

レーザー加工機を用いた立体物への彫刻に関する研究

原 涼輔*

Study on Engraving of 3D Object Using Laser Beam Machine Ryosuke Hara

1. 緒 言

平成 29 年度に山口県産業技術センターに導入された小型レーザー加工機(図 1, 表 1, Trotec 製 Speedy100)は, 樹脂やプラスチック等の被加工物にレーザーを照射することにより切断や彫刻を施す事ができる. この小型レーザー加工機の導入以降, 加工が可能な素材や加工精度等について, 県内企業から様々な相談や要望が出てきている. その一つに曲面を有する立体形状への彫刻がある. 一般的に, 被加工物は平面形状が想定されているため, 曲面を有する立体形状に彫刻を施す場合, 被加工物と照射位置までの焦点距離が変化するため均一な彫刻を施すことができないという課題がある. 図 2 に立体形状に彫刻を施した事例を示す. レーザーの焦点位置が被加工物の表面上に合った箇所は白色に変化しているが, 焦点位置からずれが生じると黒色に変化し徐々に掠れている.

本研究では, その課題を解決するために, 焦点位置のずれと彫刻の濃さの関係の調査および曲面を有する立体形状に均一な彫刻を施す手法の検討を行った.



図 2 立体形状に彫刻を施した事例

2. 実 験

2・1 焦点位置のずれと彫刻の濃さの調査

レーザーの焦点位置が被加工物の表面からずれると, 彫刻の濃さがどのように変化するかを確認するために実験を行った.

2・1・1 方法

焦点距離と彫刻の濃さの関係性を連続して確認するために, 小型レーザー加工機のワークスペースに対し 10° 傾けた状態で試験片を配置し, 試験片の最も高い位置にレーザーの焦点を合わせた状態で加工を行った. 図 3 に実験の概略図を示す.



図 1 小型レーザー加工機

表 1 小型レーザー加工機の仕様

メーカー :	トロテック・レーザー・ジャパン株式会社
型式 :	Speedy100
加工範囲 :	W608 × D300 × H170 (mm)
最大彫刻スピード :	2.8m/秒
レーザー発振器 :	CO2 レーザー
レーザー出力 :	30W
発振波長 :	10.6μm
レーザー安全規格 :	クラス 2

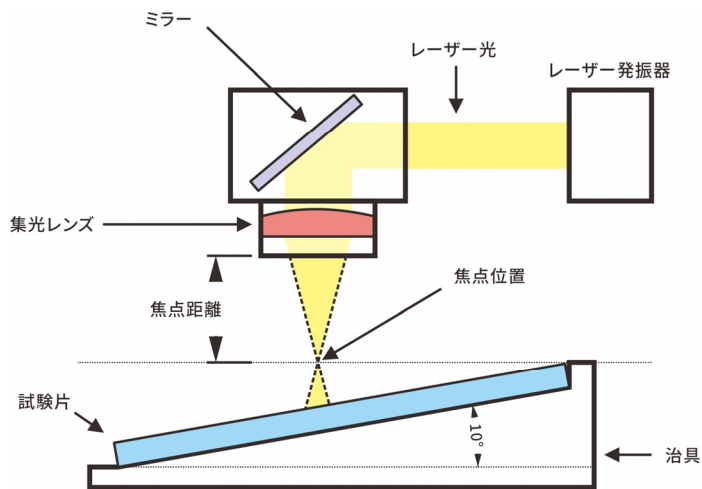


図 3 実験の概略図

* 企業支援部デザイングループ

2・1・2 試験片の作製

小型レーザー加工機を使用し、材料や色の異なる 200mm×30mm の試験片を 15 点作製した。図 4 に作製した試験片の一例を示す。また、試験片の作製に使用した材料の一覧を表 2 に示す。

