

# パソコンCAMにおける工具経路の検討 —— 半球削りとその加工精度 ——

関谷克彦\*・熊原健二\*\*・北川亮三\*

## The Relation between Work Geometrical Accuracy and Cutter Path Made by CAM on Personal Computer

Katsuhiko SEKIYA, Kenji KUMAHARA and Ryozo KITAGAWA

### Abstracts

Geometrical accuracy of semisphere cut by NC machining center in several cutter paths generated by CAM software on personal computer is investigated.

The results are as follows ;

- (1) The geometrical accuracy of semisphere cut in linear interpolated cutter path is better than in circular interpolated.
- (2) The memory cost of NC codes in linear interpolated cutter path is 17 times as much as in circular interpolated.

### 1. 緒 言

最近、工業生産に於て製品の多様化による変種変量生産への対応策としてCAD/CAMシステムを導入する工場が急速に増加している。なかでも、パソコンCAD/CAMシステムは、比較的安価で容易に入手できるため、中小企業にとって利用価値のあるものとなっている。しかし、CAD/CAMシステムは機械加工の技術に十分配慮しているとは言い難い。そこでこれらパソコンCAD/CAMシステムの一例について、パソコンCADによって作成された図面をパソコン内のCAMに直接取り込み、このCADデータから工具経路（NCデータ）を作成するシステムについて検討した。また、CAMによって作成された工具経路が、加工を終えた後に工作物に対してどのような形状精度を示すのか、系統的に研究されていない。それは工具経路の作成システムや個々のマシニングセンタのNC処理システムとその動作特性<sup>1)</sup>、使用する工具、切削

条件などによって変わるものと思われる。つまり、切削方式による工具の切削特性やマシニングセンタの特性にあった工具経路を作成する必要がある。そこで本実験ではパソコンCAMにより数種の半球形状加工用（仕上げ削り用）の工具経路を作成し、切削条件を同一にして、それらによる加工を行なった。そして、工具経路の違いと工作物の加工精度との関係について検討した結果を述べる。

### 2. 実験方法

本実験の流れ図を Fig. 1 に示した。まず16ビットパソコン用CAD (AutoCAD GX-III) で半径30(mm)の半球形状の加工用図面を作成し、この図面に基づいて同パソコン用CAM (MICROCAM) で工具経路を作成する。作成された工具経路（NCデータ）はパソコン上でシミュレーションを行なう。つぎに、NCデータはパソコンからRS232Cを利用して、NCのメモリーに直接送信した。そして立て形マシニングセンタでボールエンドミル加工を行なって半球を製作したのち、その半球を3次元測定機で測定する流れになっている。

加工に使用した材料は、ABS樹脂と木粉と油を混

\*機械工学科

\*\*大学院生産機械工学科

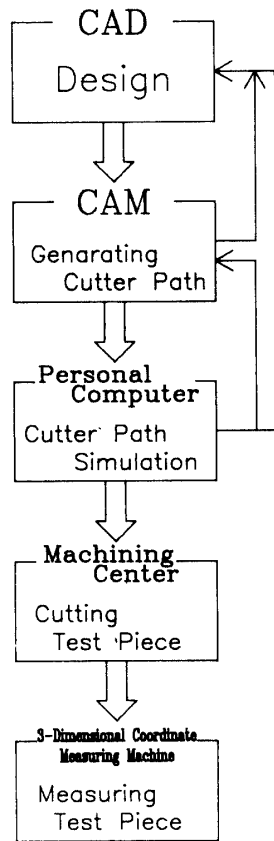


Fig. 1 Flowchart of experiment

合し射出成形した合成樹脂木材（日本石油化学株式会社製サイコウッド）である。これは被削性がよく、工具刃先の動きを忠実に再現するために使用した。Fig. 2は直径10(mm)のボールエンドミルで合成樹脂木材と鋳鉄(FC25)を切削し、これら材料の表面粗さを測定したものである。このように合成樹脂木材は良い被削性をもつとされる鋳鉄などに比べても、さらに良い被削性を示すことがFig. 2より明らかである。本実験で加工(仕上げ)に使用した工具は直径3(mm)の高速度鋼製TiNコーティングボールエンドミルである。なお、中仕上げまでは、同じ条件にするために同一形状にした。切削条件はどれも同じ条件(ピッチ0.5(mm), 送り500(mm/min), 回転数3000(r.p.m.))とした。

