

# 画像処理を利用した自動レリーフ製作システムの検討

佐藤 孔亮\* 開 豊\*\* 田中 裕一\*\*\* 宮本 憲隆\*\*\*\*

## Investigation of Automatic Relief Manufacturing System Using Image Processing

Kosuke SATO\*, Yutaka HIRAKI\*\*, Yuichi TANAKA\*\*\*, Noritaka MIYAMOTO\*\*\*\*

Image processing technology has been utilized for the inspection of products or the positioning system in the factory. But recently, the tendency to use the technology for general products has become prominent. One example of such a technology is fingerprint authentication or facial recognition. This study attempts to develop the automatic relief manufacturing system using image data. This system outputs a point cloud data generated from brightness value in image, and CAD data of relief is created by this point cloud data using 3D-CAD system. And then, relief is processed by the machine tool using created 3D-CAD data. In this study, we could confirm the basic process of the relief manufacturing and obtain the trial products. But, the reliefs have not reached the necessarily perfection. So, we are going to improve the system including image processing methods.

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

本研究では、画像データを用いて自動的にレリーフ加工を行うシステムの開発をめざしている。先に、「3D-CAD システムを利用した自動レリーフ製作の検討」<sup>1)</sup>として、そのシステムの概要を報告したが、ここでは本システムの画像処理部分を中心に、その現状を報告する。

レリーフは、古くから人間の手作りで製作されてきているが、完全な立体像とは異なり、独自の凹凸表現が必要となる。本研究では、画像処理技術によって、一般的な写真画像からレリーフ製作に必要な特徴を取り出し、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、マシニングセンタ等による自動加工を実現することを目標としている。とくに、必要な画像処理技術を開発・応用することで、人間の手を要しない自動レリーフ加工システムが開発できると考えている。

本研究では、画像データの取り込み、画像処理、点群データの作成、保存をMicrosoft Visual Basicを使って作成した。また、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と加工データ化等は3D-CADシステムSolidWorksを使用した。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。

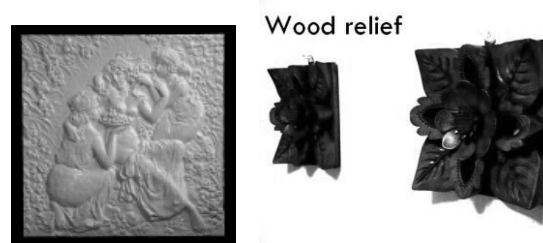
\* 専攻科 生産システム工学専攻（現：株式会社マツダ）  
 \*\* 地域イノベーションセンター  
 \*\*\* 機械知能システム工学科  
 \*\*\*\* 技術センター

〒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

### 2. レリーフ加工について

レリーフとは、一枚の板に彫り込みや高さの違いなどの凹凸を与えて立体的に表現する浮彫り細工のことである<sup>2)</sup>。彫刻の一種であり、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、完全な三次元的な彫塑像とは異なり、二次元的な絵画に近い、人工的な加工技術が必要とされる。実際のレリーフの例を、図1に示す。

図のように、レリーフには、高低差が大きく立体的で彫塑像に近いハイレリーフと、板にごく浅く（傷のように）彫りこみ、絵画的な表現をするローレリーフとがある。中間的なものもあるが、ローレリーフは二次元的な絵画に近い浮き彫りであり、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特殊な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。



a) ローレリーフ

b) ハイレリーフ

図1. 一般的なレリーフの例

### 3. 自動レリーフ製作システム

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の概要を示す。

#### 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、Microsoft 社の Visual Basic を使用した。

Visual Basic は、Windows 向けに開発されており、Windows 上での画像の取り扱いが簡単である。本研究では、画像内の画素ごとの処理の高速化のため、画像処理用の Windows API 関数を利用し、プログラムの高速化を図った。

