旋削加工のためのパターン識別*

井上 久仁子** 本 多 庸 悟** 竹 山 秀 彦**

Pattern Processing of Machine Parts for Lathe Work

Kuniko INOUE, Tsunenori HONDA, Hidehiko TAKEYAMA

A method of pattern processing of machine parts for lathe work has been developed for the radical description of parts geometry from the standpoint of actual operation aiming at automation of the process planning. It is shown that the contour of machine parts for lathe work is primarily constituted by basic 'Pattern's, that is, 'P', in which the diametrical coordinates increase from left to right, 'M', in which the diametrical coordinates decrease, 'V', which constitutes a concave in the longitudinal direction, 'R_P', which has a concave at the left hand of the part and 'R_M', which has a concave at the right hand side, and the contour of a part is identified by the 'Pattern Type' which is defined by the combination of any of the five Patterns. It has been found that parts for lathe work are classified into twenty eight Pattern Types. This concept has been effectively introduced to a newly developed software for lathe work and successfully functioned in the automatic decision of clamping, tool path, etc.

1. 緒 言

機械部品に関する製造の過程においてはマクロなパターン認識が重要な役割を果たす。加工のエキスパートは、図面からたとえば加工物の全体的な形状などの特徴を認識するであろう。このようなパターンに関する直観は人間の能力の一つであるが、その人工的な処理は困難な問題である。なかでも加工に関するパターン処理は加工技術上の多くの制約のもとで考えねばならず単なる幾何学的な考察だけでは実用性が乏しい。機械加工の自動化に対するパターン処理の概念の確立と効率的で単純なアルゴリズムの開発が必要であろう。

本研究は旋削加工を例にとって、その工程設計の自動化のためのパターン処理の一方方法について¹⁾述べる。ここでは旋削部品の形状などの仕様は長手部、円弧などの「基本形状要素」と呼ぶ単位で記述され、これを基本的構成として旋削加工に関して意義のある5種類のパターンの抽出を行い、それらのパターンの結合によるパターンタイプによって旋削部品の全体的な形状を特徴付けることを試みた。以下にパターンの識別とパターンタイプの決定を行うアルゴリズムを示し、パターンおよびパターンタイプと旋削加工手順の関連付けを述べ、応用例として旋削加工用ソフトウェア「MELTS」に適用した例を

示す。

2. 旋削部品形状と加工の特色

2.1 旋削部品形状と図面の記述

本研究で対象とする一般的な旋削部品は z 軸を回転軸とした回転対称体である。従ってその断面図により2次元図形として $z-x$ 座標系を用いて表現し、かつ z 軸より上側または下側の領域のみで十分である。

旋削部品の図面上の輪郭は、特殊な場合を除いて直線部分と円弧の連なりで表現できる。それらには旋削加工の特殊性から、端面、長手、テーパ、円弧、面とり、丸め、みぞ、ぬすみ、ねじおよび穴がある。これら旋削部品の形状を形作る要素を「基本形状要素」と呼ぶ(図1)。基本形状要素に対応する旋削部品形状の単位をセグメントと呼ぶ。旋削部品の輪郭は基本形状要素のうちのF, L, T, R, CおよびOの連なりで記述できる。ねじ、みぞおよび総型は、主な輪郭ができ上がった後に特定の工具によって加工され、ぬすみは特定の工具によるか輪郭形成の過程で付随的に造られる。従ってそれらはここでは無視する。また穴の輪郭も外周部分と同様にF, L, T, R, CおよびOに分解して記述できる。

旋削部品の加工方法は外周部分と両側の端面部分および穴部分に大別することができるが、端面部分は外周部分あるいは内周部分に含めるために、ここではそれらの境界は部品の両端の端面Fと定める。従って両端にFがない場合は、部品の最右端または最左端に長さ0の端面Fを仮定することとする。以下ではこのようにして定め

* 原稿受付 昭和50年12月25日。昭和46年度精機学会春季大会学術講演会(昭和46年4月7日)および昭和47年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和47年11月5日)にて発表。

** 正会員 機械技術研究所(東京都杉並区井草4-12-1)

基本形状要素	基本形状要素名	例(太線部)
端面	F	
長手	L	
テーパ	T	
凹弧	R	
面とり	C	
丸め	O	
みぞ	G	
ぬすみ	Q	
ねじ	P	
総型	S	
中ぐり穴	B	
ドリル穴	D	

