

研究ノート

CAD/CAMで設定するピックフィード値と 表面粗さに関する考察

京都職業訓練短期大学校 生産機械科 村上 誠

Relation between Pickfeed Value and Surface Smoothness on
Shaped outward from by CAD/CAM System

Makoto Murakami

要約 機械製造分野の企業にCAD及び、CAD/CAMシステムを用いた製法が広く普及しつつある。しかし、効率的な実用化にむけては、未解決の部分が多い。たとえば、機械系CAD/CAMの運用において、機械の専門知識、加工技術、CAD/CAMシステム、CAD/CAM操作処理技術等を一体的にとらえた技術者の不足などが考えられる。

「自由曲面を持つ製品等の製作においてCAD/CAMシステムを用いる場合、設計、製図（3次元モデリング）の後、カッターパス作成時に切削条件を種々設定入力する。しかし、切削条件の入力値は仕上げ面粗さと重要な関係があり、製品精度の向上のためには、この分析能力が必要である。一方切削工具としてのボールエンドミルは、以前から特殊な切削用として用いられていたが、粗さに関する切削特性のデータが少なく、実用的なデータの集積が必要と思われる。」

本報告では、ボールエンドミルによる自由曲面加工を想定して、カッターパス作成時に用いるピックフィード値(Pf)と加工表面粗さの関係を実験から分析しデータベースとして整理した。

これらのデータを適用してカッターパスを作成すれば、平滑加工、鏡面下加工の省力化に大きな効果が期待できる。

1. はじめに

自由曲面を有する工業製品の製作に用いる金型の加工方法は、形状加工、平滑加工その後鏡面仕上の工程で行われているが、3次元加工を含むためCAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)システムを用いることが多くなってきた。しかしこの製作システムは、アプリケーションソフトの開発、加工に至るまでの操作及び利用技術、加工技術などを総合化した技術が問われ、いまだ開発すべき部分があるのが現状である。

その中で一般に、CAD/CAMによる形状切削はボールエンドミルを用いて、一本のカッターパスで一定のピックフィード値Pfにて切削することが多い。この切削は、自由曲面を水平面切削、斜面水平切削、斜面上下切削さ

らにこれらに対し往復切削、上向き切削、下向き切削など同時に処理している。このような状態で加工された曲面の粗さは斜面角によって異なる。このことは平滑加工、鏡面加工において複雑さをまねいている。

ボールエンドミルは以前から特殊な切削用として用いられていたが、粗さに関する切削特性のデータが少なく、CAD/CAMが用いられるようになってそのデータの集積が求められている。

今回、ボールエンドミルによる自由曲面加工を想定して一般にCAD/CAMでカッターパス作成の時に用いるPf値について、Pf値と水平面切削、斜面の水平切削、斜面の上下切削、さらにこれらに対しそれぞれ往復切削、上向き切削、下向き切削等における粗さの関係を切削実験から分析し、データベースとして求めた。

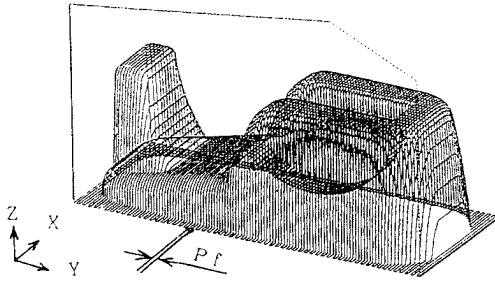


図1 カッターパスの一例

2. 実験方法

3次元(自由曲面)形状を想定して、図2において斜面と切削条件による粗さの関係を調べた。実験項目を、斜面に沿って水平に切削する水平切削と、斜面に沿って上・下に切削する上下切削の関係、これらについて、斜面角(θ)を0° 22.5° 45° 67.5° とした。実験用にS45Cの各試料素材を作成した。

