

# ロボット群制御による自動加工ライン統合生産システム

## Integrated Manufacturing System of Robot-Controlled Automatic Machining Shop

機械工場の自動化は設備により柔軟性が要求され、設備そのものが高級化するにつれ、機器単体としての自動化からシステムとしての自動化に推移しつつある。統合生産システム概念は、加工工程、あるいは工場全体をトータルシステムとしてまとめるためのシステム概念である。統合生産システムの観点から、シャフト加工自動化ラインに計算機システムを導入し、自動倉庫、無人運搬車、ロボットによる自動ハンドリング、NC機械の群制御により、自動化システムを開発した。特に、ロボットによる1:Nハンドリングサービス、ティーチ簡略化、更に機器間連携動作のタイミングコントロールとスケジュール実行監視のためのシステムコントロールの考え方の採用により第一段階を越えたものである。

荻本啓二\* *Ogimoto Keiji*  
 加藤至\* *Katô Itaru*  
 石川真佐男\*\* *Ishikawa Masao*  
 山中邦夫\*\* *Yamanaka Kunio*  
 高木正興\*\* *Takaki Masaoki*  
 藤岡誠一\*\* *Fujioka Seiichi*

### 1 緒言

機械工場における自動化・省力化は、メカニカルオートメーション、トランスファマシン、マシニングセンター化及び数値制御(以下、NCと略す)化と種々行なわれてきた。これらは、いずれも加工工程の単機能の自動化であるが、ニーズの多様化、製品ライフサイクルの短縮が進むにつれ、設備に柔軟性、汎用性及び拡張性が強く求められてきている。必然的に多品種・少量生産をジョブショップ形態で行なうことになり、更に加工だけでなくハンドリング、運搬及び貯蔵の自動化を含めたシステムとしての自動化が重要視される。柔軟な設備を効率よく使い、量よりも能率、品質の向上及び品種の多様性を追求するには、設備をシステム化する必要がある。統合生産システム(Integrated Manufacturing System以下、IMSと略す)の概念は、電子計算機をオンラインで使用することにより、機械工場の生産計画から機器の制御までを総合的に運用、管理及び制御を行なおうとするトータルシステム指向である。今回、統合生産システムの思想の下に、ハンドリングの自動化をロボットで実現し、運搬の自動化を無人運搬車で行ない、NC機械、自動倉庫と連携して、シャフト加工自動化ラインを完成させた。以下、統合生産システムの考え方、ロボット群制御を中心とした自動加工システムを計算機制御という観点から述べる。

### 2 IMSの概念

図1に、加工ラインを中心としたIMSの概念を示す。機械工場の生産システムは、一般に三つの機能要素の組合せによる繰り返して製品を生産している。すなわち、「移動」、「貯蔵」及び「変化」である。素材の運搬は移動であり、ライン内で加工待ちとなって機械サイドに置かれるのは貯蔵であり、加工は変化である。機能要素が設備対応でまとまった機能となると、加工ラインの場合、半製品倉庫、無人運搬車、NC機械、ハンドリング機械及び操作卓となる。それらの独立した機能を制御するコントロール部分が機器コントロールレベルとなり、機器コントロール相互を有機的に結合し、システム

としての複合機能を実行できるよう監視制御するのが、スケジュール実行監視制御である。その上位に位置する計画レベルが、システムコントロールレベルに対して機械スケジュール及びジョブスケジュールを与える。加工工程は、計画→実行→機器の直接制御という階層構成で機能体系を考えることができる。このように、加工ラインを例にとると、設備を独立な機能に分割し、計画レベル、実行監視レベル及び制御レベルに階層化することにより、生産・監視・制御情報の流れを縦の上下関係に体系化した考え方がIMSの概念である<sup>1)~3)</sup>。

### 3 IMSの自動加工ラインへの適用

一般に、設備の選択及び設備のレイアウトは、設備の稼働率、経済性及びリードタイム(生産所要時間)と重大な関係があり、品種の種類、ロット員数、生産量、加工時間、段取時間などから決定しなければならない。本システムは、運搬に無人車を用いること、中間製品を自動倉庫でバッファリングすること、及びハンドリング自動化に工業用ロボットを用いることにより、機械へのサービスを1:Nの複数サービスとし、天井走行形とすることを考慮し、汎用生産システムシミュレータ:MAFLOS(Material Flow System Simulator)<sup>4)5)</sup>を用いてシミュレーションを行ない、図2に示すレイアウトを得ている。

#### 3.1 システム機能概要

図2で分かるように、天井走行形ロボットは2台であり、加工時間、ハンドリング時間のバランスから1:4サービスとなっている。無人運搬車は、運搬時間平均を短くするため、サークル軌道をとっており、シャフト材はパレタイズされて、パレット単位で運搬及び入・出庫される。このようなレイアウトにおいて、シャフト材の加工の流れをモデル化してみると明らかにジョブショップ形となる。多品種でしかも加工工程が多く、加工機械が各々異なる結果である。図2に示すようなジョブショップ形加工においては、単にロボット、無人運搬車、自動倉庫及びNC機械という単機能の自動化ではト

