

点群による自由曲面の CAD/CAM

CAD/CAM of the Free-Form Surface Defined by a Group of Points

いわき明星大学科学技術学部

大峯 和也、塩田 陽一、野村 篤史
高三 徳、高山 文雄、大表 良一

1. 緒言

CAD ソフトを使用して作成した 3 次元モデルを指定した平面へ投影することで、2次元の図面が簡単に得られる。また、近年、モックやクレイモデルを意匠の検討のため手作業で作成・評価した後、三次元ディジタイザを用いて形状・寸法データを計測し、設計図面に反映させる、リバースエンジニアリングがよく行われるようになっている。このような目的のため、3次元ディジタイザの開発も進み、レーザービームによる光切断法を採用した、非接触 3 次元ディジタイザが市販されるようになった。一方、デジタルカメラの高性能化とともに、多方向からひとつの物体を撮影した画像より、その物体の 3 次元モデルを計算するソフトウェアが開発され、建築現場、住宅産業、文化遺産の保存などの面で利用されるようになった。

本研究はこのような技術的背景から、カメラで撮影した図 1 に示すような鬼の面のデジタル画像を元に、3 次元モデルを復元し、マシニングセンタでレリーフを製作することを試みた。



(a) 正面視

(b) 斜視

図 1 鬼の面のデジタル画像

2. 画像から 3 次元物体の復元

画像から 3 次元物体を復元する基礎原理は図 2 に示す^{(1), (2)}。空間に固定された世界座標

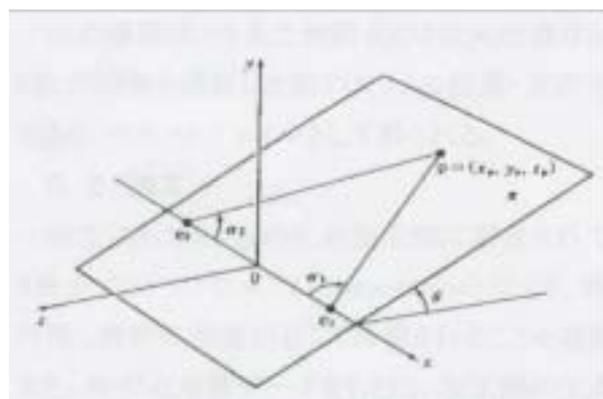


図 2 3 角測量原理図

(x, y, z) 中の一点 P の座標 (x_p, y_p, z_p) は観測値 $\alpha_1, \alpha_2, \theta$ 及び既知量である d を用いて以下のように表される。

$$x_p = \frac{d(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)}{2(\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)}$$

$$y_p = \frac{d \tan \alpha_1 \tan \alpha_2 \sin \theta}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$$

$$z_p = \frac{d \tan \alpha_1 \tan \alpha_2 \cos \theta}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$$

この原理を用いて、二つの視点位置 (e_1, e_2) においたカメラで捕らえた 2 枚の画像から対象の 3 次元位置を自動的に決定しようとするのが、ステレオ画像処理法である。

当面画像の得やすさから、ひとつの対象を異なる角度から撮影した複数の画像から、カメラの位置関係と対象上の指定した点の元座標を求めるソフトウェアを利用することにする。これはステレオ画像処理の拡張とみなされる。下記のソフトウェア⁽³⁾の機能は以下のようにまとめられる。

1) 名称: 3D-MODE

2) 主要機能:

(a) 物体の全方位モデルを認識可能

- (b) 距離・面積・容積の計算可能
- (c) 各種CAD出力作成
- (d) 多眼カメラシステム校正

3D-MODE の出力フォーマットは XVL、mts、wrl、Obj、dxf、lwo、3DS などの形式があるが、3D-CAD/CAM 向けの IGES、STEP などの形式がない。本研究では、3D-MODE の基本の txt 出力フォーマットを使用した。図1のような画像から認識したデータの txt ファイルは図3に示す。このファイルの中では、認識した特徴点番号、X 座標、Y 座標、Z 座標の値、画像の情報などが含まれている。また、認識できなかった点の座標値は“—”で表されている。

