

パソコンCAMによる工具経路とその加工精度

関谷克彦*・熊原健二**・北川亮三*

On the Influence of Cutter Paths on Geometrical Work Accuracy

Katsuhiko SEKIYA, Kenji KUMAHARA and Ryozo KITAGAWA

Abstract

In this paper, the relation between the geometrical work accuracies and cutter paths generated by a CAD program on a personal computer is investigated in two points.

The first, two kinds of machining center, semi-closed loop feed back type A and closed-loop type B with the same computerized numerical controller are used. In both, the sphericity is generally better in linear interpolation than in circular. But the cutter path giving the best sphericity is different.

The second, the roundness in disk cutting with the machining center A in the various kind of interpolated cutter path are shown. The roughness is worse but the roundness is better in an linear interpolation than in circular. In linear interpolations the suitable number of division exists.

比較検討を行なった。

1. 緒 言

前回¹⁾の報告において、半球面の加工を5種類の工具経路を用いて加工を行ない、工具経路と形状精度について検討した。そして、円弧補間を用いた工具経路より、直線補間を用いた工具経路の方が、加工後の断面形状の精度が良好であることがわかった。

そこで今回は、前回の結果がマシニングセンタの機種の違いによらず、一般的に言えるものかどうか検討した。フィードバック方式の異なる2台のマシニングセンタを用いて、前回¹⁾と同様の5種類の工具経路で半球形状の加工を行ない比較検討した。

また、これらの工具経路は直線補間を用いたものは、Fig. 1で示すXZ面上、あるいはYZ面上を工具が運動するものであり、円弧補間によるものは、XY面上を工具が運動するもので、それぞれ工具の運動面が異なっていた。そこで同一面上での比較を行なうため円板の外形を円弧補間および、直線補間による工具経路を用いて加工を行なった。そして、それぞれの形状精度の

2. 実験方法

2.1 半球加工

加工に使用したマシニングセンタは、A社の立て型マシニングセンタ(セミクローズドループ方式)と、B社の立て型マシニングセンタ(クローズドループ方式)で、いずれのマシニングセンタもCNC装置は同一のものであり、主軸モータは5.5(kw)である。

工具経路は半径30(mm)の半球形状を加工するものとした。16ビットパソコン用CAMで工具経路を作成し、被削性と切れ刃の転写性に優れた合成樹脂木材を削ることとした。なお、仕上げの切削条件はピックフィード0.5(mm)、送り500(mm/min)、回転数3000(r.p.m.)で、使用工具も高速度鋼製・直径3(mm)のボールエンドミルとした。

工具経路については、Table. 1に示すように、直線補間によるものが2種類と円弧補間によるものが3種類の合計5種類とした。直線補間とはZ軸に平行な断面を直線で分割し弧を描きながら仕上げていくもので、円弧補間とはXY平面と平行な断面を円を描きながら仕上げていくものである。

*機械工学科

**大学院生産機械工学科

半球形状の測定は3次元測定機を使用した。計測方法はFig. 1に示すように半球の $Z=0$ (mm)のXY平面の中心を原点とし、それを通るようなXZ断面とYZ断面に於て、一側から+側へ半球面に沿ってボール径1 (mm)のスタイラスを移動させて測定した。

2.2 円板加工

被削材は、半球加工と同様の理由で合成樹脂木材を使用した。あらかじめ旋盤により厚さ8 (mm)、直径88 (mm)の円板に加工したものを使用した。これを直径5 (mm)の高速鋼製のエンドミルを用いて仕上げ寸法直径85 (mm) (削りしろ1.5 (mm))となるように加工した。

この実験に用いた工具経路及び送り速度は、Table. 2に示す8種類である。また、主軸回転数はすべて

3000 (r.p.m.)とした。直線補間による工具経路のNCデータは、円周をそれぞれ1度、2度、3度で等分割し分割点の座標を求め、これを用いて作成した。この際、作成されたNCデータは工具径の補正を含めた工具経路となっているためNCコードの工具径補正命令 (G41・G42) は用いていない。使用したマシニングセンタは、A社の立て型マシニングセンタである。

