

視覚障害教育用
触察立体教材作成のための
3Dプリンター活用ガイドブック



はじめに

近年、3Dプリンターの普及には目覚ましいものがあります。これまで立体を造形することは手作業で行っていましたが、3Dデータを用いて3Dプリンターで出力すれば、イメージしていた立体が手軽に造形できるようになったのです。

視覚障害教育、特に全盲児童生徒の教育では、触覚と聴覚の活用が大変重要になっています。触覚活用に関しては、触覚教材の準備がカギを握っています。触覚教材には、3次元形状の立体教材、2.5次元的な浮彫教材、2次元情報を凸で表した2次元的な凸教材があります。これまで、2.5次元教材、2次元凸教材については、専用の機器類が開発されており、自作教材を作成することが比較的容易でした。しかしながら、手軽に利用できる3次元教材のための機器はありませんでした。そこに3Dプリンターが登場したというわけです。全国の盲学校がこの3Dプリンターに関心を寄せているのは当然のことです。

しかしながら、触察に耐える3次元教材を作成するという観点からとらえると、現在市場に出回っている比較的入手しやすい装置の中には、触察教材として適切ではない出来上がりになってしまう機器もあります。そこで、このマニュアルでは視覚障害教育用の触察立体教材作成のための3Dプリンターの活用に焦点をあてて解説していきます。一般向けのガイドブック等と併用して利用することを想定していますので、3Dプリンターやソフトウェアの詳細な使用方法等については、一般向けのガイドブックや解説書、マニュアル等を参照してください。

本研究は、独立行政法人国立特別支援教育総合研究所における共同研究「3D造形装置による視覚障害教育用立体教材の評価に関する実際的研究」（平成25年度～26年度）の研究成果に基づいて取りまとめたものです。

目 次

はじめに

1	3Dプリンターでできること	1
2	FDM方式プリンターを知ろう	3
3	3Dデータを知ろう	9
4	3Dプリンターを使ってみよう	19
5	3Dプリンター活用触覚教材例	28
付録（関連情報）		
	3D造形に関する参考文献	35
	国内で入手できる主な個人向け3Dプリンター一覧	37

おわりに

1 3Dプリンターでできること

1. 3Dプリンターの活用について

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ます。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す。業務用の3Dプリンターは、安いものでも100万円を超えていました。個人が気軽に購入できるものではありませんでした。最近になって、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方式)の特許が開放されたことにより、FDM方式による一般向けの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のです。

視覚障害教育用の触察立体教材の入手に関しては適切なものがなかったり、自作するには困難であったりして、必要なものをそろえることが難しい場合がありました。個人向けの普及型3Dプリンターは、精度や信頼性では高性能の業務用プリンターには及ばないものの、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ます。

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ありません。そこで、このガイドブックでは、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、視覚障害教育用触覚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説明していくことにします。

2. 3Dプリンターの方式とその特徴

3Dプリンターには様々な印刷方式があります。廉価で出回っている3Dプリンターは、可塑性合成樹脂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方式というしくみによるものがほとんどです。まず、この方式も含めて3Dプリンターの印刷方式を知っておきましょう。

(1) FDM (Fused Deposition Modeling 熱融解積層) 方式

高温のノズルから溶けたフィラメントを噴出させ、台座に成形していく方式。

(2) 光造形方式

光で硬化する樹脂液をプールに満たし、その表面からレーザーを照射することにより硬化させて断面を積層して行く造形方式。

(3) 粉末焼成積層方式

粉末にした材料を平面にならし、その表層にレーザーをあてて焼結させた後に次の層の粉末をのせ各層を固化して積層する方式。

(4) 石膏パウダー積層方式

石膏パウダーを平面にならし、その表層にインクジェットで水滴を噴射して固化する方式。フルカラーモデルも成形可能。

(5) インクジェット方式

紫外線硬化樹脂をインクジェット方式で微細粒子にして、噴射して積層面を印刷する方式。

2 FDM 方式プリンターを知ろう

1. FDM 方式のしくみ

このガイドブックでは、FDM 方式の装置を利用することを前提としていますので、FDM 方式の仕組みについて詳しく紹介しておきましょう。

(1) 原理

フィラメントと呼ばれているひも状の樹脂を、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の先端からさらに細い糸状にして成型台(プラットフォーム)上に押し出し、2次元的に形等を描き、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ます。図1に、その3Dプリンターの1例を示します。



図1 FDM 方式プリンターの例

(2) 利用できる材料

利用できる素材は、ABS、PLA、ナイロンなどの樹脂です。溶解温度等の樹脂の特性が異なるため、装置によって利用できる樹脂が限定されます。

ABS 樹脂というのは、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す。ABS はそれらの原料の頭文字です。70～100℃で溶解します。ABS 樹脂の成型物は、後で述べる PLA 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ります。短所としては、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を受けて成型中に反りかえってしまい、形状が維持されなくなる場合があります。

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という特徴があります。変成が少ないため、大きい造形物を制作することが容易です。また、植物由来の成分で出来ているため、成型中に不快なおいや有害物質が少ないという特徴もあります。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こと、表面が硬いために後処理がしにくいことなどがあげられます。塗装する場合も ABS 樹脂に比べ表面に塗料がのりにくいという難点があります。

(3) 装置の価格帯

数万円台から数十万円と幅があります。また、購入時の価格は安価であっても、

材料となるフィラメントが高価であるなど、維持管理に経費が多く必要となるものもありますので、導入に際しては多角的に情報を入手することが大切だといえます。

(4) FDM 方式の長所

FDM 方式のプリンターは、他の装置に比べて、低価格の機器が登場しているところが大きな長所だといえます。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ます。装置や材料の取り扱いも比較的容易だといえます。材料のフィラメントの色のバリエーションも豊富です。

(5) FDM 方式の短所

高額な他の方式の機器に比べて、造形精度がそれほど高くはないということがあげられます。積層による造形のため表面に造形跡の凹凸が残ることがあります。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場合があります。また、機種によっては、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ります。このサポートについては、のちに詳しく紹介します。

(6) FDM 方式プリンターの特徴と機種

FDM 方式プリンターの特徴を以下に記します。また、現在、市販されている主な機種の性能を巻末にまとめましたので参照してください。

溶解ヘッド

FDM 方式の 3D プリンターは、ひも状のフィラメントと呼ばれる樹脂を高温で溶かし、さらに細い糸にして造形を行う「溶解ヘッド」という装置が大切な役割を

果たしています。この溶解ヘッドは、機種によって搭載数が異なります。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ます。低価格の3Dプリンターは、シングルヘッドが中心です。シングルヘッドの場合、造形において、一度に使用できるフィラメントが1種類となるため、造形物は単色になります。また、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ります。サポート部分は造形が終了したら取り除くものですが、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ります。

