

# 5軸制御工作機械による3次元測定データの再現加工

函館工業高等専門学校 ○竹田 誠, 角 直隆, 山田 誠

## 要 旨

意匠性のある文化財や自然物形状などの図面がないものは、復元・設計することが大変困難である。そこで、リバースエンジニアリング技術は有効な技術として利用されてきている。本研究では、非接触3次元計測による形状データに基づき、5軸制御工作機械を用いて高速に再現加工を行うシステムの構築を目的とする。特に、一方向からでは加工できない形状に対する3+2軸制御加工法の適用例について報告する。

### 1. 緒言

近年、意匠形状や複雑な形状を再現加工する要求が増えてきている。ガラスや陶器など意匠的に特長のある工芸品の実体を3次元測定の後、図面化し、形状を再現するリバースエンジニアリングシステムを開発し、高速性と精密性を検討する。非接触3次元計測による形状データに基づき、5軸制御工作機械を用いて高速に再現加工を行うシステムの構築を目的とする。加工には3+2軸制御加工法を適用する。

### 2. 形状測定

#### 2.1 使用機械

図1に示す様な非接触型3次元形状測定装置(3次元デジタルライザー)はレーザーとCCDカメラを利用して測定物の点群データを得るものである。利点としては、測定にかかる時間が非常に短く、正確な測定データを得ることができる。

今回の測定には、ミノルタ社製非接触型3次元デジタルライザーVIVID300を使用した。下表にVIVID300の主な仕様を示す。

表1 Minolta VIVID300の主な仕様

測定距離	0.55~1.2m
測定視野域	185mm×395mm
分解能	0.42mm~1.91mm
測定時間	0.6秒
測定ポイント	200×200
カラー画像データ	400×400
測定可能環境光	500lx以下

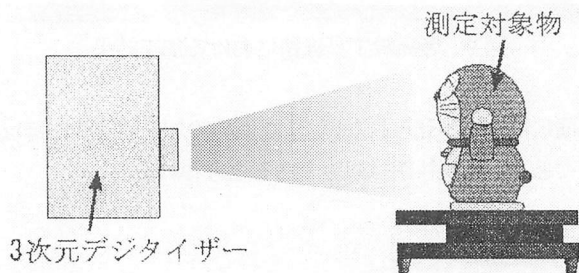


Fig.1 測定状況

#### 2.2 測定手順

測定対象物には図のような人形を選定した。選定した理由は次の通りである。

- ① 3次元デジタルライザーを用いた測定のとりかかりとして、回転ステージの上に乗せる事ができるである。

- ② 多くの自由曲面で構成されており複雑な形状である。

測定対象物を3次元デジタルライザーの測定範囲(0.55~1.2m)に置き、回転ステージの上に乗せる(図1)。必要に応じて高さを合わせる。0°、90°、180°、270°とステージを回転させてその度画像をスキャンする(図2)。光の強さと焦点を合わせる為に校正チャートを用いた。

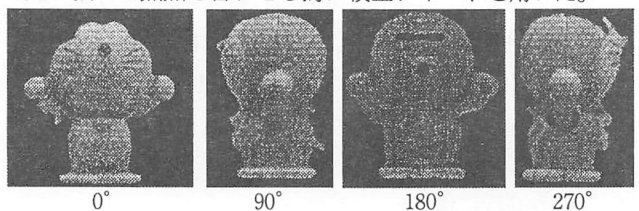
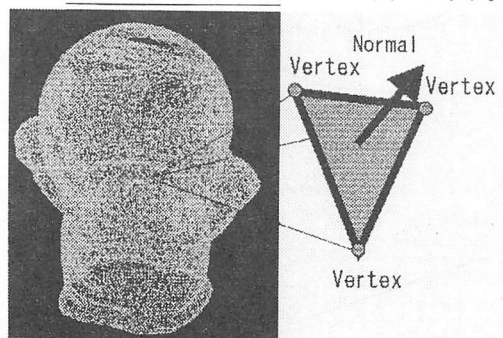


Fig.2 各角度のスキャンデータ

#### 2.3 測定形状データ

測定して補正されたデータは、プログラムの入力としてSTLデータと呼ばれるデータ形式に変換する。STLデータはもともと光造型(RP法)用のデータ形式であり、モデル面を全てfact(三角形)に分割したデータである。各三角形のデータは3点の頂点座標vertex(X, Y, Z)と、その面を外向き法線ベクトルnormalとで構成されるデータである。また、1面分のフォーマットを図3に示す。



```
facet normal -1.510396e-001 8.807726e-001 4.488059e-001
outer loop
vertex 3.832557e+000 3.817091e+001 -7.678713e+002
vertex 3.818873e+000 3.676691e+001 -7.651206e+002
vertex 5.088826e+000 3.674520e+001 -7.646506e+002
end loop
```

