

Ⅲ 触察立体教材作成の観点からみた3Dプリンター

第Ⅱ章では、視覚障害教育における立体（3次元）教材の意義について述べた。

実際例などの紹介を通して、触察用立体教材は視覚障害教育において大変重要な教材であり、積極的に活用していく意義があること、触察用立体教材の作成や利用に際しては、触覚活用の特性を考慮する必要があること、触察力が向上してくると、触覚活用により豊かな情報を取得することができるようになるが、それは日々の経験の積み重ねの結果であり、視覚障害教育においては触察活用の向上を目指した指導法や指導内容の工夫が必要であり、また積極的に触覚を活用する環境を整えることも大切になってくることなどを明らかにした。

従来は、紙や画像でしか見ることのできなかつたものは、視覚に障害がある子供にとってはブラックボックスになっていたが、そうした画像等の内容を3次元に具現化することができれば、視覚に障害がある子どもにとってより理解しやすくなり、学習意欲の維持と向上につながる事が考えられる。

また、立体については、これまで平面図、立面図、正面図による投影的な方法、断面図、展開図などの2次元な表現で示されていた。こうした表現ではイメージが難しいが、3Dプリンターで造形することにより、実際に触って観察することができるようになる。

本章では、触って利用する教材の作製という観点から、3Dプリンターを利用して触察立体教材を作成する手順と作製プロセスでの留意点や工夫したい点について整理する。

1. 3Dプリンターについて

近年、「3Dプリンター」が広く話題を集めている。3Dプリンターは、3次元データから3次元造形ができる装置を総称して用いられている。3Dプリンターの原理は新しいものでなく、製造業の分野ではすでに20年近く前から使われている装置である。近年、3Dプリンターの基本技術の1つである熱溶解積層方式(fused deposition modeling、以下 FDM)の特許が開放された。このことにより、FDM方式による一般向けの3Dプリンターが製造販売されるようになった。

業務用の3Dプリンターは、安いものでも100万円を超えており、個人が気軽に購入できるものではなかったが、FDM方式による3Dプリンターの開発が進み、個人にも手が届くようになった。10万円を切る製品も登場している。

精度や信頼性は業務用プリンターには及ばないが、こうした個人向け3Dプリンターの登場は、視覚障害教育における立体教材の作製に新たな可能性をもたらしてくれるものと期待される。

しかし、3Dプリンターによる立体物の造形は、まだ紙に写真やイラストを印刷するような気軽なものではない。

そこで、本章では、個人向け3Dプリンターの概要及び使い方について整理し、視覚障害教育用触察立体教材作製装置としての可能性や活用する上での留意点について検討することにする。

2. 3Dプリンターの方式とその特徴

視覚障害教育の現場等でも購入可能な20万円程度で購入できるパーソナル3Dプリンターに関する基本情報について調査した。その結果から3Dプリンターの方式とその特徴を整理し、紹介する。

3Dプリンターには様々な印刷方式がある。廉価で出回っている3Dプリンターは、プラスチックのフィラメントをさらに細い糸状に融解して、それを積層していくことによって立体物を成型するFDM方式によるものほとんどである。

(1) FDM方式

① 原理

フィラメントと呼ばれている糸状の樹脂を、溶解ヘッドを通して熱で溶かし、溶けた樹脂を溶解ヘッドのノズルからさらに細い糸状に押し出して成型台（プラットフォーム）上に2次的に描き、それを上方向に積層していくことによって造形する仕組みになっている。

② 利用できる材料

利用できる樹脂素材は、ABS樹脂、PLA樹脂、ナイロンなどである。装置によって利用できる樹脂が限定される。

ABS樹脂とは、アクリロニトリル (Acrylonitrile)、ブタジエン (Butadiene)、スチレン (Styrene)を原料とする共重合合成樹脂の総称である。ABS樹脂は原料の頭文字である。常用耐熱温度は70~100℃である。ABS樹脂の成型物は、PLA樹脂に比べて粘りがあり、構造部品としての強度が保てること、積層した表面をサンドペーパーやヤスリなどで容易に処理することができるなどの長所がある。ABS樹脂の短所は、厚みのない造形物や大きい造形物では、樹脂の熱収縮性の影響で、成型中に反りかえり、形状が維持されなくなる場合があることである。

