

# 粘土を用いた2次元モデリング手法の提案

吉田 有花<sup>1,a)</sup> 志築 文太郎<sup>2,b)</sup> 田中 二郎<sup>2,c)</sup>

**概要:** 粘土は馴染み深い素材である。また、つぶす、つまむ、ひっぱる、切るなど自由に変形できる素材である。我々はこれらの特長を持った粘土を用いた2次元モデリング手法を提案する。ユーザは圧力センサシート上に粘土を置き、その粘土をつぶす、つまむなどの行為で2次元モデリングを行う。これにより、マウス、タッチパネル、ペンなどの入力デバイスに基づくモデリング手法にはない柔軟な質感を感じながら、2次元モデリングを行うことが可能になる。本稿では、プロトタイプの開発および、つぶす、つまむの操作ができるかの調査を行った。またその調査結果に基づいて2次元モデリングのアプリケーションの開発を行い、簡単な2次元モデルであれば作成可能であることを確認した。

ARIKA YOSHIDA<sup>1,a)</sup> BUNTAROU SHIZUKI<sup>2,b)</sup> JIRO TANAKA<sup>2,c)</sup>

## 1. はじめに

粘土は古来から、陶芸、教育、建築などで親しまれている素材である。さらに、手で伸ばしたり細工することにより自由に変形でき、また変形に伴った触感を手にとるという特長を持つ。本研究では、これらの特長を活かした、2次元モデリング手法を提案する。本手法において我々は従来に比べ、手軽な実装ながらも、粘土に掛かる圧力を検出し2次元モデリングに活かす手法を提案する。

柔らかい実物体を使ったモデリングの従来手法として、Tunable Clay[1]がある。空気圧で硬さが変化するデバイスを用い、デバイスの下から赤外線カメラで厚みの変化を読み取ることにより、3次元モデリングを行っている。また、deForm[2]は、ユーザがジェル状のものにおもちゃなどの物体を押し付けることにより、簡単に3Dモデルを作ることが可能である。しかしこれらは、赤外線カメラや深度カメラを台に設置しているため、設置が大変であり、持ち運びはほぼ不可能である。

粘土と埋め込みデバイスを用いたモデリング手法も提案されている。Reedら[3]は、磁場を利用した3次元位置検

出センサを粘土の中に数多く組み込む手法を提案した。それらからリアルタイムに得られる位置データを用いて粘土の形状認識を行い、その認識結果をモデリングに使う。また、iClay[4]は、粘土のような変形可能な物体に砂粒程度の小さなセンサノードを多数埋め込む。鶴川らはセンサネットワークを利用して形状再現を行う試みを行っている。しかし、両者とも形状の認識は行いが、圧力の認識は行わない。また、粘土へのセンサの埋め込みが必要になる。

本手法はこれらの従来手法とは異なり、ユーザは圧力センサシート上に粘土を置き、その粘土をつぶす、つまむなどの行為で2次元モデリングを行う。これにより、マウス、タッチパネル、ペンなどの入力デバイスに基づくモデリング手法にはない柔軟な質感を感じながら、2次元モデリングを行うことが可能になると考えられる。また、圧力センサシートのみをデバイスとして用いることによって、実装が手軽なものとなっている。即ち、1) 圧力センサシートは簡単に机の上に設置することができなおかつ丸めて持ち運ぶこともできるデバイスであり、2) 圧力センサシートを用いることに伴って、本手法は身近に売っている教育・造形用粘土をそのまま用いることが可能となる。

本稿では、プロトタイプの開発および、つぶす、つまむの操作ができるかの調査を行った。またその調査結果に基づいて2次元モデリングのアプリケーションの開発を行い、簡単な2次元モデルであれば作成可能であることを確認した。

<sup>1</sup> 筑波大学大学院 システム情報工学研究科  
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

<sup>2</sup> 筑波大学 システム情報系  
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

