

## Graffiti Fur: 柔軟物の毛羽立ちを利用した描画手法

戸田光紀<sup>†1</sup> 杉浦裕太<sup>†1</sup> 平場吉揮<sup>†1</sup> 稲見昌彦<sup>†1</sup>

本研究では、絨毯などの表面に任意の絵や文字を描画できるインタラクティブなデバイスを提案する。提案するデバイスは、絨毯を指などで一定の方向になぞる際に濃淡の度合いが異なる跡ができる現象を利用し、ドット絵のように一定の間隔で絨毯をなぞることで絨毯の濃淡差により絵や文字のパターンを出して絨毯への描画を実現する。絨毯には特別な加工を施さないため、絨毯の質感を保ちつつ、何度も絵や文字を書き換えていくことが可能となる。

### Graffiti Fur: Drawing Picture Device by Shading Fuzzing Fibers Surface of Rugs

KOKI TODA<sup>†1</sup> YUTA SUGIURA<sup>†1</sup>  
YOSHIKI HIRABA<sup>†1</sup> MASAHIKO INAMI<sup>†1</sup>

In this research, we propose an interactive device where users can draw any pictures or characters on the carpet as they like. To implement this system, we utilize the lighting and shading properties of the carpet when one rubs the surface from a constant direction. These properties leave tracks on the carpet. As it is needless to modify the carpet, user can redraw patterns and characters many times while maintaining the texture of the carpet.

#### 1. はじめに

絨毯やベッド、ソファといった布でできた製品は、人によって度合いは異なるが、少なからず生活の空間を占めている。そうした製品は、単に就寝時や休息時など生活のための必需品のみならず、ぬいぐるみや抱き枕などの嗜好品として、そして生活空間を彩る装飾品としての役割も持つ。

タペストリや特に絨毯などは、部屋などの居住空間を彩る装飾の一つとして、空間の中に自分らしさや独自のテーマを演出する目的でも使われる。

しかし、演出のテーマは人によっても様々であり、またその人の気分によっても変化してくる。人の気持ちは季節や出来事などで頻繁に変わるものであるが、部屋の絨毯などの交換は、費用の面や、時間、労力の面でも手間がかかる。

そこで、我々は絨毯などの毛を一定の方向になぞり特定の部分を毛羽立たせることで、その部分の反射率を変化させて濃淡差を作り出し、模様を描き出す手法を提案する。毛を一度ならして寝かせた後、模様を残したい部分にサーボモーターのホーンを当てながらなぞることで、毛の表面への描画を実現した。提案する手法により、柔軟な毛の質感を損なうことなく、何度も絵や文字などを描くことが可能となり、より短時間で手軽に、自分好みの装飾を絨毯などに加えることが可能となる。



図 1 絨毯への模様を描画

Figure 1 Drawing a Pattern to the Carpet.

#### 2. 関連研究

##### 2.1 毛の特徴を活用したインタラクティブ技術

従来の研究でも、絨毯などの毛皮を感触などの情報提示やユーザーの行動認識などに使用して、人とデバイスとのインタラクションを拡張する目的で使用した例は存在する。

たとえば、嵯峨らは光でこの原理を利用し、毛状の物体をシリコンゴムに埋め込みゴムの光の屈折率をカメラで測定することで、人の撫でる行為をセンシングする仕組みを提案した[1]。

また、触覚を提示する例としては古川らの開発した FurDisplay がある。これは、振動モーターで毛を振動させることにより毛の逆立ちを再現する手法で、毛皮の持つ審美性を損なうことなく、逆立ちという出力を与えるウェアラブルなインタフェースが実現できると述べられている[2]。Marcelo らの提案した Sprout I/O は、形状記憶合金を仕込んだ糸やフェルトを電流で制御し、毛並みの動きや質

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科  
Graduate School of Media Design, Keio University

感を表現した[3]. 脇田らは導電性繊維に電流を流し、サーモクロミックインクで染色した糸を加熱することで色を変えさせ、布をディスプレイとして活用する技術を提案した[4].