今回、作成した仕上げ用工具経路は5種類あって、大きく2つに大別できる。それは直線補間<sup>2)</sup>によるものと円弧補間<sup>2)</sup>によるものである。まず直線補間とは、Fig. 3に示すようにZ軸に平行な面を直線で分割した座標で近似弧を描きながら仕上げていくものである。円弧補間とはFig. 4に示すようにXY平面を円弧を描きながら仕上げていくものである。さらに、直線補間の中ではXZ平面、YZ平面の2種類があり、円弧補間に於ては、時計回りのものと反時計回りのものがあり、時計回りに於ては、半球上方から下方へ動くものと下方から上方へ動くものを2種類とした合計3種類があ

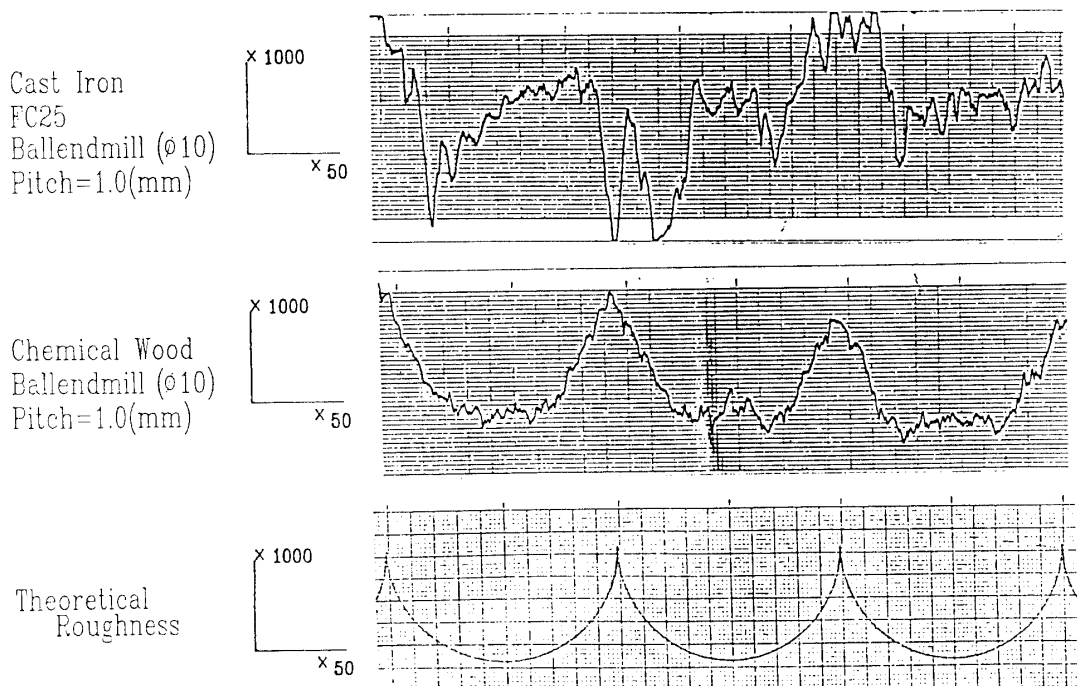


Fig. 2 Variation of surface roughnesses

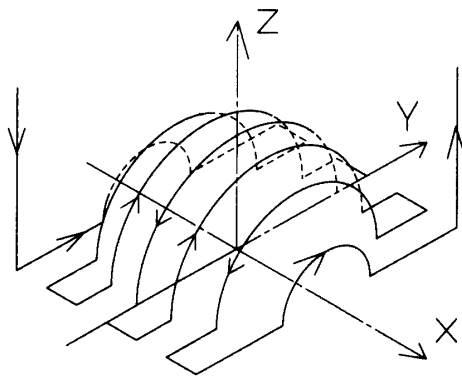


Fig. 3 Cutter path using linear interpolation

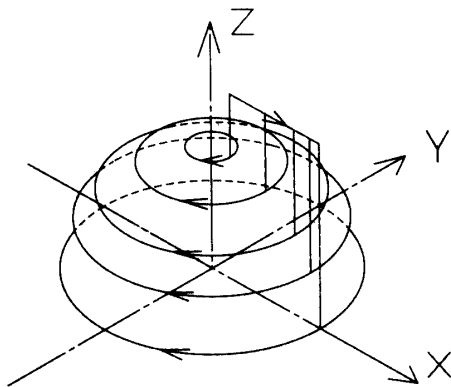


Fig. 4 Cutter path using circular interpolation

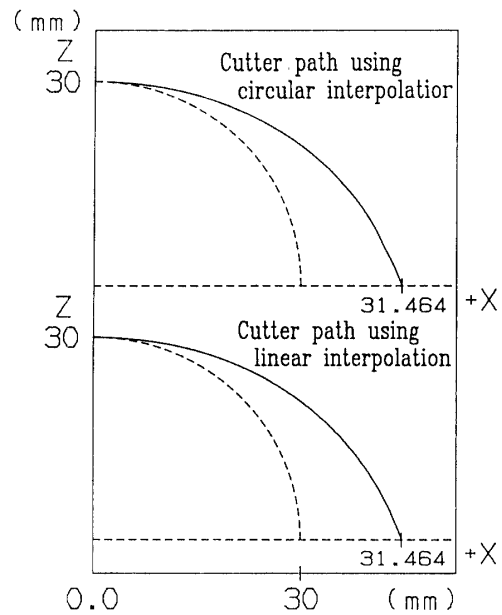


Fig. 5 Theoretical geometry of cutter paths in X-Z cross section

