

## 《解説》

## 省力化、自動化におけるミニコンの応用

壺井芳昭\*

## 1. まえがき

1960年代では、コンピュータは設計、事務計算、マネジメントなどにとって欠くことのできない道具となった。そしてホワイトカラーの仕事の質にも変化をもたらした。ついで1970年代では、これは新たなコンピュータ革命として、ブルーカラーコンピュータが加わるといわれている<sup>1)</sup>。

ブルーカラー (Blue-Collar) コンピュータとは工場の生産現場で各種の制御、管理をするためのコンピュータの俗称で、別ないい方をすれば、工場のオートメーション、省力化、自動化に使用されるコンピュータのことである。

化学工業、鉄工業などの連続プロセスを対象としたオートメーションには、プロセスコントロール用としてコンピュータが早くから導入され省力化、自動化が進んでいる。本文では電機、機械工業で代表される多種多様な個別生産を対象とした工場の現場における省力化、自動化のためのミニコン導入について、NC工作機械を中心に述べる。

## 2. ミニコン導入の背景

情報化社会に必然といわれる製品の多様化にともない、多種少量生産を能率よく達成することが要求される。また、若年労働者の減少にともなう労働力の不足、生産性の向上、労働環境の改善など、社会的、経済的な制約もブルーカラーコンピュータの導入をうながす要因である。

生産の省力化、自動化のための装置が、複雑で高性能になるにしたがって、その制御には高度の判断機能と複雑なシーケンス制御が要求されるようになった。このため、従来のリレーあるいはトランジスタによるシーケンス制御回路では、応答速度あるいはその物理的な大きさの点で実用に供し得ない場合も多い。ICの採用により、これらは一応の解決は得られるが、複雑なシーケンス制御回路を対象機器ごとに、いちいち

設計することは、時間と費用の点で問題が残る。また、せっかく完成した制御回路も装置のわずかな仕様変更によって、大幅な設計変更と手なおしが要求されることも多い。

このため、コンピュータの高速情報処理機能と、ソフトウェアによるフレキシビリティが、それらの装置の制御に大きな力を発揮する。特に、ミニコンの出現によって、省力化、自動化 (オートメーション) に必要なコンピュータの単価が急激に低下し、コスト的にも導入可能となったことがブルーカラーコンピュータ化に一層のはくしゅをかけつつある。

## 3. 生産システムへのコンピュータの導入

生産システムへコンピュータを導入する場合、図1に示す3つのレベル(階層)が考えられる。第1のレベルは「装置の制御」(Equipment Control)を対象としたものである。具体的な例としては、数値制御 (NC) の旋盤やフライス盤、コンベアシステムやロボット、自動組立装置、各種の自動試験や自動検査などの制御にコンピュータ (ミニコン) を利用するものである。

省力化、自動化はおもにこの第1のレベルが対象となるものである。ここでは、生産システムを構成する各機械あるいはサブシステムの制御にコンピュータを占有することがほとんどで、コンピュータはオンライン、リアルタイムで使われる。これらの点から、この

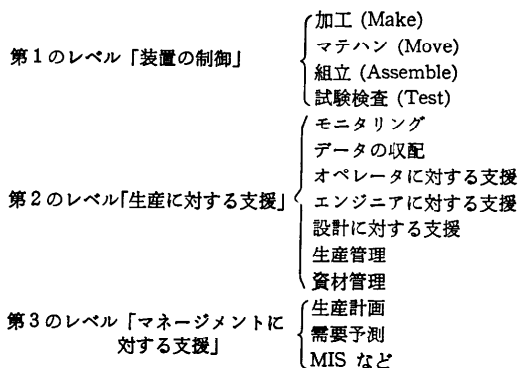


図1 生産システムへのコンピュータの導入

\* 三菱電機(株)生産技術研究所

分野は、まさにミニコンの独壇場である。

第2のレベルは、人間と機械あるいはサブシステムとの間の生産に関する情報のやりとりと情報処理を、おもな対象としている。第1のレベルはどリアタイム性を必要としないが、取扱う情報の量は大きくなる。磁気ディスクなどの高速大容量記憶装置が比較的安く入手可能となったので、ここでもかなりの分野にミニコンが導入されつつある。

