

DeformVerface : 形状変化デバイスを用いた 垂直面インタラクション

穴久保 拓磨^{1,a)} 藤波 香織^{2,b)}

概要: 近年, 形状が変形するインタフェースが注目されており, 本論文では任意の垂直面でのインタラクションを実現するための変形デバイス DeformVerface を提案する. 従来の研究の多くは垂直面でのインタラクションとして, プロジェクションマッピング技術を用いた視覚的な例や, 形状変化を相互作用結果の提示のために用いているものであった. これらは壁面やドアなどの垂直面が固定であるためインタラクション手法が制限されてしまうことが一因だと考えられる. そこで, 本研究では垂直面において視覚的なインタラクションではない新しい相互作用を提案するために, プロトタイプシステム DeformVerface を開発した. DeformVerface は, 9 個の独立制御可能なブロック状の突起を持つデバイスで様々な垂直面において疑似的に変形制御が可能な垂直面として動作する.

Vertical plane interaction based on shape change device

ANAKUBO TAKUMA^{1,a)} FUJINAMI KAORI^{2,b)}

Abstract: Shape changing interface is getting attention. In this paper, we propose DeformVerface, a deformation device for realizing interaction in vertical direction. Existing work in vertical surface interaction basically deal with visual presentation using projection mapping or shape change to present interaction results. The reason that the interaction method is restricted because the vertical surface such as the wall surface and the door is static. In this paper, in this research, we propose a concept of shape-changing vertical surface beyond mere 2D interaction space. We implemented a first prototype that consists of 9 independently controllable and touch detectable blocks. DeformVerface operates as a vertical surface capable of pseudo deformation control in various vertical planes with 9 independently controllable block-shaped protrusions.

1. はじめに

人間とコンピュータが相互作用するインタラクションに関する研究は盛んに行われているが, 近年では形状変化型インタフェースも注目を集めており, 変形をインタラクションに用いている研究も多い. 形状変化型インタフェースでは従来は静的な物体に形状変化を取り入れることで, 新しいインタラクションや応用可能性を開拓している.

それらの研究の例として, テーブル型のデバイスを用いた研究 [2] や, スマートフォンを用いた研究 [4] [10], が挙げられる. このように様々な物体を形状変化させる研究が行われているが, 本研究では垂直面を用いたインタラクションに注目する. 垂直面の 1 つとして壁面を用いたインタラクション例は存在するが, 多くが壁面をスクリーンとしてプロジェクションマッピング技術を用いた視覚的なインタラクション [7] や, 形状変化を相互作用結果の提示にのみ利用している研究 [9] であった. その理由として, 壁面などの垂直面は本来は固定的なものであるためインタラクションの手法が制限されることが考えられる.

そこで本研究では変形制御可能な垂直面を用いた新しいインタラクションの提案を行うことを目的に, 動的に形状

¹ 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻 / Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

² 東京農工大学大学院 工学研究院 先端情報科学部門 / Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

a) ana9bota9ma@gmail.com

b) fujinami@cc.tuat.ac.jp

変化可能な垂直面デバイス DeformVerface^{*1}の開発を行う。開発デバイスはデバイス自身でユーザの手や物体の接触検知や接近検知なども行い、形状変化を視覚的なインタラクション以外にも利用できるように実装する。また開発デバイスは壁面やドアなどの汎用的な垂直面として動作可能なデバイスとする。

本論文の構成について述べる。第2章では、形状変化を用いた水平面や垂直面におけるインタラクションに関する関連研究を紹介する。つづく第3章では、本研究で提案するインタラクションを紹介し、第4章では、形状変化が可能な垂直面デバイス DeformVerface の設計を述べ第5章でその実装を述べる。第6章では今後の展望を述べて最後に第7章で結論を述べる。

2. 関連研究

Nakagaki, et al. は形状が変形する紐状のインタフェースを開発した [1]。様々な形状への変化を、3D モデリングの入出力やデータを可視化する表現法として利用することで、形状変化を利用した多彩なインタラクションの可能性を示した。

形状変化が可能な水平面デバイスを用いた研究として、Follmer et al. は、水平面で動作する形状変化デバイス [2] を開発し、形状形成や周辺物体をさせることで動的なアフォーダンスや制限、物体を移動させることで新しい相互作用の可能性を示した。また、Iwata et al. は、投影画像と連動して表面を変形させることで画像に触れた時に触覚のフィードバックが可能な水平面で動作する形状変化するディスプレイ [3] を開発した。これにより人間の指先の分解能の調査や触覚体験の提案を行った。また、垂直面デバイスを用いた研究として、Bin Yu et al. は、垂直平面上で動作する形状変化デバイスとして LivingSurface [9] を開発した。この研究ではデバイス付近にいるユーザの生体情報を形状変化を利用して提示する形状変化ディスプレイの提案を行っている。さらに、Kim et al. は、磁力の力で形状変化を行うタイル型デバイスを開発し日常中の物体や空間の表面を変化させることで新しい視覚的な表現法を提案している [5]。