特徴点ID	X座標	Y座標	Z座標	
1	-0.1211280017	0.0366828756	0.9462385728	
2	-0.0778734816	-0.0081414573	0.9367055003	
3	-0.0670419035	-0.0287634489	0.9378814059	
4	-0.0611358988	-0.0010075570	0.9153360753	
5	-0.0483532435	-0.0071989219	0.9159504219	
6	0.0866510283	-0.0361325372	0.9271485330	
7	0.0510411208	-0.0196795813	0.9066493297	
..... (省略)				
317	-0.0304042402	-0.2354006990	1.2296109014	
318	-0.0914626856	-0.2014819068	1.21769895324	
319	-0.0838386000	-0.1658150316	1.3131452821	
339	----	----	----	
345	----	----	----	
358	-0.1202965160	0.0125775061	0.9579082424	
359	-0.1081662873	-0.0332538053	0.9685896759	
361	-0.1593948782	0.0507917662	0.9755964586	
..... (省略)				
532	0.2906504316	0.1167446342	1.0146445583	
533	-0.0561207160	-0.1032792260	0.9601428097	
..... (省略)				
画像ファイル名	画像ID	回転行列[R][0][0]	回転行列[R][0][1]	
IMG_0045.JPG	1	0.9885571945	-0.0078972415	-0.1506396587
IMG_0065.JPG	2	----	----	----
IMG_0046.JPG	3	0.8043912029	-0.3430640777	-0.4950379689
IMG_0047.JPG	4	----	----	----
IMG_0048.JPG	5	----	----	----
IMG_0049.JPG	6	----	----	----
..... (省略)				
IMG_0061.JPG	18	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
IMG_0062.JPG	19	----	----	----
IMG_0063.JPG	20	----	----	----
IMG_0064.JPG	21	----	----	----

図3 3D-MODE で認識したデータ

3. HyperCAD による鬼の面の作成

(1) データ変換

3D-MODE の出力データの txt ファイルも直接CAM (NC プログラムの作成) ソフトに読み込めないで、そのデータから 3 次元ポイントの座標値を抽出して汎用 CAD/CAM ソフトに入力できるデータへの変換が必要である。このため、本研究では Visual C++を用いて、3D-MODE の txt ファイルを HyperCAD などの汎用 CAD ソフトに読み込めるポイント (pt) ファイルに変換するツールソフトを開発した。