センシングと情報提示を同時に実現した例として、中島らによる FuSA<sup>2</sup> Touch Display が挙げられる. 研究では、プラスチック製の光ファイバと赤外線 LED, 赤外線カメラによって手の接触を検知し、プロジェクターで検知された毛状のディスプレイへと映像を投影することで、毛状のインタラクティブなディスプレイ装置を開発している[5]. もう一つの例は、串山らによる Fur-Fly である. これはシミュレーション映像と生物的な動きの同期による、視聴覚と触覚を伴ったインタラクティブなコミュニケーションを目的としており、特殊なアクチュエータによる綿の動物的な動きと CG 映像の提示による視覚情報の同期的提示を行っている[6]. また、橋本らは拡散性光ファイバで織られた布型のインタフェースの LightCloth を提案した. 布の末端に発光素子アレイと受光素子アレイを装着することで、布面の列単位での発光と、布面に入射する光信号のセンシングを実現している[7].

一方で、植木らの Tabby のように、デバイスに毛皮という要素を加えて、人とデバイスとのインタラクションの質を新しいものにした研究もある[8].

以上の研究によって、柔らかい表面上の情報提示や、ユーザインタフェースとして毛の特徴を取り入れることで、なでる、触るといった行為のセンシング、逆立ちや光の投影による出力などは行われてきたが、毛の毛羽立ちによる光の反射特性の変化を利用して、模様や図柄などを描画する手法はいまだ確立されていない. この毛羽立ちという現象を取り入れることによって、(1) 既存の生活環境に配線を巡らせるなどの大掛かりな加工を施すことなく簡便にシステムをインストールでき、(2) 身体動作に追従して即時的に色が変わるため、紙に絵を描くように描画を実現でき、(3) 逆毛現象は日常的に生じている現象であり、居住空間の柔らかさや温もりを阻害せず柔軟物の模様を書き換える、といった特徴を提供する.

## 2.2 日常環境や物体に描画する手法

Daniel らは、Shader Printer というサーモクロミックインクとレーザーを利用して複雑な曲面にも高解像度で半永久的に定着する投影型の印刷技術を提案した. この技術は靴、バッグ、壁紙、床などの様々なものを対象に使うことができ、自由に模様替えができる日用品や生活空間を実現することができる」と述べられている[9].

研究とは異なるが、アート作品の中には我々と似たような手法を採用して壁や道などの環境に絵や文字などを描くものが存在する. たとえば、Nicholas の制作した Water Calligraphy Device は 3 輪の自転車に PC と水の入ったタンク、制御基板、そして一列に並べられたホースを使い、自

転車で走りながら一定のタイミングでホースから水を一斉に垂らして、自転車で通った道に文字を残していく作品である[10]. また、Pixelroller という作品は同じようにインクを射出するノズルを一列に並べてモップのような柄に固定し、文字や絵を壁に描き出している[11]. 川名は、格子状に配置されたソレノイドを制御することで平面パターンを変えられるスタンプを開発し、スタンプに時間軸的な連続性や組み合わせによるこれまでのパターンの描画、そして AR マーカーなどのデジタルコンテンツの付与を可能とした[12].

いずれも、周りの物や環境に全く、あるいはほとんど細工をすることなく文字や絵などを描画しているが、本研究では、毛の特性を生かして柔軟物に描画する手法である.

そこで、我々は本研究で、毛羽立ちを利用した描画手法を提案し、デバイスとソフトウェアによる描画システムを開発して本手法が実現可能であることを証明する.

## 3. 毛羽立ちを利用した描画の原理

### 3.1 原理

前述のとおり、本研究で提案する手法では、絨毯などの毛の毛羽立ちによる光の反射率の変化を利用して、その表面に濃淡差を生じさせることで、あたかも模様が描かれたかのように見せている. その過程は、以下のように説明できる. まず、毛を寝かすような状態にするよう毛をならしておく. 続いて、模様を描き出したい部分に突起物を当てる. そして、その突起物を特定の方向、つまり毛のせん断方向になぞると、押し込まれた突起物が毛を持ち上げる. 毛が立った部分は、他の部分と光の反射率が異なる状態となり、毛の表面に濃淡差が生じる. 図 2 は毛羽立ちの一連の過程を図にしたものである.

