

Title	AirPolygon : 空気による非平面映像ディスプレイのデザイン手法
Sub Title	AirPolygon : a non-planar visual display design method using pneumatic control
Author	赤地, 由妃(Akachi, Yuki) 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	2023
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2023年度メディアデザイン学 第1047号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002023-1047

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 2023 年度

AirPolygon: 空気による
非平面映像ディスプレイのデザイン手法



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

赤地 由妃

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。

赤地 由妃

研究指導コミッティ：

山岡 潤一 専任講師 (主指導教員)

稲蔭 正彦 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

山岡 潤一 専任講師 (主査)

稲蔭 正彦 教授 (副査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

修士論文 2023 年度

AirPolygon: 空気による 非平面映像ディスプレイのデザイン手法

カテゴリ：デザイン

論文要旨

本研究では、映像が本来有している体験価値や物理的な特性に注目し、空気による非平面映像ディスプレイである AirPolygon を提案し、映像ディスプレイの設計スペースを拡張するデザイン手法について検証する。フラットパネルディスプレイの普及により、映像は人々の生活にとって身近なものになった。一方で、フラットパネルディスプレイに対して、どのような映像コンテンツを制作するかに注目が置かれがちである。本研究では、ソフトロボティクスなどで使用されていたエラストマという機能性樹脂を用いて、空圧制御機構を設計し、映像投影することで、映像ディスプレイの物理的な設計スペースを拡張し、インタラクティブな映像体験をデザインすることを目指す。また AirPolygon は曲げて貼り付けることができるという物性があるため、洋服のような曲面が多い形状のオブジェクトに対しても、コンピュータによる情報を重畳することができる。本論文では、ウェアラブルデバイス、家具、玩具、建築、フードなど、フラットパネルディスプレイに限定されない AirPolygon の応用例を述べる。

キーワード：

映像ディスプレイ、空圧制御、形状変化ディスプレイ、マテリアルインタラクション、タンジブル UI、スーパインポーズ、ソフトロボティクス

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

赤地 由妃

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2023

AirPolygon: A Non-planar Visual Display Design Method Using Pneumatic Control

Category: Design

Summary

In this study, we focus on the experiential value and physical characteristics inherent to visual displays and propose "AirPolygon," a non-planar visual display utilizing pneumatic control. This research investigates a design method that expands the design space of visual displays. With the widespread adoption of flat panel displays, visual media has become an integral part of people's lives. However, the emphasis often lies in the content creation for flat panel displays. In this work, using elastomers - a functional resin commonly employed in soft robotics - we design a pneumatic control mechanism to project visuals, thereby extending the physical design space of visual displays and designing interactive visual experiences. Furthermore, due to its property of being bendable and adhesive, AirPolygon can overlay computer-generated information on objects with curved surfaces, such as clothing. This paper discusses various applications of AirPolygon beyond flat panel displays, including in wearable devices, furniture, toys, architecture, and food.

Keywords:

display, pneumatic control, shape changing display, material interaction, tangible UI, superimpose, soft robotics

Keio University Graduate School of Media Design

Yuki Akachi

目次

第1章 序論	1
1.1. フラットパネルに囚えられた映像の可能性	1
1.2. 五感を伝送する体験型メディア	2
1.3. AirPolygon の概要	3
1.4. 研究対象	6
1.4.1 空気を選択した理由	6
1.4.2 映像の定義	7
1.4.3 非平面映像ディスプレイの定義	8
1.4.4 映像制作者（ユーザ）の定義	9
1.5. 本研究の貢献領域	10
1.6. 研究手法	10
1.7. 研究目的	10
1.8. 論文構成	11
第2章 関連研究	12
2.1. ディスプレイ研究（HCI）	12
2.1.1 Table Top Display	12
2.1.2 Shape-changing display	13
2.1.3 Future Interfaces Group	15
2.1.4 ディスプレイ研究（HCI）における研究貢献	17
2.2. 空圧制御技術	17
2.2.1 ソフトロボット	18
2.2.2 空圧制御の Shape-changing display	19

2.2.3	空気回路	20
2.2.4	空気による 4D printing	21
2.2.5	その他の関連技術	22
2.2.6	空圧制御技術における研究貢献	23
2.3.	映像研究	23
2.3.1	展示空間	23
2.3.2	映像制作者	24
2.3.3	動画広告	24
2.3.4	デザインフィクション	25
2.3.5	スーパーインポーズ	25
2.3.6	アート作品	26
2.3.7	映像研究における研究貢献	27
第 3 章	デザインプロセス	28
3.1.	概要	28
3.2.	Balloon Display (第一プロトタイプ)	29
3.2.1	背景	29
3.2.2	関連研究	30
3.2.3	設計と実装	31
3.2.4	応用	33
3.2.5	評価と議論	38
3.2.6	考察	41
3.3.	Poko sheet (第二プロトタイプ)	42
3.3.1	背景	42
3.3.2	関連研究	43
3.3.3	設計と実装	44
3.3.4	評価と議論	47
3.3.5	考察	48

第4章 AirPolygon	50
4.1. 背景	50
4.2. 基本設計	52
4.2.1 最上部の機能性フィルムの構造	53
4.2.2 ハードウェア設計	53
4.2.3 ソフトウェア設計	54
4.3. 基本的な実装プロセス	54
4.4. Shape Techniques	60
4.4.1 Free lines	60
4.4.2 Mesh Surface	62
4.4.3 Edge Control	62
4.5. Material Selections	63
4.5.1 Film Selections	63
4.5.2 Number of Layers	64
4.6. Additional Function	64
4.6.1 Touch	64
4.6.2 Opacity	65
4.7. Object	66
4.8. Switcher	67
4.9. Actuation Method	68
4.10. 応用例	69
4.10.1 リアプロジェクション	69
4.10.2 スーパーインポーズ	71
4.10.3 ファッションや日用品のサーフェイス	73
第5章 評価	74
5.1. ユーザ評価	74
5.2. 空気量と高さや横幅などの計測実験	75
5.3. 透明性に関する評価	78
5.4. 曲げ及び重さに関する評価	81

5.5. 議論	82
5.5.1 提示形状の限界	82
5.5.2 透過性の限界	82
5.5.3 空気回路の限界	82
5.5.4 スケーラビリティ	83
5.5.5 耐久性とメンテナンス	83
5.5.6 映像領域への活用	83
第 6 章 結論	84
6.1. まとめと今後の展望	84
謝辞	86
参考文献	88
付録	99
A. 付録: 日本テレビホールディングス株式会社日テレ R&D ラボへの インタビュー	99

目 次

1.1	AirPolygon をスマートフォンに装着した応用例	3
1.2	Samsung の Flex OLED(左) Materiable(右)	4
1.3	AirPolygon のインフレーター機構とアタッチ方式	4
1.4	AirPolygon のスーパインポーズ型の応用例	5
1.5	モジュールベースとレイヤーベースのディスプレイ装置の比較	6
2.1	Tablescape Plus(左) Smart Skin(右)	12
2.2	inFORM(左) Relief(右)	14
2.3	AquaTop Display(左) SensaBubble(右)	15
2.4	Tactus Touch Screen(左) 2009 年の Chris Harison らの研究 (右)	16
2.5	ヒトデ型のソフトロボット (左) mGripe(右)	18
2.6	PneuMesh(左) PneuAct(右)	19
2.7	PneUI(左) COLORISE(右)	19
2.8	Bio-inspired pneumatic (左) Computational Inverse Design (右)	20
2.9	Venous Materials(左)Fluidic Computation Kit(右)	21
2.10	BlowFab(左) PneuFab(右)	22
2.11	aeroMorph(左) PneuSeries(右)	22
2.12	Project Glasswing(左) 渋谷の公衆トイレ (右)	26
3.1	Balloon Display のモジュール設計 (左) skin2.5D ディスプレイ の 実装 (右)	29
3.2	topobo (左) Pneuduino (右)	31
3.3	レーザーカット図 (左) 実験の様子 (右)	31
3.4	Balloon Display (左) Balloon Display + Projection (右)	34

3.5	未来のフラワー（左） 会場の様子（右）	34
3.6	膨らむクッキー（左） プレゼンの様子（右）	35
3.7	Balloon Shoes のラフスケッチ（左） 靴ヒモのデザイン（右） . . .	36
3.8	Puni Puni（左） ワークショップ会場（右）	37
3.9	水を取り込んだ Blloon Display（左） サーモインクの実験（右）	38
3.10	市原えつこ氏の SNS でのコメント全文	39
3.11	映像表現・芸術科学フォーラムでの評価	40
3.12	触り方に関する観察結果	40
3.13	Flat panel haptics(左) Fluid Reality(右)	44
3.14	PokoSheet(左) Pokosheet のシステム (右)	45
3.15	SXSW や常設展示台での評価	47
3.16	キューブ型の空圧提示 (左) タッチセンサの実装 (右)	49
4.1	AirPolygon のデザインスペース	51
4.2	AirPolygon の基本図形	52
4.3	AirPolygon のハードウェア	54
4.4	3 × 5 のマルチプルモデル	54
4.5	Glasshopper の操作画面	55
4.6	Glasshopper による PS シミュレーション	56
4.7	EAGLE の操作画面	56
4.8	製造と組み立ての様子	57
4.9	コネクタパーツ	58
4.10	IPA によるメンテナンス	59
4.11	フリーライン	60
4.12	メッシュサーフェイスによる触覚提示	61
4.13	メッシュサーフェイスによる形状提示	62
4.14	空気量とエッジコントロール	63
4.15	スマートフォンでタッチセンサーの場合の構成例	65
4.16	タッチセンサーと調光フィルムの連動	66
4.17	オブジェクトの選択	67

4.18	スイッチャーの配線図	68
4.19	リアプロジェクション	70
4.20	スーパーインポーズ	72
4.21	ファッションや日用品への応用例	73
5.1	SIGGRAPH ASIA におけるユーザ評価	74
5.2	AirPolygon の応用例として希望するカテゴリの投票結果	75
5.3	空気量と高さや横幅との関係	76
5.4	空気量と膨張サイズとの関係	77
5.5	空気量とエッジコントロール	77
5.6	製造手法と透過率の比較	79
5.7	ヒストグラムによる透過率の比較	80

第 1 章 序

論

“Everybody is put into some kind of jail, but the lock of the door is always open. すべての人は何らかの檻 (jail) の中に閉じ込められています。ですが、扉の鍵はいつも開いているのです ”

George W. Lucas, Academy of Achievement interview, 1989

1.1. フラットパネルに囚えられた映像の可能性

トーマス・エジソンが1891年に開発した世界初の映像表示装置であるキネトスコープは、小型電動モータを使用してフィルムを連続ループさせ、一人ずつ小さな窓を覗き込んで映像を見る構造だった。ブラウン管テレビの画面には亜鉛硫化物が塗布されており、電子が衝突することで発光する仕組みだ。このように、映像表示装置の発明は、使用する素材やアクチュエータの選択など、物理現象への深い洞察がもたらすものであった。

1970年代以降、液晶構造によるフラットパネルディスプレイが発明され、映像は私たちの生活の中で身近なものになった。しかし、その一方で、映像は、映像装置自体の開発というよりは、コンテンツ制作の方に焦点が移っていった。テレビやデジタルサイネージ、スマートフォン、タブレットに至るまで、小型で高解像度のフラットパネルディスプレイが普及していく一方で、映像はフラットパネルの檻に閉じ込められたコンテンツになった。映像の仕事といえば、コンテンツ制作のことを指すのが一般的で、映像装置の開発を含めないことが多い。

本来、映像の仕事とは、コンテンツ制作のみならず、映像を通した鑑賞体験そのものを設計することを指す。例えば、古くテレビや映画は、流行や文化の発信

源となることは多かった。映像体験は、人々の生活様式を変容させる影響力がある。フィクションはフィクション、現実世界は現実世界とはいえ、人間の認知の機能は、その境界を時として曖昧にすることがある。映像体験が鑑賞者の生活や行動に溶け込んでいくことは、映像制作者の関心事項のひとつである。

また最近の映像業界の背景として、撮影機材の軽量化やAI技術による自動編集機能など、映像制作はプロだけのものではなくなりつつあることがある。YouTubeやTikTokなど動画を配信するメディアも増えている。ユーチューバは、編集などのコンテンツ制作の作業を外注して出演するだけのことも多いが、彼らは出演者（アクタ）なのか、映像制作者なのか。かつては、機材の取り回しや専門的な映像編集がプロの証であったが、映像の技術領域がユーザにとって平易なものに設計されていく中で、映像の仕事の定義も変わっていくだろう。

1.2. 五感を伝送する体験型メディア

本研究は、日本テレビホールディングス株式会社の日テレ R&D ラボからの支援を受けている [1]。共同研究のテーマは、“五感を伝送する体験型メディア”であり、HCI（ヒューマンコンピュータインタラクション）の研究領域における“マテリアルインタラクションや感覚再現技術を活用したメディア表現やコンテンツ開発”を目的としている。本共同研究は2022年2月より開始し、2024年3月現在も継続している。

プレスリリースの記載の通り、“日本テレビは、コンテンツ制作力や演出に関する知見”を有しており、慶應義塾大学大学院メディアデザイン学科のFuture Crafts Projectは、“デザイン思考やデジタルファブリケーション技術、HCI”の研究を行っていることから、両者の研究を掛け合わせた研究を行ってきた。

共同研究の背景として、“従来の視聴覚だけでなく、触覚・嗅覚・味覚にまで拡張するような技術”が注目されていることがある。従来の“テレビ番組をはじめとする多くのコンテンツは視覚・聴覚のみに訴求するものが一般的”であったが、今後は“デジタル世界と実世界が交わる領域”が注目されると予想され、それらの技術は近未来において生活ますます溶け込んでいくものになるだろう。

研究対象である“体験型メディア”については、付録の日テレ R&D ラボとのインタビューにて、“五感を伝送する体験型メディア”は「包括的な意味を含んだタイトル」であり、「映像から飛び出して違う表現」を追求するものであると回答を得た。実際に、2022 年以降に共同研究として制作されたものには、リング状の糸を空中で提示するディスプレイ手法やリニアアクチュエータに磁石を取り付けて水中の磁性物質を制御するものなど HCI の形状変化ディスプレイの研究領域に属する研究がされている。また形状変化ディスプレイの研究では応用例としてプロジェクションマッピングなどの映像投影をするものもある。

AirPolygon は映像投影を前提としており、HCI の形状変化ディスプレイや空圧制御の技術を基盤として、デザインを探索している。当初「テレビが膨らんだら面白いかもしれない」という共同研究先との素朴なアイデアから、実験やプロトタイプは始まった。本研究は、この共同研究と並走して行われてきた。

1.3. AirPolygon の概要

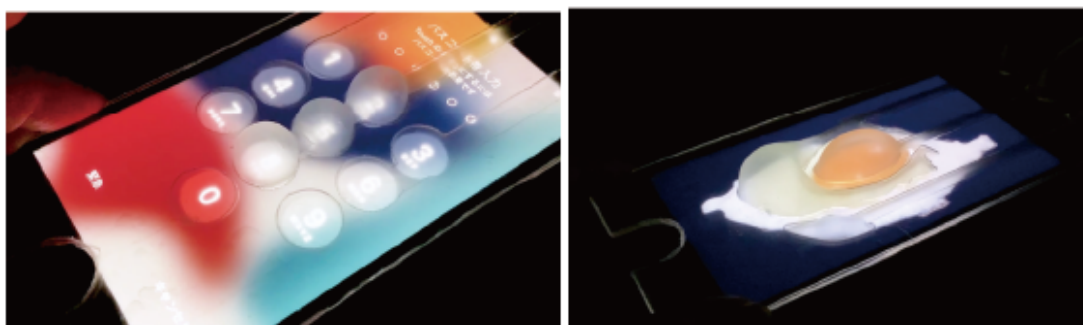
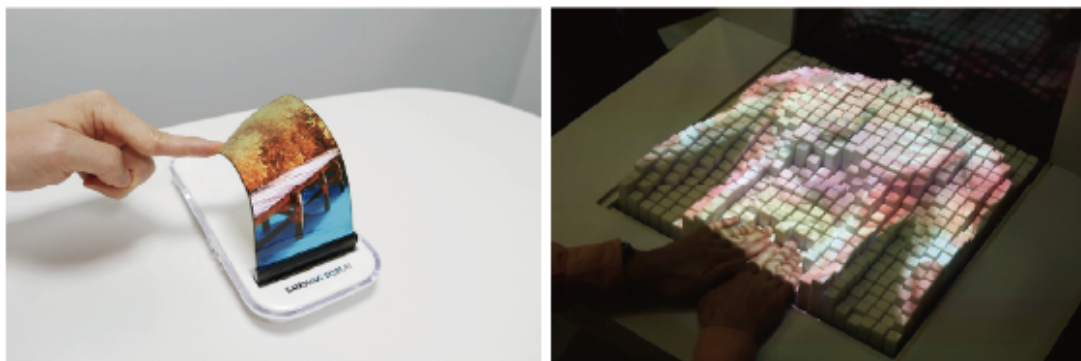


図 1.1 AirPolygon をスマートフォンに装着した応用例

映像業界が大きく変化する中で、映像ディスプレイはこのまま平面のままなのだろうか。本研究では、空気による非平面的な映像ディスプレイ手法である AirPolygon を提案する。AirPolygon は、プログラム制御で形状変化する空圧制御構造になっており、図 1.1 のように、フラットパネルディスプレイに貼り付けることで、非平面的な映像ディスプレイをおこなうことができる。フラットパネル

ディスプレイの中のコンテンツ制作だけでなく、映像ディスプレイやそのインタラクションの設計も、映像制作者が行えるようにすることで、映像ディスプレイの領域を拡張することを目指している。



([2] [3] より引用)

図 1.2 Samsung の Flex OLED(左) Materiable(右)

このような取り組みは、図 1.2 の曲げられる有機 EL ディスプレイやプログラム制御可能な形状変化ディスプレイに映像投影する事例とも関連する。特に後者は、映像投影する像に連動して、投影面の形状を変化させることができ、AirPolygon はこの研究領域の技術を基盤としている。これらの先行研究と比較した場合の新規性は、これらの先行研究が通常プロジェクタの備え付けを前提としており、移動させることができないのに対して、AirPolygon は持ち運ぶことができる。

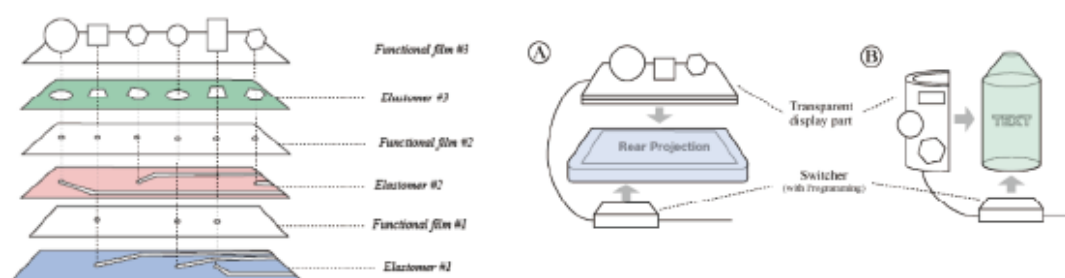


図 1.3 AirPolygon のインフレータブル機構とアタッチ方式

図 1.3 左のように AirPolygon は、透明な機能性フィルムをレイヤ構造に重ねる

ことで、空圧制御によるインフレータブル機構を軽量で薄型に設計している。ポリスチレン（PS）などの複数の機能性フィルムをエラストマ（ソフトロボティクスに使用されるゴムと樹脂の中間機能性樹脂）テープで接合しており、透明度が高いことが特徴である。

図 1.3 右のような 2 つのタイプのアタッチ方式がある。A タイプは、図 1.1 のようにフラットパネルディスプレイに貼り付けて背面から映像を投影する使用法である（A をリアプロジェクション型と呼ぶ）。B タイプは、透明ボトルなどの曲面のある物体に貼り付けて、背景情報を重畳する場合である（B をスーパインポーズ型と呼ぶ）。本論文では、ウェアラブルデバイス、家具、玩具、建築、フードなど、フラットパネルディスプレイに囚われないスーパインポーズ型の使用例についても述べる。どちらの使用法を選択しても、背景情報を不鮮明にすること防ぐ必要があり、第五章では透明度の評価検証を行っている。



図 1.4 AirPolygon のスーパインポーズ型の応用例

もともとスーパインポーズという用語は、カメラで撮影された映像に字幕を重ねて表示することに由来する。そこから転じて、3DCG のポリゴンやコンピュータ情報を実風景に合成することをいうようになった。暦本（1996）[4]において、HCI の実世界志向インターフェイスの類型化が行われているが、インターフェイスの透明化を行うことで、現実の風景上にコンピュータから取り出された情報がスーパインポーズされるという形式のデバイスについて紹介されている。このような考え方は、2000 年以降も盛んに議論されており、プロジェクションマッ

ピング（映像投影）と並んで、コンピュータ情報を投影するインターフェイスの類型として研究されてきた。図 1.4 左のように、ガラス窓に AirPolygon を貼り付ける場合、「空中（Air）にコンピュータから取り出されたポリゴン（Polygon）の情報が浮かんでいるような映像的な CG 効果を与える」という意味で、このような映像ディスプレイのデザイン手法を AirPolygon と名付けることになった。

1.4. 研究対象

1.4.1 空気を選択した理由

普段周りにあるのに、みんなその存在に気づいていないものは？この謎解きの答えは、空気である。先進国でも発展途上国でも平等に、空気は存在し、人々の生活にとって大切な資源である。この最も身近な素材である空気を人々の生活に取り込むことの意義は大きい。また、宇宙開発の領域でも、月面における住居の構造設計や探索ロボットの開発において空気が使用されている。本研究で空気を選択した理由は、このような空気の入手可能性がある。

本論文における空気の定義は、無色透明で混合物を含まない乾燥空気と定義する。その組成は、窒素が約 8 割、酸素が約 2 割、二酸化炭素やアルゴンなどの気体が 1% 未満であると言われている。水蒸気などを含む湿潤空気やヘリウムガスなど特定物質の気体成分も、広義には「空気」である。本論文のインフレータブル構造は、そのままさまざまな「空気」に流用可能な部分が多く、それどころか水などの液体を使用しても問題ない部分もあるが、本研究では上記の要件を満たすものを空気として取り扱うものとする。

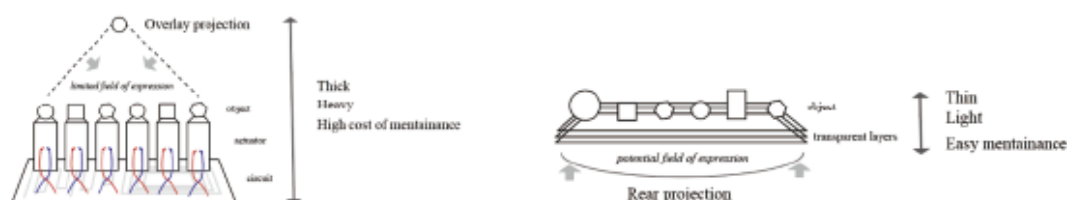


図 1.5 モジュールベースとレイヤーベースのディスプレイ装置の比較

空気を選択した2つ目の理由は、軽量さやモバイル性である。図1.5は、従来の1ピクセルに1アクチュエータを配置するようなディスプレイと本研究で提案するようなレイヤーベースのディスプレイの比較である。従来のディスプレイは、解像度が高まるにつれモジュール数が増加し、装置を厚くて重く、メンテナンスしにくい構造にする欠点がある。スマートフォンの普及など、映像を持ち歩くというモバイル性が重視される現代において、軽量さはメリットになる。空気を用いたデバイスは小型化が進んでおり、薄くて軽くメンテナンスしやすいカスタマイズされた構造を作りやすいというメリットもある。

3つ目の理由は、加工の容易さである。子供は幼少期からボールや風船、家庭用プールなど、空気の物理的特性に触れてきた。ただし、空気は人気の遊びである一方で、風船などはすぐ割れてしまうし、大人の力を借りなければ膨らますことができないというイメージもある。これらの検証のため、共同研究先とともに、2023年8月に開催された汐留サマースクールという子供向けイベントにおいて、空気とエラストマを使った子供向けワークショップを実施した。結果、エラストマという素材選択や子供がハサミでも簡単に切れる図面であることなどの一定のデザイン要件を満たす場合、子供でも容易に空気を取り扱うことができた。

上記の理由から、本研究では、空気を研究対象として、形状変化をプログラム制御することを目指した。本研究は、空気を生活の一部として取り込み、それをコンピュータ制御して現実風景と重ね合わせることで、気軽に映像体験を持ち運べるような世界を目指している。

1.4.2 映像の定義

映像は日本語特有の単語である。日本語で類似する単語として、動画やビデオという言葉もある。英語で近い意味をしめす単語を当てはめると、映像はimage、動画はmovie、ビデオはvideoである。imageには画像という日本語訳もあるが、画像にはpictureという英語もある。映画にはfilmという英語訳がある。movie、video、picture、filmに対して、imageが異なるのは、抽象度が高いことである。imageは、像や心像とも訳される。

本研究における映像の定義は、動画やビデオという意味ではなく、インタラク

ティブな作用を含む体験のことを指す。従い、「動画」「ビデオ」などの具体的な用語を避けた。これらの用語について、実際の日本の映像業界では、どのように用いられているか、日テレ R&D ラボにインタビュー（付録）を行っている。

インタビューでは、日本の映像業界において、映像というと「2D 映像」を通常思い浮かべてしまい、「触れることや UI（ユーザインターフェイス）としての機能」が削ぎ落としてみられてしまう可能性もあるというコメントがあった。本来の映像という日本語の持つ「記憶に残る」や「体験」という意味は、通常は想起されにくいもので、単純に映像を「動画と変換」してしまう場合も多い。また、「コンテンツ」という用語は、1.1 において、フラットパネルディスプレイの内容物であるという問題設定をしているが、「コンテンツ」という用語を用いることで、映像コンテンツに縛られないインタラクションを含むコンテンツを制作するという趣旨のポジティブな用いられ方もするという回答も得られた。

これに従うと、映像ディスプレイという用語は、逆にインタラクションや体験価値を含めないイメージを与えてしまうという逆説がある。むしろインタラクションを含む情報装置と AirPolygon を定義した方が、余計な誤解を生じさせることはないという議論もあった。ただ、本論文の 1.1 で述べた通り、本研究は、そういった「映像」の平面的なイメージに対して問題設定するものであり、HCI の研究領域だけでなく、むしろ映像研究の領域にも貢献するような学際性を意識した研究であるから、あえて本論文では「映像」という言葉を使用することにした。

1.4.3 非平面映像ディスプレイの定義

本研究の「非平面映像ディスプレイ」は、現在普及しているフラットパネルディスプレイに対して、非平面的なインタラクションを含む映像体験を与えるインターフェイスと定義する。コンピュータ分野におけるディスプレイとは、一般的に文字や図形、画像などの出力表示を意味するが、触覚ディスプレイなど触覚・嗅覚・味覚などの視覚以外の知覚に対する提示もディスプレイと呼ぶ場合があり、本研究の対象も視聴覚に限定されるものではもちろんない。

「映像装置」といった場合、一般に映像の記録・編集・表示などの機能を持つ機器のことをいう。また一般にプロジェクタのような市販の映像装置を前提とした

場合、一定レベルの高解像度で動画を表示しなければ、映像装置とみなさないという傾向があると考えられる。その立場からは、低解像度のディスプレイは、情報装置とみなし、映像装置とは定義されない場合がある。実際に、第一プロトタイプである BalloonDisplay は低解像度であるため、ユーザ評価の中で「正直なところ映像装置と呼ぶには無理があるのではないか」という意見もあった。

日テレ R&D ラボとのインタビュー（付録）においても、昨今の映像業界の「映像装置」の定義に揺らぎが生じているという意見があった。例えば、「ディスプレイ装置自体のフレキシビリティが、この数年で」大きく進化しているため、「海外で新しいテクノロジーを調査したときに」、「装置の形による定義」を用いた判断では通用しないような映像装置が出てきているという回答がある。このように映像装置に関する定義も、近年では変化しつつあるのが実態である。

