

柔らかい操作インタフェースのアイデア創出を促すワークショップの実践

香川 舞衣¹ 辻村 和正¹ 佐倉 玲¹ 山村 亮介² 筧 康明³

概要：柔らかさを持つ素材を使ったインタフェースは、加工や成形が容易で自分に合ったインタフェースを実現できる可能性があることから、近年研究が活発である。一方、形状や変形の自由度が高すぎるため、サイズや検知すべきジェスチャなどの指針がなくそれぞれの研究が実現できる範囲を提示するに留まっている。本研究ではこの指針を得るため、インフレーターモビリティ poimo を題材に綿やスポンジなどの柔らかい素材を使い操作インタフェースをプロトタイピングするワークショップを実施した。本稿ではアイデアの紹介とともに、身体部位や変形方法、使用素材から分析した傾向についてまとめ、探索の過程で得られた知見について報告する。

1. はじめに

HCI (Human Computer Interaction) 領域では、ユーザがより直接的に身体的な動作を通してコンピュータとインタラクションすることを可能にすべく、柔らかく変形可能なセンサや形状変化可能なフィジカルインタフェースの開発が活発に進められてきた [1]。中でも筆者らの研究グループでは、導電性スポンジや 3D プリンタを用いた多孔質構造を持つ柔らかい変形センサ技術の開発を進めている [2] [3] [4]。特に [4] は、造形に FDM 方式の 3D プリンタを用いることで、センサ形状や柔らかさ、配線の設計自由度が高く、さまざまな領域への応用が試みられている (図 1 左)。

このような背景のもと、今回筆者らは、子供を中心とする非専門家を参加者とするワークショップを設計し、柔らかい操作インタフェースに関するアイデア創出に取り組んだ。このワークショップでは、参加者は場に予め用意されたさまざまな柔らかい素材に触り、それらを加工したり組み合わせることでプロトタイピングを進め、コンセプトやアイデア創出へとつなげる。これは Karana らの Material-Driven Design [5] のアプローチなどを参考にし、必ずしも参加者が最初に最終的な制作物のイメージを設定するのではなく、実素材の特性をいじりながら理解し、アイデアへと昇華する手法を採る。

本ワークショップでは、センサの応用先として筆者ら

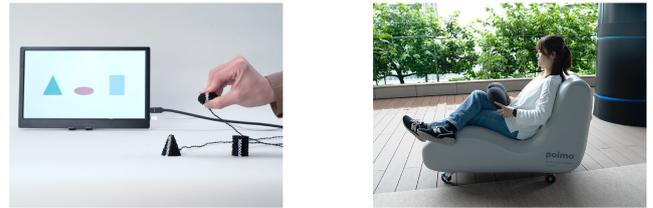


図 1 (左)FDM 方式の 3D プリンタを用いたソフトセンサ, (右) ソフトモビリティ poimo

が開発を進める空気で膨らむ柔らかい電動モビリティ poimo[6][7] の操作に注目した (図 1 右)。参加者は、ソファのように柔らかい躯体を持つ poimo の操作手法やそのターゲットユーザを思い描き、操作部の形状や大きさ、操作する身体部位など、柔らかさを活かしたインタフェースの設計・プロトタイピングを行う。

以下本稿では、日本科学未来館で開催したワークショップの概要とその結果について報告し、参加者のアイデアの類型やプロセスの分析を通して考察を行う。

2. ワークショップの設計

2.1 ワークショップの概要

ワークショップは、アイデア探索やプロトタイピング、共創のための手法として多くの分野で取り入れられる手法である。今回の筆者らのワークショップに近い取り組みとして、Seong らのソフトロボティクスのためのワークショップ [8] などが挙げられる。これは、アクチュエーションに焦点を当てたワークショップだったのに対して、今回の筆者らの取り組みは柔らかいセンサを用いたインタフェース設計に注目する。

¹ 東京大学 大学院学際情報学府

² mercari R4D

³ 東京大学 大学院情報学環

	元の形に戻りやすい ←		→ 元の形に戻りにくい
変形自由度が高い	スポンジ	綿	粘土
↑ ↓	ゴム紐	ネット	モール
	風船	伸縮性のある布	毛糸
	フェルト		
変形自由度が低い			

