

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700128

研究課題名（和文） 素材の形状変化を用いた入出力インタフェースの研究

研究課題名（英文） A Study on Input/output Interfaces Utilizing Metamorphoses of Physical Materials

## 研究代表者

筧 康明（KAKEHI YASUAKI）

慶應義塾大学・環境情報学部・准教授

研究者番号：40500202

## 研究成果の概要（和文）:

本研究では、実世界とデジタル世界をシームレスに結ぶために、物理的な素材の形状変化や特性を用いた入出力インタフェースを創出する。具体的には、(1) 紙などの身近な素材を用いて「動かす」「押す」「つまむ」など多様な操作を許容する入力インタフェース、(2) アレイ状に並んだシャボン膜や風船膜の膨張・収縮による実体ディスプレイの開発を行った。さらに、具体的な応用を提案し、展示を通してユーザの反応を集めた。

## 研究成果の概要（英文）:

In this project, we propose input and output interfaces utilizing metamorphoses of physical materials for connecting the physical world and the digital world seamlessly. Concretely, we have developed (1) input interfaces that can manipulate digital information by various actions including “moving” or “pushing” or “pinching” our familiar materials such as paper and (2) substantial displays using expanding and contracting of soap bubbles and air balloons arranged in a 2D array setting. Moreover, we have implemented applications on these systems and collected users’ feedbacks through exhibitions.

## 交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2011年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2012年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 総計     | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインターフェイス、複合現実感

## 1. 研究開始当初の背景

コンピュータやネットワークインフラの普及・整備に伴い、我々はモニタの中の世界にアクセスすることで多くの問題を解決することが可能になった。このような技術革新に伴い、情報世界は実世界と同様にその重要性を高め、より直感的/より汎用的に実世界と情報世界を行き来するためのインタフェースが強く求められている。

実世界とデジタル世界という2つの世界をシームレスに結びつけるアプローチとしては、2つの方向性が挙げられる。一つは、実世界情報を用いてデジタル世界を豊かにする（扱いやすくする）アプローチであり、もう一つはデジタル情報を用いることで実世界を拡張するアプローチである。本研究では、単に電子デバイスを実世界の中に普く埋め込むだけではなく、我々の身近に存在する多

様な素材をデジタル環境にアクセスするためのインタフェースとして用いるメディアデザインを考える。実世界中の身近な素材の特性や形状変化をインタラクションを取り込むことで、ユーザにとって親しみやすい/肌触りの良いインタフェースが実現されると共に、システムにとっても電子デバイスのみでは扱えなかった多様な情報を扱うことが期待される。

## 2. 研究の目的

このような背景のもと、本研究では大きく3つの目的を設定した。

一つ目は、素材の形状や性質の変化を「認識」することで入力インタフェースとする技術の開発である。

二つ目は、素材の形状や性質を「制御」することで情報提示メディアを創出することである。現在主流であるプロジェクタやモニタなどの発光デバイスではなく、実世界の素材を活かして、環境により調和する形での情報提示の仕方に関する提案を行う。

三つ目は、それらの、またはそれらの組み合わせによる実世界中でのインタラクションの創出である。単に入力あるいは出力装置として機能するだけではなく、相互作用を念頭に入れて設計する点を本研究の特徴とする。

特に、素材として既に身近に存在するものに注目し、その対象の特性を積極的に活かしたインタラクティブメディアの開発を目指す。これにより、日常生活において実世界とデジタル世界の結びついた利用環境の構築を目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 素材の変形や特性を利用したタンジブルな入力インタフェースの開発

デジタル情報に対して「触る」「くっつける」「押す」「つまむ」「ひっぱる」という多様な入力を可能にするタンジブルインタフェースを開発する。

素材としては、透明弾性体(シリコンゴム)や、紙(スクリーン)などの身近で柔らかいモノに注目し、電気的な加工を施すことなく、折り曲げや押し込みなどの状態を取得し、インタラクションの入力として利用する。さらに、特殊な装置や仕掛けによるユーザへの違和感や負荷を与えない形でのハードウェアの設計を目指す。

### (2) 素材の変形制御による実体型情報ディスプレイの開発

素材の形状や状態をコンピュータで制御し、それらを物理的な「ピクセル」と見立てることで、情報を表示するディスプレイシステムを開発する。

この研究においても、素材として、シャボン膜や風船など身近に存在するモノに着目し、空気等でその形状をコントロールすることにより、ピクセルを構成する。このピクセルを並べて空間中に配置することで、「環境に溶け込む」情報表現の提案を行う。