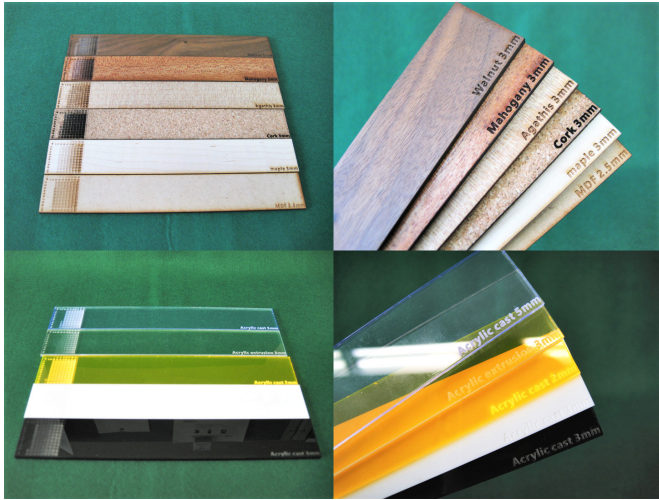


図 4 作製した試験片の一例

表 2 材料の一覧

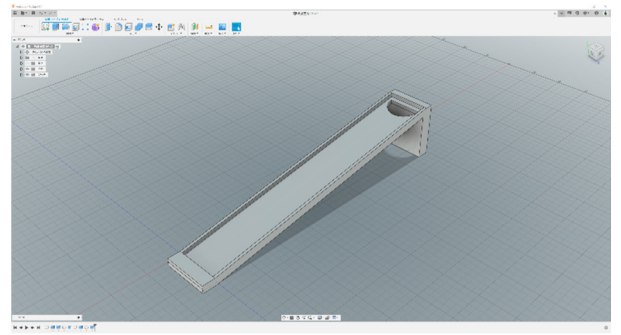
材料名	色	板厚 (mm)
アクリル板	黒	3
アクリル板	白	3
アクリル板	透明	3
集光アクリル板	紫	5
集光アクリル板	橙	2
二層板	アイボリー・黒	1.5
二層板	黒・灰	1.5
二層板	白・赤	1.5
二層板	ステンレス・黒	3
メイプル板	メイプル	3
マホガニー板	マホガニー	3
コルク板	コルク	3
ウォルナット板	ウォルナット	3
アガチス板	アガチス	3
MDF	薄茶	2.5

2・1・3 治具の作製

試験片を 10° 傾けた状態で配置するための治具を作製した。治具の 3D データ作成には 3DCAD(Autodesk 製 Fusion360), 治具製作には樹脂積層式造形機(Stratasys 製 FORTUS400mc)を使用した。図 5 に治具の作製を示す。

2・1・4 レーザー彫刻実験

小型レーザー加工機に試験片を 10° 傾けた状態で配置し彫刻実験を行った。レーザーのパラメーターはレーザー出力を 100% (30W), 走査スピードを 80% (2.24m/s) に設定した。図 6 にレーザー彫刻実験の様子を示す。



(a) 3DCAD



(b) 樹脂積層造形機

(c) 作製した治具

図 5 治具の作製

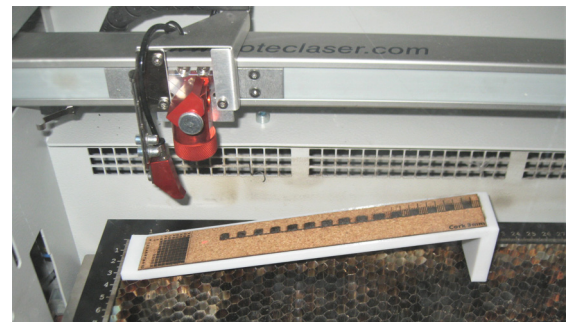


図 6 レーザー彫刻実験の様子

2・2 立体形状に彫刻を施す手法の検討

小型レーザー加工機には Z(高さ)方向へのオフセット機能が備わっており、焦点位置から任意の距離だけずらすことができる。この機能と 3D データをスライスデータに変換するソフトを使用し、一定の高さごとに分割してレーザーを照射することで曲面を有する立体形状に均一な彫刻を施す手法を考案した。図 7 に本手法の概要を示す。

