

鈴鹿富士ゼロックス株式会社向け

# 統合分散FAシステム

## Integrated and Destributed Production Control System for Daily Parts Manufacturing

多品種少量生産を必要とする市場ニーズの中で、生産効率向上を実現するために、FAの導入が着目されている。

富士ゼロックス株式会社では、複写機・情報機器用部品を低コスト・ストックレスでタイムリーに生産・供給することを目的に、新工場を建設した。この工場では設備の自動化、加工の複合化による工程削減を図るとともに、日立制御用計算機HIDIC-V90/50：2台、NCコントローラ：2台によるデーリー生産ベースの工程管理・設備制御システムを導入し、物流・実績管理・技術情報管理などの間接作業を含めた自動化・省力化工場を実現した。これにより、生産準備段階を含めた総合的なFA化が確立され、生産性向上に大きく寄与している。

国友 修一\*      Shūichi Kunitomo  
堤 幹雄\*\*      Mikio Tsutsumi  
岸野 清孝\*\*\*      Kiyotaka Kishino  
佐久間 智\*\*\*\*      Satoshi Sakuma  
藤岡 誠一\*\*\*\*      Seiichi Fujioka  
宇都 徹\*\*\*\*      Tōru Utsu

### 1 緒 言

富士ゼロックス株式会社は、複写機だけでなくオフィスインフォメーション関連の製品を提供する企業へと発展しつつある。このようなオフィス機器でのユーザーニーズの多様化と、技術革新の激しさによる製品ライフサイクルの短命化に対応するために、多種多様な製品群を短期間で開発・生産・サービスする必要がある。一方、最近のメカトロニクスの発展は、多様な変更にすばやく応じられるフレキシブルな生産方式の実現をより確実なものとしている。

こうした市場環境下で、富士ゼロックス株式会社の部品生産工場として昭和57年に設立された鈴鹿富士ゼロックス株式会社では、多品種少量かつ低コストで部品を生産することを目指して、工程管理・設備・物流の一貫した自動化を指向するFA(Factory Automation)システムを開発・導入した。

本システムのハードウェアとしては、加工そのものはNC(数値制御)機の多用、素材・部品保管は自動倉庫、素材供給・工程間搬送は無人車を多用し、ほとんどすべてが日立制御用計算機HIDIC-V90/50に接続され、その指令のもとに運行される。

ソフトウェアとしては、段取替え時の工具交換などを極小化するためのスケジューリング、タイムリーな素材・工具などの各工程への供給とその在庫管理、実績・進捗管理の機能をもっている。

本稿では、昭和59年3月から稼動している本システムの導入事例をもとに、この種のFAシステムの特徴・構成・機能について述べ、その概要を紹介する。

### 2 システムの概要

#### 2.1 工場概要

富士ゼロックス株式会社の製品の部品構成は、(1) フレーム、カバーなどのプレス部品、(2) プリント基板、(3) 電源、(4) シャフト部品、(5) プラスチック部品が大半を占めている。そこで、これらの部品の生産工場建設に当たっては、自動化できる部分は徹底して自動化し、人間はより高度な仕事ができること

を基本的考えとして、図1に示す五つの製品加工ラインを展開した。

(1) NCプレス、シャー、曲げによる板金加工FMS(Flexible Manufacturing System)ライン  
(2) 自動挿入機によるプリント基板組立ライン  
(3) NC自動複合加工旋盤によるシャフト加工FMSライン  
(4) 金型自動予備加熱・交換式プラスチック成形FMSライン  
(5) プラスチック成形金型加工・組立ライン

次に1日24時間連続操業形態をとる代表的シャフト加工FMSラインの物の動きについて説明する。

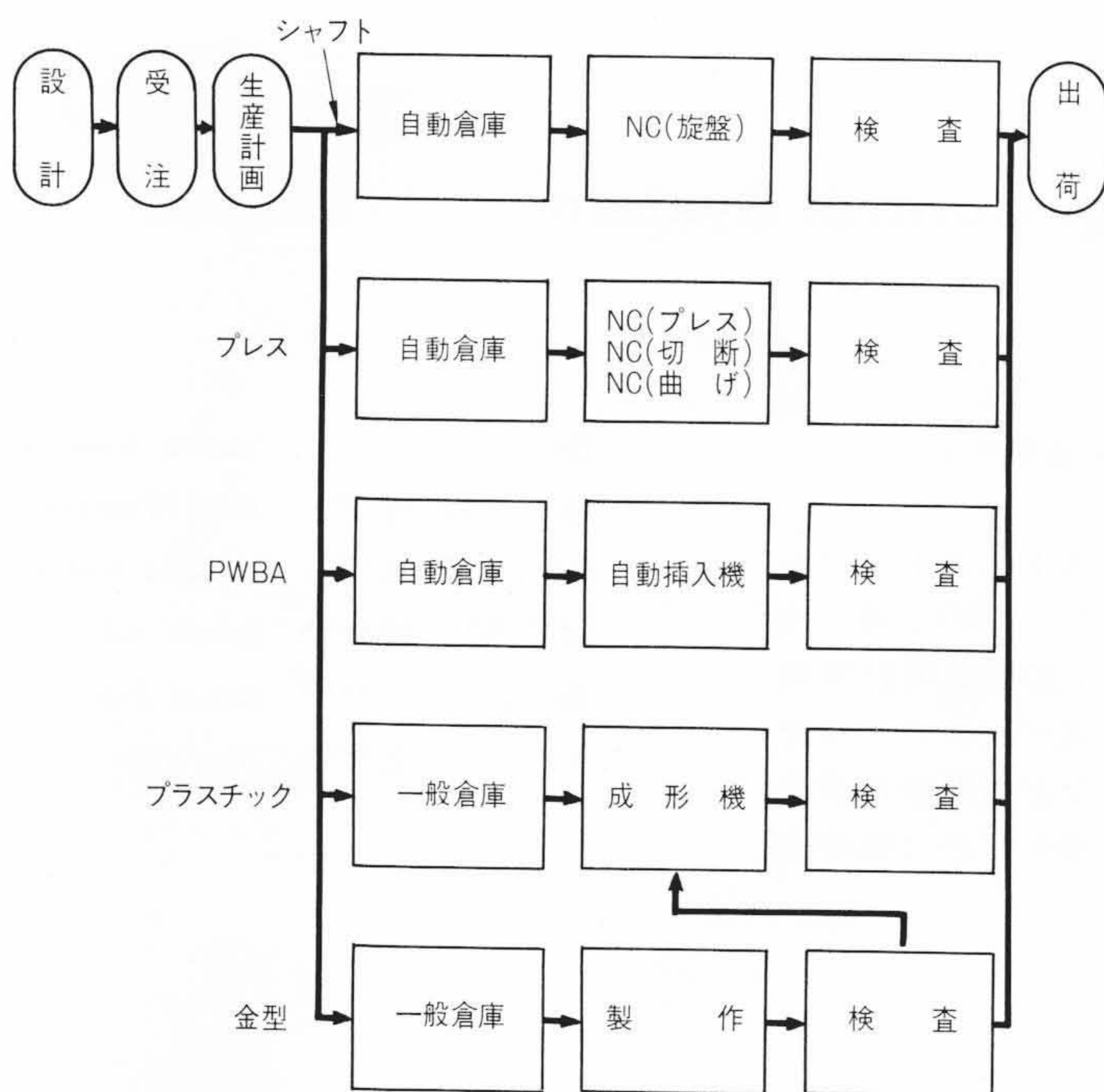
(1) 生産計画をもとに部品展開・材料調達を行なった素材が納入され、素材用立体自動倉庫に格納される。  
(2) 素材出庫のタイミングはNC機械からの素材要求時で、あらかじめ計算機にファイルされている情報(どのNC機械へ、どの素材を、どれだけ供給するか)に基づき素材を出庫し、素材搬送用無人車で搬送する。  
(3) NC機械で加工された製品は、品種ごとにパレット・コンテナに仕分け、製品搬送用無人車で、仕上げ・検査工程へ搬送する。  
(4) 仕上げ・検査後の製品は組立工場へ出荷する。