図1 基本形状要素

られた外周部分を外周、内周部分を内周と呼ぶ。図面上で z 軸の上半分を外周、 z 軸の下半分を内周に用いることによって、双方同一のアルゴリズムが成立するので説明は外周についてのみ行う。

2.2 旋削工具とその動き

旋削作業は、 z 軸方向(軸方向)が長目の部品を加工するセンタ作業と、 x 軸方向(直径方向)が大きめで穴があることが多い部品を加工するチャック作業の2種類に分かれる。部品は左側で保持されて旋回するが、センタ作業ではさらに右側も支えられる。切削のための工具の動きは、外周も内周も原則的に右から左側に向かって行われるので、その場合を扱う。

右から左へ向かう工具の動きにより、工具の寸法や刃部の角度による干渉が生じ外周の左下がりの部分は切削できないことがある。この場合、干渉する部分は加工物の向きを左右逆にして、2工程で加工物全体の加工を行う。そのためパターンとして左上がりの部分と左下がりの部分の区別が必要となる。

凹部については工具刃先まわりの干渉をチェックして、必要な工具は1本か2本かなどを定めねばならない。さらに端面の凹部と長手方向の凹部とは使用する工具や工具の動きに違いがあるためそれらを区別するパターンが必要である。

3. パターンの概念とその展開

3.1 パターンおよびパターンタイプ

1976年10月

図2 5つのパターンの例

図3 PVM型の例

前述のことから z - x 座標において旋削部品の輪郭を右から左へたどるとき、輪郭の部分的傾向は次の5つのものに分けられる。

- (1) z 座標値の増加に伴い x 座標値が単調増加する部分: これを「P」パターンと呼ぶ。
- (2) z 座標値の増加に伴い x 座標値が単調減少する部分: これを「M」パターンと呼ぶ。
- (3) z 軸に関して x 座標値が凹である部分: これを「V」パターンと呼ぶ。
- (4) 加工物の右端部で左側に向かって凹んでいる部分: これを「R_M」パターンと呼ぶ。
- (5) 加工物の左端部で右側に向かって凹んでいる部分: これを「R_P」パターンと呼ぶ。

これら R_P , P, V, Mおよび R_M パターンを図2に示す。5つのパターンの連なり方には次の規定が可能である。

- (1) 左端より右端に向かって $R_P \rightarrow P \rightarrow V \rightarrow M \rightarrow R_M$ の順序で現れる(これらのうち存在しないものがあったもよい)。
- (2) 凹部のパターンは2個以上連続する場合がある。
- (3) MパターンとPパターンは、一つの輪郭にそれぞれ高々1個しか現れない。

旋削部品の輪郭のパターンを左から右に連続させて読み、これを「パターンタイプ」と呼ぶ。パターンタイプは一つの部品の外周および内周に1個ずつ確定する。図3のセンタ作業の部品はP, V, VおよびMパターンの連なりであるが、2個のVパターンは同図に示すようにパターンタイプとしてはVの文字一つで表現することとする。他の凹部のパターン R_P および R_M も同様である。パターンタイプに関して次のことが見いだされる。

- (1) P, VおよびMパターンのみで構成される部品(センタ作業部品)のタイプは、下式により7通りしか存在しない。

$${}_3C_3 + {}_3C_2 + {}_3C_1 = 7$$

- (2) 上記パターンタイプの左側に R_P パターンおよび

図4 28種類のパターンタイプの例

右側に R_M パターンを組み合わせるとさらに 21 種類のパターンタイプができる。先の 7 種類と合わせて、図 4 に示す 28 種類のパターンタイプとなる。

一般の旋削部品の形状はすべてこの中に含まれる。

(3) R_M 型, R_P 型および $R_P R_M$ 型は存在しない。

3.2 セグメントポインタの導入

前節で述べたように、加工物の形状のパターン識別も加工物の外周または内周の輪郭に沿って右から左へ向かって進むのが便利である。このような識別の向きは輪郭のセグメントに向きを与えるため、各セグメントの端点に始点と終点の区別を与える。円弧については円の中心に平行移動した座標軸によって 4 象限に分割し、各象限ごとの始点と終点を結合した弦を用いると、外周あるいは内周はすべてベクトルで構成される。

これらベクトルの向き(大きさは考慮に入れない)を図 5 に示す 8 種類に分類し、図中で示した記号を付し、「セグメントポインタ」と呼ぶ。5 種類のパターンはセグメントポインタによって次のように特徴づけられる。

