

# 3D-CAD システムを利用した自動レリーフ製作の検討

田上 啓史\* 開 豊\*\* 田中 裕一\*\*\* 宮本 憲隆\*\*\*\*

## Investigation of Automatic Relief Manufacturing Using 3D-CAD System

Hirofumi TANOUE\*, Yutaka HIRAKI\*\*, Yuichi TANAKA\*\*\*, Noritaka MIYAMOTO\*\*\*\*

Recently, the measurement technology using image processing is used for the inspection of defective products or the precise positioning system in machining processes. Also, the use of the NC machine tools and 3D-CAD systems has increased in the field of machine design and production. This study attempts to develop the automatic manufacturing system of the relief board using the image processing system. The system makes the cloud of three dimensional point data based on the brightness value of a photo image. The point data are converted to the surface data and solid data using 3D CAD system, and lastly the processing data for NC machine system using CAM software. The relief manufacturing is realized in the above procedure. We used Visual Basic 6.0 to produce a computer programming for the system of image processing and data conversion. In addition, we used Solidworks 2009 for 3D-CAD system, Dimension BST 768 for 3D-printer, and NV 5000 a/40 for machining center.

キーワード：レリーフ加工，画像処理，3D-CAD システム

Keywords：relief manufacturing, image processing, 3D-CAD system

### 1. はじめに

現在、PC やデジタルカメラなどの普及により、多くの人々が画像を利用する機会が増えている。デジタルカメラで撮影した写真を PC に取り込み、ホームページやブログで公開するなど、一般の人にとってもデジタル画像データは極めて身近な存在になりつつある。さらに現在では、こうしたカメラ機能に画像処理技術を組合せ、ピント合わせや顔認識機能などを搭載するものもある。このように、画像を対象としたコンピュータ上の画像処理技術は、従来、工場ラインでの製品検査や位置合わせなどで研究・応用されてきたものが、近年では、より一般向けに活用しようという傾向が顕著になってきている。防犯機器や携帯機器での指紋認識や網膜判定システム等もそうした一例である。

一方、機械加工の分野においては、3D-CAD システムの発展とともに、マシニングセンタを代表とする実用性・効率性の高い工作機械が、様々なもの作り現場に導入されている。さらに、近年出現した 3D プリンタは、小型化も進み、3D 図面からダイレクトに試作できることから、研究室などでも手軽に利用されるようになってきている。現在では、スポ

ーツ用品の型作りや自動車部品の試作モデル作成などにも活用されるようになってきている。

本研究では、画像データを用いて、自動的にレリーフ加工が行えるシステムの開発を目指している。レリーフは、古くから人間の手作りで製作されてきており、完全な立体像とは異なり、独自の凹凸表現が必要とされる。本研究は、一般的な二次元画像から、自動的に三次元データを作成し、これを 3D-CAD システムや CAM システムを活用することで、マシニングセンタによる自動加工を目標としている。本システムによって、様々な過程で人間の手を要しない自動レリーフ加工システムを実現することができる。

本研究では、レリーフ作成の際に、画像データの取り込み、画像処理、点群データの作成、保存などを VB (Visual Basic) によって作成したプログラムで行った。また、この画像処理プログラムによって作成した点群データの読み込み、加工データの作成には 3D-CAD システム：SolidWorks の機能を利用した。そして実際のレリーフ作成には、3D プリンタおよびマシニングセンタを利用した。

### 2. レリーフ加工について

レリーフとは、一枚の板に彫りこみや高さの違いなどの凹凸を与え立体的に表現される浮彫り細工のことである。彫刻の一種であり、古くはギリシャ神殿や遺跡からも発見されている。建物の装飾品として発展し、ドアや壁面などにあしらわれているものも多い。彫刻ではあるが三次元的なものとは異なり、二次元に近く、光の干渉具合によって

\* 専攻科 生産情報工学専攻 (現：東燃ゼネラル株式会社)

\*\* 地域イノベーションセンター

\*\*\* 機械知能システム工学科

\*\*\*\* 技術センター

〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627  
Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering,  
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

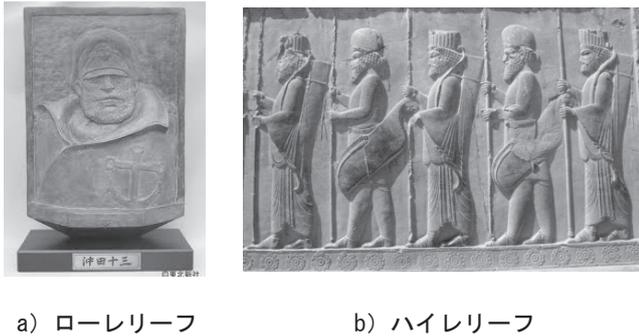


図 1. 一般的なレリーフの例

は絵画に近い形の見え方をするものもある<sup>1)</sup>. 表現される絵としては、人や植物、紋様など様々なものがあり、近年では芸術作品や記念碑などとして人の群像などを表現しているものも多い. 実際のレリーフの例を図 1 に示す.

