

# レーザー加工による立体形状切削のための 3D データを用いた加工用画像の作成とその加工方法

森茂智彦<sup>1</sup> 山口穂高<sup>1</sup> 藤巻吾朗<sup>1</sup>

**概要:** CO2 レーザー加工機を用いて立体的彫刻加工を行うためには、加工用画像を作成する必要がある。一般的な方法として、グラフィックソフトを用いて画像上に濃淡を作成するが、複雑な形状の場合、立体物の高さ濃淡の対応が分かりにくく、作成には訓練を必要とする。そこで本研究では、加工したい形状の 3D データを用意し、このデータを加工用画像に変換する方法を提案する。3D データの depth 値を加工用画像の輝度に対応させる方法である。また、そのまま対応させた場合、真白に近い部分はレーザー出力が小さくなり加工されないため、加工用画像の輝度の最大値を調整することで、全体を加工可能とした。本提案手法を用いることで、3D データと同形状に加工することができた。

**キーワード:** レーザー加工, 3D レーザー彫刻, デジタルファブリケーション, 創作支援

## Creating Images for Processing Using 3D Data and its Processing Method for Three-Dimensional Laser Engraving

TOMOHIKO MORIMO<sup>†1</sup> HODAKA YAMAGUCHI<sup>†1</sup>  
GOROH FUJIMAKI<sup>†1</sup>

**Abstract:** In order to perform three-dimensional engraving using a CO2 laser processing machine, it is necessary to create a grayscale image for processing. As a general method, a grayscale image is created using graphics software. But in the case of complex shapes, it is difficult to understand the correspondence between the height of the three-dimensional object and the shading of grayscale image, and training is required. In this study, we propose a method to convert 3D data of a shape to a grayscale image. The method is to make the depth value of the 3D data to the intensity of grayscale image. However, if the intensity is close to true white, the laser output will be small and the area will not be processed. Therefore, by adjusting the maximum value of the intensity of the grayscale image, the entire image can be processed. By using the proposed method, we were able to process the same shape as the 3D data.

**Keywords:** Laser Processing, 3D Laser Engraving, Digital Fabrication, Creative Support

### 1. はじめに

デジタルファブリケーションとは、デジタルデータをもとに創造物を制作する技術であり、デザインとプロセスを融合することで、新たな発想によるものづくりが実現できる可能性がある[1][2]。制作には、デジタルファブリケーション機器を用いる。3D プリンタや CNC ルーターなど様々な種類があり、中でも、CO2 レーザー加工機は、レーザー光を用いて彫刻や切断加工を行う機器であり、従来の刃物や切削工具を用いた場合には不可能な加工を行うことができる。また、アクリルや紙、布、木材など様々な素材を加工することができるため、幅広い用途で利用可能である。

木材へのレーザー加工機を用いた彫刻加工分野において、図 1 に示すような立体的に彫刻する加工(3D 彫刻)の研究が行われている[3][4][5]。一般的な彫刻加工(2D 彫刻)では加工面の高さが一定であるのに対し、3D 彫刻では高さを変化させることで凹凸のある彫刻を表現できる。加工方法にも違いがあり、2D 彫刻では、設定した一定のレーザー出

力で加工するが、3D 彫刻では、図 2 のように加工用データをグレースケール画像として用意し、グレースケール画像の濃淡に応じてレーザー出力を可変し加工する。木材に対するレーザーの出力と加工深さはほぼ比例するため[6]、出力変化に応じて加工深さが変化し、立体的な加工面となる。