また直線補間による工具経路、円弧補間による工具経路ともども工具のアプローチ点は、Fig. 2に示すように、第一象限内においた。工具軌跡はアプローチ点における接線上を近づき加工後にこの点から接線上を遠ざかるようにして実験を行なった。加工後の形状測定については、真円度測定機を用いた。

3. 実験結果

3.1 半球加工の実験結果及び考察

半球加工の実験結果の一部をFig. 3、Fig. 4に示す。これらの図は3次元測定機で計測したデータから断面の平均半径を最小二乗法によって求め、データの各座標の半径値との差をとり拡大したものを最小二乗法により求めた半径方向に加えて表現している。平均半径

Table. 1 Variation of cutter path of sphere cutting

Linear Interpolation	X-Z Plane
	Y-Z Plane
Circular Interpolation	Clockwise (Top to Bottom)
	Clockwise (Bottom to Top)
	Counter Clockwise

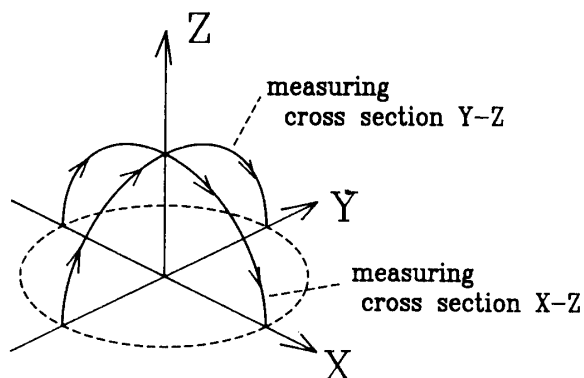


Fig. 1 Measuring cross sections of sphericity

Table. 2 Variation of Cutter path of disk cutting

Number of experiment	Kind of interpolation	Feed rotation	Feed rate (mm/min)
L 1	Linear 1° divide	CW	250
L 2	Linear 1° divide	CW	500
L 3	Linear 1° divide	CCW	500
L 4	Linear 2° divide	CW	500
L 5	Linear 3° divide	CW	500
C 1	Circular	CW	250
C 2	Circular	CW	500
C 3	Circular	CCW	500

CW: Clockwise

CCW: Counter clockwise

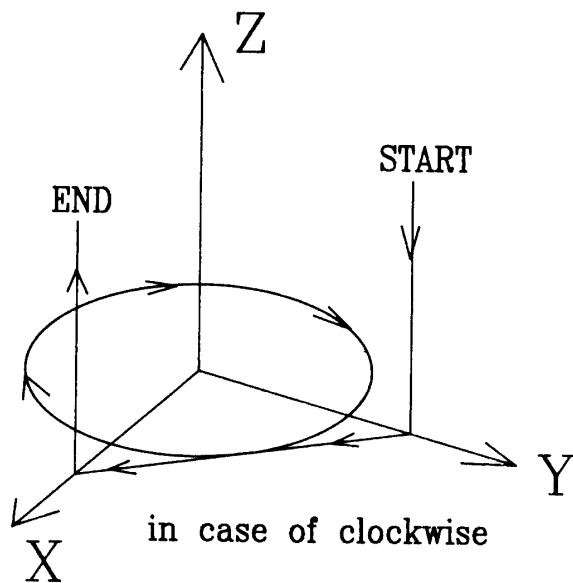


Fig. 2 Cutter path of disk cutting

値 R は図中の右上に示した。

Fig. 3 は A 社のマシニングセンタで加工を行なったものである。(a)、(b) は直線補間による工具経路のピック断面を表わしている、(c)、(d)、(e) は円弧補間による工具経路の YZ 断面を表わしている。Fig. 4 は B 社のマシニングセンタによるもので Fig. 3 と同順である。