造形サイズ

個人ユーザー向け3Dプリンターは、机の上に設置できるほどのサイズのものが多く、造形できるサイズも限られています。造形サイズが大きいほど制作の自由度は高くなります。視覚障害教育用の触覚立体教材作成の場合、大きなものが1度で造形できるのは魅力的です。しかし、大きなものを造形しようとする、出力時間も長くなり、造形途中で造形に歪みが生ずるなど、トラブルも生じやすくなります。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、後で合体させる方が無難な場合もあります。そうした点からは、必ずしも造形サイズの大きい装置でなくてもよいということになります。3Dプリンターの導入に当たっては、造形サイズだけでなく、造形精度等も考慮して機種の選択を考える必要があります。

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す。この台が垂直軸（z軸）上を移動しながら造形作業が進んでいきます。

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ります。水平でない場合、プリント中に支障が生ずる場合があるからです。また、プラットフォームに油脂等がついていると、造形物が剥がれてしまうことがあります。定期的にアルコール等で洗浄することが必要です。

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す。ヒートベッドがある方が、プラットフォームから造形物が剥がれにくくなります。ただし、この場合、プラットフォームの温度が、90℃前後まで上昇するので、造形中は、安全面に注意する必要があります。

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います。この上下方向の積層の幅を積層ピッチといいます。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す。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、積層ピッチが0.1mmの場合は500層積み重ねることになります。

等高線が緻密な方がより立体的な表現に近くなるのと同様に、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、より精細でなめらかな立体の造形が可能になります。他方、積層数が多くなる分、出力時間は長くなります。

視覚障害教育用の教材は、触覚を利用することが前提となっているため、積層ピッチについては値が小さい方が望ましいといえますが、造形物の形状、3Dデータの方法、プリンターの精度などのさまざまな条件を勘案して決めていく必要があります。一般的には、出力時間を考慮して、積層ピッチ 0.2~0.25mm 程度で造形されています。

3 3D データを知ろう

3D データは、3D プリンターで立体物を造形する際のもとのデータです。その種類については、データ形式の異なるいくつかの種類がありますが、3D プリンターでは通常、STL(**S**tereo-**L**ithography)形式という3D データ形式が使われています。

STL 形式とは、立体の表面を数多くの3角形(ポリゴン)を組み合わせて表す方式です。ポリゴンを小さな3角形に分割していくことによって、よりなめらかな曲面をあらわすことができます。

あとで述べる3D CAD ソフトや3D CG ソフトで3D データを作成するような場合は、その3D データを、3D プリンターで出力できる形式に変換する必要があります。

(1) 3D データ(STL 形式)の準備

出力用の3D データを用意するためには次のような方法があります。

- ① 3D CAD ソフトや3D CG ソフトで3D データを作成する方法。これを3D モデリングと言います。
- ② インターネット上のサイトから3D データをダウンロードする方法。
- ③ 3D スキャナーで実物から3D データを生成する方法。

これらについて、説明します。

(2) 3D CAD ソフトと3D CG ソフトを利用する方法

3D データを作成するソフトは大きく2種類に分類できます。3D CAD ソフト

と3D CGソフトです。自分で造形したい立体物を自由に作成できることは、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すが、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りません。それぞれの違いを確認しておきましょう。

3D CADソフト

3D CADソフトは、CAD(Computer Aided Design)用に作られたソフトです。建物や機構、部品などの設計を支援するソフトで、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ます)や、平面上に描いたスケッチを押し出して立体化するという方法で、モデリングしていきます。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ます。

フリーソフトとして、「123D Design」(Autodesk)、「SketchUp Make」(Trimble)、といった3D CADソフトがあります。このガイドブックでは「123D Design」を活用した例を紹介します。

3D CGソフト

3D CGソフトは、Computer Graphics (CG)を作成するために用いるソフトです。映画のようなCGや3Dゲームのキャラクター、CGアニメーションなどを作るのに適しています。粘土を変形して形を作ったり、彫刻刀を使って塊を削ったりするような感覚でモデリングすることもできます。複雑な曲面を持つ物体のモデリ

ングに適しています。正確な寸法が求められる分野には向いていません。無償で入手できる3D CG ソフトとしては、「Blender」(Blender Foundation)、「Stoney-Desinger」(N.Ishizaka) などがあります。

触察用3Dデータ作成上の留意点

視覚障害教育用触察立体教材データを自作する場合は、特に触知覚の特性に配慮したデータを用意することを心がけます。そのポイントとして以下のような諸点をあげておきます。

- ①両手に収まる程度の適度の大きさであること。
- ②大きいものは小さく、小さいものは大きくして触察しやすい大きさを示すこと。

こうした、実物のサイズを拡大及び縮小した造形物は、指導の場面では、実寸がイメージできるように配慮して利用します。

- ③触覚で認知が困難な複雑な形状の場合は、触察が可能となるように形状をデフォルメして造形すること。

- ④触り心地を配慮すること。

触察では手指を動かして触る能動的な態度が重要になります。触り心地はその点で重要になります。

- ⑤安定性を配慮すること。

薄すぎる、折れやすい、壊れやすいなど触察に耐えない強度のものは、じっくり観察することの妨げとなります。

- ⑥安全面を配慮すること。

バリ等を除去して、けがをすることがないように後処理をする必要があります。

特に PLA 樹脂は固く鋭いバリが残りやすいので注意が必要です。

(3) インターネット上からデータを入手する方法

インターネット上には、無償でデータを提供している 3D データ提供サイトがあります。これらの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す。しかし、3D データ提供サイトのデータには、触覚で利用するということを意識して作られていないものも混在しているため、その利用には注意が必要です。視覚障害教育用触覚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選択が求められます。また、そのまま利用できない場合、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して利用することが可能な場合があります。したがって、インターネット上のデータを利用する場合であっても、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ります。

データが無償で提供されていて、触覚教材作成に有用であると思われるデータが蓄積されているサイトを表 1 に紹介しました。

表 1 インターネット上でデータを提供しているサイトと提供データ

提供サイト	データの内容
「国土地理院地理院地図 3D」	日本の標高データ、3D データを公開している。

	立体地図を作成するためのデータが入手できる。
「英国地質学研究所」	化石の3D データを提供している。
「NASA 3D Resources」	人工衛星や宇宙船等の3D モデルを公開している。3D プリンター対応データもある。
「スミソニアン博物館」(アメリカ)	収蔵品の3D データの無償配布を開始している。
「Thingiverse」	3D プリンター「Replicator」のメーカー MakerBot が運営しているサイトである。
「CGTrader」	高品質な3D データを有償で提供している。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オープンキューブが運営しているサイトである。
「DELMO」	アドウェイズ・ロボットが運営している。フィギュアの3D データが中心である。

表1に紹介した以外にも、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、さまざまな3Dデータをダウンロードして利用することが可能になっています。それらによって、適切な3Dデータを用意できれば、視覚障害教育用の教材として大きな力を発揮することができるでしょう。

