

要 旨

高専において卒業研究はモノ作り実践教育の環境を与えることのできる重要な科目のひとつである。3軸加工機械よりも複雑に動作する5軸加工機械に関するシステムの開発は、干渉チェック機能、シミュレーション機能を有するCAM, ポストプロセッサなどの支援システムの依存度が高く、高度なモノ作りを体験させるには適した題材と考える。機械製作だけでなく制御システムを構築する技術を体験するため、パソコン制御5軸加工機械の製作を卒業研究の課題とし、その成果を報告する。

1. はじめに

パソコン制御による5軸加工機械の製作は、設計、加工、組立の作業を経験するだけでなく、制御、CG等のコンピュータ利用技術、工学を利用するため、複合領域の実践的な教育も体験できる。これまでに卒業研究で、パソコン制御による3軸加工機械を製作し、さらに立体地図の高速加工に対応させるため、リアモータを駆動軸にした加工機械に改良してきた。その作業を通じて、機構設計、機械加工、制御システムの構築と制御プログラム作成を経験できた。さらに高度な技術を経験させるため、5軸加工機械の製作を卒業研究の課題として与え、回転駆動軸の製作、制御プログラムと加工シミュレーションプログラムの作成を行った。

2. 5軸加工機械

曲面加工では良好な切削状態を維持するため、工具の姿勢を変化させることのできる5軸加工は有用である。5軸加工機械の動きは3軸加工機械の動きよりも複雑になるだけでなく、干渉チェック機能などCAM, ポストプロセッサなどのコンピュータの依存度が高い。しかもその加工データは工作機械の構造により異なるので、機械間でデータの互換性はない。製作する加工機械のNCはそれ自身の構造に対する座標変換処理を内部で行っているため、加工データは機械の構造を考慮しなくてもよい。従って、加工データは工具先端位置に関するデータであり、そのデータは互換性をもつことができる。

これまでに立体地図加工機械としてリアモータ駆動の3軸工作機械を製作してきたが、この機械に2つの駆動軸を加えて5軸加工機械に改良した。5軸加工機械のタイプは複合加工機に使われる工具、テーブルチルト型で、X, Z軸周りのA, C軸を駆動軸とした。図1に示すように設計は3次元 CAD SolidWorks を用いて行った。

この加工機械はX, Y, Z軸の駆動装置に高速、高精度位置決めが可能なリアモータを、A, C軸駆動にはAC回転モータを用いた。機械の仕様は表1の通りである。ワックスのような切削しやすい材料の加工を目的として作られたこの機械は、最高回転数が 25000rpm のブラシレスモータを装備し、回転数はマニュアルで設定する。そのため工具の姿勢によって切削位置が変化し、それに伴って切削速度が変化するが、主軸回転制御はできない。

3. 座標変換式

5軸加工機械はA, C軸を駆動軸とした工具、テーブルチルト型で、その座標系を図2に示す。添え字1と2はそれぞれ初期状態と回転後、aとcはそれぞれA軸、C軸による回転、そしてsとwは機械座標系と工作物座標系であることを示す。S = [Xs, Ys, Zs]は機械座標上の

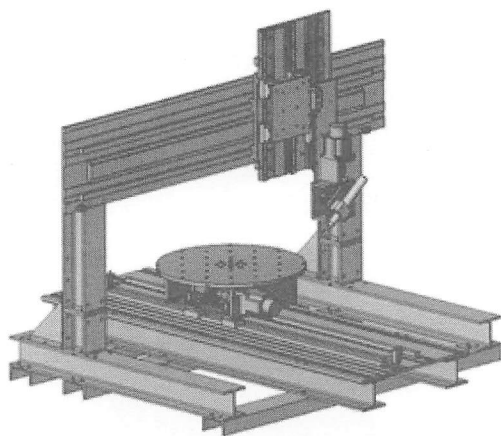


図1 5軸加工機械組立図

表1 5軸加工機械の仕様

軸	移動範囲	最大速度
X	1000 mm	1000 mm/sec
Y	1000 mm	1000 mm/sec
Z	250 mm	1000 mm/sec
A	±90 degree	150 rpm
B	360 degree	50 rpm