ツールソフトのインタフェース及びフローチャートは図4及び5に示す。

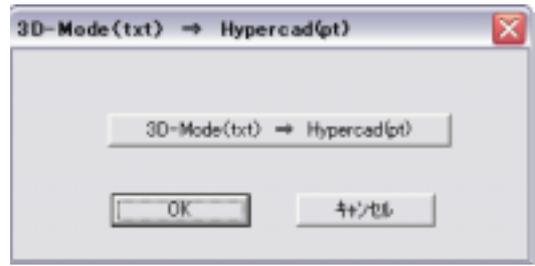


図4 データ変換ツールソフト

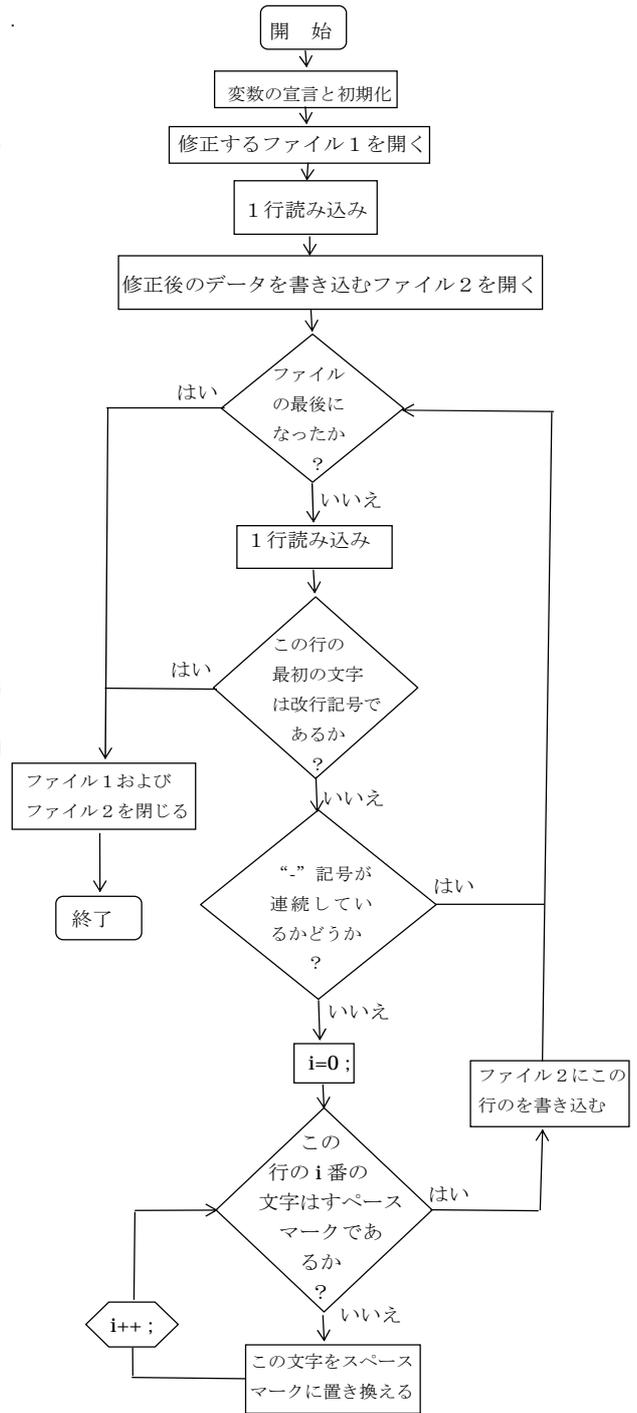


図5 フローチャート

```

-0.1211280017  0.0366628756  0.9462385728
-0.0778734816 -0.0081414573  0.9367055003
-0.0670419035 -0.0287634499  0.9378814059
-0.0611358988 -0.0010075570  0.9153360753
-0.0483532435 -0.0071999219  0.9159504219
0.0866510283  -0.0361325372  0.9271485330
0.0510411209  -0.0196795813  0.9066499297
..... (省略) .....
-0.0304042402 -0.2354006890  1.2296109014
-0.0914626856 -0.2014819068  1.2176095324
-0.0838386000 -0.1658150316  1.3131452821
-0.1202985160  0.0125775061  0.9579082424
-0.1081662873 -0.0332538053  0.9695896759
-0.1599948782  0.0507917662  0.9755964586
..... (省略) .....
0.2606504316  0.1167446342  1.0146445583
-0.0561207180 -0.1032792260  0.9601428097

```

図6 変換後の pt ファイル

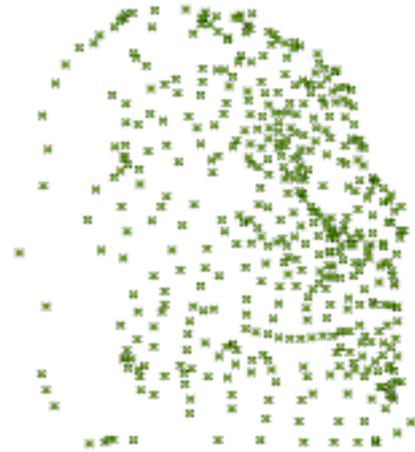
開発したデータ変換ツールを用いて図3のような txt ファイルを変換すると、図6に示すような pt ファイルになる。このファイルの中には、X 座標、Y 座標、Z 座標の値のみが残り、特徴点番号、認識できなかった点の座標値の“—”表示、画像の情報などが取り除かれた。

(2) 鬼の面の作成

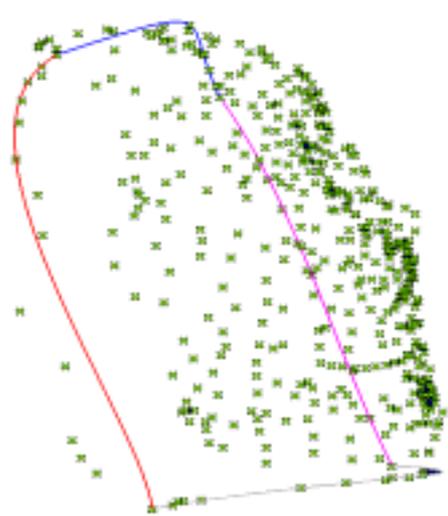
まず、図6のような pt ファイルを HyperCAD に入力した。読み込んだ座標点は図7(a)に示す。次に、同図(b)に示すように、HyperCAD の“補間点による曲線の作成”の機能を使用し境界点を選択して4本の境界線を作成した。そして、“点フィッティング”の機能を使用して、同図(c)のような鬼の面の3次元自由曲面モデルを作成した。しかし、この1枚の曲面で鬼の面の全体的な様子が現れているが、目、鼻、口などの局所の凹凸が正確に表現されていない。このため、作成した曲面（大曲面）をベースにして、目、鼻、口などの領域の曲面（小曲面）を作成した。

