

技術開発室に導入された 3D プリンターとその活用例の紹介

浦野幸子^{*†}・細井健司^{*}

Production Examples of the 3D Printer newly introduced in the Laboratory for Technical Support, Technical Division of ERI

Sachiko URANO^{*†} and Kenji HOSOI^{*}

はじめに

技術開発室（開発系）では機器の試作・開発を通して、地震研究所内の観測・実験研究の技術支援を行っている。研究所内の様々な分野から要望が寄せられるため、技術開発室（開発系）での製作内容は多岐にわたる。工作部門では金工と木工による製作を行ってきたが、4～5 年程前から 3D プリンターでの製作の要望もでてきた。そこで製作業務の幅を広げるため、2020 年 3 月に 3D プリンターを導入したので、製作事例の紹介をする。

3D プリンターの仕様と素材について

3D プリンターの機種選定にあたり重視したのは、操作の簡便さと扱える材料の種類が多いことである。技術開発室（開発系）にとってはじめての 3D プリンターであり、まずはニーズの掘り起こしや製作技術の取得を目的とする入門機としての導入を考えた。そのため、家庭用としても普及しており、恒温環境や薬剤処理、粉じん対策等の付帯設備が不要な FDM（材料押出堆積法）方式のプリンターが候補となった。また、先述の通り、依頼製作への要望は多岐にわたるため、多くの種類の材料がサポートされている機種が良いと考えた。これらの条件を満たす機種として Raise3D 社の E2 を選んだ。FDM 方式で、最大造形サイズは 330×240×240 mm である。このプリンター自体はポリプロピレン、ポリカーボネート、PET 等様々な種類の樹脂フィラメントを扱える。しかし現状、技術開発室で保有し、造形経験があるのは PLA（ポリ乳酸）と ABS のみである。PLA、ABS とともに価格は 1 kg 当たり約 5000 円である。PLA は低温で造形ができるため、造形の失敗が

起きにくいことと、植物由来の樹脂であり環境負荷が少ないことが特長である。欠点は 60℃ 程度でも変形してしまうこと、耐環境性に乏しいこと（生分解性がある）である。また、硬く割れやすいため、後加工が施しにくい材料である。ABS は PLA と比較して使用温度が高く、靱性があるといわれている。導入初期は使用温度の条件等により PLA で不十分な場合にのみ ABS を選択していた。しかし、ABS も造形が極端に難しい訳ではなかったため、最近では汎用性の高い ABS を用いることが多い。今後、耐薬品性や耐候性が求められることがあれば、他の材料や、コーティング剤の使用を検討したい。

製作例 1：アジャスタボルトの試作

野外観測で装置（重力計）を露岩上などに設置するための基台の脚の部分となるロータリー（首振り）アジャスタボルトの試作を行った。最終的に製作した基台の写真を図 1 に示す。凹凸のある場所でも水平に調節できるよう、基台は 3 本のアジャスタボルトで支持される。実際に使用する基台、および、アジャスタボルトは熱膨張係数の低い難加工材のスーパーインバー鋼で製作する必要がある。事前の形状確認のため 3D プリンターによる試作が必要であった。アジャスタボルトは 30° くらいまでの傾斜のある地面でも安定を保てるよう、それぞれ球面で接するボルト部とベース部から成る。アジャスタボルトの断面図を図 2 に示す。要求される角度で基台を支持できるように、ボルトの先端部分の太さや球面部分の大きさ、ボルト部とベース部が分離しないようにするストッパーのねじの位置や長さなど複数種の試作を行った（図 3）。また、凹凸のある場所でも安定を保てるよう、ベース部の底面には綾目の溝加工を施している。この溝加工のパターンも 2～3 種類の試作を行い、最終的な形状を決定した。試作品を実際に岩石に押し当てて形状を確認している様子を図 4 に示す。依頼した教員によると、図面だけでは設置の状況やストッパーの干渉の具合を判断しにくかったため、3D プリンターの試

2021 年 9 月 27 日受付, 2021 年 11 月 25 日受理.

