

# 実物体の特徴ならびに接触圧を取得可能な デジタルペイントシステムによる創造的な描画体験の提供

小坂 真美<sup>1,a)</sup> 藤波 香織<sup>2,b)</sup>

**概要:** 絵を描く方法は本来様々あるが、近年普及しているデジタルペイントの入力はスタイラスペンやマウスなどの専用装置に限定されている。しかし、物体そのものを描画に用いることで、創造性を発揮する多様な入力の実現が期待できる。我々は、任意の物体で描画面をなぞったり押し付けたりすることで、物体の形状、色や模様、描画面にかかる圧力を反映した描画体験を提供するシステム UnicrePaint を開発してきた。本論文では UnicrePaint の全機能実現と自由創作実験を通じたコンセプトの妥当性評価を述べる。

## Offering Creative Experiences by Digital Paint System that Acquires Object Appearances and Contact Pressure

KOSAKA MAMI<sup>1,a)</sup> FUJINAMI KAORI<sup>2,b)</sup>

**Abstract:** Various methods exist in real world for drawing or painting figures on paper. We have been developing a digital painting system, UnicrePaint, that allows users to utilize physical objects as a tool for digital expression. UnicrePaint captures the appearance of objects and the input pressure, and simultaneously shows the information on the same surface of the input. This paper shares the development of full-functioned UnicrePaint, and the concept is validated through a user study.

### 1. はじめに

実世界の絵画的表現には、鉛筆や絵筆のような専用の道具を用いるだけでなく、イモの表面を削って作った判を押しつけたり、押し花を貼り合わせたり、道端の石で道路に絵を描いたり、歯ブラシや箆を使って模様を付けたり、とその表現や道具は無数に存在する。一方、近年普及しているデジタルペイントでは一般に、ペンタブレットのような専用の入力装置が用いられている。ペンタブレットを用いたデジタルペインティングでは、筆圧感知や画像処理によりデッサンや水墨画のような様々な表現もソフトウェアで仮想的に実現されている。作品の編集や保存・共有は容易

である一方、ユーザが触れる道具はスタイラスやマウスという画一的なものに制限される。触覚フィードバック技術の発展により、単一のスタイラスペンであっても布や石を用いて描いた時に得る触覚的な違いが、ある程度は表現可能になると考えられる。しかしそれでもなお、新たな表現への発想やその都度異なる創作過程を楽しめるような体験は、冒頭で述べたような実物体を用いて描く過程で得られるものに代えがたいと考えている。

このような考えのもとで我々は、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 を開発している [12][11]。UnicrePaint では、物体の形状、色や模様、入力時に加わった力を取得して描画に反映させる。これによって画一的な道具を用いて表現するのではなく、ユーザは手に取った物体の質感や重量を感じながら、直接描画面をなぞったりスタンプのように押しつけたりして描画する。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ながら、実物体ならではの使い方の試行錯誤を通して幅広いユニークな表現を可能にし、

<sup>1</sup> 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻  
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo  
University of Agriculture and Technology

<sup>2</sup> 東京農工大学大学院 工学研究院 先端情報科学部門  
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo  
University of Agriculture and Technology

a) kmkt3b@gmail.com

b) fujinami@cc.tuat.ac.jp

ユーザの創造性発揮の支援を目指している。

既報 [12] において、物体接触面の形状取得機能を赤外線漏れ全反射 (Frustrated Total Internal Reflection. 以下, FTIR) により実現したプロトタイプシステムの改良, ならびにその基本性能評価とユーザ評価を述べた。また既報 [11] では、重要機能である接触物体色取得手法についての検討状況を報告し、プロジェクタ投影と RGB カメラによる色取得の干渉を避けつつユーザビリティを確保するために「選択的な接触色取得」が必要との方向性を示した。本論文では、これまでの物体の接触形状に加えて、この「選択的接触色取得」による接触物体の色取得と入力時圧力の取得反映機能の具体化, および全ての機能が実装された UnicrePaint を用いたユーザ評価について述べる。実験では、UnicrePaint のもつ物体そのものを用いた創作コンセプトの妥当性とその実現方法の有効性を評価した。

以下、第 2 章ではコンピュータを用いた創作支援の関連研究を述べ、UnicrePaint の位置づけを示す。第 3 章では UnicrePaint の実現方法を新機能を中心に紹介し、ユーザ評価を第 4 章で述べる。全体を通した考察を第 5 章で述べ、第 6 章で結論を述べる。なお本研究は、東京農工大学ヒトを対象とする研究計画等の研究倫理審査を受けた。

