

# マシニングセンタ機上における 自動工作物計測マクロプログラムの開発

九州職業能力開発大学校 廣 瀬 渉

Development of an Automatic Work-piece Measurement Macro Program  
for The Machining-center

Wataru HIROSE

**要約** マシニングセンタ機上における中仕上げ測定自動化、さらには自動工具補正修正機能と加工精度判定機能を最終目的とする、自動工作物計測機能のマクロプログラムを開発した。

本プログラムは、点座標取得機能と各種測定演算機能に分離したそれぞれのマクロ本体、また、測定取得データおよび演算データを一時保管するコモン変数を利用したバッファテーブルの構成により、メーカーが準備する自動工作物計測機能とは測定機能の拡張性において差別化を図った。

本稿では自動工作物計測機能について述べ、本プログラムを応用した自動工具補正修正機能と加工精度判定機能については次稿以降で述べる。

## I はじめに

マシニングセンタ（以下、MCと称す）の測定作業には、テストカットにおける中仕上げ時の工具補正量修正のための仕上げしろ測定、次行程へ廻す前の確認検査測定、また工作物品質検査用測定などがあり、一般的にはオペレータがそれらの測定を人為的に行っている。

MCの工作物はそれ自体が複雑な形状をしており、通常の方法では測定が困難な場合が多い。特に中仕上げ時の工作物測定は再現性の問題のため、治具またはバイスから工作物を外すことができず、専用の測定器を製作するなどの必要性が発生する。いずれにしても、測定がMCの効率を下げる要因の一つとなっている。

したがって、MCメーカーは工作物測定用のマクロプログラムをオプション<sup>(1),(2)</sup>として準備しているが、直径、段差、幅等、それらは1プログラム1測定機能となっているのが一般的である。例えば、端面からボルトホールサークル中心までの距離測定等、三次元測定機並にそれらを組み合わせて使おうとした場合、測定不可能な場合

が多い。

したがって、今回開発した測定機能は、点座標取得プログラムと各種計算プログラムを分離することで、穴中心点等も計算で求めた交点と同様に、一つの点座標として扱うことができるようにした。すなわち、従来とは異なる、より自由度の高いMC機上自動工作物計測マクロプログラムを開発したので報告する。

## II 概要

### 1. 動作仕様

本マクロプログラムを動作させるためには、表1に示す仕様のMCおよび機器が必要である。<sup>(3),(4),(5)</sup>

表1 本マクロプログラムの動作仕様

ハードウェア	
NC制御装置	FANUC、MELDUS、MAZATROL
信号処理	スキップ機能
メモリー	テープ長100m以上
PCまたはプリンタ	RS-232C使用
タッチプローブ	内部接点方式ワイヤレスプローブ
ソフトウェア	
記述言語	カスタムマクロB
コモン変数追加	コモン変数B
座標系	ワーク座標系(G54~G59)
補正	オフセット メモリア

## 2. システム構成

本システムの構成を図1に示す。<sup>(4)、(6)</sup> 本システムでは内部接点方式の赤外線ワイヤレスタッチプローブを使用した。また、パソコンはテキストデータ変換のために使用しており、RS-232Cポートに直接接続できるプリンタがあれば不要である。

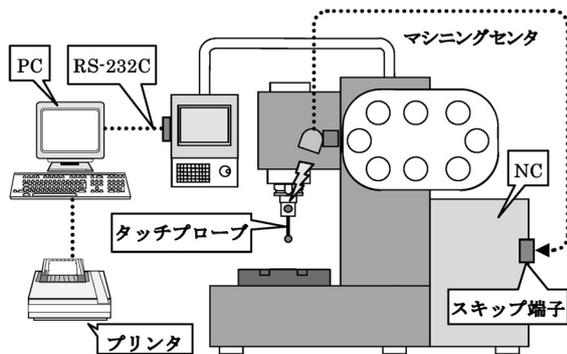


図1 システム構成図

## III バッファテーブル

コモン変数には#100番台と#500番台の2種類があり、#100番台はリセットまたは電源断でデータは消去されるが、#500番台はデータが保存される。<sup>(4)、(5)、(7)</sup>

### 1. #100番台 (DATA BUFFER)

表2に示すように、#100番台のコモン変数200個を用いて、引数指定アドレス(A~D)に対応した演算結果用バッファテーブルを設定した。その結果、マクロプログラムの呼び出し指令における引数指定の記述方法が多彩になり、登録データ間における演算、呼び出し、書き込みが自由に行えるようになった。

例えば、平面投影交点・交角測定「G110 A12.34 B2. ;」と記述した場合、表2中のAエリア1、2行目の点座標データを通る直線と、3、4行目の点座標データを通る直線の交点を求め、その結果をBエリアの2行