[†] urano@eri.u-tokyo.ac.jp

^{*} 東京大学地震研究所技術部技術開発室（開発系）

^{*} Laboratory for Technical Support (Development Group), Technical Division, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

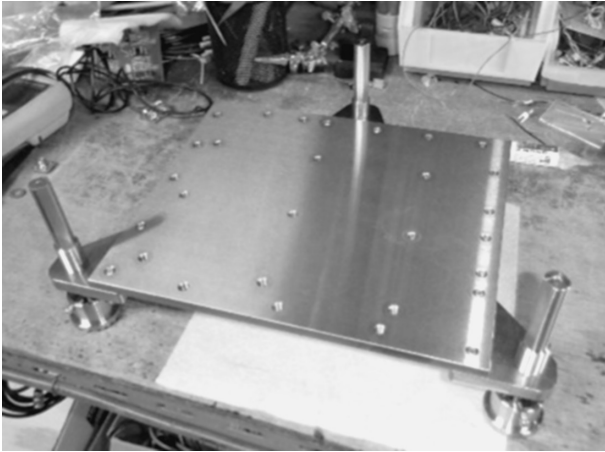


図 1. スーパーインバー鋼製の基台

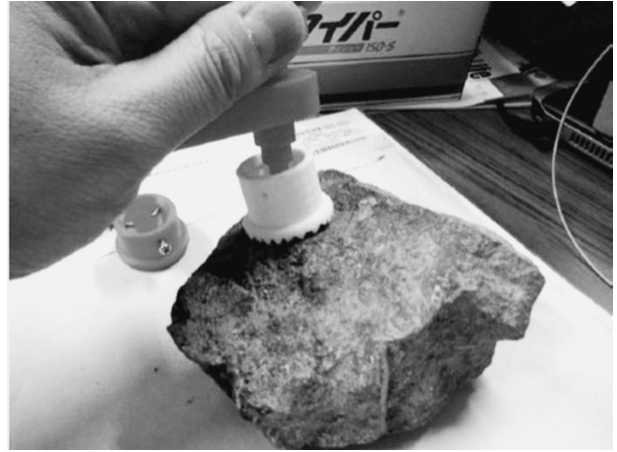


図 4. 形状の確認

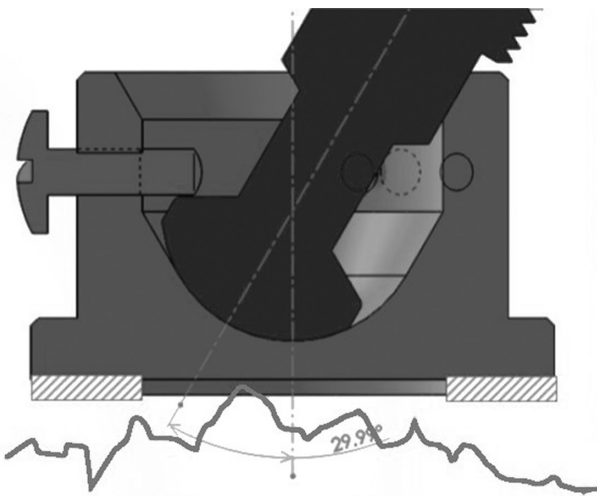


図 2. アジャスタボルトの断面図
 (濃色部：ボルト部、灰色部：ベース部、斜線部：ベース部底面の溝加工部分、灰色太線：想定される設置箇所（岩石）の凹凸)