この研究分野は、L. Xie ら[3]が述べているように萌芽期の研究分野であり、所望の加工を行うための技術が体系化されていない。主要メーカーのレーザー加工機には、3D 彫刻加工の機能を搭載しており、機械を用いて加工することは可能であるが[7][8][9][10][11]、E. Johnson[12]は、3D 彫刻を行うための加工用データ(グレースケール画像)の作成が彫刻作業の中で最も難しい部分であると述べている。一般的な加工用データの作成方法として、Adobe illustrator や Corel Draw などのグラフィックデザインソフトウェアで作成する方法がある。ソフトウェアの機能であるブレンドツールや輪郭ツールなどを用いて、デザインした形状にグレースケールのグラデーションを作成する方法である[12]。図 1、図 2 は、Corel Draw を用いてグレースケール画像を作成し、

<sup>1</sup> 岐阜県生活技術研究所  
Gifu Pref. Research Institute for Human Life Technology

それを用いて加工している。このような簡単な形状であれば画像の作成に時間はかからないが、複雑な凹凸形状を加工したい場合、形状の高さと画像の輝度の対応が分かりにくく、作成には訓練が必要であり時間もかかる。簡易に加工用データを作成することができれば、より多くの人が所望の3D彫刻加工を行うことができるようになる。

そこで本研究では、簡易な方法で3D彫刻加工用データを作成し、加工を行うことを目的とする。3D彫刻の凹凸の高さが所望の高さとなることを目指す。我々はこれまでに、3Dデータを用いて加工用データを作成し、3D彫刻加工を行う方法について研究を行ってきた[13]。予め加工したい形状の3Dデータを用意し、3Dデータからグレースケール画像に変換する方法である。この方法の特長として、事前に加工したい形状を確認できる点、グレースケール画像の濃淡の作成に訓練を必要とせず自動で行える点が挙げられる。前報[13]では、3Dデータの高さ(depth値)に対応させたグレースケール画像を作成し、加工を行った。3Dデータと概ね同形状に加工することができたが、加工用データから所望の加工を行うための検討が十分にされていない。そのため本報では、3Dデータから作成したグレースケール画像を用いた加工条件の設定方法の検討、およびより複雑な形状の加工を行い有用性の検討を行う。



図1 3D彫刻の例

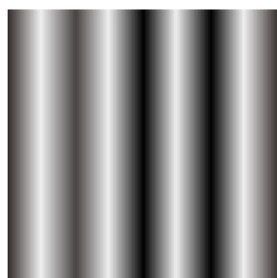


図2 3D彫刻用グレースケール画像の例

## 2. 関連研究

### 2.1 3D彫刻に関連する研究

L. Xieら[3]は、レーザーによる3D彫刻のための初期検討として、加工パラメータの影響について検討している。異なる材料へ彫刻加工を行う場合、加工パラメータは異なるが、ある材料について実験で得られた加工パラメータを

分析することで、異なる材料の加工パラメータに最適化している。また、低い出力と遅い速度で彫刻することで、レーザー損失を遅らせることができると述べている。

C. Leoneら[4]は、Qスイッチ・ダイオードポンプによる周波数2倍のNd:YAGグリーンレーザを用いた木材彫刻を研究している。実験の結果、このタイプのレーザーは、さまざまな種類の木材の加工に成功し、装飾的な図面や3D彫刻された形状を焼き付けることなく得ることができることがわかった。しかし、炭化のない深い彫刻や均質な彫刻を得るためには、木材の種類や加工パラメータを正確に選択する必要がある。

3Dプリンタやマシニングセンタを用いた研究であるが、佐藤ら[5]は、画像から3Dデータを作成し、レリーフ彫刻を行っている。元画像からエッジを抽出した画像とグレースケール化した画像を合成し、その合成画像の輝度値を3Dデータの高さデータとしている。

### 2.2 インタラクシオン分野での研究

インタラクシオン分野でのレーザー加工の研究として、福地ら[14]による食材への自動調理法の研究がある。カメラ画像を加工し、食材の加熱パターンを自動生成してレーザーによる調理を行う。例として、ベーコンの脂身の部分のみ加熱をして余分な脂を除去する加工が紹介されている。