第3のレベルはマネージメントが対象で、いわゆるホワイトカラーコンピュータの分野である。第1から第3のレベルに向かうにしたがって、コンピュータと対象（機械あるいは人間）との間の情報のやりとりの時間は長くてもよくなるが、情報量は増え、コンピュータシステムの規模が大きくなる。

#### 4. 装置の制御

生産機器の制御へのミニコンの導入に関し、まず、共通的な点について少し述べる。

ミニコンによって外部の「装置の制御」をする場合の信号の流れを図2に示す。外部との信号のやりとりは入出力インターフェース回路を通じて行なう。これは、たとえば、ミニコンからの信号を制御出力に分配するとともにリレーを駆動するように電力増幅を行なう回路、あるいは逆に、制御入力を選択とともに外部のスイッチのオン・オフをIC回路の信号レベルに変換しミニコンに受け入れられるようにするための回路である。ミニコンと外部装置との信号のやりとりはす

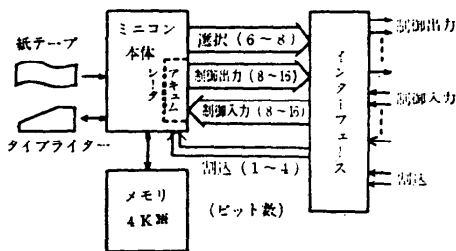


図2 ミニコンによる外部装置の制御

べてデジタルであり、オン・オフ信号の集まりである。したがって、スイッチやリレーの開閉の場合はそのままよい。しかし、電圧、電流、温度などの連続量（アナログ量）の場合はデジタル量を適当なグループ（たとえば1語）にまとめ、アナログとデジタルの変換を行なう変換器（A/D および D/A コンバータ）を用いる必要がある。「装置の制御」においては、制御信号は8~16ビット単位でアキュムレータを通じ、Read および Write の命令によって行なわれるのがふつうである。（ただし、割込信号は直接入力される。）上述の機能をもったインターフェース回路は、プロセス入出力装置として、カードあるいは箱体単位で、ミニコンメーカーで用意されている。

なお、ミニコンで「装置の制御」を行なう場合、図3(a)に示すように、制御信号をミニコンのインターフェースから集中して集配する伝送方式が多くとられている。しかし、工場内における装置の数が増加し、また設置場所が互に離れている場合は、各装置とインターフェース間の総配線長が非常に大きくなる。そこで、図3(b)のように、ローカルにインターフェースのデコーダ部を分布させて配置し、それらの間は比較的少数の信号伝送線で結合する方式も採用されはじめた。

#### 5. 機械加工への応用

##### 5.1 NC 工作機械

工作機械における加工、段どりがえなどの省力化、自動化はミニコン以前に数値制御（NC）の導入により大きく進歩した<sup>2)</sup>。まず、NC 工作機械の動作原理を説明するため、XY 平面上で2次元的な加工を行なうNC フライス盤を考えてみる。図4に示す加工を行なう場合、加工図面にしたいが、 $(X_i, Y_i)$ （ただし  $i=1\sim 7$ ）の座標値と各座標間が直線か円弧かの指定を、一定のフォーマットで紙テープにパンチし指令テープとしてNC 工作機械に読ませれば位置決めと切削が自動的に進められる。

