

可変抵抗に操作感を付与するための インタラクティブな機構モデリング支援ツール

山本 侑吾^{1,a)} 塚田 浩二^{1,b)}

概要: 低価格帯 3D プリンタの普及により、個人レベルでも様々な機構部品を設計／出力することが可能になった。しかし、一般に部品設計には専門的なアプリケーションを使いこなす必要があり、習得には多大な時間と労力が掛かる。本研究では、先行研究として提案した「可変抵抗に操作感を付与する外骨格機構」に焦点を当てた、インタラクティブな機構モデリング支援ツールを作成する。

1. 背景

低価格帯 3D プリンタの普及により、個人レベルでも様々な機構部品を設計／出力することが可能になった。しかし、一般に部品設計には専門的なアプリケーションを使いこなす必要があり、習得には多大な時間と労力が掛かる。一方、インターネット上で配布されている STL ファイル等を利用すれば、初心者でも機構部品を出力できるが、用途に合わせてサイズやクリアランスなどを調整することは難しい。

そこで本研究では、先行研究の可変抵抗に操作感を付与する外骨格機構 [1] に注目し、専門知識を有さないユーザが、GUI ベースで機構部品の作成がスムーズに行えるインタラクティブな機構モデリング支援ツールを提案する。

2. 関連研究

2.1 機構部品の設計支援

塚田ら [1] は電子工作における入力装置として一般的なスライダー型やダイヤル型の可変抵抗にクリック感や摩擦で動作を抑えるパーツを後付けで付与する外骨格機構を提案した。この外骨格機構を用いることでユーザそれぞれが自由な箇所に好みのクリック感を出すパーツなどを作成できる。新山ら [2] では、3D プリンタを用いた際の一体造形手法に着目し、一体造形が可能な回転機構の設計を行った。加えて、作動部と受動部間のクリアランスに着目し、機種・積層ピッチ等による影響を調査した。Liang ら [3] は、円柱状の一部にらせん状のバネとジョイントを内蔵し、変形動作を生み出せる機構と、その作成のための支援ツ

ルを提案した。Danny ら [4] はレーザーカッターを用いてヒンジ、スライド、回転等の機構を作成する手法を提案した。中川ら [5] はギアボックスに着目し、ギア比等をカスタマイズして 3D プリンタで一体造形可能な支援システムを提案した。Stelian ら [6] の研究では、関節が可動する Mechanical Character の制作を一般ユーザ向けに支援するシステムを提案している。関節の動きをモーションカーブでスケッチし、適切な機構（列状の歯車やクランク等）を提供する点が特徴である。

2.2 3DCAD の設計支援

後藤ら [7] は、設計手順を日本語テキストに変換し、手順をソートする機能を組み込んだモデリング手順教育システムを提案した。CAD 初心者が効率的にモデリング手順を理解することを目指している。五福ら [8] は、設計に使用する図形の変更履歴に設計意図や寸法などの計算結果をリストから付与できる CAD を提案した。図面を介してユーザ同士が互いに設計の意図や根拠を伝達できることで、複数人での作業効率を高めることができる。

3. 先行研究の概要

本研究の前提となる、我々の研究室で提案した先行研究「可変抵抗に操作感を付与するための外骨格機構」[1] について概要を紹介する。

先行研究では、電子工作で汎用的な入力装置であるスライダー型／ダイヤル型の可変抵抗に、クリック感と重みを個別に付与できる外骨格機構を提案した（図 1）。

3.1 提案

先行研究のコンセプトは以下の 4 点である。

¹ 公立はこだて未来大学

^{a)} b1018063@fun.ac.jp

^{b)} tsuka@acm.org

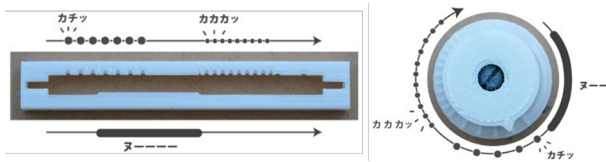


図 1 先行研究 [1] でのスライダ型/ダイヤル型の外骨格機構

- 市販の可変抵抗に容易に脱着.
- 指定範囲にクリック感/重みを個別に付与.
- FDM 式 3D プリンタで手軽に造形.
- 視覚的手掛かりに任意に切替.

