

汎用生産管理ソフトウェアパッケージ

Widely Applicable Software Packages for Production Control

従来の大量生産向きの自動化から、変化に適応できるFAシステムへと飛躍するうえで、生産管理の高度化が求められている。そこで、生産管理の基本機能（日程計画、進捗管理、実績評価）に関し、生産量の変動や故障などの異常に即時対処できる技術を開発した。日程計画“SCOPE”では、生産量変動の影響を工程間停滞時間の変化として推定計算し、計画に反映させている。進捗管理「シグナル方式」は、多品種生産で量産並みの効果的な管理を実現するため、物の流れの規制（レーン）と後工程情報の瞬時フィードバック（信号）とを組み合わせた独自の方式である。また、実績評価“PRINCE”は、グラフィックスを応用し、複雑な生産の動態を生産工程の特性をもとにモデル化し、人間の視覚に訴える点が特徴である。いずれも社内の工場で稼動中で効果を上げており、汎用パッケージ化され普及拡大中である。

武田健二* Kenji Takeda

下社貞夫* Sadao Shimoyashiro

三留和幸** Kazuyuki Mitome

1 緒言

1980年代に入り、ロボットやCAD(Computer Aided Design)を要素としたFA(Factory Automation)システムの構築が盛んになってきた。その目指すところは、これまでの大量生産に向けた自動化から一段飛躍した、変化に対する適応力の高い自動化システムの実現である。特に、顧客需要の多様化や新製品競争がますます激化するなかで、下記のような変化、変動に対応できる能力がシステムに対し強く求められている¹⁾。

- (1) 製品の設計変更適応能力(Design Change Flexibility)
- (2) 部品の変更対応能力(Parts Flexibility)
- (3) 混合生産能力(Mix Flexibility)
- (4) 故障時などの工程経路代替能力(Routing Flexibility)
- (5) 生産量変動時の追従能力(Volume Flexibility)
- (6) 多経路配送能力(Customizing Flexibility)

これらの能力をシステムに付与するためには、個々の要素である生産設備の高知能化はもちろん、これら設備群や人間を含むシステムの管理・制御技術の高度化が必要である。なかでも、上記(4),(5)は、生産管理技術に負うところが大きい。

一方、コンピュータの利用が急速に拡大した結果、FAシステムでも、ソフトウェアの開発量が増大の一途をたどっている。したがって、システム開発に当たっては、蓄積・流通が可能のように、専用的な部分を最小化し汎用化を図ることや、モジュール化を進めて拡張・改造の容易な構成をとることが必要である。

ここでは、このような背景のもとで、FAシステムの実用性として、現在日立製作所の工場稼動中で、パッケージとして汎用性の高い三つのソフトウェアを選び、機能や適用状況を述べる。この三つは、生産管理の基本機能であるPlan(計画)、Do(実行)、See(評価)を代表するもので、利用するコンピュータも目的に合わせて、大形からマイクロコンピュータまでと異なっている。

2 生産変動を考慮した日程計画“SCOPE”^{*1)}

2.1 開発の目的

生産を効率的に行なうためには、適正な日程計画が必要で

ある。部品・材料の手配や治工具の準備をはじめ、すべての作業は日程計画を基準として進められる。特に、組立産業の中でも非量産に属する受注生産形態の工場では、加工順序や加工に要する時間が異なる多種類の製品が、同じ職場に同時に流れているため、個々の製品の納期と各生産設備の稼働率とを考慮した日程計画が極めて重要である。これまで実用化されている日程計画プログラムでは、短期的な計画立案か、あらかじめ各製品に固定的なリードタイムを仮定してのスケジューリングが中心で、毎月の生産変動を十分に考慮することができなかった。そこで、代表的な非量産ジョブショップである産業機械工場の機械加工職場や家庭電気品工場の金型製作職場を対象に、生産変動を長期的にとらえ、短期の日程計画に反映させることを目的にSCOPE^{2),3)}を開発した。

2.2 特徴

SCOPEの処理の概要を図1に示す。日程計画を立案するうえで、まず納期順守が最優先である。一つの注文を構成する複数の部品は、同一の納期をもっている。次に、各生産設備の高稼働率を実現するための負荷平準化が必要である。

(1) 待ち行列理論による工程間待ち時間推定

日程展開では、ジョブショップ特有の多種類の製品の設備の取合いによる作業待ち時間 α の計算が必要になる。一般に、待ち時間 α は負荷量の大小で大きく変動する。しかし、従来は図2に示すように、経験的に得られた数値を固定待ち時間として定めて計算するため、生産活動の実態に合わない。そこで、安全をみて製品の早期投入が行なわれ、その結果、過大な仕掛りを生んでかえって製作期間を増大させてしまう。これに対してSCOPEでは、待ち時間を負荷の状況を考慮して推定する。この推定は図3に示す待ち行列理論による近似的な待ち時間計算によって行なう⁴⁾。これは、計画対象期間の作業量と各所要時間から平均到着間隔と平均作業時間とを求め、指数分布の仮定のもとに、平均待ち時間を求める。この方法