目に書き込み、と言う意味になる。

表2 コモン変数<#100番台>バッファテーブル

MC/SETTING CRT: page 1					MC/SETTING CRT: page 2				
B	(G110) 直線交点演算<ABS>				A	(G100) 点座標<ABS>			
1	#100 #115 #130 #145				1	#160 #175 #190			
	{ X Y Z Q				2	#161 #176 #191			
5	#104 #119 #134 #149					{ X Y Z			
C	(G120) 円中心点演算<ABS>				7	#166 #181 #196			
1	#105 #120 #135 #150				8	#167 #182 #197			
	{ X Y Z R				9	#168 #183 #198			
5	#109 #124 #139 #154					#169 #184 #199]			
D	(G130) 2点間演算<INC>								
1	#110 #125 #140 #155					#170 [#185]			
	{ X Y Z S					T [#186]			
5	#114 #129 #144 #159					#174 [#187]			

## 2. #500番台 (FIX DATA)

#500番台は次に示すように、変更することがないタッチプローブ固有のデータを登録する。ただし、#500番台はメーカーで使用している領域があるため、その番号を避けて設定した。

- #515: タッチセンサ プローブ径
- #516: " 工具長
- #517: X軸方向キャリブレーション量
- #518: Y "
- #519: Z "
- #530: X軸方向偏心量
- #531: Y "

ここでキャリブレーションとは、プローブが接触してからの信号伝達遅延によるプローブ行き過ぎ量のことである。

## IV 測定機能マクロプログラム

### 1. 点座標取得: G100 (O9010登録)

#### (1) 概要

三次元空間中の1点、ワーク座標系アブソリュート座標値(以降ABS.と記す)XYZのデータ取得プログラム。

#### (2) 記述

G100 U\_ V\_ W\_ R\_ Z\_ A\_ ;  
 U(X), V(Y), W(Z) → スキップモード移動距離  
 <INC.>  
 R,Z → R点, Z点 <ABS.値>  
 A → 点座標 バッファ番号 <ABS.>

#### (3) 使用

およそ接触したいポイントの上空、すなわち図2中

の I 点位置に事前に位置決めする。次のブロックで G100 を指令すると、UVWRZ の指令に従い図 2 のようにプローブが移動し、目的の点に接触する。

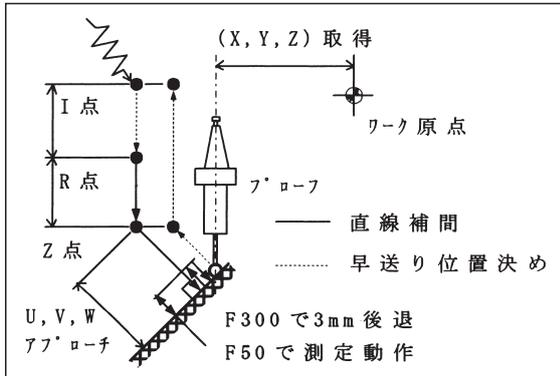


図 2 <G100> 動作手順

- ① 1 回目は送り速度 300mm/min で試し当りをし、3mm 後退後、50mm/min (プローブの偏差バラツキが最小値時の送り速度) の速度で再度接触する。再接触点が測定点となり、アドレス A の番号バッファに ABS.XYZ データが登録される。

- ② その後、Z 点を経由して早送りで I 点まで戻る。ここで重要なのは面に対してプローブの移動方向が垂直になるように UVW を指令することである。これにより、図 3 に示す計算<sup>(8)</sup>、<sup>(9)</sup>、<sup>(10)</sup>を行い、移動方向と同方向にプローブ球の半径およびキャリブレーション量が補正され、接触点の ABS 座標値が求まる。