図 2 素材の分類図

今回筆者らの設計するワークショップは、上述の通りソファ型の poimo の操作インターフェースのアイデアを考案することを目的に、柔らかい素材を用いてアイデア探索を行う。実際に場に並べられた柔らかい素材群を触りながら模索を行うことで、これまでの硬いインターフェースではできなかった操作方法を可能にする新しいアイデアの創出を促す。

ワークショップの概要は以下の通りである。

- (1) ワークショップの目的と流れについての説明
- (2) ソフトモビリティ poimo の試乗体験とソフトセンサによる事例紹介
- (3) ソフトセンサを用いた操作インターフェース事例の説明
- (4) 柔らかい操作インターフェースのアイデア出しと試作
- (5) 制作物に関するインタビュー
- (6) アンケート回答

(2) の乗車体験では、参加者は車椅子の操作に用いられることの多いジョイスティックを使用して、直線と蛇行する道を通るコースを移動した。また、ソフトセンサを用いた操作インターフェースの事例として、肘置き型、ジョイスティック型、クッション型のコントローラを用意した。(3) では、参加者はそれぞれ 4 名程度のグループに分かれて案を考え、試作を行った。(4) では柔らかい素材を用意し、参加者は実際に素材を触ってインターフェースの形状を作りながらアイデアの探索を行った。ワークショップを行う場に実物の poimo を用意し、参加者が触ったり座ったりなど確認をしながら制作を行えるようにした。使用可能な素材として、綿、粘土、スポンジ、モール、ネット、風船、毛糸、ゴム紐、フェルト、および伸縮性のある布を用意した。これらの素材は、一般に手に入りやすく、多くの参加者が実際に触れたことがあると考えられるものを選定した。また、さまざまな触感の素材を網羅するため、変形自由度と、変形させた後に手を離れた場合の元の形への戻りやすさの軸について幅広く取り扱った(図 2)。

また、アイデア探索の補助のため、操作方法や体の部位などを書いたカードと、考案したアイデアをまとめるワークシートを用意した。カードは図 3 のように、変形方法と操作時に使う体の部位、モビリティの移動の仕方を示す 3 タイプ計 11 枚を用意した。



図 3 カード

ワークシートでは、操作方法の名前、使った素材、変形方法の種類(潰す、ねじる、曲げる、伸ばす、それ以外)、使用する体の部位、インターフェースの大きさ(指先、手のひら、体、それ以外)、乗り物の動かし方(進む、戻る、曲がる、止まる、それ以外)についての記述を求めた。体の部位は、人物のシルエット画像を用意し、自由に丸をつけて示すように指示をした。

2.2 インタビューとアンケート調査

参加者の考案したアイデアについて、インタビューとアンケートにて結果をまとめた。

インタビューは、各グループ 1~2 名ずつに対してファシリテータが質問する形式で行った。アイデアの概要のほかに、発想方法や工夫した点、これまでの硬いインターフェースの操作と違う点について質問した。

アンケートでは、アイデアの概要や使用した素材、発想方法、現状の操作との違いについての設問を設定した。また、実際に実装するインターフェースの参考のため、他の人のアイデアの中で好みだったものと操作してみたいと思ったものについても記述を求めた。最後に全体を通してのコメントと、用意されている以外で必要だと感じた素材について自由記述にて回答を得た。

また、他の参加者やファシリテータとの対話と試作の様子を観察するために、ワークショップ全体を通して各テーブルにカメラを設置し、その録画データを元に分析を行った。

3. 実施したワークショップと結果

3.1 実施概要

ワークショップは、2022 年 7 月 24 日、31 日に日本科学未来館にて実施した。参加者は日本科学未来館の web サイトにて、小学校 3 年生以上という条件で公募した。同じ内容で 2 日間合計 2 回にわたって開催し、8 歳から 51 歳までの合計 21 名が参加した。参加者は、2~4 名程度のグルー

