

# NC 加工

大阪大学工学部 講師 難波 義治

## 1. はじめに

道具を使って物を作ることは太古の昔から行なわれており、産業革命以後人力が動力に変わり、現在使用されている工作機械の原形はほとんど1800年前後にでき上がっている。その後、加工精度の向上、能率の増大とともに自動化が進められ、自動盤およびならい工作機械が出現し、1952年米国のマサチューセッツ工科大学(MIT)において数値制御(Numerical Control, 略して NC) 工作機械が開発された。

この NC 工作機械は従来の工作機械製造技術と戦後急速に発達した電子計算機の制御技術とがうまく結合して誕生したものである。これにより、工作機械の制御方式が、人間から電子装置へ、またアナログからデジタルへと変化した。

NC 加工は、数値制御装置で制御される工作機械を用いて行なう加工の略称であり、加工現象そのものは従来の加工と何ら変わるところはない。従来の加工法で NC 化されたものを総て NC 加工と呼んでいる。NC 加工の特徴として次のものが挙げられる。

- 1) 複雑な形状の部品の加工が可能である。
- 2) 多種少量生産における加工能率が高い。
- 3) 部品加工の繰返し精度が高い。
- 4) 汎用機におけるような熟練工が不要である。
- 5) 繰返しの多い単純作業の信頼性が高い。

最初航空機産業における複雑な部品の加工のために開発された NC 工作機械は、上記のような特徴から次第に一般的な加工に使用されるようになった。現在米国では1社で800台もの NC 機を保有する会社もあり<sup>1)</sup>、CIRP が昨年行なった未来予測においても1990年までに NC 機の生産は少なくとも工作機械生産全体の50%に

はなり、日本においてはその状態が1980年頃に達成されると予測されており<sup>2)</sup>、NC 加工は今後ますます普及発展していく加工方式であると考えられる。

そこで、NC 加工の概要について触れて行きたい。

## 2. 加工の手順

従来の汎用機を使用して作業者が加工を行なう場合の情報の流れを図1に示している。

元になる幾何学的情報が設計図に蓄えられており、これを作業者が見てその情報を読み取り、頭の中に一時記憶する。一方作業者は従来の経験などに基づき工具の選択、回転速度の選択、送り速度の選択など種々の技術的情報を加えて、それらの情報による判断のもとに工作機械を操作する。この操作により加工が行なわれ、でき上がった工作物を作業者が測定して基準の精度内ならば合格にして製品となり、精度限界を外れているとその場合に適応した技術的判断により作業者は再度工作機械を操作する。このシステムの場合、工作物の精度は図2のように工作機械の精度、測定器の精度および作業者の技能により決定され、これらの要素は互いに他

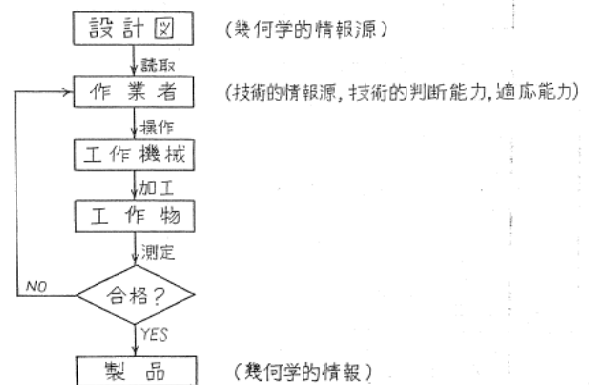


図1 従来法の情報の流れ

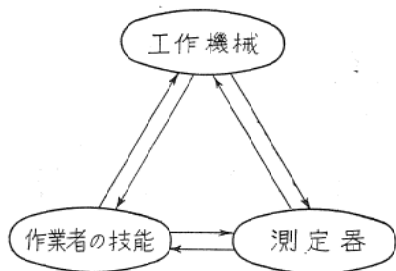


図2 工作物の精度を支配する要因

を補なうことが可能である。これが従来法の man-machine-System の特徴である。したがって、工作物の測定および次に行なうべき操作の判断の良否により工作物の精度は良くもなるし悪くもなる。しかし、常に作業者が加工の状態を監視しているので工作機械に致命的な障害を与える事故を未然に防止することができ、ルーチンワークになると学習により加工条件が最適な方向に移動し、精度の高い加工が期待できる可能性がある。