図 4 に G100 のマクロプログラムを示す。

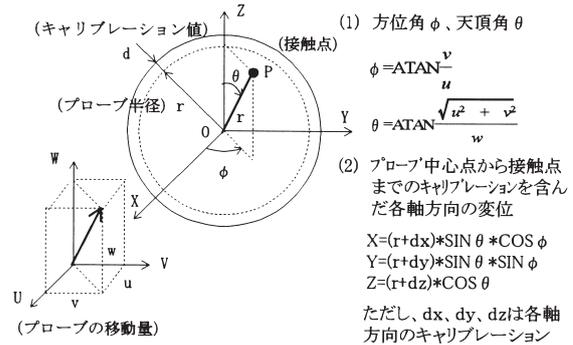


図 3 座標値の取得理論

```

09010 (V55 / MARPOSS PROBE / POINT (R POSITION))
DATA INPUT
(MAIN , G100 U- V- W- R- Z- A- ;)
(U,V,W, INC DATA.G31 MOVING DISTANCE)
(R,Z , ABS DATA.R / Z POSITION)
(A , POINT DATA BUFFER NO.)
(-----)
(PROBE HEAD POWER ON)
M19
M966
G04 X0.4
M941
G04 X0.4
M964
(DATA EMPTY)
IF [#1 EQ #0] GOTO 100
IF [#18 EQ #0] GOTO 100
IF [#26 EQ #0] GOTO 100
(DATA OVER)
IF [#1 LT 1] GOTO 110
IF [#1 GT 9] GOTO 110
(NOW POSITION DATA)
G04
#27= #5001(X)
#28= #5002(Y)
#29= #5003(Z)
(MODALE DATA)
#30= #4001(G01 GROUP)
#31= #4003(G03 GROUP)
(FEED OVERRIDE FIX.)
#3004= 2
G80 G00 Z#18
G31 Z#26 F300
(SKIP MOVE)
G91 G31 X#21 Y#22 Z#23 F300
IF [[#21*1] EQ 0] GOTO 1
#33= ABS [#21]
#7= [#21/#33]*3
#8= [#22/#33]*3
#9= [#23/#33]*3
GOTO 5
N1
IF [[#22*1] EQ 0] GOTO 2
#33= ABS [#22]
#7= #0
#8= [#22/#33]*3
#9= [#23/#33]*3
GOTO 5
N2
#33= ABS [#23]
#7= #0
#8= #0
#9= [#23/#33]*3
N5
G01 X-#7 Y-#8 Z-#9 F300
#7= #0
#8= #0
#9= #0
#7= #5041(X ABS. NOW POINT)
#8= #5042(Y)
#9= #5043(Z)
G31 X#21 Y#22 Z#23 F50
#4= #5061(X ABS. HIT POINT)
#5= #5062(Y)
#6= #5063(Z)
#21= #0
#22= #0
#23= #0
#21= #4-#7(X INC. MOVE DISTANCE)
#22= #5-#8(Y)
#23= #6-#9(Z)
(PROBE'S RADIUS OFFSET)
IF [#21*1 EQ 0] GOTO 10
#10= ATAN [#22]/[#21]
(KYUMEN ZAHYOU FAI)
GOTO 12
N10
IF [#22 LT 0] GOTO 11
#10= 90
GOTO 12
N11
#10= 270
N12
IF [#23*1 EQ 0] GOTO 13
#11= ATAN [SQRT
[#21*#21+#22*#22]]/[#23] (KYUMEN
ZAHYOU SEETA)
GOTO 14
N13
#11= 90
N14
(NO.1 PROBE RADIUS+SIGNAL DELAY
FACTOR)
#12= #515/2+#517(X DIRECTION)
#13= #515/2+#518(Y DIRECTION)
#14= #515/2+#519(Z DIRECTION)
#15= #12*SIN [#11]*COS
[#10](X, OFFSET)
#16= #13*SIN [#11]*SIN
[#10](Y, OFFSET)
#17= #14*COS [#11](Z, OFFSET)
#6= #6-[#515/2]
(DATA SET / SINZURE WO FUKUMU)
#[159+#1]= #4+#15-#530(X)
#[174+#1]= #5+#16-#531(Y)
#[189+#1]= #6+#17(Z)
G90 G00 X#27 Y#28 Z#26
Z#29 (INITIAL Z POSITION)
(FEED OVERRIDE FREE)
#3004= 0
G#30 G#31
GOTO 20
N100 #3000= 160(DATA EMPTY)
N110 #3000= 182(DATA OVER)
(PROBE HEAD POWER OFF)
M19
M965
G04 X0.4
M941
G04 X0.4
M963
N20 M99
    
```

図 4 G100マクロプログラム

## 2. 平面投影交点・交角測定：G110 (O9011登録)

### (1) 概要

図5に示すように、二次元平面上でそれぞれ2点を通る2直線の交点（以降点位置は全てABS.）、および2直線の交角取得プログラム。

### (2) 記述

G110 A\_ \_ \_ H\_ B\_ <W1> ;

A → 点座標バッファ番号 / <DEFAULT> A12.34

H → 平面選択 / <DEFAULT> H0:X-Y 平面  
H1:Y-Z 平面、H2:Z-X 平面

B → 直線交点演算バッファ番号 / <DEFAULT> B1

(以降B機能は説明省略)

W1 → プリント出力OFF / <DEFAULT> プリント出力ON

(以降W1機能は説明省略)

