

# NC加工機による木製品生産技術の研究 (第3報)

## — 3次元形状の倣い加工システムの開発 —

木材工業部 上原守峰, 山之内清竜, 米蔵優

### Study On Wooden Products Technique by The NC Router (Ⅲ)

#### — Development of copy processing system for three dimensional shape —

Morimine KANBARA, Kiyotatsu YAMANOUCHI and Masaru YONEKURA

XYZ方向に数値制御が可能なNCルータとデジマチックインジケータとを利用し、低価格で構成が簡易な3次元形状倣い加工システムを開発した。

データ計測用マシンプログラムとパーソナルコンピュータのPC9801シリーズで作成したソフトにより断面形状計測、基準面の補正、CADデータ変換、マシンプログラム変換と変位量の測定からNC加工までを自動に行えるものにした。その結果、測定に使用したインジケータ(50mmストローク)の機械的な精度の誤差を除いては実用に支障のないことを確認した。

### 1. はじめに

木工作业における3次元形状の倣い加工は、倣い彫刻機による手動倣い加工、自動倣い装置によるNC加工、3次元測定機のデータをもとにマシンプログラムを作成してNC加工を行う方法等があげられる。

手動での倣い加工はスタイラスをマスターモデルに強く押し当てたり、ルータビットの振動が手に伝わったりするため疲労度が高い。また、切削量・ピッチ・送り速度の条件設定が不可能で切削肌も粗く仕上げにも時間がかかる。

その点、数値制御機構をもったNCルータによる加工では体力の消耗もなく、最適な加工条件を数値で設定でき、被削材が確実に固定されることもあってスムーズな3次元形状を得ることができる。

欠点は、マシンプログラムを作成して倣い加工を行うには膨大なデータ処理に時間を必要としたり、機械が高価であることがあげられる。

そこで、すでに汎用NCルータの3軸制御機構を利用して測定から加工までを行う自由曲面加工システムが開発されている<sup>1)</sup>が、本研究はさらに低価

格で構成が簡易な3次元形状倣い加工システムを追求したものである。

### 2. 3次元形状の倣い加工システム

#### 2.1 システム

形状測定装置を写真1、測定端子部を写真2に示す。

形状測定にはデジマチックインジケータ(ミットヨ製, 543シリーズ, TYPE: ID-1050M, 測定範囲: 0~50mm, 最小表示量: 0.01mm, 指示精度: 10 $\mu$ m)を使用した。なお、測定端子部に関しては必要なものが市販されていなかったため、ビーズ(トーホー製,  $\phi$ 10mm, No201)とネジとを組み合わせで作成した。試作品の加工にはNCルータ(菊川鉄工所製, MC37-1, 制御装置: FUNAC15M)とボールエンドミル(兼房製,  $\phi$ 10mm, 超硬)とを使用した。

このシステムはNCルータのXYZ方向に数値制御ができる機構を利用したものである。

図1に3次元形状倣い加工システムのフローを示すが概略は以下の通りである。

テーブルにセットしたモデルの平面座標 (X, Y) を、予め一定ピッチのメッシュ状に仮想設定し、データ測定用マシンプログラムを実行させNCルータの主軸を、設定した平面座標で定置分だけ下降させる。主軸の下降が停止した段階で、Z値



