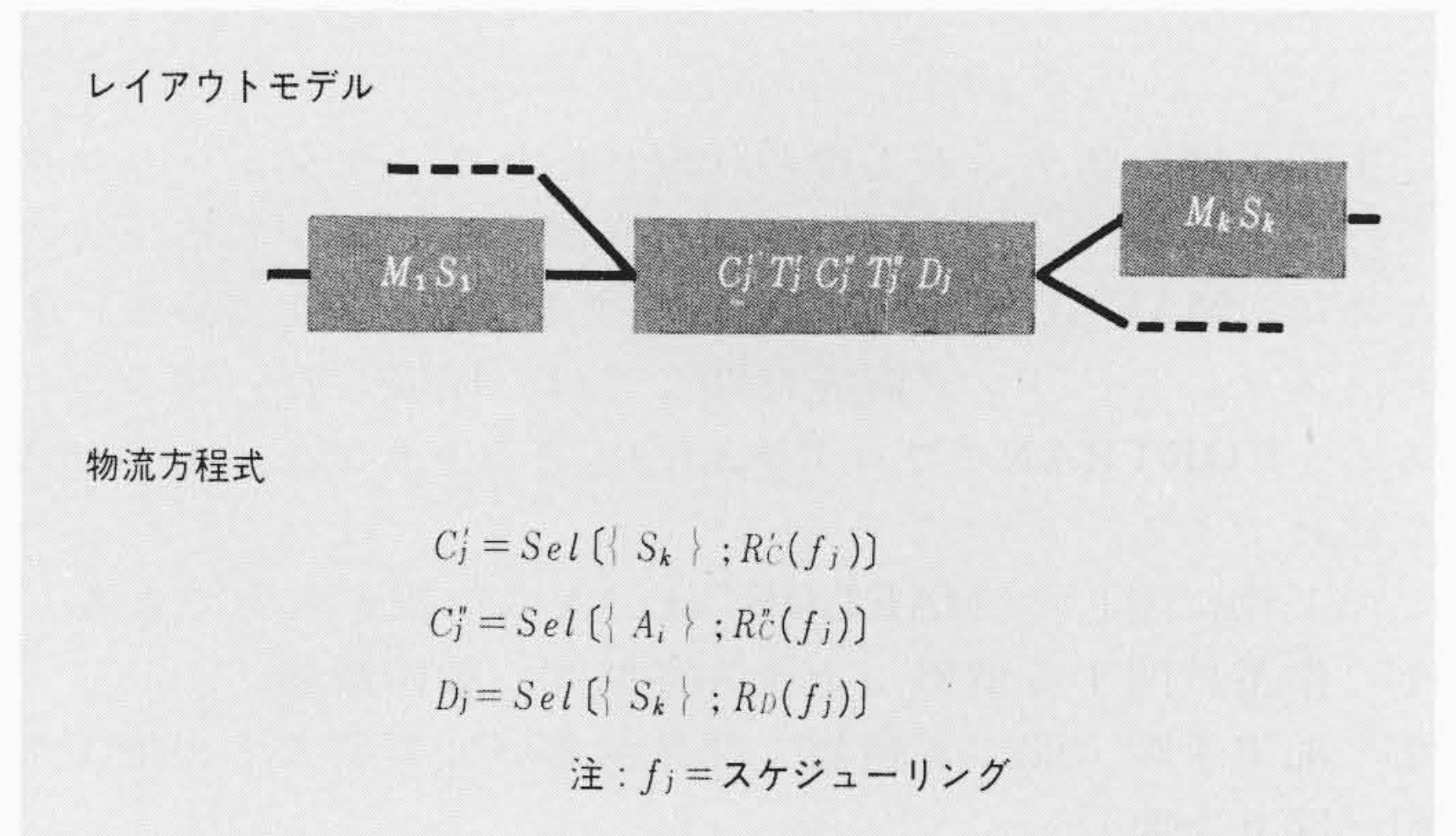


図4 “MAFLOS”による工程モデル “MAFLOS”のプログラム上の基本的な処理方式を示す。

Fig. 4 Simulation Model in MAFLOS

表1 工程記述用基本要素の記号 工程基本要素の記号とそのおもな性能を表わすパラメータを示す。

Table 1 Symbols for Unit-Equipment

工程基本要素	シンボル	おもなパラメータ
加工機械	P/M	加工速度
ハンドリング機械	H/M	運搬速度
コネクタ	C/N	レール番号
レール	R/L	座標 (ブランチ番号, X, Z)
コンベヤ	C/V	運搬速度 長さ
コンベヤガイド	C/G	座標 (X)
ストレージ	S/G	容量 (X, Y, Z)

