



# 任意物体を入力に用いる創作支援デジタルペイントシステム UnicrePaint における物体情報取得手法

小坂 真美<sup>\*1</sup>, 藤波 香織<sup>\*2</sup>

Object Attribute Acquisition for UnicrePaint, Digital Painting through Physical Objects

Mami Kosaka<sup>\*1</sup>, Kaori Fujinami<sup>\*2</sup>

**Abstract** – In real world, a number of methods exist to draw or paint figures on paper, which includes not only paint brush but also with various objects. By contrast, digital painting has advantages of editing painting image; however it limits input methods to a few devices. We propose a digital painting system, UnicrePaint, that allows users to utilize physical objects as a tool for digital expression. The system captures the appearance of objects and simultaneously shows the information on the same surface of the input. This paper shares our experience of incremental development of contact shape acquisition panel and collocated realtime feedback. Also, our on-going work of capturing the color and texture of objects is introduced.

**Keywords** : 入出力方式・入出力デバイス, 芸術・エンタテインメント

## 1. はじめに

絵を描くという表現の方法は、筆を使ったものに限らず多様であり、押し花を貼り合わせたり、道路にチョークを擦り付けたり、その手法や道具は多岐にわたる。それに対して、近年普及してきているデジタルペイントは編集や保存が容易である反面、ペンタブレットなどの専用入力デバイスにより入力方法が限定的である。また、常に同じデバイスによる入力であるため、発想のきっかけとなったり、その都度異なる創作過程を楽しめるような触感的なフィードバックを得ることができない。

一方で、実世界情報や実物体を用いてコンピュータ操作を行うインタフェースを研究する分野として、タンジブルユーザインタフェース (Tangible User Interface, 以下, TUI) が注目されている。そこで, TUI の持つ物理的実体に直接触れて操作する概念を適用し, 実物体を描画入力に用いることでデジタルペイントにおける多様な入力の実現を考えた。本研究は, 任意の実物体を描画に用いることができるデジタルペイントシステム UnicrePaint を提案する。UnicrePaint は実物体で描画面をなぞりスタンプのように描画することができ, 入力に用いた物体の形状, 色, 入力時に加わった圧力を描画に反映させることで, 実物体そのもので絵を描いている感覚を提供する。そして, 編集や保存

などが容易であるというデジタルペイントの特性を活かしつつ, 思い入れのある物体を使ったり, どのように物体を用いるかという実物体ならではの試行錯誤を通して, 幅広いユニークな表現を可能にし, ユーザの創造性発揮の支援を目指す。

本論文では, UnicrePaint において入力に用いられた物体の描画面に接触した形状, および色の取得における実現手法について述べる。2 章では, TUI に基づく創作支援の関連研究を述べる。つづく 3 章では UnicrePaint のコンセプトについて詳細に述べた後, 4 章では UnicrePaint の概要について紹介し, 5 章では初期プロトタイプシステムの物体接触形状取得機能の改良と評価を述べる。そして 6 章では今後実装される物体接触色取得手法について述べ, 7 章にて本論文のまとめを記載する。

## 2. 関連研究

TUI の概念に基づいた創作支援には様々な例がある。Follmer, et al. は, 明快な動作で物体の立体形状を取得し編集できる, 子供向けモデリングツール kidCAD<sup>[1]</sup>を開発した。これは, ジェル状の入力面をもつ入力デバイス deForm<sup>[2]</sup>に押し付けた物体の形状をコピーし, CG モデルを作成できるシステムである。マウスやキーボードに依存し専門的な知識を要する従来のデジタルモデリングツールに対して, 子供にも理解しやすい操作性と, 多様な入力への対応を実現した。一方, Ryokai, et al. は触れた物の色や映像をインクとして描画に用いる I/O Brush<sup>[3]</sup>を開発し, ブラシ型デバイスで触れた実物体の色で絵を描くという, 実世界情報の反映が子供たちの創造力を支援した。Vandren, et

\*1: 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻

\*2: 東京農工大学大学院 工学研究院先端情報科学部門

\*1: Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology.