めに図に示すような軌道を描いている。直線補間ではXZ平面とYZ平面があるが、これはデータ内でXとYが入れ替わっているだけであり、円弧補間も時計回りと反時計回りとはデータ内でその円弧補間をするときの命令が異なるだけである。よって Fig. 5 より直線補間による工具経路と円弧補間による工具経路では、理論値による差はないものとする。

実験結果を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。これらの図は測定したデータから断面の半径を最小二乗法によって求め、データの各座標の半径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。図中のRは最小二乗法によって求めた半径値である。Fig. 6はXZ断面、Fig. 7はYZ断面でそれぞれの(a)は直線補間のYZ平面、(b)はXZ平面、(c)は円弧補間の時計回り(上方→下方、エンドミルは-Zの方向へ移動してゆく)、(d)は時計回り(下方→上方、エンドミルは+Zの方向へ移動してゆく)、(e)は反時計回りである。

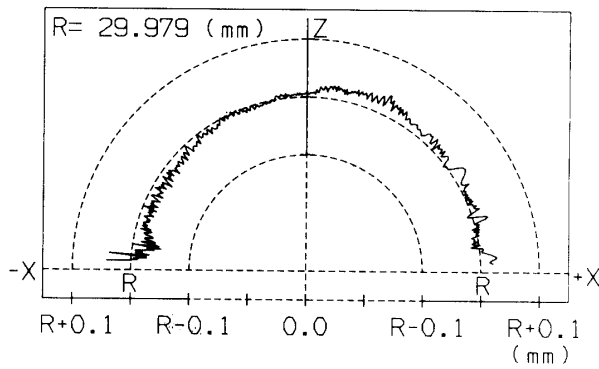
まず、XZ断面とYZ断面について直線補間による工具経路を対比させると、Fig. 6, Fig. 7の(a), (b)に於て、双方ともほぼ半円形状であり良好な加工形状であると言える。しかし、それぞれのピック断面に於て半球下部でやや深く削られている傾向が見られる。また、(a)では半球上部でやや平坦になっているので、(b)のYZ平面の直線補間による工具経路の方が形