これに対し、NC 加工の場合の情報の流れは図3のようになる。作業者は設計図より工具先端の通るべき軌跡を計算し、この数値情報を紙テープにパンチし、同時に主軸回転数、送りなどのような技術的情報をも合わせてパンチする。この紙テープが指令テープであり、加工に必要なすべての情報が蓄えられていなければならない。この指令テープを数値制御装置のテープリーダにかけると、その内容が NC 装置内の情報処理回路で処理されて、デジタルサーボ系へ所要の指令を与え、NC 工作機械が作動

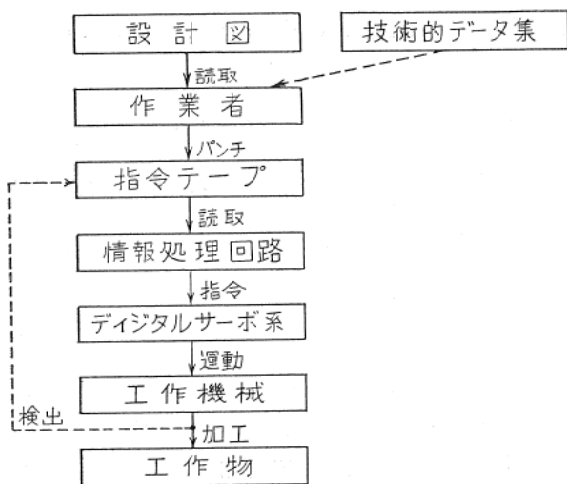


図3 NC加工の情報の流れ

し、加工が行なわれる。後述するクローズドループ方式の場合には、工作機械の位置を検出して情報処理回路へフィードバックする回路がある。NC 加工の場合には、図のように指令テープ作成後は人間が流れの中に介在せず、作業者の不注意による精度のバラツキはなく、常に同品位の製品が生産される。しかし工作物の仕上状態から加工条件を変えたり、手直しをするという流れがないので、繰返し生産しても精度の向上は望めない。したがって、NC 加工では最適な指令テープをプログラムすることが必要である。また工作機械自身は指令通りに動くことが必須であり、実際に NC 機は一般機に比べ剛性が高く、精度も高いものが使用されているようである。一度、設計通りの加工ができる指令テープが作成されると、これを NC 装置にかけることによりいつでも同じ品位の製品を繰返して生産することができる。すなわち、NC 加工は、人から人への伝承でなく、数値情報として製造技術を蓄積、保管できるという特徴を持っている。

### 3. 数値制御の方式

指令テープ上にさん孔された数値情報により工作機械を操作する制御方式が数値制御であり、大別して位置決め制御と輪郭制御に分けられる。

位置決め制御は最終的な工具の位置のみを制御するもので、移動中の工具の経路を問題にしないボール盤、中ぐり盤などによる穴あけに利用される。

輪郭制御は指令テープの情報を指令パルス列に変換するパルス分配器と指令パルス列に応じて動作するデジタルサーボ系より構成されている。図4は輪郭制御の場合の工具通路を示しており、原点OからQ点への指令された工具通路に対し、クロックパルス列を適当にX軸およびY軸に分配して矢印で示すように工具を移動させ、線分OQを近似する。このような直線補間および円弧補間の機能はNC装置が有している。

NC 工作機械に使用されているサーボ機構は図5のように分類される。オープンループ方式

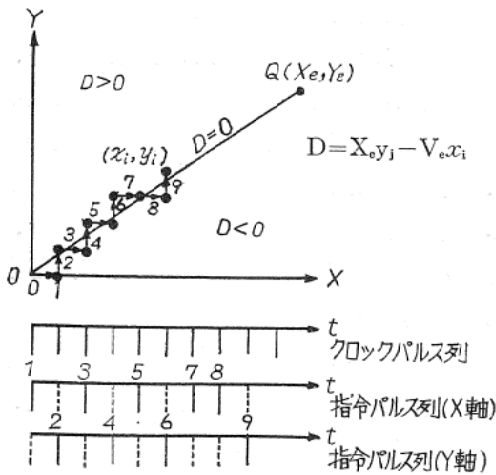


図4 直線のパルス補間法 (稲葉<sup>3)</sup>)