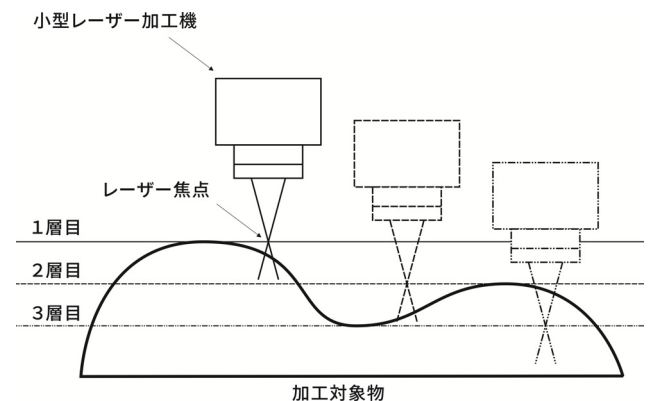
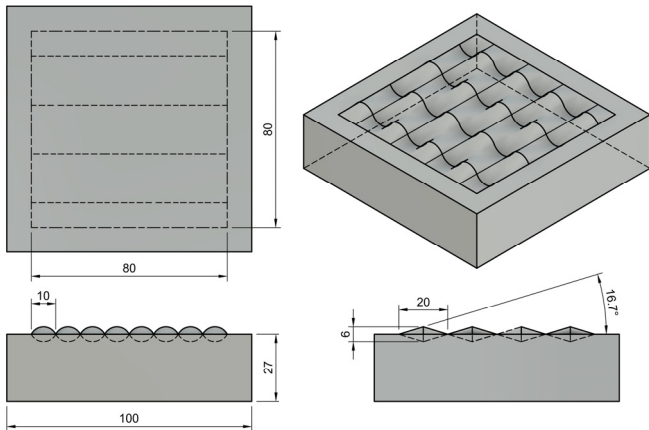


図 7 本手法の概要

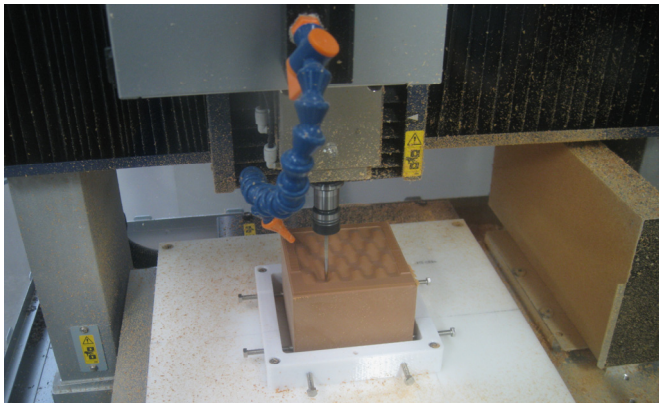
本手法を用いて、曲面を有する立体形状に彫刻を施すためには被加工物の他に、被加工物の 3D データが必須となる。今回は「3D データを保有している場合」と「被加工物のみを保有している場合」、「本手法を用いない場合」の 3 パターンを想定して本実験を行った。

2・2・1 立体形状の作製

3DCAD および切削式三次元モデリング装置(Roland DG 製 MDX-540SA)を使用し、被加工物となる立体形状(以下、試験モデル)を作製した。また材料は切削加工が容易なケミカルウッドを使用した。図 8 に試験モデルの作製を示す。