表 1 参加者属性 (人)

	10 歳未満	10~19 歳	20~29 歳	30~39 歳	40~49 歳	50 歳~	回答なし
7 月 24 日	4	4	0	0	0	1	0
7 月 31 日	0	6	0	1	1	0	2

変形方法	操作を行う身体部位				
	指	手	腕	体幹	足
押す・ つぶす	 <p>スポンジ</p> <p>(A-1) ゲーム機風</p>	 <p>スポンジ</p> <p>(A-5) 手首で体重をかける</p>	 <p>スポンジ</p> <p>フェルト</p> <p>(A-6) 肘で押した方向に動く</p>	 <p>スポンジ</p> <p>(A-8) 太ももで体重をかける</p>	
	 <p>スポンジ</p> <p>綿</p> <p>(A-2) 軽い力で動く</p>		 <p>スポンジ</p> <p>綿, 毛糸, ゴム紐</p> <p>(A-7) 脇で挟む</p>	 <p>綿</p> <p>スポンジ, 粘土, モール</p> <p>(A-9) 乗りながらエクササイズ</p>	 <p>綿</p> <p>スポンジ</p> <p>(A-10) 矢印付きのボタンを踏むとその方向に進む</p>
	 <p>綿</p> <p>スポンジ, 粘土, モール</p> <p>(A-3) 指でボタンを操作</p>				
	 <p>粘土</p> <p>(A-4) 指で動かす</p>				
引っ張る・ 伸ばす		 <p>輪ゴム</p> <p>スポンジ</p> <p>(B-1) 引っ張って進む</p>	 <p>フェルト</p> <p>毛糸</p> <p>(B-2) 腕を動かすことで進む</p>	 <p>粘土</p> <p>(B-4) 手足両方で操作</p>	
			 <p>モール</p> <p>綿, ネット</p> <p>(B-3) モールを引っ張ると進む</p>		
ひねる・ ねじる		 <p>スポンジ</p> <p>モール</p> <p>(C-1) 軽い力で動く</p>	 <p>スポンジ</p> <p>モール</p> <p>(C-3) 手首で動かす</p>		
		 <p>綿</p> <p>スポンジ</p> <p>(C-2) レバー式コントローラ</p>			
曲げる・ 倒す	 <p>スポンジ</p> <p>輪ゴム</p> <p>(D-1) 指で指した方向に進む</p>	 <p>スポンジ</p> <p>粘土, 綿, モール, 毛糸</p> <p>(D-2) 前と後ろで別々のハンドル</p>			
					 <p>操作を行う身体部位</p> <p>変形方法</p> <p>変形部分の 使用素材</p> <p>それ以外の使用素材</p> <p>(番号) アイデアのコンセプト</p>

図 4 参加者によるインタフェースアイデア

プを作り、互いの作業内容が見える状況でアイデアの考案とインタフェースの試作を行った。

アンケートの回答があった参加者の属性は、表 1 の通りである。

3.2 参加者のアイデア

まずワークショップで実際に参加者が発案したアイデアを紹介する。図 4 は、参加者のインタフェースのアイデアを操作に使う身体部位、操作時の動作、使用した素材の観点からまとめたものである。

図 4 の表では、全てのアイデアの中から操作部分が柔らかく変形する性質を応用したものを抜き出している。インタフェースの中で変形に最も影響する箇所に用いられた素材について、各項目の右上に記載を行った。また、アンケートやワークシートから、参加者が重視していた点を、

アイデアのコンセプトとして下部にまとめた。

3.3 インタフェースアイデアとその分類

参加者によるインタフェースアイデアをモチベーション、素材、身体部位と動作の観点から分類した。

3.3.1 アイデアのねらい

ワークショップで発案されたアイデアに対して、現状のジョイスティックでの操作との違いを尋ねたところ、操作が簡単にできることを求める参加者が多く見られた。具体的には、「スティック式コントローラは慣れるまで制御が難しそうなので、楽に操作できるもの」「曲がりすぎたりしない、思った方向へ行ける」「握力がない人でも操作できる」「手を動かさなくて良い」といった意見が得られた。

