

WalkingDoodle: 導電性樹脂と 3D ペンを用いた 「歩く」3D ドローイングの基礎検討

上ヶ市 亜矢^{†1} 田中 瞳^{†1} 山岡 潤一^{†2} 笥 康明^{†1}

概要: 本研究 WalkingDoodle は、導電性を持つ樹脂と 3D ペンを組み合わせて空中に回路を描くことにより、動的な描画物をつくる造形ツールである。ユーザが 3D ペンで自由に描きながらデバイスの電極間を結ぶことにより、デバイスが接続を検知し動作を起こす。動きを伴った造形物から発想を得て線を足していくなど、ユーザと作品が相互に影響を及ぼし合いながら造形することが期待される。本稿では WalkingDoodle のシステムの設計、実装および体験の様子と展望について述べる。

WalkingDoodle: A Basic Study of A Dynamic Three-Dimensional Drawing Using Conductive Resin

AYA KAMIGAICHI^{†1} HITOMI TANAKA^{†1}
JUNICHI YAMAOKA^{†2} YASUAKI KAKEHI^{†1}

Abstract: WalkingDoodle is a dynamic 3D drawing support tool which consists of a 3D pen and a shoe-shaped device. Connecting lines of conductive filament between the modules in the shoe shape enables the distinction of the connection among the shoe-shapes, and the movement starts at the point of connection. This experience will awaken your creativity and attachment towards the piece, and is expected to become a new technique for creation.

1. 背景

一般的な電子工作には、電子回路やプログラムの知識が必要であるが、近年初心者でも直感的に作業するためのラピッドプロトタイピング環境がさまざまに提供されている。その中でも、導電性インクを内蔵したペンを用いて紙上に線を描くことにより、絵が電子回路の一部になるというアプローチ[1]が注目を集めている。

一方、3D プリンタをはじめとするデジタルファブリケーション装置の普及に伴い、平面のみならず立体物の造形も容易になってきた。通常のデジタルファブリケーションマシンは、コンピュータの中で設計を施し、その後マシンで造形するというように作業プロセスが分かれているが、より直接的・身体的に立体造形のプロトタイピングを行うための道具として近年 3D ペンが開発されている。これは、ペン型デバイスの先端から樹脂をゆっくりと射出し固化させることで、空中であっても線を引き、リアルタイムに絵を描いたり形を作ることができる。これまで紙面上や画面上といった 2 次元に収まっていた描画行為が 3 次元へと範囲を広げることが、ペン 1 つで大きさや形に制限のない造形をすることが可能になったことを意味し、ブロック

や粘土造形などの従来の立体造形とはまた異なる、新しいクリエイティビティの手法をもたらす。その一方で、3D ペンで造形されたモノ自体は、動きを持たず静的な存在に留まっているという状況がある。

これらの先行研究の動向に対し、今回筆者らの研究では新たに、3D ペンで 3 次元空間中に描いた線を利用して電子回路を構成し、動く立体造形物を作る手段を提案する(図 1)。3D ペンに用いる素材として、導電性樹脂と呼ばれる、炭素を含むことで電気を通す素材を用いる。そしてこの導電性樹脂で空間中に線を描き、その線の端を電子部品およびバッテリーと接続することで、描かれたものが動的な振る舞いを獲得することを可能にする。LED やスイッチ、モ

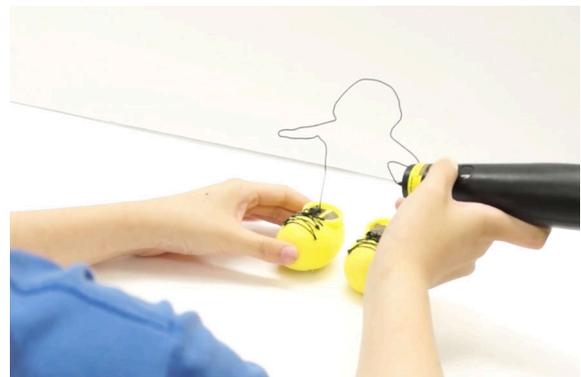


図 1 WalkingDoodle
Figure 1 WalkingDoodle.