写真1 測定装置

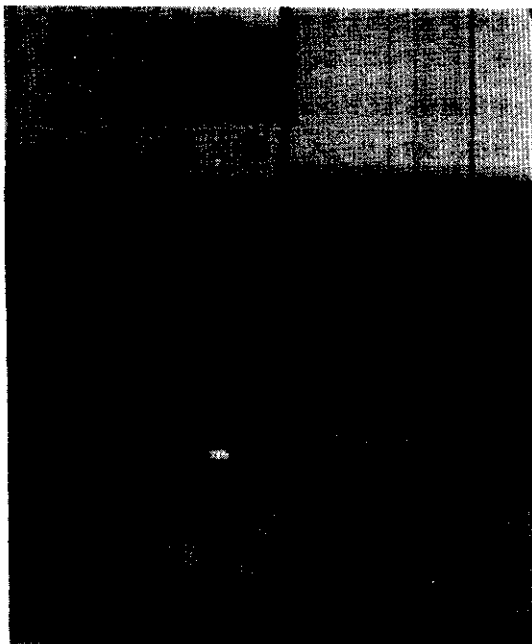


写真2 測定端子部

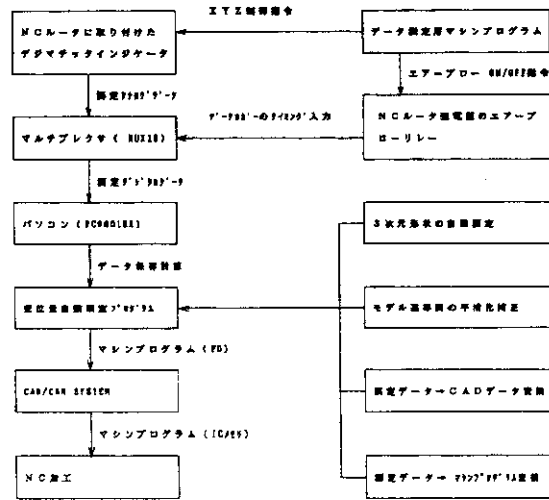


図1 3次元形状測定加工システムの概略

を測定する。測定されたZ値座標は、マルチプレクサ (ミットヨ製, MODEL: MUX-10, デジタルマイクインジケータからのデータをRS232C仕様に変換・出力する装置) でAD変換されて、平面座標値 (X, Y) とともに3次元データとしてパソコン (NEC製, PC9801-RX, 16ビット) に取り込み、フロッピーディスクにセーブする。

測定データの基準面補正を行った後、システム既存のCADデータ、およびマシンプログラムに変換する自動システムである。

なお、取り込みのタイミングは主軸の下降が停止した段階で、NCルータのエアブローを起動させ、その信号を利用した。

### 2.2 方法

ここでは上記システムを使用して物相御飯木形の3次元形状データを自動計測し基準面の補正・CADデータ変換・マシンプログラム変換・NC加工を行ったのでそのプロセスについて記述する。

## 2. 2. 1 測定機器のセッティング

パソコンに自動計測とデータ変換用ソフトのシステムとデータディスクをセッティングし測定用機器類を写真1のように接続する。

## 2. 2. 2 マスターモデルのセッティング

テーブル上に被測定材のワーク原点位置を基準としてL字形の固定治具をセッティングする。NC機械操作盤のモードをハンドルモードにし、セッティングしたマスターモデル平面部の4隅のZ値の計測を行う。

これは、モデル形状が平面と凹面で構成されていることによるものであるが、木材の場合平面部にはネジレが見られ形状測定の際に基準面の設定ができないためである。この基準面がNC定盤に対して平行でない凹面部のデータにも狂いが生じ、モデルの忠実な再現ができない。

また、測定したZ値はソフトで基準面の補正を行うことができるが、セッティングの時点で可能な限り平面の誤差を取り除いていた方が補正後の誤差は少なくなるためである。

データ測定用マシンプログラムの移動方向はその形状から判断する。左右対称図形はテープが長くなるような場合には片側半分のデータの計測だけ行い(未測定部分はデータを反転する)、左右非対称図形の場合には加工時間ができるだけ短縮できる方向に計測を行う。今回は位置決めをY軸方向にしたのでモデルに設定した矩形の短辺がY方向になるようにすると加工時間が短縮できる。

## 2. 2. 3 データ計測用マシンプログラム

今回使用したマスターモデルは、凹面形状を有するもので最大深さ約20mm程度であったが、この3次元形状を1mmメッシュの矩形で区切った交点のZ値を測定した。

マシンプログラムで制御された測定子はX軸の一方向に1mmずつ上下動を繰り返しながら移動し、矩形の端までくるとY軸に1mm移動して今度はX軸の+方向に同じ動作を行う。Z値が50mm下降した時

に、マシンプログラム側でエアブロー・オン指令(M07)、ドウェル指令(G04:送りを、ある時間だけ停止させること)、エアブロー・OFF指令(M09)を与え、パソコンに取り込む。