#### 2.2 システム開発の背景とねらい

本システムの開発は、複写機用部品を従来の外注依存から内製に切り換え、自動化によるコスト削減を図り、コストが外部に影響されない強い企業体質を実現するという背景のもとに行なわれており、その基本的考え方を次に示す。

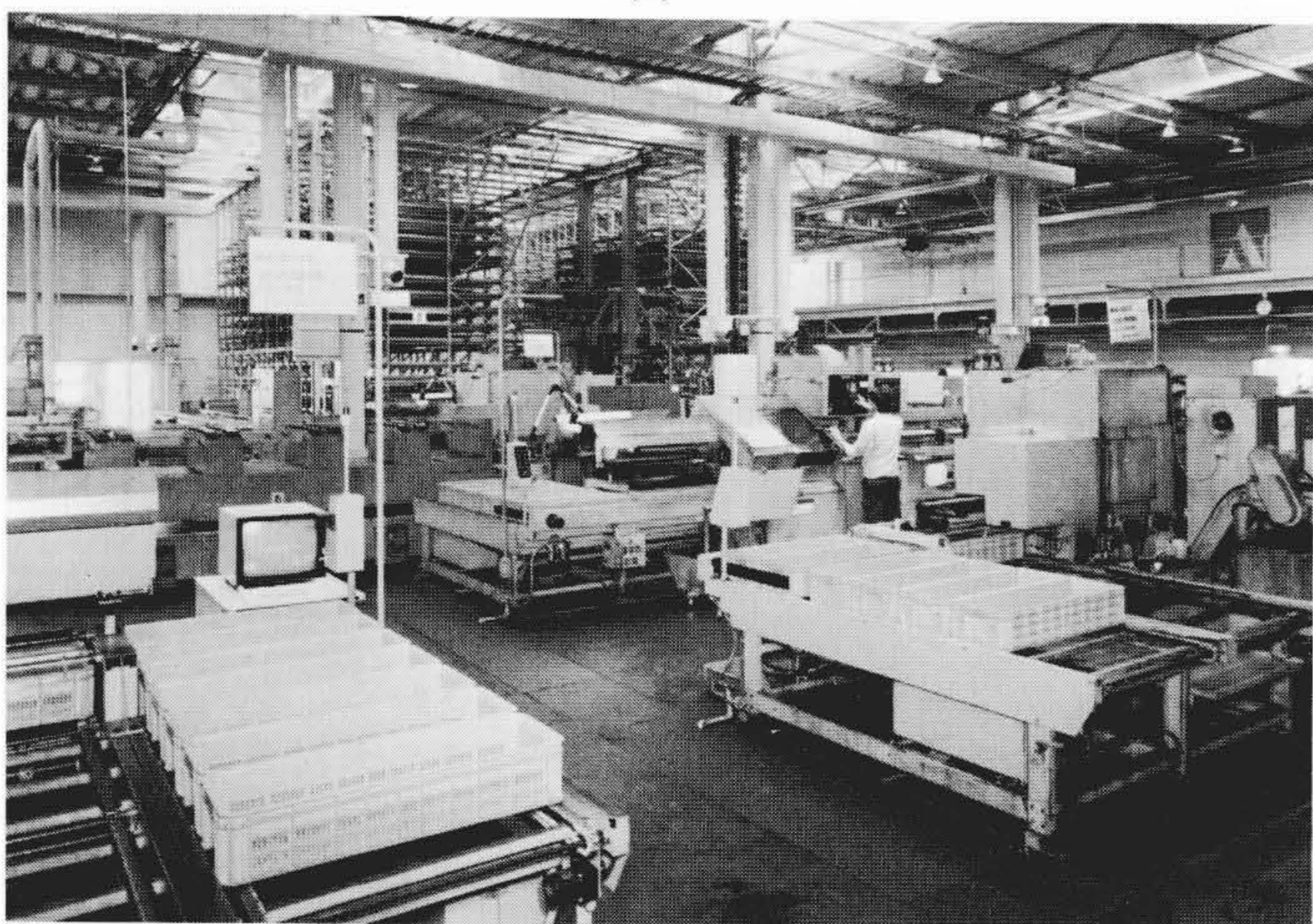
(1) 多品種少量生産・フレキシブル生産の実現  
(2) 組立と同期したストックレスデーリー生産を採用し、売れる時点での最適生産による仕掛け削減  
(3) 工程削減をねらった自動化・複合化設備による無人省力化運転  
(4) 加工設備単体の自動化でなく、保管・搬送・管理・制御の総合的自動化・システム化によるコスト低減

\* 富士ゼロックス株式会社    \*\* 鈴鹿富士ゼロックス株式会社    \*\*\* 日立製作所システム事業部    \*\*\*\* 日立製作所大みか工場