^{†1} 慶應義塾大学 環境情報学部
Faculty of Environment and Information, Keio University
^{†2} 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

ータなどさまざまな電子部品と組み合わせることが可能だが、今回は特にペンで描いたオブジェクトが、描き終わると同時に歩いて移動を始めるという体験の実現に特化してデバイスの開発を行った。

本稿では、動的な3D造形ツールの設計・実装および展示でのユーザの様子についてまとめる。

2. 関連研究

これまでに、メディアアート分野を中心に手描きで描画した絵を動的にする試みは数多く提案されてきた。例えば、お絵かき水族館 [2]は、紙に手描きで魚を描画し、スキャンしてコンピュータに取り込むことで、プロジェクションされた投影面に描いた魚が現れ泳ぎ出す作品である。体験者は投影面に触れることで、魚に餌を与えるなどのインタラクティブな体験も可能である。また drawn [3]は、紙とインクを用いて描かれた絵が自動的にコンピュータに取り込まれ、そこで画像処理を施すことによって、描いた絵を画面上で動かすなどの動的な表現を可能にしている。しかし、これらはディスプレイを介したデジタル環境中で行われる事が多い。これに対して本研究では、実空間での動的な描画表現を目指す。

実空間で造形物を手で描画する試みとしては、Haptic Intelligentsia [4]と Creopop [5]が挙げられる。前者は静的な立体造形のためのツールで、後者は赤外線による硬化を利用した3Dペンであり、蓄光性や感温性を持つ樹脂が使用できる。一方、本研究では導電性のある樹脂と3Dペンを用い、デバイス間を繋げながら空中で絵を描くことで動的な造形物を制作することができる。

また本研究と同じく、導電性の素材を用いたプロトタイプピンギングツールとして、手描きで電子回路を制作できる導電ペン circuit scribe [1]や、導電性のある鉛筆を用いて絵や文字を描くと音が鳴る Drawdio [6]がある。しかし、これはどちらも平面上での描画に限られる。Squishy Circuits [7]や NeonDough [8]は導電性粘土を用いて動的な造形物を制作できる知育玩具である。くっつける・ちぎるといった直感的な行為で制作できるが、通常の電子部品を扱うため、電子工作・回路の知識が必要である。一方で我々のアプローチでは、導電性樹脂を用いて実空間での動的な立体造形を実現するとともに、デバイス間を樹脂で繋げるにより造形物が動いたり光ったりするという、直感的なプロトタイプピンギングを可能にしている。

また、本研究と同様に、導電性樹脂を用いて3次元造形物に電子回路としての機能を付与するアプローチとして、Leighらの研究 [9]では3Dプリンタで導電性樹脂を用いた造形を行うことでタッチセンサの機能を持つオブジェクトの出力を行っている。本研究では、3Dペンを使うことによりユーザがリアルタイムに回路を描く点に特徴を持つ。

3. WalkingDoodle

3.1 システム概要

本稿で提案する WalkingDoodle は、3Dペンと靴型装置を用いた動的な立体描画ツールである。本システムは3Dペンと靴型デバイスによって構成される。靴型デバイスの中にはマイコンボード、ギヤードモータ、バッテリーが搭載されている。

ユーザは、3Dペンを用いて2個の靴型デバイス間で導電性樹脂でつなぐ。つなぐ過程での樹脂の形状は、ユーザの創意に委ねられ、キャラクタや図形などを靴の間に描くことができる。二つの靴型デバイスが樹脂で接続されると、靴型デバイスはそれを検出し、自動的に交互に前に進むことで、「歩行」を開始する。また、つながれた際の樹脂の長さをセンシングすることで、描いた形状を「歩き方」（今回はスピードと間隔）に反映させることができる。具体的には、長い（大きな）描画物の場合は速度が遅く、短い（小さな）場合は素早く動くように、描画物の形状・状態によって動きが変化する。立体物の造形時に作品が動き出す効果として、作品への愛着やユーザの創作を喚起させ、新たな創作手法の実現が期待される。

3.2 システム設計

ここでは、3Dペン、靴型デバイスから構成されるハードウェアと、樹脂の接続や長さのセンシングをしながら出力装置の動きを変えるためのソフトウェア設計、またそれらを統合した実装と具体的な作品例について述べる。

ハードウェア設計

今回は、Kingjet Printers Consumables Co., Ltd 社製の導電性樹脂を用いた。この樹脂の抵抗値は、3Dペンで出力した際のサイズとなる直径0.7mmで10cmあたり180kΩである。また、この直径の樹脂を出力できる3DペンとしてYAYA Technology Co., Ltd.社製のYaYa 3Dペンを用いる。