本研究は、視聴覚だけではないインタラクティブな設計をデザインしているという性質から、できるかぎり「映像ディスプレイ」という単語を使用し、単に「映像ディスプレイ」といった場合にも視聴覚に限定するという意味はない。

1.4.4 映像制作者（ユーザ）の定義

近年は映像の技術領域が平易な設計となってきたこともあり、映像制作はプロだけの仕事ではなくなりつつある。かつて映像制作者は、放送局や映画制作会社に所属していたが、今では子供の運動会をホームビデオで記録して編集するお父さんも映像制作者に含まれる。また TikTok や Instagram で数秒の動画をアップロードすることもあり、Email を送ることと同様に映像制作は身近なことになった。

かつては映像制作は集団作業であることが前提だったので、企画者も撮影者も編集者も、関係者全員が映像制作チームであると考えもできた。ただ将来的には、AI による自動編集など、集団作業による映像制作が必須ではない状況が想定される。2023 年にハリウッドの脚本組合や俳優組合がストライキを起こしたことは、映像制作者の定義が曖昧になってきていることを示している。

本研究では、映像制作者の多様性を考慮し、ターゲットユーザを一般的な個人としているが、ユーザ評価については、子供向けワークショップなどを実施して検証した。これはファブリケーション手法の容易さを検証する目的もあるが、こ

のような不確定要素を考慮した。AirPolygon を使用するには、一定のスキルが必要であり、全ての個人ができるものではないため、このデザイン手法の制約条件については、第五章の議論にてまとめている。

1.5. 本研究の貢献領域

本研究は、フラットパネルディスプレイにとどまらない非平面的な映像ディスプレイの設計スペースを拡張するデザイン手法について検証する。このような性質の研究であることから、本研究はHCIのディスプレイ研究領域やソフトロボティクスなどの空圧制御技術を基盤としてデザインの探求を行っており、これらの成果は、HCIのディスプレイ領域や空圧制御技術の領域に寄与する。

また近年の映像研究の領域においても、五感を刺激するようなものや映像とのインタラクションを研究対象とする関連研究は多く存在することから、映像研究の領域にも寄与するものである。具体的な貢献範囲は第二章にて述べる。

1.6. 研究手法

本研究では、実際に非平面映像ディスプレイを空圧制御技術を用いてプロトタイプし、ユーザ評価とシステム評価を行うことで、デザイン手法の価値を検証する手法を取る。前述のターゲットユーザの性質に鑑み、子供向けワークショップなど次世代のユーザを想定してユーザ検証を実施した。また科学技術として新規性は国際学会への論文投稿などで評価を検証した。映像業界において、このような技術が有用であるかどうかは、共同研究先とのディスカッションの中で、最新の映像ディスプレイと比較しつつ、最適なデザイン手法の設計に取り組んだ。

1.7. 研究目的

本研究の目的は、空圧制御の非平面映像ディスプレイのデザイン手法であるAirPolygonを実装し、映像ディスプレイの設計スペースを拡張するである。映像

業界は大きく変化しており、今後ますます映像制作の技術領域が平易なものになり、プロ以外の映像制作者も増加する中で、映像ディスプレイの方法が平面に制限され続けることはないという問題設定を研究背景としている。AirPolygon の使用方法は、フラットパネルディスプレイに貼り付けるだけではなく、現実世界にコンピュータ情報を重畳するスーパインポーズ型の応用例も実際に制作した。ウェアラブルデバイス、家具、玩具、建築、フードなど、これらを展示会などで発表してユーザ評価を得ることで、どのような領域に適用可能か検証することを目指す。

1.8. 論文構成

本論文は六章で構成される。本章では、映像ディスプレイにおける課題認識と研究背景、研究対象を明らかにした。本研究の特性上、複数の領域に研究貢献がまたがることを説明した。また研究手法・目的を述べた。第二章では関連研究についてまとめた。第三章では、AirPolygon 以前に実装した Balloon Display や Poko Sheet などのプロトタイプについて説明し、ユーザ評価や考察を述べることで、AirPolygon に至るまでのデザインプロセスを述べた。第四章では、AirPolygon の基本設計と実装の詳細を説明し、ユーザのデザインスペースや応用例を述べている。第五章では、AirPolygon のユーザー評価と透明性や空気量と形状に関する測定結果などのシステム評価を述べた。また、明らかになった議論や残された課題をまとめた。最後に第六章で本研究の結論と今後の展望について述べる。

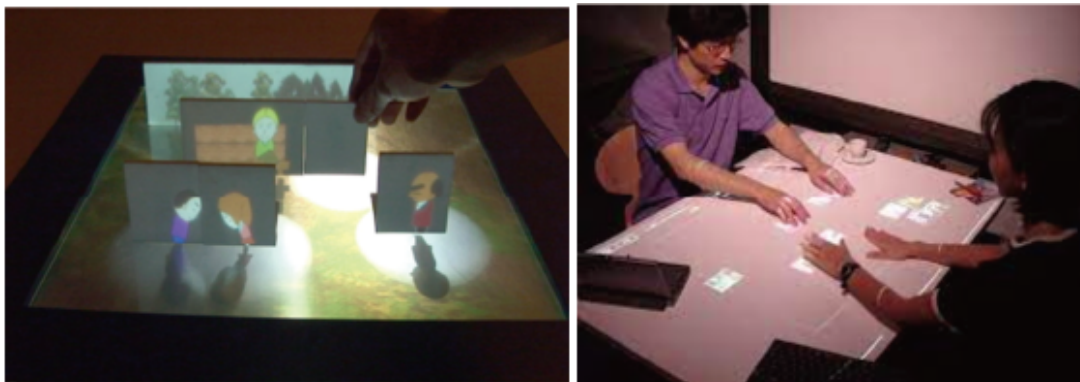
第 2 章

関 連 研 究

2.1. ディスプレイ研究 (HCI)

2.1.1 Table Top Display

Table Top Display とは，机の上に置かれたセンサやアクチュエータなどの装置を通して，ユーザが共同作業やインタラクティブなやり取りを行う映像装置の総称である．2000 年以降に活発に研究されており，現在のスマートフォンなどの開発の基礎となる研究群が多い．



([5] [6] より引用)

図 2.1 Tablescape Plus(左) Smart Skin(右)

Tablescape Plus [5] は，テーブル型のデバイスの内部に，プロジェクタと鏡を設置し，リアプロジェクションで映像をスクリーンに投影し，テーブル上に実際に置いてある物理オブジェクトとのインタラクションを研究した事例である．後

続する UlteriorScape [7] は、スクリーンの方向性により、透明な部分と不透明な部分があり、不透明なスクリーン部分にのみプロジェクタの映像をみることができ。Smart Skin [6] は、手や指などをカメラで撮影し操作するのではなく、手の接触を静電容量センサによって検知するタッチセンサーの仕組みを提案している。このように、Table Top Display は、多くの場合、プロジェクションマッピングの仕組みやタッチセンサを有していた。

また、プロジェクションマッピングの手法として、オーバレイ・リア・フロントなどの比較も盛んに行われていた。PlayAnywhere [8] は、多数のセンシング機能を備えた Table Top Display の研究だが、消費者流通の観点から迅速にセットアップができるフロント投影がベストであると述べられている。プロジェクションマッピングは、一般的に装置が大型化しやすく、時代にあったユーザにとって最適な構成を検討する必要がある。

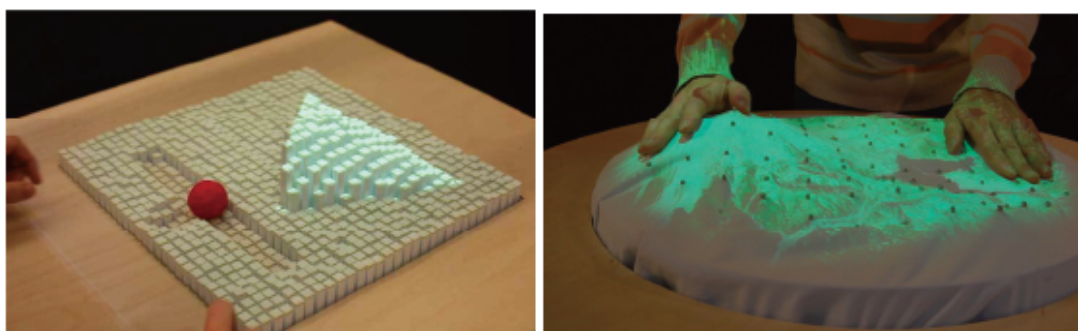
2.1.2 Shape-changing display

Shape-changing display（形状変化ディスプレイ）とは、デジタル制御により、形状を変化させる情報提示装置の総称である。1つのアクチュエータを1つのピクセルとみなすことで、ドット絵のような低解像度の画像を提示することができるため、低解像度の映像ディスプレイみなせる側面もある。ただし、序論でも述べた通り、フルカラー LED などを使用して、わかりやすい画像を提示しなければ、通常は情報装置に分類されるデバイスである。

これとよく似た言葉に、Tangible User Interface (TUI) がある。この用語は、コンピュータの Graphic User Interface (GUI) に対応したものである。古くは1997年に、Tangible Bits [9] という言葉が Hiroshi Ishii らによって提唱され、物理的なオブジェクトをデジタル情報のビットと同じようにコンピュータ制御するという HCI のコンセプトである。類似の概念としては、1991年に Margolus らに提唱された Programmable matter [10] がある。コンピュータによってマテリアルの形状や体積、色などを変更できるシステムのことだが、それをビットという物理的な粒子のコンピュータ制御に拡張したのが Tangible Bits である。その後、2012年には、Radical Atoms [11] というコンセプトが Ishii らにより TUI の進化形として提

案され、さらに物理的粒子 Atoms によるデジタル情報の提示に焦点が当てられた。

2010 年頃からは、具体的なプロトタイプの実装が盛んになり、Table Top Display のようにテーブル型デバイスに制限されないような様々な制御構造が提案された。2013 年に MIT の tangible media group が発表した inFORM [12] は、900 個の可動式ピンのアクチュエータを配列上に設置し、ボールなどの物理的なオブジェクトを操作する Shape-changing display である。画面上の遠隔ユーザとの対話や上方からの映像のプロジェクションマッピングなど、さまざまな応用例が実装されている。古くは、2001 年の Project FEELEX [13] でも、アクチュエータの配列にフレキシブルスクリーンを乗せて、オーバーレイプロジェクションするような実装は行われてきたが、フィードバック速度や触覚提示などが改善されている。

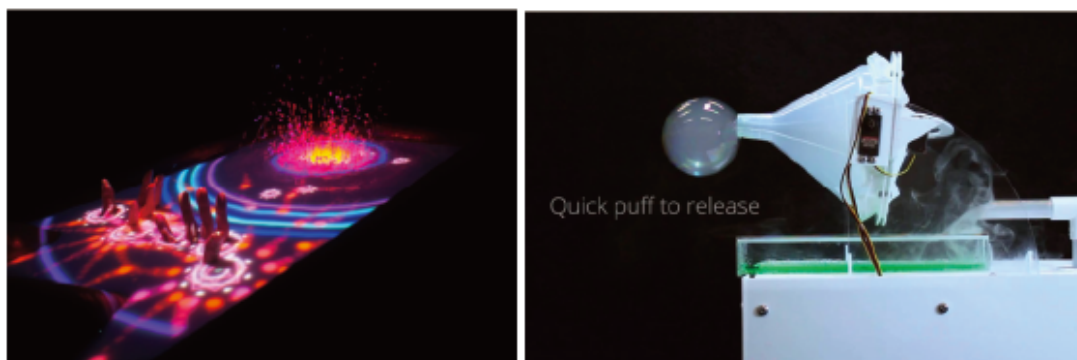


([12] [14] より引用)

図 2.2 inFORM(左) Relief(右)

Relief [14] は、アルミニウムのピンディスプレイにスクリーンを乗せてオーバーレイプロジェクションすることで地形情報を提示している。inFORCE [15] は、ピンディスプレイによる触覚インタラクションの研究であり、水などの物理的な特性を反映して形状変化する Shape-changing display である。これらの研究の特徴は、ピンディスプレイのような大きくて重い構造のアクチュエータ層があり、オーバーレイプロジェクションを行うためのプロジェクタなども含めると、かなり装置が大型化する傾向にある。

空圧だけでなく、水なども含めた流体制御の Shape-changing display でプロジェクションマッピングを使用している研究もある。AquaTop Display [16] は、入



([16] [17] より引用)

図 2.3 AquaTop Display(左) SensaBubble(右)

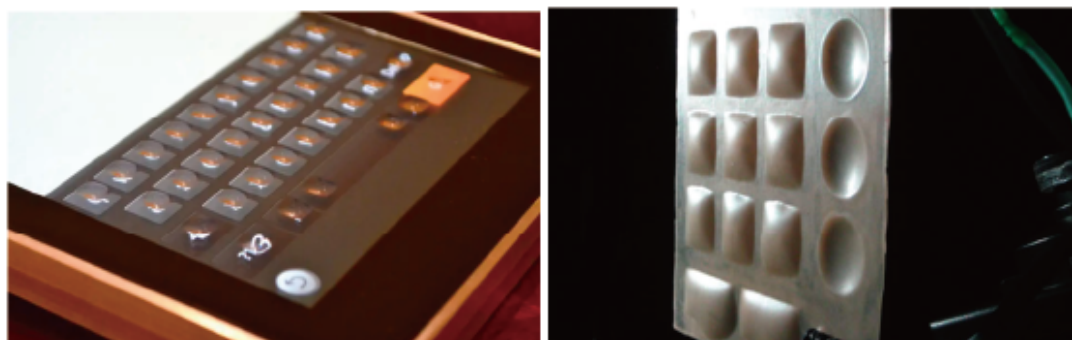
浴剤を入れた水にプロジェクションマッピングし，ユーザが手で直接触れることにより，水面の像に変化を与えるインタラクティブなディスプレイ装置である．SensaBubble [17] は，空中に香りを充填したシャボン玉を飛ばして，シャボン膜にプロジェクションマッピングするディスプレイ装置である．流体制御はコントロールが特に難しく，適切なシミュレーションを行わないと，映像との同期が難しい．SensaBubble のように投影面と形状変化面が固定されておらず，関係性が流動的な場合では，映像同期を保つ難易度はさらに高まる．また，投影面の材料選択によっては，映像同期に加えて，鮮明な像を投影する難しさもある．

最近の Shape-changing display の研究では，プロジェクションマッピングに加えて AR などの技術が使われることもある．例えば，Combining Shape-Changing Interfaces and Spatial Augmented Reality [18] は，形状変化インターフェースに空間 AR を利用してゲーム画面などを投影する研究である．ただし，このプロジェクションマッピングに加えて，カメラやプロジェクターを使用して AR のマッピングを行うため，ユーザが場所を変えたり，移動することは基本的にできない．

2.1.3 Future Interfaces Group

2013 年の CES で発表された Tactus Touch Screen [19] は，スマートフォンのボタン部分に空圧制御の触覚提示を行うプロトタイプである．このようなスマート

フォンと空圧制御に関する研究は、CMU の Future Interfaces Group [20] の Chris Harrison らによって行われており、2009 年にスマートフォンに空気回路を含むインフレーターブル構造をどのように組み込むべきかが研究 [21] されている。同氏らの 2023 年の研究である Flat panel Haptics [22] では、触覚提示に焦点が当てられ、数ミリ単位にピクセルの形状を小さく設計することで、細かい形状を提示する機構が実装されている。Fluid Reality [23] は、さらに小型化して指に装着し、触覚に重点を置いた研究である。



([19] [21] より引用)

図 2.4 Tactus Touch Screen(左) 2009 年の Chris Harison らの研究 (右)

これらの研究は、モバイル性の高いデバイスに空気で触覚を与えることに注力しており、小さな球体のバブルを空圧制御する研究である。2009 年の研究と 2023 年に発表された Flat panel Haptics の違いは、1) バブルの大きさの数ミリまで極小化することで三角形のように細かい形状を提示できるようになったこと、2) 空圧式から油圧式にインフレーターブル機構が変わり、静音性が増したことである。有機 EL ディスプレイなどの薄型でフレキシブルなディスプレイをインフレーターブル機構の内側ないし外側に配置し、触覚を与えることで映像と同期する構造が検討されている。内側に配置した場合は、インフレーターブル機構自体の透過性が課題となるので、主に外側に配置している実装例が多い。

2.1.4 ディスプレイ研究 (HCI) における研究貢献

本研究のディスプレイ研究 (HCI) における新規性は、空気を使用することで、薄型・軽量のモバイル性の高い形状変化ディスプレイを開発したことである。空気による形状変化ディスプレイに映像投影をするためには、インターフェイスを透明化することが要件であり、AirPolygon は透明度の高いデバイス設計となっていることから、映像投影が可能になっている。また、空気による形状変化ディスプレイは、ほとんどが球体のバブル上の形状しか提示できないが、AirPolygon はプラスチック板 (PS) とエラストマを使用することで、球体以外のポリゴン形状を提示している。プラスチック板 (PS) とエラストマを併用するような形状変化ディスプレイは、先行研究がないため、本研究の新規性である。

Future Interfaces Group の研究群については、近年の研究において、確かにバブルが超小型化してきているので、バブルの集合体として、球体以外の形状を提示しているという見方もある。AirPolygon と Future Interfaces Group の研究群は、構造や使用する素材もかなり異なるため、例えば、高さ方向には AirPolygon の方が提示できる幅が大きいことや得意な提示形状についても異なってくる。第五章の議論で述べる通り、どちらの研究も、空気により必ずしもすべてのポリゴン形状を提示できているわけではなく、空気による複雑なポリゴン形状提示の技術は、まだ過渡期にある。

2.2. 空圧制御技術

コンピュータサイエンスの研究領域では、空圧制御はこれまで広範囲に数十年にわたり、多くの研究が注目されてきた。インタフェース分野だけに絞っても、インフレータブル機構の設計、マテリアル、空気回路など、それぞれの領域に引用すべき論文が多数ある。また、これらはディスプレイやインタフェースの設計のみならず、ソフトロボットの分野でも並行して引用すべき関連研究がある。

2.2.1 ソフトロボット

ソフトロボットの研究は2000年代頃から始まったが、空圧制御を用いた研究としては、2011年にハーバード大学のGeorge Whitesideらが発表したヒトデ型のソフトロボット [24] があげられる。空気のIn/Outで四足歩行を可能にただけではなく、チューブを通して複数の着色水がソフトロボットのボディに流入し、カメレオンのように背景と同化する機構となっている。このソフトロボットにはエラストマという樹脂とゴムの中間の物性を持つ機能性樹脂が使われている。これと同様の機構を持つソフトロボットがNASAの月面探索などでの使用に向けて開発されている。



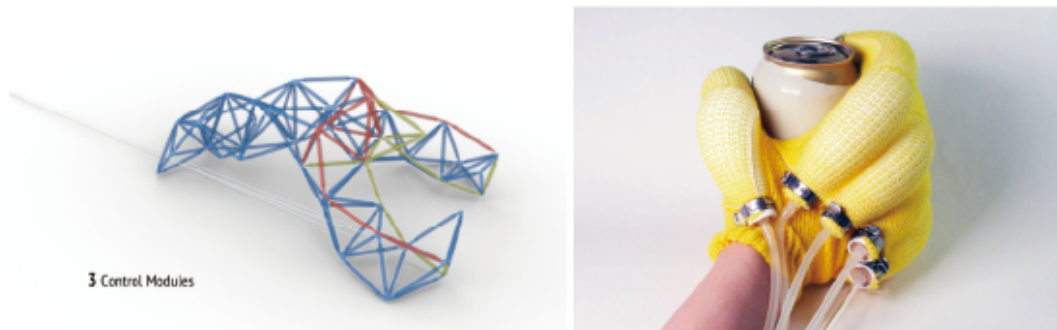
([24] [25] より引用)

図 2.5 ヒトデ型のソフトロボット (左) mGrip(右)

ソフトロボット分野では、空圧制御によるロボットハンドの研究も盛んに行われている。George Whitesideらが設立したSoft robotics社が販売するmGrip [25] は、エラストマでつくられた柔らかいソフトグリップが、掴むオブジェクトを傷つけることなく、しっかりしたグリップ力でピッキング作業を行うことができる。

これらの研究は、Human Computer Interactionの分野にも影響を与えている。2022年にCMUのMorphing Matter Labが発表したPneuMesh [26] は、空気のピストンをトラス構造で組み立てることで動かすことができる形状変更システムである。PneuAct [27] は、空気のピストンをトラス構造で組み立てることで動かすことができる形状変更システムは、機械編みのスマートテキスタイルとシリコンチューブを組み合わせたソフトアクチュエータである。これらはユーザが容易に

デザインし製造できるように，ソフトウェアも含めたデジタルファブリケーションの手法を設計している．



([26] [27] より引用)

図 2.6 PneuMesh(左) PneuAct(右)



([28] [27] より引用)

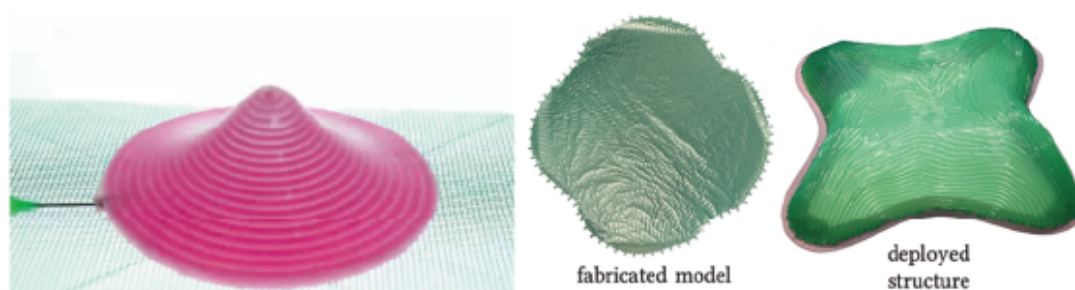
図 2.7 PneuUI(左) COLORISE(右)

2.2.2 空圧制御の Shape-changing display

Shape-changing display でも空圧制御による研究が多くある．2012 年の MIT の tangible media group の Jamming User Interface [29] は，粒子とエラストマ膜で作られたものだが，プロトタイプの中には空圧により形状変化するものがある．

PneUI [28] は、エラストマなどの複数のレイヤを重ねて、空圧制御するディスプレイである。COLORISE [30] は、シリコン素材 (Smooth-on Ecoflex 00-30) を赤・青・白に着色し、複数のレイヤを重ねて、空圧制御を行うことで、球体の色変化を表現している。

エラストマを使用した空圧制御では、マテリアルの特性上、球体以外の形状が表現しにくいという課題がある。Bio-inspired pneumatic [31] は、球体以外の形状を提示することに成功している。Computational Inverse Design [32] は、二層のレイヤ構造の間に管状の空気回路をつくり、逆計算可能な形状を提示している。



([31] [32] より引用)

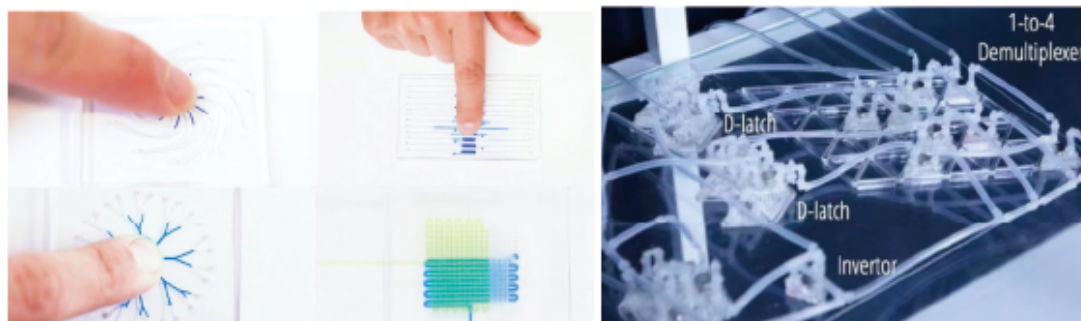
図 2.8 Bio-inspired pneumatic (左) Computational Inverse Design (右)

2.2.3 空気回路

空気回路は、通常目にみえない方がユーザのデザインに与える影響は少なくてよい。AirPolygon の空気回路も透明なレイヤであり、設計において参考となった。液体の流体回路の研究の中にも、重要な研究がある。

Fluidic Computation Kit [33] は、マグネットを使用した空気回路のスイッチなどに関する研究だが、エラストマテープと接合度の高い TPU が使用されており、透明な空気回路を設計している。Venous Materials [34] は、葉の静脈のような流体構造を作る研究である。この研究で使用されたマテリアルは、AirPolygon と同

じエラストマテープであり，IPA によりテープのアクリル接着剤を擦り落とすことで，透明な流体回路を設計している．この手法は AirPolygon でも使われている．



([34] [33] より引用)

図 2.9 Venous Materials(左)Fluidic Computation Kit(右)

2.2.4 空気による 4D printing

ほとんどのインフレーターブルインターフェースは球体を基本としており，コンプレックス形状の提示は研究例が少ない．しかし，空気を利用してコンプレックス形状を提示する研究は，4D プリンティングなどのファブリケーションの研究領域には，多く存在している．

BlowFab [35] は，熱可塑性プラスチックを利用して，再形成可能な空気圧構造を提案した研究で，コンプレックス形状をインフレーターブルで提示している．Liquid printed [36] は，ゲルの中で空気を注入して，コンプレックス形状を作るデモである．PneuFab [37] は，熱可塑性の PLA フィラメントをバイオマテリアルから製造し，特殊な液体の中で空気を注入して，コンプレックス形状を提示している．このように，液体の中などの特殊環境において，空気によりコンプレックス形状を提示した研究は多い．これらのマテリアルを参考に，球体以外のコンプレックス形状を提示する機構を検討している．

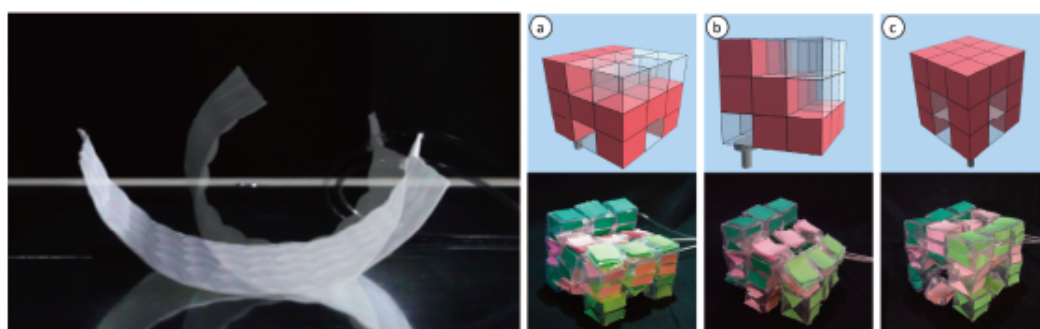


([35] [37] より引用)

図 2.10 BlowFab(左) PneuFab(右)

2.2.5 その他の関連技術

その他構造上, AirPolygon のシステム設計と関連が深い研究を取り上げる. aeroMorph [38] と後続する MilliMorph [39] の研究は, 薄型の空気袋の曲げ機構による形状変化マテリアルの研究で, ヒートシール可能な PET フィルムが使用されている. 埃や指紋などの汚れが付着する前に, PET などの透明フィルムを貼り付けることは, 透明なインフレータブル構造を作る際には, よく行われる手法である. また MilliMorph の曲げ構造も, 広義には球体以外の形状提示をしている事例といえる. PneuSeries [40] は, 双方向逆止弁を用いて, 立方体を 1 つずつ膨張収縮させるインターフェースで, コンプレックス形状を提示した研究である.