図5 セグメントポインタの定義

() 内の数字: 象限, へ: パターンが構成される範囲

図6 パターンとセグメントポインタの対応

(1) パターンとセグメントポインタの対応は図 6 のようである。たとえば M パターンは f 、 m および(または) l_n 、すなわち第 2 象限のセグメントポインタのみから成る。

(2) 凹部のパターンについて、セグメントを右から左へ向かってたどるとき、セグメントポインタの象限は、

- (a) R_M パターンでは第 2 象限から第 1 象限へ、
- (b) V パターンでは第 3 象限から第 2 象限へ、
- (c) R_P パターンでは第 4 象限から第 3 象限へと変化する。

以上から 5 つのパターンの識別はセグメントポインタの象限のシーケンスを追跡することによりなされる。ベクトル積によってベクトルの向きの変化を追う手段もあるが、一つのパターンが多くのセグメントポインタから成る場合には複雑化するのでここでは用いない。

3.3 凹部のレベル

部品の凹部は、NC 旋削では図 7 に例示される順序と切削の向きによって加工されるのが一般的である。しかし、たとえば図 8 に示すような形状の場合は通常のツーリングで加工することは不可能であり、特殊な工具を用いるなどする必要がある。従ってこのような複雑な形状

図7 Vパターンに対する切削の向きの例

図8 レベル付きVパターンの例

②: 第 i 象限, も: 始まり (輪郭の最右端), ㊦: 終わり (輪郭の最左端), (iL): i 象限のセグメントポイントで, 直前のものに対して左まわりのもの
第3象限を経た後の第1象限への, また第4象限を経た後の第2象限への変化は無いものとする。

図9 28種類のパターンタイプに対応するセグメントポイントの象限のシーケンス

と一般の凹部パターンとを区別せねばならない。その複雑度の目安として「レベル」を用いる。すなわち、前節で示したセグメントポイントの象限のシーケンスを正常な場合とすれば、それ以外の象限にわたる回数をレベルの数とする。たとえば同図のVパターンの象限のシーケンスは (3)→(4)→(3)→(2) と変化しており (象限の変化をこのように記すこととする), (3)→(2) で構成されるVパターンに(4)が一度現れるからレベル1のVパターンとなる。一般の凹部のパターンはレベル0とし、レベルの記入は省くこととする。

高いレベルの凹部は実例も少なく、切削可否の自動決定も困難が増すので、たとえばレベルの最高を1などと定め、2以上は取扱わないことが実用的である。

4. パターン識別のアルゴリズム

4.1 パターン識別 (レベル0の場合)

3.2節で述べたように、パターンの識別はセグメントポイントの象限の変化による。28種類のパターンタイプを対象とするセグメントポイントの象限のシーケンスを状態図で示せば図9となる。同図およびパターンの連なり方の規定から次の事項が仮定される。

- (1) 第1象限と第4象限は始めと終わりの象限になら

図10 f_- , l_n , f_+ および l_r の象限の確定例

ない。

- (2) 第1象限から第4象限へ、およびその逆の直接の変化はない。
- (3) 第3象限から第1象限への直接の変化はない。
- (4) 第4象限から第2象限への直接の変化はない。
- (5) 第1象限から第3象限および第2象限から第4象限への直接の変化は、左まわりのセグメントポイントのみに限定する。
- (6) 第3象限を経た後は第1象限への変化はなく、第4象限を経た後は第2象限への変化はない。

しかし座標軸に平行な四つのセグメントポイントは一つで二つの象限に属するため、それらの象限がそれらの前あるいは後のセグメントポイントによって一義的に決定されるように次の規定をおく。

- (1) 始まりと終わりのセグメントポイントは f_- および f_+ であるが、これらはいずれの象限にも属さないものとし、 f_-^S および f_+^E で示す。
- (2) f_-^S の次が l_n のとき、 l_n の次が p あるいは f_+ でない限りその l_n は第2象限に属する。
- (3) 二つの象限に属するセグメントポイントは、その直前のセグメントポイントの象限がその二つの象限に含まれていれば、その象限とする。
- (4) 二つの象限とも直前のセグメントポイントの象限と異なる場合は、直前のセグメントポイントの象限と接している象限とする。

たとえば図10のように、同一種類のセグメントポイントでもシーケンスによって異なる象限に属することがあるが、その都度一意に確定する。

部品の向きを逆にすると、セグメントポイントの象限が置換される。すなわち第2象限と第3象限、第1象限と第4象限が入れ替わる。従って対応するパターンも一般的に R_M と R_P , M と P パターンが置き換えられる。これを互いに「補パターン」の関係にあると呼ぶ。Vパターンの補パターンはまたVパターンである。しかし二つの象限に属するセグメントポイントの一つの象限に定める (上述) ため、補パターンが成立しない場合がある。たとえば図11に示すようにMパターンが左右を逆にし