下記にデータ計測用のマシンプログラムを示す。

①~⑧は変数でマスターモデルの形状の相違で変化するが、スペースには下記の方法に必要な数値(mm)を代入する。

- ①②: 計測スタート位置のX・Yの値
- ③: モデルの最深部のZ値の機械座標に余分値を加えた値から50mmを減じた値
- ④: モデル形状を包含する矩形のYの値(小数点無し)
- ⑤: モデル形状を包含する矩形のXの値(小数点無し)
- ⑥: モデル形状を包含する矩形のXの値
- ⑦⑧: モデル形状を包含する矩形に仮想設定したメッシュのXYの値

```

01011(メソフ'プログラム)
G90G00 ①X----- ②Y-----
G01 ③Z-----F6000
M98P1012 ④L____
G28Z0
M30

01012(メソフ'プログラム)
M98P1013 ⑤L____
G00 ⑥X----- ⑦Y-----
M99

01013(メソフ'プログラム)
G00 ⑧X-----
G01Z-50.
M07
G04X0.5
M09
Z50.
M99

```

2. 2. 4 自動計測のためのソフト

このシステムのメニューを、図2に示す。

パーソナルコンピュータを使用してDOS - BASICで作成したものである。

Aドライブにシステム、Bドライブにデータディスクを挿入しメニューを表示させる。

以下今回試作した物相御飯木型のUME型についてのプロセスを示す。

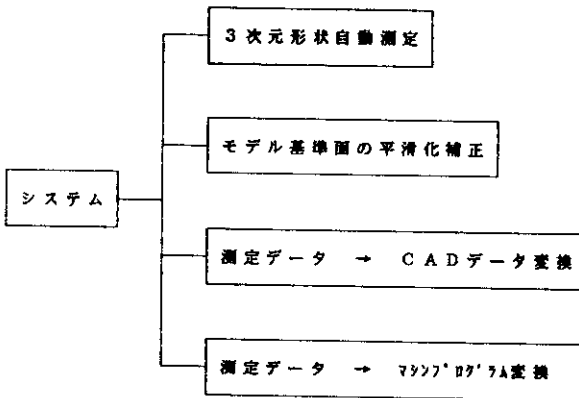


図2 システムメニュー

2. 2. 5 自動計測

```

自動計測&データ変換   メニュー

1. 自動計測
2. 基準面の補正
3. 測定データ ---> CAD   変換
4. 測定データ ---> マシンプログラム変換
5. 終了

番号で選択してください (1,2,3,4,5)
    
```

自動計測を行うので、1とキーボードから入力しリターンキーをヒットする。自動計測画面が表示され必要事項を聞いてくるので、データ計測用NCプログラム作成の際に入力した変数の値等をキーボードから入力していく。

入力するデータ数の項目は自動で乗算される。

```

***** 変位置自動計測システム *****

X軸方向の測定点数は : 85
Y軸方向の測定点数は : 165
入力するデータ数は   8925 点です

データファイル名は   : UME

ファイルを作成するドライブ名は (A,B,C,...) : B

準備ができたならリターンキーを押してください!!
    
```

リターンキーを押す計測持ちの画面になる。

```

*****変位置自動計測システム *****

データ No.   Y軸*104 イント   X軸*104 イント   Z軸計測値

強制終了する時は [STOP] KEYを押した後
CLOSE と入力してください。
    
```

データ計測用マシンプログラムを起動させると上記4項目にそれぞれ数値が入力される。

また、この計測のように8925ポイントもの大量データ計測は長時間に及び夜間運転になる可能性があるため、データNo.1~10までの計測の平均をとり、10ポイント計測終了時に開始時刻・予測終了時刻が表示されるようにした。

Bドライブのデータディスクに書き込むデータのフォーマットは以下の通りでコンマの左側の数字がデータNo.で右側がデジマチックインジケータにデジタルで表示されたZ軸の計測値である。

0.0
1.19.16
2.19.17
3.19.18
4.19.19
5.19.21
6.19.22
7.19.23
8.19.24
9.19.26
10.19.27

2. 2. 6 基準面の補正

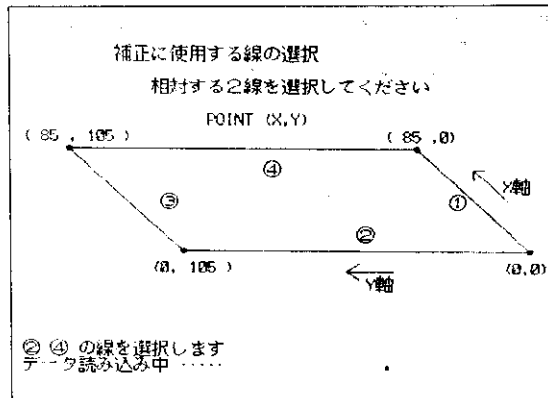
本システムのようにモデルと全く同一形状を作成するという、一種の倣い加工の場合、モデルの基準平面とNCルータの基準面(テーブル)が平行になることが求められる場合が多い。しかし、木材は水分の吸脱着に応じて収縮や狂いが発生するため、モデルの基準面は若干動くと考えべきである。

