

## ジグの制約を反映した部品加工用工程設計支援システムの開発

東京農工大学 ○小松 航, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

### 要 旨

多品種少量生産の傾向が顕著となり、切削加工のさらなる高能率化のためには工程設計の自動化に向けたシステムの開発が必要である。そこで本研究では、機械部品の切削加工で一般に用いられるジグによるワークの把持位置と、それに基づいて工程を決定するための加工フィーチャを出力する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、生産リードタイムにおける加工準備時間の割合が高くなっている。このため、製造業の更なる高能率化には加工時間だけでなく、その準備時間の削減が不可欠である。一方、コンピュータ技術の発達により、数値制御工作機械を扱う際に必要な NC (Numerical Control) データを、CAM (Computer Aided Manufacturing) ソフトウェアを用いて生成できるようになっている。しかし、現状の CAM ソフトウェアでは加工工程に関する情報の入力を要するため、作業者に多大な時間と労力を強いている。そこで、従来は作業者に著しく依存していた加工情報の決定を、コンピュータにより代替する工程設計支援 (CAPP: Computer Aided Process Planning) システムの開発が望まれている<sup>1)</sup>。

### 2. 加工フィーチャの認識

加工準備時間を短縮するため、工程設計支援システムには加工箇所や工具、加工方法、加工順序などの加工工程に関する情報を自動的に決定することが求められる。ここで重要となるのが、加工フィーチャと呼ばれる、加工工程を特徴付ける領域の認識である。先行研究では、目標形状と素材形状の CAD データの差分から除去領域を抽出し、それを単純形状に分割した後に各加工順序を決定しながら、加工フィーチャを認識する手法が提案されている<sup>2)</sup>。しかし、この手法では一般的な機械部品の切削加工時に用いられるジグによる制約については考慮されていなかった。そこで本研究では、ジグの種類や仕様を基にワークの把持位置を決定し、これらの制約を満たしながら加工フィーチャを認識できる工程設計支援システムの開発を目的とし、ケーススタディで有用性を検証する。

### 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、直方体の素材と目標形状の CAD データに加えて、ジグと工具およびホルダの仕様を入力情報とし、ジグによるワークの把持位置および認識された加工フィーチャを出力する。ジグにはバイスとクランプを、工作機械には 3 軸制御のマシニングセンタを想定している。なお、本研究では CAD ソフトウェアとしてアイコクアルファ製の Simple Modeler を使い、その API を使用して工程設計支援システムを開発している。

#### 3.1 バイスを用いる場合

ジグにバイスを用いる場合には、バイスの仕様として、口深、口幅、最大口開、最低限確保すべき把持面積を入力する。把持位置は、A、B の 2 種類用意した候補から、把持替え回数やシミュレーションにより予測される加工時間などを参考に、好ましい把持位置を選択できる。このとき候補 A では、図 1(a) に示すように、ワークの中心を原点とした CAD 座標系の XY、YZ、ZX 平面でワークを分割し、除去領域の体積の最も大きい面が口開側とする。また候補 B では、同図(b)に示すように、加工プリミティブの個数が最も多い面が口開側とする。ここで加工プリミティブとは、加工フィーチャを認

識する前の除去領域を分割した単位形状である<sup>3)</sup>。上記のワーク口開側の面を最初に加工する面として、必要な把持面積を確保した上で、より多くの加工プリミティブを加工できるように、ワークと口金が接する面積および接触長さを基に把持位置を決定する。さらに、工具とホルダの不適切な干渉の有無を確認しつつ、ジグから離れた位置にある加工プリミティブから順に加工順序を割り当てる。以上の処理を、必要に応じて口開側の面を変更しながら可能な限りの加工プリミティブに加工順序を割り当てるまで繰り返す。

#### 3.2 クランプを用いる場合

ジグにクランプを用いる場合、最初に使用するクランプの個数を 2 つか、あるいは最大 4 つかを選択する。クランプの仕様として入力する情報は、クランプの幅、長さ、厚さ、ワークとの接触長さ、把持可能なワークの最大高さである。クランプにおける把持位置決定の流れを図 2 に示す。まず、加工プリミティブの最も多い面をワークの上面 (工具主軸側) とする。次に、上面を構成する辺において、辺から接触長さの幅を有する面を作成し (図 2(ii))、その面に接する加工プリミティブを検出する (図 2(iii))。その後、検出した加工プリミティブを元の辺へ投影し (図 2(iv))、重複部分を辺から取り除く (図 2(v))。最終的に、残った線分の中で最も長いものの中心をクランプでの把持位置の候補とする (図 2(vi))。