#### 3.2 3D-CAD システム

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・中間ファイルの作成などについては、Dassault Systèmes SolidWorks Corporation 製 SolidWorks を利用した。SolidWorks は、モデラーとしての機能のほかに、リバースエンジニアリングなどで利用される 3 次元データの読み取りなどを行う Scan to 3D 機能も備えており、実物の製品から三次元測定機によって取り込んだ点群データをメッシュ化・サーフェス化・ソリッド化することが可能である。また、様々な三次元ファイルフォーマット (XYZ, TXT, ASC, STL, IGES, VDA...) にも対応している<sup>3)</sup>。

図 2 に、SolidWorks の動作画面を示す。

#### 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 STRATASYS 社製の三次元造形機(3D プリンタ) Dimension BST 768 を使用した。Dimension 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 樹脂を積層することで造形される。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 と solid-normal の 2 種類から選択することが可能である<sup>4)</sup>。図 3 にその外観を示す。

##### a) 仕様

- ・造形方式: 熱溶解積層法 (Fused Deposition Modeling 方式)
- ・造形ピッチ: 0.330mm, 0.254mm
- ・造形可能寸法: 203(W)×203(D)×305(H)mm
- ・モデル材料: ABS 樹脂

##### b) Catalyst EX

Catalyst EX は Dimension の付属ソフトで STL 形式のデータを PC から Dimension 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、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行える。SolidWorks で作成した 3D モデル

を STL 形式で保存することで、Dimension を使用した造形が可能になる。

#### 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 を利用した<sup>5)</sup>。

図 4 に、その外観を示す。

マシニングセンタ NV5000A/40 仕様

- ・移動量 X : 800mm × Y : 510mm × Z : 510mm
- ・テーブル作業面の大きさ : 1100×600mm
- ・主軸最高回転速度 : 12000min<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 Visual Mill を使用した。Visual Mill は、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。本研究では、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った。

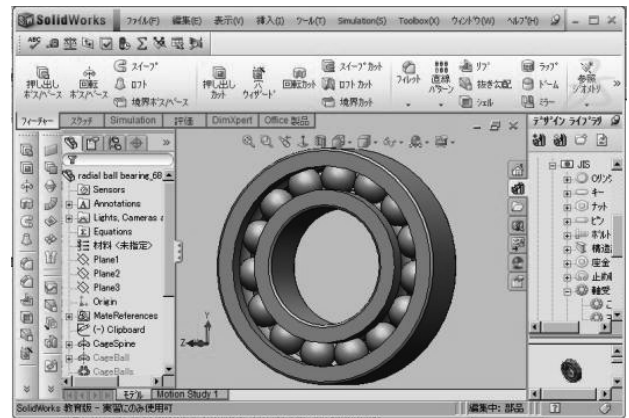


図 2. SolidWorks の動作画面



図 3. 3D プリンタ



図 4. マシニングセンタ



a) Lenna 画像                      b) 顔写真画像

図 5. レリーフ製作に使用した画像

#### 4. 画像処理プログラム

今回の研究では、VisualBasic により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。本プログラムで読み込むデータは JPEG とビットマップの二種類である。

今回の検討では、最初、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」を使用して、レリーフ製作手法のプロセスの確認を行った。その後、実際にカメラで撮影した人の顔写真の画像を用いて本システムが有効かを検討した。図 5 に今回検討した Lenna 画像と顔写真画像を示す。

##### 4.1 デジタル 画像処理

デジタル画像は二次元の平面上に書かれた濃淡の模様と考えることができ、点(x,y)の関数である二次元信号  $f(x,y)$  と表現される。さらにカラー画像は赤 (red)、緑 (green)、青 (blue) の光の三原色 (R,G,B) によって表される。

