研究

計算機・適応制御旋削加工システムの試み（第1報）*

——会話形式指令・加工仕様入力，工具経路自動決定および直結制御——

本 多 庸 悟** 竹 山 秀 彦** 安 部 哲 夫***

A Computer-adaptive Controlled Lathe Work System (1st Report)

——A Model System with Conversational Command and Input,
Automatic Tool Path Decision and Direct Control——

Tsunenori HONDA, Hidehiko TAKEYAMA, Tetsuo ABE

Based on the considerations both of present development of information processing, measuring and automatic control technique and of future automatic machining system, a model of computer-adaptive controlled machining system has been proposed and experimented for lathe work as an example. The model system has been constructed connecting a control computer for which a newly developed software system has been implemented with an adaptive controlled lathe.

The experiment has shown that the system, in which main three functions, that is, (1) conversational command and input, automatic tool path decision and direct control (conversational direct computer control), (2) cutting force control by automatic decision of feed rate in rough cutting and (3) dimensional accuracy control by automatic correction of depth of cut in finish cutting, can connectedly operate, is effective to a higher leveled automatic machining.

In this report, method, functions and experimental results of conversational direct computer control are shown, that is, (1) one unique lathe work system, which accepts conversational input data of machining specifications through a typewriter and cuts a part automatically, has been functioned, and (2) as a result of experiments for various workpieces, required time from programming till beginning of operation is less than 50% of that of conventional NC lathe, etc.

1. 緒 言

機械工場における加工過程の中でも機械加工というプロセスは製造工業において基幹的な地位を占めるものの一つであり，従来からもデータの収集や体系化の面で多くの努力が払われてきた．しかし生産技術者や作業者の高度な熟練度に頼る部分がなお少なくなく，その自動化に関しては多くの問題が横たわっている．これは加工物という不連続的な個体の集まりに対する形状的な処理，という内容によるところが大きい．

近年，情報処理，計測，制御などの分野の進歩，なかんずくデジタル電子計算機の進展と，工作機械などの駆動制御方法としての数値制御（NC）の普及，さらには適応制御の試みなどにより，加工システムへの新たな展望が開けつつある¹⁾．

このような背景をもとに，人間の介在するシステムの

情報伝達をより滑らかにすると共に，加工システムの機能向上のための方式を提案し，これを旋削加工を例にとり実施した．モデルは，新しくソフトウェアを作成し組込んだ制御用電子計算機に，1966年以来機械技術研究所において研究を重ねてきた適応制御旋盤²⁾に更に手を加えて直結して構成し，所期の結果を得た．

本システムには，通常の作業において比較的多くの知識や熟練度を要する箇所を効率化する目的で，次の三つの機能が一体的に動作するように与えられている．

- (1) 会話形式の指令および加工仕様入力，工具経路自動決定，およびNCテープ無しの直結制御（会話形式・直結制御と呼ぶ）．
- (2) 荒削りにおいて，切削力（主分力）を一定範囲内に収めるための送りの制御（切削力制御と呼ぶ）．
- (3) 仕上削りにおいて，切削熱による加工寸法精度の劣化を修正するための切込みの補正（寸法精度制御と呼ぶ）．

ここで，上記(2)および(3)項の適応制御機能の採否は，(1)項の会話形式により随時選択可能とする．

試行実験結果からすれば，第1の会話形式・直結制御

* 原稿受付 昭和48年3月20日．昭和47年度精機学会春季大会学術講演会（昭和47年4月7日）にて発表．

** 正 会 員 機械技術研究所（東京都杉並区井草4-12-1）

*** 三菱化成（株）（東京都千代田区丸の内2-3-1）

は, タイプライタ装置を介する簡便な指令により作業シーケンスを制御せしめ, 工具経路自動決定機能によりプログラミング時間を大幅に短縮し, 直結制御機能ともあわせて, マン・マシン・インタフェースの面でメリットのあることが確かめられた。

第2の切削力制御では従来NCプログラム上に必要だった送りの指定を省く可能性が示され, 第3の寸法精度制御では乾仕上削りにおける工具伸長に伴う加工寸法精度の劣化を小さくしうることが示され, 共に第1の機能と一体的に動作して独自のシステムを構成することができたが, 本報では特に第1の会話形式・直結制御の方式, 機能および実験結果について述べる。