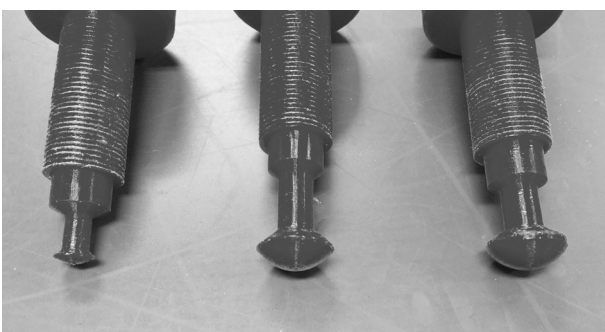


図 3. ボルト先端形状の試作

作による形状の確認は有効であったとのことである。

製作例 2：回路基板の固定具

半導体素子の動作に必要な周辺回路や端子などが搭載された評価基板と呼ばれる基板がある。これは本来、素子の試用に用いるもので、最終製品に組み込むことを想定した

ものではない。しかし、開発室の依頼工作では、扱いの容易さから評価基板を装置に組み込むことがある。紹介する例では、加速度センサーの評価基板を使用している。製作依頼のあった当初は、ケースの振動に追従するように接着剤で固定してほしいとのことであった。しかし、センサーの不具合（実際はセンサーではなく周辺機器の問題であることが後に判明）が頻発したため、現場で基板のみを交換できるよう、取り外しが可能な固定方法に変更してほしいとの要望をうけた。先述の通り評価基板には固定用の穴等はないので、基板に合わせた固定具を試作した（図 5）。並行試験により、接着剤を使用したものと同等の結果が得られたとのことだったので、以後の製作ではこの部品を使用することになった。ケース内にはほかの装置も組み込むため、空間的な余裕があまりなく、また基板には電子素子による凸部があるので、部品はそれらを避けるために機械加工するにはやや複雑な形状になった。また、この装置は同じものを数十台製作する必要があったが、3D プリンターでは複雑な形状であっても人手を介さず多数の部品を製作することができた。

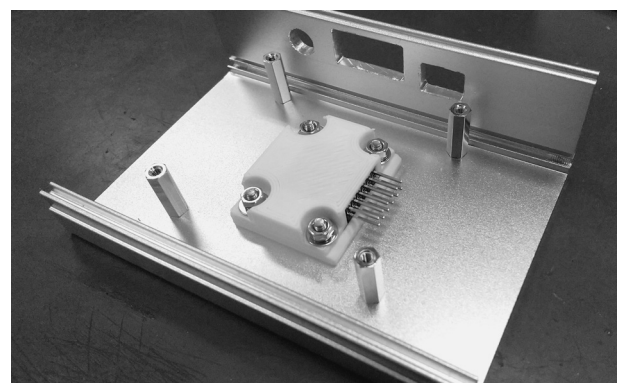


図 5. 評価ボードの固定具（中央の白い部分）

製作例 3：電子回路のケース

回路製作依頼では完成した回路基板をケースに組み込む場合が多い。今までは市販のケースを使用していたが、これを 3D プリントで製作した（図 6）。市販のケースと異なりサイズや形状の自由度が高いのが利点である。また、スパーサーを一体化したり、造形中に一時停止してナットを埋め込んだりすることで、組立を簡略化することもできる。コネクタやスイッチは、角穴や特殊形状の穴が必要な場合も多いが、その作成も容易である。

製作例 4：電子回路のケース（金属製）

前項のケースは、放熱が必要な場合や、ノイズ対策として金属製ケースが求められる場合には不適である。そこで 3D プリンター出力品を利用して金属製のケースを製作する方法を考案した。製作したアルミケースを図 7 に示す。本体はアルミ板 6 枚から成り、それらを接続する柱部分に 3D プリント部品を使用する構成としている。柱部分の図面を図 8 に、柱の形状を決定する際に留意した点を表 1 に示す。

回路用のケースは通常コネクタ取付のための穴をあけて使用するが、市販のアルミケースは板がコの字型に折り曲

げられているものが多く、その場合、単純な丸穴の加工であっても治具が必要になる。また、ケースによっては穴あけができる面が限られてしまう場合がある。今回製作したケースは板材で構成されているため、穴あけ加工が容易である。その上、地震研究所で保有するワイヤー放電加工機を用いれば特殊な形状の穴もあけることができる。3D プリンターの出力品をそのまま使用する場合に比べ、板材の準備や穴あけに手間がかかるものの、市販ケースの中から条件に合うものを選び出すよりも、サイズや形状の自由度が高いというメリットがある。