1 点目は、市販の可変抵抗に容易に脱着可能であることである。可変抵抗の形状や抵抗値を用途に応じて選択できる。2 点目は、可変抵抗の指定範囲にクリック感/重みを個別に付与/設計できる点である。クリック感とは「カチッ」という明瞭な音と触覚フィードバックを、重みはスライダなどの動作が「ヌツ」と重くなる触覚フィードバックを指す。3 点目は、安価なシングルヘッドの FDM 方式 3D プリンタで造形できる点である。各部品をサポート材がほぼ不要な状態で設計し、手軽に造形できるように配慮している。4 点目は、触覚フィードバックのある箇所に対して視覚的手がかり（目印）の有無を切り替えられることである。フィードバックを外観に影響しない部位で実現し、目印が必要な場合と不要な場合それぞれに対応できるよう配慮している。

3.2 実装方式

先行研究のプログラムは OpenSCAD を用いて実装されている。スライダ型とダイヤル型の二種類のプログラムに分かれているが、スライダ型のプログラムを例に紹介する。プログラムは主要な機構ごとに、4 つに分かれており、これらを組み合わせることで外骨格機構が完成する。1 つはスライダの外枠に関する部分で、スライダの長さや可変抵抗の可動域を定めるスリットの長さなどを入力パラメータとする。2 つ目はクリック感を付与する位置の設計をする部分である。開始位置と終了位置、その間に何回のクリックを付与するかのパラメータを入力とする。3 つ目は重み（摩擦感）を付与する部分の設計を行う。こちらも開始位置と終了位置を設定する。また、重みを付与する区間の厚みを変更することでその強弱を変更できる。最後にツマミパーツを設計する部分である。このパーツはツマミサイズのほかに、クリック感を生み出す部分の角度を調節することで、触覚フィードバックの強さを変更できる。なお、異なるクリック感同士/摩擦感同士は、重ならない位置であれば複数設計することができる。

ダイヤル型では土台部品とカバー部品から構成される。土台部品はクリック感を生み出す機構を持ち、カバー部品は重みを発生させる環状のバネ機構とクリック感/重み

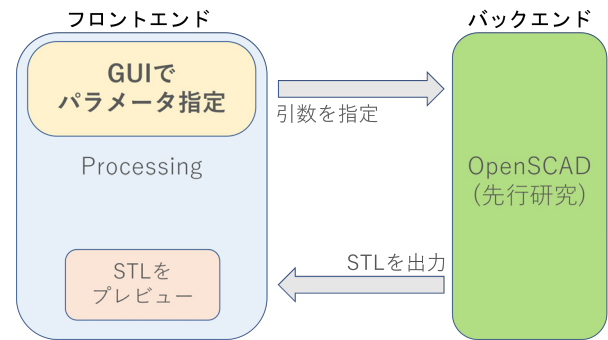


図 2 システムの動作フロー

の発生箇所を調整する。ダイヤル型でもスライダ型と同様に、複数の区間にクリック感/重みを生成することが出来る。

3.3 問題点

先行研究で提案された支援ツールでは、前節で紹介したパラメータ等を OpenSCAD のソースコード上で変更する必要があり、特に初心者ユーザの利用は困難であった。

4. 提案

本研究では、「可変抵抗にクリック感や摩擦感を付与する外骨格機構」に対して、GUI ベースの支援ツールを提案する。モデリングツールに不慣れなユーザを想定し、外観や触覚パーツを設計する際のパラメータを GUI から手軽に入力できる支援ツールを開発する。システムの流れを以下に示す（図 2）。

4.1 GUI の設計

支援ツールは Processing を用いて実装する。GUI では、スライダ型、ダイヤル型どちらを作成するかを選択、外骨格作成に使用する引数の設定、コマンドラインの呼び出し、最後に OpenSCAD にて自動生成された STL ファイルを Processing で再度受け取り表示するという流れを想定した。作成した外骨格は簡易的なプレビュー機能を実装し、ユーザが作成している機構を確認しながら作業が行えるようにする。また、パラメーターの調整が完了した後に、「出力」ボタンを押すことで、コマンドラインから OpenSCAD を呼び出し、生成された STL ファイルを先述のプレビュー機能とは別で、確認できるような機能を実装する。

