

解説



FA 用要素システム

NC 工作機械†

小林 堅 吾††

1. ま え が き

NC 工作機械 (Numerically Controlled Machine Tool) は、一般に NC あるいは NC 装置 (Numerical Control) と呼ばれる。いわゆるエレキの部分と、メカ部分である工作機械 (Machine Tool) とで構成される。NC 工作機械が、単に NC と呼ばれることがあるが、これは正確ではない。

図-1 に示すように、NC は指令情報を受けとりこの指令に従ってサーボモータ (一般には複数) を動かす。これにより工作機械の可動部が動いて、工具と被加工物 (これをワーク: work と呼ぶ) との間に相対運動を行わせ、もって切削とか研削加工を行わせる。

NC 工作機械は、すでに約 30 年の歴史をもっており NC は、当初ランダムロジックで作られていたが、現在ではマイクロコンピュータを内蔵した CNC (Computer or Computerized NC) になった。そして、その性能は、マイクロコンピュータの能力を利用して拡大されつつある。その性能拡大のひとつの方向は、FA 対応ということであり、これは最終的には、無人運転とでもいうべき、すなわち、素材を投入して

おけば、自動的に所望の機械加工が行われて、加工済のワークが出来てくるようなシステムをめざしている。

このような機械加工のための FA システムにおいて NC 工作機械は、機械加工そのものを自動的に行うものであるから、中心的構成要素と言えよう。

2. NC 工作機械の種類

今では、数多くの各種工作機械の NC 化が行われ、商品化されている。NC 工作機械の種類を挙げるためには、まず工作機械の種類を挙げなければならぬ。工作機械は、大ざっぱに、次の 3 種に分類されよう。

- { 工具が回転する工作機械
- { ワークが回転する工作機械
- { 工具もワークも回転しない工作機械

(1) 工具が回転する工作機械

これは図-2 のように、回転する工具とワークとの間に相対運動 (この相対速度を送り速度と言う) を行わせて加工する機械で、マシニングセンタ (Machining Center)、フライス盤、ボール盤、中ぐり盤などがこれに該当する。

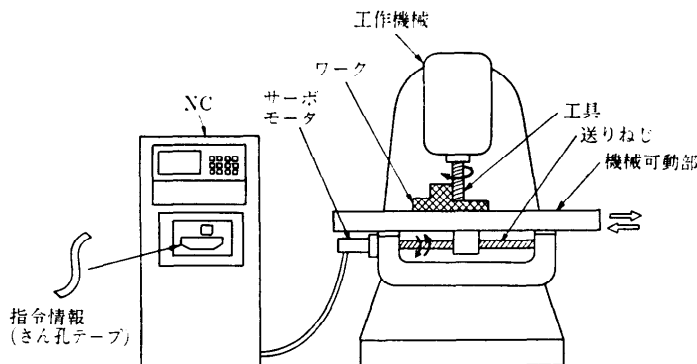


図-1 NC 工作機械の構成

† NC Machine Tools by Kengo KOBAYASHI (Senior Vice President, FANUC LTD.).
 †† ファナック(株)常務取締役

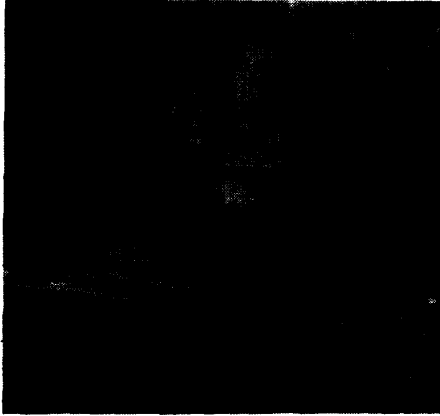


図-2 回転する工具による切削

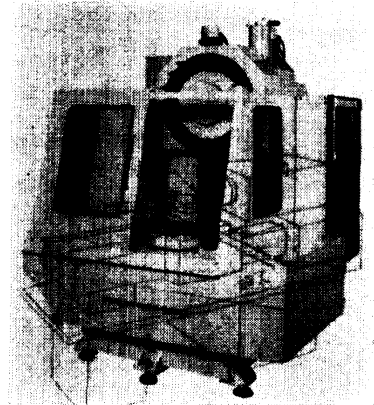


図-5 よこ形マシニングセンタの一例

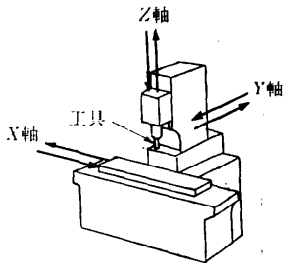


図-3 工具が回転する工作機械



図-6 回転するワークと工具による切削



図-4 たて形マシニングセンタの一例

機械の基本的な構造は図-3 のようになっていて、直交する X, Y, Z の3方向に機械可動部が動くものが普通で、これをサーボモータで動かすようにしてNC装置で制御するとNC工作機械となる。(これを

