

工作機械の選定に向けた形状創成運動に基づく工程分析と加工時間による工程評価に関する研究

東京農工大学 ○小杉 理久, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

要 旨

多軸・複合化した工作機械の構造は複雑化し、加工工程に適した使用機種を選定は簡単ではなく、工程設計の効率化のためには機種選定の省力化が不可欠である。そこで本研究では、先行研究の形状創成運動に基づく工程分析方法を拡張し、認識された加工フィーチャに対応した加工作業へ保有工具を反映するとともに、複数の工作機械を使用する加工工程にも適用できるようにした。また、算出された加工工程を評価するために加工時間の高速な計算方法を提案し、その有用性をケーススタディで検証した。

1. 緒 論

近年の製造業では多品種少量生産の傾向が顕著になり、機械加工の生産リードタイムにおける加工準備時間の割合が増加している。このため、機械加工の高効率化に向けて、作業者に著しく依存していた使用機種の選定などの工程設計を計算機により支援することが望まれている。

2. 研究目的

先行研究では、加工作業を決定付ける特徴形状である加工フィーチャを除去領域から認識し、工作機械の構造ごとに適切な加工工程案を算出する方法が提案されている⁽¹⁾。しかし、複数の工作機械を使用する加工工程は取り扱っておらず、各工作機械の保有工具による加工作業の差異も考慮されていない。また、相当数の加工工程案を評価するために、CAM ソフトウェアを用いて加工時間を算出していたが、多大な時間を要していた。そこで本研究では、保有工具を加工作業へと反映し、加工工程の途中で工作機械を変更できるように工程分析方法を拡張する。また、簡便な式で加工時間を計算することにより、加工工程案を高速に評価して機械加工の効率化に寄与することを目的とする。

3. 工程分析方法

3.1 工作機械の形状創成機能記述

本研究では、形状創成運動に基づいて工作機械の機能を表現するために、形状創成機能記述と呼ばれる表記方法を用いる⁽²⁾。この表記方法の例を図1に示す。機械座標系の各軸に平行な直線運動をそれぞれ X, Y, Z, これらの軸まわりの回転運動をそれぞれ

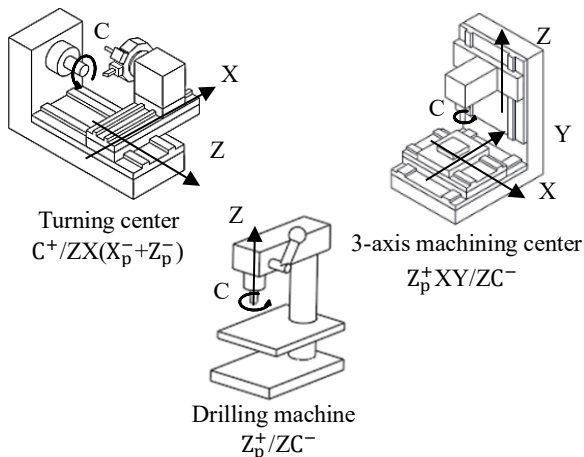


Fig. 1 Description of machine tool structure based on form-generating motions

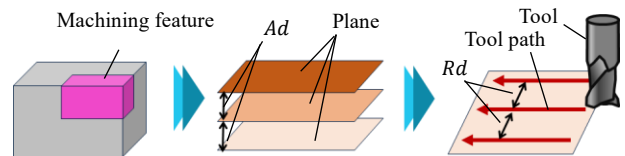


Fig. 2 Tool paths in milling for calculating machining time

A, B, C とし、「工作物側運動機能/工具側運動機能」で工作機械の機能を表現する。また、工具の回転運動に土の記号を付与して工具の向きを区別する。ホルダなどの固定側から工具や工作物の先端に向かうベクトルが機械座標系における正方向であれば「+」を、逆であれば「-」を付与する。さらに、非回転工具と工作物の姿勢を、添え字「p」を追加し、直線運動機能と区別して表す。