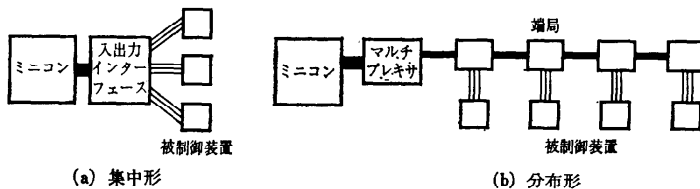


図3 ミニコンによる制御のための信号伝送方式

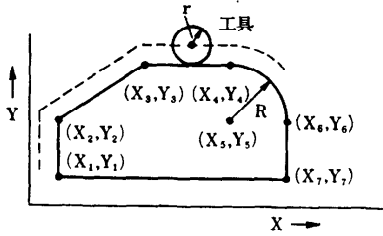


図4 NCフライス盤による切削例

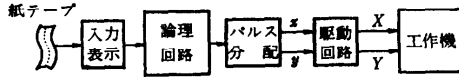


図5 将来の標準NC装置のブロック図

図5に示すように、指令テープからの座標値を論理回路で解釈し、パルス分配回路からパルス列にして送り出す。駆動回路は工具をX軸とY軸上で移動させるためのサーボ回路であり、パルス分配回路から1パルスくれば、工具を一定の距離だけ移動させる。ここで、論理回路のおもな仕事は、「座標  $(X_i, Y_i)$  と  $(X_{i+1}, Y_{i+1})$  が与えられたとき、その区間における工具の移動経路を正しく保つよう、XY両軸に対しパルス分配回路からパルスを発生させるための補間演算を行なう」ことである。この補間演算は、上記の移動区間が直線であるか円弧であるかという指定と、工具の移動速度が一定(指定値)になることを条件に計算される。また、図4に点線で示すように、工具の実際の移動経路は、工具の半径だけ加工寸法よりオフセットすることになる。 $r$ を補正值として与えれば、自動的に演算補正するのも論理回路の役目である。

上述の問題は、旋盤、自動製図機など複数軸の位置制御を必要とするNC装置に共通である。

5.2 NC装置へのミニコンの導入

従来のNC装置(以下、標準NCと呼ぶ)では、論理回路はICなどによりハードウェア化されており、専用の計算機を内蔵しているといえる。この論理回路の部分、安価になったミニコンで置きかえ、その計算機能を活用しソフトウェアにより補間演算などを行なわせるのが、図6に示すミニコンNC(コンピュータNC, CNC)である。

次に、制御プログラムの構成例<sup>3)</sup>を表1にまとめて示し簡単に説明する。各プログラムはすべてアセンブラ言語で書かれており、READ, MAIN および MOTION は割込みレベルで動作し、割込みのない場合は DISPLAY プログラムがベーシックレベルで動

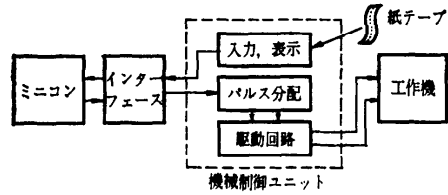


図6 ミニコンNC装置のブロック図

表1 ミニコンNC旋盤のプログラム

プログラム	語数	最大演算時間
READ	310	0.5 ms/ch
MAIN	1150	2.2 ms/ブロック
MOTION	1150	2.0 ms
DISPLAY	160	0.8 ms

作を続けている。

(1) READ プログラム

機械制御ユニットの紙テープリーダーから指令テープを読み込むプログラムで、1語ごとにパックしてコアメモリ内のデータバッファにストアする。また座標を絶対値から相対値への変換を行なう。

(2) MAIN プログラム

補間計算の前準備を行なうプログラムと機械制御ユニットあるいは機械の操作盤の押しボタンスイッチなどの入力に対応した処理を行なう。

(3) MOTION プログラム

直線補間および円弧補間の計算を行なうプログラムで、指令された直線あるいは円弧を微小直線素子に分割し、各軸方向の成分を求めてパルス分配回路に出力する。手動送り、原点復帰の処理もこのプログラムで行なう。なお、補間計算は、必要な精度を保つため、ソフトウェアによりすべて倍長(16ビット×2)演算を行なっている。

(4) DISPLAY プログラム

表示すべき内容を操作パネルのスイッチによって選択し表示パネルに出す。

5.3 NC工作機械の群制御

NC工作機械の工具を、実用上十分な精度でなめらかに移動させるためには、XY両軸に対するパルス分配の補間演算を、少なくとも数10msごとに行なう必要がある。しかし、表1の例に示したように、ミニコンにとってこの演算は十分短かい時間で実行可能である。

したがって、数台のNC工作機械の補間計算を1台のミニコンで時分割多重処理すれば、経済的にさら

に有利になる。すなわち、工作機械とその機械制御ユニットの複数組について、補間演算用のミニコン（および結合のためのインターフェース）を1台置く方式であり、ミニコンによる群制御 NC (CNC) と呼ばれるものである。