T. Roumenら[15]は、合板に穴を空けて押しボタンなどの部品を取り付けたり、合板同士を接続したりする際の固定方法として、穴や接合部の一部に片持ちばり式ばねを加工する方法を提案している。レーザーの切断加工により、穴や接合部の加工と同時にばね部分の加工も行うことができる。

## 3. 3Dデータを用いた3D彫刻方法

### 3.1 グレースケール画像の作成方法

本研究では、予め3D彫刻加工したい形状の3Dデータを用意し、3Dデータの高さ(depth値)をグレースケールの濃淡に対応させてグレースケール画像を作成する(図3)。その際、depth値の最低値を真黒、最高値を真白としてグレースケール画像を作成する。

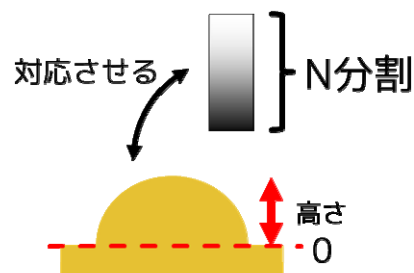


図3 グレースケール画像の作成方針

(1)3D データの高さ(depth 値)の取得

3D データの表面方向の高さの値を取得する. 取得の流れを図 4 に示す. まず①STL 形式などの 3D データを点群データに変換する. その後, 画像上の画素は格子状に並んでいるため, ②不規則な点群から格子状の点群を得る処理(ラスタライズ)を行う. この格子状の点群の高さを depth 値とする. これらの処理は, フリーソフトの CloudCompare[16] を用いて行う. 本報では, バージョン 2.9.1 を用いた. CloudCompare は様々な分野の研究で用いられている 3次元データの表示・処理ソフトである[17][18][19].

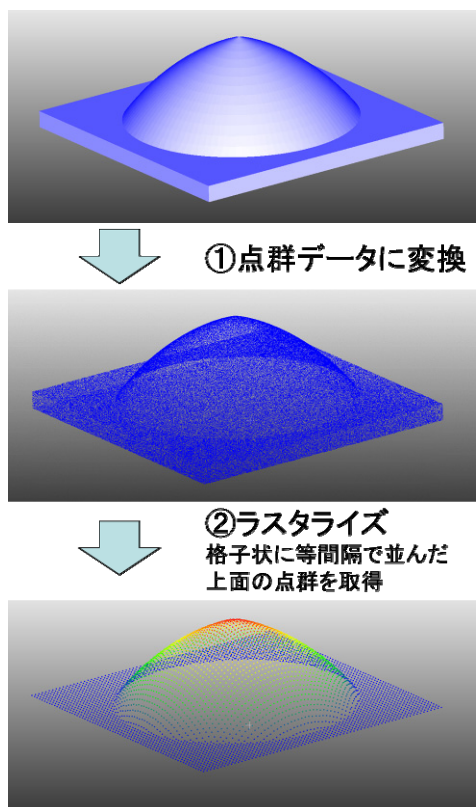


図 4 3D データの depth 値取得の流れ

①3D データを点群データに変換する

CloudCompare の「Sample Points」機能を用いて変換する(図 5). 点群の数は, 「Density」で指定する. 指定する値が大きいほど, 単位体積あたりの点群の数が増える.

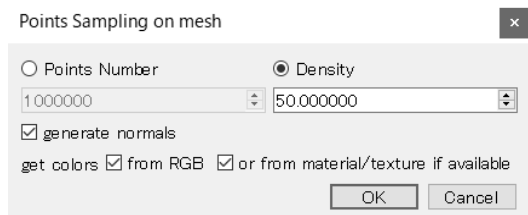


図 5 Sample Points 画面

②点群データをラスタライズする

画像は画素が格子状に並んでいるものであるため, depth 値も同様に並んだ値が必要である. ラスタライズすることで, ①で得られた点群から格子状に等間隔で並んだ高さのデータを得ることができる.