<sup>a)</sup> yoshida@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

<sup>b)</sup> shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

<sup>c)</sup> jiro@cs.tsukuba.ac.jp

## 2. 関連研究

粘土の形状を認識することに基づく試みが様々になされている。ClayMore[5]は、粘土の形状を深度センサによりリアルタイムで認識し、その形状に応じた画像をプロジェクタにより粘土表面に投影することで、粘土を入出力装置とするインタラクションを可能にし、粘土の制作支援を行っている。Illuminating clay[6]は景観デザインを目的としたシステムである。天井に設置されたレーザスキャナによって粘土の形状を認識し、影や等高線などの付加情報を上部のプロジェクタより投影する。

親しまれている粘土を活用した玩具である Squishy Circuits[7]は、導電性粘土と絶縁性粘土を用いたインタフェースであり、子供でも電子回路の仕組みを理解することを目的とした教材／知育玩具である。NeonDough[8]は、電極とフルカラーLEDを内蔵したモジュールを導電性粘土に組み込む。各モジュールが電極間の抵抗値に基づきフルカラーLEDの色を変化させることによって、造形中に粘土の色を変化させることにより創作を喚起させる。

粘土以外にも柔らかい素材を操作の認識に用いた研究例も多く見られる。柔らかい素材を用いたジェスチャ認識の研究として、Skweezee System[9]は、導電性の詰め物で満たされた柔らかい物体の抵抗変化を測定することにより、物体に対するユーザーの様々なジェスチャを学習・認識する。Sinkpad[10]は、マウスを沈みこませることにより様々な入力を可能にする柔らかいマウスパッドである。このマウスパッドを用いることにより、ユーザーは任意のマウスを使用しつつ、従来のマウス操作に加えて沈み込ませる操作を行うことができる。WrinkleSurface[11]は、Frustrated Total Internal Reflection (FTIR) 方式のタッチパネルに、柔らかい透明なウレタンゲルシートを張り付けることにより入力面に対して指を強く押す、指をずらす、指をねじる等の入力面を変形させる動作による入力を可能にしている。

また提案手法と同様に圧力に基づくタンジブルインタフェースも提案されている。例えば、Fabianら[12]のインタフェースは、FTIR方式およびDiffuse Illumination (DI)併用したセンサによって圧力検出が可能なマーカ読み取り装置を実現している。

## 3. 粘土を用いた2次元モデル

本研究が対象とする2次元モデル、および粘土を操作デバイスとしてモデリングに用いる目的を述べる。

### 3.1 2次元モデリング

2次元モデルとは、平面上に構成されたコンピュータグラフィックスデータであり、例えば、ビットマップ形式で描かれた絵、ベクタ形式で描かれた絵である。今回我々は

2次元モデルとしてベクタ形式の絵を採用した。

### 3.2 粘土を操作デバイスとして用いる目的

従来モデリングによく利用されるデバイスは、マウス、タッチパネル、ペン等であるが、これらのデバイスは固い。一方、本研究はモデリングデバイスとして、柔らかい粘土に着目する。即ち、提案手法は、粘土の形状そのものよりも、ユーザーの粘土への触れ方を認識し、モデルに反映する。これによって、自由に変形でき、また変形に伴った触感を手に与えるという粘土が持つ特長を使うことによって、ユーザーは従来とは異なった新しいモデリングが行える。