\* 日立建機株式会社土浦工場 \*\* 日立製作所大みか工場

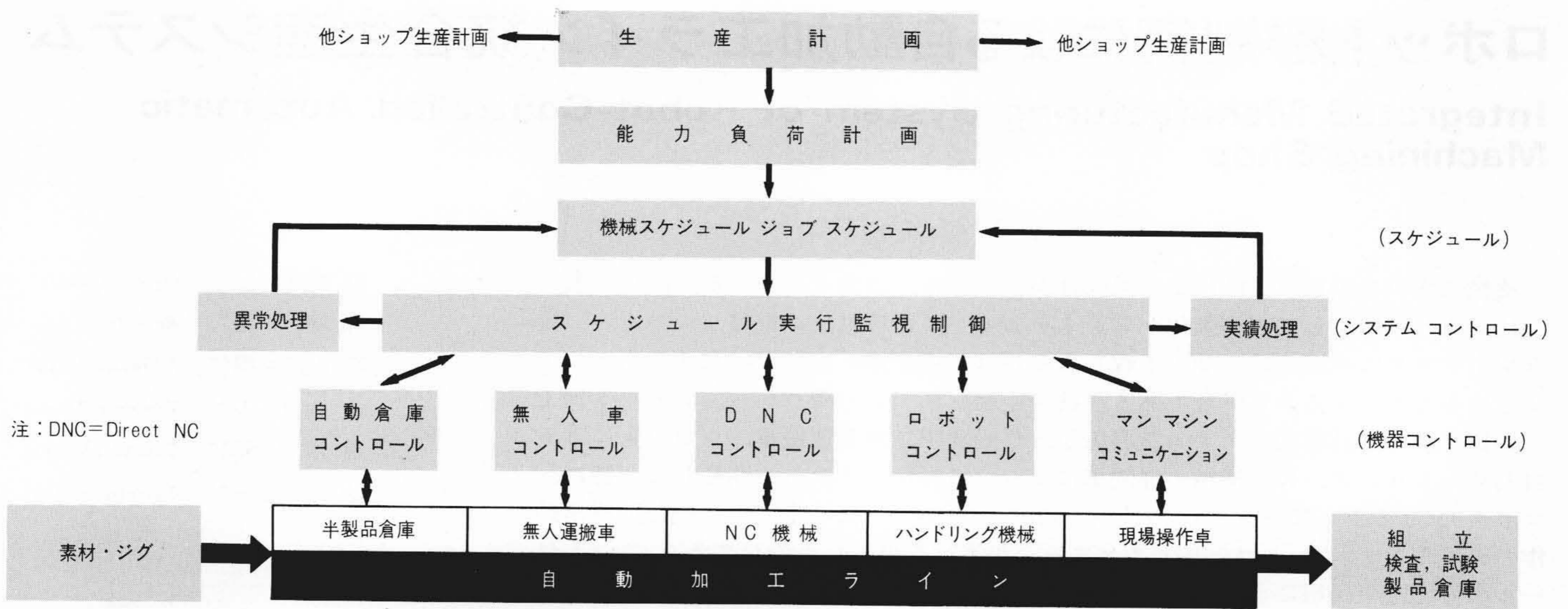


図1 加工ラインを中心とした統合生産システム(IMS) 加工ショップのシステムの自動化は、機能を階層構成で上下関係に体系化した統合生産システム概念でまとめることができる。

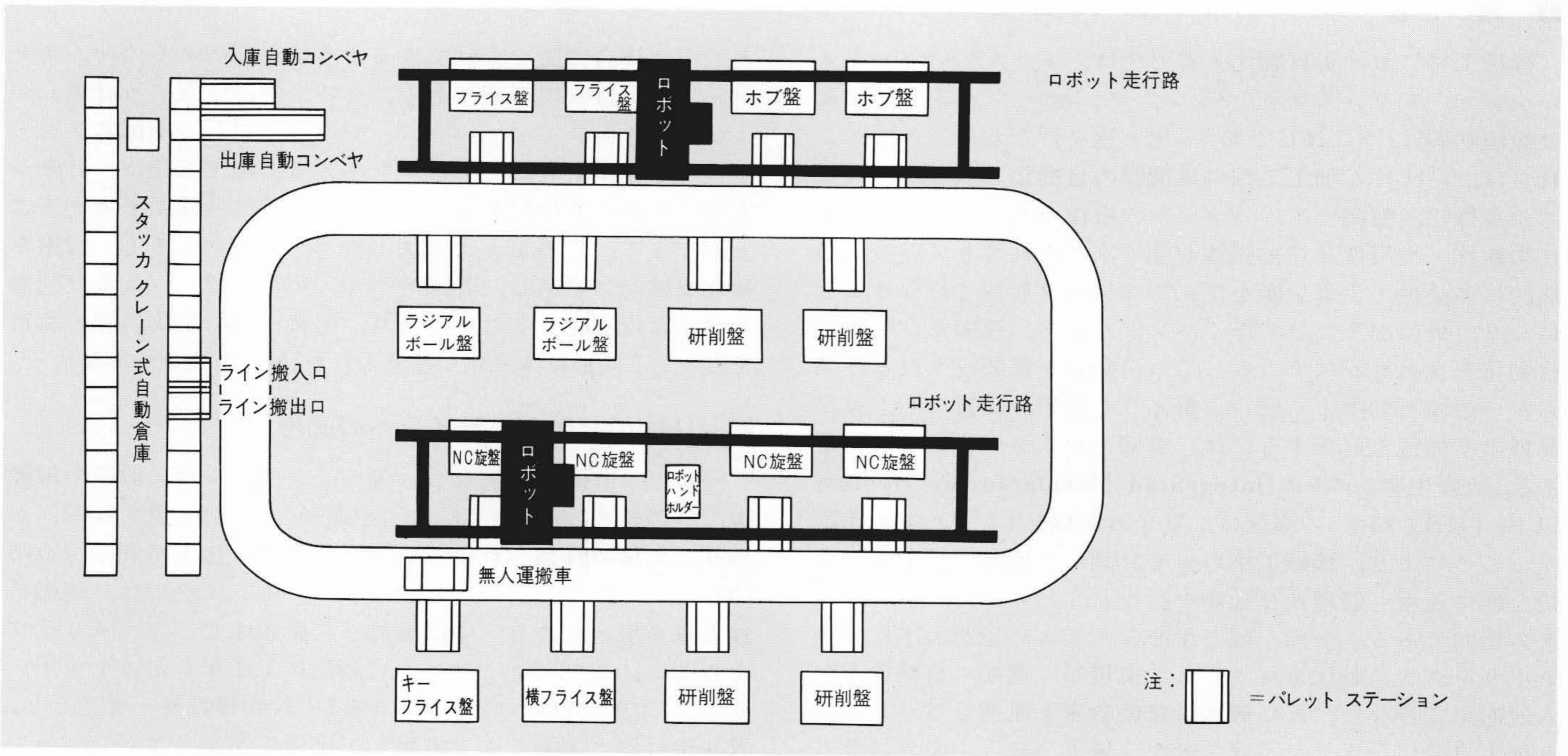


図2 シャフト加工ラインのモデル例 シャフト加工ラインを、自動倉庫、無人運搬車、NC機械、天井走行形1：4サービスのロボットによるハンドリングで、総合的に自動化した設備レイアウトモデル例を示す。