5. 実装

5.1 パラメータの整理

まず、先行研究の OpenSCAD プログラムで使用されるパラメータを確認し、ユーザによる設定が必要な項目を表 1 のように整理した。これらのパラメータの対応を図 3 に示す。さらに、OpenSCAD 起動時の引数から、パラメータを変更できるようにプログラムを調整した。

表 1 整理されたスライダのパラメータ

設定対象	番号	パラメータ	入力例
	1	スライダの長さ	8cm
	2	スライダの幅	1.5cm
スライダー枠	3	スライダーの高さ	0.6cm
	4	スリット部の長さ	6.5cm
	5	固定ネジのサイズ	0.3cm
※クリック感と摩擦感は複数個存在する			
	6-1	開始位置	0cm
クリック感	6-2	終了位置	3cm
	6-3	クリック感発生回数	5回
	7-1	開始位置	1cm
摩擦感	7-2	終了位置	5cm
	7-3	摩擦の強さ (1-5)	5
	8	ツマミ長	0.5cm
ツマミ	9	ツマミ穴幅	0.13cm
	10	クリック感の強さ (1-3)	3

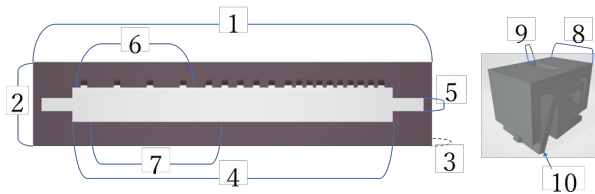


図 3 スライダーのパラメータ対応図

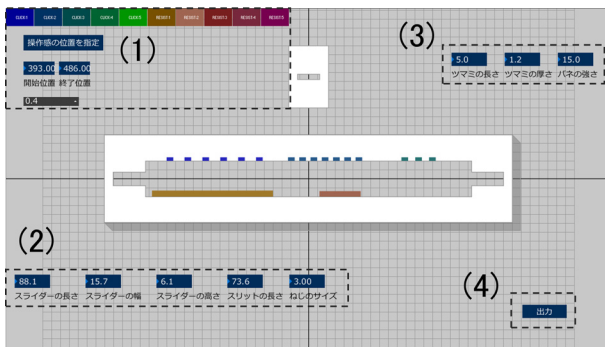


図 4 支援ツールのスクリーンショット

5.2 GUIの実装

以下に実装中のスクリーンショットとして図 4 と、その出力結果として図 5 を示す。

まずツールの画面について大まかに説明する。図 4 の左上の破線で囲まれている部分 (1) ではクリック感/重みを個別に付与することが出来る GUI が用意されている。(2) ではスライダーの枠のサイズを変更できる。(3) ではツマミのサイズを調整できる。(4) ではすべての設計が終了したときに OpenSCAD での出力を開始できる。

作成画面では 2D で外骨格を真上から見下ろすような簡易プレビュー表示を行った。GUI で数値を変更するたびにリアルタイムでプレビューが更新され、サイズが確認できる。プレビューで確認できるのは、スライダー枠、ツマミ、クリック感の発生位置と重みの発生位置である。クリック感

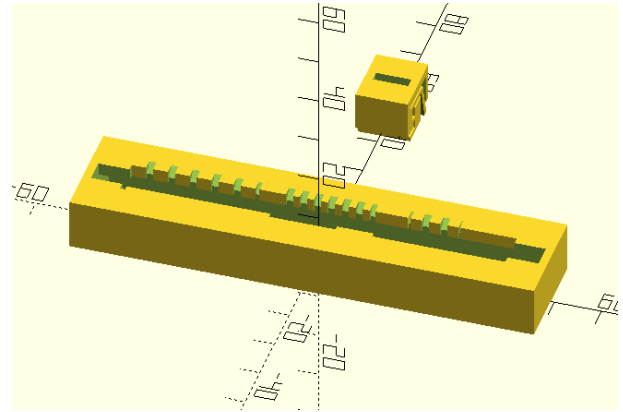


図 5 出力した STL ファイルの例

と重みのプレビューは、タブの色とクリック感/重みそれぞれのプレビューで生成される形状の色を合わせている。

GUI 部品としては、ControlP5 というライブラリを利用した。GUI の詳細について説明する。(1) で囲まれているエリアはタブ形式でクリック感/重みを区間別に生成できるようになっている。タブ 1 つがクリック感/重みの 1 区間に相当する。また、クリック感/重みはそれぞれ最大 5 区間まで設定することが出来る。各区間の開始位置/終了位置は測定ボタンを押した後に、スライダーのスリット部分をドラッグアンドドロップすることで指定できる。クリック感の各区間の分割数や重みの摩擦の強さは数値指定する。