2. 本システムの機能と構成

2.1 機能

本システムの機能は, 対象とする旋削加工の普遍性を失わせない範囲で次のように定められた。

- (1) 加工物は段付き軸状のものに限る。
- (2) 素材形状は丸棒とする。
- (3) 段付き形状を削り出す輪郭切削とみぞ入れの双方の工具経路を自動決定し, かつ直ちに旋盤を駆動し得る。
- (4) 上記輪郭切削において, 荒削りと仕上削りの双方が可能にする。
- (5) 適応制御⁹⁾を行う。すなわち輪郭切削の荒削りにおいては主分力を拘束範囲内に収めるべく送りを制御し, 仕上削りにおいては工具シャンク温度の上昇に基

図1 計算機・適応制御旋削加工システムの全体のアルゴリズム

図2 本システムの構成

づく寸法の狂いを補正するべく切込みを制御する。

- (6) いわゆるマン・マシン・インタフェースとして、制御用計算機に接続したタイプライタ装置を介する会話形式を設ける。これは2段階とし、まず加工準備から制御開始までの諸段階のシーケンスを指示する会話形式指令を設ける。これには、キー・イン、修正、コントロールなど六つのレパートリーがある。
- (7) 次いで、キー・インや修正レパートリーにはさらに、加工仕様入力のための会話形式フォーマットがある。
- (8) 上記の加工仕様入力後は任意の時間に、タイプライタおよび直結制御スイッチにより、コンピュータ内で自動決定されるNCプログラムを送出し旋盤を制御する。

本システムの全体の流れを図1に示す。なお本システムでは加工物寸法や工具経路を示す座標系として、加工物中心軸に一致しチャックからテールストックへの向きを正とする軸を z 軸、加工物直径を示す軸を x 軸とする。

2.2 構成と装置

本システムの構成を図2に示す。大別してコンピュータ側と旋盤側とに分かれ、それぞれ電子計算機室および生産工学実験室に設置されている。

構成要素の主な仕様は次のごとくである。

- (1) 電子計算機(本システムへの使用分のみ) 語長: 16ビット+1パリティビット, 基本命令数: 75種, サイクルタイム: $1.8\mu s$, 内部記憶: 磁気コア 16K語, 外部記憶: 磁気ドラム 16K語, 割込み:

(a) 計算機室での入出力操作

(b) 旋盤での切削中の様子

図3 動作中の様子

8レベル, 入出力関係: I/O タイプライタ, 光電式紙テープリーダー, 紙テープパンチャ, アナログ入力装置(変換速度 $55\mu s$, 8点), デジタル出力装置(16ビット)。

```

Auto Path
k,
1 Key-in mode G90
2 Brank size d = 120, l = 400,
3 Condition = 1,
4 Traverse limit z = 100,
5 Adaptive = 1,
6 Manner c = 1, Type = 1,
7 Tool(c) = 1, Depth = 1.5, Feed = 0.5,
8 Finish = 1,
9 Tool(f) = 2, Depth = 0.5, Feed = 0.2,
10 Coordinates(c)
11 x = 112, z = 360,
12 x = 115, z = 330,
13 x = 118, z = 285,
14 x = 7,
15
16 Manner i = 1,
17 Tool(i) = 3, Width of edge = 6,
18 Coordinates(i)
19 zr = 350, zl = 340, x = 108,
20 zr = 250, zl = 244, x = 112,
21 zr = 7,
22
23 Thank you.

```

```

Auto Path
c,
1 Change line = 6,
2 Tool(c) = 1, Depth = 2, Feed = 0.4,
3 Change line = 9,
4 Coordinates(c) line = 2,
5 x = 115, z = 320, line = 0,
6 Change line = 0,
7
8 Auto Path
d,
9 Key-in mode G90
10 Brank size d = 120.00 l = 400.00
11 Condition = 1
12 Traverse limit z = 100.00
13 Adaptive = 1
14 Manner c = 1 Type = 1
15 Tool(c) = 1 Depth = 2.00 Feed = .40
16 Finish = 1
17 Tool(f) = 2 Depth = .50 Feed = .20
18 Coordinates(c)
19 x = 112.00 z = 360.00
20 x = 115.00 z = 320.00
21 x = 118.00 z = 285.00
22
23 Manner i = 1
24 Tool(i) = 3 Width of edge = 6.00
25 Coordinates(i)
26 zr = 350.00 zl = 340.00 x = 108.00
27 zr = 250.00 zl = 244.00 x = 112.00
28
29 Auto Path