([38] [40] より引用)

図 2.11 aeroMorph(左) PneuSeries(右)

2.2.6 空圧制御技術における研究貢献

本研究の空圧制御技術における新規性は、空気回路の設計において、プラスチック板（PS）とエラストマを使用したことである。ポリスチレン（PS）とエラストマは接合度が高く、このマテリアル特性に着目して、空気回路を設計している先行研究はない。また、空気漏れを防ぐための図面の工夫やコネクタ形状についても、それぞれの先行研究において様々に研究されている部分であるが、詳細な空気制御システムの中には、システム設計としての新規性がある可能性がある。

2.3. 映像研究

2.3.1 展示空間

近年は映画が、映画館ではなく、タブレット端末などを通して視聴されることは一般的になっている。Watching movies on netflix [41] という論文では、タブレット端末の画面サイズの大きさによって、ユーザの没入感に変化があるかどうかという調査をしており、一定のサイズを超える場合、没入感に変化はないとしている。ただし、これはタブレット端末同士の比較であり、映画館とタブレット端末で、没入感にどれほど違いがあるかという点は調査対象になっておらず、この議論を結論づけるのは難しいだろう。

実際に、ファン・ゴッホなどの印象派の画家の展示は、体験型のデジタルアート展として開催されており、“没入型展覧会”などと呼ばれるが、投影する映像サイズは、実物の寸法より、かなり大きなサイズになっている。また国内でも ICC などの一部の美術館では、体験型の映像作品の展示が行われており、恵比寿映像祭などの実験映画では、展示手法を工夫することは一般的なことである。このような展示で使われるノウハウには、本研究に関連するさまざまな映像表現手法の調査がある。また HMD による仮想美術館の研究も近年盛んである。

一方で、第一章の研究対象にて述べた通り、AirPolygon は持ち運びのできる空気でできた軽量の映像装置であり、備え付けの映像装置を想定していない。また映像制作者の定義も、プロの映像制作者というよりは、個人を想定しているとい

う違いがある。もともと映像表現の拡張は、劇場型や展覧会型で模索されてきた領域であり、研究対象に違いはあれ、調査すべき関連研究は多い。

2.3.2 映像制作者

近年は映像の技術領域が平易になってきたため、プロの映像制作者にとどまらず、一般的な個人が Email を送るように映像制作をする時代になってきた。このような映像制作者の歴史を紐解くと、ドキュメンタリなどの個人的な映像記録に関するものも関連研究に入ってくる。古くから映像作家は、個人的な記録として、8mm フィルムなどを使用して記録映画を撮っていた。カメラを構えて、撮影しながら話すスタイルや自分にカメラを向けて演じるような手法も取られた。これらは現代の SNS における動画投稿と類似する点もある。

最近では、インタラクティブドキュメンタリというデジタルメディアを活用した映画ジャンルも注目されている。Enabling Polyvocality [42] という論文では、その制作手法について実地調査が紹介されており、SNS のいいね機能などの鑑賞者の参加についても議論されている。今後、映像制作の技術的な障壁がどのように下がり、インタラクティブな映像制作の形式が開発されるかは未知ではあるが、このような映像制作のインタラクティブ性が高まる環境においては、AirPolygon のようなインタラクティブなディスプレイ研究も意義が出る可能性があるため、このような映像制作者の多様性に関する研究は、本研究の関連研究といえる。

2.3.3 動画広告

AirPolygon は、現状複数の形状提示に切り替える（例えば空圧制御シートを順番に差し替えるなど）仕組みを実装できていないため、数十秒程度の短い映像の方が応用しやすい状況にある。短い映像として一般的に流通しているのは、映像作品よりも動画広告などの方である。この動画広告に関する研究はビジネス領域でも多くあるほか、HCI 領域でも特殊なインタラクションを必要とするものとして研究対象となっている。例えば、Automated Multi-Modal Video [43] という論

文では、マルチモーダルな動画広告の編集手法について研究され、データセットから動画広告を自動生成する仕組みを開発している。

動画広告は、スマートフォンでのゲームの隙間時間などの極めて短い時間で流れ、映像を観た人に印象を残す必要がある。スマートフォンにはタッチ機能もついている、押した瞬間に動くようなアニメーションなども有効な映像表現である。この研究領域は、本研究の特性を鑑みると、関連する可能性がある。

2.3.4 デザインフィクション

デザインフィクションとは、SF作家のブルース・スターリングが2005年に作った用語で、SFのストーリーをHCIなどの開発に活用することをいう。SFプロトタイピングと呼ばれることもある。Design fictional interactions [44]によれば、デザインフィクションは、SFの物語を用いるために、倫理や社会的な観点などのさまざまな課題に取り組まざるを得なくなることを重視しており、架空のシナリオの中で、設計要件を考えることで、HCIの開発に貢献する。

デザインフィクションは、一般的なロードマップによる開発とは異なり、現在のデバイスが置かれている課題解決の延長線上に必ずしもあるわけではないという特徴がある。例えば、AirPolygonでいえば、現在のディスプレイ技術の一般的な課題は、薄型にして曲げられることや軽量化などが挙げられるが、空気で膨らむということは連続的に発想できるアイデアではない。具体的なSF作品名があるわけではないが、ホログラムなどの立体ポリコンが空中結像することはSF映画などではよくあるシーンで、AirPolygonのアイデアはどちらかといえばデザインフィクションによるものといえるだろう。

2.3.5 スーパーインポーズ

スーパーインポーズと関連する研究を取り上げる。Adobe ResearchのTransparent display [45] (Project Glasswing [46])は、複数の種類のディスプレイを重ねることで、背後の物体を透過して見ることが出来るディスプレイのデモである。

スーパーインポーズによる重畳構造の表現は,AirPolygon の提案するレイヤーベースの形状変化ディスプレイの構想と相性が良いといえる。

これらの実装には, 調光フィルムがよく使用される。PDLC は, 高電圧をかけることにより液晶の整列現象を利用した調光フィルムである。PDLC は, 電卓などのセグメント式のディスプレイ技術にも使われている。渋谷区の公共トイレ [47] が, PDLC を使用して, 実装された.Adobe Research の発表した Primerose [48] も, PDLC をウェアラブルデバイスに使用する研究である。



([46] [47] より引用)

図 2.12 Project Glasswing(左) 渋谷の公衆トイレ (右)

2.3.6 アート作品

形状変化ディスプレイを用いたアート作品の先行事例の中には, 映像的な表現を実現している作品も多い。DANIEL ROZIN はそのような映像的なインタラクションを含むアート作品の作家として有名で, 例えば「Wooden Mirror」[49] では, 鑑賞者は映像に類似する鑑賞体験を得る可能性があり, 関連作品といえる。また空気制御を用いたアート作品では, 名和晃平の「生成する表皮」(十和田市現代美術館にて企画展が開催) [50] などが関連するアート作品として挙げられる。

2.3.7 映像研究における研究貢献

映像研究として、映像の展示空間や映像制作者、動画広告、デザインフィクション、スーパインポーズ、アート作品などの関連研究についてまとめた。バーチャル美術館のような五感を刺激する拡張現実の展示空間のみならず、映像のインタラクション性やデバイス設計へのアイデアなど、映像研究領域ではインタラクションに関する研究が注目されている。また多くの映像作品やアート作品の取り組みの中でも、AirPolygonの空圧制御技術を使用することで、設計が容易になったり、新規性のある動きを提示できる可能性がある。

第 3 章

デザインプロセス

3.1. 概要

AirPolygon のコンセプトデザインに至るまでに、さまざまなプロトタイプ的设计や実装，評価，考察を経てきた．Balloon Display，Poko Sheet，AirPolygon のそれぞれのプロトタイプに関する概要をまとめる．

特に，第一プロトタイプである Balloon Display は，1 バルーンを 1 ピクセルとみなすタイプの典型的なモジュールベースの Shape Changing Display であるが，低解像度のため映像表示装置と呼ぶにはほど遠く，レイヤーベースのインフレーション機構の設計コンセプトに切り替えるまで，試行錯誤した．もともと Balloon Display は，ソフトロボティクスで使われるエラストマという機能性樹脂を材料にしており，生態模倣ロボットのような動きに興奮する子供たちの反応に惑わされ，本研究の目的である映像表現の拡張よりも，玩具開発に近い動機で様々なアプリケーションを実装する日々が続いた．

第二プロトタイプである Poko Sheet は，2023 年 3 月に開催された世界最大の映像・エンターティメントのイベントであるサウス・バイ・サウスウエスト（SXSW）での展示に向けて，これまでとは全く異なる設計コンセプトで実装したものである．デバイス自体を透明な機能性フィルムの積層構造で設計することで，インフレーションな透過シートを実装し，iPad の液晶ディスプレイの映像をリアプロジェクションするものである．映像同期する Shape Changing Display を制作する中で，映像表現の可能性を探索した．

Balloon Display で考察したファッションや玩具などへの応用例の可能性，Poko Sheet で考察したフラットパネルの映像と Shape Changing Display の同期性など

から検証し、スーパーインポーズ（重畳）のコンセプトや球体だけではない立体形状を提示できるシステム設計を取り入れたものが最終デザインである AirPolygon である。

次節から、Balloon Display と Poko Sheet の両プロトタイプの背景，設計，実装，応用例，評価，議論，考察の詳細について述べる。

3.2. Balloon Display (第一プロトタイプ)

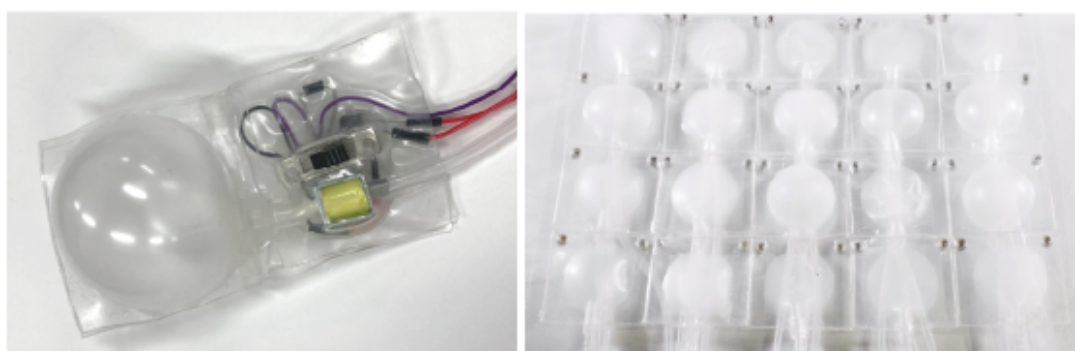


図 3.1 Balloon Display のモジュール設計 (左) skin2.5D ディスプレイの実装 (右)

3.2.1 背景

樹脂とゴムの中間の機能を持つエラストマという物質がソフトロボットなどの領域で注目を集めている。エラストマは空圧制御で大きく膨らみ、躍動的で生物感のある動きを生み出し、視覚効果に優れている。また液体制御による様々な機能性流体の回路を作り、色を変化させるような研究も進んでいる。

商業施設や美術館などで、物理的な立体の情報提示装置（立体ディスプレイ）を目にする機会が増えてきた。これらは、上下に駆動するアクチュエータなどを用いている。具体的には、複数個のアクチュエータを並べ、その1個をモニタ上の1ピクセルと捉え、従来の色の変化ではなく、高低差の変化として表現することで、奥行きを提示する仕組みになっている。一方で、この方法では、大量のア

クチュエータを準備するコストや、電気制御の複雑さ、曲げたりなどの柔軟な変形が難しいなどの制約もある。また設計者にとって、自由に動きや構造を変更する手段も限定的であり、メンテナンスコストも高いことから、私たちの生活空間に普及しにくいという問題がある。

そこで Balloon Display は、エラストマの映像表現における可能性に注目し、設計者が簡単にインフレータブル機構を設計できるモジュールキットを提案する(図 3.1)。空圧制御のデバイス設計では、空気漏れが1箇所でも生じると、機構内の空圧バランスが崩れてしまい、デジタル制御できなくなる。空気漏れが起こりやすいのは、エラストマとチューブの連結部分とエラストマ同士の接着面である。Balloon Display では、レーザーカットのみを使用するファブリケーション手法でありながら、図面設計の工夫とベビーパウダーを使用することで、このシステム設計上の問題を解決する。

モジュールキットのユーザーは、表面に塗布する物質やバルーン内に流入させる流体の種類(空気だけでなく、水やゼラチンなど)を変更することで、さまざまなデザインをすることができる。応用例として、インテリアやフード、玩具、アート作品など様々なアプリケーションを実装する。

3.2.2 関連研究

2章で述べた COLORISE [30] や PneuUI [28] など、Shape Changing Display の研究領域で同様のバルーン形状のインターフェイスを提案したものがある。Balloon Display は、(1) モジュール数を増やし高解像度化に取り組んでいること、(2) 表面や内部に様々な物質をアタッチできるデザインスペースがあること、(3) スイッチなど小型で簡易なモジュール設計になっておりモバイル性に優れること、がデザイン上の研究貢献部分である。また、システム設計上では、エラストマとチューブの連結部の空気漏れを防ぐ構造に新規性がある。

このようなモジュールキットには、Tangible media Group の topobo や Pneuduino がある。topobo [51] は運動記憶を備えた組み立て玩具であり、難しいプログラミングコードを書かなくても、動きをつけることができる。Pneuduino [52] は、空圧制御のためのアクチュエータやセンサーを組み込んだ子供やデザイナーなどの



([51] [52] より引用)

図 3.2 topobo (左) Pneuduino (右)

ための電子モジュールキットである。Balloon Display は、エラストマという材料特性に注目した空気回路やインフレータブル機構を専門知識なくとも実装できるようにすることを目的としていた。

3.2.3 設計と実装

ハードウェア設計

Balloon Display のハードウェアは、エラストマテープ (3M 製 VHB テープ Y-4910J- 0.5mm) とシリコン製のチューブ (内径 4mm, 外径 6mm), 電磁弁, 5V 制御のミニエアポンプ, Mosfet(2N7000) を使用している。

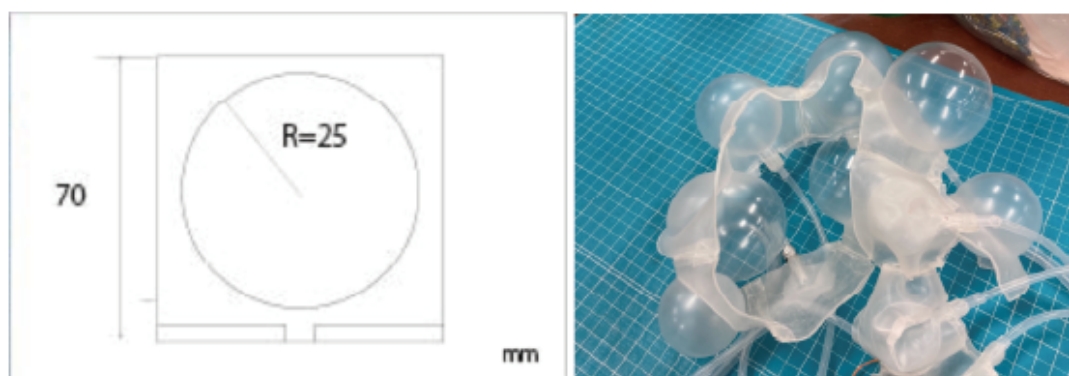


図 3.3 レーザーカット図 (左) 実験の様子 (右)

エラストマとチューブの連結部の空気漏れに対しては、できる限り細いシリコン製チューブを使用する、シリコン製のコネクタで圧着するなどの方法が一般的だが、図 3.3 左の図面のように、5mm 角程度の突起部を作り、エラストマで縛ることで、空気漏れをほぼ完全に防げる。

エラストマテープは、内部にアクリル系塗料が染み込んでおり、表面の接着剤を水などで洗浄して取り除いても、加熱や加圧によって接着力が回復する。従い、染み込んだアクリル系塗料を塞ぐため粒子の細かいパウダーを使用して、接着しないようにする必要がある。光の乱反射によって完全に透明な微粒子は基本的に入手できないので、Balloon Display では市販のベビーパウダーを使用している。これにより、Balloon Display の透過率は落ちるため、半透明になっているが、膨張時は透過率が高まる。

エラストマテープはレーザーカッターで裁断するが、焼き切るとエラストマが溶けて裁断面が劣化するので、溝を薄く焼き付けて、カッターやはさみを使って切り取る。カッターか、はさみかは、ユーザー次第であるが、後述の子供向けワークショップでのユーザーの工作過程の観察からは、はさみが最適とみられた。

バルーンの大きさについては、直径 10mm の円までは比較的問題なく膨らむが、ややユーザーにテクニックを要求するので、直径 50mm の円を基本として設計した。アクリル塗料がついたエラストマテープは扱いにくいので、10mm 以上のパーツを基本とした方が子供などにも作業しやすくなる。

バルーン同士を接続する手段としては、当初はスナップボタンと JST コネクタを検討していたが、エラストマ部分をお互いに接着するには同じエラストマを使用するのが材質特性上は接合度が高い。エラストマの中に直接導線を包むような配線モデルを検討した。

ソフトウェア設計

ソフトウェアについては、Arduino, Autodesk Fusion, Adobe illustrator などを使用している。複数個の電磁弁をスイッチングするには、外部電源と Mosfet もしくはトランジスタを使用し、Arduino UNO などから信号を送る方法が採られた。AVR マイコン (atmega328p) をバルーンに内蔵するシステム設計も検討し

たが、ワークショップなどでは配線が外れてしまうリスクや信号管理などのメンテナンス上の理由から、信号部はバルーンの外部で管理する設計になった。

上記の構成では、信号部とソフトウェアがディスプレイ装置の外部にある状態になるが、その外部機器が重たくなるとモバイル性を著しく低下させる。展示やワークショップ会場でも、設営が大変になるため、スマートフォンアプリを利用して、外部から簡単なスイッチで AVR マイコンの信号を制御できるシステムを検討した。しかし、実際の会場ではネットワークが不安定になるリスクもあり、長い USB ケーブルで Arduino UNO と繋ぎ、できる限りユーザーに見えない位置に隠すことや、物理的なスイッチをバルーンに内蔵させ Arduino の信号制御を使わずにユーザーにスイッチを押させて動かしてもらうような手法も取られた。信号部を意識させないデザイン設計は、ユーザビリティに影響度が大きいため、さまざまなマイコン操作の手法を検討した。

Autodesk Fusion は、主にコネクタの 3 D プリンティングのモデリングに使用した。Adobe illustrator は、エラストマの裁断図面の制作に使用した。しかし、Balloon Display は、基本的に球体のバブルを提示するだけのシンプルな構造なので、後述の AirPolygon のような複雑なソフトウェア操作は行っていない。

3.2.4 応用

Balloon Display は、設計者が簡単にインフレータブル機構を設計できるモジュールキットであるが、インテリアやフード、玩具、アート作品などの応用例を述べる。キットのユーザーは、表面に物質を塗布したり、バルーン内に流体を入れたり、バルーンをカスタマイズすることができる。

アート作品 (MFT2022・KMD フォーラム 2022)

Balloon Display は、2022 年 9 月に Maker Faire Tokyo 2022 で展示するアート作品として、はじめて発表された。4 × 5 の 20 ピクセルの低解像度のフィジカルディスプレイであり、スナップボタンでトレーシングペーパーに貼り付けて固定している。2022 年 11 月の KMD フォーラム 2022 では、プロジェクションマッピング



図 3.4 Balloon Display (左) Balloon Display + Projection (右)

ングで映画を投影するモデルが開発された．ここではトレーシングペーパーの代わりに、映像が鮮明になるように加工したプラスチック板が使用された．このように、当初の応用例は美術館や商業施設に展示するアート作品が中心であった．

インテリア領域 (VR 謎解きイベント)



図 3.5 未来の花 (左) 会場の様子 (右)

インテリア領域の Balloon Display の応用例として、2022 年 11 月に開催された「リアル×バーチャルの謎解きイベント [53]」について述べる．

当イベントは、石戸奈々子教授の「Social Creation」の授業で採択された東急不動産との共同研究であり、VR の HMD を用いて、バーチャル空間とリアル空間

で協力して謎を解いていく親子向けイベントである。筆者は、この中でバーチャル空間と連動するインテリア・ロボット家具の設計を担当した。Balloon Display を用いて制作したものとして「未来のフラワー」がある。SwitchBot などの市販のスマート家具を流用したプロトタイプでは、カスタマイズできる範囲が限られるが、Balloon Display のようなモジュールキットがあれば、ユーザーにパーソナライズされた家具ロボットのデザインが可能になる。

フード領域 (Cyber Agent とのワークショップ)



図 3.6 膨らむクッキー (左) プレゼンの様子 (右)

フード領域の応用例として、2023 年 2 月に開催された Future Crafts と Cyber Agent による共同ワークショップにて開発された「膨らむクッキー」を取り上げる。このプロジェクトは、中須賀絵莉・苗蘭馨・王冬元とのチームで開発したプロジェクトであり、筆者は「膨らむクッキー」のインフレータブル機構のデザインを担当した。Balloon Display の表面に溶解したグミをのせて、ステンドグラスクッキーが膨らむ構造を設計した。

このプロジェクトのプレゼンでは、「不思議の国のアリス」に出てくる人間と対話するティーポッドのように、「未来のレストラン」は、フードと人間がインタラクティブすることが想定されるという構想のもと、体験型レストランをデザインしたものである。このように、フード領域のインタラクションでも、Balloon

Display のようなインフレータブル機構のモジュールキットを使用することができるだろう。

ファッション領域 (Balloon Shoes)

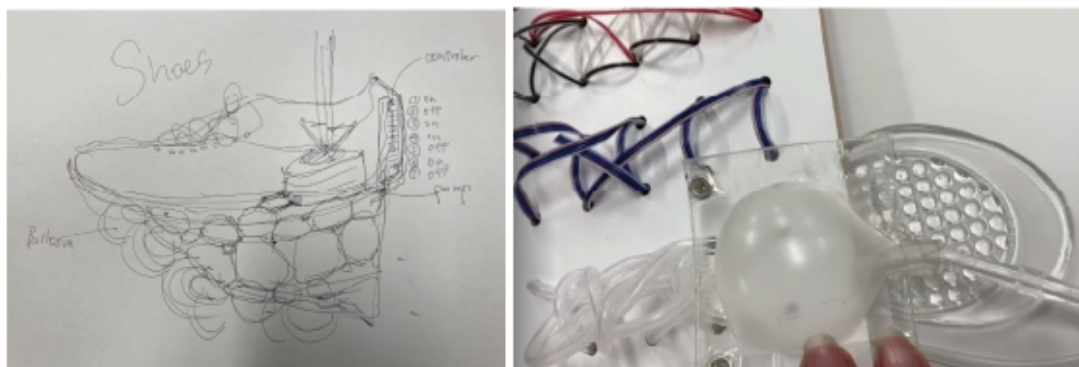


図 3.7 Balloon Shoes のラフスケッチ (左) 靴ヒモのデザイン (右)

ファッション領域の応用例として、膨らむ靴である Balloon Shoes がある。このプロトタイプは、歩いているだけで、空気の力で膨らんだり縮んだりする靴であり、靴ヒモ部分にシリコンチューブや配線をデザインしたものだが、インフレータブル機構に Balloon Display を用いている。このような空圧制御の靴は、古くから Nike などの靴メーカーが CM のイメージなどで発表してきたものだが、そのような靴を実際に空圧制御で動かす場合にも、Balloon Display のようなモジュールキットが使用できるだろう。

玩具 (汐留サマースクール)

子供向けの玩具などへの応用例として、2023 年 8 月に日本テレビ放送網主催の汐留サマースクールにて実施した子供向けのワークショップである Puni Puni をあげる。エラストマテープは、もともとソフトロボットなどに使用する高価な材料だったが、2023 年頃から、ダイソーなどの 100 円ショップでも ”風船テープ” などの名称で市販されるようになった。これを受け、YouTube や Instagram など



図 3.8 Puni Puni (左) ワークショップ会場 (右)

の SNS でも, ”風船テープ”を使った遊びが紹介されるようになり, 子供たちにも人気が高い.

Puni Puniでは, 直径2cmの小さな Balloon Display を, 基本的に 100 円ショップの材料のみを使って作れるようにした子供向けのワークショップである. 2 日間で 100 名程度 (15 分~20 分で 3 名同時開催) の子供たちに体験してもらった. マジックやシールなどを使って, 自分だけのパーソナルな空気制御の玩具をつくる. このようにユーザーがカスタマイズできるモジュールキットは玩具にも応用できる.

流体を取り込む応用例 (水・サーモインク)

バルーン内部に水などの流体を取り込むような応用例もある. 水槽のようなインテリアやサーモインクなどを入れて, 温度変化や時間経過を測定するようなデバイスにも応用できる可能性がある. 防水対応の電磁弁もあるので, ほぼ空気の場合と同様のインフレーター機構で流体を取り込むことができ, 特別なアタッチメントは不要である.