ダウンロードデータの利用上の留意点

インターネット上からデータを取得して利用する場合、特に、知的財産権、肖像権、プライバシー権の侵害に注意する必要があります。造形した物を私的に利用する範囲では問題がありませんが、造形した事物の写真や動画を無断無許可でネット上に公開したり、出版物に掲載したりすることはできません。著作権については、文化庁のサイト等で詳細な情報が提供されていますので、参照してください。

文化庁「誰でもできる著作権契約マニュアル」

http://www.bunka.go.jp/chosakuken/keiyaku_manual/

(4) 3D スキャナーを利用する場合

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ます。図2に、3D スキャナーと、3D スキャナーで取り込んだデータの例を示します。

3D スキャナーは、物の表面の形状を点群データ（表面を点の座標の集合として表したデータ）としてとらえる装置です。点群データはそのままでは、3D プリンターのデータとしては使えません。ポリゴンデータやCAD データなどに変換する必要があります。こうしたデータの変換を自動的に行ってくれる3D スキャナーもあります。

3D スキャナーにも様々なタイプがあります。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なることが多いので注意する必要があります。3

D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りません。そうした場合、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ず、手作業での修正が必要だと思っていた方が良いでしょう。また、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、最初からモデリングした方が効率の良い場合もあります。

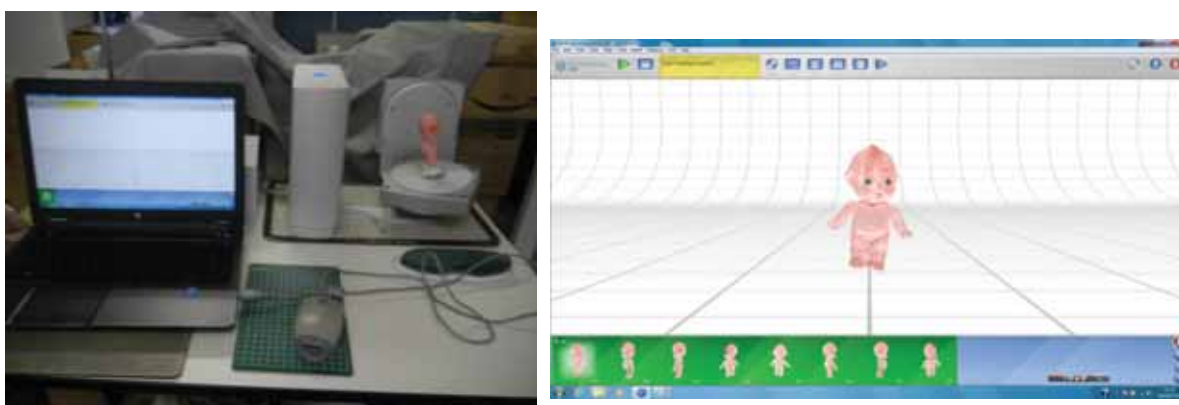


図2 3Dスキャナーと3Dスキャナーで取り込んだデータの画像

(5) データの作成事例

無料で利用できる3D CADソフト「123D Design」を使って、触察立体教材をモデリングしていくプロセスを簡潔に紹介します。「123D Design」の詳細な操作方法については、専門のマニュアルを参照してください*¹。

*¹例えば『はじめての「123D Design」』工学社

ここでは、算数の教科書に示されている体積を求める問題の図版を触察立体教材として作成する例で紹介します。5年生の教科書には図3のような立体の鳥瞰図が

掲載されています。

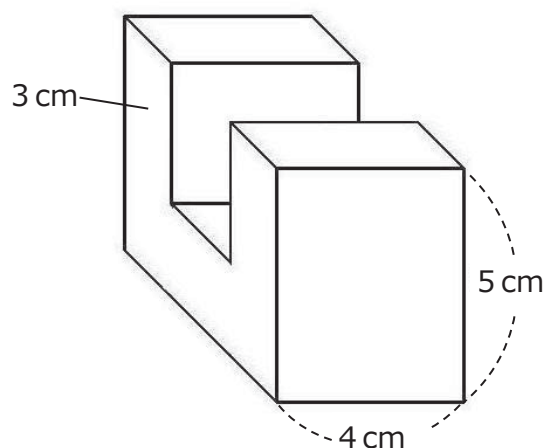


図3 教科書に示されている立体を表した図版

点字教科書では、この図は、図4のような投影図で示すことになっています。この図を触察しても、直感的に立体をイメージすることは困難です。

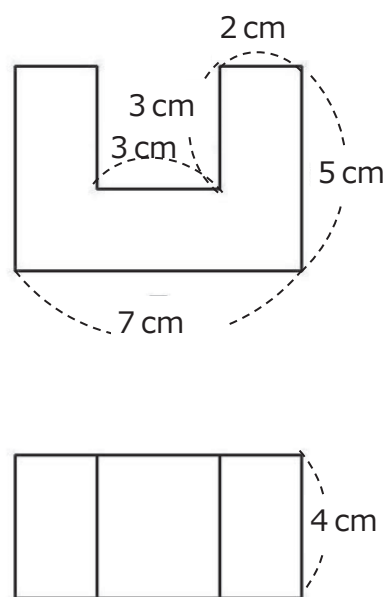


図4 点字教科書に示されている投影図による立体表示

図に示されている立体の形状を実際に観察することができれば、学習すべき内容も理解しやすくなります。そこでこの立体を「123D Design」でモデリングして

みました。

このような場合の3Dデータの作成では、パーツを組み合わせて造形していく方法と、塊を削って造形していく方法が考えられますが、ここではパーツを組み合わせて作成する方法について紹介します。この立体は3つのパーツから構成されていますので、それぞれのパーツ（パーツ1～パーツ3とします）を造形して、それを合成することで、この立体の3Dデータを作成する例を示します。

