

Highly Deformable Interactive 3D Surface Display

合原 範行 ジェフェルソン パルドムアン 佐藤 俊樹 小池 英樹*

概要. 本研究では、変形可能なディスプレイ（以下、変形可能ディスプレイ）における変形性能の向上について検討する。変形可能ディスプレイとは、平面から3D形状への自由な変形を可能とするディスプレイである。変形可能ディスプレイによって、これまで2Dディスプレイでは提示できなかった3D形状の提示が可能となるが、これまで開発されてきたこうしたディスプレイは、高さ方向への変形限界を抱えていた。我々は、この主な原因として表面素材の柔軟性の物質的限界に注目した。そこで我々は、表面素材の柔軟性に依存せず、変形性能を向上させる手法によりこの問題を解決し、同手法による高さ方向への制限が少ない変形可能ディスプレイを提案する。本手法を用いることで、変形可能ディスプレイは従来よりも3次元形状を忠実に再現できると考えられる。本稿では、提案手法を取り入れた変形ディスプレイについて詳細に記述するとともに、提案手法によって現実可能であると考えられるアプリケーションについて検討する。

1 はじめに

近年、平面的なディスプレイのサーフェス（表面）に柔軟性を持たせ、平面的な形状から立体的な形状へのユーザによる自由な変形を可能にしたディスプレイの研究がなされている [1][2][3]。ユーザによる自由な形状変形が可能なディスプレイは、平面的な情報を必要に応じて立体的に拡張することや、柔軟性を利用した触覚情報の提示が可能である。また、直感的な形状のデザインや形状の入力を行う際にも有効である。

これまで、このような柔軟なディスプレイを実現するためには、ディスプレイの表面素材として柔軟性の高い素材を用いる手法が用いられてきた。しかし、非常に柔軟な素材であってもその変移量や強度には限界がある。そのため変形可能な形状の高さには大きな制限があり、大きく変形させることで強度の低下を招く問題もあった。これらの結果として、従来の変形可能ディスプレイでは、平面的な形状から高さの緩い形状（2.5D形状）への変形しか行えなかった。さらに、高さを有する形状の側面を利用した情報提示等も困難であった。そこで本研究では、ディスプレイ素材の柔軟性を利用するだけでなく、ディスプレイ面を拡張していく手法を実現することでより柔軟性が高く、平面の状態からより大きな立体形状への滑らかな変形が可能なディスプレイの実現を試みる。また、平面的なサーフェスと3次元サーフェスを滑らかに繋ぐインタラクションの可能性を探る。

2 提案手法

我々が提案するディスプレイの実現には以下のような特徴を持つ。まず、ディスプレイはフラットな面を持ち、必要に応じて高さを有する立体形状に変形が可能である。次に、変形操作はユーザの手で行うものとし、システムはユーザがより自然に形状編集ができるようにサポートするものである。さらに、ユーザとディスプレイとのインタラクションのために、平面的な面への入力動作、立体的な面への入力動作、また変形動作といった異なる入力動作の検出が必要である。

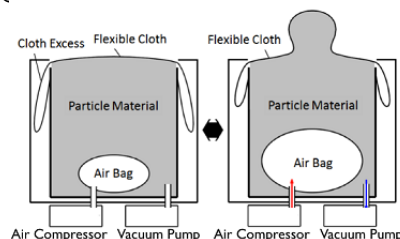


図 1. 平面形状と立体形状

本研究では、これらの要件を満たすディスプレイとして、図1のようなテーブル型のディスプレイを提案する。このディスプレイは、左図のように容器に封入された粒子素材と、余剰分を含む素材から成るフラットな平面を持つ。右図のようにユーザが表面を手で形成することで、ディスプレイ上に高さを有する形状を作成することが可能である。ユーザが立体形状を作る際、表面の素材自身は引き伸ばされて変形するのではなく、予め余剰に収納されていた領域が新たに供給されるかたちで変形する。同時に内部のシステムの粒子量制御機構により、テーブルより立体部分を満たす内部素材が供給されることで立体形状が形成される。これによりディスプレイ面の大きな変異を実現し、平面からより高さのある立体形状への変形を可能にする。また、粒子素材を

Copyright is held by the author(s).

