

ペタンコ麺棒：物体を潰して伸ばす麺棒型 VR インタフェース

中垣 拳[†] 今野 恵菜[‡] 田代 俊太郎[‡]
池澤 彩野花[‡] 木村 優作[‡] 仁義 勝[‡] 笥 康明[‡]

粘土遊びをする時、クッキー生地をこねる時、アルミ缶を潰すとき — モノをペタンコに潰すという体験は誰しにもあるだろう。物体を自由に変形させて潰してしまう行為には、独特の心地よさやワクワク感が伴う。本研究では、身の回りのどんな物体でも麺棒で粘土のように潰して伸ばしているかのような体験をバーチャルに提供するシステム、ペタンコ麺棒を提案する。このシステムでは、距離画像カメラで実物体の形状を取得し、麺棒型のインタフェースに取り付けられたクランク機構やブレーキによってその凹凸感や摩擦感をバーチャルに提示する。また、伸ばし台型のディスプレイに物体が潰れていく様子を投影することで、視覚的なフィードバックも行う。本論文では、このようなシステムの設計と実装、および展示を通じたユーザの反応について述べる。

Petanko Roller: A Rolling Pin Based Interface for Presenting Sensations of Rolling Out Virtual Objects

KEN NAKAGAKI[†] KEINA KONNO[‡] SHUNTARO TASHIRO[‡]
AYAKA IKEZAWA[‡] YUSAKU KIMURA[‡] MASARU JINGI[‡] YASUAKI KAKEHI[‡]

When playing with clay, mixing cookie dough, or smashing cans — everyone may have experienced smashing something and make them flat. To convert the shape of real objects by smashing includes some kind of pleasant feeling or excitement. In this research, we propose a system which users can feel the sensation of rolling out any object in real world with a rolling pin, named Petanko Roller. In this system, as detecting physical objects' shape with range camera, it can present haptic sensation of friction or unevenness of virtual objects with clunk mechanisms and breakages of rolling pin-based interface. Furthermore, by projecting the image of objects being smashed on the board-based display, it can also give optical feedback to users. In this paper, we discussed the system design, implementation, and behavior of users in exhibitions.

1. はじめに

粘土遊びをする時、クッキー生地をこねる時、アルミ缶を潰すとき — モノをペタンコに潰すという体験は誰しにもあるだろう。物体を自由に変形させて潰してしまう行為には、独特の心地よさやワクワク感が伴う。マンガやアニメなどにおいても、物体やキャラクターが大きなモノに押しつぶされてペタンコになってしまうなど実世界では簡単にはおこりえない現象の描写を目にすることも多い。その一方で、実世界においては、潰すことが難しい固さなど素材としての制約や、高価であったり、一つしかなく潰すと替えがきかないなどの理由から潰すことを躊躇するものが数多く存在する。

本研究では、潰すという行為に着目し、身の回りの

物体や人をなんでも粘土のように潰してしまうようなバーチャル体験の提供を目指す。具体的には、麺棒というクッキー生地などを潰して伸ばす道具に着目し、麺棒を模したデバイスによって、あたかも実物体をバーチャルに潰して伸ばしているかのような触覚および視覚を提示する（図1）。

筆者らは本デバイスをペタンコ麺棒と名付け、以下ではシステムのコンセプト、設計、実装および展示を通じたユーザの反応に関して述べる。



図 1: ペタンコ麺棒

[†] 慶應義塾大学 総合政策学部

Faculty of Policy Management, Keio University

[‡] 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

2. 関連研究

近年、バーチャルリアリティ（VR）分野において触覚の提示技術が注目を集めており、触覚を通してバーチャルに物体の存在を提示するシステムが数多く提案されている。その中でも、特殊な装置の装着や複雑な操作などに起因するユーザへの負荷を軽減し、直感的なインタフェースの提案がなされ始めている。

代表的な例として、吉田らの RePro3D¹⁾では、2つのモータとベルトで構成された触覚提示装置を指先に装着することで、立体映像のキャラクタに触れてインタラククションすることを可能にする。星らの Touchable Holography²⁾では、アレイ上に並べた超音波素子によって非接触に触覚提示を行う手法を提案している。

