

バレルエンドミルと 5 軸マシニングセンターを利用した 仕上げ加工技術の開発*

飯村 崇**、和合 健**、堀田 昌宏**、池 浩之**

バレルエンドミルと 5 軸マシニングセンターを用いて仕上げ加工を行うにあたり、バレル工具に非対応の CAM により加工プログラムを作成する方法を開発した。

バレルエンドミルをテーパエンドミルに近似してプログラムを作成することで、バレルエンドミルを使用した仕上げ加工が可能となり、加工時間の大幅な短縮が可能となった。また、加工後の表面粗さや形状精度について評価を行い、従来のボールエンドミル等で仕上げる場合と遜色のない加工面の得られることがわかった。

キーワード：バレルエンドミル、5 軸マシニングセンター、CAM

Development of a finish processing technology using a barrel end mill and five axis machining center

Takashi Iimura, Takeshi Wago, Masahiro Hotta and Hiroyuki Ike

To perform finish machining using a barrel end mill and five axis machining center, we have developed a method by creating a processing program using CAM which is observed to be noncompliant with a barrel end mill. It became possible to implement a finish machining program with a barrel end mill by creating a program in which the barrel end mills are approximated by a taper end mill. Further, the machining time is shortened. Furthermore, it is confirmed from the evaluations of surface roughness and shape accuracy that the machining surface is comparable to the one that was implemented using a traditional ball end mill.

Keywords: barrel end mill, five axis machining center, CAM

1 緒言

近年、機械加工への要望として難削材加工・高精度・短納期といった内容が増えてきている。このような要望に対応するために、加工機械メーカーや工具メーカーは様々な開発を行ってきている。例えば、工具メーカーの場合、工具を加工する工作機械の精度が向上したことと、加工機械の NC 化により複雑な形状の工具が加工可能になったことである。また、加工機械メーカーの場合、5 軸マシニングセンターに代表されるように多軸化を図り複雑形状の加工を実現したり、加工機に計測装置を載せることで、機上計測を実現し加工精度の向上を図ったりしている。

このような取り組みをもとに新しい形状の工具と機械の多軸化・高精度化を合わせることで初めて可能になる新しい加工方法も開発されてきている。

そこで本報告では、そのような新しい加工方法としてバレルエンドミルを利用した仕上げ加工に着目し、バレルエンドミルに対応していない CAM を使用した仕上げ加工技術を開発したこと、また実際に加工を行い、加工時間や加工後の表面粗さ、形状精度について評価した結果を述べる。

2 実験方法

図 1 に示す形状について加工を行い、加工時間、表面粗さ、形状精度について評価した。

仕上げ加工に使用する工具は、図 2 に示すエムージェ・フランケン社の 3540L.08250A (テーパバレルエンドミル)、加工条件は、表 1 に示す通りである。

被削材は、アルミ合金 (A5052)、使用する CAM は TOPcam Ver. 6.16 (バレルエンドミルに非対応)

* 中東北 3 県公設試技術連携推進会議 3 県共同研究 精密加工グループ「精密 5 軸加工に必要な基盤技術の確立」

** 素形材技術部

である。

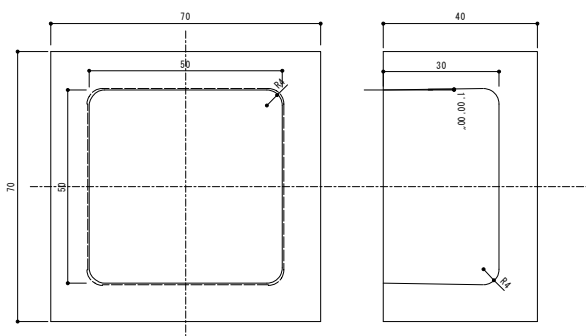


図1 加工形状

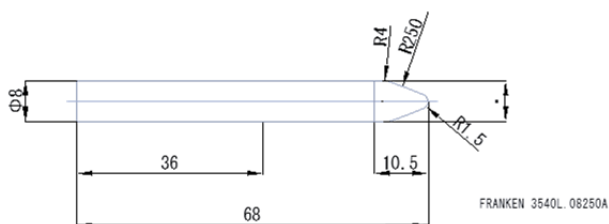


図2 テーパーバレルエンドミル

表1 使用工具と加工条件

工具名称 (仕上げ)	テーパーバレルエンドミル 3540L.08250A (エムゲ・フランケン社)
主軸回転数	6000rpm
送り速度	1440mm/min
切込み量 (Z)	最大 4mm
切込み量 (Y)	0.1mm