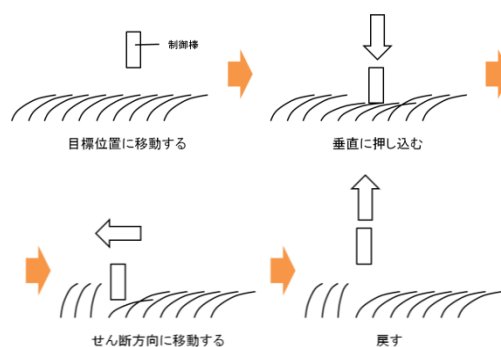


図 2 毛の表面の反射率が変化する過程

Figure 2 Varying the Reflectance on the Fibers Surface.

### 3.2 予備検証

上記の現象により毛上に模様を見せられるか、予備実験を行った. 掃除などで使用する粘着シートのついたローラーに特定のパターンに切り取った型紙を貼り付け、絨毯に

軽く押しつけながら一定の方向に転がした。



図 3 予備検証の様子

Figure 3 Preliminary Experimentation.

使用した布はマイクロセード生地3~4mm の物で、以降の実装や応用例においても同様の物を使用している。上の図 3 のように、絨毯の表面に特定の模様が描かれていることが分かる。型紙の切り取られた部分は毛に粘着し、その毛が持ち上げられることで模様が生じる結果となった。この現象と予備検証により、絨毯などの表面に模様を描き出すことが可能であると示された。

## 4. 実装

3 章で記述された現象を利用して絨毯などの表面に模様を描き出すため、以下のデバイスとソフトウェアを開発して、描画システムを構築した。

### 4.1 全体の構成

まずユーザーが自分の描きたい模様や図柄を専用のソフトウェアを用いてデザインする。次に、模様が完成したら、パターンのデータをデバイスに送信する。デバイスは送られたデータを、毛をなぞるアクチュエータの動作シーケンスに変換してアクチュエータを動かすことで、表面にドット絵のような模様を描き出すことができる。

### 4.2 デバイス

図 4 に、デバイスおよびソフトウェアと絨毯、そしてユーザーの関係性を示す。このデバイスは、12 個のサーボモーターと制御回路、電池、エンコーダーで構成されており、手持ちで操作する形になっている。

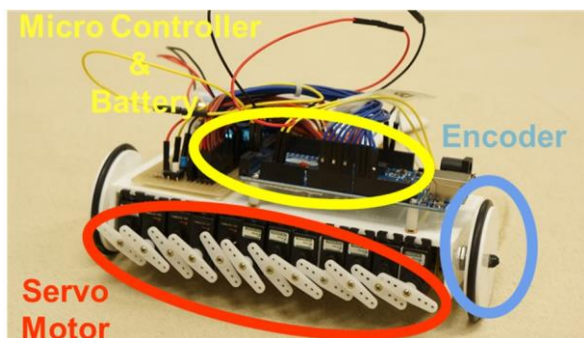


図 4 デバイスを構成する部品

Figure 4 Components of the Device.

まず、エンコーダーはユーザーがデバイスをどの距離だけ動かしたかを検知するため、回転軸上にタイヤを取り付けられ、回路と接続されている。

アクチュエータにサーボモーター 12 個を採用した。模様をつける部分にホーンを押し当てることで、デバイスを動かした際に毛をなぞり、毛を立たせる仕組みとなっている。また、電池もこのモーターを動かすための電源として使われる。

そして、制御回路には Arduino Mega ADK を使用している。専用のソフトウェアより描画データを受信することで任意のパターンを描画できる。エンコーダーが一定の方向に一定の角度だけ回転したことを検知すると、パターンに応じて各サーボモーターのホーン角度を変え、一定の間隔で描画部分のみをなぞるように制御する。

ユーザーは、このデバイスのグリップをつかみ、描画したい絵や文字などをデザインして、モーターの突起部を毛に軽く押し当てながら一定の方向に引くことで、毛の表面にその模様が描かれる。