### (3) インタラクティブ表現の提案と展示体験を通じたユーザの反応の調査

このような研究成果は、ユーザが実際に体験することにより、初めてその真の意義が伝わることになる。この意味において、本研究では、機能と表現を融合させるアプローチを採る。積極的にデモ展示発表を行い、ユーザからのフィードバックを得るという点を特徴とする。ここで、体験者に対して明確なメッセージを伝えるためには、表現・デザイン面での洗練が必要不可欠である。この点に関しても期間を通して取り組む。

## 4. 研究成果

3. で述べた研究の方法に対応して、研究成果について述べていく。

### (1) 素材の変形や特性を利用したタンジブルな入力インタフェースの開発

素材の変形や特性を利用した入力インタフェースとして、いくつかの素材を用いたシステムを開発した。

まず、研究代表者が従来から開発してきた透明弾性体と透明マーカを用いて画像処理により力覚情報を取得するインタフェース ForceTile の基本原理を用いて、インタフェース面に投影された映像を操作するなど、弾性体素材の変形を利用した柔らかいタンジブルインタフェースの応用可能性について検討を行い、アプリケーションを実装した。

次に、より簡易な機構で多様な入力を許容するインタフェースとして、紙の折り曲げやゆがみ具合をリアルタイムに識別し、さらに映像をその表面に投影することにより入出力インタフェースとして機能するシステム Metamorphic Light (図1)を開発した。これは、アクティブステレオ法という画像処理手法を用いて、システム内部に設置されたプロジェクタから参照線を投影し、それをカメラ



図 1: Metamorphic Light

ラで撮影し、画像処理によって形状を割り出す。その形状に応じて、スクリーンに投影する映像を切り替えることにより、「押す」「ひねる」「吹く」などという入力に対応した映像とのインタラクションを可能にした。さらに、動画鑑賞や自由視点画像表示、およびゲームなどのエンタテインメントアプリケーションに関して実装を行った。

さらに、紙の表面に印刷された情報に着目して、紙の動きや組み合わせによってデジタル情報を操作する入力インタフェースに関して検討・開発を行った。具体的には、音楽の五線譜が印刷された紙楽譜に注目し、その音符等の位置から、楽譜の種類、位置、向きを画像処理によってリアルタイムに検索・検出するものである。カメラとプロジェクタが内蔵された卓上ランプ型のデバイスの下に紙楽譜をかざすと、その位置に応じた音響が生成される。楽譜画像検索のためには、LLAH (Locally Likely Arrangement Hashing) の手法を応用し、事前に登録された楽譜画像との照合を行うこととした。この手法は、紙の一部が手などで遮蔽されても、ロバストな認識が可能であるという特徴があり、紙楽譜をちぎってつなげると楽曲の編集ができるなど、紙の実体性を活かした直感的なインタラクションを実装した。



図 2: onNote

## (2) 素材の変形制御による実体型情報ディスプレイの開発

素材の形状や状態をコンピュータで制御し、それらを物理的な「ピクセル」と見立てることで、情報を表示するディスプレイシステムに関して、伸縮可能な素材を用いて設計・実装を行った。

まず、シャボン膜の膨張・収縮をピクセルの単位とするディスプレイ Shaboned Display の開発を行った。シャボン膜は空気を送り込むことで簡単に球形を構成する一方で、簡単に割れ、その形状が失われる。また、一見透明の表面の色も重力によって生じる膜の厚みの差や外光に応じて変化するなど、見た目の美しさや多様性も重要な特徴である。本研

究では、このような特徴を活かし、シャボン膜アレイを用いた実体ディスプレイを開発した。このために、シャボン膜を連続して膨張・収縮させる機構および、膜自体を貼るための機構を開発した。具体的には、空気を送り込むためのポンプや、ポンプを制御するためのマイクロコントローラ、噴出口の先端を開閉して膜を貼るためのソレノイドやスポンジなどで構成される。二次元アレイ状に並べた噴出口で、シャボン膜の膨張状態と収縮状態を制御することで、全体として動的なパターンを生成する(図3)。

また、「触れなくなる」「壊したくなる」というシャボン膜の素材特徴を活かして、シャボン膜の破裂を入力とするタッチインタフェースとしての機能を実装した。これは、破裂という現象を演出により強調すると共に、鑑賞者によるインタラクションへの積極的な参加を促す仕組みと位置づける。本システムではシャボン膜の導電性を利用した電氣的なアプローチを採った。シャボン膜の噴出口付近の2箇所に電極を配し、破裂前後の電位差を測ることで、タッチイベントを検出する。破裂に連動して音響が生成されるアプリケーションなど、インタラクティブな応用の検討と実装を行った。