レリーフには、板にごく浅く傷のように削りこみ、絵に近い表現のローレリーフと、高低差が大きく立体的で彫刻に近いハイレリーフとがある. またその中間的なものもある. ハイレリーフは立体的な彫刻に近い浮き彫りであり、ローレリーフは二次元的な絵画に近い浮き彫りである. これらのレリーフ製作においては、三次元的な情報を二次元的な絵画表現に変換していくための独特の製作技法が必要となる. 本研究ではこうした自動的なレリーフ製作を可能とするシステムの開発をめざす.

また、現在これらのレリーフの作成方法としては、手彫りと工作機械などによる機械加工が行われている. 手彫りでは製作者の経験的な知識や感覚によって凹凸を与え作ることができるが、製作者のセンス技術等によってでき上がりが左右される. 機械加工は NC 工作機械による加工が主であり、加工の元となるデータを作成する必要がある. また使用する工作機械によって図面や画像などの形式は様々である.

現状では、レリーフを NC 加工する場合、レリーフの凹凸を 3 次元化したデータとして作成する必要がある. そして、その凹凸データから機械加工用のバイトパスなどを生成し、レリーフ加工を行う. こうした NC 工作機械を用いたレリーフ作成の場合、三次元計測機 (3D スキャナ) などを用いてレリーフ加工用のデータを作成する方法もある. そして、こうした NC 加工でも仕上げでは手作業で細かな研磨作業などを行うことが多い.

また、近年ではそのほかのレリーフ製作方法として、レーザー加工機を用いた方法もある. こちらも 3 次元データをレリーフの凹凸として利用する. レリーフの仕上がりは、装置の加工精度にもよるが極めて高くなる. つまり、レリーフ作りの現状では、レリーフ加工データの作成や実際の加工工程などで人的作業による部分が多い.

### 3. 自動レリーフ製作のシステム

本研究では、画像データを利用して自動的に立体的な

3D-CAD データを作成し、必要に応じて、形状修正などを行える自動レリーフ製作のための加工システムの開発をめざす. ここではシステム作成のための基本的な装置やソフトウェア等を示す.

#### 3.1 Visual Basic

本研究では画像からレリーフ加工用の三次元データを作成するために、Visual Basic で作成したプログラムを使用した. ここでは、そのシステムについて簡単に記す.

Visual Basic は Microsoft Windows 用の BASIC プログラム作成ツールで Windows 用および Web、モバイル向けのアプリケーション開発などを行うことができる. 当初から Windows 向けに開発されたため、画像の取り扱いが簡単にできることから、本研究でもこのシステムを用いた.

#### 3.2 3D-CAD システム

本研究では、点群データの読み込み、メッシュ化、サーフェス化、ソリッド化、中間ファイルの書き出しなどについて、Dassault Systèmes 社製の SolidWorks 2009 を利用した.

SolidWorks は、使い勝手の良さをテーマとしたミドルレンジ 3D-CAD で、近年急速に普及した機械設計用の 3 次元 CAD ソフトウェアである. 動作環境は Microsoft Windows OS 上で、モデラーとしての機能のほかに、構造解析、流体解析といったシミュレーション機能も備えている.

また、リバースエンジニアリングなどで利用される、3 次元測定機からのデータ読み取りなどを行う Scan to 3D の機能も備えている. Scan to 3D は、実物の製品、作成部品から三次元測定機によって取り込んだ点群データや、画像処理などによって画像データから生成された点群データなどをメッシュ化サーフェス化ソリッド化することが可能である. 使い方はウィザード形式になっており、非常に簡単なステップで形状のデータを取り込むことができ、点群やメッシュデータなどの様々なファイルフォーマット (XYZ, TXT, ASC, STL, IGES, VDA...) に対応している<sup>2)</sup>.

図 2 に SolidWorks の動作画面、図 3 に Scan to 3D の作業プロセスを示す.