(a) 試験モデルの図面



(b) 作製中の様子

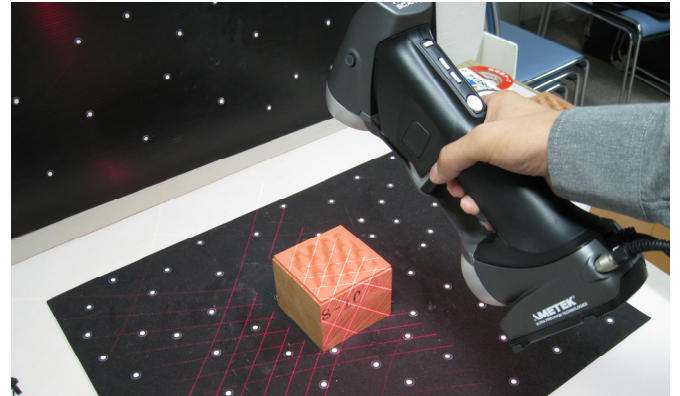


(c) 作製した試験モデル

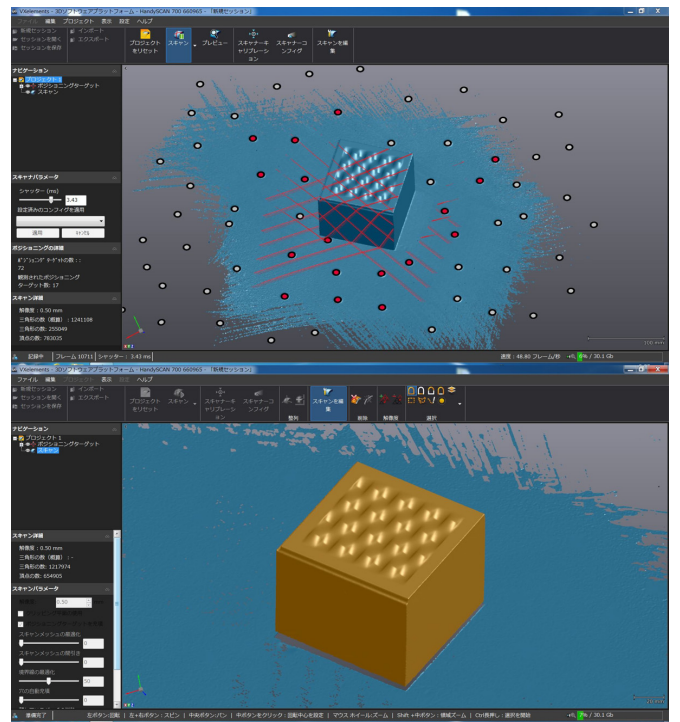
図 8 試験モデルの作製

2・2・2 曲面形状の取り込み

被加工物のみを所有している場合、本手法を用いるには何らかの方法で 3D モデルを作製する必要がある。被加工物が曲面形状を保つ場合、ノギス等により寸法形状を測定してモデル化することは容易ではない。そこで、3D スキャナー(Creaform 製 HandySCAN700)を使用し、試験モデルから 3D 形状を取り込む方法を用いた。図 9 に 3D スキャナーによる 3D 形状の取り込みを示す。