そこで、モデルとテーブルの基準面がより平行になるように、測定データを補正するプログラムを作成した。

ここでは、3次元形状測定時に設定したモデルの平面座標軸(X軸とY軸)のうち、予め狂いの大きい軸を選択することにより、最小2乗法による選択軸の直線化と、各平面座標におけるZ座標値の補正を行う。

メニューを立ち上げ2の基準面の補正を選択する。それぞれ項目ごとに聞いてくるので必要事項をインプットしていくが、自動計測でのポイントデータが確実にデータディスク内に格納されているかどうかを、このプログラムで確認できるようにしてある。

リターンキーを押すと以下の表示になるが、2. 2. 2で計測した4隅のデータのうち狂いの少ない線を選択し、数値だけで判別しにくい場合は2種類とも選択し、標準偏差の少ない方を選択する。



②と④を選択し999を入力後、リターンキーを押すと選択した番号が赤色表示され、次のメッセージ後に計算結果が表示される。

②④の線を選択します  
データ読み込み終了  
計算中 . . . . .しばらくお待ちください

基準面の補正プログラム

X軸方向の点数は? 85  
Y軸方向の点数は? 105

読み込むデータディスクのドライブ名は: B  
読み込むデータファイル名は: UME

データをプリントしますか (Y/N)? N  
計算結果をプリントしますか (Y/N)? N

データをチェック終了

ファイルから読み込んだデータ総数: 8825点  
設定した点数  
(X軸方向の点数) × (Y軸方向の点数) = (データ総数)  
85 105 8825

データ数 OK!!  
準備がよければ RETURN KEY を押して下さい

計算結果

データ	データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	変換係数
生データ	218	19.500000	18.700000	19.105200	0.250057	1.338
変換 1	218	19.007000	19.005500	19.330000	0.160772	0.874
変換 2	218	19.105400	18.700000	19.017000	0.100027	0.672
変換 3	218	19.207200	19.005500	19.340000	0.019224	0.101

どのデータをファイルにセーブしますか?

- 生データ
- 変換 1 タイプ
- 変換 2 タイプ
- 変換 3 タイプ

番号を選んで下さい (1-4)

標準偏差を比較して最小数値を示しているデータタイプは変換3なので4を入力しリターンキー

を押すとファイル名を聞いてくるので、入力するとファイルに書き込まれてメニューに戻る。

新しいファイル名を入力してください: ? U M E - 2  
書き込み中  
リターンキーを押してください

変換3の処理でできたファイルは以下の通りであるが、コンマの左側がデータNoで右側が変換データである。

- 0,0
- 1,19.16
- 2,19.166
- 3,19.172
- 4,19.1781
- 5,19.1941
- 6,19.2001
- 7,19.2061
- 8,19.2121
- 9,19.2281
- 10,19.2342

2. 2. 7 測定データをCADデータ変換

今回のNCデータ作成にこの変換は不要であったが、基準面の補正の効果を探るために行った。

既存の自動プログラミング装置のCADに測定したデータに基準面の補正を行ったものを入力させるのである。この作業を行うことで1mmごとにカットされた断面形状を視覚的に見ることが出来る。

メニューで3をヒットすると次の表示になるので聞いてくる各項目に必要な事項を入力していく。

ここでCADデータファイル(KSフォーマット)を作成する前に、変換前と実際に測定した数とが一致しているかをチェックする機能を付加した。

```
測定Z'-Z'77748 -> (Z'77748-Y'177748)変換
(N Z'77748の修正値を付与)
```

Y軸方向の測定値? 85

読み込むZ'-Z'77748のY'177748名値 : ? B  
読み込むZ'-Z'77748名値 : ? 85E-2

書き出すZ'-Z'77748のY'177748名値 : ? B  
書き出すZ'-Z'77748のZ'177748名値 : ?  
書き出すZ'-Z'77748名値(4文字以内): ? 85E2