PLA樹脂は、ABS樹脂よりも成型温度が低く、成型物は粘りが少なく強固である。長所としては、変成が少なく大きい造形物を製作できる。植物由来の成分で出来ているため、成型中に不快なおいが少ない点などがあげられる。PLA樹脂の短所としては、成型温度が低いため、造形物自体が高温に弱いところや、表面が硬いため処理しにくいなどの点が挙げられる。塗装もABS樹脂に比べのりにくい。

触察立体教材造形の観点からは、成型物が強固である点が長所でもあり、短所でもある点に留意したい。強固であるということは、触覚教材としては壊れにくいという点で望ましいのであるが、固いため後処理で表面を削ったり、滑らかにしたりするという作業が行いにくい点では扱いにくい材料ということになってしまう。また、何よりも気を付けなければならないのは、先端が尖っている造形物などの場合、けがをすする恐れがあるということである。

以上のような点から総合的に判断すると、造形の際に変形しやすいという短所はあるものの、触察立体教材用の造形材料としては、ABS樹脂の方が好ましいといえそうである。

③ 装置の価格帯

数万~数百万円と幅が大きい。

④ 長所

特許が切れたため、多くのメーカーが参入し、機器開発の鎬が削られている。低価格の機器が登場し、機能も向上してきている。材料の取り扱いも比較的容易である。材料色の選択肢も多い。個人向け3Dプリンターのほとんどがこの方式を採用している。

⑤ 短所

造形精度はそれほど高くはないと考えたほうがよい。積層による造形のため表面に造形跡の凹凸が残る。触覚立体教材として利用する場合は、この凹凸の程度が検討課題となる。低価格の製品ではサポート専用材料を利用できないため、サポート部分の除去に手間がかかることもある。

(2) 光造形方式

① 原理

光造形法は、紫外線を照射すると硬化する液状の紫外線硬化樹脂を利用して造形する方式である。光硬化性樹脂を満たした槽に造形物の断面のパターンの紫外線レーザーを照射して1層ずつ硬化させ、それによって出来た層を幾重にも積層する事によって立体の造形物が形成される。STL(STereo Lithography)方式とも呼ばれる。

② 利用できる材料

エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂などがある。

③ 装置の価格帯

数十万～数千万円。

④ 長所

造形精度が高く、積層跡もほとんど残らない。FDM方式に比べて積層ピッチも細かく仕上がりがきれいである。

⑤ 短所

サポート材料が必要である。材料色の選択肢も限られている。太陽光の下での劣化が起こりやすい。

(3) 粉末焼結方式

① 原理

粉末焼結方式は、微細な粉末状の材料にレーザー光線をあてて焼結させながら積層して造形していく方式である。樹脂だけでなくセラミックや銅、チタンなどの金属も材料として利用できる。SLS(Selective Laser Sintering)方式とも呼ばれる。

② 利用できる材料

ナイロン樹脂粉末、セラミック粉末、銅、チタンなどの金属粉末。

③ 装置の価格帯

数千万円以上する。学校等で納入するには高額であり、この装置での造形が必要な場合は、こうした機器を保有する出力センター等に外注することができる。

④ 長所

精度が非常に高い。造形物の耐久性も高い。したがって試作品(プロトタイプ)としてだけでなく、実際に動作させる必要がある部品などの試作にも利用できる。サポート材が不要である。

⑤ 短所

装置自体が非常に大きく、価格も高額である。

(4) 粉末石膏方式

① 原理

粉末石膏方式は、薄い石膏粉末の層にインクジェット方式で塗料と固着材を吹き付けて1層ずつ造形し、それを積層して立体物を造形する仕組みになっている。

② 利用できる材料

石膏粉末。

③ 装置の価格帯

数百万～数千万円。この装置も学校等で納入するには高額であり、この装置での造形が必要な場合は、こうした機器を保有する出力センター等に外注することができる。

④ 長所

フルカラーで造形することができるところに大きな特徴がある。カラー印刷ができるとはいつても、微妙な色合いなどの表現が難しかったり、装置毎に個体差があったりするなど、精度の面ではまだ十分とは言える段階には至っていない。人物のフィギュアなどの作成に向いている。サポート材も不要である。

⑤ 短所

材料が石膏のため、造形物は他の方式に比べて重くなる。また、材料の性質上強度面に不安がある。

(5) インクジェット方式

① 原理

紙面印刷と同様のインクジェット方式の原理による装置である。液状の紫外線硬化樹脂をインクジェットで吹き付け、紫外線を照射することで1層ずつ造形し、それを積層して立体物を造形する。