### 4.3 ソフトウェア

ユーザーが任意の絵や文字、模様をデザインできるように、デバイスと連動するエディタプログラムを開発した。以下に概要と機能について述べる。

#### 4.3.1 概要

プログラミング言語に Processing を用いて開発した。このソフトウェアは、作成した描画パターンのデータをシリアル通信によりデバイスへ送信する。

作成されたパターンは画面左の列から右の列へ描画されるようになっている。画面中央にある描画エリアの、縦の点 12 個ずつがそれぞれのモーターとリンクしており、行列の数を縦 2~36、横 2~48 までの間で任意に変えられる。また、描画のサイズをスライダで調整することができる。

#### 4.3.2 基本的な動作

デバイスと PC を USB ケーブルで接続した後に、プログラムを起動すると、下の図 5 のように赤い点が格子状に並べられた画面が出現する。描画したい点を選択すると、点の色が濃く表示されるため、ユーザーはその濃い点で模様を描いてパターンをデザインする。点を選択する方法については、今回は PC を用いて模様をデザインすることを想定しているため、左クリックで描画点の選択、右クリックで解除という操作方法をとっている。

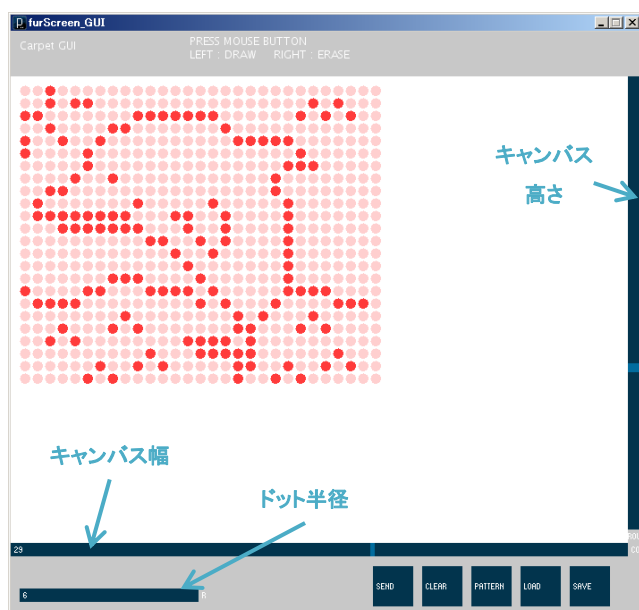


図 5 アプリケーション画面

Figure 5 Main Window of the Application.

描画エリアのドット数は、図 5 に示した画面下方のスライダバーで横幅を、右方のスライダバーで高さを変えることができ、描画エリアを大きくしたり小さくしたりできる。また、ドット半径を拡大、あるいは縮小することも図 5 に示したスライダバーで可能になっており、デザインしたパターンを拡大して表示することができる。

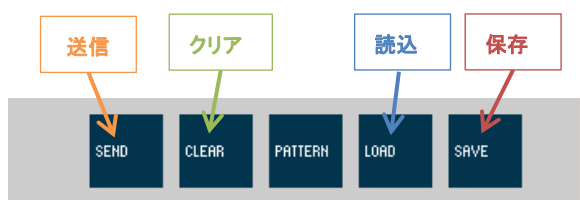


図 6 機能ボタンの拡大イメージ

Figure 6 Image Zooming the Function Buttons of the Application.