大曲面に小曲面を作成する際、図7に示すように、(a)領域境界線の作成、(a)領域境界線は大曲面への投影、(c)大曲面のトリム、(d)小曲面の作成、(e)小曲面と大曲面の結合および連続性の調整などの作業を行った。小曲面の作成方法は、大曲面の作成手順と同じであるが、領域に座標点が少なく曲面のフィッティングができないため、座標点の追加が必要である。本研究では、座標点の足りない領域に HyperCAD の“補間点による曲線の作成”、“曲線の分割”を用いて得た分割点の一部を追加座標点とした。大曲面に

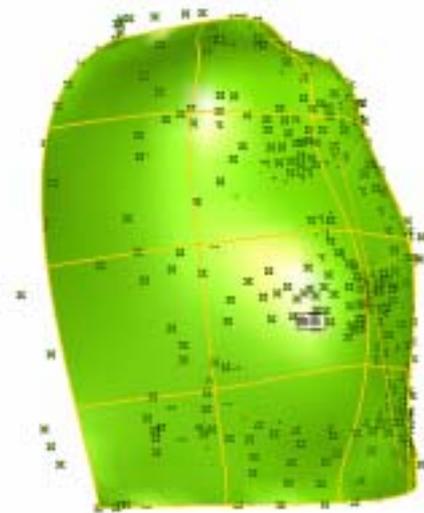
小曲面を作成した形状（複合曲面）完成モデルは図8に示す。



(a) HyperCAD に読み込んだ座標点

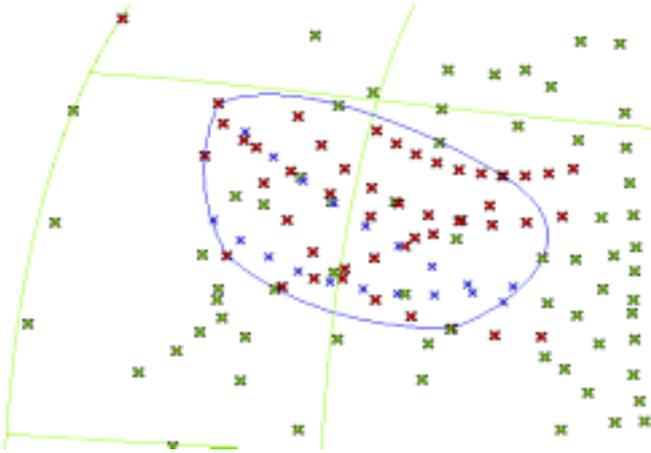


(b) 四つの境界線の作成

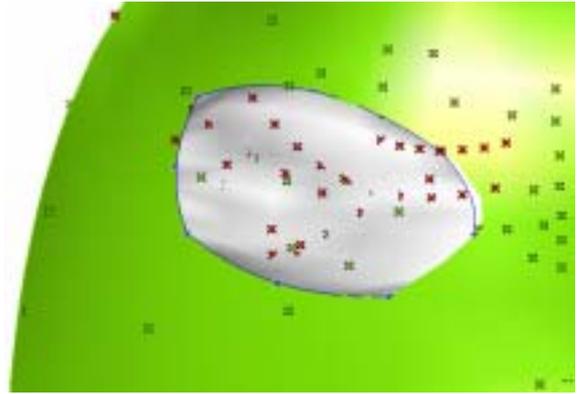


