

Title	SquishyBot : 動く粘土を用いたデジタル知育玩具
Sub Title	SquishyBot : digital educational toys using moving clay
Author	椿, 麻衣(Tsubaki, Mai) 山岡, 潤一(Yamaoka, Jun'ichi)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2021
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2021年度メディアデザイン学 第924号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002021-0924

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2021 年度

SquishyBot: 動く粘土を用いたデジタル
知育玩具



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

椿 麻衣

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

椿 麻衣

研究指導委員会：

山岡 潤一 専任講師 (主指導教員)

大川 恵子 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

山岡 潤一 専任講師 (主査)

大川 恵子 教授 (副査)

砂原 秀樹 教授 (副査)

修士論文 2021 年度

SquishyBot: 動く粘土を用いたデジタル 知育玩具

カテゴリ：デザイン

論文要旨

近年、多様な学びを取り入れたデジタル知育玩具が普及している。それらの目的として、論理的思考の発達や、プロトタイピング思考の支援、任意の動きを制御し機構について学習することなどが挙げられる。これらのデジタル知育玩具やそれに関するロボット制作ツールは教区分野でも多く広がっていくことが期待される。しかし、現在普及しているデジタル知育玩具やロボット制作ツールはプラスチック製などのブロックやパーツから構成されており、カスタマイズ性の自由度が少ないなどの制約がある。プラスチック製の筐体ではなく、柔軟な素材を用いることで、粘土特有の試行錯誤プロセスを取り入れ既存の知育玩具にはない試行錯誤を通しての学びや、主体的に作り上げる創造力の補助、触覚からの素材との対話を通して知的好奇心を促し子どもの知育へとつながることが期待される。そこで本研究では動く粘土を用いたデジタル知育玩具の提案を行う。粘土は直接手に触れて表現でき、かつ自由度の高い素材である。粘土を用いることで直感的な試行錯誤を行うことができ、既存の知育玩具とは違う操作性によって新しいプロトタイピング思考を促すことが期待される。本論ではデザインプロセスや検証のためのワークショップの様子、今後の展望について論じる。

キーワード：

デザイン, 教育, ワークショップ, 粘土, 素材, 知育玩具

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

椿 麻衣

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2021

SquishyBot: Digital Educational Toys Using Moving Clay

Category: Design

Summary

In recent years, digital educational toys that incorporate a variety of learning activities have become popular. The purpose of these toys is to develop logical thinking, to support prototyping thinking, and to learn about mechanisms by controlling arbitrary movements. It is expected that these digital educational toys and related robotics tools will be widely used in the educational field. However, the digital educational toys and robot-making tools that are currently in widespread use consist of blocks and parts made of plastic or other materials, which limits the degree of freedom in customization. By using a flexible material instead of a plastic casing, it is expected that children can learn through trial and error, which is not possible with existing educational toys, by incorporating the trial and error process unique to clay, by supporting their creativity to create independently, and by encouraging intellectual curiosity through tactile interaction with the material. Therefore, in this study, we propose a digital educational toy using moving clay. Clay is a material that can be directly touched and expressed, and has a high degree of freedom. The use of clay allows intuitive trial and error, and is expected to encourage new prototyping thinking due to its operability that is different from existing educational toys. In this paper, we discuss the design process, the workshop for verification, and future prospects.

Keywords:

design, education, workshop, clay, material, educational toys

Keio University Graduate School of Media Design

Mai Tsubaki

目 次

第1章 序論	1
1.1. デジタル知育玩具	1
1.2. 子供と粘土素材	1
1.3. クレイアニメーション	2
1.4. 本研究の目的	3
1.5. 論文の構成	3
第2章 関連研究	5
2.1. 様々なロボット	5
2.1.1 空気を用いたソフトロボット	5
2.1.2 空気や流体以外を用いたソフトロボット	6
2.1.3 モジュール式ロボット	7
2.1.4 様々な素材と掛け合わせたロボット	8
2.2. クレイアニメーション	10
2.2.1 クレイアニメーションを用いた幼児の映像視聴能力に関する研究	10
2.2.2 クレイアニメーションを用いた新しい側面	11
2.2.3 クレイアニメーションを用いた教育	11
2.3. 粘土素材と知育	13
2.3.1 粘土素材と知育	13
2.3.2 粘土素材を活かした研究	13
2.4. デジタル知育玩具	14

第3章	デザインプロセス	18
3.1.	リニアアクチュエータを用いた第一プロトタイプ	18
3.1.1	使用粘土の選定	18
3.1.2	リニアアクチュエータを用いたプロトタイプ	20
3.2.	サーボモータを用いた第二プロトタイプ	22
3.2.1	サーボモータを用いたモジュールのデザイン	22
3.2.2	コントローラーのデザイン	23
3.2.3	操作方法	24
3.2.4	第二プロトタイプを用いた展示	25
3.3.	動きの録画・再生を備えた最終デザイン:SquishyBot	27
3.3.1	サイズ変更・種類の追加を行ったモジュールのデザイン	28
3.3.2	コントローラーのデザイン	30
3.3.3	SquishyBot の使用手順	30
第4章	検証	32
4.1.	ワークショップ	32
4.1.1	観察	33
4.1.2	ワークシートおよびアンケート	36
4.2.	検証結果	42
第5章	まとめ	44
5.1.	総括	44
5.2.	今後の展望	45
	謝辞	47
	参考文献	48
	付録	52
A.	使用したプログラム	52
A.1	第一プロトタイプで用いたプログラム	52
A.2	第二プロトタイプで用いたプログラム	53

A.3	最終デザインで用いたプログラム	55
B.	ワークショップで使用了資料	57
B.1	アンケート	57
B.2	ワークシート	57

目 次

1.1	体験イメージ	4
2.1	Stretchable pumps for soft machines [1] より	6
2.2	ハグロボット [2]	6
2.3	Softworms:the design and control of non-pneumatic,3D-printed,deformable [3] より	7
2.4	Snapbot: a Reconfigurable Legged Robot [4] より	8
2.5	PINOKY: A Ring That Animates Your Plush Toys [5] より	9
2.6	多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット [6] より	10
2.7	Keepon:A Playful Robot for Research, Therapy, and Entertain- ment [7] より	10
2.8	ホットメルト接着剤を使った作品『Gluebe 』 [8] より	11
2.9	子ども向けクレイアニメ制作のためのインターフェース開発 [9] より	12
2.10	粘土素材を活かした研究	14
2.11	Gakken ニューブロック [10]	15
2.12	教育版レゴ速 マインドストーム速 EV3 基本セット [11]	16
2.13	SONY から販売されている知育玩具 [12] [13] より	16
2.14	Topobo [14] より	17
3.1	粘土の種類	19
3.2	初めの状態と千切れた状態	19
3.3	カバーの設計	20
3.4	サーボモータを用いたプロトタイプ	22
3.5	2種類のマジュール	23

3.6	2種類のカジュールごとのカ作品例	23
3.7	第二プロトタイプ：コントローラー	24
3.8	第二プロトタイプ：操作手順	25
3.9	KMD フォーラムでの展示	26
3.10	KMD フォーラムでのカ作品	27
3.11	最終デザイン:SquishyBot	28
3.12	SquishyBot：3種類のカジュール	29
3.13	3種類のカジュールごとのカ作品例	29
3.14	カジュールを組み合わせたカ作品例	30
3.15	SquishyBot：コントローラー	31
3.16	SquishyBot：使用手順	31
4.1	当日の様子	32
4.2	実際に撮影したカ作品	35
4.3	ワークショップで用いたワークシート	36
4.4	参加者 A のワークシート	38
4.5	参加者 A が実際に作ったカ作品	38
4.6	参加者 B のワークシート	39
4.7	参加者 B が実際に作ったカ作品	40
5.1	体験イメージ	45
B.1	ワークショップ前に使用したアンケート	57
B.2	ワークショップ後に使用したアンケート	58
B.3	ワークショップで用いたワークシート	58
B.4	ワークショップで用いた参考ワークシート	59

表 目 次

3.1	体験内容	26
4.1	実施内容	33
4.2	当日の流れ	33
4.3	はじめに描いたものとモジュールを使って造形したものの変化 .	37

第 1 章 序

論

1.1. デジタル知育玩具

近年，ユーザーが設計できるロボットや技術を活用し多様な学びを得ることがたデジタル知育玩具が普及している。

それらの目的として，論理的思考の発達や，プロトタイプ思考のの支援，任意の動きを制御して機構について学習することなどが挙げられる。これらは数理教育に造形性教育を加えた教育概念である STEAM 教育に基づいており，2020 年度から小学校で導入されるプログラミング教育でも，デジタル知育玩具やそれに関するロボット制作ツールなどが多く広がっていくことが期待される。STEAM 教育では，芸術やプログラミングなど異なる分野の横断を繰り返しながら製作することで，問題解決手法を発見していくことを狙いとしている。しかし，現在普及しているデジタル知育玩具やロボット制作ツールはプラスチック製などのブロックやパーツから構成されており，カスタマイズ性の自由度が少ないなどの制約があると考えられる。

1.2. 子供と粘土素材

子どもは多くの遊びを通し，それを学びの機会として成長する。玩具は，有する機能や形状から子供の興味・関心といった知的好奇心を促し遊びを通じた学習を始めるきっかけを与える。子どもは積み木や粘土，絵本やお絵かきなど様々な遊びを通して認知発達していく [15]。中でも粘土素材は子どもとの親和性が高く，自由自在に変形することができ子どもの好奇心を刺激する素材である。また，多様

に変形することができる可塑性を持ち合わせ造形活動にも適する。この粘土の特性、潰す、握る、伸ばす、ちぎるのような自由度の高さは子どもが持つ柔軟な発想や想像力を表現するのに適していると言える [16]。また、素材との対話を通じて、このように粘土に触れることによる触感からの刺激は子どもに大きな影響 [17] を与えるとされている。粘土はその特性を使い自由な造形をすることができ、子どもに影響を与えることができるのである。

1.3. クレイアニメーション

クレイアニメーションとは、粘土を用いて制作されたキャラクターを少しずつ動かしながらコマ撮り（ストップモーション技法）で撮影された映像のことを指す。クレイアニメーションは、

1. Model Animation

キャラクターの手足を直に動かしアニメーションにする。一番基本的な技法

2. Puppet Animation

キャラクターの表情ごとにパーツをつくり、それを置き換えて撮影していく技法

3. Relief Animation

版立体のパーツをずらしたり、重ねたり、移動することで表現する技法

の技法 [18] で構成されている。

オットマー・グットマンによって制作された作品ピングーやイギリスのアニメーション制作スタジオアードマン・アニメーションズで制作されたひつじのショーなどのクレイアニメーション作品は、粘土が持つ特殊な動きの表現や、特定の言語を言語を用いていないため子どもにも容易に理解でき、言語を超え人々に広く認知されている。また、クレイアニメーションは作品に用いられるだけではなく、教育分野 [19] にも用いられている。このクレイアニメーションをはじめとするアニメーションは子どもに心理体験による影響 [20] を与えるとされている。

1.4. 本研究の目的

本研究では、粘土素材の特性を活かし自由に幅広く造形をすることができ、それを動かすことができるデジタル知育玩具の提案を目的とする。コマ撮りではないクレイアニメーションのような体験を与えることも加えて目的とする。プラスチック製の筐体ではなく、柔軟な素材を用いることで、粘土特有の試行錯誤プロセスを取り入れ既存のデジタル知育玩具にはない試行錯誤を通しての学びや、主体的に作り上げる創造力の補助、触覚からの素材との対話を通して知的好奇心を促すことが期待される(1.1)。また、粘土は、誰もが一度は使ったことのある身近な素材でありながら、直接手に触れて表現でき、かつ自由度の高い素材である。粘土を用いることで直感的な試行錯誤を行うことができ、既存のデジタル知育玩具とは違う操作性によって新しいプロトタイピング思考を促すことが期待される。本研究で提案するデジタル知育玩具では