靴型デバイスには、マイコンボード(Deek-Robot製 Pro Micro 5V/16MHz)、モータードライバ(東芝製 TA7291P)、ギヤードモータ(TAMIYA ミニモーター多段ギヤボックス 12速)、リチウムイオンバッテリーが内蔵されているほか、接続された導電性樹脂の長さを検知するセンサ回路を備えている(図2,図3)。1つのデバイスにはそれぞれセンサ用とグランド電位共有用、合わせて2つの電極部が付いており、ユーザはセンサ用の電極同士、そしてグランド用の電極同士をそれぞれ導電性樹脂で結ぶ。デバイスの外装は靴型にすることによって、ユーザにキャラクタを描かせるきっかけを与え、かつ電極を靴に対して横に並べ内側同士と外側同士を結ばせるような設計にすることによって、キャラクタの足を描きやすい配置とした。

電極部の設計として、今回使用した導電性樹脂は平滑面

への接着が難しく、木や布、また樹脂同士への接着が向いていることから、導電性樹脂でひょうたん型に造形したものに、センサ回路からのケーブルを巻き付け、それを電極とした。

本システムにおいて、導電性樹脂の長さの検知は、2つのデバイスにまたがる抵抗分圧回路を通して行われている(図4)。図中赤線で示された導電性樹脂が、各デバイス間を結んでいない際、図中各デバイスのアナログ電圧入力端子が取得する電圧は、デバイス1においてVCCと、デバイス2においてGNDの電圧と同一である。デバイス1とデバイス2のGND端子同士が導電性樹脂で結ばれることで、2つのデバイスのGND電位が統一され(図4点D,E間)、その状態でセンサ用端子間(図4B,C間)が接続されると、導電性樹脂が一定の抵抗値を持つために、デバイス1のVCC端子からデバイス2のGND端子を経由しデバイス1

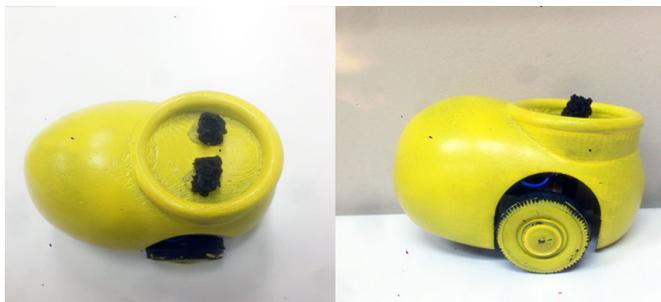


図2 靴型モジュール

Figure 2 Shoes shaped module.

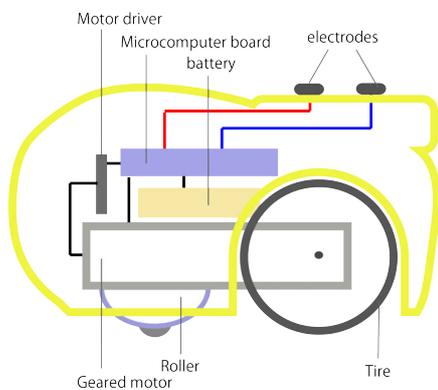


図3 システム図

Figure 3 System.

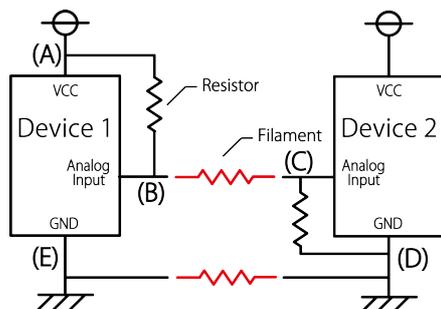


図4 デバイス間の回路図

Figure 4 A circuit design of modules.

のGND端子にまたがる抵抗分圧回路(図4中A,B,C,D,E間)を構成し、各デバイスのアナログ入力端子が取得する電圧を変化させる。この構造においては、2本の導電性樹脂の長さが長いほど、デバイス1の入力端子はより高い電圧を検知し、デバイス2の入力端子はより低い電圧を検知する(図5)。

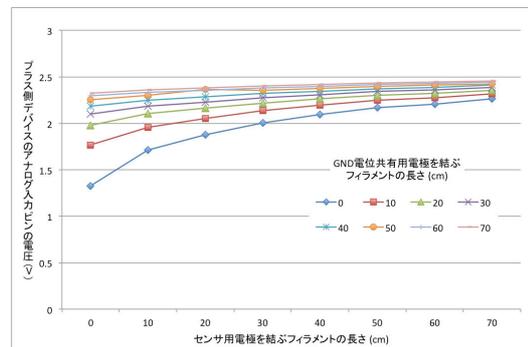
造形中もしくはデバイスの走行中に、それぞれの電極を結ぶ樹脂同士が接触をすると、各デバイスにおいて最短距離での回路が取られるため、片方もしくは両方のデバイスが停止するなどの予期せぬ動作をする可能性がある。