る。

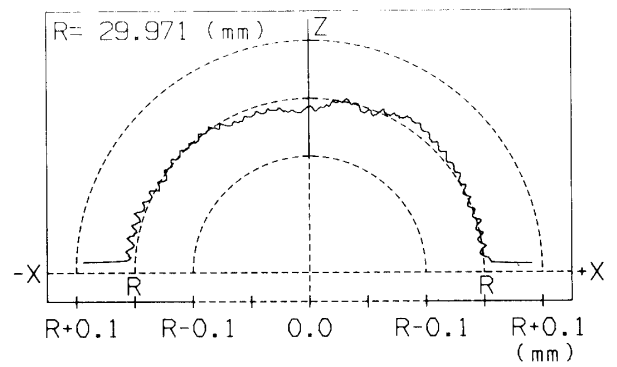
半球形状の測定には三次元測定機を用いた。測定は、半球のZ=0(mm)のXY平面の中心を原点とし、それを通るようなXZ断面とYZ断面に於て一側から+側へ半球面に沿ってスタイラスを動かした。そして、計測された数値データをパソコンで処理し、結果をXYプロッターで図として表わした。

### 3. 実験結果と考察

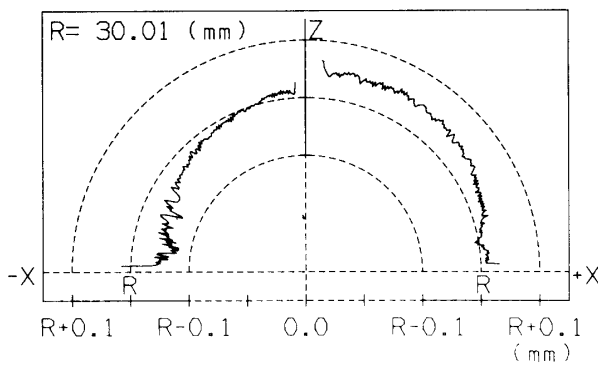
実験結果を示す前に、直線補間による工具経路と円弧補間による工具経路の理論値について示す。Fig. 5(下)は直線補間(XZ平面)による工具経路のZ=30(mm)からZ=0(mm)へ向かう部分のデータをそのまま実線としてプロットした。また、(上)は円弧補間による工具経路(反時計回り)の円弧補間を行なうときの座標をそのまま実線としてプロットした。なお、NCデータは、工具の先端の座標値で示されているた



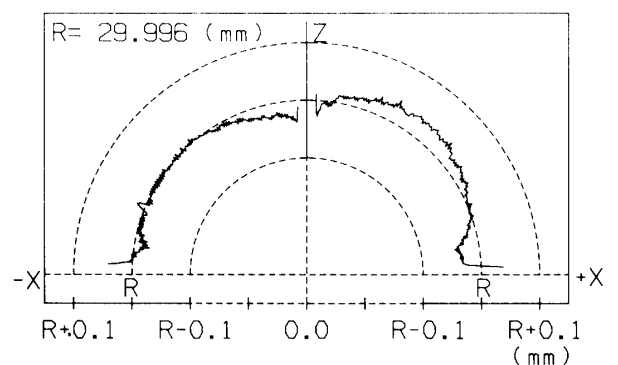
(a) as-cut in linear interpolation on Y-Z plane



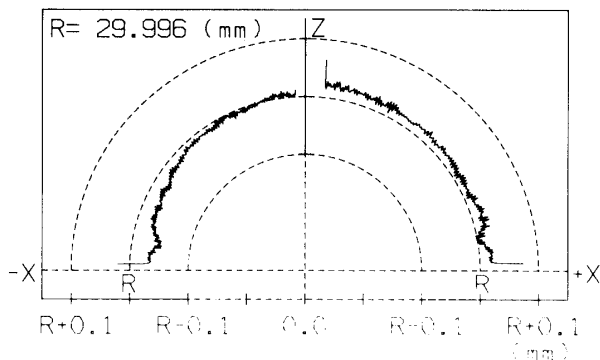
(b) as-cut in linear interpolation on X-Z plane