(a) 取り込みの様子



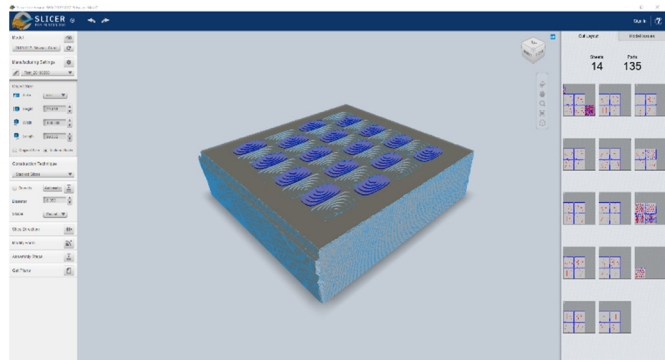
(b) 取り込んだ 3D 形状

図 9 3D スキャナーによる 3D 形状の取り込み

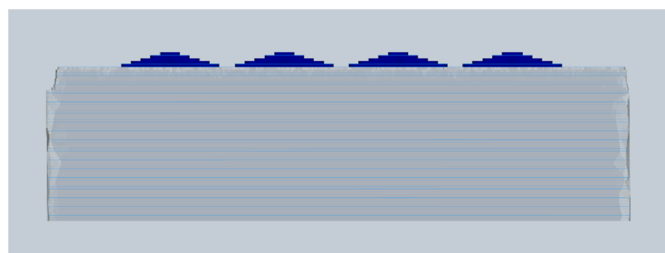
2・2・3 スライスデータの作成

スライスソフト(Autodesk 製 Slicer for Fusion360)を使用し、3D データからスライス間隔 0.5mm、分割数 13 のスライスデータを作成した。スライスデータの作成には「3D データを保有している場合」と「被加工物のみを保有している場合」を想定し、「3DCAD で作成した 3D データ」と「3D スキャナーから取り込んで作成した 3D データ」の 2 パタ

ーンで行った. 図 10 にスライスコマンドを実行した 3D モデルを示す.



(a) 斜視図



(b) 側面図

図 10 スライスコマンドを実行した 3D モデル

2・2・4 彫刻用データの作成

ドローイングソフト(Corel 社 CorelDRAW)を使用し, 彫刻元データをスライスデータで分割, 高さごとに階層分けを行い, 彫刻用データを作成した. また, 彫刻用データに対しレーザーの焦点位置を変化させるため, オフセット値の割り振りをを行った. 図 11 に彫刻用データの作成方法を示す.

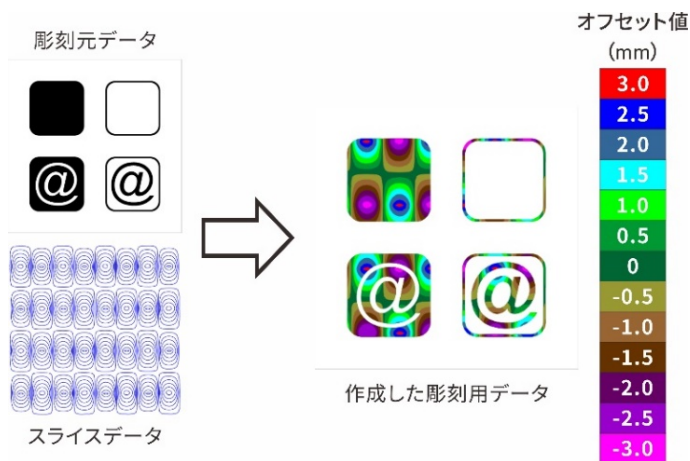


図 11 彫刻用データの作成方法

2・2・5 試験モデルへの彫刻実験

彫刻用データを使用し, 試験モデルへの彫刻実験を行った. 彫刻実験には「彫刻元データ」「3DCAD データからオフ

セット値を付与した彫刻用データ」「3D スキャナーの点群データからオフセット値を付与した彫刻用データ」の 3 パターンで実験を行った. また, レーザーのパラメーターはレーザー出力を 22% (6.6W), 走査速度を 100% (2.8m/s) に設定した. 図 12 に彫刻実験で使用した彫刻用データを示す.

(a) 彫刻元データ	(b) 3DCAD データからオフセット値を付与した彫刻用データ	(c) 3D スキャナーの点群データからオフセット値を付与した彫刻用データ

