

5軸マシニングセンタを用いた曲面物体上への形状加工

函館工業高等専門学校 ○森 真也 山田 誠

要 旨

本研究では3次元形状の多面加工が可能である5軸マシニングセンタを用いて、曲面物体上に形状の加工を行なうことが目的である。本報では、球体上の形状加工を例として、加工物座標系を決定するために5軸マシニングセンタ上で曲面物体の形状測定を行い、認識された曲面形状と目的形状データから加工制御量を決定するための一連の手順を示し、加工制御量の導出方法を記した。

1. 緒言

5軸マシニングセンタは、3軸では点加工するものを線加工による加工が可能である点や、取り付け直しする行程を短縮することが可能であることなど高精度、高能率な加工が可能であることなどが知られている。しかし利用技術の確立が不十分で、制御ソフトウェアが高価でユーザの利用目的を満たしているものが少ない。また、ある程度専門的な知識を必要とするので、その利用が十分されていないのが現状である。

そこで本研究では、5軸マシニングセンタにおいて、目的形状を任意の曲面物体上に加工することを目的とし、そのために必要な、物体の認識から実際に加工に至る一連のプロセスを示す。

2. 曲面物体測定から形状加工までの手順

曲面物体上への形状加工をおこなうにあたっての、手順を図1に示す。本研究では、曲面物体上の加工の一例として、図1中に示すように、曲面を球体、目的形状を地球上の陸地と海との境界を輪郭加工することとした。この対象物について、5軸マシニングセンタによる加工を行うまで処理を次の手順で行う。1) 工作機械上での曲面物体の認識を行うための3軸制御による概形測定と、

5軸制御による形状測定、2) 曲面物体座標系で与えられる形状データから直交座標系への変換、3) 曲面物体の形状と加工対象の形状データから工具姿勢制御量 $[a, c]$ の導出、4) 工具半径オフセット形状の導出、5) 工具姿勢とオフセット形状より工具位置制御量 $[x, y, z]$ の導出、6) 実機における加工。

3. 曲面物体形状測定について

曲面物体上に形状加工する場合、工作機械上でのワークの位置、形状、つまり工作機械座標系と加工物座標系との関係がわからなければ、実際の加工は行うことができない。そこで今回の加工では、5軸マシニングセンタ上で非接触距離センサをもちいて曲面形状の測定を行い、工作機械座標系と加工物座標系との関係を導出する事とした。

まず、対象物の概形導出を行う目的で、 X, Y, Z の3軸制御により形状測定を行う。3軸制御による測定は X, Y 軸運動により対象物の測定範囲をなぞり、その際のレーザー変位計の指示を Z 軸データとして扱い、概形形状を測定するものとする(図2(a)参照)。曲面上ではレーザー光に対する対象物の傾きによる誤差が生じることになるので、一般の自由曲面形状物体では、3軸制御