なお、上述の説明では NC 工作機械の位置決めだけについて述べたが、モーターのオン・オフ、回転数の切換え、などのシーケンス制御も同時に必要とされることはいうまでもない。

NC 工作機械に対するミニコンの応用としては、ハードウェアの面から、直結 NC (DNC) と呼ばれるもう一つの方式がある。これは、図5に示した標準 NC において、指令を読み取る紙テープリーダの代りに、ミニコン（通常、磁気ディスクをもつ）を置き、ミニコンのメモリから指令を送る方式である。1台のミニコンで、複数台の標準 NC 工作機械に指令を送る群管理方式をとるのが普通である。

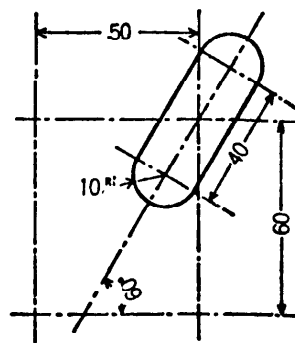
この DNC 方式では、同一の部品を加工する場合、パートプログラム（部品を加工するための指令プログラム）を繰返してそのつど、紙テープリーダから読む必要がない。また、パートプログラムの交換も自動的に行なうことが可能となる。

さらに、ミニコンは単にパートプログラムを送るだけではなく、APT, EXAPT などの高レベル言語で書かれたプログラムのコンパイル、各工作機械の生産実績、稼働率などの管理データの作成などを行なうように拡張が可能である。

#### 5.4 NC 工作機械のためのソフトウェア

次に、NC 工作機械のためのパートプログラムについて少し述べる。設計図あるいは工作図面から、パートプログラムを作成するための高レベル言語による自動プログラミングシステムとしては、APT, EXAPT などが有名であり、わが国でも、KKTS, STORK 2, HAPT, BDATA などが発表されている<sup>4)</sup>。しかし、コンパイルには中型ないし大型のコンピュータを必要とするため、科学計算における FORTRAN や ALGOL ほどには広く使われてはいない。

このため、工作機械、加工形状など対象に制限をもうけ、8K 語程度のミニコンでコンパイル可能な NC 自動プログラミングシステムの開発も進められている。図7に、この種の言語で書かれたパートプログラムの一例を示す<sup>5)</sup>。この場合は、加工形状を限定し、形状記述法を簡単にしている。同図の形状は、HL で定義され、直線部の長さ L, 半円の直径 D, 座標系と



- 1 BGN
- 2 ON
- 3 FROM/X0 Y0
- 4 DEP/Z20
- 5 MOVE/X50 Y60
- 6 HL/L40 D20 A60
- 7 MOVE/X0 Y0
- 8 STOP
- 9 END

図7 加工図面とパートプログラムの一例

の傾き角 A をパラメータとして与える。

#### 5.5 ミニコンの導入効果

NC 工作機械に対するミニコンの導入効果を次に示す。

(1) 機能の拡張が容易である。たとえば、従来の NC 装置では、直線と円弧以外の曲線に対する補間を行なうためには、そのつど、新しくハードウェアを追加することが必要である。CNC では、ミニコンの補間演算プログラムを変えるだけでよく、フレキシビリティが大きい。

(2) 複数台の機械を同時制御することにより、経済的なシステムが構成できる。

(3) さらに、複数台の工作機械の運用を集中的にコンピュータで管理することにより、工作管理、生産管理などの面からも能率的な運用ができる。

#### 6. マテリアルハンドリング

材料、部品、半製品などを、加工、組立、試験のために特定の位置に供給したり、次の工程へ移したり、あるいは一時保管のために移動させる作業（マテリアルハンドリング、略してマテハン）は製造工程で非常に大きな部分を占めている。そのため、マテハンの自動化による省力化効果は大きい<sup>6)</sup>。

