設計情報を反映するための加工フィーチャ認識手法の提案

井上 友貴^{*1}, 中本 圭一^{*2}

Proposal of a feature recognition method to reflect design information

Yuki INOUE^{*1} and Keiichi NAKAMOTO^{*2}^{*1, *2} Department of Mechanical Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology
2-24-16 Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo 184-8588, Japan

Received: 8 November 2019; Revised: 25 December 2019; Accepted: 15 January 2020

Abstract

Manufacturing industries have tended towards high-mix low-volume production in recent years. As a result, there is always strong impetus to shorten the manufacturing lead time of mechanical products. Computer aided process planning (CAPP) has been studied to automate process planning in the field of machining. It has been noted that feature recognition is considered as a key technology to develop CAPP systems. In previous works, machining features have been usually recognized based on geometric information such as surface, volume, and so on. However, those machining features never satisfy designer's intents due to the recognition without dealing with design information such as geometric tolerances and surface roughness. Therefore, in this study, machining primitives having common design information are combined into one machining primitive and the combined machining primitive inherits the design information from the target shape. Then, the same machining sequence is allocated to some machining primitives which have the same design information. Moreover, machining feature is recognized for plural machining primitives by assuming as one generated surface when generated surfaces consist of the same plane or cylinder. From conducted case studies, it is confirmed that the developed CAPP system enables to recognize machining features by referring design information such as geometric tolerances and surface roughness.

Keywords : CAPP, Machining feature, Design information, Geometric tolerance, Surface roughness

1. 緒 言

製品の開発設計や生産設計において CAD (Computer Aided Design) ソフトウェアが広く用いられており、ここで作成された 3 次元モデルを基にして、CAM (Computer Aided Manufacturing) ソフトウェアでは数値制御工作機械による機械加工に必要な NC (Numerical Control) データの生成が可能になっている。

3 次元モデルを活用することで、デザインから設計、評価、生産へと至るリードタイムの更なる短縮が期待されているが、現状の生産現場では寸法公差や幾何公差、表面性状などの設計情報を含む 2 次元製図を併用する場合も多く、3 次元モデルを十分に活用しきれていない。そこで、日本自動車工業会 (JAMA) や電子情報技術産業協会 (JEITA) などでは、3 次元モデルに設計情報を含められるようにした 3D 単独図と呼ぶ 3 次元製図に関する団体規格を制定して運用している (藤沼, 2017) (島田, 2017)。さらに、3 次元製図を標準化して表記方法を規定し、作成者と使用者の利便性向上に向けて、デジタル製品技術文書情報に関する規格が日本産業規格において制定されている (金田, 2017)。

一方、近年の生産形態は多品種少量生産へと移行し、生産リードタイムに占める加工準備時間の割合が大きくなっている。機械加工の分野では、CAM ソフトウェアへの入力情報を生成する工程設計に多くの時間と労力を要することが一因であり、作業者に高い技能と多大な時間的負担を強いている。このため、加工準備にかかる時間の削減を目指し、従来は作業者が施していた工程設計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) システムの開発が求められている。

No.19-00414 [DOI:10.1299/transjsme.19-00414], J-STAGE Advance Publication date : 23 January, 2020

^{*1} 正員, 東京農工大学大学院 工学府 (〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16)

^{*2} 正員, 東京農工大学大学院 工学研究院

E-mail of corresponding author: y-inoe@st.go.tuat.ac.jp

加工フィーチャと呼ばれる特徴領域の認識が、工程設計支援システムの開発において重要と認識されているものの(杉村, 2006), 著者らを含め提案されているこれまでの手法は, 3次元モデルの幾何学的な情報のみに基づいて加工フィーチャを認識している. このため, これまでの加工フィーチャ認識手法を基に施された工程設計では, PMI (製品製造情報) として3次元モデルに付与される幾何公差や表面粗さなどの非形状情報は一切考慮されておらず, 設計者の本来の意図を満たせない場合がある. そこで本研究では, 近年の3次元製図の動向を参考に, 目標形状に付与された幾何公差等の非形状情報を含む設計情報を反映して加工フィーチャを認識する手法の確立を目的とする. なお, 本論文では従来の3次元モデルの幾何学的な情報と区別するため, 幾何公差等の非形状情報を特に設計情報と呼ぶ.