② 利用できる材料

アクリル系樹脂、ABS系樹脂、ラバー系樹脂、ポリプロピレン系樹脂など。

③ 装置の価格帯

数百万～数千万円。この装置も学校等で納入するには高額であり、この装置での造形が必要な場合は、こうした機器を保有する出力センター等に外注することができる。

④ 長所

精度が高い。2種類の材料を自由な割合で混合して造形できる製品も登場している。

⑤ 短所

太陽光の下での劣化が起こりやすい。

以上のように3Dプリンターの造形方式にはさまざまなものがある。

FDM方式以外の装置は、高価格であり、現状では、個人や視覚障害教育機関などで納入は困難だといえる。また、たとえ納入したとしても、装置の操作に専門的な知識や技能が求められ、日常的な維持管理の労力や経費の負担も大きく、さまざまな支障が生ずる心配がある。

現時点では、光造形方式を採用した低価格の装置もあるが、個人向けの3Dプリンターのほとんどは、FDM方式によるものである。

こうしたことから、本研究における視覚障害教育用立体教材作成のための装置としては、FDM方式の3Dプリンターを中心に据えて検討していく。

ただし、長期的に展望すると、他の方式の3Dプリンターのコストダウンも進む可能性があるため、広く各方式の特性について理解しておくことは大切なことだといえる。

3. 熱溶解積層（FDM）方式プリンターの特長

（1）動作環境

① 制御タイプ

現在市販されている個人ユーザー向け3Dプリンターには、プリンター本体にCPUが組み込まれていて、プリンター単体で造形作業を進めることができるもの（以下、スタンドアロンタイプ）と、3Dプリンターの制御はパソコンを利用して行うもの（以下、PC接続タイプ）とがある。

スタンドアロンタイプでは、造形用の3DデータをSDカードやUSBメモリなどから読み込むこませることによって、手軽に造形することができる。スタンドアロン動作が可能な装置であっても、PC接続にも対応しているものもある。

PC接続タイプでは、造形作業中は常時PCの電源を入れておく必要があるという注意が不可欠である。電源の設定を「スリープ」や「休止状態」に設定した場合、造形作業が中断してしまうことになる。PC接続タイプでは、造形の進行状況などを逐一確認できるという長所がある。一般にPC接続タイプでは、USBを経由するものがほとんどであるが、無線LAN経由で接続できる装置も登場してきている。

② 溶解ヘッド

FDM方式の3Dプリンターは、糸状のフィラメントと呼ばれる樹脂を高温で溶かし、フィラメントをさらに細い糸状にして造形を行なう「溶解ヘッド」という装置が大切な役割を果たしている。

この溶解ヘッドは、機種によって搭載数が異なっている。溶解ヘッドが1基のみの製品をシングルヘッド、2基搭載したものをデュアルヘッド、3基搭載したものをトリプルヘッドと呼んでいる。低価格の3Dプリンターは、シングルヘッドが中心である。シングルヘッドの場合、造形に1種類の材料しか使うことができない。そのため、造形物は単色になる。

また、3D造形では、オーバーハングする部分については、下に支えをつけて積層作業をしていくことになる。これをサポート部分というが、このサポート部分の造形も造形材料と同一の材料で造形されることになる。サポート部分は造形が終了したら取り除くものであるが、専用のサポート材でないと除去するのが難しくなる場合がある。

デュアルヘッドタイプでは、2種類の材料を同時に利用することができる。そのた

め2色のフィラメントを使って造形することができる。また、サポート部分を造形用とは異なった専用のフィラメントを用いることができる機種もある。サポート専用のフィラメントを用いれば、造形終了後のサポート除去が容易となる。

③ 造形サイズ

個人ユーザー向け3Dプリンターは、一般用の机の上に設置できるほどのサイズのものが多い。したがって、造形できるサイズも小さい。造形できるサイズは、プラットフォームの駆動方式の違いなどにより機種によって異なっている。造形サイズの大きい方が造形の自由度は高くなる。

視覚障害教育用の触察立体教材作成の場合、大きなものが一度で造形できるのは魅力的である。しかし、大きなものを造形しようとする、出力時間も長くなる。途中で造形に歪みが生ずるなどのトラブルも発生しやすくなる。

