

PASS：予測生産管理のための対話型オンライン・シミュレータ

PASS:An Interactive Online Simulator for Predictive Production Control

オンライン計算機を導入した生産管理システムは、データ収集や指示伝達を目的とした段階から、時々刻々の判断業務の自動化へと重点が移りつつある。しかし、条件整備が困難な一般の生産工場では、むしろ、人間がより高度な判断ができるためのマンマシン管理システムが望まれよう。本稿では、工程異常の予知と原因・対策の分析をインタラクティブに行なえる対話型の予測評価システム：PASSについて述べる。

PASSは、オンライン・シミュレータとCRTカラー・ディスプレイの組合せによるマンマシン機能を持つ。また、各ユーザーの生産管理システムへの組込みを容易にするために、CRTの表示機能を含めてパッケージ化されている。これにより、工程異常を先取りし、予測に基づく先手管理機能を強化できる。

1 緒 言

生産管理業務にオンライン計算機が導入された過程をみると、最初は製造現場からの情報収集や各部署への指示伝達を目的としたシステムであった。それが発展して現在は、工程の状況変化に応じて時々刻々の作業指示を作成し、制御する「ダイナミック・スケジューリング・システム」も開発されている^{1),2)}。ダイナミック・スケジューリングまで進んだシステムは生産管理の一つの理想ではある。しかし、そのようなシステムは、自動化の進んだプロセス産業や量産工場でなければ実現が難しい。一般の生産工場では、工程時間の推定値や作業能力などの基礎データに不確定な変動要素が多く、機械的な計算では処理しきれない複雑な判断が必要になるためである。このような制約のもとでは、判断業務の自動化をねらったダイナミック・スケジューリング・システムよりは、人間が高度な判断ができるための分析情報を提供するシステムが望まれよう。そのような意志決定支援システムの一つが、図1に示す対話型の予測・評価システムである。この図は、計算機が未来の工程異常を予知して人間に警報を出すとともに、人間が立案した異常対策の影響を評価する機能を持つことを表わしている。一般に、生産管理業務には自部署内の運用に関するものと他部署との調整業務とがあり、例えば、設計、資材、製造などの部署別の期限を決定することは後者の例である。自部署内の運用とともに各部署相互の調整を合理的に行なうためには、作業量の変動や仕掛量、期限遅延などに関して、各部署に及ぼす影響を定量的に予測し評価できなければならない。これを実現するためには、個人的な主観や組織の力関係に依存しない予測・評価システムが不可欠であろう。図1は、このシステムが自部署内の運用に関する分析情報を得るとともに、他部署との調整作業の手段としても用いられることを示している。以上の観点から、筆者らは、Cathode Ray Tube(以下、CRTと略す)カラー・ディスプレイとオンライン・シミュレータを中心とした対話型の予測・評価システムを開発し、これをPredictive Adaptive Simu-

田畑邦晃* Tabata Kuniaki
森 欣司** Mori Kinji
三森定道** Mitsumori Sadamichi
大島啓二*** Ôshima Keiji
小野 光**** Ono Hikaru

lation System(以下、PASSと略す)と名づけた。
従来、開発された生産工程シミュレータには専用・汎用各種のモデル^{3),4)}があるが、その多くはオフラインでのシステム分析のためのものである。これに対して、PASSは日々の生産管理業務に適用できるオンライン・シミュレータであることが特徴である。
PASSは、表1に示すような工程管理や部品管理、原価管理などのそれぞれの業務に応じたモジュールで構成されているが、本稿では、ジョブショップ型工程での工程管理用のモジュール⁵⁾について報告する。

表1 PASSのモジュール PASSは工程管理や部品管理、原価管理などの業務的モジュールで構成される。

PASSのモジュール	機 能
工程管理モジュール	部品・製品の現在状況と工程の作業スケジュールなどから、納期遅れや仕掛け増加などの異常を予知する。
部品管理モジュール	部品の在庫量、納入予定、使用予定などのデータを用いてシミュレーションし、過剰在庫や在庫切れの予想される品目、在庫点、時期を出力する。
原価管理モジュール	現在までの発生原価、作業予定、材料使用予定などから、将来に予想される原価を推定し、管理限界オーバーの警報を出力する。
品質管理モジュール	ロット不良率の変動などを予測する。
設備管理モジュール	設備使用予定をもとに、設備故障率を予測し、設備管理基準と対応させて、メンテナンス時期を予告する。
工具管理モジュール	工具使用予定をもとに、寿命推定し、交換時期を予告する。また、工具在庫量、入荷予定などから工具切れを予測する。

* 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 *** 日立製作所大みか工場
**** 日立製作所機電事業本部計算制御技術本部