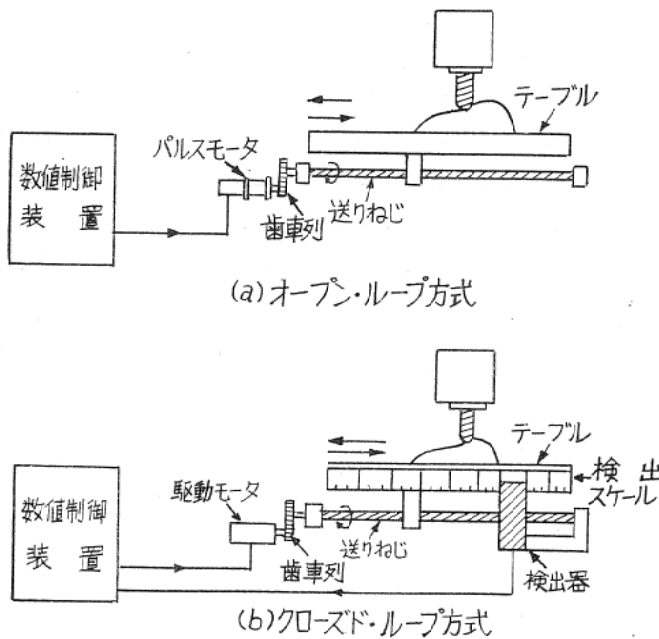


図5 NC工作機械に使用されているサーボ機構 (稲葉<sup>3)</sup>)

は、高精度な送りねじを有することが前提条件であり、テーブルの運動を検出してフィードバックする回路がないので、系全体の精度は工作機械自身の精度とパルスモータの回転精度に依存する。この場合は系の安定性は良いが、精度を上げるためには工作機械の精度を上げる必要がある。クローズドループ方式はテーブルの動きを検出器で計測し、指令値と比較して駆動モータを制御することにより所要の運動を与えるものである。この場合全体の精度は検出機構により決定されるが、高精度を得ることができ、 $\mu$ 単位の位置決め精度が可能となっている。

工作機械により NC 化のレベルが非常に異なり、一方向の工具の動きだけを数値制御するものから、同時に 5 軸を制御したり、工具および工作物の変換まで数値制御するものまで存在する。その NC 化のレベルにより、指令テープに与えるべき情報量が異なってくる。

#### 4. プログラミング

図3で明らかなように NC 加工を行なうためには、加工に必要なすべての情報を含む指令テープが必要となる。その情報の内容は

- 1) 加工順序
- 2) 工具の動く軌跡
- 3) 加工速度 (主軸回転速度, 送り速度)
- 4) その他 (工具選択, 工作物の脱着, 種々のモータの起動・停止など)

などであり、大別すると、工作物に関する幾何学的情報と加工するのに必要な技術的情報から成る。

幾何学的情報としては工具の中心の軌跡が必要で、一般には設計図を見ながら工具の軌跡を直線と円弧で記述する。しかし複雑な形状の部品を記述することは非常に繁雑であり、三次元の曲面加工のための工具軌跡の算出には複雑な計算が必要である。そのため工作物の仕上り寸法のみをパートプログラムとして記述だけで工具の中心の軌跡を計算する自動プログラム言語が開発された。APT (Automatically programmed Tools) を初めとして現在多くの種類のものが開発されている。

その後、工具の軌跡だけではなく他の技術的情報をも自動的に決定する自動プログラム言語として EXAPT などが開発された。しかしこれもすべての情報を自動決定するには至っておらず、加工条件だけとか、加工順序、工具選択まで自動決定するものとか、自動化にレベルがあり、加工条件についても未だ最適な解が求められるようにはなっていない。