そのため、大きな物を造形する場合は、いくつかのパーツに分割して出力して、後でそれらを合体させることもトラブルを回避するための一つの方法である。そうした点からは、必ずしもサイズの大きい装置でなくてもよいということになる。

触察立体教材作成用の3Dプリンター導入に当たっては、造形サイズよりも、造形精度を考慮して機種の選択を考える必要がある。

④ 造形材料

前述したが、FDM方式の3Dプリンターでは、フィラメントと呼ばれる糸状の樹脂を熱で溶解して造形を行なう。機種によって、利用できるフィラメントの素材も異なってくる。

FDM方式のプリンターでは、フィラメントの素材としてABS樹脂またはPLA樹脂を利用する製品が多い。ABS樹脂の方がPLA樹脂よりも高温で溶解させる必要があり、冷える際の収縮率も大きいため、基本的にはプラットフォームにヒートベッドという余熱装置が必要になる。

PLA樹脂は、ABS樹脂よりも低温で溶解でき、ABS樹脂に比べて収縮も少ないため、プラットフォームから造形物が剥がれるトラブルが生じにくいという長所がある反面、表面が硬いため処理しにくい点や形状によっては怪我をする心配があるなどの短所もある。塗装もABS樹脂に比べのりにくい。また、PLA樹脂は高温には弱いので、例えば熱湯がかかるような用途などには向かない。

触察立体教材作成にあたっては、ABS樹脂とPLA樹脂の両方の材料に対応している機種の場合は、ABS樹脂を用いた方が後加工、安全性の面で望ましいといえる。

⑤ プラットフォーム

プラットフォームとは、造形物が形成される台のことである。溶解ヘッドがx軸に、このプラットフォームがy軸、z軸に移動しながら造形作業が進んでいく。

プラットフォームはできるだけ水平に設置されていることを確認する必要がある。水平でないと、プリント中にトラブルが生ずる恐れがあるため、造形前の確認が欠か

せない。プラットフォームの状態を自動で調整できる機器もある。マニュアルでも、ペーパーテストという方法で簡単に確認することができる。ノズルを最初の層をプリントするときの高さに合わせて、プラットフォームとノズルの間に紙を挟み、プラットフォームの四隅と中央にノズルを動かしてみ、5カ所すべての箇所で紙がノズルに接触しながら動かせるぐらいの間隔になっていれば望ましいということになる。

また、プラットフォームに油脂がついていると、プリントしたオブジェクトが剥がれてしまう恐れがあるため、プラットフォームは定期的アルコールで洗浄することも大事な配慮点である。

ABS樹脂を使うときは、プラットフォームを最高温度で余熱しておく必要がある。余熱しておく、エッジがめくれ上がってしまうのを防ぐことができる。ABS樹脂対応の機種多くにはヒートベッドが付属している。それについては次に説明する。

(6) ヒートベッド

ヒートベッドとは、造形プラットフォームの部分を温めるヒーターのことである。ヒートベッドがある機種の方が、造形のプロセスでプラットフォームから造形物が剥がれにくいといえる。造形物がプラットフォームから離れてしまうと以後の造形に影響が生じる。ヒートベッド付きのプラットフォームは、90°C前後まで温度が上昇するので、造形中にやけどをしないように注意する必要がある。

ABS樹脂はPLA樹脂よりも温度低下時の収縮が大きい、ABS樹脂に対応しているプリンターには、ヒートベッドが備えられているものが多い。

(7) 積層精度について

FDM方式の3Dプリンターでは、溶解ヘッドから押し出される溶けた樹脂を積層していくことで造形を行なうが、この上下方向の積層の幅を積層ピッチという。個人ユーザー向け3Dプリンターでは、積層ピッチ0.1~0.5mm程度の範囲で設定できるようになっているものがほとんどである。積層ピッチを0.2mmに設定すると、高さ50mmの物体を造形するには、250層を積み重ねることになる。積層ピッチが0.1mmの場合は500層積み重ねることになる。

積層ピッチが小さい方が積層の段差が目立ちにくくなり、より精細な立体の造形が可能になる。積層数が多くなる分、出力時間も長くなる。一般的には、積層ピッチと出力時間のバランスを考慮して、積層ピッチ0.2~0.25mm程度で造形されていることが多い。