CloudCompare の「Rasterize」機能を用いて変換する. 「Grid」内の「step」が小さいほど, 画像も細くなる. 「Projection」内は, 「direction」でデータの高さ方向の軸を指定, 「cell height」は「maximum height」を選択, 「resample input cloud」のチェックは外す. 「Empty cells」内は「leave empty」または周辺の値から近似できるように「interpolate」を指定する. 上記指定後, 「Update Grid」を押すと, 右側にラスタライズされた画像が表示される. 表示画像がおかしい場合は, 手順①にて「Density」を大きくして再度やり直す.

「Export」内の「Cloud」を押した後, 「OK」を押す. その後, ラスタライズされたデータを「asc」形式で保存する.

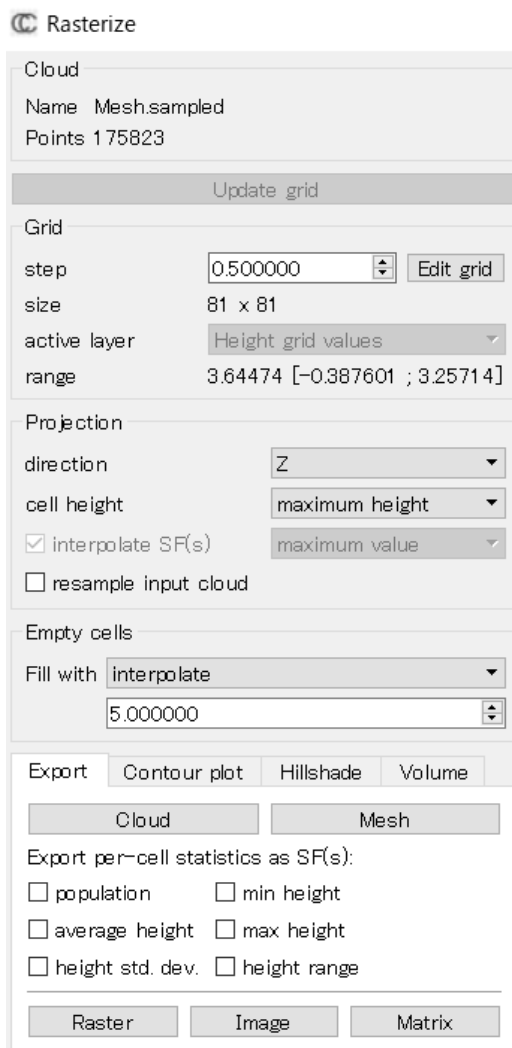


図 6 Rasterize 画面

(2)PGM 画像への変換

(1)項で得られた高さの値から画素の濃淡に対応させたグレースケール画像を作成する。グレースケール画像は PGM(Portable Gray Map)形式とする。

PGM 形式のファイルフォーマットを図 7 に示す。フォーマットの各パラメータについて、図 8 に示すように対応させる。(1)項で得たラスライズされたデータの高さについて、最低値を真黒、最高値を真白として変換するため、各高さは最低値を 0 とした相対高さに再演算した値を格納する。Excel など画像に変換可能であるが、本研究では専用の変換ソフトを作成した。

PGM 画像は、WindowsOS では標準で閲覧することはできないため、作成した PGM 形式の画像は、XnView[20]などのフリーソフトにて PNG 形式など、Windows で読み込み可能な形式に変換する。

|  |
|--|
| P2   |
| 横の画素数 Xn   |
| 縦の画素数 Yn   |
| 輝度の最大値 N   |
| (以下、各画素の輝度)  |
| X <sub>1</sub> Y <sub>1</sub> X <sub>2</sub> Y <sub>1</sub> . . . . . XnY <sub>1</sub> |
| X <sub>1</sub> Y <sub>2</sub> X <sub>2</sub> Y <sub>2</sub> . . . . . XnY <sub>2</sub> |
| .  |
| .  |
| .  |
| X <sub>1</sub> Y <sub>n</sub> X <sub>2</sub> Y <sub>n</sub> . . . . . XnY <sub>n</sub> |