## 4. プロトタイプの実装

提案手法を調査するためにプロトタイプの実装を行った。本節ではプロトタイプを構成するデバイスおよびソフトウェアを述べる。

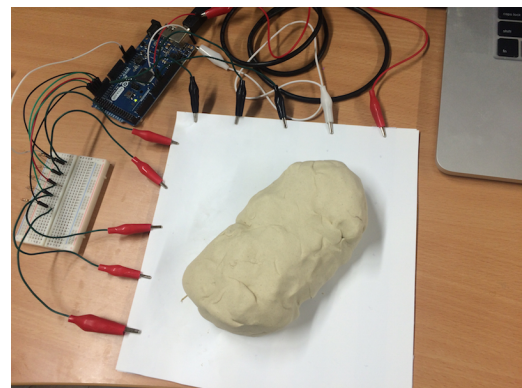


図1 プロトタイプのハードウェアの概観

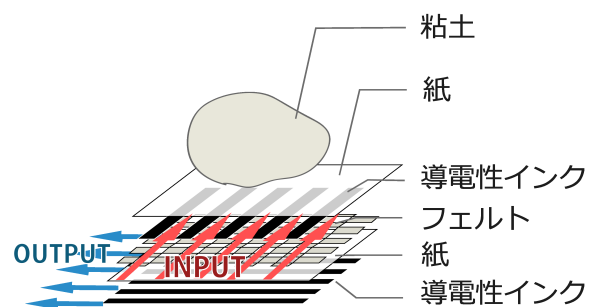


図2 圧力センサシートの構成

### 4.1 デバイス：圧力センサシート

粘土に対する操作を認識するために、図1, 2に示す圧力センサシートを実装した。この圧力センサシートは、格子状に配置された縦5線、横5線が重なった計25点（以降観測点）の圧力を計測することが可能である。縦5線、横5線は導電性インクを紙（210mm × 210mm）に印刷することによって構成した。また、縦線と横線とが直接触れな

いように、これらの紙の間にフェルト（ポリエステル 100 %；厚み 1mm）を挟んだ。これらの縦線をマイクロコンピュータ（本実装では Arduino MEGA 2560）の送信部に、横線をマイクロコンピュータの受信部に接続した。受信部には読み取りを安定させるための抵抗器（1M Ω）を挿み接地した。なお、今回は導電性インクとして銀ナノ粒子インク（三菱製紙株式会社）を用いた。観測点における圧力の計測法を述べる（図 3）。まず縦線に矩形波（本実装では、+5.0V, 65.5kHz の矩形波）を順番に送信する。その際、横線の電圧を読み取る。この電圧の変化により、どの点かどの程度押し込まれたかを認識することが可能となる。ただし認識結果を安定させるため、マイクロコンピュータの受信部で読み取った電圧の平均値（本実装では 32 個）を計算し、PC に送信することとした。

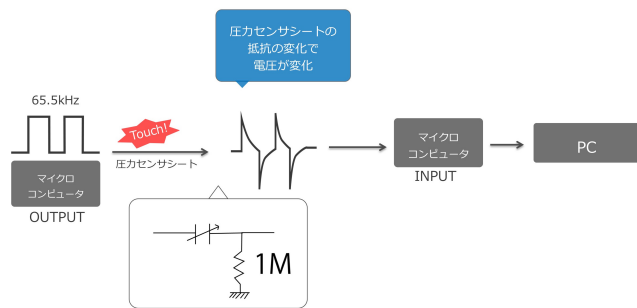


図 3 電流の流れ

## 4.2 ソフトウェア

圧力センサシートを初期化する必要がある。シートの上にも何も置かない状態において PC 上で動作するソフトウェアはマイクロコンピュータから送信される電圧を一定数（本実装では約 20 個）読み取り、その最大値を初期値として保存する。以降、ソフトウェアはその初期値より大きい電圧を取得した際に、圧力センサシートがタッチされたことを認識する。

## 4.3 圧力センサシートの認識結果

実装した圧力センサシートを用いたタッチおよび粘土の認識結果の一例を図 4 に示す。今回、粘土として油粘土（パジコ社かるい油ねんど）を用いた。この粘土を用いた理由は粘土自体が重く、圧力センサシートを用いた認識に向いていると考えたからである。

認識結果を観察すると、まず観測点をタッチした際には図 4 左に示されるようにタッチされたことがはっきりと認識ができています。なお、圧力センサシートの上に粘土を置いた状態では、図 4 中央に示されるように、各観測点に対する圧力が指で押す圧力より低い場合、粘土を置いていない点が認識される可能性がある。一方、粘土の上から手で押した際には図 4 右に示されるように良くその押し具合が