図 3.9 水を取り込んだ Blloon Display (左) サーモインクの実験 (右)

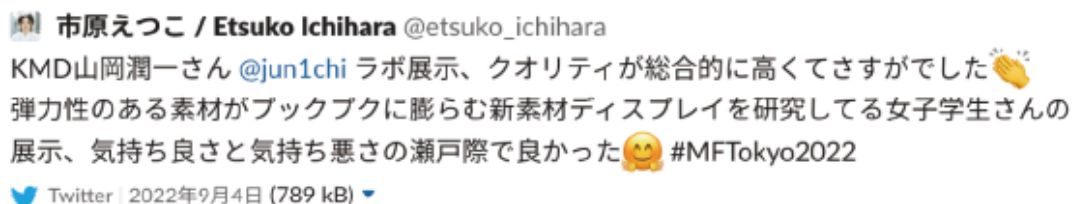
3.2.5 評価と議論

生物感や躍動感への関心の高さ

エラストマがもともとソフトロボットで使用されてきた素材であるように、エラストマを使った空圧制御に、独特の生物感がある。空圧による膨張は、特定の閾値を超えると加速して膨張するという物理的特性があり、この加速現象が躍動的であることは要因の1つである。

Maker Faire Tokyo 2022 のアート作品の展示について、メディアアーティストの市原えつこ氏は SNS [54] で、「弾力性のある素材」による「気持ち良さと気持ち悪さの瀬戸際」とコメントしている。実際に同イベントでは、子供たちが人だかりができるほどで、Balloon Display に対して「生きているみたい」「触れてみたい」というコメントもあった。また医療関係の技術者である来場者が、骨の関節の摩耗などメディカル領域にも応用可能なのではないかと感想を述べた。大人の来場者からは「この素材なんですか」という質問が圧倒的に多かった。

Cyber Agent とのフードワークショップでも、Stable Diffusion などを使いながらチームで面白い動く食べ物のアイデアリングを行ったが、「目が回転する」「空を飛ぶ」などのアイデアは、回転モーターや磁石などの仕組みを使えたが、「こっそり息をしている」などのアイデアを実装するには、Balloon Display のモジュールキットを使用の方がスピーディに対応できるなど、エラストマが持つ生物表



([54] より引用)

図 3.10 市原えつこ氏の SNS でのコメント全文

現への優位性がみられた。

また Puni Puni ワークショップでは，“目玉シール”は子供の創造性を限定するリスクがあるため，なるべく目立たないところにパーツを置いていたのだが，結果的に多くの子供たちが“目玉シール”を使用した．宇宙船や車などの生物以外のものを創作した子供は極めて少数で，9割以上の子供が怪獣やキャラクターなど生物を作った．

フィジカルなピクセルの映像装置として評価

映像表現・芸術科学フォーラムでのポスター発表を行い，Balloon Display は優秀発表賞を受賞した．以下は，その時の評価をまとめたものである．

前述のように，さまざまなオプションを用意して，色んなことに応用できるというファブリケーション手法の多様さやオリジナリティについて，ポジティブな評価が多かった．一方で，Balloon Display の映像装置としての評価は高くはない．モジュールをいくつまで増やせば，映像装置としてみれるのか疑問の声が多かった．

ポジティブな評価

A ファブリケーション手法のオリジナリティ

- 1 表面に塗布する物質を変化させることで、さまざまな特性変化がでることが面白い（実際の展示ではレジンを塗布したモデルを膨らました）
- 2 水などの液体を入れるアイデアも面白い

B モジュール型のフィジカルディスプレイ

- 1 inFormなどの具体的な実装例を説明してもらって「1アクチュエータを1ピクセルとみなす」という考え方にイメージを持つことができた
- 2 空気回路や電子パーツを組み込む仕組みについては面白いとおもう
- 3 VRやARの次にくる映像技術として期待

C アプリケーションの可能性

- 1 椅子やベットに使用できそう。人間と直接接触する機会。触覚を活用できそう

ネガティブな評価

B モジュール型のフィジカルディスプレイ

- 1 何個までアクチュエータを増やしたら映像として見ることができるとか
- 2 空気の方がピンディスプレイよりも軽いといっても、200個以上になったら重いのではないかな
- 3 正直なところ映像をみるためのディスプレイとしての活用は限界があるとおもう

図 3.11 映像表現・芸術科学フォーラムでの評価



図 3.12 触り方に関する観察結果

触覚への関心の高さ

Balloon Display の触覚については、関心が高い要素であった。椅子やベットに Balloon Display を使用してみたい (C-1) という肯定的な意見もあった。

Maker Faire Tokyo 2022 のアート作品の展示においても、「おもちみたい」「お尻につけたい」「クッションにしたい」というコメントがあった。Balloon Display を身体に身につけたいという関心も多かった。KMD フォーラム 2022 では、来場したハプティクスの研究者から、「音楽と合わせるような使い方が面白いかもしれない」というコメントがあった。手の平を Balloon Display に押し当てて、触覚を確認しているひともいた。

Maker Faire で、子供たちが「触りたい」といって触るときには、A のように指先でちょんちょんと触ることが多かった。一方で、KMD フォーラムで大人が触る場合には、B のように、しっかりとキャッチして感触を確かめるような動作もあった。正確なインタビュー調査はできていないが、考察としては、前者は「動物」として、おそろおそろ Balloon Display に触れているのに対して、後者は「道具」として、しっかりと感触を確かめつつ Balloon Display に触れているように考察した。

Balloon Display に対して「触っていいですか」と展示会で聞かれることは多く、Balloon Display に「触れてみたい」という関心が高いことがわかった。

3.2.6 考察

モジュールベースのフィジカルディスプレイの限界

上記の評価の通り、Balloon Display の映像ディスプレイとしての評価は低く、限界があるということを認識した。特に、1 アクチュエータで作った 1 モジュールを 1 ピクセルとみなして、高解像度の映像ディスプレイを設計することを志向すれば、映像装置は重くなり、メンテナンスもできなくなってしまう。

研究目的の再認識

評価で述べたように、Balloon Display に高い関心が寄せられた要因には、生物感や触覚などが挙げられる。一方で、第2章の関連研究で述べた通り、エラストマを利用した生物感を表現するアート作品はたくさんあり、また Chris Harisson らの空圧制御のモバイル装置は、空圧と触覚に注目して10年以上の実績がある。生物感や触覚に対して、来場者の関心が集まる一方で、研究の新規性の観点からも、研究目的を”空圧制御のモジュール玩具”に完全に切り替えてしまうには危うさもあった。

最終的には、やはり本来の映像ディスプレイとしての空圧制御を再検討することを選んだ。Balloon Display のようなモジュールキットを玩具などに使うのはい定のニーズはありそうだったが、第1章で述べた通り、本研究は映像ディスプレイのフラットパネル化への問題意識からスタートしており、生物感や触覚に注目が集まるからといって、別の方向性にシフトしてしまうと研究目的を果たせないことになる。

3.3. Poko sheet (第二プロトタイプ)

3.3.1 背景

PokoSheet は、2023年3月に開催されたサウス・バイ・サウスウエスト (SXSW) での提示に向けて、設計されたものである。SXSW は1987年に音楽祭として始まり、その後1994年に映画祭、2000年以降は、よりインタラクティブな表現や事業アイデアなども展示の対象となっている。Twitter や AirBnB, Pinterest などが、シードステージで発表したことでも知られ、音楽や映像という枠組みを超えた展示も多い。

Balloon Display はソフトロボットで注目されていたエラストマという素材に注目し、商業施設や美術館などの立体インスタレーションや日常的なプロダクトに、空圧制御の情報装置をモジュールキットとして組み込めるようにする提案であっ

たが、生物感や触覚ばかりが注目され、映像ディスプレイとしての価値を提案できずにいた。

PokoSheet は、「液晶ディスプレイにパッと貼り付けてポコッと膨らむ」というキャッチコピーで、Balloon Display をより映像用途に強化してデザインされたデバイスである。SXSW の展示では、インタラクティブな映像表現が注目されるため、よりその要素に特化した設計となった。

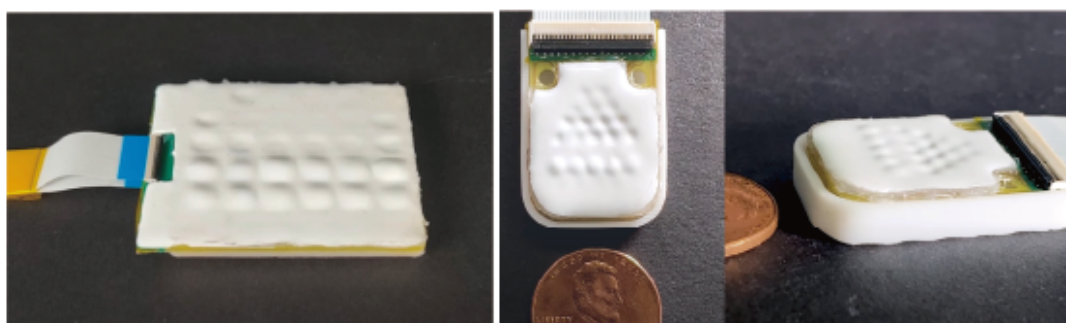
PokoSheet の要件は、(1) デバイスの透過性、(2) パッと貼り付けれるモバイル性、(3) 液晶ディスプレイのアニメーションとの連動性であった。この詳細については、後述する。この要件を実現するため、シート内部に空気回路を実装したレイヤー構造を設計する必要があった。さまざまな透明な機能性フィルムを検討した結果、プラスチック板が最もエラストマと相性がよく、接合度を十分に保ちつつ、レーザーカッターで簡単に加工できることがわかった。

ただし、PokoSheet は、(1) 球体しか提示できず、関連研究との差異があまりなかったこと、(2) タッチセンサーなどの機能性もなく、複雑なプログラミング制御はできなかったことなど、課題も多かった。PokoSheet の研究で最も有意義なのは、そのデザインに至るまでの材料や機能の試行錯誤であり、それらの試行実験の結果が統合されて AirPolygon の設計につながっていく。

3.3.2 関連研究

関連研究としては、第2章の「スマートフォンと空圧制御」であげた研究群がある。2010年以降、CESなどの海外の展示会では、スマートフォンに空圧制御を搭載する事例はいくつか存在する。PokoSheet は、それらとは異なるシステム設計でつくられている。また、多くの先行事例は、ボタンなどに触覚を与えるもので小さなバブルであることも多い。Flat panel haptics [22] や Fluid Reality [23] では、薄型の有機 EL ディスプレイの内部に小さなバブルを発生させるディスプレイを置く構造になっている。PokoSheet は、これらの研究とは違い、アニメーションに視覚的なインタラクションを加えるものなので、大きく膨らむことが特徴である。

ダイナミックプロジェクションマッピングは、動きに合わせてマッピングを動的に変更する手法である。技術に関する研究論文だけでなく、舞台芸術やアート作品の中で多数実績がある。また、第2章の「Shape-changing display」であげた Relief [14], AquaTop Display [16] のように、動く平面にプロジェクションマッピングするという研究は多い。PokoSheet は、序論で述べた通り、重くて大きな映像装置ではなく、空気のように軽くてモバイル性があるものという研究コンセプトに則っており、「スマートフォンにパッとつける」といった手軽さは、これらの関連研究との違いであろう。



([22] [23] より引用)

図 3.13 Flat panel haptics(左) Fluid Reality(右)

3.3.3 設計と実装

PokoSheet は、Balloon Display と異なり、モジュールベースではなく、透明な機能性フィルムをレイヤー上に重ねるインフレータブル機構を採用している。従い、何か追加で提示形状を変更しようとユーザーがした場合、シート制作をはじめからやり直すことになる。また、スマートフォンを前提にしているので、スマートフォンを持ち歩いているユーザーであれば、「カバンに入る」どころか、「ポケットに入る」くらいのモバイル性がある。実際に、Balloon Display の場合、ピクセル数やプログラミング制御する装置によっては 1kg を超える重量になり、最軽量のクッキーや花瓶のアプリケーションモデルでも 500-800g 程度だった。一方で、PokoSheet のシート 1 枚あたりは 100g 未満である。これは、ハードウェア設計の

大部分をスマートフォン側に寄せたことによるメリットだが、一方で、スマートフォン側のアニメーションなどとの同期性の課題も出てくる。

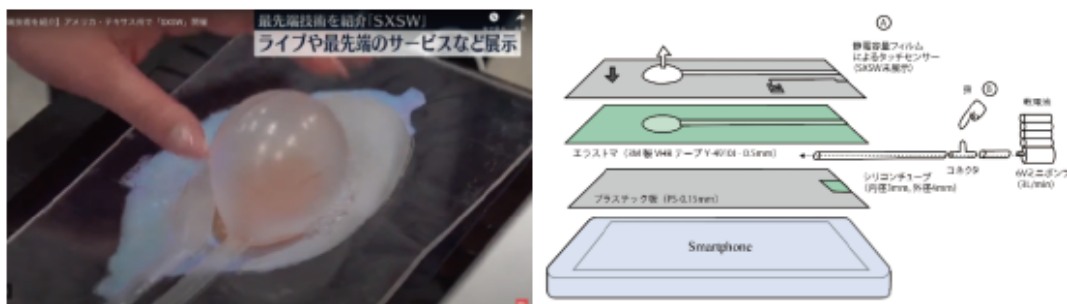


図 3.14 PokoSheet(左) Pokosheet のシステム (右)

ハードウェア設計

PokoSheet のレイヤー構造を示したのが図 3.14 である。2 枚のプラスチックを 1 枚のエラストマで接合するシンプルな構造だが、プラスチックとエラストマの接合度の高さを利用しており、プラスチックで押さえつけられた部分は膨張せず、プラスチックが貼られていない部分から膨張していく仕組みになっている。

2 つの大と小の風船をチューブで繋ぎ数分放置すると、どうなるだろうか。答えは、大の風船に全ての空気が移動する。空気はこのように大きい方に移動する特性がある。PokoSheet の空気回路は、この仕組みを利用している。空気回路を 3mm～5mm に設定すると、20mm 以上の風船は膨張し、空気回路側は全く膨張しないことがわかった。この仕組みは、先行研究にはない観点でシステム設計上の新規性は高い。

PokoSheet は、Balloon Display 同様に、空気漏れが致命的であり、シリコンチューブとの連結部のデザインに独自性がある。Balloon Display では 5mm 程度の突起を外側に出して、エラストマで縛ることで空気漏れを防いだが、PokoSheet は、これと原理が同じだが、内側に 5mm 程度のエラストマによる空気漏れ防止システムが設計されており、これにより、ほぼ空気のリーキングをゼロにすることに成功している。PokoSheet は、6V ミニポンプ (3L/min, 80g) を使用してお

り、これは市販の水槽ポンプが10L/min～20L/minであることからすると、かなり小型だが、空気漏れがないので駆動可能になっている。

PokoSheet は、シリコンチューブとコネクタを連結して、ユーザーが手でコネクタの穴を押さえることで膨らむタッチシステムを開発している。これは、Balloon Display の提示でのユーザーフィードバックから着想してデザインしている。ただ、当初は、AirPolygon のような静電容量フィルムを使用したマイコン制御のタッチセンサーを搭載する予定であった。しかし、Atmega328p などのマイクロチップや ESP32 などの小型マイコンを導入しても、高いモバイル性を維持しつつ実現するのは困難で、Swither システムは AirPolygon に引き継がれた。

ソフトウェア設計

どのようなアニメーション設計が空気の動きに合っているかについて、映像制作経験のある DanYue Jiang 氏や辻翔人氏、杉浦真也氏などのチームメンバーと共に検討し、SXSW の展示物の制作を行った。DanYue Jiang は CG キャラクター、辻翔人はアニメーション、筆者は実写映像と、それぞれの映像分野の専攻領域を活かして、複数パターンの映像を準備した。中でも、杉浦真也の目玉焼きのアイデアは、現在でも AirPolygon の代表的なパターンになっている。

DanYue Jiang と辻翔人のアニメーション制作のアイデアは、基本的には球体をベースに検討が行われていた。筆者は、カエルやタコなどの複数の球体が集合するような実写および CG 映像や顔などを検討したが、1 つも SXSW の展示作品には選出されなかった。杉浦真也が提案した目玉焼きは、映像のタイミングや人間の知覚が合わさったときに、効果的な表現になることを示した好事例である。

ソフトウェアは Adobe Premier や Cinema 4D などの映像の基本的なパッケージを利用した。しかし、フリー素材や YouTube にアップロードされている映像にペタッと貼るなどの検討も実際は有効で、必ずしも PokoSheet のソフトウェアは、映像制作ソフトに限定されない。SXSW の発表ではユーザー環境を厳密に設定しなかったが、例えば家でゲームコントローラーやお絵描きアプリと連携するような応用例を想定した場合、アプリ開発や郵送システムなどの簡易的なホームデジタルファブリケーションのシステムをデザインする必要があるだろう。これは序

論で述べた日常生活に空気を取り込むデジタルファブリケーションのコンセプトにも合っている。

3.3.4 評価と議論

ユーザー評価

PokoSheet は、SXSW での展示と研究室のハッキングルームでの常設展示台でのユーザーフィードバックにより、ユーザー評価を得た。それぞれの評価について図 3.15 にまとめた。

SXSW

ポジティブな評価

- 1 目玉焼きが大きく膨らむとみんな驚いた
- 2 テレビなどの報道で目玉焼きが膨らんでいる映像が紹介された

ネガティブな評価

- 1 割れてしまいそうになった
- 2 どう膨らますかわからない

研究室の常設展示台

ポジティブな評価

- 1 かわいい、プクプクしている、生きているみたい
- 2 割れてもしばらくすると再生した、エラストマという素材がすごい
- 3 小さくてシンプルにデザインされている、持ち運べる（ポケットサイズ）

ネガティブな評価

- 1 割れてしまいました

図 3.15 SXSW や常設展示台での評価

課題として、ユーザーの手でスイッチするシステム設計であるため、割れてしまうという問題があった。ポケットの中で電池が誤作動して、PokoSheet が割れてしまうと、最悪の場合、はじめからシートを作り直すことになる。最近では、100 円ショップで、風船テープなどの名称で、エラストマが市販されるようになっており、エラストマを貼るだけで簡単に修理することもできる。また、エラストマ

は自然治癒で割れた穴が塞がることもよくあるので、割れても問題ない場合もあるが、やはり電源や空圧の Power Supply やユーザーがタッチ操作できるような Swither のシステムは再検討する必要があることがわかった。

システム評価

PokoSheet の設計要件としてデバイスの透過性がある。背景の映像情報を明瞭に見えるように透過率の高い材料を検証する必要があった。特にプラスチック板（ポリスチレン）は安定して接合するため空圧を制御しやすいことがわかった。また透明度も高く、背景の映像情報を曇らせることがない。ポリウレタンなども接合度が高く、透過率も高い素材だが、スマートフォンに重ねることが前提になる場合、ポリスチレンが最適である。透明性検証については、AirPolygon のシステム評価にて実験結果を後述する。

3.3.5 考察

球体以外の形状を提示することの重要性

ソフトウェア設計で述べた通り、空圧制御と相性が良く、背景の映像情報とのインタラクティブ作用があるアニメーションは、その空気のポリゴン形状に依存する。PokoSheet の場合、「球体」であることが大きな制約となった。さまざまなアニメーションを制作してきた経験豊富メンバーも、空気のポリゴン形状が「球体」であると、結局は「球体」のアニメーションを制作することになった。従い、球体以外の形状を提示できなければ、アニメーション制作側の表現に限界があることがわかった。

また第二章の関連研究でも球体のアート作品や先行研究が多いことを述べた。映像表現手法として考えた場合、球体以外の形状を提示することが重要となる。幸い、PokoSheet を制作しながら、捨てられているプラスチック板の断面を偶然貼り付けた結果、図 3.16 左のようなキューブの空気ポリゴンを提示することに成功した。これが、AirPolygon のデザインに繋がることになる。

機能性とモバイル性

PokoSheet は、空気制御を身近なものにするモバイル性の高いデバイス、空気のデジタルファブリケーションの研究としては一定の成果を得られた。特に、シートに内蔵するタイプの空気回路については、チューブが混線するとモバイル性を著しく損なうため、システム設計として有用である。

一方で、モバイル性は機能性と相反する場合もあることは、PokoSheet の研究における発見であった。図 3.16 右のように静電容量フィルムを搭載して、タッチ操作をする実験は行なったが、ユーザーのモバイル性を重視すると、デバイスはシンプルにしなければならない。空気を選択した理由は、モバイル性を重視した結果であったが、研究目的が映像表現手法の拡張であるならば、必要な機能性はモバイル性を低下させても実現する必要がある。どこまでの機能を搭載し、どこまでモバイル性を維持するかが重要と考えた。

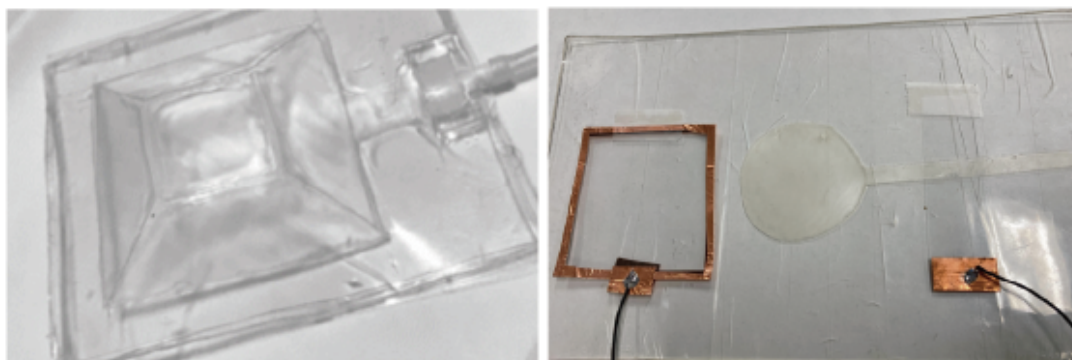


図 3.16 キューブ型の空圧提示 (左) タッチセンサの実装 (右)

スーパーインポーズ

PokoSheet の開発の中で、スーパーインポーズという考え方に出会った。第二章で述べた通り、実世界志向インターフェイスでは、現実風景にコンピュータ情報を重畳する手法が研究されている。これらのインターフェイスでは、高い透明度が重要になる。このような背景に基づき、再度先行研究を調査し、形状提示手法の独自性を再検証していくことになる。

第 4 章

AirPolygon

4.1. 背景

Balloon Display と PokoSheet を開発していく中で、(1) 球体以外の形状を提示することの重要性、(2) 従来の Shape Changing Display にありがちなモジュールベースの構造は重くて可搬性も低いこと、(3) 透過性を活かしたアプリケーションの開発が有用であることがわかってきた。

そこで、BalloonDisplay でも使用してきたエラストマを基軸に、さまざまな透明フィルムを検証し、所謂プラスチック板（ポリスチレン）を使用すると、レーザカットの切り込みのデザイン次第では、球体以外の形状を提示できる。

この手法的な新規性を中心に、国際会議の科学論文としてまとめていったのが AirPolygon のシステムである。BalloonDisplay で培ってきた WS での考察や開発の知見を活かして、カスタマイズしやすいソフトウェアやハードウェアを設計した。

AirPolygon は高い透明度が一つの特徴で、これについては別途 Evaluation を行っている。透明なインターフェイスを制作することで、映像投影がしやすくなることや、現実風景にコンピュータ情報を重畳しやすくなる。空気（Air）に浮ぶポリゴン（Polygon）という意味を込めて、AirPolygon が誕生した。

AirPolygon は、もはやフラットパネルディスプレイのためのものではなくなった。これからの時代は、洋服やカバン、玩具、建築、食べ物など、さまざまなものが映像ディスプレイになるだろう。AirPolygon は、そのような空気を取り込む未来のためのデザイン手法である。

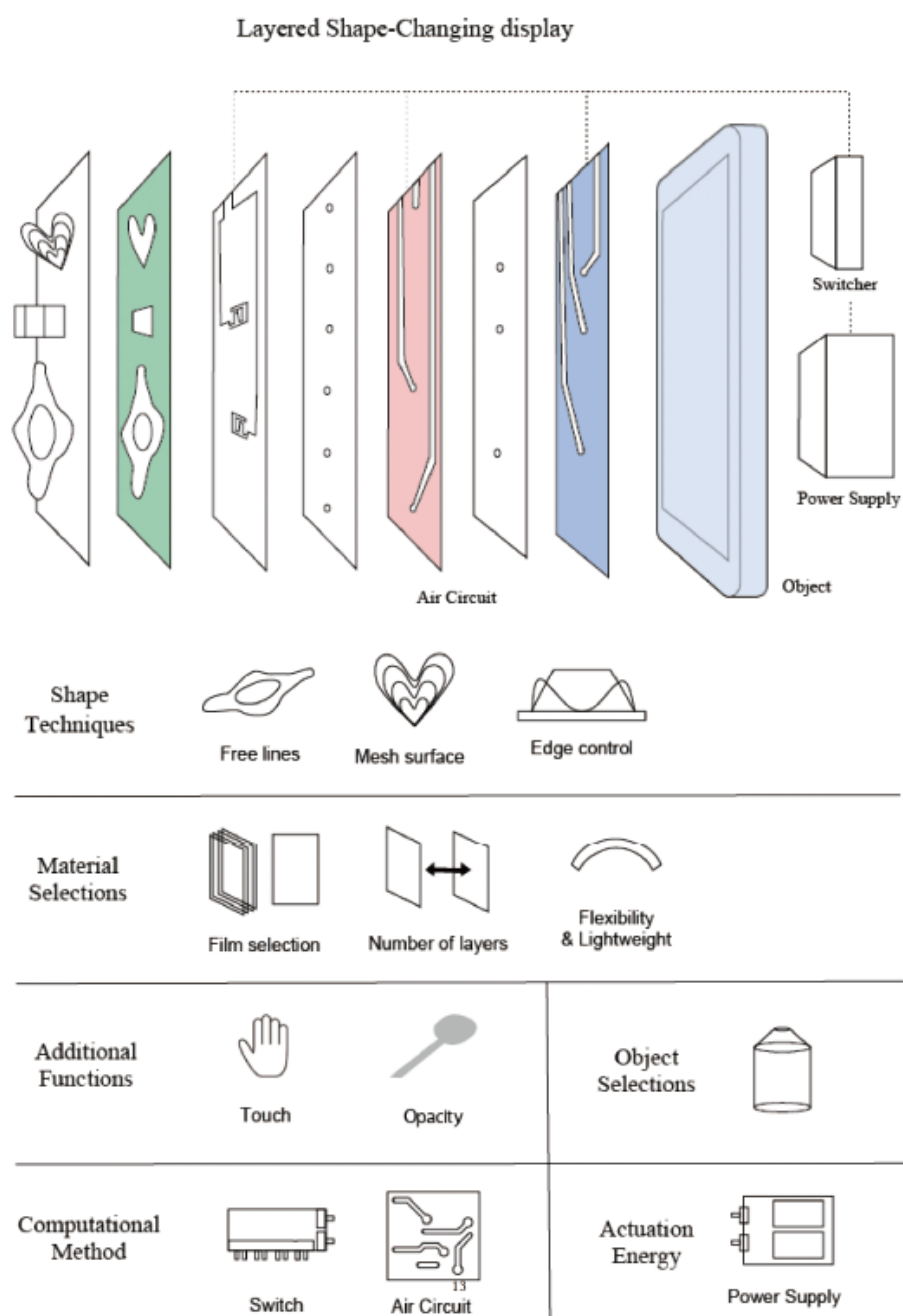


図 4.1 AirPolygon のデザインスペース

4.2. 基本設計

AirPolygon のシステム設計は，レイヤー構造による空圧制御の形状変化ディスプレイの構造となっている．具体的には，ポリスチレン（PS - 0.15mm）や導電性ポリエチレンテレフタレート（導電性 PET - 0.1mm），熱可塑性ウレタンフィルム（TPU）などの透明な機能性フィルムをレイヤーとして何枚も重ねることにより，薄くて軽量のインフレーターブル機構を作り出している．エラストマテープ（3M 製 VHB テープ Y-4910J - 0.5mm）を使用することで，各フィルムのレイヤーを接合している．このレイヤー構造を提案する背景には，モジュールベースの設計よりも，レイヤーベースの形状変化ディスプレイの方が，薄くて軽いメンテナンスのしやすい機構を制作しやすくなるという構想がある．

図 4.1 は，レーザーカッターにより裁断されたエラストマテープと機能性フィルムのレイヤー構造を示した設計図とデザインスペースの概要である．AirPolygon は，透明な空気回路を含み，レイヤー上部にいくにつれ，ユーザーがカスタマイズできるデザインスペースが用意されている．Switcher や Power Supply などのハードウェアの設計のみならず，ソフトウェアによる設計サポートも開発している．

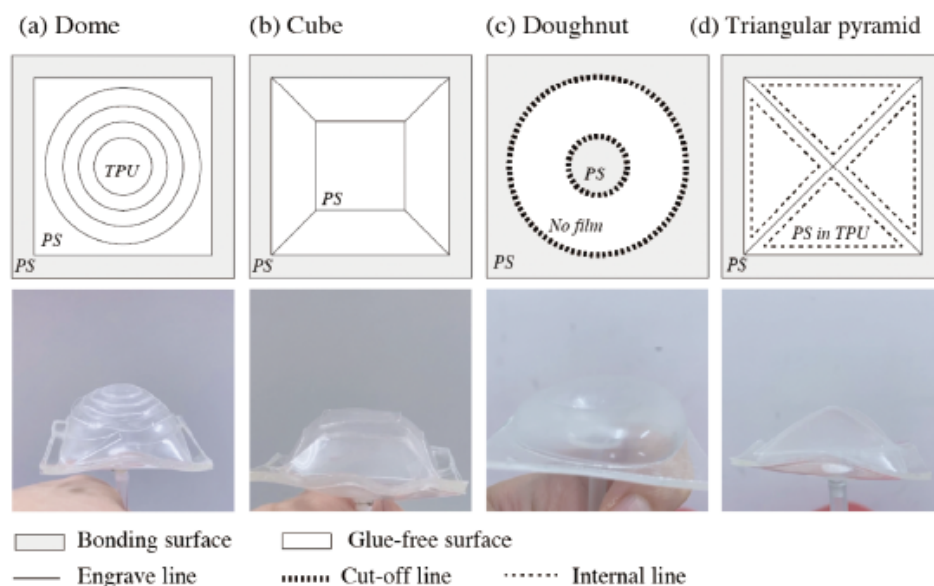


図 4.2 AirPolygon の基本図形

4.2.1 最上部の機能性フィルムの構造

図 4.2 は、機能性フィルムの組み合わせによって提示できる 2.5D のコンプレックス形状の基本例を示したものである。レーザーカッターにより裁断した機能性フィルムを貼り合わせることで、さまざまな 2.5D 形状を提示することができる。図 4.2 は、シンプルな幾何学的な形状だが、フリーハンドのような自由な形状を提示することもできる。ユーザーが AirPolygon で提示できる 2.5D 形状の多様な例については、デザインスペースのセクションで解説する。

4.2.2 ハードウェア設計

Switcher の内部は、ポリゴン数に対応する数の 5V 空気弁とトランジスタ (mosfet (2N7000)) と ArduinoNANO と 2 個のシフトレジスタ (74HC595) で構成されている。AirPolygon の Switcher の基盤は、最大で 16 個のトランジスタを制御可能である。トランジスタには空気弁以外のアクチュエーターを付けることもできる。また ArduinoNANO のデジタルピンを使用して、パワーサプライ側のポンプの制御、タッチセンサーや調光フィルムの制御などを行うこともできる。これらのスイッチがセットになったスイッチャーの大きさの寸法は 4cm × 8cm で、厚みは 3cm であり、iPad などのモバイル端末の裏にも貼り付けることができるほど小型の設計になっている。ポリゴン数が増えた場合は、シフトレジスタの数や Switcher 自体の数を増やすことで対応できるが、モバイル性を考慮して、このような機構を設計した。Switcher からは、空気と電気の両方の回路が出ており、Display パートとパワーサプライパートと繋がっている。これらの動作デバイスの構成に関する選択肢についてはデザインスペースのセクションで言及する。