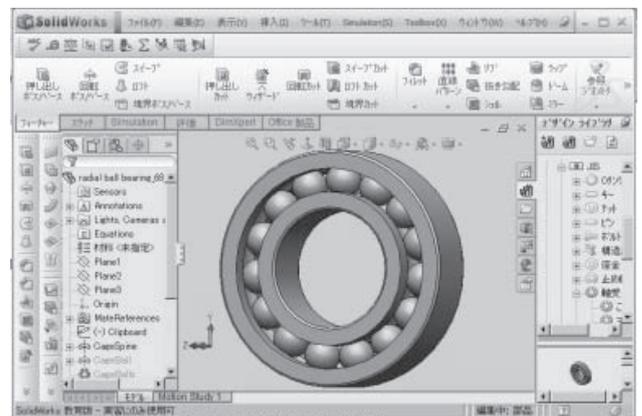


図 2. SolidWorks の動作画面

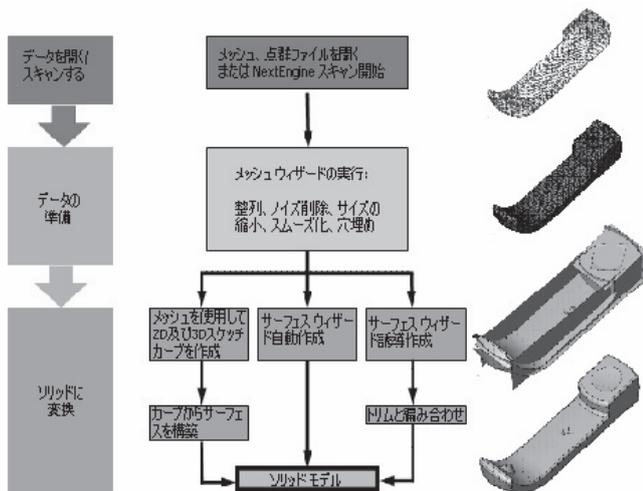


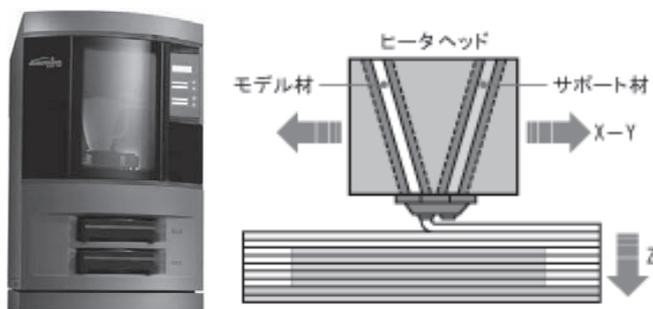
図 3. Scan to 3D プロセス

### 3.3 3D プリンタ

本システムでのレリーフ製作の方法の一つとして、図 4 に示す、STRATASYS 社製の三次元造形機 (3D プリンタ) Dimension BST 768 を使用した。BST 768 は、CAD データを用いてモデルを三次元 (立体) で造形するプリンタである。造形方法は、PC で制御された射出ヘッドから 2 種 (モデル材とサポート材) の溶融した ABS を積層することで造形を行う。造形終了後は、サポート材を取り除き使用可能となる。造形の際に内部構造を sparse (中空) と solid-normal (中実) の 2 種類から選択することが可能である。

#### a) Dimension BST 768 の仕様 (ハードウェア)

- ・造形方式: 熱溶解積層法 (Fused Deposition Modeling : FDM) 方式
- ・造形ピッチ: 0.33mm (荒い), 0.254mm (標準)
- ・造形可能寸法: 203 (W) × 203 (D) × 305 (H) mm
- ・モデル材料: ABS 樹脂
- ・モデル材, サポート材の直径: 1.8mm



Dimension DST768

造形イメージ

図 4. 使用した 3D プリンタとその造形イメージ

#### b) Catalyst EX (ソフトウェア)

Catalyst EX は Dimension BST 768 の付属ソフトで、STL 形式のデータを、PC から BST 768 に転送するソフトウェアである。スライスピッチ、スケール、内部構造などの設定を行うことができる。造形に使用するモデル材やサポート材の量や造形時間などの計算も自動で行ってくれる。SolidWorks で作成した 3D モデルを STL 形式で保存することで、BST 768 による造形が可能になる<sup>3)</sup>。

### 3.4 マシニングセンタ

マシニングセンタとは、自動工具交換能力があり、工具を回転させて加工する多機能切削加工 NC 工作機械 (全米工作機械学会) のことである。本研究では、株式会社森精機製作所製立形マシニングセンタ NV5000 A/40<sup>4)</sup> を利用した。レリーフ製作では、下記に示す仕様で加工を行った。

- ・移動量 X (テーブル左右): 800 mm
- Y (サドル前後): 510 mm
- Z (主軸頭上下): 510 mm
- ・テーブル作業面の大きさ: 1100×600 mm
- ・テーブル最大積載質量: 1000 kg
- ・主軸最高回転速度: 12000 min<sup>-1</sup>
- ・工具収納本数: 30 本

### 3.5 CAM ソフトウェア

CAM ソフトウェアには MecSoft 社製 VisualMill を利用した。VisualMill はコストパフォーマンスに優れ、金型、部品、治具、木型や木工部品、試作部品など幅広い機械加工に対応する CAM ソフトウェアである。マシニングセンタでの加工条件設定、ツールパスの作成、シミュレーションなどを行うことができる。2 軸加工, 2.5 軸加工, 同時 3 軸, 4 軸, そして割り出しの固定 5 軸加工まで対応している。

### 3.6 被削材

マシニングセンタの被削材には三洋化成製 サンモジュール RAMPF RAKU-TOOL MB0800 というケミカルウッドを使用した。ケミカルウッドとは人工木材のことで木目がなく硬さを選ぶことができ、着色なども容易におこなえるという点が特徴である<sup>5)</sup>。

本研究では微細な表現が必要であることから、材料の潰れ、欠けが発生しないようシリーズ内で最も硬いものを使用した。

## 4. 自動レリーフ加工のプロセス

### 4.1 画像の取り込み

本研究では VB で作成したプログラムによって画像データから加工データへの変換を行った。本システムの画像入力部で取り込めるファイルは、JPEG と Bitmap の 2 種類である。一般的な Windows 上あるいは Web 上の画像データやデジタルカメラ、携帯電話などの撮影データの読み込みが