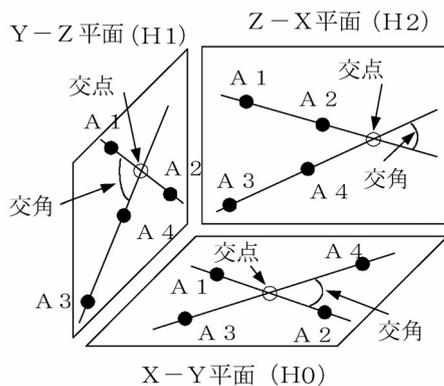
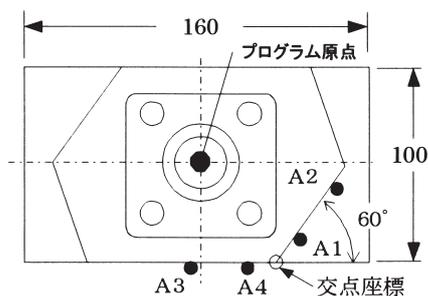


図5 <G110> 概要

### (3) 使用



(LINE 1);  
X80. Y-50. ;  
G100U-173. 2V100. R2. Z-15. A1. ;  
Y-20. ;  
G100U-173. 2V100. R2. Z-15. A2. ;  
(LINE 2);  
X0Y-65. ;  
G100V50. R2. Z-15. A3. ;  
X30. ;  
G100V50. R2. Z-15. A4. ;  
G110A12. 34B1. ;

図6 <G110> 使用例

① 図6の使用例より、G100を用いてA1、A2、A3、A4の点座標を取得する。

② G110のブロック中A12.32は、バッファテーブルのA1とA2より直線1、A3・A4より直線2を求める。

③ さらに、G110の使用例ではアドレスHは指定されていないため、平面選択はデフォルトでH0であり、X-Y平面に投影されたABS.交点座標および交角が求まり、B1のバッファにそれぞれのデータを格納する。

④ なお交角の場合、A12.34と記述することで、A1からA2方向、またA3からA4方向にそれぞれベクトルが作成され、図7に示すようにベクトル間の角度が求まることになる。

```

%----- G110 SOKUTEI -----
%
% 2-LINES CROSS POINT NO. 1#
%
% /CROSS POINT ABS. DATA %
X 41.827 Y- 50.006 Z  .00
%
% /ANGLE DATA%
X-Y PLANE - 60.005 %
%
%----- END -----%
    
```

図7 <G110> 結果

## 3. 3面交点・交角測定：G111 (O9012登録)

### (1) 概要

図8に示すように、三次元空間中の3面の交点および2面の交角取得<sup>(8),(9),(10)</sup>プログラム。

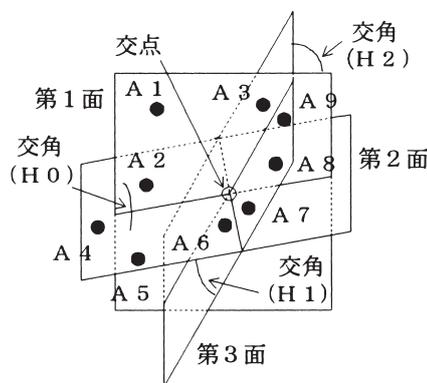


図8 <G111> 概要

### (2) 記述

G111 <A> H\_ B\_ <W1> ;

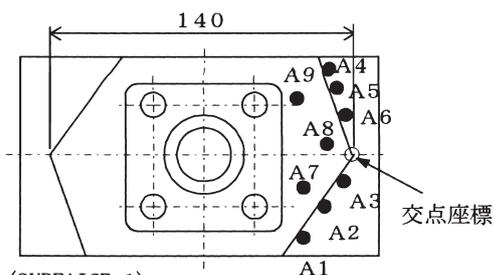
A → 点座標バッファ番号

<DEFAULT> 1面:A123、2面:A456、3面:A789

H → 2面の交角 / <DEFAULT> H0:1-2面

H1:2-3面、H2:3-1面

(3) 使用



```
(SURFAICE 1);
X80. Y-50.;
G100U-173. 2V100. R2. Z-15. A1.;
Y-30.;
G100U-173. 2V100. R2. Z-13. A2.;
Y-20.;
G100U-173. 2V100. R2. Z-16. A3.;
(SURFAICE 2);
<SURFAICE 1と同様、A4~A6点座標を取得>
(SURFAICE 3);
<SURFAICE 1と同様、A7~A9点座標を取得>
G111H0. B1.;
```