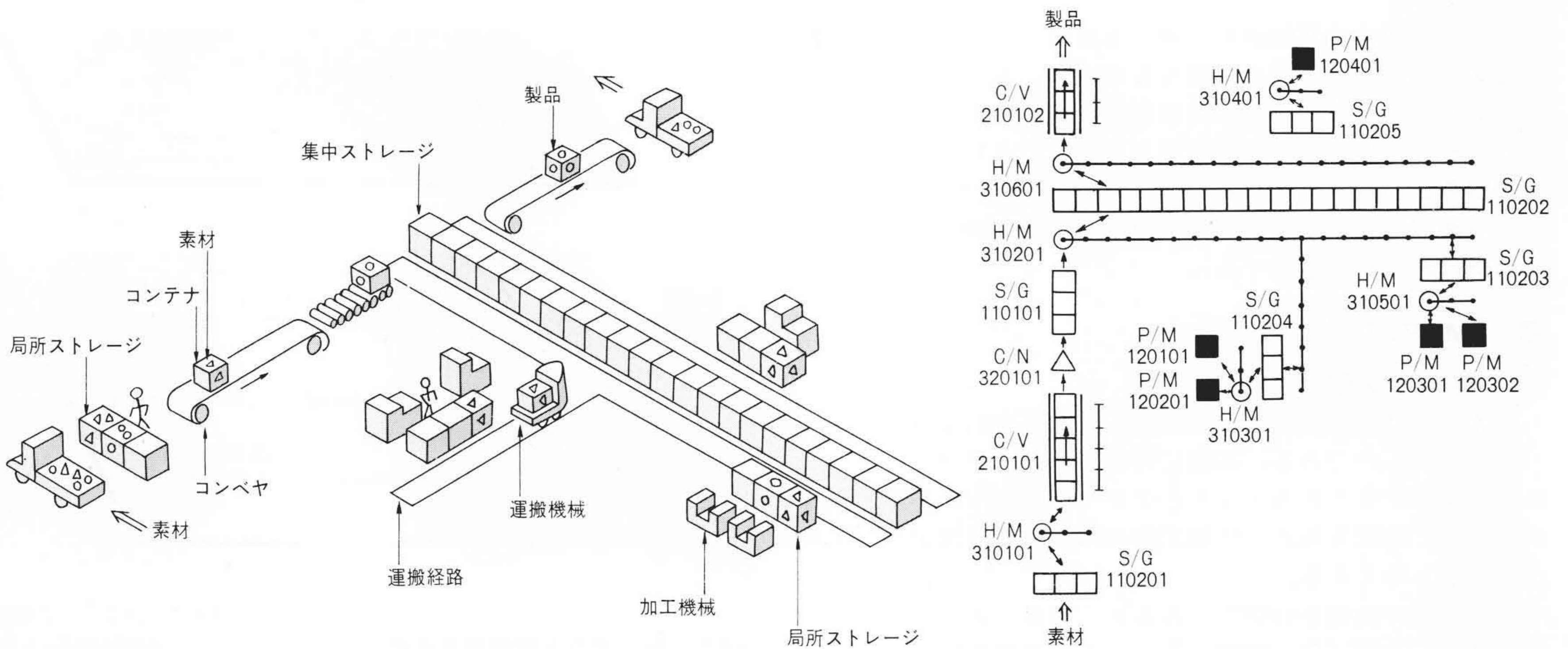


図5 生産システムの一例と“MAFLOS”における工程記号表示
工程構成を表現した例を示す。

表1に示した七つの基本要素で

Fig. 5 Shop Structure Schema with “MAFLOS” Symbols

生産管理システムが工程の状況に応じてスケジューリングを行なう場合には、工程の状況を観測する必要がある。このために、“MAFLOS”は工程を観測する機能を有している。また、スケジューリング機能に関しては、模擬したいアルゴリズムをFORTRANでプログラム化し、それをサブルーチン形式で結合できる。