その後CAD/CAM (HVS GRADE EWS7540)を用いてモデリングを行い、さらにPf値(mm/Stroke)=0.1, 0.3, 1.0と設定し、切削刃物であるSKH9、φ10のボールエンドミルに対して一刃当り0.1mm、切込み量0.2mmとして、NCデータを作成した。さらに光ファイバーで連結している立型マシニングセンター(MAKINO FNC 74-A)で100個について各切削状態を設定し切削実験をした。

その後表面粗さ測定器(MITUTOYO surfest402)にて粗さ測定とその分析をし、さらに走査電子顕微鏡(J-EOL T300)にて加工表面の分析をした。

カッターパス作成のときに表面粗さと関係のあるPf値を選定する上から、Pf値と表面粗さの関係について幾何学的に理論式として求めると、図2よりピッチフィード値をPf、ボールエンドミルの切り刃部のアールをr、斜面

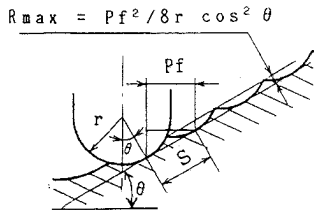


図2 幾何学的理論表面粗さ

角をθ、斜面上の送りピッチをS (S=Pf/cosθ) とすると、一般式として幾何学的な理論表面粗さ

$$R_{max} = Pf^2 / 8r \cos^2 \theta \dots \dots \dots (1)$$

(但し、上下切削はθ=0° とする)

で示される。

3. 実験結果及び考察

ボールエンドミルによる表面仕上げについて、ピッチフィード値、斜面角、主軸回転数を組み合わせて変化させた場合、主軸回転数と粗さ変化について考察すると、最適な仕上げ表面粗さは、1600rpmであった。従って1600rpmが実用回転数に適すると判断し、以後1600rpmを主体に報告をする。

3.1 上下切削による斜面角と粗さの関係

図3は、斜面に沿った上下切削において往復切削によ

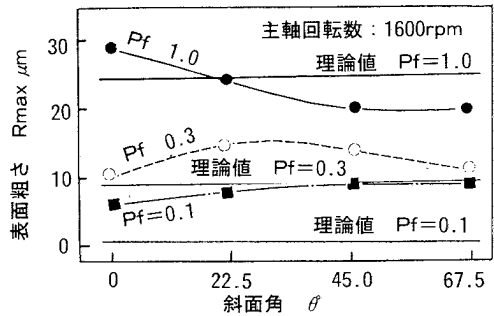


図3 往復切削で上下切削による斜面角と粗さの関係

る斜面角θと表面粗さについての実験結果を示す。図よりPf値0.1は、θ=0° からθ=67.5° に変化するに従いRmax=7からRmax=10へと徐々に粗くなる。Pf=0.3は、θ=0° の時Rmax=10、θ=22.5° ではRmax=15と最も粗くなるがθ=67.5° では逆にRmax=11へと精密になる。Pf=1.0は、θ=0° のときRmax=29でθ=67.5° に従ってRmax=20へと徐々に精密となる。また、特別Pf=1.0は他のPfと比べ0° に近づくほど逆に粗くなっている。

これを、幾何学的理論表面粗さ(1)式と比較すると異なる部分がある。上下切削の場合、図2の斜面上を沿う方向に測定したので(1)式はθ=0と置く。従って(1)式より算出したRmaxは、図3に示すようにそれぞれ水平で一定の値

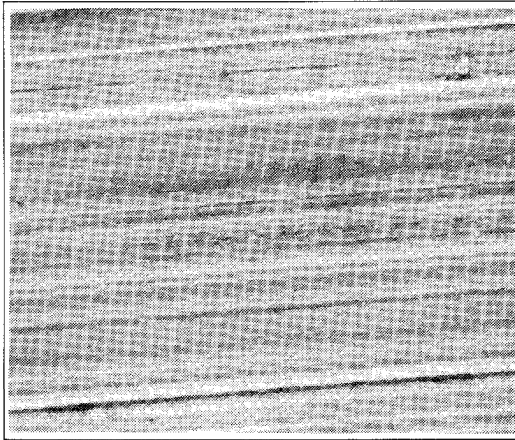


写真1 (a) (超硬正面フライス加工表面)