注：略語説明 PWBA(Print Wired Board Assembly), NC(数値制御)

(a)



(b)

図1 物の流れとシャフト加工ライン (a) 五つの相互関連のうすい生産ラインを搬送・NC機械などの自動設備とコンピュータの導入により、トータルFAシステム化した。(b) 具体例としてシャフト加工FMSラインを示す。

## 2.3 システムの特徴

前記のねらいを実現するため、本システムでは次のような特徴を備えたシステムを開発した。

### (1) 複数製品を対象としたFAシステム

(a) 機械加工ライン……板金加工、シャフト加工、金型加工、成形加工

(b) 組立てライン……プリント基板組立て

### (2) 設計から出荷までをトータルで考えたFAシステム

(a) 生産準備……CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)とのリンケージ、ビジネスコンピュータ(以下、ビジコンと略す。)との機能分担化によるトータルシステム化

(b) 生産計画……段取り時間の極小化を主とした製品別最適詳細日程計画

(c) 生産実施……各種自動化設備の制御、各種指示情報の

タイムリーな提供による即応力のある生産体制支援

(d) 生産計画……各種実績レポートの自動生成による管理支援

## 3 システムの構成

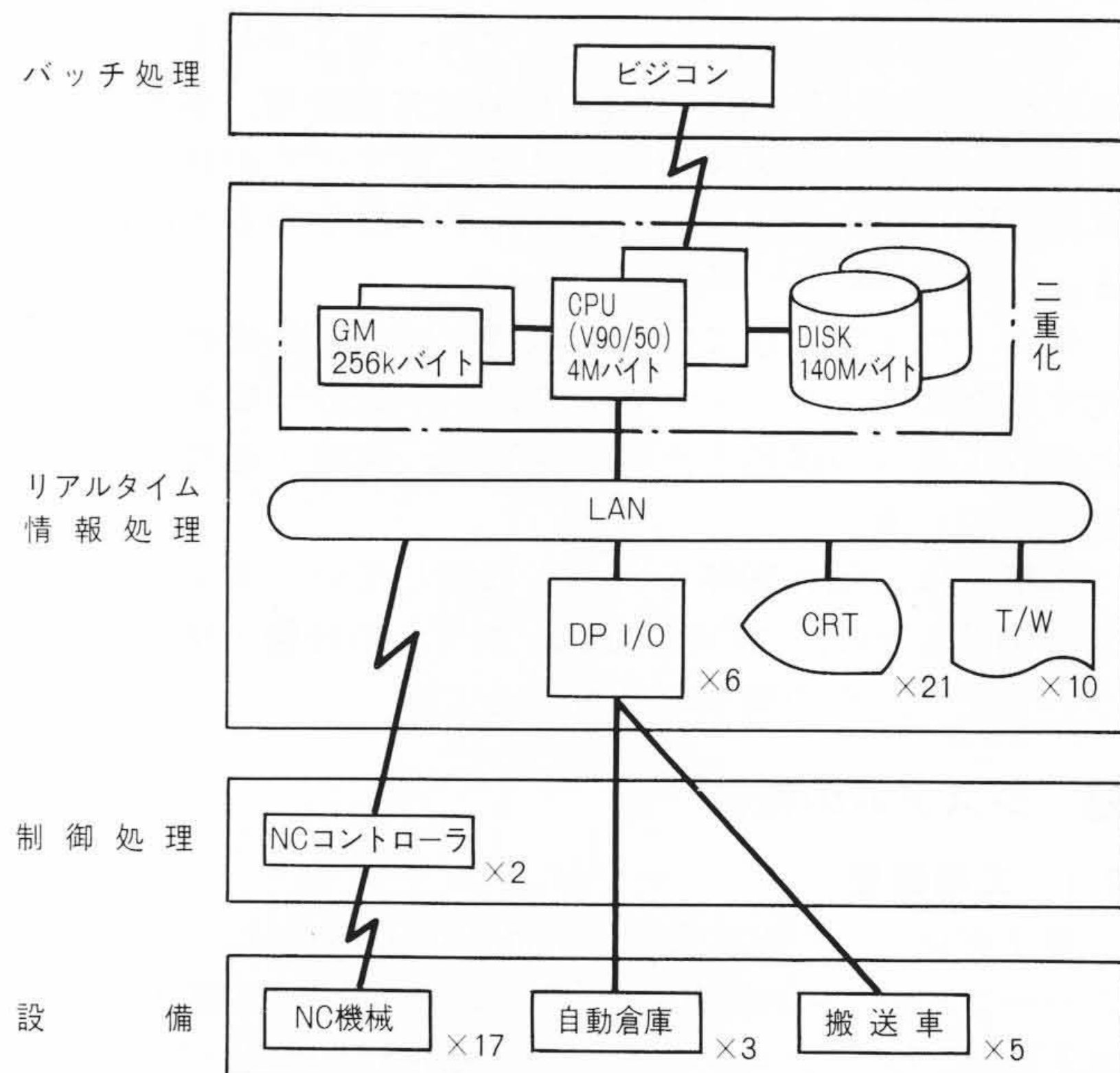
ストックレス デーリー生産を実現するためには、受注から出荷までをコンピュータ導入による総合的な生産管理・制御システム化が必要である。この種のシステムでのハードウェア構成上の留意事項は、データの一致化とシステムダウンタイムの極小化である。そこで、本システムは図2に示すように、ビジコン-プロセス コンピュータ(以下、プロコンと略す。)-NCコントローラと階層構造を取り、情報管理の集中化と設備制御の分散化を図っている。また、プロコンは生産全ラインの情報管理と設備制御指令をつかさどっており、万一の異常に備えて制御情報のキーであるファイル関連のGM(グローバルメモリ)とDISKを含む重要機器を二重化し、信頼性向上を図っている。

### 3.1 階層構造

取り扱う情報量・制御対象範囲・機能を分類し、発注管理・所要量展開・生産計画などバッチ処理をビジコンに、日程計画・実績管理など生産ラインに結びついた情報処理をプロコンに、NCへのデータ転送・加工指示といった設備制御をNCコントローラに機能分担している。また、プロコンの増改造や定期点検などによりシステムが停止しても、NCコントローラ内の加工データだけでNC制御のローカル運転が可能な構成をとっている。

### 3.2 二重化

計算機システムダウンの対策として、重要構成機器であるGM、CPU(中央処理装置)、DISKを二重化し、ハードウェア・ソフトウェア両面からダブルチェックし、異常時即座に切り替え、MDT(平均故障時間)の極小化を図っている。