## 2. 関連研究

創作支援には様々な例がある。絵筆型入力デバイスである IntuPaint[10] では、従来のペン型デバイスやマウスにはできない筆で描いている感触を実現した。FluidPaint[9] は実際の絵筆を用いた描画を可能としており、筆がパネルに接触した形状を描画に反映し、絵筆を用いて描いた時の感触をユーザに提供する。また、FlexStroke[6] ではペン先の硬度を自在に変化させることでペンや筆の描画感を再現している。さらに、TangiPaint[1] は入力された描画動作に対して、油絵具で描いたような質感や光沢感を CG で再現する。これらの研究は創作においてアナログ手法が提供するような触覚や描画フィードバックが、ユーザの創造性に対して重要な役割を果たすことを示している。

物体の特徴を活かした創作支援の研究も存在する。子供向けモデリングツール kidCAD[2] は、ジェル状の入力面をもつ入力デバイス deForm[3] に押し付けた物体の形状を取り込み CG モデルを作成する。kidCAD は、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、I/O Brush[7] は触れた物の色や映像をインクとして描画に用いるブラシ型デバイスであり、ブラシ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とされる。

上記 2 つの研究では、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な創作を支援することが示唆されている。UnicrePaint は、物体そのものを入力に用いて形

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り、最もコンセプトに近い I/O Brush との最大の違いである。そして、筆や絵具に限定した既存の描画体験の再現ではなく、多様な入力を実現した新しい創作方法を提案することも特徴である。

## 3. UnicrePaint システムの設計と実装

### 3.1 主要機能

上述のように UnicrePaint では、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。UnicrePaint は以下の 5 つの主要機能で構成される。

- (1) 入力に用いる物体の形状の取得と反映
- (2) 入力に用いる物体の色の取得と反映
- (3) 入力時に加える力の取得と反映
- (4) 入力箇所と同一場所への即時的描画出力
- (5) デジタルペイント特性としての編集機能付与

このうち (1) から (4) は、物体そのもので絵を描いている感覚を提供するのに必要な機能であり、描画面に接触している物体の形状や色、加わっている力の大きさを取得して出力する。(1) から (3) の各詳細は 3.1.1 節から 3.1.3 節で説明する。(4) については、明快な操作性を実現するために液晶タブレットのように入力位置と同一箇所にリアルタイムに描画結果の出力を行う。ただし、(1) と (2) のような接触面の形状や色の取得を実現するためには入力面の下側からのカメラ撮影が必要になり、出力面として液晶を用いることはできない。このためプロジェクタによる投影を用いるが、手や物体によるオクルージョン回避のため入力面の下側からの背面投影を行う。また、(5) は物体を用いた入力の結果得られるデジタル画像の扱いに関するものである。様々な処理が可能なデジタル画像の特性を活かすために、記録済みの描画面状態を遡ったり進めたりするような実世界上での創作では行えない編集体験を提供する。

#### 3.1.1 物体の接触形状取得と反映

第 1 章冒頭の例のように、実物体で絵画的表現を行う際には道具となる物体と描画面の接触面のみに変化が現れる。このような描画モデルを再現するためには描画面への接触と近接を区別する必要がある。そこで本システムでは、マルチタッチパネルにおける接触位置検出技術 [8] を利用する。UnicrePaint では接触は人体だけでなく様々な素材の物体であることと、上述のように接触面の色取得のために入力面下側からの RGB カメラによる撮影を行う。これを考慮して、赤外線画像を用いた光学式の接触位置検出手法のうちで透明な接触面を実現可能な FTIR 方式 [4] 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生じる内部全反射を利用する。そのパネル上において、光を透過しない物体が接触した場所で乱反射する赤外線をカメラで取得する。これにより接

触した部分の形状（画素の集合）のみの取得が可能である。なお、パネル表面にシリコンゴムのような軟らかなシートを貼付することで接触取得感度を向上させることができる。耐久性と書き心地を考慮した試行錯誤の結果、硬度 50（アスカー C 規格）のゲルシートを選定した。パネル設計の詳細は既報 [12] を参照されたい。