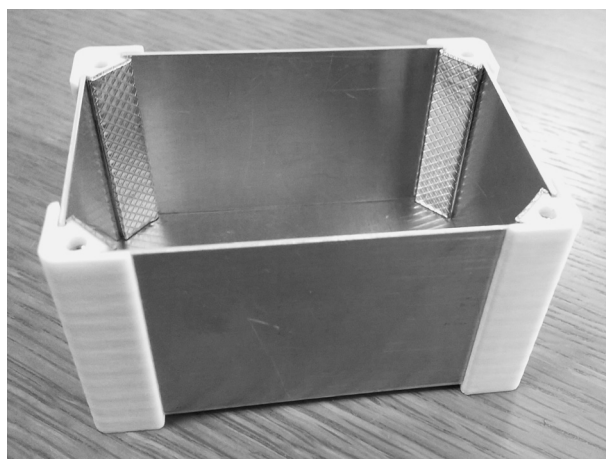


図 7. アルミ板で製作したケース



図 6. 電子回路のケース

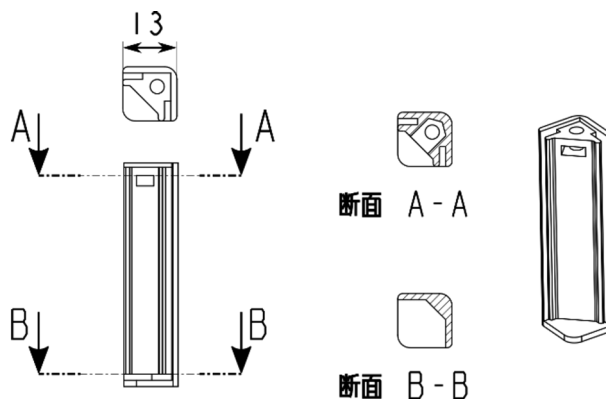


図 8. 柱部分の図面

表 1. ケースの柱の設計上の留意点

| 設計上の留意点 | 期待される効果 |
|--------------------------|---|
| 上面以外の板は溝に差し込む（サイズが小さい場合） | ねじ止め箇所の低減 (サイズが大きい場合、底面もねじ止めにした方が組み立て易い) |
| 底面の板は角を5mm程度落とす | サポート材を除去しやすくする 底部を支える部分の強度の確保 |
| 雌ねじは金属製ナットを嵌め込む | ねじ部を3Dプリンターで造形するには精度と耐久性が不足 |
| 柱の内側に銅箔テープを貼付 | ケースを構成する板材同士の電氣的接続 |
| 柱の内側はナットの保持に必要な最低限の形状 | ケースの内側を有効利用するため |
| ケースの外側の板材保持部は小さくしない | 小さいと板がずれて組み立てにくい |

製作例 5：山体模型

研究打ち合わせやアウトリーチに使用するための山体模型の製作依頼があった（浦野・宮本，2019）。この時は、日本国内の任意の場所の 3D データをダウンロードすることができる地理院地図（国土地理院ウェブサイト）のデータの編集のみを技術開発室（開発系）で行い、3D プリントは外注した。外注先の 3D プリンターは石膏の粉末造形で、インクジェットによる造形物へのフルカラー印刷が可能であったため、山体表面に航空写真を印刷した。一方 FDM 方式の 3D プリンターでは形状の再現しかできない。だが、樹脂を染み込ませた薄い紙を曲面に貼るデコパージュという技法を使えば、造形物表面への画像の貼り付けができるのではないかと考え、製作を試みた。製作した山体模型の写真を図 9 に、手順を表 2 に示す。筆者は統合型 3DCG ソフトウェアである Blender ver. 2.93 を用いて 3D データの編集を行ったので、Blender 使用時の注意事項も表 2 に併記する。

今回貼り付けたパーツは 9 枚であった。インクジェット式の 3D プリンターのような画像位置の正確性は保証できないものの、見た目に遜色ないものが製作できた。ただし、手作業での貼り付けは気を張る作業であった。

ま と め

技術開発室（開発系）に導入された 3D プリンターの製作事例を紹介した。3D プリントは機械加工の精度は出せないが、複雑な形状であっても人手を要さず製作できるという利点があり、形状検討のためのプロトタイプの製作に向いている。また、プリント品をそのまま使用するだけ