※1) SCOPEとはプログラムの名称で、Scheduling and Control with Performance Expectationの略称である。

* 日立製作所生産技術研究所 ** 日立製作所システム開発研究所

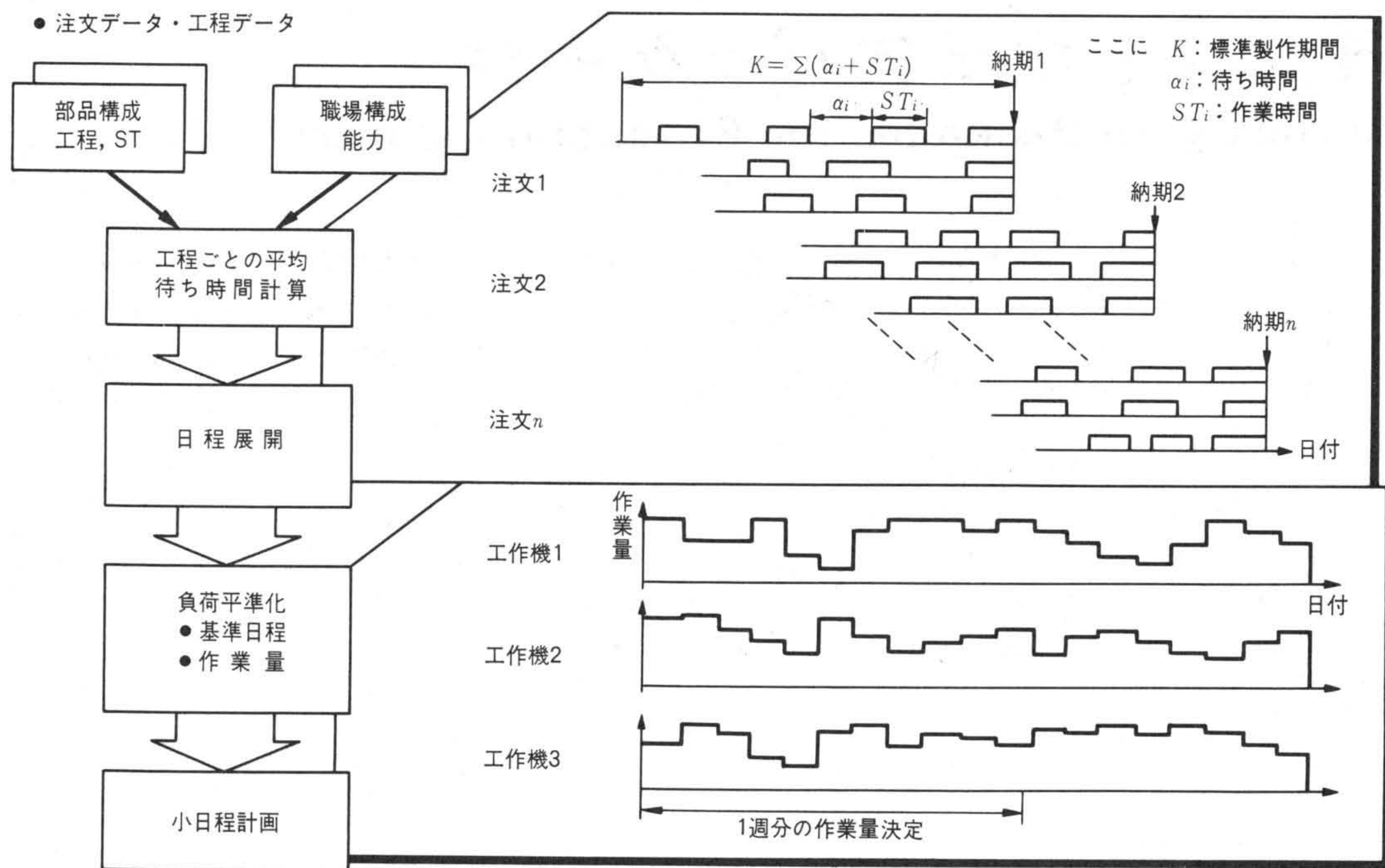


図1 SCOPEの処理概要
納期を考慮した日程展開を優先し、次に負荷平準化を行なう。

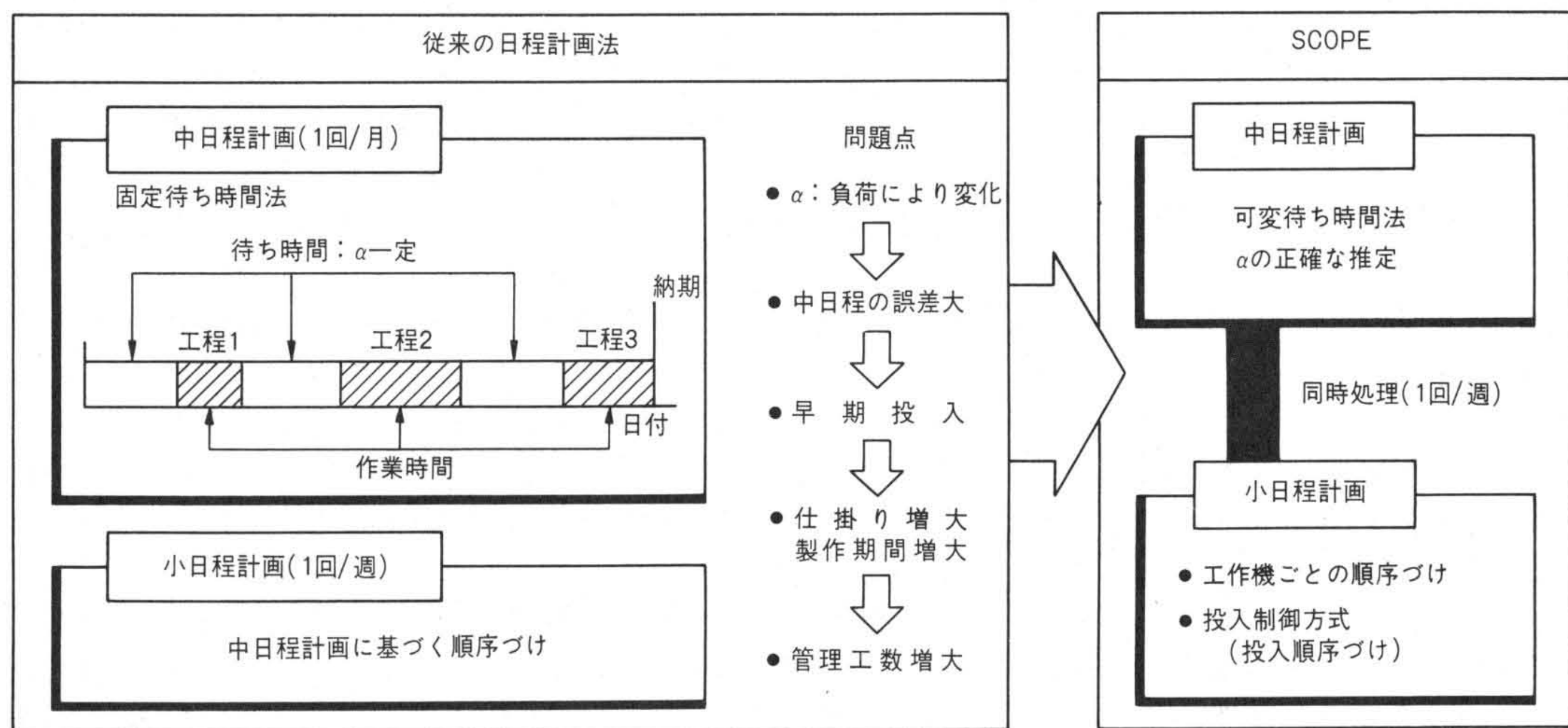


図2 SCOPEの特徴 生産量変動の影響を工程間待ち時間の変化として推定し、小日程計画にまで反映させる。

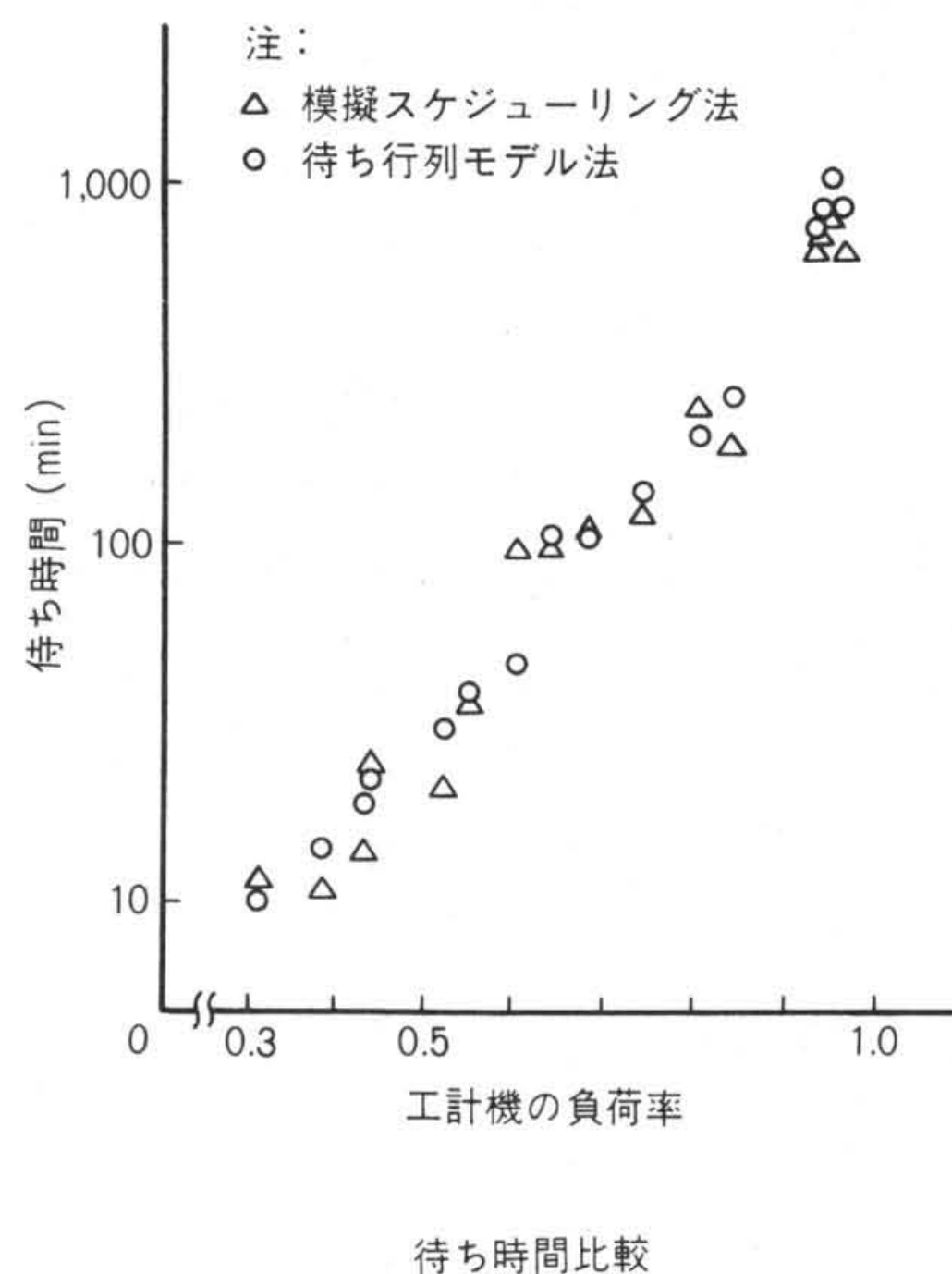
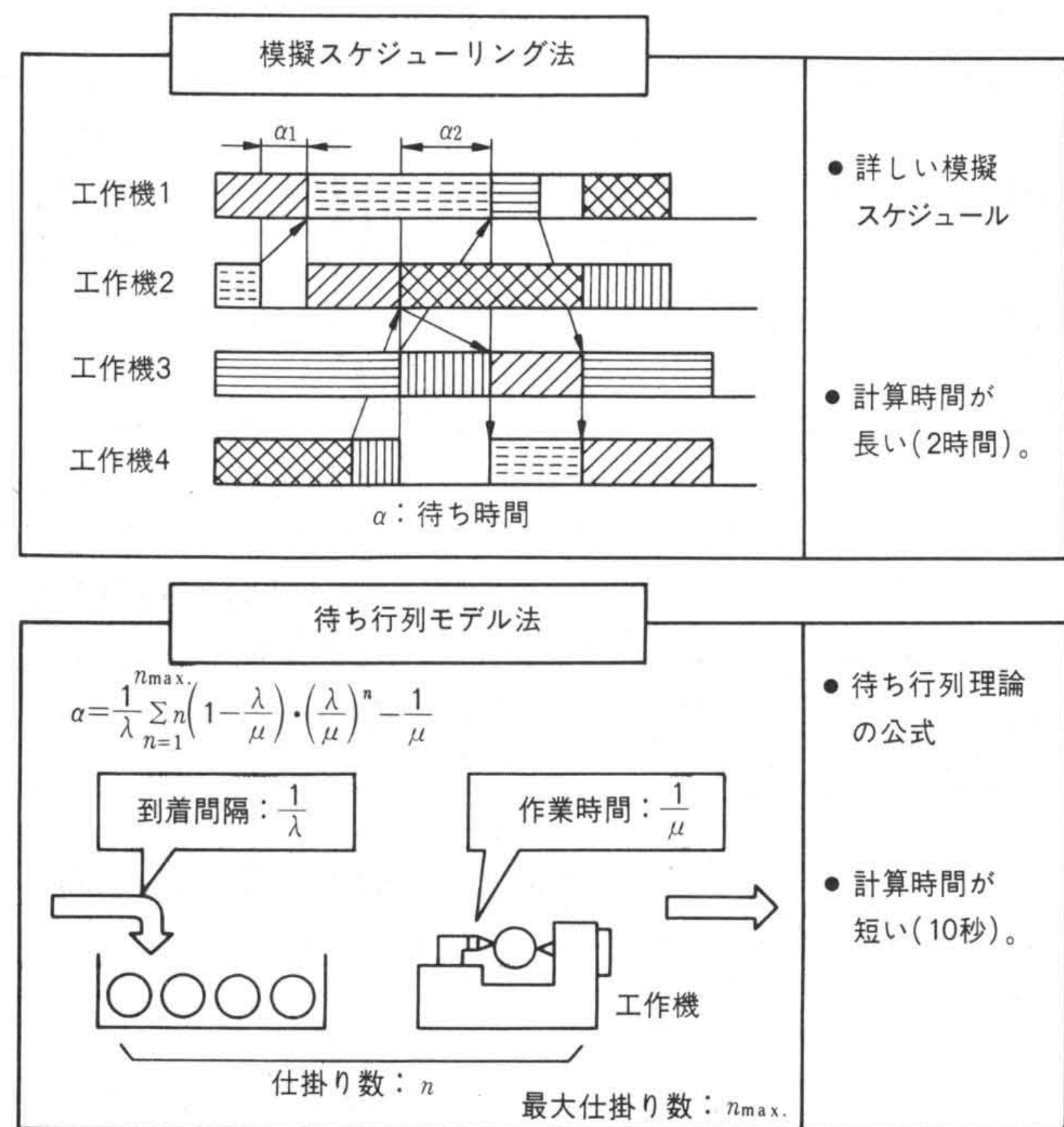


図3 待ち時間の推定法
SCOPEの待ち行列モデル法は、詳細なスケジューリング法と比べて計算時間が圧倒的に短く、精度も大差はない。

による計算結果と、詳細な模擬スケジューリングの結果とを比較したところ、図3に示すようによく一致している。この簡便な計算法によって、生産変動の影響を予測し、考慮した日程計画を高速に作成することができる。

(2) 中・小日程計画の同時立案

