

# 建築デザイン教育における 3D プリンター活用の実践

## Practical Application of 3D Printers in Education of Architectural Design

渡辺 宏二<sup>1</sup>

Koji Watanabe<sup>2</sup>

### 要 旨

熱溶解積層法型 3D プリンターは近年、ホームユース・ホビーユース向け低価格製品が出回る様になり普及してきている。筆者は身近になったこの 3D プリンターを利用した教材製作を試み、授業の中で実践的に活用している。建築構造力学分野では質点系振動モデルや門型ラーメン変形モデルの教材を製作し、構造現象を触覚で感じさせることで理論の理解を深めるよう誘導している。また、建築設計分野では建築模型製作に利用し空間造形性の理解に繋げている。

**キーワード：** 建築デザイン教育, 3D プリンター, 教材開発

**Keywords:** Education of Architectural Design, 3D Printer, Development of Teaching Materials

### 1. はじめに

筆者が所属する国際文化学部デザイン文化学科では学科の設立時に導入した Z コーポレーション社製(現 3D Systems Corporation)の粉末積層造形法 3D プリンター「ZPrinter650」が存在したが、これは石膏系素材を接着剤で硬化させるもので素材の弾性変形が期待できないものであった。一方、熱溶解積層法 3D プリンターは 2009 年に特許が失効し、オープンソース化プロジェクトの成果もあって、近年、低価格製品が出回る様になり普及してきている。

建築分野においては、コンクリート系材料と 3D プリンターの機構を応用した装置を用い実建築物の建設も試みられている[浅野 2016]他、建築デザイン教育の分野では 3D プリンターを用いた建築模型作成と手作業による模型との差異などについて知見がまとめられている[勝野ら 2013; 江本ら 2015]。また、本稿に関連した活動については全体として参考文献に上げられたものが有用である。

筆者は、弾性変形が十分に見込める合成樹脂材料素材を扱え、機器コスト・ランニングコスト共に安価なホビーユース向けの熱溶解積層法 3D プリンターを研究室に導入し、この 3D プリンターを利用して教材製作を試み、授業の中で実践的に活用している。しかしながら 3D

<sup>1</sup> 東海大学国際文化学部デザイン文化学科, 005-8601 札幌市南区南沢 5 条 1 丁目 1-1 ; E-mail: watanabe(a)tokai-u.jp

<sup>2</sup> Department of Design and Culture, School of International Cultural Relations, Sapporo Campus, Tokai University, 5-1-1-1 Minamisawa, Minami-ku, Sapporo 005-8601, Japan; E-mail: watanabe(a)tokai-u.jp

プリンターは材料、機材設定、対象物の形状特性によって造形不良が生じやすく、必ずしも安定して運用できるものではない。本著では、3D プリンターの導入の過程、造形過程で発生する問題点を整理し、3D プリンターの技術的な問題の他、製作した教材を授業でどのように利用し、効果を上げているかについて述べる。

## 2. 3D プリンターについて

3D プリンターはコンピュータモデルデータを造形・出力する機器の総称である。一般的な機器には、紫外線の照射によって硬化する樹脂を用いた光造形法、素材粉末を層状に敷き詰めレーザービームにより直接焼結したりインクジェット方式でバインダを添加して固める粉末積層造形法、熱可塑性樹脂製のフィラメントを高温で溶かし積層する熱溶解積層法(Fused Deposition Modeling, 以下 FDM 法と称す)がある。

1980 年代に開発され実用化され当時は高価な機器であったが、FDM 法の特許が 2009 年に失効するにあたり、3D プリンターの大部分の部品を 3D プリンターによって製作するオープンソース化プロジェクト「Rep Rap Project」等を経て、近年、FDM 法による安価な機器が登場するに至った。

3D プリンターは主に製品開発における試作手法として、高速に造形試作を行うラピッドプロトタイピングに用いられてきたが、近年では実用品を直接製造するダイレクトデジタルマニュファクチャリングにも用いられるようになってきている。