```

注 1: 下線部は操作者による入力データ

注 2: 機能の採用, 不採用を問う質問には, 採用のとき 1, 不採用のとき 0 を入力する

(a) キー・イン, 修正, および清書レバートリー

- 図 3(a) は 計算機室側で入出力操作中の様子を示す。
- (2) 適応制御旋盤 主軸駆動電動機: 15 kW, 主軸回転数: 70~2 000 rpm, 加工物最大径: 280 mm, 切削送り: 0.03~0.5 mm/rev 間の 10 段階の送りを 4 ビットのパルス信号で選択可能, 同時 1 軸数値制御装置付き, ストロングージおよび熱電対装着のバイト使用可能。
- 図 3(b) は当旋盤で切削中の様子を示す。

```

Auto Path
p,
NC program by Auto Path
,n001z40500m02m11f0
n002x11600m35f0
n003z36000f1
n004x11900f1
n005z32000f1
n006x13000f1
n007z40500f0
n008x11300m35f0
n009z36000f1
n010x11600f1
n011z32000f1
n012x11900f1
n013z28500f1
n014x13000f1
n015x50000f0
n016z40500m12f0
n017x11200m35f0
n018z36000f1
n019x11500f1
n020z32000f1
n021x11800f1
n022z28500f1
n023x13000f1
n024x50000f0
n025z35000m13f0
n026z34400f1
n027x12500m35f0
n028x10800f1
n029x12500f1
n030z34000f1
n031x10800f1
n032x12500f1
n033x13000m35f0
n034z25000f0
n035z24400f1
n036x11200f1
n037x13000f1
n038x50000m03f0
/

```

Auto Path

注: n, x, z, m および f は NC 用アドレスを示す文字であり, それぞれシーケンス番号, x 座標値, z 座標値, 主軸指令および送りを意味する

(b) NC プログラム・プリント・レバートリー

図 4 会話形式の例

- (3) ケーブル CPEV ペアケーブル (0.9 mm 径, デジタル信号用) および, 5 E 2 V 同軸ケーブル (アナログ信号用), おのおの約 130 m 長。

3. タイプライタを介した会話形式

本システムのマン・マシン・インタフェースとして, 入出力タイプライタによる 会話形式を採用し, 作製した。これは本システムのような即時処理的な自動シス

ムに対する手順の指示や入力簡易化、入力ミスの防止、入力データのチェックや修正の容易さ、などを実現するのに適していると考えたからである。

以下、本システムプログラムを“Auto Path”と略称することとする。このプログラムを動作させると、まず Auto Path とタイプライタにプリントして待機状態に入る(以下、図1参照)。Auto Path には六つのレパートリーがあり、この時点で操作者が下記のごとき指定の1文字をキー・インすることにより対応するレパートリーを選択することができる。すなわち、

- (1) キー・イン・レパートリー(キー・イン文字=k): 加工仕様上の入力データを与える。図4(a)に示すごとく、番号からまでの各項目がコンピュータから質問されると、操作者はおのおのに対する数値を入力すればよい。なお現システムでは、2の Condition および5の Type については特別の処理をしない(これらはシステムのレベルアップの必要が生じたときのための入力項目として設けておかれた)。
- (2) 修正レパートリー(キー・イン文字=c): キー・イン・レパートリーで入力されたデータを修正したいときに用いる。修正箇所はライン番号で指示する。
- (3) 清書レパートリー(キー・イン文字=d): 修正レパートリーを用いた後などに、入力データを再確認する目的などに用いる。
- (4) NC プログラム・プリント・レパートリー(キー・イン文字=p): NC プログラムを自動作成しそれをプリントする。
- (5) NC テープ・パンチ・レパートリー(キー・イン文字=n): 作成されたNCプログラムを紙テープとして確保しておき、通常のNCテープとしても利用しうるようにする。
- (6) コントロールレパートリー(キー・イン文字=s): NC プログラムを自動作成し、デジタル出力装置より機械側へ送出するモードに入る。連続作業または1ブロックずつの作業のための割込みスイッチにより制御が開始される。