2. これまでの加工フィーチャ認識

これまでも, 様々な加工フィーチャとその認識に関する研究が行われてきたが, その多くは目標形状に基づいて加工フィーチャを認識してきた(濱田他, 2012) (Wang et al., 2010) (Woo et al., 2005). しかしながら, 機械加工されることで取り除かれる除去領域は素材形状によって様々であり, 本来は加工フィーチャを除去領域から認識すべきである. そこで, これまでに除去領域から加工フィーチャを認識する手法もいくつか提案されている. 例えば, フライス加工を対象として, 分割面が過剰になるのを避けながら除去領域を分割して加工フィーチャを認識する手法(西田他, 2018) (西田, 白瀬, 2017) や, CAD 座標系の XY, YZ, ZX 平面に平行な面に限定して除去領域を分割した加工プリミティブの組合せから加工フィーチャを効率的に認識する手法 (Morinaga et al., 2011, 2014), 旋削加工もフライス加工も可能な複合加工機での機械加工を想定した加工フィーチャの認識手法 (Dwijayanti and Aoyama, 2014) などが提案されてきた. 著者らも複合加工機の特徴を活かすために, 旋削加工やフライス加工といった加工法を限定しない加工フィーチャを提案しており(上野, 中本, 2015), 複雑な除去領域から認識する手法も考案している(井上, 中本, 2017).

著者らがこれまでに提案した加工フィーチャは, 荒加工を対象として CAD ソフトウェア上で定義された素材形状と目標形状の差分領域として得られる除去領域を利用する. この除去領域と目標形状の接する面である境界面を除去領域内に拡張して, 拡張した境界面と除去領域で囲まれる領域を加工プリミティブとして取得する. なお, 目標形状と加工プリミティブが接する面を特に創成面と呼び, 加工順序を決定する際の指標の1つとして用いる. また, この時点では取得される加工プリミティブが, ある領域で重なり合うことも許容している. その後, 取得した加工プリミティブに対して創成面の数や面積, 加工プリミティブの体積などの幾何学的な情報に基づいて加工順序を設定しながら図1に示す加工フィーチャを認識する. 例えば, 図2(a)に示す素材形状と目標形状

Fig. 1 Proposed machining features in a previous study (Ueno and Nakamoto, 2015). Machining features are categorized into either cylinder or cuboid type. Machining features (A)–(L) correspond to one machining primitive. Cylindrical shapes are classified into 4 kinds of machining features from (A)–(D), into which (a) is integrated as necessary by considering the number of generated surfaces colored in the figure, their geometrical relationship, and so on. The cuboid shapes are similarly classified into 8 kinds of machining features from (E)–(L), into which (b) is integrated as necessary.

Fig. 2 Example of recognition of machining features without design information in authors' previous study.

を入力情報に用い、幾何学的な情報として創成面の数が少ないものに優先して加工順序を割り当てる条件の下では、同図 (b) に示すように 6 個の加工プリミティブと 6 種類の加工フィーチャが認識される。

一方、本研究で認識する加工フィーチャは、荒加工だけでなく仕上げ加工を含む複数の工程を対象としている。このために、幾何公差などの設計情報を含む製品形状を目標形状として利用し、取得した加工プリミティブが設計情報を満たすように結合して創成面へ設計情報を反映する。また、同じ設計情報を含む加工プリミティブには同一の加工順序を割り当てることで加工工程が分割されないように加工フィーチャを認識する。なお、提案する加工フィーチャ認識手法は、CAD ソフトウェア Simple Modeler (アイコクアルファ) の API 機能を用いて実装している。

3. 提案する加工フィーチャ認識手法

図 3 に本研究で提案する加工フィーチャ認識の流れを示す。同図で着色した処理が本研究で新たに提案する手法を含む処理である。ここでは、素材形状と設計情報を含む目標形状を入力情報として、加工プリミティブの取得と結合を行い、設計情報を反映して加工順序を設定しながら加工フィーチャを認識し、最終的に加工フィーチャをリストとして出力する。

Fig. 3 Flow of the proposed feature recognition method. Combination of machining primitives, allocation of machining sequence and recognition of machining feature are mainly related to this study.