これらのようにインタフェースを出来る限り目立たない存在にして映像などのデジタル情報を直接触れるというアプローチに対し、普段の生活で手にするような道具をメタファとして利用することで、直感的な操作を促すというアプローチもある。例えば、古賀らのバーチャルチャンバラ³⁾は、回転する錘が急停止する際の慣性力で、チャンバラの「手ごたえ」を感じさせることができる VR システムで、プレイヤーが持つ刀が仮想的な敵とぶつくと反力を提示する。吉田らの Funbrella⁴⁾は、ダイナミック・スピーカの構造を利用して、実際の雨によって傘軸に発生する振動の記録とその再現が可能な傘型デバイスで、雨だけでなくその他様々な物体が傘とぶつかる振動が再現可能である。本研究もこのアプローチのもと、麺棒という道具に着目し、麺棒型デバイスを用いてクッキー生地のような柔らかい物体の形状や抵抗感などを触覚および映像によって提示することを目指す。

ペタンコ麺棒の主たる特徴の一つとして、物体の立体形状を触覚的に表現する点が挙げられる。同様に物体の立体形状を表現するシステムとしては、ピンディスプレイが挙げられる^{5) 6) 7)}。これらは、マトリクス上に並んだピンを上下に動かすことで情報を構成する実体ディスプレイである。ピンディスプレイでは、ピンはテーブル上に並べられるのに対し、本研究では、ピンアレイ構造をユーザが手に持つデバイス上に搭載する。デバイスの動かし方によって上下させることで、あたかも何か物体の上を転がしているかのような触覚を提示する。

3. ペタンコ麺棒の提案

3.1 概要

本研究では、身の回りのどんな物体でも粘土のように麺棒で潰して薄く伸ばしてしまうような感覚を提示するシステム、ペタンコ麺棒を提案する。本システムの基本的な体験の流れを以下に示す（図2）。

- ① 実世界に存在するペタンコにしたい物体を選び、物体の形状を計測する、
- ② 伸ばし台型ディスプレイ上で麺棒型デバイスを動かすことで、物体の凸凹および抵抗を感じる。麺棒型デバイスを介して映像の物体に力を加えることで、その力の大きさや向きに応じて物体が伸び、やがてペタンコになる。
- ③ 最後に、お土産としてペタンコにした薄い物体を持ち帰ることができる。

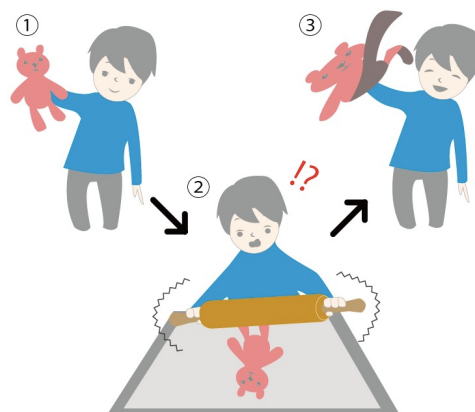


図 2: 体験の流れ

3.2 システム設計

図3に示すように、ペタンコ麺棒のシステムは、麺棒型デバイス、伸ばし台型ディスプレイ、PC、マイ

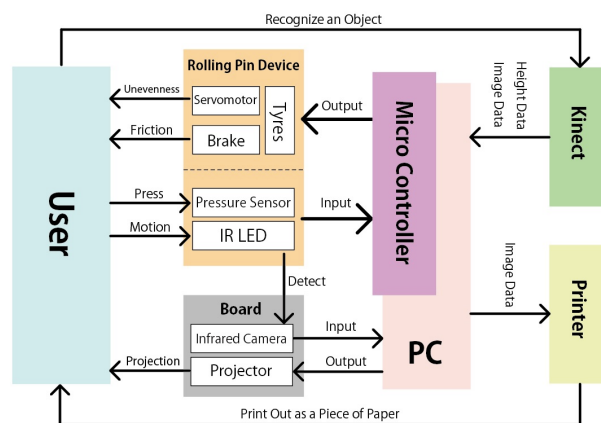


図 3: システム図

コン、物体形状を計測するための距離画像カメラとして Kinect、およびお土産として潰れた物体を印刷するためのプリンタによって構成される。

システムの処理は大きく 3 つの段階に分かれる。一つ目は、潰したい実物体の高さデータの取得である。二つ目は、ユーザによって実際に潰して伸ばす体験をする。そして最後に、潰れた物体を印刷して持ち帰るという段階である。以下、一つ目および二つ目のフェーズの詳細な設計に関して述べる。