図4(a)には一つの加工仕様例による、キー・イン、修正および清書レパートリー、また図4(b)には同一例のNCプログラムプリントの各レパートリーの結果が示されている。

4. 工具経路の自動決定

4.1 概 要

加工作業においては、一般に加工過程そのものの能率化とともに準備的ないし補助的作業の効率化も大きな問

題である。特に切削加工においては機械の幾何学的動作が重要であり、これが昨今のNC工作機械の進歩の動機となっているが、反面そのプログラミングに少なからぬ労力が要求されるようになった。このため人間が機械の動作を逐一、NC指令語でプログラミングすることを避けて、もう少し扱いやすい形式で記述し、コンピュータによりNC指令へ変換させる試みがなされつつある⁴⁾が、ここで述べる工具経路自動決定システムは既述のようにある程度限定されたデータを対象としつつ、むしろ即時的な処理に重点をおくことをねらいとして試みられた。

なお、ここでは加工物の輪郭形状を削るための切削の形式を輪郭切削と呼ぶ。本システムでは、キー・イン・モードにおいて“Manner c=1₁”であればまず輪郭切削を行い、更に“Manner i=1₁”であればみぞ入れを行う。輪郭切削において“Finish=1₁”であれば荒削りの際に仕上しろを残すよう配慮し、仕上削りを行わせる。また“Adaptive=1₁”が指示されたときには、荒削りにおいて切削力制御、仕上削りにおいて精度制御(いずれも第2報にて報告の予定)が機能する。

工具経路自動決定のアルゴリズムを状態図によって図5(a)に示す。

4.2 輪 郭 切 削

旋削の輪郭切削には次のような切削方式がある。すなわち、①ならい削り(製品形状に平行または同一の切削経路による)、②長手削り(z軸に平行な直線状切削経路による)、③端面削り(比較的寸法の大きな端面に対してx軸に平行な切削経路による)である。ある程度複雑な形状の加工物に対してはこれらが組合わされて用いられる。

ここでは以下の理由により、ならい削り方式のみで工具経路を創成してゆくこととした。すなわち、

- (1) 同一のアルゴリズムで、荒削りおよび仕上削りの双方をカバーすることができる。
- (2) 常に仕上り形状をx軸方向に平行移動すれば経路となるのでアルゴリズムが簡略となる。
- (3) 端面削りは、センタ作業における標準的な軸物の加工ではほとんど不要である。

欠点として、素材が丸棒の場合には長手削りを主体とした方式に比してNC指令のブロック数が多くなりやすい。しかし経路全体の総距離や切削時間には大差なく、また直結制御であれば紙テープが長くなるということは特に考慮しなくてよいので重大な欠陥とはならない。

輪郭切削のシーケンスの概略を図5(b)に示す。図中の数字は図5(a)における各状態に対応する。

4.3 み ぞ 入 れ

図5 工具経路自動決定のアルゴリズム

みぞ入れは、輪郭切削が存在するときには必ずその後になされるものとする。そのシーケンスの概略を図5(c)に示す。図中12では加工物表面5mm上方まで接近する。みぞ幅が工具の切れ刃幅より大のときは1mmのオーバーラップをとって、必要回数だけ切削を行い所定のみぞ幅を得る。

4.4 実験例

Auto Pathによりデータを入力し、工具経路を定め、実際に切削した例から3例を図6に示す。図6(a)は丸棒状の素材から図示の段付き形状を得るもので、指定は荒削りのみである。前述のように、ならい削り方式のため削りしろは図示のように分割され、図中の1, 2, 3の3回のトラバースで切削は終了する。同図(b)は、次報で述べる切削力制御の実験も兼ねさせるため、素材形状を故意に複雑なものにしている。この例では、仕上削りも行うように会話形式によるデータ入力の際に指定された。同図(c)はチャックがえて両方向から削ると共に、みぞ入れも含むものである。Auto Pathの1回の適用では単調に左上がりの形状のものしか扱えないが、チャックがえをはさんで各工程それぞれを独立に処理すれば、このような中太の形状も削ることができる。中細のものはAuto Path単独では対象外である。この例で用いたみぞ入れバイトの切れ刃幅は6mmであったので、第1工程の8mm幅のみぞは2回のインフィード動作で切削される。