求めた工程ごとの待ち時間と各作業に必要な処理時間から、納期から逆算した各部品単位の基準日程を計算する。この計算を中日程計画として向こう1箇月に着手必要な作業に対し行なう。同時に、向こう1週間分の小日程計画として、毎日の各生産設備での負荷量が平準化されるように、部品の基準日程の投入から完成までの期間を固定して待ち時間の範囲内での日程の調整計算を行ない、更に各作業工程での作業順序まで決定する。このように、中・小日程を連動させることによって、最新の生産変動の予測に基づいた日程計画を作成できる(図2参照)。

2.3 プログラムの仕様

SCOPEは、日立大形計算機(HITAC 8000シリーズ及びHITAC Mシリーズ)や日立制御用ミニコンピュータ(HIDIC-V90)で処理できる。HITAC Mシリーズでの規模などを表1に示す。

表1 SCOPEのプログラムの仕様 HITAC M-180のパッケージの場合、実用的な問題の規模を短時間で処理できる。

仕 様		HITAC Mシリーズ
データの規模	ワークセンタ数	400 台
	機 械 台 数	800 台
	ロ ッ ト 数	10,000 ロット
	工 程 デ ー タ 数	100,000 工程
	注 文 数	2,000 件
機 器 構 成	1. オペレーティングシステム	VOS2, 3
	2. 主記憶容量	700 kバイト以上
	3. 磁気ディスク容量	11,000 Record以上 (624 バイト/Record)
処 理 時 間	工程データ数 14,000件	HITAC M-180 15分