### 2.1 3D プリンターの導入について

筆者は 2014 年に XYZ プリンティングジャパン社製から発売された ABS 樹脂素材を使用できる「Da Vinci 1.0」を導入、翌 2015 年にこの「Da Vinci 1.0」の樹脂溶融ヘッド(エクストルーダー)交換サービスにより ABS 樹脂の他に PLA 樹脂にも対応できるように改造。更に 2016 年には同社から発売された PLA 樹脂専用機の「Da Vinci Jr. 1.0」を導入した。「Da Vinci 1.0」,「Da Vinci Jr. 1.0」両機の仕様を表 2.1 にまとめる。

**表 2.1 「Da Vinci 1.0」,「Da Vinci Jr.1.0」両機の仕様**

	Da Vinci 1.0 (改)	Da Vinci Jr.1.0
フィラメント素材	ABS / PLA	PLA
最大造形範囲	20cmx20cmx20cm	15cmx15cmx15cm
プラットフォーム可動	高さ方向	奥行方向
キャリブレーション	手動	自動
積層ピッチ	0.1~0.4 mm	



図 2.1 DaVinci Jr.1.0 外観



図 2.2 DaVinci Jr.1.0 内部名称  
樹脂溶融ヘッド<sup>3</sup>  
プラットフォーム<sup>4</sup>

## 2.2 造形出力過程

出力の過程をまとめる。

- (1) 既に存在する造形物等を 3D スキャナーによって立体データとして読み取る，または，3D-CAD/CG ソフトウェアによって立体モデルをモデリングし，立体モデルデータ化する。
- (2) 前述の立体モデルデータを 3D プリンター向けのモデルデータフォーマット(主に STL 形式)に変換する。
- (3) (2) のデータを一般に「スライサー」と呼ばれるソフトウェアで 3D プリンター用の制御コードに変換する。
- (4) (3) のデータを 3D プリンターに転送し出力する。

当研究室の作業環境では(1)–(2)の過程を汎用 CAD ソフトウェア「Vectorworks」，(3)–(4)の過程を 3D プリンター同梱のソフトウェア「XYZ-Ware」で作業した。「XYZ-Ware」ではモデルの製作位置や縮尺，ヘッドの移動速度，内部密度，シェル<sup>5</sup>の厚み，サポート材<sup>6</sup>・ラフト材<sup>7</sup>の有無などを設定できる。

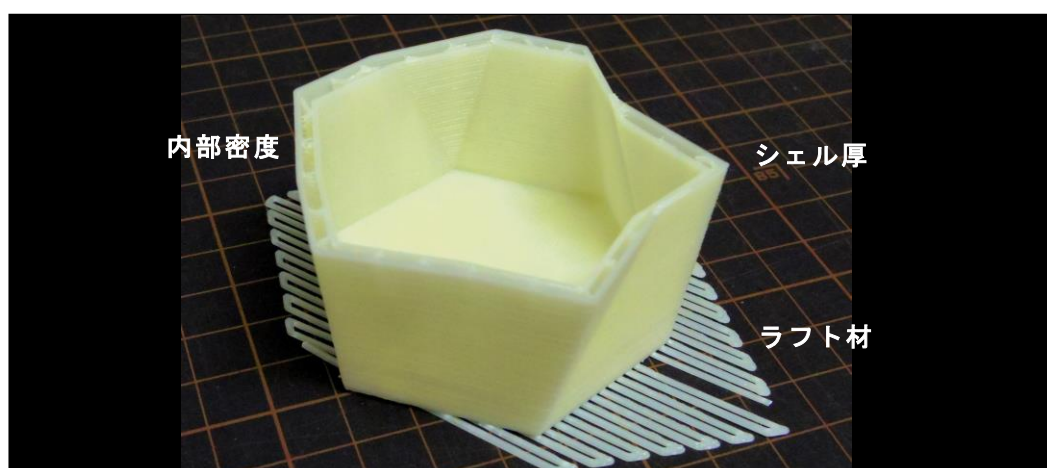


図 2.3 造形物部分名称

## 2.3 造形出力過程での問題点

「Da Vinci 1.0」では材料としてABS樹脂とPLA樹脂の選択が可能である。ABS樹脂には比較的柔らかい材質であること、直接塗装が可能なことなどの利点もあるが、温度収縮が大きく、細く薄いものを高く積層すると、成型直後から積層面の剥がれ(割れ)が生じやすい。