加工物に関して“MAFLOS”は、次の情報を入力できる。

- (1) 作番に関する情報：生産許容期間，製作数量。
- (2) 加工手順に関する情報：部品あるいは製品ごとの加工手順（図6参照）。

5.3 “MAFLOS”の全体構成

図7は、“MAFLOS”の全体構成を示すものである。まず、データ入力プログラムにより、各項のデータが入力される。

また、各設備には作業順序を決定するためのスケジューリングプログラムが付加される。時刻進行機構プログラムによって、時刻が進行され、下記のいずれかの条件によって、スケジューリングプログラムが起動され、各設備における作業順序が決定されるとともに、各設備における作業が進行される。

- (1) 定期的にスケジュールをつくる場合には、あらかじめ定め時刻。
- (2) 工程の状況に応じてスケジュールをつくる場合には、あらかじめ設定した工程の状況。

なお図8は“MAFLOS”の入出力情報の関係を示すものである。

6 “MAFLOS”の適用例

“MAFLOS”で、すでにいくつかの工程のシミュレーションを行なっている。その一例について以下に述べる。

図9は、適用工程の概念図を示すものである。すなわち、部品ショップIで部品群 $\{a_i\}$ が製作され、部品ショップII、IIIで部品群 $\{b_i\}$ が製作される。対応する部品 a_i と b_i が組立ショップで組み合わせられ、検査ショップを経て完成品となる。各ショップは多数の機械から成っている。全体の主要設備台数は、加工機械20台、ハンドリング機械20台、ストレージ18個である。なお、加工機械によって、1日の稼動時間は異なる。

この生産システムについて、3とおりの条件でシミュレーションを行なった。その結果の中から、生産能力について説明する。図10の実験1は、部品ショップIと組立ショップ間の負荷バランスを主として考慮したスケジュールに従って生産した場合のシミュレーション結果である。この結果、部品ショップIIとIIIの負荷バランスが非常に悪いことがわかったので、それを主として考慮したスケジュールで生産する場合のシミュレーションを実験2として行なった。その結果、実験1より生産能力が増加したが、まだ十分でないので、実験2で能力ネックとなっていた機械の台数を2倍にして、実験3を行なった。これによって、生産能力を目標値にすることができた。

