

# 研修報告 3次元造形物の製作実習

○戎 俊男・石野健英・江藤昭弘・水野 隆・永田照三・太田信二郎  
松野貞雄・神尾恒春・磯谷 章・佐原和芳・岩澤充弘・岡本哲幸

工学部技術部実験教育支援室

## 1. はじめに

工学部技術部実験教育支援室は、工作技術センターと創造教育支援センターに所属する技術職員で構成されており、主に工学部のものづくりに関係する業務に従事している。このうち創造教育支援センターでは全学科の1年生を対象としたものづくり実習を実施しており、今年で3年目を迎えている。この実習は1年間にわたって実施され、学生は前期にデジタル回路実習、基板製作実習、プログラム実習を受講し工学に必要な基礎的な知識・技術を習得し、後期にはHamaBotと呼ばれる3輪ロボットを製作し最後に総まとめとしてロボットコンテストを行うこととなる。実験教育支援室の技術職員は、このものづくり実習に携わっており、今回の研修の目的は3次元加工機および光造形機の取り扱い技術を習得し、日常業務およびものづくり実習に役立てることである。

## 2. 研修の概要

研修は総合棟9階にある創造教育支援センター実習室において、主に創造教育支援センターの技術職員が講師となり3日間にわたり実施された。製作する造形物のモデルはスタンプとして、参加者が3D-CADによるデータ作成からCAMによるデータ生成を経て、3次元加工機と光造形機を使用するまでの一連の流れを学習できるよう配慮し、そのためのテキストを作成した(図1)。加工方法は3次元加工機を使った切削加工と光造形機を使ったプラスチック造形という異なった2種類の方法を用いて、その違いを学習した。最後に出来上がったスタンプについて、その加工方法や材料の種類による違いを比較してそれぞれの加工方法の得意分野・不得意分野を理解した。

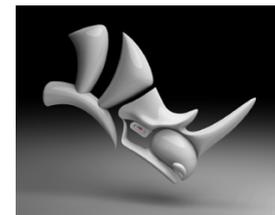


図1. 研修用テキスト

## 3. 3D-CADによるデータ作成

CADソフトRhinoCeros(図2)を使用してスタンプモデルのCADデータを作成した。3次元加工機では、片面加工、両面加工、回転軸ユニットによる加工という異なった3種類の加工をおこなった。それぞれについてのデータが必要となるため、CADデータは3次元造形機用データを3種類、それに加えて光造形機用データを1種類、合計4種類のデータを作成した。

図3の片面加工用データはドリルの刃で削る加工面が上向きとなるように、印字面および分割されたスタンプの胴体を配置してい



RhinoCeros

図2. 3D-CADソフト

る。両面加工データではドリルの刃が両面から入るので、スタンプの胴体は分割する必要がなく、図4のように胴体は1体となる。回転軸ユニットを使用した加工では材料を回転させながら加工するので、図5のようにスタンプの本体と印字面を切り離さずにモデルが作成できる。光造形用のデータには造形物を支える支柱が必要となるので、図6に示したような6本の支柱とその土台をスタンプに取り付けたデータを作成した。