上記の研究では、現在までも水平面におけるインタラクションのために様々な形状変化を用いた研究が行われているが、垂直面におけるインタラクションでは多くのものが形状変化をディスプレイとして視覚的に変化させている研究が多数である。本研究では、垂直面におけるインタラクションにおいて視覚的な表現以外に、アフォーダンスや触覚提供、周囲物体の動作を通して新しい垂直面インタラクションの可能性を開拓することが特徴である。

3. 提案インタラクション

本章では変形可能な垂直面を用いたインタラクションの設計について述べる。Iwata らの研究 [3] ではダイナミックアフォーダンス、コンストレイント、アクチュエートというモードを水平面で定義していたが、本研究では新しくディスプレイとジェネレートという2つのモードを追加し、水平面ではなく垂直面においてそれらを定義した。その結果、本研究では3.1節～3.3節の5つのインタラクションのモードを形状変化垂直面に導入する。

3.1 ダイナミックアフォーダンス

用途や状況に応じて形状や大きさを変化させることで動的にアフォーダンスの提示を切り替えるようなインタラクションをダイナミックアフォーダンスモードとする。変形制御可能な部屋の照明用スイッチを例として説明する。本来ではスイッチは静的なため常にユーザにスイッチとしてのアフォーダンスを提供しているが、電球が切れている場合でもそのアフォーダンスは提供される。しかし、本研究における形状変化可能な垂直面によって表現されたスイッチでは、スイッチの有無を切り替えることも可能であるため状況に応じてアフォーダンスの提供を変化させることが可能である。また形状変化可能なスイッチでは位置を変化させることが可能なため、ユーザの手の位置を認識し手の位置にあわせて移動することでスイッチへのアクセスの所要時間短縮にも繋がりユーザビリティの向上も図る。

3.2 コンストレイント

状況に応じて出現と非出現を切り替えることで、ユーザに直接的ではなく暗示的に制限を与えるようなインタラクションをコンストレイントモードとする。変形制御可能なドアノブを例として説明する。例えば、ユーザが部屋に入って欲しくない場合はドアノブを非出現状態にすることで、ユーザに暗示的な制限を与えることができる。さらにドアノブの出現位置の上下を変化させることが可能なため、ドアノブに手の届かない子供の入室制限といったことも可能となる。

3.3 アクチュエート

デバイスの変形により周辺にある物体を移動、操作するようなインタラクションをアクチュエートモードとする。インタフェースとして静的な物体を利用する従来の方法では困難である、周辺物体に作用するような新しい通知方法の提案を行う。例えば、傘を本デバイスに引っ掛けておいて雨の予報であれば傘を揺らす、落とすといった動作をすることでアンビエントな情報伝達が可能であると考えられる。また、スマートフォンやモニター等による通知と異な

^{*1} Deform と vertical, surface の造語

り実物を実際に動作させることでユーザに強く印象を与えることができると考えられる。

3.4 ディスプレイ

変形制御可能な垂直面は周辺環境に溶け込んで、アンビエントディスプレイとして動作させることも可能となる。このようなインタラクションをディスプレイモードとする。スマートフォンやパソコンと連携することで、それぞれの端末が受信したメールなどの通知を変形する壁面の変形状態でユーザに提示することができる。このモードは3.3節のアクチュエートモードとは異なり、デバイス形状そのもので情報の提示を行う。壁面によって通知することにより、広く視界に入りやすいという特性を活かして新しいディスプレイの場とすることができる。また、通知に対してユーザが確認等のアクションを起こした際に、形状変化を用いることで触覚のフィードバックを与えることが可能である。

3.5 ジェネレート

変形制御可能な垂直面を棚や台、手すりなどの任意の物体を模した形状に変形させて使用することができる。これをジェネレートモードとする。例えば、本を置く場所が欲しい場合などに任意の壁面や机の仕切りなどを変形させることで棚やモノを置く場所を作成できる。また、大きさが変わった場合なども任意の場所や大きさに簡単に変更することも可能である。

4. 垂直面デバイスの設計

実装する変形制御可能な垂直面デバイスの機能要件は3章に前述した提案インタラクションを満たすように設計した。その結果、1) 形状変形、2) 変形部位への接触検知、3) デバイスへの接近検知、4) デバイス間の連携、の4つを機能要件として定義する。