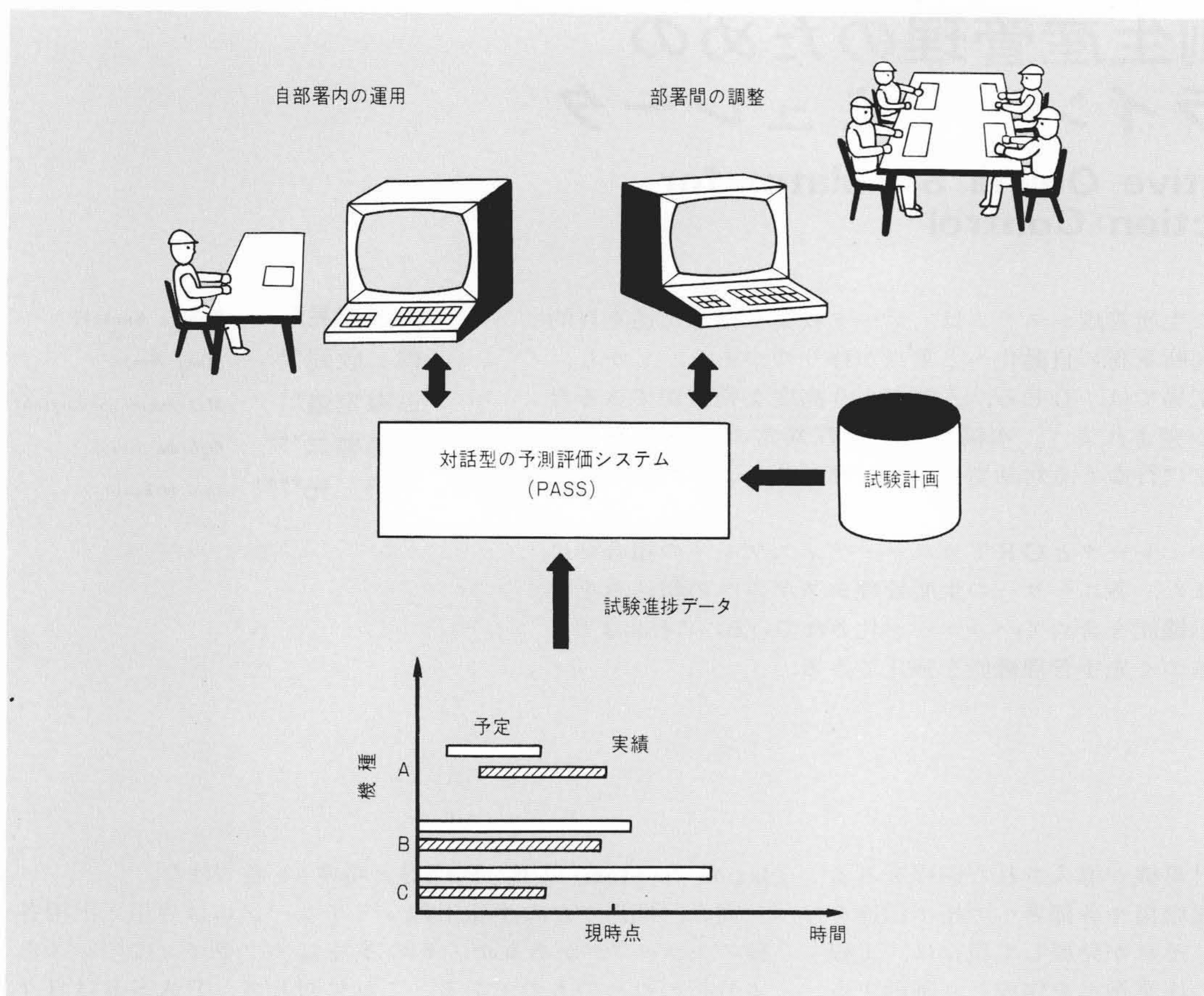


図1 対話型の予測・評価システム(PASS) PASSは、自部署内の運用に関する分析情報を得るとともに、他部署との調整の手段としても用いられる。

2 PASSの基本機能とマンマシン・コミュニケーション

従来の生産管理システムとPASSの相違点を図2に示す。従来のシステムのねらいは、(1)製造現場からの作業実績の報告によって工程の現況を知ることと、(2)工程の現況に対応した作業計画を自動作成することに重点が置かれている。反面、工程の未来の異常を予知することや、その対策の効果を推定する仕事は、従来は、ほぼ全面的に人間の判断だけにたよっていたと言えよう。しかし、工程異常の発生を事前に防止し、異常を先取りした先手管理を実現するためには、予測・評価機能を強化できるシステムが要求されるであろう。このような観点から、PASSには次の機能を持たせている。

(1) 工程異常の予測機能

工程管理上、注目すべき現象は、計画期限からの遅延や作業量のピーク、無作業による稼働率の低下、仕掛量の増加などであろう。PASSは、製造現場の作業進捗状況を随時監視し、工程の未来の挙動を模擬することによって、これらの異常値の発生を事前に予知し警報を出力する。ただし、この予測には作業計画と工程の現況に関するデータが必要であり、そのデータは外部のシステムからPASSに入力しなければならない。

(2) 異常対策の評価機能

工程異常への対策として、一般の生産工場では、計画期限や作業の優先順位、生産能力、作業担当部署などを変更する場合が多い。このうちの任意の代替案を人間が設定すれば、PASSは、その対策が工程に及ぼす影響を定量的に推定する。このときのシミュレーションの条件は、CRTのキーボードから修正できる。また、PASSの処理結果は、CRT上にカラー表示される。このような計算機との対話によって、実施すべき異常対策を決定できる。

以上に述べたように、PASSは異常予測と原因分析・対策評価のためのマンマシン・システムであり、これらの機能は図3に示すマンマシン・コミュニケーションによって実現される。

3 処理の概要

PASSの処理内容を説明するために、その入出力データについて述べる。

3.1 入力データ

PASSの起動に必要なデータを大別すれば、(1)作業計画、(2)計画値に対する工程の現在の進捗状況、(3)シミュレーション・モデルの修正内容を表わす設定条件、(4)PASSの起動制御データがある。このうち、(3)は異常対策の任意の代替案をPASSに設定するためのデータであり、これによって、各物件の計画期限や優先順位、作業担当部署、各部署の生産能力などをCRT上で変更できる。また、(4)は、シミュレーションの開始と終了、CRT表示情報の選択など、PASSの起動を制御するためのデータであり、これをCRTのキーボードから指示する。一方、(1)と(2)については、ユーザーの既設の生産管理システム内のデータを、PASSが自動的に編集して取り込むが、この内容を次に説明しよう。

本稿で報告するPASSは、ジョブショップ型の工程を対象にしている。このため、後述のように各物件の作業計画をPERT(Program Evaluation and Review Technique)モデルで表現している。したがって、上に述べた入力データの(1)とは、このPERTを記述するデータを意味する。つまり、PERTネットワークの各ノードとアークに対応した計画期限、作業時間、担当部署、作業の先行・後続関係などである。また、これ以外に、各作業間の優先順位や各部署の生産能力の

データをもPASSに入力する。

3.2 出力データ

PASSの処理結果はCRTに表示される。また、所定のデータ領域に格納することもできるので、ユーザーはPASSの出力データを利用した処理プログラムを作成できる。

CRT画面の表示例を図4～7に示す。図4はシミュレーション結果の要約を表わし、部署101、102…に対し、画面の右から順に、生産能力と作業負荷の比率、作業進捗バランス、遅延日数及び部署相互の遅延の影響度マトリックスをカラー表示する。この要約表示によって、工程の未来の状況の概要を知ることができる。更に詳細を調査する場合には、部署名あるいは物件名を指定して、次の図5～7のデータをCRT画面に呼び出せばよい。図5は、ある物件の作業の予測進捗を示したもので、部署101～110での作業61～65の計画期限、予測遅延日数、クリティカル・パスなどが表わされている。図6は、ある部署の生産能力と作業負荷を時系列で示したもので、過負荷や無作業などの異常値をカラーで識別できる。図7は、ある部署での遅延物件と停滞物件を示すもので、そ

の日数とともに表示される。

4 シミュレーション手法

オンラインのシミュレーションを実現するためには、記憶容量と計算時間に対する厳しい制約を満たさねばならない。PASSは、展開PERTモデルと二段階PERT計算手法を導入することによってこの問題を解決した。次にその概要を説明する。

