

複合加工機による部品加工の効率化に向けた工程設計に関する研究

東京農工大学 ○渡辺 雄斗, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

要 旨

近年、複合加工機による加工工程の集約化が進む一方で工程設計が複雑化しており、加工準備時間の短縮に向けた工程設計支援システムへの期待が高まっている。そこで本研究では、複合加工機を対象に、工具姿勢などにより加工方法ごとに異なる削り残しに応じて認識した加工フィーチャに基づく工程設計支援システムを開発し、その有用性をケーススタディで確認した。

1. 緒 論

近年、製造業では多品種少量生産の傾向が顕著であり、生産現場ではより効率的な生産システムが求められている。このため機械加工の分野では、ターニングセンタと5軸マシニングセンタ両方の機能を併せ持つ複合加工機による加工工程の集約化が進んでいる。しかし、複合加工機は加工方法や駆動軸の自由度が高く、加工箇所や加工順序の決定などの工程設計にかかる時間が増大しており、それらの製造情報を自動で決定できる工程設計支援 (CAPP: Computer Aided Process Planning) システムが望まれている。

2. 目 的

加工準備時間の短縮に向けて工程設計支援システムを開発するためには、加工方法、加工箇所、加工順序、工具などを自動で決定する必要がある。そこで重要となるのが、加工工程を特徴付ける領域である加工フィーチャの認識である。先行研究では素材形状と目標形状の CAD データから除去領域を抽出し、それを単純形状に分割した加工プリミティブに加工順序を割り当てながら加工フィーチャを認識する手法が提案されている²⁾。しかし、取得する加工プリミティブが限定されており、ミリングの工具姿勢の自由度が低いために、不要な姿勢変更や削り残しが生じる可能性があった。また、目標形状に円筒面が存在する場合にのみ、円筒状の加工プリミティブが取得され、旋削のように素材を回転させる加工 (以下、旋削系の加工) が加工方法の候補となっていた。

そこで本研究では、円筒面が存在しない目標形状においても旋削系の加工を候補とするため、旋削系の加工に向けた加工プリミティブを新たに取得し、またミリングの工具姿勢に応じた削り残しを反映するために、加工方法と共に工具姿勢を決定しながら加工フィーチャを認識する。これにより、旋削系の加工や割り出し5軸加工にも対応できる複合加工機を対象とした工程設計支援システムを開発することを目的とする。

3. 開発した工程設計支援システム

本研究で開発した工程設計支援システムでは、複合加工機を用いた部品加工を想定し、素材形状と目標形状の CAD データに加え、ミリングで用いる工具ホルダの最外径と工具の最長突出し長さを入力して加工フィーチャを認識する。また、素材形状と目標形状は CAD 座標系の X 軸が旋削主軸の中心軸と一致するものとする。なお、本研究では市販 CAD ソフトウェア (Simple Modeler : アイコクアルファ) の API を利用して工程設計支援システムを開発している。

3.1 取得する加工プリミティブの追加

加工フィーチャを認識するために除去領域を分割して単純形状の加工プリミティブを取得するが、本研究では新たに旋削系の加工に向けた加工プリミティブを追加する。例えば、図 1(a) に示すような目標形状の場合、旋削主軸の中心軸と垂直な面を含む平面で同図 (b) のように目標形状を分割する。次に、分割された各形状を包含し、旋削主軸と中心軸が一致する最小の円柱を同図 (c) に示すように生

成する。これらの円柱を結合することで疑似的な目標形状を用意し、先行研究と同様に除去領域を分割することで、同図 (d) に示すような円筒状の加工プリミティブを追加する。

3.2 工具姿勢候補の選定

上記で取得された加工プリミティブに対する工具姿勢を決定するために、その候補をまず選定する。このとき、工具姿勢候補を構成するベース方向を加工プリミティブの目標形状に接する面である創成面を基に求める。まず、円筒状の創成面が存在する場合には、その円筒の中心軸に平行な方向を検出する。それ以外の場合には、創成面に平行または垂直な方向の中で、創成面同士が共有している辺に平行または垂直な方向を検出する。最終的に、図 2 に示すように、上記で検出された方向の中から、法線との内積が負になる創成面がない方向を、ベース方向とする。