3.2 加工フィーチャの認識

加工工程を算出するにあたって重要となるのが、加工フィーチャと呼ばれる加工作業を特徴付ける領域の認識である。先行研究では、除去領域を加エプリミティブと呼ばれる単純形状に分割し、作業順序を割り当てることで加工フィーチャを認識する手法が提案されている。本研究では作業順序に加え、工程記述と呼ぶ形状創成運動に基づいた工程情報を割り当てながら加工フィーチャを認識し、加工工程案の算出に用いる。

3.3 工程分析

拡張した工程分析方法では、素材形状と目標形状の CAD モデル、形状創成運動に基づいて工作機械の機能を表した形状創成機能記述および保有工具の情報を入力する。次に、認識された加工フィーチャの加工作業の候補として、形状創成運動に基づく作業記述を算出する。このとき、保有工具を参照して、その加工作業で不要な軸の運動を作業記述から削除する。例として、ドリルと直径が一致する円柱状の加工フィーチャが存在する場合、作業記述から円柱軸以外の運動を削除する。最後に、工作機械の形状創成機能記述と一致する加工作業の作業記述を加工フィーチャに割り当てる。以上を工作機械の機能記述と一致する作業記述が存在しなくなるまで繰り返し、作業順序に従って作業記述を列挙した工程分析結果を得る。複数の工作機械を使用する場合には、先に用いる工作機械での加工終了時の工作物形状を、後で用いる工作機械による加工作業の素材形状とし、加工工程を算出する。なお、工作機械の使用順序は旋削加工が可能な工作機械を優先する。

4. 加工時間による工程評価

前章で算出した加工工程の各加工作業での加工フィーチャの形状、作業記述、切削条件から加工時間を計算する。このとき、各加工作業をフライス加工、旋削加工、ドリル加工の3種類に分類し、それぞれ提案する簡便な式を用いる。

4.1 フライス加工

フライス加工の場合には、加工フィーチャと軸方向切込み深さ Ad [mm] から切込み回数を求め、図2のように加工フィーチャに切込みごとの平面を生成し、半径方向切込み深さ Rd [mm] から平面ごとのパス数を求め、生成した各平面に走査線状の簡易的な工具経路を想定する。1つのパスの長さ L [mm] と送り速度 V_f [mm/min] を用いて、次式で加工時間 t_m [s] を計算する。

$$t_m = \frac{60 \cdot L}{V_f} \quad (1)$$

4.2 旋削加工

旋削加工の場合には、切込み深さ、回転数、1回転あたりの送り量を用いる。加工フィーチャの外径 D_1 [mm]、内径 D_2 [mm] と切込み深さ d [mm] を用いて、式(2)より切り込み回数 n を求める。切り込み回数 n と切削距離 l [mm]、回転数 N_t [min⁻¹]、1回転あたりの送り量 f_t [mm/rev] を式(3)に代入し、加工時間 t_t [s] を算出する。