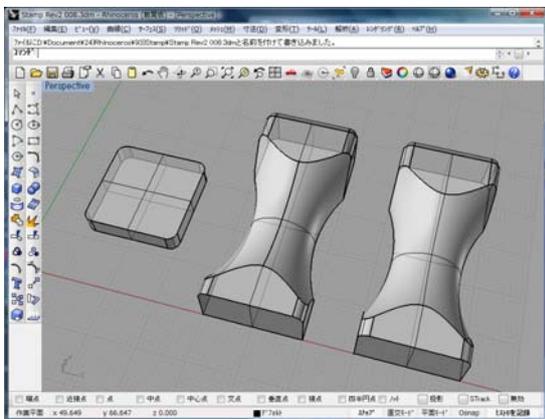


図 3. 片面加工用データ

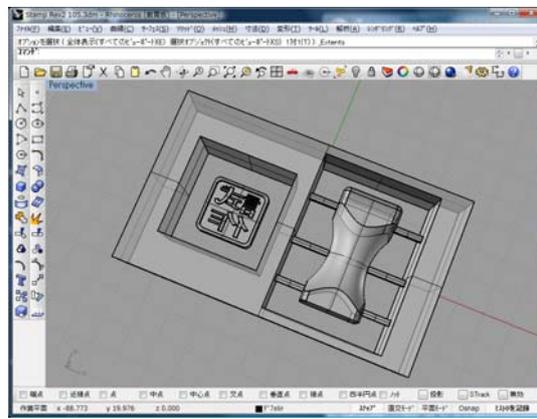


図 4. 両面加工用データ

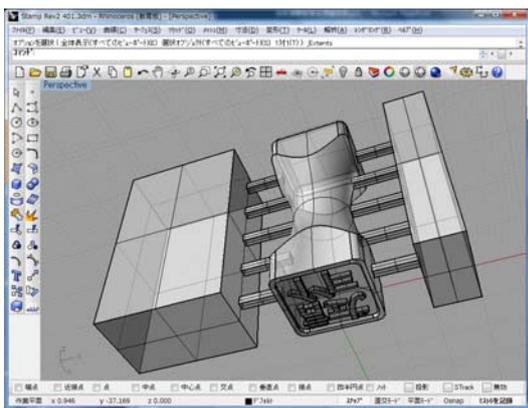


図 5. 回転軸ユニット用データ

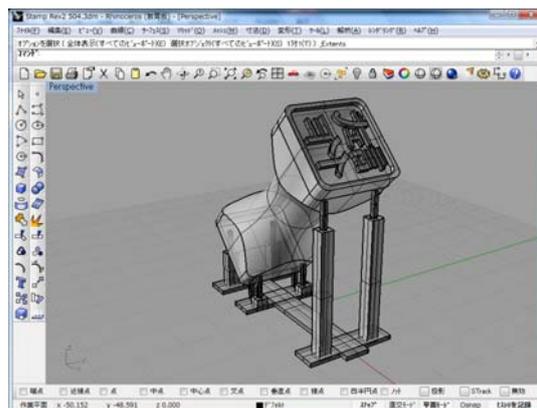


図 6. 光造形用データ

#### 4. 3次元加工機による造形

##### 4.1 3次元加工機について

3次元加工機は、ローランド社製のMODELA MDX-40を使用した。このMDX-40は本体が縦76cm、横67cm、高さ55cmの卓上サイズの大きさであり、手のひらサイズのモデル製作に適している[1]。製作に使う材料は加工機内部にあるテーブルの上に固定され、ドリルの刃は材料に対して上から垂直に入ってくることで切削加工を行う。図8は3次元加工機での切削加工の流れを表している。切削加工は片面加工、両面加工、回転軸ユニットを使った加工といった加工方法が異なっても、面だし、荒削り、仕上げと呼ばれる大きく3つの工程に分けることができる。面だしは加工前に材料の表面が作業テーブルに水平となるように表面を均一に削る準備作業であり、荒削りとは材料のうちモデル以外の不要な部分を時間をかけずに削り取る作業、仕上げとは荒削りで削り残した部分を丁寧に



図 7. ローランド製 MODELA MDX-40

削り取り，モデルの形状を正確に切削する作業をいう。



図 8. 3次元加工機での加工の流れ

#### 4.2 CAM ソフトによるデータ処理

RhinoCeros により作成された 3次元加工機用の CAD データを MDX40 に付属している CAM (Computer Aided Manufacturing) ソフトを使ってデータ処理を行った。この作業によりツールパスと呼ばれる実際に材料を切削する工程におけるドリルの刃の動きが作成され，さらにドリルの指定，材料の材質の指定などを行うことによって，最適なドリルの回転数，ドリルの移動速度などが計算される。図 8 に CAM ソフトで作成されたツールパスの例を示す。モデルの側面を沿うように描かれている青色の線がツールパスである。この CAM ソフトを使ったデータ処理は，面だし，荒削り，仕上げの各工程に対してそれぞれおこなう必要がある。