(c) 大曲面の作成

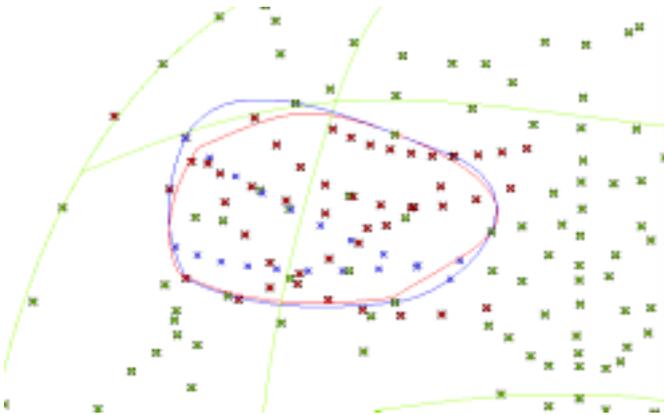
図7 大曲面の作成手順



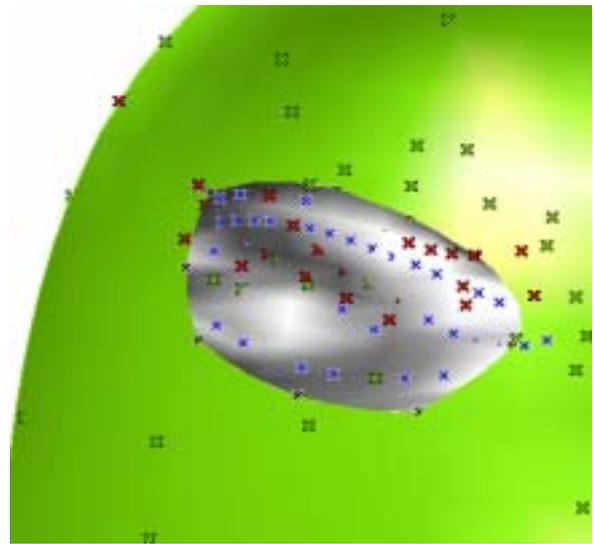
(a) 領域境界線



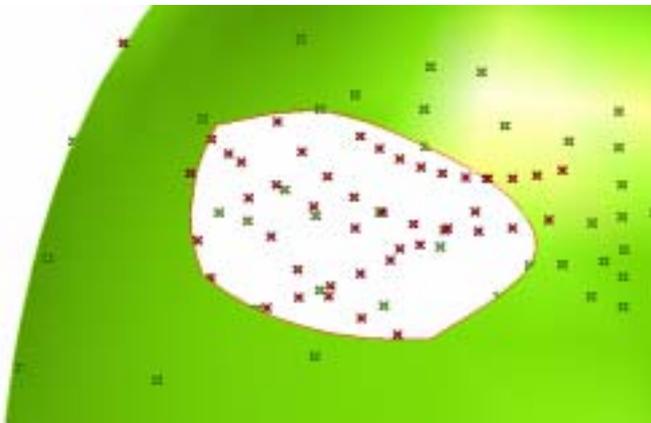
(d) 小曲面の作成



(b) 大曲面への投影線



(e) 面と面の結合
図8 小曲面の作成手順



(c) 投影線でのトリム

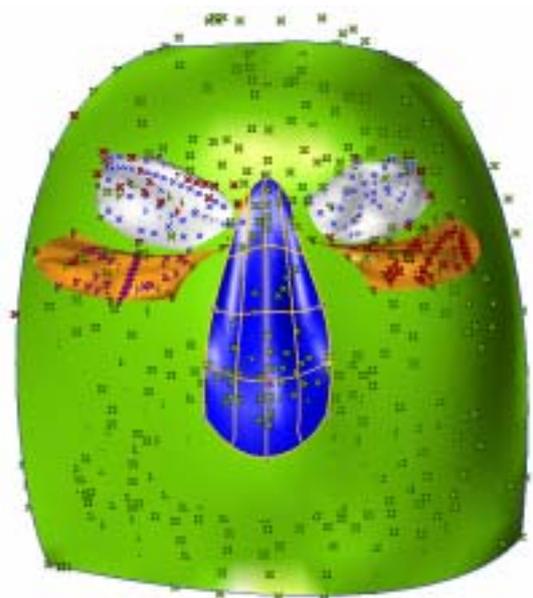


図8 完成した複合曲面

(3) 加工のための周辺面の作成

図9(a)に示すように、まず、ワーク（加工素材）のサイズを示す四角形を作成した。次に、HyperCADの“ルールド面作成”の機能を使用して、四角形の各辺とそれに一番近い大曲面の一つの境界線を用いて、ルールド面を作成した。大曲面の周辺に作成した4つのルールド面は図9(b)に示す。