ントポイントは右まわりのもののみとする。これら拡張された凹部パターンの形状の中で、レベル付き V パターンを構成するセグメントポイントの象限のシーケンスには R_M パターンから M パターンあるいは P パターンから R_P パターンへの連なりと同様のシーケンス、すなわち (2)→(1)→(2) あるいは (3)→(4)→(3) が存在するため、V パターンを識別した後は R_M パターンは現れない、また R_P パターンを識別した後は V および P パターンは現れないよう処置する必要がある。

5. パターンおよびパターンタイプの適用例

本研究により導いたパターンおよびパターンタイプは、旋削加工の工程設計から加工に至る諸過程と次のような結びつきがある。まず 5 種類のパターンと旋削加工との主たる関連は次のようである。

- (1) 1 回のチャッキングで切削できる範囲は、通常の切削方式では加工物の右端より最大直径箇所までである。その範囲には R_M , M および V パターンが存在しうる。ただし V パターンが含まれている場合には、次式によって最大直径箇所を調べる必要がある。

$$D_{\max} = \text{Max}\{\text{Max } D_{R_M}, \text{Max } D_M, \text{Max}(DV_i)\}$$

ここに D は直径、添字はパターンを表し、 i は V パターンの識別順位で $i=1, 2, \dots$ である。付随的に最大直径の個数も数えられる。

- (2) P および R_P パターンは、とりつけがえにより加工物の左右を逆にし、M および R_M パターンとした状態で切削される。すなわち最大直径の左側の V パターンと共に第 2 工程の切削範囲に含まれる。
- (3) R_M , V および R_P パターンは凹部であり、それらを切削するには、工具刃先まわりの干渉チェック、複雑なツーリングや工具経路の決定の処理が必要となる。

また 28 種類のパターンタイプと加工手順との間には、次のような関連がある。

- (1) センタ作業の部品は、外周が P, V および M パターンから成る 7 通りのパターンタイプで記述される。チャック作業の部品は外周も内周も 28 種類のパターンタイプのすべてが対象となる。
- (2) 1 回のチャッキングで加工が完了できる可能性がある部品のパターンタイプは、外周および内周とも次の 4 通りである。

M 型, P 型, MR_M 型, $R_P P$ 型

また素材の外周のパターンタイプが M 型か P 型であり、部品の最大直径のセグメントまたはその一部

	CONTENTS	PATTERN TYPE
素材外周	BLANK・EXTE (REGULAR)	M
素材内周	BLANK・INTE (REGULAR)	
部品外周	SPEC・EXTE (REGULAR)	R_P P V M
部品内周	SPEC・INTE (REGULAR)	P M

図 14 MELTS におけるパターン識別の例 (部分)

が加工（すて割り）されている必要がある。

- (3) V パターンを含まないパターンタイプの最大直径の場所は M パターンの最終セグメントであり、M パターンを含まない場合は P パターンの最初のセグメントである。外周の最大直径および内周の最小直径の場所は加工手順と次のような関連がある。
 - (a) 形状や精度上特別な指定がある場合を除き、最大直径の場所を第 1 工程で加工し、次の工程でそこをクランプする。
 - (b) 素材が丸棒の場合は、第 1 工程の外周の荒削りは最大直径の箇所まで、かつできる限り爪の近くまで行う。内周は最小直径部の左端までとなる。
- (4) レベル付きの凹部にはツーリングや干渉上の問題があり、自動処理は困難が大きい。

パターンおよびパターンタイプは旋削加工用ソフトウェア「MELTS」の加工上の自動決定部に導入されている。MELTS においてパターンを識別した例を図 14 に示す。図中たとえば部品外周は $R_P P V M$ 型と識別されている。MELTS では凹部はパターンごとに外周と内周合わせて最高 4 個まで、レベルは V パターンは 2、その他は 1 までの部品を処理する。またパターン識別に際して、輪郭の大勢に影響が小さい C と O を除外している。レベル 0 のパターン識別に要するおよその平均的計算時間は次式により求められる。

$$T_{Pr} = \left(\frac{2}{3} \sum_{n=1}^3 + \frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 \right) (k-2) t$$

ここで $\frac{2}{3} \sum_{n=1}^3$ はセグメントポイントの識別、また $\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8$ は状態の遷移の識別に要する平均的手順数であり、 k は外周または内周のセグメント数、 t は単位時間である。

