

# 加工フィーチャに基づいた複合加工機の作業設計支援に関する研究

東京農工大学 ○五十嵐 岳史, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

## 要 旨

切削加工では加工方法や使用工具などを作業者の技能や経験から決定することは多いが、加工準備時間の短縮と作業者によるばらつき  
の解消には自動決定が望まれる。そこで先行研究で提案された複合加工機に向けた加工フィーチャに基づき、作業設計を支援するシステム  
を開発することを目的とした。認識した加工フィーチャに対して作業設計を施したケーススタディから、本システムの有効性を確認した。

## 1. 緒 論

近年の製造業では多品種少量生産の傾向が顕著であり、生産リー  
ドタイムにおける準備などの非加工時間の割合が増加している<sup>1)</sup>。  
一方、複合加工機の普及により工程集約型の高能率加工が可能とな  
ったが、CAM ソフトウェアの入力となる加工情報の決定に時間を  
要するため準備時間の短縮は進んでいない。このため従来作業者が  
決定していた加工方法や使用する工具などの加工情報を自動的に  
決定する工程設計支援 (CAPP: Computer Aided Process Planning) シ  
ステムの開発が望まれている。

## 2. 工程設計支援システム

工程設計支援システムでは、一般に加工フィーチャと呼ばれる加  
工工程を特徴付ける領域を認識する。本研究で取り扱う加工フィー  
チャを図1に示す<sup>2)</sup>。この加工フィーチャは、素材形状と目標形状  
の差である除去領域を分割した基本形状要素となる加工プリミ  
ティブと、創成面の情報を基に認識される。創成面とは加工プリミ  
ティブが所有する面の中で目標形状と接する面であり、創成面の数や  
面積によって加工順序を決定する。また加工フィーチャは、円柱形  
状と直方体形状に大別でき、それぞれが有する穴の有無も考慮する。  
先行研究では素材形状と目標形状の CAD モデルから加工フィー  
チャを自動認識できるようになっている<sup>3)</sup>。しかし、CAM ソフトウ  
ェアの入力となる加工方法や使用工具などの加工情報の決定は作業  
者に依存しており、加工準備時間の短縮の妨げとなっていた。

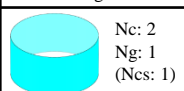
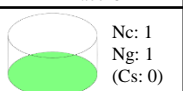
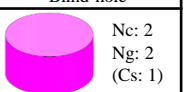
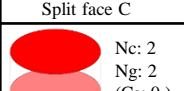
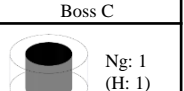
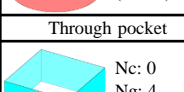
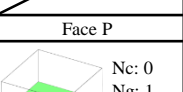
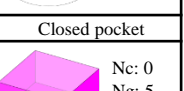
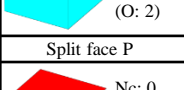
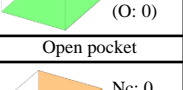
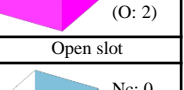
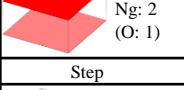
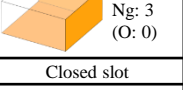

C: Cylinder P: Prismatic Nc: Number of circle Ng: Number of generated surface Cs: Number of curved surface O: Opposite pair of generated surface H: Hole		
Through hole  Nc: 2 Ng: 1 (Ncs: 1)	Face C  Nc: 1 Ng: 1 (Cs: 0)	Blind hole  Nc: 2 Ng: 2 (Cs: 1)
Split face C  Nc: 2 Ng: 2 (Cs: 0)		Boss C  Ng: 1 (H: 1)
Through pocket  Nc: 0 Ng: 4 (O: 2)	Face P  Nc: 0 Ng: 1 (O: 0)	Closed pocket  Nc: 0 Ng: 5 (O: 2)
Split face P  Nc: 0 Ng: 2 (O: 1)	Open pocket  Nc: 0 Ng: 3 (O: 0)	Open slot  Nc: 0 Ng: 3 (O: 1)
Step  Nc: 0 Ng: 2 (O: 0)	Closed slot  Nc: 0 Ng: 4 (O: 1)	Boss P  Ng: 1 (H: 1)