図 7 PGM 形式のフォーマット

|  |
|--|
| P2   |
| 横の画素数 Xn ⇒ Rasterize 時の X 方向の size <sup>*1</sup> |
| 縦の画素数 Yn ⇒ Rasterize 時の Y 方向の size <sup>*1</sup> |
| 輝度の最大値 N ⇒ 相対高さの最大値                              |
| 各画素の輝度 ⇒ 最低値を 0 とした相対高さ                          |

\*1 Rasterize 画面の「Grid」内の「size」に記載

図 8 各パラメータの対応

3.2 作成した画像を用いた加工方法

作成したグレースケール画像を用いて立体的彫刻加工を行う。主要メーカーのレーザー加工機に搭載されている 3D 彫刻加工機能を前提に述べる[7][8][9][10][11]。この機能では、画像の真黒部分のレーザー出力と加工速度を設定することで、その他の部分は輝度の割合に応じてレーザー出力

が自動で可変される。加工機の機種によっては、濃淡の出力を個別に設定できる場合があるが、木材に対するレーザー出力と加工深さはほぼ比例するため[6]、出力を線形に変化するように設定する。そのため、まずは真黒に対する出力値を決定する方法について述べる。

(1)加工パラメータの調査

レーザー出力と加工速度を変化させた加工パターンを加工し、それぞれのパラメータに対する加工深さを調べる[21]。加工深さは接触式センサや 3D スキャナなどで測定する。加工パターンの例を図 9 に示す。

| 樹種名    | 速度(%) |    |    |    |    |    |    |    |    |     |   |
|--------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---|
|        | 10    | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |   |
| 出力 (%) | 10    | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●   | ● |
|        | 20    | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●   | ● |
|        | 30    | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●   | ● |
|        | 40    | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●   | ● |
|        | 50    | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●   | ● |
|        | 60    | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●  | ●   | ● |

図 9 加工パターン例

(2)加工パラメータの設定

3.1 項で得た 3D データの相対高さの最大値と、(1)で調べた真黒の時の加工深さが等しくなる時の加工パラメータを設定する。

3.3 グレースケール画像の調整

3.1 項で作成した画像をそのまま用いて加工した場合、図 10 に示すようにグレースケール画像の濃淡が真白に近い部分は加工されない。真白に近い部分はレーザー出力が低く、木材を彫刻するために十分な出力ではないためである。

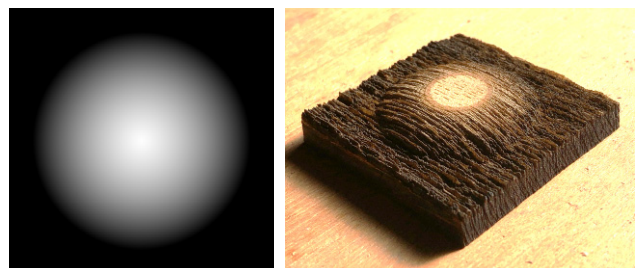


図 10 全体が加工されない例

そこで、グレースケール画像を作成した際の PGM 形式の輝度の最大値 N を調整し、画像全体の輝度を相対的に低くする(真黒側に近づける)。

輝度の最大値 N の調整値を求めるため、まずは図 11 に示す輝度のみを変化させた加工パターンを 3.2 項(2)で選択

した加工条件で加工し、それぞれの深さを測定する。加工パターンでは、グレースケール画像の輝度の最大値を 255 とする。例として図 11 に、MDF をレーザー出力 150W、速度 866mm/s で加工し、深さを測定した結果を示す。輝度約 220 以上では深さは 0 となり、加工されないことがわかる。

その後、加工深さが 0 になる輝度の境界値 B1 を用いて、式(1)により、輝度の最大値 N の調整値を求める。この値を PGM 形式の輝度の最大値 N に設定する。

$$N_{\text{変更後}} = N_{\text{変更前}} \cdot (255 + (255 - B1)) / 255 \cdot \cdot \cdot \text{式(1)}$$