工具名称 (粗取り)	ラジラスエンドミル EPP4100-10-TH (日立ツール)
主軸回転数	5800rpm
送り速度	1044mm/min
切込み量 (Z)	最大 10mm
切込み量 (Y)	0.5mm

2-1 バレルエンドミル非対応の CAM における加工方法の検討

TOPcam Ver6.16 はバレルエンドミルに非対応であるため、バレル形状を使用してスキヤロップ値から送りピッチなどを計算することができない。そこで本研究では、あらかじめバレル R を考慮したうえでテーパーバレルエンドミルを単純なテーパーエンドミルとして CAM に登録し、工具側面を使用したスワーフ加工によって仕上げ加工を行うツールパスを

作成することとした。その場合のテーパーエンドミルの形状決定方法について図3に示す。

バレル R 開始点を起点にテーパの直線を引く。今回使用するバレル R250 の工具では先端から 20.4122° 直線を引いた場合、バレル R が 8μm テーパー直線よりも外側に来ることになる。つまり、先端角 20.4122° のテーパーエンドミルを CAM 上で定義し、スワーフ加工を行うことで側面のスキヤロップ値を 8μm に抑えた加工が可能になる。その場合、実際に工具が当たるのは先端から 4mm までとなることから、工具の Z 方向切り込みを 4mm 以下に設定する必要がある。

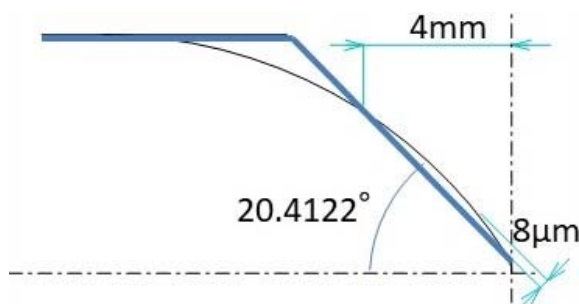


図3 テーパーエンドミルへの近似方法

3 実験結果及び考察

3-1 CAM によるツールパス作成

2-1 に示す方法で、CAM を用いてツールパスを作成するにあたり、以下のコマンドを使用した。

- ① ポケット加工 (2 軸) : ポケット形状の大きな加工。底面 R に関係ない部分 (Z の値が変わっても XY 方向の加工範囲が変わらない部分) を大まかに加工する。今回は、工具負荷の変動を抑えるために、円筒形状のポケットを加工。(図 4-1)
- ② 荒取り加工 1 (3 軸) : 側面の荒加工。底面 R があるために、3 軸のコマンドを使用。円筒形状のポケットを最終形状に近いところまで広げる。(図 4-2)
- ③ 荒取り加工 2 (3 軸) : 底面の荒加工+仕上げ加工。本研究では、底面は測定対象ではないことから、荒加工用の工具で仕上げまで行う。(図 4-3)
- ④ スワーフ加工 (5 軸) : バレルエンドミルによる側面加工。バレルエンドミルをテーパーエンドミルに見立てて、エンドミルの側面を加工形状に沿わせて加工を行う。エンドミルの側面を加工形状に沿わせるため 5 軸動作が必要である。(図 4-4)
- ⑤ 5 軸面沿い (5 軸) : 底面 R の仕上げ加工。逆テーパのある側面の隅を加工するため、5 軸動作が必要である。(図 4-5)