FTIR 方式において接触箇所での赤外線乱反射を起すためには、パネルと物体が密着する必要がある。軟らかなシートの貼付はこれを促進するものであるが、物体の材質やユーザの入力動作によって密着が弱くなると、パネルと接触しているにもかかわらず FTIR が反応せず描画出力されないため、円滑な描画動作の阻害を引き起こすことが分かった。そこで、FTIR 方式では反応していないが実際には接触している部分を「軽度接触形状」として取得する方式を考案した。この手法は、パネル表面から漏れ出た赤外線が物体に反射してパネル表面に映る性質を利用し、赤外線画像の二値化の際の閾値を調整するものである。

軽度接触形状の取得と反映の様子を図 1 に示す。(a) は赤外線カメラが取得した画像であり、FTIR による赤外線乱反射とパネル表面から漏れた赤外線の反射光が混在している。この画像に対して FTIR 用の閾値を適用して二値化すると、(b) に見られるように白い画素がなくなり全く接触が検出されない。そこで、描画面への接触があり、かつ FTIR 反応が無いが微弱だった場合に二値化の閾値を下げることによって (c) のような形状を得ることができる。始めから閾値を下げた状態では、接触せずに近くにある物体まで検出してしまいうためこのような条件を設けている。なお、描画面への接触検知は FTIR の代わりに感圧センサから取得したパネル全体にかかる圧力をもとに検知する。

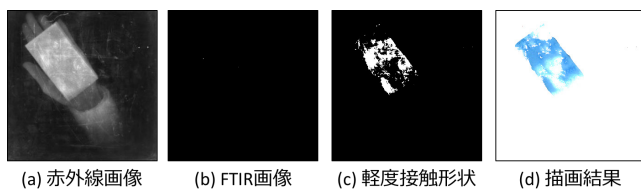


図 1 軽度接触形状の取得反映の様子  
Fig. 1 Weak Contact Shape Example.

### 3.1.2 物体の接触面の色取得と反映

描画面に接触した物体の色や模様を取得するには、描画面の背面に設置した RGB カメラを用いる。しかし描画出力に背面投影を使用するため、そのまま撮影すると RGB カメラにプロジェクタからの投影光が映り込む (図 2-B)。初期検討として、Izadi らが用いたような RGB カメラによるカラー画像取得とプロジェクタによる描画結果表示の切り替え [5] を用いたところ、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（フリッカ）の発生が確認された [11]。入出力や処理装置ならびに画像処理の高速化によりこのちらつきは解消可能だが、機材の性能に

強く依存することや、投影面の大画面化や高精細化（画素数増大）へのスケーラビリティが低いという問題がある。

そこで描画結果画像を表示したまま接触部分の RGB 画像を取得するために、図 2 に示すような接触部分のみを選択的に撮影可能な状態にする手法を考案した。この手法は、物体が描画面に接触した時に赤外線カメラにより取得される接触形状画像 (D) をマスクのように用いて、前のフレームで描画した画像 (C) から接触部分をくり抜いた画像 (F) を作成して投影する。くり抜かれた部分には描画のための投影光が重ならないため (G)、RGB カメラにより接触面の色を取得できる。また、ユーザには物体の接触部分は見えないため (A)、初期検討手法のように撮影のための無描画投影光によるフリッカの影響を受けなくなる。

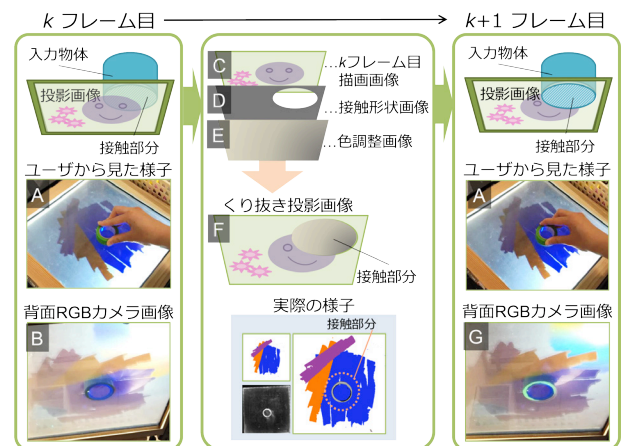


図 2 物体接触色取得の流れ  
Fig. 2 Color of Objects Capture Flow.

