

## 5 軸制御工作機械の加工工程改善に関する一考察

東海大学 ○草間 洋輝, 東海大学 ◎関根 務

近年、5 軸制御工作機械の果たす役割は重要度を増しており、各産業において付加価値を高める製品製造技術として利用されている。だが、複雑形状の製品加工では、治具やテーブルへの干渉を避けるために工具姿勢を考慮する等によって加工工程が複雑となり易く、良好な工程設計のための十分な知見は蓄積されていないようである。そこで本研究では、仕上げ代や工具径に着目して CAM で NC プログラムを作成後、切削シミュレーションソフトで加工時間と削り残し量を求めて加工工程改善について考察した。

### 1. 緒言

エンドミル切削加工は高品質な機械部品を精度よく低コストで生産できるため、各産業において製品製造の基幹技術として利用されている。特に近年、航空機産業で 5 軸制御エンドミル加工の果たす役割は重要度を増しており、工具姿勢の変化等の多軸工作機械に付随する特有の性質を活かした加工方法による生産効率の向上や新たな付加価値の創出が望まれている[1, 2]。

昨今機械加工分野において需要が増加する一方である 5 軸制御工作機械では、ワンチャッキングでの多面加工や加工時間の短縮など従来の 3 軸制御工作機械に比べ多くのメリットがある。

だが、複雑形状の製品加工では、治具やテーブルへの干渉を避けるために工具姿勢を考慮する等によって加工工程が複雑となり易く、良好な工程設計のための十分な知見は蓄積されていないようである[3]~[5]。

そこで本研究では、仕上げ代や工具径に着目して CAM で NC プログラムを作成後、切削シミュレーションソフトで加工時間と削り残し量を求めて加工工程改善について考察した。

### 2. 切削シミュレーション

#### 2.1 NC プログラムの作成

シミュレーションで使用する NC プログラムは、Autodesk 社製の CAM ソフトである Inventor HSM Pro を用いて、加工工程を比較するために径の違う工具ごとに作成した。NC プログラムを作成する上で使用する CAD モデルは、CAM のサンプルモデルを使用する (図 1)。

図 1 のモデルで NC プログラムを作成する上で、始めに傾斜面を加工する工具はスクエアエンドミルの  $R = 5 \text{ mm}$ 、楕円ポケットはラジラスエンドミルの  $R = 4 \text{ mm}$ 、十字ポケットはスクエアエンドミルの  $R = 5 \text{ mm}$  で設定する。この時の NC プログラムを基準となる加工工程とし、傾斜面に使用する工具を  $R = 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8 \text{ mm}$  に変更して工具ごとに NC プログラムを作成する。また、楕円ポケットと十字ポケットの工具径は変更しないとする。工具径による加工工程改善を比較するので工具経路を等高線加工経路、切削方法をダウンカットに統一し、加工順番は傾斜面 1、傾斜面 2、十字ポケット、傾斜面 3、傾斜面 4、楕円ポケットの順番に行う。

一般的に CAM でそのまま工具経路を生成した場合には、不要な切り落とし部も含めて工具経路が生成されてしまう傾向があり、場合によっては治具に工具が干渉してしまう。そこで、治具への干渉回避と工具経路を最大限縮小させるために CAM の“仕上げ代”機能を用いる (図 2)。仕上げ代の中でも工具の“径方向の仕上げ代”に表 1 の値を入力して設定する。