- 試行錯誤を通じたプロトタイピング思考の補佐
- 粘土造形が動くことによる想像力の育み
- 動く粘土から好奇心を生み、創造力の促進につながる

ことを目的としたデジタル知育玩具を提案する。

1.5. 論文の構成

第1章では既存の知育玩具の課題や粘土素材の知育的な観点からの有用性、クレイアニメーションの現状について述べ、本研究の目的と論文の構成について述べた。第2章ではソフトロボットをはじめとする小型ロボットについての先行研究やクレイアニメーションの活用事例、粘土と知育の関わりについての論文を調査しデザインコンセプトの決定に結びつけた。第3章では最終デザインに至るまでのデザインプロセスやその間に行った展示からどのような課題があったのか検証を行い、プロトタイプ改善の指標とした。第4章では制作した最終デザインを用いたワークショップを行い、実際に自分が第1章にて目的としていた事項が達

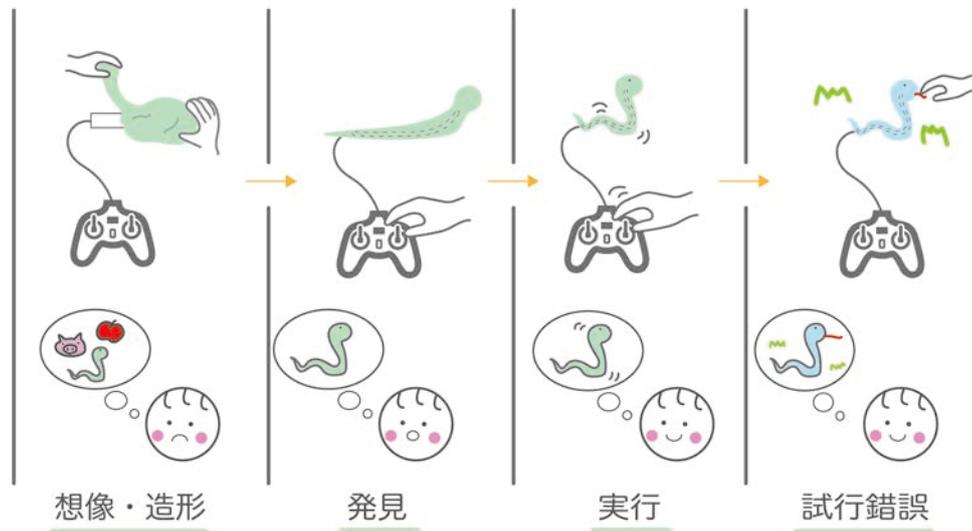


図 1.1 体験イメージ

成されているのか観察とワークシートをもとに検証を行った。第5章で本研究の総括および今後の展望について述べる。

第 2 章

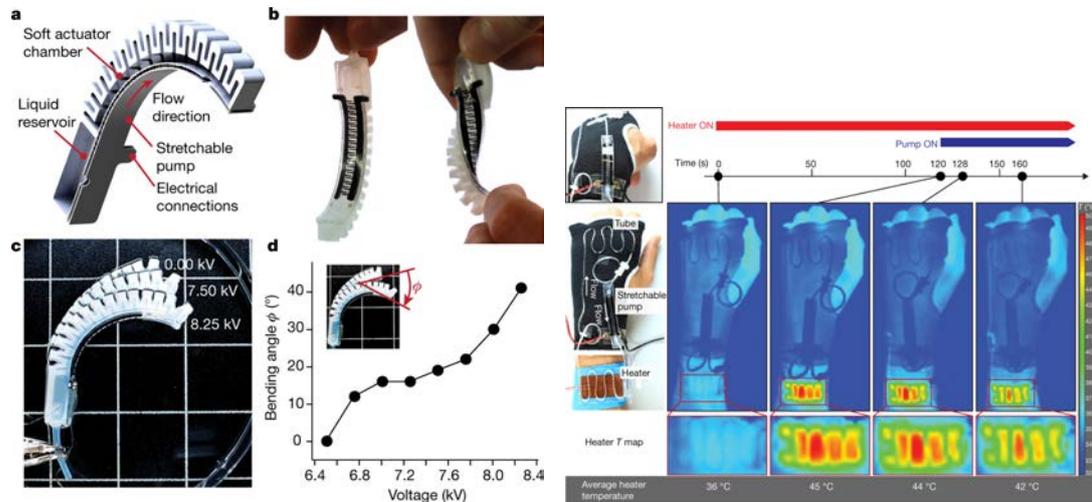
関 連 研 究

2.1. 様々なロボット

2.1.1 空気を用いたソフトロボット

Stretchable pumps for soft machines [1] は空気を用いた伸縮自在なポンプ (図 B.2:a) を採用した小型のソフトロボットである。ここで用いられているポンプは、柔軟性や伸縮性、モジュール性、拡張性、静粛性、高速性に優れており、かつ小型である。このポンプをグローブに縫い付け (図 B.2:b), 組み込むことでポンプを通して流体を移動させることによって体温調節ができる仕組みを挙げている。しかし、ここで論じられている伸縮自在のポンプを用いたデバイスは、非常に小さいが、流量が少ないためソフトロボットやウェアラブルなアプリケーションには小すぎるとある。空気圧で作動させることで、柔すぐに使うことができるが、外部に圧縮空気の供給源が必要なため現実的ではない。

また、Blower-Powered Soft Inflatable Joints for Physical Human-Robot Interaction [2] は送風機を動力源とするソフトインフレーターブルジョイントである。関節のメカニズムを応用し、リニアアクチュエーターによって引っ張られた腱ワイヤーによって駆動している。安全で軽く、かつ折り畳みによる携帯性があることが利点としてあげられる。このシステムの応用としてハグロボット (図 2.2) を開発している。



(a) 伸縮自在ポンプ

(b) 伸縮自在ポンプとグローブ

図 2.1 Stretchable pumps for soft machines [1] より

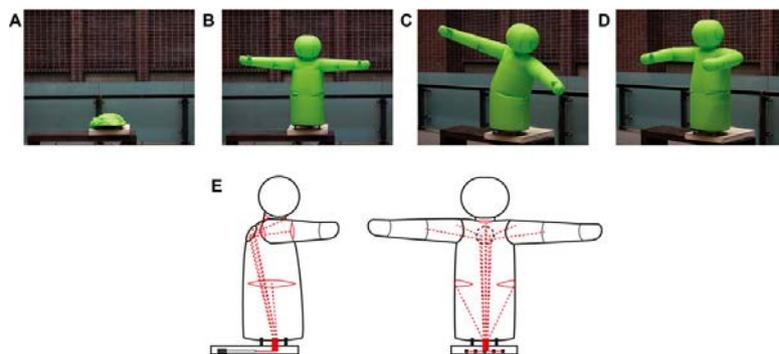


図 2.2 ハグロボット [2]

2.1.2 空気や流体以外を用いたソフトロボット

Softworms: the design and control of non-pneumatic, 3D-printed, deformable robots [3] は空気や流体のアクチュエーターではなく形状記憶合金のマイクロファイバーを用いたソフトボットである (図 2.3). 幼虫をモチーフとした形状は 3D プリンタで直接プリントをしたり, 型を作り鋳造をすることで簡単に, かつ安価に

作ることができる。また短時間で大量に作ることができるので異なる材料特性を持つロボットの制御をテストするのに適する。将来的に学校の授業での扱いや大学などの高いレベルで用いられることを想定している。

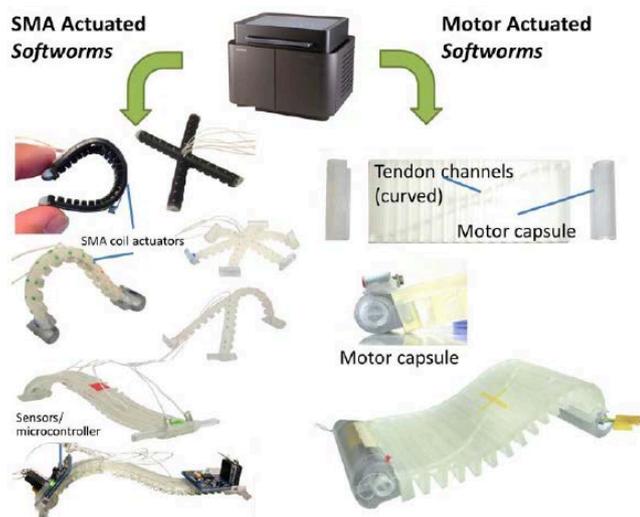


図 2.3 Softworms:the design and control of non-pneumatic,3D-printed,deformable [3] より

2.1.3 モジュール式ロボット

Snapbot: a Reconfigurable Legged Robot [4] は付け替え可能な3種類脚からなるモジュール式のロボットである。脚部分は磁石で取り外しや組み換えが可能となっている(図2.4)。取り付ける場所や本数、種類によって生き物のような動きをすることができる。3Dプリンターで作られたボディには、マイクロコントローラーとバッテリーが搭載されておりモジュール式の脚への通信と電源供給のための接続部を備えている。6つの接続部分と3種類の脚から構成されるSnapbotは700通りの組み合わせで動くことができる。

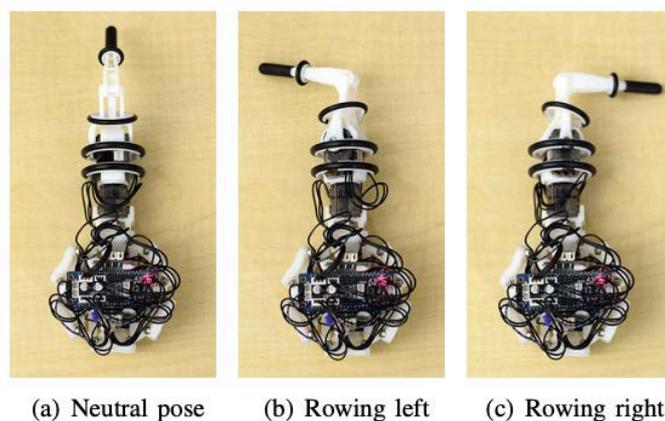


Fig. 7. Rowing Motion

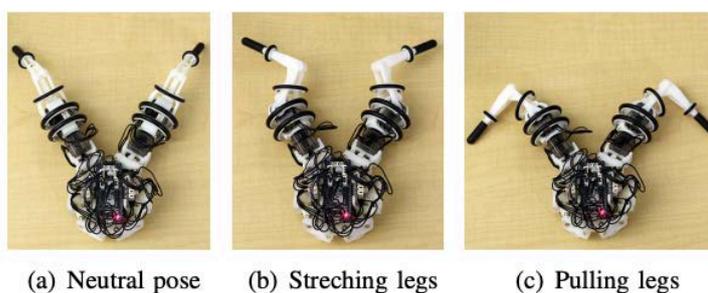


図 2.4 Snapbot: a Reconfigurable Legged Robot [4] より

2.1.4 様々な素材と掛け合わせたロボット

PINOKY [5] は持っているぬいぐるみにリング状のデバイスを装着することで動きを付与しロボットにすることができる。装置はサーボモーターやマイコンコンピュータで構成されている (図 2.5)。ぬいぐるみを傷つけず簡単に取り外しをすることができるが、可動範囲は少ないものとなっている。

Nuibot [6] はぬいぐるみを動かすことを目的とし、ぬいぐるみ本来の素材である糸、布、綿とそれを駆動するアクチュエータ部分で構成されている (図 2.6)。ぬいぐるみに装置をつけ、糸をモーターで引くことにより動きを付与している。この装置はぬいぐるみ内部へ装着することで可動するため、従来のぬいぐるみに対しての取り外しは容易ではない。



図 2.5 PINOKY: A Ring That Animates Your Plush Toys [5] より

keepon [7] はシリコンゴムで形成されたキャラクターを操作するものである (図 2.7). バッテリーと無線通信のハードウェアで構成され, 映像や音声, 制御データを別の場所にいるオペレーターに送信し, オペレーターがそれを元にロボットを操作するものとなっている. Nuibot や PINOKY と違いユーザーではなく制作側が動きを付与する構造である. また, Nuibot や PINOKY よりも柔軟な動きをすることができる.