変形部位への接触検知機能は、3.1 変形部位への接触検知機能は、3.1 節で述べた形状変化可能なスイッチを実現する時のように、ユーザからの入力の有無を判定する必要があるようなインタラクションを実現する場合に必要な。同様に接近検知機能もユーザの手の位置によって振る舞いを変える必要があるインタラクションを実現するために必要となる機能である。またデバイス間の連携は領域拡張を容易にすることを目的とした機能である。

システム機能構成図を1に示す。図中のインタラクション状態とは、そのデバイスに設定しているインタラクションモードのことである。また、図中の連携変形機能は1台のみで動作する場合は使用しないが、変形させる領域が1デバイスよりも広い場合に他デバイスと連携するために使用する機能である。自分の形状データを相互に送信し合うことで1デバイス分の領域よりも広い範囲での形状変形可

能な垂直面を実現する。

本システムは、壁やドアといった様々な垂直面として汎用的に動作することを想定する。実際に使用する場合は、本システムを任意の垂直面に貼り付ける形で設置して変形する壁やドアを擬似的に表現する(図2)。様々な場面での使用を想定して、デバイス自体は多くのインタラクションに対応できるように実装しデバイスごとの振る舞いは外部の端末から行うことを想定している。また、壁面などの広い面積の垂直面を表現する場合に変形が必要な任意の領域だけを形状変化対応させたいため、必要な部分にだけ同じデバイスを複数台並べて使用し、複数台が集まり1つの形状変化可能な垂直面を表現する。

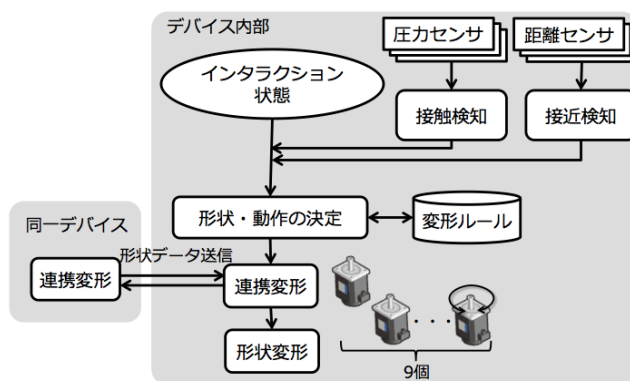


図1 システム機能構成

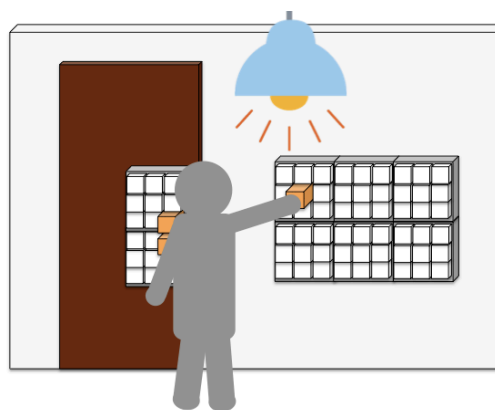


図2 壁面の一部を形状変化可能な垂直面とした例 (照明用スイッチとして動作)

垂直状態での変形方針について述べる。本デバイスは壁面に設置されたスイッチやドアノブを表現することを考えている。そのため、壁面が押し出たり通常状態に戻ったりする様子を表現可能な機構とする。これらを踏まえて本デバイスは垂直面に貼り付ける形で使用し、その時に垂直面に垂直になる方向に押し出すように変形する。押し出すように変形するときには連続的に変化し、任意の位置までの押し出しや引き戻すことを可能とする。デバイスには複数の独立して上下運動可能なブロックを並べることで様々な形

状に変形する。また 3.3 節で述べたアクチュエートモード時に変形部位の上に物体を置いて動作させることを考えているため、物体の変形部位上部は物体を乗せやすいように四角柱のブロックを採用する。

また本章で述べた接近検知の粒度は各ブロックごとに検知できることを目標とし、ユーザの手が接近すると手の正面にあるブロックが動作することを目指す。そしてデバイス間の連携については各デバイス同士が通信しお互いの形状をやり取りしあうことで、複数デバイスが連携して1つの形状を表現するといったことを可能とする。

