

# Metamorphic Light : 紙の変形と張りを生じた映像操作インタフェースの検討

牧野 由樹子<sup>†</sup>      笥 康明<sup>‡</sup>

本研究では、電子デバイスやマーカを取り付けることなく紙の変形を計測し、その変形を映像操作に利用した入出力インタフェースを提案する。これは、物体に直接映像投影を行うことで拡張現実感を体験する際につきまとう、特殊な装置の装着やディスプレイを介することによる不自由さ・不自然さを解消し、より自然なインタラクションを促す。今回は、アクティブステレオ法を用いて変形を取得し、紙の特性である変形の容易さと、素材の有する張りを活かした映像操作インタフェースを実装した。このシステムでは、紙をつついたり、なでたり、息を吹きかけたりして紙を変形させることで動的に映像が変化する。ただの紙が映像を操作するためのインタフェースとなり、人に情報を直接操作する体験を提供する。

## Metamorphic Light : A Basic Study on a Video Interface Using Deformation and Stiffness of Plain Paper

YUKIKO MAKINO<sup>†</sup>      YASUAKI KAKEHI<sup>‡</sup>

This study provides an (output and input) interface which uses the transformation of paper which has no electronic devices or markers. By projecting the image directly on the material, it will get rid of the inconvenience and the unnatural feel when using special equipment in augmented reality.

We have made a manipulatable image interface by reading deformation of paper using an active stereo method. This utilizes tension of the material and the characteristics of paper which is easy to transform. In this system, the projection image changes by picking, stroking and blowing. An ordinary paper becomes an image interface and will provide an experience where users can directly manipulate information.

### 1. はじめに

Augmented Reality (AR) 技術は、スマートフォンを用いたアプリケーション等の登場により、いよいよ我々の日常生活の中にも浸透してきた。しかし一方で、AR アプリケーションを体験する際には、Head-Mounted Display (HMD) やモバイルディスプレイを介することを必要とするものが多く、ユーザが不自然さや拘束感を感じることも多い。

このような制約を解放する手段の一つとして、Spatial Augmented Reality [1] が挙げられる。これは、実空間に直接映像を投影することで、モノそのものを拡張する技術である。モノ自体には電氣的・機械的な加工を施すこと無く、それらに関連した情報提示を動的に行えることから直感的なアプローチと言えるが、一方でその情報をどのように操作するかが重要な課題となる。このためには、モノの位置や向き、組み合わ

せなどが一般的な操作のキーとして考えられるが、これらに加えてモノ自体の変形を入力として扱うことができるならば、タンジブルインタラクションとタッチインタラクションの両方の要素を兼ね揃えたより直感的な操作を提供できると考える。筆者らの研究グループでは、このような考え方のもとでこれまでに ForceTile [2] や ARForce [3] など、ゲル状素材のパネルを用いたインタラクティブな情報提示ツールを開発

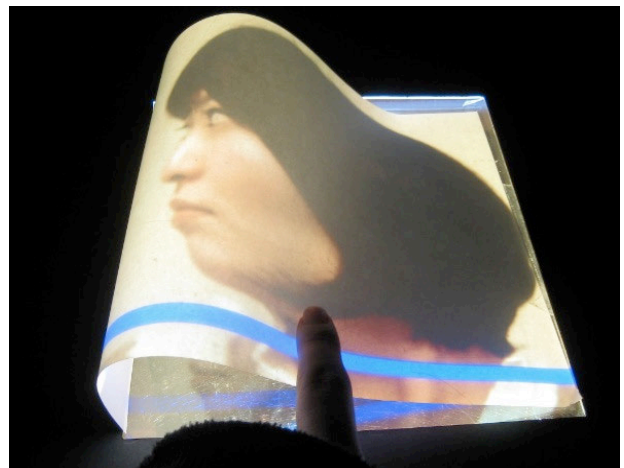


図 1: Metamorphic Light

<sup>†</sup> 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

Graduate School of Media and Governance, Keio University

<sup>‡</sup> 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environment and Information, Keio University

してきた。今回はさらに、紙という我々の日常によりありふれた素材を用いて新たなタンジブル映像操作インタフェースを提案する。

本研究では、紙の位置に加えて、変形をリアルタイムに認識することで、入力をオン/オフといった二値の信号ではなく、連続的な信号として扱うことを可能にする。さらには、インタフェースとなる紙自体に映像を投影することで、入力そのまま出力となり、出力が入力につながるという直感的なインタラクティブな操作が期待される。筆者らは、本システムを *Metamorphic Light* と名付け、以下で関連研究を整理した後に、*Metamorphic Light* の概要、および実装システムに関して述べる。