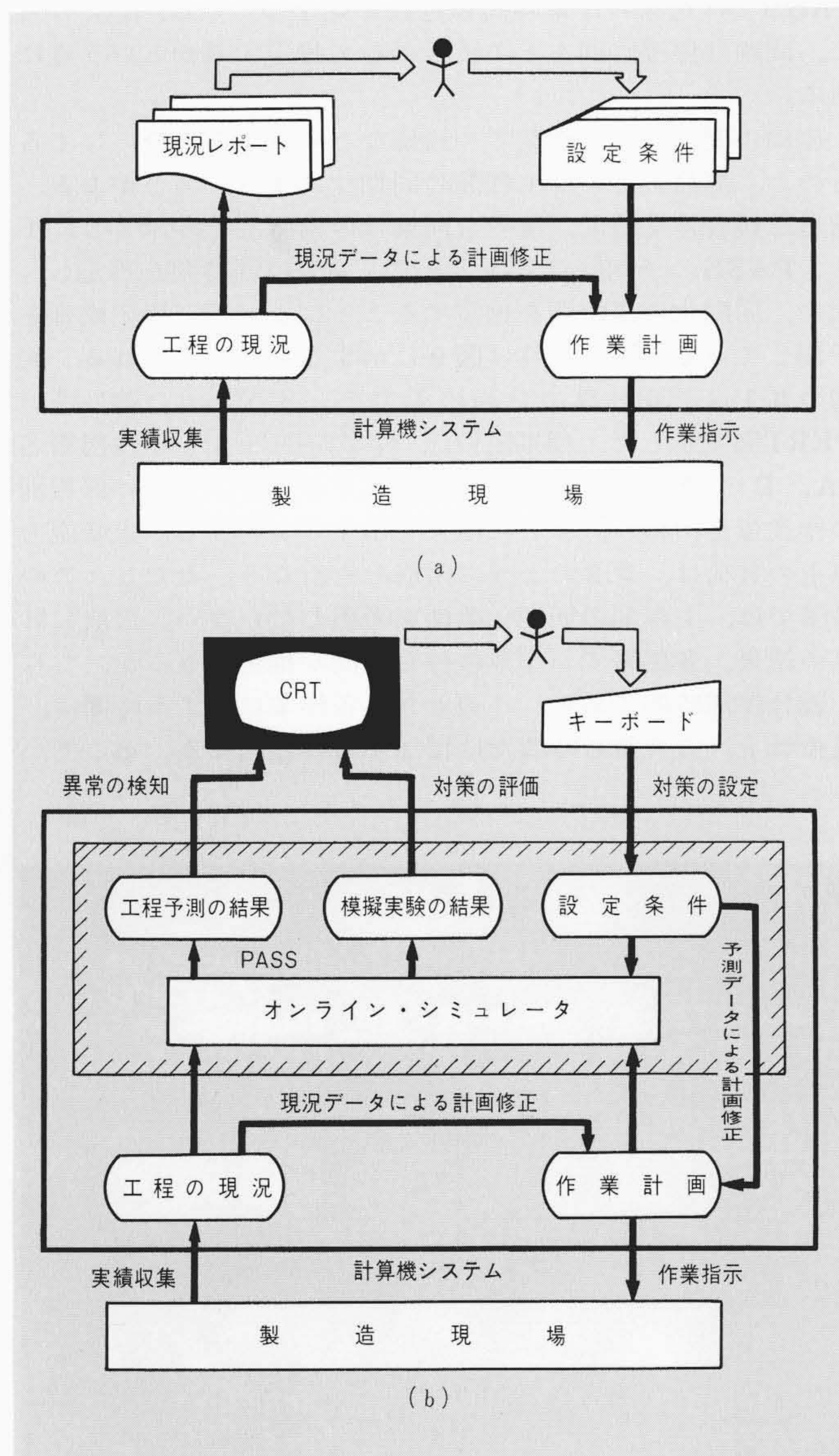


図2 PASSの基本機能[(a)従来の生産管理システム、(b)PASS]
PASSは工程異常を予知し、対策・原因の分析をインタラクティブに行なえる対話型の予測評価システムである。