視覚障害教育用の触察立体教材は、触覚を利用することが前提となっているので、積層ピッチは小さい方が望ましいと一般に言えるが、造形物の形状、3Dデータの設計の方法、プリンターの精度などにより、一概に言えるものではない。さまざまな条件を勘案して決めていく必要がある。同じ積層ピッチで造形しても、段差の現れ方は機種によって差があるので、この点も機種選択の際の重要な留意点となる。これについては、第IV章で詳しく報告する。

(8) 本体サイズ、重量、設置場所

長期に渡って利用する装置なので、本体サイズや重量も納入時の重要な検討材料である。設置したら、基本的に移動しないで用いる装置なので、設置しようとしている場所におけるかどうか確認しておくことが大事になる。

また、設置場所の面は、振動への対応が十分になされていること、可能な限り水平になっていることも大切な条件である。

FDM方式の3Dプリンターは、5万円前後から数百万円以上する業務用機種まで、非常に幅広い。しかし、10万円の製品と20万円の製品を比べても価格の違いが性能の違いを示しているわけではない。精度の高い造形を行なうためのポイントは、最適な環境を整えて利用することである。低価格な製品でも、調整をしっかりとって、最適な設定で出力を行えば、より高価な製品と遜色のない出力結果を得ることが可能となる。

3. 3Dデータの作成

3Dプリンターは、立体物を造形する装置であるが、その元となるのは3Dデータである。3Dプリンターは、3Dデータがなければ何の役にも立たない。特に視覚障害教育用の触察立体教材を造形する場合は、そのデータの質が重要になる。

すでに公的機関や3Dプリンターメーカーなどによって3Dデータのデータベースが構築されており、ネット上からさまざまな3Dデータをダウンロードして利用できるようになっている。しかしながら、それらのデータの中には、視覚的に享受することを前提としたものも多い。そうしたデータの中にはそのままでは視覚障害教育用の教材としては適切でないものも多く含まれている。

したがって、視覚障害教育用触察立体教材の造形という観点からは、触察に適したデータの作成が大きな課題となる。適切な3Dデータが用意できれば、3Dプリンターは視覚障害教育用の立体教材作成ツールとして大きな力を発揮するようになる。

以下に、3Dデータに関わる基本的な内容について述べる。

(1) 3Dプリンターの標準データ形式

3Dデータにはさまざまな形式がある。静止画像の電子データには、jpg、gif、png、bmpなどの画像データ形式がある。動画の電子データには、QuickTime、AVI、MP4などの形式がある。再生ソフトや編集ソフトによって対応している形式が異なっている。

3Dデータも状況は同じである。3D CADソフトや3D CGソフトによって対応している形式が異なっている。なお、3D CADとは、寸法の入った図面を三次元に発展させた電子製図ととらえると理解しやすい。3D CGとは、イラストレーターなどのデザイン要素を立体的にすることを意味しており、自由曲線や曲面が多くなる。

ほとんどの3D CADソフトや3D CGソフトは複数のデータ形式に対応しているが、標準で保存される形式はソフトによって異なっている。データ形式が異なっているのは、プリンターで出力する場合に支障が生ずることになるため、STL(STereoLithography)という3Dデータ形式が、標準データ形式として使われている。

STL形式

STL形式は、ポリゴンフォーマットという形式の1つである。立体の表面を数多くの3角形(ポリゴンという)で近似して表す形式である。STL形式で扱えるのは、あくまでポリゴンの集合体である。曲面は、ポリゴンの分割数を増やしてより細かな3角形で近似するようにして、曲面として表すことになる。STL形式は色情報も持っていない。したがって、基本的に単色で出力するFDM方式や光造形方式、粉末焼結方式の3Dプリンターで用いられている。以前は、STL形式での入出力に対応していない3D CADソフトや3D CGソフトもあったが、3Dプリンターの普及に伴い、多くのソフトがSTL形式に対応するようになっている。

(2) 3Dデータの作成

3Dデータ(STL形式)を準備する方法は大きく分けて2つある。1つは、3D CADソフトや3D CGソフトを使って、自ら3Dデータを作成する方法である。もう1つが、既成のデータをインターネット上のデータ提供サイトから3Dデータをダウンロードして利用する方法である。

