

Evaporation Display: 水の蒸発速度の違いを利用した情報提示システム

堤 修平^{1,a)} 園田 知美^{2,†1} 松下 光範²

概要: 本研究では水の乾き具合と温度との関係に着目し、水が蒸発する際に生じる“じわじわ”とした変化を感じ取ることができるシステムを提案する。本システムでは情報提示面に水をかけ、かけられた水の蒸発速度の違いを制御し、乾湿感の違いを小さな四角いピクセルとして個別に表示する。水の蒸発速度の制御にはペルチェ素子を用い、蒸発させる箇所以外を冷却することで暖められた箇所の熱の広がりが抑えられ、明瞭なエッジのパターンを描けることが確認された。

Evaporation Display: A display system that utilizes a difference of an evaporation velocity.

SYUHEI TSUTSUMI^{1,a)} TOMOMI SONODA^{2,†1} MITSUNORI MATSUSHITA²

Abstract: This paper proposes a novel display that utilizes a phenomenon about gradual change of color. The proposed system uses variations in moisture across a nonluminous material surface to render target images. In our proposed system, Peltier devices are installed behind the surface in the form of a matrix. The surface of the proposed system can transition from wet to dry on a per pixel basis. After water is sprinkled across the surface, the system can control the evaporation rate at each pixel location by changing the temperature of the corresponding Peltier device. Wet regions of the surface correspond to the color black, and dry regions to white. Our conducted experiment revealed that a pattern was clearly observed in the visual representation, in which there was a distinct edge separating the warm and cool sections of the water.

1. はじめに

現在我々の周りにはたくさんの情報が溢れている。これはデジタル分野での技術の発展に伴い、様々な情報提示方法が普及したことに大きな要因がある。例えば液晶ディスプレイやプロジェクタ、タブレット端末などのデジタル機器は、我々が情報を受け取る手段として欠かすことのできないものとなっている。しかし、従来のディスプレイに映し出される映像や画像は実際に見たり触れたりするもの

とは異なり、手ざわりやその場の雰囲気、温度などの感覚的な情報を人々に与えることは難しい。そのため、従来のディスプレイでは表現できない情報を、身近にあるものを用いたり組み合わせたりすることで、日常では感じられない感覚を与えることができる方法が生み出されている。

東京ディズニーランドでは雨の日の水たまりを利用し、清掃用の箒でディズニーキャラクターのイラストを描くカスタディアルアートと呼ばれるパフォーマンスが存在する。描かれたイラストは、消える過程でその場にイラストが描かれていた痕跡を残しながら蒸発と共に自然と消えていく。これは時間と共に描かれていた痕跡を残しながら静かに消えてなくなってしまうという時間依存性を持った情報提示手法としてみなすことができる。

また、オランダにある広告代理店 MISTER WILSON 社

¹ 関西大学大学院 総合情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kansai University

² 関西大学 総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University, 2-1-1 Ryozenji-cho,
Takatsuki-shi, 569-1095, Japan

^{†1} 現在, WILL 法律事務所
Presently with WILL Law office

^{a)} k750813@kansai-u.ac.jp

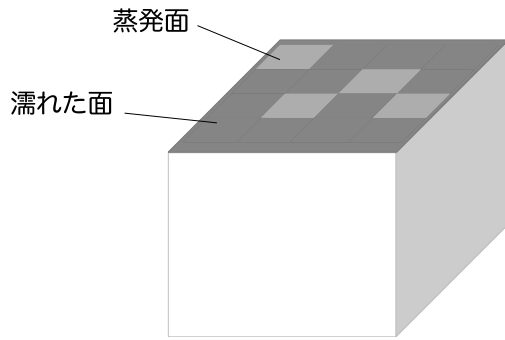


図 1 情報提示時の外観
Fig. 1 Appearance of the display.