タルとしての生産性の向上は望めず、機器内の有機的な連携コントロールとタイミング制御、機械スケジュール、ジョブスケジュール作りと現況にマッチした機械へのジョブアサインが極めて重要になる。機能をIMSの観点から体系化したのが図3である。ジョブショップにおいては、スケジュールリングのための一般的解析解は極めて困難なため、シミュレーションにより実行可能の解を得ている。シミュレーションはオンラインでしかも小形電子計算機で実行されるため、容量・実行時間の面でくふうされた新規開発モデルである。スケジュールリングは、同一機能をもつ機械をワークセンターと考え、ジョブの仕掛状態、機械の稼働タイプ、機械の状態及び優先規則に基づいて行なわれる。

### 3.2 システムコントロール

与えられたスケジュールを確実に実行していくためには、各機器の動作状態を常に監視し、完了によるロット内製作員数の把握と次作業の決定、必要に応じて段取指示、計測指示及びチップ交換指示、機器間の連携動作を円滑に行なうためのタイミング制御、スケジュールの更新という重要な役割を果たす。図4にシステムコントロールのソフトウェア構成を示す。

### 4 計算機制御システム

制御システムについては、図5に示すシステム構成をもつ計算機システムを用意した。先の図3に示す機能体系は、こ

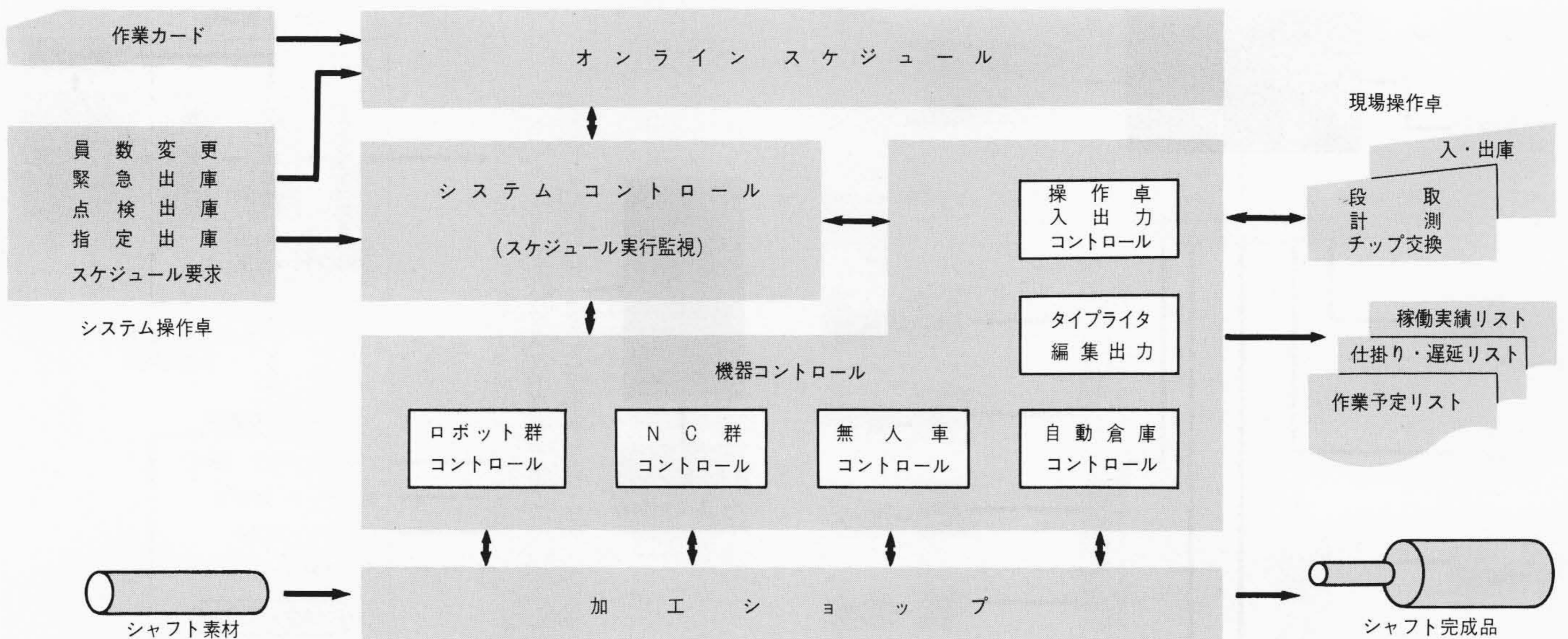


図3 シャフト加工ラインの機能体系 シャフト加工ラインを、統合生産システムの考え方で機能体系に表わすと、機器コントロール、システムコントロール、オンラインスケジュールの3レベルに分けることができる。