\*2: Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology.

al. が開発した FluidPaint<sup>[4]</sup> は、実際の絵筆を用いて入力描画できるデジタルペイントシステムである。濡れた筆がパネルに接触した形状を描画に反映することができ、従来のペン型デバイスやマウスにはできない、絵筆を用いて描いた時の触感をユーザに提供できる。

これらの研究によって、実物体情報や実物体そのものを入力に用いることが独創的創作を支援すると示されている。UnicrePaint は、物体そのものを入力に用い、形状と色、描画時の圧力といった複数の要素を同時に取得しリアルタイムに反映させる点が特徴である。

### 3. UnicrePaint のコンセプト

UnicrePaint は、任意の実物体で描画面をなぞったりスタンプのように押し付けることで創作を行う。物体そのものを創作に用いることは、入力がデバイスに依存する既存のデジタルペイントでは得られない体験を提供すると考えられる。例えば、UnicrePaint を使って創作する時、ユーザは描画フィードバックだけではなく、物体を握った時の質感や重量感を体験する。これらの感触や物体を用いることによる試行錯誤の経験は、ユーザにとって創作における創造性を刺激する要因となり得る。また、入力に用いる物体をユーザが自由に選択できることも大きな特徴である。既存のデジタルペイントシステムでは、形状や色を事前に登録しておく手間が必要である。この手間がないことで予め決められた登録に縛られることなく、思い入れのある物など任意の物体を多様な入力で用いることができる。

このシステムによる創作は、身の回りの環境から望む形状や色を探索する過程を要するため、子どもの教育などへの活用が期待できる。また、思い入れのある物やお気に入りの物を自由に使えることから、認知症のリハビリや心理テストなどへの応用例が考えられる。

### 4. UnicrePaint システム概要

UnicrePaint において物体そのもので絵を描いている感覚提供のため、システム要件を次に定義した。

- 入力箇所と同一場所への描画フィードバック
- 入力に用いる物体の形状の取得・反映
- 入力に用いる物体の色の取得・反映
- 入力時にかかる圧力の取得・反映
- デジタルペイント特性としての編集機能付与

#### 4.1 描画結果フィードバック

2 章で挙げた FluidPaint の開発者である Vandren, et al. は、デジタルペイントにおいて入力場所と描画結果出力場所の不一致による視差が、明快な操作性を妨げると述べている<sup>[4]</sup>。実際の紙に筆などで描く時、描画の軌跡は触れた場所に現れる。ユーザにとって触れた場所に結果が見えることは自然であり、受け入れ

やすいと考えられる。よって、描画結果フィードバックを入力位置と同一場所に行う。これを受けて描画結果フィードバックは、プロジェクタによる背面投影によって実現する。これは、描画時にユーザの手や物体の影によるフィードバック光の遮断を避け、かつ描画規模に応じたシステムの容易な拡張の可能性を考慮するためである。

#### 4.2 物体情報取得・反映

UnicrePaint では、入力に用いられた物体の形状や色で描画された画像を出力することで、物体そのもので描いている感覚の提供を目指す。よって、描画面に接触した物体の形状、および色や模様を取得する必要がある。物体で描画面をなぞる、押し付けるという動作に伴い、描画面に接触する物体の形状や色は連続的に変化する。そのため、ユーザが描画している間の物体の形状、および物体の色を常に取得し反映することを、要件として定義する。

描画結果フィードバックにプロジェクタを用いることから、投影光の影響に対する頑健性を考慮した手法を用いる必要がある。そのため、描画面に接触した物体の形状取得手法には、赤外線を用いた手法を使う。色取得手法においては RGB カメラを用いるが、投影光の影響を考慮する必要がある。

#### 4.3 入力時にかかる力の取得・反映

同じ道具と同じ色を用いた描画でも、描画時の力の加わり具合によって描画結果が変わることがある。例えば鉛筆で絵を描く場合、同じ鉛筆でも力を入れると線が太く濃くなり、弱い力で持つと細く薄くなる。本システムではユーザの描画動作反映のため、このような入力時にかかる力の違いを取得し反映する。圧力取得の方法としては、パネルの四辺に感圧センサを設置することを検討する。