観測されることが分かった。

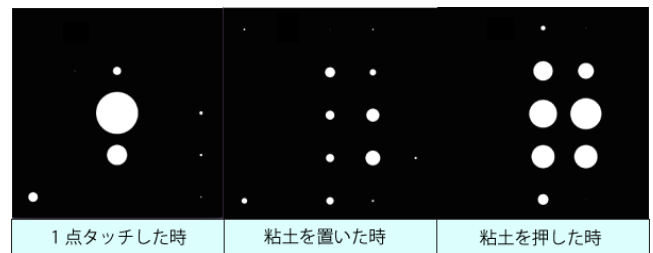


図 4 圧力センサシートにおける認識結果の例

## 5. 操作の認識調査

提案モデリング手法では、図 5 のように、ユーザは圧力センサシートの上に粘土を置き、それへの操作によってモデリングを行う。ここではモデリングに用いることを想定している。今回、以下に示す形状認識、および、つぶす、つまむの 2 種類の操作が認識可能かどうかを調査した。

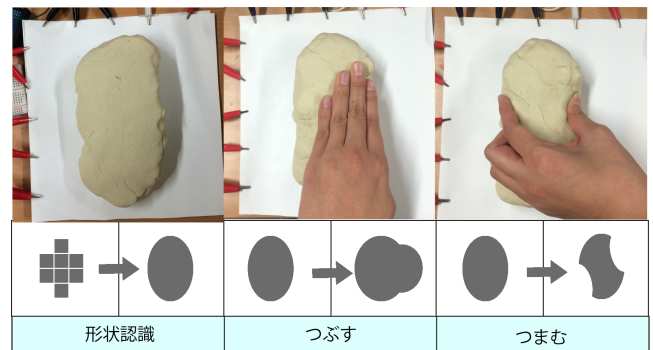


図 5 粘土での 2 次元モデル操作方法

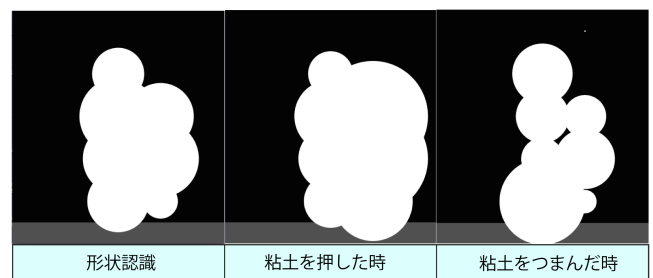


図 6 形状認識後の画面表示

### 形状認識

粘土を圧力センサシートに置いて行う。

### つぶす

手で上から粘土を押す操作である。それぞれの観測点の圧力の強さに応じて 2 次元モデルが押された強さと角度により広がって表示される。

### つまむ

手の指や甲を使用して粘土をつまむ操作である。つぶす操作とは逆に、それぞれの点のひばりの強さ（前

フレームからの圧力の減少)の認識をソフトウェア側で行う。つまむ力の変化に応じて、2次元モデルの形状を変化する。

以上の操作を実装したところ図6のような表示が可能となった。形状認識については、そのまま置いても良いが、より結果を良くするために、粘土を上から手で押し込んでから認識させると良いことが分かった。また、粘土をつぶす、つまむ操作の認識ができることが確認される。

## 6. 2次元モデルとモデルの作成例

今回示した操作を使って簡単な2次元モデルの表示および操作が行えるアプリケーションを開発した

### 6.1 2次元モデル

まず、粘土の形状認識を行い、図7左のように、圧力センサシートの初期電圧と現在の電圧との差分が一定以上ある部分の二値画像を得る。その後、二値画像の輪郭追跡(図7中央)を行い、追跡した輪郭点を図7右のようにベジェ曲線で囲み、図8のように、初期モデルとする。