画像処理で一般的に用いられる処理手法<sup>6)</sup>は、図 6 の破線で示すように注目画素(i,j)を含めた近傍を対象として処理する場合(近傍処理)と注目画素のみを処理する場合(点処理)、全画素の情報を対象に処理する場合(大局処理)がある。本研究では、エッジ抽出処理で近傍 9 画素の処理を扱い、グレースケール、二値化で点処理を用いた。以下に本研究で使用した主な画像処理について示す<sup>7)</sup>。

##### 4.2 グレースケール化

本研究では、カラー画像から取得した RGB の輝度値に、以下の式を適用して、白黒輝度値 Y に変換し、グレースケール画像を得た。

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

式中の R, G, B はそれぞれ赤、緑、青の輝度値を表している。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<sup>8)</sup>。

##### 4.3 二値化

対象画素の輝度値について、その値と設定した閾値とを

比較して黒 (0) と白 (255) のみの輝度値に変換することを二値化という<sup>9)</sup>。閾値を設定する方法はいくつかあるが、本プログラムでは、輝度値のヒストグラムより閾値を選定する固定閾値処理と、判別分析法による自動閾値処理の二種類を備えている。

##### 4.4 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の一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。グレー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(エッジ)を検出することができる。本プログラムでは、微分フィルタとして Prewitt フィルタを使い、画像から物体形状の輪郭(エッジ)を取り出している<sup>10)</sup>。図 7 に Prewitt フィルタのオペレータを示す。

##### 4.5 コントラストの改善

画像の明るい部分と暗い部分の明るさの比のことをコントラストと呼び、画像が明るすぎるまたは暗すぎる画像はコントラストが悪いといえる。コントラストが悪いと画像内の対象物と背景との区別がはっきりせず、特徴を抽出することが困難になることがある。

コントラストを改善する画像処理ではガンマ補正がよく知られている。ガンマ補正は非線形な変換式を利用し、画像のコントラストを改善するものである。以下にガンマ補正の変換式を示す。なお式中の  $z_m$  は濃度値の最大を表し、

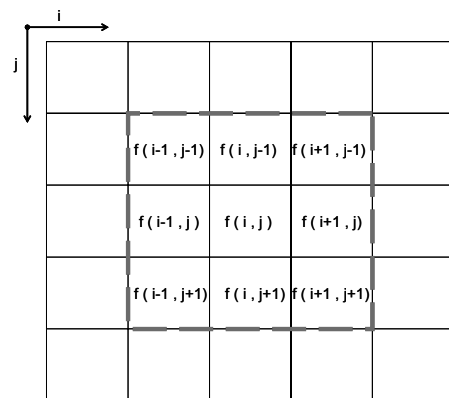


図 6. 注目画素と近傍画素

$\Delta x$			$\Delta y$		
1	0	-1	1	1	1
1	0	-1	0	0	0
1	0	-1	-1	-1	-1

図 7. Prewitt フィルタのオペレータ

$z$  と  $z'$  はそれぞれ入力画像と出力画像の濃度値を表す.

$$z' = z_m \left( \frac{z}{z_m} \right)^\gamma$$

この式において画像を明るくする場合は  $\gamma < 1$ , 暗くする場合は  $\gamma > 1$  となるように  $\gamma$  の値を設定する<sup>11)</sup>.

#### 4.6 画像の合成

一つの画像から同時に複数の特徴をもった画像を作成することは非常に困難である. そこで本プログラムは, 二枚の画像のそれぞれの特徴を有した画像を作り出すために, 二枚の画像を合成する機能を備えている. これによってグレースケールによる輝度値の凹凸とエッジ抽出による画像の輪郭の両方の特徴を備えた画像を作成することができる. 画像を合成する際は合成の比率を変えることで片方の画像の特徴を強く表した合成画像も作成できる. 図 8 は, グレースケール画像とエッジ画像の比率を 7:3 で合成した結果で, 通常のグレースケール画像にエッジ面が加わった画像となるが, これによって髪や顔の境界が明確になる.

#### 4.7 顔画像と顔高さデータの合成

本レリーフ製作システムでは 4.6 節で示した合成画像の輝度値を, 基本的な加工高さデータとして使っている.