図 2.6 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット [6] より



図 2.7 Keepon: A Playful Robot for Research, Therapy, and Entertainment [7] より

2.2. クレイアニメーション

2.2.1 クレイアニメーションを用いた幼児の映像視聴能力に関する研究

幼児の映像視聴能力に関する研究としてクレイアニメーションを取り上げ論じている研究がある。[21] 小学生・幼児を対象として行われた検証の中で幼児は、登場人物や状況把握の理解、場面の展開の予測などをを行っていたが、ストーリー全体を正確に把握するまでには至らなかったとされている。

2.2.2 クレイアニメーションを用いた新しい側面

クレイアニメーションとは、粘土を用いて制作されたキャラクターを少しずつ動かしながらコマ撮りで撮影された映像のことである。コマ撮りアニメーションのメタモルフォシス表現に関する研究 [8] ではコマ撮りアニメーションの新しい側面として、立体断面の連続写真の撮影に着目している。従来の粘土のみを扱うクレイアニメーションではなく、撮影技法に焦点を当て様々な素材の断面をアニメーションにする実験を行い素材検討を行なっている。中でもホットメルト接着剤（高温下で溶け低温下で固まる接着剤の一種）を用いて立体物の連続断面を撮影し作品としている。（図 2.8）

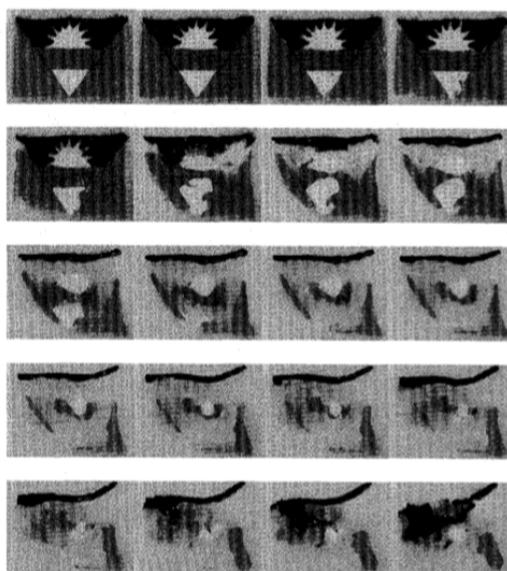


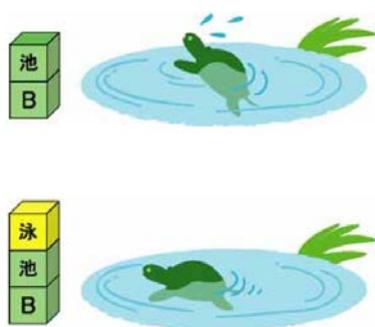
図 2.8 ホットメルト接着剤を使った作品『Gluebe』 [8] より

2.2.3 クレイアニメーションを用いた教育

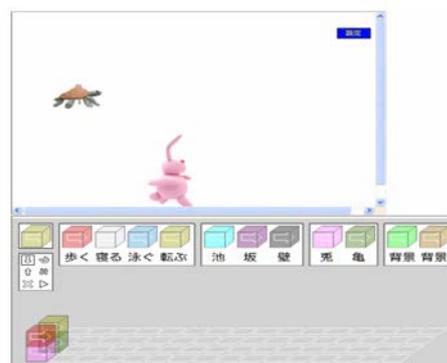
中学校におけるクレイアニメーションを用いた実践授業研究 [18] では1コマずつ撮影するコマ撮りでの撮影を映像文法として体験的に理解させ、映像制作の教材として取り扱っている。アニメーション制作のプロセスを理解させるため、

グループごとにあらすじと絵コンテを描かせ、十分に設計させたのちに制作に取り掛かり、カメラ撮影、確認と再撮影、効果音やBGMを設定する流れでワークショップを行なっている。コマ撮りは1コマずつの撮影となるため撮影結果をすぐに確認することができ、トライ&エラーにおける工夫想像を促しやすい。アニメーション制作のプロセス理解だけでなく、他者との関係性やコミュニケーション能力を高めているという結果が論じられている。

子ども向けクレイアニメ制作のためのインターフェース開発 [9] ではブロックの組み合わせのみでアニメーションを制作できるシステムが提案されている。クレイアニメーションでの編集作業において子供は飽きを感じる事が多く課題となっていた。この論文ではクレイアニメーションにおいて重要となるストーリー制作部分(編集部分)を楽しみながら取り組んでもらうことを目的としている。ここで提案されているブロックを用いたインターフェース(図2.9)ではブロックの種類(キャラクターブロック, 動作ブロック, 背景ブロック, 障害ブロック)や向きによって状況を描写し、アニメーションを生成している。評価実験はこの論文では行われていないが、映像制作ツールとしては容易に体験することができるがクレイアニメーション制作ツールとしては本質であるコマ撮りや粘土を用いた独特な表現と離れていると考える。



(a) アニメーション制作の仕組み



(b) インターフェース

図 2.9 子ども向けクレイアニメ制作のためのインターフェース開発 [9] より

2.3. 粘土素材と知育

2.3.1 粘土素材と知育

粘土は、誰もが一度は使ったことのある身近な素材でありながら、直接手に触れて表現でき、かつ自由度の高い素材である。その特性から子どもの造形教育では多く用いられている。幼児の粘土造形—基礎的な技能の習得及び題材（テーマ）についての実践と検証— [19] では子どもたちは粘土活動を楽しみながら、基礎的な造形的操作を身に付けることができる。さらに見立て（命名）遊びや仲間との共同制作へと広がりのある展開が可能 [19] であるとされている。また、粘土の硬さとの関係について子どもの造形活動と粘土硬度に関する考察 [16] では子供の造形活動に適する粘土の硬さに着目し、子どもの造形活動と粘土高度の関係性について論じている。大人と子どもで扱いやすいと感じる粘土の高度には差があることがわかっている。また、硬度ごとに異なる遊びを展開し、子どもが練って何かを作りたい場合には硬度3が適しているが、それ以外でも硬度を活かした造形で支援ができると述べている。

2.3.2 粘土素材を活かした研究

Squishy Circuits as a Tangible Interface [22] は導電性と絶縁性の小麦粘土を用いて簡単な電子工作をするためのものである。Squishy RGB LED コントローラー (図 2.10:a) は3つの導電性生地を入力デバイスとして使用し、LEDの明るさを制御するものである。これを元にし教育カリキュラムとして発展させると論じている。NeonDough [23] は異なる色で光る粘土同士をくっつけることによって色の混色を行うことができる (図 2.10:b)。色の混色のプロセスや造形体験は粘土特有の良さを残しながら粘土が光る新しい体験を提示している。



(a) A squishy interface for RGB LED [22]

(b) NeonDough [23]

図 2.10 粘土素材を活かした研究

2.4. デジタル知育玩具

様々な知育を促すことができる知育玩具は多く提案されている。ニューブロックプログラミング (図 2.11) (学研ステイフル社製) は、PC やスマホを使わずブロックのみを組み合わせ、付属のモーターを通して動き制御するブロック型玩具である。また、同じくブロック型玩具である MINDSTORMS [24] はモーターを用いてセンサ、ギア、レゴブロック等を用いてロボットの制御が可能となるツールである (図 2.12)。KOOV [25] はバッテリーやモーター、センサー等が内蔵されたそれぞれのブロックを組み合わせ形作ることによって動きをつける (図 2.13:a)。これらのブロック型玩具は組み合わせで動きを制御しているが、造形パターンの単純さやビジュアルの同質化が課題として挙げられる。Toio [26] も同じくブロック型のロボット玩具である。光学センサーが搭載されたキューブで位置を検出し、6軸検出システム (3軸加速度・3軸ジャイロ) により、環境側の動きを検出する。また様々なパッケージ展開されており、身近な素材と組み合わせで遊ぶことができるキット (図 2.13:b) である。

Topobo [27] はコネクタとモーター、電子機器で構成されており、モーターを搭載した部品を用いて動きを記憶することで直感的に動きを制御することができる (図 2.14:a)。パーツの組み合わせや動かし方で様々な動きを付与することができる



図 2.11 Gakken ニューブロック [10]

る (図 2.14:b). 今までのブロック型やロボット型の玩具とは違い, 試行錯誤や造形の幅が広い. 本研究では, このような直感的な制御や試行錯誤の幅を取り入れながら, 有機的な柔らかい動きや造形を加えたものを提案しプロトタイプ思考の発達を促す.



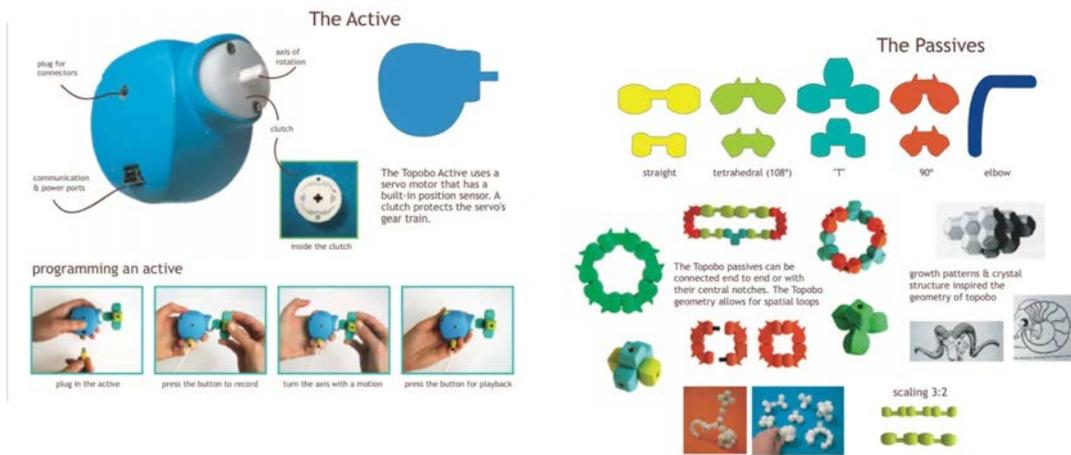
図 2.12 教育版レゴ® マインドストーム® EV3 基本セット [11]



(a) KOOV アドバンスキット

(b) toio バリュエパック

図 2.13 SONY から販売されている知育玩具 [12] [13] より



(a) Topobo 仕組み

(b) Topobo パーツ

図 2.14 Topobo [14] より

第 3 章

デザインプロセス

本章では，粘土とモータを内蔵したモジュールを用いてデジタル知育玩具のデザインを行う．構造としてはサーボを内蔵した動くモジュールの芯材に対し粘土を貼り付け造形を施し，その後ユーザが動きをつける．また，第 1 章で述べた本研究での目的を達成するための条件項目