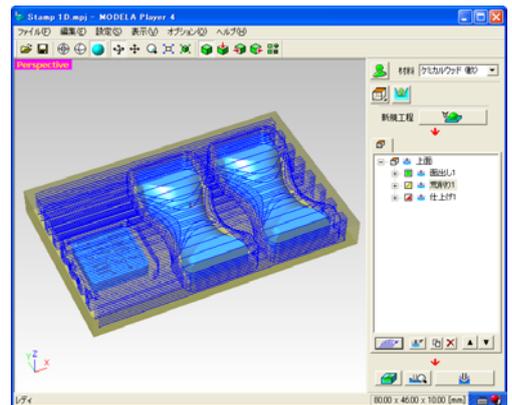


図 9. CAM で作成されたツールパス

#### 4.3 面だし

3次元加工機は，必ずしも水平な面に設置されているわけではなく，また材料の加工面についても水平に切り出されているとは限らないので，加工前に材料の表面を削り均一な面を作り出す面だしと呼ばれる作業を行う必要がある。

テーブルと材料の間には捨て板と呼ばれるテーブルの保護に利用する板を取り付けるので，面だしは捨て板と材料の両方に対して行う。

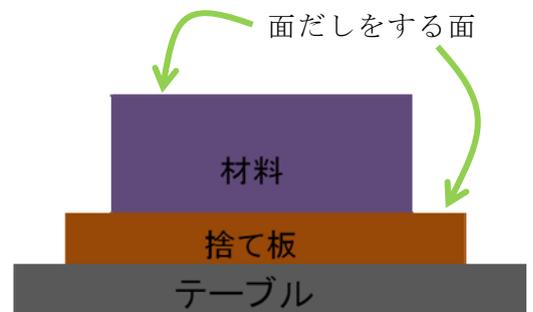


図 10. 面だしが必要な面について

#### 4.4 荒削り

荒削りとはモデルを切りだす材料のうち不用品部分を短時間で削り取る作業である。3次元加工機でのモデル製作は，完成までにかかる時間の大部分が実際に切削する時間に費やされる。そのため，完成までの時間を短縮するにはこの荒削りにかかる時間を減らす必要がある。また，荒削りは文字通り荒く削り取るので図 11 のように材料の表面は刃物の通り道であるツールパスが確認できる状態となっている[2]。

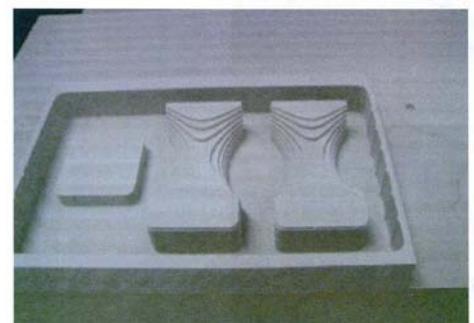


図 11. 荒削り後の材料 (片面加工)

#### 4.4 仕上げ

荒削りが終わった材料は、最後に仕上げと呼ばれる工程を行う。仕上げは荒削りで削り残した部分を正確にモデルの形状に合わせて削り取る作業である。今回のスタンプでは R1.5 のボールエンドミルを使用して仕上げ加工を行ったので、片面加工の場合はどうしても最下部分に削り残しが発生することになる。このためストレートエンドミルを使って再度の仕上げ加工を行い削り残し部分を削除した。

#### 4.5 片面加工

3次元加工機に取り付けられているドリルは、テーブルに固定された材料に対して常に垂直方向に移動して切削をおこなう。このため立体的なモデルを製作する場合はモデルを分割するなどして、片面からの切削で全体の形状が完成できるように工夫するか、もしくは次に説明する両面加工や回転軸ユニットを利用した加工方法を選択する必要がある。