ただし、くり抜き部分への描画色は以下の 2 点を考慮した色調整画像 (E) を用いる必要がある。1 点目は、投影面上の位置による反射光強度の違いである。これは、RGB カメラが撮影時に取得するプロジェクタの反射光強度が投影中心からの距離に応じて減衰するために生じており、距離の影響を相殺する投影により撮影画像の均一化が可能となる。また 2 点目は、物体自体の影による取得画像の明度の低下であり、物体の下部を撮影するという本方式特有のものである。取得 RGB 画像が物体自体の影によって暗くなるため、一般の写真撮影時のフラッシュの役割を果たす程度の高輝度光の投影が必要となる。以上を踏まえ、(E) のような色調整画像を予め用意しておき、くり抜き画像を作成することで、描画投影がある中で物体本来の見た目の再現性が高いカラー画像取得を実現した。

### 3.1.3 入力時に加わる力の取得と反映

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。例えば同じ鉛筆で描く場合でも、力を入れると線が太く濃くなり、力を緩めると細く薄くなる。本システムでは感圧センサで入力時に加わる力の違いを取得し、描画色の濃淡に反映する。

接触する物体の形状や色の取得を阻害しないよう、圧力

センサは描画面の中央部を避け、四隅に設置する。感圧センサから取得した圧力を対応させる色の濃淡は、色画像のHSV色空間における彩度、HLS色空間における彩度、明度、および輝度のいずれかに割り当てる。強い圧力がかけられれば彩度、明度、輝度のうち対応する値が上昇または下降し、弱い接触であればその逆の変化を施すことで濃淡を表現する。圧力によって対応する値が上下した場合の描画例を図3に示す。今回は4つの反映要素それぞれに対し、圧力が強くなるほど値が上昇する場合と下降する場合の2通りの反映、計8種類の圧力反映を用意し、利用者が選択する。描画時にかかる力の強弱はユーザによって異なるため、システム初起動時に軽い力での接触による圧力と、強い力を加えた接触による圧力をそれぞれ取得して校正する。

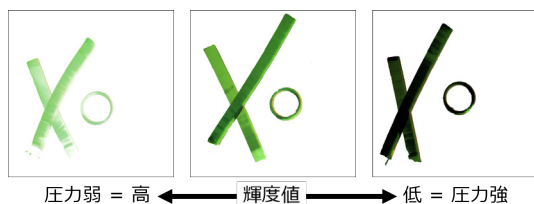


図3 色濃淡変化の一例  
Fig. 3 Shades of Color Example.

### 3.2 実装

3.1節の設計に基づき、全ての機能を有する UnicrePaint システムの実装を説明する。3.1.2節で述べた選択的接触色取得は描画の1フレームごとに行われ、高速に処理されるほど利用者の物体移動に追従したなめらかな軌跡を描けるため、高速化を意識した構成となっている。

#### 3.2.1 ハードウェア構成

UnicrePaint は、入出力パネルとその下部に接触形状取得のための赤外線カメラ、接触面の色取得のための RGB カメラ、描画出力投影のためのプロジェクタ、制御用 PC で構成されている (図4)。赤外線ならびに RGB カメラは FLIR 社の USB3.0 対応カメラ (FL3-U3-13S2M (モノクロ) または C (カラー), 1.3M ピクセル, 120 fps) を利用し、モノクロカメラには 820~910 nm の通過帯域を持つフィルタ (M SQUARE 社 BP850) を装着することで FTIR で使用している赤外線の波長 (830 nm) を透過させている。制御用 PC としては CPU Intel Core i7-3600, メモリ 16GB, GPU Radeon R9 370 を搭載したものを利用した。

FTIR 実現のためのパネル、描画フィードバックのための背面投影スクリーン、および感圧センサを組み込んだ入出力パネルの構成を図5に示す。既報 [12] において、表面素材の耐久性や投影面と入力面の厚みによる視差を改良した入出力パネルを開発したが、今回、3.1.1 節と 3.1.3 節で導入された圧力センサ (感圧可変抵抗器) を FTIR 用の入力パネルと背面透過スクリーンを貼付した出力パネルの間の四隅に設置し、マイコンボード (Arduino UNO) で集約したのちに 33 Hz で制御用 PC に提供している。

### 3.3 ソフトウェア構成

ソフトウェアは Windows 10 上で開発した。画像処理には OpenCV3.1 を利用し、OpenCV で提供されている T-API (Transparent API) を用い、CPU と GPU を透過的に利用した計算処理を可能としている。また、高速な画像描画出力を実現するために OpenGL を用いた。このようなハードウェアとソフトウェアの両面の高速化により約 40 fps の描画速度を達成し、約 18.0 cm/秒の速度で物体を移動しても形状反映した描画が途切れないと確認した。また色反映では、約 4.5 cm/秒の移動速度であれば投影光の影響を受けない描画が可能である。なお、CPU のみの計算では約 7 fps となった。