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



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

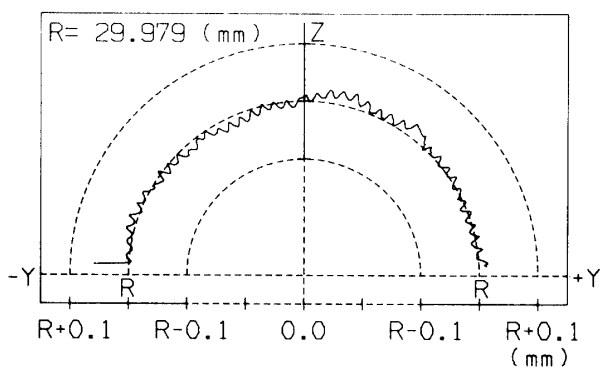


(e) as-cut counterclockwise in circular interpolation

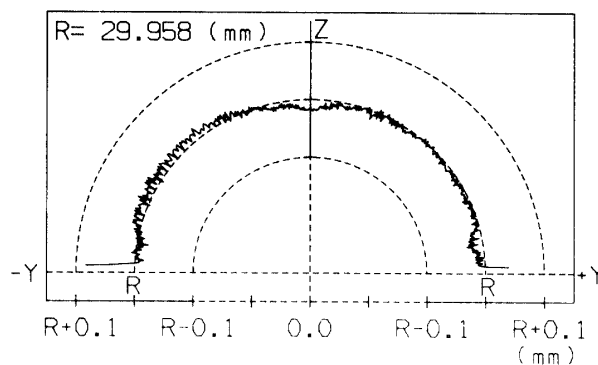
Fig. 6 Variation of geometry in X-Z cross section

状的に良い。次に円弧補間による工具経路を見ると、Fig. 6とFig. 7の(c), (d), (e)に於て、 $Z = 30(\text{mm})$ 付近が図示されていない。これは工具経路が工具径を考慮するために、円弧補間が半球上部中央より約 $2(\text{mm})$ のところから行なわれるためその部分が削り

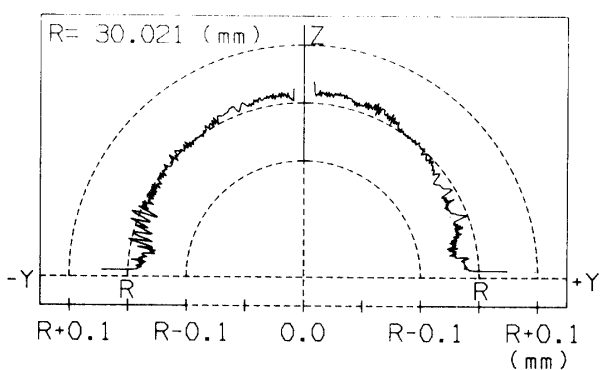
残しとなるためである。またFig. 6の(c), (d), (e)では、どれも右半面の形状が左半面の形状よりも大きく膨らんでいる。これは円弧補間の開始する点(X軸上の+側で、Zは任意)と終了する点が同一であるために、削り残しとなるためである。これらはマシン



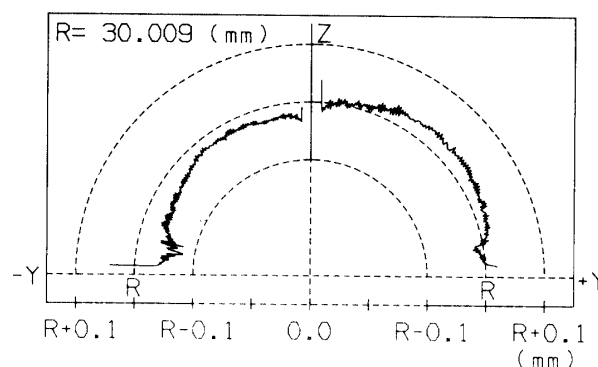
(a) as-cut in linear interpolation on Y-Z plane