3.1 Kinect による実物体データの登録

まず、潰したい実物体の形状を計測する Kinect のデータ処理について述べる。Kinect は伸ばし台の上部約 100cm の位置に鉛直下向きに固定し、台の上に置いた物体の形状を計測する。入力された距離データに基づいて、PC で高さデータを生成・記録する。各ピクセルの高さは、伸ばし台の天板の高さを 0、その物体の最も高い部分を 255 とし、その間を 256 段階で記述する。

これに加え、Kinect で撮影したカラー画像から高さ情報を用いて物体部分のみを切り出した画像を保存する。

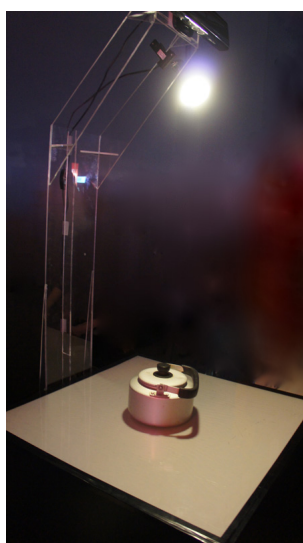


図 5: Kinect による形状計測



図 6: 計測された高さデータおよび物体の抽出

3.2 麺棒型デバイス

次に、触覚提示を行う麺棒型インタフェースについて述べる。上述の通り、麺棒型インタフェースは、バーチャル物体の凹凸感の提示、および伸ばす際の抵抗感の提示を行う。

このためのデバイス設計を図 6 に示す。本デバイスは、下部にタイヤおよびブレーキ、上部にサーボモータが接続されたクランクモジュールが複数個並列に配置される。また、麺棒に加えられた力を認識するための圧力センサが持ち手部分に、さらに麺棒の動きを認識するための赤外線 LED がデバイス底部に設置する。

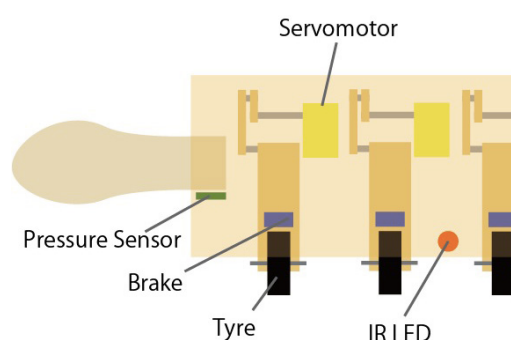


図 4: 麺棒型インタフェースの設計

実際の麺棒を転がす際には、麺棒が物体の形状に合わせて各部が上下に動く。この状態をバーチャルな物体に対しても表現するために、本システムでは高さデータとデバイスの位置関係に応じて、デバイスの各部のサーボモータを制御し、各クランクを個別に上下させることで、物体の凹凸感を再現する。

また、麺棒で実際の物体の上を転がす際には、麺棒と物体との間に摩擦力が発生する。これをバーチャルに表現するため、前述のタイヤにサーボモータによってブレーキをかける。この機構によりタイヤとサーボモータのアームの間に発生する摩擦力が物体との摩擦力であるように体験者に感じさせる。また、物体の形状が急に高くなった場合にも、摩擦力を大きくすることで、形状変化による抵抗を提示する。

今回は、麺棒型インタフェースは長さ 58cm とし、両端の持ち手部分はそれぞれ 9cm とした（図 7、図 8）。この実装ではデバイスには、7cm ごとに 5 つのクランクモジュールを設けた。サーボモータには GWS 製のものを利用していて、それぞれの製品はクランクモジュール用の 03T/2BBMG/JR、ブレーキ用の PICO/STD/F である。クランク機構を含まないデバイス自体の太さは直径 104mm で、この太さから最大 30mm の上下幅を提示可能である。



図 7: 麺棒型デバイス外観

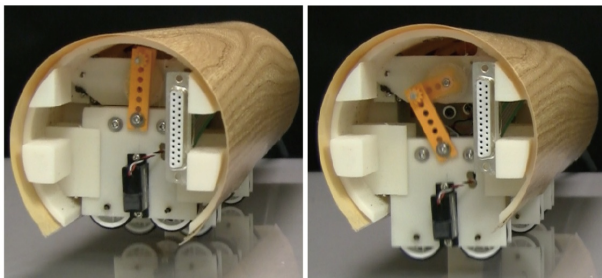


図 8: デバイスの高さが変化する様子

3.3 伸ばし台型インタフェース

次に、麺棒型インタフェースを転がす場所にあたる伸ばし台型ディスプレイについて述べる。本システムでは、映像による視覚的フィードバックおよびディスプレイ上に置かれた麺棒型インタフェースの位置の取得を行う。伸ばし台型ディスプレイの構成を図7に示す。プロジェクタ、赤外線カメラ、鏡、および天板部分のスクリーンから構成される。