注：略語説明

GM(グローバルメモリ), DP I/O(分散形プロセス入出力装置), CPU(中央処理装置), CRT(Cathode Ray Tube), LAN(ローカルエリアネットワーク), T/W(タイプライタ)

図2 階層構造をもつ概略システム構成図 情報管理と設備制御を、機能の階層化と制御の分散化により実現している。

## 4 システムの機能

今回開発したシステムでは、情報の集中管理、制御の分散化を図り、危険分散、負荷軽減、段階的システムの拡張、ローカルメンテナンスを可能にしている。

### 4.1 機能概要

図3にシステム全体の機能構成を示すが、ここでは情報フローに沿って、プロコンの機能を中心に説明する。

製品の加工情報は、CAD/CAMシステムで作成され、フロッピーを媒体として本システムの技術情報データベースに入力されるが、本来コンテンツポラリであるべき加工情報も、設計変更、設備トラブルなどにより頻繁に変更されるのが実情である。そこで技術情報管理機能は、各製造ラインに配置されたCRTから、加工データ、部品・素材データ、設備データ、治工具データなどの製造基本情報の登録、修正、削除を可能にし、生産変動に即応できる生産体制を実現している。

また、詳細日程計画機能は、ビジコンからリンケージされる生産計画とプロコンの技術情報から、各ラインの生産形態・設備状態に対応して最適化を図り、能力計画・負荷計画を立案するものである。製造ラインの自動機械群は、すべて詳細日程計画に従って運用されるため、本機能の精度はシステムの生産性に大きく影響する。そこで本システムでは、バッチ的スケジュールリングに加え、リアルタイム性を加味したダイナミックスケジュール方式を導入している。

一方、設備制御である倉庫制御、搬送制御、NC制御などが有機的に結合され、協調・統制されて初めてトータルFAの効果が期待される。そこで本システムでは、運行管理機能により、各設備制御機能のルーズカップリング化を図りながら、協調のとれた高効率な24時間自動運転を実現している。

以下に主要機能を選出し、更に詳細に説明する。

### 4.2 技術情報管理

技術情報管理は、設備を使って物を製造するために必要な情報を、現場に最も近いプロコン上で体系的に管理するFA用データベース管理システムである。

一般的に部品を加工・組立てて製品化するためには、(1)構成部品に関する情報(どのような子部品・素材をどれだけ、どこで使い、どう払い出すか)と、(2)製造ラインを遷移してゆく過程での工程情報(どのような機械で、どの部分の加工を、どのような工具を使って、どういう方法で、どのくらいの時間をかけて行なうか)と、(3)双方を結合する情報(どこで、どのような部品を、どれだけ組み合わせるか)が必要不可欠である。この中で頻繁に変更される情報としては、使用部品、使用数量、加工設備、使用工具、加工時間などがあり、現場オペレータがこれらの情報を変更する際の容易性、冗長性がFAシステムのフレキシビリティを支配すると断言できるほどである。

そこで本システムでは、技術情報を(1)製品に至るまでの過程に関する情報(プロセスマスタ)、(2)子部品・素材に関する情報(子部品・素材マスタ)、(3)設備・機械に関する情報(工程モジュールマスタ)、(4)治工具・金型に関する情報(治工具マスタ)に大別し、更にプロセスマスタについては、(5)構成部品、数量、払出し方法などに関する子部品・素材情報、(6)使用機械、加工方法、使用工具などに関する工程情報に分類して管理している。したがって、もし使用工具が変更になれば工程情報の使用工具だけを修正すれば対応可能であり、また新規に増設された機械を製造ラインに組み込む必要があれば、プロセスマスタに該当工程を挿入し(図4の工程No.10)、使用する部品(同図部品B3)、使用する機械(同図機械C3)を登録するだけで対応可能である(同図の工具D1は既に登録済み)。