工具軌跡に関しては、幾何学的数値情報の処理だけであるから計算機の得意とするところであり、完成された自動プログラム言語があるが

技術的情報に関しては生産加工技術の定量的研究が未だ十分でなく、経験によりそれらの情報を与えることが多い。

プログラミングを簡略化するためには、今後、切削データバンクのような技術的情報の完備と共に、NC 加工に適するように品物を設計することも必要となろう。

### 5. 加工精度

NC 加工の精度を考える場合、誤差の要因としては、本来加工に付随しているものと、NC 化したことによるものとがある。そこで、それらを列挙しながら簡単に述べていこう。

1) 軸の回転精度、ベッドのしゅう動精度など工作機械の運動の幾何学的精度。

これらは工作物の精度に直接影響を及ぼすものである。位置決め精度については、クローズドループの場合は検出器の測定精度に依存する。オープンループの場合はボールネジの精度が重要であるが、指令値に対する機械の最終的な移動量の累積誤差を測定し、図6のように補正バーとマイクロスイッチを組合せることによ

り、ピッチ誤差を補正することができ、ピッチ誤差の影響を±1パルス以内に押えられる。また歯車列やボールネジのバックラッシュ量を予め測定しておいて、移動方向の符号が変わるたびに、指令された移動距離にバックラッシュ量をNC装置内で自動的に加えることにより、バックラッシュを補正することができる。しかし場所により、バックラッシュ量が異なる場合は補正の効果が少ない。