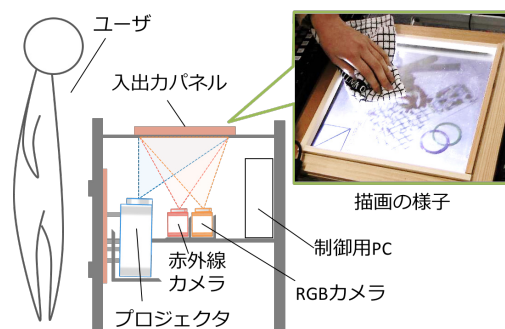


図4 システム構成図  
Fig. 4 Prototype System Construction.

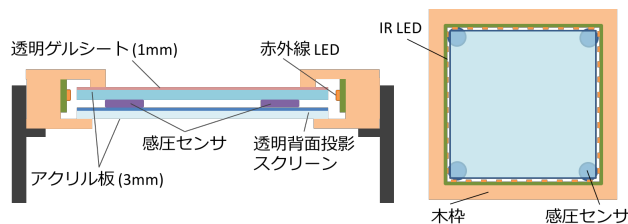


図5 入出力パネル構成図  
Fig. 5 I/O Panel Construction.

## 4. ユーザ評価実験

### 4.1 実験内容

物体を使う創作というコンセプトの妥当性と、その実現方法としてのシステム有効性評価のため、ユーザ評価実験を行った。システムを用いた自由創作として、10人の被験者が物体を使って作品を作成した。被験者は実験者が用意した物体、室内にある物体、および被験者自身が所有する物体を自由に使用した。事前に用意した物体は、日常生活の中で身の回りがあると想定される「生活空間にある物体」、「事務的な空間にある物体」、「インテリアに用いる物体」の3属性35種類である。自由創作後、口頭でインタビューを行った。被験者は、圧力反映方法に関して事前に3.1.3節で定義した8通りの描画反映から一つを選択した。

### 4.2 実験結果

#### 4.2.1 自由創作

実験者が用意した物、被験者の所持品を含め、全体で65個の物体が用いられた。このうち物体の色や模様が使われ

たのは58個だった。使用された物体の一部を表1に示す。実際に自由創作の時間中に描画に用いられた物体数は一人当たり6~36個、描画には用いなかった物を含め探索の過程で被験者が触れた物体数は9~42個、描画に用いる物体を持ち替えた回数は一人当たり14~48回であった。

表1 自由創作に用いられた物体の例 ((a):使用人数, (b):物体)

Table 1 Objects Used in Free Painting

(a)	(b)
7	筆, 指・手のひら
6	ポテトチップスの箱, ラッピング袋, マスキングテープ
5	ポンドの容器, ボール, ビニルテープ
4	消しゴム, 洋ナシ, リンゴ, 赤ペン, ぬいぐるみ, スポンジ
3	ビニルテープ, カラークリップ, 文字飾り, シャもじ, コップ スポンジ入れ, バナナ, トランプ, クッキーの型抜き, 付箋

また、自由創作中に観察された被験者の様子を次に示す。

- O1 偶発的にされた描画を活かそうとする。
- O2 望む色になるように、物体の押し方の強弱を変えて圧力反映を試す。
- O3 納得がいくまで描き直しや使う物体の変更をする。
- O4 特定の模様を反映させるため物体の一部を切取る、または変形させて使用する。
- O5 同種類で異なる色の物体を複数持ち替え使用する。
- O6 気に入った物体を繰り返し何度も手に取り使う。
- O7 物体の形状を利用した描き方をする。
- O8 様々な物体を手にとったり置いたりしながら、使う物体を吟味する。

これらの様子から、絵のモチーフの発想や作品の創作過程には大きく3つのタイプが観察された。

- T1 描きはじめる前にモチーフを決める (2人)
  - T2 試行、探索の過程でモチーフが思い浮かぶ (4人)
  - T3 興味をひく物体を様々試すうちに絵を仕上げる (4人)
- 被験者が自由創作で作成した画像の一部を図6示す。このうち上記T1の被験者の作品は左列に、T2の被験者の作品を中央列に、T3の被験者の作品を右列に示す。



図6 自由創作画像 (左列: T1, 中央列: T2, 右列: T3)

Fig. 6 Results of Free Painting.