たとえば、NC 工作機械の出現により、加工自体の自動化は著しく進歩した。しかし、素材を置き場所より取り出し、工作機械にセットする作業、逆に、加工

の終わった材料を仕上り材置場あるいは次の工程に移す作業が自動化されなければ、全体としての省力化効果は少ない。

マテハンの自動化としては、コンベア、産業用ロボット、自動倉庫などがあげられる。これらの分野におけるミニコンの応用としては、「装置の制御」とともに、計数管理を同時に行なうこと、他の機械との同時制御、たとえば NC 旋盤とローダーアンローダーとしての産業用ロボットの1台のミニコンによる群制御などが今後進展するであろう。とくに、産業用ロボットはその汎用性のゆえに、今後の発展が期待される。複数台のロボットによる連けい作業<sup>7)</sup>や、視覚により対象物に対する位置決めと形状判断の機能をもったミニコン制御の産業用ロボット<sup>8)</sup>、などの開発が進められている。

## 7. 組立

組立作業は加工作業とマテハンの組合せとも考えられる。人手では簡単な組立作業でも、機械で自動的に行なうためには、部品の供給、取り付け、加工、調整、移動、など数多くの作業ステーションをそなえた自動組立装置を用意する必要がある。また、同時に製品の検査を行なうことも要求される。したがって、その制御が複雑となり高度の判断機能を必要とすること、新しい機械の追加など改良にもなう制御シーケンスの変更が容易なことなどが、ミニコンのソフトウェアによる制御の非常に有利な点である。

自動組立装置は、各部分が連けいした流れ作業を行なうため、それらの各部分の稼働率を高くしなければ装置全体の稼働率が小さくなってしまふ。このため、シーケンス制御とともに、後述のように、ミニコンで装置各部の動作をモニタリングし、故障の発生を事前に予知する試みも行なわれている<sup>9),10)</sup>。

## 8. 試験、検査

各種機器、とくに制御装置や電子装置の複雑化にともない、その試験に高度の技術と熟練を必要とする傾向にある。また、逆に大量生産における検査の単調な繰返し作業から人間を開放する必要がある。このため、ミニコンを導入した各種の自動試験システムが開発され省力化、自動化に貢献している。

これらの試験、検査装置において、ミニコンは試験条件の設定、試験結果による可否の判定、測定結果に対する計算、記録および装置の制御などを行なう。ま

た被試験装置のハンドリングの制御、たとえば、良否による仕分け先の制御なども同じミニコンによって行なうことができる。

自動試験、検査にミニコンを導入することの効果としては次の点があげられる。

(1) 試験条件の設定、合否判定、試験データの記録と整理が自動化され省力化が達成される。

(2) 試験条件の選択、切り換えが高速度にでき、短時間に多種多様な試験の実行が可能となり、人手で行なう場合に比し、程度の高い試験ができる。

(3) 試験用プログラムさえ完成していれば、オペレーションは熟練者でなくてもでき、個人差がない。

(4) 汎用試験装置の場合、高いレベルの言語で試験プログラムを作成することができる。

自動試験を行なうに際し試験手順を記述するための高レベル言語としては、前述の NC 工作機械における APT や EXAPT ほど一般的ではないが、航空用電子機器の試験を対象にした、ATLAS (Abbreviated Test Language for Avionics Systems) がある<sup>11)</sup>。

なお、試験、検査の自動化、省力化における今後の大きな課題としては、現在、人間の五感にたよっている官能検査の自動化があげられる。この分野においては、ミニコンの情報処理能力を活用した、パターン認識技術の応用が中心になると考えられる。

## 9. モニタリングシステム

製造ラインの各機械の動作状態を監視するとともに、もし正常動作からはずれたときは、その機械の番号、関係する部分および動作などを検出し表示するためのシステムである。これにより、機械の保守に要する時間を少なくし、稼働率を上げることを第1の目的としている<sup>12)</sup>。

稼働中の機械の動作状態を監視、診断するためには、

(1) 機械のシーケンス制御に使われている特定のリミットスイッチ、押ボタンスイッチ、温度スイッチ、圧力スイッチなどがオンかオフか、

(2) それらの信号線が接地されていないか、

(3) 動作間隔が標準時間からずれていないかなどの情報を利用する。(1)と(2)は機械が異常であることを検出するために、(3)は性能が低下し故障が起るかも知れないことを事前に検出するのを目的としている<sup>13)</sup>。