次に、得られたベース方向と工具軸が一致した工具姿勢において、工具ホルダが干渉するかを判定する。このとき、図 3 に示すように

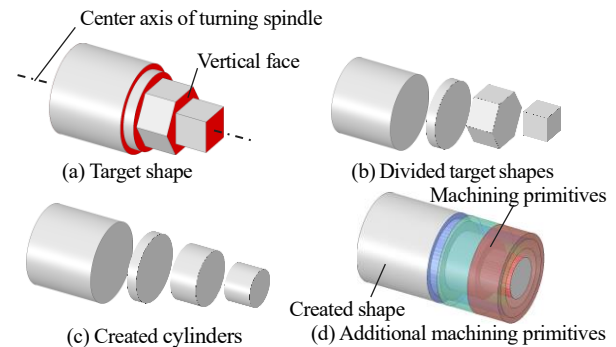


Fig. 1 Additional acquisition of circular machining primitives

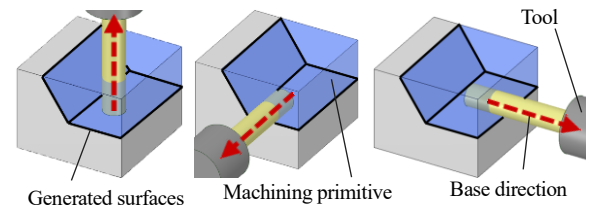


Fig. 2 Example of detected base directions

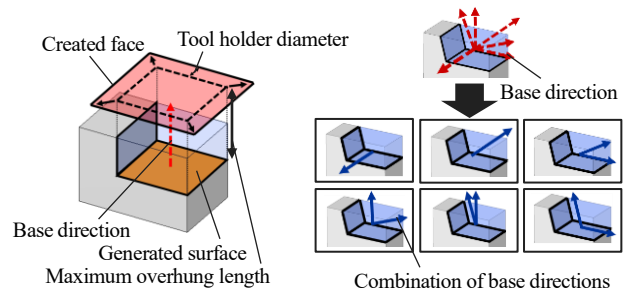


Fig. 3 Tool interference check

Fig. 4 Tool posture candidates

判定するベース方向の基となった創成面を、工具ホルダの最外径分拡大し、最長突き出し長さだけ離れた位置に生成して判定に用いる。ここで、ベース方向が得られない、もしくは全てのベース方向が干渉する場合には、その加工プリミティブにはミリングを割り当てない。一方、それ以外の場合は、干渉しないベース方向のみで全ての創成面を加工できるため、図4に示すように全ての創成面を加工できるベース方向の組合せを取得し、これらを工具姿勢候補とする。前節で追加取得された旋削主軸の中心軸と一致する円筒状の加工プリミティブでは、CAD座標系のZ軸方向を工具姿勢とする。

3.3 加工フィーチャの認識

最後に、先行研究と同様に加工プリミティブに加工順序を割り当て、さらに加工方法と共に工具姿勢を決定しながら加工フィーチャを認識する。このとき、複数の工具姿勢が割り当てられた加工プリミティブでは図5に示すようにそれぞれの工具姿勢に対して、平行でも垂直でもない創成面を包括する直方体を作成する。加工プリミティブから作成された直方体と重なっている領域を除去することで、その工具姿勢で加工できる領域である新たな加工プリミティブとする。これにより、元の加工プリミティブと新たな加工プリミティブの差分領域が、各工具姿勢で加工した際の削り残しとして取得できる。