の手がける RAINCAMPAIGN は、コンクリートや石などで舗装された道路の上に特殊な撥水塗料で絵やメッセージを描いていくプロモーション手法である。晴れた日など路上が乾いている時には情報は提示されていないが、打ち水や雨によって水が塗料に触れると反応し、描かれた文字などが浮かび上がる。実際に水を使って作為的に描くのではなく、雨などの水によってじわじわと浮かび上がるため、その経過も楽しむことができる。

本研究ではこのような“じわじわ感”を持ったアナログ的な情報提示メディアの一つとして、水の乾きに着目し、水が乾く時に生じるじわじわとした変化を感じることでできる情報提示の方法を提案する。

2. 提案手法

2.1 システムの構成

1章で述べた様に、本研究では、水の乾湿感のちがいによってじわじわとした変化を意図的に作り出し、情報の移り変わりを見て感じられるシステムの実現を目指している。情報提示面に霧吹きなどで水をかけ、図1のようなピクセルごとの乾きの変化で情報を提示する。これを実現させるためには情報提示面をマトリクス状に区切ってピクセル化し、各ピクセルの乾燥速度を制御して、全体にかけられた水と蒸発した部分の違いが一目でわかるようになることが望ましい。そこで、かけられた水の蒸発速度の違いを温度によって制御し、乾湿感の違いを小さな四角いピクセルとして個別に表示する。このような特徴を持つ情報提示システムの実現のために、情報提示面には、速乾性、排水性に優れた性質を持つ素材を使用し、その下に複数の冷温提示装置をマトリクス状に並べ、それぞれを個別に制御する方法を用いる。以下の節では情報提示面に用いる素材と、冷温提示部に用いる素材についてそれぞれ検討する。

2.2 最上部に用いる素材の検討

まず、上部に用いる速乾性ないし排水性に優れた素材として、(A) 和紙、(B) 稚内珪藻土、(C) 水筆複合紙、(D) 水変色シートの4つの素材を選び、これらの特性を比較検討

表 1 上部素材のそれぞれの適性

Table 1 Characteristics of the material.

	速乾性	乾湿感の区別	乾湿感の制御
和紙	○	×	×
珪藻土	○	○	×
水筆複合紙	○	○	○
水変色性シート	×	○	○

表 2 ニクロム線の測定結果

Table 2 Result of Nichrome heating.

	1 回目	2 回目	3 回目
1.5V	1 分 28 秒	2 分 24 秒	2 分 30 秒

表 3 ペルチェ素子の測定結果

Table 3 Result of the Peltier device heating.

	1 回目	2 回目	3 回目
1.5V	1 分 18 秒	52 秒	44 秒
3V	48 秒	49 秒	54 秒

した。(A) は、厚手の和紙である「奉書丈長生紙」(株式会社吉祥)と、薄手の和紙である「素紙 T00」(ながはる株式会社)を使用した。和紙は薄く、速乾性にも優れていることから、厚さの異なる2つの和紙について比較検討した。(B) は、速乾性と吸水性に優れており、一般的に家の塗り壁材として用いられることが多い素材である。この素材の“調合タイプ”をアルミ板に施工したものと“細粒タイプ”をアルミ板に敷き詰めたものの2つを比較対象として利用した。(C) は、「水で書ける半紙」として販売されており、書道の練習などに用いられる素材である。筆に水を付けて筆記すると、水に濡れた箇所があたかも墨で筆記したように黒色に発色するものである。そして一定時間経過すると吸収あるいは蒸発等によって水が自然消失し、元の紙面となる。(D) は、乾燥状態では不透明であるが、含水すると透明に変化する含水変色顔料を利用して、かかる含水変色顔料を含む変色層に水変色性シートを用いた素材である。これらの素材を比較するため、水をかけた場合の応答について調べることにした。すなわち、(1) 速乾性に優れているか、(2) 見た目による乾湿感の区別がつくか、(3) 乾湿感の制御ができるか、の3つの観点から実験を行った。実験では高さ15cmの場所から霧吹きで2回吹きかける動作を行い、素材の下側に冷温提示装置を備え付け、熱を与えながら観察した。表1に実験結果を示す。

実験結果からこれらの素材を比較すると、(A) は (B) (C) (D) に比べて乾湿感の区別が付きにくい。加えて、奉書丈長生紙だと速乾性もなく適さない。また、素紙 T00 の場合速乾性はよいが、乾湿感の区別はつかなかった。(B) は (A) に比べ、速乾性と乾湿感の区別については良い結果が得られたが、この素材は吸水性に優れていたため、ある程度水を含むと乾湿感の区別もつかず、調合タイプ、細粒タイプ共に