自分で造形したい物体を自由にできることは、3Dプリンターの持ち味を最大限に生かすという意味でも、触覚活用に配慮した立体教材を作成するという意味でも望ましいことであるが、そのためには、3D CADソフトや3D CGソフトが利用できるようにならなければならない。

既成のデータを利用する方法は、すでに出来上がっている3Dデータをデータ提供サイトからダウンロードするだけなので、3D CADソフトや3D CGソフトのスキルを身につける必要はないが、触察立体教材として適切で希望する3Dデータが取得できるとは限らない。触察立体教材として利用する場合については、既成のデータの修正が必要だと考えておくべきだと思われる。

① 3D CADソフトの利用

3D CADソフトや3D CGソフトを使ってモデリングを行なうことで、3Dデータを作成することができるが、それぞれに得意分野が異なる。

3D CADソフトは、CAD(Computer Aided Design)用に作られたソフトである。建物や機構、部品などの設計を支援するソフトである。3D CADソフトは、正確な寸法を入れた精密なモデリングが可能であり、立方体や球、円錐などの単純な形状(プリミティブと呼ばれる)や、平面上に描いたスケッチを持ち上げて立体化するという方法で、モデリングしていく。平面や比較的単純な曲面の組み合わせで構成される物体の

モデリングに適している。

フリーソフトとして、「123D Design」(オートデスク)、「SketchUp Make」(Trimble)、といった3D CADソフトがある。

② 3D CGソフトの利用

3D CGソフトは、CG(Computer Graphics)を作成するためのソフトである。複雑な曲面を持つ物体のモデリングに適している。粘土をつまんで引っぱり、彫刻刀を使って削ったりするような感覚でモデリングできるものが多い。その代わり、正確な寸法が求められる分野には向かない。

3D CGソフトとしては、「Blender」(Blender Foundation 9)、「StoneyDesinger」(N.Ishizaka)などのフリーソフトがある。

③ 3Dデータ提供サイトのデータの利用

3Dデータ提供サイト利用の最大の利点は、自分でデータを作成する手間が省けることである。しかし、前述したように、3Dデータベースのデータには、触覚で利用するという事を意識して作られていないために注意が必要である。

そのまま利用することが望ましくない場合は、ダウンロードした3Dデータを3D CADソフトや3D CGソフトで、触覚で適切に利用できるようにカスタマイズすることが求められる。

したがって、視覚障害教育用立体触察立体教材を利用する場合は、3Dデータを編集する技能を持っていることが望ましいということになる。

④ 主な3Dデータベース

○「Thingiverse」

3Dプリンター「Replicator」シリーズを販売しているMakerBot社が運営しているサイトである。公開されている3Dデータは質、量ともに優れている。もう少し詳しく書く。

○「CGTrader」

有料のデータを提供しているサイトである。無料でダウンロードできる3Dデータも多数公開されている。

○「mono-logue」

国内3Dプリンターメーカーの一つオープンキューブ社が運営しているサイトである。データ数は多くないが、日本語が安心。

その他にも様々なサイトがあるが、教材作成という観点から以上を紹介した。

⑤ 3Dスキャナー

3Dスキャナーを使っても、3Dプリンターでの造形に利用できる3Dデータを得ることができる。第III章でも詳しく紹介している。

3Dスキャナーにも様々なタイプがある。ただし、手頃な価格の3Dスキャナーは、精度が低く、不完全なスキャンにとどまっているものが多い。3Dプリンターで造形

するためには、表面が完全に埋められている3Dデータでなければならない。3Dスキャナーでスキャンした3Dデータをそのまま使うことはできないと思った方がよい。手作業での修正が必要になってくる場合が多い。

3Dデータの修正には、データ作成の技能と手間と時間がかかり、はじめからモデリングした方が効率が良い場合もある。3Dスキャナーは、対象物の3Dデータ化を行ってくれる機器ではあるが、決して3Dモデリングが不要になるわけではないことを銘記しておきたい。

(3) 3Dプリンターによる造形の手順

3Dデータを使って、3Dプリンターで造形作業を行なう場合は、次のような手順で作業を進める。

- ① 3Dデータを確認する。
- ② 積層造形をするために3Dデータをツールパスデータに変換する。スライスソフトを利用することになる。
- ③ a. プリンター単体で動作が可能な機種の場合は、ツールパスデータを3Dプリンターに読み込ませて造形を行なう。
b. スタンドアロン動作に対応していない3Dプリンターの場合:プリンター制御ソフトにツールパスデータを読み込ませて造形を行なう。
- ④ ラフト(土台)やサポートなどの不要な部分を除去し、必要なら表面を磨くなどして仕上げを行なう。