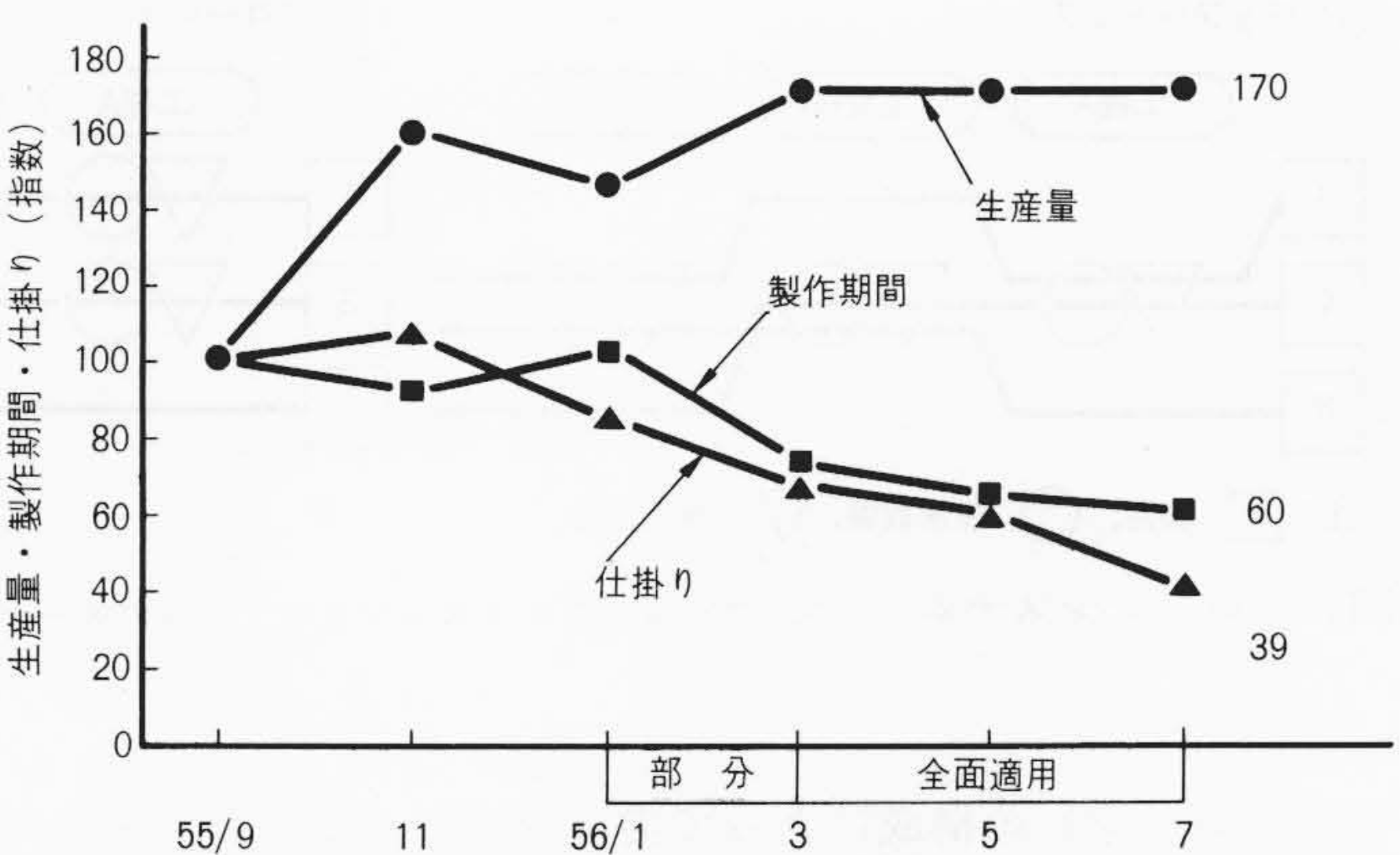


図4 SCOPEの適用効果例 SCOPEを、家庭電気品工場の金型職場に適用したときの効果を示す。

2.4 適用事例と効果

SCOPEは、日立製作所内の8工場に既に導入され稼働している。図4は、適用工場の一つである家庭電気品用金型(プレス、モールド)製作職場での適用効果を示したものである。製作期間、仕掛け共に大幅に削減されている。

3 変化に追従する進捗管理「シグナル方式」

3.1 開発の目的

進捗管理とは、日程計画どおりに生産が進行しているかどうかを監視し、各生産工程に対し、いつ、どの仕事に着手すればよいかを指示し、また設備や作業者に不具合があって予定どおりの生産進行ができないときは、日程計画の部分変更などの手段で応急対策を施す機能である。計算機によって日程計画の細部まで立案できるようになると、生産現場の細かい変化に追従できる進捗管理システムが必要になる。特に、一貫ラインのようなフローショップと異なり、ジョブショップでは一見して物の流れを把握できず、問題点の発見や対策を立てることが困難である。そこで、多品種中量生産のリアルタイム進捗管理システムとして、シグナル方式を開発した^{5)~7)}。

3.2 特 徴

シグナル方式は、図5に示す三つのシステム(中央管制、

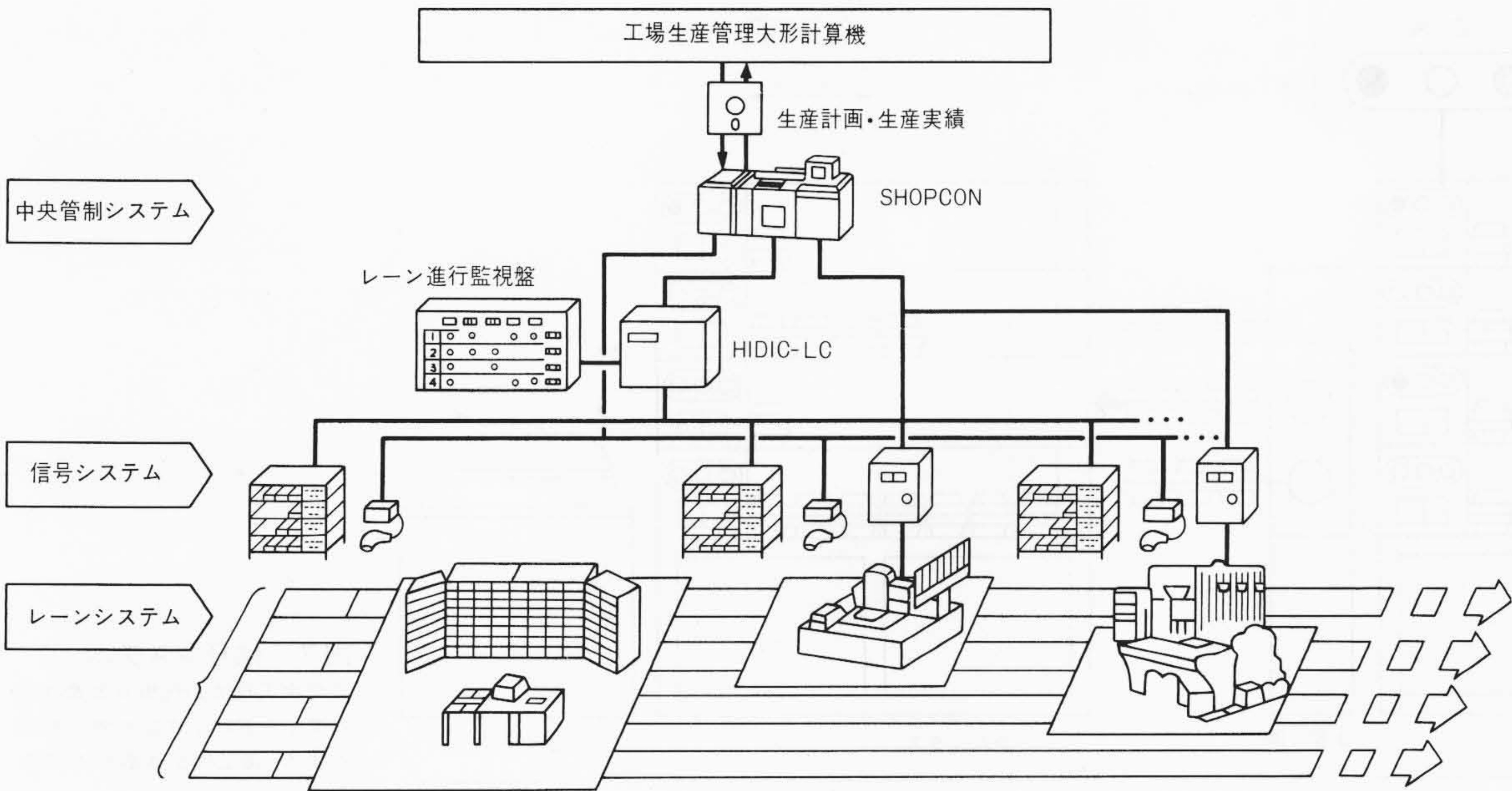
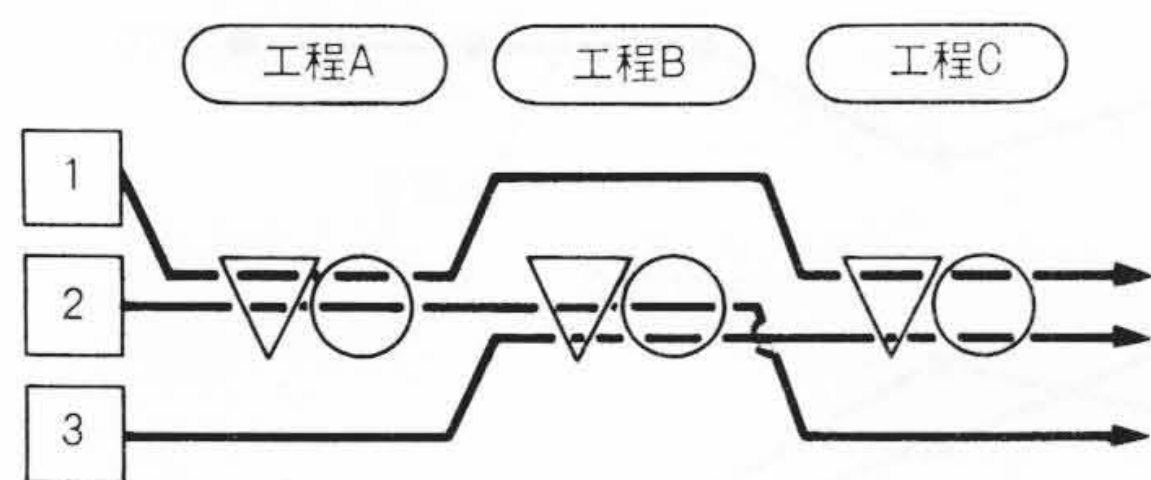