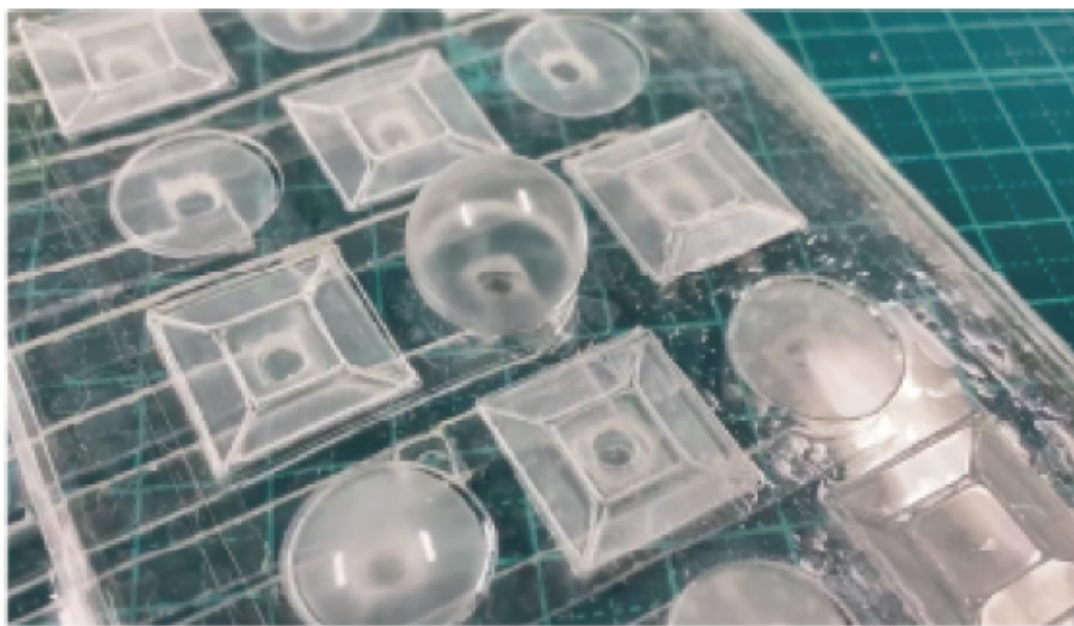


図 4.3 AirPolygon のハードウェア

4.2.3 ソフトウェア設計

4.3. 基本的な実装プロセス

ここでは、実際に 3×5 のマルチプル形状変化インターフェースを実装する場合のファブリケーションの事例を紹介しながら、基本的な実装プロセスについて説明する。

図 4.4 3×5 のマルチプルモデル

#1 : 3D グラフィックソフトによる膨張部のシミュレーション

Adobe イラストレータなどのベクター編集ソフトで設計したいインフレーターブル形状を書いた 2D の設計図データを Grasshopper に取り込む。膨らませたい箇所を選択し、スライダーを右に動かすことで、空気流入量を増やし、膨らませた状況を確認することができる。またユーザは、表面に貼る硬質な素材を、カーソルで該当するメッシュをクリックすることで指定することができる。膨らませた際に、硬質な層があることで制約となり、複雑な形状を再現することができる。膨張のシミュレーションは、Grasshopper の Kangaroo プラグインを用いており、硬質な層の表現は Plastic Anchor コンポーネントを使用している。

インフレーターブルデバイスの課題として、膨張にとって最適な時間数を把握出来ない点が挙げられる。空気を入れすぎるとある臨界点で破裂してしまう。これを防止するために、事前の実験結果をもとに、シミュレーションから算出した体積から必要な空気量を計算して、実際にミニポンプで注入・吸引する秒数を表示するようにした。この秒数を Arduino のコードに代入することで、最適な注入と吸引を行うことができる。最終的に、レーザーカッター用の平面加工データと、空気回路を設計するために必要なチューブコネクタと膨らます箇所の場所が明記されたファイルが書き出される。

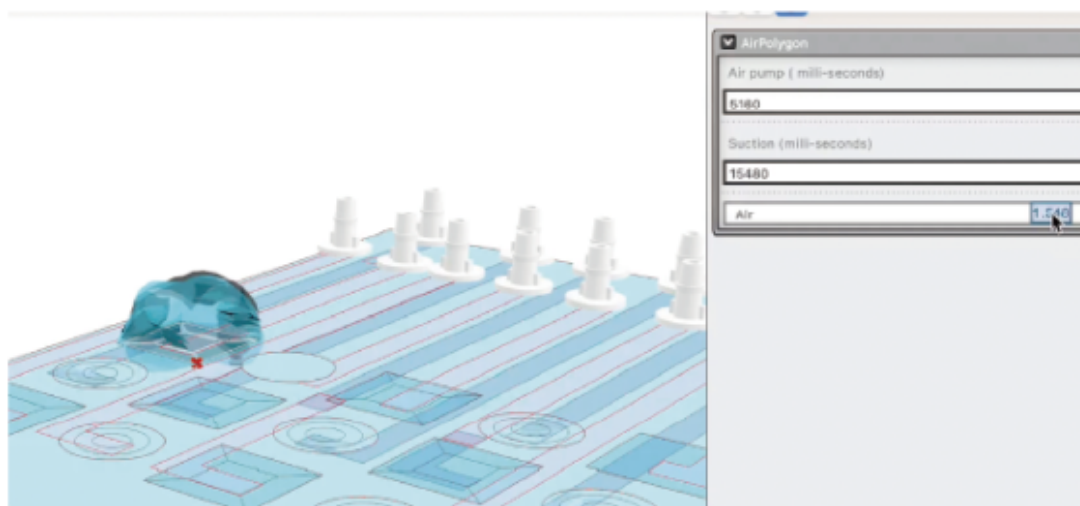


図 4.5 Grasshopper の操作画面

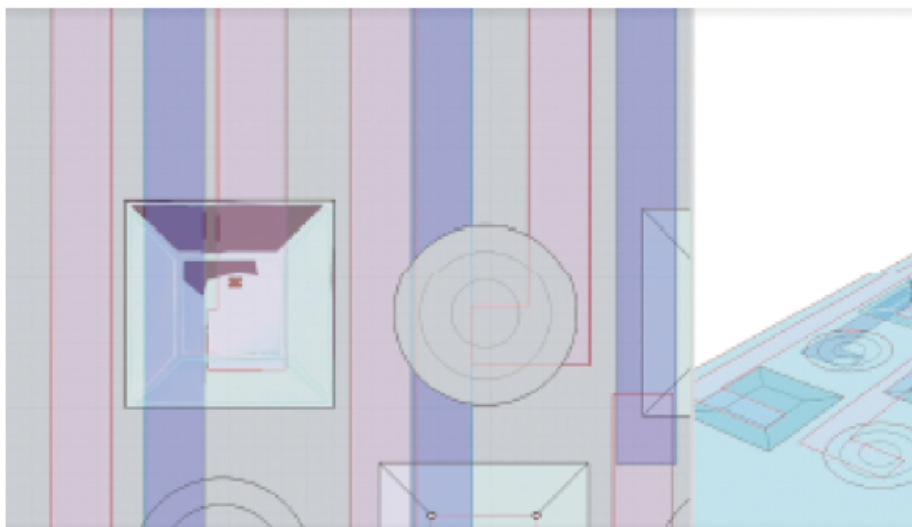


図 4.6 Glasshopper による PS シミュレーション

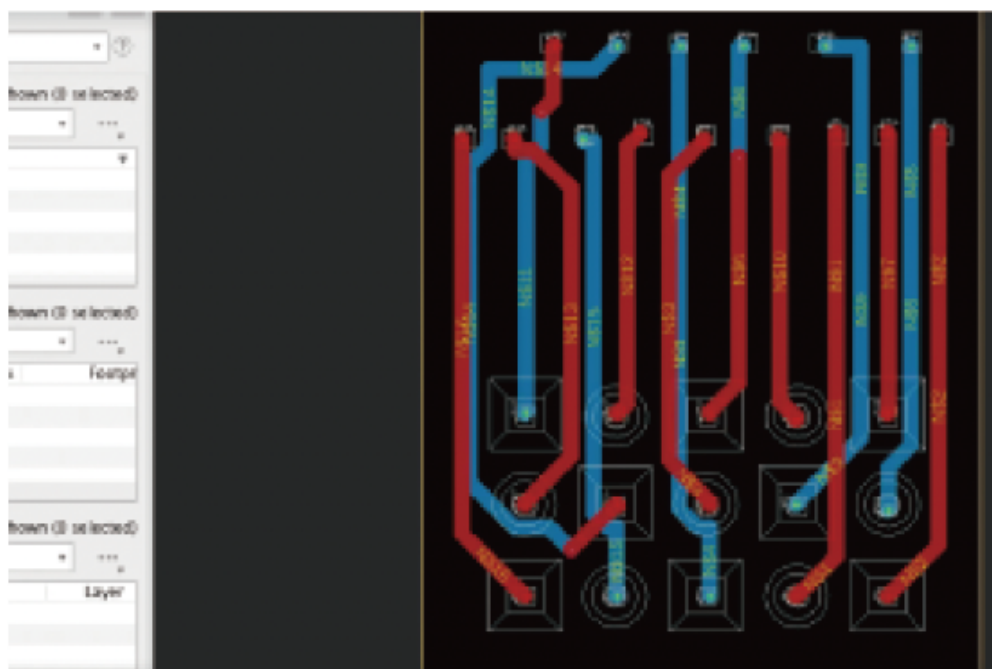


図 4.7 EAGLE の操作画面

#2：空気回路設計ソフトによる設計

空気穴の位置情報を含む 2 D の設計図データを EAGLE ULP プラグインに取り込む。EAGLE の UI では，空気回路の太さと，レイヤー数などを指定することができる。太さは 5mm，レイヤー数は 3 未満を推奨する。5mm 以下で作成した場合，空気が注入されない場合がある。図 4.7 の赤色の空気回路が上のレイヤ，青色の空気回路が下のレイヤである。赤色と青色の空気回路は重なっているが，同色同士が重なることはない。同色の空気回路同士の間隔もユーザーが指定することができる。この推奨する値も 5mm である。

AutoRouting 機能を用いて，自動的に配線できる。コネクタの形状はデフォルトでは垂直型だが，水平型のコネクタを使用する場合は，少し遠い場所に垂直型コネクタを配置することで対応することができる。EAGLE で生成した空気回路の図面は，dxf ファイルで出力することが可能である。

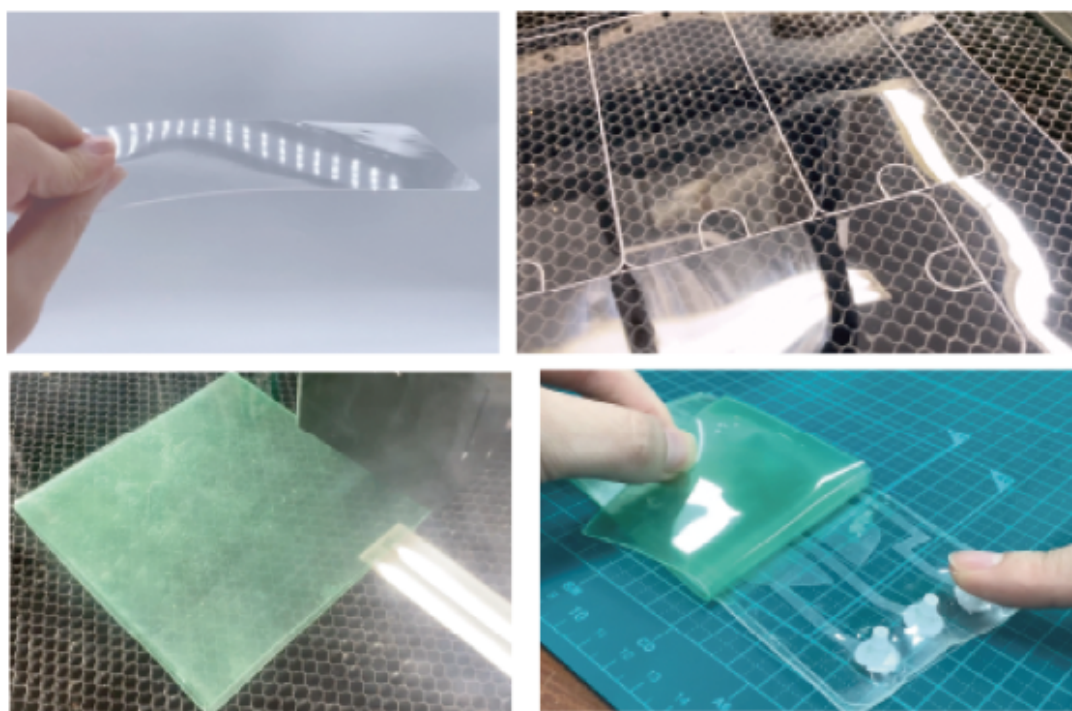


図 4.8 製造と組み立ての様子

#3：製造と組み立て

#3-1：シートの切断・穴あけ

レーザーカッターを使用して各素材をカットする

#3-2：機能性フィルムの配置

タッチセンサーや調光フィルムなどの機能性フィルムを配置する場合は、このタイミングで検討する。Conductive PET などはそのままでエラストマに接合することはできるが、空気漏れや耐久性などが心配な場合は、TPU を被せることで密閉し安定構造にすることができる。TPU は薄いので完成品の厚みや性能に影響はない。ただし、細かい作業になるので、ユーザーによってはファブリケーションプロセスを要する可能性がある。

#3-3：コネクタパーツの配置

図 4.9 は、コネクタの 2 つの形状を示している。これらは 3 DCAD ソフトである Fusion にて制作され、3 D プリンタで印刷されている。AirPolygon のコネクタには垂直型と水平型の 2 つのコネクタがある。コネクタを配置する場合の注意点は空気漏れである。空気回路内部と比較して、コネクタ部分はもっとも空気漏れが起こりやすい箇所である。図 4.9 のように、垂直型コネクタの場合は、配置した際にエラストマテープが空気漏れを防ぐように機能するため、空気漏れがほぼ起こらず、耐久性が高い構造となっている。一方で水平型コネクタの場合は、図 4.9 (d) のように、追加のエラストマテープで保護することで同様の効果を得ることができるが、重ねただけだと空気漏れのリスクが残る。ただし、水平型は薄いため、デバイスを薄型に制作できるというメリットがある。

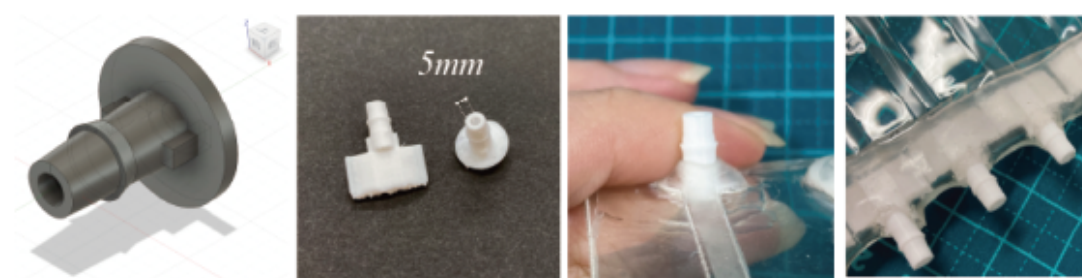


図 4.9 コネクタパーツ

#3-4：重ね合わせ

順番に裁断したシートを重ねていく。重ね合わせにおいて注意すべき観点は主に2つである。1つ目は、エラストマテープの防塵用の保護フィルムを一気に両面とも剥がさないようにすることである。可能であれば、接着を開始する線を決め、少しずつ接着しながら保護フィルムを剥がしていくような丁寧な作業をしないと、空砲や埃が入りにくい可能性がある。2つ目は、エラストマテープのレーザーカッターでの裁断は弱い力で行い、完成時にカットオフが見込まれるエラストマテープの部分を指で抑えて、重ね合わせを行うことである。もちろんこの手法は絶対しなければならないわけではない。しかし、レーザーカッターで強い力でカットオフをした場合に比べると、指紋がプロダクト側のエラストマに残りにくく、最終的に指で抑えた部分は、はさみやカッターで切った方がプロダクト側の断面は美しくなる。

#4：ハードウェアとソースコードの準備

ハードウェア設計で解説したスイッチャーとパワーサプライを接続する。簡単に差し込めるコネクタの仕組みになっている。#1で出力したArduinoのプログラミングコードを、Arduinoソフトウェアに取り込む。



図 4.10 IPA によるメンテナンス

#5：駆動とメンテナンス

透明度が低下した場合には、IPA 及び水により拭き取ることで修理できる。

4.4. Shape Techniques

ここからは、AirPolygon で設計可能なデザインスペースについて定義したい。モジュールベースの形状変化ディスプレイに比べると、レイヤーベースの形状変化ディスプレイは、薄くて軽量で取り替えやカスタマイズが可能である。機能性フィルムを用いたレイヤー追加により、複雑なインフレータブル機構を作ることにもできる。レイヤー数が増えた場合にも、基本的に透過性の問題に大きく影響はないが、詳細は次章にて評価実験を行っている。ただし、途中でポリゴン数を増やすような場合には、モジュールベースの方がレイヤーベースの構造よりも管理しやすいことがある。前述の図 4.1 で示した デザインスペースに従い、AirPolygon のデザインの選択肢を分類して解説する。

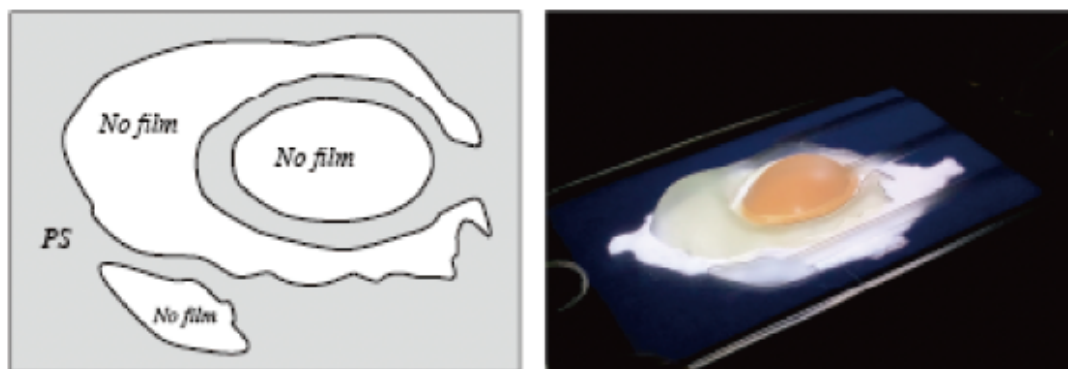


図 4.11 フリーライン

4.4.1 Free lines

形状変化を起こす最上部のレイヤーについて、これまで単純な幾何図形を膨らますような場合を説明してきた。一方で、エラストマーテープと接合度の高い PS

やTPUなどの機能性フィルムを用いると、図4.11のようなフリーハンドの形状を提示することができる。接合度が低いフィルムは、細かい形状の部分が剥がれるリスクがあるため、フリーハンドの形状提示には向いていない。Grasshopperの膨張シミュレーションでは、PSの塗布領域をマウスクリックで選択するモードを搭載している。これにより、ユーザーはフリーハンドの形状をどのように膨らませるか検討することができる。

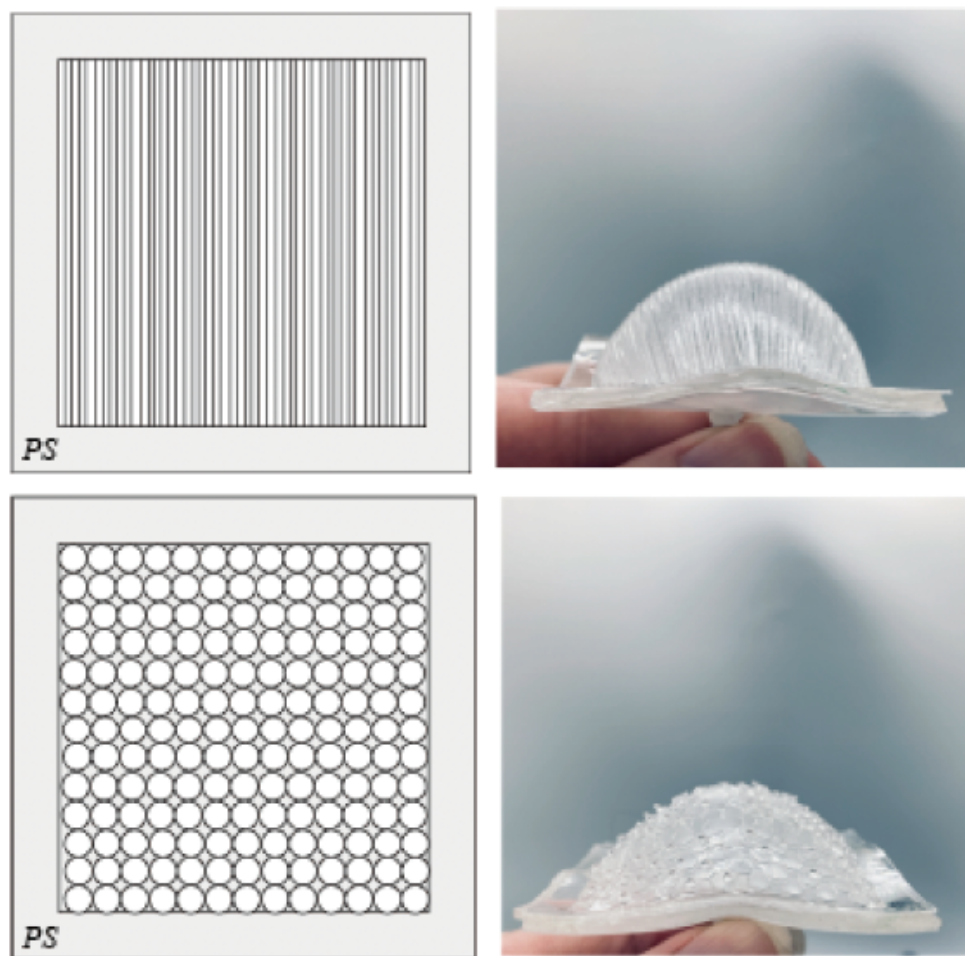


図 4.12 メッシュサーフェスによる触覚提示

4.4.2 Mesh Surface

表面にメッシュを施すことによって、形状を変化させることができる。メッシュによる効果は2つある。1つ目は、触覚提示である。図4.12に、PSにレーザーカッターで細かいメッシュを施した場合の例を示す。5mm未満のPSをエラストマテープに塗布しても、形状を変化させるほどの効果ないが、触れたときのテクスチャの感覚を変化させることができる。このテクニックは視覚障がい者に向けたスイッチなどのアプリケーションの設計には有用な可能性がある。

図4.13は、PSの表面にメッシュを施して、ハートの形状を提示したものである。この場合、各曲線の法線ベクトルの向きが揃っており、5mm以上の太さであることから、特殊な2.5D形状を提示することに成功している。

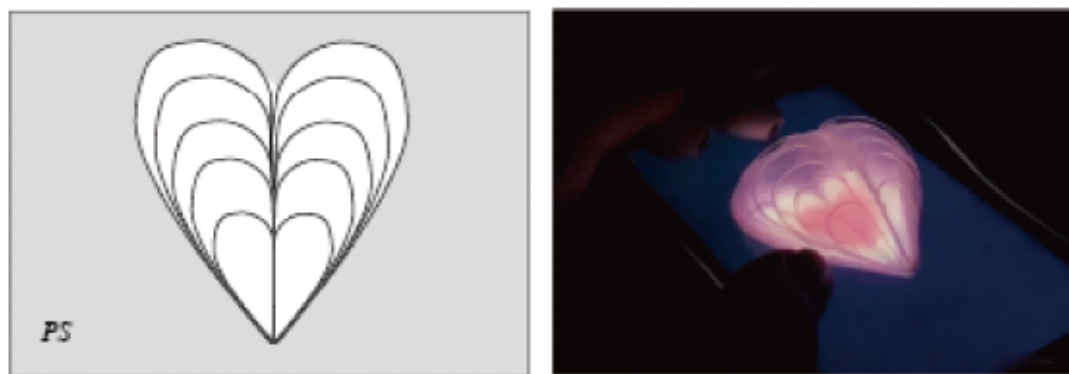


図 4.13 メッシュサーフェイスによる形状提示

4.4.3 Edge Control

それぞれの機能性フィルムが、どのような角度で膨張するかについて、基本的な幾何形状を例にとって検証する。エラストマテープには、TPUと特に強力な接着を形成するアクリル系粘着剤が塗布されている。ただし、TPUは緩やかな曲線を描く傾向があるため、図5.5(a)(c)に示すように直線を作成するためにはPSが使用される。図5.5(b)のように、内側にPSを貼ることで、特殊な形状をつくることもできる。

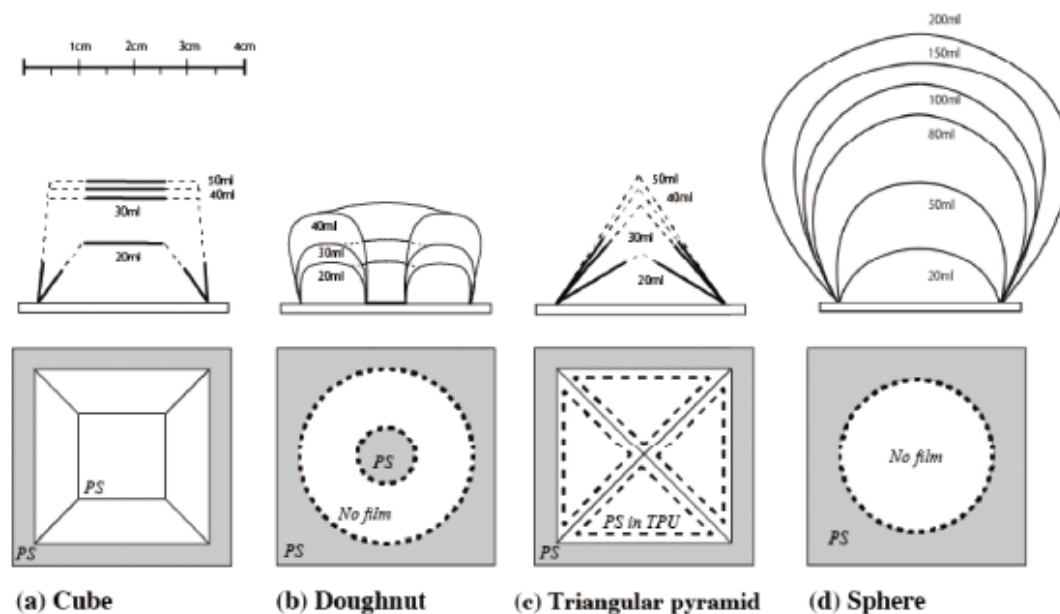


図 4.14 空気量とエッジコントロール

4.5. Material Selections

4.5.1 Film Selections

3 M のデータシートでは、エラストマとの接合度 Surface Energy(Dynes/cm) は、polyurethane が 43, 塩化ビニルが 39, アクリルが 38, ポリスチレンが 36, ポリエチレンが 31, ポリプロピレンが 29 となっている. PET は記載がないが, フィルムの種類によって異なると考えられる. 3 M によれば, Surface Energy が高い物質の方が, エラストマテープとの接合度が高いとされる. このリストのマテリアルの中で, 塩化ビニルは, レーザーカッターの使用時にダイオキシンなど有毒物質が出るため, AirPolygon で使用していない. また, アクリルは, 薄いフィルムがないため使用していない. 日用品に広く使われているポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) は Surface Energy が低く, 実際に接着度が低いことが実験で確認されたため, 基本的に使用していない.