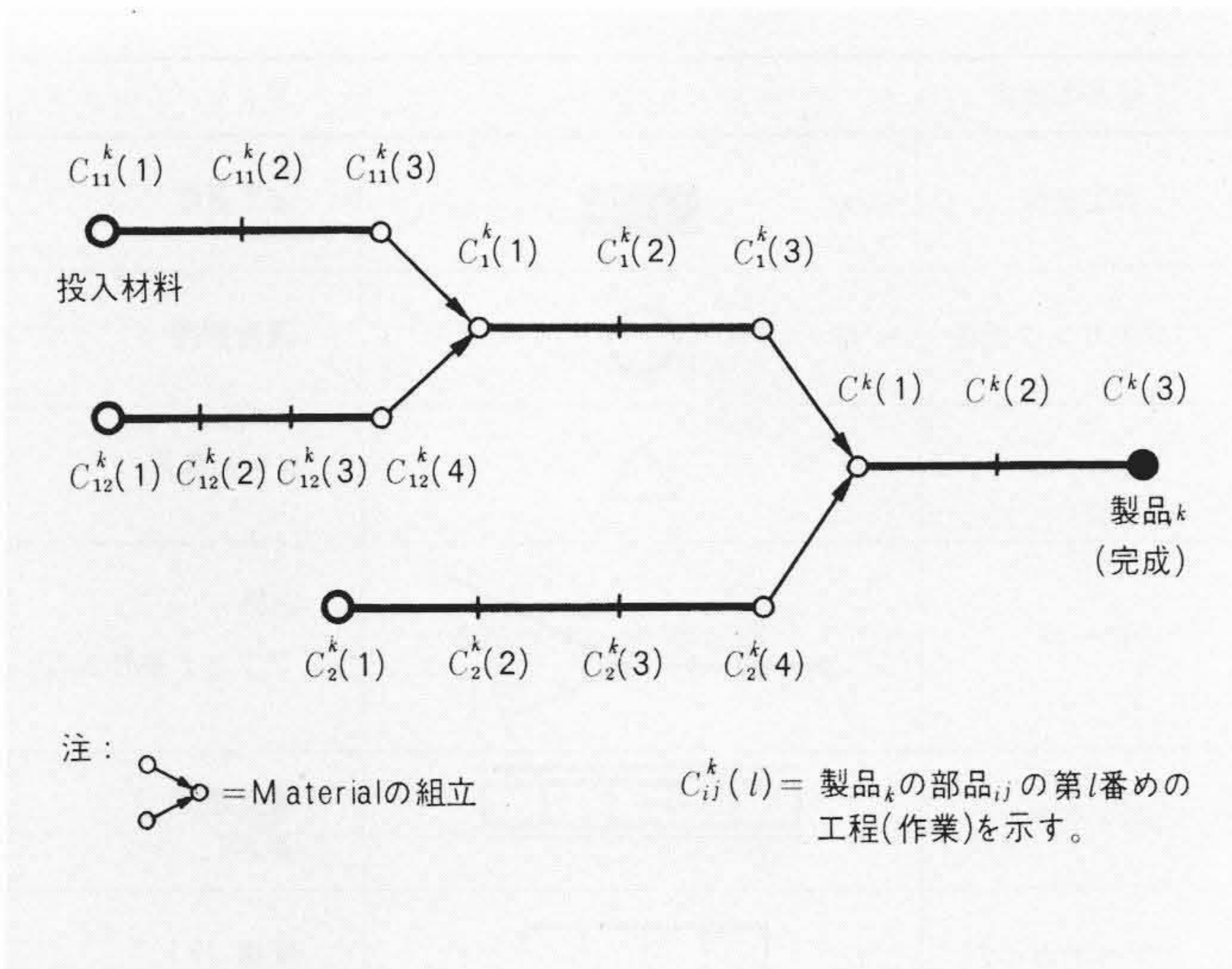


図6 加工手順図 “MAFLOS”で扱える加工物の部品構造を示す。

Fig. 6 Product Structure