プロジェクタにより、物体の画像を伸ばし台のスクリーンに表示する。物体が伸びてつぶれていくのに応じて、投影される物体の映像も変形し、触覚のみならず視覚的なフィードバックの役割を果たす。

また、赤外線カメラによって、麺棒型デバイスに内蔵された2つの赤外線LEDモジュールを検出することで、デバイスの位置をリアルタイムに認識し、それぞれのクランク機構の位置制御に用いる。図8に赤外線カメラによる赤外線LEDの検出の例を示す。

今回実装した伸ばし台型ディスプレイは、幅、奥行き、高さがそれぞれ70×70×90cmである。

3.4 触感提示のアルゴリズム

物体が潰れて薄く伸びていくような感覚を提示するためのアルゴリズムについて述べる。実際に麺棒に付与される力は、物理シミュレーション等の高度な計算・処理で導出することも考えられるが、今回は簡単のため、独自のシンプルなアルゴリズムを用いた。

バーチャル物体の変形処理のためには、麺棒型イン

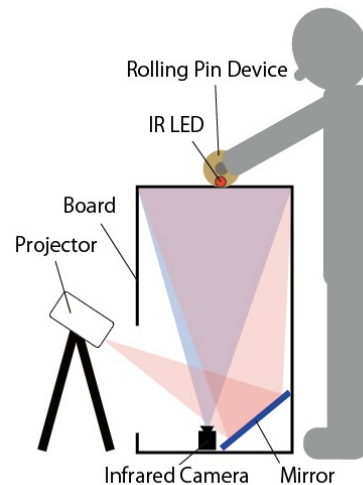


図 7: 伸ばし台型ディスプレイの設計

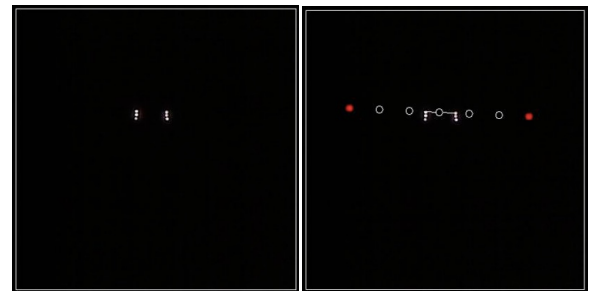


図 8: 赤外線カメラによる認識

(左: カメラ取得データ・右: 算出した各機構の位置)

タフェースの位置、形状データ、デバイスの持ち手に内蔵された圧力センサの値を入力として用いる。

物体の画像および高さデータを引き伸ばす処理として、まず読み取った物体画像を60×60のグリッドに分割する。圧力センサから閾値以上の値が入力され、かつ麺棒型インタフェースの位置に対応するバーチャル物体の高さがある閾値以上の場合に、上記の入力データに応じてテクスチャグリッドの各頂点をそれぞれ動かし、物体が伸びているような表現を行う。具体的には、麺棒型インタフェースの端点を結ぶ軸に対して垂直かつ、遠ざかる方向に座標を移動する。移動の量は、①デバイスとの距離・②座標に対応する位置の高さ・③検知した圧力に応じて変化する。

物体が薄くなる処理としては、同様の入力データも用いて、0~255の256段階で記述された形状データを動的に薄くしていく。これらの処理によって物体がだんだんと大きく、一定の薄さになっていき、最後にはそれ以上伸びなくなる。これらを前述の麺棒型デバイスと伸ばし台による触覚および視覚提示として動的に適用していく(図9)。