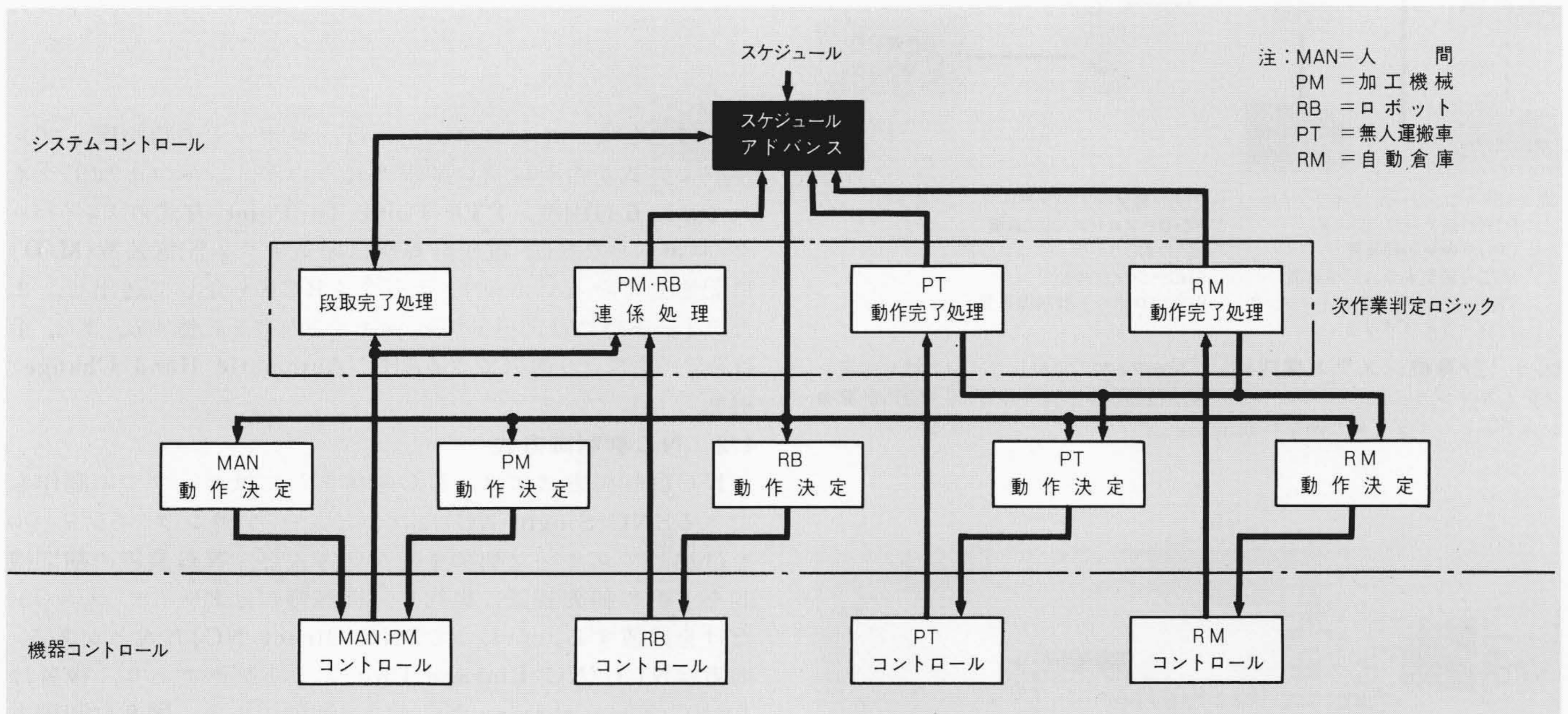


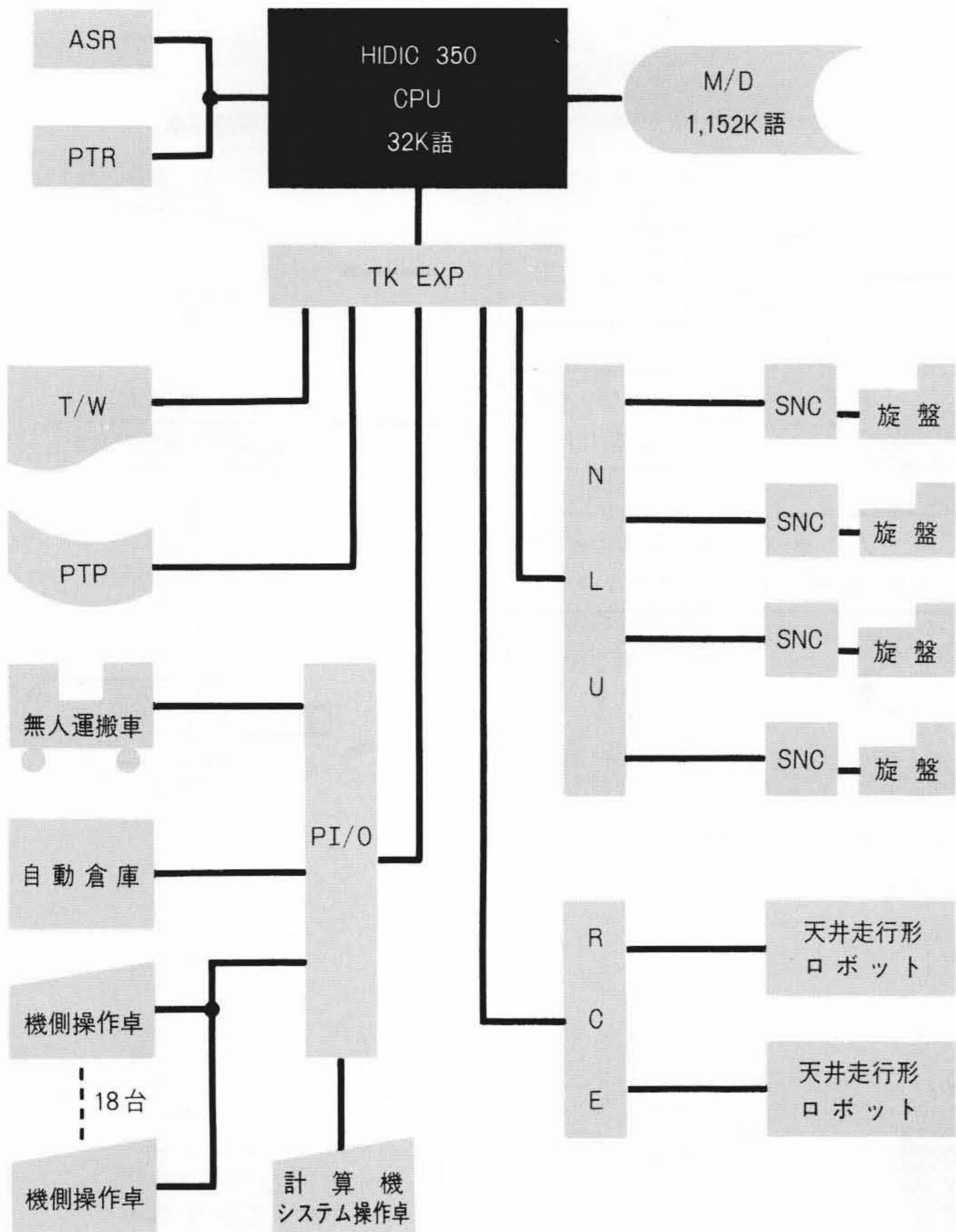
図4 システムコントロールのソフトウェア構成図 システムコントロールは、スケジュールの実行監視、アドバンス、次作業判定及び機器コントロール間の連携動作の機能を果たす。

の計算機システムの中に内蔵される機能である。オンラインスケジュール機能を上位電子計算機に移すと、もう少し小規模にすることができるが、機器制御だけの計算機システムとなる。図5で特徴的な構成は、ロボット群制御とNC群制御である。これらの制御方式は、汎用的に標準化した方式を採用しているので、以下これらについて述べる。図6に計算機システムの概要を示す。