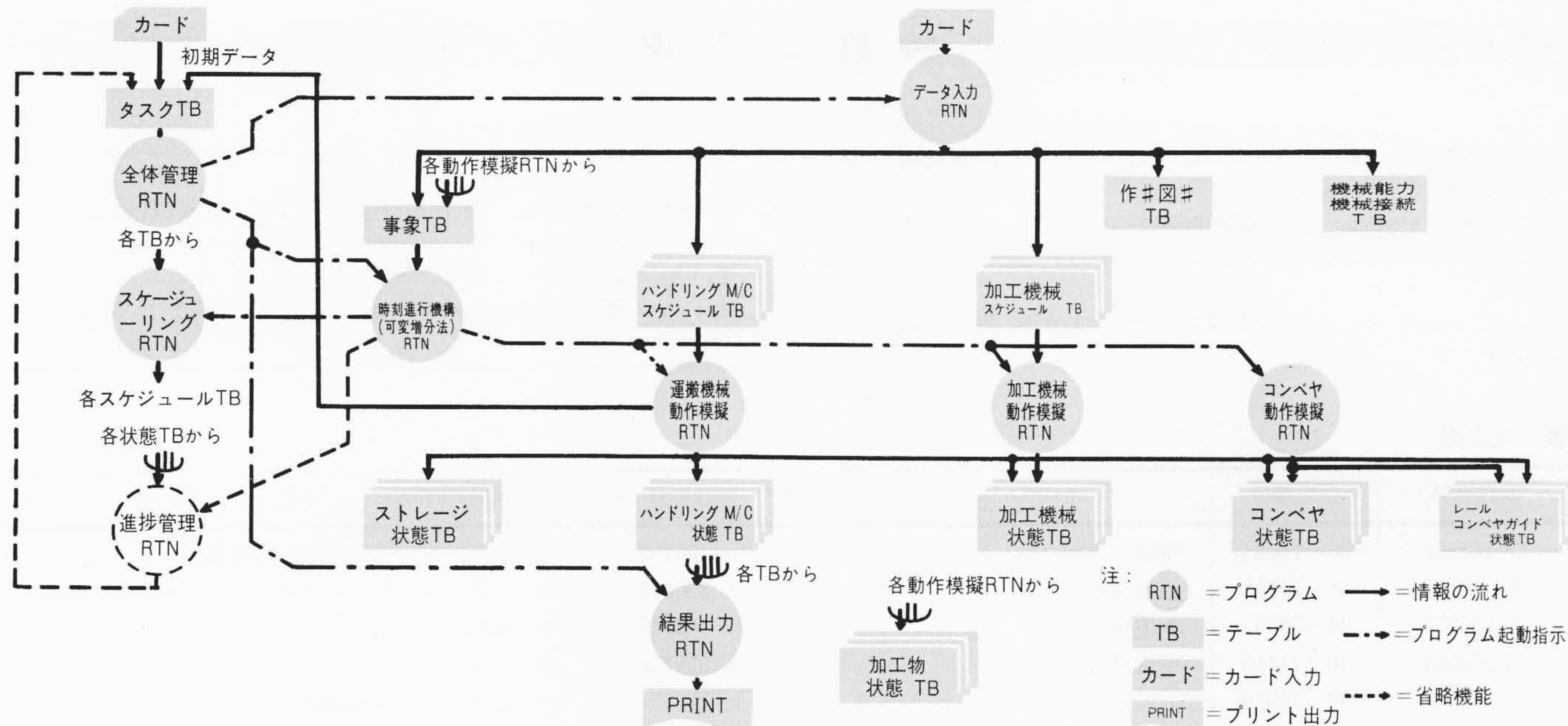


図7 “MAFLOS”のプログラム全体構成図

“MAFLOS”のテーブルとプログラムの全体的な関係を示す。

Fig. 7 Program Structure of “MAFLOS”