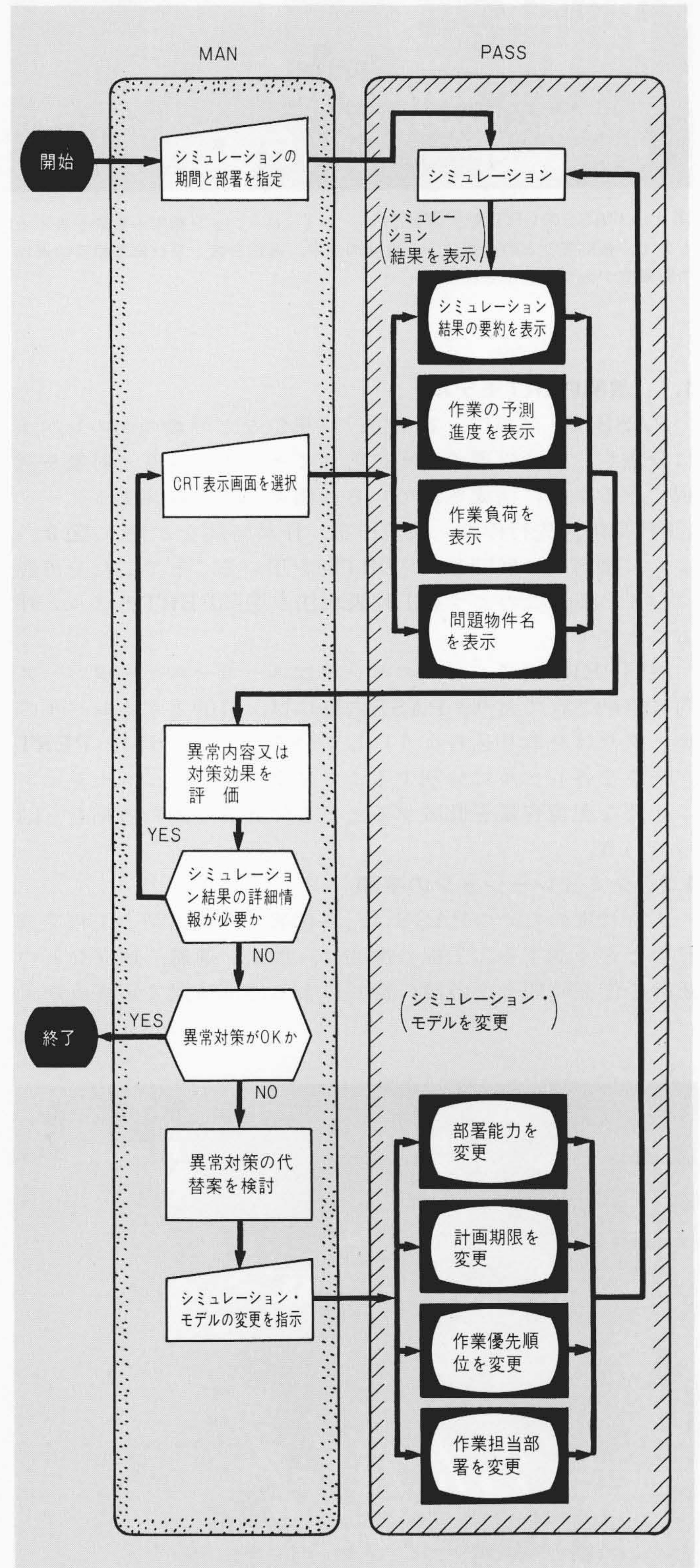


図3 PASSのマンマシン・コミュニケーション 計算機との対話によって、工程異常の予測と原因分析、対策評価が行なえる。

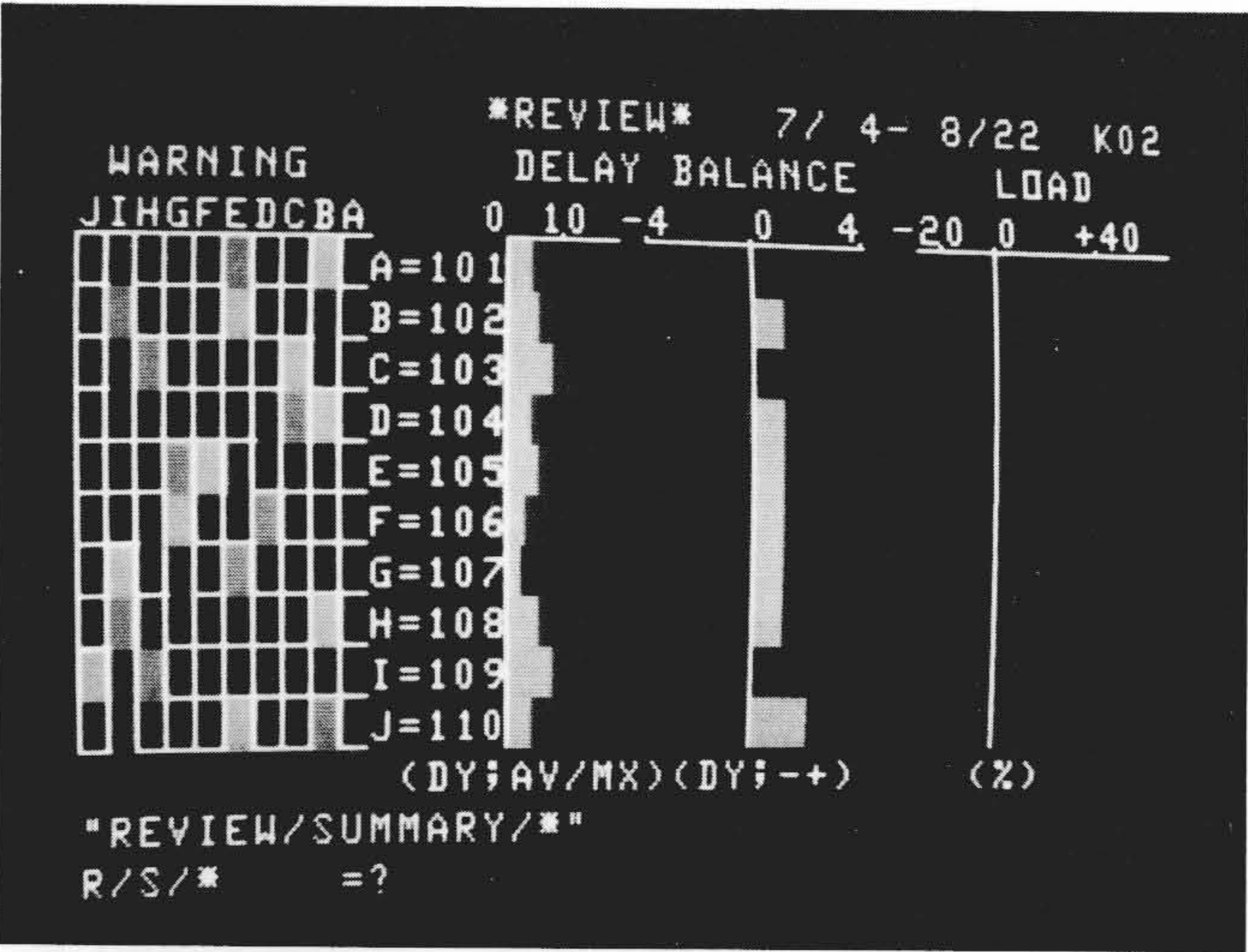


図4 PASSのCRT表示画面(1) シミュレーション結果の要約を表わすもので、各部署ごとの生産能力と負荷の比率、遅延日数、及び部署相互の遅延の影響度がカラー表示される。

4.1 展開PERTモデル

PASSは、部単位、課単位、係単位などの幾つかのレベルに分割し、生産管理の立場に応じてモデルの精度と対象を選択できるように構成されている。個々の物件に関するデータ(工程期限、先行作業、後続作業、作業時間など)を、図8のように階層的に展開したPERT図を用いることでこれを可能にしている。このような工程表現法を展開PERTモデルと呼ぶことにする。

展開PERTの各レベルのデータはユーザーのデータベース内に格納されており、PASS内部には、目的とするレベルのデータだけを取り込むようにしている。このように、PERTデータを各レベルに分割することにより、シミュレーションに必要な記憶容量を低減するとともに計算時間の短縮をも図っている。

4.2 シミュレーションの手順

工程管理のためのPASSは、各部署の作業負荷と工程完成日などを予測する。工程の進捗は、加工、運搬、組立などの正味の作業時間と、各種の待ちによる停滞時間で定まるが、