- 試行錯誤を通したプロトタイプ思考の補佐
- 粘土造形が動くことによる想像力の育み
- 動く粘土から好奇心を生み，創造力の促進につながる

を満たすためのデザイン提案を行っていく．本章では，デザインプロセス，手法および改善につながった検証について述べる．

3.1. リニアアクチュエータを用いた第一プロトタイプ

3.1.1 使用粘土の選定

粘土には用途に応じて，異なる素材特性を有する．今回動きとの相性の良い粘土を選定するために以下の 4 種類の粘土を用意し比較した．

- a. のび～る紙粘土（株式会社ポケット製）
- b. くっつく紙粘土（株式会社銀鳥産業製）
- c. 小麦粘土（株式会社セリア製）



図 3.1 粘土の種類

d. ふわふわかるーい紙粘土（株式会社 CS 製）

これらをリニアアクチュエータに直接つけ、粘土がちぎれた状態（図 3.2）になるまでの往復回数を計測した。今回使用したリニアアクチュエータは Actuonix Motion Devices 社製の L12-30-50-6-1 であり、ストロークは 30mm，トルクは 42N である。



図 3.2 初めの状態と千切れた状態

貼り付ける粘土の厚みはリニアアクチュエータの形がわからない程度の約 5mm とした。

b, dの粘土は平均2-3回繰り返すと千切れてしまった。cの小麦粘土はリニアアクチュエータにつかず，中のリニアアクチュエータだけが動くような状態になった。aの粘土は動きと相性が良く平均3-4回動きを繰り返した後にちぎれてしまう形となった。この結果から，本研究で扱う粘土はaののび～る粘土とした。

3.1.2 リニアアクチュエータを用いたプロトタイプ

芯材として用いたサーボにそのまま粘土をつけただけでは簡単に剥離してしまう。さらに動きに対して粘土がついてくるのが難しく，可動部分にひびが入りちぎれてしまう。そこで，モーターに3Dプリンターで印刷したカバー。(図3.3)をつけることで，粘土との剥離を損なわずに動かすことを検証した。

まず，リニアアクチュエータを用いたプロトタイプの制作を行なった。リニアアクチュエータのサイズに合わせて，三種類の異なるデザインでのカバーを設計した。カバーの大きさは33mm x 33mm x 113mmである。カバーの材料はPLAである。図3.3aのバネの間隔は8mm，bのバネの間隔は17mm，cのバネの間隔は13mmとした。またバネの太さはbは直径3mm，cは直径4mmとした。リニアアクチュエータが伸縮するに伴いバネが同時に伸びるようにカバーは取り付けられている。今回，モータを伸長する時間は4秒と設定した。

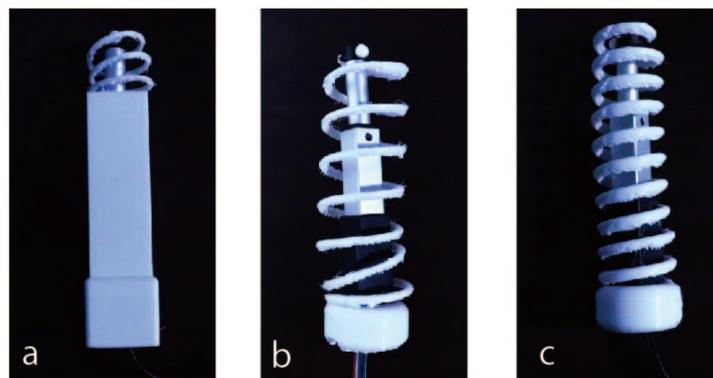


図 3.3 カバーの設計

- a. 可動部分のみをバネ状にしたカバー
- b. 全体を細いバネで覆ったカバー
- c. 全体を太いバネで覆ったカバー

図 3.3 a の可動部分のみをバネ状にデザインしたカバーでは、本来リニアサーボが動く部分である上部のみが動いた。またカバーをつける前に比べ粘土の剥離が少なくなった。図 3.3 b の全体を細いバネで覆ったものは動きがバネを通して拡散され、動きを拡散させ粘土の一点に動きの負荷がかかることを防ぎ本来可動部分ではない下部にまで動きが伝達され全体が動きを持った。図 3.3 c も同様に動きが拡散され全体に動きを持たせることができた。図 3.3 b に比べて、図 3.3 c はバネ部分が太いため粘土を用いて細工を施した際に安定し、造形がしやすかった。結果、粘土で覆った際の造形のしやすさや動きの拡散から図 3.3 c のデザインを本提案では採用した。この第一プロトタイプは WISS2020 での論文発表 [28] を行った。そこで議論となった以下の 2 点について第二プロトタイプで改善する

1. ばね形状であると粘土が前内部に入り込んでしまうため新しい構造が必要なのではないか
2. 動きの種類の少なさ

3.2. サーボモータを用いた第二プロトタイプ

前段階のリニアアクチュエータでの第一プロトタイプを用いた論文発表の際に議論となった粘土がモータ内部に入り込む問題と2動きの種類の少なさを改善すべくサーボモータ (TowerPro 社製,SG-90) を用いた第二プロトタイプの制作を行った。同時に基板を設計し、ユーザ自身が制御でき直感的に動きをつけることができるコントローラーの制作も行なった (図 3.4)。また、このプロトタイプを使い FMD フォーラム内で体験可能な展示として実際に検証を行なった。



図 3.4 サーボモータを用いたプロトタイプ

3.2.1 サーボモータを用いたモジュールのデザイン

サーボモータ (TowerPro 社製,SG-90) のサイズに合わせて、2種類の異なるデザインでのカバーを設計した。カバーの材料はPLAである図3.5。カバー部分は粘土と接する面を増やし、粘土との剥離を抑えるデザインとした。またこの2種類はそれぞれ異なる動きを粘土に付与することができる。aのカバーは44mm×41mm×45mm、bのバカカバーは44mm×20mm×58mmとした。サーボモータの回転に伴い同時に動くようカバーは取り付けられている。2種類のモジュールは

それぞれの動きの特徴を活かし、粘土と組み合わせるとこにより図 3.6 のような作品を作ることが可能となっている。



図 3.5 2種類のモジュール



モジュール a を用いた作品例



モジュール b を用いた作品例

図 3.6 2種類のモジュールごとの作品例

3.2.2 コントローラーのデザイン

コントローラー部分 (図 3.7) のカバーの素材は PLA でサイズは 56mm × 100mm × 25mm とした。つまみの部分をひねるとその角度に対応して粘土内のモジュー

ルが動き，粘土造形に動きが付与される．動きの制御に用いたツールは Arduino IDE でプログラミングを行なった．

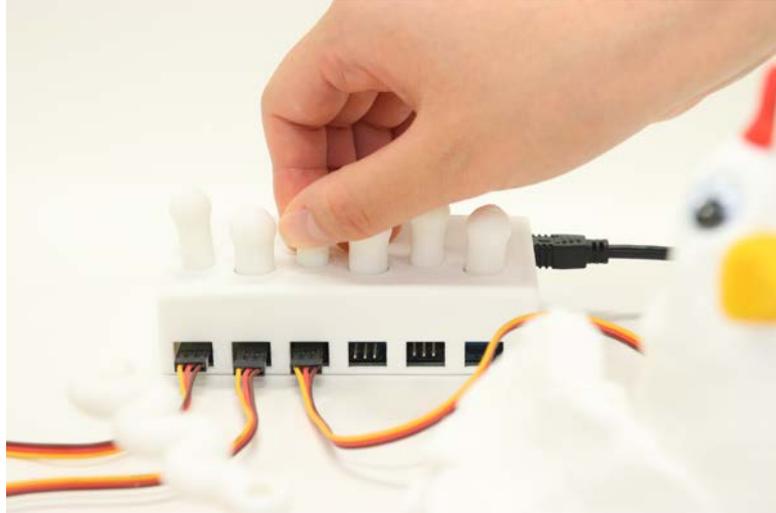


図 3.7 第二プロトタイプ：コントローラー

3.2.3 操作方法

操作手順(図 3.8)はまず作りたいものに合わせてモジュールを選択する．次にモジュールに粘土を付け造形し，最後につまみをひねりながら粘土を動かす流れである．



図 3.8 第二プロトタイプ：操作手順

3.2.4 第二プロトタイプを用いた展示

第二プロトタイプを用いて2日間KMDフォーラム内で体験可能な展示として参加者に体験してもらった(図3.9.)2日間で子どもから大人まで約32名の参加者に体験してもらった。聞き取り調査から小学校低学年やそれ以下の体験者が多くなっていた。使用素材は小麦粘土(株式会社セリア製)、のび~る紙粘土(株式会社ポケット製)、製作したコントローラと2種類のモジュールである。展示で作られた作品は図3.10となっていた。体験内容については表3.1に示し、また、体験の流れは参加したい人に対し、個包装した粘土セットを渡した後、動かしたい動きに応じてモジュールのタイプを選択してもらった。粘土やモジュールの使い回しはなく、展示台を随時アルコール消毒し十分に感染対策を行った。体験時間は参加者によって異なり、3分ほどで作品を作る子どもや10分かけて作り上げる子どももいた。使用したモジュールはタイプa、タイプb同じ頻度で使用されていた。

表 3.1 体験内容

実施日程	2021年7月5日,6日
実施場所	東京ポートシティ竹芝オフィスタワー8階 CiP内
使用素材	小麦粘土, のび~る紙粘土
参加人数	約32名
参加者年齢	小学校低学年から大人まで



(a) 展示の様子



(b) 体験の様子

図 3.9 KMD フォーラムでの展示

結果

展示では粘土が動いている様子を見て興味を持ち、実際に多くの人に体験してもらうことができた。動かしたい動きに応じて意図的にモジュールの選択は行われていたが、モジュールの使われ方として、粘土の中に組み込む方法ではなく、粘土を回すための土台としての使用がほとんどであった(図3.10)。また、動かす体験ではなく造形体験に興味を持ち、作って動かさずに帰ってしまう子どもや自分からは動かさず親やスタッフに動かしてもらおう様子が多く見られた。結果として第1章に設定した項目の一つである試行錯誤のプロセスがあまり見られなかった。改善項目を以下にまとめる。