Fig. 1 Proposed machining features

## 3. 作業設計の自動化

上記の問題を解決するために、CAM ソフトウェアの入力となる  
加工情報を自動で決定するシステムを開発した。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, CAM ソ  
フトウェアとして DP Technology 製の ESPRIT, システムの開発環  
境として、Space Claim API を用いた。

開発したシステムの流れを以下に示す。まず入力情報として、  
CAD ソフトウェア上のモデルとして表現された加工フィーチャと  
作業者が保有する工具の情報を入力する。次に、加工フィーチャの  
寸法を取得し、加工フィーチャに穴が存在する場合は、穴の寸法や  
位置も取得する。最後に、得られた加工フィーチャの幾何的な情報  
を基に、選択可能な加工情報を絞り込む。加工情報としては、ミ  
リングやターニングなどの加工方法、同心円や一方向といった工具経  
路パターン、工具経路の方向、使用する工具を対象とした。

各加工フィーチャに対して加工情報は以下のように定めた。円柱  
形状の加工フィーチャ Through hole と Blind hole の場合は高さを半  
径で割った値が2以上でかつ保有するドリル径と合う場合は穴加工、  
それ以外ではポケット加工とした。ポケット加工の工具経路は、図  
2のように加工フィーチャが創成面で囲まれていることから同心円  
外向きとした。Face C ではターニングとミリングを選択可能とした。  
ターニングの場合の工具経路方向は図3のように外径旋削と端面旋  
削の2種類を選択可能とした。ミリングの場合はポケット加工とフ  
ェースミル加工を選択可能とし、工具経路は図4のように加工フ  
ィーチャの側面に創成面が存在しないため同心円内向きとした。Split  
face C では、ターニングとミリングを選択可能とし、ターニングの  
場合は溝加工、ミリングの場合は図5のようなエンドミルを用いた  
スパイラル加工とした。

直方体形状の加工フィーチャではミリングを基本とした。Face P  
ではポケット加工とフェースミル加工から選び、図4のように加工  
フィーチャの側面に創成面が存在しないため工具経路は同心円内  
向きとした。Split face P ではミリングを選択し、工具経路はスパイ