上の図 6 で示す通り、右下にデータを送信するボタンがあり、模様が完成した後に押すことでデバイスへデータが送られる。加えて、描いたパターンを一斉に消去するボタンも用意されており、ボタン一つで初めから描きなおすこともできる。

#### 4.3.3 データ読み込み、書出し

ユーザーがデザインした模様や図柄は、テキストファイルとして保存が可能である。この機能もプログラムの画面右下にあるボタンを押すことで使うことができる。

この機能を使うに当たり、テキストデータの書き方を統一した。それは、1 行目にデータの列の数と行の数を書き、2 行目以降に模様のパターンを 0 (描画なし) と 1 (描画あり)

で変換したものを書くというものである。なお、すべてのデータはカンマ(,)で区切られる。

データの読み込みは、テキストファイルを指定して行う。まず、図 6 にある対応するボタンを押すとファイルの指定画面が現れる。そこで、読み込みたい描画データが保存されたフォルダを指定し、そのテキストファイルを選択すると、プログラムの画面にデータが読み込まれる。

続いて、データの書き出しについても記述する。こちらにも同様に、保存先となるフォルダを指定して行う。やはり図 6 にある対応するボタンを押すとフォルダを指定するための画面が出現する。保存先を決定して、テキスト名を付ける(.txt も併せて記述する)と、ソフトウェア上に描かれている描画パターンを 0 と 1 で変換したデータとその幅と高さをテキストファイルとして指定したフォルダに保存する。

## 5. 利用例

### 5.1 ドローイング

絨毯にいろいろな模様や図柄が描けるため、絨毯をキャンパスのようにして、部屋や居間などの居住空間で図画を楽しむことができるようになる。我々は本研究で開発したデバイスを利用し、好きな模様をデザインして絨毯にそれを描画できるかを確かめた。まずソフトウェアで模様をデザインし、デバイスに描画データを送信する。そしてデータを受信した絨毯の上でデバイスを動かしたところ、ソフトウェア上で作成したものと同様の模様が図 1 のように絨毯上に現れた。また、絨毯を壁にかけて同様に試したところ、図 7 のように模様を描くことができた。描いた模様はソフトウェアを用いてデザインしたものである。



図 7 壁掛けの絨毯への描画

Figure 7 Drawing to the Carpet Hung on the wall.

描画パターンは単純な絵や図だけでなく、幾何学的な模様を描くことでの絨毯の装飾や、あるいは、より大画面での絵を描いていくことも可能である。図 8 および図 9 はその一例である。

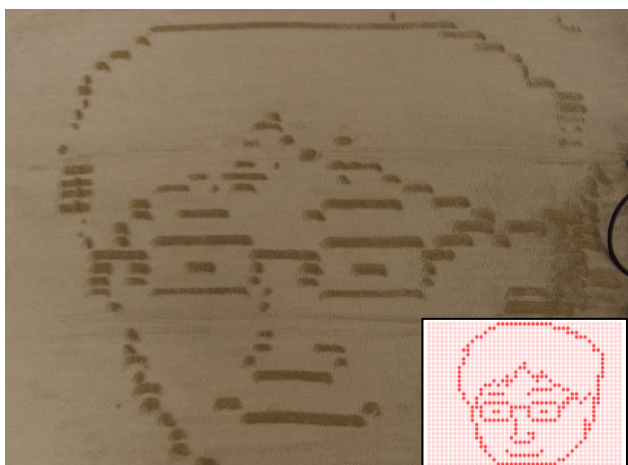


図 8 大画面での描画パターン 1  
Figure 8 Large Design Pattern 1.

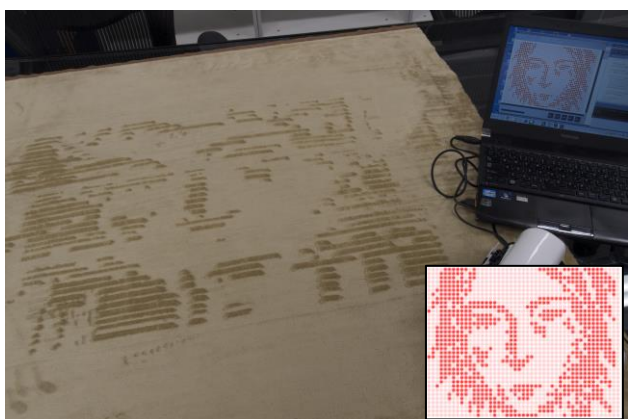


図 9 大画面での描画パターン 2  
Figure 9 Large Design Pattern 2.