可能である．今回のレリーフ製作の検討では画像処理など  
 の分野で標準画像として多く使われている「Lenna 画像」<sup>6)</sup>  
 を使用した．図 5 に Lenna 画像を示す．サイズは 256×256  
 で RGB256 輝度カラーある．

## 4.2 画像処理

### 4.2.1 基本的な画像処理

現在までのところ本研究で使用している画像処理は主  
 に，グレイスケール化とエッジ抽出である．

#### a) グレイスケール化

本研究では，カラー画像から取得した RGB の輝度値から，  
 TV 受信機等でも用いられる，一般的な以下の式を使って，  
 白黒輝度値 Y を求め，グレイスケール画像に変換した．

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

(R : 赤色, G : 緑色, B : 青色の輝度値)

輝度値 Y が高いほど白に近い画素，輝度値が低いほど黒  
 に近い画素となる．

#### b) エッジ抽出

画像の濃度や色，模様などの特徴が似ている部分を 1 つ  
 の領域と仮定すれば，領域と領域との境界では輝度値など  
 が急激に変化する<sup>7)</sup>．グレイスケール画像あるいはカラー画  
 像を用いた場合でも，画素間の濃度差から領域の境界（エ  
 ヅジ）を検出することができる．本システムでは，微分フ  
 イルタを用いて画像から物体形状の輪郭（エッジ）を取り  
 出している．図 6 にグレイスケール処理とエッジ抽出処理  
 を行った Lenna 画像を示す．

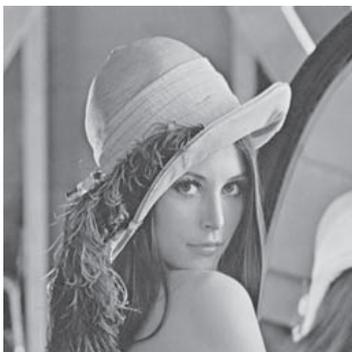


図 5. Lenna 画像

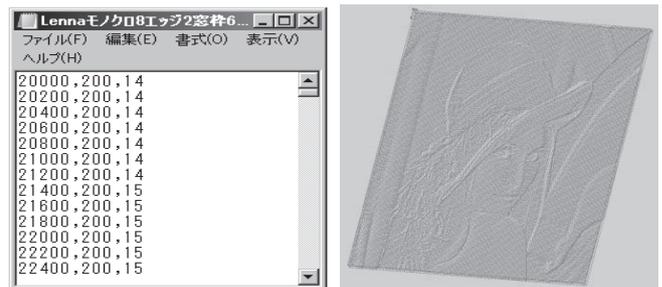


a) グレイスケール画像



b) グレイスケールからの  
エッジ抽出画像

図 6. 基本的な処理画像



a) テキストデータ      b) SolidWorks での読み込み

図 7. レリーフ加工用点群データ

### 4.2.2 画像データから 3D-CAD データへの変換

画像処理プログラムによって処理した画像データを，  
 SolidWorks によって取り込み可能な TXT 形式の XYZ データ  
 （点群データ）に変換した．具体的には，画像データ配列  
 $f(x, y)$  の座標を 3 次元モデルの X 座標・Y 座標に置き換え，  
 輝度値を高さとなる Z 座標に置き換えて，3 次元の XYZ 座  
 標をもつ点群データを作成した．この時，XY と Z のスケ  
 ル比を 200 : 1 程度として，より平面に近いかたちになるよ  
 うにした．今回は，画素数が 256×256 の画像を使用してい  
 るため点群数は 65536 点となる．図 7 に，TXT ファイル形  
 式の点群データ（左）と SolidWorks によって取り込んで表  
 示した例（右）を示す．SolidWorks 上で，正常に読み込め  
 ていることが分かる．

## 4.3 3D-CAD システムでの三次元データ作成

3D-CAD 上でレリーフ加工のもととなる三次元データを  
 次の手順で作成する．図 8 には，その一例を示した．

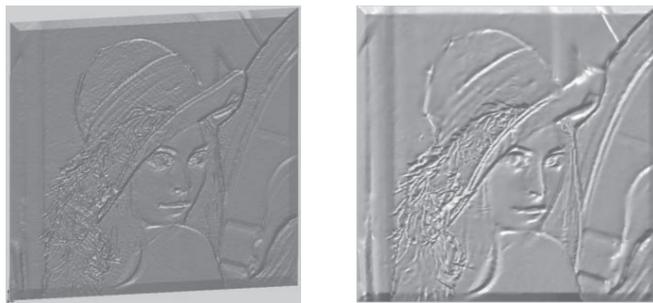
### 4.3.1 メッシュ化

メッシュ化は取り込んだ点群データをもとに，立体空間  
 上に小さな面を構成する作業である．今回は三角形の面で  
 構成する操作を行った．Scan to 3D では，基点から最も近い  
 2 点と，基点の 3 点を結んで三角形を作る．そのため，XY  
 と Z スケール比を調整することで，XY 平面において隣り合  
 う点を確実にメッシュでつなぐことが可能となり，データ  
 の短絡などもなく，元の画像に近い形のメッシュを生成す  
 ることができた．