ファイルから読み込んだデータ総数: 8025 点  
(X軸方向の点数) × (Y軸方向の点数) + (総数) = (データ総数)  
85 × 185 + 0 = 8025

Z'-Z'OK! : Z'-Z'修正の必要はありません

ここでリターンキーを押すと拡張子\_KSのついたファイルがY軸方向の測定点数だけ以上のように作成される。

```
UNMC01 _XS UNMC02 _XS UNMC03 _XS UNMC04 _XS UNMC05 _XS
UNMC06 _XS UNMC07 _XS UNMC08 _XS UNMC09 _XS UNMC10 _XS
UNMC11 _XS UNMC12 _XS UNMC13 _XS UNMC14 _XS UNMC15 _XS
UNMC16 _XS UNMC17 _XS UNMC18 _XS UNMC19 _XS UNMC20 _XS
UNMC21 _XS UNMC22 _XS UNMC23 _XS UNMC24 _XS UNMC25 _XS
UNMC26 _XS UNMC27 _XS UNMC28 _XS UNMC29 _XS UNMC30 _XS
UNMC31 _XS UNMC32 _XS UNMC33 _XS UNMC34 _XS UNMC35 _XS
UNMC36 _XS UNMC37 _XS UNMC38 _XS UNMC39 _XS UNMC40 _XS
UNMC41 _XS UNMC42 _XS UNMC43 _XS UNMC44 _XS UNMC45 _XS
UNMC46 _XS UNMC47 _XS UNMC48 _XS UNMC49 _XS UNMC50 _XS
UNMC51 _XS UNMC52 _XS UNMC53 _XS UNMC54 _XS UNMC55 _XS
UNMC56 _XS UNMC57 _XS UNMC58 _XS UNMC59 _XS UNMC60 _XS
UNMC61 _XS UNMC62 _XS UNMC63 _XS UNMC64 _XS UNMC65 _XS
UNMC66 _XS UNMC67 _XS UNMC68 _XS UNMC69 _XS UNMC70 _XS
UNMC71 _XS UNMC72 _XS UNMC73 _XS UNMC74 _XS UNMC75 _XS
UNMC76 _XS UNMC77 _XS UNMC78 _XS UNMC79 _XS UNMC80 _XS
UNMC81 _XS UNMC82 _XS UNMC83 _XS UNMC84 _XS UNMC85 _XS
UNMC86 _XS UNMC87 _XS UNMC88 _XS UNMC89 _XS UNMC90 _XS
UNMC91 _XS UNMC92 _XS UNMC93 _XS UNMC94 _XS UNMC95 _XS
UNMC96 _XS UNMC97 _XS UNMC98 _XS UNMC99 _XS UNMC100 _XS
UNMC101 _XS UNMC102 _XS UNMC103 _XS UNMC104 _XS UNMC105 _XS
```

2. 2. 8 測定データからマシンプログラム変換

メニューを立ちあげ4を選択する。これは自動計測の際に使用したXとYの動きと、測定したZ値のデータに基準面の補正をかけたものをもとにマシンプログラムのフォーマット仕様に変換するものである。

測定データファイル → NC加工データファイル 変換

X軸方向の点数は? 85

Y軸方向の点数は? 105

読み込むデータファイルのファイル名は : ? B

読み込むデータファイル名は(4文字以内): ? UNE-2

書き出すNCデータファイルのファイル名は : ? B

書き出すNCデータファイル名は : UNECNC

各項目に必要な事項を入力すると下記項目が表示され、リターンキーで終了する。

UNE-2データファイル読み込み中...

UNE-2データファイル読み込み終了

NCデータファイル名UNECNCを作成中...

NCデータファイル名UNECNC.NCの作成終了

以下は作成されたマシンプログラムの一部である。

```

X
00311 (UNECNC.NC)
M08T3
N03B15000
G01G00X800.00Y-582.33
G00X146.0Y85.5
G01Z-500.F1800
G00G02X0Y0Z0
N0001G00X0.0Y0.0
G01X0.0Z0.0
X0.0Z-.243601
I-1.Z-.2372
I-2.Z-.2309
I-3.Z-.224501
I-4.Z-.2082
I-5.Z-.201801
I-6.Z-.1954
I-7.Z-.1891
I-8.Z-.172701
.
.
G00G28Z0
G28X0Y0M05
M30
X