3・1 設計情報を反映した加工プリミティブの取得

本研究では、目標形状として幾何公差などの設計情報が付与された製品形状を利用するが、境界面を拡張して加工プリミティブを取得する処理はこれまでと同様であり、様々な加工プリミティブの組合せが取得される。例えば、図 4 (a) (b) に示す素材形状と設計情報を持つ目標形状が入力された場合、同図 (c) のように境界面が除去領域内に拡張されることで、図 5 (a) に示すように 2 個の加工プリミティブ A, B が取得される。ここで、目標形状の面に設計情報が付与されていた場合、この面が含まれる領域を異なる加工プリミティブへ分割すると、加工工程ごとの加工誤差の差異により設計情報を満たすことが困難な場合がある。そこで本研究では、目標形状の設計情報が付与された面を共有する加工プリミティブを、同図 (b) のように加工プリミティブ A+B として結合する。さらに、設計情報が付与された目標形状の面に接する創成面へと設計情報を引き継ぐことで、同一工程で加工される加工プリミティブとする。これにより、同じ設計情報を含む場合に、加工工程の差異を無くして工具や加工条件を同一にでき、設計情報を満足するための加工プリミティブが取得できる。

Fig. 4 Input information and extension of boundary faces. CAD models of a workpiece shape and target shape are prepared to input the CAPP system. A removal volume is acquired as a difference between these shapes, and boundary faces, which is on border between the target shape and removal volume, are extended within the removal volume.

Fig. 5 Combination of machining features. Machining primitives A and B are combined into one machining primitive because they are on the same face that same design information is added. The combined machining primitive is machined in the same machining operation.

3・2 設計情報を反映した加工順序の設定

これまでの著者らの手法では、取得した加工プリミティブに対して、創成面の面積や加工プリミティブの体積など、その形状から得られる幾何学的な情報に基づいて加工順序を割り当てていた。しかし、複数の加工プリミティブに同じ設計情報が与えられていても、それらの形状から得られる幾何学的な情報から各々に異なる加工順序が割り当てられ、加工工程の差異により設計情報を満足しない場合がある。そこで、同じ設計情報を継承した創成面を有する加工プリミティブに対して同一の加工順序を割り当てることで、複数の加工プリミティブを 1 個の加工プリミティブとして取り扱う。さらに、平行度や同軸度などのデータムを要する関連形体を含む加工プリミティブの場合には、データムを含む加工プリミティブよりも後続の加工順序を割り当てるようにする。

Fig. 6 Allocation of machining sequence for multiple machining primitives. (a) and (b) show input information, and (c) shows acquired machining primitives. Machining sequence is firstly allocated to machining primitive D based on design information although machining primitive C has the largest volume of all acquired machining primitives. Then, machining primitive C and E are divided into C_1 , C_2 , E_1 and E_2 respectively by removing the intersection volume with machining primitive D. as shown in (d). One machining sequence is allocated to machining primitives C_1 and C_2 as C_{1+2} because they have the same design information, as shown in (e). Similarly, machining primitives E_1 and E_2 have the same machining sequence as E_{1+2} .