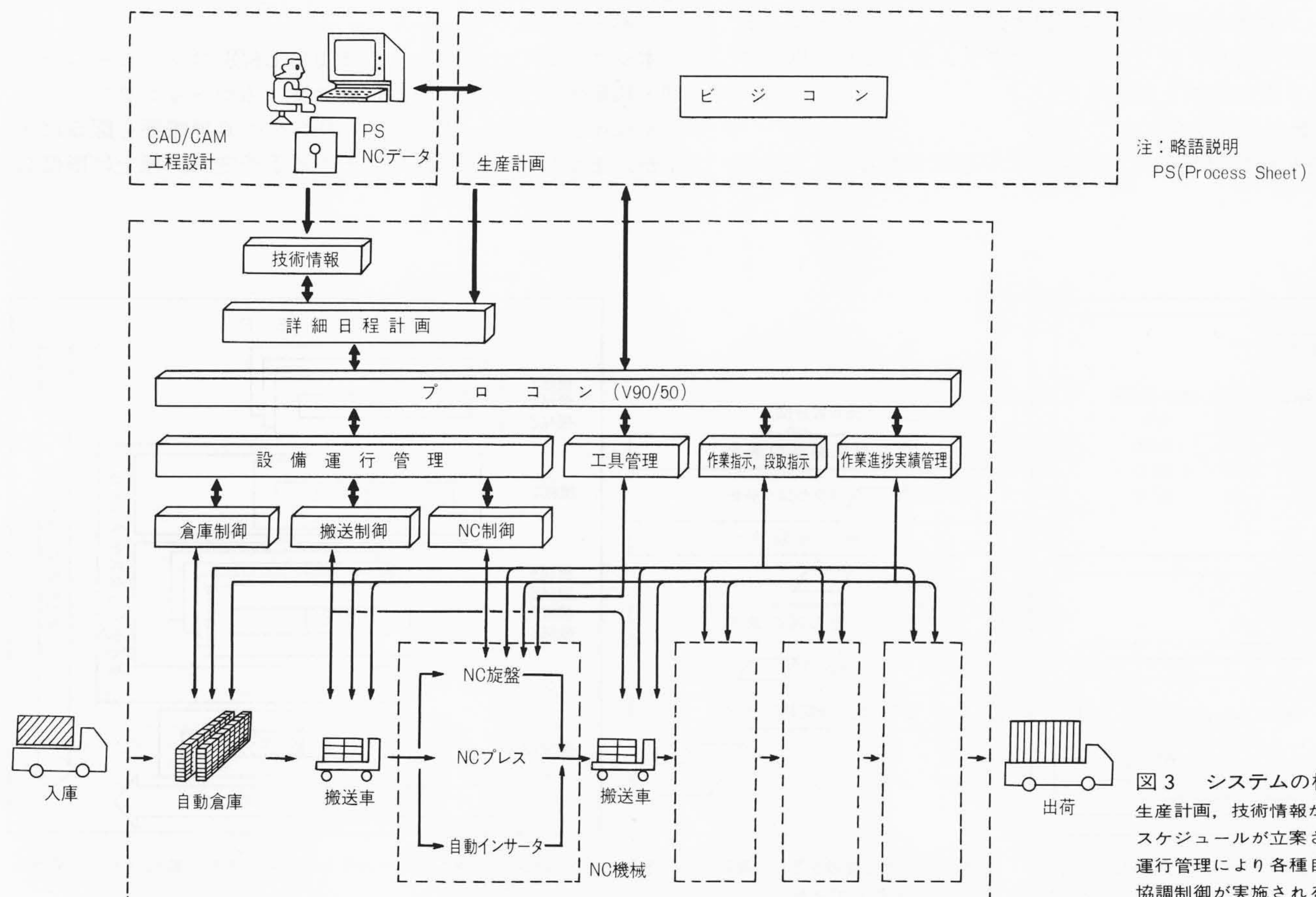


図3 システムの機能概要  
生産計画、技術情報から詳細なスケジュールが立案され、設備運行管理により各種自動設備の協調制御が実施される。

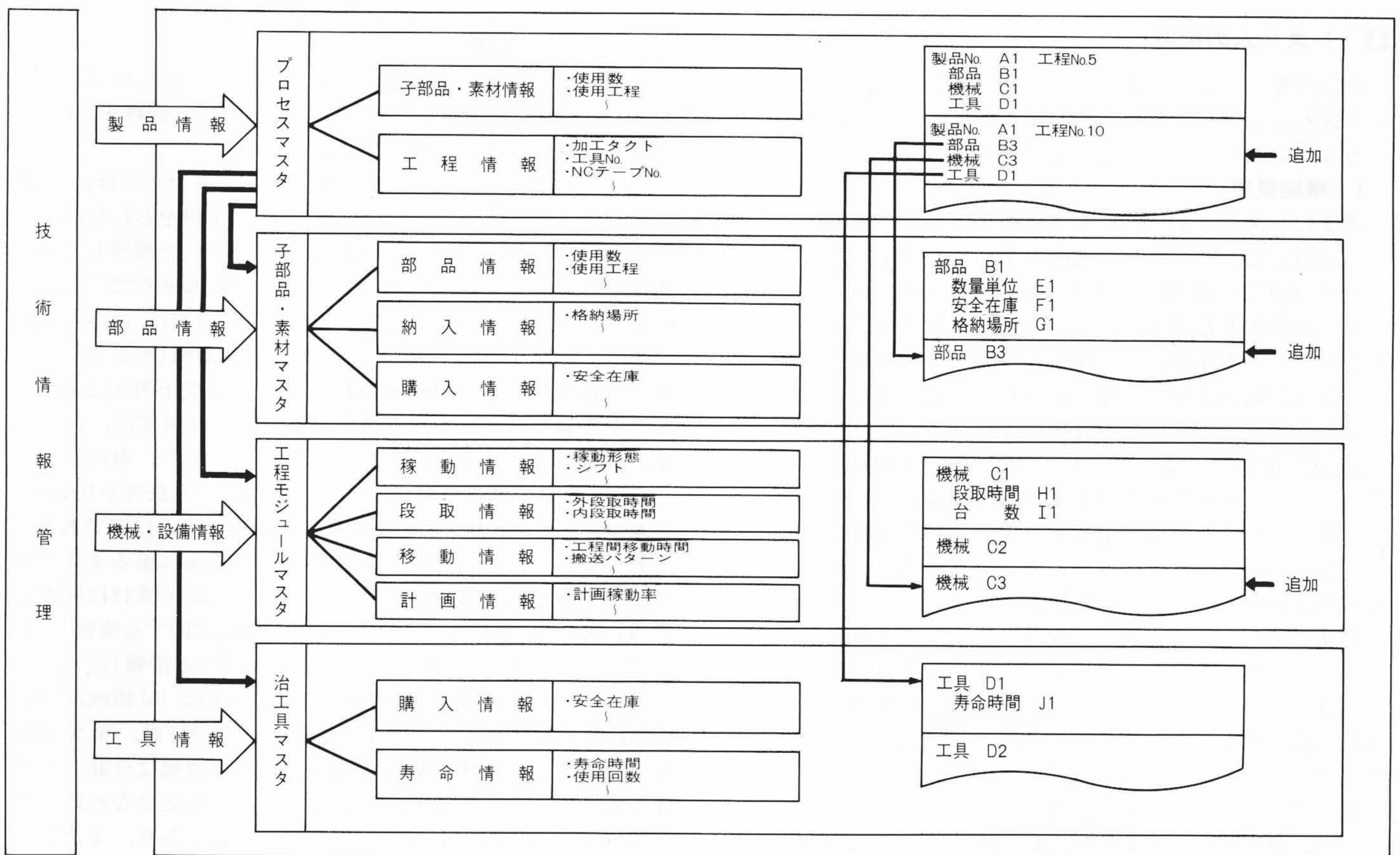


図4 技術情報データベースの構成 製品情報は、部品情報と設備情報の組合せで構成され、各情報を独立したデータベースにすることにより、設計変更、設備トラブルなどの変動に柔軟に対応できる。

上記のように、本システムでは変更される頻度が高い情報に関する意味的グルーピングと、情報間の疎結合を図った階層化データ構造の採用により、製造に強いインパクトを与える製品情報の変動に対しても、プログラム修正なしで即応できる柔軟な生産体制を実現した。

#### 4.3 スケジューリング

各種自動機は群制御されて効率よく運転されるが、更に生

産性向上をトータル的に推進するには、スケジューリング機能が必要となる。

##### (1) バッチ的スケジューリング

本システムでは、向こう2日間の工程別スケジュールを納期・段取優先でデイリーに自動立案するローリングプランニングを採用している。スケジューリングの処理概要を図5に示すが、まず生産計画の製品ごとの着手予定日、繰上げ限度日