図 3: Shaboned Display

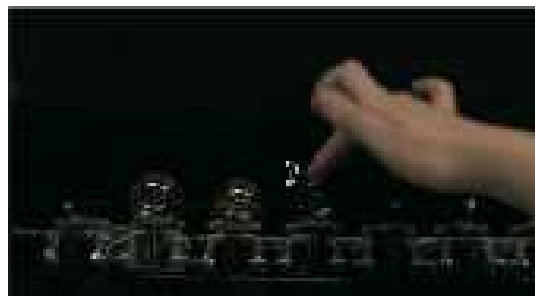


図 4: Shaboned Chime

また、同様に膨張・収縮の現象を利用して、風船の膜を利用した実体ディスプレイの開発にも取り組んだ(図5)。アレイ状に並べられた風船膜を空気ポンプにより膨らませたり、萎ませることで、情報を表現する。素材



として、表裏に異なる色を配した風船を用いることで、各ピクセルが膨張時と収縮時とで異なる色に変化するという特徴も付与した。本システムに関しては、風船内部に気圧センサやタッチセンサ等を配置して、風船へのタッチ入力を検出する機構に関する検討を行った。



図 5: 風船膜アレイを用いた  
実体ディスプレイ

### (3) インタラクティブ表現の提案と展示体験を通じたユーザの反応の調査

上述したインタフェースおよびインタラクティブディスプレイは、学会等の専門家へのプレゼンテーションに加えて、毎年開催される慶應義塾大学 SFC Open Research Forum、慶應義塾大学 SFC XD eXhibitionなどの機会を利用して、一般の体験者向けの展示発表を積極的に行った。

これらの発表を通して、体験者からは、「つい触りたくなる」「かわいい」など、装置が行動や感情を誘発するという意見や反応が得られた。このような素材の利用によるインタラクションへの引き込みや活性化という側面での考察を行い、国際会議等での報告を行った。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

[1] 平山 詩芳, 筧 康明: “アート表現のためのシャボン膜を用いたタッチ入力可能な実体ディスプレイ”日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 469-477, (2011.9)

〔学会発表〕(計 10 件)

[1] Shiho Hirayama and Yasuaki Kakehi: “Shaboned display: An interactive substantial display using expansion and explosion of soap bubbles”, 4th AHFE International Conference 2012, (2012.7.23),

San Francisco, USA.

[2] 平山 詩芳, 筧 康明: “シャボン玉を用いた儚いディスプレイ”, 日本感性工学会「かわいいう人工物」研究部会シンポジウム, 2012.6.2, 東京.

[3] Yusuke Yamamoto, Hideaki Uchiyama and Yasuaki Kakehi: “onNote: Playing Printed Music Scores as a Musical Instrument,” ACM UIST2011, pages 413-422, 2011.10.18, Santa Barbara, USA.

[4] 山本 祐介, 筧 康明: “onNote における紙楽譜をインタフェースとする音楽演奏手法”, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会, 14B-2, 2011.9.20, 函館.

[5] Yusuke Yamamoto, Hideaki Uchiyama and Yasuaki Kakehi: “onNote: A Musical Interface Using Markerless Physical Scores,” ACM SIGGRAPH2011, Posters, 2011.8.9-10, Vancouver, Canada.

[6] Yukiko Makino and Yasuaki Kakehi: “Metamorphic Light: A Tabletop Tangible Interface Using Deformation of Plain Paper,” ACM SIGGRAPH2011, Posters 2011.8.9-10, Vancouver, Canada.

[7] 山本 祐介, 内山 英昭, 筧 康明: “紙楽譜を用いた演奏メディア onNote のためのマーカレス楽譜認識の提案”, 情処研報 EC, 2011-EC-19(5), 1-6, 2011.5.13, 筑波.

[8] 山本 祐介, 内山 英昭, 筧 康明: “onNote: カメラ画像による紙楽譜認識を用いた演奏メディア”, 情報処理学会インタラクション 2011, 4INH-1, 2011.3.12, 東京.

[9] 牧野 由樹子, 筧 康明: “Metamorphic Light: 紙の変形と張りをを用いた映像操作インタフェースの検討”, 情報処理学会インタラクション 2011, 4INH-13, 2011.3.12, 東京.

[10] 平山 詩芳, 木村 孝基, 筧 康明: “シャボン膜の膨張・収縮・破裂を用いたインタラクティブ実体ディスプレイの提案”, エンタテインメントコンピューティング 2010 2010.10.24, 京都.

〔その他〕

ホームページ

<http://www.xlab.sfc.keio.ac.jp/>

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

筧 康明 (KAKEHI YASUAKI)  
慶應義塾大学・環境情報学部・准教授  
研究者番号：40500202