B1 : 輝度-深さグラフで深さが 0 になる輝度境界値

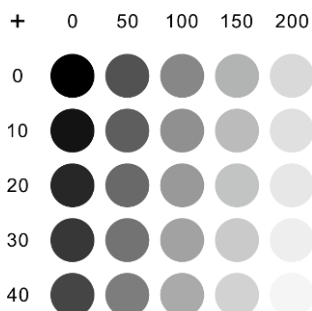


図 11 グレースケール画像の輝度を変化させた加工パターン例

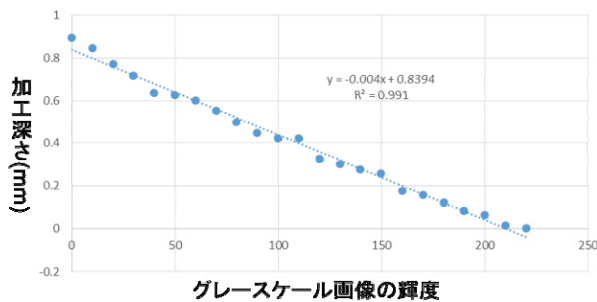


図 12 測定結果例(MDF)

## 4. 加工と課題

### 4.1 レーザー加工機の仕様

使用するレーザー加工機の仕様を表 1 に示す。

表 1 レーザー加工機の仕様

|      |              |
|------|--------------|
| 型式   | AD-VD-60100  |
| メーカー | 株式会社コマックス    |
| 最大出力 | 150W         |
| 最大速度 | 1,443mm/s*   |
| 発振器  | コヒーレント E-150 |

\*速度設定 100%の時のモータ回転数から算出

### 4.2 加工

輝度調整の検証をするため加工する形状の 3D データを図 13 に示す。また、CloudCompare を用いた変換条件を表 2 に示す。この条件で輝度の最大値 N を調整せず加工した結果が、図 10 である。これに対し、輝度の最大値 N を調整して加工した結果を図 14 に示す。輝度の最大値 N を 350 ⇒426 に設定した。

表 2 CloudCompare での変換条件

|               |             |       |
|---------------|-------------|-------|
| Sample Points | Density     | 2,000 |
| Rasterize     | Grid step   | 0.1   |
| Empty cells   | leave empty |       |

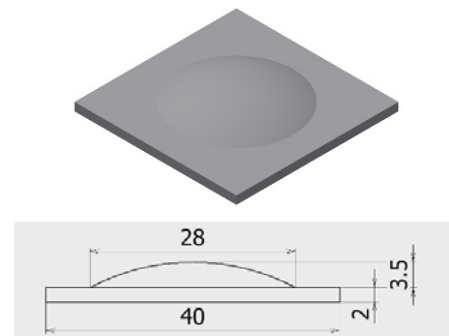


図 13 3D データモデル(上: モデル, 下: 図面)

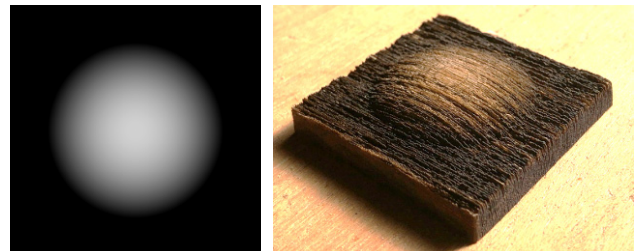


図 14 調整後の加工結果(左: 画像, 右: 加工物)

### 4.3 その他の加工例

#### (1)地形

国土地理院都道府県別平均標高立体模型[22]を用いて岐阜県の地形を加工した。3D データ、グレースケール画像、加工物をそれぞれ図 15～図 17 に示す。加工物の県境を分かりやすくするため、縁より外側の部分は真白に編集してある。