① 3Dデータの確認

造形前に3Dデータをデータチェックソフトで確認しておくことで造形の失敗を防ぐことができる。

データを自作した場合、3D CADソフトで作成したSTLデータは不具合が生じることは多くないが、3D CGソフトで作成したデータには、入念なチェックが必要である。ディスプレイ上では3次元になっていても3Dデータになっていない場合がある。

「MoNoGon」、「MiniMagics」などといったソフトがある。

② 3Dデータをツールパスデータに変換

3Dデータ(STLデータ)はポリゴンの集合体であるため、1層ずつスライスして、一筆書きのようにヘッドを動かすための経路を指示するデータに変換する。これをパスデータという。

3Dデータをツールパスデータに変換するスライサーと呼ばれるソフトを利用する。3Dプリンターには、スライスソフトが用意されているものと汎用のソフトを使わなければならないものがある。

ツールパスデータに変換する際には、積層ピッチやラフトの有無、サポート部分の有無、造形密度なども設定することになる。

③ 3Dプリンターで造形

3Dデータをツールパスデータに変換できたら、3Dプリンターで造形を行う。

○スタンドアロン動作が可能な機種

USBメモリやSDカードなどの記録媒体に保存されているツールパスデータをプリンターが読み込むだけで造形することができる。

○スタンドアロンで動作しない機種の場合

3DプリンターとPCを接続し、PC側でプリンターを制御する。プリンター制御ソフトには、「Pronterface」などがある。

④ 仕上げ

出来上がった造形物はプラットフォームに張り付いている。まずしなければならない作業はラフトの部分から剥がす作業である。これにはプリンターに附属でついているヘラを用いる。プラットフォームとプレートが分離している機種では、ガスコンロなどでプレートを温めるとプレートから造形物をはがしやすくなる。

次に、本体とラフトを切り離す。これは手作業で簡単に行うことができる。

さらに、サポートがある場合は、それを除去する。FDM方式のプリンターの多くは、シングル溶解ヘッドである。サポート専用材料が利用できないため、同一の樹脂材料でサポートも出力されている。そのため、サポート部分と本体がつながっており、工具を使って切り離すことになる。サポート部分は不要な部分なので、造形後に除去しやすいようにデータ作成の段階から、できるだけ工夫して設計することがコツの一つだといえる。

これで、独立した造形物になったわけであるが、FDM方式では造形物の表面に積層の段差が生じている。表面をなめらかにするためには、紙やすりで磨く、パテで埋めるなどの方法をとる。

視覚障害教育用触察立体教材では、表面の触り心地が「触察」活動に影響するので、この仕上げの作業が大変重要になってくる。造形したままの状態、触察立体教材として使用することを厳に慎まなければならない。仕上げ後、使用する教員等が実際に造形教材を触って、不具合がないか確かめる手間を惜しんではならない。

⑤ 造形失敗を防ぐためのコツ

○造形途中の剥がれ

造形作業中にプラットフォームから樹脂材料が剥がれてしまうことがある。この場合、造形に乱れが生じてしまい、データ通りに造形できなくなってしまう。このトラブルは特にABS樹脂に生じやすい。

ヒートベッドが装着されている機種では、ヒートベッドの温度が指定のレベルまで上昇したことを確認して造形作業を開始する。プラットフォームに耐熱性のテープを

貼って樹脂が剥がれにくいようにする方法もある。

○周囲の環境への注意

夏や冬は、エアコンなどを使用していることも多い。エアコンや扇風機の風が直接3Dプリンターに吹いてこないようにする。風の影響を受けて、ヘッドやプラットフォームの温度が安定しないため、造形に支障が出る場合がある。また、室内の温度が低すぎると樹脂が急速に冷えるため剥がれやすくなる。風の影響を避けるためには、3Dプリンターの周囲を段ボール箱等で覆うといった工夫をする。

○樹脂の詰まり

造形作業の途中に樹脂が溶解ヘッドに詰まってしまうことがある。樹脂が出てこないプラットフォームだけが動いて空作業になってしまう。溶解ヘッドの温度を適切に設定されているか、フィラメントが絡み付いていないかなどの点に気を付ける必要がある。

