

画像工学分野の学生実験における3Dプリンターの活用

久米 祐一郎*¹ 東 吉彦*²

Utilization of 3D Printers for Undergraduate Image Technology Laboratory

Yuichiro Kume*¹ Yoshihiko Azuma*²

3D printers as a novel printing technology has been introduced for undergraduate image technology laboratory. Although 3D printers are innovative tools to produce real objects from digital data, these require much time to produce real models and are still under development from various viewpoints. We designed laboratory class for undergraduate students to learn 3D printers. In this paper, we describe the findings about 3D printer educational applications and students' responses. Students are impressed with the new printing technologies, and understand the principles and the advantages/disadvantages.

1. はじめに

最近、3Dプリンターが新しい製造技術として脚光を浴びている。3次元データから直接物体を製作できるため、工学分野のみならず、社会科学、医学、芸術等の多くの分野において応用開拓がなされている。また単品で高品質の物を製作できるため、少量生産の製造技術として注目され、個人の利用も可能となりつつある。

東京工芸大学工学部メディア画像学科（以下本学科）は写真工学科と印刷工学科を源として発展した学科であり、現在でも写真、印刷が発展した画像工学に基づく理念により教育研究を展開している。この背景から本学科では3Dプリンターを革新的な印刷技術の一つとして捉えており、教育研究における導入を2014年度より検討し、2016年度から3年次の学生実験科目中の1つのテーマとして実施するに至った。

本稿では、本学科における3Dプリンターを活用した学生実験の取り組みと、実際に授業を行った経験から得られた知見について報告する。

2. 3Dプリンターの発展

3Dプリンターは決して新しい技術ではない。また1つの方式ではなく、3次元の物体をデータから直接製作する技術の総称である。1980年に名古屋市工業研究所の小玉秀男氏によって発明された光造形法が最初と言われている¹⁻²⁾。残念ながら、この特許は審査請求されなかったため、成立しなかった。

1987年になり3Dプリンター製造企業が米国で設立され、90年頃には企業の研究開発部門への導入が始まった。この当時はレーザー光により紫外線硬化樹脂で造形する光造形法が主流であり、装置自体が非常に高価であったため、導入できる企業は限られていた。用途としては設計の形状

や機能の確認等の試作技術として当時は考えられており、ラピッドプロトタイピング（高速試作技術）と言われていた。またこの頃、粉末焼結造形法(SLS法)、熱溶解積層法(FDM法)やシート積層法等、様々な造形方法が開発された。2010年前後に主要な造形方法の基本特許の権利期間が満了し、多くの企業が参入した。また個人向けの安価な製品も商品化されるようになった。

さらに3Dプリンターの研究開発や普及が急激に進行したきっかけの1つは、2013年2月12日の米国オバマ大統領の一般教書演説の中で3Dプリンターがモノづくりの革新的な技術と述べられたことである³⁾。

このような背景から最近多くの研究や応用開発やビジネス化が進行している。

3. 3Dプリンターの教育への応用動向

3Dプリンターの教育分野における応用開拓も活発に行われている。高等教育機関において応用の実績や検討中の活動としては以下のようなものがある。

教材製作：単品あるいは少数の複雑で立体的な教材の製作に3Dプリンターが用いられている。具体的には分子構造模型、地形図、美術品の複製が提案されている。3Dプリンターに適した教育応用といえよう⁴⁾。

デザイン系：3D-CADや3D-CGのソフトウェアを用いて制作したデータを3Dプリンターで出力する。複雑な形状を実際の立体物として製作することは比較的容易である⁵⁾。

機械工学系：機械工学系の学科では図学、製図、設計製図、2Dおよび3D-CADについて系統的に教育を展開している。その中で3Dプリンターは3Dデータの出力装置として捉えられている他、新しい付加工法としても理解されている⁶⁾。

これらの実績をみると教員の利用、時間に余裕がある研

*1 東京工芸大学工学部メディア画像学科 教授 *2 東京工芸大学工学部メディア画像学科 准教授
2017年3月27日 受理

究や実習における活用がほとんどであり、時間が限られた通常の授業内における 3D プリンターの活用例は少ない。

4. 3D プリンターの学生実験への導入

4.1 学科における 3D プリンターの位置付け

前述したように、本学科は大学創設時の写真工学科と印刷工学科が源であり、技術の進展とともに新しい画像工学の教育研究を行う学科として発展してきた。そのため 3D プリンターを、3D 画像データを出力するための印刷技術の一つとして捉えている。