作成したバレルエンドミル用のツールパスと、同じ径 (φ8mm) のボールエンドミル用のツールパス

を作成し、加工時間を比較した結果を表2に示す。側面仕上げの加工時間がボールエンドミル43分に対しバレル工具4分でおおよそ1/10に短縮されている。全体の加工時間で考えた場合も、ボールエンドミル64分に対してバレル工具が26分であり、1/2.5に短縮可能であることが確認できた。

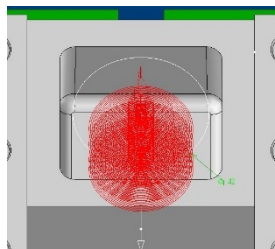


図4-1 ポケット加工



図4-2 荒取り加工1

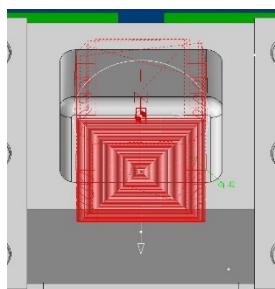


図4-3 荒取り加工2

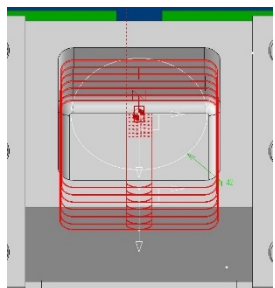


図4-4 スワーフ加工

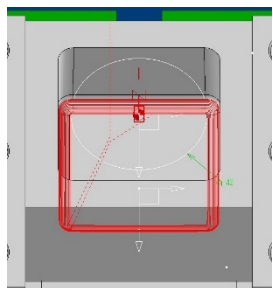


図4-5 5軸面沿い加工

ボールエンドミルの場合、バレル工具の A_p 値(Z 方向切り込み量)が4mm以下であるのに対し、ボールエンドミルの場合 A_p 値0.5mm以下と1/8になってしまうことから、切削回数が増えて、加工時間が長くなる。本研究においては、 Z 方向の切り込み量が減少する分、 Y 方向の切り込み量を増やして、加工時間の短縮を図ったパスを作成したが、それでも加工時間の差は大きい。

表2 CAM上の加工時間比較

工程番号	①	②	③	④	⑤	total
バレル	6:52	7:28	4:14	4:17	2:53	25:44
ボール				43:14	3:07	64:54

3-2 加工品の形状評価

加工した被削材について表面粗さ、輪郭形状、形状精度を測定した。その結果を以下に示す。

3-2-1 表面粗さ

図5は加工したポケット側面について、表面粗さを測定した結果である。 $Rz1.3\mu\text{m}$ 、 $Ra0.2\mu\text{m}$ と一般的な切削による粗さと同程度であり、バレルエンドミルを用いた加工時間の短縮による表面状態への悪影響は見られない。

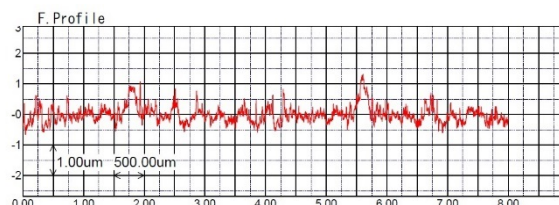


図5 表面粗さ測定結果

表3 表面粗さ測定結果

表面粗さ (μm)	1	2	3	4	Ave.
Rz	1.31	1.22	1.3	1.34	1.29
Ra	0.2	0.19	0.2	0.2	0.20

3-2-2 輪郭形状

工具のバレルRが設定した仮想テーパ線より $8\mu\text{m}$ 突き出すように設定したことから、凹凸も $8\mu\text{m}$ 程度になることが予想されたが、実際は図6のように $10\mu\text{m}$ を若干超えており、2割程度凹凸が大きくなることが確認できた。原因としては工具の振動や材料の変形などが考えられる。

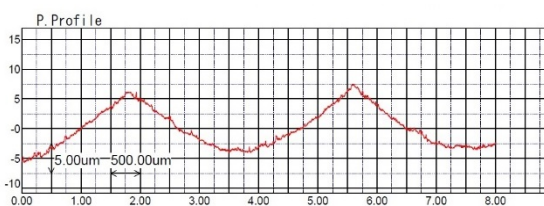


図6 輪郭形状測定結果

3-2-3 形状精度 (三次元測定機)