### 4.3.2 サーフェス化

Scan to 3D の機能では，サーフェスの貼り付け方法とし  
 て，自動作成と誘導作成の 2 つがある．誘導作成では，分  
 割面の指定や張り付けるサーフェスの性質の指定などをオ  
 ペレータが指定することができる．単純な形状の物など  
 では，こちらを使用することが多いが今回は，画像を元にレ  
 リーフを作成することから，張り付けるサーフェスの数が  
 膨大になり，誘導作成での作業は困難である．したがって  
 自動作成によってサーフェスを作成することにした．

自動作成はメッシュの形状に応じて必要な性質のサーフ  
 ェスを自動的に張り付ける機能である．サーフェスの精度  
 の選択ができ，精度を高くするとより正確な表現できる．



a) メッシュ化                      b) サーフェス化



c) ソリッド化

図 8. 3D-CAD システム上でのデータ作成プロセス

しかし、サーフェス数が多くなりすぎてデータが膨大になると、サーフェス作成後のエラーや不正面の発生などの問題が発生する。一方、精度を低くするとエラーや不正面は減るが、表面が粗くなってしまう。

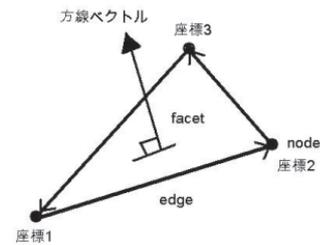
今回は PC の能力などを考慮して、サーフェス数が 1000 枚前後程度になるように精度を指定した。こうして作成したサーフェスにもエラーが含まれているので、エラーサーフェスの除去、フィルなどによる穴埋め作業が必要となる。これは手動で行った。

#### 4.3.3 ソリッド化

サーフェス化ででき上がったサーフェスは画像データ輝度値による凹凸であり、レリーフにおいては掘り込み面のみである。よって側面、底面等を加える必要がある。そしてこれらの編み合わせの準備として、不要部分のトリム処理を行う。最後に穴埋めなどを含め、全てのパーツを編み合わせてソリッドを作成する。これらのソリッド化をする際に、生成したサーフェスの端部にエラーが多く発生し、このエラーの修正に多くの時間を必要とすることが分かったため、画像処理プログラムに、データ端部を一定値に収束させる処理機能を追加した。この機能によって生成サーフェス端部におけるソリッド化のエラーを減少させることができた。

#### 4.3.4 加工データへの変換 1 (STL データ)

SolidWorks によって作成した CAD データ (ソリッドモデル) をもとにマシニングセンタや 3D プリンタで加工を行うためには、さらに加工機にあったデータの変換を行う必要がある。今回使用した 3D プリンタ Dimension BST 768 は、STL ファイルを読み込んで加工を行う形式である。



a) facet の構造

```
solid 006ソリッド薄型0.11粗表示
facet normal -4.776139e-001 -6.181236e-001 6.243463e-001
  outer loop
    vertex 6.617491e+001 3.693711e+001 4.567451e+000
    vertex 6.516232e+001 3.832735e+001 5.169219e+000
    vertex 6.518388e+001 3.827238e+001 5.131267e+000
  endloop
endfacet
```

b) STL ファイルの内部構造 (一例)

図 9. facet と STL ファイル

図 9 に facet の構造概念図と STL ファイルの一例を示す。STL (Standard Triangulated Language) では、facet と呼ばれる、3つの頂点の座標と法線ベクトルによる単純な三角形ポリゴンの集合で様々な形状を表現する。ファイル構造に示すように、facet normal から endfacet の範囲に 1つの facet を定義する。最初の数値が法線ベクトルであり、outer loop から endloop で囲まれる部分が三角形頂点の座標値である。法線ベクトルの方向は、座標番号を基準として、右ねじの法則に従って定義する<sup>8)</sup>。STL での平面の表現は、平滑な平面では少数の facet の組合せで可能であるが、複雑な曲面を滑らかに表示しようとする場合、facet 数が多くなる。STL へ変換・保存の際には精度 (解像度) を選択することが可能であり、精度を抑えればデータ数が押さえられ、3D-CAD 上での操作性は向上する。しかし、facet 構造の三角形の凹凸の影響を受けるため、滑らかな面は得られない。反対に、保存精度を高くすると滑らかな平面を得ることができるが、データ量が多くなり、3D-CAD 上での操作性が低下する。

#### 4.3.5 加工データへの変換 2 (IGES データ)

一方、マシニングセンタでの加工には NC データの作成が必要であり NC 加工の前段階として CAM データを作成した。現在、一般的な CAM ソフトウェアでは中間ファイルとして STEP を使用できるものが標準的となってきたが、本校の実習工場の CAM ソフトウェアが STEP に対応していないため、IGES 形式のデータを用いることにした。