教育すべき事柄が多く時間割の制約が大きい中で、造形時間が長い 3D プリンターをどのように教育に取り込むかが問題であった。議論の結果として、3 年次に配当された学生実験の中の 1 つのテーマとして教授することとした。達成目標としては 1) 3 次元物体を 3D-CAD を用いてモデリングできること、2) 3 次元データから実物を直接製作する 3D プリンターの技術を理解すること、3) 物を製作する場合の指示、すなわち製作図の書き方を理解することとし、1 日 90 分授業 2 コマを 2 週間にわたって 2 回、計 4 コマの授業とした。

かつて工学部では全学生が図学や製図の基礎を学ぶことが多かったが、最近の一部の学科以外はそれらの科目が廃止されている場合が多い。しかし技術職として社会へ出れば技術資料の理解や、部品等の受発注において基礎的な製図の知識は必須である。そのため 3D プリンターと同時に、製図の基礎を理解することも目標とした。

4.2 学生の基礎知識

3D プリンターは画像工学において発展的な応用技術の一つであるため、3 年次配当の学生実験の一つのテーマとして設定した。

本学科の 2 年次までの教育では画像工学の基礎的な講義や実験・演習を行っている。3D プリンターと関連して学生は 3D-CG ソフトウェアを用いる制作については、基礎理論や技能は習得している。しかしながら、図学や製図関係の科目は全く開講されていない。そのため学生の基礎知識や技能は、工業系高校出身者以外は中学校の技術・家庭科の水準に留まっている。

4.3 装置の選定

3D プリンターの造形方法には様々なものがあり、造形物の材料、大きさや精度、装置を設置する場所の環境等の条件により選択する必要がある。本学科の場合、学生にいろいろな造形方式を理解させること、学生自身で操作ができること、コンピュータを設置した実習室で使用するため周囲を汚さないことが条件であった。そのためシート積層方式の 3D プリンターとして Mcor Technologies 社の IRIS HD を 1 台、熱溶解積層(FDM)方式のものとして 3D Systems 社の Cube を 15 台導入した。なお実験の授業は 1 つのテーマを行うグループは最大 12 名としている。

IRIS HD は PPC 用紙の物体断面の表面に相当する部分

を、x-y ロボット機構で動作するカッターナイフで切断して、それを糊で積層して立体物を造形するものである。インクジェットプリンターで断面に印刷して、着色された物体を造形することもできる。図 1(a)にその外観、(b)に紙を積層してナイフで切断する部分を示す。この方式は紙を 1 枚ずつ糊付、積層、切断を繰り返すため、造形に他の方式より時間を要する。



(a) (b)

図 1 シート積層方式の 3D プリンター
(Mcor Technologies 社の IRIS HD)
(a) 本体の外観、(b)カッティングヘッド

FDM 方式の 3D プリンターは現在市場では多くの機種が商品化されており、精度が高い高級機種と、個人でも購入可能な廉価なものに分化している。本取り組みでは学生自身に各自操作させることが前提条件であり学生数分が必要なため、安価な個人向け製品である 3D Systems 社の Cube を採用した。図 2 に Cube の外観を示すが、走査部分は開放型であり、造形ピッチは 0.25mm、ABS または PLA (ポリ乳酸) のフィラメントを使用できる。



図 2 FDM 方式の 3D プリンター
(3D Systems 社製の Cube)

4.4 授業の設計

3D プリンターは造形に時間を要するため、授業は 1 日に 90 分を 2 コマ、2 週で行うこととした。各授業内容を表 1 に示す。

1 日目に図 3 に示す木製の物体(40×40×80mm)を各学生に与えて、「それを複製するために必要な情報、寸法や形状を紙に書き出す」ことをさせる。計測器具として鋼尺とノギスを与え、その使用方法も説明する。

製図経験がある学生は製作図を作成しても良いし、経験が無い者は自己流で良いが、他人が見てその物体と同じ形状の物体を複製できる情報を含むことを条件とした。

表1 授業計画

| 時間 | 授業内容 |
|--------------|---|
| 1週目 90分×2 | <ul style="list-style-type: none"> 物体を計測し製作図を作成する 製作図から3D CADでモデリングし、形状データを作成する FDM方式の3Dプリンターで造形する |
| 1～2週の間 | シート積層方式の3Dプリンターで造形する |
| 2週目 90分×2 | <ul style="list-style-type: none"> 実物体、FDM方式、シート積層方式による物体について形状や寸法を計測して比較する 物体のキャビネット図、第三角法による正投影図を描く |