2) 切削抵抗、自重などに対する工作物、工具および工作機械の弾性変形。

熟練工によるその場に適應した処置ができないので、プログラムを組む時に、これらの点を配慮する必要がある。

3) 工具の摩耗と取付け誤差。

摩耗の程度を感知する装置がないため、工具の摩耗は直接加工精度に影響する。工具の位置はダイヤルで補正することができるが、位置の誤差は加工精度に影響する。

4) 工作物、工具および工作機械の熱変形。

汎用機械においても大きな問題であるが、NC機は正味切削時間が長く、普通旋盤が25～

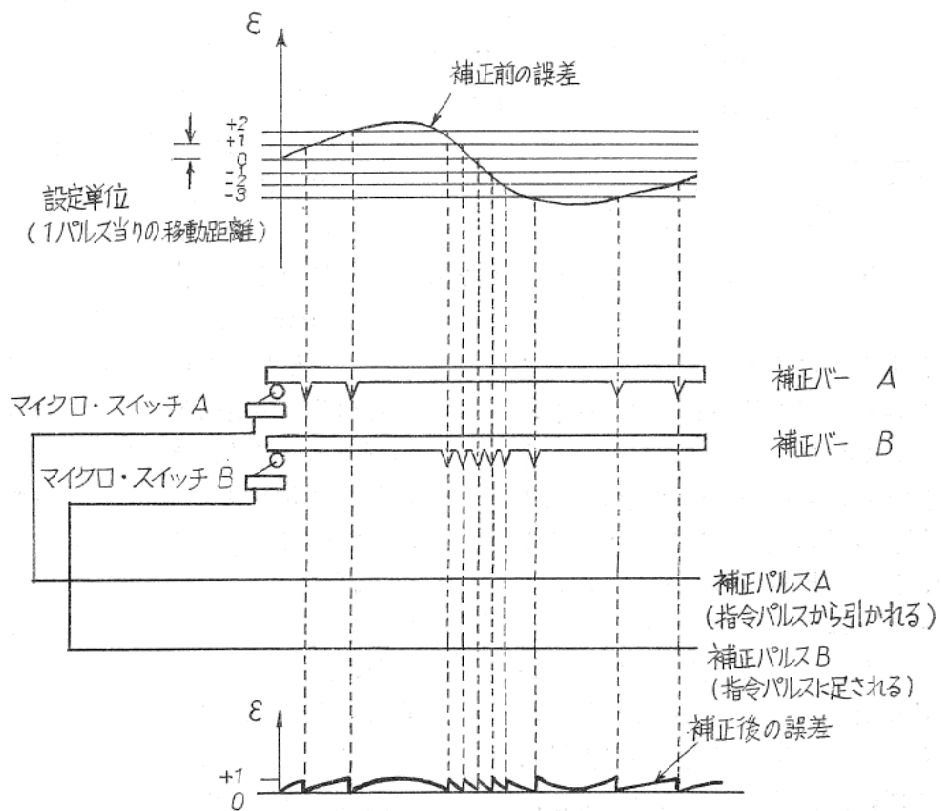


図6 ピッチ誤差補正方法 (稲葉)<sup>3)</sup>

35%に対し、NC 旋盤では 75~95%となっており、短時間に加工が終了する代りに加工による熱の蓄積が大きく、加工精度に大きな影響を与える。

#### 5) 振動

予めびり等が起らない加工条件を設定することが必要である。

#### 6) 設定単位による誤差

指令パルスでデジタルサーボ系を動かすため 1 パルスに相当する移動量 (設定単位) の誤差はやむを得ない。

#### 7) パルス補間に基づく誤差

輪郭制御の場合には工具の軌郭はすべて図 4 のように単位パルスによる直線運動で近似されるので、1 パルス分以内の誤差が生じる。

#### 8) オーバーシュートによる誤差

ある方向に運動していた工具が運動の向きを変えると慣性により前の運動方向にオーバーシュートする。これを除去するため、ポストプロセッサもしくは NC 装置内で工具が運動の向きを変える点に近づいたら送り速度を落とすということが行なわれている。

#### 9) プログラミングにおける近似誤差

自動プログラミング言語の中に許容誤差を指定するステートメントがあり、曲線を許容誤差内で最も長い直線で近似するようになっている。APT の場合、無指定にすると許容誤差  $+13\mu$  で計算し、NC テープを作成する。

#### 10) プログラミング上のミス

工具、工作物、工作機械間の衝突は論外であるが幾何学的には切り残しなどが問題となる。その他に加工条件の設定が不相当であると仕上面の性状が悪化し、工具寿命も短くなり加工精度が低下する。

#### 11) 検出器の精度

クローズドループ方式の場合には検出器の精度により全体の精度が決まり、検出精度とともに熱による検出スケールの変形誤差も考える必要がある。

#### 12) NC 装置のエラー

NC 装置に自己診断機能がないので、NC 装置自身が故障した場合には、工作物のみならず

工作機械にも決定的な損傷を与える可能性がある。

以上のように加工精度に悪影響を及ぼす要因は多いが、これらの問題をある程度解決して NC 旋盤で輪郭寸法精度  $1.3\mu$  の工作物を得ている例もある<sup>9)</sup>。この場合次の点に特に注意している。すなわち、NC 機は人が介在せず人による精密測定および工具の精密位置決めが不可能なため、4 個の高感度電気変位計を利用して工具の精密自動位置決めを行ない、またレーザ干渉計により X-Z 座標の位置を測定してフィードバック制御を行なっている。熱源となる油圧モータは工作機械と離し、主軸に多孔質グラファイトの空気軸受を採用することにより、主軸部での発熱の影響を最小限にし、軸受の剛性を高め、1400 rpm で  $0.25\mu$  の回転精度を得ている。

## 6. 自動設計・加工システム

前述のように NC 加工はまず設計図より幾何学的情報を読み取り、プログラマーがパートプログラムを作り、これをパンチし、自動プログラムのプロセッサを有する電子計算機にかけて指令テープを得ることに始まる。

電子計算機の普及、発達に伴い、設計に必要な計算はもちろん、設計そのものも計算機で行なうようになり、回路設計用のプログラム言語まで登場してきた。したがって、計算機で設計した品物の幾何学的情報を図面の形で出力し、この図面からパートプログラムを作成するという 2 度手間をはぶくため、自動設計・加工システムが行なわれるようになった。このシステムは一般に、自動設計のシステム、設計データに基づき品物を自動製図するシステムおよび自動加工システムより構成される。この場合の図面は設計の良否の判断を人が行なうためのものである。設計が満足のゆくものであると判定されると、計算機より加工用のデータを出力し、この情報を NC 機に入力することにより、自動的に加工が行なわれる。図 7 は現在阪大で開発中の TSS 自動設計加工システムである<sup>9)</sup>。大型計算機には TSS-ADAPT (NC 加工用言語)