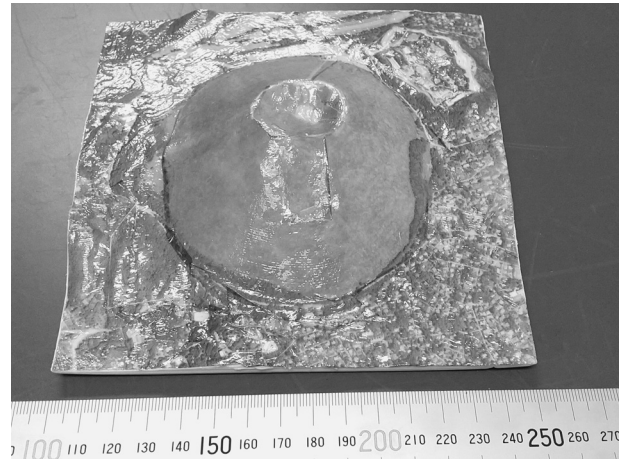


図 9. 山体模型

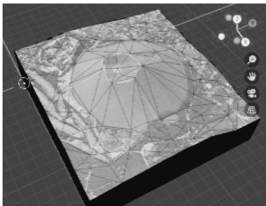
でなく、別の素材と組み合わせたり、後加工を施したりすることで活用の幅が広がると考えている。

謝 辞：本稿の執筆にあたり、東京大学地震研究所観測開発基盤センターの新谷昌人教授に有益なご助言を頂きました。査読者の鈴木雄治郎准教授と馬場聖至准教授には、本稿を改善するうえで有益なご指摘をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

文 献

- 浦野幸子・宮本成悟，2019，3D プリントによる山体模型の製作，平成 30 年度東京大学地震研究所職員研修会アブストラクト集，P-01，https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kenshu_iinkai/record/h30/pdf/H30_Abst.pdf，（参照 2021-10-29）。
- 国土地理院ウェブサイト，立体地図（地理院地図 3D・触地図），<https://maps.gsi.go.jp/3d/>，（参照 2021-08-03）。

表 2. 画像を貼り付けた模型の製作手順

| 工程 | 手順 | 備考 |
|---|--|---|
| 1.データの入手 | | |
| | 地理院地図で模型にしたい範囲の3Dデータを入手する。 3Dプリント用としては、形状のみの情報しかないSTL形式のデータ、および、地図や航空写真の色情報のあるVRML形式のデータの2種類がダウンロードできる。 | |
| 2.造形用データの編集 | | Blender使用の場合 |
| | 造形範囲の編集、サイズ変更を行う。 | 必要があれば行う。 ver.2.8x, 2.9xではVRML形式は読み込めないので、形状はSTLデータを、テクスチャ画像はVRMLデータに含まれるものを使用する。 |
| 3.模型の造形 | | |
|  | 造形用データを3Dプリントする。 | |
| 4.貼り付け用データの編集 | | |
|  | データ点を削減する。 | 一辺が20mm～30mmになるように調整する。 デシメート（頂点数削減）モディファイヤーを追加する。面を束ねる比率は0.0005～0.002程度がよい。 |
| | 画像を投影する。 | UVマッピング（2次元画像を3次元データに対応させる処理）を行う。 マテリアルにテクスチャ画像を割り当てる。視点を平行投影、上面にして、「ビューから投影」でUVマッピングした後、縮尺や向きをUVエディターで調整する。 |
| | 展開図を出力する。 | 貼り付け用は境界線を出力しないようにするが、位置確認用に、境界線や接続情報のあるものも出力しておくとうい。 「Export Paper Model」アドオンを有効化し、展開図として出力する。線幅をゼロにしても出力されてしまうため、線色のアルファ値をゼロにする。 |
| 5.貼り付け用紙の印刷 | | |
| | コピー用紙に印刷する。 | 水に漬けてもにじまない方式で印刷する。 |
| 6.貼り付け用紙の下処理 | | |
|  | 用紙にデコパージュ用の樹脂液を塗り、乾燥させる。 | 4～5回繰り返し、皮膜を厚くする。 |
| | 用紙を水に浸し、紙の組織をはぎ取る。 | |
| 7.貼り付け | | |
|  | 樹脂皮膜を切り取り、デコパージュ用の樹脂液を塗布した造形物に貼り付ける。 | |