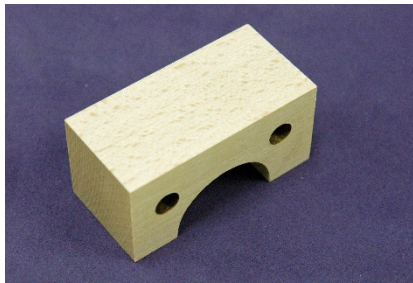


図3 授業に使った物体

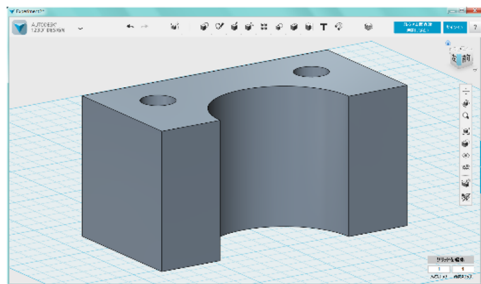


図4 3D-CADによるモデリングの画面

作成した情報を基にして、PCで3D物体をモデリングする。様々な3D-CADソフトウェアが市販されているが、今回の授業では限られた時間内でも初心者がモデリングできるような最低限の必要機能を有して操作が容易であること、多くの参考書が市販されていること、興味ある学生は自宅PCにもインストールできることから、フリーウェアであるAutoDesk社の123D Designを用いた。

図4に物体をモデリングしたCADの画面を示す。モデリング終了後、データをSTL形式へ、さらに3Dプリンターの印刷形式のファイルへ変換する。その後、Cubeの可動ステージに溶融したフィラメントを固着させるため接着剤を塗布し、データをロードして造形を開始する。造形には造形物の変形が小さいPLAを使用した。10分程度、正常に造形動作していることを確認した後、この日の授業は終了する。装置は自動的に停止するので、そのまま放置する。図5に実験室で学生がCubeを操作する様子を示す。

翌週の授業までに担当教員が学生の作成提出したSTLファイルを使って、IRIS HDで造形する。IRIS HDは造形に時間がかかるため、A4のPPC用紙を積層する1つのバッチで、学生が制作した物体を多く造形するようにしたが、6物体で約30時間を要した。本来ならば学生を教育して操作させたいところであるが、装置の操作にかなりのノウハウや習熟が必要な上、1バッチの動作に24時間以上を要するため難しい。そのため教員が学生の作成したデータを使用して、1週間で造形することとした。

2日目は完成したFDM法とシート積層法による物体の観察と製図を行う。学生には両方式の完成物体の外観を観察させるとともに、ノギスと鋼尺を用いて採寸させて比較・考察させる。寸法の誤差の他、反りによる平面度や材料の糸引き、造形ピッチによる表面の形状等、気が付いたことを記録させる。それによって3Dプリンターの精度等の特性や限界を理解させる。図6に最初に与えた木製の物体、FDM法で造形したもの、シート積層法によるものを示す。

その後、採寸した情報を使って、JISに基づいたキャビネット図、第三角法による正投影図を説明しながら、物体を描かせる。これによりモノ作りにおける共通言語としての製図の必要性と重要性を理解させる。

キャビネット図、第三角法による正投影図は中学校の技術家庭科にも含まれているが、時間も経過していることから本学科の教育としても良いと思われる。



図5 3Dプリンターを操作する学生の様子

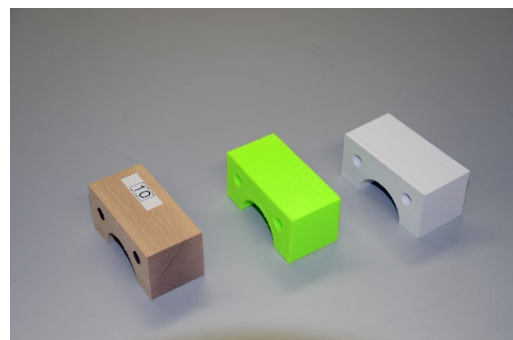


図6 実験で使用した物体。左から木製、FDM法によりPLAで造形、シート積層法により紙で造形

5. 結果

この学生実験のテーマは 2016 年度から開始したため、履修した学生のこれによって育まれた能力の評価には時間が必要である。しかし体験した感想にはこの授業の効果と、これからの授業改善のヒントが多くあると考えている。また準備から初年度の授業を行なった教員の体験も重要と考える。以下にそれらを述べる。