図9 <G111> 使用例

- ① G100で1面3点ずつ、なるべく広範囲に点座標を取得する。
- ② 図9中のG111ブロックでアドレスAがない、すなわち点座標のバッファ番号はデフォルトでA123(第1面)、A456(第2面)、A789(第3面)となり、図10に示すように3面の交点がABS値で求まる。
- ③ また、H0.で1-2面の交角が求まる。

```
G111 SOKUTEI
J-PLANE CROSS POINT NO. 1#
/CROSS POINT ABS. DATA#
X 69.983 Y .838 Z 149.988
/ANGLE DATA#
NO.1-2 PLANE 135.254#
END
```

図10 <G111> 結果

4. 円筒中心・内外径測定：G120 (O9013登録)

(1) 概要

図11に示すように、二次元平面上的の中心点および直径取得プログラム。

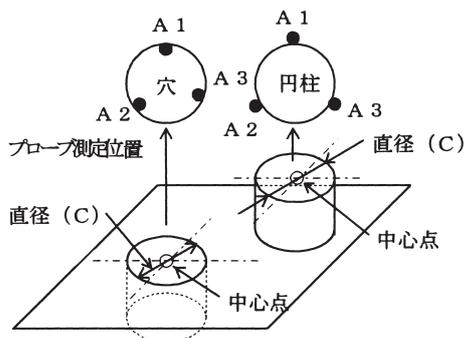
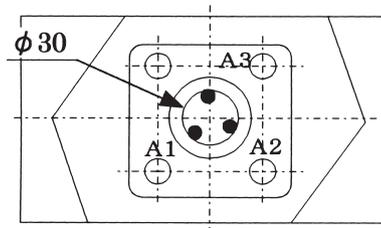


図11 <G120> 概要

(2) 記述

```
G120 A_ _ _ H_ C_ <W1>;
A → 点座標 バッファ番号 / <DEFAULT> A123
H → 平面選択 / <DEFAULT> H0:X-Y 平面
      H1:Y-Z 平面、H2:Z-X 平面
C → 円中心点演算バッファ番号 / <DEFAULT> C1
```

(3) 使用



```
G100U-50. V-50. R2. Z-25. A1.;
G100U50. V-50. R2. Z-25. A2.;
G100V50. R2. Z-25. A3.;
G120;
```

図12 <G120> 使用例

- ① G100を用いて穴の内面または円柱の外面に3点、点座標を取得する。
- ② 図12に示すようにG120のみで、点座標バッファのA1、A2、A3を読み込み、図13に示すように平面選択H0(X-Y平面)に投影された中心点および直径を求め、その結果をデータバッファC1に登録する。これらは全てデフォルトとなっている。

```
SOKUTEI
CIRCLE CENTER POINT NO. 1#
X-Y PLANE ABS. DATA#
X .065 Y .885#
/DIAMETER#
DIA. 29.998#
END
```

図13 <G120> 結果

5. 2点間距離・平面交角測定：G130 (O9014登録)

(1) 概要

図14に示すように、三次元空間中の2点間距離、X-Y、Y-Z、Z-X平面に投影の2点間距離、および2点を通る直線と平面との交角取得プログラム。

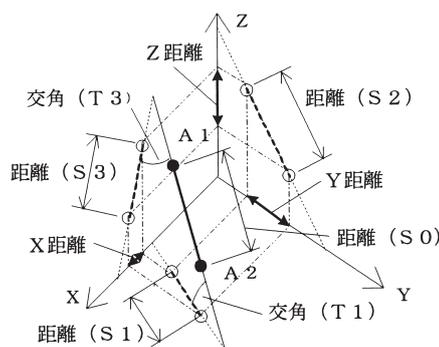


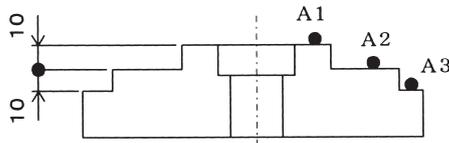
図14 <G130> 概要

(2) 記述

G130 A\_ B\_ C\_ S\_ T\_ D\_ I\_ <W1> ;  
 A → 点座標バッファ番号 (以降A機能は説明省略)  
 C → 円中心点間バッファ番号  
 (例 : A12,B24,C35,A1 B1,B2 C3,A5 C2)  
 S → 平面投影距離 / <DEFAULT> S0:直線距離  
 S1:X-Y 平面、S2:Y-Z 平面、S3:Z-X 平面  
 (以降S機能は説明省略)  
 T → 平面交角 / <DEFAULT> T0:交角無し  
 T1:X-Y 平面、T2:Y-Z 平面、T3:Z-X 平面  
 D → 2点間演算 バッファ番号 / <DEFAULT> D1  
 I → 2点間距離データの識別番号。  
 (以降D、I機能は説明省略)