4. ケーススタディ

開発したシステムの有用性を確認するため、図6に示す目標形状と素材形状に対してケーススタディを実施した。入力したホルダの最外径は50mmと工具の最長突き出し長さは30mmである。ここでは、旋削系の加工を優先するために、旋削主軸と中心軸が一致する円筒状の加工プリミティブから先に加工順序を割り当てた。その他の加工プリミティブには、ミリングを加工方法として割り当て、工具姿勢は加工全体を通して工具姿勢の種類が少なくなるように決定した。また、穴や溝形状以外の加工プリミティブを優先し、同じ工具姿勢で加工する加工プリミティブが連続するように加工順序を割り当てた。出力された加工フィーチャを表1に示す。

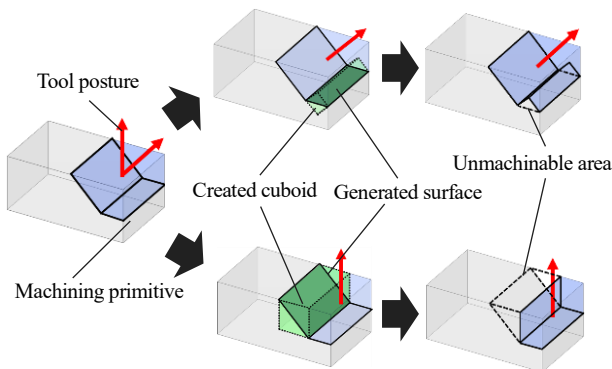


Fig. 5 Division of machining primitive

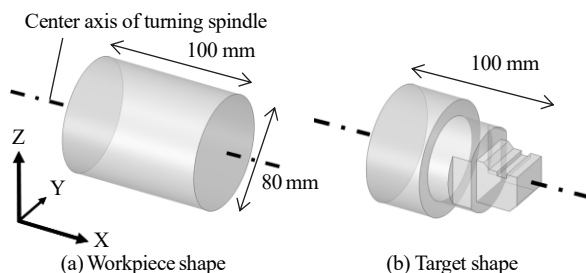


Fig. 6 Input model for case study

Table 1 Recognized machining features according to cutting sequence

	Turning type		Milling type
1	Dv: (0, 0, 1) 	7	Dv: (0, -1, 0)
2	Dv: (0, 0, 1) 	8	Dv: (0, -1, 0)
3	Milling type Dv: (0, 0, 1) 	9	Milling type Dv: (0, 0, -1)
4	Milling type Dv: (0, 0, 1) 	10	Milling type Dv: (1, 0, 1)
5	Milling type Dv: (0, 1, 0) 	11	Milling type Dv: (1, 0, 1)
6	Milling type Dv: (0, 1, 0) 	12	Milling type Dv: (0, 0, 1)

Dv: Direction vector of tool posture

加工順序1, 2の加工方法は旋削系の加工, 加工順序3から12にはミリングとなっている。加工順序2の加工フィーチャでは、旋削系の加工に向けた加工プリミティブを新たに取得したことにより、目標形状に円筒面が含まれていない場合にも旋削系の加工を割り当てられている。また、加工順序3と4のようにミリングの同じ工具姿勢で加工する加工フィーチャが連続して認識できていることも分かる。さらに、加工順序3, 4の工具姿勢で加工しきれない領域が加工順序10の加工フィーチャとして認識されており、削り残しを反映した工程設計を施していることが確認できた。

5. 結論

複合加工機による部品加工を対象に、工具姿勢などにより加工方法ごとに異なる削り残しに応じて認識した加工フィーチャに基づく工程設計支援システムを開発した。ケーススタディの結果、円筒面が存在しない目標形状においても旋削系の加工を加工方法の候補にできていること、工具姿勢の自由度が高く、様々な削り残しが発生する割り出し5軸加工の工程設計を施すことができていることから、本システムの有用性を確認した。

参考文献

- 1) 杉村延広, 工程設計支援システムの現状と将来, 精密工学会誌, Vol. 72, No. 2, (2006), pp. 165-170.
- 2) 井上友貴, 中本圭一, 複雑部品の切削加工に向けた工程設計支援システムのための加工フィーチャ認識手法の提案, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 850, (2017), DOI: 10.1299/transjsme.16-00574