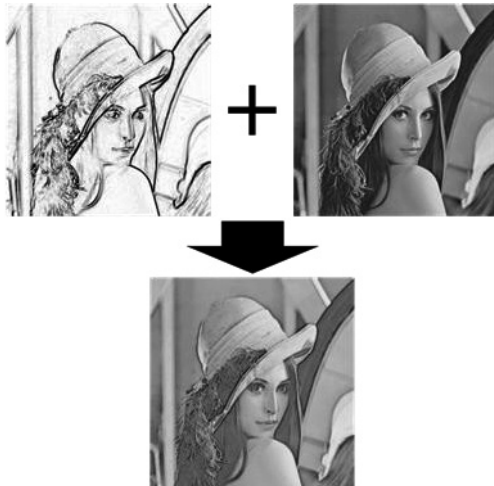
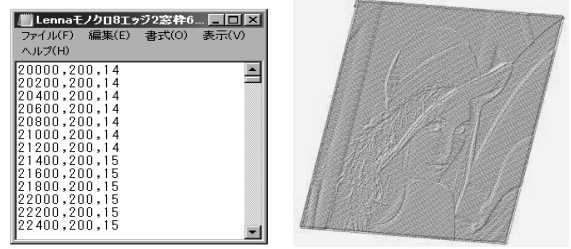


図 8. 輪郭画像と濃淡画像の合成



a) 顔高さデータ      b) 合成結果

図 9. 顔高さデータと画像の合成



a) TXT データ      b) SolidWorks 上での表示

図 10. 画像データより作成した点群データ

ただ, 合成画像だけを使ってレリーフを製作した場合, 肌や髪部分などの部分の濃度差が小さく, 作成されるレリーフは平坦で, 一般的な顔の凹凸と異なる形状のレリーフになってしまう. そこで本研究では, 予め人のお顔を 3D スキャナで読み込み, 顔高さデータとして利用することにした. 図 9 a) が作成した顔高さデータの画像である. これに, 顔画像を合成することで, より人の顔らしいレリーフが製作できると考えた. 図 9 b) は顔高さデータと合成画像を 4:6 の割合で合成した結果で, 一般的な顔形状に上に, 個人の顔が投影された結果となっている. 比率については, 画像所の印象から決めている. なお, 顔画像と顔高さデータは上下左右が一致するように大きさを変更して合成した.

#### 4.8 画像データから CAD データへの変換

画像処理プログラムによって処理を施した画像データを SolidWorks に読み込み可能な TXT 形式の点群データ (XYZ) に変換を行う. 画像データの各画素  $f(x,y)$  の座標を三次元モデルの X 座標・Y 座標に置き換え, 画素の濃度値をレリーフの高さとなる Z 座標に置き換えて三次元モデルの XYZ 座標となる点群データを作成した. この際, XY と Z のスケール比を 200:1 とし, より平面に近い形になるようにした.

図 10 に TXT ファイル形式の点群データと SolidWorks によって取り込んで表示した例を示す.

### 5. 3D-CAD システムでの加工データの作成

3D-CAD SolidWorks 上でレリーフ加工の基礎となる三次元データの作成を行う. ここではその手順を示す<sup>12)</sup>.

#### 5.1 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.

## 5.2 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、分割面の指定や貼り付けるサーフェスの性質の指定などを操作者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、貼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貼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。しかし、サーフェス作成後のエラーや不正面の発生、サーフェス数が多くなりすぎてデータが膨大になる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 2000 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。

## 5.3 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彫り込みのみである。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の後処理に、一種の窓関数のように端部のデータを一定値に収束させる機能を追加した。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際のエラーを減少させることができた。

## 5.4 加工データへの変換

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。

今回使用した三次元造形機 (3D プリンタ) は STL ファイルを読み込み、加工を行う。STL は facet と呼ばれる三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によって様々な形状を表現する。facet 数が多くなるほど滑らかな曲線を表現することが可能だが、その分ファイ