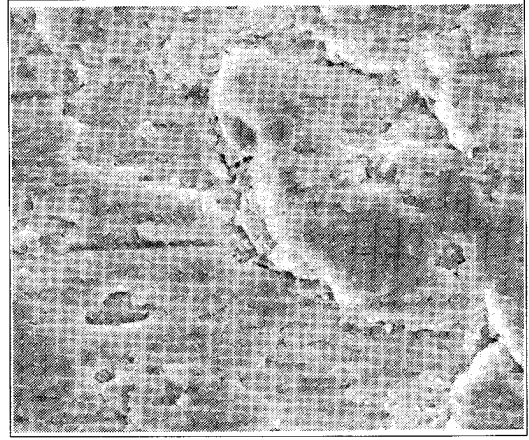


写真1 (d) (ボールエンドミル ($\theta=22.5^\circ$) 加工表面)

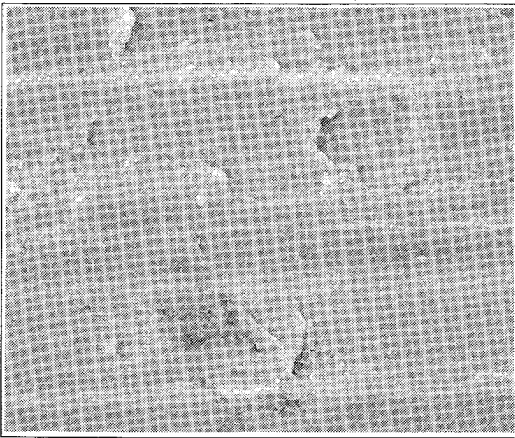


写真1 (b) (片刃仕上バイト (SKH9) 加工表面)

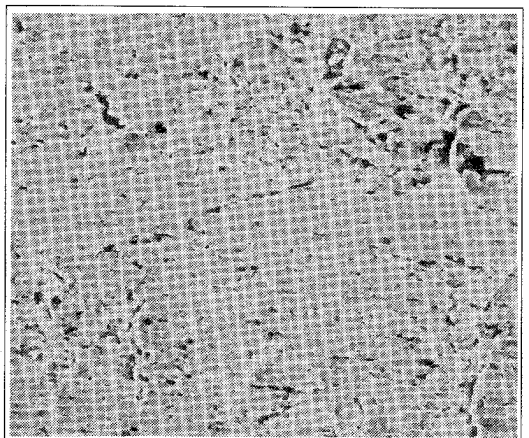


写真1 (e) (ボールエンドミル ($\theta=67.5^\circ$) 加工表面)

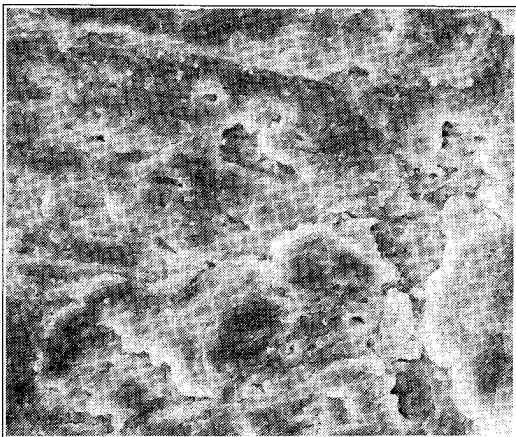


写真1 (c) (ボールエンドミル ($\theta=0^\circ$) 加工表面)

である。

これは刃物の形状特性から $\theta=0^\circ$ は刃物の中心部で切削するため切削量が多いと一段と切削性が悪くなりむしれた表面になり理論粗さより粗くなる結果と推察できる。