図 10 に、IGES ファイルコードの 1例を示す。IGES ファイルは 5つのセクションから構成され、主としてディレクトリ・エントリ・セクションとパラメータ・データ・セクションに、図形の属性データや座標データなどが記述されている。ディレクトリセクションでは、基本的に 2行で1つのエンティティを構成しており、図 10 a) のディレクトリセクションの左端の数値がエンティティである。314 は色の定義、128 は有理 B スプラインサーフェス、126 は有理 B スプラインカーブを示している。

314	1	0	0	0	000002000	1
314	0	8	1	0	00	2
128	2	0	0	0	010100000	3
128	0	0	4	0	00	4
128	6	0	0	0	010105000	5
128	0	0	2	0	00	6

a) ディレトリセクション

314,79.6078431372549,82.3529411764706,93.7254901960784,;	1P	1
128,1,1,1,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1,1,0,0,1,1,1,1,1,1,1,1,;	3P	2
66.413727725,35.137203772,-2.031849501,67.51873656,	3P	3
35.689710824,-0.639536887,64.049845667,37.79386894,-1.20999074,	3P	4
65.154854502,38.346375991,0.182321873,0,1,0,1,;	3P	5
126,1,1,1,0,1,0,0,0,1,1,1,1,1,0,005928854,0.005934797,0,;	5P	6

b) パラメータセクション

図 10. IGES ファイルの内部構造

上記のことからもわかるように STL が facet の集合として座標点や法線ベクトルによる三角形ポリゴンでしか表現できないのに対し、IGES では点、直線、スプライン、カーブなどの図形要素を取り扱えることから、曲面を含む 3 次元加工に対応できる。また、データサイズの効率化も可能で、マシニングセンタでのレリーフ作成に適している。

このように、各工作機械に適したファイルフォーマットを選択することで、作業の効率化が図れる。本研究では、最終的にマシニングセンタでの加工を目指しているが、比較のため、STL データを用いた 3D プリンタによる加工も行ってみた。

#### 4.4 加工システム (レリーフ製作)

##### 4.4.1 3D プリンタによる加工条件設定

3D プリンタでのレリーフ製作の加工では、まず 3D プリンタ本体の付属ソフトウェアである Catalyst EX を用いて STL ファイルの読み込みを行う。次に、加工条件として、造形ピッチの選択 (2 段階) と内部構造 (sparse と solid-normal) を選択する。solid-normal ではモデル内部全てを造形するが、sparse はモデル内部を格子状に中空にすることで、一定の強度は保ちつつ、使用する材料を減らし、造形時間を短縮することができる。本研究では、表面形状を確認することが目的であったため、内部構造は sparse とし、また造形ピッチは 0.254mm (標準) を採用した。

##### 4.4.2 マシニングセンタによる加工条件設定

マシニングセンタでの加工は粗加工、中間加工、仕上げ加工 2 種の 4 段階に分けて行った。表 1 に、各加工条件を示す。

最終的な仕上げ加工では、直径 1mm のバイトを用い、深さ方向に 3mm 程度まで彫り込めるようにした。初めから細かいバイトで削れば、理論上は元データに正確な表現ができるはずであるが、現実には細かいバイトでは深い掘りこみができない。また、細かい分工具の強度も弱く、バイト破損と加工ミスが発生する確率も高くなる。手作業でのデータ加工が加わることになるが、加工を 4 段階に分けることで、

表 1. Visual Mill による切削工程条件 (単位 mm)

	バイト (R)	加工法	許容誤差	ピッチ		
				x	y	z
粗	2.0	等高線加工	0.1	1.0	1.0	1.0
中間	1.0	等高線加工	0.05	0.4	0.4	0.4
仕上げ	0.5	等高線加工	0.01	0.05	0.05	0.05
	0.5	走査線加工	0.01	0.05	0.05	0.05

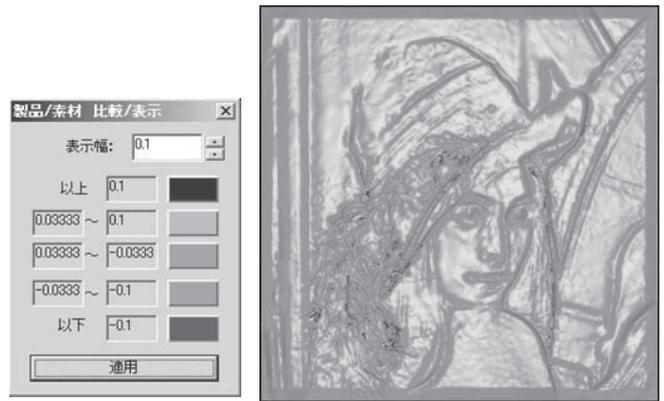


図 11. Visual Mill による加工シミュレーション

加工時間の短縮とバイト破損割合の低下、削り残しの低下をねらった。

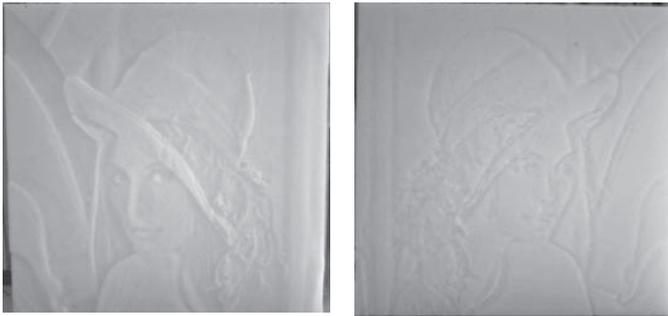
またマシニングセンタでの加工法には走査線加工と等高線加工の 2 種類がある。走査線加工では切削方向によって仕上がり方が変わるため、縦横 2 方向からの切削が必要となる。等高線加工では曲面やエッジがきれいに仕上がるが、同じ高さの加工データを作成する必要がある。