* Noriyuki Aihara and Jefferson Pardomuan, 電気通信大学大学院 情報システム学研究所 情報メディアシステム学専攻, Toshiki Sato and Hideki Koike, 電気通信大学 情報システム学研究所

満たしたディスプレイ内部は、本研究室の従来研究 ClaytricSurface[4] で用いた気圧制御技術により減圧・硬化が可能であるため、入力手法に合わせた表面硬度の変化と、硬化による形状の固定が可能である。

3 実装システム構成

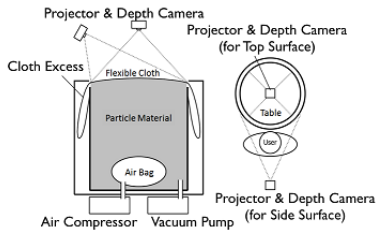


図 2. ハードウェア

3.1 ハードウェア

図 2 にハードウェアの構成を示す。このシステムは円柱形容器と、上部を覆う気密性・柔軟性の高い素材から成る。また、この容器は一回り大きな容器（以下、テーブル）に入れられ、上部のみ露出している。容器の中は直径 1 mm の粒子素材で満たされ、内部にエアバックを内蔵している。今回のプロトタイプでは粒子量制御機構にエアバックを用いた。エアバックはエアコンプレッサに接続されている。テーブル表面の素材は容器の直径に比べ大きく余裕を持っており、テーブル上部からはみ出た部分は横に垂れ下がることでテーブル内に収納される。またテーブル上部にはタッチ検出用の深度カメラ (Kinect) と、映像投影用のプロジェクタが設置されている。

3.2 タッチ検出

本システムでは、ユーザとのインタラクションのため、タッチ検出を行う。タッチ検出には、深度カメラを用いた。タッチ検出のアルゴリズムは次のとおりである。予めサーフェスの形状を背景深度画像として取得しておく。次に、ユーザの手を含む最新の深度画像との差分を取り、サーフェスから 1.5cm 程度までの高さにある領域を接触したユーザの指とみなし、2 値化、ラベリング後にそれぞれの重心位置から接触位置を求める。

4 インタラクション

フラットなディスプレイとして用いる場合は、平面の状態でポンプによりテーブル内部の空気を真空に近づける。これによりテーブルが硬化し、表面素材も面に密着するためフラットなサーフェスが維持できる。ユーザは内部加圧・減圧を自由に操作し、柔らかさを変化させる。次に、テーブル表面を変形させる場合は、テーブル内部を加圧・軟化させ、ユーザは表面を引き上げる動作を行う。同時にシステムの粒子量制御機構により表面を上昇させ、立体成型をサポートする。ユーザは自由に表面を形成し、形

状編集後は、テーブル内部を減圧することで硬化させ形状を維持する。さらに編集する場合は、テーブルを軟化させ再形成できる。また、ユーザが形成した表面をテーブルに押しこむ動作とともに、表面は軟化、フラットの状態にリセットされる。

5 アプリケーション

本システムを用いたアプリケーションとして以下のものを考えている。まず、どこでも垂直ディスプレイがある。水平なディスプレイ上にユーザが立体形状を形成すると、システムが平面を検出し、そこを新しいディスプレイとみなして水平なディスプレイとは別の独立した映像を表示可能にする。これにより、水平のディスプレイ上の任意の場所に好きな形状、高さの独立したディスプレイを出現させることが可能である。次に、3D モデリングソフトを用いたアプリケーションがある。ユーザは平面のディスプレイ上で、モデリングソフトを用いた 2 次元での 3D モデリングを行う。これにより形成したいモデルを正確に作成できる。その後、作成した 3D モデルの正面、上部からの映像を、大まかに作った立体形状にそれぞれ正面、上部からプロジェクションする。ユーザはプロジェクションされたモデルを手本に 3 次元形状をより正確に形成できる。さらに、3D モデリングを行うアプリケーションがある。ユーザは表面形状の自由な形成、タッチ検出によるモデル上へのペイントが可能である。さらに、形成専用の型を用意し、型にはめるだけで形成が行えるようにする。

6 おわりに

本研究では、表面素材の余剰と、内部の空気圧および、パーティクル量を操作することで、平面から高さのある 3 次元形状を形成できるディスプレイを提案した。今後の課題としては、形状全体をカバーできる複数のタッチ検出、プロジェクションシステムを考えている。

参考文献

- [1] Cassinelli A. and Ishikawa M.. Khronos projector. proc. of ACM SIGGRAPH 2005.
- [2] Harrison C. and Hudson S.. Providing dynamically changeable physical buttons on a visual display. Proc. of CHI '09, pp. 299-308 2009.
- [3] Follmer S., Leithinger D., et al. Jamming User Interfaces: Programmable Particle Stiffness and Sensing for Malleable and Shape-Changing Devices. proc. of ACM UIST SYMPOSIUM, 2012.
- [4] Sato T., Takahashi N., et al. Interactive surface that have dynamic softness control. Proc. of AVI '12, pp. 796-797 2012.