#### 4.1 ロボット群制御方式

ロボット群制御方式には、電子計算機がロボットの制御装置のどこまで入り込んでその機能を肩代わりするかのレベルによって3段階に分けることができる。すなわち、演算形、記憶形及び管理形である。ロボット機器は、本体機械部、駆動部、演算部、メモリ部、位置検出器、ティーチボックス(教

示用)などの外部インタフェース部とから成るが、全部を備えてロボット単位でまとめた機能を持ち、電子計算機は、動作種類と動作タイミングを与えるだけのスーパーバイズ方式が管理形である。一方、ロボットから演算部以降を取り去り電子計算機が直接位置フィードバックを受けて比較演算する方式が演算形である。この方式では、電子計算機は1msに1回ぐらいの頻度で演算が必要となり、中央処理装置(CPU)負荷は極めて大で、ロボット1~2台だけの制御で手一杯となる。以上の2方式の中間が記憶形である。大きなメモリの代わりに、バッファメモリを置き、バッファメモリの内容を電子計算機が書き換えることにより、別々の動作内容が実行できる。バッファメモリの範囲内では単体として動作出来、CPU負荷は、秒又は数10秒に1回のサービスでよいので、電



注：ASR=コンソール タイプライタ  
 PTR=紙テープ リーダ  
 CPU=中央処理装置  
 M/D=磁気ドラム記憶装置  
 TK EXP=トランク エキスパンダ  
 T/W=タイプライタ  
 PTP=紙テープパンチャ  
 PI/O=プロセス入出力装置  
 NLU=NCリンケージユニット  
 SNC=シングルNC  
 RCE=ロボット群制御装置

図5 計算機システム構成図 シャフト加工自動化ラインの統合生産システムをオンライン スケジュールから、機器コントロールまで、1台の計算機システムとしてまとめた例を示す。



図6 計算機システム概観図 電子計算機室のレイアウト概観であり、キュービクル面数8面、システム操作卓、ロギング タイプライタ、コンソール入・出力装置及び紙テープパンチャがある。

子計算機機能が幾つもあり、その一機能としてロボット群制御を行なう場合、ロボット+電子計算機の組合せとして、最もコストパフォーマンスの高いシステムが構成できる。図7に今回採用した記憶形の制御方式を示す。群制御装置としてロボット群制御装置(RCE)を開発し、最大15台までのロボットの群制御が多重時分割で可能なように、標準インターフェー

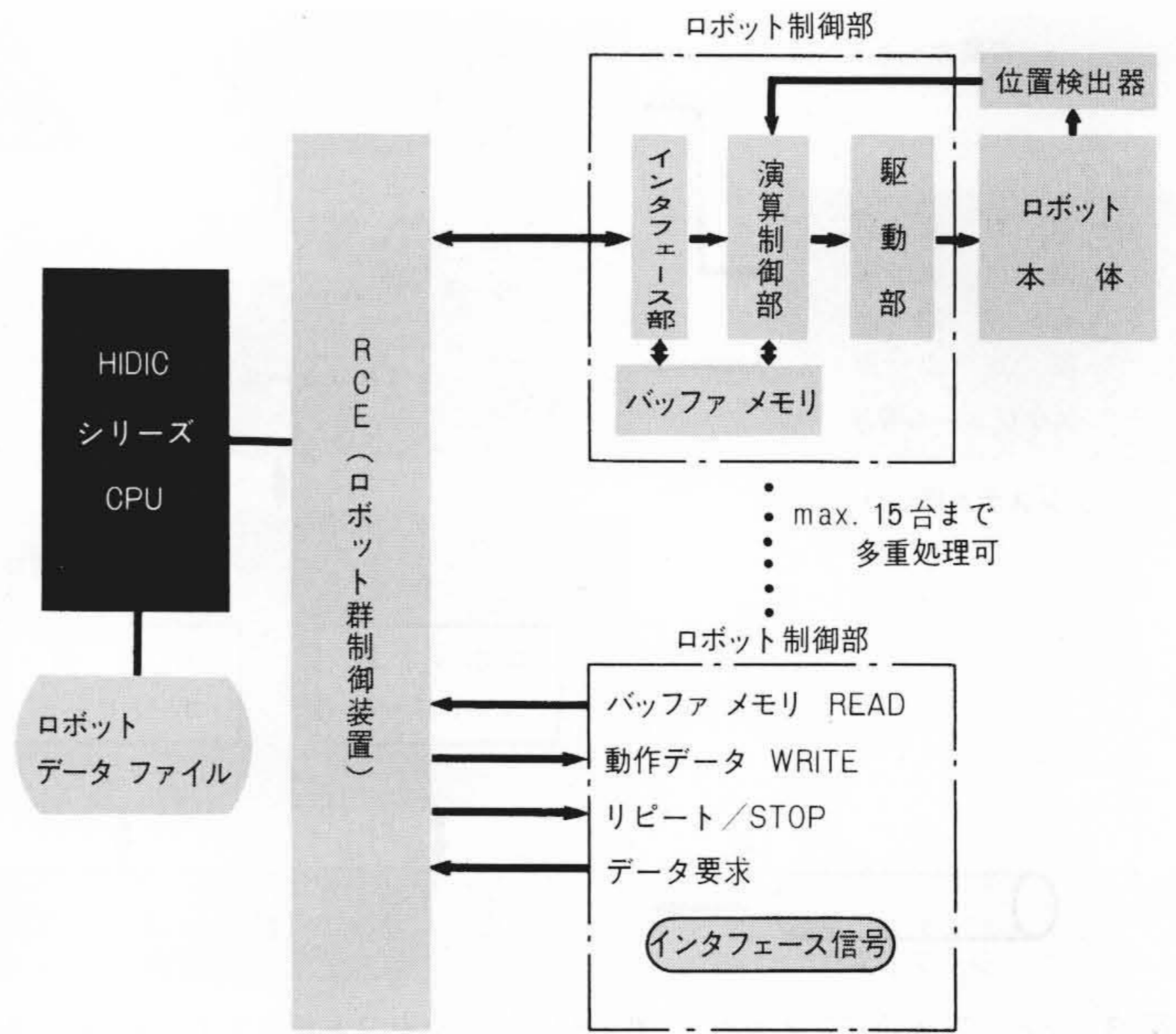


図7 ロボット群制御方式 PTP方式のプレイバック ロボットを記憶形で群制御する標準制御方式であり、RCEはロボット群制御装置として開発されたものである。

スを確認した。インターフェースは、ロボットの自由度、プレイバック式か否かに特に制限されないが、シャフト加工ラインでは、6自由度、PTP(Point-To-Point)方式のプレイバックロボットである。電子計算機は磁気ドラム記憶装置(M/D)に記憶しているロボット データをRCEを介して送出し、またティーチ時には、バッファ メモリの内容を記憶する。また、手首をワークにより選択できるAHC(Automatic Hand Change)機能ももっている<sup>6)</sup>。