#### 4.4 デジタル編集機能

デジタルペイントには編集やデータ保存などが容易であるという特徴的な長所がある。そこで本システムではその長所を活かすべく、デジタルならではのツールである「やり直し」などの編集機能を設ける。

### 5. 物体接触形状取得手法

#### 5.1 赤外線漏れ全反射方式

4.2 節で述べた通り、描画面に接触した物体の形状取得手法には赤外線を用いた手法を使う。また、本システムでは描画面に接触した物体色を取得するため、描画面を透明にする必要がある。よって、透明なパネルとの併用が可能な赤外線漏れ全反射方式 (Frustrated Total Internal Reflection, 以下 FTIR)<sup>[5][6]</sup> を採用する。FTIR 方式は、アクリル板などの透明なパネルの断面から赤外線を照射すると起こる内部全反射を利用

する。そのパネル上で、光を透過しない物体で接触した場所において乱反射する赤外線カメラで取得する。これにより、接触した部分の形状のみの取得が可能である。なお Smith らによれば、パネル表面にシリコンゴムのようなシートを貼付することで、その取得感度を向上できるとされる [7]。

## 5.2 入出力パネル評価

### 5.2.1 パネル構成

初期プロトタイプシステムには、FTIR 方式を用いた物体形状取得機能、および描画結果フィードバックを実装した。物体の色や模様の取得に影響しないようにするため、パネルには透明または透明に近い素材を用いる。初期の入出力機構においては FTIR に用いる入力パネルを作成した。また、描画結果フィードバックに用いる背面投影スクリーンを入力パネルの下方に設置した。これに伴い、カメラやプロジェクタなどを含めた初期プロトタイプシステムの構成要素位置関係は図 1 に示す通りである。入力パネルの構成には、10mm 厚の透明アクリル板に 3mm の透明シリコンゴム（旭化成ワッカーシリコン（株）、RTV-2 SLJ3220）を貼付し、5mm 砲弾型赤外線 LED を使用した。また、背面投影スクリーンは透過率 88% のリア透過フィルム半透明タイプを使用した。これらの入出力機構を旧パネルと呼び、その構成を図 2 に示す。

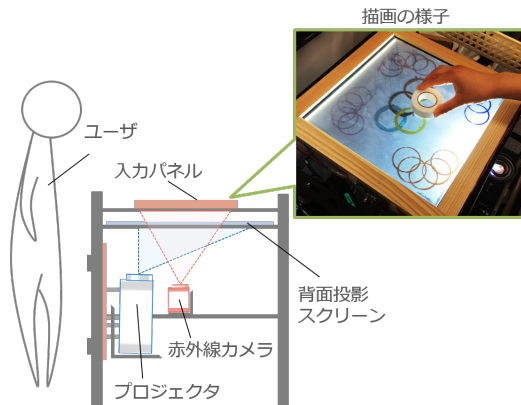


図 1 プロトタイプシステム構成図  
Fig.1 Prototype System Construction.

このプロトタイプシステムを用いたユーザ評価実験により、本システムにおける物体接触形状の取得手法として FTIR 方式が有用であると示唆された。しかし一方で、この機構における 2 つの問題点が判明した。1 つはシリコンゴムの耐久性の低さである。描画による表面の損傷がノイズとして描画結果に影響を及ぼし、また破片や傷によって描画感触を悪化させた。もう 1 つは入力パネルと出力パネルの距離による顕著な入出力箇所の不一致である。旧パネル構成における入力面と出力面の間には、パネルの厚み、および投影スクリーンまでの高さを含む約 55mm の距離があり、こ

れが視差を引き起こしていると考えられた。これらの問題を解消するため、新たな構成で入出力パネルを作成した。入力パネルそのものの厚みを削減するため、FTIR に用いるアクリル板の厚みを 3mm とし、表面に貼付するシートの厚みを 1mm とした。表面に貼付する素材は、描画に耐えうる強度と、FTIR 感度を向上する適度な硬度が必要であることが分かっている。そのため、これらを考慮した上で透明ゲルシート（エクシールコーポレーション（株）、ハイパーゲルシート 硬度 50）を使用した。また、旧パネル構成では分離していた入力パネルと投影スクリーンを一体化することで、入力面と出力面の距離を約 4mm まで短縮した。このパネルを新パネルと呼び、その構成を図 3 に示す。