5. プロトタイプシステム実装

5.1 変形機構

4章で決定したように、デバイスを垂直面に貼り付けた場合に垂直面とは垂直の方向に上下運動可能なブロックを配置することで、垂直面があたかも凹凸を作るように変形する様子を実現する。変形機構としてクランク機構や、空気圧を用いてブロックを押し上げるような機構を検討した。しかし、クランク機構は運動方向に対し水平方向にスペースが必要になり、デバイスサイズが大きくなることが想定できたため採用しなかった。また、空気圧を用いた機構の場合は外部にポンプの働きをするものが必要になることや、空気を入れたあとに元の状態に戻すために時間を要することが予想できたため採用しなかった。そこで、Iwataら [3] の機構を参考に後述の機構に決定した。3D プリントを用いてデバイス筐体、上下運動機構のためのボルトとナットを作成し、図3に示すようにステッピングモータでボルトを回しナットを上下運動させることでナットと結合されたブロック自体を上下運動させる。

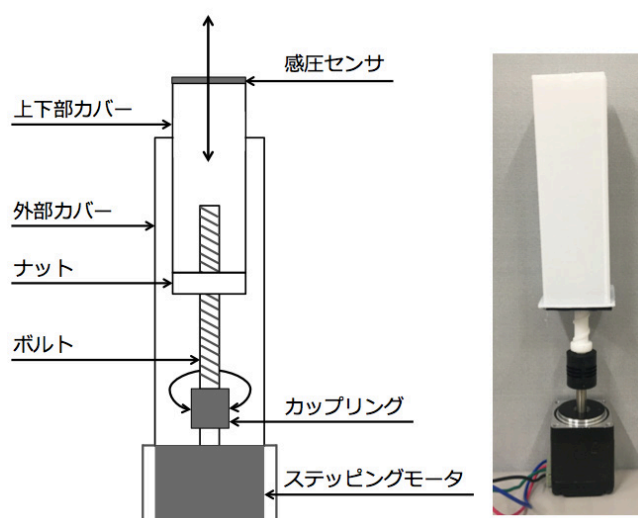


図3 変形機構 (左図：内部構造, 右図：実際の外観)

ステッピングモータは Pololu 社 [6] の縦横 28mm, 高さ 32mm のモータ (SY28STH32-0674A) を使用している。ボ

ルトのサイズはブロックを押し出した時の上部に物体を置くことを想定し十分に押し出すことができるように 90mm とした。デバイスに搭載するブロック1つにつき、モータやモータを制御するための小型モータドライバ (Easy-Driver [8]) が各1つずつ必要でデバイスサイズも大きくなってしまったため、汎用性も考慮し 3×3 の9つのブロックで構成した。開発したデバイスを壁面に設置して擬似的に変形可能な壁面とした様子を図4に示す。但し、本来は図中の木枠で囲まれた部分のみが開発デバイスの1ユニットとなり、壁面のような任意の垂直面の中に埋め込まれて使用されることを想定している。

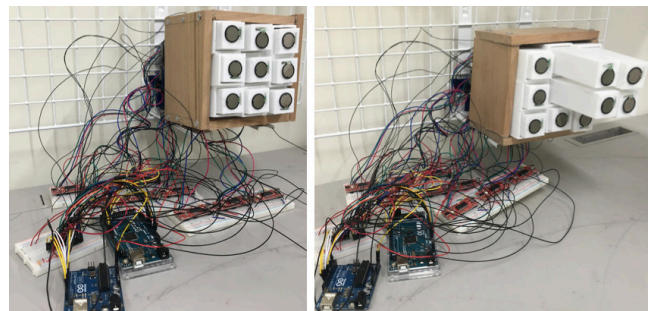


図4 プロトタイプシステム (左図：変形前, 右図：変形後)

ブロックサイズはブロック中で使用するステッピングモータの大きさにあわせて、1辺が 28mm の正方形とした。プロトタイプシステムは、ブロックを縦横ともに3つずつ並べるように設計しているため、1つのデバイス自体の大きさはデバイスを固定するための木枠を含めて縦横が1辺が 130mm, 高さが変形部位を一番低くした状態で 163mm となった。またデバイス自体の重さは 1718g になった。

デバイスの変形は、Arduino で形状変化後の形状を決定後、Arduino に接続されたブロック内部の9つのステッピングモータを制御することで、ボルトを回転させて上下運動させている。但し、1台の Arduino から同時に9つのステッピングモータ制御を行うと大幅にモータの回転速度の低下が見られたため、本プロトタイプでは2つ Arduino を用いて1台は5台のモータ、もう1台は4台のモータを制御するようにしている。2台の Arduino 間は I2C 通信を採用し5台のモータを制御している Arduino が親となり、4台のモータを制御する Arduino を子として実装している。