3軸のNC工作機械という) この3軸のほかに、ワークを回転させたり、工具を傾けたりするために4軸や5軸、それ以上の軸をもつNC工作機械もある。

この種のNC工作機械としては、マシニングセンタが代表的なものであるが、これは工具を自動的に交換する機能を持ち、ひとつのワークに対し、ドリル、中ぐり、タップ、ミリング等に各種加工を集中的に行うことができるのでこの名がつけられた。図-4にたて形マシニングセンタ(工具が垂直なのでこう呼ぶ)の一例、図-5によこ形マシニングセンタ(工具が水平)の一例を示す。

(2) ワークが回転する工作機械

これは、図-6に示すように回転するワークに対し、

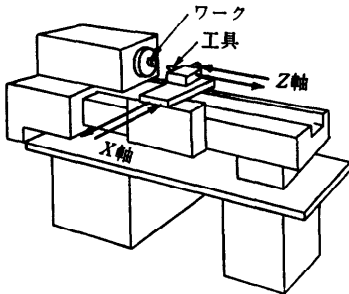


図-7 ワークが回転する工作機械



図-8 NC 旋盤の例

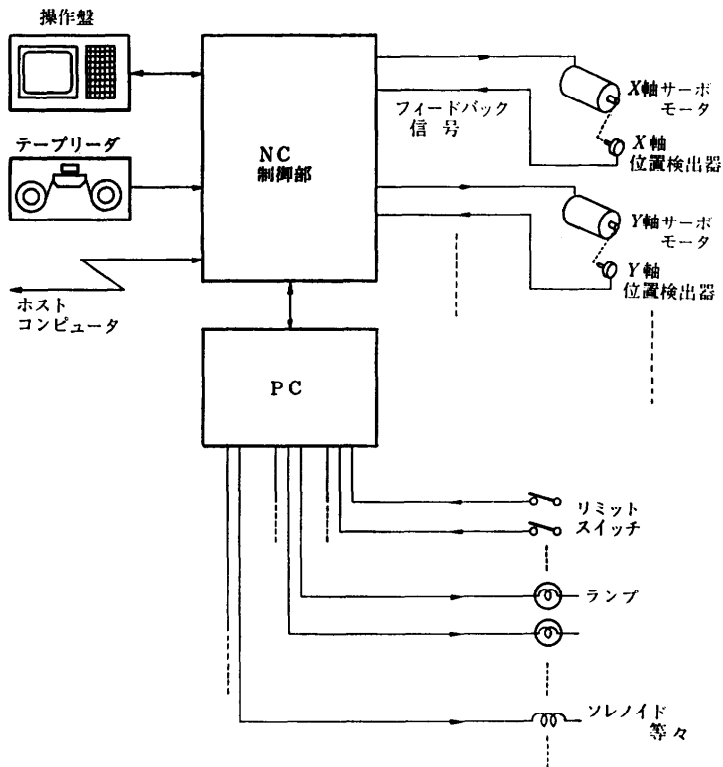


図-9 NC の構成概略

相対的に工具を運動せしめて加工する機械で、旋盤、円筒研削盤、などがこれに類する。機械の基本的な構造は、図-7 のようになっている。直交する X, Z の 2 方向に機械可動部が動く (この動く速度を送り速度と言う) ものが普通である。(X, Y ではなく、X, Z なる座標系をとるならわしである) この種の NC 工作