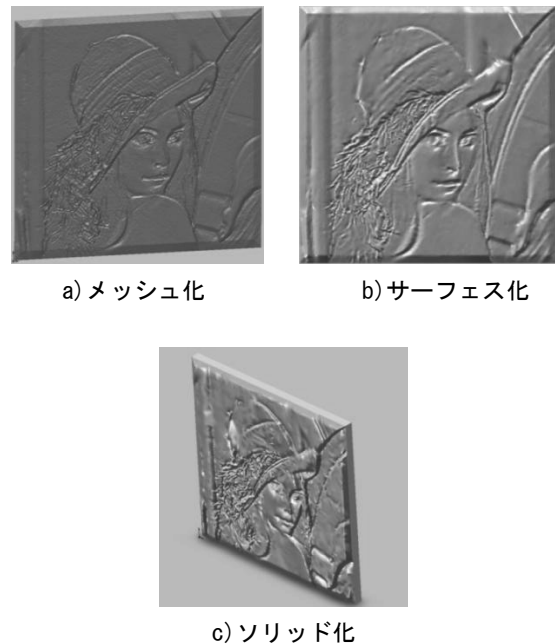


図 11. 3D-CAD システムでのデータ作成

ルサイズも大きくなり、操作性に影響が生じる。

一方、マシニングセンタでの加工には IGES ファイルを使用する。IGES は異なる CAD システム間でのデータのやり取りを可能とするために制定された標準インターフェースで、優れた互換性を持ち、CAD データ交換における実質的な世界基準である。しかし、すべての CAD システムの仕様に対応してはならず、データ交換の際には一番互換性が高い形式に翻訳する必要がある。このため、完全な SolidWorks のデータを受け渡すことはできないが、今回のレリーフの試作段階では大きな問題とはならなかった。

## 6. 加工機によるレリーフの自動製作

3D-CAD システムで作成した 3 次元加工データをもとに、レリーフの自動加工を行った。

### 6.1 3D プリンタによる加工

本研究で使用した 3D プリンタでの加工では、まず造形機の付属ソフトウェアである CatalystEX より 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 ではモデル内部すべてを造形し、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て、造形時間を短縮することができる。本研究では表面形状の確認が目的となるので、内部構造は sparse とした。また造形ピッチは標準 (0.254mm) を採用した。

表 1. Visual Mill による切削工程条件

	バイト	加工法	許容 誤差	ピッチ[mm]		
				x	y	z
粗加工	R2	等高線加工	0.1	1	1	1
中間加工	R1	等高線加工	0.05	0.4	0.4	0.4
仕上げ	R0.5	等高線加工	0.01	0.05	0.05	0.05
	R0.5	走査線加工	0.01	0.05	0.05	0.05

## 6.2 マシニングセンタによる加工

今回のマシニングセンタによるレリーフ製作では、粗加工、中間加工、仕上げ加工の4段階で行った。粗加工、中間加工には、等高線加工を用いた。等高線加工は地図の等高線のように高さが一定の地点を円を描くように切削していく加工法で、等高線に沿った曲面が綺麗に加工できる。一方、走査線加工は縦横1方向にツールを走査させ、ピッチごとに高さを変えながら加工を行うので、比較的早い速度で加工でき、xy方向に沿った滑らかな面を得ることができる。仕上げ加工では、まず等高線加工を用い、次に走査線加工を追加することで、加工面の向上を図った。表1に、各加工におけるバイト径や送り速度等の条件を示す。