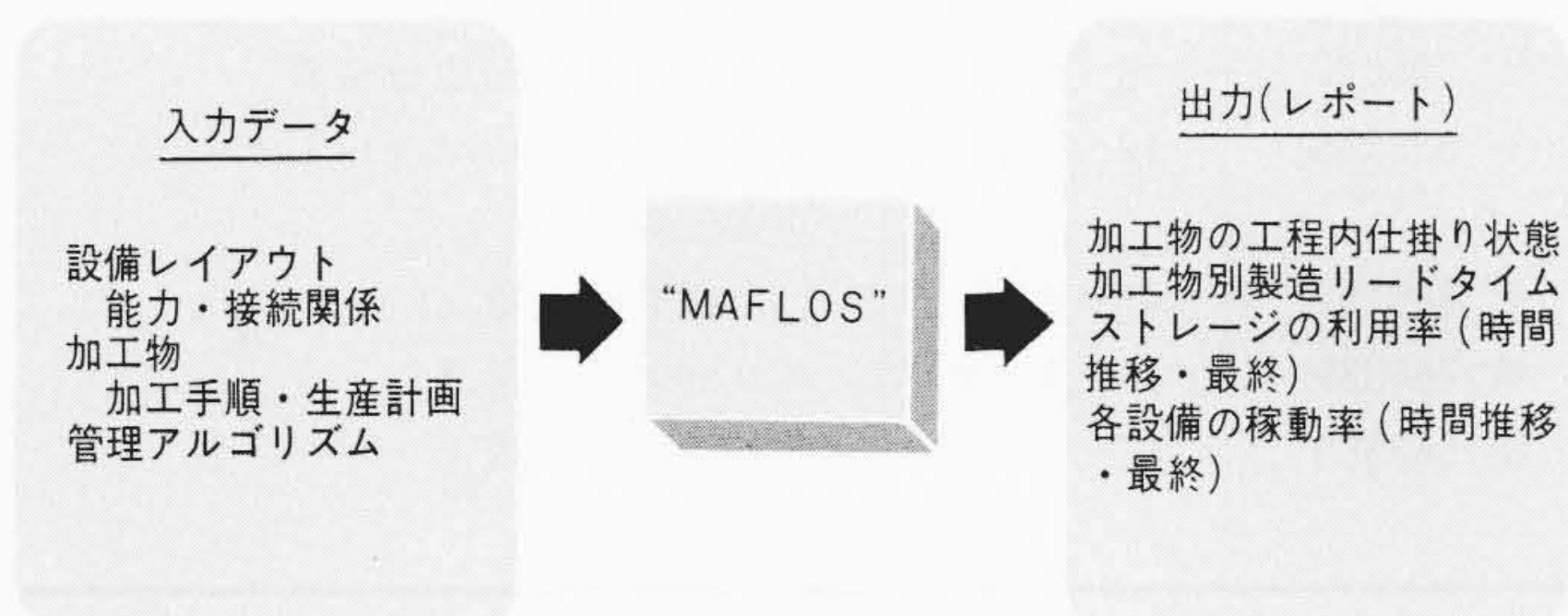


図8 “MAFLOS”の入出力情報 “MAFLOS”に入力することができるデータ項目と出力レポートのおもな項目を示す。

Fig. 8 Input Data and Simulation Reports

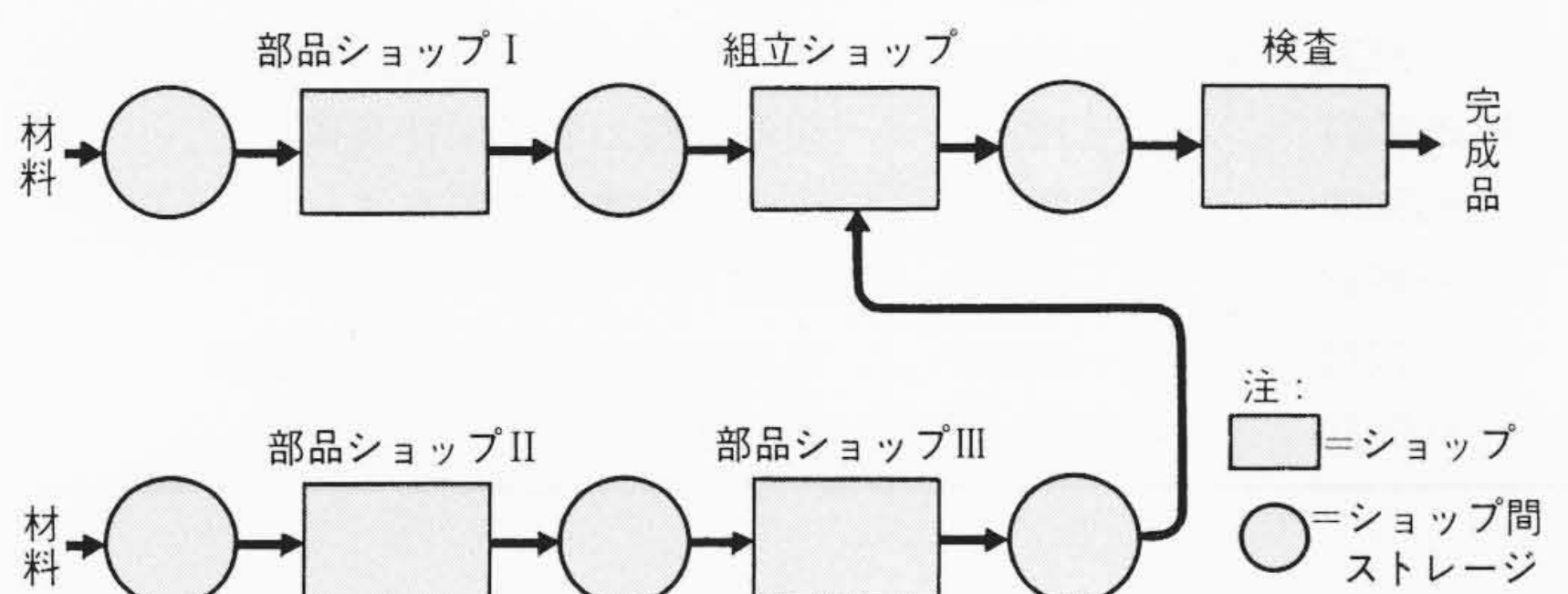


図9 “MAFLOS”の適用例：工程概念図 工程設計に“MAFLOS”を利用した工程の概念図を示す。

Fig. 9 An Example of Application of “MAFLOS”

7 結 言

汎用生産工程シミュレータ“MAFLOS”は、自動倉庫システムを含む機械加工・組立工程などの生産システムに対して、工程レイアウト設計とか、スケジューリング方式の検討に適用できる。すなわち、生産システムの性能（生産能力、製造リードタイム）を事前に評価することにより、その性能改善の方策を考慮するためのデータが得られ、生産システムのコストパフォーマンスの最適化と、開発期間の短縮が図れる。