#### 4.2.2 インタビュー回答

実験後のインタビューでは、物体を用いた創作の印象や物体探索で重要視したこと、機能に対する評価などを調査した。「物体を用いた創作を楽しめたか (5点満点)」に対し、6人が5, 4人が4と答え、理由を次のように述べた。

- A1 これを使ったらどうなるのか、という試行錯誤が楽しかった。
- A2 模様や圧力の違いなどから来る描画の変化によって、自分の操作が反映される感覚が楽しめた。
- A3 物体の特徴や質感を考えて、描画結果を予想しながら描くことが楽しかった。
- A4 普段絵を描く道具ではない物で絵を描くという意外性があった。
- A5 使用した物体の色や模様がそのまま映ることに驚きを感じた。

また、質問「物体探索の際に何を重視していたか」に対して、「形状を重視した」のは2人、「色・模様を重視した」のは5人、「形状、色の両方を重視した」のは3人であった。

「軽度接触形状取得と反映によりイメージ通りの形状が反映されたか」という質問に対しては、「イメージ通りの形状が反映された」としたのが3人、「当機能のON/OFFを自分で切り替えて使用したい」と答えたのが3人、「違いを感じなかった」が3人、その他が1人であった。圧力反映について「イメージ通りの反映がされた」が5人、「より繊細な反映がほしい」が2人、「あまり意識しなかった」「実感できなかった」が合わせて3人だった。

## 5. 考察

### 5.1 物体を用いた創作

10人の被験者全員が、物体を用いた創作を楽しめたと回答した。多かったのはA1やA3に見られる「試行錯誤が楽しさにつながった」という意見である。被験者が創作中に試行錯誤した様子は、O3, O7の行動や物体を持ち替えた回数にも表れている。またO1に挙げたように、意図しなかった形状や色の反映を面白いと評し、これを活かすやり方を模索する姿勢が多く見られた。

被験者からは、「入力に何を使っても良いことに創作の自由度を感じた」との声が聞かれた。表1より、使用物体の属性や種類の多様さが分かる。描画に用いる物体探索は、O3~O6やO8など被験者ごとに様々なやり方が観察された。またT2やT3の被験者から、物体を探し試す過程が作品の発想を導いた様子も見られる。物体探索の過程がユーザの多様な創作の仕方を誘発し、発想を刺激したといえる。

物体探索において、形状だけでなく色や模様を重視した被験者は半数以上いた。使用された物体の大半は物体そのものの色が用いられた。また、O5の動作が8人もの被験者から観察され、A2やA5が得られたことから、物体色の反映が重要視され創作の自由度を広げたことがわかる。

自身の操作が描画に反映される実感を得る要因に圧力反映を挙げた被験者がいた。強く押すと濃い色が出る、などといった圧力の濃淡への反映を自然なものに感じた、という意見が多かった。また、O2のように試行錯誤の手段として用いる様子も見られた。よって、圧力の取得と反映が自然な描画感を生み、有効に働いたと考えられる。

O7に見られる動作は様々な物体について観察された。ボールを使用した被験者は、パネルに軽く弾ませたり、端から端まで転がしたりして反映を楽しんでいた。その他、予め登録された色や形状では、物体そのもので絵を描く楽しさは得られない、と言及した被験者がいた。描画される形状や色がユーザの操作と関係なく定まっていると、物体形状や色の使用による試行錯誤は発生しない。またA4の意見に加え、自分で選び持ってきた物体がその場で反映されることに楽しさを感じ、また「物体を使っている」という実感につながる、という声もあった。これらから、物体そのものを手に持ち、その特徴の即時的な描画反映が、試行錯誤や楽しさを誘発したことがわかり、物体から色を採取する I/O Brush[7] と異なる体験を提供したといえる。