(3) 使用

- ① 図15のようにG100で点座標を取得するか、またはG110、G111、G120の計算で求めた点座標を利用する。
- ② G130のブロックでバッファテーブルから必要とする2点のバッファ番号を指令する。図15の例であればA2とA3点の段差測定であるから、A23.と指令する。



```
X30. Y0;  
G100W-30. R10. Z5. A1. ;  
X45. ;  
G100W-30. R2. Z-5. A2. ;  
X70. Y-20. ;  
G100W-30. R2. Z-15. A3. ;  
G130A12. D1. I5. S2. ;  
G130A23. D2. I6. S2. ;
```

図15 <G130> 使用例

- ③ 例では平面投影距離のアドレスS2はY-Z平面のため、図16に示す測定結果においては、Z座標が段差データとなる。

```
----- G130 SOKUTEI -----  
┆  
┆ 2 POINT INTERVAL NO. 6 ┆  
┆  
┆ 3D. INC. DATA ┆  
┆ X 25.000 Y 20.000 Z 10.00 ┆  
┆ DISTANCE DATA ┆  
┆ DIRECT 33.544 ┆  
┆  
┆----- END -----┆
```

図16 <G130> 結果

- ④ なお、平面交角のアドレスTは指令されていないため、デフォルトで測定結果には交角のデータは表示されない。

6. 直線と1点間距離測定 : G131 (O9015登録)

(1) 概要

図17に示すように、三次元空間中の2点を通る直線と1点間距離の取得<sup>(8),(9),(10)</sup>プログラム。

(2) 記述

G131 A\_ B\_ C\_ S\_ D\_ I\_ <W1> ;  
 C → 円中心点演算 バッファ番号  
 (例 : A12.3,B23.4,C23.5,A12 B3,A35 C2,  
 B12 A1,B34 C3,C34 A2,A1.1 B2.1 C3.1)

(3) 使用

- ① 図18のようにG100で点座標を取得するか、またはG110、G111、G120の計算で求めた点座標を利用する。

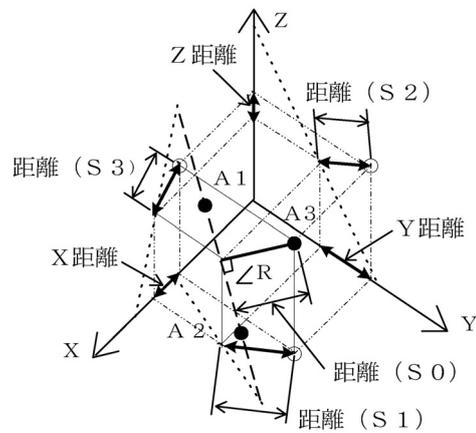
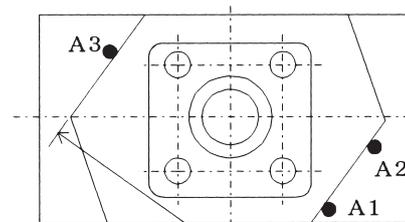


図17 <G131> 概要



```
(LINE 1);  
X80. Y-50. ;  
G100U-173. 2V100. R2. Z-15. A1. ;  
Y-30. ;  
G100U-173. 2V100. R2. Z-15. A2. ;  
(POINT 1);  
X-80. Y50. ;  
G100U173. 2V-100. R2. Z-15. A3. ;  
G131A12. 3D1. I10. ;
```

図18 <G131> 使用例

- ② G131のブロックでバッファテーブルから必要とする直線用の2点と1点のバッファ番号を指令する。図18の例であればA1とA2点を通る直線とA3点間の測定であるから、A12.3と指令する。

- ③ 例では平面投影距離のアドレスSは指令されていないため、デフォルトでS0の直線距離が求まる。すなわち、図19に示す測定結果の「DIRECT」が求める直線距離となる。

```

%----- G131 SOKUETI -----+
+
+ LINE & I POINT INTERVAL NO. 18+
+
+3D. INC. DATA +
X 184.923 Y 68.677 Z .000 +
+DISTANCE DATA +
DIRECT 121.294+
+
+----- END -----+
    
```