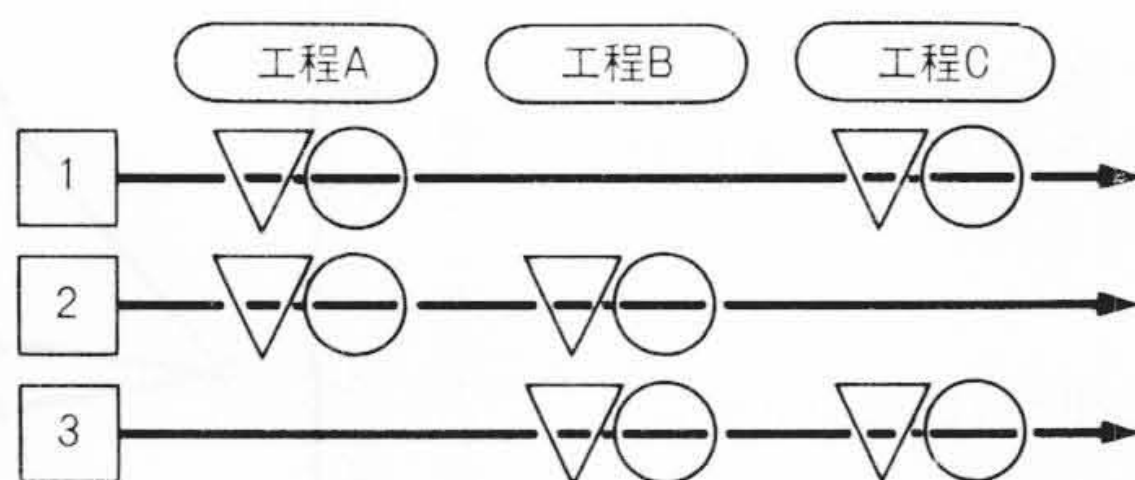
図5 シグナル方式のシステム構成 中央管制、信号、レーンの三つのサブシステムに機能分散し、SHOPCON及びマイクロコンピュータのパッケージになっている。

(1) ジョブショップ



注: □ 製品, ○ 生産設備, ▽ 保管設備

(2) フローショップ



(3) レーンシステム

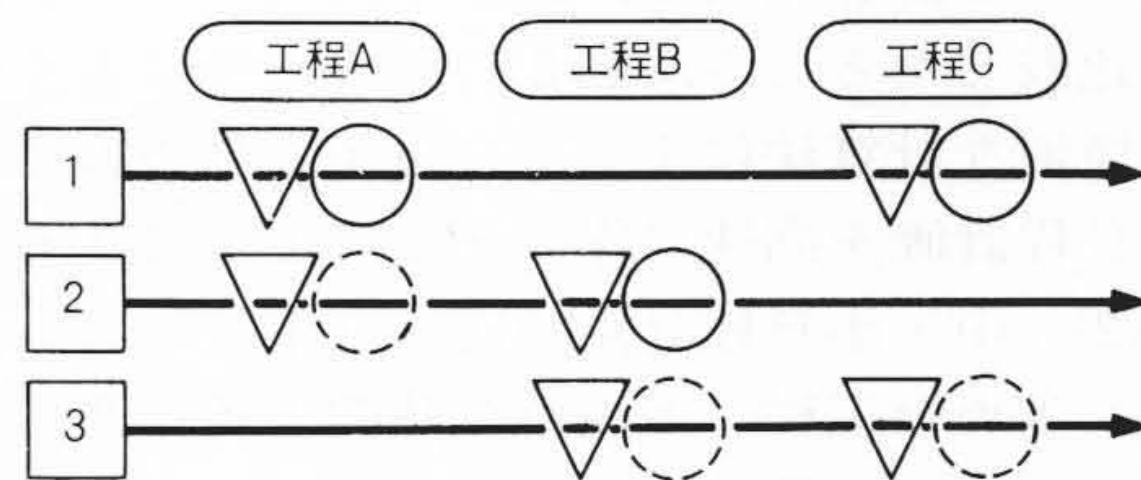


図6 レーンシステム ジョブショップをフローショップ並みの単純かつ効率的な管理が行なえるように、物の流れを生産設備を増やさずに規制する。

信号、レーン)の構成によって実現される。これは、従来のオンライン生産管理システムが各工程の状況を中央で一括把握して、各工程への作業指示も中央から出すという中央統括形であるのに対して、中央で複雑なリスケジュールングをしたり、各工程に細部の指令を与えなくても安定した生産が進行できる分散自律形であることを特徴としている。

(1) レーンシステム——擬似フローショップ化

多品種中量生産を、少品種多量生産のフローショップと同様の管理ができるように物の流れを規制し、低繰返し品種の長期仕掛り滞留を防止するのがレーンシステムである。図6に示すように、各品種を工程経路の類似性で分類し、一つの分類グループに一つのレーンを与え、各工程にレーン別の仕掛り保管棚を設置しておく。各品種の製品は、各々に割り当てられたレーンの中を先入れ先出しの原則で進行する。従来、同様の工程経路分析に基づいたグループ化を図り、GT(Group Technology)ライン化する試みがある。しかし、各グループに専用生産設備を割り当てるため、生産設備の増設やレイアウトの変更が必要となる。これに対し、レーンは各グループ専用の保管設備を与えるだけで、ジョブショップをフローショップに変容させる点が大きな特色で、短期間のうちに導入が可能である。