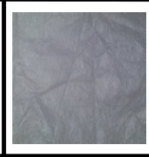

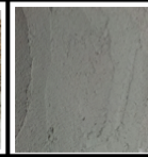
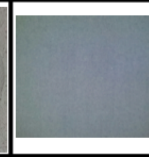
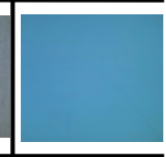

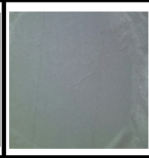

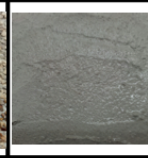
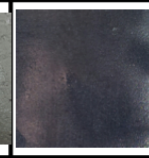
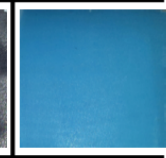
	和紙 (奉書丈長生紙)	和紙 (素紙T00)	珪藻土 (調合タイプ)	珪藻土 (細粒タイプ)	水筆複合紙	水変色シート
吹きかけ前						
吹きかけ後						

図 2 情報提示面に用いる素材実験の結果

Fig. 2 Result of color change in each material.

温度による乾湿感のコントロールもできなかった。(D)は、速乾性、乾湿感の区別、乾湿感の制御の全てにおいて、良い結果が得られた。しかし、水変色シートは含水変色顔料を使用しているため、かけた水がしみ込みやすい。そのため、蒸発までに時間がかかってしまうという結果が得られた。(C)は(A)(B)(D)に比べて速乾性もよく、濡れた時と乾いた時の色の違いがはっきりしているため、乾湿感の区別もつきやすかった。(C)は紙でできているので、温度での制御もでき、排水性もあることから(D)よりも早く乾いた。これらの実験結果を、図2に記す。実験結果から、本システムの情報提示面には(C)を用いることとした。

2.3 冷温提示部に用いる素材の検討

次に、冷温提示部に用いる素材の検討を行った。冷温提示部は、熱を発生させることのできる素材として(1)ニクロム線(2)ペルチェ素子の2つについて比較検討した。(1)は電気抵抗が大きく、発熱素材として一般家庭でも電気コンロなどに用いられている。今回の検討実験ではこれを3センチに切断したものを使用した。(2)は、パネル状であり、図3のように表と裏でそれぞれ温熱面と冷却面を提示することが可能である。プラスとマイナスを入れ替えると、温熱面と冷却面を入れ替えることも可能である。正方形の形をしており、大きさは様々であるが、今回の検討実験では15mm×15mmのものを使用した。

実験では、上部の情報提示素材として水質複合紙を使用し、1.5Vの電圧を加えた場合と、3.0Vの電圧を加えた場合のそれぞれ水の蒸発速度を計測した。実験では高さ15cmの場所から霧吹きで2回吹きかける動作を行った。それぞれの測定結果を表2及び、表3に示す。(1)の条件について、1.5Vを与えた場合、水質複合紙上にかけられた水の蒸発にも時間がかかった。また、3.0Vの電圧を加えると高温になりすぎてしまい水質複合紙が黄色く変色し、検討する

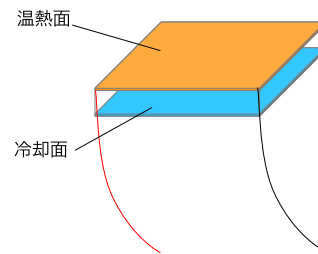


図 3 ペルチェ素子の仕組み

Fig. 3 Structure of the Peltier devices.

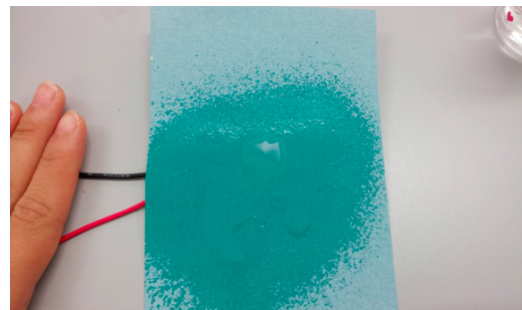


図 4 水筆複合紙にかけた水の蒸発前の様子

Fig. 4 State of the special Japanese calligraphy paper sprinkled water before that evaporates.