図19 <G131> 結果

```

O6001, #164= ABS[#160]+ABS[#161],
(MARPOSS PROBE, X-Y CALIB PRG.), (X DIA.)
(USE 39.996 RING GAGE), #179= ABS[#177]+ABS[#178],
#3006= 1(ACQUIRE CENTER POINT (Y DIA.)
OF RING GAGE TO USE DIAL GAGE), #[100+#2]= [#164-#1]/2,
G59, #108= #108+#[100+#2](X RESULT),
#1= 39.996 (RING GAGE DIA.), #[115+#2]= [#179-#1]/2,
G90 G00 X0 Y0, #123= #123+#[115+#2](Y RESULT),
G43 Z20.0 H99, #2= #2+,
#2= 0, MO1,
#108= 0, END1,
#123= 0, MO0,
WHILE [#2 LT 7] DO1, #517= #517-#108/7,
G100 U50.0 R5.0 Z-7.5 A1.0, #518= #518-#123/7,
G100 U-50.0 R3.0 Z-7.5 A2.0, G91 G28 Z0,
G100 V50.0 R3.0 Z-7.5 A3.0, M30,
G100 V-50.0 R3.0 Z-7.5 A4.0,
    
```

図20 X、Y軸キャリブレーション測定マクロプログラム

## V 評価

図22に示す被測定物を用いて、本マクロプログラムによるMC自動測定と、三次元測定機を使用したときの測定値の比較をした。

### 1. MC自動測定前におけるタッチプローブの校正

タッチプローブを初めて使用する際に、各軸方向キャリブレーション量および偏心量の測定を行う必要があり、測定は以下の条件で行った。

- ① リングゲージ (φ39.996/20°C) をテーブルにセットし、1目盛0.001mmのダイヤルゲージを用いて芯出しを行い、ワーク座標系オフセットにセットする。
- ② 慣らし運転後、図20に示す自作のキャリブレーション自動測定用マクロプログラム、および図21に示すタッチプローブを用いて、自動的にキャリブレーション量を共通変数にそれぞれセットする。同様に、Z軸方向キャリブレーション、X、Y軸偏心量も測定し、それぞれセットする。

また、タッチプローブ校正後のリングゲージ測定結果を表3に示す。

表3 MCによるリングゲージ測定

測定数	測定値
1	39.997
2	39.996
3	39.995
4	39.998
5	39.996
6	39.996
7	39.996
平均値	39.99629
標準偏差	0.000951



図21 リングゲージによるキャリブレーション

### 2. MC自動測定と三次元測定機との比較

#### (1) 被測定物、条件

被測定物：加工実習課題、S45C (図22参照)

#### ① MC自動測定条件

- MC : V55 (榊牧野フライス製作所)
- NC制御盤 : プロフェッショナル3 (F160i)
- サーボ仕様 : フルクローズドループ
- タッチプローブ : T18型 (マーボス(株))
- プローブ径 : φ6
- 室温 : 25.5°C (エアコン使用)
- 慣らし運転 : 30分後測定

#### ② 三次元測定機測定条件

- 三次元測定機 : Crista Apex C776 (榊ミットヨ)
- タッチプローブ : TP200 (榊ミットヨ)
- プローブ径 : φ2
- 室温 : 20°C (16時間後測定)