まず A 社のマシニングセンタについて、円弧補間による工具経路では、(e) の反時計回りによるものが良好な加工形状を示している。直線補間による工具経路は (a)、(b) 共々良好な加工形状を示している。よって全体では、直線補間による工具経路が形状的に良好であると言える。また、切削機構から上向き削り (Up-Milling) となる、(e) の反時計回りによる工具経路では、平均半径値 R を見てもわかるように他に比べ深く加工されている様子が伺える。

次に B 社のマシニングセンタについてであるが、円弧補間による工具経路は、(c)、(d)、(e) のどれも、全体的にうねりのようなものが見受けられる。これは、送りテーブルのガイドがすべり機構を採用しているための現象と考えられる。加工精度は (d) の時計回り (下方→上方) が形状的に良好である。直線補間による工具経路は A 社と同様にどちらも良好な加工形状を示している。全体ではやはり直線補間による工具経路の方が加工精度は良好であると言える。また、平均半径値 R は A 社とは異なり (c) の時計回り (上方→下方) が最小値を示した。これは切削機構以外の問題も含むと

考えられるので検討の余地が残されている。

この実験では、工作機械メーカーが異なる二つのマシニングセンタで加工を行なったが、総評すると、双方とも直線補間による工具経路の方が形状的に良好であると言える。また、円弧補間による工具経路の形状精度では、良好である加工形状を示しているものが双方で異なった。つまり、個々のマシニングセンタの運動特性によって円弧補間による工具経路は、その影響を受け易いと言えるので、今後さらに比較検討が必要である。現段階では、円弧補間で加工を行なう際にはマシニングセンタの機種によって最適な工具経路の選択を必要とすることが大切である。

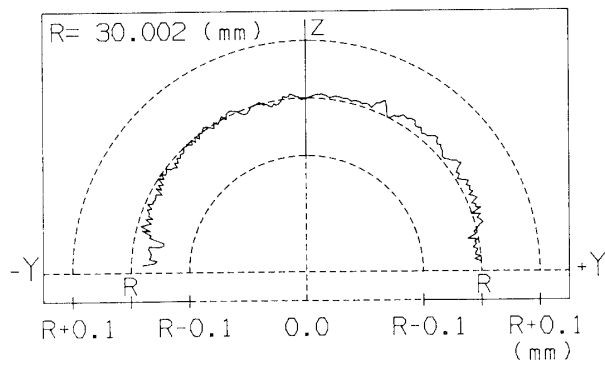
また、Fig. 3、Fig. 4 はともに、ピック断面を表わしているが、半球下部で深く削られている部分が見受けられる。これは、CAM で工具経路が作成された際の、データ上に問題があることがわかり、工具経路としては忠実に再現されていることがわかった。

3.2 円板加工の実験結果及び考察

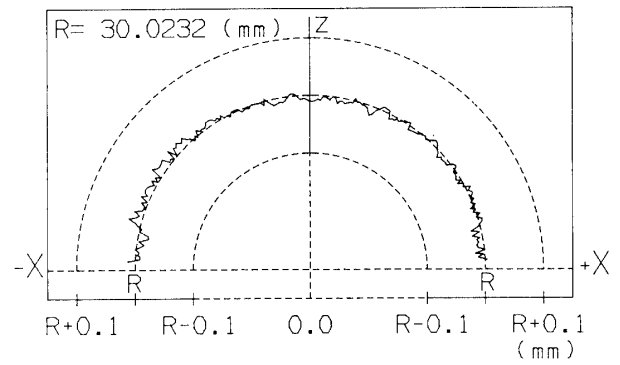
円板加工の実験結果を Fig. 5、Fig. 6 に示す。Fig. 5 (L 1) - (L 5) は直線補間による工具経路の実験結果で、順序は Table. 2 の実験番号と同順である。Fig. 6 (C 1) - (C 3) は、円弧補間による工具経路で、これも順序は Table. 2 の実験番号と同順である。