#### 4.2 NC群制御方式

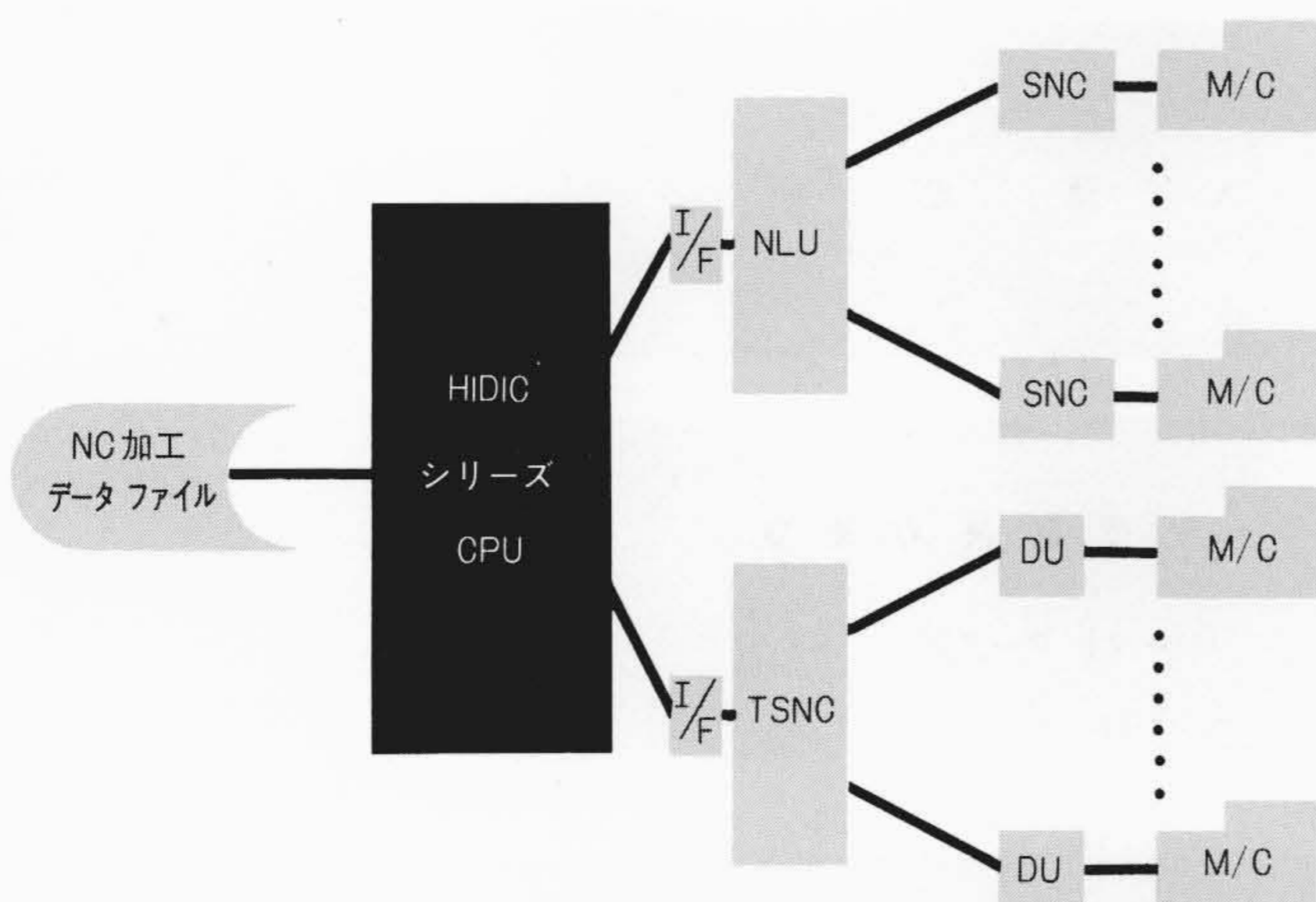
NC群制御方式には、NC単体として紙テープでの動作もできるSNC(Single NC)にコンピュータ リンク モジュールを付加してグループ制御を行なう方式と、NC装置の補間機能を1台の制御装置に集約し、機械側にはドライブ ユニットだけを設置する、いわゆるDNC(Direct NC)方式とがある。前者はNLU(NC Linkage Unit)による制御であり、後者はTSNC(Time-sharing NC)による制御である。図8に制御方式を示す。NC群制御方式は、富士通ファナック株式会社のNCとHIDICシリーズ計算機とを組み合わせ、HIDIC & FANUC SYSTEMとして共同開発したシステムのうち、NLU方式を本システムで採用している。

### 5 ロボット群制御システム

走行形ロボットを1:4で機械と対応させてハンドリング作業を行なう場合、機械、ロボット、パレットステーション、パレットローダ及び無人運搬車との連携動作が極めてデリケートである。概念図を図9に示す。

#### 5.1 ハンドリング作業におけるロボットの役割

ロボットは、サービスする機械のパレットステーションまで走行して、腕を伸ばしてパレット上のワークを1本つかみ、腕を縮めながら旋回し、ベンド動作を行ない機械のチャックセンターにワークをローディングする。また、ワークの反転、ワークの機械からのアンローディングを行なう。ワークの種類が変わり、手首から先のハンドを交換する必要の生じた場



注：I/F=インタフェース部  
 NLU=NCリンケージユニット  
 SNC=シングルNC  
 M/C=加工機械  
 TSNC=タイムシェアリングNC  
 DU=ドライブユニット  
 CPU=中央処理装置

図8 NC群制御方式-HIDIC & FANUCシステム NC群制御には、SNCのグループ制御とDNC方式の2とおりがある。今回はNLUによるグループ制御であるが、両方式ともHIDIC & FANUCシステムとして標準タイプである。