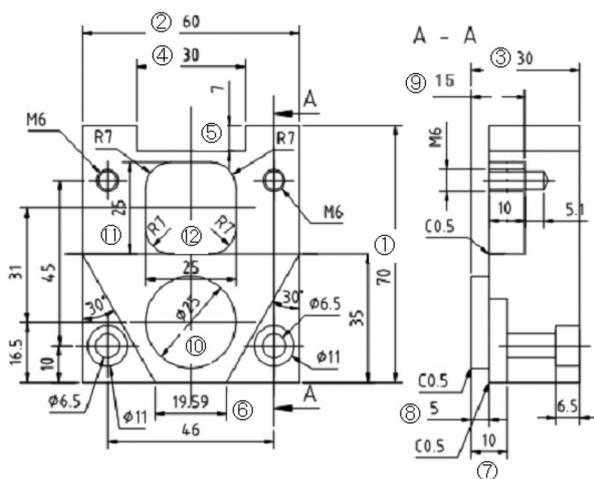


図22 測定検証用被測定物

(2) 測定結果

同一被測定物について、MC自動測定および三次元測定機のNC機能を用いて、それぞれ5回ずつ測定した。その測定値の平均値を測定結果として表4に示す。

表4 測定比較結果

箇所	寸法	公差	MC自動測定		三次元測定機(NC)		平均差	標準偏差の差
			5回平均値	標準偏差	5回平均値	標準偏差		
①	70	±0.05	69.977	0.00339	69.9774	0.00279	-0.0004	0.0006
②	60	±0.05	59.9884	0.00336	59.993	0.00122	-0.0046	0.00214
③	30	±0.05	29.9958	0.0013	30.0032	0.00084	-0.0074	0.00047
④	30	$\begin{smallmatrix} 0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	30.0674	0.00615	30.0596	0.00055	0.0078	0.0056
⑤	7	$\begin{smallmatrix} 0.05 \\ 0 \end{smallmatrix}$	7.0246	0.0027	7.0206	0.00152	0.004	0.00119
⑥	19.59	±0.1	19.6774	0.02277	19.668	0.00632	0.0094	0.01644
⑦R	10	$\begin{smallmatrix} 0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	10.0412	0.0013	10.0568	0.01215	-0.0156	-0.0108
⑦L	10	$\begin{smallmatrix} 0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	10.0162	0.00084	10.0104	0.01176	0.0058	-0.0109
⑧	5	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}$	4.987	0.001	4.9946	0.01571	-0.0076	-0.0147
⑨	15	$\begin{smallmatrix} 0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	14.9964	0.00089	15.0034	0.00428	-0.007	-0.0034
⑩	φ25	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}$	24.9616	0.0117	24.97	0.00158	-0.0084	0.01012
⑪	□25	$\begin{smallmatrix} 0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	25.023	0.00962	25.0146	0.00089	0.0084	0.00872
⑫	□25	$\begin{smallmatrix} 0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$	25.0168	0.01108	25.0102	0.00045	0.0066	0.01063

(3) 評価

表4中、標準偏差の差の状況において、正の値はMC自動測定にバラツキが大きく、負の値は三次元測定機にバラツキが大きいことを表している。概ね、MC自動測定の方が標準偏差のバラツキが大きいことが理解できる。

特に標準偏差のバラツキが大きい箇所は⑥行の太枠網掛け部分である。これは、三次元測定機の測定方法において2直線の交叉点をそれぞれ求め、その交叉線点間の距離で測定している。しかし、MC自動測定は、3面の交叉点をそれぞれ求め、その交叉

点間の距離で測定している。しかも、測定面の立て幅が5mmと狭いため、プローブ径φ6ではZ方向のプロット位置が狭い範囲とならざるを得なかった。したがって、測定方法の違いと測定面の狭領域によって偏差が大きくなったものと考えられる。

また、表4中⑦R行の太枠網掛けは、三次元測定機との平均差において0.01mm以上はずれた部分を示す。この偏差の原因はプローブ当たり面の面粗さの違いによるものと思われる。

なお、表4中の標準偏差をもう少し解析すると、0.01を越えている箇所は、MC自動測定および三次元測定機とも網掛けの部分で3箇所ずつあり、意外と三次元測定機もバラツキが多いことが理解できる。これは、表3のMC自動測定によるリングゲージ測定において、標準偏差が小さい、即ち、研削面においてはバラツキが小さく、切削面においてはバラツキが大きいことから、これらのバラツキは面粗さ、傷、塵等による影響と考えられる。

この測定比較により、三次元測定機との偏差が微々たるもので、本システムにおいては±0.01mmの測定精度は保証できるものと考えられる。

ただし、これらの測定精度は、MCおよびタッチセンサーの精度に大きく左右される。特に、MCの熱変位および構造・製造上の精度による誤差が大きく、本マクロプログラムを使用した全てのMCに同じ精度を保証したものではない。

VI おわりに

本マクロプログラムは、生産現場の普通加工精度において十分実用になることが検証できた。

現在、本マクロプログラムを利用した中仕上げ時の自動工具補正修正機能と、加工後における加工精度判定機能等のアプリケーションマクロプログラムを開発済みで、これを基にさらなる発展・活用が期待できるものと思われる。

今後、精密加工応用実習、開発課題、企業人スクールまたは能力開発セミナー等に、この研究成果を活かしていきたい。

## [参考文献]

- (1) ㈱牧野フライス製作所、自動測定機能 操作説明書、No. 100N-9903
- (2) オークマ株式会社、計測システム、OSP-U100M /OSP-U10M取り扱い説明書、Pub.NoMJ51-194-R1Apr.1998
- (3) ㈱牧野フライス製作所、V55保守説明書 付録J 工具長測定プローブ、4V104-0009
- (4) 三菱電機株式会社、三菱数値制御装置MELDAS 64 取扱説明書」、B-61224/01、(1988)
- (5) ヤマザキマザック(株)、プログラミングマニュアル MAZATROL M PLUS、H733PB0013J
- (6) FANUC(株)、FANUC Series 16i-MODEL A 結合説明書 (機能編第1巻、第2巻)、B-63003JA-1/02
- (7) FANUC(株)、FANUC Series 16i-MA 取扱説明書、B-63014JA/02、(平成11年11月)
- (8) ㈱岩波書店、数学辞典、日本数学会編、(1985年12月10日)
- (9) 森北出版(株)、基礎数学ハンドブック、宮本敏雄・松田信行訳編、(1987年10月20日)
- (10) ㈱聖文社、問題解法 幾何学辞典、笹部貞市郎著、(1988年7月10日)