従い, AirPolygon で頻繁に使用するフィルムは, TPU と PS が中心となる. TPU

とPSの違いは、エッジコントロールの節で説明した通り、より直線的な形状を出したい場合はPSを使用することになる。一方で、導電性PETを貼る場合など、接合度の低い機能性フィルムをAirPolygonに搭載する場合には、TPUを上から被せることで対処する。TPUは、Surface Energyが高く、エラストマテープとの接合度が圧倒的に高いため、さまざまな機能性フィルムに被せて貼ることが望ましいが、構造が複雑になりすぎると、組み立てのプロセスの必要時間に影響が出る。またTPUは特に極薄フィルムであるため、一定レベルの手先の器用さをユーザに要求するだろう。

4.5.2 Number of Layers

レイヤーの使用枚数は、ユーザーが制作するインターフェースの大きさによって異なる。ポリゴン数が1-3個程度であれば、空気回路の数を1つのレイヤーに集約できる。最上部のエラストマ層に、空気回路を含めてしまう機構を選択する場合であれば、エラストマ層+TPU層の2枚のみで制作することも可能である。スイッチャーの中に組み込みパーツとして入っている電磁弁・トランジスタ・ArduinoNANOを取り出して、エラストマ層とTPU層の中に入れることもできる。このような最小単位のインフレータブル機構を設計する場合は、長期間貼り付けるというよりは、使い捨ての着脱タイプの使用になるだろう。

4.6. Additional Function

4.6.1 Touch

導電性PETの機能性フィルムを選択した場合、タッチ機能を持たせることができる。ユーザーが導電性PETに触れると、スイッチャー内部のArduinoNANOが静電容量の変化を検知して、インタラクションを起こす。図4.15は、AirPolygonでスマートフォンにタッチセンサーの機能性フィルムを貼る場合のシステム構成の例を断面図で説明したものである。導電性PETは、エラストマテープとの結合度が低いため、上からTPUを貼るのが安全である。その場合、タッチセンサの反

応が悪くなる場合があるので、中央部を露出させて反応を良くすることが推奨される。

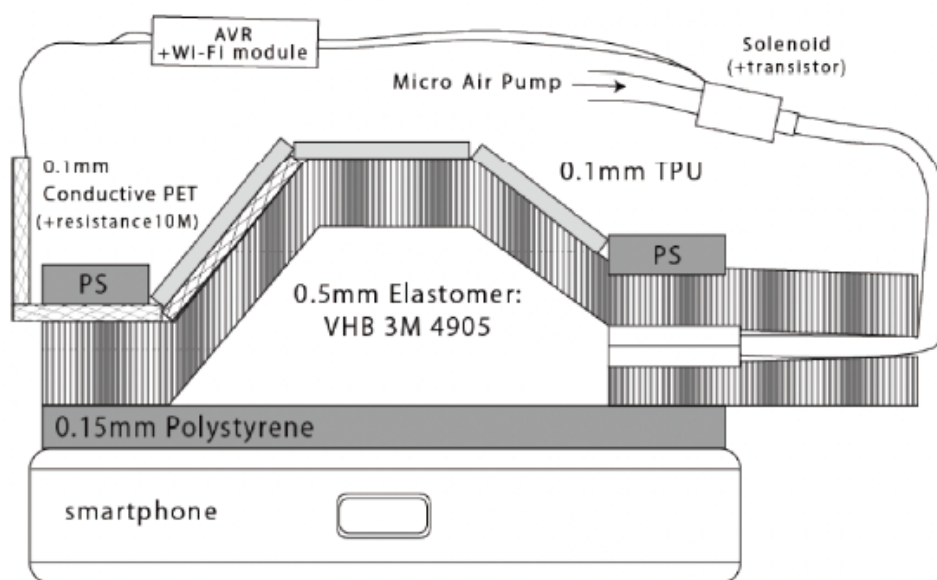


図 4.15 スマートフォンでタッチセンサーの場合の構成例

インタラクションの例としては、(1) タッチによりスイッチャー内部の電磁弁の開閉を制御し、膨張と収縮を変化させること、はもっともシンプルな例である。また、(2) タッチにより ArduinoNANO から Wifi モジュールを通じて、映像自体を変化させるインタラクションも考えられる。また (3) 機能性フィルム同士の制御にも使用することができる。後述する調光フィルムの ON/OFF 制御をタッチフィルムから行うことができる。

4.6.2 Opacity

明度は、背景にあるオブジェクトとの距離をとることで高まる。この写真は、距離 0cm の場合だが、レイヤーの位置関係により、調光フィルムとオブジェクトとの距離ができると、完全にオブジェクトは見えなくなる。

このように、タッチセンサーと調光フィルムを合わせることで、ユーザとイン

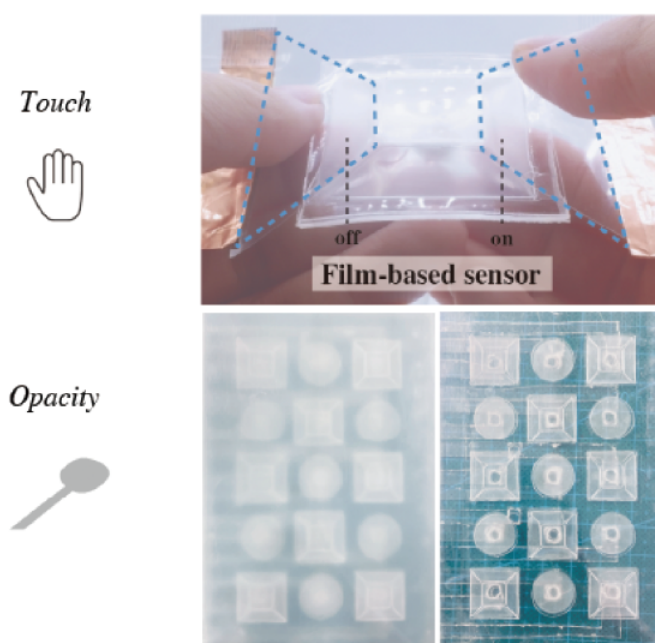


図 4.16 タッチセンサーと調光フィルムの連動

ターフェイスとのインタラクションが増えて、インターフェイスとしての機能が
高まる．なお、これらのインタラクションが、透明という制約のもとで実現され
ていることが、この仕組みにおける新規性である．

4.7. Object

AirPolygon をどのようなオブジェクトに貼り付けるかは重要な設計要素である．
基本的には、A.Board や B.Cylinder のような形状に、AirPolygon は向いている．
ただし、D.Liquid and gel のような特殊なケースでも、AirPolygon は使用できる
可能性がある．その場合は防水性のあるマテリアルを選択する必要があるが、エ
ラストマや PS、TPU などの AirPolygon の基本的なマテリアルは防水性がある．
一度接着が固まると、エラストマと PS などの機能性フィルムの間に、水は入り
にくくなる．C.Polygon with edge のようなケースは、Edge の部分で空気回路が
閉鎖しないように注意が必要であるが、貼ることはできる．2 枚の AirPolygon を

独立して制作して，オブジェクトの Edge 部分を空気回路が通過しないような設計にすると安全である．E.Sphere と F.Spiny は，あまり AirPolygon に適していないオブジェクトである．シワがでけたり，穴が空いたり，AirPolygon の破損にも繋がる可能性がある．

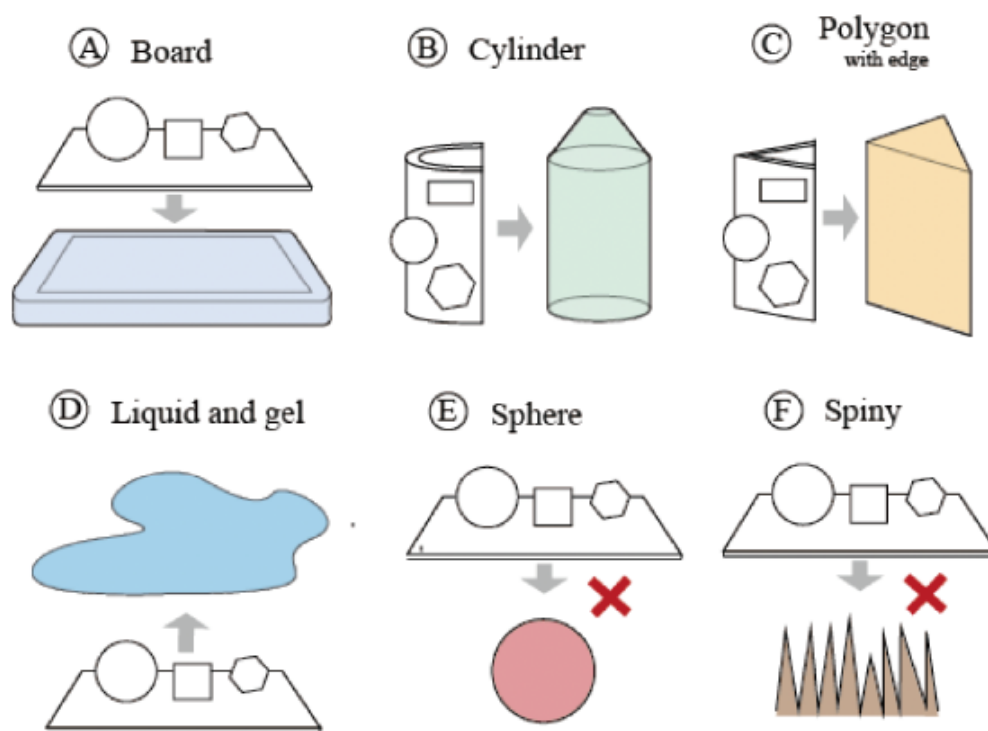


図 4.17 オブジェクトの選択

4.8. Switcher

図 4.18 に，Switcher のシステム設計を示す．Switcher は，ArduinoNANO と 2 個の Shift resistor，それにより制御される 16 個の Mosfet で構成されている．Mosfet に接続される Actuator Group A は通常電磁弁であり，電磁弁の開閉により，各ポリゴンに空気が注入されるシステムである．ArduinoNANO と直接繋がる Actuator Group B は，センサーや調光フィルムなどの電氣的な仕組みで作動する機能性フィ

ルムなどがある。Power Supply に 5V のミニエアポンプを選択する場合は、Group B である。

Switcher で電氣的に制御する電子パーツとして、ユーザーが選択できるものは多岐に渡る。例えば、フルカラー LED や振動子、モーターなどが挙げられる。またセンサーでは、距離センサーや音センサーなどが挙げられる。ただし、これらは静電容量フィルムや調光フィルムのように透過性があるわけではないので、電気回路の設計次第では AirLayer の透過率を低下させる。

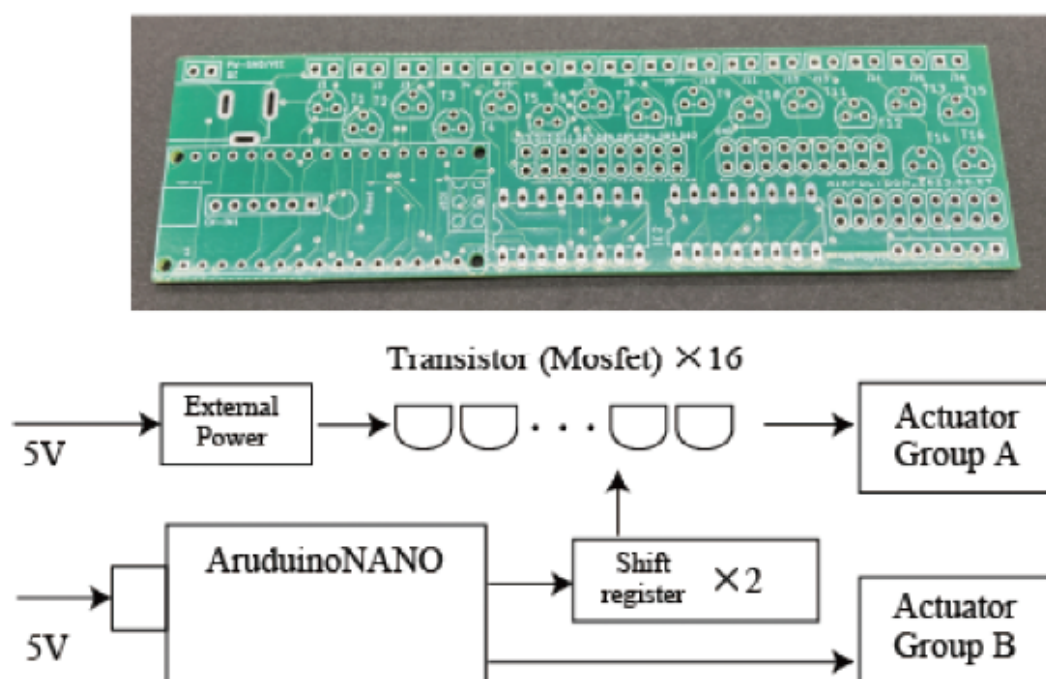


図 4.18 スイッチャーの配線図

4.9. Actuation Method

AirPolygon は、電氣的なエネルギーと、ポンプなどの空気制御のパワーの 2 種類のパワーサプライを必要とする。AirPolygon は数センチ程度の形状であれば、50ml 未満の小さな空気量で膨らますことができるので、15ml/second の空気量を

流入できる 5V ミニポンプでも、ほとんどの場合が対応可能である。5V ミニポンプには、液体などを制御できるように、口が 2 つあるタイプのポンプがあり、このポンプは空気を吸引するのに使用することができる。ただし、空気の吸引は 5ml/second なので、吸引を強くしたい場合は、複数個の吸引ミニポンプを使用することになる。ミニポンプの数が増えることで、PowerSupply のサイズは大きくなる。

電気的なエネルギーについては、コンセントから給電する方式が考えられる。Switcher を 1 つ動かすには、ArduinoNANO の電源と外部電源の 2 つがあればよく、それほど大きくない電気エネルギーで動作させることができる。電気エネルギーが少ない場合には、PC などから電源を共有することで、コンセントのない場所でも、使用することができる。

4.10. 応用例

AirPolygon の透明性とレイヤーベースの形状変化ディスプレイという重要な特徴を説明するために、リアプロジェクション、スーパーインポーズ、ファッションや日用品のアプリケーション領域でいくつかの成果物を設計した。

4.10.1 リアプロジェクション

AirPolygon の透明性のメリットを説明するために、いくつかの液晶ディスプレイと併用するアプリケーションの事例を制作した。AirPolygon は透明で液晶ディスプレイに貼り付けてリアプロジェクションにより映像と空気による形状変化を合わせることができる。

スマートフォン

レイヤーベースの形状変化ディスプレイは、薄くて軽量であるため、スマートフォンのようなモバイル性が重視されるプロダクトでの使用に向いている。スマートフォンのロック画面を解除し、いくつかのアプリ体験を通じて、AirPolygon の持

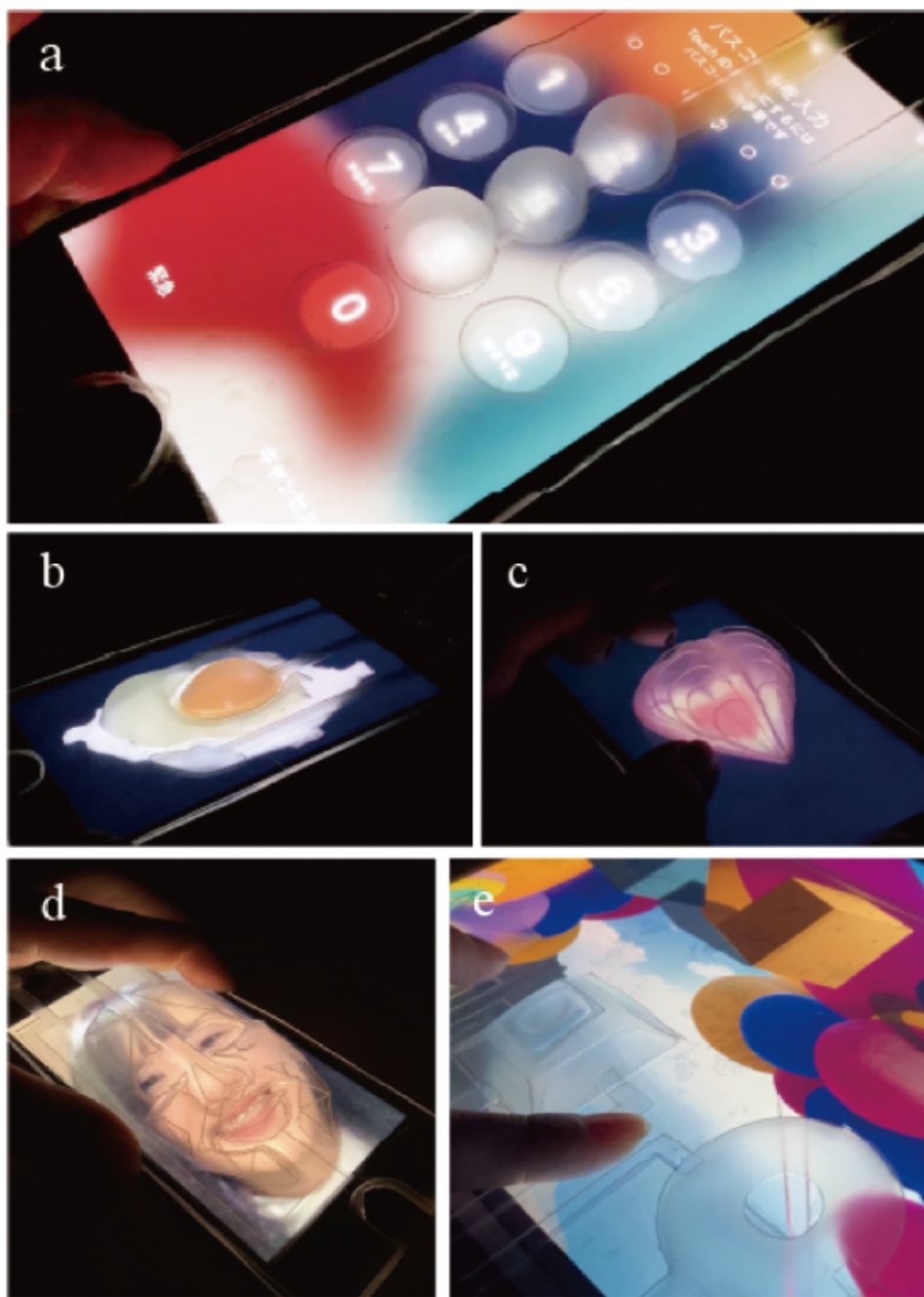


図 4.19 リアプロジェクション

つインタラクティブな可能性について説明する。レーザーカッターは数ミリの細かい形状を作れるため、スマートフォンのような小さくて薄い情報端末でも形状変化を提示することができる。また、アプリごとに取り替えられるスマートフォン用のシートは、レーザーカッターのさまざまなテクニックを利用しており、AirPolygon のファブリケーションの可能性を示している。

ゲームコントローラー

AirPolygon には、Additional Functions として、タッチセンサー用の透明な静電容量フィルムを組み込むことができる。この透明なタッチセンサーの活用例として、柔らかい触覚を活かした軽量なゲームコントローラーを制作した。各ボタンには透明フィルムの On/Off 制御センサーがついており、触れることで、Switcher の空気弁の開閉をコントロールする。このゲームは、もぐら叩きであり、ゲーム内の 3D モデルの動きと空気が相互作用する触覚エンターティメント体験をユーザーに提供する。

4.10.2 スーパーインポーズ

スーパーインポーズとは、背景情報を重ね合わせる映像技術の用語だが、実世界においても、ガラスなどの透明な素材でできた壁や扉などにより、風景がいくつも重なるような建築空間が存在している。AirPolygon の透明性の高さや薄型・軽量という特徴のメリットを説明するため、そのような住空間での AirPolygon の使用例について、制作を行った。ガラスなどに貼り付け可能な透明なインフレーションスイッチは、触れることで調光フィルムが透明化し、背景情報の重ね合わせを引き起こすインターフェースであり、生活する人々に複合的な視覚効果を提示することができるようになる。

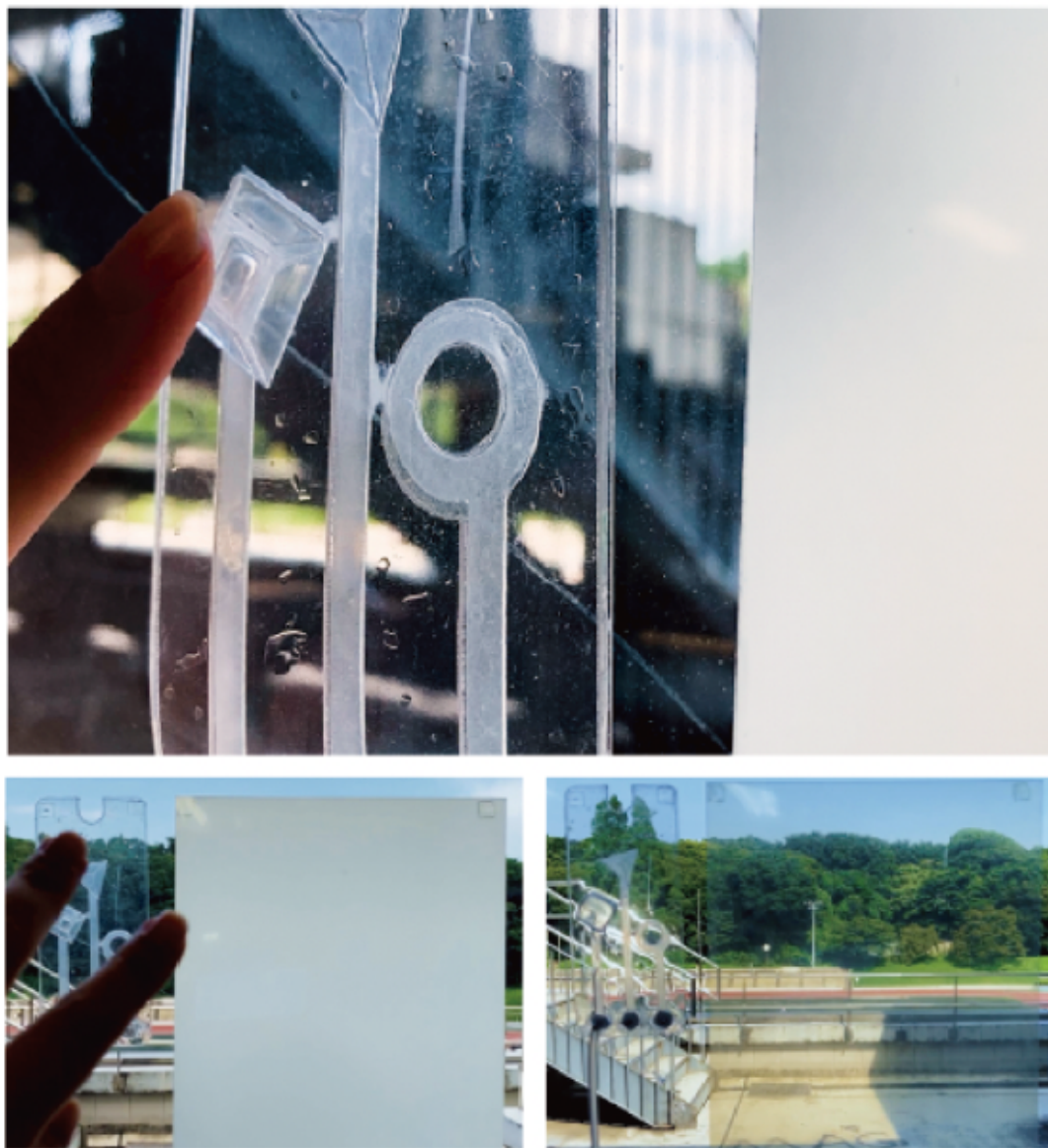


図 4.20 スーパーインポーズ

4.10.3 ファッションや日用品のサーフェイス

AirPolygon を用いて制作されたレイヤーベースの形状変化ディスプレイは薄型であるため、ファッションや日用品の表面にも向いている。ファッションや日用品に AirPolygon が使用されるシーンについてアプリケーションを制作した。

カバンや靴などの一部のファッションアイテムでは、空気のように軽いという製品が度々話題になる。実際に CM などでもインフレータブルな形状変化を起こすような映像表現が採用されることがある。AirPolygon は布地と同様に、平面上のインフレータブル構造を持つため、このようなプロダクトと相性が良いと考えられる。

またスマート家電などの一部でも、スケルトンの製品が話題になることがあり、もともと電気制御を前提している製品であるため、AirPolygon の 応用可能性が高い領域と考えられる。哺乳瓶などのもともと透明で目盛りなどの文字が入っている液体容器のアプリケーションも、AirPolygon の透明性や機能性を説明することができる。円筒形の透明液体容器は、AirPolygon を巻き付けて使用することができるので、さまざまなインタラクションの可能性はある。



図 4.21 ファッションや日用品への応用例

第 5 章

評

価

5.1. ユーザ評価

SIGGRAPH ASIA Emerging Technologies の技術展示において，AirPolygon のユーザ評価を行った．ソフトロボティクスで使用される材料であるエラストマによる簡単なワークショップの後，AirPolygon を用いて，どんなポリゴン形状を提示したいかイラストを描いてもらった．また，家具やウェアラブルデバイスなどの応用例について，どのようなカテゴリをユーザとして求めているか，シールを使った投票を行った．

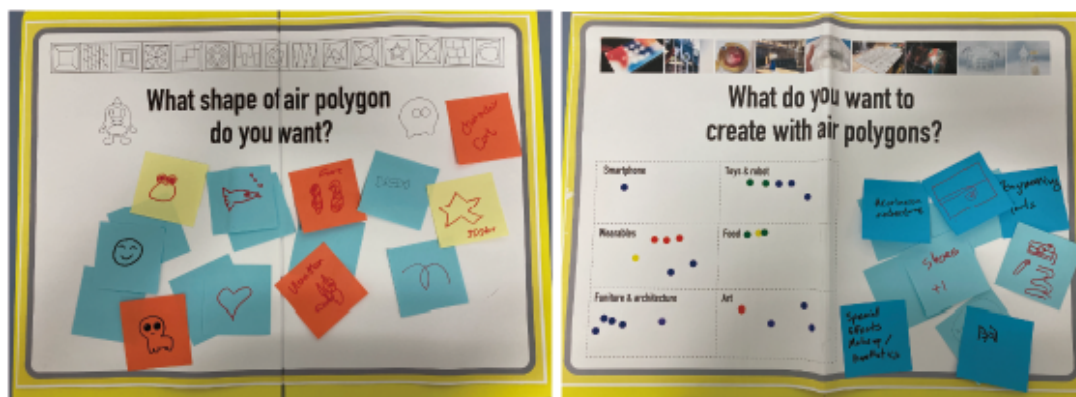


図 5.1 SIGGRAPH ASIA におけるユーザ評価

ポリゴン形状のイラストについては，ハートや星形などの基本図形に比べて，生物やキャラクターなどの生き物感がある複雑なイラストを描くユーザが多かった．フリーハンドの形状の例示は，目玉焼きのモデルのみであるが，今後は提示できるフリーハンドのポリゴン形状の応用例を増やす必要があると考える．また

AirPolygon の応用例に求めるカテゴリ別の投票結果は以下である。

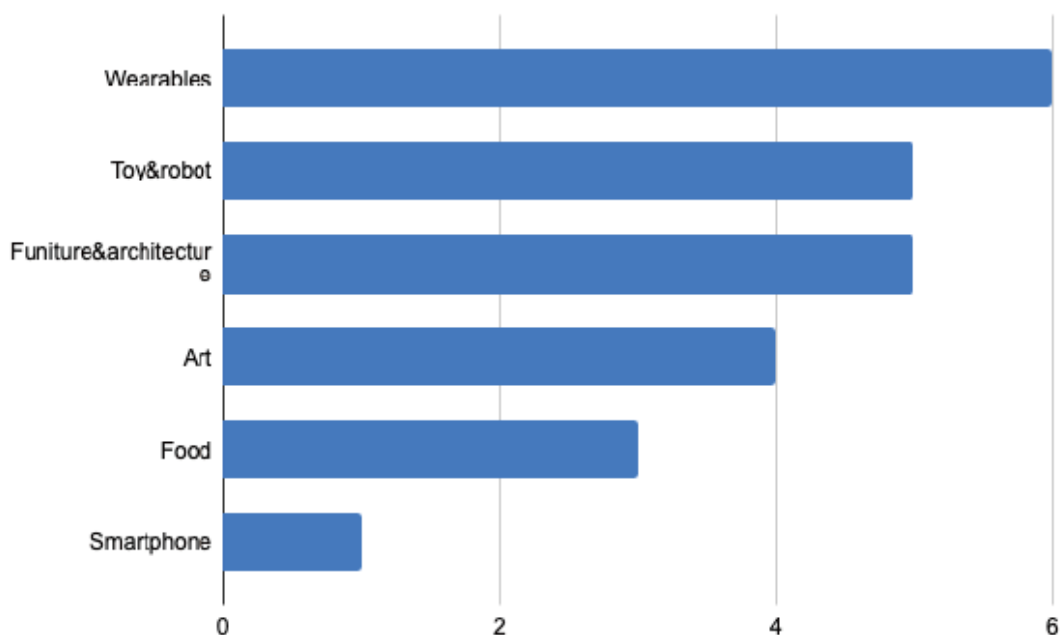


図 5.2 AirPolygon の応用例として希望するカテゴリの投票結果

得票数は 24 票であり、ウェアラブルデバイスと家具・建築、玩具・ロボットの 3 カテゴリが上位であった。SIGGRAPH ASIA では、「ソフトロボットの材料をディスプレイに使用しているのが面白い」,「商業ユースの展開はしないのか」といったポジティブなユーザ評価があったが、逆に「プラスチックの廃棄問題」や「ファッションやグラフィックの用途は社会にとって不可欠な要素ではない」といったネガティブな評価もあり、日本ではあまりないフィードバックであったことから貴重なユーザ評価と考える。