## 5.2 ロボットを介した描画

本デバイスは主に手持ちで操作することを想定して開発されたが、ロボットの牽引による描画も同時に検証した。ルンバなどの床を走行するロボットに接続して自動走行からの描画や、ロボットではないが掃除機のヘッドに設置して、掃除をしながらのメッセージ伝達を想定している。

検証では、Arduino Pro Mini と TAMIYA のダブルギアボックス、DC モーターとモータードライバ TA7291P を各 2 個ずつで構成された 2 輪駆動のロボットを製作し、絨毯への描画デバイスと簡易的に接着した。また、接着部の下にキャスターを取り付けた。PC とロボットは、XBee モジュールを介して無線で接続されており、PC のキーボードで操作した。

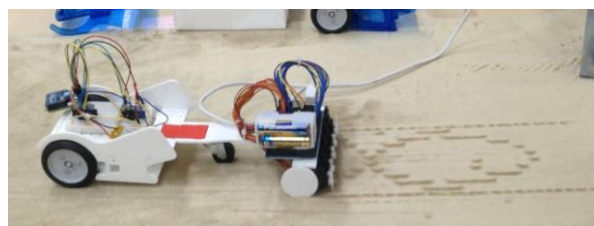


図 10 自動走行しながらの描画  
Figure 10 Drawing a Pattern with Automobile Robot.

上の図 10 はロボットで牽引しながら描画を行った様子を写したものである。PC でコマンドを送信し、2 輪駆動のロボットを絨毯上で走らせながら、あらかじめプログラムされたデータを描画デバイスに出力させると、魚の模様が絨毯上に現れた。直線的な走行だけでなく、カーブしながらの描画も可能であり、表現の幅にもバリエーションを出すことができた。本検証により、上記のようなロボットでの自動描画や掃除など家事を行いながらエンタテインメントを楽しむことが可能になると考えられる。

## 5.3 衣服への描画とその定着

本研究の手法では、絨毯などの毛の表面に絵や図柄を簡単に描画でき、模様による装飾などが手軽に行える。加えて、手でならすだけですぐに描画した絵や図柄を消すことができる。しかし、この利点は毛の表面に描いた模様が簡単に消えてしまう欠点と表裏一体である。たとえば絨毯なら、描いた模様の上を人が踏んだり座ったりするだけでその模様がすぐに消えてしまうことは容易に想像できる。確かにデータとしての保存はできるが、ちょっとした拍子に消えてしまうのは、描きなおすのに手間もかかり、何より生活空間の装飾など日常で役に立てるのにはいささか不便である。そこで、毛の表面に描いた模様の定着が行えないか、洗濯のりと霧吹きを用いて検証を行った。洗濯のりは水 200ml に対しておよそ 100g の割合で混ぜ、霧吹きで模様が描かれた場所に吹きかけて乾燥させた。図 11 にその様子を示す。

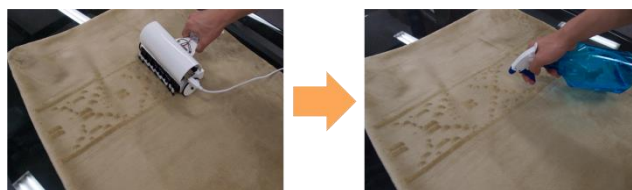


図 11 衣類に描画と接着剤を利用した定着  
Figure 11 Fixing a Pattern on the Cloth with Laundry Starch.

洗濯のりを吹き付けた場所は、他の部分とは違い手でならそうとしても毛が倒れることはなかった。また、洗濯のりは水溶性であるため、水につけてのりを洗い流せば、元の状態に戻したり別の模様に変えたりすることも可能であ

る.そのため,水と洗濯のりの適切な割合を求められれば,たとえば衣服や絨毯など日常の物や環境に自分のアレンジを加えて,生活環境をデコレーションできる新たな手法としても使うことができると考えられる.下の図12は実際に衣服へ適用した場合を想定した写真である.



図12 試着した様子  
Figure 12 Apply to a Cloth.