これらのモチベーションを基準として、以下の 3 つにアイデアを分類した。

1つ目は、様々な人が使えるようにするものである。怪我をした人や障がいを持つ人、力の弱い人など、操作者を限定せず多くの人が容易にコントロールできるようなアイデア提案があった。具体的には、手首(図4A-5、C-3)や肘(図4A-6)、脇(図4A-7)など、指先以外の体の部位を用いて操作を行うアイデアが見られた。

2つ目は、自分の使いやすさを求めるものである。左右にハンドルが分かれていることで間違えることなく思い通りに動かせるもの(図4D-2)、既存のインタフェースの形状・操作を真似たもの(図4A-1、A-3)、自分が触って心地よいと感じるものの形状を模したもの(図4B-3)などのアイデアがあった。

3つ目は、移動中に他のことができることに価値を見出すアイデア群である。具体的には、ダイエットや筋トレを兼ねる動作で操作するもの(図4A-9)や、足で操作することでゲームをしながらの移動を可能にするアイデア(図4A-10)などがあった。これらの場合は手や指などを使わずに体幹や下半身を使う傾向が見られた。

3.3.2 用いられた素材と組み合わせ

次に、参加者の最終成果物について、使用した素材から分析を行う。今回のワークショップでは、スポンジ、綿、粘土といった変形自由度が高い素材が多く使われる傾向があった。成果物では、参加者が用意された素材の中で変形しやすい素材、変形しにくい素材を組み合わせ、所望の柔らかさや変形具合を新たに作り出す様子が見られた。

成果物に最も幅広く使われた素材はスポンジで、身体に接触する部分にも内部構造にも使われることが多かった。粘土は、土台や変形しない接触部分など、変形に関わらない箇所への利用が多かったのに対し、綿は直接的に変形に関わる柔らかい箇所に用いられた。モールは綿やネットを他の素材にくくりつけたり、ボタン表面の装飾に用いられたり、その柔らかさがインタフェースの変形とは異なる用途で活かされたケースが見られた。

図4のアイデアの中から、複数の素材を組み合わせている例を取り上げる。まず、複数素材を使用していて触れる部分が柔らかく変形し、土台や内部に硬さがあるものを挙げる。

- スポンジを用いて手首でひねる動きを可能にし、モールを手の固定のために使った例(図4C-3)
- 綿を用いて足で踏みこむ動作を可能にし、スポンジをその土台として使った例(図4A-10)

次に、土台や内部が柔らかく変形し、触れる部分が比較して硬いものを紹介する。

- スポンジを内部に入れて変形可能にし、フェルトでカバーをつけた例(図4A-6)
- 綿を内部に入れて潰せるように設計し、スポンジを外側にすることで変形しやすくした例(図4A-7)

これらの事例のように、柔らかさを活かした操作を実現

する上で、参加者が柔らかさの異なる素材を組み合わせ、適切な変形を模索する試みが見られた。操作に応じた適切な柔らかさでの造形や変形を支える硬い部位の配置など、ソフトセンサの設計に関係する知見を得た。

3.3.3 身体部位と動作

アイデアを考える際、多くの参加者は素材を触りながら試していた。表2では、各素材に対して参加者が主にしていた触り方を示している。

素材の触り方として、よく見られた探索行動を次の11種類に分類した。素材を伸ばす動きとして「ちぎる」「引っ張る」「巻きつける」「つまむ」の4種類、変形させずに感触を確かめる動きである「擦る」「触れる」、素材を縮める動きとして「握る」「丸める」「押し潰す」「曲げる」「ねじる」の5種類とし、各素材に対して参加者の触り方をまとめた。

今回発案されたアイデアの中には、ひねりや複数方向への曲げの変形を利用したものがあった。筆者らの開発するものを含めて多くのソフトセンサ技術は、押し潰す・引っ張る動作の検知を行うものだが、それ以外の動きについてもアイデアが示唆された。また、インタフェース自体の大きさについて、特に押す動作では指先程度のものから下半身全体を使うものまで幅広くアイデアが出たことから、センサの精度の測定時にこれらの範囲を網羅する必要がある。反対に、ひねる・ねじる動作では手や腕の動き、曲げる・倒す動作は指や手程度の大きさの動作に対して、十分な精度を求める必要があるといえる。