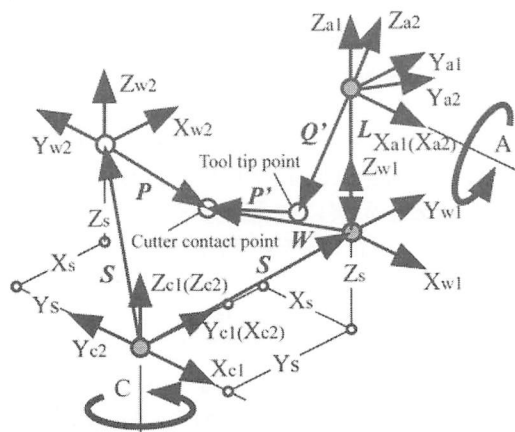


図2 5軸加工機械の座標系

工作物座標原点位置ベクトルを示す。L=[0, 0, L]は工具ベクトルで、Lは工具長である。

N = [i, j, k]は工具姿勢ベクトルを示し、A, C軸の回転角を決定する。

$$A = \cos^{-1} k, \quad C = \tan^{-1} i/j \quad (3.1)$$

$P = [x, y, z]$ は工作物座標系から見た切削位置ベクトル,  $P' = [X, Y, Z]$ はX, Y, Z 駆動軸の移動ベクトルを示し, 下式の関係がある.  $R$  (角度),  $T$  (ベクトル) はそれぞれ回転変換行列, 並進変換行列を示す.

$$Q' = R(A) \cdot L \quad (3.2)$$

$$W = T(-L) \cdot T(Q') \cdot P' \quad (3.3)$$

$$W = T(-S) \cdot R(C) \cdot T(S) \cdot P \quad (3.4)$$

$$P' = T(L) \cdot T(-Q') \cdot T(-S) \cdot R(C) \cdot T(S) \cdot P \quad (3.5)$$

上式より, X, Y, Z 軸の移動量は

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos C & -\sin C & 0 & Xs \cos C - Ys \sin C - Xs \\ \sin C & \cos C & 0 & Xs \sin C + Ys \cos C - Ys - L \sin A \\ 0 & 0 & 1 & L \cos A - L \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

となり, さらに速度は下式のようなになる.

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \\ \dot{A} \\ \dot{C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos C & -\sin C & 0 & 0 & -(x + Xs) \sin C - (y + Ys) \cos C \\ \sin C & \cos C & 0 & -L \cos A & (x + Xs) \cos C - (y + Ys) \sin C \\ 0 & 0 & 1 & -L \sin A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{A} \\ \dot{C} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

#### 4. パソコンによる軸駆動制御

X, Y, Z軸はリニアサーボモータ(日機電装(株)製)による直接駆動を行い, A, C軸はACサーボ回転モータ(オリエンタルモータ(株)製)を使い, ウォームギヤを介して駆動する.

工具の切削位置や姿勢が目的値になるように, パソコンを使って上述の座標変換式で駆動軸の位置, 角度, 速度, 角速度を算出し, パソコンに組み込まれたモータコントロールボード(コスモテック(株)製 PCPG-67)に設定する. このボードは設定されたデータに従ってパルス列を出力して, サーボドライバを介してモータの位置, 速度制御する. さらに, このボードは非常停止, リミット, 原点復帰などの処理も行うことができる.

#### 5. 加工実験

図3に製作した5軸加工機械を示す. 機械の動作を確認するため, 半球加工の加工面データを作成し, 加工実験を行った. 図4に示すように直径 80mm の半球を加工する様子をシミュレーションにより確認する. 5軸加工機械はこのデータを入力し, 半径 3mm のボールエンドミルを用いてウレタンフォームを加工した. 加工条件は送り速度 500mm/min 主軸回転数 25000rpm である. 図5にその様子を示す.