全体では、どの場合も、象限が切り替わる際にバックラッシュ、ロストモーションによるものとみられる段差が見受けられる。とくに Y 軸に於てそれが顕著である。これは使用したマシニングセンタでは X 軸の送りテーブルが Y 軸の送りテーブル上にあるため、 Y 軸の方が、慣性が大きいものを動かすことによるためと思われる。表面粗度に関して言えば、直線補間による工具経路の方は円弧を直線補間で近似したため規則的な山と谷が見受けられる。また、(L 1) と (L 2) および (C 1) と (C 2) との比較から、送りを速くした場合、両方ともうねりが大きくなっていることがわかる。特に円弧補間によるそれは顕著である。送り速度が速くなると切削抵抗も大きくなるので、加工精度に及ぼす影響が大きくなったためと思われるが、これから判断すると、直線補間による工具経路は円弧補間による工具経路に比べ、送り速度に対する依存度が小さいと言える。

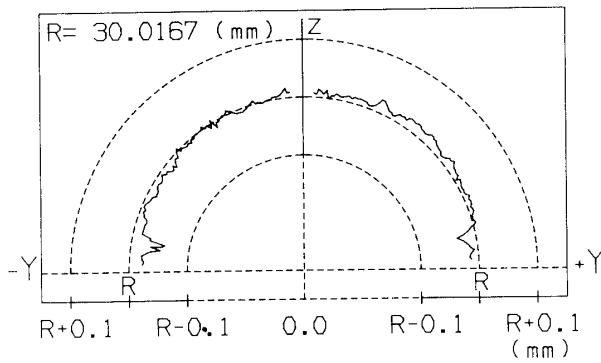
傾向としては、直線補間による工具経路は、各分割数によってその精度はまちまちであるのに対して、円弧補間によるそれは、ほぼどれも同様の傾向が見られる。直線補間に於ては、理論上、分割数を増やせば真円度はよくなると考えられるが、全体では、(L 4) の



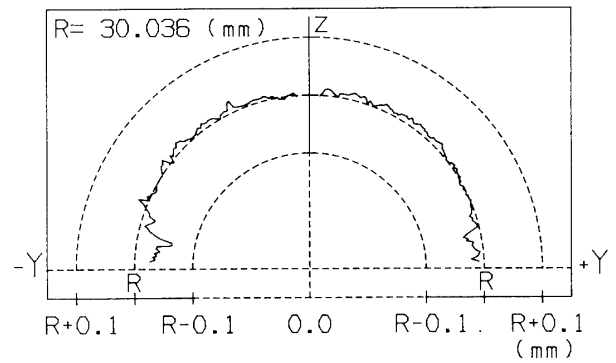
(a) as-cut in linear interpolation on X-Z plane



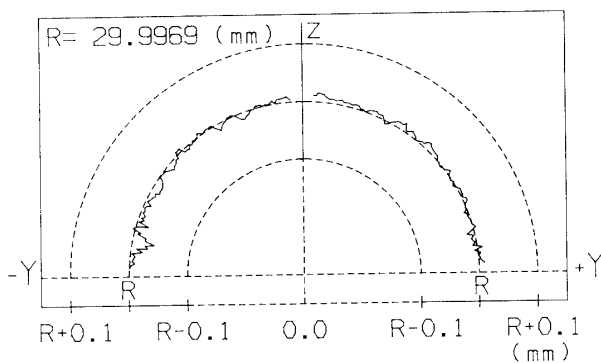
(b) as-cut in linear interpolation on Y-Z plane



(c) as-cut clockwise in circular interpolation (top to bottom)