## 7. レリーフ加工結果

本研究では、前述のとおり Lenna 画像と顔画像を使ってレリーフの製作を行った。以下にそれぞれの画像より製作したレリーフの結果を示す。なお Lenna 画像を使用したレリーフは、グレースケール画像とエッジ画像を7:3の割合で合成し、画像の端に濃度値の収束処理を施した画像を使用した。一方、顔画像を使ったレリーフは、Lenna 画像と同様にグレースケール画像とエッジ画像を合成した画像に、髪部分にのみコントラスト補正を施し、顔高さデータを合成した画像をレリーフ画像として使用した。

### 7.1 Lenna 画像を用いたレリーフ製作

Lenna 画像を用いたレリーフは、図 12 a)をレリーフ画像として、3D プリンタとマシニングセンタの二種類の加工機を使ってレリーフの造形を行った。図 12 b) c)はそれぞれ 3D プリンタとマシニングセンタで製作したレリーフである。

レリーフの見方や光の当たり方によって変わるが、両方も元のレリーフ画像に近いレリーフを再現できたといえる。しかし本研究では、画像の濃度値によってレリーフの凹凸を再現しているため、帽子の飾りや髪など実際のものとは凹凸の関係が逆になっている部分も見られる。



a) レリーフ画像



b) 3D プリンタで c) マシニングセンタ

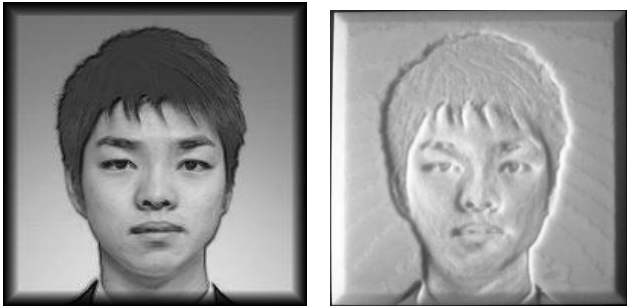
図 12. Lenna 画像を使ったレリーフ製作結果

3D プリンタによるレリーフとマシニングセンタによるレリーフを比較すると、3D プリンタによるレリーフは、表面精度が粗く積層型になっているのに対し、マシニングセンタによるレリーフは連続的で滑らかな曲線を表現できており、帽子飾りなど細かな部分もきれいに表現されていた。なお、加工に要した時間は 3D プリンタ・マシニングセンタともに約7時間程度であった。

### 7.2 顔画像を用いたレリーフ製作

まずグレースケール画像とエッジ画像を合成した画像を使って製作したレリーフの結果を述べる。図 13 に元のレリーフ画像と 3D プリンタにより製作したレリーフを示す。このレリーフも元のレリーフ画像をある程度再現したレリーフとなった。エッジ画像の成分が効いていて、背景との境界もしっかりと現われていた。しかし人間の顔が画像のほとんどを占めているため、5.1 節で述べたような実際の人間の顔と比較したときの凹凸の不自然さが顕著に見られた。また、髪質や耳のしわなど細かい凹凸はほとんど再現できておらず、髪部分についてはほぼ平面に彫り込んだような形になった。

次にコントラスト補正と顔高さデータ合成を行った画像を使って製作したレリーフの結果を述べる。図 14 に元のレリーフ画像と 3D プリンタで製作したレリーフを示す。こちらのレリーフは人の顔の高さデータを直接合成しているため、人の顔と比べた際の凹凸の不自然さは少なくなった。また、髪部分のコントラストを明るくしたことで、髪部分にも立体感が出ており、全体としてより人の顔に近いレリーフ



a) 作成した画像                      b) レリーフ製作結果

図 13. グレースケール画像・エッジ画像合成



a) 作成した画像                      b) レリーフ製作結果

図 14. コントラスト補正・高さデータ合成

ーフができたのではないかとはいえる。しかし、細かい凹凸はやはり再現しきれておらず、凹凸の不自然さが若干残った。

## 8. 考察と検討

### 8.1 Lenna 画像レリーフと元画像との比較検討

Lenna 画像とレリーフを比較したところ、帽子飾りなど細かな表現に課題は残るが、レリーフとして一応の表現できていることがわかった。肌の表面など濃度値が滑らかに変化している部分は製作したレリーフでも丸みを帯びて仕上がっており、簡単な作業の割には十分なレリーフが得られたのではないかと考えている。