今回のレリーフ加工ではほぼ全てが曲線であり、平面部分が少ないため、主に等高線加工を採用することにした。また仕上げ加工最終段階で、滑らかな平面を得るために、走査線加工も 1 方向だけで実施した。以上の条件で、加工シミュレーションも行った。結果として大きなエッジ部分や細かな凹凸の多い部分に、ほんの少し削り残しがみられる程度で、ほぼ良好な結果となることが分かった。加工シミュレーションの結果を図 11 に示す。各点の表示幅は 0.1mm 単位で、赤・橙が削り過ぎ、青が削り残し、水色～緑がほぼ正確な切削部分である。

## 5. 加工結果

### 5.1 3D プリンタによるレリーフ加工

本研究では、まず、3D プリンタを用いて、a) グレイスケール画像、b) エッジ抽出画像、c) 前記 2 種の合成画像について、レリーフを作成し、加工結果を検証した。図 12 に、3D プリンタによって製作したレリーフ加工結果を示す。



a) グレイスケール画像使用      b) エッジ抽出画像使用



c) 合成画像使用

図 12. 3D プリンタによるレリーフ加工結果

### 5.1.1 グレイスケール画像によるレリーフ加工結果

このレリーフは画像を左右反転させているが、輝度値のみにより凹凸を出しているため、濃度の変化が少ない部分が平坦となり、レリーフとしても平坦なものとなった。また濃度の変化の多いエッジ部分で垂直に近い形で凹凸が出ているため、マシニングセンタの加工ではバイト損傷の原因となる。したがってこのままでは加工に適さないと考えられる。なお加工に要した時間は約9時間であった。

### 5.1.2 エッジ抽出画像によるレリーフ加工結果

このレリーフは変化の多い部分をエッジとして抽出し、濃度の変化の大きさによってエッジの深さが異なっている。エッジ部分のラインとなる彫りこみの幅が広いため、瞳や髪飾りなどの細かな部分はつぶれてしまい、きれいな線になっていない。背景の柱などエッジに変化が少なく、濃度変化が大きい部分は比較的滑らかに加工できている。直線や一定の曲線が緩やかに続いている画像には適していると思われる。なお加工に要した時間は約9時間であった。

### 5.1.3 合成画像によるレリーフ加工結果

上記の加工結果をふまえ、グレイスケールとエッジ画像の2つの画像処理結果を組み合わせた画像を用いて、加工を行った。上の2つのレリーフに比べると、細かな凹凸までよく出ている。白目の突出や鼻の穴の窪みなども、グレイスケール画像よりはっきりと出た。またエッジ抽出の成分が効いて、大きな凹凸部分にほどよい傾斜がつき、マシニングセンタでの加工にも適した形となった。逆に背景の

角柱など、本来は角ばっているはずの物が丸みをおびてしまっているところもある。また、輝度値を基本として処理を行っているため、実際の人間の顔などと凹凸の方向が反対になっている部分もある。しかし、全体的には、光の当て方を調整すれば、かなり元の画像に近いレリーフが再現できていると判断できる。なお、レリーフの厚みを薄くして、ほぼ表面の凹凸部のみの加工としたため、加工時間は少し短縮できて、約7時間であった。

## 5.2 マシニングセンタによるレリーフ加工

3Dプリンタによる加工結果を比べて、グレイスケールとエッジ画像を組み合わせた画像が最も加工に適していると判断した。そこで、マシニングセンタでの加工では、この合成画像データによる加工をおこなった。

この際、比較のため、3Dプリンタと同じSTLデータと、マシニングセンタ向けのIGESデータの、2つのファイル形式でレリーフを作成した。2つのファイル形式の場合とも、CAMソフトでのシミュレーションでは、加工時間は約10時間であったが、実際の加工ではシミュレーションの6割の精度で行ったため、7時間ほどで完成した。マシニングセンタによって加工したレリーフを図13に示す。