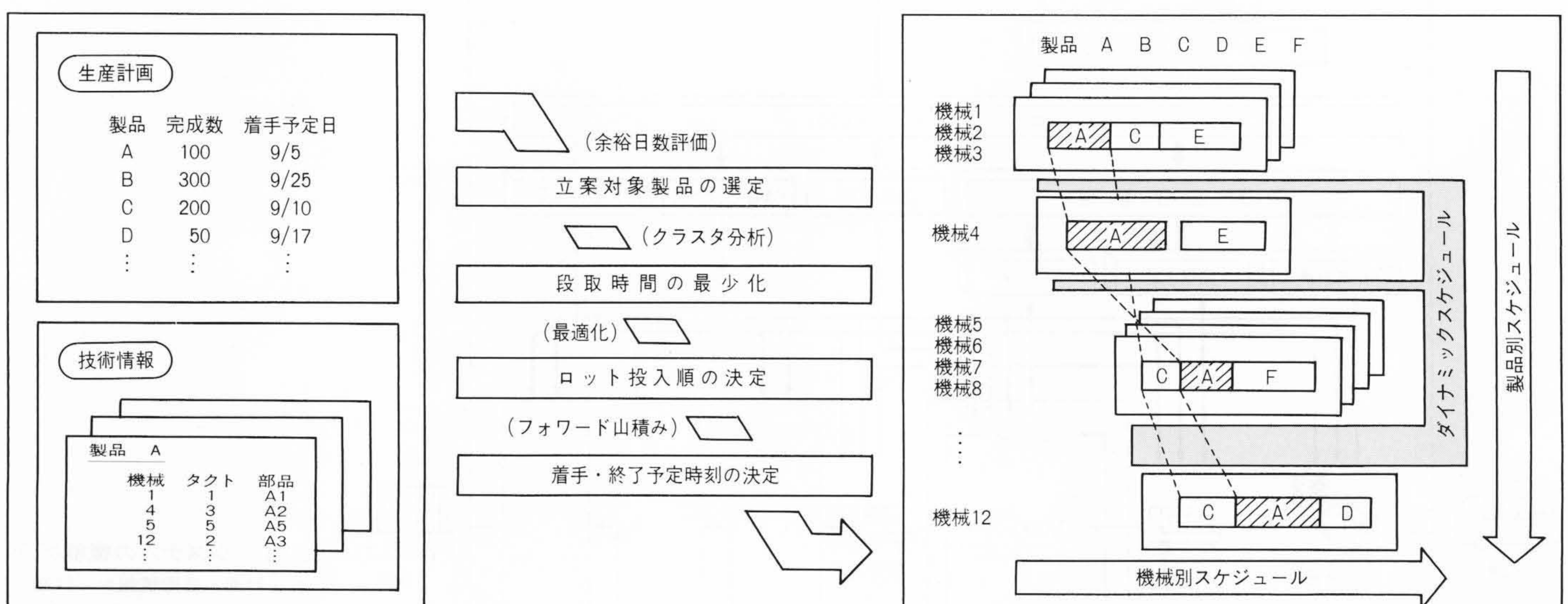


図5 スケジューリング処理の概要 生産計画と技術情報を基に、段取時間の最小化を図ったバッチスケジュールを立案する。また、製造ラインの現況を反映したダイナミックスケジューリングをリアルタイムで実施している。

に基づき、特急、遅延、デーリー生産、繰上げ生産などの納期余裕日数を評価して、立案対象製品を選定する。次に該当製品群に関する技術情報を参照して、すべての製品間の段取時間を算出し、クラスタ分析して、段取時間が最少となるライン投入順(暫定)を決定する。そして、工具一括段取、工具最適配置、素材の有効利用を図る多種取りなどを反映して、更に段取時間の最少化を図った投入順(確定)が決定される(なお、投入機械の決定には、代替設備をも考慮して、平滑化した作業量配分を行なっている)。ライン投入順が求まると、設備能力枠を考慮しながら各種ディスパッチルールに従って着手・終了予定時刻が決定され、すべてのマシンスケジュールが確定される(フォワード山積み法を採用)。以上はバッチ的スケジュール立案について述べたが、これは無人搬送車・自動倉庫などの設備や作業進捗状況に全く依存しない、生産計画と技術情報だけから決定されるスタティックなスケジュール立案である。

## (2) ダイナミックスケジュール

一方、段取時間、加工時間の偏差や設備トラブルなどの生産阻害要因により、当初のスケジュールが必ずしも最適でなくなることが頻繁に発生する。そこで本システムでは、リアルタイムで生産ラインの現況を把握し、作業量の平滑化を図りながら投入設備、投入順序を決定するダイナミックスケジュールを開発した。これは、加工開始・終了、搬送開始・終了などのイベント発生ごとに起動され、機械への投入比率の均一化、段取時間の最少化を図りながら、着手予定・終了時刻をオンラインリアルタイムで決定するものである。本システムでは、スタティックスケジュール及びダイナミックスケジュールを組み合わせることにより、高効率な24時間無人化運転を可能としている。

なお、本システムには生産形態に対応して、リアルタイム性をもつSCOPE<sup>※1),3)</sup>、拡張Johnsonルールを適用した総所要時間最少化スケジュールも具備している。

## 4.4 設備運行管理

設備が複数あり、かつそれらが相互に関連して動作する場合、一般にはコントロールタワーが必要とされるが、本システムでは、これにスケジュールアドバンス機能を備えた設備運行管理を開発した。これは図6に示すように、自動倉庫、無人搬送車、NC機械を制御対象とし、各自動機群を協調制御しながら順次スケジュールをこなし、設備全体の高稼働率運転を実現するものである。

例として、NC機械に割り付けられた加工順に従い、所要素材を自動倉庫から出庫し該当のNC機械へ搬送する場合を考える。

この場合、同一素材を使用する加工が連続すれば、複数ロット分の素材を同時出庫・同時搬送させることにより、効率的な運転を実現している。また、NC機械の加工中に次加工素材を搬送することで、素材待ちによる遊び時間をゼロとし、NC機械群の稼働率向上を図っている。