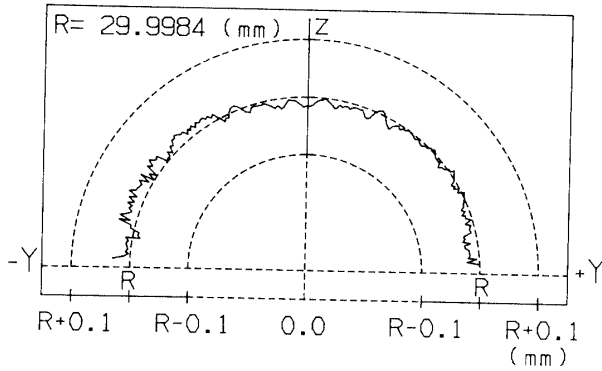


(d) as-cut clockwise in circular interpolation (bottom to top)

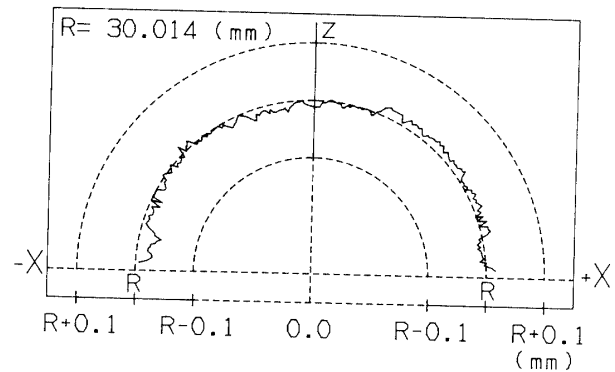


(e) as-cut counter clockwise in circular interpolation

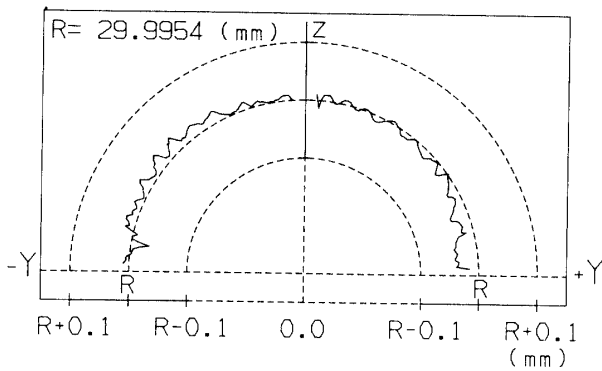
Fig. 3 Variation of geometry in pitch cross section :(a), (b), and Y-Z cross section :(c),(d),(e). These were cut with type A machining center.



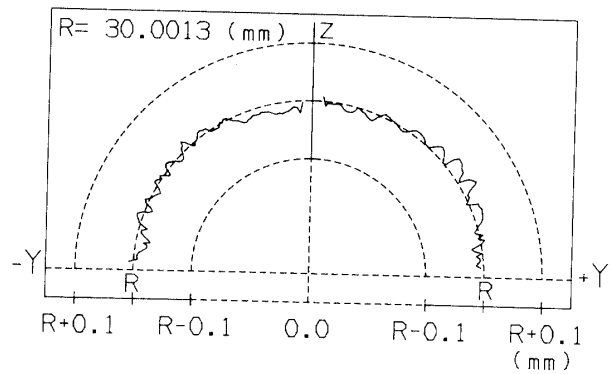
(a) as-cut in linear interpolation on X-Z plane



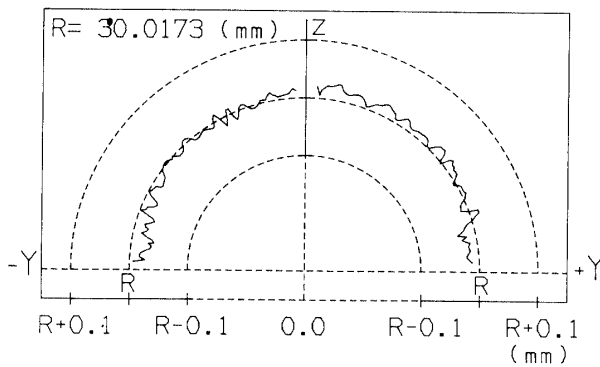
(b) as-cut in linear interpolation on Y-Z plane



(c) as-cut clockwise in circular interpolation (top to bottom)