#### 5.4 広告・メッセージ

我々の提案した手法は,日常にある絨毯や衣服などの毛の表面へ絵や図柄,そして文字などを描画できるため,広告宣伝やホテルのセルフサービスを知らせるメッセージなどにも使用できる.たとえば,図13のようなホテルのエントランスの方向を示す案内や,絨毯に掃除の終了を示すお知らせ,あるいは家で家族や友人などに向けた特別なメッセージなど,様々な利用シーンが考えられる.



図13 エントランス案内の想定  
Figure 13 Apply for Entrance Navigation.

#### 6. 今後の展開

本デバイスとソフトウェアにより絨毯に好きな模様

を描き,生活空間の模様替えやお絵かき,さらに掃除などの家事をより楽しくできるエンタテインメントを提供できる可能性が示唆された. 今後は,さらにエンタテインメント性を高められるように発展させる. 具体的には,PCとデバイスをより緊密に連携できるよう,絨毯に描かれた模様もデータとして取り込めるよう発展させたい. そのため,絨毯の模様の形状を画像処理で検知して,好きに描いた模様を描画データとして保存したり,逆により自由度の高い模様のデザインをソフトウェア上で行って絨毯に出力したりできるように開発を進める.あるいは,PC以外にもスマートフォンやタブレットなど様々なデバイスと連動して使用できるようにすることで,さらに使用勝手や拡張性が高まると考えられる.

#### 7. おわりに

本研究で,絨毯などの表面に好きな模様や図柄を描く手法を提案した. 本手法では,毛を毛羽立たせて光の反射率を変化させることで生じる濃淡差を利用し,絨毯に絵や文字が現れたように見せている. 本研究で開発したデバイスとソフトウェアは絨毯などの表面に模様や図柄を描くことができ,提案した手法で模様の描画できること,また簡単な手法で実装可能であることが示された. 今後は,インタラクティブ性をさらに深められるように,絨毯に描かれた模様をデータに取り込めるシステムなどを開発し,生活空間で楽しめるエンタテインメントを提案していきたい.

**謝辞** 本研究は総務省,SCOPEの支援により行われた.

#### 参考文献

- 1) Saga, S., Kuroki, S. and Tachi, S. Fibratus tactile sensor using reflection image -The requirements of fibratus tactile sensor-, ACM SIGGRAPH '07, Interaction Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques 2007, p3 (2007).
- 2) Furukawa, M. et al. Fur Interface with Bristling Effect Induced by Vibration, ACM, Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference, p17 (2010).
- 3) Marcelo, C. and Maes, P.: Sprout I/O: a texturally rich interface, ACM, Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interction, pp.221-222 (2008).
- 4) Wakita, A. and Shbutani, M.: Mosaic Textile: Wearable Ambient Display with Non-emissive Color-changing Modules, ACE '06, Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology Article No.48 (2006).
- 5) Nakajima, K. et al. FuSA2 Touch Display: A Furry and Scalable Multi-touch Display, ACM, Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, pp.35-44 (2011).
- 6) 串山久美子, 笹田晋司: 生物感覚を提示する毛状視触覚ディスプレイ「Fur-Fly」, 日本バーチャルリアリティ学会, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 15(3), pp.459-462 (2010).
- 7) Hashimoto, S. et al. LightCloth: Senseable Illuminating Optical Fiber Cloth for Creating Interactive Surfaces, CHI 2013, The ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2013).

- 8) Ueki, A., Kamata, M. and Inakage, M. Tabby: Designing of Coexisting Entertainment Content in Everyday Life by Expanding the Design of Furniture, ACM, Proceedings of the international conference on Advances in computer entertainment technology, pp.72-78 (2007).
- 9) Daniel, S. et al. Persistent and Rewritable Projection with Bi-Stable Color Inks, The 39th International Conference and Exhibition in Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 2012, Emerging Technologies Article No.18, pp.5-9 (2012).
- 10) Hanna, N. Water Calligraphy Device,  
<http://www.nicholashanna.net/>
- 11) rAndom Pixelroller (2005).  
<http://random-international.com/work/pixelroller/>
- 12) 川名宏和 dotanco (2012).  
<http://gekitetz.com/dotanco/>