写真1は、これらを考察するためS45C Pf=0.3において各種の加工法による加工表面を電子顕微鏡で観察したものである。倍率は $\times 1500$ である。(a)は、超硬正面フライスによる $\theta=0^\circ$ の加工面で、安定した流れのような面であり超硬バイトの特徴である。(b)は、SKH9片刃仕上げバイトによる $\theta=0^\circ$ の加工面で、(a)より乱れヘラで搔いたようである。(c) (d) (e)はそれぞれボールエンドミルの切削であり(c)は、 $\theta=0^\circ$ つまり周速度が0の状態の加工面で、刃先で練りむしったように見え不安定な表面である。(d)は、 $\theta=22.5^\circ$ 上下切削で(c)とよく

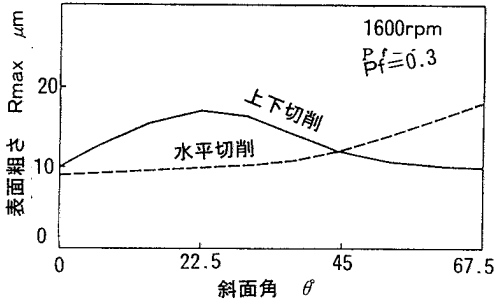


図4 往復切削で斜面角による上下切削と水平切削の比較

似ている。しかし、ゴボッと起こしたようなむしれた特徴を示している。(e)は、 $\theta=67.5^\circ$ の水平切削である。これは(b)(d)が併合した表面を示し特に横向きに周切削状態の跡が見え(c)(d)よりは安定した面である。

これらの写真から表面粗さ生成は切削方法によって異なることが判り、従って(a)(b)(e)に比べ(c)(d)は幾何学的理論表面粗さと異なると考察できる。

3.2 上下切削と水平切削による斜面角と粗さの関係

自由曲面を加工する場合カッターパス設定に多く用いられる往復切削は、曲面上を部分的に上下切削や水平切削をしている。このことはモデルが同じでもそれぞれ表

面粗さが異なる。

そこで図4は、 $Pf=0.3$ 、1600rpmにおいて往復切削で各斜面に対して上下切削及び水平切削粗さの関係についての実験結果を示す。図より水平切削では $\theta=0^\circ$ で $R_{max}=9$ 、 $\theta=22.5^\circ$ で $R_{max}=10$ と徐々に粗くなり $\theta=67.5^\circ$ では $R_{max}=19$ と最も粗い。これを図2に示す幾何図形から求めた理論式 $R_{max}=Pf^2/8r \cos^2 \theta$ によると、 $Pf=S \cdot \cos \theta$ の関係で θ が増すに従って、 S が長くなり、その結果表面が粗くなる。従って実験結果と同様な変化を示す。

ところが上下切削に於いては $\theta=0^\circ$ から $\theta=22.5^\circ$ となるに従い $R_{max}=17$ へと最も粗く、その後 $R_{max}=10$ へと徐々に精密となる。このように山形をした変化を示す。これらの結果により上下切削は $\theta=22.5^\circ$ において最大粗さ、 $\theta=45^\circ$ を越えるに従って最小粗さを示す。これはボールエンドミルの特徴であり欠点であることを示している。

この原因について $\theta=22.5^\circ$ のときは機械の剛性、ボールエンドミルの剛性に敏感なこと、刃先のR形状特性として直線刃先に比べ切刃面が長いうえで、切屑の干渉が起こり、これらより切削点の不安定から、むしれが最大となり粗くなると思われる。

$\theta=67.5^\circ$ で精密な粗さを示したのは刃物の側面で切削し周速度が大きくなり $\theta=22.5^\circ$ より切削性が良いからと考察できる。