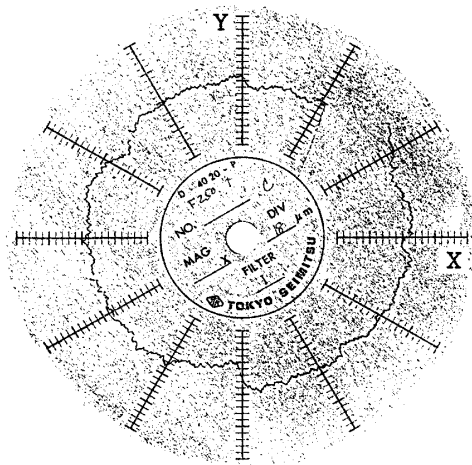


(d) as-cut clockwise in circular interpolation (bottom to top)



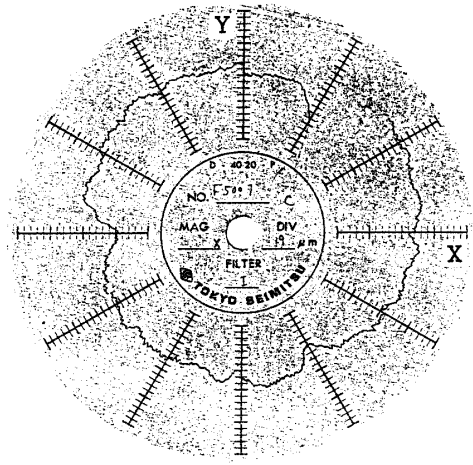
(e) as-cut counter clockwise in circular interpolation

Fig. 4 Variation of geometry in pitch cross section :(a), (b), and Y-Z cross section :(c),(d),(e). These were cut with type B machining center.



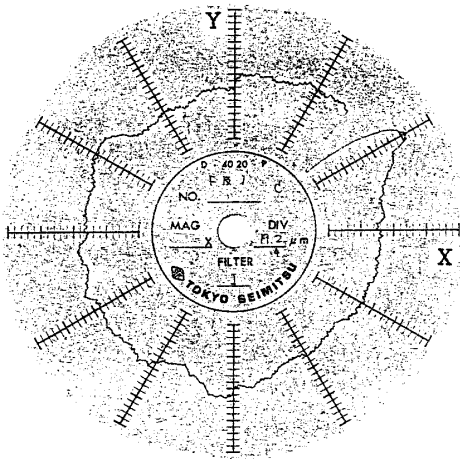
18.0 μm

(L 1)



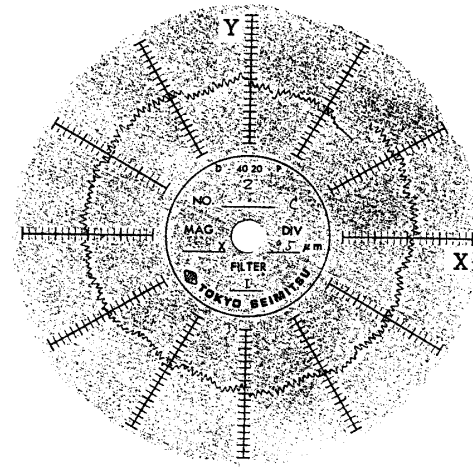
19.0 μm

(L 2)



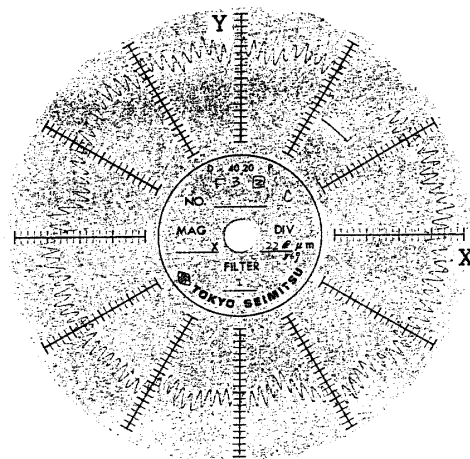
19.2 μm

(L 3)