図 12 彫刻実験で使用した彫刻用データ

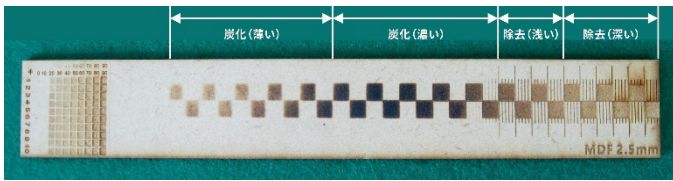
3. 実験結果および考察

3・1 焦点位置のずれと彫刻の濃さの関係

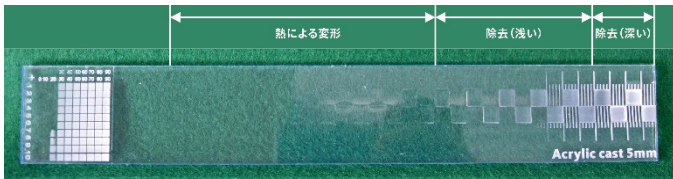
レーザー彫刻実験で彫刻した試験片の一例を図 13 に示す. これらより, 試験片の材質によって彫刻を施した部分の変化に差異があることを確認した. 木材(図 13, (a)MDF)の場合は, 焦点位置からのずれが小さい順に表面の除去(深い)→除去(浅い)→炭化(濃い)→炭化(薄い)と変化した. 樹脂材(図 13, (b)アクリル板)の場合は, 焦点位置からのずれが小さい順に表面の除去(深い)→除去(浅い)→熱による変形と変化した. なお, 木材の場合に発生した炭化現象は確認できなかった.

焦点位置のずれによりレーザー刻印の状態に差異が生じた原因は, 試験片に与えるエネルギー密度が変化したためと考えられる. 試験片の表面上に焦点位置がある場合は, エネルギー密度が最大となるため, レーザーを照射した位置が昇華・除去される. しかし, 焦点位置からずれが生じるとエネルギー密度が低下する. そのため, レーザーを照射した材料の表面温度が昇華・除去に必要な温度まで上がらずに炭化や熱による変形が起きたと推測される.

図 14 にレーザー彫刻実験の結果を示す. グラフの横軸はレーザーの焦点位置からのずれ量を表す. グラフの色は彫刻を施した箇所の状態を表し, 青色が除去(深い), 水色が除去(浅い), 橙色が炭化(濃い), 肌色が炭化(薄い), 緑色が熱による変形である. 木材の場合は焦点位置からのずれ量が 5mm 程度までは深い除去加工をすることができ, ずれ量が 5~10mm 程度で被加工物の表面が炭化した. 樹脂材の場合は焦点位置のずれ量が 0~3mm 程度しか深い除去加工できず, ずれ量が 10mm を超えると被加工物の表面が熱で変形した.



(a)MDF 2.5mm



(b)アクリル板 5mm

図 13 レーザー彫刻実験で彫刻した試験片の一例

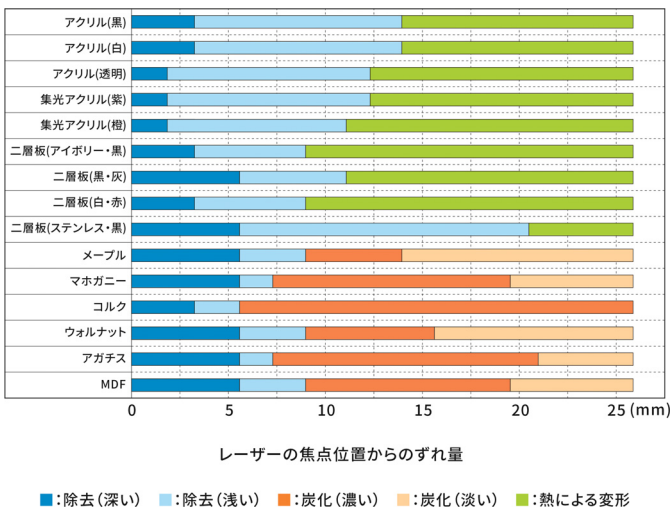


図 14 レーザー彫刻実験の結果

3・2 立体形状への彫刻

試験モデルへの彫刻実験の結果を表 3 に示す。正面図と斜視図は彫刻実験を行った試験モデルの加工面で、左から順に「彫刻元データ」「3DCAD データからオフセット値を付与した彫刻用データ」「3D スキャナーの点群データからオフセット値を付与した彫刻用データ」の実験結果である。また、拡大図は各試験モデルの一部を拡大したもので、彫刻に焦げが発生した箇所を画像処理で色を抽出し、近似する色の部分を着色したものである。「彫刻元データ」は試験モデルの高い位置で彫刻する際に焦げが多数発生した。一方で「3DCAD データからオフセット値を付与した彫刻用データ」および「3D スキャナーの点群データからオフセット値を付与した彫刻用データ」は彫刻の焦げが少なく、より均一な彫刻になっていることが確認できた。