4. 議論と考察

4.1 素材の組み合わせ

今回のワークショップでは図2にある素材を用意したが、テープやボンドなど柔らかい素材同士を接着するための材料を求める意見があった。自分の求める素材がない場合でも、アイデアの探索を行う中でモールや毛糸を用いて素材同士を結びつけたり、アイデア出しを補助する目的で用意した付箋紙や持っていた輪ゴムを利用するなど、その場で欲しい性質を持つ素材を探し出す動きがあった。これらの様子から、用意した素材を組み合わせた事例を事前に説明することで、試作可否に影響されず限られた素材でもアイデアを広げられる可能性がある。

4.2 参加者の会話

ワークショップでは、参加者と家族、またファシリテータとの会話から、アイデアが広がる様子が見られた。具体的な会話と探索の様子を紹介する。

表 2 素材ごとの触り方

	ちぎる	引っ張る	巻きつける	つまむ	擦る	触れる	握る	丸める	押し潰す	曲げる	ねじる
スポンジ		○		○	○	○	○		○	○	○
粘土	○	○		○			○	○	○		
綿	○	○					○	○	○		
フェルト		○	○		○			○		○	
モール		○	○	○	○					○	○
ネット		○				○					
風船		○						○	○		
毛糸		○		○							
ゴム紐		○	○								○
伸縮性のある布		○									

(参加者) スポンジを切って2つに重ねてみる
(ファシリテータ)「2つだったらどんなことができそう？」

(参加者) 抱きしめてみる

(参加者)「上半身で、体全体で抱える」

(参加者) 半分に切った綿を両手で抱きしめる
(参加者) 綿を顎や脇にはさんだり、顔に当てたりしてみる

(参加者) 綿を2つに伸ばして分けてみる

(参加者家族)「綿は？」

(参加者)「結構硬い」

(参加者) 綿を肩と首の間に挟んで、首を傾けてみる

(参加者家族)「枕とかは？」

(参加者) 綿を脇に挟んでみる

(参加者家族)「脇おもしろそうだね、ダイエットコントロールみたいな」

このように素材を用いて探索をする中で、周囲の人の意見から新たな発想を得たり、対話の中で試行が促される様子が多く見られた。また、参加者自身も、他の参加者やファシリテータとの対話の中で体験を言語化することで、体感や素材に対するメタ認知が進むと期待できる [9]。

5. ソフトセンサを用いたアイデアの実装

5.1 体験デバイスの実装

7月に開催したワークショップの結果を受けて、参加者のアイデアの中から2つの操作インタフェースを実装した。9月に日本科学未来館にて実際にこれらのインタフェースを使ってモビリティ poimo を操縦してもらった。7月の参加者の中の希望者5名と初めて体験する参加者6名の合計11名に操縦体験と聞き取り調査を行なった。

実装したインタフェースは図5の2つである。これらのインタフェースアイデアは、期間中の実装可能性とアイデアの新しさを基準に選定した。

1つ目は、脇で挟んで操作するものである。図4A-7を元にし、3Dプリントするセンサ(詳細は[4]を参照)をアクリル板で挟み込んだ。押し潰しの検知を利用しており、左右のセンサ単体を潰した場合はその方向へ、両方を潰した場合は前進する。

2つ目は、手首の傾きと握りによって操作するインタフェースである。図4A-5、C-3の2つのアイデアを元にしており、前方部の押し潰しの検知によって前進し、後方の左右に広がった部分に力を与える方向でそれぞれに曲がる操作ができる。図4A-5の工夫から、左右に傾けやすいように後方部にカーブをつけたほか、前方と後方の変形の量を変えることで操作しやすいようにした。