## 2. 関連研究

まず、本研究に関連する研究として、紙や小型のスクリーンを映像操作インタフェースとして利用した事例を挙げる。UlteriorScape[4] や Spindler らの研究 [5] では、テーブル型ディスプレイの上にかざされた小型スクリーンにテーブル上とは異なる映像を投影できる。これらの研究では、入力として小型スクリーンの位置や姿勢のみを用いている。一方、SecondLight [6] や、on the fly [7] では、上記の要素に加え、小型スクリーンを指で触れることによるタッチ入力を可能にしている。これらの研究では、インタフェースとなる紙やスクリーンは平面のまま、それ自体を変形させる取り組みは行われていない。また、認識のためにマーカーや電子的な仕掛けをインタフェースに取り付けている点も本研究のアプローチと異なる。

映像スクリーンとなる素材を変形させることで映像を操作する作品として *Illuminating Clay* [8] や *Khronos Projector* [9] が挙げられる。これらは、スクリーンとなる素材の形状変化に応じて投影する映像を動的に変化させる点では本研究と共通するが、インタフェースとなるスクリーン自体は固定され、可動性はない。テーブル上で動かせるモノの変形を入力とする研究として、3D Tangible Tabletop Interaction [10] が挙げられる。これは、距離カメラでテーブル上の凹凸を取得し、その形状をモデルとした仮想世界の中でCGの車が走り回る光景を見ることができ、簡単に形状を変化させることができる素材として紙が用いられているが、障害物として配置されているのみで、動的な変形を映像操作に用いているわけではない。

紙以外の素材を用いる例として、Lepinski らは、布の変形とジェスチャによるインタフェースを提案している[11]。これは、布で実物体を覆い、実物体に関係

する情報を布の変形を用いて操作することを目的としている。上述したが、筆者らのグループで開発した ForceTile や ARForce も、タッチ入力に加えて可動性を有し、その位置や姿勢や組み合わせなどを用いたタンジブルインタラクシオンが可能である。これらの研究では布やゲルの柔らかさが、システムにとって力情報を取得しやすくする効果以外にも、ユーザに“触りたい”という欲求を持たせる効果もあると考えられる。本研究でも、表面の粗さや固さなど紙質もインタラクシオンを構成する重要な要素と考える。

## 3. Metamorphic Light の提案

### 3.1 システム概要

本研究では、身近に存在する紙を映像操作インタフェースとして利用することを考える。紙は、テクスチャが豊かで触れたい素材であること、拡散率や透過率がリアプロジェクションに適していること、変形が容易である、などの特徴を有している。

今回提案する *Metamorphic Light* では、テーブルの上に乗せられた（もしくは、かざした）紙の形状をリアルタイムかつ三次元的に計測することにより、位置情報や曲げによる変形情報を取得する。これらの情報に基づいて動的に映像を変化させ、紙上に映像を投影重畳する。この際、ユーザが手にするインタフェースとなる紙自体には、電気的仕掛けやマーカーなどの加工をせず、白い紙を用いることとする。

また、本システムでは紙の特性である“張り”をインタラクシオンに積極的に用いる。例えば、図2のように紙を半円筒状に曲げて配置すると、横向きに力を加えた際に、紙の弾性から指に反力を感じる。押し込んでから手を離すと、紙は弾性によって元の状態に戻ろうとする力が働き振動が生じる。このような素材の張りから生まれる動きも映像と連動させることで新たなインタラクティブ表現へとつなげる。

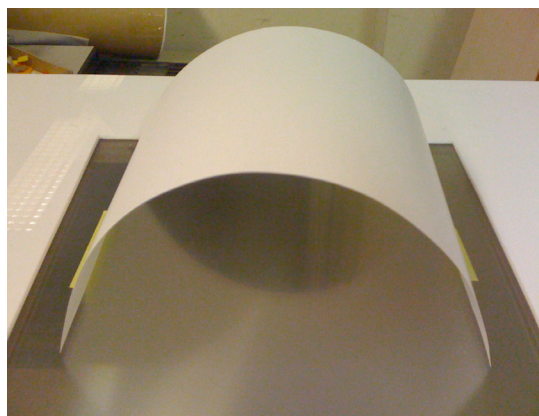


図 2: 張りのある形状

### 3.2 システム設計

図3にMetamorphic Lightのシステム基本構成を示す。テーブル型の筐体に、紙インタフェースの形状を認識するためのカメラおよび映像を重畳するためのプロジェクタが各1台内蔵されている。カメラはテーブル面に対し約70度の角度をつけて上方を観察し、プロジェクタは鉛直上向きに設置し、光を投影する。また、テーブル面は透明の亚克力を配し、ユーザはその上にインタフェースを置く(かざす)ことで映像の操作を行う。