機械としては、NC 旋盤が代表的であり、恐らく一番数が多いのも、この NC 旋盤であろう。図-8 に一例を示す。

(3) 工具もワークも回転しない NC 工作機械

これは工具を (普通は) 直線的に往復運動させて、直線あるいは平面を削り出す機械で、形削り盤、平削

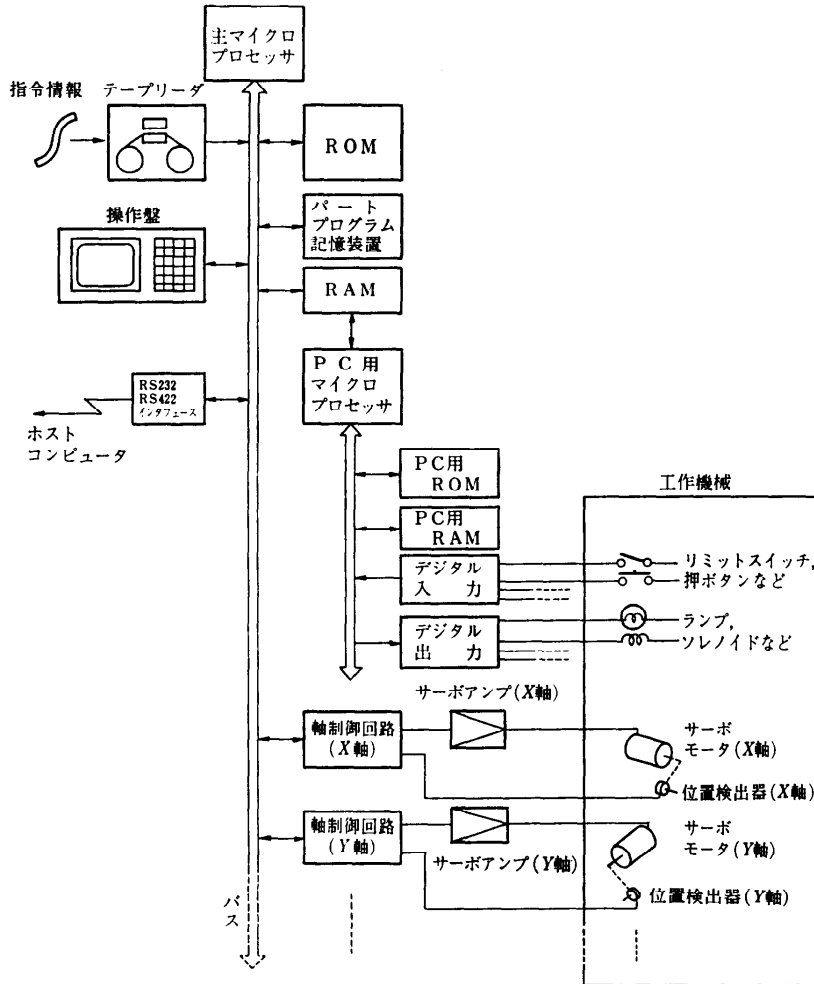


図-10 NC の構成

り盤、立削り盤などがある。加工形状が比較的単純なので NC 化するほどのこともないゆえか、この種の機械で NC 化されたものはまだ少ない。

3. NC の構成と機能

図-9 に NC の構成の概略を示す。NC は、大ざっぱに言って NC 制御部と PC (Programmable Controller) により構成される。NC 制御部は、操作盤をもち、テープリーダーから指令情報を読み、これにしたがってサーボモータ (各軸) を回転せしめて、工具とワークの相対運動を行わせる。工作機械には、工具回転の起動・停止、冷却油の起動・停止、工具変換のための機構の動作制御、等々、加工動作に付帯する様々

のオン・オフ制御動作が必要であり、これを PC が司る。

NC 制御部内にはマイクロコンピュータがあり、PC の機能が小規模であれば、このマイクロコンピュータを時分割的にもちいて PC 機能を発揮できるが、最近の傾向のひとつは PC 規模の拡大であり、そのため、PC 専用のマイクロプロセッサをもちいる方向にある。

このような NC の構成を図-10 に示す。指令情報 (パートプログラムと呼ばれる) はテープリーダーから読みとられ、一旦パートプログラム記憶装置へ蓄えられる。パートプログラム記憶装置は、ノンボラタイルであることが必要で約 10 kByte までは SRAM を

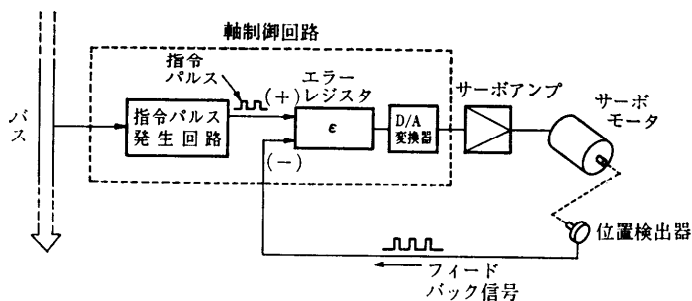


図-11 軸制御回路

バッテリーバックアップしたものが、それ以上は例えばバブルメモリがもちいられる。いわゆるソフトはROMに入れられ、固定されているのが普通である。パートプログラムの内容は、逐次読み出され、解釈されて、サーボモータを動かす指令であれば、軸制御回路へ信号が送られ、所定の速度で（所定の変化をすることも）所定の距離だけ機械可動部を動かす。