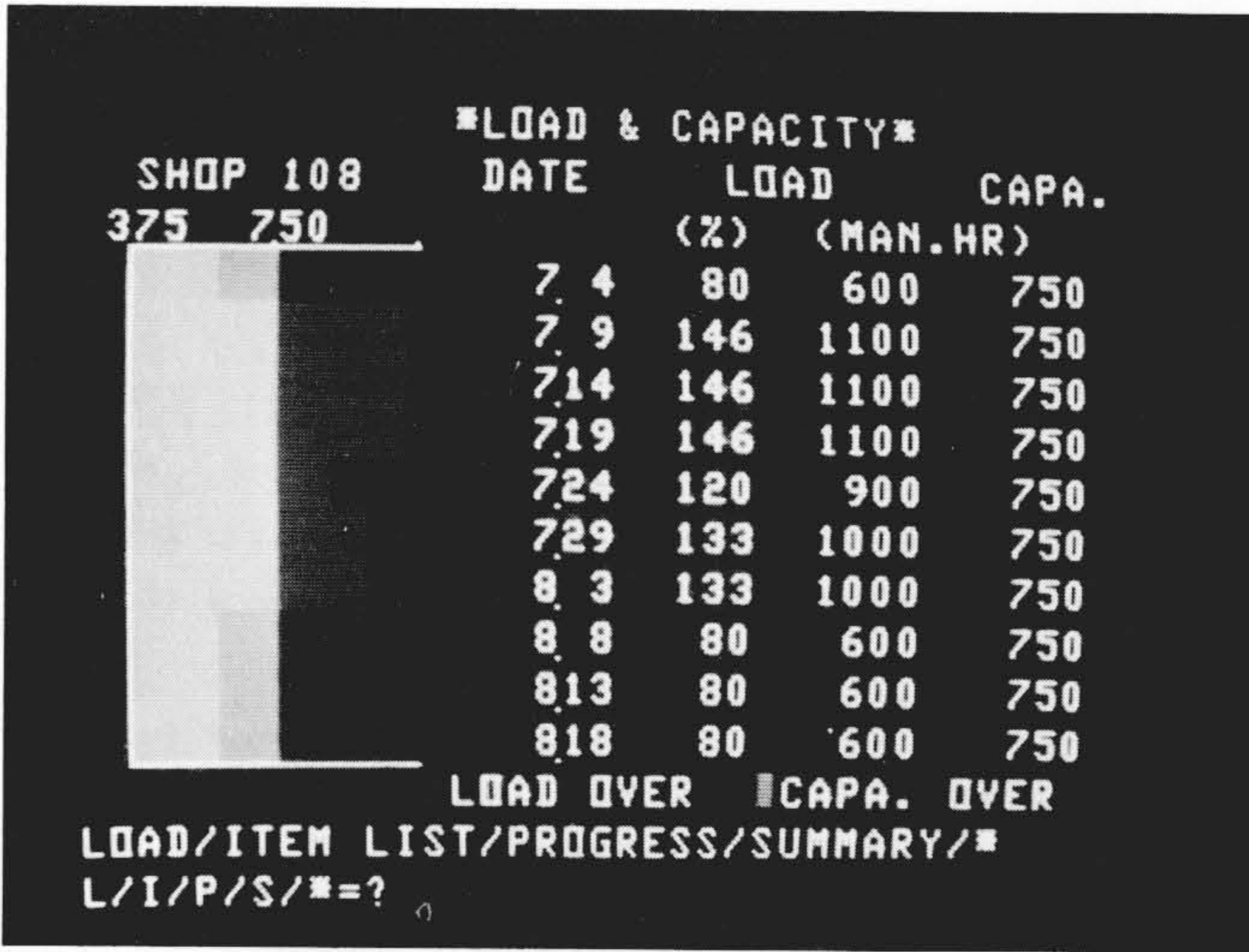


図6 PASSのCRT表示画面(3) ある部署の生産能力と作業負荷を時系列で示したもので、過負荷や無作業などの異常値をカラーで識別できる。

PASSでは正味の作業時間を定数と見なしている。したがって、問題は停滞時間をどのようにして推定するかという点にある。

停滞の要因には、作業や設備などの資源の取合いによるものと、部品あるいは工程間の同期化によるものとがある。前者を競合停滞時間、後者を同期化停滞時間と呼ぶことにする。PASSの予測計算では、まず、競合停滞時間を推定し、次に、同期化停滞時間を推定することによって工程完成日を予測している。その計算は図9に示す手順で行なわれる。同図の#1は予測計算のための入力データであり、物件別にPERT図で示した工程期限(t_i)、作業時間(w_{ij})、担当部署名(A, B...)と各部署の生産能力などを与える。#2は部署別の作業量を山積み計算した結果を示す。このうち、生産能力以上の負荷は、#3のように山崩しを行なう。ただし、この段階では、工程間の同期化条件を考慮していない。山崩し計算の結果、各部署での作業の待ち時間が推定できるが、これが競合停滞時間である。このとき、各作業に要する時間は、見掛け上、この待ち時間だけ増加することになる。そこで、