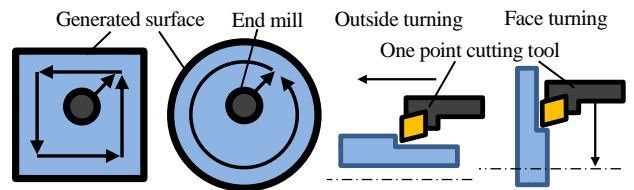


Fig. 2 Concentric out pattern

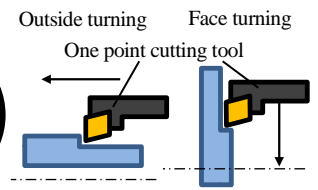


Fig. 3 Tool path direction of turning

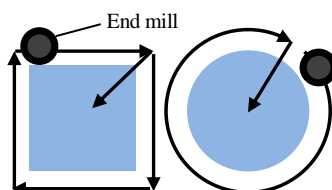


Fig. 4 Concentric in pattern

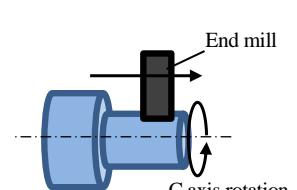


Fig. 5 Spiral roughing

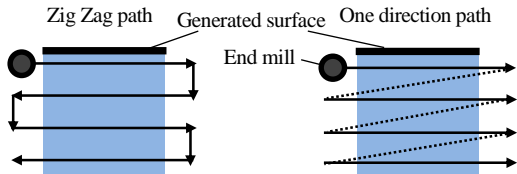


Fig. 6 Tool path for pocket-shape machining feature

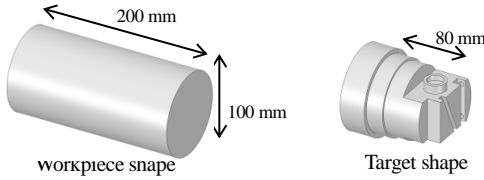


Fig. 7 Workpiece shape and target shape

加工とした。それ以外の直方体形状の加工フィーチャではポケット加工を選択し、Through pocket と Closed pocket では加工フィーチャが創成面で囲まれているため工具経路を同心円外向き、それ以外の図6に示すような側面に創成面が部分的に存在する加工フィーチャでは工具経路をジグザグと一方向から選択可能とした。工具経路の方向は、工具の進入方向に限られる Open slot や Closed slot では溝方向、それ以外では長手方向とした。ミリングにおける工具は工具径や有効長と加工フィーチャの寸法を比較し、使用可能な工具の候補を選出した。最後に、絞り込まれた加工情報のうち、選択が可能な加工情報を任意に決定する。これにより様々なパターンの加工情報が出力でき、柔軟な作業設計を行うことができる。

4. ケーススタディ

本研究で開発した作業設計支援システムの有効性を検証するためにケーススタディを行った。ケーススタディに用いた素材形状と目標形状を図7に示す。素材形状は直径 100 mm、長さ 200 mm の円柱で、素材は炭素鋼 S45C を想定した。工具には、ターニング用として外径と端面旋削用バイトと、ミリング用としてφ4, 6, 8, 25 mm の4種類のスクエアエンドミル、さらにφ6, 10 mm の2種類のドリルを想定した。先行研究によって認識された加工フィーチャに対して A, B, C の3パターンの作業設計を施した。

パターン A では、ターニングとミリングの両方を選択できる場合はターニングを割り当てた。ミリングの工具経路はジグザグで、最大径の工具を割り当てた。パターン B では、ターニングとミリングの両方を選択できる場合はミリングを割り当てた。ミリングの工具経路はジグザグで、最大径の工具を割り当てた。パターン C では、加工精度を重視した作業設計とした。ターニングとミリングの両方を取り扱える場合はターニングを割り当て、ミリングの工具経路は一方向で、最小径の工具を割り当てた。

また、全てのパターンにおいて、ターニングの際の切込み方向が複数選択できる場合は、切込み回数が少なくなる方向を選んだ。一方、ミリングでは面積が最大の面を底面として、ピックフィードは工具径の 50% とした。その他の切削条件は使用工具のメーカー推奨値を用いた。

開発したシステムの実行結果の例として、パターン A の作業設計で得られた加工工程を図8に示す。加工フィーチャが円柱状である工程 1, 2, 3 ではターニングが選択され、工程 4, 5, 6 では対向する創成面が存在しない Step の加工フィーチャであるため保有する最大径φ25 mm の工具が選択されている。工程 7, 8, 9 では加工フィーチャの幅から候補が絞られ、それぞれφ6, 8, 4 mm の工具が選択されている。工程 10, 11 ではドリル加工が選択され、工具径