- 1 パーツ1の底面として、平面図形を作図します（図5）。

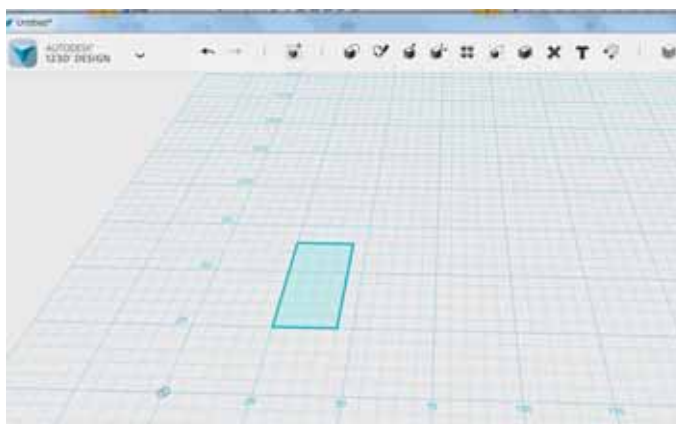


図5

- 2 平面図形から立体に加工してパーツ1を作ります（図6）。（平面をそのまま上方に押し出すようにして立体にする「押し出し」という方法があります。）

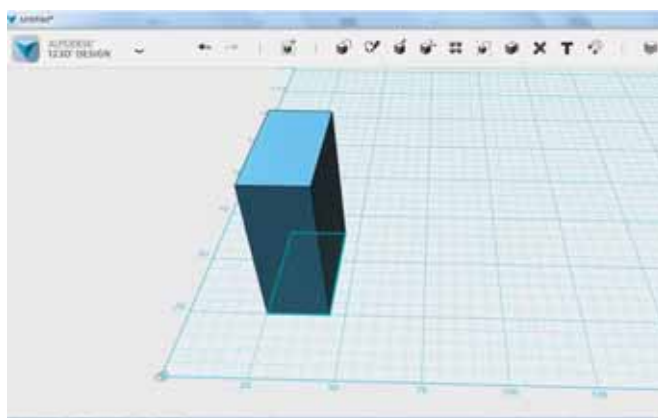


図6

3 同様の方法でパーツ2、パーツ3を作ります（図7）。

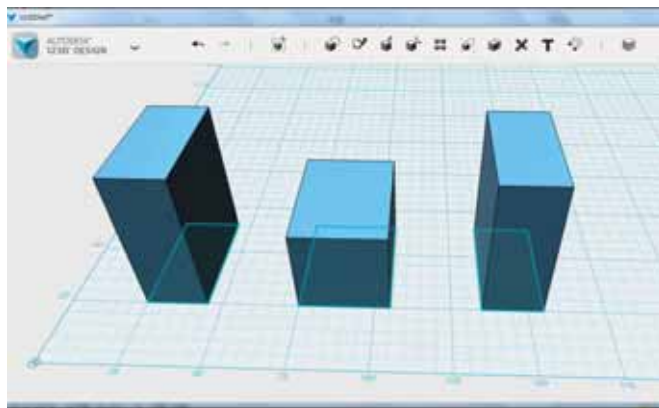


図7

4 3つのパーツを結合して教材データができます。これを STL ファイルとして保存します（図8）。これが3Dプリンター出力用のデータとなります。

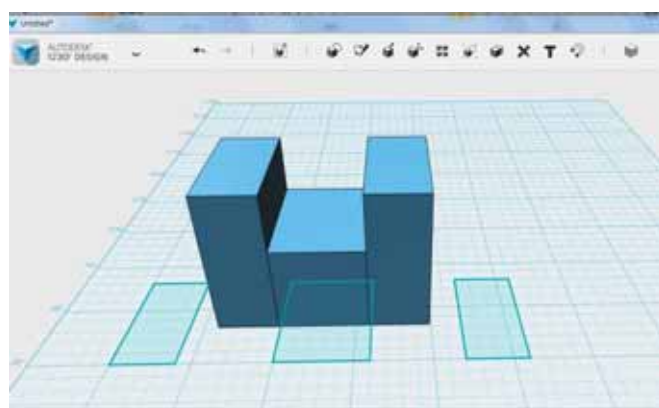


図8

4 3Dプリンターを使ってみよう

実際の造形例を示しながら、3Dプリンターによる造形上の工夫、配慮点などを紹介します。3Dプリンターの詳細な使い方自体については、それぞれのプリンターの取扱説明書や市販のマニュアルを参考にしてください。ここでは、3Dプリンター「AFINIA H480」を用いた例について紹介します。

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

- (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3Dプリンターが扱える形式（「ツールパスデータ」と言う）に変換する。3Dプリンターに附属しているスライスソフトや汎用の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プリンターの場合は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う。

(1) 3Dデータの作成と確認

造形前に使用するデータが完全な3Dデータであるかどうかを、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ます。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ありませんが、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となります。ディスプレイ上では3次元になっても3Dデータになっていない場合があるからです。このチェックソフトの汎用版としては、「MoNoGon」、「MiniMagics」などといったソフトがあります。

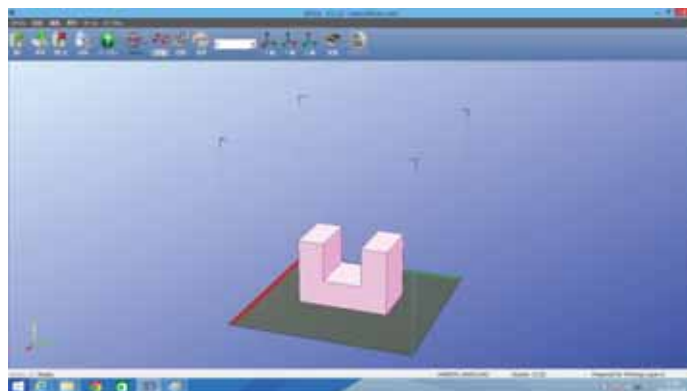


図9 画面上に表示された3データの形状

確認したデータを、3Dプリンター「AFINIA」で出力するために専用のアプリケーションで開くと、図9のような画面になります。

(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す。実は、このままでは、3D造形には使えません。造形物の塊を1層ずつ薄くスライスして、プリンターのヘッドを一筆書きのように動かして造形していくための経路を指示するパスデータに変換する必要があります。

3Dのデータをツールパスデータに変換するソフトをスライサーといいます。3Dプリンターには、スライサー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ります。また、ツールパスデータに変換する際には、積層ピッチ、ラフトの有無、サポート部分の有無、造形密度といった値も設定しな

ければなりません。

ここでは、「AFINIA H480」の専用ソフトを用い、積層ピッチを 0.2mm、ラフト有、サポート部分なし、造形密度大、品質ファインに設定しました。

スライサーで、データが処理された画面が図 10 です。フィラメントの使用量が 28.6g、作業時間が 2 時間 46 分、層のスライス数が 256 と表示されています。

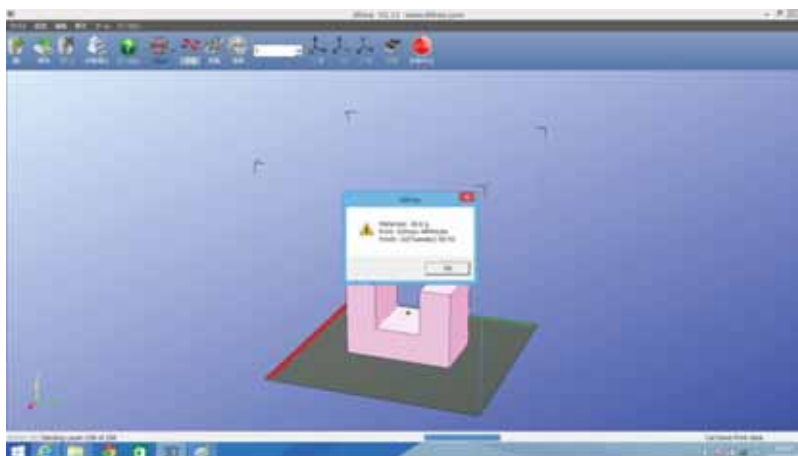


図 10 スライサーでのデータ処理の結果の表示

(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います。スタンドアロンで動作する機種では、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に読み込ませるだけで造形することができます。スタンドアロンで動作しない機種の場合は、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ことになります。無償のプリンター制御ソフトには、「Pronterface」などがあります。