プラットフォームへの材料定着度が低いと、成型途中に材料温度の変化から反りを生じたり、部材のズレが生じたりして途中から積層形成不良が生じる。プラットフォームへの材料定着度を上げる方法としてラフト材の形成の他、建築用幅広マスキングテープなどによるプラットフォームテープを貼り付ける、スティックのりを塗布する方法がある。現在、メンテナンスのし易さからスティックのりを使用しているが、その種類選定には10本程の試用を繰り返しトンボ鉛筆社製「シワなしピット」に落ち着いている。

「Da Vinci 1.0」ではプラットフォームの平行度とヘッドからの距離を一定に保つキャリブレーションが必要である。キャリブレーションが許容範囲にないと整形不良の元になったり、ヘッドの目詰まりなどが生じやすくなる。「Da Vinci Jr. 1.0」ではキャリブレーションが自動で行われる。

部材強度を必要とする場合には内部密度を高くし、シェルの厚みも太く設定する。この設定は材料である樹脂フィラメントの使用量と成型時間に大きく影響するため、成型するモデルの使用目的にも考慮し適切な値を選択する必要がある。また成型される部材は最低断面として2mm～3mmにモデリングする必要がある、この断面に満たないとプラットフォームからの脱型時に破壊したり、成型後の材料収縮により破壊しやすくなる。



図 2.4 積層形成不良

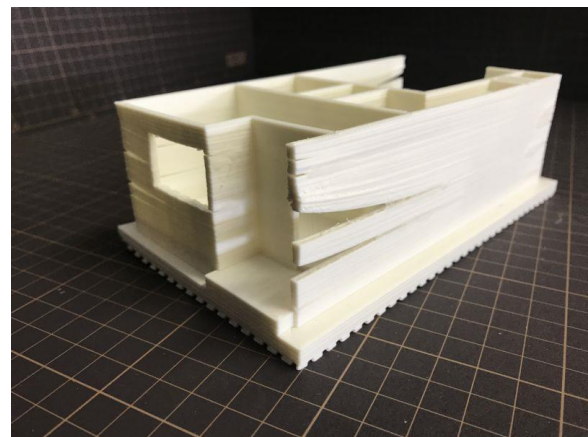


図 2.5 ABS樹脂の積層面の剥がれ

## 3. 教材製作と授業利用

前述の機器環境を主に建築構造系授業用の教材の製作、ならびに、建築・インテリアの空間デザイン系授業での建築模型製作指導に使用している。

### 3.1 構造力学授業における教材製作について

MFD法 3Dプリンターの合成樹脂素材が持つ弾性変形<sup>8</sup>性能を利用して、建築構造系授業「構造のかたちと力2」の教材を製作している。

一つは一質点系自由振動モデル<sup>9</sup>で、台の上のバネとなる板部分とその上の質点となる塊部



分から成る。タイプは2つあり, Type. A はバネ板が短く相対的に剛いバネで質点が小さく軽い, バネ板が長く相対的に柔らかいバネで質点が小さく軽い, 柔らかいバネで質点が大きく重たい 3 つの一質点系が一つの台に固定されたもの。Type. B は Type. A の柔らかいバネで質点が大きく重たい質点系が台に固定されたものである。Type. A は台を左右に揺らす周期の違いにより, 振動しやすい質点が異なる「固有振動」の説明に使用している。また, 同じ机上に2つのタイプのモデルを置いて, Type. B の質点に強制変位を与え自由振動させると, Type. A 中の一つだけに「共振現象」が生じる説明に使用している。どちらも基礎的な物理現象であるが, 当該授業が行われているデザイン文化学科は文系学部にあり, 授業履修学生の多くは高校物理を得意としない学生が多い。そうした学生にとっては数式や解説だけでなく実際の現象を目にすることが理解を深めることに寄与していると考ええる。