軸制御回路の中味は、おおむね図-11のようになっており、サーボアンプ（電流増幅器）、サーボモータ、位置検出器と組み合わせて典型的なサーボループを構成している。

パートプログラムの指令が、工作機械のオン・オフ制御に関するものであれば、これはPC用マイクロプロセッサに与えられ、いわゆるPC動作によって指令通りの動作が行われることになる。最近では、しかし、オン・オフ制御だけにとどまらず、機械の周辺機器全般の制御をPCが担当する傾向にあり、数値計算や判断をともなう制御もPCでやらなければならないようになってきている。

4. 最近の動向

NC工作機械の最近の動向としては、

- (a) 高速化（加工動作を早くして短時間で加工を行う）
- (b) 高精度化（加工精度を上げる）
- (c) 小形化、コストダウン

等々があるが、ここではFAに対応するために、どのような変更が行われつつあるかを紹介したい。以下に紹介する機能は、そのほとんどがPCにより実現されつつある。

(1) ホストコンピュータとの結合

NC指令情報を与える媒体としては、未だにさん孔テープが主流を占めている。磁気テープカセットも、一部でもちいられているが、なにしろ一般の機械加工

工場は、鉄粉を含む塵埃、油煙等が立ちこめる雰囲気にあるので、デリケートな読取機構を持つものは適さないであろう。初期のNCにおいては、テープリードから逐次指令情報を読みながら加工動作が行われたが、最近のNCは、ほとんどすべて、パートプログラム記憶装置を備え、さん孔テープの内容は一旦この記憶装置に蓄えられてから後、逐次

読み出されて加工動作が行われる。この記憶装置の中に複数個のパートプログラムを入れておけば、各種ワークを次々と加工する際、パートプログラムをいちいちローディングしなくてもすむ。

最近の傾向のひとつは、ホストコンピュータとNCを直結し（テープリードを介さないで）指令情報を直接コンピュータからNC（のパートプログラム記憶装置）へ転送しようというものである。こうすると、現場作業者はテープを取り扱う手間が省け、キー操作だけで任意の指令情報を呼出して使用できる。また、テープ長相当数千メートルに及ぶデータの転送も特に問題なく、もしテープであれば、リールをとっかえひきかえ大変なことである。このためにNCにはRS232CあるいはRS422インタフェースを設けるのが普通である。

このインタフェースがあると、単にさん孔テープに入れる指令情報の転送だけでなく、NC機械の遠隔操作をコンピュータールームから行うこともできるし、NC機械の稼働状況に関するデータ（Management Dataと言われることがある）をホストコンピュータに送り、日報の自動作成をさせることもできる。この稼働状況データには、NC機械側で生じた障害内容、診断結果などを盛り込むこともできるし、要するにコンピュータールームからNC機械の動作を管理することができるようになる。これはFAに対して要求される事項のひとつである。最近ではLAN（Local Area Network）にNCをつなぐことが検討されており、そのためのプロトコルがつけられつつある。近い将来は、この形が普及するとみられている。

(2) 計測制御

NC機械に対するワークの供給を自動化することは、ロボットや適当なローダ・アンローダ、コンベア等を利用して可能である。こうした場合、ワークは次々と無人で加工されるのであるが、いったい、すべて

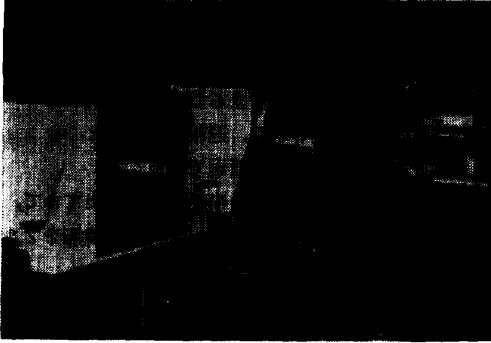


図-12 計測のためのプローブ

所定の寸法精度がでているのだろうかと心配になる。たとえば工具は次第に摩耗していくのであるから、これを放置しておけば必ず誤差は過大になる。そこで何個かのワークの加工が終わると、図-12 に示すようにプローブを加工済のワークの一部に触れさせ、精度を測定する。測定結果にもとづき、工具の通路を修正し、加工精度を保つ。（これを自動工具補正とも言う）測定は、必要なら、すべてのワークについて行うこともできるが、通常は何個かのワークにつき1回の計測が行われるようである。このような計測の制御は、主としてPCにより行われる。計測結果はホストコンピュータで集められ、加工精度データとして作表が行われる。