例えば、図 6 (a) (b) の素材形状と目標形状からは同図 (c) に示す 3 個の加工プリミティブ C, D, E が取得される。ここでは、目標形状の赤色で示した面は青色の面をデータムとした平行度、緑色の面は共通公差域を持つ円筒度を示している。これらの加工プリミティブに対して、体積の大きさを優先すると、加工プリミティブ C へ最初に加工順序が割り当てられるが、設計情報を反映した場合にはデータムを含む加工プリミティブ D へ優先して加工順序を割り当てる。このとき、同図 (d) に示すように加工プリミティブ D との共有部分が除去されることで加工プリミティブ C は C_1 , C_2 に分割され、加工プリミティブ E は E_1 , E_2 に分割される。これらの分割された加工プリミティブは体積の大きい順に C_1 , E_1 , C_2 , E_2 となるが、同図 (e) に示すように、同じ設計情報を有する加工プリミティブ C_1 , C_2 を C_{1+2} 、同様に E_1 , E_2 を E_{1+2} のそれぞれ 1 個の加工プリミティブとして取り扱い、結果として体積の合計が大きい順に C_{1+2} , E_{1+2} となるように加工順序が割り当てられる。

3・3 複数の加工プリミティブから成る加工フィーチャの認識

最後に、取得した加工プリミティブの形状、創成面の数や組合せに基づいて加工フィーチャが認識される。これまで 1 つの加工工程に 1 個の加工プリミティブしか存在しないことを想定して、各加工プリミティブの形状や創成面の情報から加工フィーチャを認識していた。一方、本研究では同じ設計情報が付与された複数の加工プリミティブが存在する場合には、複数の加工プリミティブを包括した 1 つの加工フィーチャとして認識する。このため、各加工プリミティブの形状を保持しながら、同一平面上や同一円筒面上に存在する創成面を 1 つの創成面とする。これにより、複数の加工プリミティブを包括した形状においても創成面の数や組合せを基に、加工フィーチャの認識が可能となる。

例えば、図 7 に示す 2 個の加工プリミティブにおいて、複数の加工プリミティブから成る加工フィーチャを想定していない従来の手法では、加工プリミティブの形状と創成面の情報からそれぞれ直方体状の加工フィーチャである (K) Step, (F) Face P と複数の加工加工フィーチャが認識される。一方、これらの加工プリミティブに同じ設計情報が付与されていた場合、2 個の加工プリミティブの創成面のうち同一平面上に存在する 2 つの創成面は 1 つの創成面とみなし、さらに 2 個の加工プリミティブは共に直方体であるため、直方体状の加工フィーチャ

Fig. 7 Recognition of machining feature for plural machining primitives that the same machining sequence is allocated. (a) shows two machining primitives having the same machining sequence. Each machining primitive is recognized such as Step and Face P based on the shape of the machining primitive and generated surfaces, as shown in (b). When generated surfaces of two machining primitives with the same machining sequence are on the same plane, they are assumed as one generated surface. Therefore, two machining primitives are uniquely recognized as Step.

である (K) Step として認識される。認識された加工フィーチャ、および含まれる加工プリミティブの形状から設計情報を満足する工具や加工条件の選定、工具経路の生成が可能となる。

4. ケーススタディ

提案した加工フィーチャ認識手法の有用性を確認するためにケーススタディを実施した。図 8 (a) (b) に示す素材形状と目標形状を入力情報として、目標形状の着色した面には同図 (c) の幾何公差や表面粗さなどの設計情報が付与されていることを想定した。ここで、同じ色で着色された面は、平面度や円筒度などのように形体そのものに付与できる単独形体の幾何公差が共通公差域を有していることを示し、それ以外では同じ設計情報であることを示している。このケーススタディでは、これまでの加工フィーチャ認識の例として、幾何学的な情報である体積の大きい加工プリミティブから加工順序を割り当てて加工フィーチャを認識したパターンを A とした。また、幾何学的な情報に加えて設計情報を反映させるため加工プリミティブを結合して加工フィーチャを認識したパターンを B、設計情報を加工順序にも反映させて加工フィーチャを認識したパターンを C とした。

Fig. 8 Input information for case study. Colored faces of the target shape have design information summarized in (c).

Table 1 Acquired machining primitives in Pattern A.

1	2	3	4	5

6	7	8	9	10

Table 2 Acquired machining primitives in Patterns B and C. Machining primitive 4 shows a combined machining primitive according to design information.