もう一つは静定・不静定<sup>10</sup>の門型フレームモデルで, 静定フレームの変形と静定フレームと不静定フレームの剛性の違いの観察を目的とした初期型と, 不静定フレームの曲げ変形の観察を目的とした改良型がある。初期型は 3mm×12mm の弱軸断面を持つ梁柱で構成し, 柱と梁の接合は剛接合, 柱脚部分は剛接合, ピン接合, ローラー接合のパターンがある。剛接合部分は剛性を高めるためのハンチを設け, ピン接合部分は2面せん断形状で 3mm 径の M3 ステンレスボルトで構成した。授業では無荷重状態の外形をペンでトレース後に, 指で柱梁接合部に水平力または梁中央部に鉛直力を与えて, その変形形状をまたペンでトレースすることで曲げ変形状態を記録し, 力学計算の曲げモーメント分布との比較を行った。また, モデルの不静定次数が大きいほど剛性が高くなることが感触として体験できる。初期型では不静定モデルの剛性が高く詳細な曲げモーメント分布の観察が困難であったので, 3mm×3mm の断面を持つ梁柱で構成し, 両柱脚部が剛接合(固定支点)と両柱脚部がピン接合(ピン支点)の2パターンの改良型を追加した。初期型のピン接合部分は形状トレース時にボルトの凹凸が邪魔になっていたため, 改良型ではボルトを使用しない形状に変更した。このモデルは授業中, 静定構造力学の学習後, 不静定構造力学に移行する時点で演習教材として用いているが, イメージが難しい不静定構造の応力分布を, 触覚と視覚による変形の観察を通して感覚的に捉えることで, 構造現象の理論的理解を深めるよう誘導している。

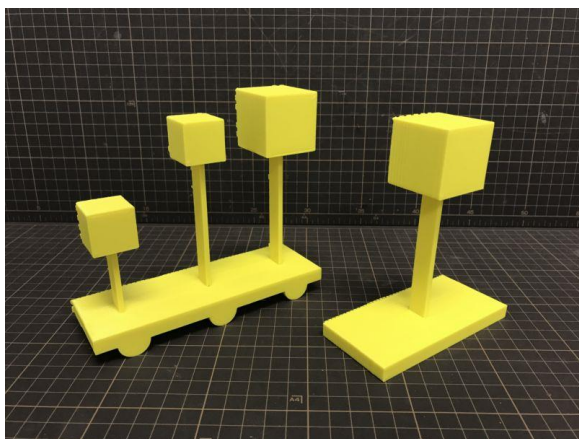


図 3.1 一質点系振動モデル教材  
Type. A(左)と Type. B(右)



図 3.2 門型不フレームモデル・初期型教材

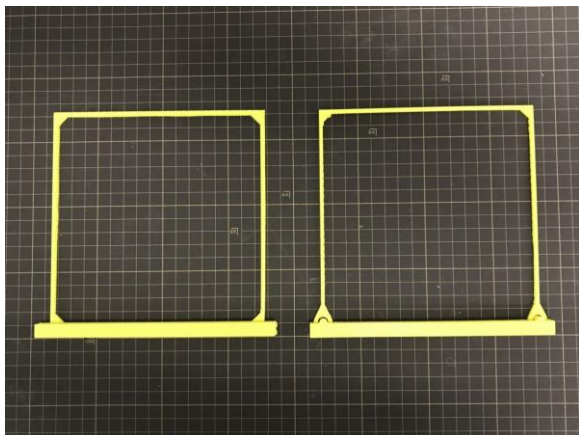


図 3.3 門型不フレームモデル・改良型教材

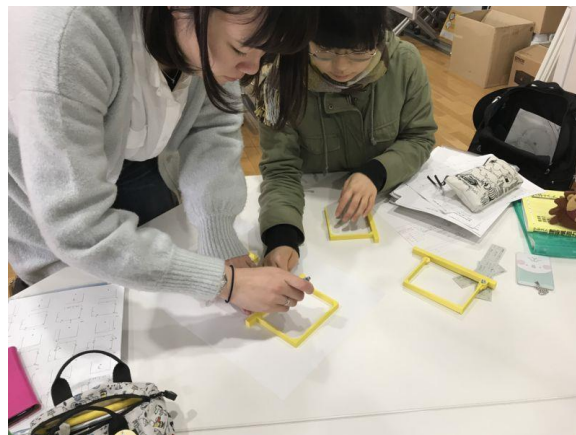


図 3.4 教材を使った演習風景

### 3.2 CAD 授業・ゼミナール・卒業研究における模型製作について

建築・インテリアの空間デザイン系で 3D プリンターの活用は、実物の構造体を出力する試みが既に実現しているものの、一般的には模型製作の方法としてとらえられることが多いと考えられる。デザイン文化学科のカリキュラムではプロダクトデザイン系の授業として第 6 セメスター時に「プロトタイピング」で 3D プリンター運用の学習を行っているが、空間デザイン系の授業では 3D プリンターの操作体験ができる定期授業はない。しかしながら、空間デザイン系の CAD 活用の授業である「3D-CAD」で建築モデリングを行う際、CAD でのモデリングする対象建築物の理解を促すための模型であり、かつ、CAD で入力した建築モデルから 3D プリンター出力により模型を取り出すことができるという事例紹介として、建築切断模型を教材として提示している。