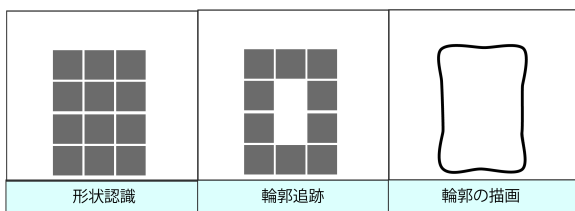


図7 初期モデルの作成手順

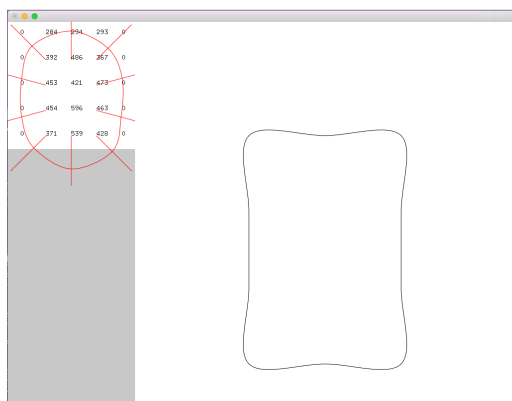


図8 初期モデル

また、粘土をつぶした際には2次元モデルの輪郭を外側に、つまんだ際には内側に移動させる。その後、追跡した輪郭点毎に、外側に向けた法線ベクトルを持たせる。これにより、図9のように、2次元モデルの形状変化が可能となる。

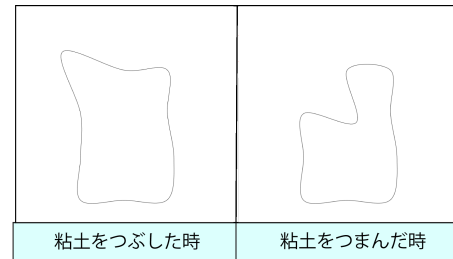


図9 初期モデルからの形状変化

### 6.2 2次元モデル作成例

開発したアプリケーションを利用して、いくつかの2次元モデルを作成した。図10左上から、壺、犬、歯、靴のモデリング結果である。なお、モデリングにかかる時間は、数秒であった。

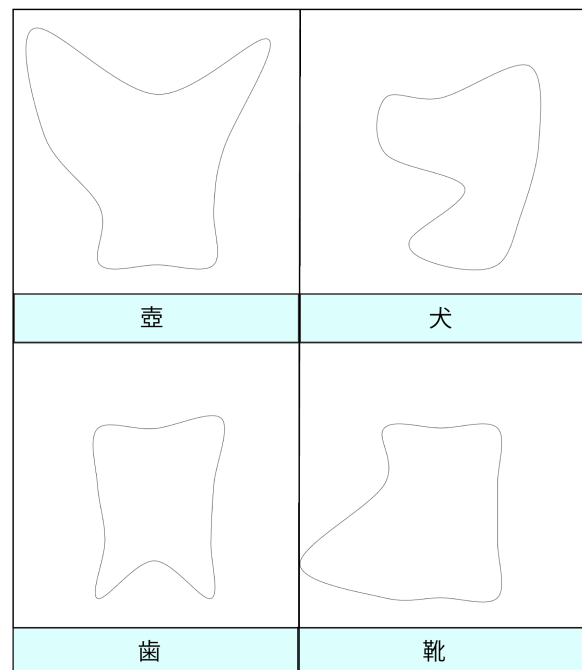


図10 2次元モデル作成例

## 7. 議論

本稿では粘土と圧力センサシートを用いた2次元モデリング手法のためのプロトタイプの開発を行い、つぶす、つまむの操作ができるかの調査を行い、簡単な2次元モデルであれば作成可能であることを確認した。一方、それ以外の操作、例えば切る、ひっぱるなどの操作も実装していく必要がある。ただし図5に示される認識結果からはそれらの多様な操作を認識するためには圧力センサシートの精度向上が必要であると考えられる。したがって今後はより多数の観測点を有する圧力センサシートを実装して用いることを考えている。なお、その圧力センサシートを用いれば、違う反応や操作手法が発見できる可能性もあるので、今後調査を進めていく必要がある。