これらよりボールエンドミルでカッターパスを作成す

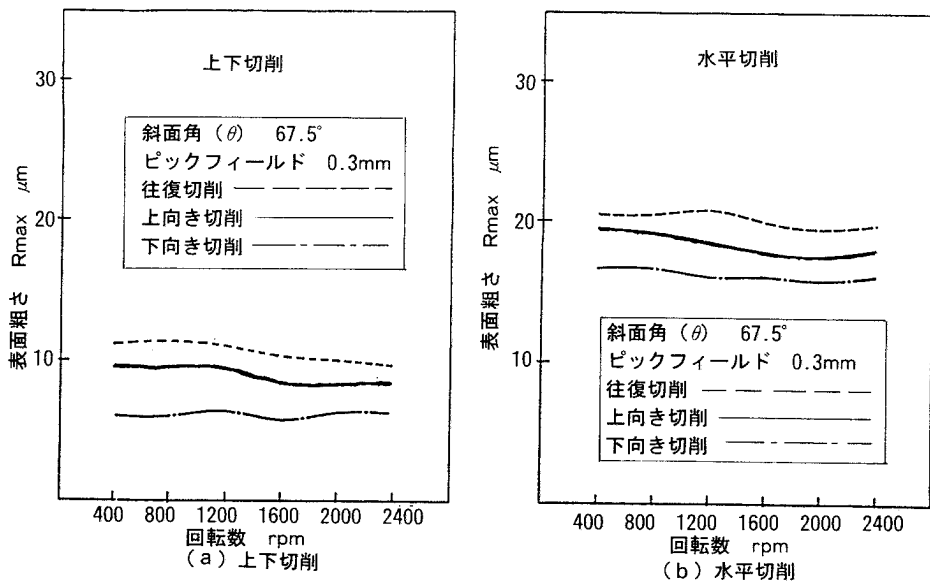


図5 上下切削と水平切削による往復切削 上向き切削 下向き切削

る場合、精密な斜面加工は斜面角 45° 以下であれば水平切削、 45° 以上であれば上下切削となるようPf値を設定すれば最適であることが解る。

3.3 往復切削、上向き切削、下向き切削による粗さ比較

図5は、自由曲面を想定して上下切削及び水平切削について粗さの変化が著しく現れる斜面角 67.5° において、Pf=0.3によりそれぞれ上向き切削（up cut）、下向き切削（down cut）さらにこれらを組み合わせた往復切削と粗さの関係についての実験結果を示す。

図より（a）の上下切削は、（b）の水平切削より全般に精密な仕上げ面である。その中で往復、上向き、下向き切削の順で精密な粗さを示す。（b）の水平切削は最も粗く $R_{max}=22$ と粗い面であるが、上下切削と同様な粗さ幅と順位である。これらから曲面にカッターパスを作成する時、上下切削、水平切削いずれも下向き切削（down cut）にすれば最も精密な粗さであることが判る。

3.4 斜面角によるピックフィード値と粗さの関係

自由曲面にカッターパスを作成する場合、一般に行われるのは往復切削にして上下切削が用いられている。この条件において、斜面角 θ に対しPf値と粗さの関係についての実験結果を図6に示す。

図より横軸にPf値、縦軸に表面粗さ R_{max} をプロットする。 $\theta=0^\circ$ の場合、Pf=0.1において各斜面角の内で中程度の粗さであるが、Pf=1.0になると最も粗い。 $\theta=22.5^\circ$ は、全てのPfを通じて最も粗い。 $\theta=45^\circ$ は、全てのPfを通じて最も精密である。

図よりPf=0.1において理論値と実験値の差 $R_{max}=15$ が生じているのは、機械の剛性、ボールエンドミルの剛性、及び刃先のR形状特性による切屑流出の干渉が起これ、これらの影響から加工表面がむしれの現象となり理論値より粗くなったと推察できる。またPf=1.0においては、Pf/cos θ の関係で送りピッチSが大となり理論値 R_{max} は粗くなる。しかし測定値は反対に精密な表面である。これは図2の加工表面凸部の幾何学的形状がむしれ現象により、崩れた面になったと推察できる。