1. モジュールの使われ方
2. 粘土に動きを付与する部分の体験の見直し

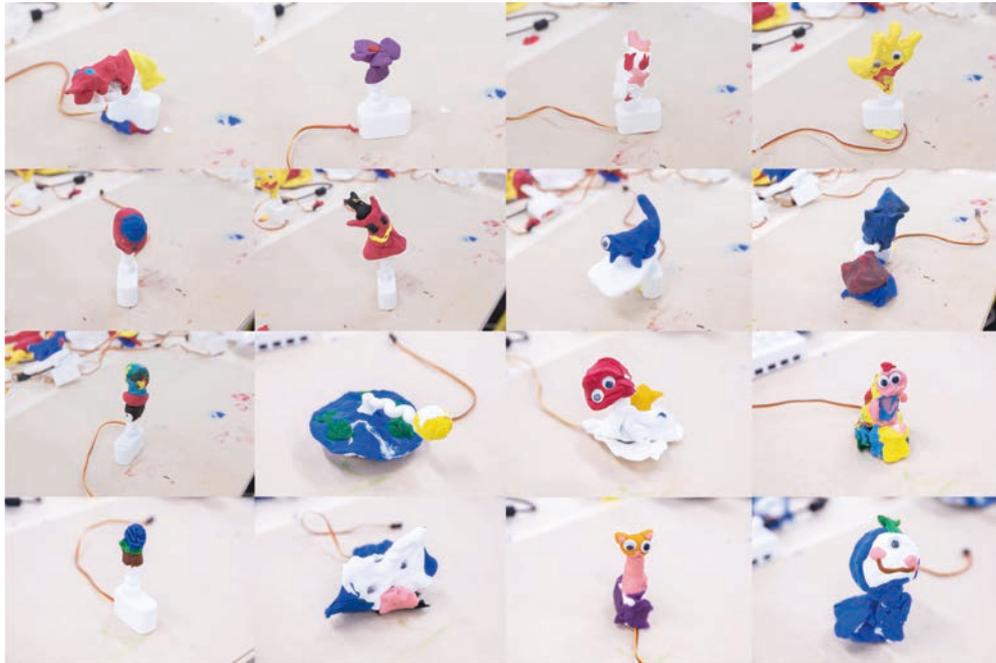


図 3.10 KMD フォーラムでの作品

3.3. 動きの録画・再生を備えた最終デザイン:Squishy-Bot

第二プロトタイプを用いて行った展示にて見られた課題点に対し最終デザインである SquishyBot(図 3.11) で行った改善を以下にまとめる。

- a. モジュール部分の縮小
- b. コントローラー部分の体験の変更（動きの録画・再生機能の追加）
- c. コントローラーカバーのデザイン変更

モジュールが粘土内部の芯材として扱われていない課題に対し、観察から子どもが作る粘土造形に対してモジュールが大きすぎるのではないかと考え、モジュールの縮小を行った。また、粘土に動きを付与する体験では粘土を動かす時、常につまみを回し続けなければならなかった。そのため、任意の動きをつけるプロセスと粘土が動く様子を見るプロセスが同時に行われ、子どもの関心が分散されて

いると考えた。最終デザインでは動きの録画・再生機能を追加し動きの付与のプロセスと動く様子を見るプロセスを分け体験を鮮明にした。第二プロトタイプのコントローラーのつまみ同士が近く、動かしにくい様子やつまみのデザインが回すものであると認識されず、ボタンのように押して操作をしている様子も見られたので、その改善を行ったコントローラーのデザインを最終デザインでは採用した。制作した最終デザイン SquishyBot はワークショップで使用し、検証を行なった。検証については第4章にて述べる。



図 3.11 最終デザイン:SquishyBot

3.3.1 サイズ変更・種類の追加を行ったモジュールのデザイン

サーボモータのサイズに合わせて、3種類の異なるデザインでのカバーを設計した。使用したサーボモータは FEETECH 社製 (FEETECH-FS0403) のもので、カバーの材料は PLA である (図 3.12)。c のカバーは 28mm × 25mm × 38mm, d のバカバーは 28mm × 11mm × 55mm, e のカバーは 28mm × 57mm × 38mm, とした。サーボモータの回転に伴い同時に動くようカバーは取り付けられている。前回のプロトタイプと比べ本体の大きさは縦 12mm, 横 8mm のサイズ縮小を行なった。3種類のモジュールはそれぞれの動きの特徴を活かし、粘土と組み合わせる

とにより図 3.13 のような作品を作ることが可能となっている。また、いくつかのモジュールを使った例として図 3.14 のような扱い方も可能である。

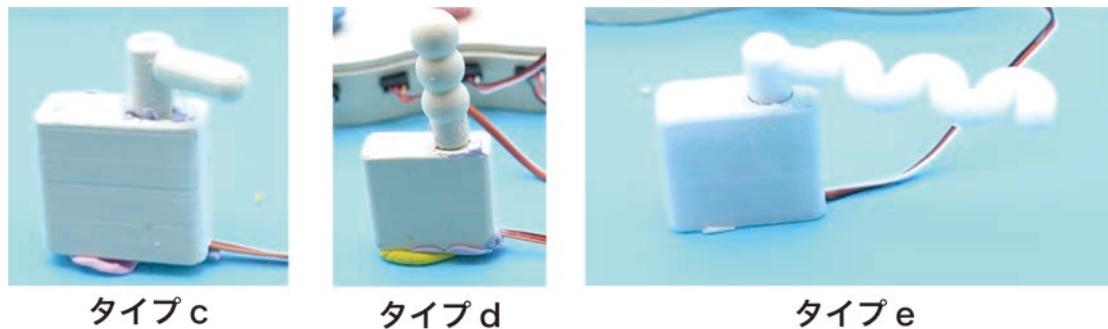


図 3.12 SquishyBot : 3 種類のモジュール

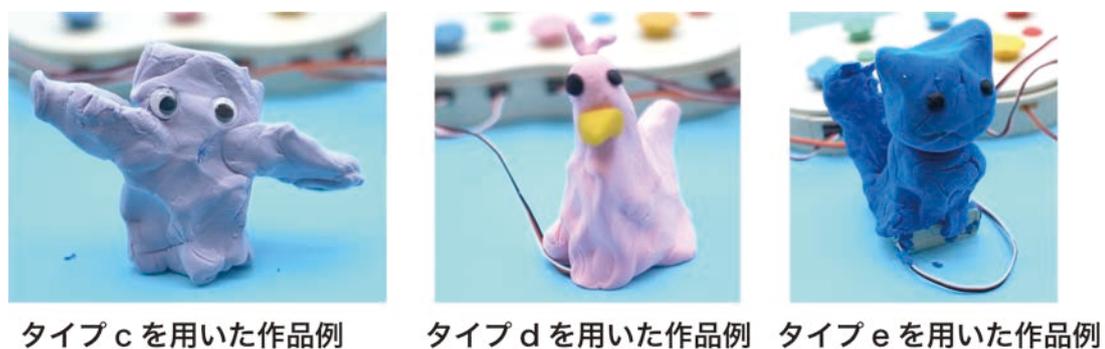


図 3.13 3 種類のモジュールごとの作品例

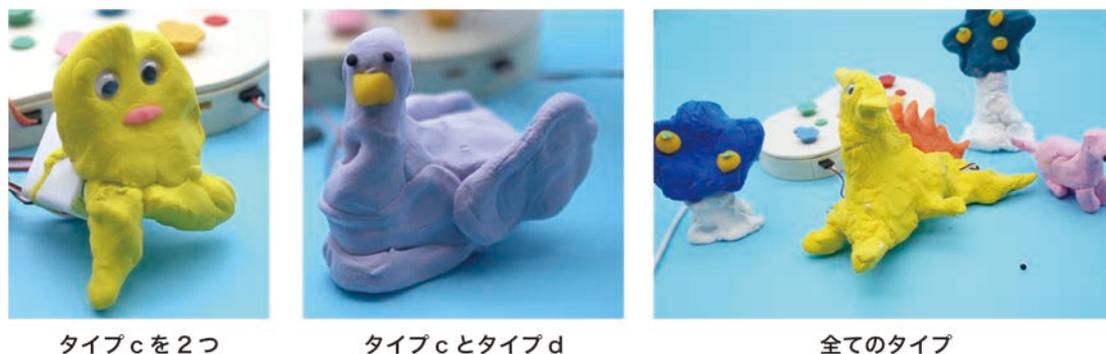


図 3.14 モジュールを組み合わせた作品例

3.3.2 コントローラーのデザイン

コントローラーの再設計とともに基板の再設計を行なった。コントローラー部分のカバーの素材はPLAでサイズは111mm×161mm×22mmとした。第二プロトタイプを使用したKMDフォーラムでの検証からつまみのデザイン、つまみ同士の距離が改善点としてあげられたので、つまみは丸い円柱状から花形のデザインに変更し、それぞれの距離をあげ制作した。また、つまみを常に回しながら動かすという体験を見直し、動きの録画・再生機能を追加した。丸いボタンを押しながら花の形を模したつまみの部分(図3.15)。をひねるとその角度に対応してモジュールが動きそれを記憶し再生する仕組みとなっている。動きの制御に用いたツールはArduino IDEである。

3.3.3 SquishyBot の使用手順

今回デザインしたモジュールを用いて、実際に粘土を貼り付け手順を示す(図3.16)。まず、動かしたい動きに合わせてモジュールを選ぶ。次に粘土を貼り付け造形する。複数個連結させる場合、粘土をつけ終わったモジュール同士を連結させ、造形する。最後にコントローラーの丸いボタンを押しながら花型のつまみを回し任意の動きをつけていく。動きをつけた後はボタンから手を離し、動きが再生される。



図 3.15 SquishyBot : コントローラー



図 3.16 SquishyBot : 使用手順

第 4 章 検 証

4.1. ワークショップ

10/10 コミュニティふらっと阿佐ヶ谷にて実施したワークショップ「動く粘土で動画撮影に挑戦だ！」では最終デザイン SquishyBot を用いて検証を行なった(図 4.1)。ワークショップでは感染対策に配慮し行なった。内容については表 4.1 に示した。使用素材は小麦粘土(株式会社セリア製)、のび～る紙粘土(株式会社ポケット製)、製作したコントローラーとモジュール3種類である。



図 4.1 当日の様子

表 4.1 実施内容

実施場所	コミュニティふらっと阿佐ヶ谷
所要時間	180分
参加人数	7人
参加者年齢	小学2年生から5年生

4.1.1 観察

言動および行動観察からの検証を行う。当日のワークショップの流れは表 4.3 に示した。創作の幅の変化を観察するため、ワーク前に動かしたいキャラクターと動かしの絵コンテをシートに記入する形式とした。検証したい項目は第 1 章で目的とした以下の 3 つである。

- 試行錯誤を通したプロトタイピング思考の補佐
- 粘土造形が動くことによる想像力の育み
- 動く粘土から好奇心を生み、創造力の促進につながる

表 4.2 当日の流れ

開始前	事前アンケート
導入	クレイアニメーションの話
作業 1	ワークシートを用いたキャラクターおよび物語の創作
作業 2	モジュールと粘土を用いた造形
作業 3	コントローラーでの動きの付与
作業 4	アニメーション撮影
導出	事後アンケート

ワークショップ序盤

ワークショップの序盤，考えたキャラクターのどの部分にモジュールを入れ込み動かしていくかという思考のプロセスが見られた。モジュールだけで動かし，どういう動きをするかという動きに対する理解の姿勢が見られた。「ペンギンの口の部分を動かしてみたい」という言動や「2つ使ってみたらどうなるのかな」というように，モジュールの動きに対する理解と予測の発言や行動が多く見られた。参加者の中には物語の創作がうまくいかず，モジュールを動かしてそれ自体を楽しんでいる参加者も見られた。また，SquishyBot の操作自体に苦戦している様子は見られず，一度口頭での説明と実際に各テーブルにて行ったデモンストレーションでの説明で理解をしていた。

ワークショップ中盤

ワークショップ中盤ではモジュールの動きの種類やコントローラーの操作方法を理解し，モジュールの動きからどういうものが作れそうかといった思考のプロセスが見られた。モジュールの種類やコントローラーの仕組みを理解し，作りたいものに落とし込む様子やモジュールの動きから新しく作りたいものを考える姿も見られた。「電車になりそう」や「風車にもなる」といったように身の回りの動くものを再現しようとしている様子が見られた。また，動的なものに限らず「これで雪だるまにしよう」といった静的なものに対してもモジュールを使って再現しようとしている姿もあった。序盤ではキャラクターや物語を考えることに対し苦手意識を持つ参加者も見られたが，モジュールの動きから「ここに耳足して動かしてみる」といったようにうさぎの耳を連想し造形や物語の考案に至っている姿も見られた。また，「みてみてすごいもの出来上がった」「なんかこれはこれでいいかもしれない」というような意図せず作り上がった作品もみられた。