次にソフト構成に注目すると、設備個々の相互リンケージを排除するとともに、スケジュール情報の参照を制限するこ

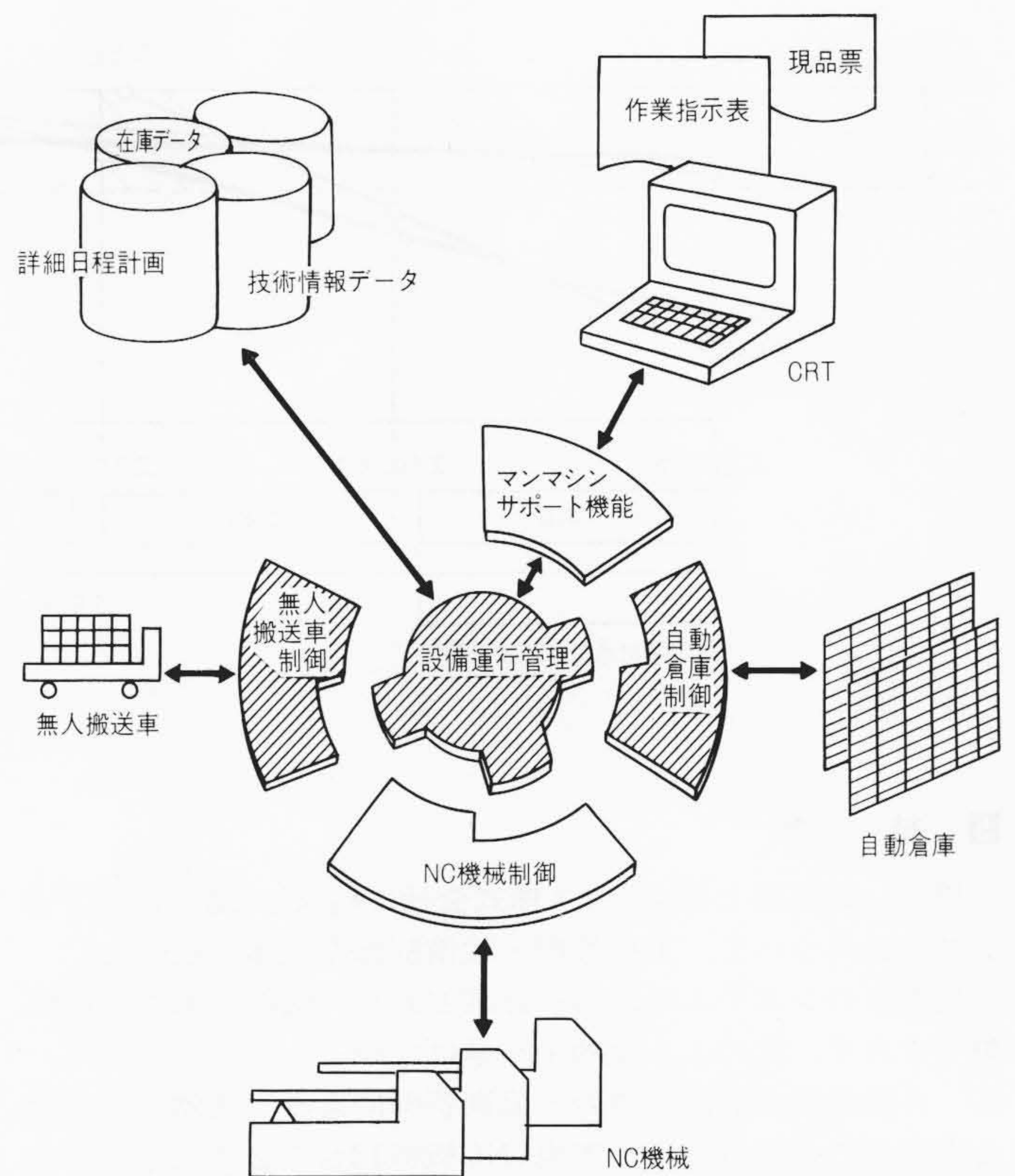


図6 自動機群の協調制御 自動倉庫、無人搬送車、NC機械を協調制御することで、設備の稼働率を向上させ、かつ設備間がルーズカップリングになり、拡張性、保守性に富んだ構成となる。

とで、各機能の独立性を保持し、設備増設に伴うシステム拡張の容易性、保守性の向上が図れる。

## 4.5 NC制御

NC制御では、個々のNC機械のインテリジェント化に伴い、NC制御機能を含めたトータル制御及びきめ細かいサービスが要求されている。本システムでは、NC制御機能をNCコントローラに具備することで、負荷及び危険の分散を図りながら、下記の特徴的機能を実現している。

### (1) 複数部品の同時加工

シャフト加工ラインを例にとれば、1本の棒材から同一部品を複数個加工する方式よりも、複数部品を同時に加工する方式(多数取り)を採用することによって、残材の量を最少化できる。本システムでは、生産予定に組み込まれたロットのうち、同一径の棒材を使用するロットを組み合わせ、最適な複数部品の同時加工を実現し、素材の有効利用を図っている。

### (2) 工具交換の最適時期の決定

本機能は、工具寿命を高精度に管理し、工具交換を極力一括化することで、NCの高稼働率運転を実現するものである。

図7に工具交換のタイミングを示すが、ロットサイズ・該当ロットに対応した工具使用時間、工具寿命係数などから工具寿命を越えるタイミングを推定し、越える工具に対しては、予備工具への切替えを工具ナンバーを変更したNCデータの転送により自動的に行なっている。それでも工具寿命に達する工具に対しては、一括して工具交換が実施されるが、前記の判定はロットの投入時だけでなく、素材の加工開始・終了時にも行ない、工具磨耗による加工不良の発生を低減している。

※) SCOPEは、Schedule and Control on Performance Expectationの略で、非量産の機械加工・組立職場を対象に、長期的な工場完成・負荷予測と短期的な能力対策・作業順序決定を同時に行ない、負荷変動に即応した日程計画を立案するパッケージプログラムである。