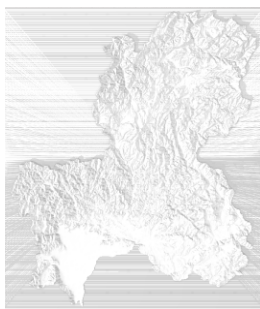


図 15 3D データ

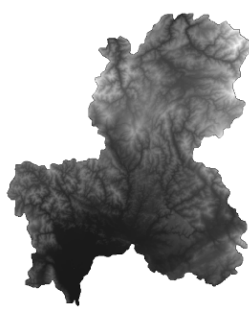


図 16 グレースケール画像



図 17 加工物

## (2)手彫り

手彫りした彫刻(図 18)を 3D スキャナでデータ化し、それを基に加工した。3D データ、グレースケール画像、加工物をそれぞれ図 19～図 21 に示す。加工深さが浅いため凹凸が分かりにくい、3D データ化した段階で手彫り部分の凹凸が滑らかになっているためである。3D スキャナの精度が上がれば、手彫り彫刻の凹凸をより再現することができると考える。



図 18 手彫り彫刻

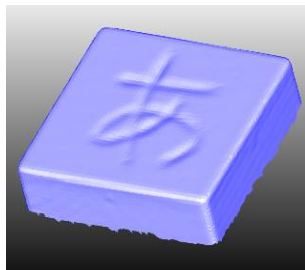


図 19 3D データ

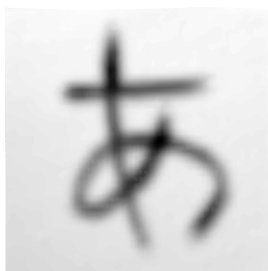


図 20 グレースケール画像



図 21 加工物

## 4.4 課題

今後の課題についてまとめる。

PGM 画像の輝度の最大値  $N$  を調整した場合、全面が加工できるようになったが、加工形状、形状誤差への影響は検討していない。

様々な高さの 3D データを加工するには、図 11 の加工パターンを様々な加工パラメータで加工し、加工深さが 0 となる輝度と真黒の時の深さを得る必要がある。木材の樹種によっても傾向が異なるため、様々な樹種の測定を行う必要がある。

手彫り彫刻を基にした加工については、より複雑な形状の彫刻を基に加工し、再現できるか検討する必要がある。

## 5. おわりに

3D データからレーザー加工用グレースケール画像を作成し、その画像を用いて立体加工を行う方法を検討した。

3D データの  $depth$  値を PGM 形式の画像の輝度に対応させることで、グレースケール画像を作成する方法を提案した。 $depth$  値をそのままグレースケール画像の濃淡に対応させた場合、輝度が真白に近いところでは加工されない部分があるため、PGM 形式の輝度の最大値を調整することで、全体を加工可能とした。本提案手法は、フリーソフトで作成することができるため、利便性が高いと考える。

提案手法を用いて、いくつか加工例を紹介した。3D データと同形状に加工することができた。地形のような複雑な形状の場合、手作業で濃淡を作成するのは手間がかかるが、本提案手法により地形の複雑さを考慮せずに加工することができる。また、手彫り彫刻のような原物を基に加工することもできる。これらの点から本提案手法に有用性が見込まれると考える。

今後の課題として、形状誤差の検討、様々な条件による最適な加工条件の取得が挙げられる。

**謝辞** 加工用材料の作製にご協力をいただきました当所依頼試験等業務専門職の沼澤洋子氏にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 平成 28 年版 総務省情報通信白書 第 4 章第 1 節 3 ICT と新しい働き方
- [2] 蒲生秀典. デジタルファブリケーションの最近の動向—3D プリントを利用した新しいものづくりの可能性—. 科学技術動向, 2013 年 8 月号(137 号), p. 19-26.
- [3] L. Xie, X. Chen, H. Yan, H. Xie, Z. Lin. Experimental Research on the Technical Parameters of Laser Engraving. Journal of Physics: Conference Series, 2020, Vol. 1646, article id. 012091, p. 1-6.
- [4] C. Leone, V. Lopresto, I. DeIorio. Wood engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:YAG green laser. Optics and Lasers in Engineering, 2008, Vol. 47, Issue. 1, p. 161-168.
- [5] 佐藤孔亮, 開 豊, 田中裕一, 宮本憲隆. 画像処理を利用した