ワークショップ終盤

ワークショップ終盤では，モジュールの動きを把握しその応用として歩かせてみたり，周りの子供たちと作った作品でストーリーを組み立てる様子が見られた。こ

ここでは一つではなく複数のモジュールを組み合わせて生物を作る参加者も見られた。「ここ逆に粘土つけると動かなくなる」「こう動かすと面白い動きになる」「ここ支えないと倒れちゃう」といった試行錯誤からの発見の様子も見られた。また、それぞれ作ったものに「これは化け物でこれは切るやつ」「こいつは地球外生命体、火星」のような役割を落としこむ様子もみられた。中盤で、身近な作りたいたいものがありそれを造形に落とし込む行動から、モジュールを使ってどんな面白いオリジナルのものができるとかという思考プロセスに変化していった。最後の映像撮影(図4.2)では個人で物語を考えたり、グループで作ったものを掛け合わせて撮影している様子が見られ、発表時には「もう一回見たい!」という声が多く、作品の上映を2回行った。



図 4.2 実際に撮影した作品

4.1.2 ワークシートおよびアンケート

ワークシート

ワークショップで用いたワークシート (図 4.3) は粘土造形前に使用した。登場キャラクターとその名前，どう動かしたいかを絵コンテに描いてもらった。その中で SquishyBot や粘土を触る前に書いたワークシートと実際に作ったもので大きな違いが見られた。

ワークシート①

ワークシート②

絵コンテ	字コンテ

(a) キャラクター制作ワークシート

(b) 絵コンテ

図 4.3 ワークショップで用いたワークシート

表 4.3 はじめに描いたものとモジュールを使って造形したものの変化

はじめに描いたもの	実際に造形したもの
うさぎ	うさぎと人参
猫のお化け	うさぎ
人型のオリジナルキャラクター	回転寿司
ゲーム内キャラクター	ゲーム内キャラクターとその周辺環境
オリジナルキャラクター	オリジナル怪獣とその仲間
ゲーム内キャラクター	お化けの仲間と風車
猫や犬をモチーフとした オリジナルキャラクター	ネズミをモチーフとした オリジナルキャラクター

造形物の違い

図 4.4 は参加者 A が実際に描いたものである。ここでは特定のキャラクターを描いている。実際に作った作品 (図 4.5) は、オリジナルのモンスターを複数のモジュールを連結させ作り上げている。この時参加者 A はオリジナルキャラクターに名前をつけ、住んでいる場所や特性など設定し周りの子どもたちに話していた。そのほかにもキャラクターの卵や仲間を粘土で作り上げ、ワークシートで空白が目立っていたにも関わらず多くの作品を作っていた。

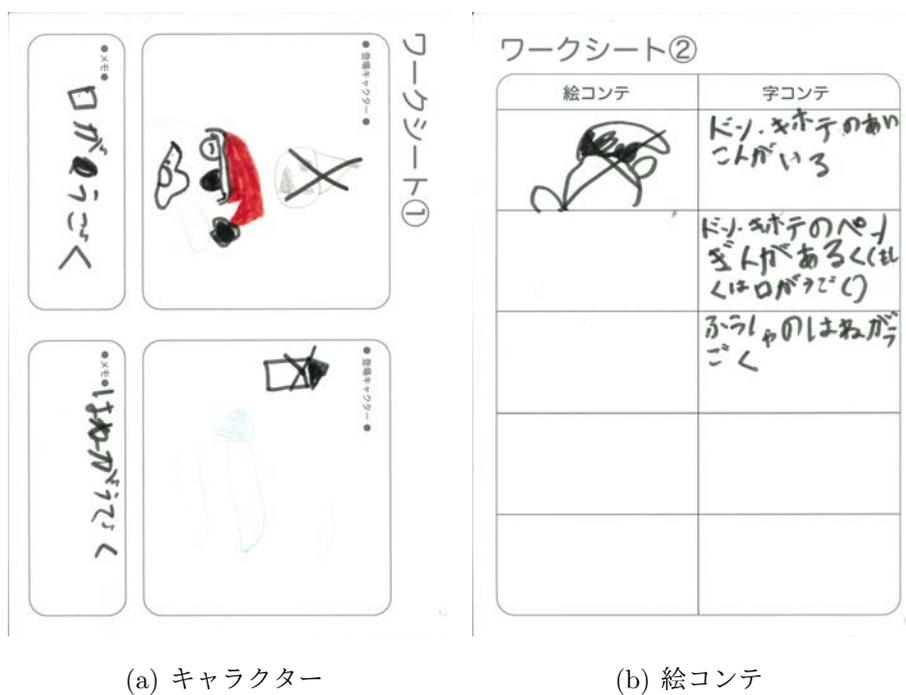


図 4.4 参加者 A のワークシート

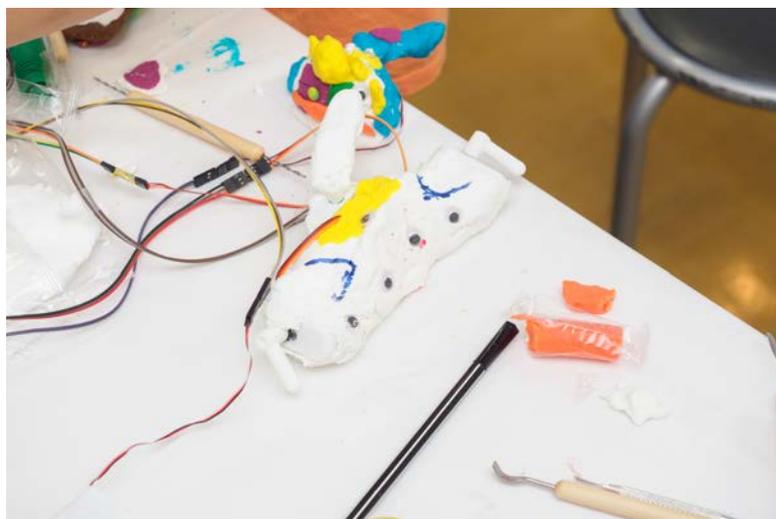


図 4.5 参加者 A が実際に作った作品

動かし方の違い

図 4.6 は図 4.4 とは異なる参加者 B が実際に描いたものである。ここではゲーム内のキャラクターを描き、その二人が出会うというストーリーが考えられている。実際に作り上げた作品(図 4.7)は同じキャラクターではあるが、キャラクターの腕が動くものとなっている。キャラクターの腕を動かすことによってそこに剣を持たせ木を切ったりモンスターを倒すなどの動きを持たせていた。

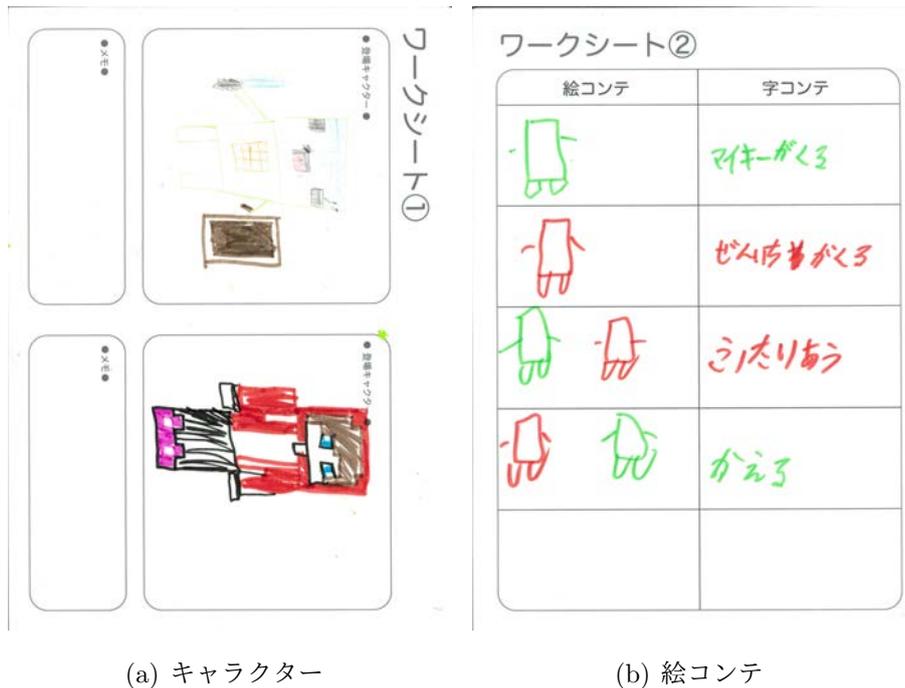


図 4.6 参加者 B のワークシート



図 4.7 参加者 B が実際に作った作品

アンケート

参加者6人に対しアンケートを行なった。ワークショップ前後で粘土や難易度に関する項目を設けた。難易度に関して、簡単・やや難しいの項目が多く、やや難しいと難しいは粘土での造形に関する部分で難しさを感じていた。逆に簡単だと感じる部分に関して、操作方法に関する声が多かった。興味関心に関して、面白いと感じた部分ではワークショップ最後に行ったそれぞれの作品を撮影した映像の発表会が面白いと回答されていた。また、クレイアニメーションに関する項目では自分で作りたくなったという回答はあまり見られた。その理由について、この装置があればやってみたいけどコマ撮りは大変だからという回答があった。全体的に、SquishyBot の操作の難易度について小学生に対しては簡単に扱うことができ、粘土と動きの組み合わせに対し「360度回転するのが欲しい」「足を動かせるのが欲しい」といった意見はSquishyBot が子どもの創作意欲を促進していると言える。また、「へんな動きをしていた」や「思い通りに動かない」という発見は柔らかい粘土とモジュールから生まれる独特な動きが子どもの興味関心を引き出していた。

ワークショップ前アンケート

- 普段、粘土を使う？
昔使っていたけど今は使っていない (6/6)
- 粘土についてのイメージは何かある？
柔らかい, 白い等

ワークショップ後アンケート

- 参加してみて難しさはどうだった？
1. 難しい (1/6) 2. やや難しい (2/6) 3. 普通 (1/6) 4. 簡単 (2/6)
- 粘土は思った通りに動いた？
1. はい (3/6) 2. いいえ (3/6)
いいえの理由
やっている途中で粘土が崩れた, 柔らかいから, 動かない時があった
- 今回のワークショップでどんな発見があった？
思いどおりに動かない, 意外と作れた, いっぱいキャラクターを作った, 粘土は手につく, 粘土を動かすのは難しい, 楽しむこと
- 一番簡単だったところはどこかな？
発表, 粘土の形, 作る場所, ねじを回す場所, 人参を作った場所, 回す場所
- 一番難しかったところはどこかな？
ない, マイキーを作るの, 粘土で作る場所 (2/6), 人参をお皿の前に来るように置く場所
- 一番面白かったところはどこかな？
発表 (2/6), 動かさせた, へんな動きをしたところ, 全部, 回す場所
- もっと動かしてみたい動き方があれば書いてね
360度回転するやつが欲しい (3/6) 足が動く, なし

- 今回のワークショップを通してクレイアニメーションを自分でも作ってみたくなった？
 1. そう思う (2/6)
 2. まあまあそう思う (1/6)
 3. あまりそう思わない (2/6)
 4. 全くそう思わない (1/6)

4.2. 検証結果

ワークショップを通しモジュールを使った造形とコントローラーでの動きの付与では以下の流れが行動や言動から見られた。

1. 造形したいものの想像
2. モジュールの動きの理解
3. 1つのモジュールを用いた造形
4. コントローラーでの動きの付与
5. 新しい造形のひらめき, 手直しなどの試行錯誤
6. 2つのモジュールを使った造形
7. コントローラーでの動きの付与
8. 造形の手直しや動きの付与に対しての試行錯誤や発見
9. 物語性の付与