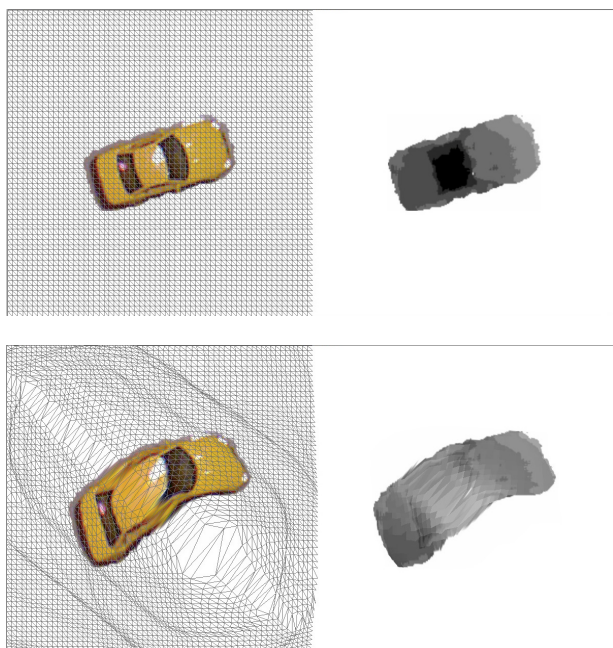


図 10: 変形処理の様子

4. 展示の様子とユーザの反応

本システムはこれまでに、一般のユーザ向けにいくつかの展示を行ってきた。具体的には以下の展示会で体験の場を設けた。

- ・第 19 回国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト (IVRC2011) (2011 年 10 月 8～9 日, 日本科学未来館),
- ・デジタルコンテンツ EXPO (2011 年 10 月 20～22 日, 日本科学未来館),
- ・いしかわ“夢”未来博 (2011 年 10 月 29～30 日, 石川県産業展示館),
- ・慶應義塾大学 SFC Open Research Forum2011 (2011 年 11 月 22～23 日, 東京ミッドタウン)

展示での体験の流れについて以下に述べる。体験のはじめには、“ペタンコ麺棒では何でも潰すことができます。何を潰したいですか？”という問いかけを行い、潰したい物体を選んでもらう。これまでの展示ではサンプルとして、車のおもちゃ・ヤカン・ぬいぐるみ・スニーカーなどを用意した。これ以外にも、体験者が持参したモノを用いることもできる。

物体を潰すフェーズでは、はじめは物体の触覚を感じてもらうために、力を入れずにゆっくりと麺棒型デバイスで物体の上を転がしてもらった。その後、実際に麺棒に力を入れて物体を薄く伸ばしてもらう。力の入れ具合や麺棒型デバイスを動かす方向によって潰れ方が変わり、ある程度均等に薄く伸びれば体験は終了

となる。いくつかの展示では、最後にペタンコに潰した物体を紙（カード）に印刷して、お土産として持ち帰ってもらった（図 10）。

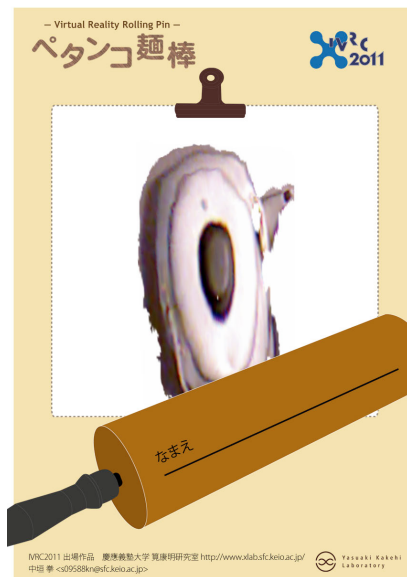


図 9: 印刷したカードのデータ

体験者の感想を収集するために、いしかわ“夢”未来博において、体験者にアンケート調査を行った。“ペタンコ麺棒を通してモノをつぶす感覚を感じ取れましたか？”という問いに関して、5段階評価（1.全然感じなかった, 2.あまり感じなかった, 3.どちらでもない, 4.まあまあ感じ取れた, 5.とても感じ取れた）の設問を行い、平均 4.51, 分散 1.06 という回答を得た。これに関連して、“感じられた場合には、モノをつぶす感覚を得た要因は何ですか？（複数回答有り）”という問いに対して、4 項目（1.画像が伸びていく様子[視覚], 2.手に伝わる凸凹感[触覚], 3.わからない, 4.その他）の選択肢を用意したところ、回答者 93 名のうち、視覚を選択したのは 39 人で全体の 44%, 触覚を選択したのは全体の 86%, わからないが 1 人で全体の 1%, その他と答えた人はいなかった。これらのデータにより視覚と触覚の複合的な提示が、何かを潰している感覚をある程度表現できていると言える。