3D プリンター「AFINIA H480」を用いて、「ラフト」（造形物につける土台のこと。25 ページの説明を参照。）付きでの印刷のプロセスを図 11 に示します。

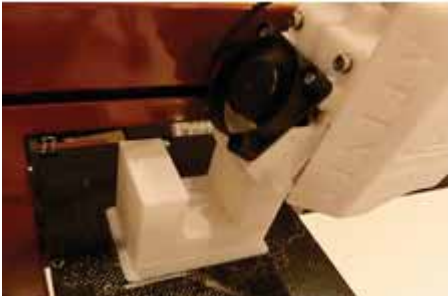
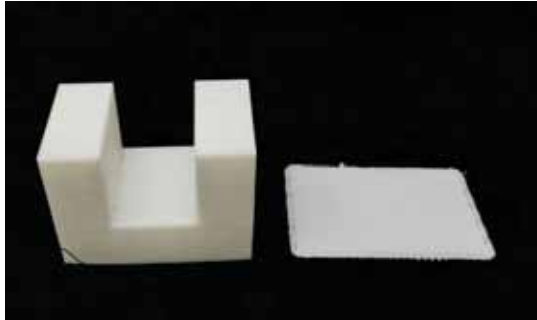
①ラフトの造形	②本体の造形開始
	
③下部の直方体まで造形	④上部の2つの直方体を造形
	
⑤上面を造形	⑥造形が終了
	
⑦ラフトの剥離と剥離用ヘラ	⑧造形物とラフト部分
	

図 11 造形のプロセス

(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ます。まずしなければならぬ作業は造形物をプラットフォームから剥がす作業です。図 11 の場合は、ラフトが付いているので、ラフトの部分から剥がしています。これにはプリンターに付属でついているヘラを用います。これは手作業で簡単に行うことができます。

それから、サポートがある場合は、それを除去します。FDM 方式のプリンターの多くは、シングル溶解ヘッドで、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ます。そのため、サポート部分と本体が密着しており、工具を使って切り離すこととなります。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ます。

FDM 方式ではできあがった造形物の表面に積層の段差が生じている場合があります。触察用教材として使用する場合、表面の触り心地への配慮も重要です。見た目には気にならない小さな突起物でも、触察ではノイズとなる可能性があります。ノイズとなる部分は、紙やすりで磨く、パテで埋めるなどの方法で、触ったときに違和感を持つことのないように仕上げを行います。また、ルーターなど様々な工具を用いると、より効率よく、触覚教材として利用するのにふさわしい仕上げを行うことができます。

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、この仕上げの作業の出来具合が非常に意味を持っています。造形したままの状

態でも、触察立体教材として問題なく使用できる場合も多いのですが、教材として使用する前に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まないようにしましょう。

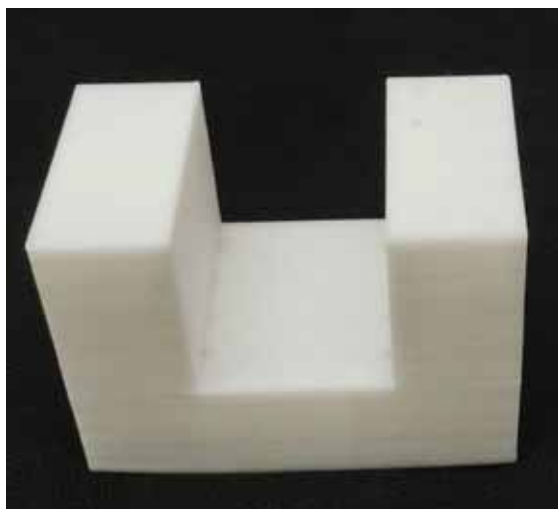


図 12 完成した触察立体教材

(5) 造形の失敗を防ぐためのコツ

造形途中の剥がれ

プラットフォームが暖まっていなかったり、油膜などが付着していたりするために、造形作業中に樹脂材料が剥がれてしまうことがあります。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います。これは、どちらかというと、ABS 樹脂に生じやすいトラブルです。ヒートベッドという加熱装置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します。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ります。

周囲の環境への注意

エアコンや扇風機の風が直接3Dプリンターに吹き付けられると、ヘッドやプラットフォームの温度が不安定になり、造形に影響が及ぶ場合があります。また、室温が低すぎると、樹脂が急速に冷えて剥がれやすくなります。3Dプリンターに直接風が当たらないような工夫をしましょう。

樹脂の詰まり

造形作業の途中で樹脂が溶解ヘッドに詰まってしまうことがあります。ヘッドの温度が適切に設定されているか確かめます。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ります。フィラメントの品質も影響します。

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困難です。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ありません。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場合は、設定の変更が必要となります。

「ラフト (Raft)」とは

ラフトは土台を意味しています。造形の前段として数層の土台を造形し、その上に本体を造形していきます。ラフトにより、プラットフォームとの密着性が高まり、剥がれにくくなります。また、プラットフォームの微細な誤差を吸収する機能も果たしています。基本的にはラフトは“有”に設定して造形します。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ます。

「サポート」とは

造形物にオーバーハング状（水平方向に突き出している状態）になっている部分がある場合は、基本的に支えが必要です。この支えをサポートといいます。その角度や突き出した部分の長さ等によってはサポートなしでも造形できる場合があります。プリンターの精度や設定によっても異なってきます。図 13 に、サポートを付けて出力した造形例を示します。

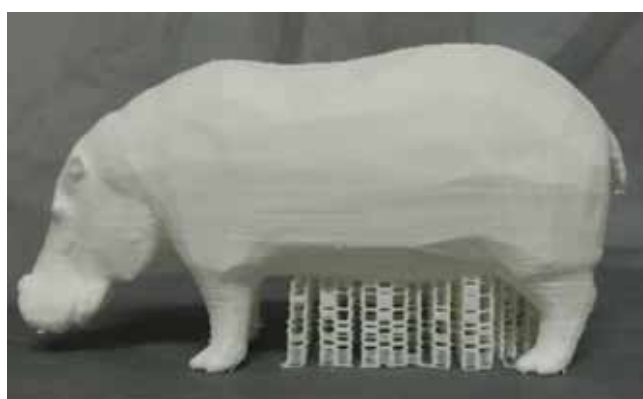


図 13 サポートを付けて出力した造形例

「充填密度」とは

充填密度は、立体の中空部の埋め具合のことです。スライサーソフトで設定します。格子状やハニカム状など数種類のパターンが用意されています。密度を高くすると、造形物の強度や精度が向上します。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ります。

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といえます。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ものです。

目的に合った造形手順

段差が生じやすい形状のデータの場合、段差を有効に利用する場合は横置きで造形し、段差を目立たなくするためには、縦や斜めに配置して造形すると効果的です。細かな凹凸模様は、広い横断面はきれいに出にくく、縦置きに配置して造形するとよりきめ細かく印刷できることを知っておくと良いでしょう。