さらに Lenna 画像に近いレリーフを製作するためには、細かな凹凸部分の再現が非常に重要になる。レリーフ画像をみると帽子飾りの部分の濃度値はほぼ同じであるため、濃度値の違いによる凹凸の再現はあまり見込めず、エッジ抽出による質感の表現が必要になる。現段階ではグレースケール画像には前処理を何も施さずにエッジ抽出処理を行っているため、濃度値の変化が少ない帽子飾り部分ではほとんどエッジが表れない。これを改善するために、エッジ抽出処理を行う前に、グレースケール画像に先鋭化処理などの前処理を施し、濃度値の違いをはっきりとさせた上でエッジ抽出を行えば帽子飾り部分でのエッジの薄さを改善

することができ、質感をより良く表現できるのではないかと考えられる。

### 8.2 顔画像レリーフと元画像との比較検討

グレースケール画像とエッジ画像を合成したレリーフは、元画像と比較すると画像の特徴をある程度表わしたレリーフができたと考えられる。しかし、髪部分および肌表面は濃度値の値がほぼ一定であり、特に髪部分については濃度値が非常に小さいため、レリーフの厚みは非常に薄くなる。よって平面に彫り込んだような形となり、立体感に欠けるレリーフとなったと考えられる。

一方、髪部分のコントラスト補正と人の顔の高さデータを合成したレリーフでは、ガンマ補正により髪部分のコントラストを明るくすることで濃度値も大きくなり、レリーフの厚みが増して髪部分にも立体感があるレリーフとなったといえる。また顔高さデータを合成することで、鼻や目、眉など顔の各部位の濃度値を差別化することができ、より人の顔の形状に近いレリーフが作成できたと考えられる。

さらに元の人の顔の形状に近いレリーフを作成するためには、顔高さデータの適用方法が重要になる。今回の検討では 4.7 節でも述べたように顔画像と高さデータの一致において、上下左右の端点を一致させるようにスケール変更する方法を採用している。この方法であると図 15 のように端点以外の部分において顔領域と顔高さデータ画像が完全に一致しておらず、濃度値が不自然に明るくなっている部分が見られる。これらがレリーフ化した際に見られる不自然な凹凸の原因と考えられる。対策として、顔写真の顔領域の輪郭線の利用が挙げられる。顔の輪郭線に一致するように顔高さデータのスケールを変更し、合成を行うことで、不自然な濃度値の変化は生じないのではないかと考えられる。また顔認証技術を利用して鼻、目、眉などの顔の各部位を取り出し、各々の部位に合った画像処理、高さデータ合成を行うことで、人の顔の特徴をより際立たせた完成度の高い顔写真レリーフができるのではないかと考えている。



図 15. 突起の原因

### 8.3 加工方法の比較

今回のレリーフ製作では 3D プリンタとマシニングセンタの二種類の加工機によるレリーフの造形を行ったが、3D プリンタの造形ピッチが 0.254mm なのに対し、マシニングセンタの仕上げ加工のピッチは 0.05mm と非常に小さいので、それぞれのレリーフの表面性状や細かい部分の再現度にこれほどの違いが出たと考えられる。レリーフ表面の滑らかさ、細かい部分の表現度ともに加工ピッチの小さいマシニングセンタによって加工したレリーフのほうが良い結果が得られた。