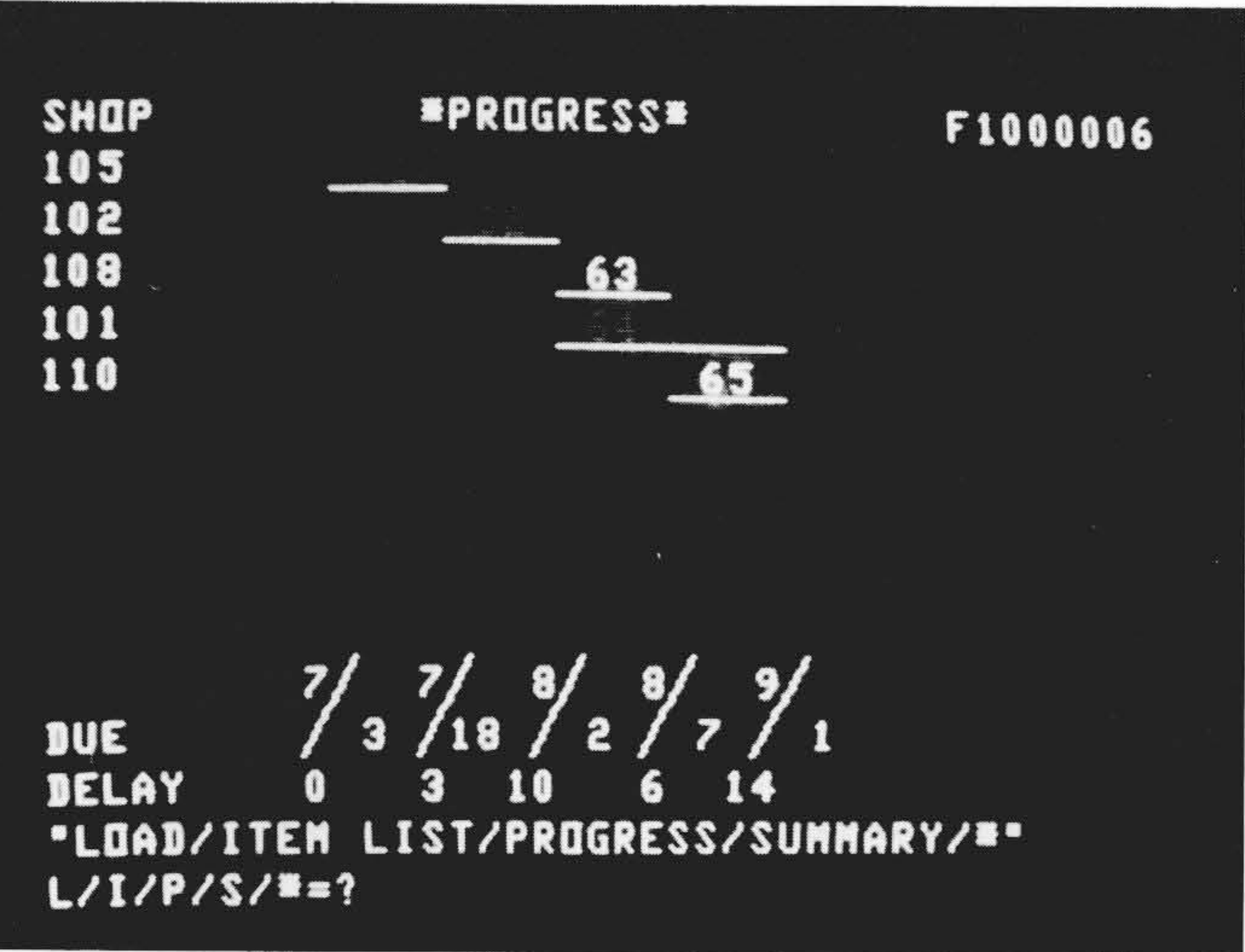


図5 PASSのCRT表示画面(2) ある物件の予測進捗と部署別の計画期限及び予測遅延日数を示す。

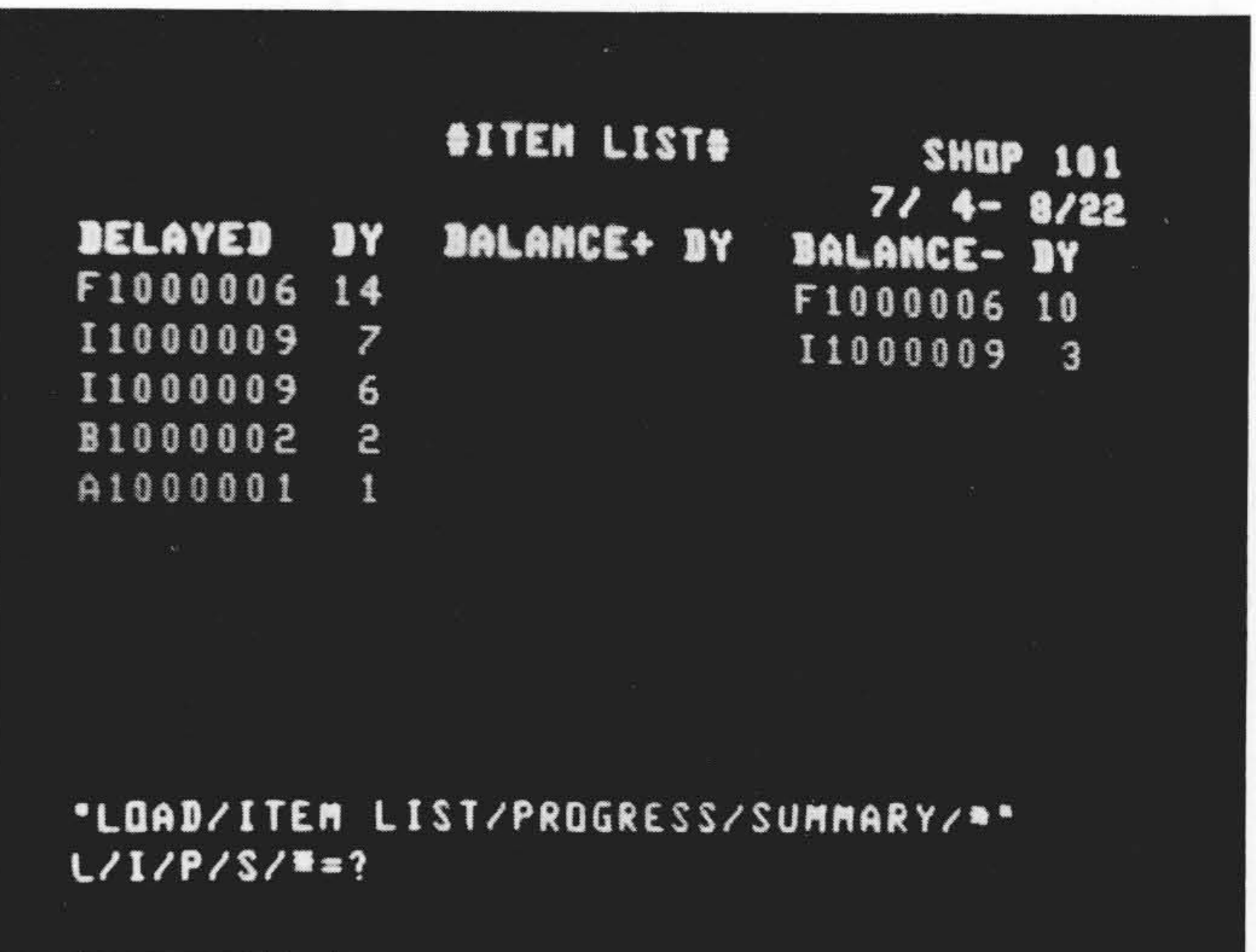


図7 PASSのCRT表示画面(4) ある部署での予測される遅延物件と停滞物件のリストであり、その日数とともに表示される。

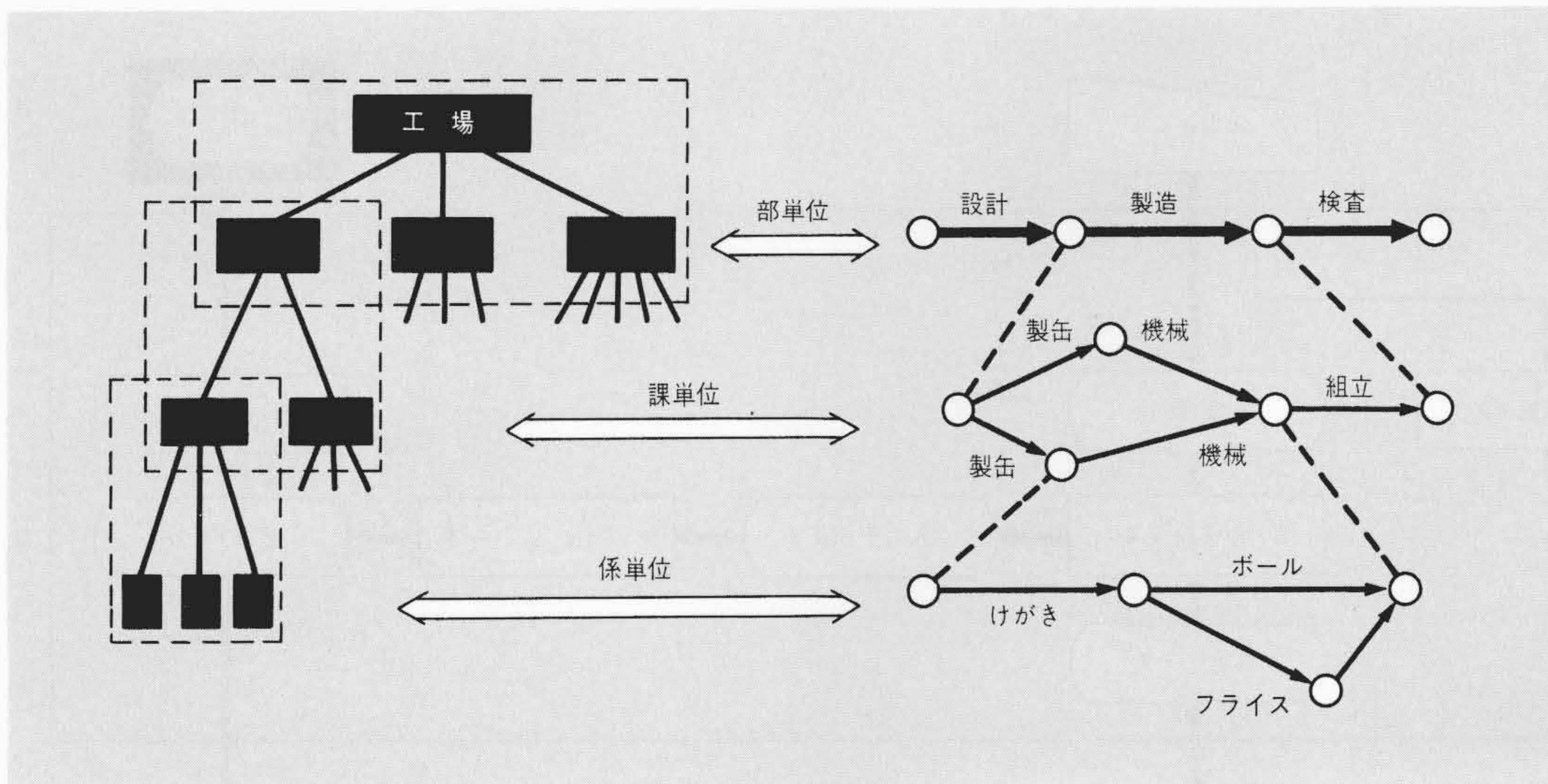


図8 展開PERTによる工程表記法 各物件の工程に関する情報が、部、課、係などの階層別に展開されたPERT図を示す。

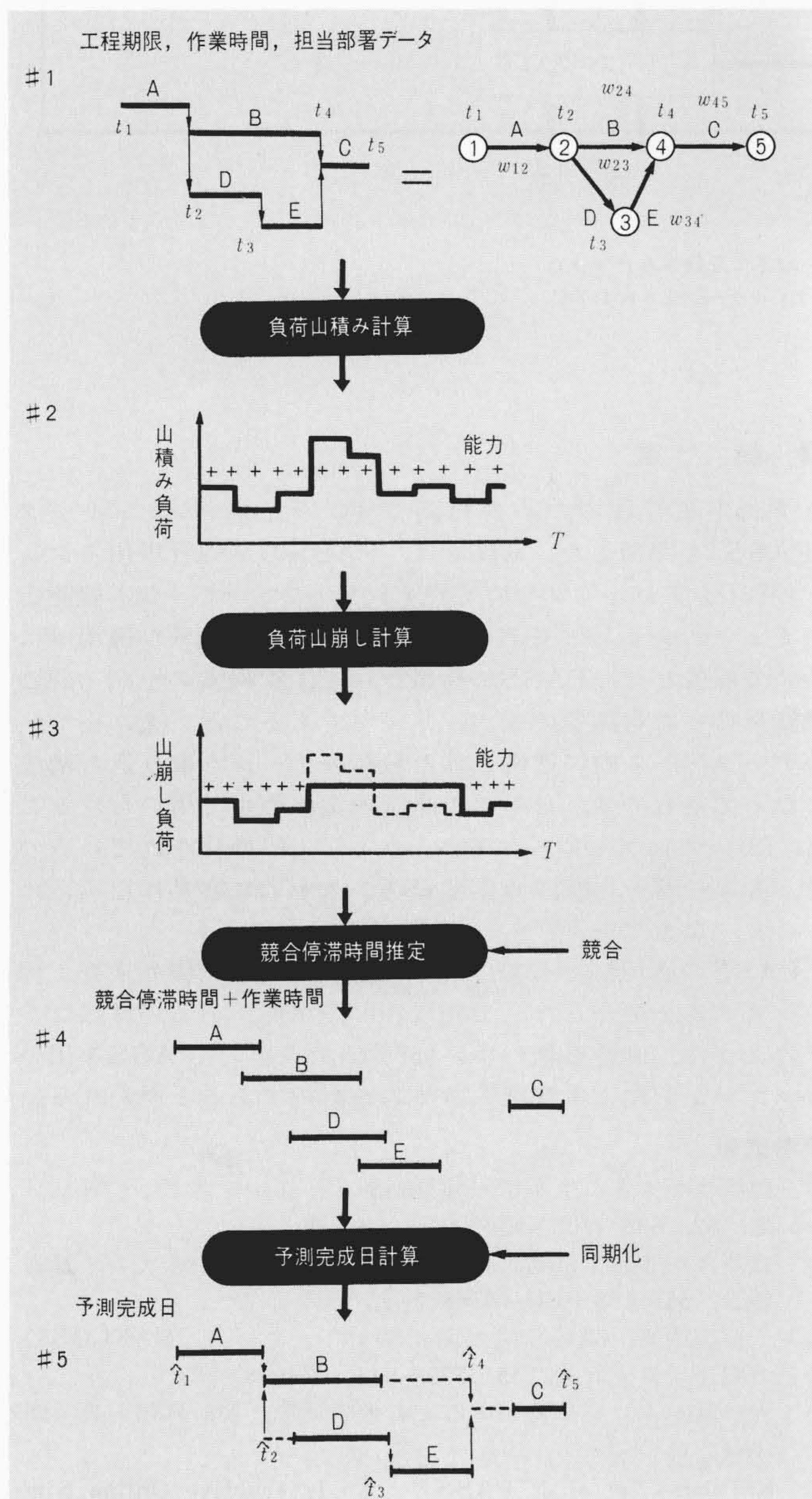


図9 シミュレーションの手順 負荷の山積みと山崩し計算によって、まず、競争停滞時間を推定し、次に、工程間の同期化条件を考慮して、工程完成日を予測する。

最後に、競争停滞時間と正味の作業時間の和を広義の作業時間(#4)とみなし、同期化条件を考慮して工程完成日を予測する。#5がその計算結果であり、実線は広義の作業時間を表わし、点線は同期化停滞時間を示している。

5 ソフトウェア構成

PASSのソフトウェアの主要部は、モデル作成部、シミュレータ部、タスク・コントローラ部などから成っている(図10)。モデル作成部は、キーボード、又はユーザー・プログラムからの指示により、シミュレーションのためのモデルを作成する。シミュレータ部は、作業負荷の山積み、山崩し、工程完成日の予測などの実行と結果の整理を行なう。