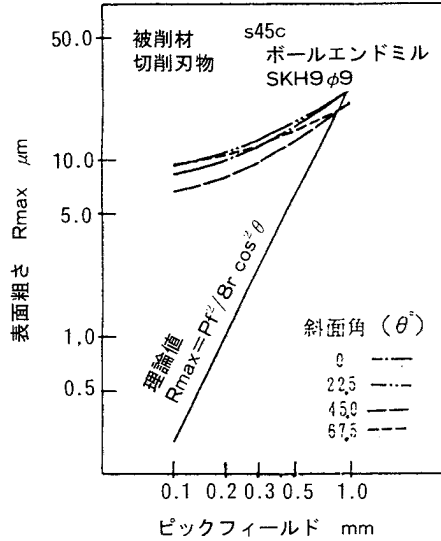


図6 往復切削で上下切削による各斜面に対するピックフィード値

4. まとめ

CAD/CAMを用いた自由曲面の加工においてモデリングのあとカッターパス等作成してNCデータを作る。その時Pf値等多くの加工条件を入力するが加工面粗さは結果待ちの現状である。今回の平滑加工実験によりボールエンドミルによるPf値と、種々の切削条件による粗さの関係を明らかにしたので下記に示す。

- 1) 往復切削でPf値が同一であれば、表面粗さは水平切削の場合、斜面角に対応して幾何学的表面粗さを示す。しかし、上下切削は $\theta=22.5^\circ$ で最も粗く、 $\theta=67.5^\circ$ で最も精密な面となる。
従って、カッターパス作成に於て、水平切削は $\theta=45^\circ$ 以下に用い、上下切削は $\theta=45^\circ$ 以上に用いると精密な粗さとなる。
- 2) 上下切削と水平切削において、下向き切削、上向き切削、往復切削の順で同様に粗くなる。
- 4) Pf=0.1からPf=1.0、 $\theta=0^\circ$ から $\theta=67.5^\circ$ において、最大粗さと最小粗さの変化の大きいのは、上下切削より水平切削である。
- 5) 往復切削・上下切削によるPf値、斜面角、加工表面粗さの関係を求めることができた。

4. まとめ

CAD/CAMを用いた自由曲面の加工においてモデリングのあとカッターパス等作成してNCデータを作る。その時Pf値等多くの加工条件を入力するが加工面粗さは結果待ちの現状である。今回の平滑加工実験によりボールエンドミルによるPf値と、種々の切削条件による粗さの関係を明らかにしたので下記に示す。

- 1) 往復切削でPf値が同一であれば、表面粗さは水平切削の場合、斜面角に対応して幾何学的表面粗さを示す。しかし、上下切削は $\theta=22.5^\circ$ で最も粗く、 $\theta=67.5^\circ$ で最も精密な面となる。
従って、カッターパス作成に於て、水平切削は $\theta=45^\circ$ 以下に用い、上下切削は $\theta=45^\circ$ 以上に用いると精密な粗さとなる。
- 2) 上下切削と水平切削において、下向き切削、上向き切削、往復切削の順で同様に粗くなる。
- 4) Pf=0.1からPf=1.0、 $\theta=0^\circ$ から $\theta=67.5^\circ$ おいて、最大粗さと最小粗さの変化の大きいのは、上下切削より水平切削である。
- 5) 往復切削・上下切削によるPf値、斜面角、加工表面粗さの関係を求めることができた。

5. おわりに

曲面加工においてCAD/CAMによるカッターパス作成は加工効率を向上さす上で最も重要な技術である。今回の実験で技術データとしてボールエンドミルの切削特性を示すことができた。これらのデータをPf値等設定に際し適用してカッターパスを作成すれば、平滑加工、鏡面下仕上げ加工の省力化に大きな効果が期待できる。

最後に、本研究は卒業研究として取り組む中で、CAD/CAMを扱うのに重要と言われている感性を育てる上で、教育効果があった。

〈参考文献〉

- 1) 岸浪 建史、金型自由自動仕上げ加工技術の動向、最新金型製作技術、39～45、工業調査会
- 2) 斎藤 勝政、金型の加工仕上げ技術、最新金型技術、P131～142、工業調査会
- 3) 加藤・坂本、実践3次元CAD/CAM、(1989)、実践教育研究会、日刊工業新聞