1	2	3	4	5

6

入力された素材形状と目標形状の差分として得られる除去領域から加工プリミティブを取得した結果、パターン A では表 1 に示す 10 個の加工プリミティブが取得されている。一方、パターン B, C では目標形状に付与された設計情報を反映して、同じ設計情報を付与された目標形状の面を共有する表 1 の加工プリミティブ 4 から 8 が結合されて 1 個の加工プリミティブとなり、表 2 に示す 6 個の加工プリミティブが取得されている。

パターン A で認識された加工フィーチャとそれらの加工順序を表 3 にまとめて示す。パターン A では表 1 の加工プリミティブから、体積の大きい順に加工順序を割り当てながら加工プリミティブの共有部分を除去して、加工フィーチャの種類の判定を繰り返すことで、最終的に 16 個の加工プリミティブと 6 種類の加工フィーチャが認識されている。加工順序 2 から 4 の加工プリミティブは同じ設計情報を持つ目標形状の面と同一の平面上にあるが、加工プリミティブが結合されていないために異なる加工工程となっている。また、加工順序 5, 6 の加工プリミティブも同じ設計情報を持つ目標形状の面と同一の円筒面上にあるものの、体積の大きい順に加工順序を割り当てたため、分割されて異なる加工工程となっている。

Table 3 Recognized machining features in Pattern A. 16 machining primitives are acquired and 6 kinds of machining features are recognized.

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5
(D) Split face C + Boss C	(J) Open slot	(K) Step	(K) Step	(B) Face C + Boss C
Sequence 6	Sequence 7	Sequence 8	Sequence 9	Sequence 10
(A) Through hole	(K) Step	(K) Step	(K) Step	(K) Step
Sequence 11	Sequence 12	Sequence 13	Sequence 14	Sequence 15
(F) Face P	(F) Face P	(A) Through hole	(A) Through hole	(K) Step
Sequence 16
(K) Step				

Table 4 Recognized machining features in Pattern B. 10 machining primitives are acquired and 5 kinds of machining features are recognized. Machining primitive is not divided at machining process of sequence 1 by considering design information.

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5
(G) Closed pocket	(D) Split face C + Boss C	(B) Face C + Boss C	(A) Through hole	(F) Face P
Sequence 6	Sequence 7	Sequence 8	Sequence 9	Sequence 10
(F) Face P	(K) Step	(K) Step	(A) Through hole	(A) Through hole

表 4 にはパターン B で認識された加工フィーチャと加工順序をまとめて示す。ここでは、表 2 の加工プリミティブから体積の大きい順に加工順序を割り当て、最終的に 10 個の加工プリミティブと 6 種類の加工フィーチャが認識されている。パターン A では表 3 に示すように加工順序 1 の加工プリミティブは分割されて異なる加工工程

Table 5 Recognized machining features in Pattern C. 7 machining primitives are acquired and 5 kinds of machining features are recognized. Some machining primitives are integrated at machining process of sequences 3, 4 and 7 because they have same design information, respectively.

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5
<p>Machining primitive Type of machining feature (G) Closed pocket</p>	<p>(D) Split face C + Boss C</p>	<p>(B) Face C + Boss C</p>	<p>(F) Face P</p>	<p>(K) Step</p>
Sequence 6	Sequence 7
<p>(K) Step</p>	<p>(A) Throughhole</p>			

となっているが、パターン B では設計情報を反映して加工プリミティブ取得時に結合され、同一工程となるように加工フィーチャが認識されている。一方、設計情報を加工順序には反映していないため、加工順序 3, 4 の加工プリミティブはパターン A と同様に異なる加工工程となっている。

同様に、パターン C で認識された加工フィーチャと加工順序を表 5 に示す。パターン C では 7 個の加工プリミティブと 6 種類の加工フィーチャが認識されている。加工順序 1 はパターン B と同様に設計情報を反映して結合された加工プリミティブが同一工程となるように加工順序が割り当てられている。また、表 4 に示したパターン B では加工順序 3, 4 の加工工程に分割された 2 個の加工プリミティブが、ここでは加工順序 3 の加工工程に集約されている。さらに、2 個の加工プリミティブの形状が円柱状であるため、同一円筒面上の創成面を一つの創成面として取り扱うことで、円柱状の加工フィーチャである (B) Face C + Boss C として認識されている。一方、パターン B で加工順序 5, 6 の加工工程となる 2 個の加工プリミティブは、ここでは加工順序 4 の加工工程に集約され、その形状が直方体状であることから同一平面状の創成面を 1 つの創成面として取り扱うことで、直方体状の加工フィーチャである (F) Face P として認識されている。