```

2. 2. 9 マシンプログラム出力とNC加工  
マシンプログラムの最初と最後の方にはデータとしてZ値に変化の見られない部分が存在する(自動計測の際に必要な矩形のYの値に余裕をみているためで切削の際は空送りにする)ので、その部分のシーケンス番号を探し時間短縮のためにマニュアル入力で早送り指令に変換する。

パソコンからNC制御盤へのデータ転送にはCAD/CAMソフトとコアラレディー(タクテックス社製, ICメモリ, 記憶容量:256Kバイト, テープ長:640m)を使用した。

なお、このソフトはマシンプログラムの前後に%が入力されていることと、ファイル名の拡張子の文字はNCと記されていることが出力可能条件である。

加工マシンプログラムのテープ長に対してCNCの記憶容量が小さいのでモード選択をテープにしDNC運転を行った。写真3に加工中の試作品を示す。

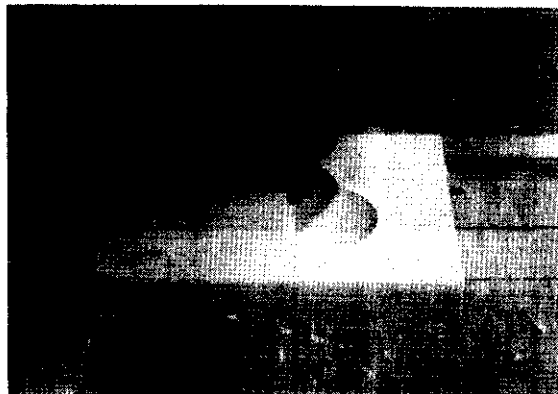


写真3 試作品加工

### 3. 結果と考察

#### (1) 測定機器

市販のデジマチックインジケータの既製測定端子には、今回必要であった10mmのボール状のものがなかったので既製ビーズで精度が高いものを使用

したが、孔あけや取り付け部のネジとの接合等改良すべき点がある。しかし、測定子先端形状を球R 5 mmの超硬合金等でメーカーに委託加工することでこの問題は解決する。

また、50mmのストロークをもつ測定部を上下動させるとそれに伴って左右にわずかなズレが生じる。マスターモデルと全く同一の形状を望むのであれば非接触型タイプや接触型でも精度の高いタッチセンサー方式のものを採用することが賢明であろう。

#### (2) 試作品の再現性

写真4はモデル、写真5は倣い加工した試作品である。今回は、3次元形状倣い加工システムを使用しての再現性の評価ができなかったが、以下の写真からの視覚判断によると、ほとんど類似の3次元形状を得ていることが理解できる。



写真4 マスターモデル



写真5 試作品

#### (3) マニュアル計測、マニュアル入力

自動計測前に、マニュアルでの計測とその数値をもとにしてマシンプログラムを作成してみた。

自動計測用マシンプログラムにシーケンス番号をつけ、シングルブロックの操作で3次元形状のZ値だけを紙にプリントアウトし、そのデータを測定と同じ順番にCAD上でマニュアルで入力していく方法である。

NCの起動ボタンを押してモデルにプローブが接触して停止したことを確認し、フットスイッチを踏むという非常に単純な作業であるが、この場合、データ数が8925もあると約8時間の作業になり出力ミスをした。

また、CAD上に直線のコマンドを使用して計測したZ値を順番に入力した。数値を目で確認してキーボードから入力という単純な作業であるが、約12時間を必要とし目の疲労が激しく入力ミスをした。

#### (4) 自動計測

メニュー1の自動計測用ソフトは計測を始めて10ポイントのデータ数になると計測始めと予想終了時間が表示されるように作成した。

X・Y軸のポイント数を10ポイント測定するのに要した時間から算出したものであるが、測定終了時間がわかると安心して次の作業計画をたてることができるため夜間の無人測定が可能になった。

なお、無人運転を行うには、加工終了後の原点復帰や一定のサイクルで繰り返される位置決め動作により各機器類を結ぶ配線が無理をしないよう注意を払う必要がある。

上記(3)のマニュアル計測と入力には合計で20時間を要したが、自動計測は約10時間であった。

単純な繰り返し作業であるこのようなデータ測定は、人間の手を介するよりパソコンを使用したほうが、はるかに正確で時間も短縮できることを確認した。



## (5) 基準面の補正

既存の自動プログラミング装置のCADでは、測定データがKSデータ (CADデータのフォーマット) に変換されていれば、傾きを角度移動して水平にすることができる。

しかし、定盤上のマスターモデルの4隅のポイントを計測して傾きを少なくすると、 $1^\circ$ 未満の傾斜角になる。このわずかな傾きは既存CADコマンドの角度移動では限界があり、登録要素数も8000要素と限られていると、今回測定したデータ8925要素は画面に登録できない。