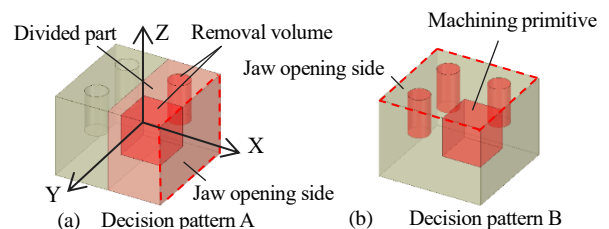


Fig. 1 Decided jaw opening side of workpiece

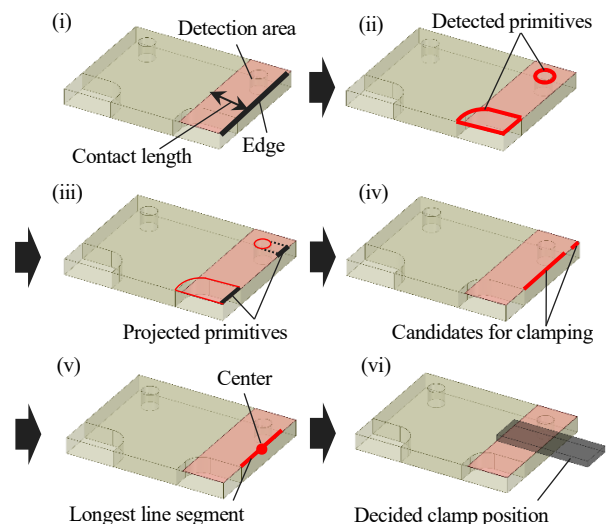


Fig. 2 Flow of decision of clamping position

ここで、クランプを2つ使用する際には短辺側の対向する2辺を優先して候補とし、加工プリミティブと干渉する場合には長辺側とする。また、クランプを最大4つまで使用する際には4辺全てで候補を設けるが、加工プリミティブと干渉する辺では把持しないものとし、把持位置とクランプの個数を決定する。なお、加工プリミティブと干渉しないクランプが1つしかない場合には、他の辺において加工プリミティブと干渉する候補から距離が最大の把持位置を採用し、干渉している加工プリミティブは加工せず、2つのクランプでワークを把持する。また、干渉しないクランプが1つもない場合には、1つ目のクランプの把持位置を候補から任意に選び、2つ目は上記と同様に別の辺の候補を採用し、2つのクランプでワークを把持する。これらの把持位置決定後には、ワークの中心から離れたものから優先して加工順序を割り当てる。以上の処理を可能な限りの加工プリミティブに加工順序を割り当てるまで繰り返す。

### 3.3 バイスとクランプの両方を用いる場合

バイスとクランプどちらも使用する場合には、先にバイスでワークを把持して加工順序を可能な限り割り当て、不可能となった段階でクランプに切り替えて加工順序を割り当てるバスタイプと、先にクランプで把持して加工順序を可能な限り割り当て、その後バイスに切り替えるクランプタイプの2種類の候補を用意している。

## 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3**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。ジグには**図4**に示すバイスとクランプを用いた。バイスの仕様は、口深30mm、口幅80mm、最大口開100mm、最低限確保すべき把持面積1700mmであり、クランプの仕様は、幅20mm、長さ60mm、厚さ5mm、接触長さ20mm、把持可能なワークの最大高さ30mmである。バイスでの把持位置は候補Bとし、クランプは最大4つまで使用するものとした。バイスとクランプの両方を用いる場合を想定して、バスタイプとクランプタイプのそれぞれで出力された把持位置および認識された加工フィーチャを加工順序に従って**表1**に示す。

バスタイプでは、加工順序1から3まではバイスで把持し、それ以降はバイスでは加工不可能と判断され、クランプで把持するワークの位置が算出された。一方、クランプタイプでは、加工順序1から3までは加工プリミティブとの干渉を避けて3つのクランプで把持し、それ以降はクランプでは加工不可能となり、バイスで把持するワークの位置が算出された。また、ワークの把持替え回数はバスタイプが3回、クランプタイプが2回となった。次に、ワークの材質をA5052とし、 $\phi 4, 6, 8, 10, 25$ mmのスクエアエンドミルの中で使用可能な最大径の工具を使用することを想定し、切削条

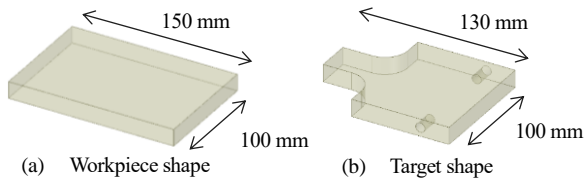


Fig. 3 Input data for case study

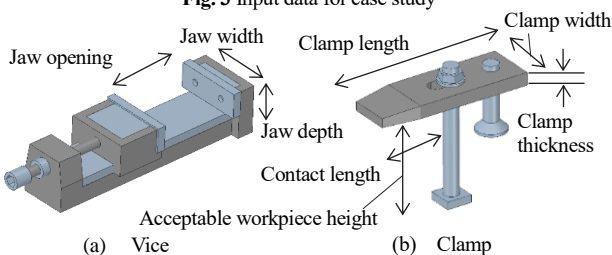


Fig. 4 Assumed jig data for case study

Table 1 Machining sequence and recognized machining features

	Vice type	Clamp type
1	Blind hole Machining primitive Vice	Face P Clamp Machining primitive
	Blind hole Machining primitive Vice	Step Machining primitive
2	Blind hole Machining primitive Vice	Step Machining primitive
	Face P Machining primitive Vice	Step Machining primitive
3	Step Clamp Machining primitive	Blind hole Machining primitive Vice
	Step Machining primitive	Blind hole Machining primitive Vice
4	Step Clamp Machining primitive	Blind hole Machining primitive Vice
	Step Machining primitive	Blind hole Machining primitive Vice
5	Step Clamp Machining primitive	Blind hole Machining primitive Vice
	Step Machining primitive	Blind hole Machining primitive Vice

件は工具の推奨条件を適用して Fusion 360 を用いて加工シミュレーションを行った。その結果、ジグやワークの取付けや取外しを除いた加工時間は、バスタイプが6分31秒、クランプタイプが5分54秒となった。これらの結果から、システム使用者は好ましい加工工程を選択できることを確認した。

## 5. 結論

機械部品の切削加工で一般に用いられるジグによる制約を反映することができる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、バイスとクランプそれぞれでワークの把持位置が決定できること、把持位置に基づいて加工フィーチャを認識できること、使用者が好ましい加工工程を選択できることから、部品加工の工程設計支援に向けた本システムの有用性が確認できた。

## 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.16-00249.