以上の結果から、提案手法では、加工プリミティブの体積などの幾何学的な情報のみに基づく場合とは異なる加工プリミティブが取得され、同じ設計情報が付与された加工プリミティブを 1 つの加工フィーチャとして取り扱うことで、幾何公差や表面粗さなどの設計情報を反映した加工フィーチャの認識が可能であることを確認した。

ここでさらに、パターン D として図 8 (b) の目標形状で設計情報が異なる場合を想定して加工フィーチャを認識した。同図 (b) の目標形状から設計情報を変更した目標形状を図 9 (a) に示す。着色した面には同図 (b) で示した設計情報が付与され、同じ色で着色された面は、同じ設計情報であることを示している。また、加工順序はパターン C と同様に設計情報を参照しながら、加工プリミティブの体積が大きいものに優先して割り当てた。

(a) Target shape

Purple	Datum B
Red	Coaxiality (Referring B)
Blue	Datum C
Green	Parallelism (Referring C)

(b) Design information of target shape

Fig. 9 Input information for Pattern D changed design information. Target shape is the same as Patterns A-C. Colored faces of the target shape have design information summarized in (b).

Table 6 Recognized machining features in Pattern D. 13 machining primitives are acquired and 6 kinds of machining features are recognized. Machining features are recognized differently from Pattern C. Machining feature of sequence 1 is allocated prior to that of sequence 2 by considering the added datum. Similarly, machining feature of sequence 6 is allocated prior to that of sequence 7. On the other hand, machining features of sequence 6 and 7 are recognized as (K) Step because their machining primitives having same design information should be machined at the same machining process.

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5

Sequence 6	Sequence 7	Sequence 8	Sequence 9	Sequence 10

Sequence 11	Sequence 12	Sequence 13

表 6 にパターン D で認識された加工フィーチャとそれらの加工順序をまとめて示す。ここでは、13 個の加工プリミティブと 6 種類の加工フィーチャが認識されている。設計情報を変更したことで、他の条件が共通するパターン C とは違う加工順序で加工プリミティブが取得され、別の加工フィーチャが認識されている。例えば、表 6 の加工順序 3 から 5 の加工プリミティブは、パターン C では同じ設計情報を含むために結合された加工プリミティブから加工フィーチャが認識されたが、パターン D ではそれらの加工プリミティブが設計情報を含まないため、別々の加工プリミティブとして取り扱われてそれぞれ加工フィーチャが認識され、異なる加工工程となっている。一方、パターン D では加工順序 1 の加工プリミティブはデータムを含むため加工順序 2 の加工プリミティブに先行し、最初の加工工程となっている。また、加工順序 6 では 2 個の加工プリミティブが同じ設計情報を持つため、1 つの加工工程に集約されており、同一平面上の創成面を 1 つの創成面と扱うことで直方体状の加工フィーチャである (K) Step として認識されている。同様に、加工順序 7 の 2 個の加工プリミティブも 1 つの加工工程に集約されて、直方体状の加工フィーチャ (K) Step として認識されている。さらに、加工順序 6 の加工プリミティブはデータムを含むため、それを参照する平行度の設計情報を持つ加工順序 7 の加工プリミティブに先行して加工順序が割り当てられている。

パターン C とパターン D の結果から、目標形状が同じであっても付与された設計情報に応じて加工プリミティブを取得し、加工順序を割り当てながら設計情報を反映した加工フィーチャを認識することで、異なる工程設計が実施できることを確認した。

さらに、パターン E, F としてパターン A から D とは異なる素材形状や目標形状、設計情報を想定して加工フィーチャを認識した。入力情報と認識された加工フィーチャを図 10 と表 7、図 11 と表 8 にそれぞれ示す。なお、加工順序は設計情報を反映しながら体積の大きい順に割り当てた。どちらのパターンにおいてもパターン A から D と同様に設計情報を反映した加工フィーチャを認識し、工程設計が実施できることが分かる。

Fig. 10 Input information for Pattern E.