(b) 周辺ルールド面の作成

図9 加工のための周辺面の作成

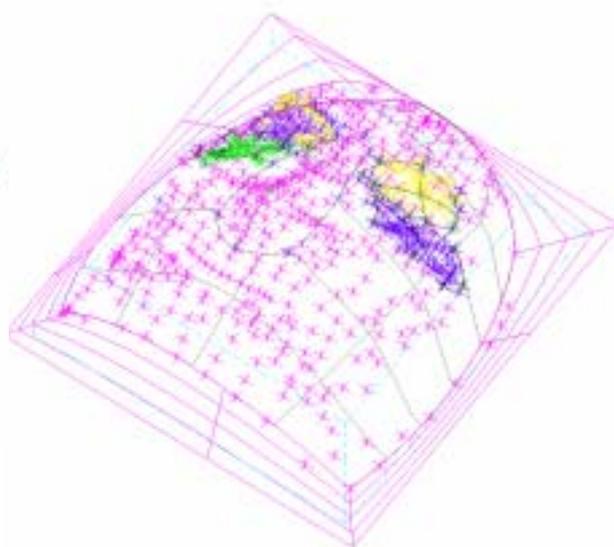
4. MaterCAM による鬼の面のNC加工プログラムの作成および加工シミュレーション

HyperCADでモデリングした鬼の面のIGESフォーマットのデータをMaterCAMに読み込み、NCプログラムの作成と加工シミュレーションを行った。使用し

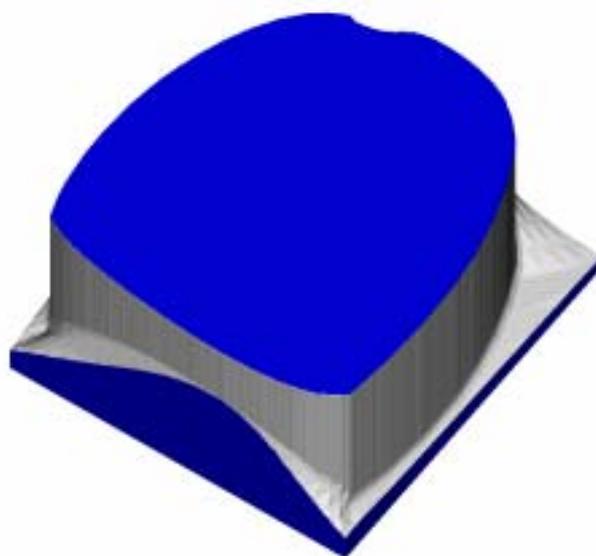
たMaterCAMの主なコマンドは表1に示す。MaterCAMに入力した曲面、外周加工、大曲面加工、複合曲面加工のシミュレーションを図10(a)-(d)に示す。

表1 使用したMaterCAMの主なコマンド

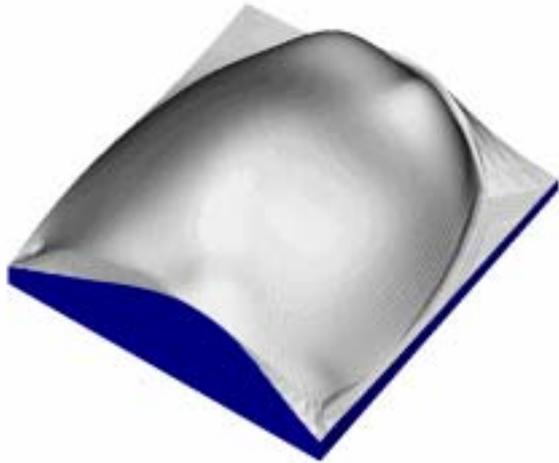
Converters	コンバータ(データの入出)
Job Setup	ワーク設定
Toolpaths	カッタパス(工具経路)作成
Surface	曲面加工
Operations	加工シミュレーション