第1章や本章で目的として設定した試行錯誤を経ての学びは、「造形の面」と「動きの付与の面」の双方で見られ、本研究では与えることができたと言える。「造形の面」での試行錯誤は、作りたいものを思い浮かべ、モジュールを入れた際に理想の造形に近づくための試行錯誤、「動きの付与の面」での試行錯誤は動かしたい動きにするための思考錯誤を発生させることができると観察からわかった。モジュールを増やしてみたらどうだろう、このモジュールを使ったらどんなものを作るこ

とができるだろうといったモジュールに対する知的好奇心から新しい造形物に発展するといった様子も観察でき、モジュールの組み合わせによる造形での創造力の刺激に繋がっていると考える。ワークショップ終盤で見られた作ったものに対し名前をつけたり、作ったものになりきってセリフを話したりする様子は造形だけではなく、物語などの言語分野での想像力の補助に繋がっていると考える。そして、「どんどん遠ざかっていく」「なんかすごいスピードで動いていく」など柔らかい粘土と3種類のモジュールから生まれる予測不能な動きは、子どもの創造力および想像力に大きく作用し、思い通りのものが出来上がるブロックなど既存の知育玩具とは異なる体験を与えることができると言える。さらにワークシートでの検証では、SquishyBot を使い粘土に動きを付与することによってよりキャラクターにオリジナリティが加わり、作品に動きのあるものが生まれ、子どもの頭の中だけでは想像することが難しいアニメーション部分の創造力を刺激し、子どもの創作意欲に大きな影響を与えていると言える。また、アンケート結果からクレイアニメーションへの興味には直接繋がることは観察できなかった。

第 5 章

ま と め

5.1. 総括

本論では粘土を用いたデジタル知育玩具の提案とそれを使ったワークショップでの検証について述べた。デジタル知育玩具の提案に当たって以下の項目を満たすものを目的とした。

- 試行錯誤を通したプロトタイピング思考の補佐
- 粘土造形が動くことによる想像力の育み
- 動く粘土から好奇心を生み，創造力の促進につながる

提案部分ではリニアアクチュエータを用いた第一プロトタイプ，サーボモータを用いた第二プロトタイプ，動きの録画再生の機能をつけた最終デザイン SquishyBot の流れでデザインの改善を行った。

ワークショップでの検証から試行錯誤を経ての学びは，造形での面と動きの付与での面の双方で見られ，本研究では与えることができていると言える。また，モジュールに対する知的好奇心から新しい造形物に発展するといった様子も観察でき，モジュールの組み合わせによる造形での創造力の刺激に繋がっていると言える。作ったものに対し名前をつけたり，セリフを話したりする様子は造形だけではなく，物語などの言語分野での想像力の補助に繋がっていると考えられる。そして，3種類のモジュールで作られる予測不能な動きは子どもの創造力，および想像力に大きく作用し，思い通りのものが出来上がるブロックなど既存の知育玩具とは異なる体験を与えることができると言える。さらにワークシートでの検証で

は、SquishyBot を使い粘土に動きを付与することによってよりキャラクターにオリジナリティが加わり、作品に動きのあるものが生まれ、子どもの頭の中だけでは想像することが難しいアニメーション部分の創造力を刺激し、子どもの創作意欲に大きな影響を与えていると言える。これらのことから第1章で挙げた項目を満たすといえ、目指した体験のイメージ(図5.1に近い体験を与えることができていると考える。しかし、ワークショップ後に行ったアンケートにおいてクレイアニメーションへの直接的な興味関心には繋がらなかった。

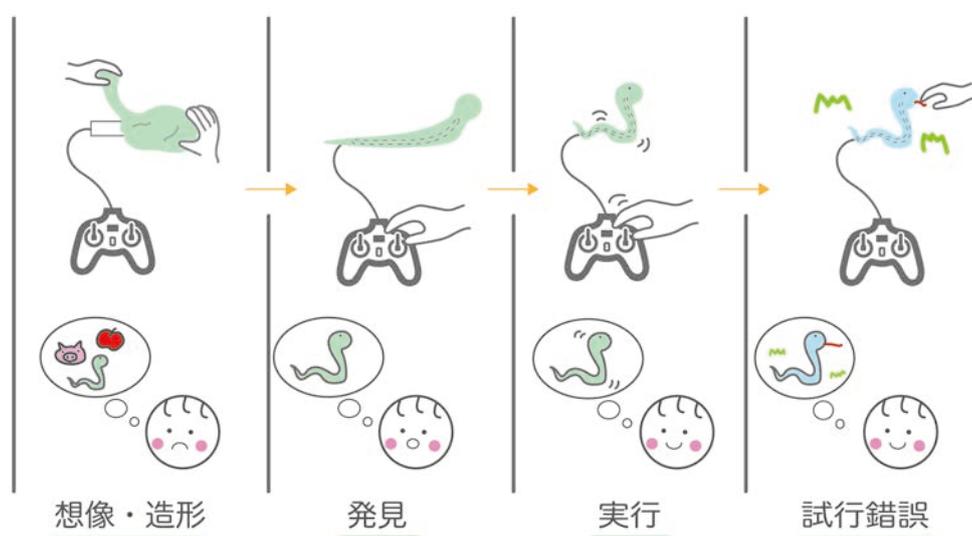


図 5.1 体験イメージ

5.2. 今後の展望

今後の展望として、ワークショップ検証で1つのモジュールを使っただけの作品が多かったため、複数のモジュールの組み合わせを誘導できるようなデザインとし、それに合わせ種類を増やし動かし方の幅を広げていくことを検討する。別の課題として粘土の乾燥が挙げられるので、粘土の乾燥後も作り上げた作品とその動き

が楽しめるような体験の設計を行いたい。また、また教育分野への活としてワークショップでども同が協してつ 작품을仕上げている様から簡単なアニメーション制作ツールやSTEAM 教育の環として広がりを持たせていきたい。

謝 辞

本研究の執筆にあたり指導教員である慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の山岡潤一専任講師には幅広い知見からの的確な指導と暖かい励ましや多くのご指摘をしていただき心から感謝いたします。大学時代の学びとは異なる分野での研究であり未熟な部分が多い中、手厚いご支援をいただき研究成果として本論文を執筆することができました。また、中間審査の際や提出の直前まで研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の大川恵子教授に心から感謝いたします。ワークショップを実施するにあたりご尽力いただいた小林英恵様、パナソニッククリエイティブミュージアム AkeruE の皆様にも、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。コロナ禍において思うように研究が進まない中、共に励まし合い研究に協力してくれた Future Crafts Project の皆さま、日々の生活を陰ながら支えてくれた家族や友人のおかげで研究を進めることができ成果として収めることができました。皆さま本当にありがとうございました。

参 考 文 献

- [1] Vito Cacucciolo, Jun Shintake, Yu Kuwajima, Shingo Maeda, Dario Floreano, and Herbert Shea. Stretchable pumps for soft machines. *Nature*, Vol. 572, No. 7770, pp. 516–519, 2019. doi:10.1038/s41586-019-1479-6.
- [2] Ryuma Niyama, Young ah Seong, Yoshihiro Kawahara, and Yasuo Kuniyoshi. Blower-powered soft inflatable joints for physical human-robot interaction. *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 8, p. 255, 2021. URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2021.720683>, doi:10.3389/frobt.2021.720683.
- [3] T Umedachi, V Vikas, and B A Trimmer. Softworms : the design and control of non-pneumatic, 3d-printed, deformable robots. *Bioinspiration & Biomimetics*, Vol. 11, No. 2, p. 025001, mar 2016. URL: <https://doi.org/10.1088/1748-3190/11/2/025001>, doi:10.1088/1748-3190/11/2/025001.
- [4] Joohyung Kim, Alexander Alspach, and Katsu Yamane. Snapbot: A reconfigurable legged robot. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 5861–5867, 2017. doi:10.1109/IROS.2017.8206477.
- [5] 裕太杉浦, カリスタリー, 正泰尾形, アヌーシャウイタナ, 大介坂本, 泰才牧野, 健夫五十嵐, 昌彦稲見. Pinoky : むいぐるみに動きを付与するデバイス. *情報処理学会論文誌*, Vol. 57, No. 12, pp. 2542–2553, dec 2016. URL: <https://ci.nii.ac.jp/naid/170000131112/>.

- [6] 高瀬裕, 山下洋平, 石川達也, 椎名美奈, 三武裕玄, 長谷川晶一. 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット (特集: アート & エンタテインメント 3). 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 3, pp. 327–336, 2013. doi:10.18974/tvrsj.18.3_327.
- [7] Hideki Kozima, Marek Piotr Michalowski, and Cocoro Nakagawa. Keepon : 遊び心のあるロボット、研究、治療、娯楽. *International Journal of Social Robotics*.
- [8] 宇佐美毅. コマ撮りアニメーションのメタモルフォシス表現に関する研究: ストラタ・カットによる作品の制作. 芸術工学会誌, Vol. 51, pp. 119–125, 2009. doi:10.24520/designresearch.51.0_119.
- [9] 奈々子石戸, 山本吉伸. 子ども向けクレイアニメ制作のためのインタフェース開発. Technical Report 114(2005-HI-116), 特定非営利活動法人 CANVAS, 独立行政法人産業技術総合研究所, nov 2005.
- [10] 学研. Gakken ニューブロック. 2021年12月14日参照. URL: <https://newblock.jp/build/>.
- [11] LEGO. 教育版レゴ® マインドストーム® ev3 基本セット. 2021年12月14日参照. URL: <https://education.lego.com/ja-jp/products/lego-mindstorms-education-ev3-core-set/5003400#教育版レゴ-マインドストーム-ev3-基本セット>.
- [12] SONY:KOOV. Koov® アドバンスキット. 2021年12月14日参照. URL: <https://www.koov.io/product>.
- [13] SONY. toio バリユーパック”トイオ・コレクション”同梱版. 2021年12月14日参照. URL: <https://toio.io/titles/toio-collection.html?id=limitedModel>.
- [14] Topobo. Topobo:robotic construction toy with kinetic memory. 2021年12月14日参照. URL: <https://topobo.com/>.

- [15] 純原子. 子どもの遊び創造：遊びの環境を視点として. 尚美学園大学総合政策論集, Vol. 19, pp. 77–89, dec 2014.
- [16] 藤田知里. 子どもの造形活動と粘土硬度に関する一考察. 美術教育学研究, Vol. 49, No. 1, pp. 361–368, 2017. doi:10.19008/uaesj.49.361.
- [17] 久世平井. 粘土製作における「触れる」ことについての一考察. 京都大学大学院教育学研究科紀要, Vol. 56, , 3 2010. URL: <http://hdl.handle.net/2433/108474>.
- [18] 中村隆敏, 角和博, 江口俊男. 中学校におけるクレイアニメーションを用いた実践授業研究. 日本教育工学会論文誌, Vol. 33, No. Suppl., pp. 145–148, 2009. doi:10.15077/jjet.KJ00005927798.
- [19] 睦代神谷. 幼児の粘土造形：基礎的な技能の習得及び題材(テーマ)についての実践と検証. 美術教育学：美術科教育学会誌, Vol. 30, No. 0, pp. 175–189, 2009. URL: <https://ci.nii.ac.jp/naid/110007580635/>, doi:10.24455/aaej.30.0_175.
- [20] 藪田拓哉, 佐々木淳. アニメ視聴による心理学的体験の構造化. アニメーション研究, Vol. 21, No. 2, pp. 25–35, 2021. doi:10.34370/jjas.21.2_25.
- [21] 真奈田口, Mana Taguchi, マナタグチ. 幼児の映像視聴能力に関する研究-クレイアニメーション『ピングー』を題材として-. 大阪大学教育学年報, No. 4, pp. 57–71, mar 1999. URL: <https://ci.nii.ac.jp/naid/120004845631/>, doi:info:doi/10.18910/11443.
- [22] Matthew Schmidtbauer, Samuel Johnson, Jeffrey Jalkio, and AnnMarie Thomas. Squishy circuits as a tangible interface. In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, p. 2111–2116, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2212776.2223761>, doi:10.1145/2212776.2223761.

