

函館高専 ○山田 誠  
 北大工学部 田中 文基 岸浪 建史

1. はじめに

近年、製品形状の高精度化・複雑化にともない、ワークに対する工具姿勢を制御できる5軸NC工作機械とそのためのCAD/CAMシステムが必要とされてきている。5軸工作機械を使用する目的には、

- (1) 複雑な形状を工具干渉回避しながらの加工
  - (2) 高効率加工
  - (3) 機械の歪みを補正しながらの高精度加工
- などが上げられ、加工法において有効な手段と考えられる。しかしながら現状は、NCソフトウェアの複雑さ等により広く活用されているとは言い難い。

本研究では、5軸NC工作機械の“高効率加工”という点に着目し、その加工創成面について考察し、加工特徴面について明らかにする。

2. 加工面と加工特徴面

加工面は一般に工具形状と工具運動により決定される。また、その創成過程は“点接触による加工”“線接触による加工”“面接触による加工”および、“それらの組み合わせによる加工”に分けることができる。

点接触による面の創成としてはボールエンドミルによる自由曲面の加工が上げられる。しかし、工具の移動経路が複雑になり形状創成に必要な時間が長い。また、ピックフィード量による形状誤差が生じるなどの欠点がある。それに対してエンドミルの側面の直線切刃や、face-cutterの円弧切刃を利用した加工では、工具と加工物との線接触により効率的に加工面が創成されていく。

このような線接触による効率的な加工面を“加工特徴面”と定義することとする。

従来あるモデリングシステムでは、一般的に加工面を意識せずに形状生成を行っている。しかしながら、加工行程の高効率化を考えると、加工面を想定したものが望ましい。

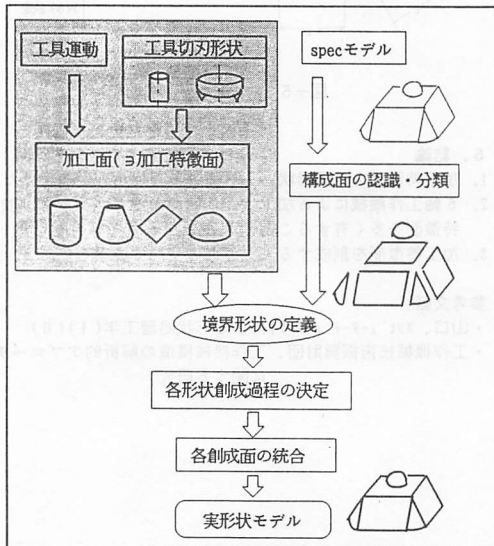


図-1. 形状モデリング構造図

図-1は、加工面を基本として形状を定義するモデリングシステムの全体構造を表したものである。ある設計モデルを与えられたとき、その構成面を認識分類し、工具運動・工具形状より得られる加工面と比較され、加工面の境界形状が定義される。それにより形状の創成過程が決定されモデルが作成される。ここで、境界形状が定義された加工面が加工特徴面と一致する場合、もっとも効率的な加工面であると言える。

黒塗の枠の中が本報で報告する部分であり、ここでは、簡略化のため境界形状を意識せずに5軸工作機械を対象としての加工特徴面を、数学モデル化する手法について検討する。

3. 3軸加工と5軸加工との比較

図-2は、ドリル、エンドミル、Face-cutterに、1自由度の運動を与えて創成される加工面を表したものである。これら1自由度の工具運動の組み合わせにより種々の加工面がつくられる。しかし、工具の種類をいろいろ考えると加工面には重複するものが現れる(図-2中のテーパエンドミルでの加工は、ストレートエンドミルに2自由度を与えた場合と同等である)。そのためここでは、工具形状の単純化を考え、直線切刃を有するFlat-endmillと円弧切刃を有するFace cutterについて検討する。

3軸工作機械の工具運動を考えた場合、工具姿勢を変化できないため図-2からも明らかなように、平面や円筒面等の

工具運動 工具形状	x, y軸方向 送り	z軸方向 送り	z軸回り回転送り (C)	x, y軸回り 回転送り (AB)
DRILL	—		—	—
ストレート エンドミル	Ball-end 		—	
	Bull-nose 		—	
	Flat-end 		—	
テーパ エンドミル	Ball-end 		—	
	Bull-nose 		—	
	Flat-end 		—	
Face-cutter 		—		
5軸加工				

図-2. 工具形状と工具運動の関係

限られた加工特徴面しか有しない。それに対して5軸工作機械では、3軸の持つ平面・円筒面の他、工具姿勢の変化により円錐面・ruled-surface・球面等の加工特徴面が考えられる。