しかし、加工用の CAD データのデータサイズが大きいと CAM ソフトによる加工データの作成ができず、レリーフの成型が行えないなどの問題も生じた。これはデータサイズが大きすぎたため、パソコンによる処理が追いつかなかったことが原因として考えられる。またバイトの先端長さがレリーフの最大彫り込みよりも小さいとマシニングセンタによる加工が行えないため、加工データを作成する際にエラーが表示されたのではないとも考えられる。一方、3D プリンタによるレリーフは CAD データのサイズが非常に大きくなってもレリーフの成型を行うことができた。またマシニングセンタと違い、バイトは用いず上方からモデル材を積層することでモデルの成型を行うため、レリーフの最大彫り込みに関係なく成型が可能であるということもいえる。

### 9. まとめ

今回、画像データからレリーフ表面の凹凸の情報を取り出し、マシニングセンタで加工する一連の基本的工程の確認はできたと考える。顔画像を使ったレリーフについても基本的な画像処理に加え、顔高さデータを用いることでより人の顔らしいレリーフを作成できたといえる。しかし細かい部分に問題点は残り、より完成度の高いレリーフ製作の為にはさらなる改善が必要だと感じた。要点をまとめると以下ようになる。

(達成)

- ・標準画像を使用したレリーフ画像作成の基本的手法
- ・顔写真画像レリーフにおいて高さデータの基本的な適応方法
- ・画像データから 3D-CAD に読み込み可能な点群データの作成
- ・加工機で加工可能な CAD データの作成
- ・3D プリンタ、マシニングセンタでのレリーフ加工

(課題)

- ・顔認証技術を利用した画像処理方法の模索またそれに応じた顔写真画像レリーフの作成方法の改善
- ・データサイズ、時間の効率化

以上の課題を踏まえ、今後は顔写真からレリーフを作成する手法に焦点を絞り、より人の顔に近いものを作るためにはどうすればよいかの検証を加え、レリーフの改良を行っていく予定である。

(平成 24 年 9 月 25 日受付)

(平成 24 年 10 月 25 日受理)

### 参考文献

- 1) 田上啓史ほか、「3D-CAD システムを利用した自動レリーフ製作の検討」、熊本高専研究紀要第 3 号 (2011), pp.15-22.
- 2) 「レリーフとは」 - 照明用語 Weblio 辞書  
参考 URL: <http://www.weblio.jp/content/>
- 3) 「SolidWorks の ScanTo3D 機能による効率的なモデル作成方法 - 3DCAD 編 -」, CAD Japan  
参考 URL: [http://www.cadjapan.com/topics/3dcad/sw\\_scan3d.html](http://www.cadjapan.com/topics/3dcad/sw_scan3d.html)
- 4) 「3D プリンター Dimension」, 丸紅情報システムズ.  
参考 URL: <http://www.marubeni-sys.com/de/dimension/768.html>
- 5) 森精機製作所「製品情報 | NV シリーズ」  
参考 URL: [http://www.moriseiki.com/japanese/products/mcv/01/nv\\_index.html](http://www.moriseiki.com/japanese/products/mcv/01/nv_index.html)
- 6) 酒井幸市, 「デジタル画像処理入門」, コロナ社 (1997), 1 章.
- 7) 酒井幸市, 「デジタル画像処理の基礎と応用-基本概念から顔画像認識まで-」, CQ 出版社 (2003), 1 章.
- 8) 酒井幸市, 「デジタル画像処理の基礎と応用-基本概念から顔画像認識まで-」, CQ 出版社 (2003), pp.102.
- 9) 酒井幸市, 「デジタル画像処理の基礎と応用-基本概念から顔画像認識まで-」, CQ 出版社 (2003), pp.47.
- 10) 酒井幸市, 「デジタル画像処理の基礎と応用-基本概念から顔画像認識まで-」, CQ 出版社 (2003), pp.38.
- 11) 酒井幸市, 「デジタル画像処理の基礎と応用-基本概念から顔画像認識まで-」, CQ 出版社 (2003), pp.25-28.
- 12) SolidWorks については下記を参考にした。  
参考 URL: <http://help.solidworks.com/2010/japanese/SolidWorks/sldworks/LegacyHelp/Sldworks/Overview/StartPage.htm>