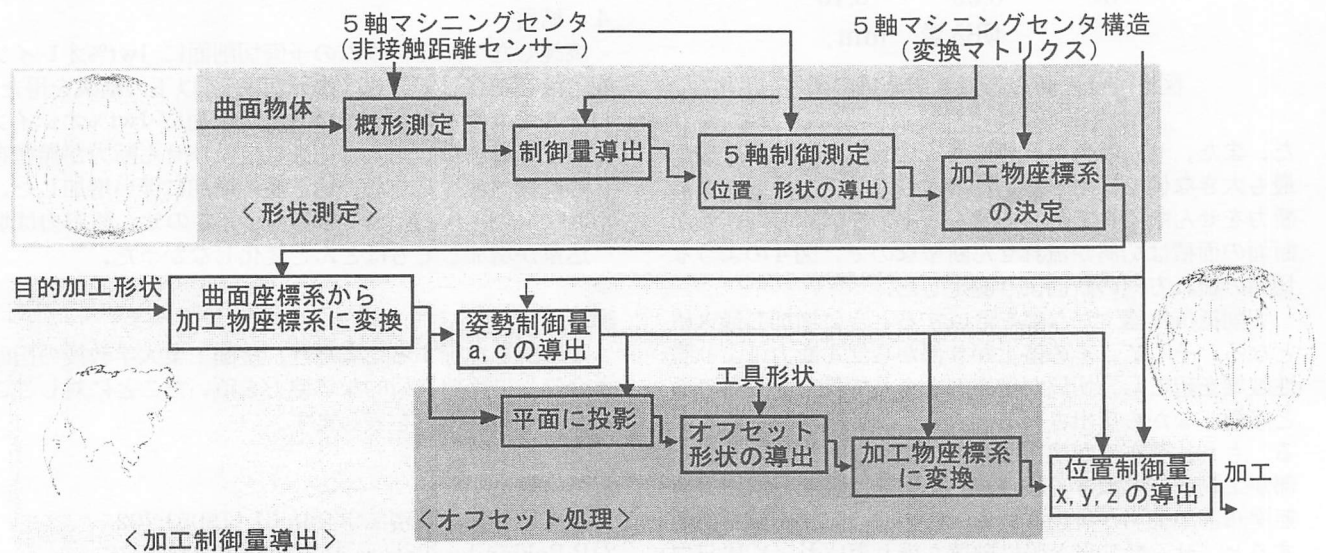


Fig 1. 5軸マシニングセンタにおける形状測定から形状加工までの手続き

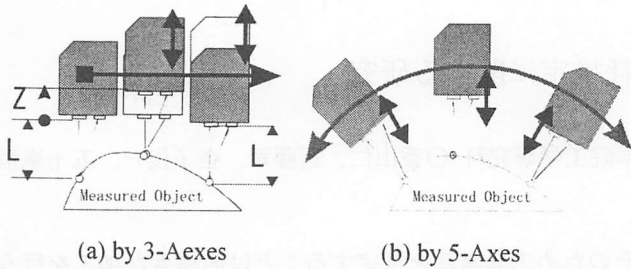


Fig 2. 工作機械上での曲面物体の形状測定

での誤差は面の傾斜が大きくなるほど顕著に現れる。そこで3軸制御による測定誤差を修正するために5軸制御測定を行うものとした(図2(b)参照)。3軸制御測定により得られた形状データを概形として、それ上を測定することにより、姿勢制御量が導出され、位置制御量も決定される。工作機械上での曲面物体の形状が既知となることにより、工作機械座標系と加工物座標系の関係が明らかになり、対象となる曲面物体上への形状加工が可能となる。

4. 加工制御量の導出

4.1 5軸マシニングセンタの形状創成関数

今回使用した5軸マシニングセンタはテーブル側にA, C軸を有する構造をしているため、その機能的構造のみを考慮した場合、形状創成関数は式(1)で表される。

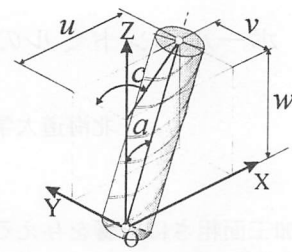
$$r_0 = A^6(c)A^4(a)A^2(y)A^1(x)A^3(z)r_T \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 A^6, A^4 はZ軸、X軸回りの回転マトリクスを、 A^1, A^2, A^3 はそれぞれ、X, Y, Z軸方向の並進運動マトリクスを表している。また、 a, c はそれぞれ、A軸、C軸回りの回転制御量であり、 x, y, z はX軸、Y軸、Z軸方向の並進運動制御量である。 r_0 は加工物座標系における工具の立体スイープ形状を表し、 r_T は工具形状を表している。この式は、回転2軸の回転中心が交差している場合で、しかもワーク原点と機械原点が一致している場合である一般的なには回転2軸の回転中心はねじれの位置関係にあると考えられる。またワーク座標系のとりかたも回転中心と必ずしも一致させるものではない。従って、これらの量を補正する必要がある今回使用する機械の構造は、A軸とC軸の回転中心の図のずれを yac 、C軸の回転中心からワーク座標系の原点の距離をX軸方向に xc 、Y軸方向に yc 、A軸とワーク座標系の距離を za とすると形状創成関数は式(2)で表される。

$$r_0 = A^2(yc)A^1(xc)A^6(c)A^2(yac)A^3(za)A^4(a)A^2(y)A^1(x)A^3(z)r_T \quad (2)$$

4.2 姿勢制御量の導出

姿勢制御量とは、X軸およびZ軸周りの回転運動の制御量 $[a, c]$ である。制御量 a, c は、図3に示すような姿勢にするためには、式(3)(4)により導出される。



$$a = \tan^{-1} \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{w} \quad \dots (3)$$

$$c = \tan^{-1} \frac{u}{v} \quad \dots (4)$$

Fig 3. 工作機械上での曲面物体の形状測定

4.3 オフセット形状および位置制御量の導出

実際の加工データを作成する際には、工具の半径量のオフセットを考慮して、加工制御量を導出する必要がある。オフセットの方向は、基本的には工具の運動方向ベクトルと工具軸方向ベクトルから構成される平面に対する法線方向となる。しかしながら、工具による形状への干渉がおきるため、それを防ぐために、先読みのオフセット導出方法が必要となる。そこで、今回は加工をフラットエンドミルで行うものとし、図4に示すように、工具軸に対して垂直な平面上に目的の形状を投影し、オフセットベクトルを導出することとした。導出されたオフセット点を実空間に戻すことにより、オフセット形状が決定することになる。

このオフセット点と、工具姿勢が決定されることにより、式(2)の逆変形で位置制御量 $[x, y, z]$ が導出される。

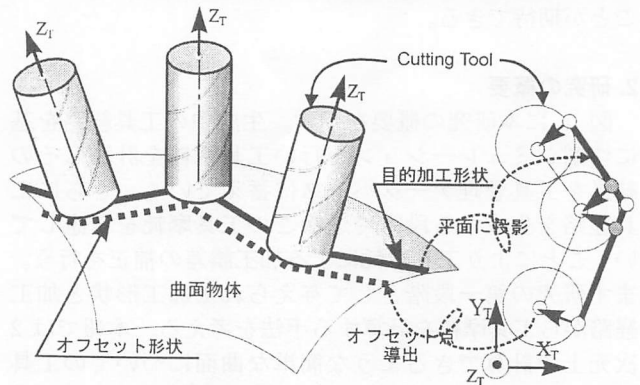


Fig 4. 工具オフセット量の導出方法

5. 結言

5軸マシニングセンタを用いた曲面物体上への形状加工(球体への輪郭加工)について以下の事項を示した。

- (1) 工作機械上での機械座標系と曲面物体の座標系の関係付けの方法について示した。と
- (2) 加工するための手順を示し、それをもとに姿勢制御量、オフセット量、位置制御量を導出する方法を示した。

参考文献

- 1) 山田他、5軸マシニングセンタにおける形状加工(第1, 2, 3報)、函館工業高等専門学校紀要
- 2) 山田他、5軸マシニングセンタによる曲面の形状測定、函館工業高等専門学校紀要、1998