ソフトウェア設計

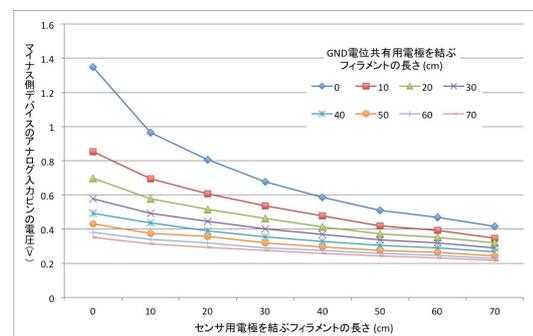
電極同士の接続や樹脂の長さによる抵抗値の変化、またそこからくる出力装置の動きの変化は、デバイスに内蔵されたマイコン内のソフトウェアによって算出される。

2つのデバイスは接続を検知した時点から、一定時間ごとにモータの動作、停止を繰り返す。その際に、2デバイス間で交互にモータが動くようにプログラミングされており、これにより3Dペンで描かれた造形物の足が交互に動いている様子を表現した。

また、モータの動作と停止の間隔は、デバイスが検出した樹脂の長さに応じて変化する。2つのデバイス間を結ぶ樹脂の長さが長いほど、モータの動作の間隔は長くなり、



(a) プラス側デバイス (デバイス1)



(b) マイナス側デバイス (デバイス2)

図5 電極間の樹脂の長さとお各デバイスのアナログピンにおける測定値の関係

Figure 5 Relations of the length of the filament between the electrodes and the measurements in the analog pin of each device.

造形物が大きな歩幅で動いている様子が表現できる。

現在実現できているのは2つのデバイス間の接続検知のみであるが、今後3つ以上の接続を密なセンサ回路、検出アルゴリズムを検討中である。

3.3 システムの実装

今回実装した靴型デバイスは、3Dプリンタで造形したもので、サイズは幅6cm、縦9cm、高さ5cmであり、重さは約80gである。

靴型デバイスは一足のデバイス同士が交互に前進運動をすることから、横にすることで二足歩行(図6)、前後に配置することでしゃくとりむしのような蠕動の表現が可能であった。

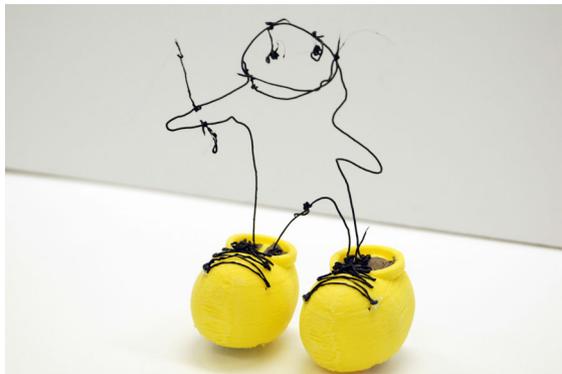


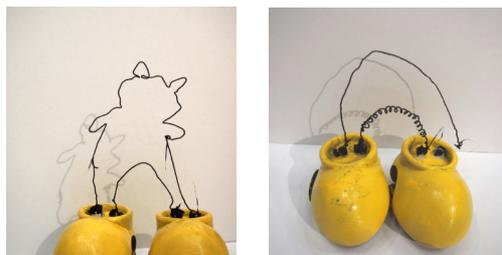
図6 作品例

Figure 6 Example of works.



図7 展示の様子

Figure 7 An User Experience.



(a) 猫

(b) スプリング形状

図8 来場者の作品

Figure 8 Works made by the workshop participants.

4. ユーザ体験の様子

本研究の成果をディスカバリーラボ 2014(2014年11月8,9日 石川県産業展示館)、慶應義塾大学 SFC オープンリサーチフォーラム(2014年11月21,22日 東京ミッドタウン)にてデモ展示を行った(図7)。体験者の年齢層の特徴として、前者の展示では子供が多く含まれ、後者の展示では成人がほとんどを占める。

まず描画に関して、展示ではキャラクタなどを描く体験者が多く、5分ほどの時間をかけ、耳を尖らせたネコや長い耳を持ったうさぎ(図8a)などを造形し、動き出す様子を見つめる様子が見られた。一方で、3Dペンでの描画自体が難しい、造形スピードが遅いなどの問題点により、単純な二本線で描画を済ませたり、造形を途中で諦める体験者も見られた。この一因として、靴型デバイスのサイズに合わせるように描画を行おうとする体験者が多く、比較的描こうとする物が大きくなったことから空中でバランスを保たせることに苦労したり、造形の時間・手間がかかると感じたことが挙げられる。デバイスサイズの小型化など、ハードウェアの改良を続けていく。