9.5 μm

(L 4)



22.7 μm

(L 5)

Fig. 5 Variation of the roundness in linear interpolations

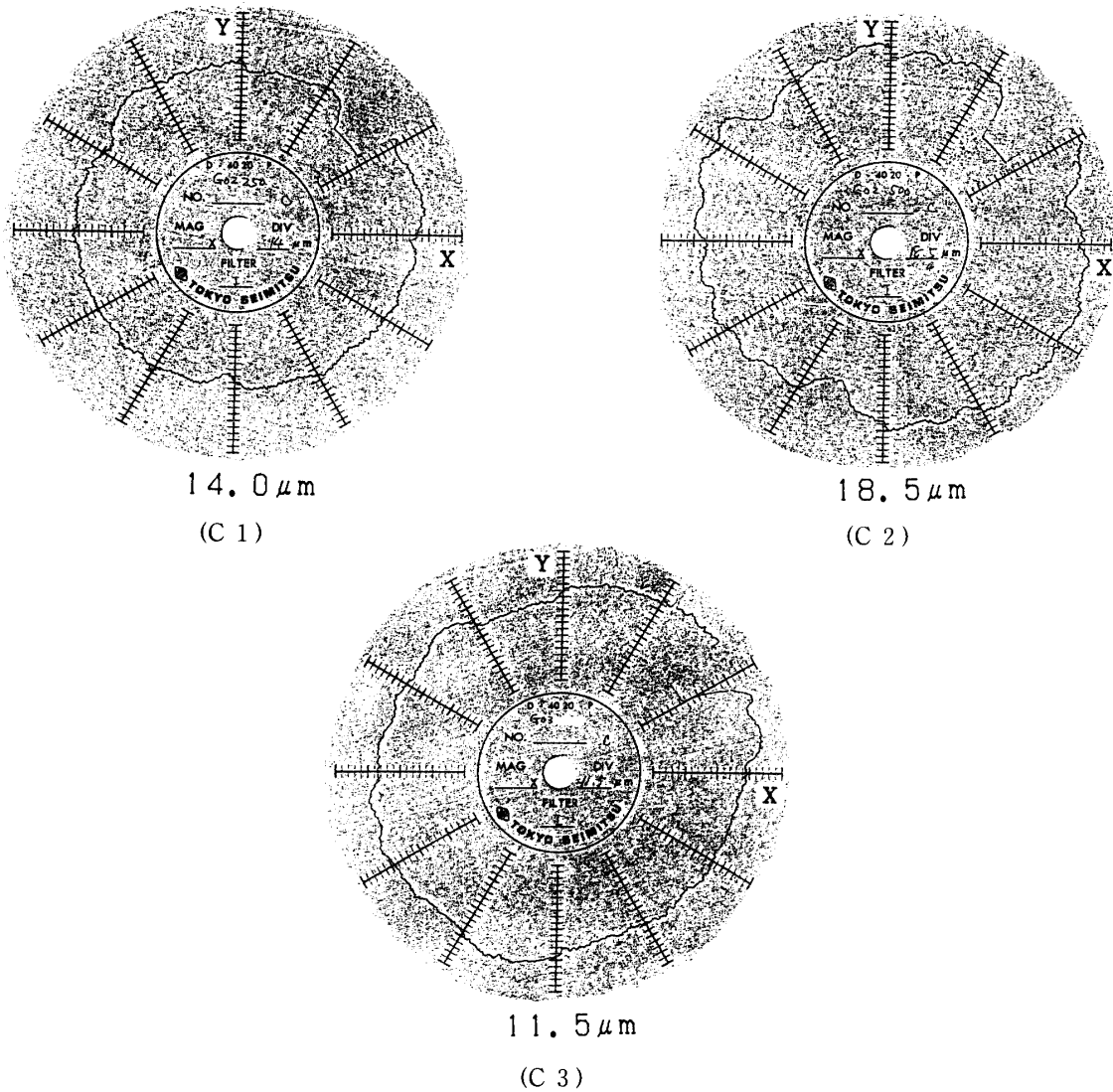


Fig. 6 Variation of the roundness in circular interpolations

直線補間による工具経路の2度で分割したものがいちばん優れていた。すなわち、直線補間による工具経路では、最適の分割数が存在しているようである。実際、この結果は、3.1の実験結果からも伺える。3.1の実験結果で、直線補間による工具経路では、円弧の分割を約2.3度くらいで分割していたのである。よって、このように同一平面状での実験に於いても、直線補間による工具経路が形状的に優れていることがわかる。

時計回りと反時計回りとの比較では、直線補間では時計回りの方が、円弧補間では反時計回りによるものが形状精度は良い。また、双方とも回転方向が異なるとその傾向も異なっているのが伺える。また、反時計回りによる工具経路が切削機構から上向き削り (Up-Milling) になるため、エンドミルが被削材の外側へ倒

れやすいことにより、アプローチ点近傍で膨らんでいるのが伺える。

Table. 3は加工に要する時間を、A社のマシニングセンタで測定したものである。直線補間による工具経路の場合は、分割数を大きくとっている。この表から、分割数が大きくなると、送り速度が変化しても加工時間はあまり変化しないことがわかる。これは、NC装置がNCコードを1ステップ先読みしながら、指令値を制御系へ送るために、分割数が増えると工具の1ステップ当りの運動時間が短くなるため、NCコードの解釈が間に合わなくなったためである。この現象が現われると、工具が間欠的な運動を行い、送りテーブルが振動するようになるため、形状精度が悪化する恐れがある。しかし、Table. 3から今回の実験で行なった範囲の分

Table 3 Variation of the time required for disk cutting

Kind of interpolation	Feed rate (mm/min)	Time (sec)	Kind of interpolation	Feed rate (mm/min)	Time (sec)
Linear 0.5° divide	250	68.4	Circular	250	68.4