片面加工における仕上げ加工終了後の状態を図 12 に示す。モデルは印字面と 2 分割された胴体に分かれており、印字面が上向きになるように配置されている。



図 12. 片面加工の完成図

#### 4.5 両面加工

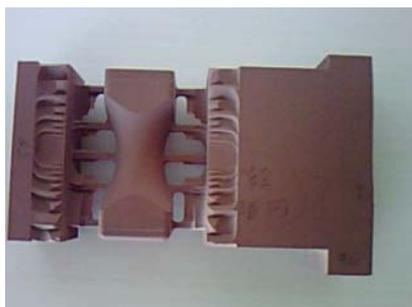
両面加工は加工の途中に材料をひっくり返すことにより、ドリルの刃が材料の両面から入ることを可能にする。このため片面加工でおこなった胴体を 2 分割する必要がなくなる。両面加工でのモデルを図 13 に示す。材料から削りだされたモデルは印字面と胴体のみで構成されている。胴体は 6 本の支柱で材料の余りからなる外枠と固定されているので、スタンプの組み立て時に支柱から切り離す必要がある。



図 13. 両面加工の完成図

#### 4.6 回転軸ユニットを利用した加工

MDX-40 は回転軸ユニットを取り付けることで材料を回転させながらの切削加工が可能となる。回転軸ユニットは材料を固定して回転する部分と芯押台からなり、作業テーブルに取り付けて使用する。この回転軸ユニットを利用することで図 14 のような印字面と胴体が一体となったスタンプを削りだすことが可能となる。



(a) 上面の状態



(b) 横面の状態

図 14. 回転軸ユニットを使用したモデルの完成図

## 5. 光造形機による造形

### 5.1 光造形機について

光造形とは光の照射により硬化する特殊な樹脂を利用して造形物を製作することである。今回の研修では、図 15 に示すスリーエス製 PRM201 を使用してスタンプを製作した。PRM201 はアクリル系の樹脂に可視光を照射することでモデルを造形していく。可視光を利用しているので経過を確認しながら造形できるという利点がある[3]。モデルのサイズは、縦 14cm、横 10cm、高さ 20cm の大きさまでが造形可能である。

光造形では、まず製作するモデルを輪切りにした断面データを作成し、次に図 16 のように断面データに従って造形物の高さ方向に順番に樹脂を硬化させながら造形物を製作する。この際、造形版が断面の幅だけ上昇していき、造形物は断面データの幅ずつ積層されながら形作られることになる。



図 15. PRM201

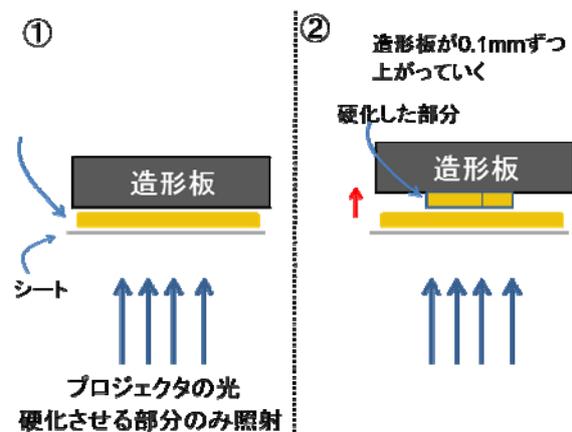
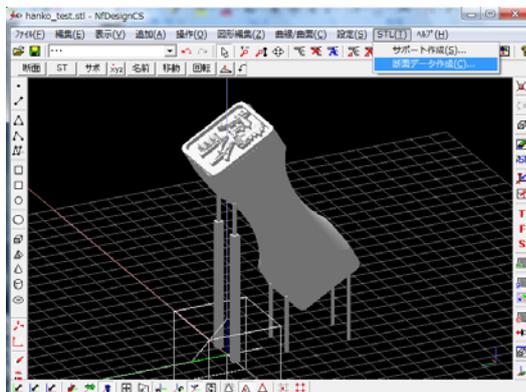