合は、ハンドホルダに走行してハンドを自動的に交換する。機械のローディング作業の場合、機械がワークをチャッキングし終わらないうちに、ワークを放さないよう、ロボットと機械との間にインターロック条件のやりとりが必要となる。

### 5.2 連携動作とタイミングコントロール

電子計算機、ロボット、無人運搬車、パレットローダ及びNC加工機械とがそれぞれ連携動作して、1パレット分のワークを運搬してきてパレットを載せ、加工完了するまでのインターロック条件のやりとり、データ授受及びコントロール授受の一連のシーケンスを図10に示す。同図において、信号名の頭に記されている番号が順序であり、1から27まで追っていくと、一連の動作を理解することができる。NC機械とロボットとの間に、ドア開閉、心押し軸前進/後退及びチャック開閉のインターロックのやりとりがあることが分かる。これらのインターロック条件は、各ロボットデータ及びNCデータの中にファンクションとして登録されたデータが、外部の接点信号のオン/オフとなってインターロック機能を果たす。

### 5.3 ロボットデータのティーチ簡略化

PTP方式のプレイバックロボットを採用しているため、ハンドリング作業を実行する前に、詳細なロボットの動作軌跡、スピード及びインターロック条件をティーチ(教示)、すなわち教え込まなければならない。教示者は、ティーチコントロールボックスをピストル的に握り、ハンドにワークを装着して空間上の点を選んでロボットを動かしながら教え込む。ティーチデータは、バッファメモリにストアされ、作業名称を付けて、電子計算機内に記憶される。この場合、ティーチすべき点数を概算してみよう。ワーク1本当たり、平均30ステップの動作を必要とすると、ティーチ総点数=30×機械台数×ワーク種類で単純計算しても30,000点を超えることになり、ティーチに膨大な努力を必要とすることになる。そこで、電子計算機の柔軟性を利用して簡略化する方式を開発した。ロボットの動作内容を分析すると、ローディング、反転、及びアンローディングの作業の動作要素の中に、機械共通、又

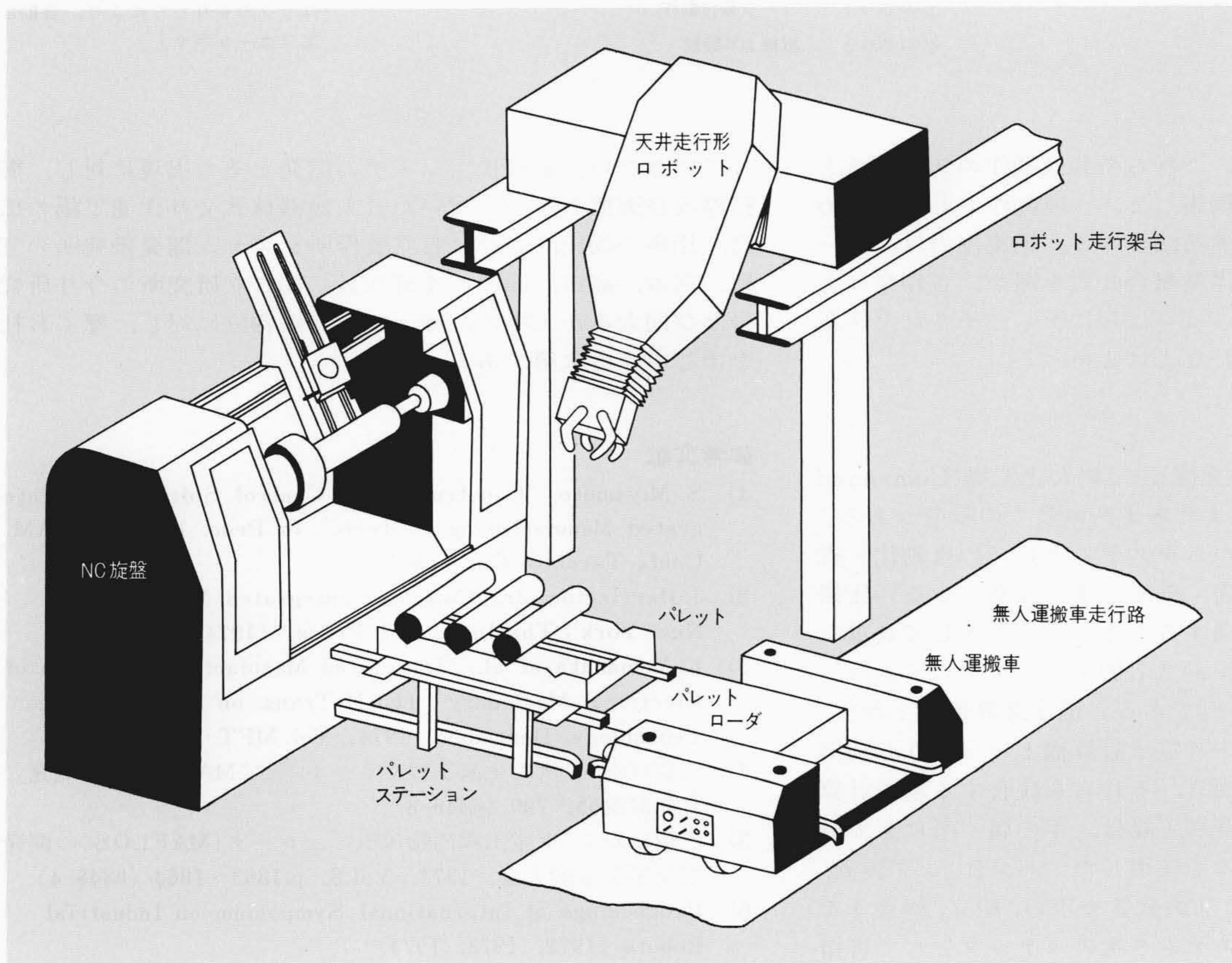


図9 ロボットのハンドリング作業連携動作概念図 天井走行形ロボット、NC旋盤、パレットステーション及び無人運搬車がワークをローディング、反転、アンローディング及び搬送する連携動作の概念図を示す。