### 5.2.1 STLファイルによるレリーフ加工結果

STLファイルであるため加工面にfacetの三角形を反映した凹凸が現れるかと予想したが、作成したレリーフは凹凸のない滑らかな曲面に仕上がった。解像度が高く、facetの数も十分多かったため、肉眼ではfacetの影響による凹凸を感じられない仕上がりになったと考えられる。

a) STL データ  
使用



b) IGES データ  
使用



図 13. マシニングセンタによるレリーフ加工結果

### 5.2.2 IGES ファイルによるレリーフ加工

CAD データ通りにはほぼ正確に加工が行われたことが分かる。髪飾りの様な細かな部分もきれいに再現され、緩やかな勾配部分も滑らかな仕上がりとなっている。

## 6. 検討・考察

### 6.1 製作したレリーフと元画像との比較

本研究では, Lenna 画像を用いて, 一定のレリーフが作成できることが実証できた. Lenna 画像自体が立体感のある画像なので, 顔の部分など輝度値が滑らかに変化している部分については, 製作したレリーフでも丸みをおびた滑らかな面で仕上がっている. こうした点からも, 比較的簡単な操作で, 画像に対応したレリーフを製作できることが実証できたと考える.

しかし, より Lenna 画像に近いレリーフを作るためには, 細かな凹凸部分の表現が重要である. 今回製作したレリーフでは髪飾りや髪の毛, 帽子の柄などの細かな部分が正確に再現されるには至っていない. これは, 一つの画像の中に, 輝度値の差が大きな部分と, 小さな部分が混在しているため, サーフェス生成の際に, 輝度値の差の大きい部分を基準にしてサーフェス生成が行われたため, 小さな凹凸部分を表現するサーフェスが生成されなかったためだと考えられる. 対策として, 凹凸の大きい部分, 小さい部分の領域を分けてサーフェス生成を行うことが考えられる. そうすることで, 凹凸の小さい部分にも凹凸をぼやけさせずに表現できるのではないかと考えられる.

### 6.2 3D プリンタとマシニングセンタの比較検討

3D プリンタは, 積層によってモデル作成を行うため, 段差のある加工表面となることから, レリーフのような滑らかな表現が求められる場合には, マシニングセンタの方が優れていることが分かった. 特に, 高低差がある広い傾斜部分は, 3D プリンタでは等高線状に面ができるのに対し, マシニングセンタは連続性のある曲面に仕上がった. また, 加工時間もマシニングセンタの方がやや短時間で済んだ.

## 7. おわりに

今回, Lenna 画像から適当な画像処理を行い, これを 3 次元的な凹凸に変換して, 3D-CAD 上で 3 次元データを作成することで, 3D プリンタやマシニングセンタ等を用いて, レリーフ加工が実現できることが実証できた. これによって, 自動レリーフ製作のための基本的なプロセスの確認ができたと考えている.

製作したレリーフを見ても, 元の Lenna 画像から想定できる人の顔の印象に近く, 顔の表面形状等もよく再現できていると感じる. しかし, 一般的な自動レリーフ加工システムとして, 安定度・完成度を上げるには, さらに必要な改善点も多い.

以下に, 今回の研究の要点をまとめてみた.

#### ○達成できたこと

- ・凹凸抽出に必要な点群データの作成
- ・CAM システム, マシニング加工に適した 3D-CAD データの作成
- ・3D プリンタ, マシニングセンタでの加工

#### ○課題となったこと

- ・一般的なレリーフにより近い凹凸の再現
- ・データサイズの適正化と, 処理時間の効率化
- ・細かい部分の表現力の向上

なお, 現状ではデータサイズの大きさなどの問題から, データの確認, 表面形状の微調整などといった作業に時間を要しており, 完全に自動的にデータ作成ができるという段階には至っていない. 今後さらに, レリーフとはどういったものか, 人はどのように考えて凹凸面を作っているのかななどにも検討を加えながら, よりレリーフらしい製品の加工を目指していく予定である.

(平成 23 年 10 月 11 日受付)

## 参考文献

- 1) Weblio 辞書, レリーフ, 美術用語\_徳島県立近代美術館  
参考 URL : <http://www.webl.io.jp/content/>
- 2) CAD 攻略マガジン 日刊工業新聞社
- 3) GRAPHTEC 3D プリンタ Dimension  
参考 URL : [http://www.graphtec.co.jp/site\\_3d/dimension/index.html](http://www.graphtec.co.jp/site_3d/dimension/index.html)
- 4) 株式会社ニッパク 森精機製作所 NV5000A/40  
参考 URL : [http://www.nippaku.co.jp/?equipment.php/\\_nv5000a.php?index](http://www.nippaku.co.jp/?equipment.php/_nv5000a.php?index)
- 5) ケミカルウッド壺番店 ケミカルウッドとは  
参考 URL : <http://www.minaro.com/wood/>
- 6) 標準画像/サンプルデータ  
参考 URL : [http://www.ess.ic.kanagawa-it.ac.jp/app\\_images\\_j.html](http://www.ess.ic.kanagawa-it.ac.jp/app_images_j.html)
- 7) 酒井幸市, 「デジタル画像処理入門」, (1997), コロナ社
- 8) 高野直樹, 浅井光輝, 「メカニカルシミュレーション入門」, (2006), コロナ社  
なお, 研究を進めるにあたり, 全編にわたって以下のホームページを参考にした.
- 9) SolidWorks ヘルプトピック  
<http://www.solidworks.co.jp/pages/products/solidworks/index.html>