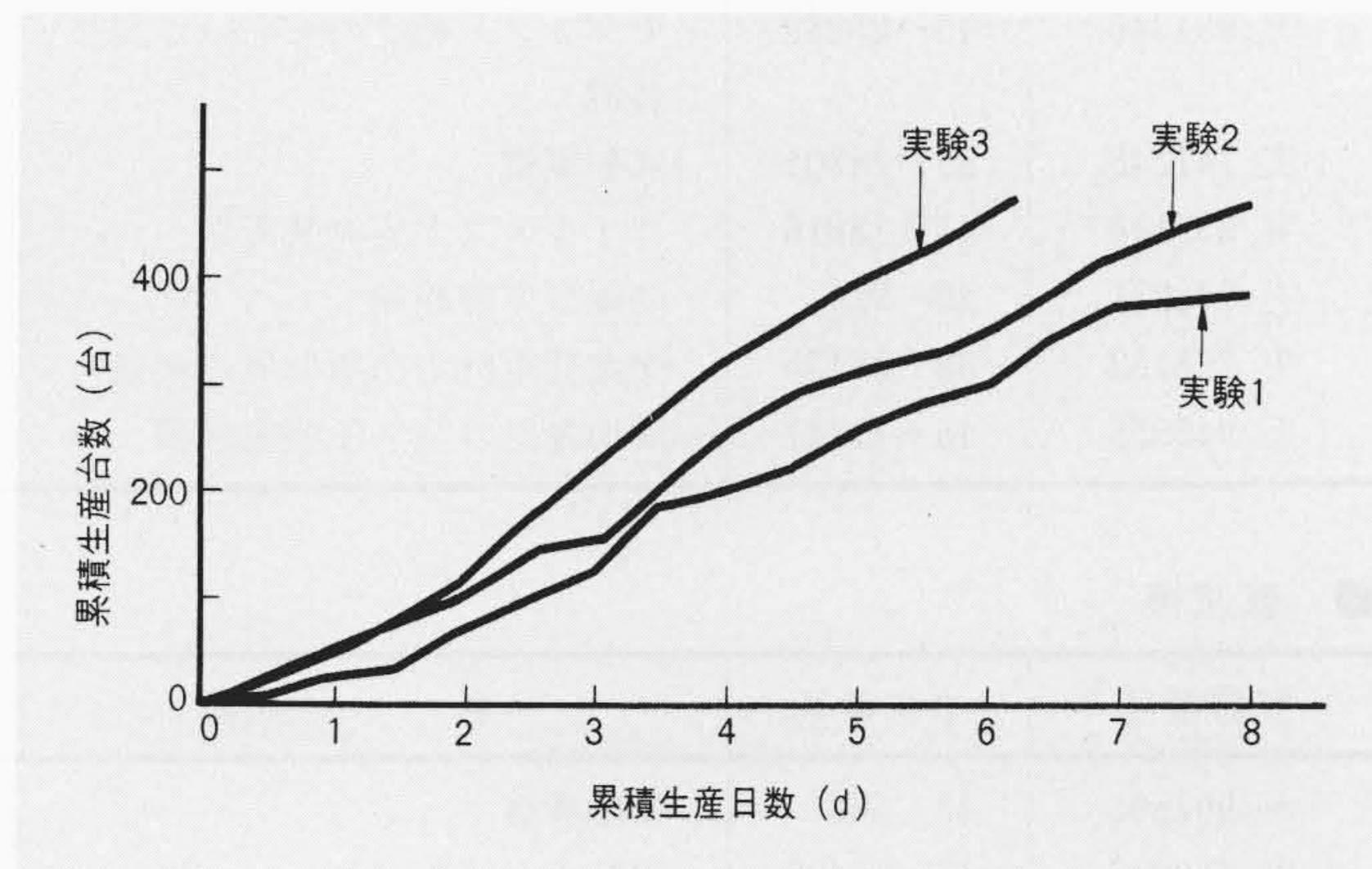


図10 シミュレーション結果の例 図9の工程を“MAFLOS”でシミュレーションした結果の一部(累積生産台数)を示す。

Fig. 10 An Example of Simulation Reports

参考文献

- (1) K. Mitome et al.: Schedule Control of Multi-Commodity Mass-Production Systems, 1972 Conference on Islands Application 1972, IEEE
- (2) 「生産管理システム特集」, 日立評論, 55, 163~194(昭48-2)
- (3) J.H. Mize et al.: Essentials of Simulation (1968 Prentice-Hall)
- (4) M.U. Khan: Simulator Model of Overhead Crane System, IE, 1971-9, 13~17
- (5) Proceedings of Winter Simulation Conference, 1973-1 IEEE
- (6) 若山: シミュレーション言語, 数理科学, 1972-12 14~20
- (7) K. Mitome et al.: A Generalized Manufacturing System Simulator, 1973 Winter Simulation Conference, 1973 IEEE
- (8) 松田: 経営システム体系-2, 218~229, 1969-11, 日本生産性本部
- (9) 三留他: 「生産工程内物流シミュレータ(MAFLOS)の開発」, 1973-4 電気学会