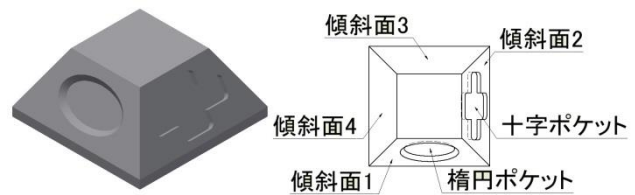


図 1 切削シミュレーション CAD モデル

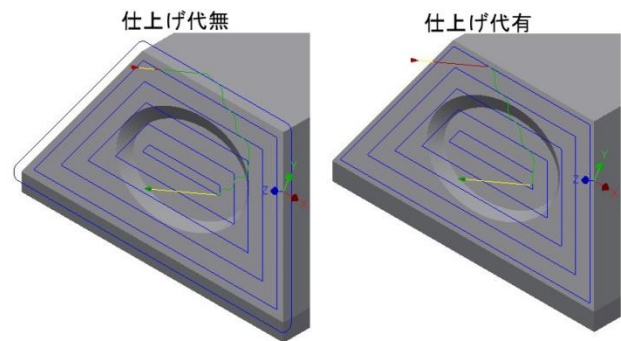


図 2 “仕上げ代”による工具経路改善

表 1 工具条件

工具径R(mm)	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
仕上げ代(mm)	8	14	13	14	4	7	13
回転数( $\text{min}^{-1}$ )	5000						
送り速度( $\text{mm}/\text{min}^{-1}$ )	1000						
刃数	2						
削り方	ダウンカット						

以上の設定が完了したら、切削シミュレーションでは FANUC コントローラの 5 軸制御工作機械を使用するので、FANUC 対応の NC プログラムにポスト処理する。

#### 2.2 切削シミュレーション

作成した NC プログラムを CGTech 社製の切削シミュレーションソフト Vericut を用いて、切削シミュレーションを行い加工時間と削り残し量を計測する。使用する 5 軸制御工作機械は Doosan 社製 VC630/5AX (図 3)、CNC コントローラは FANUC 社製 FANUC Series 31im であり、図 4 にある治具で被削材を固定させる。CAM で設定した工具番号などの工具情報を切削シミュレータ内で設定し、情報を統一させる。以上の設定を入力

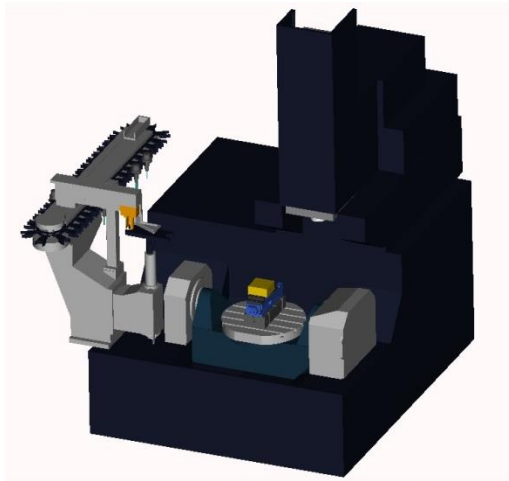


図3 5軸制御工作機械

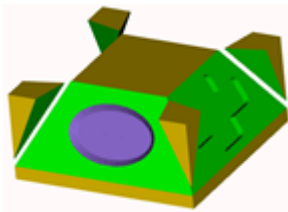


図4 切削後モデル

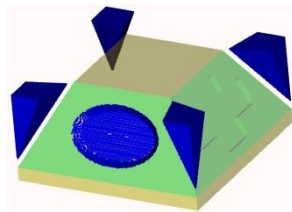


図5 比較検査後モデル

し、切削シミュレーションを実行させる。

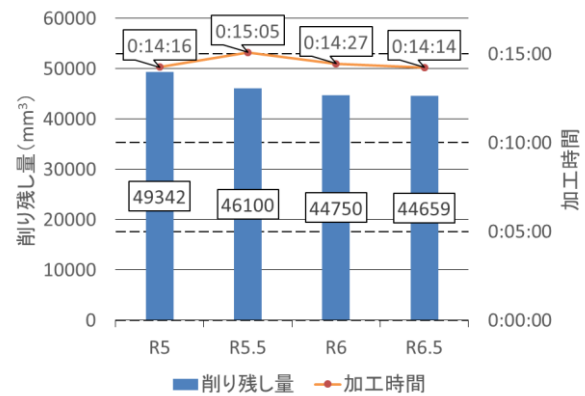
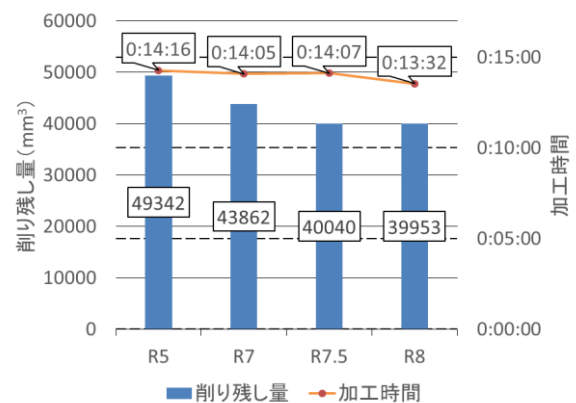
切削シミュレーション実行後、NCプログラム作成に使用した図1のCADモデルを読み込み、比較検査でCADモデルと切削後モデル(図4)を使用して削り残しを表示させ、切削シミュレータの“Xキャリパー”機能を用いて削り残しの体積を計測する(図5)。また、Vericutレポートを作成して総合加工時間を算出させる。以上のことで得られた加工時間と削り残し量の計測値をグラフ化し、グラフより加工工程改善の考察をした。

