

厚生労働科学研究費補助金（障害者政策総合研究事業）  
分担研究報告書

視覚障害者による3Dプリンタ活用可能性の検証

研究分担者 南谷 和範 大学入試センター・研究開発部・准教授

研究要旨 本研究では、視覚障害者が使用可能な3Dデータ製作手法について検討する。一般に3Dデータ製作プログラムはGUIを多用しているため、視覚障害者はこれを使用できない。その解決策は、3D CADデータをテキストで記述することである。そのような手法の一つとして「SCADソース直接記述方式」がある。この手法によって視覚障害者自身が3D CADデータを書き出し、このデータにもとづいて3Dプリンタで支援機器を作れることを実証した。

A. 研究目的

視覚障害者が3Dプリンタを活用することには、いくつかのメリットが存在する。その大きなメリットの一つは、3Dプリンティングは福祉機器や補助具の製作に適しているということである。障害者が必要とする支援技術は、障害者が少数であることに加えて、個々の障害状況に応じてニーズが細分化している。そのため、障害者個々人のニーズにマッチした機器や補助具を製作しようとする場合、テーラーメイドプロダクトの色彩が濃くなる。従来の大量生産と異なり、3Dプリンティングでは、金型製作の初期コストがなく、任意の形状の部品が製作できる。製作数が限定され、金型を用いるような大量生産を考慮する必要のない福祉機器や補助具の製作では、3Dプリンティングのこうした特質は効果的に機能する。結果としてコストも抑えることができる。支援技術や福祉機器は、利用者が日常的に装用するものである。自分の身体的特性を熟知した本人、あるいは本人と緊密な関係にある人物が設計・製作できることが望ましい。こうした問題意識はDIY支援技術（DIY assistive technology, do it yourself assistive technology）という開発スタイルを生んでいる。

しかしながら、視覚障害者が3Dデータ造形を

行う上で、造形に用いるソフトウェアの操作が、画面上に示される3Dオブジェクトの視認を不可欠の条件としているという障壁がある。視覚障害者の3Dデータ造形のためには、コンピュータスクリーン上のグラフィック視認を必要としない手法を発見・開発することが肝要となる。ここで最も有望なのは、3Dデータファイルをテキスト形式で記述することである。この手法によって視覚障害者自身が3D CADデータを書き出し、このデータにもとづいて3Dプリンタで支援機器を作れることを実証することが本研究の目的である。

B. 研究方法

1. 検証環境

今回の検証に際しては、下記の環境を用いた。3Dオブジェクトを操作するソフトウェアを動作させる基本ソフトとしては、Microsoft社Windows 10とLinux（Debian 8.0）を調査した。Microsoft Windowsは現在3Dオブジェクトを扱うためのソフトウェアが最も充実していると考えられるため選定した。LinuxはCLI（Command Line Interface）プログラムが充実しているために選定した。グラフィックを対象とする操作を介在しないCLIプログラムは、視覚障害者のユーザビリティ

を確保できると考えられる。こうしたソフトウェアの殆どがスクリーンリーダーで利用できる。

## 2. CAD と CG

3D データの製作は、造形対象となるモデルの性質とそれぞれに適したソフトウェアにより、2 種類に分類できる。

一つは、機械部品など一定程度の規則性、幾何学性を有する形状を多用し、寸法が厳密に規定されるモデルの製作である。ソフトウェアとしては、3次元CADと総称されるGUIアプリケーションを用いる。

もう一つは、自然物やそれらに着想を得た美術作品など全くの自由形状の組み合わせにより製作されるモデルである。主に、3次元CGソフトウェアを用いて作成される。

CAD ソフトウェアでも CG ソフトウェアでも、製作されたデータはSTLに代表される標準的な形式のデータで保存される。

## 3. 視覚障害者による製作手段

視覚障害者による 3D データの製作方法としてもっとも有望なのは、3D データファイルそのものを記述することである。前述のように CAD ソフトウェアも CG ソフトウェアも GUI に深く依存しており、これらを用いて 3D データを作成することはできない。他方で、これらのソフトウェアが出力する 3D データファイルがテキスト形式であれば、一般的なエディタソフトウェアを用いた記述・編集が可能である。この作業に視覚障害者にとっての UI 上の障壁はない。幸い 3D データファイルの多くはテキスト形式での記述も許容しており、このアプローチが有望である。