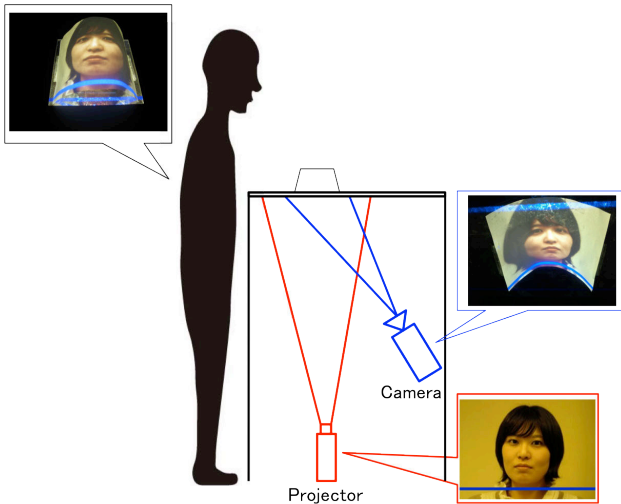


図3: 横から見たシステム

### 3.3 紙インタフェースの形状計測

マーカや電子的加工を施さずに、紙の変形を計測するための三次元計測の方法として、アクティブステレオ法を用いることとした。アクティブステレオ法とは、1台のカメラと1台の光投射装置を対し、投射され拡散した光をカメラで撮影することで、カメラフレーム上の位置から実世界座標系での三次元位置を導出できるものであり、信頼性の高い手法とされている[12]。

今回は、アクティブステレオ法の中でもスリットレーザ投影法という三次元画像撮影法を利用した。アクティブステレオ法に用いるスリット光は、映像投影を行うプロジェクタと兼ねる。このため、図3のように投影画像中の決まった位置に明示的な線を入れ、その位置をカメラで認識することで三次元情報を取得する。

本手法を用いることで、模様のない表面を持つ物体や軟体物、非接触物に対しても計測が可能になる。今回の場合、人にも紙にも加工がいらないため、違和感なく情報にアクセスでき、直接情報を操作している感覚をもたらすことができると考える。

## 4. 実装

上記のような設計のもと、プロトタイプシステムを実装した。今回、プロジェクタはTAXAN社製KG-PS232Xh、カメラはSONY DCR-TRV22VTSCを使用した。以下、このシステムを用いたインタラクション手法の提案と、アプリケーション例について述べる。

### 4.1 操作方法

今回の実装では、紙の全領域ではなく、1本または2本の線をプロジェクタ光の中に入れて投影し、その位置の形状変化を入力に用いることとした。紙の中で、線が投影された位置の三次元形状の値が取得されるため、紙の断面の一部をスキャンした形状を取得することができる。これから取得される値を用いて、いくつかの操作方法を提案する。

**かざす**：紙をテーブル上にかざし、上下に動かす。紙の中で、最も高い点の値を入力値とする。

**押す, 吹く**：両端を固定した半円筒状の紙をテーブル上に置き、それを左右に押す。手を使わず、息を吹きかけることで紙を変形させ映像を変化させることもできる。紙の中で最も高い点と、最も低い位置にある紙の両端の midpoint とを結んだ角度を計算し、紙全体がどの程度傾いたかを計測する。

**つまむ**：両端を固定した半円筒状の紙をテーブル上に置き、つまむ。線上にあたる各ピクセルについてカメラフレーム上でX座標が20ピクセル離れた点と比較して、高さがどちらの点に対しても15mm以上高い場合、つまみとして検出する。

**ひねる**：両端を固定した半円筒状の紙をテーブル上に置き、ひねる。紙の両端に1本ずつ線を投影することで、各線の最も高い点を結んだ時の角度を計算し、紙の歪みを計測する。

### 4.2 アプリケーション例

今回は、上記のうち“押す, 吹く”という行為によるインタラクティブアプリケーションを実装した。本アプリケーションでは、顔のように方向性を有するモノの画像を、張りのある紙のカタチに合わせて重畳することで、その変形を直感的に映像操作につなげる。図4のように、紙に操作を加えていない状態では、正面を向いた顔画像が投影される。ユーザが紙を押し込むことで、右方向に紙が変形した際は、投影される顔画像が右を向き、左方向に紙が変形した際は、投影された顔が左を向く。ユーザは紙を通して、擬似的に立体物を触っている(操作している)感覚を得ることができる。

今回は 5 度ずつ向きを変えた 36 枚の顔画像を用意し、紙の形状に応じて投影する画像が切り替わる。変形の反動により紙がゆらゆらと揺れる様子と、顔画像が左右に揺れる様子が同期し、触感的な映像効果が生まれる。また、手で直接触る以外にも、息を吹きかけるなど非接触な行為でのインタラクシオンも可能であり、体験したユーザの中にも、映像との関わり方をさまざまに発見していく姿が多く見られた。