前述の授業を経た学生で当研究室の 2016 年度卒業研究生が卒業設計作品の模型作成に 3D プリンターを利用した。設計作品は木造 2 階建てのユニット式集合住宅で、その一戸分の 1 階部分、2 階部分、屋根の 3 層に分解可能な模型を作成した。模型的には一般的なスチレンボード等を材料で作成した方が製作時間は早かったと考えられるが、元々の設計図や透視図用の立体データが CAD で入力されていたので、出力はこのデータを基にしており、出力時間は機械まかせで学生は別な作業ができ、出力エラーなどがなければ結果効率的になると考える。

また、2017 年度秋学期の当研究室 3 年次生のゼミナールにおいて、2 名の学生が 2 年秋学期～3 年次春学期の建築設計演習授業「空間デザイン A/B」で設計した作品を CAD 図面化しつつ、設計の手直しをして、その設計データを 3D プリンターで模型として出力した。学生は一連の作業を通して、自らの設計作品の造形性について再認識する機会を得たようである。

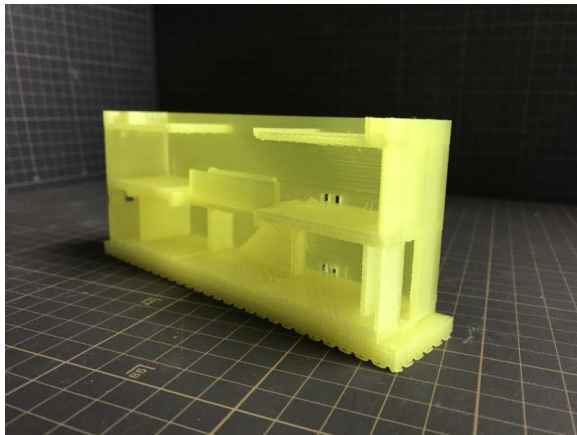


図 3.5 建築切断模型教材

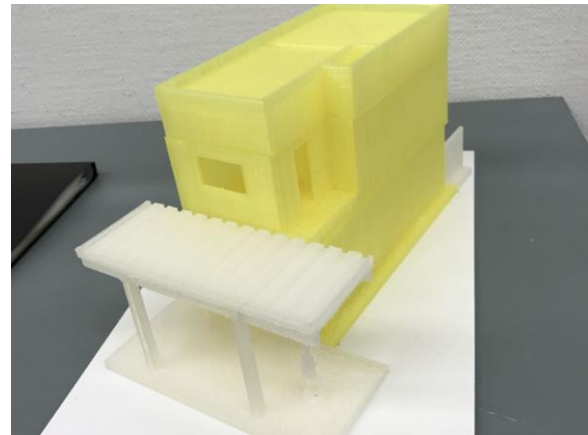


図 3.6 卒業設計モデル

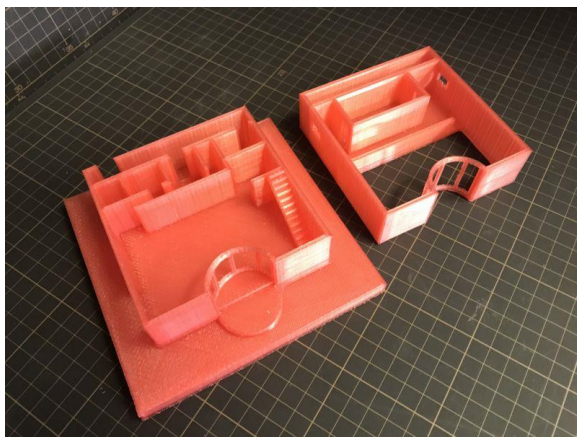


図 3.7 ゼミナール作品 A



図 3.8 ゼミナール作品 B

## 5. まとめ

3D プリンターは安価で身近な造形デバイスとなってきた。まだまだ、運用時の造形不良が頻繁に生じることや、自動ではあるが造形時間が掛かること等の問題はあるものの、教材の試作を安価に繰り返すことができる環境を得たことは喜ばしい。

