

曲面物体上への5軸制御マッピング加工

函館高専 ○九島 拓郎, 平舘 美佳, 山田 誠

要 旨

本研究の目的は、5軸制御マシニングセンタ(以下5軸MCと呼ぶ)により、工作機械座標系上で認識されている物体上へ、他の空間で定義されている二次元形状を転写加工することである。本報では、機上で認識された幾何形状で表現される基本形状物体上へ、詳細情報をもった転写形状をマッピングし、エンドミルによる溝加工を行う。

1. はじめに

5軸MCは、工作物の取り付け・取り外し時間の短縮や、自動工具交換装置により、3軸制御工作機械に比べて高能率に加工できる。また自由度が高いため、複雑な形状の加工が可能であり、その利用範囲は広い。しかし実際にはさほど普及していない。この主な要因として、使い易いソフトウェアの不足がある。また、3軸制御工作機械と比べ剛性が低いため、精度が低下する。5軸MCが高価であること、加工物に比べ機械が大型となることも要因である。

本報では5軸MCの可能性を探るための一例として「曲面物体上へのマッピング加工」を示す。これは予め5軸MC上で認識されている物体上への、ある2次元形状データの転写加工である。今回行ったマッピング加工の手順は以下の通りである。

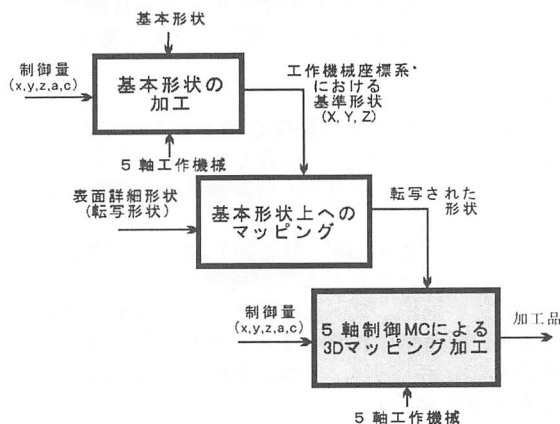


図1 転写加工の手順

2. 基本形状と転写形状

2.1 基本形状

図2に示すスケッチを1つ描き、X軸回りに回転させることによりできる形状を基本形状とする。この基本形状は2つの部分から形成されている。その形状定義は次式で表される。

円柱面

$$\mathbf{r}_c = A^4(\varphi)A^2(R + R_f)A^1(h)\mathbf{e} \dots(1)$$

フィレット面

$$\mathbf{r}_f = A^4(\varphi)A^2(R)A^1(\pm b/2)A^6(\theta)A^1(R_f)\mathbf{e} \dots(2)$$

ただし、

$$\mathbf{e} = [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T, \\ -b/2 \leq h \leq b/2 \quad 0 \leq \varphi \leq \pi \\ -\pi/2 \leq \theta \leq 0 \quad 0 \leq \theta \leq \pi/2$$

$A^1(x), A^2(y)$ は X,Y 軸方向の並進移動を表し、 $A^4(a), A^6(c)$ は X,Z 軸廻りの回転移動を表す座標変換マトリクスである。

$$A^1(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A^2(y) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ A^4(a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & -\sin a & 0 \\ 0 & \sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A^6(c) = \begin{bmatrix} \cos c & -\sin c & 0 & 0 \\ \sin c & \cos c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

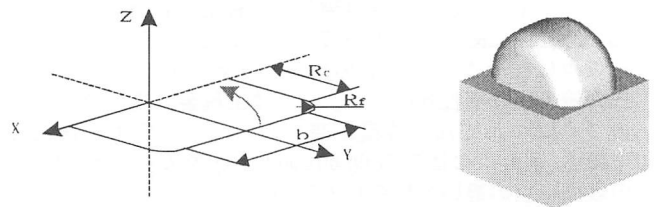


図2 基本形状

2.2 転写形状とその変換

転写形状を物体に転写する際、R部での図形の干渉を避けるため、図3(a),(b)の様に、マッピング形状を修正する。

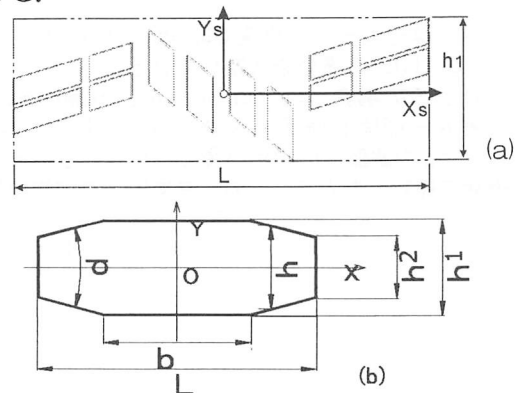


図3 転写形状

今、 $(L/2, h/2)$ で表される点について考えると、この時の縮小比 h_r は $h_r = h_2/h_1$ となる。 x 値を一定とすると、縮小後の y 値は次式で表される。

$$y = \frac{h_2}{2} = \frac{h_1}{2} \cdot \frac{h_2}{h_1} = \frac{h_1}{2} \cdot h_r$$