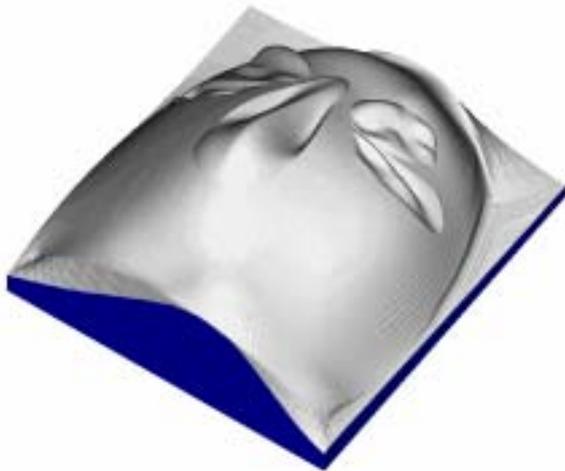
(a) MaterCAMに入力した曲面



(b) 外周切削の加工



(c) 大曲面の加工



(d) 複合曲面の加工

図10 NC加工シミュレーション

5. マシニングセンタによる鬼の面のNC加工

マシニングセンタを使用し鬼の面の加工を行った。マシニングセンタへプログラムを転送する前に、プログラムの編集を行った。これはMasterCAMより出力したNCプログラムに行の終わりにセミコロンがないので、マシニングセンタに転送し読み込ませる事ができないためである。また、NCプログラムの行の終わりが、偶数に統一されていないので、スペースを入れ、セミコロンを含めて偶数にする必要がある。研究室で開発した独自のNCプログラムの修正ツールを使用し、自動的にNCプログラムにセミコロンとスペース付けを行った。その後、プログラムの分割、NCコードの編集を行った。編集後、ワークをマシニングセンタにセットし、プログラ

ムを転送した。転送したプログラムを元にマシニングセンタのボールエンドミルで加工を行った。加工した大曲面の結果を図11に、複合曲面の加工結果を図12に示す。



(a) 加工風景



(b) 加工結果

図11 大曲面のNC加工



(a) 加工風景



(b) 加工結果

図12 大曲面のNC加工

6. 結果と考察

本研究では複数の画像から認識された3次元座標点をHyperCADに入力し、面を貼ってきたが、認識した座標点が足りなかったことがあり、点の追加や点フィッティングで小曲面の作成にとっても苦勞した。そこで、点フィッティングを理解することからはじめた。その結果、一番きれいな面は3点の間隔を均等にし、境界線を引き、各領域中の点は最低でも30個以上必要であることがわかった。しかし、面を作成することはできたが、特徴のある面はやはり座標点が少なかつたこともあり、あまりきれいな曲面を作成することができなかった。

加工を行った結果、予想以上に滑らかな曲面形状を製作することができた。しかし、今回の研究をとおして、いろいろな問題があったと考えられる。使用したNCマシニングセンタが3軸であるために、ワークをオーバーカットしてしまった。また、作成した曲面の加工時間が合わせて1日以上という膨大な時間かかってしまった。これは、滑らか曲面の加工ということで使用した工具(エンドミル)先端のボールが小さく、切削に時間がかかってしまったからだと考えられる。また、加工するために、プログラムをNCマシニングセンタに転送する際に2つのグループを抜かしてしまったため加工した形状に波のような線が残ってしまった。

今回の実験の結果、検討した研究プロセスにより目的としている写真から鬼の顔のレリーフを作ることが可能であることがわかった。この研究をとおして、CAD/CAMデータの変換、3次元CADソフトを用いた自由曲線/曲面の設計、CAMソフトでのNCプログラムの作成、マシニングセンタでのCNC加工の仕組みおよび作業方法、特にCAD/CAMの統合性(一貫化)を理解した。

課題として、小曲面を定義する点の密度が少ない区域にもっと合理的な点を増やす方法、作成した曲面の滑らかさの評価、最適な加工方法、実際の加工条件、加工干渉(オーバーカット、または、削り残し)を避けるための多軸CNC加工などを更に研究および実験をすることが必要である。

主な参考文献

- (1) 徐 剛：写真から作る3次元CGイメージ・ベースド・モデリング&レンダリング、近代科学社、2001。
- (2) 大表良一、高山文雄、高三徳、機械加工用3次元情報の多眼視画像からの抽出、日本図学会東北支部講演会、2005年3月19日、いわき市。
- (3) 3次元メディア：3D-MODE Ver.3.0 マニュアル。
- (4) 千田豊満 著、CAD/CAM システム、-基礎から建築まで-、理工学者(1990)。
- (5) 武藤一夫 著、はじめてのCAD/CAM、株式会社工業調査会(2000)。