5.2 実装したインタフェースに対する意見と考察

アンケートでは、操作性や問題点など、実際に体験した上での感想と意見を得た。

脇で挟んで操作するインタフェースについては、両手を空けて操作できる点が利点であり、ストレスなく移動ができるという意見があった。また、操作は簡単であるという意見が大半であったが、曲がる操作については、左右のどちらを押すか迷うことがあるという意見も見られた。手首の傾きで操作するインタフェースについては、参加者のほとんどが容易に操作できると予想したものの、実際には難しいと感じていた。また、位置の固定を求める意見も多く、リストバンドや手袋型にするなどウェアラブルなインタフェースへの応用が期待されていた。

手首の傾きで操作をするインタフェースは、元のアイデアではひねる動きや曲げる動きを操作に利用する想定であったが、今回のセンシングは押し込み動作のみを用いている。押し込みの程度が取得できる単一機能のセンサでも、複数個の利用や他の素材との組み合わせや配置の工夫を施すことで、より複雑な変形にも対応できる可能性がある。

6. おわりに

本稿では、ソファ型のインフレータブルモビリティ poimo



脇で挟んで操作するアイデア



実装したインタフェースと
操作の様子



手首のひねりで操作するアイデア



実装したインタフェースと
操作の様子

図 5 インタフェースアイデアとその実装

を題材に、柔らかい素材を用いて操作インタフェースのアイデアを考えるワークショップを提案し、実践した結果についてまとめた。

ワークショップで発案されたアイデアから、モビリティのインタフェースには操作の簡単さを求められていることと、柔らかさの活用によってその問題を解決できる可能性があることがわかった。また、操作インタフェースの実装に用いる際に、ねじる動きのような従来のセンサでは検知が難しい動作を必要とする場合があり、押したり引いたりするような動作では指先程度から身体スケールまで幅広いサイズでの精度が求められることがわかった。柔らかいインタフェースを考えるワークショップを行う場合、複数素材の組み合わせ事例を提示することで、参加者自身で必要とする性質を作り出し、アイデアを広げられる可能性がある。

今後はワークショップの改良に加えて実践を繰り返し、得られた知見をソフトセンサの研究や応用に活かしていきたい。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP20H05960、および mercari R4D の支援を受けた。

参考文献

- [1] Boem, A. and Troiano, G. M.: Non-Rigid HCI: A Review of Deformable Interfaces and Input, *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference, DIS '19*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 885–906 (2019).
- [2] Nakamaru, S., Nakayama, R., Niiyama, R. and Kakehi, Y.: FoamSense: Design of Three Dimensional Soft Sensors with Porous Materials, *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '17*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 437–447 (2017).
- [3] Keisuke Watanabe, Ryosuke Yamamura and Yasuaki Kakehi: Foamin: A Deformable Sensor for Multimodal Inputs Based on Conductive Foam with a Single Wire,

- Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '21* (2021).
- [4] Rei Sakura, Changyo Han, Keisuke Watanabe, et al.: Design of 3D-Printed Soft Sensors for Wire Management and Customized Softness, *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2022).
- [5] Elvin Karana, Bahareh Barati, V. R. e. a.: Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences, *International Journal of Design*, Vol. in press (2015).
- [6] Hiroki Sato, Young ah Seong, Ryosuke Yamamura, et al.: Soft yet Strong Inflatable Structures for a Foldable and Portable Mobility, *CHI EA '20*, p. 1–4 (2020).
- [7] Ryuma Niiyama, Hiroki Sato, Kazumasa Tsujimura, et al.: Poimo: Portable and Inflatable Mobility Devices Customizable for Personal Physical Characteristics, *UIST '20*, p. 912–923 (2020).
- [8] Young ah Seong, Hiroshi Sugihara, Ryuma Niiyama, et al.: Workshop Design for Hands-on Exploration Using Soft Robotics and Onomatopoeia, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 19, No. 1, pp. 52–61 (2020).
- [9] 諏訪正樹: からだメタ認知: ことばと身体の共創としての身体知学習のメソッド, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. JSAI2015, pp. 2N5OS16b1–2N5OS16b1 (2015).