ユーザーのシステム内の*印を付けたプログラムは、PASSに登録されたマクロ命令を用いて各ユーザーが作成するが、これ以外のプログラムは標準ソフトウェアとしてパッケージ化されている。図10に示すように、ユーザーのデータベース内に準備された最新のデータをPASSに取り込む構成になっているので、日々の生産管理業務の中での予測と評価にPASSは有効である。

6 PASSの適用例

家庭電気品を製造するある量産工場での適用例を紹介しよう。この工場では、毎年数十種類の新製品を開発しているが、その試作品を試験する部門にPASSを導入することになった。この部門の開発試験設備はかなり充実しているが、能力以上の開発ニーズがあり、しかも新規性の高い製品が多く試行錯誤的に試験を繰り返すため、開発試験日程が遅れがちとなる。また、新製品の開発計画そのものも市場の動向に合わせて、途中で新製品を追加するとか開発時期を早める、あるいは開発を中止するといった変更を行なわざるを得ない。このような状況の下で、開発計画を完全に計算機で管理することは困難なため、PASSを中心とするマンマシン管理システムの導入により開発試験設備と要員を効率よく運用し、開発期間を短縮することを試みたものである。

この例では、先行1年間の開発計画を対象とし、週を単位にしたマンマシン・コミュニケーションによるシミュレーションを行なっている。年間に約数十種の試作品があり、一機種当たり約60個の試験項目に上るが、展開PERTの手法によって、各試作品の試験計画をアーク数20個以下のPERT図で表現できた。記憶容量はデータ用に25k語、プログラム用に40