## 5.2 システム機能について

イメージ通りの形状と色が反映された物体として、ビニールテープやトランプのカードなど密着しやすく押し付けやすい形状や、はっきりした色合いの物が多く挙げられた。一方で、イメージ通りの反映がされなかった物として、形状についてはコースターのように微妙な凹凸によって見た通りの形状がパネルに接触しない物体が挙げられた。また、色については黒い物や薄い物などが上げられた。黒色は赤外線を吸収するため、接触していても原理上、形状の取得が困難である。このため、FTIR とは別の方法を使う必要性も考えられる。また、薄い色に関してはプロジェクタの反射光や、接触色取得機能におけるくり抜き画像作成処理時間の影響が考えられる。これは RGB カメラのホワイトバランスや色調整画像の調整、くり抜き画像作成の高速化などによる改善が見込まれる。より幅広い物体への対応が望まれる一方、手に持つ物体の特徴が描画に反映される感覚があったとして、ほぼ全ての被験者が「物体そのもので絵を描く実感を得た」と答えたことから、接触形状取得および接触色取得の手法は有効だったといえる。

軽度接触形状取得と反映について「自分で切り替えて使用したい」という意見があったが、意図しないタイミングで機能することへの戸惑いが理由だった。例は、細かい線を描く時に広い面積の形状が反映された時などである。一方で「望ましい形状で反映された」という声もあり、軽度接触形状の取得および反映はユーザのイメージ通りな形状反映に貢献したとわかる。このことから、軽度接触形状取得・反映機能は常時起動するよりも、ユーザ操作によって切り替え可能とすることで更に効果的に機能すると考える。

圧力反映に関しては、「イメージ通りの自然な反映だっ

た」という被験者が半数いた。一方で、より細かい反応が欲しい、接触中最も強い圧力のみを反映して欲しい、など繊細な反映を求める声もあった。描画動作中のフレーム毎に圧力を取得しているため、強い接触があった場合でもパネルから物体が離れる瞬間の弱い圧力が描画され、強い圧力の反映が見えにくい。また、描画面全体にかかる圧力を取得しているため、小さな物体を押しつけても強い圧力と認識されない場合が多い。繊細な圧力取得を可能にすることで、より自然で柔軟な感覚提供の実現が期待できる。

## 6. おわりに

身の回りの物体を入力に用いたデジタルペイントシステム UnicrePaint について、既報で実装済みだった物体接触形状に加えて、接触色と圧力の取得とその反映機能を追加し、ユーザ評価を行った。実験では、物体そのものを用いた創作というコンセプトの妥当性とその実現方法の有効性を評価した。その結果、物体を用いた創作はユーザの楽しさや発想、創造性を刺激することが示された。また、採用した接触形状取得、接触色取得ならびに圧力取得と反映の方法により、物体の特徴を活かした描画体験の提供に成功した。一方で、より多様な物体や入力への対応で、更に自由度の高い創作支援が期待できることが示された。

謝辞 本研究は中山隼雄科学技術文化財団の平成 27 年度研究助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Blatner, A., et al.: TangiPaint: a tangible digital painting system, *Proc. Color Imaging Conf. 2011*, pp. 102–107.
- [2] Follmer, S. and Ishii, H.: KidCAD: digitally remixing toys through tangible tools, *Proc. of CHI'12*, pp. 2401–2410.
- [3] Follmer, S., et al.: deForm: An interactive malleable surface for capturing 2.5 D arbitrary objects, tools and touch, *Proc. of UIST'11*, pp. 527–536.
- [4] Han, J.: Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection, *Proc. of UIST'05*, pp. 115–118.
- [5] Izadi, S., et al.: Going Beyond the Display: A Surface Technology with an Electronically Switchable Diffuser, *Proc. of UIST'08*, pp. 269–278.
- [6] Liu, X., et al.: FlexStroke: a jamming brush tip simulating multiple painting tools on digital platform, *Proc. of UIST'13*, pp. 23–24.
- [7] Ryokai, K., et al.: I/O brush: drawing with everyday objects as ink, *Proc. of CHI'04*, pp. 303–310.
- [8] Schöning, J., et al.: Multi-touch surfaces: A technical guide, *Proc. of Tabletop'08*, Vol. 2, p. 11.
- [9] Vandoren, P., et al.: FluidPaint: an interactive digital painting system using real wet brushes, *Proc. of ITS'09*, pp. 53–56.
- [10] Vandoren, P., et al.: IntuPaint: Bridging the gap between physical and digital painting, *Proc. of Tabletop'08*, pp. 65–72.
- [11] 小坂, 藤波: 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, HI シンポジウム 2016 予稿集, pp. 791–794.
- [12] 小坂, 藤波: 任意物体を用いたデジタルペイントシステム UnicrePaint における入出力パネルの改良とユーザ評価, インタラクション 2016 予稿集, pp. 1016–1021.