(2) 信号システム——後工程引き取り情報伝送

レーンシステムの導入で流れが作られた結果、各工程には複数のレーンのどれを優先して着手すればよいかを知らせるだけで作業指示ができる。そこで図7に示すように、後工程

の各レーンでの仕掛り消費状況を電気信号で前工程に伝達するのが信号システムである。各レーンの端に交通信号灯のようなランプを付け、次工程との間の仕掛り量 Q に対して基準値 Q_{max} や Q_{min} と比較して点灯すべき色を決定するという二限界値方策⁹⁾を用いている。この二つの基準値を中央管制システムからオンラインで操作することで仕掛りを規制できる。シミュレーションによる生産量変動や故障に対するシステムの即応性の解析から、情報伝達が瞬時に行なわれることの効果が大きいことを確認した⁹⁾。その結果、同じ後工程引き取りの考え方であるかんばん方式(トヨタ自動車工業株式会社開発)¹⁰⁾が生産変動に対して微調整の手段として有効であるのに対し、信号システムは、大きな生産変動にも対処できる特徴がある。

3.3 システム構成

シグナル方式は、多くの工場への普及拡大を図るため、低価格・汎用性を追求した標準システム化されている。その構成は図5に示すように、信号灯及びスイッチ類をもつ端末と、これを制御するマイクロコントローラHIDIC-LC、中央管制とDNC(生産設備群管理)、事務処理を統合する現場管理用コンピュータSHOPCONから成っている¹¹⁾。

3.4 適用事例と効果

シグナル方式は、これまでLSIウェーハ処理職場、プリント板組立職場、電動機加工組立職場などに適用され稼働中である。そのうちの一つの例では、生産量が導入前に比べ1.8倍もの大幅な増産になったにもかかわらず、製作期間が0.6倍、仕掛りも0.7倍に抑制されており、予想以上の効果が得られた。

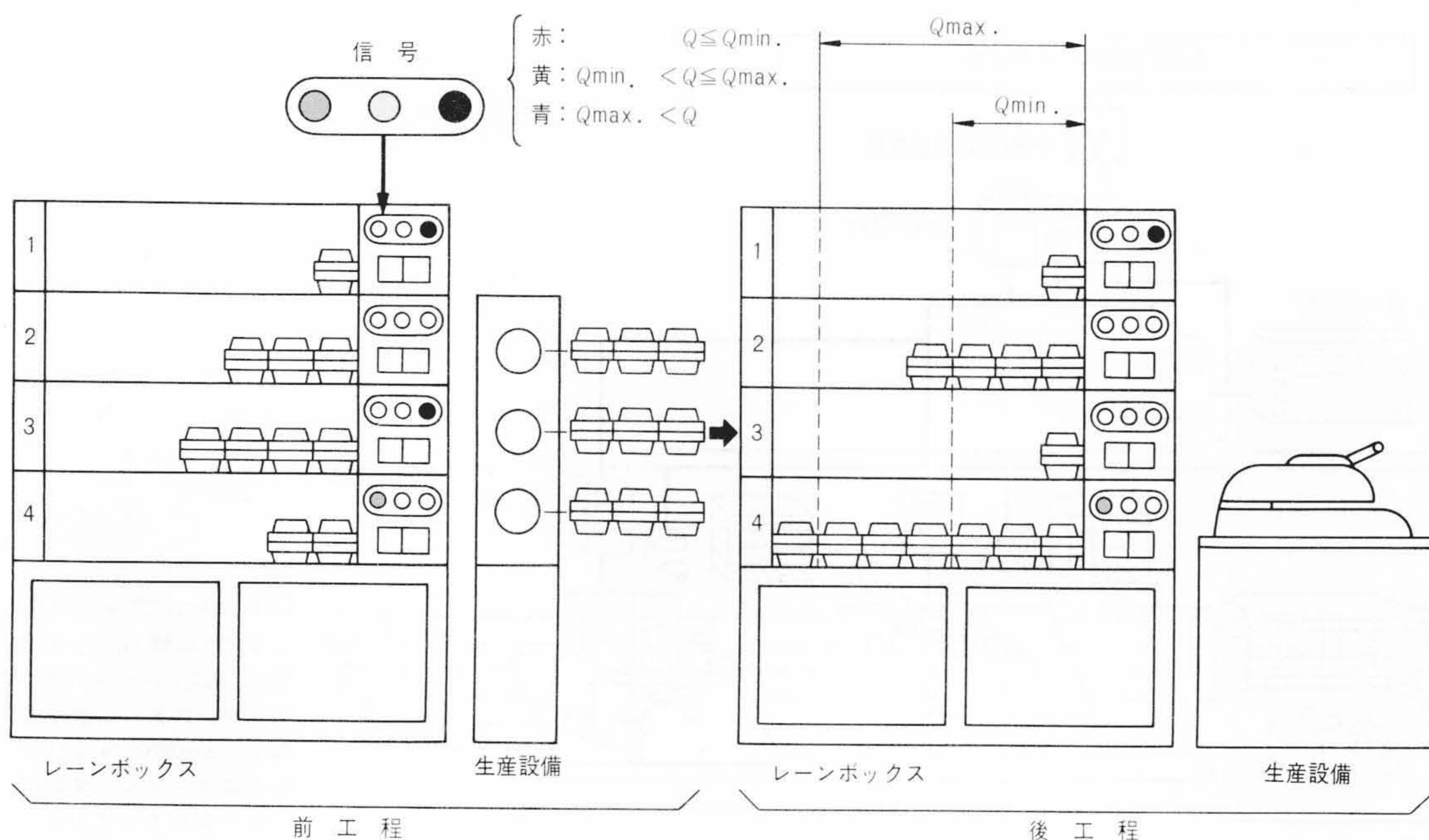


図7 信号システム
常に次工程での仕掛り消費状況をフィードバックして着手指示とする、後工程引き取り方式を示す。

4 異常の早期発見“PRINCE”※2)

4.1 開発の目的

第2章及び第3章でショップ単位の計画・管理について述べたが、非量産工場では、複数のショップで並行して加工・組立が行なわれており、各注文を計画どおりに完成するためには、これらのショップを総合的に管理する必要がある。ところが、管理すべき項目が莫大で（管理点数10⁶）、生産の動態を示すデータ量も膨大である。そこで、データを分析・要

約して、納期遅延を招くような異常の兆候を、管理者が正しく迅速に把握し、判断できるようにすることが重要である。そこで、管理者がコンピュータと対話することによって、異常の早期発見や異常原因の追跡ができ、先手管理を可能にする工程異常監視システムPRINCEを開発した^{12),13)}。