機種による相違の理解

造形精度、造形サイズ、造形時間などは機種ごとに異なります。機種毎に特徴を把握して利用していくことが望まれます。

5 3Dプリンター活用触覚教材例

ここでは、実際に3Dプリンターで造形した教材を紹介します。作成方法等の詳細については、本報告書の第IV章に記してありますのでそちらをご覧ください。

1. 自作した3Dデータでの造形例

(1) 正多面体の教材

図14に、正多面体の模型を示します。正多面体の辺の長さがある程度以上の長さになることに留意して、かつ全ての正多面体を、一定の大きさの球に内接する大きさに造形しました。その球の大きさは直径80mm、最小の辺の長さは、正12面体での約30mmとなっています。



図14 正多面体の模型（制作：金子 健）
左から、正4面体、正6面体、正8面体、正12面体、正20面体です。

(2) 前方後円墳の復元模型

図 15 に、3基の前方後円墳の復元模型を示します。これらの古墳は、小学校、中学校、高等学校の歴史の学習において取り上げられるものです。



図 15 前方後円墳の復元模型 3 種 (制作：金子 健)
左から箸墓古墳、五色塚古墳、仁徳天皇陵です。

(3) 立体地球儀

図 16 に、立体地球儀の造形例を示します。この例では、陸地の部分を一様な高さで、約 1 mm 突き出させています。



図 16 立体地球儀 (制作：金子 健)
左は日本を正面とした側からみたもので、右はその反対側からみたものです。

(4) DNAの模型

図17に、DNAの模型を示します。その構造の理解を主眼として、糖-リン酸の連なりも塩基も板状のものにするという単純化を行っています。



図17 DNAの模型(制作:金子 健)
左の2つを組み合わせると、右のようになります。

(5) 立体月球儀

図18に、立体月球儀の模型を示します。月の凹凸が触って分かりやすいように、高さ方向については実際の約5倍にしています。



図18 立体月球儀(制作:金子 健)
左は月の表側(地球に面している側)で、右は裏側です。

2. インターネットから入手したデータでの造形例

図 19～図 23 に、インターネット上に掲載されているデータを用いて造形した例を示します。触って細部の情報が取れるように、図 20 のものを除いて、元のデータを拡大して造形しています。



図 19 アンモナイトの化石
模型（制作：金子 健）



図 20 小惑星イトカワの模型
（制作：金子 健）

上と下のものは、長軸方向で両側から
みたものです。



図 21 三葉虫の模型
（制作：金子 健）
左は元のデータの大きさと
造形したもので、右がその
2.2 倍の大きさと造形した
ものです。



図 22 耳小骨の模型（制作：金子 健）
右からツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨で、
この順番で鼓膜から蝸牛につながりま
す。



図 23 鎌倉の大仏の模型（制作：金子 健）

3. 入手したデータを加工しての造形例－地理院地図3Dについて－

国土地理院の「地理院地図3D」(<http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/site/index.html>) から、日本各地の地形図の3Dデータをダウンロードすることができます。そのデータを利用して立体地形図を作成することができます。

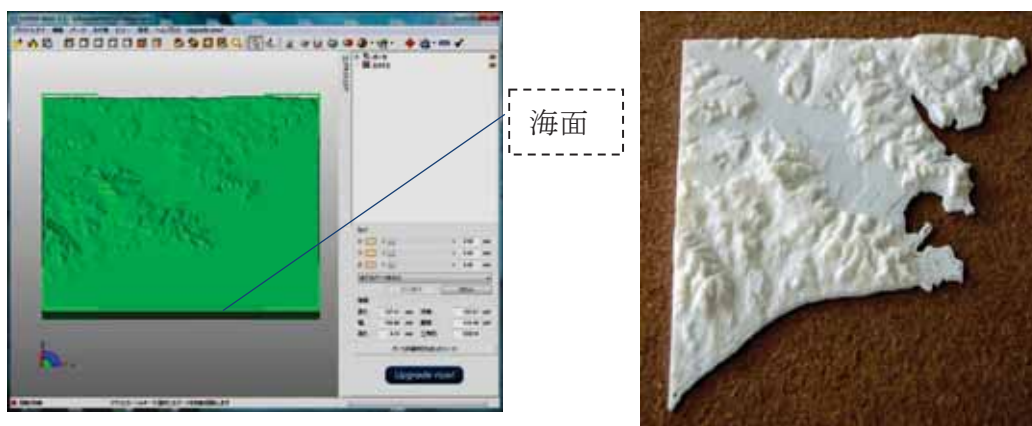


図 24 立体地形図の元データと造形した立体地形図(制作:金子 健)
左は立体地形図の元データです。左の元データで海岸線の部分が明確に浮き出していないことについて、データを加工することによって、海岸線の部分が明確に浮き出るようにして造形しています。