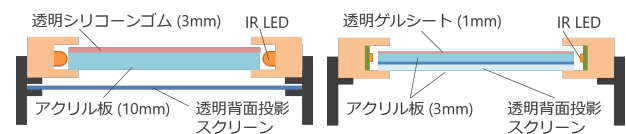


図 2 旧パネル構成 図 3 新パネル構成  
Fig.2 Former Construction Fig.3 New Construction

### 5.2.2 パネル比較実験

5.2.1 節で述べた入出力パネル構成の有効性に関する比較実験を行った。10 人の被験者が、旧パネルと新パネルをそれぞれ使い、指定された物体を用いて提示された画像を透写する。透写を行うパネルの描画領域を図 4 に示すように、被験者から見て手前（図 4①，以下①）と（図 4②，以下②）の 2 種類設定する。透写する課題画像は図 5 に示す 2 つである。課題 1 の画像は綿棒を用いてなぞり，課題 2 の画像はコップの底をスタンプのように押し付けて描画する。

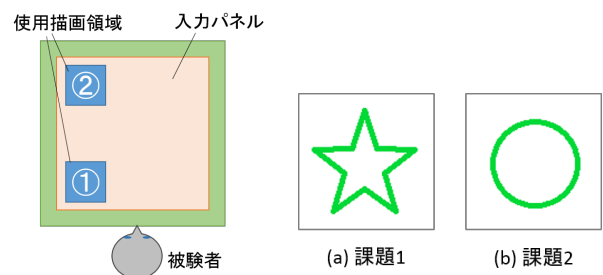


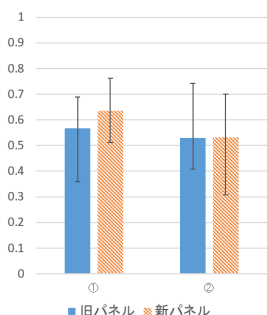
図 4 画像透写描画領域  
Fig.4 Drawing area

図 5 課題画像  
Fig.5 Task images

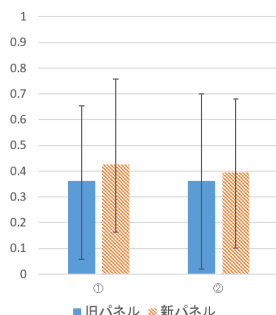
作成された透写画像の描画部分の画素数と、元の課題画像の透写対象部分の画素数、および両画像中の描画部分と透写対象部分が重なる一致画素数より、精度 F 値を式 (1) ように定義する。

$$\begin{aligned} \text{適合率} &= \frac{\text{一致画素数}}{\text{描画画素数}} & \text{再現率} &= \frac{\text{一致画素数}}{\text{透写対象画素数}} \\ F \text{ 値} &= \frac{2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}} \end{aligned} \quad (1)$$

それぞれの課題につき、描画領域①、②の旧パネルと新パネルの透写精度結果を図6および図7に示す。



①：描画領域\_手前、②：描画領域\_奥  
エラーバーは最大値、最小値



①：描画領域\_手前、②：描画領域\_奥  
エラーバーは最大値、最小値

図6 透写精度（課題1） 図7 透写精度（課題2）  
Fig.6 F-measure of task1 Fig.7 F-measure of task2

有意水準5%でのt検定の結果、透写精度の違いに有意差は見られなかった。しかし、実験後インタビューで被験者に描きやすい印象を持ったパネルを尋ねると、10人中7人が新パネルと答え、主な理由として描画結果フィードバックの見やすさを挙げた。以上から、新パネルの構成は描画結果フィードバックずれに対する解決策として有効であると言える。一方旧パネルと答えた3人は、旧パネルの表面の方が滑らかで抵抗感がないことを理由に挙げた。これを受け、表面素材の粘着性による抵抗感を軽減する手段として、透明ゲルシートへのフッ素加工剤（ゆかわ（株）、フッ素革命11）塗布による効果を検証した。しかし、この方法による抵抗感の軽減は確認できなかった。よって、少ない抵抗感でFTIR感度を向上させる条件を満たす表面素材を、再度検討する必要がある。