そして測定の結果、変形機構のブロックの移動距離は 70mm となった。Arduino ではモータを同時制御する場合、処理が分散してしまうため制御するモータ数が増加すると回転速度が低下してしまう。そのため、上下運動の変形速度は同時に動作させるブロック数によって異なるが 70mm の距離を上下運動するのに、最速となる1つのブロック動作の場合、30.2[mm/s]であった。最遅となる9つのブロックを同時動作の場合で、14.0[mm/s]であった。本システムでは様々な場面においてインタラクションを提供できるよ

うにすることを目的としているため、可能な限り上下運動の速度を向上させる必要があった。しかし、モータ速度の向上には限界があるため本システムでは使用しているボルトを自作し、その際にボルトのピッチを広くすることで少ない回転でも大きな移動距離を得る方法を選択した。3Dプリンタでボルトを自作する際にピッチ幅は2mm~10mmまで2mm刻みで作成した結果、最も安定し高速変形が可能となった8mmのピッチ幅とすることを決定した。ギアの原理を用いて高回転を得る方法もあるが、デバイスサイズは可能な限り小さくするためにこの方法を選択した。

5.2 接触検知部

現状では変形部位の先端部分への接触を検知するために、各ブロックの先端部に厚さ約0.8mmの薄膜フィルム感圧センサを配置した。上下運動の際に配線を巻き込まないようにするために、感圧センサからの配線はブロックの内部を通して。各ブロックに配置した感圧センサからの測定値はデバイス外にあるArduinoで集約してそれぞれのブロックへの接触検知を行っている。接触検知部はブロックが静止時と上下運動中で検出確認を行い、正しくユーザの接触を検知できていることがわかった。

6. 今後の展望

本プロトタイプシステムは、3章にて述べたインタラクションを実現するためのデバイスであるが、接近検知機能やデバイス間の連携機能が未実装である。今後、実際にインタラクションを実現しユーザへの提案を行うために未実装機能の実装を行う。未実装機能は、接近検知機能とデバイス間の連携機能である。接近検知機能については、赤外線距離センサをデバイスのブロック周辺に配置することで実現することを考えている。

また3章にて述べた各インタラクションモードを実現するためのデバイスの開発を行ったが、現状ではインタラクションモードの実装および、ユーザによる評価は実施していない。そのため今後は本章にて前述した未実装機能の実装を済ませてインタラクションの実装を行い、実際にユーザに使用してもらって使用感やインタラクションに対する評価を得るためにユーザ評価実験の実施を考えている。

7. おわりに

本論文では、垂直面におけるインタラクション提案のための形状変化可能な垂直面デバイスを開発した。開発したデバイスには変形機構を実装し、変形距離が70mm、変形速度が最速で30.2[mm/s]、最遅で14.0[mm/s]で変形可能である。またユーザのタッチも検知可能である。

今後の方針は、未実装である接近検知やデバイス間の連携機能を実装した上で、ユーザにインタラクションの体験をしてもらい変形可能な垂直面の優位性や応用可能性につ

いて議論する。

参考文献

- [1] Nakagaki et al. Lineform: Actuated curve interfaces for display, interaction, and constraint. In *Proc. of UIST'15*, pp. 333–339. ACM, 2015.
- [2] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii. inform: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. In *Uist*, Vol. 13, pp. 417–426, 2013.
- [3] 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*, pp. 469–476. ACM, 2001.
- [4] Sungjune Jang, Lawrence H Kim, Kesler Tanner, Hiroshi Ishii, and Sean Follmer. Haptic edge display for mobile tactile interaction. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3706–3716. ACM, 2016.
- [5] Hyunjung Kim and Woohun Lee. Kinetic tiles: modular construction units for interactive kinetic surfaces. In *Adjunct proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 431–432. ACM, 2010.
- [6] Pololu. Bipolar stepper motor. <https://www.pololu.com/product/1205>(閲覧 2017-12-24).
- [7] Garth Shoemaker, Anthony Tang, and Kellogg S Booth. Shadow reaching: a new perspective on interaction for large displays. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 53–56. ACM, 2007.
- [8] sparkfun. Easydriver. <https://www.sparkfun.com/products/12779>(閲覧 2017-12-24).
- [9] Bin Yu, Nienke Bongers, Alissa Van Asseldonk, Jun Hu, Mathias Funk, and Loe Feijs. Livingsurface: Biofeedback through shape-changing display. In *Proceedings of the TEI'16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 168–175. ACM, 2016.
- [10] 穴久保拓磨, 谷田佑貴, 藤波香織. steadophone: 安定把持を可能にする背面形状変化型スマートフォン. 情報処理学会インタラクション, 2017.