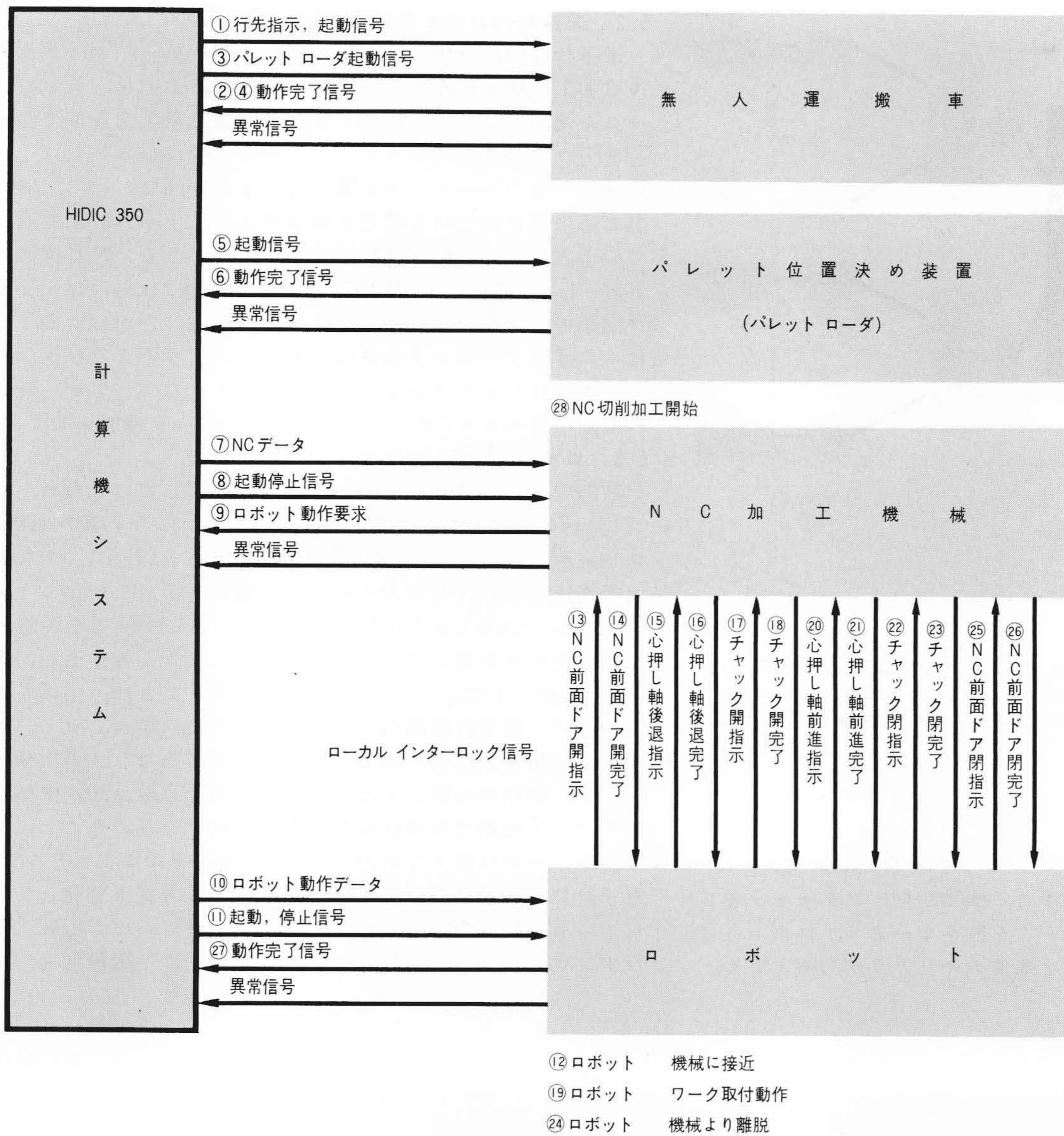


図10 連携動作とタイミング  
コントロール 無人運搬車で  
パレットを運び、パレットステーションに載せNCデータ送出後、ロボット、NC加工機械とのインターロックのやりとりにより、自動加工フローを示す。

はワーク共通な動作がある。これらの共通動作のティーチを省略し、電子計算機の中で編集して、一連動作としてまとめて出力する方式がティーチ簡略法である。編集出力は、ワーク及び工程をキーとして、作業組合せ表を選び、各作業に含まれる作業要素コードから、ばらばらにティーチされた作業要素を抜き出し順序づけを行なえばよい。

## 6 結 言

自動化レベルを高めて、その究極として無人化工場(Unmanned Factory)を指向するには、まだあまりに多くの障壁がある。しかし、単一機能の自動化からシステムとしての自動化・省力化を実現し、柔軟な設備、効率のよい操業、少ない仕掛りと短いリードタイムを指向することは第一歩として貴重なことである。今回開発したシャフト加工自動化システムは、世界的にもまだまだ数少ない例である。電子計算機の小型化、コンポーネント化の動向の中で電子計算機というよりも制御装置として電子計算機を使用し、それらを統合する電子計算機によるシステム化された機械工場は、手の届く所にきていると考えられる。本システムで使用した、ハンドリング装置、搬送装置及び加工機械に、より柔軟さを求め、組立、検査まで素材から一貫した自動化システムを次のステップとして目指

していききたい。最後に、システム開発とその実現に対し、御指導及び御協力をいただいた日立建機株式会社土浦工場の広島、相馬の両氏、並びに日立製作所システム開発研究所の三留、宮本、高田、津原の4研究員、同日立研究所の今井研究員及び同大みか工場の佐藤氏ほか関係各位に対し、厚くお礼を申しあげる次第である。

## 参考文献

- 1) S. Miyamoto, "Construction of Control Software for Integrated Manufacturing Systems", in Proc. 11th NC/CAM Conf., Toronto, Ont., (1974)
- 2) J. Harrington, Jr., Computer Integrated Manufacturing. New York: The Industrial Press, (1974)
- 3) K. Yamanaka et al., "Integrated Manufacturing System of Electrical Machinery", IEEE Trans. on Manufacturing Technology, December, 1974, Vol. MFT-3, No.2
- 4) 三留ほか:「汎用生産工程シミュレータ"MAFLOS"の開発」日立評論55, 799 (昭48-8)
- 5) 三留ほか:「生産工程内物流シミュレータ(MAFLOS)の開発」電気学会全国大会, 1373, Vol.8, p.1863~1864 (昭48-4)
- 6) Proceedings of International Symposium on Industrial Robots (1972, 1973, 1974)