また、KSファイルをCADに105回呼び込んだ後、各データを基準線に並べ換え、拡大表示、角度移動、基準表示といった一連の繰り返し作業を伴う。

この作業を基準面の補正ソフトで自動化した結果、既存CADでは不可能な角度移動が行え、時間のかかる作業も省けた。

(6) 測定データをCADデータに変換するソフト  
このソフトで変換をおこなうと、測定データを既存のCADで視覚的に確認できる。

今回のマシンプログラム作成には必要なかったが、基準面の補正効果を確認するために補正を行っていない生データと②④タイプより標準偏差が大きい①③タイプもCADデータに変換した。

図3は、②④タイプのデータで105個作成したファイルの中からZ値の変動の大きいと思われるサンプル (UMEC50-KS: XZ平面上の断面形状を1mmの直線を85個接続したものを) を選択し描画したものである。

図4は、3タイプのCADデータファイルに左端を基準として水平線を引き、重ね合わせたものである。

図5は図4の右端を拡大したものであるが、標準偏差の最も小さい②④タイプが水平線に近くなり基準面の補正効果が現れていることが理解できる。



図3 CADデータ



図4 3タイプのCADデータ

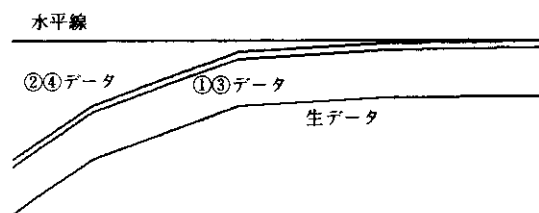


図5 上図右端部の拡大

## (7) 測定データからマシンプログラム変換

既存の自動プログラミング装置を使用した方法だとCAD上に表示されたXY平面でのデータを刃物の進行方向になるように接続し、その図形を自動抽出してマシンプログラムを作成する必要がある。

特に、今回のような1mmの直線補間で図形が小さい場合、直線で端点間を接続させるといった単純な作業でも拡大表示、直線、基準表示といった作業が伴う。もし、マウスで端点を接続する時にミスをして自動抽出を始めると途中で抽出が停止してしまい時間のロスとなる。

その点、多量なデータを正確に自動で接続するこのソフトには、上記のようなミスも全くなくマシンプログラムを加工前に描画させて確認する必要もないほど信頼性が高かった。

また、自動プログラミング装置での自動抽出時間が約1時間要するのに比較して数分で処理できるため時間短縮になった。

#### 4. まとめ

本研究の結果を要約すると以下の通りである。

- (1) NCルータの3軸制御機構は、測定子を工夫すれば計測機器としての使用が可能である。
- (2) NCルータとパソコンを所有していれば (CADは不要) 今回開発したこのシステムは低価格で実行でき、初心者でも簡単に操作ができる。
- (3) システムは、測定メッシュを自由に設定できるので (データ測定用NCプログラムと自動測定システムソフトにXYの数値入力が必要) 形の大小にかかわらずロスのないNCデータ作成が可能である。

(4) 問題点は基準面から50mmの範囲のZ値しかデータが計測できないことと、デジマチックインジケータ測定部にわずかなブレがあることである。

(5) このシステムを使用して試作した結果、プログラム作成時間、加工時間、切削肌の向上等がみられ、モデルの再現性が高いため量産製造が可能と判断し、4個の木型をもとにマシンプログラムを作成し業界へ技術移転した。

なお、本研究を行うにあたりDOSファイルのコアラへの出力のためにCAD/CAMソフトを提供していただき終始指導を賜りました宮崎工業試験場機械金属部の外山哲也研究員と研究に協力していただいた当センター機械金属部の前野一朗主任研究員、電子部の仮屋一昭研究員、食品工業部の亀沢浩幸技術補佐員に深く謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 鎌田英博, 田栗匡, 綿貫幸宏: 北海道立工業試験場報告, 1988
- 2) JIS B 0181: 数値制御工作機械用語