	500	38.2		500	34.2
	1000	36.8		1000	19.0
Linear 0.25° divide	250	76.1	Linear 1° divide	250	68.4
	500	73.8		500	34.2
	1000	73.0		1000	17.2

割数では、円弧補間によるものと同一時間であるため、送りテーブルの間欠運動の影響はないものと考えられる。

4. 結 言

パソコンCAMにより数種の工具経路を作成し、2種のマシニングセンタで半球加工を行ない、また、円板の外周加工を行ない検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 半球加工に於いて、2つのマシニングセンタとも、円弧補間による工具経路と直線補間による工具経路では、直線補間による工具経路の方が形状的に

良好である。

- (2) 半球加工に於いて、円弧補間による場合、マシニングセンタの違いにより、最適な工具経路の選択が必要である。
- (3) 円板加工に於いて、適当な分割角度で直線補間を行なえば、表面粗度は劣るものの、円弧補間によるものより優れた形状精度が得られる。
- (4) 直線補間では、分割角度には最適な角度が存在する。
- (5) 送り速度が大きくなると円弧補間を用いても直線補間を用いても同じ様な形状精度となる。

この研究を行なうにあたり、パソコンCAD/CAMソフトは武藤工業(株)のご援助を受けた。また、半球の形状測定は、宇部工業高専の3次元測定機を、また、円板の測定には山口県工業技術センターの真円度測定機を借用した。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 関谷克彦、熊原健二、北川亮三：“パソコンCAMによる工具経路の検討”、山口大学研究報告、p.231、第41巻2号、1991年
- 2) 関谷克彦、熊原健二、北川亮三：“パソコンCAMによる工具経路の検討(第2報)”、1991年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
- 3) 関谷克彦、熊原健二、北川亮三：“パソコンCAMによる工具経路の検討(第3報)”、1991年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
- 4) 日本機械学会：工作機械の最先端技術、工業調査会、1988年

(平成3年10月21日受理)