また、樹脂のつまりには、フィラメントの品質も影響している場合もある。専用の材料を使用している場合は、最適な温度に設定する必要がある。

⑥ ラフトとサポート部分、造形密度

ラフトやサポート、造形密度を適切に設定するのは難しい。初期設定されている状態で利用することで通常は問題がない。造形に要する時間を変更したり、造形物の強度を変更したりしたい場合は、設定の変更が必要となる。

○「ラフト (Raft)」

ラフトは土台を意味している。造形の前作業として縦横に互い違いに数層の土台を築き、その上に本体の造形物を積層していく。ラフトの上に造形していくことにより、プラットフォームとの密着性が高まり、剥がれにくくなる。プラットフォームの狂いを吸収する役割もある。

原則として、ラフトは“あり”に設定する。ラフトを綺麗に除去するのが難しい形状の場合は、ラフトなしで造形することも考えられる。

○「サポート」

造形物の形状がオーバーハング状になっている場合や空中で横方向に突き出ている形状のような場合は、サポートが必要になる。必ず必要というわけではなく、面の角度や突出部分の長さによってはサポートがなくても造形できる場合がある。これは、プリンターの精度や設定によっても異なってくる。試行が必要である。

○「充填密度」

充填密度は、立体の中空部(ソリッド)の充填の粗密の違いである。スライスソフトで設定することができる。格子状やハニカム状など数種類のパターンがあるが、用いるスライスソフトによって異なってくる。充填密度を高くすると、造形物の強度や精度が向上する。その分、造形時間は長くなり、フィラメントの消費量も多くなる。

触察立体教材では、十分な強度を確保しておくことが望ましい。強度を確保しつつ、

造形時間と材料の観点からできるだけ無駄のないように充填密度を決めていくようにしたい。

おわりに

3D プリンターが急速に普及し、視覚障害教育用触察立体教材作製装置としての活用への期待が高まっているが、現状では、一般に思われているような期待に応えられる機種は高額なハイエンド機種である。

本章ではそうした誤解を招かないように、さまざまな造形方式を紹介した上で、広く普及してきている FDM 方式の 3D プリンターの原理及び使い方についてその概要を紹介した。その上で、視覚障害教育用触察立体教材作製装置として利用する場合の配慮すべき点について解説した。

結論から述べると、FDM 方式の 3D プリンターを活用して視覚障害教育用触察立体教材を作成し活用することができる状況になってきているものの、品質やコストの面から考えると、まだ一般に期待されているようなレベルには至っていないのが現状である。

品質面では、強度、表面加工などの課題がある。強度については、3D プリントした部品は従来の製造工程でつくる部品ほど強くないため、触察用教材として活用する場合に特に留意する必要がある。表面加工についても、造形直後のものには、表面にノイズとなるような突起があったりバリがあったりするが、触察にとっては望ましいものではなく後作業が必須である。これは手作業となるために手間がかかる。また、加工することにより耐久性に影響が生じることも考えられる。コストは用いる樹脂素材によっても異なってくるが、安価とは言えない。当然のことであるが、大きな造形物ほど材料が多く必要となる。造形に必要な時間も考慮しておく必要がある。紙の印刷のように高速でできるわけでない。また、3D データの入手も課題が多い。本章でも、オリジナルのデータ作成、インターネット上からのデータ入手、3D スキャンによるデータ作成について紹介したが、いずれもさまざまな配慮や注意が必要であることも併せて示した。

しかしながら、これまで提供することが困難であった事物等が、触察教材として造形できるようになることは、視覚障害教育にとっては大きな魅力である。記述した課題や制約に十分に配慮しながら、長期的な展望に立って、3D プリンターの活用を地道に進めていく必要があると思われる。

参考文献

- (1) 原 雄司 (2014). 3Dプリンター導入&制作 完全活用ガイド. 技術評論社.
- (2) 水野 操 (2013). 自宅ではじめるモノづくり超入門 ~ 3Dプリンターと Autodesk 123D Design による、新しい自宅製造業のはじめ方. ソフトバンククリエイティブ.
- (3) 石井英男 (2014). パーソナル3Dプリンター導入の手引き.
<http://pc.watch.impress.co.jp> (2014年6月10日閲覧)
- (4) 洋泉社 (2014). 3Dプリンターがわかる本 . 洋泉社 MOOK