以上のように本手法の有効性は確認できたが、被加工物を一定の高さごとに分割して彫刻を施すため、スライスデータの分割数に比例して彫刻に要する時間が表 3 に示すように長くなった。これに対し、本手法を用いる際は、被加工物がレーザーの焦点位置からのずれれに対しどの程度許容できるかを確認した上でスライスデータの分割数を決定し、

分割数を制限することで、ある程度時間を短縮できると考えられる。

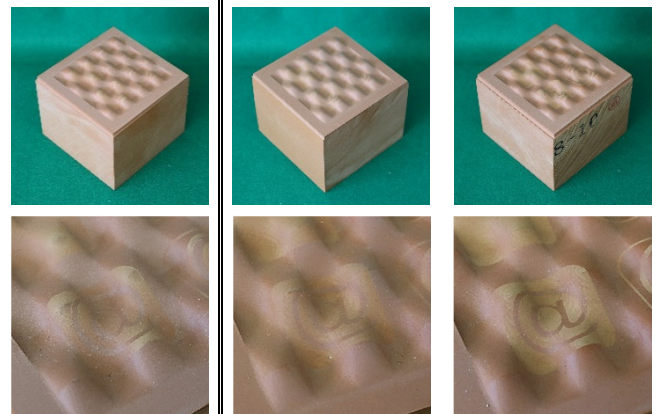
表 3 試験モデルへの彫刻実験の結果

一般的な彫刻	本手法を用いたもの
(a)彫刻元データ	(b)3DCAD データか (c)3D スキャナーからオフセット値をの点群データから付与した彫刻用データ
	オフセット値を付与した彫刻用データ

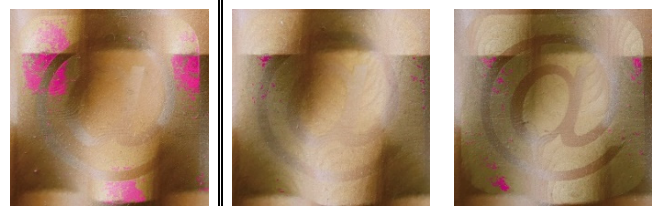
正面図



斜視図



拡大図(焦げが発生した部分を着色)



彫刻に掛かった時間

2分34秒	26分23秒	26分39秒
-------	--------	--------

4. 結 言

本研究ではレーザー彫刻における焦点位置のずれと彫刻の濃さの関係と曲面を有する立体形状に均一な彫刻を施す手法について検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 本試験において、木材の場合はレーザーの焦点位置を被加工物の表面から上方に5~10mm程度ずらすことで、被加工物の表面を炭化させ、濃い彫刻を施すことができた。
- 2) 被加工物が立体形状の場合、被加工物を一定の高さごとに分割して彫刻を施すことで、一定の高さごとに分

割しない場合に比べてよりも均一な彫刻を施すことができた。

- 3) 彫刻データの分割数が増加すると、その分割数に比例して彫刻に必要な加工時間も長くなる。そのため、仕上がりと分割数のバランスを考慮して彫刻用のデータを作成する必要がある。

参考文献

- 1) 新井武二：絵とき レーザー加工 基礎のきそ，日刊工業新聞社，p. 82-133(2007)。
- 2) 金岡優：絵とき レーザー加工の実務 CO2&ファイバレーザ作業の勘どころ 第2版，日刊工業新聞社，p. 24-27(2013)。