動きに関しては、「動いてくれた時は嬉しかった」「動くことで親近感が湧く」という感想が多く得られた。一方で、動く間にデバイス間の距離が変わり、樹脂の線が切れてしまうことが見られた。これに対しては、電極間をスプリング状にすることで解決を試みるなど体験者自身の描画の工夫も見られた(図8b)。また、作品の下半身を描いてデバイス間を繋げたあとに上半身を描き加えたいというユーザもいたが、今回の実装では樹脂の接続を検知するとデバイスが自動的に歩行動作を始めるため、それに対して新たに描き加えをすることが困難である。動作の様子を見ながらイメージを膨らませてまたさらなる描き足しができるように、スイッチを付与したり、ペンの動きをセンシングすることなどを検討する。さらに、動くキャラクタに触る、腕などのパーツを動かすなどの体験者の振る舞いも多く見られた。これらは現在、動きに反映されないが、このような行為をインタラクションへと結びつけていくことも考えられる。

また、今回は靴をつなげると歩き始めるというシンプルかつ具体的なルール設定の中のみでの体験にとどまったが、さまざまな電子部品を組み込むことにより多様なインタラクションへと発展させていくことが可能である。展示においても、電極間の樹脂の長さ以外にも、作品の高さや形状など他の要素も動きに反映されたら面白いという意見もあった。さらには、音が出る(しゃべる)、光る(色が変わる)など、モータによる動き以外の要素を付け加えるなどのアイデアや、もっとたくさんのデバイスを接続して、大きなキャラクタや、複雑な動きをデザインしてみたいという意見も得られた。これらの意見を踏まえながら、今後歩行のみならず、3D描画と電子回路をつなぐさまざまな用途

への応用やツールキット化などを検討していく。さらに、本デバイスの造形体験が、電子回路を理解する学習効果にも繋がるような展開を目指す。

5. まとめと今後の展望

本稿では、3Dペンと導電性樹脂を用いることで、動的な造形物を制作できる立体描画ツール WalkingDoodle についての提案と実装について述べた。ユーザの体験の結果から、通常の手描きとは異なる表現を行っている様子が多く見られた。

現在のシステムでは、モータを内蔵したデバイスを使用しているが、今後は曲がるなどの歩行以外の動きや音など、他の動的な表現方法を取り入れていきたい。また3つ以上のデバイスを同時に使用できる環境も目指したい。これは各デバイスがIDを持ち、お互いが通信することによって、複数の種類のデバイスを組み合わせることが可能である。

また、現在は造形物の長さのみに応じて動きが変化しますが、3Dペンに加速度センサやモーショントラッキングセンサを付けることで、ユーザの描いているものを認識し、動きに反映するシステムが考えられる。このようにユーザの描き方に応じて動きを変化させることで、造形行為とユーザとの間に相互作用が生まれ、新しい動的な表現手法に繋がることが期待される。

謝辞

本研究の一部は JST CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術 構築」領域における、「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術 構築と実践」プロジェクトの支援を受けた。

参考文献

- 1) Electroninks Incorporated, circuit scribe, <http://www.electroninks.com/>
- 2) teamLab Inc., “お絵かき水族館”, 長崎ハウステンボス (2014).
- 3) Zachary Lieberman, “drawn”, <http://thesystemis.com/projects/drawn/>
- 4) Lee, J., Haptic Intelligentsia, <http://studiohomunculus.com/portfolio/haptic-intelligentsia-humanprototyping-machine>
- 5) A trademark of CreoPop Pte Ltd., “CreoPop”(2014)
- 6) Jay Silver, et al., Drawdio: A Pencil that Lets You Draw Music, <http://web.media.mit.edu/~silver/drawdiod/>
- 7) Johnson, S., Thomas, A.M.: Squishy Circuits: A Tangible Medium for Electronics Education; Extended Abstracts of the ACM Conference on Computer Human Interactions 2010, Atlanta, GA (2010).
- 8) Junichi Yamaoka and Yasuaki Kakehi: “NeonDough: Crafting With Interactive Lighted Clay,” ACM SIGGRAPH 2012, Posters, (2012.8)
- 9) Leigh, Simon J., Bradley, Robert J., Purssell, C. P., Billson, D. R. and Hutchins, David A.. *A simple, low-cost conductive composite material for 3D printing of electronic sensors*. PLoS One, Vol.7 (No.11), (2012).