Machining order N: Name of machining feature	Operation planning		Machining order N: Name of machining feature	Operation planning	
	M: Machining method C: Cutting tool T: Tool path pattern S: Spindle speed F: Feed rate D: Depth of cut P: Pick feed			M: Machining method C: Cutting tool T: Tool path pattern S: Spindle speed F: Feed rate D: Depth of cut P: Pick feed	
1	N: Face C	M: Turning-roughing C: One point cutting tool T: Face S: 366 min <sup>-1</sup> F: 128 mm/min D: 2 mm P: -	7	N: Step with Boss	M: Milling-pocketing C: End mill φ 6 mm T: Zig-zag S: 7162 min <sup>-1</sup> F: 372 mm/min D: 2 mm P: 3 mm
2	N: Face C with Boss	M: Turning-roughing C: One point cutting tool T: Outside S: 366 min <sup>-1</sup> F: 128 mm/min D: 2 mm P: -	8	N: Open slot	M: Milling-pocketing C: End mill φ 8 mm T: Zig-zag S: 5371 min <sup>-1</sup> F: 344 mm/min D: 2 mm P: 4 mm
3	N: Face C with Boss	M: Turning-roughing C: One point cutting tool T: Outside S: 407 min <sup>-1</sup> F: 142 mm/min D: 2 mm P: -	9	N: Open slot	M: Milling-pocketing C: End mill φ 4 mm T: Zig-zag S: 10000 min <sup>-1</sup> F: 473 mm/min D: 1 mm P: 2 mm
4	N: Step	M: Milling-pocketing C: End mill φ 25 mm T: Zig-Zag S: 3565 min <sup>-1</sup> F: 856 mm/min D: 3 mm P: 12.5	10	N: Through hole	M: Milling-drilling C: Drill φ 6 mm T: - S: 4076 min <sup>-1</sup> F: 408 mm/min D: - P: -
5	N: Step	M: Milling-pocketing C: End mill φ 25 mm T: Zig-zag S: 3565 min <sup>-1</sup> F: 856 mm/min D: 3 mm P: 12.5 mm	11	N: Through hole	M: Milling-drilling C: Drill φ 6 mm T: - S: 4076 min <sup>-1</sup> F: 408 mm/min D: - P: -
6	N: Step	M: Milling-pocketing C: End mill φ 25 mm T: Zig-zag S: 3565 min <sup>-1</sup> F: 856 mm/min D: 3 mm P: 12.5 mm	12	N: Blind hole	M: Milling-pocketing C: End mill φ 8 mm T: Concentric out S: 5371 min <sup>-1</sup> F: 344 mm/min D: 2 mm P: 4 mm

Fig. 8 List of machining operation based on operation planning (pattern A)

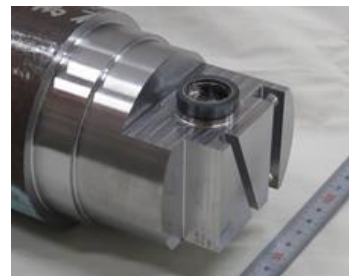


Fig. 9 Machining result based on operation planning (pattern A)

は加工フィーチャの直径と同じφ6 mm となっている。工程 12 では、創成面で囲まれた加工フィーチャであるため工具経路は同心円外向きとなっている。

最後に、上記の加工工程に基づいて加工実験を行った。複合加工機にはヤマザキマザック製の INTEGREX i-200 を用いた。実験の結果、図9に示すように開発したシステムで施した作業設計により問題なく目標形状通りに加工できることを確認した。

5. 結 論

複合加工機を対象として加工フィーチャから加工情報を自動決定する作業設計支援システムを開発した。また、作業設計の結果に基づき加工実験を行ってシステムの有効性を確認した。

参考文献

- 1) 韓 剛, 白瀬敬一, 若松栄史, 妻屋 彰, 荒井栄司; 切削加工の目的や環境の変動に柔軟に対応できる工程設計支援システムの開発, 日本機械学会第 5 回生産加工・工作機械部門講演会, pp299-300, (2004-11).
- 2) 上野 瑛, 中本圭一; 複合加工機用工程設計支援システムのための加工フィーチャの提案, 日本機械学会論文集, 81 巻, 825 号, 15-00108, (2015-05).
- 3) Y. Inoue, K. Koremura, K. Nakamoto ; Proposal of a CAPP System for Multi-tasking Machine Tools Dealing with Complicated Machining Operations, Proceedings of the 16th International Conference on Precision Engineering (ICPE2016), USB B307-8095, (2016-11).