## 6. 物体接触色取得手法

描画面に接触した物体の色や模様、すなわちテクスチャの取得にはRGBカメラを用いる。しかし、本システムでは描画フィードバックに背面投影を使用しているため、プロジェクタからの投影光の影響が考えられる。これに対してまず考えられたのは、RGBカメラによるカラー画像取得とプロジェクタの描画結果表示を交互に切り替えて行うことであった。この場合、カラー画像取得の際には、白画像を照明として投影する。Izadiらは、提案するシステムSecondLight<sup>[8]</sup>において空間的かつ卓上のインタラクションを同時に実現するため、異なる2つの画像を交互に投影する手法を用いた。同様に、描画結果画像と白画像を交互に投影し、白画像投影時にカラー画像を取得する。しかし実際に白画像表示と描画結果画像表示を交互に行うと、ユーザへの描画フィードバックを阻害するほどの無視できないちらつきが発生することがわかった。そのため、描画結果フィードバックへの影響が少ない実現方

法として、接触形状を利用した手法を用いる。

物体が描画面に接触した時、表示する描画結果画像から接触している形状をくり抜いた画像を投影する。くり抜かれた部分には投影光が重ならず、かつユーザには描画面に物体が接触している部分は見えないため、描画フィードバックへの影響を抑えられると考える。これにより、プロジェクタの背面投影とRGBカメラによるカラー画像取得の併用を実現し、今後物体接触色取得機能として確立させる。

## 7. おわりに

本論文では、任意の物体を入力に用いるデジタルペイントシステムUnicrePaintにおける物体形状取得機能とその評価、および物体色取得手法について述べた。本システムでは、物体接触形状取得手法としてFTIR方式を採用し、背面投影による描画フィードバックとともに初期プロトタイプシステムを実装した。この時判明した描画結果フィードバックの位置ずれの問題は、投影スクリーンと入力パネルの一体化、および入力パネルの厚み削減によって解決されたことが、ユーザ評価実験によって示された。物体接触色取得手法として、描画結果画像から接触形状をくり抜いた画像の投影により、投影光の影響を避けたカラー画像取得を試みる。

今後の展望としてはこれに加え、入力時に加わる力の取得機能を実装し、実物体を使っている感覚のさらなる増強を目指す。

## 謝辞

本研究の一部は、中山隼雄科学技術文化財団の研究助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Follmer, S., et al.: KidCAD: digitally remixing toys through tangible tools, *Proc. of CHI'12*, ACM, pp. 2401–2410 (2012).
- [2] Follmer, S., et al.: deForm: An interactive malleable surface for capturing 2.5 D arbitrary objects, tools and touch, *Proc. of UIST'11*, ACM, pp. 527–536 (2011).
- [3] Ryokai, K., et al.: I/O brush: drawing with everyday objects as ink, *Proc. of CHI'04*, ACM, pp. 303–310 (2004).
- [4] Vandoren, P., et al.: FluidPaint: an interactive digital painting system using real wet brushes, *Proc. ITS'09*, ACM, pp. 53–56 (2009).
- [5] Han, J. Y.: Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection, *Proc. of UIST'05*, ACM, pp. 115–118 (2005).
- [6] Schöning, J., et al.: Multi-touch surfaces: A technical guide, *Tabletop'08*, Vol. 2, p. 11 (2008).
- [7] Smith, J. D., et al.: Low-cost malleable surfaces with multi-touch pressure sensitivity, *Proc. of Tabletop 2007*, pp. 205–208 (2007).
- [8] Izadi, Shahram, et al.: Going Beyond the Display: A Surface Technology with an Electronically Switchable Diffuser, *Proc. of UIST'08*, ACM, pp. 269–278 (2008).