構造力学教材としては、特に曲げ変形の性能を活かして触覚と視覚を刺激し構造現象を感覚的に理解することを促す可能性に期待が持てる。また、建築設計教材としては学生自身がコンピュータ製図・モデリングの延長上の一つとして 3D プリンター出力の模型を位置付けることは、空間の造形性の意識を高め、設計を評価する過程で有効であり、その評価を活かして設計見直しの機会となることが望まれる。

現時点での教材試作は経験則的側面が大きいが、今後、より高度な教材を開発するにあたっては、以下の点について詳細を理解することが必要と考えている。

- (1) シェル厚や内部密度の設定による材料使用量の関係性と、それに伴う材料強度・剛性に関する物理的性質
- (2) 材料使用量やヘッドの移動スピード設定と造形に掛かる時間の関係
- (3) 形状特性とヘッドの移動スピード設定の造形精度への影響



## 謝 辞

設計作品のモデルを提供していただいた、2016 年度卒業生の佐藤江莉果さん、2017 年度ゼミナール生の白岩麗さん、工藤綾乃さんに深く謝意を表したい。

## 参考文献

- 浅野祐一 (2016), 「3D プリンター-海外では「本物」が建ち始める」, 『202X 建築テクノロジー-先端技術が仕事と建物を変える』, 17-18, 日経 BP 社
- 勝野幸司他 (2013), 「3D プリンタによる建築模型の制作」, 『熊本高等専門学校 研究紀要』第 5 号 p.69-74
- 江本晃美他 (2015), 「建築設計分野における 3D プリンタ活用の実効性の検討」, 『福井工業高等専門学校 研究紀要 自然科学・工学』第 49 号, 155-158
- 一般社団法人コンピュータ教育振興協会(2016), 『3D プリンター活用技術検定 公式ガイドブック』, 日経 BP 社
- 東京都立産業技術研究センター編 (2014), 『3D プリンタによるプロトタイピング』, オーム社
- 田中浩也 (2014), 『SF を実現する-3D プリンタの想像力』, 講談社
- 佐藤清貴他 (2014), 「3D プリンタでの造形を考慮したデジタルアーカイブの研究」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)』, 49-50
- 佐藤正明他 (2014), 「デジタル・アーカイブ技法を活用した理科教育用デジタルメディアの開発について (5)」, 『日本教育情報学会』第 30 回年会, 118-119
- 稲福純夫他(2014), 「デジタル・アーカイブ技法を活用した理科教育用デジタルメディアの開発について (6)」, 『日本教育情報学会』第 30 回年会, 120-121
- 佐藤正明他 (2015), 「デジタル・アーカイブ技法を活用した理科教育用デジタルメディアの開発について (8)」, 『日本教育情報学会』第 31 回年会, 224-225

## 脚注

- 3 「樹脂溶融ヘッド」は 3D プリンターの樹脂フィラメントを高温で溶融し送り出す移動ヘッド部の名称。
- 4 「プラットフォーム」は 3D プリンターの造形物を固定する移動式テーブル部の名称。
- 5 「シェル」は 3D プリンターの造形において、物体内部と外部を隔てる面のこと。造形時にこの面の厚み選択でき、厚く作ると強度が増す。
- 6 「サポート材」は 3D プリンター造形の積層時に上部を安定的に支える仮部材のこと。
- 7 「ラフト材」は 3D プリンター造形時の材料のプラットフォームへの密着度を増し、安定的に造形するために造形底面に設ける仮部材のこと。
- 8 「弾性変形」は構造材料がバネのような性質をもって変形すること。
- 9 「一質点系自由振動モデル」はここでは、建築構造力学において自由振動を表現する際、主に 1 層の建物を質量の集中する屋根部の質点とそれを支える骨組みをバネでモデルしたもの。
- 10 「静定・不静定」はどちらも安定構造で、「静定構造」は力の釣り合いだけで反力・応力状態を計算可能な基本的な構造であり、「不静定構造」はより複雑な安定度が増した構造を意味する。不静定次数は安定度を表す数値である。

(受付：2018 年 2 月 17 日，受理：2018 年 3 月 26 日)