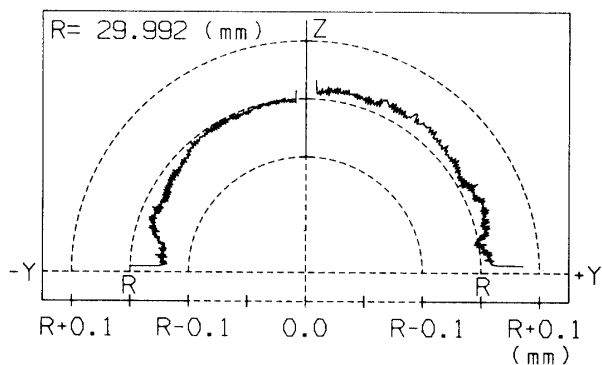
(b) as-cut in linear interpolation on X-Z plane



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



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



(e) as-cut counterclockwise in circular interpolation

Fig. 7 Variation of geometry in Y-Z cross section

グセンタの同時2軸制御機能により影響され<sup>り</sup>, 実物の外見上からでも確認できる。円弧補間のどれについても言える傾向としては、Z軸方向に延びた形状で半球下部で深く削られていることである。次に円弧補間による工具経路を対比させると、Fig. 6とFig. 7の(c)、(d)では(c)の方が形状的に良好である。つまり、

時計回りによる円弧補間では、上方から下方への工具経路の方が良い。また(c)と(e)では、形状的には判断しにくい。しかし(e)は(c)、(d)に比べて図中の半径値Rからもわかるように、全体的に深く削られているようである。これは、反時計回りによる加工は、UP-Milling(上向き削り)になるために切削

Table 1 The amounts of bytes on interpolated cutter paths

Cutter Paths		The Amount Of Bytes
Linear Interpolation	Y-Z Plane	96395
	X-Z Plane	95675
Circular Interpolation	Clock Wise (Top to Botom)	5641
	Clock Wise (Botom to top)	5659
	Counter Clock Wise	5617

理論上、深く削られるためである。

以上をふまえて直線補間と円弧補間とで比較すると、半径値Rを見れば直線補間の方が深く削られていて円弧補間の方が理論値に近い。しかし、形状的には直線補間の方が良好であることが認められた。これは工具補正の計算方式に関係したためと考える。

今回の実験では、加工形状という面で、各工具経路について検討してきたが、工具経路のデータ量についてみれば、Table. 1に示すように直線補間によるものは円弧補間によるものに比べてバイト数で約17倍になっている。これは、直線補間による工具経路は球面を微小に分割した直線で加工していくためにデータ量が多くなるためである。このことはマシニングセンタがDNC化されていない場合、大きな問題になると考えられる。

このように、加工物に対してどの程度の精度（加工形状）を求めるかによって加工方法（工具経路）を選択する必要がある。したがって、それらの要求に応じ

た工具経路を自動的に決定できるCAMの検討が今後課題になる。

## 5. 結 言

パソコンCAMで数種の半球形状加工用の工具経路を作成し、マシニングセンタでボールエンドミルを用い合成樹脂木材を加工し、三次元測定機による実測データを検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 直線補間による工具経路と円弧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) 直線補間による工具経路と円弧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約17倍のバイト数となる。
- (3) 工具経路を作成する場合、(1)、(2)を考慮した工具経路を選択する必要がある。

この研究を行なうに当たり、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、加工した半球の形状測定は山口県工業技術センターの三次元測定機を使用した。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 垣野義昭, 井原之敏, 中津善夫: 精密工学, 52, 1739(1986)
- 2) M. Weck: "Handbook of Machine Tools, vol.3", John Wiley & Sons, (1984) p.166

(平成2年10月15日受理)