この他、“ペタンコ麺棒を用いて物体をペタンコにする体験は楽しかったですか？”という問いに対して、5 段階（1.全然楽しくなかった, 2.あまり楽しくなかった, 3.どちらでもない, 4.まあまあ楽しかった, 5.とても楽しかった）の回答項目を用意したところ、平均 4.7, 分散 0.34 という結果であった。

次に、展示における体験者の行動や意見について述

べる。まず、体験者が潰す対象として選んだモノに関しては、予め用意したサンプルの中では本来は固くて変形が困難な車のおもちゃやヤカンなどが比較的多く選ばれた。また、体験者の私物としては、カバンやカメラなどを選ぶ人が多く、自分自身や同伴の人などの身体部位を選ぶ体験者も多かった。

触感を確かめるフェーズにおいては、麺棒型インタフェースが画像の上に重なった瞬間に高さが変わることによって驚く姿が多く見られた。また、だんだんと物体が伸びていく感触が気持ちいいという意見も多く聞かれた。また、特に潰す物体として顔などの身体部位を選択した場合に、伸ばしていくことで顔の形や表情が変わっていくという視覚的変化を楽しむ様子が見られた。

一方で、認識する物体が小さかったり、凹凸が少ないものを選択した場合には触覚的变化が分かりにくいという意見も聞かれた。この理由としては、Kinect による形状認識を行う際の距離分解能では細かい凹凸の情報が十分に認識できないという点が挙げられる。また、表面の反射率が高かったり、透明な物体の場合には、Kinect の赤外線を反射／透過してしまい、形状認識がうまくいかない例もあった。



図 11: 体験者の様子

5. まとめと今後の課題

今回筆者らは、身の回りのどんな物体でも麺棒で粘土のように潰して伸ばす感覚を提示するシステム、ペタンコ麺棒を提案した。

今後の課題としては、まず、よりリアリティの高い触覚／視覚提示のために、物理演算等のシミュレーション手法を導入することが考えられる。また、粘土の他にも、様々な素材感を触覚として提示できるようなアルゴリズムおよびデバイス設計の検討も考えられる。また、多彩な触覚を再現するために、持ち手部分への振動スピーカの内蔵などハードウェアの構成の追加／変更や、クランクの上下幅をより大きく、よりデバイ

ス自体を小型化できるようなデバイス設計を目指す。

また、4.でも述べたような Kinect の物体認識の問題も解決すべき課題である。解像度の高いカメラと距離カメラの併用や、画像処理アルゴリズムの改善によって物体認識の精度をあげたい。

また、今後は本システムの応用として、麺棒型デバイスによるその他の触覚提示アプリケーションも提案していく。具体的には、視覚的に伝わりにくい情報を触覚的に表現するような手法として地図の標高を提示するようなアプリケーション、エンタテインメントコンテンツとしてゲーム性のあるアプリケーションなどを提案していく。

謝辞 本研究の一部は JST CREST「強制社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術の構築と実践」による助成を受けた。また、本研究をまとめるにあたり、日本バーチャルリアリティ学会アート&エンタテインメント研究委員会の論文化ワークショップで貴重なご意見を頂いたことに感謝する。

参考文献

- 1) T. Yoshida, S. Kamuro, K. Minamizawa, H. Nii, and S. Tachi: RePro3D: Full-Parallax 3D Display Using Retro-Reflective Projection Technology, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies, 2010.
- 2) T. Hoshi, M. Takahashi, K. Nakatsuma, and H. Shinoda: Touchable Holography, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2009, Emerging Technologies, 2009.
- 3) D. Koga, T. Itagaki: Virtual Chanbara, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002, Emerging Technologies, 2002.
- 4) A. Yoshida, Y. Itoh, K. Fujita, M. Ozaki, T. Kikukawa, R. Fukazawa, Y. Kitamura, and F. Kishino: Funbrella: making rain fun, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2009, Emerging Technologies, 2009.
- 5) 仲谷正史, 川上直樹, 館暲: 高密度ピンマトリクスを利用した触覚ディスプレイのピン径・ピン間隔と形状認識率の基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 14(3), pp.395-398, 2009.
- 6) D. Leithinger, and H. Ishii: Relief: a scalable actuated shape display, Fourth international Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '10), 2010.
- 7) M. Blackshaw, D. Lákatos, A. Devincenzi, D. Leithinger, and H. Ishii: Recompose: Direct and Gestural Interaction With an Actuated Surface, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2011, Emerging Technologies, 2011.