5.2. 空気量と高さや横幅などの計測実験

No film で制作される Sphere の形状の高さと横幅について計測実験を行った。空気の流量と膨張サイズには、図 5.3 のような関係がある。流量の測定には、3L/min の 5V 制御のマイクロポンプを Arduino UNO でコントロールして、10 サイクル

のテストを行った．0.2 秒～1.0 秒の異なる流入パターンにより，直径 4cm のドーム型の AirPolygon の高さや横幅がどのように膨張するか確認した．なお，マイクロポンプの性能は設定環境によって規定値と異なる流量となるため，あらかじめ実験用シリンダで，その性能を測定し，正確な流量（15ml/second）に補正している．

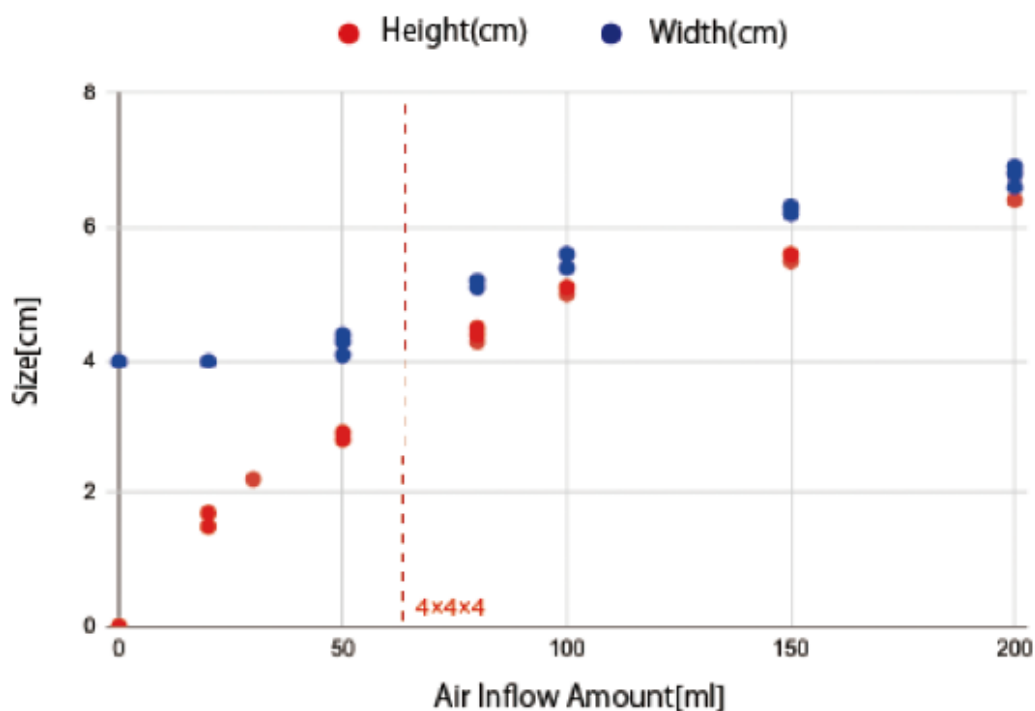


図 5.3 空気量と高さや横幅との関係

実験結果が示すところによると，Sphere 形状は，ある流量の臨界点を超えると，膨張サイズが高さと横幅の両方において変化がフラットになり，形状変化が小さくなるという特徴がある．その臨界点は，その 3 D 形状のパターンにより異なるが，Sphere 形状の場合は直径の 3 乗の前後である．

(a) ～ (c) のような PS などの機能性フィルムでエッジをコントロールした場合の臨界点は，(d) Sphere よりも小さくなる．(a) Cube と (c) Pyramid の形状においては 50ml 以降は，形状変化は大きくなかった．(b) Doughnut の場合では，さらに小さく，形状臨界点は 40ml 前後であった．また 30ml 以上になるとドーナツの

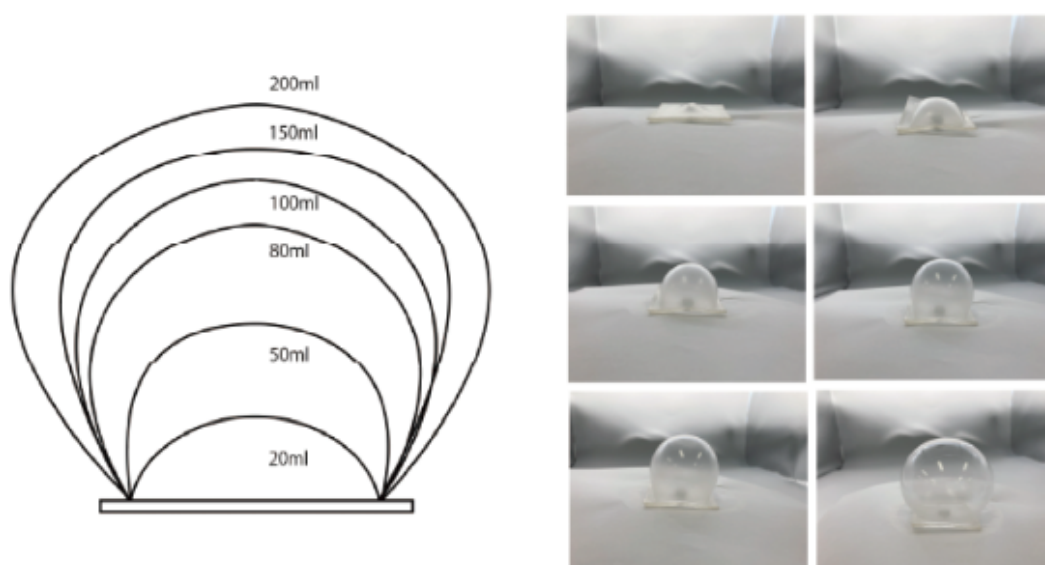


図 5.4 空気量と膨張サイズとの関係

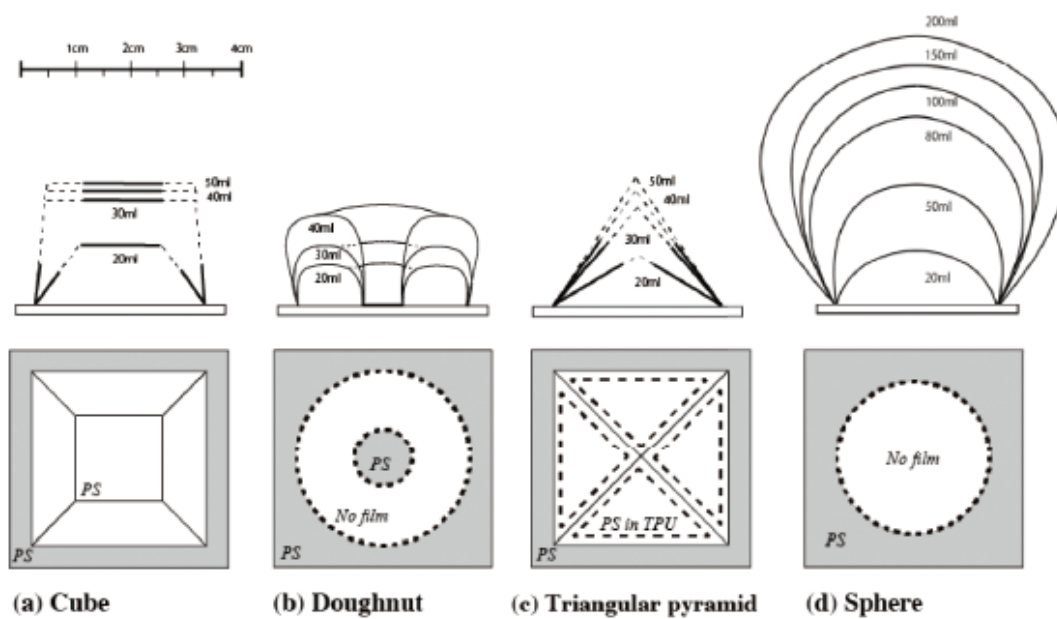


図 5.5 空気量とエッジコントロール

一部の部分が大きく膨張し、高さが不均一になる。(b)Doughnut は特に小さな空気量で制御する必要がある。

臨界点を越える量の空気が入ると、フィルム同士の隙間が広がり、内側からエラストマ層が剥き出しになるという現象も起こるため注意が必要である。破裂については、傷などのエラストマの状態により異なるが、400ml~500ml 程度であり、臨界点を意識した空気制御を行う場合には、問題とならない。これらの実験結果については、Grasshopper の膨張シミュレーションのプログラムに活用されている。映像をリアプロジェクションする場合には、膨張シミュレーションは映像との同期性チェックになるため、さらに重要となる。

5.3. 透明性に関する評価

透過性の問題については、使用枚数とともに透過率が落ちるということは基本的にはない。図 5.6 は、レイヤーを重ねる数に応じて透過性がどのように変わるかを調べた実験結果である。わかりやすさのため、2 階調データも右側に表示している。B のケースのように、PS を 2 枚使用し、エラストマを挟んだ構造の透過率は高い。この構造であれば、PS の枚数が増えたとしても透過率が低下するリスクは低い。一方、C~E のケースは、エラストマテープのアクリル系接着剤をベビーパウダーにより剥がした場合である。エラストマテープの接着剤は強力であり、空気が流入する膨張部分が癒着しないように、パウダーを塗布する手法がよく取られる。C のケースのように 1 枚だけであれば、透過率の低下は顕著ではないが、D のケースのように 3 枚が重なると、透過率は著しく低下する。また、1 枚であっても、E のケースのように、画像との距離が 3cm になると、透過率が低下することがわかる。

Venous Material [34] は、IPA 溶液を用いて手袋で摩擦することによりアクリル系接着剤を落とす手法を用いている。実際に、(1) IPA 溶液、(2) グリセリン、(3) 水、(4) ベビーパウダーを用いた摩擦による剥離を行い比較したところ、やはりベビーパウダーを使用した場合の方が、接着により膨張部が膨らまなくなるというトラブルの可能性は少なくなる。ただし、IPA 溶液と水を使用し、ポリプロピレ

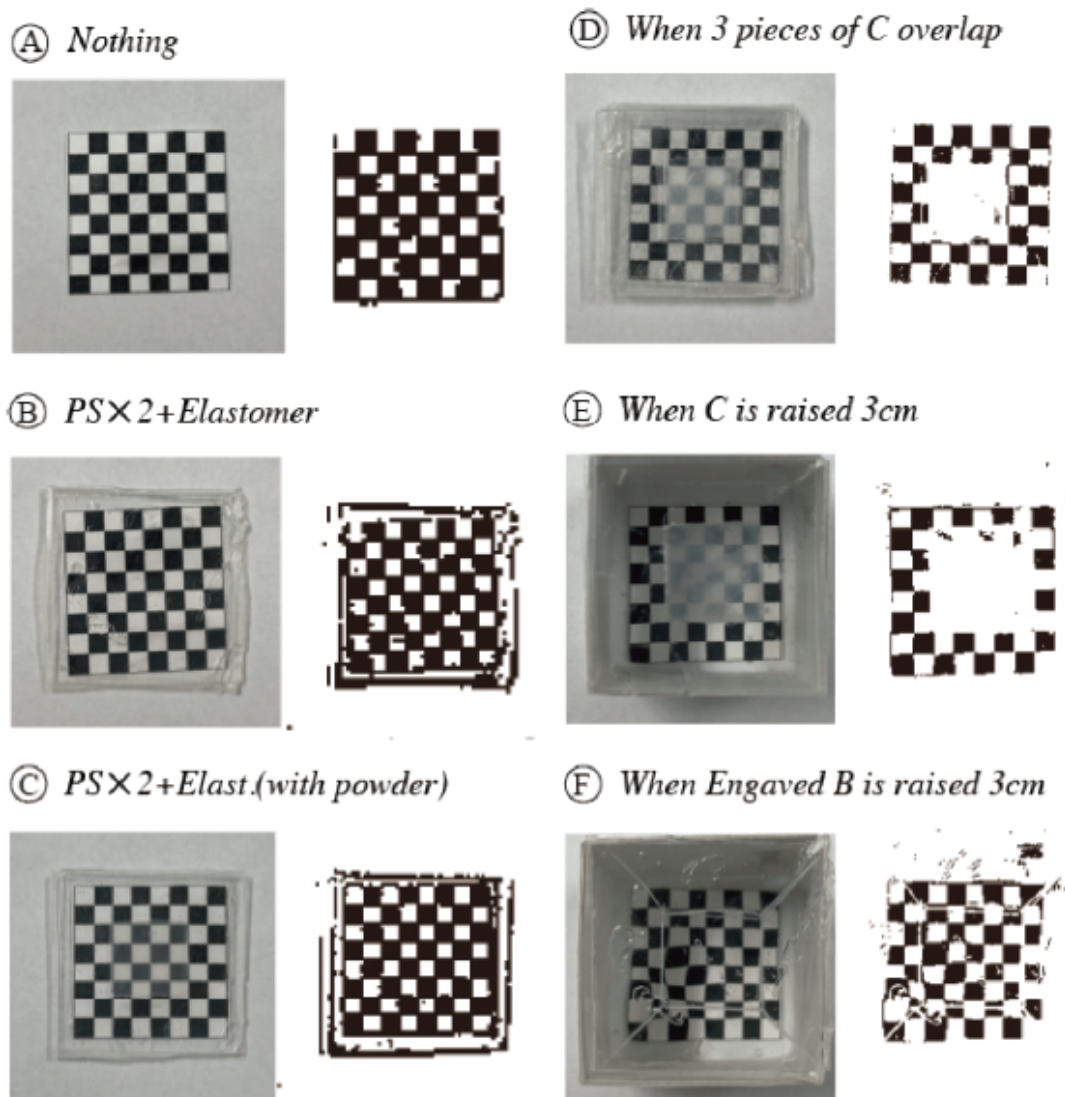


図 5.6 製造手法と透過率の比較

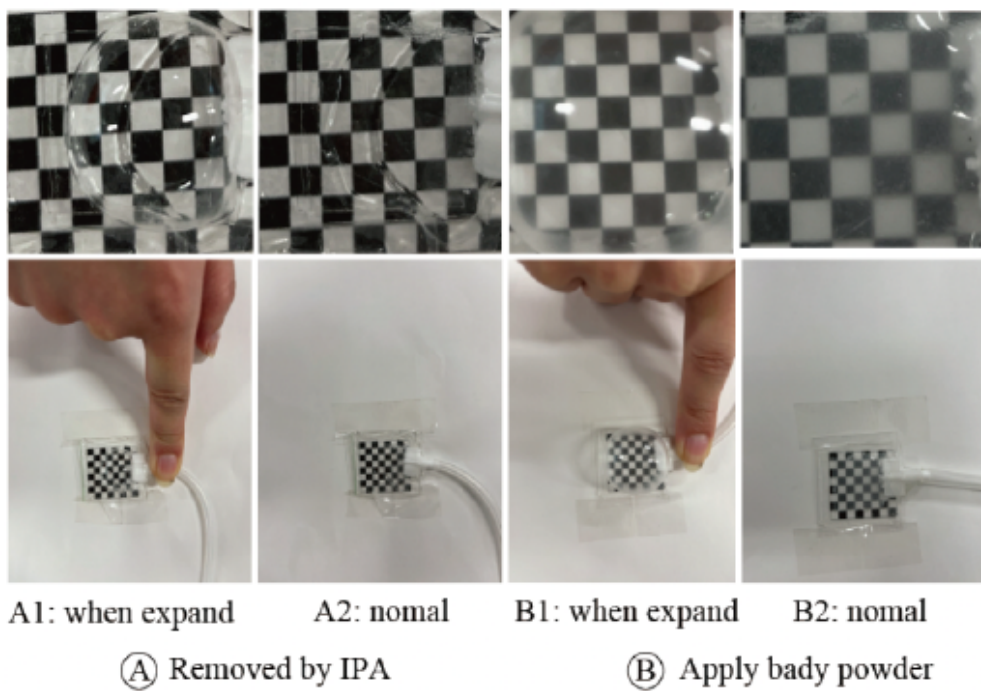
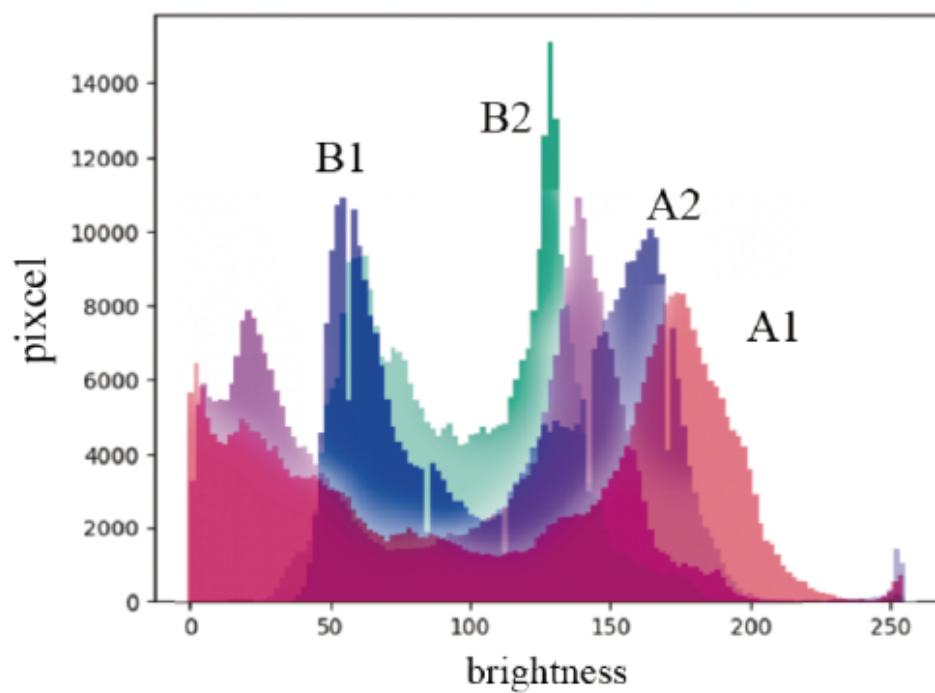


図 5.7 ヒストグラムによる透過率の比較

ンテープ（OPP テープ）を PS や TPU の上に被せることで、ほぼベビーパウダーと同様の癒着防止効果があることもわかった。この方法はアセンブリプロセスの時間を要するが、長期間使用することを予定しているデバイスの場合、有効な手段である。短期間の使い捨ての着脱方式を予定する場合には、Venous Material [34] と同様の IPA 溶液による剥離が効果的と考えられる。

図 5.7 は、透過率についてヒストグラムを分析した結果を示している。(1) IPA 溶液を用いた摩擦で接着剤を落とした A2 のケースの方がコントラストが高いことがわかる。また、A も B も両方のケースにおいて、膨張時の方がコントラストが高い。

最後に、F のケースで、PS に切り込みを入れた場合の影響である。切れ込み部分が文字などの情報に被ることで、視認性が落ちる可能性がある。また経年劣化により、傷が増えた場合にも、同様の課題があるだろう。ただし、これは指紋や埃などによる透明性の低下に比べると軽微である。

5.4. 曲げ及び重さに関する評価

マテリアルの柔軟性は、円筒上のガラス家具などに巻き付ける用途では重要な要素になる。TPU は柔軟性を維持したい場合に選択すべきマテリアルである。一方、PS は何枚も重ねた場合、透明な板状になり、曲げることは困難になる。ただし、液晶ディスプレイに貼り付ける用途では、PS を中心に設計することで、逆に硬度を得ることができるだろう。

PS とエラストマテープを交互に貼り合わせて、(A) PS:1 枚, エラストマ:1 枚, (B) PS:2 枚, エラストマ:1 枚, (C) PS:3 枚, エラストマ:2 枚, (D) PS:4 枚, エラストマ:3 枚という異なる 4 種類のテープを作り、それぞれに対して、1cm 押し込むのに必要な力を測定したところ、(A) 2kg, (B) 3.5kg, (C) 4.2kg, (D) 4.5kg となった。PS を 3 枚以上使用する場合は、硬度が高まることがわかる。レイヤーの厚みについては、エラストマテープは 0.5mm, PS は 0.15mm, TPU は 0.1mm であるため、薄型で設計することが可能である。

重量についても、スマートフォンサイズ (14cm × 7cm) の総フィルム重量は約

15gである。ソレノイドと基盤の入ったスイッチャー部分を含めても約30gである。スイッチャーは、スマートフォンやタブレットなどの端末に貼り付けることができ、ウェアラブルデバイスにおいても、ポケットサイズで設計できる。ただし、バッテリーやミニポンプなどのパワーサプライ部分を含めると重くなるため、実際のユースケースでは考慮すべき課題である。電力については他の端末とバッテリー共有するなど、モバイル用途では工夫が必要となる。

5.5. 議論

5.5.1 提示形状の限界

AirPolygonは複数の機能性フィルムを重ねるシステムであり、高さの提示がしにくい特徴がある。空圧制御のデバイスは大きく膨らむことがメリットの1つであり、その大きさはフィルムを貼り付けることによって制限されてしまう。また両面にAirPolygonを貼ることで、360度の方向に広がりを持たせることができるが、基本的には2.5Dの形状提示であり、3Dの形状提示ができているわけではない。また形状によっては、内部のエラストマが表面に露出してしまう可能性もある。

5.5.2 透過性の限界

ユーザー次第ではあるが、組み立てプロセスで気泡が入る可能性や指紋が残ることにより、透過性が確保できない場合がある。IPAによる洗浄プロセスでは、透過性への配慮から摩擦を弱くすると、アクリル接着剤が残存する原因となる。その結果、膨張時にエラストマが癒着してしまうことがある。

5.5.3 空気回路の限界

空圧制御にとって空気漏れはシビアな問題である。ほんの少しの空気漏れで、デバイスのシミュレーションは狂ってしまう。通常のインフレータブルデバイスには気圧センサーが搭載されており、ある限度で空気の流入量を停止する機能があ

る。しかし 3M のエラストマテープで設計されたインフレータブル構造では、気圧センサーによる測定が安定しないという課題がある。そのため、膨張シミュレーションを細かくソフトウェアで実装することで、破裂に対処している。ただし、設計時に、空気漏れがあった場合は、ソフトウェア通りに動作しない。

5.5.4 スケーラビリティ

板状の硬い構造でも良い場合は、多層構造にすることは理論上は可能である。ただし、3 層以上の空気回路を作った場合は、アセンブリプロセスに時間を要する。またポリゴン数についても、スイッチャーを追加することで、16 個以上の解像度に高めることはできるが、あまり多くのポリゴン数を制御することは誤作動の原因になる。AirPolygon は透明性を高める構造で設計されており、液晶ディスプレイなどの背景情報との重畳において、解像度を発揮する。同様に、1cm 未満の小さすぎるポリゴンを制作することも、空気回路の太さとの関係で困難な場合がある。

5.5.5 耐久性とメンテナンス

エラストマ素材は耐久性があり、埃や指紋などで汚れた場合でも、IPA や水などで洗浄することで透明性が元に戻ることがある。また伸び縮みする素材であるため、物理的な衝撃に対しても強いといえる。また、穴があいてしまった場合でも、その穴を新しいエラストマテープを引き伸ばして貼り付けることで、ある程度は空気漏れを防ぐことができるようになる。ただし、修理の跡が透明性を低下させる原因になることはある。

5.5.6 映像領域への活用

本研究は、映像業界の共同研究先とディスカッションしながら進められたが、実際に具体的にどのような映像領域で効果を得られるのか検証できていない。そのための応用例や社会実装については今後検討していく必要がある。

第 6 章

結

論

6.1. まとめと今後の展望

本研究では、空圧制御による非平面映像ディスプレイのデザイン手法として AirPolygon を提案した。第一章では、問題意識として、フラットパネルディスプレイの普及により、映像がコンテンツ制作によりがちであることを述べた。従来の映像装置が有していたような物理的な設計要素も含めたデザインスペースの可能性について指摘し、本研究の目的を明らかにした。また研究対象として、空気を選択した理由などを述べ、ユーザ評価などの研究手法について論じた。第二章では、Table Top Display や Shape-changing display などの HCI のディスプレイ研究、ソフトロボティクスや空圧制御に関する研究事例、映像研究の関連事例について整理し、本研究の貢献領域などの位置付けを行った。第三章では、AirPolygon に至るまでの Balloon Display や PokoSheet などのデザインプロセスについて述べた。それぞれに、多くの展示機会やユーザー評価を得ることができ、本研究の目的を超えて、さまざまなユーザーの反応を考察することができた。第四章では、それまでの考察を踏まえ、研究目的である物理的なデザインスペースを含めた映像表現の可能性を提案するため、AirPolygon を提案している。液晶ディスプレイに重ねて、リアプロジェクションマッピングする手法のみならず、実風景を映像情報の代替として活用するスーパーインポーズの考え方を取り入れることで、ウェアラブル、家具、玩具、建築など、日常生活の様々なところで応用できる。実際にユーザーがどのように使用するか、追加のデザインスペースについても述べた。第五章では、システム評価とユーザー評価を行い、AirPolygon が映像ディスプレイのデザイン手法として、どのような評価と議論があるかを論じた。

映像業界は大きく変化しており，これまでの定義が通じない状況になっていくだろうと考える．その中で，映像のディスプレイ方法やそのデザイン手法については議論されていく可能性があり，AirPolygon は HCI 領域だけでなく，映像研究の領域にも，貢献していくことを想定している．将来的には，空圧制御の仕組みを応用するさまざまなアプリケーションを実装し，社会でユーザ評価を集めることで，このシステムがどのような領域に応用可能なのかを検討することが望まれる．ウェアラブルやインテリアの領域に，コンピュータ情報を提示し，像を映し出していくシステムができれば，映像の適用領域もファッションや空間デザインに拡大していく将来を目指す．

私たちは，映画やテレビが提供する創作世界と，日々の仕事に代表される現実世界をわけて考えがちである．フィクションはフィクション，現実 is 現実，これは一定の合理性があることは確かである．ただ，私たちは夢や願望がなければ，生きる気力を獲得できないことも事実である．そして，そのような人々を勇気付けるフィクションを立ち上げることこそが映画やテレビなどの映像表現の使命でもあると私は考える．本研究により，映像領域の適用範囲を拡張していくことが，その一助になれば幸いである．

謝 辞

本研究を親身にご指導くださいました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深く感謝致します。研究相談や学会投稿だけでなく、研究への姿勢や研究室の運営などさまざまなことを学ばせて頂きました。特に、「よく物事の現象を観察すること」、これまでのわたしの人生にはない視点でした。また、NFT など最先端の技術を活用していくフットワークの軽い姿勢がある一方で、基礎となる研究をしっかりと積み上げていく保守的な姿勢もあり、2つの相反する姿勢を同時にやってのけてしまうような、先生の圧倒的な柔軟性には頭が下がります。この修士でのご指導に改めて深く感謝します。

同大学院メディアデザイン研究科 稲蔭正彦教授には、研究を進めるにあたり、本論文の方向性を決める段階から相談させて頂きました。心より感謝致します。稲蔭先生にはドリームドリブンの思想を根底から植え付けられてしまったと思っています。稲蔭先生との出会いこそが「未知との遭遇」、SF 映画のようなものだったと思います。SF プロトタイピングというものを教えていただいたのも先生だったと思います。いつも新しい視点を教えていただき、ご指導に改めて深く感謝します。石戸奈々子教授には、本論文の副査をお引き受け頂きました。2022年のKMD フォーラムではVR 謎解きという東急不動産との大きなプロジェクトをリードしてくださりました。本論文では、こっそり棚におかれていた Balloon の花瓶とブースの写真だけが引用されていますが、社会実装から学んだことは多く、仮想現実という魅力的な世界観も、実装していく中では地道なことの積み重ねであることを学びました。ご指摘の内容も、いつもクリティカルで、物事を進めていく推進力を学びました。引き続きよろしくお願いします。

また本メディアデザイン研究科の先生方には、さまざまなことを教えていただいただけでなく、KMD という自由な校風を作ってくださり、感謝しています。本当

の優しさは、そっとそばから見守っていることだと思います。いつも見守っていてくれて有難うございました。改めて深く感謝します。

本研究は共同研究先である日本テレビホールディングス株式会社の日テレ R&D ラボの支援なくしては進めることができませんでした。たくさんの展示機会を頂きましたほか、研究の方向性についてアドバイスを頂きました。Balloon Display や AirPolygon の発表機会には、直接展示会場に来ていただきサポートしていただくなど、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

また研究を進めるにあたり、Future Crafts の研究室のメンバーや友人からアドバイスや励ましを頂きました。素晴らしい仲間巡りに出会ったことに感謝します。この謝辞はテンプレに近いですが、それだけ書ききれないほどの思い出があります。嫌だったことも楽しかったことも全部美しい思い出ですが、不思議と楽しい思い出しかありません。

最後に、学生生活を通して、常に支えて励ましてくれた家族にも感謝致します。シドニーの国際学会の帰りに車で迎えにきてくれた時くらいしか研究の話はしませんでした。ああでもないこうでもないという母や寡黙な父、家族の大黒柱のようになにいつも支えてくれている姉に感謝します。

“ *People call these things imperfections, but they're not, that's the good stuff.*
人々は変な癖を欠点と言うけど、違うんだ。いいことなんだよ ”

Good Will Hunting. Dir. Gus Van Sant. Perf. Robin Williams. Miramax, 1997.