Table 7 Recognized machining features in Pattern E. 8 machining primitives are acquired and 5 kinds of machining features are recognized.

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5
<p>Machining primitive</p> <p>Type of machining feature</p> <p>(B) Face C + Boss C</p>	<p>(L) Closed slot</p>	<p>(G) Closed pocket</p>	<p>(K) Step</p>	<p>(K) Step</p>
Sequence 6	Sequence 7	Sequence 8
<p>(K) Step</p>	<p>(K) Step</p>	<p>(F) Face P</p>

Fig. 11 Input information for Pattern F.

Table 8 Recognized machining features in Pattern F. 5 machining primitives are acquired and 4 kinds of machining features are recognized.

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5
<p>Machining primitive</p> <p>Type of machining feature</p> <p>(G) Closed pocket</p>	<p>(I) Open pocket</p>	<p>(I) Open pocket</p>	<p>(J) Open slot</p>	<p>(F) Face P</p>

以上のケーススタディの結果より、提案した加工フィーチャ認識手法を用いることで、様々な素材形状と目標形状に対して、3次元モデルの幾何学的な情報のみだけでなく設計情報を反映して加工フィーチャを認識できることを確認した。

5. 結 言

目標形状に設計情報として与えられた幾何公差や表面粗さを反映し、加工工程の差異を無くして要求される設計情報を満たすための加工フィーチャ認識手法を提案した。提案手法では、同じ設計情報を持つ目標形状の面を共有する加工プリミティブを結合して1個の加工プリミティブとすることに加え、加工順序を設定する際に同じ設計情報を持つ複数の加工プリミティブに同一の加工順序を割り当てることで加工工程を集約し、同一平面上や同一円筒面上の創成面を1つの創成面として扱うことで1つの加工フィーチャとして認識する。目標形状へ設計情報を付与した製品形状を用いたケーススタディの結果から、加工工程の差異が生じないように幾何学的な情報だけでなく設計情報を反映して加工フィーチャを認識する提案手法の有用性を確認した。

本論文では、加工プリミティブの取得や加工順序の割り当てに幾何公差や表面粗さをを用いて加工フィーチャを認識したが、設計情報として寸法公差やはめあい公差などを用いることも可能と思われる。このため今後は、幾何公差や表面粗さ以外の設計情報を用いた加工フィーチャの認識とその検証を行う。さらに、荒加工から仕上げ加工を含む複数の加工工程を対象とする加工フィーチャに対して、CAM ソフトウェアへの入力情報となる加工方法、使用工具や切削条件などを、設計情報に基づいて加工工程ごとに適切に選定することが課題となる。