$$n = \left\lceil \frac{D_1 - D_2}{d} \right\rceil \quad (2)$$

$$t_t = n \cdot \frac{60 \cdot l}{f_t \cdot N_t} \quad (3)$$

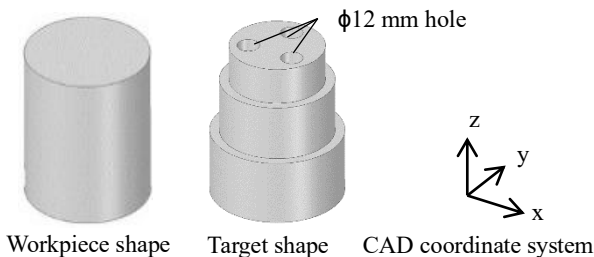


Fig. 3 Target shape and workpiece shape

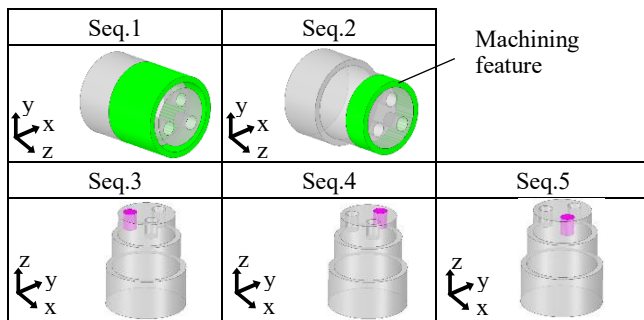


Fig. 4 Recognized machining features

Turning center $(X, Y, Z)=(x, y, z)$ 1: C^+/ZXX_p^- 2: C^+/ZXX_p^-	Turning center $(X, Y, Z)=(x, y, z)$ 1: C^+/ZXX_p^- 2: C^+/ZXX_p^-
Machining center $(X, Y, Z)=(x, y, z)$ 3: $Z_p^+/XY/ZC^-$ 4: $Z_p^+/XY/ZC^-$ 5: $Z_p^+/XY/ZC^-$	Drilling machine $(X, Y, Z)=(x, y, z)$ 3: Z_p^+/ZC^- 4: Z_p^+/ZC^- 5: Z_p^+/ZC^-

(a) Machining process A

(b) Machining process B

Fig. 5 Obtained results of machining process analysis

Table 1 Calculated machining time

	Seq.1	Seq.2	Seq.3	Seq.4	Seq.5
Proposed formula [s]	42.9	17.1	15.7	15.7	15.7
CAM software [s]	41	17	15	15	15

4.3 ドリル加工

ドリル加工の場合には、回転数 N_d [min⁻¹]、1回転あたりの送り量 f_d [mm/rev]、加工フィーチャの穴深さ h [mm] を用いて、次式により加工時間 t_d [s] を算出する。

$$t_d = \frac{60 \cdot h}{f_d \cdot N_d} \quad (4)$$

5. ケーススタディ

拡張した工程分析方法と提案した加工時間計算方法の有用性を確認するため、図3に示す目標形状と素材形状を用いてケーススタディを実施した。

工作機械は図1に示すターニングセンタと3軸マシニングセンタ、ボール盤を想定した。また、各工作機械は工具を1つだけ保有し、それぞれ旋削チップ、φ8 mmのスクエアエンドミル、φ12mmのドリルを想定した。図4に認識された加工フィーチャを示す。ターニングセンタを用いて加工を開始し、機能記述と一致する作業記述が存在しなくなれば、使用する工作機械を変更する。3軸マシニングセンタに変更した場合に算出された加工工程Aと、ボール盤に変更した場合に算出された加工工程Bを図5に示す。

ボール盤を使用した場合には、作業順序2~6において、円柱軸以外の運動が削除されていることが確認できる。この結果から、形状創成運動だけでなく保有工具を加工作業へ反映できること、複数の工作機械を使用する加工工程の工程分析が実現できたことが分かる。

また、加工工程Aにおいて、計算した加工時間とCAMソフトウェアのESPRIT (DP Technology) を利用して求められた加工時間を表1にまとめて記す。このとき、各工具は推奨されている切削条件で使用することとした。計算時間は、提案した簡便な式では2[s]、CAMソフトウェアを用いた場合は26[min]であり、全加工時間はそれぞれ107[s]と103[s]となった。この結果から、提案した加工時間計算方法は、高速に加工工程を評価するために有効であることが分かる。

6. 結 論

様々な加工工程案を算出し、高速に加工工程案を評価するために、工程分析方法を拡張するとともに加工時間計算方法を提案した。拡張した工程分析方法では、工作機械の保有工具を加工作業へ反映し、複数の工作機械を使用する加工工程も算出できることを確認した。また、提案した加工時間計算方法では、加工フィーチャの形状、作業記述、切削条件から比較的精度良く加工時間を計算でき、高速な加工工程の評価に有効であることを確認した。

文 献

- (1) Komatsu, Y., and Nakamoto, K., "Machining process analysis for machine tool selection based on form-shaping motions", Precision Engineering, Vol. 67, (2021), pp.199-211.
- (2) Ito, Y., and Shinno, H., "Structural description and similarity evaluation of the structural configuration in machine tools", International Journal of Machine Tool Design and Research, Vol. 22, No. 2 (1982), pp. 97-110.