Fig.3 STLデータ

### 3 再現加工と加工物評価

本研究における形状測定から加工までの手続きを図 5 に示す。

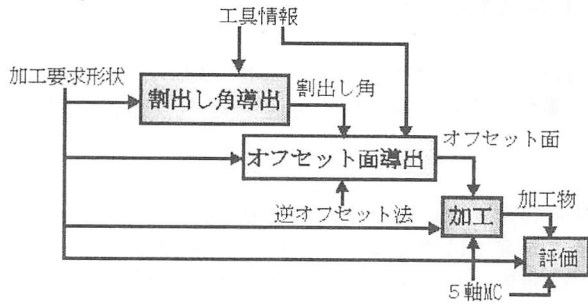


Fig.5 本研究のフローチャート

#### 3.1 5軸MCの特徴

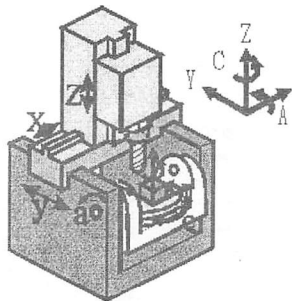


Fig4 5軸MC概観図

STLデータをもとに3+2軸で加工する。使用する機械は5軸マシンングセンタ(以下5軸MC)である。外観図を図4に示す。5軸MCはX, Y, Zの3軸とX軸回りの回転であるA軸とZ軸回りの回転であるC軸、合わせて5軸で構成されており、あらゆる方向からの

加工が可能であるので複雑な形状を加工することが出来る。5軸MCでの加工制御量導出の基本となる形状創成関数(機能的構造のみを考慮した場合)は次の様に表す事が出来る。

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

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} \cos c & -\sin c & 0 & 0 \\ \sin c & \cos c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & -\sin a & 0 \\ 0 & \sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

#### 3.2 3+2軸加工制御

金型加工における3軸制御加工の問題点の一つとして、段取り替えなしに工具ホルダの干渉を回避するためには、長い工具突き出し長を必要とすることがあげられる。しかし、このことは、加工精度を低下させ、さらには高速送り加工が困難となり加工能率を低下させる。第二の問題点として、3軸制御ボールエンドミル加工では切削速度が低い工具の回転中心付近での加工、工具の弾性変形が大きくなる側刃部での加工を避けることができないことがあげられる。

これらの問題点は、工具姿勢を制御すること、即ち工具軸を加工面に対して傾斜させることにより解決可能であ

る。5軸MCを用いて加工を行う場合、5軸同時加工と3+2軸加工の2通りが存在する。

5軸同時加工は要求加工形状の加工点毎に工具姿勢を決定し、そのつど工具が動く為オペレーターに機械の動きの予測が出来ない。また加工動作が複雑になりNCプログラム作成や検証が難しくプログラム作成に長時間を要する。

3+2軸加工の利点は次の通り。

- ① 5軸制御加工が持つ自由度をある程度維持できる。
- ② 同時運動軸数を3軸とすることにより、機械剛性を高めることができ高精度加工が期待できる。
- ③ 既に技術が確立されている3軸用のCAMを使用することができる。
- ④ オペレーターに機械の動きの予測が出来る。
- ⑤ 一方向から加工できない形状を加工する事が出来る。

3+2軸加工するにあたって、加工する際の姿勢(割出し角)を求めなければならない。加工時間を短くする為に割出し角は少ない方がよい。そこで、facet一つ一つの法線ベクトル(normal)を求め、次に割出した形状を格子空間上に置いて加工点を導出する。導出された加工点は要求形状の表面形状となるが、実際に加工を行うためにオフセット面を導出する。

#### 3.3 加工物の評価

加工物を5軸MCから取り外す事なく、機上計測を行う。その計測データから要求形状と加工物を比較する。この機上計測は要求形状を基に同時5軸制御により計測を行う(図6参照)。

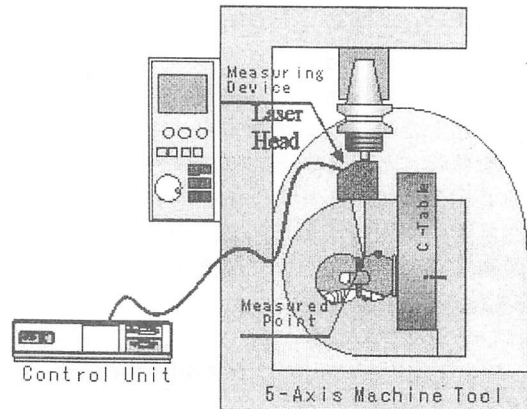


Fig.6 測定外観図

### 4 結言

- 1 3次元デジタイザーを用いて測定対象物の再現を行った。
- 2 要求形状を測定を基に3+2軸制御加工し、評価するまでの流れを示した。

### 参考文献

- 1) 近藤, 岸浪, 齋藤: 逆オフセット法を基にした形状加工処理, 精密工学会誌, 54, 5, (1988)
- 2) 山田, 田中, 近藤, 岸浪, 香村: 5軸NC工作機械による主軸傾斜曲面加工法に関する研究(第1報), 精密工学会誌, 70, 1, (2004)