また、縮小後の任意の位置での幅を h 、縮小前の点の位置を (x_1, y_1) とすれば、図 3(b) より h, h_r 、縮小後の y 値は次式で表される。

$$\begin{aligned} h &= h_1 - 2(|x| - b/2) \cdot \tan(d/2) \\ h_r &= 1 - (2/h_1)(|x| - b/2) \cdot \tan(d/2) \\ y &= y_1 \{ 1 - (2/h_1)(|x| - b/2) \cdot \tan(d/2) \} \end{aligned}$$

これを、図 3(b) の幅 b を境界として、それよりも外側にある全ての点において行う。

3. マッピング操作

3.1 円柱への転写

XY 平面上に存在するマッピング形状を、物体の円柱面へ転写するため、今回は以下の方法をとる。

今、物体の円柱面の XY 平面上から角度 β の位置にマッピングのための相対原点 O_s をとり、マッピング座標系 X_s, Y_s, Z_s について考える(図 4)。 X_s, Y_s 平面の点 A' と、転写後の点 A のマッピング座標系での関係は、次式で表される。

$$\overline{O_s A'} = \widehat{O_s A} \quad \dots(3)$$

$$\text{また、 } O_s A \text{ は } \widehat{O_s A} = R d \quad \dots(4)$$

R : 円柱半径

$$\text{式(3), (4)より、 } \alpha \text{ は } \alpha = \frac{\overline{O_s A'}}{R} \quad \dots(5)$$

α : $\widehat{O_s A}$ の中心角

式(5)より、点 A の Z_s 軸までの距離を l_a 、 Y_s 軸までの距離を l_b とすれば、 l_a, l_b は次式により表される。

$$l_a = R \sin \alpha$$

$$l_b = R - R \cos \alpha = R(1 - \cos \alpha)$$

l_a, l_b が、それぞれマッピング座標系上での Y 座標、 Z 座標の値となるので、これにより円柱上の転写形状 $r_c(\varphi, h)$ が導出される。

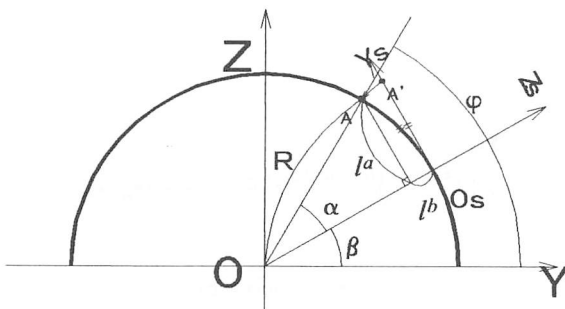


図 4 円柱部

3.2 フィレット面への転写

先に述べた様に、物体上のある点の位置は式(2)で表される。

$$r_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & b/2 \\ 0 & 1 & 0 & R \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r \cos \theta + b/2 \\ r \sin \theta \cos \varphi + R \cos \varphi \\ r \sin \theta \sin \varphi + R \sin \varphi \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots(6)$$

式(6)での φ は円柱への転写により既に導出されているため、フィレット面上へ転写するためには θ を導出する必要がある。 $0 \leq \theta \leq \pi/2$ の範囲に無数の点を仮定し、円柱座標系上にある点との距離を評価していく。2点間の距離が最も短かった点を求める点とする。

基本形状としてタイヤを考えているので円柱面はそれ以外にとり得ないが、フィレット面は様々な形状が考えられるため、この導出法を用いた。

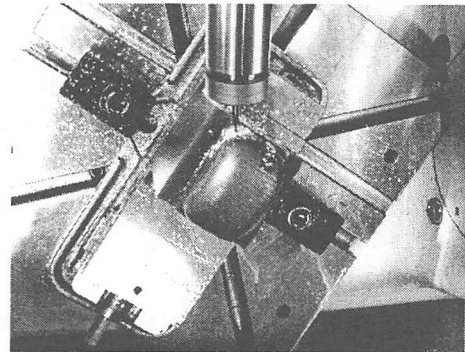


図 5 転写加工風景

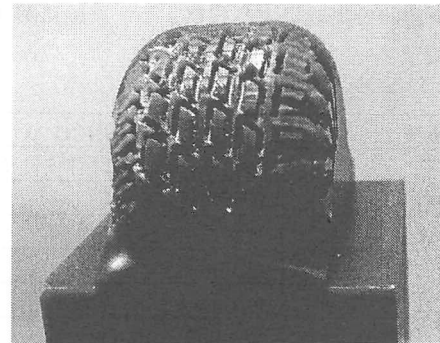


図 6 ワックスへの加工状況

4. おわりに

本報では、予め5軸MC上で認識されている、幾何形状で表現される基本形状物体上へ、二次元形状を転写加工する方法を示した。

参考文献

- 1) D.N.Reshtov, T.V.Portman, Accuracy of Machine Tools(1988), 25, ASME PRESS.
- 2) 山田他, 5軸制御マシニングセンタによる形状加工 第5報, 函館工業高等専門学校紀要(2000)