(3) 工具管理

無人加工が連続して行われると、工具の摩耗、破損、欠け、等の工具異常を発見し、適時工具を新品と交換したり、ひいては工具を保管管理している工具室に対し、工具の補充指令を出す……といったことが行われることがのぞましい。最近のマシニングセンタでは、1台のマシニングセンタで300本もの工具を備え、適宜交換しながら使用するようなものや、工具室から複数台のマシニングセンタに対し逐次工具を（無人搬送車あるいは専用のキャリアにより）搬送し自動交換できるものもあり、工具管理が重要になってきている。

このためには、まず工具異常をみつけなければならぬが、それには次のような方法がもちいられる。

(a) 工具の使用時間（加工に用いられた時間）を累積して、一定値に達すると交換する。

(b) 工具の使用回数（工具が加工位置にセットされた回数）を累積して、一定値に達すると交換する。

(c) 工具あるいはワークを回転させるモータ（主軸モータと言う）の負荷をモニタし、異常に高い値を

示したり、過去の負荷状態といちじるしく異なる値を示した場合は、工具の破損とみなして交換する。

(d) AE (Acoustic Emission) を利用して、異常な音が出たら工具破損とみなして交換する。

(e) 工具寸法を計測装置（プローブを利用）をもちいて測定し、異常な値を示したら交換する。

この方法は確実だが、工具を計測中は加工ができないので、生産性が落ちるのが難点である。

工具の異常さえ的確に検出できれば、あとはコンピュータを使って適当に対処できる。すなわち、FAの一環として工具の管理を行うことができよう。

(4) 適応制御

そもそも工具を破損しないように工具（あるいはワーク）を回転させる主軸モータやサーボモータの回転速度を制御しようという考えがある。破損しないためには、できるだけ遅い速度が安全であるが、これでは生産が上がらない。したがって状況に応じて最適の速度で動かそうということで適応制御が行われる。このためには、主軸モータの負荷をみていて、負荷が増大すると送り速度を下げる……といった制御を行うことが考えられる。このほか、機械系の一部のタワミの状態をみていて送り速度あるいは主軸速度を制御する方法もある。いずれにせよ、工具の負荷ができるだけ一定になるよう加工中（主として荒加工）のパラメータを変化させ、最大の生産性を得ようとするものである。

(5) 自己診断

システムの規模が大きくなると、個々の構成要素（たとえばNC機械）の信頼性が上らなければならない。しょっちゅうあちこちで障害が起きているようでは困る。それで半導体部品のLSI化をすすめて部品点数を減らしたり、雰囲気、温度環境も悪いのでマージンを充分とるなど工夫して、NCの信頼性はここ1~2年で3倍位良くなってきている。また、万一障害がおきても、その原因、内容がつまびらかになるように、いわゆる自己診断を行って結果を表示するようになってきている。

(6) セル (cell) の構成

NC工作機械は、一旦ワークを取り付けてやれば、そのワークの加工は人手介入なしに自動的にやってくれるが、加工完了したらワークを取りはずし、新しいワークを再び取り付けてやらねばならない。これをロボットとかAPC (Automatic Pallet Changer) を利用して行くと、複数個のワークの加工が無人で連続的に行われるようになる。このようなシステムを加工セ

ルと呼ぶことがある。FA システムの中の細胞的役割をはたすからであろう。NC 工作機械としては、これらロボットとか APC とのインタフェースをもち（場合によったらこれらロボットや APC の制御も NC 機械の PC で行う）自動化のレベルを高める。

5. あとがき

NC 工作機械は、ひとつのワークの加工を自動化するのを一応の目的として開発されてきたが、FA ということで工場内に複数台配置されてみると、この自動

化だけでは不十分で、

(1) 連続的に、同じあるいは異なるワークを次々と自動的に加工できること。

(2) 加工精度が維持できること。

(3) 障害は検知されて、通報できること。

(4) 加工状態が把握、管理できること。

等々、レベルアップすべき事柄が次々と出てきて、これに対応すべくマイクロコンピュータの機能をフルに活用した工作機械になってきつつある。

(昭和 59 年 2 月 2 日受付)