5.1 履修した学生の感想

以下に学生から提出された実験報告書に記載された感想を列挙する。

- ・ 立体物を造形することは難しく大変だが、3D プリンターでは簡単にでき、色々な可能性を感じた。
 - ・ 自分が作ったデータで物ができていることに感動した。
 - ・ 大きさにもよるが製作に予想以上に時間を費やしたと感じた。3D プリンターはまだ十分に発展していないと感じた。
 - ・ 3D プリンターには手作業の部分があり、それが上手くできないと上手く物ができない。
 - ・ 他の方式の 3D プリンターも体験したい。
 - ・ フィラメントが造形中に折れてやり直したのは残念であった。
 - ・ 造形に失敗する確率が高いと思った。
 - ・ 同じ型の 3D プリンターでも樹脂の出方などに個体差があると思った。機械の調子に左右される。
 - ・ まだそれほどお手軽なものではないと感じた。発展途上の未熟な技術であり人の手がかかり必要と感じた。
 - ・ 製図は難しいが、必要なものであり良い体験になった。
- 初めて 3D プリンターを操作したこと、自分が作ったデータから直接立体物を造形できることに感動する一方、機械の調整や操作に人手が必要であること、また機械に個体差があり、未完成で発展途上技術であることも的確に指摘しており、これも教育の成果と言える。

5.2 教員として得られた知見

準備から初年度の授業を通して得られた知見は以下の通りである。

3D プリンターは社会で話題になっているものの、初年度の授業において、実物を見た経験がある学生はいなかった。初めて装置を操作して、自分が作ったデータから立体物造形を体験して感動したことは、新しい技術を体験した成果の一つと考える。

3D プリンターによる造形は時間を要する。今回使用した物体では、FDM 法で約 4 時間、シート積層法では約 30 時間が必要であった。これは限られた時間で行う授業の運営にとって障害となってしまった。今回は 2 週間に渡って授業を行っているが、その間の作業は教員がせざるをえない。学生自身の手で全てを行いたい、決められた日時に行う授業時間の制約から難しい。

機械の調整、授業の準備に手間がかかる。3D プリンターはスイッチを入れれば直ちに使用できるものではなく、

IRIS HD ではナイフの交換や調整が必要な他に、学生が作成したデータの収集統合、さらに造形のバッチ処理等の作業に手間がかかる。Cube では授業前にフィラメントの供給やノズルの動作確認と、必要に応じてノズルの清掃等が必要な場合がある。

FDM 法の 3D プリンターでは PLA フィラメントが劣化する。フィラメントを密閉した包装を開封すると、その特性上から時間とともに PLA は劣化して脆くなるため、造形中にフィラメントが折れることがあった。その場合はステージの清掃、糊の再塗布をして造形を最初からやり直すことになる。これは時間的に予想し難いので、授業の進行上では妨げになってしまう。PLA と比較して劣化しにくい ABS フィラメントも使用可能であるが、造形時の反りが問題になるため、授業における使用は難しい。

6. おわりに

本学科の学生実験における 3D プリンターの導入における授業の設計と初年度の経験について報告した。当初の目的通り学生は新しい印刷技術の一つとして認識理解し、実際の体験に感動しており一応は成功といえる。

しかしながら 3D プリンター固有の性質でもある造形に時間がかかることが限られた授業時間内で行わなければならない学生実験の妨げとなっている。また装置の調整に手間がかかること等、学生実験で使用する通常の装置と比較して、ノウハウと時間が必要であることは授業を運営する教員にとって負担となっている。

3D プリンターは未熟な技術ではあるものの新しいモノ作りの装置として、これからの発展が大いに期待されている。教育においては学生が技術を正しく理解して、それを使えるよう継続して検討して改善を図っていきたい。

参考文献

- 1) 特開昭 56-144478 号公報。
- 2) 小玉秀男：3 次元情報の表示法としての立体形状自動作成法、電子通信学会論文誌、J64-C 巻、11 号、pp.237-241、1981。
- 3) <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2013/02/12/remarks-president-state-union-address>
- 4) 澤村貴雄、曾我聡起：3D データ・3D プリンタの教育利用の可能性について、2014 PC カンファレンス論文集、pp.48-51、2014。
- 5) 古賀崇朗、米満潔、永溪晃二、田代雅美、中村隆敏、角和弘、穂屋下茂：3DCG と 3D プリンタを活用した教育の実践的研究、佐賀大学全学教育機構紀要、3 号、pp.155-166、2015。
- 6) 竹澤聡、高谷宜世、高島昭彦、長松昌男、中村香恵子、白濱芳朗：大学教育における 3D プリンターの教材利用に関する現状と課題、工学教育、62 巻、4 号、pp.45-51、2014。
- 7) 中学校学習指導要領解説 技術・家庭偏、文部科学省、平成 20 年 7 月。