たとえば、機械のある部分に使用されている空気シリンダーの前進後進の移動時間の標準時間を設定し、動作指令が出るごとにその動作時間をモニタする。標準時間に比し一定以上の差が出るとメモリに記録しておく。これら機械各部の動作時間（サイクルタイミング）の記録から、じゅんかつ油の不足、工具の消耗、空気圧や油圧の低下、バルブの不良、モーターのベルトのスリップなどの不良原因を検知することができる。記録結果は、作業時間の終りあるいは必要に応じ作表され、たとえば、発生ひん度順にタイプアウトする。これにより、機械が完全にダウンするまえに、異常を検出することができ、プリベンティブメンテナンス (PM) が可能となる。

モニタリングシステムは、また各機械の生産数量、稼働時間、故障時間、稼働率など生産管理に必要なデータを自動的に作成することを可能にする。前述の「装置の制御」においては、ミニコンは機械の制御をおもな対象としたが、モニタリングシステムでは、生産設備に関する情報処理をおもな対象としている。対象の規模により、両者にそれぞれ別々のミニコンを用い、負荷を分配する方式、あるいは両者を1台のミニコンで同時に処理する方式をとることも可能である。

## 10. あとがき

電機、機械工業における省力化、自動化機器へのミニコンの応用を取りあげ、それらの「装置の制御」を中心に述べるとともに、それに関連した生産管理情報の処理について簡単にふれた。「装置の制御」へのミニコンの応用は、生産システムにおける直接作業の省力化、自動化を目的としているのに対し、生産管理情報の処理は間接作業の省力化を目的としているといえる。

これらの分野におけるミニコンの応用は今後急増し、とくに、「装置の制御」を目的としたミニコンは、単に制御のための部品として取扱われるようになるだろう。そして、各機械単体だけではなく、製造ライン、さらには生産システムとしての自動化、最適化のため、これらのミニコンを端末として上位のコンピュータと結合し、階層システムを構成することにより、総合的な管理を行なう方向に進むと予想される。

省力化、自動化は単に経済性、生産性を追求するだけでなく、均質な製品、より高い性能の製品を供給することを目標にするとともに、単調な作業や危険な作業から人間を解放することも、人間性回復がさげられる 1970 年代における企業としての重要な課題の一つであろう。

## 参考文献

- 1) A. R. Dooley et al.: "Rise of the Blue-Collar Computer," Harvard Business Review, July-Aug. 1971, pp. 85~95.
- 2) 佐藤: "人間に及ぼす NC 工作機械の意義," 日本機械学会誌, Vol. 74, No. 632, pp. 98~105 (1971).
- 3) 藤原, 他: "省力化、自動化機器へのミニコンの導入," 三菱電機技報, Vol. 46, No. 10, pp. 1163~1170 (1972).
- 4) 「生産におけるソフトウェア」特集号, 精密機械, Vol. 38, No. 1 (1972).
- 5) 島田, 他: "ミニコンピュータを用いた NC 自動プログラミングシステム," Sanyo Technical Review, Vol. 5, No. 2, pp. 52~58 (1973).
- 6) 遠藤: "自動マテリアルハンドリング," 日本機械学会誌, Vol. 74, No. 632, pp. 82~88 (1971).
- 7) 三橋: "工業用ロボットの計算機制御," 自動化技術, Vol. 5, No. 9, pp. 109~116 (1973).
- 8) Y. Tsuboi et al.: "A Minicomputer Controlled Industrial Robot with Optical Sensor in Gripper," Proc. of 3rd. International Symposium on Industrial Robots, pp. 343~355 May 29~31, 1973 (Zurich).
- 9) 山田: "ミニコンによるトランスフェマシンの制御システム," オートメーション, Vol. 18, No. 3, pp. 85~91 (1973).
- 10) E. R. Clark: "Computer Controlled Mechanized Assembly," Machinery, June 1970, pp. 61~63.
- 11) ATLAS, Arinc Specification 416-5, Feb. 21, 1972. (Aeronautical Radio Inc.)
- 12) R. L. Aronson: "Production Monitoring System: A Hardware Survey," Control Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 23~27 (1972).
- 13) D. A. Entekin: "Factory Automation and Data Collection," National Computer Conference (AFIPS), Vol. 42, pp. M83~M91 (1973).

(昭和 48 年 12 月 18 日受付)