- 自動レリーフ製作システムの検討. 熊本高等専門学校研究紀要, 2012, 第4号, 2012, p. 13-20.
- [6] 新井武二, 林大九郎. レーザーによる木材の加工特性について(第1報) 機械側パラメータが加工特性に及ぼす影響. 木材学会誌, 1992, Vol. 38, No. 4, p. 350-356.
- [7] コマックスレーザー加工機・レーザーマーカース総合カタログ. 株式会社コマックス. 2016年5月10日発行.
- [8] “レリーフ彫刻 | レーザー加工のヒント | トロテック・レーザー加工機/レーザーカッター “. <https://www.troteclaser.com/ja/knowledge/tips-for-laser-users/relief-engraving/>, (参照 2021-07-21).
- [9] “ユニバーサルレーザーシステムズのレーザー彫刻機 ja-us “. <https://www.ulsinc.com/ja/システム>, (参照 2021-07-21).
- [10] “レーザーカッター (レーザー加工機) の立体的な彫刻加工「3D 彫刻」 | コムネット “. <https://www.comnet-network.co.jp/blog/laser-engraving-3d/>, (参照 2021-07-21).
- [11] “飯田工業 レーザ “. <https://www.iidakg.co.jp/Japanese/product/laser.htm>, (参照 2021-07-21).
- [12] E. Johnson. What is 3D Laser Engraving. The Engravers Journal, 2019, Vol. 45, No. 3, p. 34-36.
- [13] 森茂智彦, 長谷川良一. 3D データを用いたレーザー加工による立体形状切削. 第38回日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集, 2020.
- [14] 福地健太郎, 富山彰史, 城 一裕. Laser-Cooking: レーザーカッターを用いた自動調理法の開発. 情報処理学会 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), 2011, vol. 144, no. 19, p. 1-6.
- [15] T. Roumen, J. Shigeyama, J. C. R. Rudolph, F. Grzelka, P. Baudisch. SpringFit: Joints and Mounts that Fabricate on Any Laser Cutter. Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'19), 2019, p. 727-738.
- [16] “CloudCompare - Open Source project “. <https://www.danielgm.net/cc/>, (参照 2021-07-21).
- [17] 伊藤隆史. 私の研究開発ツール(第110回)3次元データ表示・処理ツールの紹介(CloudCompare, Open3D). 映像情報メディア学会誌, 2021, Vol. 75, No. 2, p. 239-242.
- [18] 藤里和樹, 檀 寛成, 安室喜弘. 点群の3次元分布を考慮したレーザーキャナデータと SfM データのレジストレーション. 土木学会論文集 F3(土木情報学), 2017, Vol. 73, No. 2, p. I\_219-I\_225.
- [19] 板倉健太, 細井文樹. 画像処理や3次元深層学習を用いた航空機ライダー点群データからの樹木の検出. AI・データサイエンス論文集, 2020, Vol. 1, No. J1, p. 320-328.
- [20] “Image Viewer | Photo Viewer | Image Resize | XnView “. <https://www.xnview.com/en/>, (参照 2021-07-21).
- [21] 亀崎高志, 花田好正, 山田敏美, 小谷章二. レーザー加工における木材等の加工特性評価. 鳥取県産業技術センター研究報告, 2013, No. 16, p. 14-17.
- [22] “立体地図 (触る地図サンプル・県別の立体模型) “. <http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/prefecture/prefecture.html>, (参照 2021-07-21).