システム内部においてはこのパターン識別は、クランピング、切削シーケンス、工具経路などの自動決定に利用されている。また部品や素材の形状に関する計算機内部の羅列的なデータを加工手順と関連した特徴あるデータの集合とし、それらにパターンによる名称を与えている。これは加工技術者やシステム開発者間の意志疎通にも効果をあげている。

6. 結 言

- (1) 旋削加工に意味のあるパターンとして P, V, M, R_P および R_M の 5 種類を用いれば、旋削部品の外周または内周の輪郭は、それらのパターンの連なりである 28 種類のパターンタイプに分類できる。
- (2) パターン識別の手段として向きのみを有する 8 種類のセグメントポインタを用いた。旋削加工物の輪郭を「基本形状要素」の連なりとして記述し、右端より左端に向かって順次それらをたどればその輪郭はセグメントポインタの連なりとなり、各パターンは一つないし二つの象限から成るセグメントポインタで構成される。
- (3) 凹部の切削の複雑さを示すためにレベルの概念を導入した。セグメントポインタが相隣る特定の二つ

の象限のみから成るか否かによりその複雑度を表現することができる。

- (4) 8 つのセグメントポインタを入力とし、5 つのパターンを出力する 9 状態の状態遷移図により 28 種類のパターンタイプの旋削部品輪郭のパターン識別を行うアルゴリズムが得られた (レベル 0 の場合)。
- (5) 旋削加工用ソフトウェア「MELTS」にレベル付きを含むパターン識別を組み込んでいる。その例として部品および素材の輪郭のパターンとパターンタイプを識別した出力を示した。またそれらは加工技術上の自動決定に利用されている。
- (6) 上記パターンの概念の導入により、形状に関するデータ構造に、加工技術者の形状認識に通ずる視覚的な性格が付与できるものと思われる。

終わりに、本研究に関し御協力下さった機械技術研究所生産工学部・関口博および高田孝次両氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) K. Inoue, H. Takeyama, T. Honda & H. Sekiguchi: 'Machining-oriented Pattern' for Characterizing Part Geometry in Lathe Work, Proc. ICPE (Tokyo), (1974) 372.

情 報

(971 ページより続く)

▽外注、内製別消費量の消費量および内製比率=まず、工作機械用鉄鉄鋳物、鉄鋼、非鉄金属鋳物鋼板溶接品の消費総重量についてみると、46年に15万8727t使用されていたものが、48年には20万3410t、指数で128.2と最高の伸びを示したのに反し、50年にいたり10万4295t、指数で65.7とピーク時の約半分に減少した。このカーブの著しい変化は高度成長時代にはみられなかった現象で、むしろ異常とも思われる落ちこみである。

ついで製品別消費量の割合をみると46年において鉄鉄鋳物は総量83%で最も高く、鋼板溶接が11.7%とこれに次いでいる。鉄鋼と非鉄金属鋳物は僅少で、それぞれ3.9、1.4%である。これらを5年後の50年についてみると鉄鉄鋳物が75.8%と7.2%の減少であるのに対し、鋼板溶接は18.1%と6.4%の増加を示していることが注目される。この現象が代替化によるものか、鋼板溶接を多く使用する機種の変更にによるものか明らかでないが、一般に形状が複雑で量産物は鉄鉄鋳物の優位性が認められ、逆に形状が単純で非量産物は鋼板溶接で足り

るとされているところからみて、代替化、あるいは機種の変更のいずれかに断定することは早計である。いずれにしても両者の構成幅の接近は55年のビジョン値においても緩やかであるが、75.5%対24.5%とさらに縮小している。

次に内製について鉄鉄鋳物の状況をみると、46年に26.1%であった内製比率は48年の景気上昇期には23.6%と低下したものの、49年中葉ごろからの不況の度合いが深まるにともない、内製への転換傾向がみられ、50年には28.2%と増加を示している。しかしながら、51年は50年の惰性がそのまま進行したものであるが、計画値では51年上期後半から景気回復予想の反映として外注への転換傾向がみられ、前年の内製率よりも0.5%減の27.7%へと若干の低下を示している。この傾向は55年にいたり、ビジョン値ではあるが、さらに低下し、24.9%程度と見込まれている。したがって46年から55年までの10年間の内製の実績およびビジョン値に関する限り、工作機械用鉄鉄鋳物は内製化への方向ではなく、むしろ外注依存の方向にあると思われる。

(986 ページに続く)