## 8. まとめ

本稿では、粘土を用いた2次元モデリング手法の一部として、圧力センサシートを実装し、粘土の形状認識、つぶす、つまむの2種類の操作が可能かどうかの調査を行った。また、その調査結果を基にアプリケーション例の実装を行った。その結果、本手法は従来手法よりも手軽な実装ながら、粘土に掛かる圧力を検出し、簡単な2次元モデルであればモデリングが可能であることを確認した。今後は、本稿で実装したシステム精度の向上をするとともに、圧力センサシートの細かさの向上、ひっぱる、切る操作手法の実現、他の操作手法の実現、および評価実験を行い、本手法の有用性を示す。

## 参考文献

- [1] Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Cheng, N. and Ishii, H.: Jamming User Interfaces: Programmable Particle Stiffness and Sensing for Malleable and Shape-changing Devices, in *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, pp. 519–528, New York, NY, USA (2012), ACM.
- [2] Follmer, S., Johnson, M., Adelson, E. and Ishii, H.: deForm: An Interactive Malleable Surface for Capturing 2.5D Arbitrary Objects, Tools and Touch, in *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 527–536, New York, NY, USA (2011), ACM.
- [3] Reed, M.: Prototyping Digital Clay as an Active Material, in *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '09, pp. 339–342, New York, NY, USA (2009), ACM.
- [4] 鶴川翔平, 信田龍哉, 橋本昌宜, 伊藤雄一, 尾上孝雄: クロスエントロピー法を用いたノード間距離情報に基づく3次元ノード位置推定, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-HCI-161, pp. 1–7, 情報処理学会 (2015).
- [5] 若園祐作, 暦本純一: ClayMore: 粘土を用いた造形の支援, インタラクション 2013 論文集 DVD-ROM, pp. 147–152, 情報処理学会 (2013).
- [6] Piper, B., Ratti, C. and Ishii, H.: Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '02, pp. 355–362, New York, NY, USA (2002), ACM.
- [7] Schmidtbauer, M., Johnson, S., Jalkio, J. and Thomas, A.: Squishy Circuits as a Tangible Interface, in *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, pp. 2111–2116, New York, NY, USA (2012), ACM.
- [8] Yamaoka, J. and Kakehi, Y.: NeonDough: Crafting with Interactive Lighted Clay, in *ACM SIGGRAPH 2012 Posters*, SIGGRAPH '12, pp. 74:1–74:1, New York, NY, USA (2012), ACM.
- [9] Vanderloock, K., Vanden Abeele, V., Suykens, J. A. and Geurts, L.: The Skweezee System: Enabling the Design and the Programming of Squeeze Interactions, in *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 521–530, New York, NY, USA (2013), ACM.
- [10] Kuribara, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Sinkpad: A Malleable Mouse Pad Consisted of an Elastic Material, in *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, pp. 1251–1256, New York, NY, USA (2013), ACM.
- [11] Noguchi, A., Kurosawa, T., Suzuki, A., Sakamoto, Y., Oe, T., Yoshikawa, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Evaluation of a Soft-surfaced Multi-touch Interface, in *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction: Interaction Modalities and Techniques - Volume Part IV*, HCI'13, pp. 469–478, Berlin, Heidelberg (2013), Springer-Verlag.
- [12] Hennecke, F., Berwein, F. and Butz, A.: Optical Pressure Sensing for Tangible User Interfaces, in *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '11, pp. 45–48, New York, NY, USA (2011), ACM.
- [13] Igarashi, T., Matsuoka, S. and Tanaka, H.: Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design, in *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '99, pp. 409–416, New York, NY, USA (1999), ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [14] Raposo, A., Corseuil, E. T. L., Wagner, G. N., Santos, dos I. H. F. and Gattass, M.: Towards the Use of Cad Models in VR Applications, in *Proceedings of the 2006 ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications*, VRCIA '06, pp. 67–74, New York, NY, USA (2006), ACM.