STL データは、論理的には記述が可能であるが、実際的には利用は極めて困難である。STL はテキスト形式での記述を認めており、エディタで編集できる。また、CAD、CG いずれでも広く用いられているファイル形式であり、この利用が可能であれば、多様なデータが作成できる。しかしながら、このように汎用的なデータ形式であるということ

は、低レベルな記述を要求することも意味する。STL では三角形のメッシュデータを 3 次元空間に配置することでオブジェクトを表現しなくてはならない。人が直接記述することは、以下のような理由により現実的ではない。

- ・ 全てのオブジェクトを三角形の面の組み合わせで表現するための大量の計算作業が必要になる。例えば、正六面体のような基本的な形状であっても 12 枚の直角三角形の組み合わせとして記述しなくてはならない。
- ・ STL はオブジェクトの表面を表すデータであり、立体物を表現するためには閉じたオブジェクトを記述する必要がある。破れや不整合のあるデータは許容できず、厳密な計算が要求される。

OpenSCAD はプログラマブルな CAD 環境を目指した CAD ソフトウェアである。そのデータは、STL よりも抽象度の高い CAD データであり、人が直接記述することが可能である。ユーザは、直方体、円柱、球など幾何学的な基礎的物体をサイズや配置する座標を数値で指定して 3D データを記述する。図 1 に OpenSCAD で 3D データを作成中のスクリーンショットを示す。

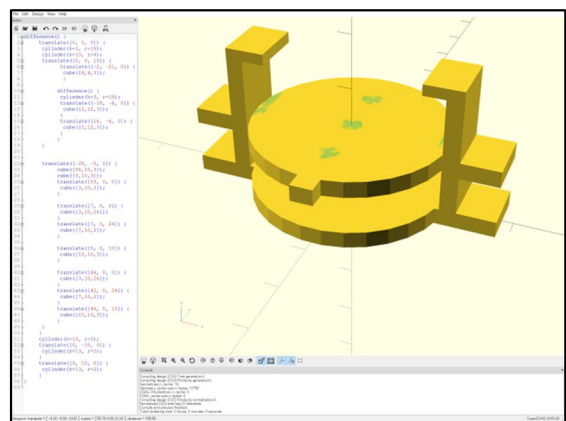


図 1 OpenSCAD のスクリーンショット

画面上には記述されたオブジェクトがグラフィックとして表示され、ユーザはこの表示で自分の記述の妥当性を確認・修正する。データは、ユーザが入力した文字列として保存される。オブジェ

クトを複数の幾何学的物体の論理和，論理積，差として表現することも可能である．プログラムの使用によるオブジェクトの自動生成のために，条件分岐やループ，変数代入や数値の四足演算が記述できる．GUI でのオブジェクトの確認を省略しつつ，現実的な効率を維持して OpenSCAD のデータの製作が可能であれば，視覚障害者の 3D データ製作手段として有望である．以下，この方式での 3D データ製作を「SCAD ソース直接記述方式」と呼ぶ．

#### 4. SCAD ソース直接記述方式による 3D データ製作の検証

視覚障害者が OpenSCAD を用いて一定の条件を満たす 3D データを作成することが，実践的な手段として有望かを検証した．研究の現段階では，現実的に機能しうる製作手法の探索が目的である．複数の実験参加者による評価実験を通じた製作手法の作業効率や有効性の解明を行う段階にはない．それゆえ，3D データの作成は，視力 0 の視覚障害者である筆者が試み，実地に検証した．

作成する 3D データの要件としては，最低限の複雑性と立体物の実用性を考慮した．冒頭に述べたように視覚障害者が独力で 3D データを作成できない場合には，健常者に言葉で所望の 3D データを説明し依頼することになる．そこで，言葉での説明が困難な程度の複雑性を有すると判断できる 3D データの製作を試みることにした．具体的には，複数の幾何学的立体を組み合わせることを最低条件とした．OpenSCAD は CAD ソフトウェアであり，CAD は主に実用的な部品的设计・製造のために用いられる．そのため，実用性のある立体物の造形を試みた．

### C. 研究結果

#### 1. キーボード収容スタンド

以下に製作例を示す．なお，ソフトウェアとしての OpenSCAD の GUI そのものは，スクリーンリーダーソフトウェアで操作することができなかった．

そこで，汎用的なエディタソフトウェアで SCAD データを製作し，Linux 上の CLI で OpenSCAD を起動して当該 SCAD データを STL に変換した．