ここで示した例においてなされた二、三の指定を、先

図6 加工例

に示した図4で対応づけておくと、適応制御を行わせるかどうかの指定は、図4(a)のキー・イン・モード(K_i以下)の行4におけるAdaptive=1, 仕上削りを必要とすることの指定は、同じく行7におけるFinish=1, また、みぞ入れを必要とすることの指定は、同じく行10におけるManner i=1, で、そのときのみぞ入れ工具の

図7 Auto Path と手計算プログラムの比較

Path と手計算プログラミングで NC プログラムテープを作成し、おのおののプログラミング時間およびパンチ時間を実測した。その結果を図7に示す。ただし手計算の場合は長手削り方式によった。プログラム作成者はこの NC 旋盤の NC プログラミングに熟達した者である。また手計算プログラミングにおける NC テープパンチ時間は 225 字/min で計算した。

以上の実験の範囲で次のことが言える。

- (1) NC 指令のブロック数は、Auto Path によるものは手計算プログラムの約 1.8 倍となった。
- (2) プログラミング時間は手計算プログラミングの場合、加工物の形状の複雑さに応じて急激に増加するのに対し、Auto Path ではさほど増加せず、平均で約 1/4 に短縮された。
- (3) テープパンチ時間は Auto Path のほうが大となったが、これは上記 (1) およびテープパンチャとタイプライタの速度が遅いためである。しかし手作業につきもののミスパンチ等がなくなるという大きな利点が得られる。
- (4) プログラミングおよびパンチ時間全体では、仕上り形状によりばらつきは避けられないが、Auto Path は標準的な手計算プログラミングの 50% 以下となる。

なお素材と仕上り形状のみを入力して工具経路を自動決定するものとして西独の Gildemeister 社などのものが最近になって発表されている。これらは初めから紙テープを用いそのデータを繰返し読んでトラバースをか

幅は同じく行 11 の Width of edge=6. として与えられている。

5. NC プログラム作成の能率に関する評価

“Auto Path” の評価を、NC プログラミング時間のみに絞って行った。種々の寸法の段付き軸 6 種類について、Auto

けてゆくもので、機能的にも通常の NC の範囲のものを扱うのみである。本報で述べたものはこれらとは機能上のレベルを異にする、より総合的なものとなっている。

6. 結 言

制御用電子計算機と適応制御旋盤とを結合したモデルシステムを構成し、① 会話形式指令および加工仕様入力、工具経路自動決定、および直結制御（会話形式・直結制御）、② 送りの自動修正による切削力制御、③ 工具温度に基づく寸法精度制御、の機能を一体的に動作させ得たが、本報ではそのうち、上記 ① の会話形式・直結制御について報告した。すなわち、

- (1) 旋削における段付き軸状加工物を対象として、制御用電子計算機に接続されたタイプライタ装置を介して、キー・イン、修正、清書、コントロール、NC プログラムプリント および NC テープパンチというレパートリーを有する会話形式指令により、加工仕様入力から旋盤を制御して所定の加工物を得るまでの独自のシステムを動作せしめた。
 - (2) 上記会話形式におけるキー・イン・レパートリーには、素材寸法、適応制御適用の有無、仕上削りの有無、仕上り形状等を入力しうる独自のフォーマットを設け、動作させた。
 - (3) 本システムに対し、実際に種々の加工物について入力し、従来の通常の NC 旋盤を用いる場合との比較を行い、プログラムの作成から旋盤の制御の直前までの所要時間が平均的に 50% 以下となること、などを確かめた。
 - (4) 本システムのソフトウェアの大きさは、切削力制御、寸法精度制御および演算関係のユーティリティールーチンをも含めた全体で、約 3.5 K 語であった。
- なお本システムのいま一つの特長的な機能である適応制御、すなわち切削力制御と寸法精度制御については次報により述べられる。

参 考 文 献

- 1) 竹山秀彦, 本多庸悟: 工作機械の計算機制御におけるソフトウェア, 精密機械, **38**, 1 (1972) 11.
- 2) 竹山秀彦, 本多庸悟, 関口 博, 高田孝次: 旋削加工の最適化制御, 日本機械学会誌, **73**, 619 (1970) 1141.
- 3) 三浦良一: 適応制御系, 計測と制御, **9**, 5 (1970) 43.
- 4) 井上久仁子: NC ソフトウェア, 機械技術協会会報, **23**, 6 (1971) 213.