測定するポケット側面が 1° の逆テーパとなっていて XY 方向の座標を容易に測定することができない。そのため、本研究においては図7に示すように、①ポケット側面を構成する4つの平面を測定し、②平面同士の交線を求め、③②の交線と底面($Z=0$)が交わる点を三次元測定機で測定によって求め、左下の点aを原点として、モデルの設計値と実測値のずれを比較した。

表4は図7の各点における実測値と設計値のずれ

を表している。点 b と c を含む面が X 方向で約 10 μm 、点 c と d を含む面が Y 方向で約 30 μm ずれていることがわかる。

表5より点 a と d を含む面 (面 ad とする) と点 b と c を含む面 (面 bc とする) の角度誤差を合わせると約 30 μm の誤差になることから、点 c と d の誤差 30 μm はこの面 ad と面 bc の傾きに原因があると考えられる。これは、温度変化などによる機械の首振り軸の中心位置のずれなどが原因として考えられることから、温度変化の大きい冬季などの加工においては、機械のキャリブレーションをこまめに行う必要があると考えられる。

一方、点 a と b を含む面 (面 ab) と点 c と d を含む面 (面 cd) の Y 方向の傾きによる誤差は 1 μm であり、こちらの傾きには問題がなかった。また、今回各面を 12 点ずつで測定しているが、いずれも標準偏差で 2 μm 程度のばらつきがあることから、測定箇所によっては 10 μm 程度の誤差が発生する可能性がある。これについては今回の加工設定が、表面に 10 μm の凹凸をつけるようにしていることから、妥当なばらつきであり、点 b と c の X 方向のずれはこれらが原因であると考えられる。

以上のことから、バレルエンドミルを用いたために発生したと考えられる形状誤差は、機械のキャリブレーションや加工設定による誤差よりも小さいことがわかった。

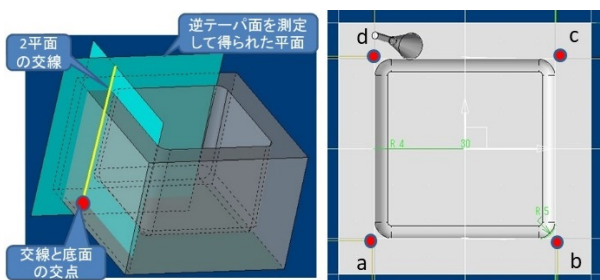


図7 形状精度測定位置

表4 形状精度測定結果

	測定値と設計値との差		設計値からの距離
	X	Y	
a(原点)	0.000	0.000	0
b	-0.010	-0.001	0.010
c	-0.011	-0.034	0.036
d	0.001	-0.031	0.031

表5 面の測定値

	傾き(設計値 1°)	ばらつき(標準偏差)
面 ab	1.0068	0.0024
面 bc	1.0121	0.0018
面 cd	0.9951	0.0022
面 da	1.0333	0.0021

4 結言

バレルエンドミルに非対応の CAM でもバレルエンドミルをテーパエンドミルに置き換えてスワープ加工を行うことで、バレルエンドミルと 5 軸加工を組み合わせた仕上げ加工が可能であることが明らかとなった。その場合、仕上げ加工時間の短縮が可能であることも明らかとなった。また、バレルエンドミルを使用することにより表面粗さや形状精度が悪くなるなどのデメリットが無いことも併せて確認することができた。これらをまとめると以下のようになる。

- ① 加工時間: 平面の場合、同じスキヤロップ値でも、工具の軸方向送りピッチを大きくすることができ、本研究においては加工時間を 1/10 にまで短縮することができた。
- ② 表面粗さ: Rz, Ra については、ボールエンドミルによる加工とほぼ同じであり、加工時間の短縮によって加工面の仕上がりが悪くなることはない。
- ③ 加工精度: バレルエンドミルを用いたことによって発生したと考えられる精度の低下は他の要因と比べ小さい。