#### 6. おわりに

5軸加工機械に関するシステムの開発は, 高度なモノ作りを体験させるには適した題材である. 機械製作だけでなく, 高度なコンピュータ利用技術を体験学習するため, パソコン制御5軸加工機械の製作を課題として与えた結果, 以下の結論を得た.

1. 機械製作により, 3次元CADによる設計, 機械加工を体験できた.
2. 駆動軸制御システムの設計と座標変換処理, 駆動軸制御などのプログラム作成を体験できた.

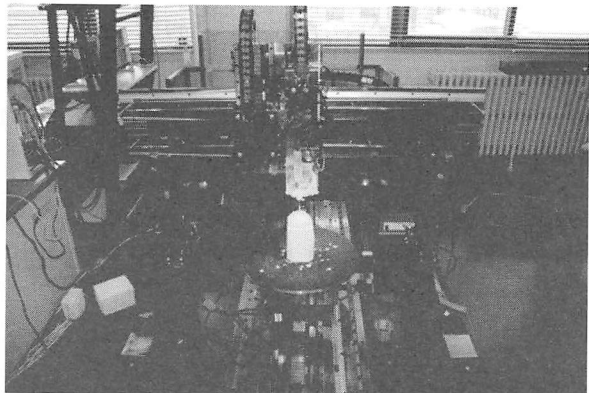


図3 製作した5軸加工機械

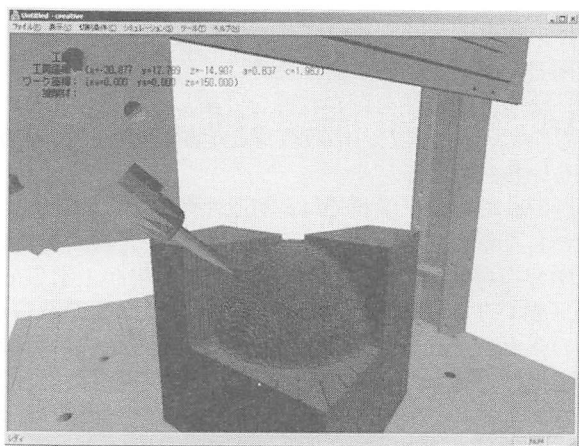


図4 半球加工のシミュレーション

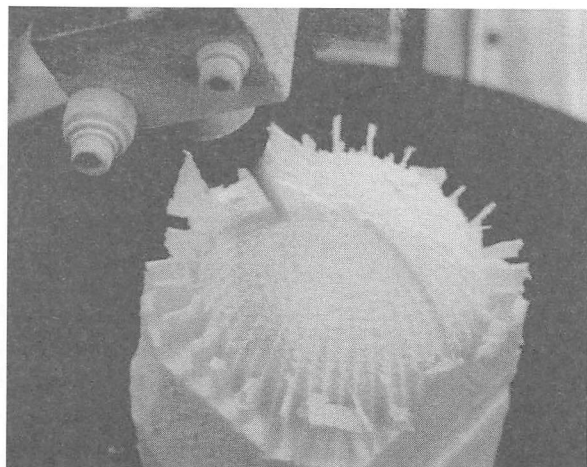


図5 半球加工の様子

3. シミュレーション機能を付加することにより, CG 技術を利用したプログラム作成の体験ができた.

#### 参考文献

- 1) 竹内他: 5軸制御マシニングセンタ用ポストプロセッサの研究, 精密工学会誌, 58, 9(1992)
- 2) 竹内他: 5軸制御マシニングセンタ用ポストプロセッサの研究—スピンドルチルト型、テーブル・スピンドルチルト型の場合—, 精密工学会誌, 60, 1(1994)