4. 3D スキャナーで3D データを生成した例

ここでは、「NextEngine HD Pro」というスキャナーを用いて作成した教材を紹介
します。

図 25、図 26 は、「天保通宝」の造形例です。

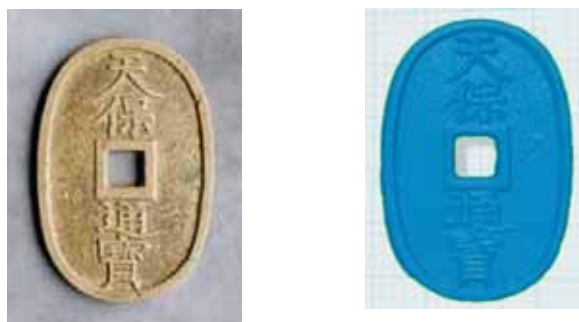


図 25 「天保通宝」の実物画像と3次元データ（制作：大内 進）
左は実物画像、右は3D スキャナーで取得した3次元データの画像。

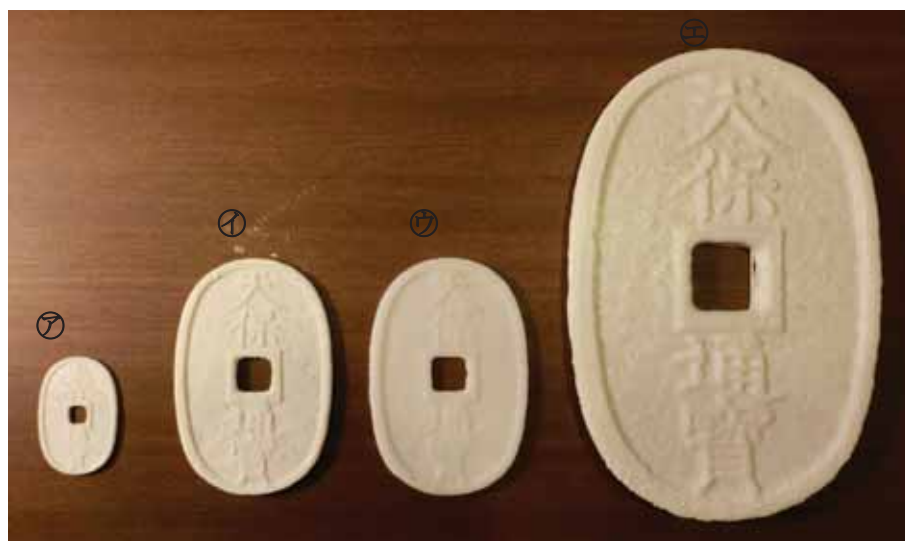


図 26 3D プリンターで造形した「天保通宝」教材（制作：大内 進）

左から実物サイズ、4倍サイズ2種、16倍サイズ

図 27 は、ルイブライユ生誕 200 年を記念して、米国で発行された記念コインです。これについては、両面の 3 次元形状を 3D スキャンしました。図 28 は縦横それぞれ 2 倍（面積 4 倍）で出力した造形作品の画像です。視覚障害のある方にとって、実物では、表面に描かれている人物像を詳細に捉えることは困難でしたが、拡大した造形教材では、顔が描かれていることは理解できました。さらに大きく拡大して造形することにより、ルイブライユの顔面の詳細や裏面の子どもが点字を読んでいる画像をとらえることが可能になると思われます。



図 27 「ルイブライユ生誕 200 年 記念コイン（米国）」



図 28 3D プリンターで拡大造形したコインの表面（左）と裏面（右）

付録 1

3D 造形に関する参考文献

『3Dプリンター デスクトップが工房になる』

3D データを簡単に作る方法をはじめ、ホビー、デザイン、アート、フィギュア、建築等の目的に応じたアプローチを示し、同時に豊富な実践例も紹介しています。各方面の専門家に「3D プリンター」の可能性を取材している。各種 3D プリントサービスの使い方やサービスの違いも紹介されており、3D プリンターを試用してみたい場合の参考になります。

『3Dプリンター導入&制作 完全活用ガイド』

3D プリンターの製品の種類や値段、性能、使い方などが紹介されています。導入事例や 3D プリンターによる造形の楽しみ方などの活用面についても詳細に解説しています。

『3Dプリンター実用ガイド』

3D プリンターを利用したデジタルものづくりに関連する実用的な知識とノウハウが紹介されています。複雑な制作活動により 3D 造形を行っていく具体的な方法が詳しく説明されています。著者の豊かな経験に基づいて、造形のノウハウやコツなども紹介されています。

『3Dプリンター完全マスター (NIKKEI TRENDY BOOKS)』

3Dプリンターとはどんなものなのか、どんなビジネスや商品作りが可能なのか、3Dプリンターはものづくりに大きな影響を与えるのか、私たちの生活にどのような変化をもたらすのか等の観点から3Dプリンターの現在・未来を検証しています。

『3Dプリンターではじめるデジタルモノづくり』

3D CADを利用した3Dモデリング、3Dプリンターの原理及び使い方、3Dプリンターの自作などについてわかりやすく紹介しています。

『初心者 Makers のための3Dプリンター&周辺ツール活用ガイド』

3Dプリンター入門書である。3Dプリンターとはどのような用途で現在使われているのか、どのようなことに向いているのか、その仕組みはどのようなものなのか、3Dプリンターを使うためには何が必要なのか、3Dプリンターにはどのようなものが存在しているのかなどについて初心者向けに記されています。

付録 2

国内で入手できる主な個人向け 3D プリンター一覧

製品名 製造元 代理店	樹脂素材	積層 ピッチ	特 徴 (価格帯は、～5 万円、～10 万円、～30 万円、～40 万円、～50 万円の大枠で分類した。)
AFINIA H479 Microboards Technology	ABS	0.15 ～ 0.40	<ul style="list-style-type: none"> 造形サイズ XVZ(mm) : 140×140×135 マニュアル : 日本語 サポート : 有 価格帯 : ～20 万円 その他 : パーソナルタイプとしては高い出力精度。
AFINIA H480 Microboards Technology	ABS, PLA	0.15 ～ 0.40	<ul style="list-style-type: none"> 造形サイズ : 140×140×135 マニュアル : 日本語 サポート : 有 価格帯 : ～20 万円 その他 : パーソナルタイプとしては高い出力精度。自動水平調整機能、自動高さ調整機能。
Bellulo 株式会社システムク リエイト	Poly Plus PLA, Poly Max (ABS ライ ク PLA), Poly Flex (軟 質 PLA)	0.05 ～ 0.35	<ul style="list-style-type: none"> 造形サイズ : 200×200×200 マニュアル : 日本語 サポート : 有 価格帯 : ～30 万円 その他 : 2 ヘッド、3 種類の素材が使える。柔らかい素材の利用が可能。 Poly Plus 11 色, 半透明 4 色, Poly Max 2 色 (白、黒) , Poly Flex 4 色 (白、黒、黄、橙)
Blade-1 株式会社 ホットプロシード	PLA, ABS	0.2mm	<ul style="list-style-type: none"> 造形サイズ : 100×100×100 マニュアル : 日本語 サポート : 有 価格帯 : ～20 万円 その他 : 日本製。高い静粛性。金属製ヘッド。
BS01 BONSAI LAB	PLA, ABS (12 色)	0.1	<ul style="list-style-type: none"> 造形サイズ : 150×130×100 マニュアル : 日本語 サポート : 有 価格帯 : ～10 万円 その他 : プリントスピードは毎秒 100mm。デュアルヘッドに対応。

Cube 3D Systems 日本バイナリー株式会社	PLA, ABS カートリ ッジ式	0.2	・造形サイズ：140×140×140 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円 ・その他：コンパクトサイズ。
Cube3 3D Systems	PLA, ABS (23色選 択可能、う ち蛍光色 2色)	最小 0.07	・造形サイズ：152.5 x 152.5 x 152.5 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円 ・その他：Cubeの第3世代。デュアルヘッドで2色同時出力可能。WifiとUSBスティックでプリントデータを転送できる。家庭向け安全設計。
Cube Pro 3D Systems	PLA, ABS, dissolvab le natural、 Nylon	最小 0.07 SDMode 0.2mm、 Fast mode 0.3mm	・造形サイズ：1ヘッド出力 (CubePro) 273x273x241 2ヘッド出力 (CubePro Duo)、229x 273x241 3ヘッド出力 (CubePro Trio) 185x273x241 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～60万円 ・その他：Wifiや本体に搭載されたタッチスクリーンでも操作可能。
CubeX 3D Systems 株式会社システムク リエイト BRULÉ, Japan	PLA, ABS, カートリ ッジ式	0.125m m	・造形サイズ：バスケットボールサイズの出力が可能 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～50万円 ・その他：最大3色 (3種類の樹脂) 同時出力が可能。
C4C ArrayZ オレンジデザイン株 式会社	PLA, ABS	0.1	・造形サイズ：200x180x200 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～10万円 ・その他：自動水平調整機能付き。
da Vinci 1.0 XYZプリンティング	ABS, PLA (13色)	0.1	・造形サイズ：幅 200x200x200 ・マニュアル：日本語 ・サポート：ウェブサイトから 3D モデルデータをダウンロードできる。 ・価格帯：～10万円 ・その他：カートリッジ式フィラメント。豊富なフィラメント色。
DS1000 スマイルリンク株式 会社	ABS, PLA, ナイロン,	0.05	・造形サイズ：幅 105x105x105 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有