※2) PRINCE：システムの名称で、Production Information Control and Evaluation System の略字である。

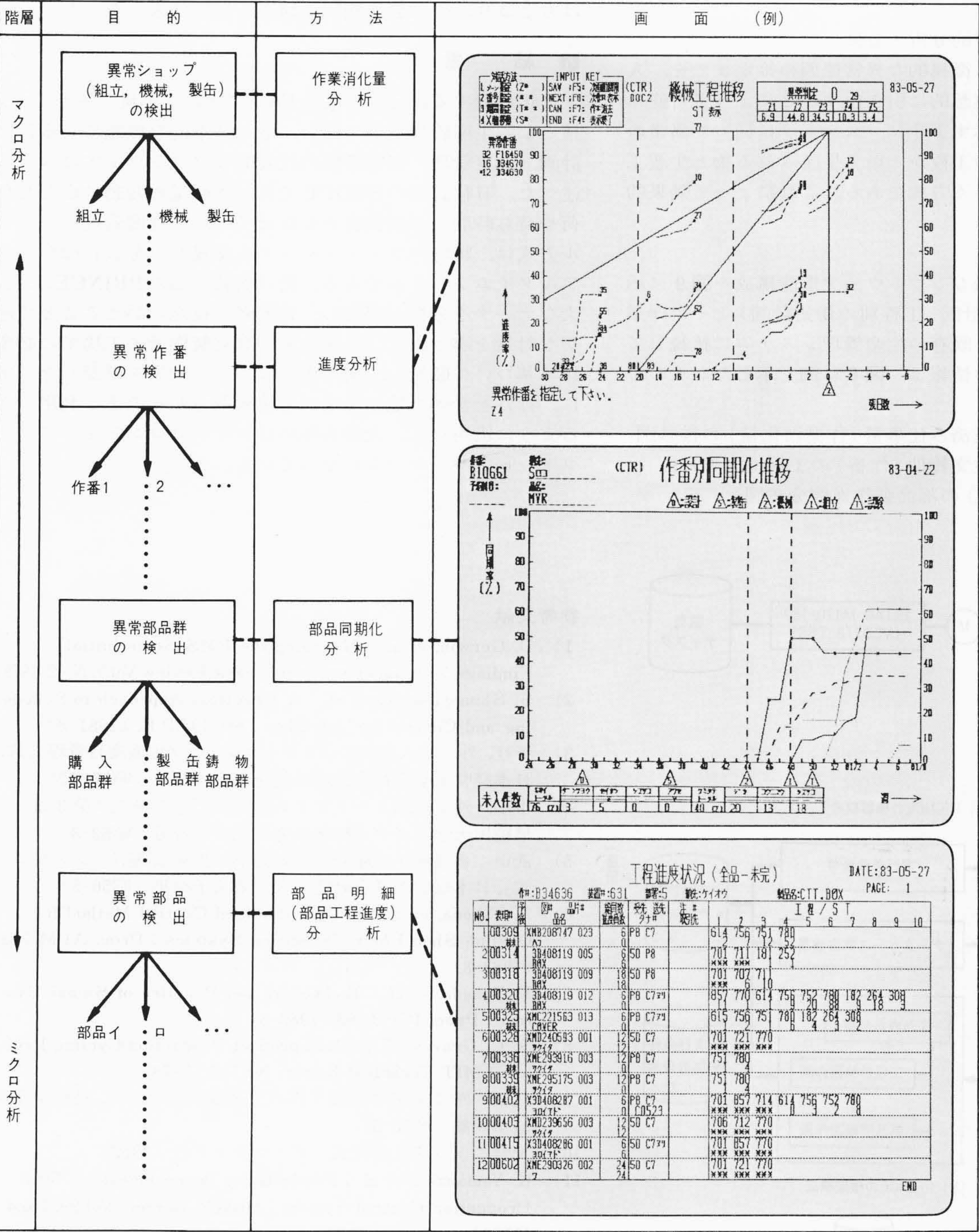


図8 製造工程モデルとPRINCEの対話形階層分析 マクロ(巨視)分析からミクロ(微視)分析まで系統的に行なえる。各画面とも生産システムの特長、構造を反映させた図形表現であり、工程管理者の視覚による認識力、推察力が十分に発揮される。

4.2 特 徴

複雑で広範囲な生産現場で発生している異常や問題を顕在化するために、観察の尺度や表示法に以下の特徴がある。

(1) 生産システムの構造を反映させた時系列グラフィック表現
実態の把握に当たり、工場、工程の管理者の視覚による認識能力を活用するため、生産システムの構造を反映させた図形表現を採用し、コンピュータグラフィックスを用いた図形化、カラー表示化を図った。例えば、基本となる各注文の生産進行状況については、現時点の状態だけでなく、過去からの時系列情報として図8の進捗分析画面のようにグラフ化し、異常の程度をカラー区分することによって、傾向を即時に判断できるようにした。

(2) 連想を支援する階層的分析・評価

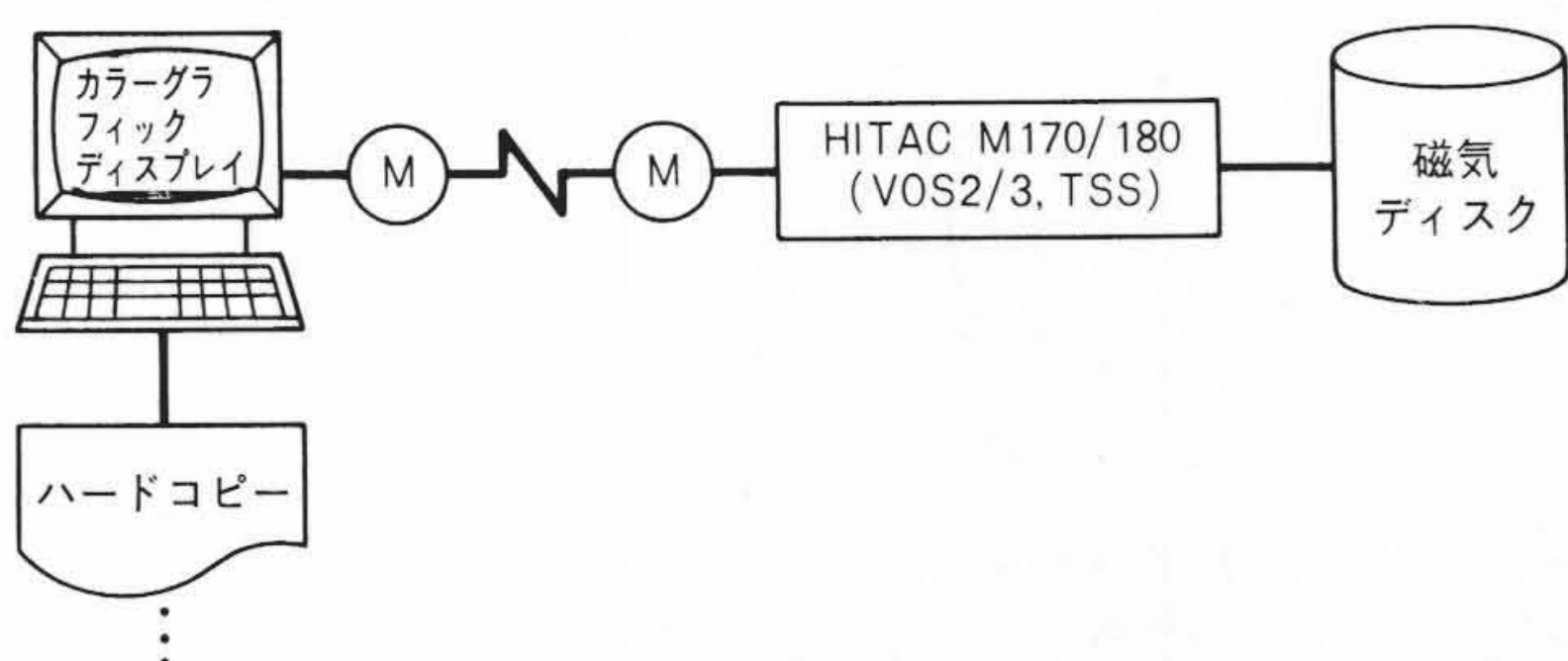
巨視的な異常発見から微視的な異常原因の推定までを、人間の知識・ノウハウを連想的に引き出すことによって可能にした。例えば、図8に示すように、ステップに従って異常の原因が、どの注文のどの工程かという生産される物と生産工程の両面から限定していく方式である。これによって効果的な対策が施される。