謝 辞

本研究は(公財)工作機械技術振興財団 プロジェクト研究 RU-07, および科研費(特別研究員奨励費 JP19J13717)の助成を受けて実施された。また、研究を進めるにあたりアイコクアルファ株式会社の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- Dwijayanti, K. and Aoyama, H., Basic study on process planning for turning-milling center based on machining feature recognition, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 8, No. 4 (2014), DOI:10.1299/jsmdsm.2014jamdsm0058.
- 藤沼知久, 一般社団法人電子情報技術産業協会三次元CAD情報標準化専門委員会でのDTPDの取り組み, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 8 (2017), pp. 722–726.
- 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.
- 金田徹, DTPD (3D 製図) 規格 (その現状と今後), 精密工学会誌, Vol. 83, No. 8 (2017), pp. 717–721.
- Morinaga, E., Hara, T., Joko, H., Wakamatsu, H. and Arai, E., Improvement of computational efficiency in flexible computer-aided process planning, *International Journal of Automation Technology*, Vol. 8, No. 3 (2014), pp.396–405.
- Morinaga, E., Yamada, M., Wakamatsu, H. and Arai, E., Flexible process planning method for milling, *International Journal of Automation Technology*, Vol. 5, No. 5 (2011), pp.700–707.
- 西田勇, 平井大志, 佐藤隆太, 白瀬敬一, CAM 操作者の意図を考慮したエンドミル加工用自動工程設計システム, 日本機械学会論文集, Vol. 84, No. 860 (2018), DOI:10.1299/transjsme.17-00563.
- 西田勇, 白瀬敬一, 作業条件を考慮したエンドミル加工用自動工程設計システム (第 1 報 工具交換回数の最小化), 日本機械学会論文集, Vol. 84, No. 866 (2018), DOI:10.1299/transjsme.18-00242.
- 島田宏美, JAMA におけるデジタル製品技術文書情報の標準化活動, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 8 (2017), pp. 727–731.
- 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, Vol. 81, No. 825 (2015), DOI:10.1299/transjsme.15-00108.
- Wang, L., Holm, M. and Adamson, G., Embedding a process plan in function blocks for adaptive machining, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 59, Issue 1 (2010), pp. 433–436.
- Woo, Y., Wang, E., Kim, Y. S. and Rho, H. M., A hybrid feature recognizer for machining process planning systems, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 54, Issue 1 (2005), pp. 397–400.

References

- Dwijayanti, K. and Aoyama, H., Basic study on process planning for turning-milling center based on machining feature recognition, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 8, No. 4 (2014), DOI:10.1299/jsmdsm.2014jamdsm0058.
- Fujinuma, T., Activities for digital technical product documentation of JEITA 3D information standardization committee, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 83, No. 8 (2017), pp.722–726 (in Japanese).
- Inoue, Y. and Nakamoto, K., Proposal of a recognition method of machining features in computer aided process planning system for complex parts machining, *Transaction of the JSME (in Japanese)*, Vol. 83, No. 850 (2017), DOI:10.1299/transjsme.16-00574.
- Kanada, T., Standard for digital technical product documentation (DTPD, 3D drawing)—its current situation and future, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 83, No. 8 (2017), pp.717–721 (in Japanese).
- Morinaga, E., Hara, T., Joko, H., Wakamatsu, H. and Arai, E., Improvement of computational efficiency in flexible computer-aided process planning, *International Journal of Automation Technology*, Vol. 8, No. 3 (2014), pp.396–405.
- Morinaga, E., Yamada, M., Wakamatsu, H. and Arai, E., Flexible process planning method for milling, *International Journal of Automation Technology*, Vol. 5, No. 5 (2011), pp.700–707.
- Nishida, I., Hirai, T., Sato, R. and Shirase, K., Automated process planning system for end-milling operation considering CAM operator's intention, *Transactions of the JSME (in Japanese)*, Vol. 84, No. 860 (2018), DOI:10.1299/transjsme.17-00563.
- Nishida, I. and Shirase, K., Automated process planning system for end-milling operation considering constraints of operation (1st report process planning to minimize the number of times of tool change), *Transactions of the JSME (in Japanese)*, Vol. 84, No. 866 (2018), DOI:10.1299/transjsme.18-00242.
- Shimada, H., Standardization activity of digital technical product documentation in JAMA, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 83, No. 8 (2017), pp.727–731 (in Japanese).
- Ueno, A. and Nakamoto, K., Proposal of machining features for CAPP system for multi-tasking machine tools, *Transaction of the JSME (in Japanese)*, Vol. 81, No. 825 (2015), DOI:10.1299/transjsme.15-00108.
- Wang, L., Holm, M. and Adamson, G., Embedding a process plan in function blocks for adaptive machining, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 59, Issue 1 (2010), pp. 433–436.
- Woo, Y., Wang, E., Kim, Y. S. and Rho, H. M., A hybrid feature recognizer for machining process planning systems, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 54, Issue 1 (2005), pp. 397–400.