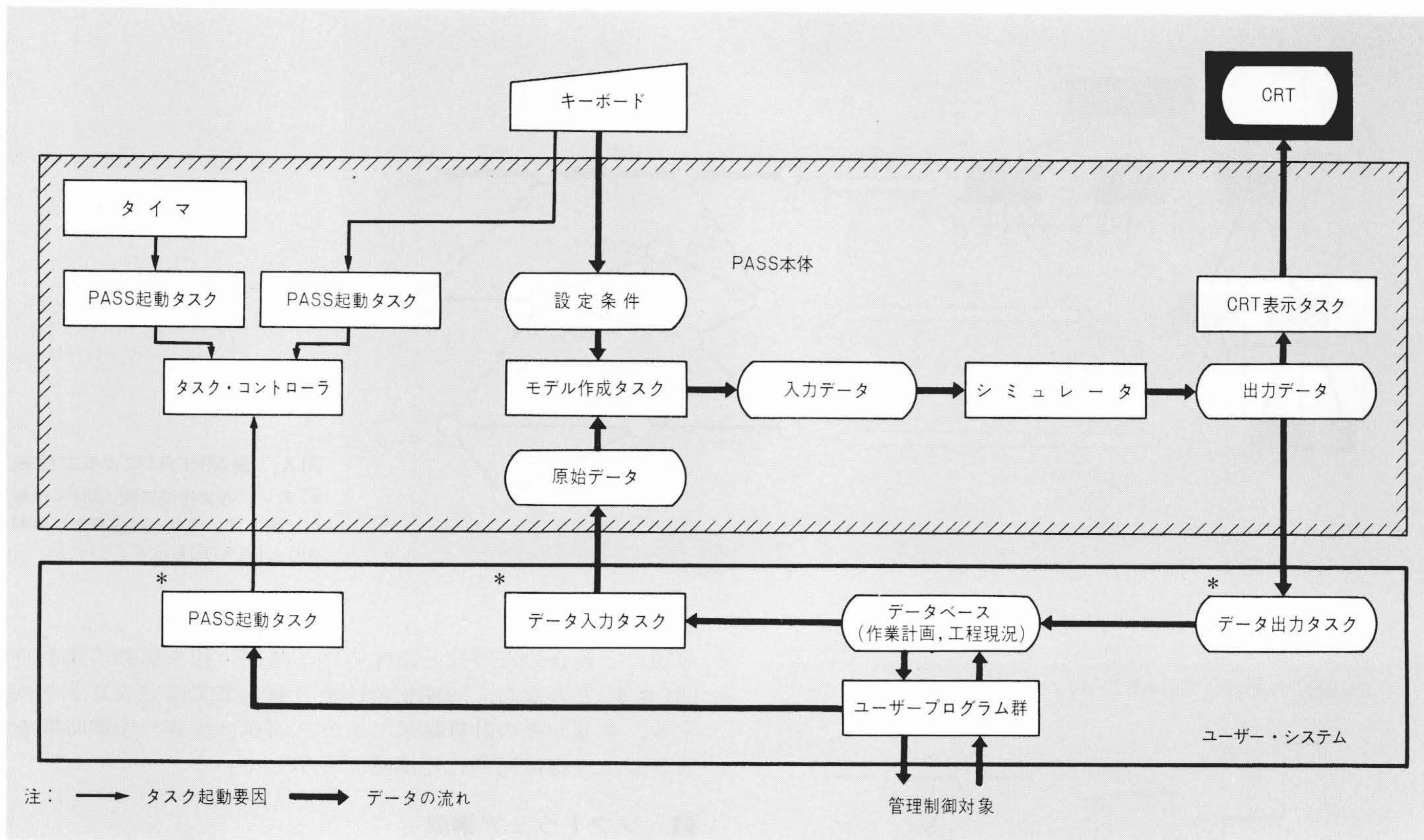


図10 ソフトウェア構成 ユーザーのシステム内の*印を付けたプログラムは、PASSに登録されたマクロ命令を用いて各ユーザーが作成するが、これ以外のプログラムは標準ソフトウェアとしてパッケージ化されている。

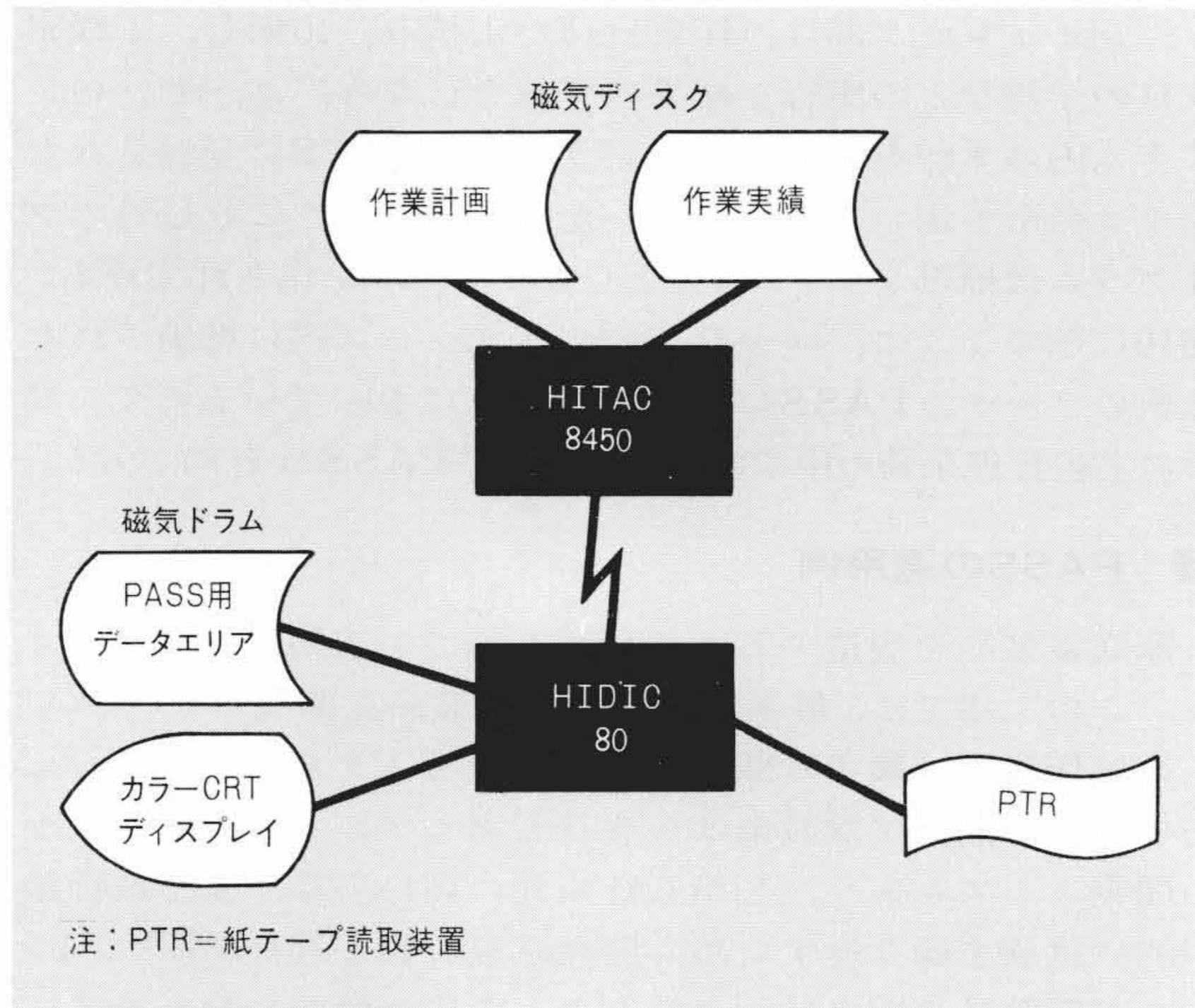


図11 PASSの機器構成例 階層構成による計算機システムの例を示す。PASSの処理はHIDIC 80が行ない、これに必要なデータはHITAC 8450から通信回線を通してPASSに入力される。

k語を必要とする。これらは約2k語の常駐プログラムを除き、磁気ドラムに格納される。計算機システムは事務用(HITAC 8450)と制御用(HIDIC 80)とから成る階層構成をとる。PASSの処理は制御用計算機が行ない、これに必要な開発計画、試作品の組立・試験の進捗状況に関するデータは事務用計算機から通信回線を通してPASSに入力される。機器構成のうち、特にPASSに関連するものを示せば図11のようになる。

7 結 言

予測生産管理のための対話型オンライン・シミュレータ(PASS)を開発した。本稿では、PASSの工程管理用モジュール(ジョブショップ型の工程を対象)について、基本機能とシミュレーション・モデル、ソフトウェア構成及び適用例について報告した。PASSの特徴は、(1)工程異常の予測・評価機能を持った対話型のシミュレータであること、(2)ユーザーのデータベース内に準備された最新のデータを取り込む構成になっているので、日々の生産管理業務の中で用いられること、(3)ソフトウェア・パッケージとして標準化されているので、各ユーザーの既設の生産管理システムに容易に組み込めること、などである。

PASSの適用例として、ある量産工場での試作品検査工程のシステムを紹介した。これ以外に、試作、あるいは設計などのように、例外処理の多い部門では、特に、PASSを用いたマンマシンによる管理システムが有効であると思われる。

参考文献

- 1) 穂坂ほか4名：生産情報計算制御トータルシステム、日立評論、52、698～702（昭45-8）
- 2) 武井ほか3名：自動車工業における生産管理システム、日立評論、55、188～194（昭48-2）
- 3) 三留、津原、関：汎用生産工程シミュレータ“MAFLOS”の開発、日立評論、55、799～803（昭48-8）
- 4) 吉谷龍一：コンピュータによる生産管理、238 日刊工業新聞社（昭45-11）
- 5) K.Tabata, et al.：“PASS” —An Interactive Online Simulator for Predictive Production Control, IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology, Tokyo (October 1977)