(2) で囲まれたエリアはスライダー枠のサイズを変更する GUI が用意されている。これらの GUI はマウスポインタを重ねた状態で上下にドラッグするか、マウスホイールを動かすことで寸法を変更でき、リアルタイムに簡易プレビューに反映される。

(3) で囲まれたエリアはツマミのサイズを変更する GUI が用意されており、操作方法は (2) と変わらない。

(4) では、「出力」ボタンをクリックすることでその時点で指定したパラメータを全て OpenSCAD に渡し、STL ファイルを出力することが出来る。

5.3 OpenSCAD との連携

OpenSCAD は、コマンドプロンプトからも起動することができる。そこで、支援ツールで設定したパラメータを、OpenSCAD を起動する際の引数として渡すことでモデリングを行う。図 6 は、sliderLength を 80mm に設定する例である。なお、現状スライダー型/ダイヤル型の SCAD プログラムは別になっている。

```
% openscad -D sliderLength=80.0 SCAD_Slider.scad
```

図 6 OpenSCAD のコマンドライン駆動

このようにすることで SCAD.Slider という OpenSCAD ファイル内の sliderLength という変数に 80.0 の値を渡し

たうえで実行することが出来る。

6. まとめと今後の展望

本稿では、先行研究 [1] で提案した、市販の可変抵抗にクリック感／重みを個別に付与可能な外骨格機構に対して、インタラクティブに設計できるモデリングツールを提案した。現在、ダイヤル型に対応する支援ツールを実装中である。

また、初心者に対して支援ツールを利用してもらい、ユーザビリティや出力したモデルの評価を行う。こうした結果をもとにツールを改良し、Web 等で公開することを目指す。

謝辞 本研究の一部は、科研費 20H04231 の支援を受けた。先行研究 [1] の解説等に協力いただいた新山大翔氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 塚田 浩二, 新山 大翔, 沖 真帆. 可変抵抗にクリック感と重みを付与する外骨格機構の提案. インタラクシオン 2021 論文集, インタラクティブ発表 (プレミアム発表), 1B02, pp.193-197, 2021-03.
- [2] 新山 大翔, 沖 真帆, 塚田 浩二, 3D プリンターにおける組立不要な一体造形手法の提案, インタラクシオン 2019 論文集, インタラクティブ発表 (プレミアム発表), 2B-25, pp.559-561, 2019.
- [3] Liang He, Huaishu Peng, Michelle Lin, Ravikanth Konjeti, François Guimbretière, Jon E. Froehlich. Ondulé: Designing and Controlling 3D Printable Springs. UIST '19, Association for Computing Machinery, NY, United States, pp.739-750, 2019-10.
- [4] Danny Leen, Nadya Peek, Raf Ramakers. LamiFold: Fabricating Objects with Integrated Mechanisms Using a Laser cutter Lamination Workflow. UIST '20, Association for Computing Machinery, NY, United States, pp.304-316, 2020-10.
- [5] 中川 瑠星, 新山 大翔, 塚田 浩二, 3D プリンターを用いたギアボックス造形支援システム, インタラクシオン 2020 論文集, インタラクティブ発表, 1B-39, pp.330-334, 2020-03-09.
- [6] Stelian Coros, Bernhard Thomaszewski, Giocchino Noris, Shinjiro Sueda, Moira Forberg, Robert W. Sumner, Wojciech Matusik, and Bernd Bickel. 2013. Computational design of mechanical characters. ACM Trans. Graph. 32, 4, Article 83 (July 2013), 12 pages.
- [7] 後藤範恭, 下村芳樹, 野間口大, 小池一郎, 西郷知泰, 知識ベース CAD とモデリング手順書作成システムを用いたネットワーク CAD 教育-Maxis Cubic の応用-, 精密工学会誌, 1558-1563, 2006.
- [8] 五福明夫, 杉野友彦, 伊藤一之, 設計意図と図形を関連付けた CAD, 日本機械学会論文集 (C 編), 71, 335-342, 2005.