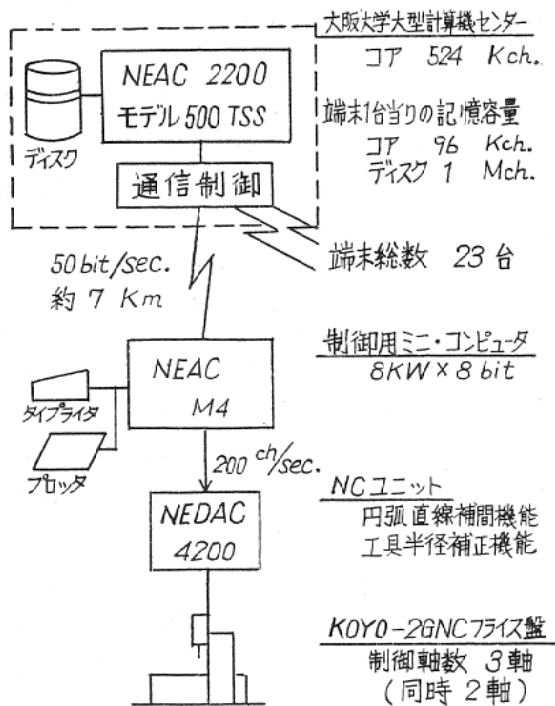


図7 自動設計加工システム (牧之内<sup>5)</sup>)

と FORTRAN (科学計算用言語) のプロセッサを持っている。FORTRAN 言語で書かれた自動設計用プログラムに必要な設計諸元を与えることにより自動設計が行なわれ、設計されたものの数値情報はディスクに記憶される。XYプロッタで設計の確認をし、ADAPTのプロセッサで NC 指令情報に変換し、これを再度 XYプロッタで確認した後、ディスクに記憶された NC 指令情報により、NC 機を直接計算機で制御する。この場合、最終的な判断は人間が行なうが、必要な機能のみを入力することにより自動的にその機能を満足する製品が作られるようになる。

## 1. むすび

第2次大戦後の急速な技術革新により全工業分野で機械化、自動化が促進され、製品が人の

手に触れないで生産されるようになった。その中で、機械工業は無人工化の割合の少ない産業であるが、加工の進んで行く一つの方向が省力化、極端な場合は無人工化であり、工業全体の進む方向と一致している。現在高品位な製品は高精度な工作機械と熟練工の卓越した勤により生産されているが、現在の社会的価値感および技術革新の速度から今後熟練工の養成が困難となることは目に見えている。そこで従来の熟練工に代わって、科学の力を十分に発揮した生産加工技術が生まれることが要請されている。大量生産をする場合には自動機が最も能率が高いが物質が豊かになると、商品のライフサイクルが短くなり、かつ品種が増加する。そこで多種少量生産での能率の高い加工方式が必要となる。将来これらの高精度、高能率、省力の期待を担い得る生産加工技術は NC 加工技術であろう。人工頭脳としての電子計算機とオンラインで作動する NC 工作機械により期待がかなえられるようになるであろう。もちろんそのためには、高精度な工作機械、高性能な NC 装置、人工頭脳の中に蓄えるべき適格な生産加工技術情報、工作物の正確な幾何学的情報を人工頭脳に伝達する装置、これらが円滑に作動するためのソフトウェアなどが必要となろう。

## 参 考 文 献

- 1) 竹山秀彦：生産加工技術会議等に出席して、機械と工具, **14**, 2 (1970) 121.
- 2) 竹山秀彦：生産加工技術と生産システムの展望, 機械の研究, **24**, 1 (1972) 1.
- 3) 稲葉清右衛門：数値制御入門, 日刊工業新聞社, 東京 (1971)
- 4) Jurning to Microinches, American Machinist, **110**, 23 (1966) 145.
- 5) 牧之内三郎他：DNC システムの試作, 昭和47年度精機学会春季大会学術講演会前刷 (1972) 421.