4.3 システム構成

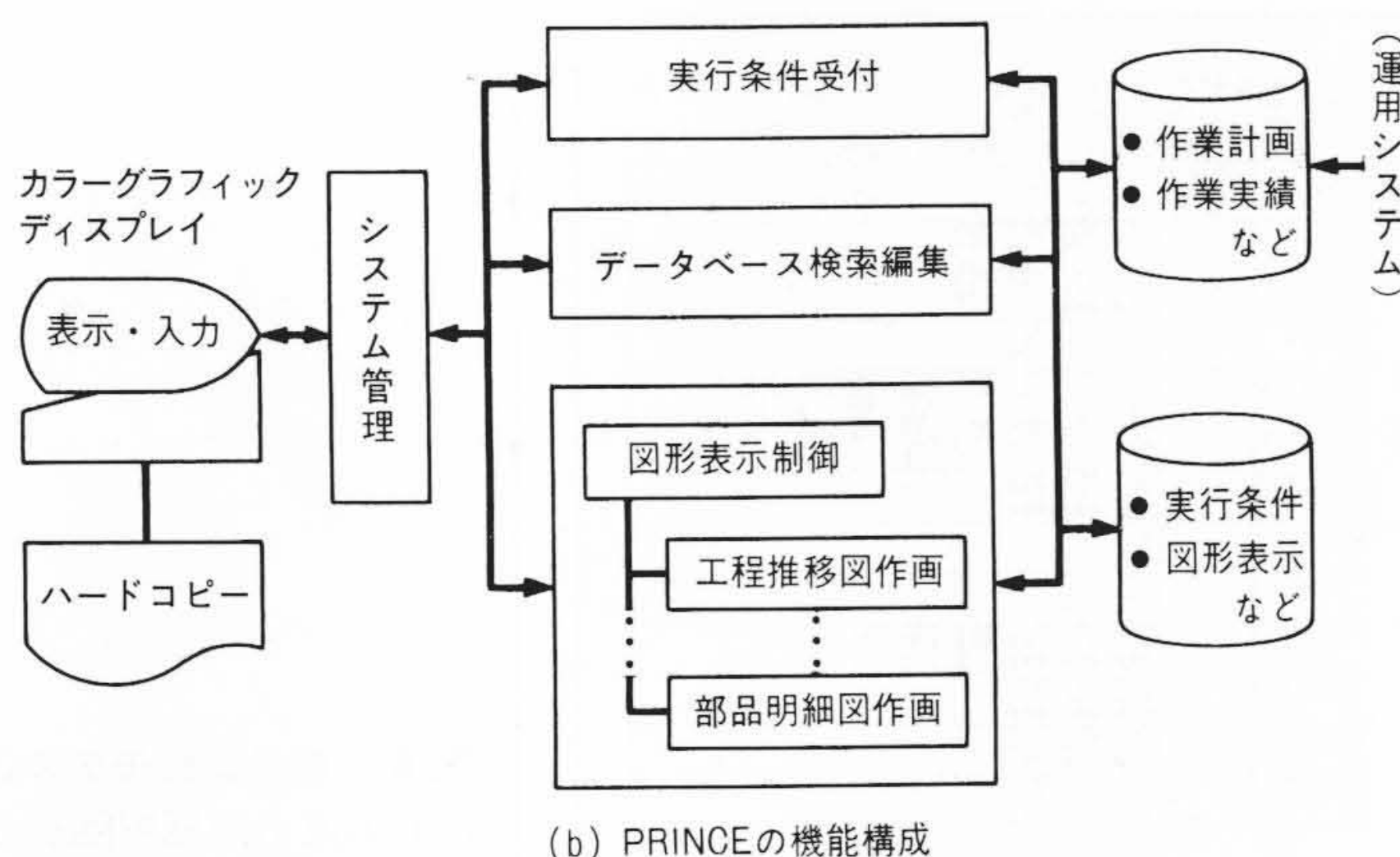
PRINCEの機器構成及びソフトウェア機能構成を図9に示す。入力データは、日程計画（工程別の作業計画）とその作業実績が基本的なもので、既存の生産管理システムに接続して受け取る。基本的な出力情報は、図8に例を示したが次のものがある。

- (a) ショップ別の作業済み仕事量（作業消化量）の推移図
- (b) ショップ別の各注文物件（作番）の工程進捗推移図
- (c) 注文物件別（作番）の部品製作進捗分布図

H8844/T560/20



(a) PRINCEの機器構成



(b) PRINCEの機能構成

注：(M) モデム □ プログラム ○ データ

図9 PRINCEのシステム構成 (a) PRINCEの機器構成：カラーグラフィックディスプレイターミナルによりTSSモードで運用される。(b) PRINCEの機能構成：作業計画と作業実績のデータは、従来の生産管理システムに接続し受け取る。個別の図表化プログラムは図形表示制御プログラムにアドオン（付加）される。

(d) 注文物件別（作番）の部品同期化推移図

(e) 注文物件ごとの部品別明確表（作業済み・未済工程の区分）

これらの図には、事前に入力した基準値やモデルに対して、工程の現状データが大幅にずれた場合に「異常あり」と判定され、警報が併せて表示される。

4.4 適用事例と効果

PRINCEは、日立製作所の生産システムに導入され稼働している。従来は、とくに問題が発生してからの後手管理になりがちであったが、PRINCEによって、各レベルの管理者が共通の認識に立っての先手管理が可能となり、管理工数の低減はもとより、平均製作期間で14%の短縮効果があった。

5 結 言

変化に対する適応力の高いFAシステムを実現するうえで、核となる生産管理技術に関し、最も基本的な機能である日程計画、進捗管理、実績評価の代表的なソフトウェアについて述べた。日程計画のSCOPEでは、生産量の変動に応じた負荷や待ち時間の予測機能をもたせている。進捗管理のシグナル方式は、瞬時のフィードバックを重視した分散自律形のリアルタイムシステムである。更に実績評価のPRINCEは、膨大なデータを分析・要約し、管理者の視覚に訴えることで適切な対策を導き出す。いずれも、日立製作所の工場での必要性に基づいて開発し、適用実績によって効果を確認した。更に、社外を含めた他の工場にも主要部分がそのまま利用できるように汎用化し、大形あるいはマイクロコンピュータのソフトウェアパッケージになっている。

参考文献

- 1) D. Gerwin, et al.: Managing the FMS Some Initial Findings: Engineering Management Review Vol.7, No.2(1979)
- 2) S. Shimoyashiro, et al.: A Practical Approach to Scheduling and Control for Job Shop: 6th I.C.P.R., (1981-8)
- 3) 下社, 外: 投入制御によるジョブショップ生産進行管理方式, 日本経営工学会特定課題研究発表会予稿集 (昭57-12)
- 4) 中根, 外: 計画リードタイム設定に関する研究 (第3報), 早稲田大学システム科学研究所紀要第8号 (昭52-3)
- 5) 武田: 多品種・生産変動に対処する生産管理法「シグナル方式」, 日本経営工学会研究発表会講演予稿集 (昭56-5)
- 6) K. Takeda, et al.: A Decentralized Control Method for On-line Shop Floor Expediting Systems: Proc. APMS'82 (1982-8)
- 7) K. Takeda, et al.: Technology and Practice of Signal System: Proc. ICPR '83 (1983-8)
- 8) S. C. Graves: The Multi-product Production Cycling Problem: MIT Technical Report No.146 (1978)
- 9) 武田, 外: 直列多段階工程の生産量制御の研究, 精機学会講演予稿集 (昭55-3)
- 10) 大野: トヨタ生産方式, ダイアモンド社 (昭53)
- 11) K. Yamanaka, et al.: Productivity Improvement by Total Production Control System: Hitachi Review Vol.29, No.4 (1980)
- 12) 小林, 外: ジョブショップ工程における異常摘出型生産情報管理・評価方式の研究, 日本OR学会講演予稿集 (昭56-3)
- 13) 中桐, 外: 製造部門でのオフィスオートメーションによる管理業務のビジュアル化, 日立評論 65, 11, 803~806 (昭58-11)