以上のことより3軸工作機械よりも5軸工作機械の方が加工特徴面を多く持つことが判る。即ち、加工特徴面数の多さが5軸加工の高効率加工性を示している。

#### 4. 加工特徴面の記述

##### 4-1. 直線切刃

直線切刃において加工特徴面は、図-3に示すような平面・円筒面・円錐面などの解析面および、ruled-surfaceのような非解析面とに分類される。これらの面を統一的に取り扱うため、ここでは数学的な記述で表される非解析面について記述する。



図-3. 直線切刃による加工特徴面

3次元形状モデリングにおいて、曲面形状の記述は、ほとんどの場合パラメトリック表現によりなされている。ここでは、パラメータ(u, v)を使用して曲面S(u, v)を表現するものとする。

図-4は、工具切刃(P<sub>0</sub>P<sub>1</sub>)が駆動母線Pc(v)に沿って姿勢[Tx, Ty, Tz]で運動する時の、切刃(P<sub>0</sub>P<sub>1</sub>)の接触面S(u, v)を表したものである。

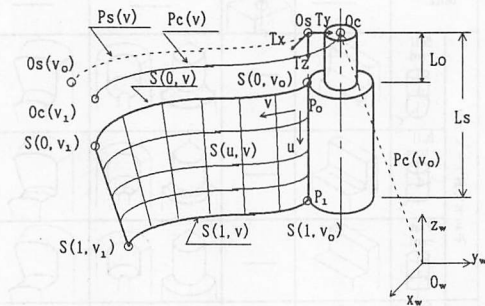


図-4. 直線切刃による面の創成

曲面:  $S(u, v) = [X(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$

ここで

Oc: 工具中心                      Pc(v): 駆動母線  
 Os: 姿勢中心                    P<sub>0</sub>P<sub>1</sub>: 工具切刃  
 Tz(v): 工具切刃方向単位ベクトル  
 Tx(v): 面に対する単位接線ベクトル  
 Ty(v): 面に対する外方向単位法線ベクトル  
 [O<sub>w</sub>=x<sub>w</sub> y<sub>w</sub> z<sub>w</sub>]: ワーク座標系                      である。  
 これらの関係を表すと

$$\begin{aligned} S(0, v) &= Ps(v) + LoTz(v) \\ S(1, v) &= Ps(v) + LsTz(v) \\ S(u, v) &= S(0, v) + u(Ls - Lo)Tz(v) \\ &= Ps(v) + [Lo(1-u) + uLs]Tz(v) \end{aligned} \quad \text{となる。}$$

設計モデル形状よりS(0, v)とS(1, v)が決まるとすると

$$Tz(v) = \frac{S(1, v) - S(0, v)}{|S(1, v) - S(0, v)|}$$

$$Tx(v) = \frac{\frac{\partial S(u, v)}{\partial v}}{\left| \frac{\partial S(u, v)}{\partial v} \right|}$$

$$Ty(v) = Tz \times Tx$$

で表されるので工具姿勢[Tx Ty Tz]が決定し、曲面形状S(u, v)が定義される。又、工具駆動母線は

$$Pc(v) = Ps(v) + |0s0c| Ty$$

により決定される。

##### 4-2. 円弧切刃

円弧切刃においては、平面・球面体および球面の一部が創成可能である。ここでは球面モデルについて検討する。

図-5は半径Rの球面に切刃半径rの工具が接触した状態の図である。図より明らかなように球体の中心:So・半径Rおよび工具径:rにより切刃中心:Qc(v)が決定され球面形状が決定される。また、工具姿勢Tzは常にSo方向であるから工具駆動母線:Pc(v)も決定される。

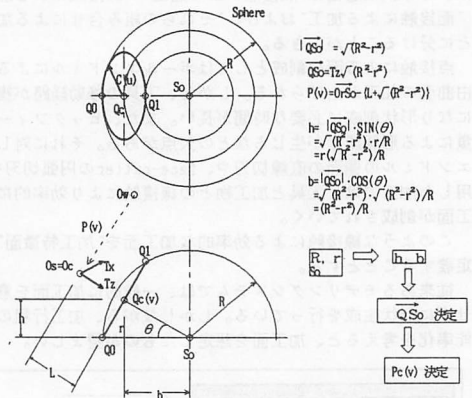


図-5 円弧切刃と球面体

#### 5. 結論

1. 加工特徴面を工具形状、工具運動の観点から定義付けた。
2. 5軸工作機械による加工は、3軸によるものよりも、加工特徴面を多く有することを示した。
3. 加工特徴面を創成する工具運動について提案した。

#### 参考文献

- ・山口、コンピュータディスプレイによる形状処理工学(I)(II)
- ・工作機械技術振興財団、工作機械構造の解析的アプローチに関する研究