	PET		<ul style="list-style-type: none"> ・価格帯：～20万円 ・その他：高速出力。フィラメント素材が選択できる。
HBOT 3D 有限会社エイジアネット（ルナヴァースト）	PLA, ABS	0.1	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：300x300x300 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～50万円 ・その他：ポーランドの3D Printers Sp. z o.o.の製品。高剛性アルミ溶接フレーム、高精度・高速出力。
LUNAVAST-PRUSA-i3 有限会社エイジアネット（ルナヴァースト）	PLA, ABS	0.1	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：200×200×180 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～10万円 ・その他：組み立てキットと完成品がある。
MAESTRO makuake	PLA, ABS	0.05	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：高さ32cmまで造形可能 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円(クラウドファンディング)
MakiBox A6 LT 有限会社エイジアネット（MakiBOX）	PLA	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：150 x 90 x 110 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～5万円 ・その他：部分的に組立済みのセミアッセンブリーキット。アクリル製ヒートッドベッド。
MakiBox A6 HT 有限会社エイジアネット（MakiBOX）	PLA, ABS	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：150 x 90 x 110 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～5万円 ・その他：部分的に組立済みのセミアッセンブリーキット。アクリル製ヒートッドベッド。
Makerbot Replicator 2 MakerBot® Industries, LLC 日本バイナリー株式会社 BRULE Japan	PLA	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：285×153×155 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～40万円 ・その他：積層方向の解像度0.1mm

Makerbot Replicator 2X MakerBot® Industries, LLC 日本バイナリー株式会社 BRULE Japan	PLA, ABS	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：246×152×155 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～50万円 ・その他：積層方向の解像度 0.1mm
Mbot Grid II Mbot 日本 3D プリンター株式会社	PLA, PVA, 水溶性樹脂	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：260×230×200 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～30万円 ・その他：積層方向の解像度 0.1mm
MF-1000 ムトーエンジニアリング	ABS, PLA	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：200×200×170 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円 ・その他：日本製、ヒーター付き、シングルヘッド
MF-1100 ムトーエンジニアリング	ABS, PLA	0.05mm (条件付き)	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：200×200×170 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～30万円 ・その他：日本製、ヒーター付き、シングルヘッド
MF-2000 ムトーエンジニアリング	ABS, PLA	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：300×300×300 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～50万円 ・その他：日本製、ヒーター付き、ダブルヘッド
PRN3D マイクロファクトリー株式会社	PLA, ABS	0.05mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：170 x 160 x 170 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～10万円 ・その他：ヒーターベッドを装備。組み立てキット、完成品を販売。
Replicator2X MakerBot® Industries, LLC 日本バイナリー株式会社	ABS, PLA	0.1mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：246×152×155 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～40万円 ・その他：2色同時プリントが可能。
REPRAP PROFESSIONAL オリオスペック	PLA	0.05	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：200 x 200 x 180 ・マニュアル：日本語

			<ul style="list-style-type: none"> ・サポート：有 ・価格帯：～10万円 ・その他：出力スピードは120mm/秒。スタンドアロン出力対応。
SC00V0 C170 株式会社 オープンキューブ	PLA	0.1	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：175 x 150 x 150 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円 ・その他：国産プリンタ。非加熱式ベッド。
SC00V0 X9 株式会社オープンキューブ	PLA, ABS	0.05	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：200 x 230 x 170 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～30万円 ・その他：ボディの約9割に日本製部品を使用。造形精度と信頼性を高い。
SC00V0 X4 アビー株式会社 (Abee Corporation)	PLA (10色)	0.05mm	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：140 x 180 x 100 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円 ・その他：本体の奥行き26.7cm。
UP Plus 2 TierTime Technology 社 株式会社サンステラ	PLA, ABS,	0.15	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：140 x 140 x 135 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～20万円 ・その他：ソフトウェアでプラットフォームの高さを自動調整。 コンパクトサイズ
UP! mini Delta Micro Factory Corporation	ABS, PLA	積層方 向は 0.25	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：120 x 120 x 120 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～10万円 ・その他：1.75mmのABSフィラメントであれば複数メーカーのものが利用可。
ZEUS AIO Robotics, Inc ゲッコーアンドカンパニー	PLA	0.1	<ul style="list-style-type: none"> ・造形サイズ：180×150×260 ・マニュアル：日本語 ・サポート：有 ・価格帯：～40万円 ・その他：3Dスキャナと3Dプリンターを一体化。スキャンの最大サイズは25.4(Dia)×17.8(H)cm。

本資料を作成するにあたっては、メーカー各社のカタログ、ホームページの記載内容から情報収集すると共に、下記の資料を参照しました。

- (1) 3Dプリンター比較表・機種一覧
3d-printer-studio.com/3dprinter-compare/
- (2) 徹底比較！国産の家庭用3Dプリンターの価格・性能
<http://makerslove.com/3410.html>

おわりに

このガイドブックでは、視覚障害教育用の触察立体教材作成のための3Dプリンターの活用に焦点をあてて3Dプリンターの活用法を紹介しました。

近年の普及タイプの3Dプリンター、3Dスキャナー、そして関連するソフトウェアの開発はめざましく、さらに発展していくものと思われます。3Dプリンターの普及、発展は、視覚障害教育用の触察立体教材作成に大きな恩恵をもたらしてくれることが大いに期待されます。

しかしながら、3Dプリンターがあれば何でもできるという誤解も生じやすいものです。3Dプリンターがあるから利用するという姿勢では、児童生徒が有効に活用できる触察立体教材の作成は望めません。

3Dプリンターが普及する前に、触察立体教材作成という観点から3Dプリンターに「できること」、「できないこと」、あるいは「データの作成や造形作業で留意すること」などについて、しっかり理解啓発を図っていくことが大切であると考えます。そのような観点から本ガイドブックをまとめました。

この小冊子が、これからの触察立体教材の作成にいささかでも役に立つことができれば幸いです。

視覚障害教育用触察立体教材作成のための3Dプリンター活用ガイドブック

平成 27 年 3 月発行

発行 独立行政法人国立特別支援教育総合研究所
〒239-8585
神奈川県横須賀市野比 5-1-1
URL : <http://www.nise.go.jp>

○本資料に関する問い合わせ先

独立行政法人国立特別支援教育総合研究所

大内 進・金子 健



リサイクル適性^(A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。