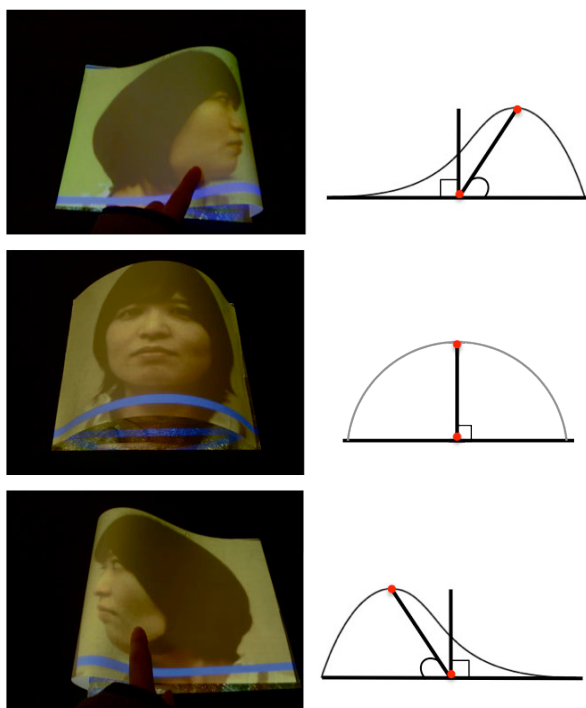


図 4: 紙の変形に応じて、映像が変化する様子

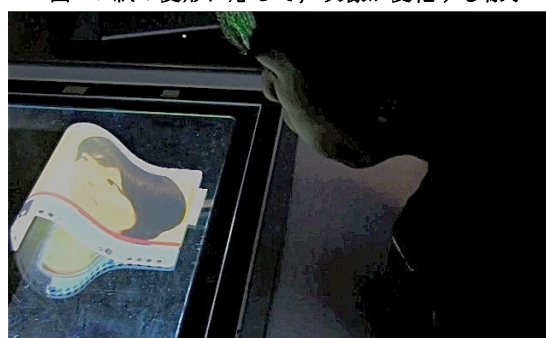


図 5: 手以外での操作 (吹いている様子)

## 5. まとめと今後

本稿では、紙の変形と張りを用いたインタフェース Metamorphic Light, およびアプリケーションの提案を行った。

今後の課題として、ユーザにとって必要ではない線の投影を避けるために、Kinect[13]等でも用いられているように赤外領域でのアクティブ方式の距離画像取得の導入を計画している。

また、テーブル上で xy 方向の位置認識を行うことで、形状認識と位置認識の両方を用いたアプリケーションの提案を行う予定である。また、今回の実装では紙にのみプロジェクションを行っているが、UteriorScape などの手法を用いて、テーブル面にも異なる映像を投影することで、より豊かな映像操作を行うことができると考えている。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり有益なご助言をいただいた 日本電信電話株式会社 NTT サイバーソリューション研究所 有賀玲子氏に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) O. Bimber and R. Raskar : “Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds”, A K Peters LTD (2005)
- 2) Y. Kakehi et al. : “ForceTile: Tabletop Tangible Interface with Vision-Based Force Distribution Sensing”, ACM SIGGRAPH 2008 New Tech Demos (2008)
- 3) K. Jo et al. : “ARForce: A Marker-based Augmented Reality System for Force Distribution Input”, Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, pp. 160-165 (2008)
- 4) 寛ほか : “UteriorScape テーブル上にかざされた映像重層とその応用”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp.267-278 (2008)
- 5) M. Spindler et al. : “Tangible Views for Information Visualization”, ITS201 , pp.157-166(2010)
- 6) S. Izadi et al.: “Going Beyond the Display: A Surface Technology with an Electronically Switchable Diffuser”, ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '08), pp. 269-278 (2008)
- 7) “on the fly”, <http://minimum.ycam.jp/> (2010 年 12 月現在)
- 8) Ben Piper et al. : “Illuminating Clay: a 3-D tangible interface for landscape analysis”, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves, ACM Press, pp. 355-362. (2002)
- 9) Alvaro Cassinelli et al. : “Khronos Projector”, SIGGRAPH 2005, Emerging Technologies (2005)
- 10) Andrew D. Wilson : “Depth-Sensing Video Cameras for 3D Tangible Tabletop Interaction”, TABLETOP 2007, pp201-204 (2007)
- 11) Julian Lepinski et al. : “Cloth-based Interfaces: Designing for Interactions with Textile Displays”, PaperComp2010 (2010)
- 12) 井口ほか : “三次元画像計測”, 昭晃堂 (1990)
- 13) “Kinect”, <http://www.xbox.com/ja-jp/kinect> (2010 年 12 月現在)