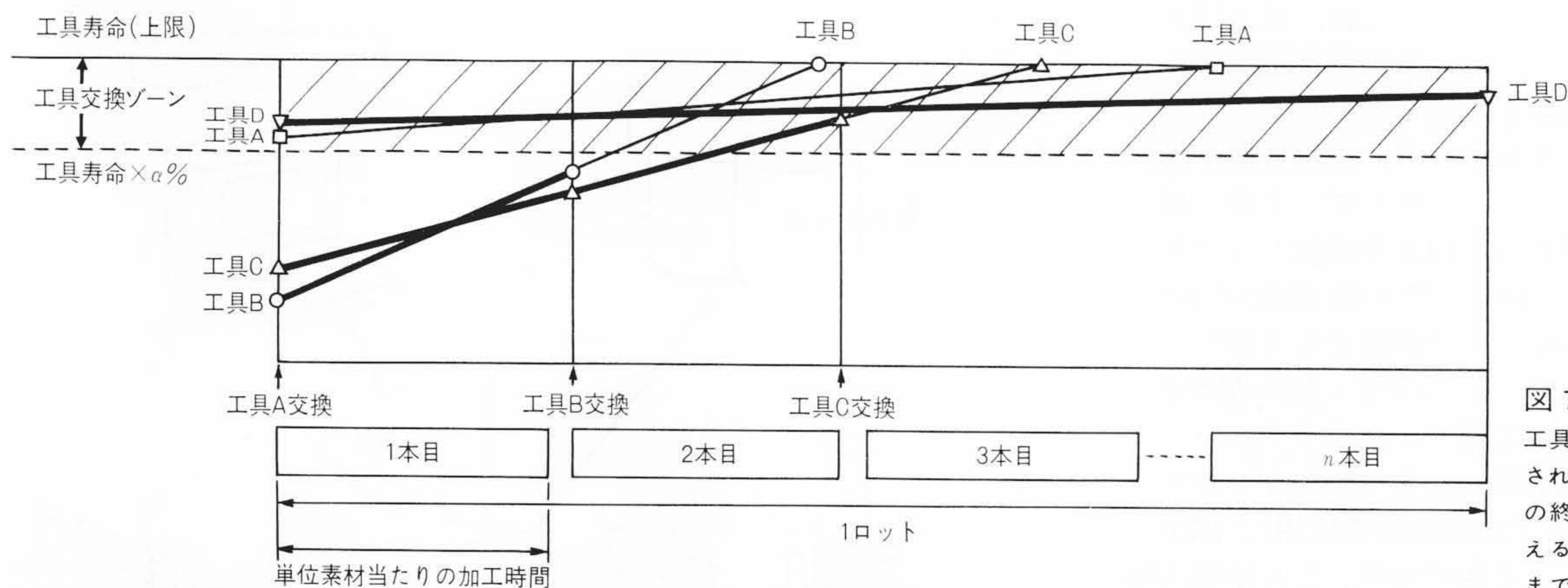


図7 工具交換タイミング  
工具A, B, Cは次の理由で交換される。工具A, C: 該当ロットの終了までに工具寿命時間を越える。工具B: 該当素材の終了までに工具寿命時間を越える。

## 5 結 言

以上、鈴鹿富士ゼロックス株式会社に納入した部品加工FAシステムについて、工程管理・設備制御を主体に述べた。

現在このシステムは、当初計画どおりの機能を果たし本稼動中であり、次のような効果を挙げている。

- (1) 自動設備の有機的結合と協調制御による生産効率の向上と作業員の多数台持ちの実現(NC機械13台: 2人/シフト)
- (2) 段取り極小化スケジューリング機能の本格的導入による多品種少量生産の実現(5~15品種/台・日, ロットサイズ20~400)
- (3) 製造情報の体系的整備による設計変更などへの対応力強化(リアルタイム)

生産システムは、常に範囲や機能の拡大を行ないながら成長してゆくものであり、本システムも今後の展開により、更にトータル化した総合組立工場の確立を目指すものである。

## 参考文献

- 1) 国友: FMS部品加工における生産管理の自動化, 日本経営工学会誌, 35, 5, 320~326(1984)
- 2) 堤, 外: 複写機部品加工工場におけるFAと物流システム, 物流国際会議論文集(昭60-5)
- 3) 武田, 外: 汎用生産管理ソフトウェアパッケージ, 日立評論, 65, 12, 829~834(昭和58-12)

## 論文抄録

## 簡易形FMSの開発

日立製作所 渡邊 弘・相波一三・他1名  
日本機械学会誌 88-795, 199~204 (昭60-2)

FMSに対する認識が高まり、工作機メーカーからは、種々のシステムが発売されるようになったが、価格的には相当高価であるため、簡単には導入できないのが実情である。したがって、少ない投資で効率的なFMSを構築することが課題となってくる。

FMSを構築する要素としては、主体となる加工機械、加工物の機械間搬送、着脱機構、制御系などが挙げられるが、一般的に搬送機構に対する投資が非常に高額となるため、本稿では、特殊な搬送装置の採用によって簡易形FMSを構築した事例について報告する。

### (1) 圧縮機クランクケース加工FMS

圧縮機クランクケースは、六面体であり底面を基準面として加工した後、残りの五面を横形マシニングセンタ1台と立形マシニングセンタ1台で加工するシステムを構築するに当たり、加工物の機械間搬送に特殊6パレットチェンジャを採用した。

すなわち、横形マシニングセンタと立形

マシニングセンタを6パレットチェンジャを介して対向形に配列し、6パレットチェンジャに加工物マガジンと機械間搬送の二つの役割を果たさせることによって投資額の節減を図ったものである。また、この6パレットチェンジャはランダムアクセスを可能とし、加工物を2台のマシニングセンタのいずれへも搬送できるようなシステムとしてある。また、立形マシニングセンタには、ピッチ円径φ180の大径多軸ドリルヘッドをマシニングセンタのテーブル上に設置し、NC補助機能だけで自動工具交換を行なわせる方式の開発や、加工物全機種取付け可能な取付け具の開発などにより、効率の良いシステムにすることができた。本システムの対象加工物は30cm角程度の大きさであり、6パレットチェンジャ全面に加工物を取り付けて、10時間の無人運転が可能である。

### (2) 圧縮機フレーム加工FMS

圧縮機フレームは、大きさ15cm角、重量

約10kgで、種類は6種類ある。従来は汎用機、専用機、NC機を13台線形に配置したラインで加工を行っていた。このラインの段取時間は30時間を要し、また加工物の着脱は人手で行っていた。そこで本作業の改善策として、従来ラインで使用していたNCフライス盤2台に、新たに小形マシニングセンタ4台を追加し、NC機6台で無段取、無人化ラインを構築することとした。

本ラインでは、加工物をパレットに取り付けた状態でパレットごと搬送する方式を採用した。すなわち、NC機のテーブル位置が一直線になるように配置し、各NC機の間にはパレット中継ステーションを配置し、NC機のテーブルの動きを利用して、パレット中継ステーションとの間でパレットを受け渡しすることによって、複雑なパレット搬送装置を取り付けることなく、かつNC機を全く改造しないで、トランスファラインと全く同じ機能をもたせることを可能とした。