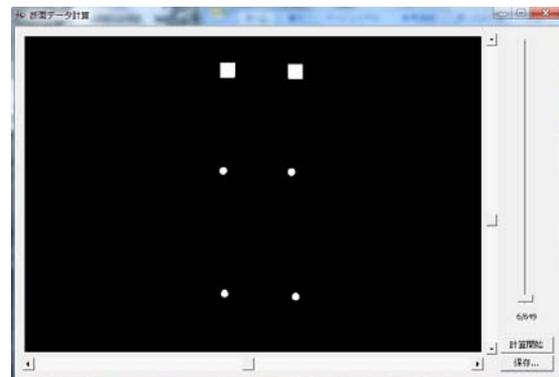
図 16. 光造形での造形方法

### 5.2 データ処理

断面データは PRM201 に付属の NfdesignCS を利用して作成することができる。研修では断面のピッチ幅を 0.1mm として、RhinoCeros で作成した光造形用データを基に断面データを作成した。断面データは 0.1mm ピッチあたり 1 枚のビットマップ形式の画像ファイルになり、今回製作するスタンプの場合は高さが 5cm であるので約 500 枚のビットマップファイルが出来上がることになる。また、断面データは PRM201 に付属の ModelViewer を使用すると断面データがアニメーションで表示され不具合の確認が容易になる。



(a) NfdesignCS 上のモデル



(b) 作成された断面データの例

図 17.断面データ作成

### 5.3 光造形でのスタンプ製作

出来上がった断面データを光造形機に取り込むと、完成までにかかる時間、必要な樹脂の量が計算される。樹脂を注入し造形板を設置すると造形が開始される。造形中は、造形板上の樹脂の様子や造形板からモデルがはく離していないか等に注意した。完成したモデルは表面にぬめりがあるのでアルコールでふき取った。完成直後はまだ完全に樹脂が硬化していないので、日光に当てて硬化させる必要がある。

### 6. 3次元加工機と光造形機で造られたモデルの比較

光造形機で製作されたスタンプを図 18 に示す。光造形では液体の樹脂を硬化させてモデルを製作するので、若干エッジ（角）がなまってしまうように思われる。特に印字面でその傾向が顕著であるので、印字面には紙やすりをかけて角を出すようにした。それに比べ、MDX-40 で製作されたモデルは、印字面もくっきりとした形状であり全体的に美しく仕上がっている。

次に、完成までに必要な時間を比較する。光造形機では 40 分程度でスタンプが完成するが、MDX-40 では、荒削り、仕上げにそれぞれ約 30～40 分程度かかり、その上、面だしの時間も必要となる。そのため、光造形機のほうが MDX-40 に比べ短時間にモデルを製作することができる。完成したモデルの出来栄を重視するなら時間はかかるが MDX-40 を使用し、試作物をつかって全体的な雰囲気を確認したい場合は、短時間でモデルが製作できる光造形機を利用するなど用途に分けて使い分けが可能である（図 19）。



図 18.光造形で製作されたスタンプ

#### 3次元加工機 MDX-40

(長所) 出来上がりは美しい

(短所) 時間かかる

#### 光造形機 PRM201

(長所) 短時間で製作できる

(短所) MDX-40 に比べるとエッジがなまる傾向がある

図 19. 完成したモデルの比較

### 7. まとめ

技術部の研修としてスタンプを製作し、CADデータの作成から実際の製作までを体験した。3次元加工機 MDX-40 と光造形機 PRM201 という異なった方法でモデルを製作することで、それらの特徴を理解し用途に応じた使い分けができることを学習した。この研修で得た経験を今後の実習に役立てるよう努めていきたいと考える。



研修の様子

### 参考文献

- [1] ローランド MODELA MDX-40 ものづくりガイド VOL.1
- [2] ローランド 3Dプロッタ MODELA MDX-40 研修テキスト
- [3] スリーエスホームページ <http://3esu.com/prm/product.htm>