すべての図表は必ず本文中で引用して説明する。

### 3. シミュレーション結果及び考察

シミュレーションより得られた工具径ごとの加工時間と削り残し量を図6, 7のグラフに示す。基となる工具半径  $R = 5\text{ mm}$  と  $R = 5.5 \sim 8\text{ mm}$  を比較すると、 $R = 5\text{ mm}$  では傾斜面と十字ポケットが同じ工具を使用しているので工具交換をせずに加工している。だが、 $R = 5.5\text{ mm}$  では傾斜面と十字ポケットとの間に工具交換回数が2回増えたため加工時間が大きく増加しているが工具径を大きくしているので削り残し量は大きく減少している。その後は加工時間、削り残し量共に減少していき、 $R = 6.5\text{ mm}$  を境目としてどちらも  $R = 5\text{ mm}$  よりも値が下回る結果となった。 $R = 7\text{ mm}$  から  $R = 7.5\text{ mm}$  で加工時間が増加しているのが確認できるが、これはCAMの仕上げ代が小数点4桁まで入力可能であるので、小数点以下の数値での誤差が生じていると考えられる。なので、他の工具径でも小数点以下の数値を設定すればさらに削減できると考えられる。

また、 $R = 5 \sim 6\text{ mm}$  と  $R = 7 \sim 8\text{ mm}$  の2箇所では削り残し量が大きく減少した後に加工時間も大きく減少するという現象が確認できた。だが、今回使用した工具径以外でも、この現象が特定の条件下で起こるものであるのかは確認できなかった。

図6 シミュレーション結果( $R = 5 \sim 6.5\text{ mm}$ )図7 シミュレーション結果( $R = 5, 7 \sim 8\text{ mm}$ )

### 4. 結言

本研究では、CAMで仕上げ代を付け異なる工具径  $R = 5 \sim 8\text{ mm}$  のNCプログラムを作成し、切削シミュレータで5軸制御工作機械を用いた切削シミュレーションを行い、加工時間と削り残し量を求めて加工工程改善について考察した。

その結果、 $R = 6.5\text{ mm}$  を境目に工具径が大きくなると  $R = 5\text{ mm}$  よりも加工時間と削り残し量が下回るのがわかった。また、削り残し量が大きく減少した後に加工時間も大きく減少するという現象も確認できた。今後さらに詳細な検討を行うことで、加工工程改善のためのより実用的な指針を示していく予定である。

### 参考文献

- [1] T.SEKINE and T.OBIKAWA, "Novel path interval formulas in 5-axis flat end milling", *Applied Mathematical Modelling*, 39, 12 (2015), 3459.
- [2] T.SEKINE, T.OBIKAWA and M.HOSHINO, "Establishing a Novel Model for 5-Axis Milling with a filleted end mill", *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 6, 2 (2012), 296.
- [3] 竹内芳美, “多軸・複合切削加工”, (2008), 日刊工業新聞社.
- [4] 竹内芳美, “多軸・複合加工用CAM”, (2013), 日刊工業新聞社.
- [5] 竹内芳美, 青山藤詞郎, 新野秀憲, 光石衛, 国枝正典, 今村正人, 三井公之, “機械加工ハンドブック”, (2006), 株式会社朝倉書店.