参 考 文 献

- [1] Keio KMD : Graduate School of Media Design. ニュース・イベント＞press release, 日本テレビと共同研究を開始. 2022. URL: <https://www.kmd.keio.ac.jp/ja/news/2022/02/joint-research-with-nippon-tv.html>.
- [2] korea.net. サムスンが最も曲がるO L E Dを商用化 LGは回転式スマホ公開. 2020. URL: <https://japanese.korea.net/NewsFocus/Sci-Tech/view?articleId=189789>.
- [3] Ken Nakagaki, Luke Vink, Jared Counts, Daniel Windham, Daniel Leithinger, Sean Follmer, and Hiroshi Ishii. Materiable: Rendering dynamic material properties in response to direct physical touch with shape changing interfaces. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, p. 2764–2772, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858104>, doi:10.1145/2858036.2858104.
- [4] 暦本純一. 実世界志向インターフェイスの研究動向. 1996. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssst/13/3/13_3_196/_article/-char/ja/.
- [5] Yasuaki Kakehi, Makoto Iida, Takeshi Naemura, and Matsushita Mitsunori. Tablescape plus: Upstanding tiny displays on tabletop display. In *ACM SIGGRAPH 2006 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '06, p. 31–es, New York, NY, USA, 2006. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/1179133.1179165>, doi:10.1145/1179133.1179165.

- [6] Jun Rekimoto. Smartskin: An infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '02, p. 113–120, New York, NY, USA, 2002. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/503376.503397>, doi:10.1145/503376.503397.
- [7] Yasuaki Kakehi and Takeshi Naemura. Ulteriorscape: Optical superimposing on view-dependent tabletop display and its applications. In *ACM SIGGRAPH 2008 New Tech Demos*, SIGGRAPH '08, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/1401615.1401656>, doi:10.1145/1401615.1401656.
- [8] Andrew D. Wilson. Playanywhere: A compact interactive tabletop projection-vision system. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, p. 83–92, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/1095034.1095047>, doi:10.1145/1095034.1095047.
- [9] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '97, p. 234–241, New York, NY, USA, 1997. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/258549.258715>, doi:10.1145/258549.258715.
- [10] Tommaso Toffoli and Norman Margolus. Programmable matter: concepts and realization. *Phys. D*, Vol. 47, No. 1–2, p. 263–272, jan 1991. URL: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90296-L](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90296-L), doi:10.1016/0167-2789(91)90296-L.
- [11] Hiroshi Ishii, Dávid Lakatos, Leonardo Bonanni, and Jean-Baptiste Labrune. Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials. *Interactions*, Vol. 19, No. 1, p. 38–51, jan 2012. URL: <https://doi.org/10.1145/2098448.2098450>, doi:10.1145/2098448.2098450.

- 1145/2065327.2065337, doi:10.1145/2065327.2065337.
- [12] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii. Inform: Dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, p. 417–426, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2501988.2502032>, doi:10.1145/2501988.2502032.
- [13] Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, Fumitaka Nakaizumi, and Ryo Kawamura. Project feelex: Adding haptic surface to graphics. In *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '01, p. 469–476, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/383259.383314>, doi:10.1145/383259.383314.
- [14] Daniel Leithinger and Hiroshi Ishii. Relief: A scalable actuated shape display. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, p. 221–222, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/1709886.1709928>, doi:10.1145/1709886.1709928.
- [15] Ken Nakagaki, Daniel Fitzgerald, Zhiyao (John) Ma, Luke Vink, Daniel Levine, and Hiroshi Ishii. Inforce: Bi-directional ‘force’ shape display for haptic interaction. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '19, p. 615–623, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3294109.3295621>, doi:10.1145/3294109.3295621.
- [16] Yasushi Matoba, Yoichi Takahashi, Taro Tokui, Shin Phuong, Shingo Yamano, and Hideki Koike. Aquatop display: A true “immersive” water display system. In *ACM SIGGRAPH 2013 Emerging Technologies*, SIG-

- GRAPH '13, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2503368.2503372>, doi:10.1145/2503368.2503372.
- [17] Sue Ann Seah, Diego Martinez Plasencia, Peter D. Bennett, Abhijit Karnik, Vlad Stefan Otrocol, Jarrod Knibbe, Andy Cockburn, and Sriram Subramanian. Sensabubble: A chrono-sensory mid-air display of sight and smell. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, p. 2863–2872, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2556288.2557087>, doi:10.1145/2556288.2557087.
- [18] David Lindlbauer, Jens Emil Grønbaek, Morten Birk, Kim Halskov, Marc Alexa, and Jörg Müller. Combining shape-changing interfaces and spatial augmented reality enables extended object appearance. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, p. 791–802, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858457>, doi:10.1145/2858036.2858457.
- [19] Business Insider. This insane technology that makes buttons appear on a flat smartphone screen is pretty close to magic. 2014. URL: <https://www.businessinsider.com/tactus-technology-tactile-touchscreen-2014-1>.
- [20] Future Interface Group. About. URL: <https://www.figlab.com/>.
- [21] Chris Harrison and Scott E. Hudson. Providing dynamically changeable physical buttons on a visual display. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, p. 299–308, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/1518701.1518749>, doi:10.1145/1518701.1518749.

- [22] Craig Shultz and Chris Harrison. Flat panel haptics: Embedded electroosmotic pumps for scalable shape displays. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3544548.3581547>, doi:10.1145/3544548.3581547.
- [23] Vivian Shen, Tucker Rae-Grant, Joe Mullenbach, Chris Harrison, and Craig Shultz. Fluid reality: High-resolution, untethered haptic gloves using electroosmotic pump arrays. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3586183.3606771>, doi:10.1145/3586183.3606771.
- [24] Chemical Engineering News. Soft robot takes a walk. 2011. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=cLi8QNLALmA>.
- [25] Soft Robotics Inc. mgrip modular gripping system. 2021. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=qhxxvRWmSTRg>.
- [26] Jianzhe Gu, Yuyu Lin, Qiang Cui, Xiaoqian Li, Jiaji Li, Lingyun Sun, Cheng Yao, Fangtian Ying, Guanyun Wang, and Lining Yao. Pneumesh: Pneumatic-driven truss-based shape changing system. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3491102.3502099>, doi:10.1145/3491102.3502099.
- [27] Yiyue Luo, Kui Wu, Andrew Spielberg, Michael Foshey, Daniela Rus, Tomás Palacios, and Wojciech Matusik. Digital fabrication of pneumatic actuators with integrated sensing by machine knitting. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New

- York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3491102.3517577>, doi:10.1145/3491102.3517577.
- [28] Lining Yao, Ryuma Niiyama, Jifei Ou, Sean Follmer, Clark Della Silva, and Hiroshi Ishii. Pneui: Pneumatically actuated soft composite materials for shape changing interfaces. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, p. 13–22, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2501988.2502037>, doi:10.1145/2501988.2502037.
- [29] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Nadia Cheng, and Hiroshi Ishii. Jamming user interfaces: Programmable particle stiffness and sensing for malleable and shape-changing devices. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, p. 519–528, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2380116.2380181>, doi:10.1145/2380116.2380181.
- [30] Juri Fujii, Takuya Matsunobu, and Yasuaki Kakehi. Colorise: Shape- and color-changing pixels with inflatable elastomers and interactions. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '18, p. 199–204, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3173225.3173228>, doi:10.1145/3173225.3173228.
- [31] Emmanuel Siéfert, Etienne Reyssat, José Bico, and Benoît Roman. Bio-inspired pneumatic shape-morphing elastomers. 2019. URL: <https://www.nature.com/articles/s41563-018-0219-x>.
- [32] Julian Panetta, Florin Isvoranu, Tian Chen, Emmanuel Siéfert, Benoît Roman, and Mark Pauly. Computational inverse design of surface-based inflatables. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 40, No. 4, jul 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3491102.3517577>.

- [//doi.org/10.1145/3450626.3459789](https://doi.org/10.1145/3450626.3459789), doi:10.1145/3450626.3459789.
- [33] Qiuyu Lu, Haiqing Xu, Yijie Guo, Joey Yu Wang, and Lining Yao. Fluidic computation kit: Towards electronic-free shape-changing interfaces. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3544548.3580783>, doi:10.1145/3544548.3580783.
- [34] Hila Mor, Tianyu Yu, Ken Nakagaki, Benjamin Harvey Miller, Yichen Jia, and Hiroshi Ishii. Venous materials: Towards interactive fluidic mechanisms. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, p. 1–14, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3313831.3376129>, doi:10.1145/3313831.3376129.
- [35] Junichi Yamaoka, Ryuma Niiyama, and Yasuaki Takehi. Blowfab: Rapid prototyping for rigid and reusable objects using inflation of laser-cut surfaces. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, p. 461–469, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3126594.3126624>, doi:10.1145/3126594.3126624.
- [36] Bjorn Sparrman, Schendy Kernizan, Jared Laucks, Skylar Tibbits, and Christophe Guberan. Liquid printed pneumatics. In *ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3305367.3340318>, doi:10.1145/3305367.3340318.
- [37] Guanyun Wang, Kuangqi Zhu, Lingchuan Zhou, Mengyan Guo, Haotian Chen, Zihan Yan, Deying Pan, Yue Yang, Jiaji Li, Jiang Wu, Ye Tao, and Lingyun Sun. Pneufab: Designing low-cost 3d-printed inflatable structures

- for blow molding artifacts. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3544548.3580923>, doi:10.1145/3544548.3580923.
- [38] Jifei Ou, Mélina Skouras, Nikolaos Vlavianos, Felix Heibeck, Chin-Yi Cheng, Jannik Peters, and Hiroshi Ishii. Aeromorph - heat-sealing inflatable shape-change materials for interaction design. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, p. 121–132, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2984511.2984520>, doi:10.1145/2984511.2984520.
- [39] Qiuyu Lu, Jifei Ou, João Wilbert, André Haben, Haipeng Mi, and Hiroshi Ishii. Millimorph – fluid-driven thin film shape-change materials for interaction design. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, p. 663–672, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3332165.3347956>, doi:10.1145/3332165.3347956.
- [40] Yu-Wen Chen, Wei-Ju Lin, Yi Chen, and Lung-Pan Cheng. Pneuseries: 3d shape forming with modularized serial-connected inflatables. In *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, p. 431–440, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3472749.3474760>, doi:10.1145/3472749.3474760.
- [41] Jacob M. Rigby, Duncan P. Brumby, Anna L. Cox, and Sandy J. J. Gould. Watching movies on netflix: Investigating the effect of screen size on viewer immersion. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct*, Mobile-HCI '16, p. 714–721, New York, NY, USA, 2016. Association for Comput-

- ing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2957265.2961843>, doi:10.1145/2957265.2961843.
- [42] David Philip Green, Simon Bowen, Jonathan Hook, and Peter Wright. Enabling polyvocality in interactive documentaries through "structural participation". In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, p. 6317–6329, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025606>, doi:10.1145/3025453.3025606.
- [43] Qin Lin, Nuo Pang, and Zhiying Hong. Automated multi-modal video editing for ads video. In *Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia*, MM '21, p. 4823–4827, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3474085.3479205>, doi:10.1145/3474085.3479205.
- [44] Theresa Jean Tanenbaum. Design fictional interactions: Why hci should care about stories. *Interactions*, Vol. 21, No. 5, p. 22–23, sep 2014. URL: <https://doi.org/10.1145/2648414>, doi:10.1145/2648414.
- [45] TJ Rhodes, Gavin Miller, Qi Sun, Daichi Ito, and Li-Yi Wei. A transparent display with per-pixel color and opacity control. In *ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3305367.3327984>, doi:10.1145/3305367.3327984.
- [46] Adobe Research. Project glasswing. URL: <https://research.adobe.com/video/project-glasswing/>.
- [47] gotokyo.org, 撮影：永禮賢, 提供：日本財団. 隈研吾, 安藤忠雄らが生み出す, アート作品のような渋谷区の公共トイレ. 2022. URL: <https://www.gotokyo.org/jp/new-and-now/new-and-trending/221107/topics.html>.

- [48] Christine Dierk, TJ Rhodes, and Gavin Miller. Project primrose: Reflective light-diffuser modules for non-emissive flexible display systems. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3526113.3545625>, doi:10.1145/3526113.3545625.
- [49] DANIEL ROZIN. Wooden mirror. URL: <https://www.smoothware.com/danny/woodenmirror.html>.
- [50] 名和晃平. 生成する表皮. URL: <https://towadaartcenter.com/exhibitions/nawa-kohei/>.
- [51] 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.
- [52] Jifei Ou, Felix Heibeck, and Hiroshi Ishii. Tei 2016 studio: Inflated curiosity. In *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '16, p. 766–769, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/2839462.2854119>, doi:10.1145/2839462.2854119.
- [53] Keio KMD : Graduate School of Media Design. 東急不動産株式会社との産学連携で竹芝地区でのコンテンツ×テクノロジーの拠点形成を目指して新たな取り組みを実施 – kmd「social creation」の授業における実践的取り組み–. URL: <https://www.kmd.keio.ac.jp/ja/news/2023/01/new-initiatives-to-promote-a-contenttechnology-creation-hub-in-the-takeshiba->

area-through-industry-academia-collaboration-with-tokyu-land-corporation-practical-approaches-in-kmd-social-cre.html.

- [54] 市原えつこ. Twitter:kmd 山岡潤一さん@ junichi ラボ展示、クオリティが総合的に高くて (2022 年 9 月 4 日). 2022. URL: https://twitter.com/etsuko_ichihara?ref_src=twsrc%5Egoogle%7Ctwcamp%5Eserp%7Ctwgr%5Eauthor.

付 録

A. 付録: 日本テレビホールディングス株式会社日テレ R&D ラボへのインタビュー

共同研究先である日本テレビホールディングス株式会社の日テレ R&D ラボへのインタビューは 2024 年 1 月 24 日夕刻に行われた。これは同 1 月 17 日に実施された修士論文最終発表会での質疑応答において、「”映像表現” など映像関連用語の使用について良く検討した方がいい」「共同研究と本研究の差異を明記した方がいい」というコメントがあったことより、急遽セッティングされたものである。

質問は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の赤地が行い、回答は、日本テレビホールディングス株式会社の社員 A 氏と社員 B 氏に協力いただいた。

(1) 映像業界における ”映像” や ”体験” ということばの意味

赤地: 本日はインタビューよろしくお願いします。このインタビューの趣旨は事前に説明した通りです。

社員 A: ハイコンテクストな問いではありますよね。映像をどう捉えるかみたいなのところによってくると思います。

赤地: 論文にも書いていますが、議論になってしまった背景には、映像という用語が、例えば英語では正確に訳せないような曖昧な言葉ということもあったと思います。原案では、映像表現というタイトルにしたのですが、映像表示とか映像ディスプレイの方がいいのかなとも。共同研究では ”体験型メディア” という用語を使用しているようです。

社員: そうですね。日本テレビはこれまでの映像の画面を超えた、これまでの平面のフラットパネルディスプレイを使った映像表現の先をいく新し

い表現ができればいいというところがありました。ただ映像という言葉に固執してるわけでもないし、プレスリリースに使用した”体験型メディア”という用語も特別にそこに縛られているわけではないと思います。

赤地: なるほど。共同研究が始まったとき、私は入学前だったので。

社員 A: 映像から飛び出して違う表現もやっていかなきゃいけないというシンプルなモチベーションから始まったことではあるんで、映像という言葉に拘束されているわけではないですね。

赤地: あえて映像ということばを避けて、”体験型メディア”としたのかと読んでいました。

社員 A: テーマを設定する時点では幅広に構えておいた方がいいなと。コロナ禍だったこともあり、体験型メディア技術という何かを伝えるという意味を持っている言葉で、包括的な意味を含んだタイトルにしたということだったと記憶しています。

赤地: 私自身は、この2年の共同研究の中で、実績を通して2年前よりは、共同研究の対象にシャープネスが出てきたのかなと思っていて、もちろんシェイプチェンジングディスプレイという用語もよいんですが、もっとシャープに何を研究しているのか議論できるフェーズなのかなと思っています。BalloonDisplay は、シンプルな情報提示装置で、いわゆるシェイプチェンジングディスプレイですが、AirPolygon は違います。AirPolygon は、プロジェクションマッピングかスーパインポーズによる映像投影を前提としています。

社員 A: 社員 B さんはどうおもいますか？

社員 B: ”体験型メディア”で、映像をあえて省いているのは、やっぱり映像という言葉を入れない方が新しいということや、映像を前提とした研究だけではなくて、ディスプレイやメディア表現を追求していくという意味も込めて、映像という言葉を使わなかったところはあるんだろうなと思っていました。AirPolygon を映像の研究ということにしてしまうと、もったいないのではという感想もあるのかもしれないと想

像します。触れることや UI としての機能もありますという部分が削ぎ落とされてしまうのではと思います。

赤地: 確かにそうですね。アカデミー賞でゴジラ-1.0 が話題になりましたが、監督インタビューの中で、普通の映画ではなくて、体験させるような映画を作ったという話が出てくるのですが、単に映像といった場合には、体験が含まれないという意味が含まれているのかもしれない。普通に映像というと、もう体験ではなくなりつつあるのかもしれない。

社員 A: 哲学者みたいな問いですね。

赤地: もともと映像という言葉は日本語特有のもので、像を映すと書きますが、英語で無理に訳そうとすると Image となって、頭の中に像を映すようなことを含みます。記憶に残るということは、テレビや映画にも重要かもしれないと考えています。この部分に注目しているのは、共同研究というより私自身の研究という意味が強いかもしれません。ただ論文を執筆する際にも、英語と日本語を見比べる機会が多いので、映像という言葉の英訳に気を遣います。確かに、映像という言葉には体験の意味はないです。また触覚という意味は含まれません。

社員 A: その哲学的な部分を含めて、噛み砕けるところまで、論文を読んだひとが理解できるかってところな気がします。字面通りに、映像という言葉でイメージするのは、映像は動画という風に変換されて読まれていそうですね。

赤地: そうですね。映像って読んだだけだと、みんな普通は動画に変換しちゃいますよね。

社員 A: はい、いわゆる 2D 映像みたいな映像表示デバイスなのかなって思われてしまう感があります。

赤地: なにか良い言葉があるといいんだろうなと思います。また、これ（＝体験を含むインタラクティブな映像表現）を示すドンピシャリな言葉があると、映像の仕事の現場でも、仕事の定義など便利になる気がします。

社員 A: 便利なのかもしれないんですけど、言葉へのリテラシーがそこまで

高くはないかもしれないですね。言葉がどうだっていうところに行く前の段階で止まってしまうかもしれない。

社員 B: ふと思ったのは、視聴率とかの視聴って、視覚と聴覚がセットで使われるじゃないですか。でも、この研究は視覚と触覚だから、視聴だけではないものですけど、つまり見ることと触れることを両立させたメディアってということなんですかね。

(2) ”コンテンツ” はポジティブか、ネガティブか

赤地: 難しいですね。やはり的確な言葉がなさそうです。1年前に組織再編をされたと伺いましたが、部署名などでの的確な単語がないといったことはなかったですか。非映像というわけにはいかないの、メディア推進とかイノベティブ推進とか、そんな言葉が使われたのでしょうか。

社員 A: どうですかね。いま社内でもあんまり映像って言葉を使ってなくて、映像を作るチームも基本的にコンテンツ制作局という名前の部署になっていたりとか、クリエイターのこともコンテンツクリエイター、会社自体も総合コンテンツ企業になると表現されたり、コンテンツって言葉が多いですね。

赤地: 面白いですね。コンテンツという言葉はポジティブな意味に使われているんですね。ネガティブな感じでは使ってないですよ。ニュートラル？

社員 A: ニュートラルですね。

赤地: 論文を日英で書いていると、コンテンツって言葉も不思議に思います。英語の Contents は内容物という意味ですよ。この論文の序論の部分でも書いたのですが、コンテンツとは例えばテレビの中の内容物って意味なのかなとおもいます。でも、共同研究においては、テレビからリビングライフのお茶の間まで飛び出してくるって理想像があって、そうするとテレビの中のコンテンツってことになる、そのテレビの外側の体験も含めて考えていこうという意識と違うことになっているんじゃないかなって思ってしまいました。確かにネガティブとまでは

言わないですけど、コンテンツって、あまりポジティブな言葉ではないんじゃないかと私は考えています。

社員 A: 言葉だけみると、多分その解釈は正しくて、オックスフォードなどの定義をみても、電子的な手段で提供する情報の中身ってなっているので、確かにフラットパネル中のものを提供する、その映像素材みたいなことを言っていますね。社内の認識的にもほぼそういう認識でイコールではあると思います。

赤地: 共同研究が、テレビの外側の体験型メディアをつくるという目的なのだとすると、コンテンツという言葉ではなくて、例えばインタラクションとか、テレビの外側の体験をつくるという意味の言葉を使った方がいいんじゃないかと勝手に思ったりしています。

社員 A: なんかメディア論の授業みたいな感じですね。

赤地: 例えば、インタラクションという言葉が、テレビ局の組織名で使用されたり、Inter-action なので、人々に能動的なアクションを起こさせるようなものを作るとか、コンテンツじゃなくてインタラクションをつくるみたいなことです。論文を書いている、そのような言葉選びの重要性について考えていました。

(3) インタラクティブな映像体験

社員 A: なるほど。そういうのは脈々と以前からあって、例えば今のテレビでも一方通行な放送かと思いきや、d ボタンなどを押させて視聴者投票をしたり、いわゆるインターネットのようなインタラクティブなコンテンツと比較した施策は結構やられていたりします。スマホアプリと連動するコンテンツや音楽番組でスマホを連打するとゲージが溜まるとか。もともと一方通行だったオールドテレビに対して、インタラクティブな要素を持たせようというモチベーションがあって、この10年くらいでレベルはそんなに高くないかもしれないけど、結構やってきたという背景はありますね。

赤地: ACM など国際学会のカンファレンス論文の検索サイトで、映画関連の論文を調べると、インタラクティブドキュメンタリーというジャンルの論文が上位に出てきます。ドキュメンタリーを YouTube のようなインターネットのメディアと結び合わせて、視聴者自身にも YouTube に自分の動画をアップロードして、相互の動画を繋ぐハイパーリンクを工夫してみたり、YouTube にアップロードした自分の動画に連動して全体のストーリーも変わるようなものが世界的にみると出てきているようで、コンピュータサイエンスの学会とも関連する内容のようです。

(4) 序論の冒頭の問題提議について

社員 B: 論文全体としては、これは研究室によるのかもしれませんが、僕の大学の修士論文は、もっと書ける内容などが硬かったイメージなので、はじめにジョージ・ルーカスを出しちゃったり、自由で面白いですね。

赤地: メディアデザインの研究スタイルもあるかもしれません。確かに問題提示は、特定の研究領域の範疇に縛られないこともありうる印象です。通常の修士論文は、ある 1 つの研究領域の中で、いまこのことが注目されて騒がれているから、その部分に対して、私はこの部分を追加して貢献しましたというのが多いと思います。ただメディアというものを扱っているので、A という研究領域と B という研究領域があって、A と B の間にあって研究対象と捉えられていないような問題意識を研究していこうのも許容されうるという印象です。ただし、そもそも、それって本当に問題なんだっけという検証は必要だと思います。今回のコンテンツという言葉に対する問題意識を冒頭に書いたのも、A や B からの客観的な意見を確認する必要があると思います。その結果、映像業界だとコンテンツという言葉はそんなに問題のある言葉とは思われていないということでしたが、それはそれで、インタビューした事実をしっかりと書くべきと思いました。

社員 A: 言葉って難しいですね。例えばなんだろうな、ちょっとレイヤーの違う話かもしれないですが、映像クリエイタなのか動画クリエイタなのか、動画クリエイタっていうと、例えばショート動画っぽいものを表す傾向が強いみたいなこととかありますよね。言葉の示すイメージが重なる領域もあるし、違う領域もある。その定義や時代によっても認識が変わってきているし、デバイスとかも変わってきている。言葉って突き詰めると生き物みたいな感じだから、ちょっと難しいなと思います。

赤地: はい。冒頭に書いたのですが、エジソンの時代って、1人ずつ目を装置に当てて中ものを見ていたのですが、それは映像なのかっていうと、見た目は望遠鏡とか実験装置にみえます。だからエジソンのは映像装置って言わないんじゃないかという話もあったりして。装置自体の見た目によって、映像なのか、映像ではないのかを判断するのは、もう言葉の定義は曖昧なものですから、形骸化してきている気がします。

社員 A: 序章で出てきている話で、LED ビジョンなどの映像装置に関する記述でも、これはディスプレイなのかモニターなのかビジョンなのか、というところがあると思いますが、ディスプレイ装置自体のフレキシビリティが、この数年で爆上がりしているせいで、装置の形による定義は全くなくなってきているので、海外で新しいテクノロジーを調査したときに、この装置は、どこからきているものなのか、履歴が非常に分からないものが増えてきた印象はありますね。確かに、こういう議論はどこかで、もしかしたら本当にちゃんと立ち止まって議論してみると面白いんじゃないかなと思います。

赤地: 確かに映像装置がいまダイナミックに変化してきている現状を考慮すると、この研究も映像表示装置の研究というよりは、映像インタラクションの手法の研究というのが、1番いいのかもしれないですね。ただ今の時代に、そんな言葉は造語になってしまいますし、既にある言葉を使用するなら、装置という言葉避けて、「映像ディスプレイ」くらいのタイトルが無難で、今の研究のレベルとしては、いい頃合いな

のかもしれないです。映像のインタラクションの手法に対して、しっかりとした分類できる言葉がないという印象です。モニタの触覚研究とも違いますし、別の言葉が必要と考えています。それこそ社会学者や別の分野の研究者がいたら、研究対象を定義しやすくなるかもしれませんが。

社員 A: 確かに。ぜひ新しい言葉を生み出してください。ちょっと普段使わない頭を使う感じで、面白いですね。

赤地: ありがとうございます。引き続きよろしくお願いします。