キーボード収容スタンドを製作した．出力したスタンド単体を図 2 に，使用状態を図 3 に示す．

このオブジェクトは 5 つの直方体の組み合わせで構成されている．このオブジェクトを出力するために記述した SCAD ソースコードを示す．

```
cube([130,170,5]);
translate([125,0,5]) cube([5,170,40]);
translate([50,0,5]) cube([5,170,40]);
translate([0,0,25]) cube([50,10,10]);
translate([0,140,35]) cube([50,30,10]);
```

このオブジェクトの製作は，視覚障害者が自分の作りたいオブジェクトを自由に製作できるという 3D プリンティングの第 1 のメリットに該当する．オブジェクトは単純な構成であるが，一定の実用性を有する．



図 2 キーボードスタンド





図3 キーボードスタンドのキーボード収納状態

## 2. 点字ディスプレイアダプタ

点字ディスプレイとノートパソコンを重ねて使用するためのアダプタを製作した。点字ディスプレイは、コンピュータの画面出力を視覚障害者に点字で提示するデバイスである。点字を構成する点の上下動にはピエゾ素子を用いる。1行40文字程度の提示を行うデバイスが従来より一般的であるが、スマートデバイスの興隆と相前後してこれらのデバイスとの併用を考慮したものが製品化されつつある。モバイルユースを想定した点字ディスプレイには、スマートフォン等への入力を行うために、上面に文字入力ができるキー群が搭載される。キーボードを搭載するノートパソコンでは、これらのキー群は使用しない。そこで、点字ディスプレイの上面のキー群に干渉しないようにノートパソコンを重ねて設置するためのアダプタを製作した。モバイルユースを想定し、アダプタは5つの部品に分解し、収納できる。中央の部品は、大きな直方体から計5つの小さな直方体を引くことで記述された。

出力したオブジェクト群と、使用状態及び収納状態を図4・5に示す。このアダプタは、中央の部

品に他の4つの部品をはめ込んで使用・収納する。この機構を実現するためには、部品がはめ込まれる部分に微細なクリアランス(遊び)を設けた3Dデータの設計を行う必要がある。このクリアランスの設け方を完全に言葉で説明することは困難である。図4に点字ディスプレイとノートパソコンを重ねて使用するためのアダプタの使用時組み立てた状態を示す。

このアダプタの製作は、視覚障害者が自分の必要とする福祉機器や補助具を自由に製作できるという3Dプリンティングのメリットに該当する。このアダプタを用いることで、モバイル点字ディスプレイとノートパソコンをより省スペースで使用することができる。これはモバイルユース志向という両者の特質を一層引き出すものである。

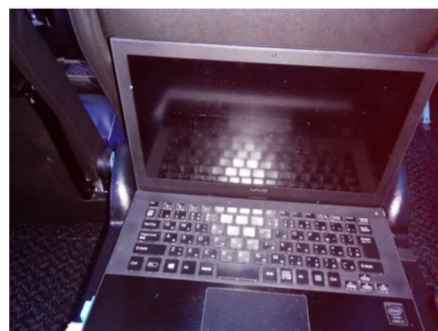
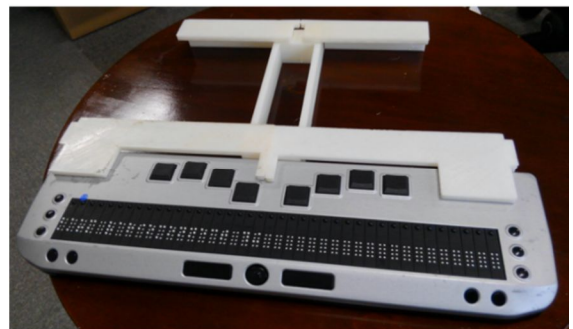
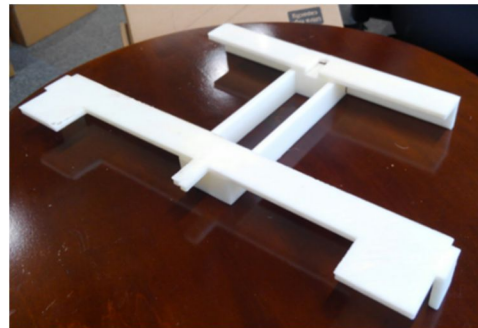