- [23] 潤一山岡, 康明寛. Neondough : 導電性粘土を用いた光る粘土細工. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 4, pp. 341–350, nov 2012. URL: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10031159746/>, doi:10.11184/his.14.4_341.
- [24] F. Klassner and S. D. Anderson. Lego mindstorms: not just for k-12 anymore. *IEEE Robotics Automation Magazine*, Vol. 10, No. 2, pp. 12–18, 2003. doi:10.1109/MRA.2003.1213611.
- [25] 律高橋. Aiロボティクス事業における情報教育戦略 —ソニーの aibo ビジュアルプログラミング—. 中央学院大学商経論叢, Vol. 34, No. 2, pp. 55–62, mar 2020.
- [26] 章愛田中. プログラミング教育の最前線 : 4. 楽しいロボットプログラミングを目指して-ロボットトイ「toio」の企画開発事例-. 情報処理, Vol. 61, No. 8, pp. 824–829, jul 2020.
- [27] Hayes Solos Raffle, Amanda J. Parkes, and Hiroshi Ishii. Topobo: A constructive assembly system with kinetic memory. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '04, p. 647–654, New York, NY, USA, 2004. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/985692.985774>, doi:10.1145/985692.985774.
- [28] 椿麻衣, 山岡潤一. 粘土とモジュール式の芯材を用いたデジタル知育玩具の提案. *WISS2020*, 2020.

付 録

A. 使用したプログラム

A.1 第一プロトタイプで用いたプログラム

```
#include <Servo.h>

Servo myservo1;
// create servo object to control a servo
// twelve servo objects can be created on most boards
Servo myservo2;
// create servo object to control a servo
// twelve servo objects can be created on most boards
int pos1 = 0;
// variable to store the servo position
int pos2 = 0;
// variable to store the servo position

void setup() {
  myservo1.attach(11);
  myservo2.attach(9);
  // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop() {
  for (pos1 = 0; pos1 <= 90; pos1 += 1) {
    // goes from 0 degrees to 180 degrees
    // in steps of 1 degree
    myservo1.write(pos1);
```

```
    // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15);
    // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
  for (pos2 = 180; pos2 >= 0; pos2 -= 1) {
    // goes from 180 degrees to 0 degrees
    myservo2.write(pos2);
    // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15);
    // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
}
```

A.2 第二プロトタイプで用いたプログラム

```
#include <Servo.h>

Servo myservo1; // create servo object to control a servo
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
Servo myservo5;
Servo myservo6;

// analog pin used to connect the potentiometer
int val1; // variable to read the value from the analog pin
int val2;
int val3;
int val4;
int val5;
int val6;

void setup() {
```

```
myservo1.attach(3);
// attaches the servo on pin 3 to the servo object
myservo2.attach(5);
myservo3.attach(6);
myservo4.attach(9);
myservo5.attach(10);
myservo6.attach(11);
}

void loop() {
  val1 = analogRead(A0);
  // reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
  val1 = map(val1, 0, 1023, 0, 180);
  // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
  myservo1.write(val1);
  // sets the servo position according to the scaled value

  val2 = analogRead(A1);
  // reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
  val2 = map(val2, 0, 1023, 0, 180);
  // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
  myservo2.write(val2);
  // sets the servo position according to the scaled value

  val3 = analogRead(A2);
  // reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
  val3 = map(val3, 0, 1023, 0, 180);
  // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
  myservo3.write(val3);
  // sets the servo position according to the scaled value

  val4 = analogRead(A3);
  // reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
  val4 = map(val4, 0, 1023, 0, 180);
  // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
  myservo4.write(val4);
}
```

```
// sets the servo position according to the scaled value

val5 = analogRead(A4);
// reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
val5 = map(val5, 0, 1023, 0, 180);
// scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
myservo5.write(val5);
// sets the servo position according to the scaled value

val6 = analogRead(A5);
// reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
val6 = map(val6, 0, 1023, 0, 180);
// scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
myservo6.write(val6);
// sets the servo position according to the scaled value

delay(15);
// waits for the servo to get there
}
```

A.3 最終デザインで用いたプログラム

```
#include <Servo.h>
#define recordTime 100
Servo myservo[6];
bool pushingSwitch[6];
int recordingTime[6];
int recordingMaxtime[6];
int playingTime[6];
int recordServo[6][recordTime];
// analog pin used to connect the potentiometer
int volume[6]; // variable to read the value from the analog pin
void setup() {
  Serial.begin(9600);
```

```
myservo[0].attach(3); // attaches the servo on pin 3 to the servo object
myservo[1].attach(5);
myservo[2].attach(6);
myservo[3].attach(9);
myservo[4].attach(10);
myservo[5].attach(11);
pinMode(0, INPUT);
pinMode(2, INPUT);
pinMode(4, INPUT);
pinMode(7, INPUT);
pinMode(8, INPUT);
pinMode(12, INPUT);
}
void loop() {
  pushingSwitch[0] = digitalRead(0);
  pushingSwitch[1] = digitalRead(2);
  pushingSwitch[2] = digitalRead(4);
  pushingSwitch[3] = digitalRead(7);
  pushingSwitch[4] = digitalRead(8);
  pushingSwitch[5] = digitalRead(12);
  for (int i = 0; i < 6; i++) {
    if (pushingSwitch[i] == true) {
      if(recordingTime[i] == 0){
        for(int v = 0;v<recordTime;v++) recordServo[i][v] = 0;
      }
      volume[i] = analogRead(i);
      volume[i] = map(volume[i], 0, 1023, 0, 180);
      myservo[i].write(volume[i]);
      recordingTime[i] ++;
      if (recordingTime[i] > recordTime)recordingTime[i] = 0;
      recordingMaxtime[i] = recordingTime[i];
      if (recordingMaxtime[i] > recordTime) recordingMaxtime[i] = recordTime;
      recordServo[i][recordingTime[i]] = volume[i];
    } else {
      recordingTime[i] = 0;
      playingTime[i] ++;
    }
  }
}
```

```

    if (playingTime[i] > recordingMaxtime[i])playingTime[i] = 0;
    myservo[i].write(recordServo[i][playingTime[i]]);
  }
}
Serial.println(playingTime[3]);

delay(100); // waits for the servo to get there
}

```

B. ワークショップで使用した資料

B.1 アンケート

(a) 低学年

(b) 高学年

図 B.1 ワークショップ前に使用したアンケート

B.2 ワークシート

The image shows two sets of questionnaires, labeled (a) for low school students and (b) for high school students. Both are dated 15th October and titled 'ワークショップ後' (After Workshop). Each questionnaire contains 15 questions with a 4-point Likert scale (1-4) and a 'その他' (Other) option. The questions cover topics such as:

- Did you feel nervous before the workshop?
- Did you feel shy or nervous during the workshop?
- Did you feel happy or satisfied during the workshop?
- Did you feel that you learned something from the workshop?
- Did you feel that you made friends during the workshop?
- Did you feel that you were able to express your feelings during the workshop?
- Did you feel that you were able to understand others during the workshop?
- Did you feel that you were able to work together during the workshop?
- Did you feel that you were able to overcome your fears during the workshop?
- Did you feel that you were able to improve your skills during the workshop?
- Did you feel that you were able to enjoy the workshop?
- Did you feel that you were able to have fun during the workshop?
- Did you feel that you were able to learn from others during the workshop?
- Did you feel that you were able to help others during the workshop?
- Did you feel that you were able to work on your own during the workshop?
- Did you feel that you were able to work with others during the workshop?
- Did you feel that you were able to work in a team during the workshop?
- Did you feel that you were able to work on your own during the workshop?
- Did you feel that you were able to work with others during the workshop?
- Did you feel that you were able to work in a team during the workshop?

(a) 低学年

(b) 高学年

図 B.2 ワークショップ後に使用したアンケート

The image shows two worksheets. Worksheet (a) is titled 'ワークシート①' (Worksheet 1) and is for 'キャラクター制作' (Character Creation). It has a header with '● 名前' (Name) and '● 学年' (Grade). The main area is a large empty space for drawing. Worksheet (b) is titled 'ワークシート②' (Worksheet 2) and is for '絵コンテ' (Storyboard). It has a header with '● 名前' (Name) and '● 学年' (Grade). The main area is a grid with two columns: '絵コンテ' (Storyboard) and '字コンテ' (Text Storyboard). The grid has 5 rows and 2 columns.

(a) キャラクター制作ワークシート

(b) 絵コンテ

図 B.3 ワークショップで用いたワークシート

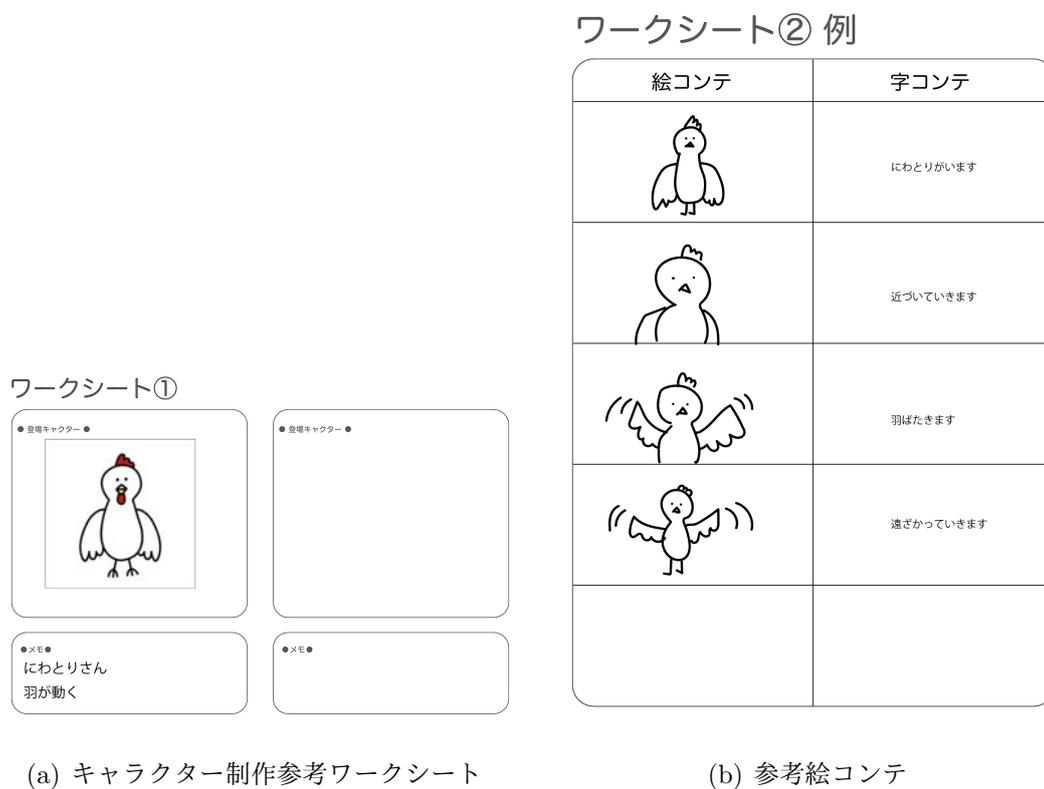


図 B.4 ワークショップで用いた参考ワークシート