図4 点字ディスプレイとノートパソコンを重ねて

使用するためのアダプタの使用時組み立てた状態

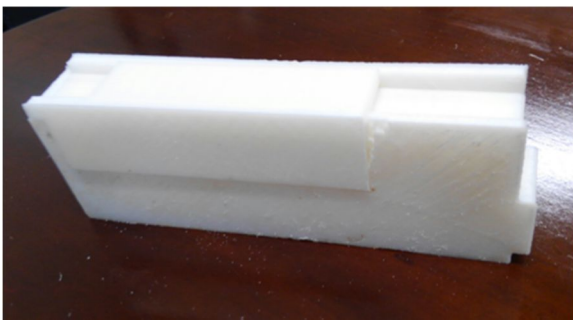
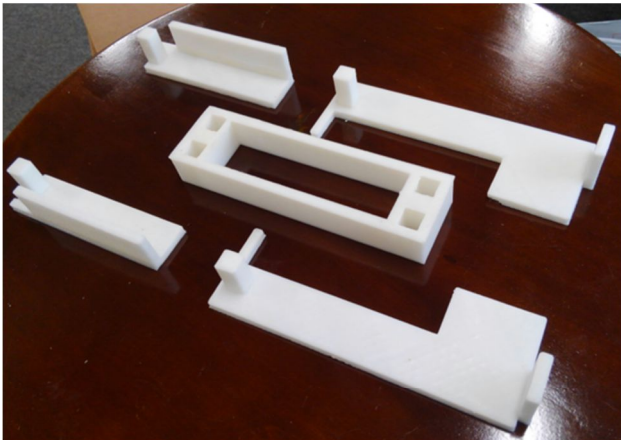


図 5 点字ディスプレイとノートパソコンを重ねて使用するためのアダプタ収納時分解した状態

また、点字ディスプレイの点字提示部とノートパソコンのキーボードを近接させるということでユーザビリティを向上させる。図 4 中の点字ディスプレイとノートパソコンの組み合わせでは、同一平面上に両者を並べて配置した場合、点字提示部とキーボードの最短距離は実測で 11.5cm であった。他方、本アダプタを用いて重ねて配置した場合、両者の最短距離は 7cm に削減された。

図 5 に点字ディスプレイとノートパソコンを重ねて使用するためのアダプタの収納時分解した状態を示す。

#### D. 考察

3D データの製作のうち、CG については、視覚障害者が使用可能な CG 製作環境の探索が基本的な課題として存在する。

一般に行われている方法の一つに、粘土などで

モデルを作成し、これを 3D スキャナでスキャンして CG データとして取り込み、3D プリンタで出力するというものがある。この方法は、視覚障害者にも利用可能と考えられる。ただし、この場合、健常者が行っているような取り込んだ CG データの編集・加工の手段は存在しない。したがって、試作モデルの複製以上の役割は期待できない。

CAD については、SCAD ソース直接記述方式を用いることで、3D データの製作が可能であることは確認されたが、同方式については以下の 2 点が課題と考えられる。

第 1 点は SCAD ソースコードの可読性を向上させるような補助機能の開発である。SCAD ソース直接記述方式では、記憶とソースコードの再読を通じて自分の製作した 3D データの形状を確認する。この方式のメンタルワークロードは高い。特に、記述誤りなどで意図した出力結果が得られなかった場合には、ソースコードデバッグに相当する作業が必要になり、負担は大きい。ソースコード中の変数代入や四則演算の結果を実値に置き換えたソースコードに変換する機能があれば、上記の作業の効率化が期待できる。また、3D データが 3 次元空間中どの範囲に存在するかを出力する機能も有効であろう。これらは OpenSCAD のオプション機能として追加が可能である。また、スクリーンリーダーで OpenSCAD の GUI が操作できないという制約が解消されれば、OpenSCAD のインタープリタとしての機能を充実させることでも同様の効果は得られるであろう。

第 2 点は、記憶と計算への依存を軽減した SCAD ソース直接記述方式の開発である。たとえば、高機能な積み木やブロックのようなものを併用するアプローチは検討の余地がある。直方体のみで構成される 3D データであれば、それらのユニット数を数え上げることで 3D データが配置される座標や大きさを把握するテクニックが活用できる。このようなテクニックは 3D データ製作の難易度を引き下げられるかもしれない。

## E. 結論

3D データの製作は、対象や手法から CAD と CG に分類することができる。このうち CAD については、幾何学的な立体を大きさや位置を数値で指定し配置することで基礎的な造形が可能であることが示された。最低限の複雑性と実用性を有する立体物の造形が例証された。

3D データの製作という 3D プリンティングの中核的な部分について、一定の手法が確認されたことには意義が認められるべきであろう。

引き続き諸作業を健常者の支援により実施する場合でも、視覚障害者が全体を統括・管理・主導することは可能と判断できる。