ことができなかった。また、(1)は物体そのものが線状であるため、平面を均等に暖めることは難しく、本システムの狙いであるピクセル表示も行い難い。(2)の条件の場合、素材そのものが3.7Vまで加えることが可能である。実験の結果、1.5Vの場合と3.0Vの場合の両方で蒸発速度も良い結果を得ることができた。また、素材そのものが正方形であるため、本システムの狙いであるピクセル表示を乾湿感の違いで表現することもできた。よって、本システムでは冷温提示装置として(2)を用いることとした。2.1節と2.2節の実験結果、最も適切と考えられる水筆複合紙とペルチェ素子を用いた際の乾きの移り変わりの様子を図4,5に示す。

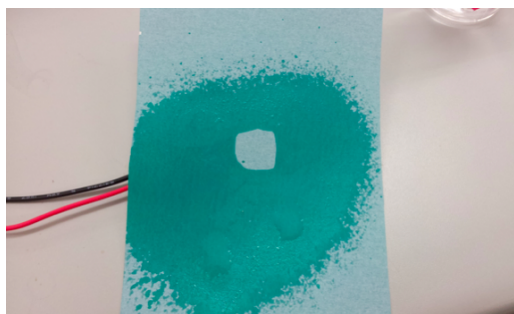


図 5 水筆複合紙にかけた水の蒸発後の様子

Fig. 5 State of the special Japanese calligraphy paper sprinkled water after that evaporates.

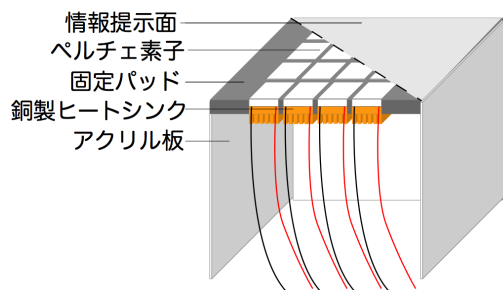


図 6 構成図

図 7 Structure of the Evapolution display.

3. 実装

本章では第 2 章で述べた要件を元に、乾湿感の違いを利用した情報提示システムの実装について述べる。ペルチェ素子の底面に放熱用の銅製ヒートシンクを取り付け、それらがマトリクス状となるように配置し、水筆複合紙の裏側に貼付けた。水筆複合紙は紙でできているため単体では剛性に欠ける。そこで図 7 のようにゴム製の角形パッドを情報提示面に貼付け、さらにアクリル版でヒートシンク部分の支えをして補強することで情報提示面の剛性を高めた。本システムで使用するペルチェ素子は、表と裏でそれぞれ温熱面と冷却面を提示することが可能である。加えて、素子に流れる電流の向きを入れ替えることで温熱面と冷却面を反転させることも可能である。本システムでは冷温提示装置は温熱面と冷却面をそれぞれ個別に制御できることが好ましいため、PC 側からの信号を与えることで冷温装置の温度変化を制御した。

4. 実験

4.1 視認性の実験

本節では、3 章で実装したディスプレイの視認性を確認するために行った実験について述べる。実験は、室温約 20 度の風のない環境の下で行った。提示面が水の乾きによって市松模様になるように冷温提示装置の制御を行い、ディ

スプレイへの水の塗布方法と蒸発速度についてそれぞれ検証した。実験条件として、(A) 霧吹きによる吹きかけ、(B) スポンジでの塗り込みの二つの水の塗布方法を試し、乾くまでの時間と見え方を計測した。どちらもディスプレイ全体が満遍なく濡れるまで塗布を行った。その際、提示面の水はけをよくする方法として (1) 水平面、(2) 斜面の二つの状態に分けて測定を行った。提示される模様は、ペルチェ素子の冷温制御通りに明瞭なエッジになることが望ましいため、水はけの良さと見え方をそれぞれ比較した。その際、水を蒸発させない箇所のペルチェ素子は冷却制御を行った。

4.2 実験の結果

(A) の条件下での (1) と (2) の比較結果から、乾くまでの時間に違いはみられなかった。また、乾き始めは (2) の方が水はけがよかったが、(1) (2) 共に明瞭なエッジの市松模様は描けなかった。次に (B) の条件下での (1) と (2) を比較した結果、(A) の塗布方法と比べると、(B) の方が乾くまでの時間を短縮させることができた。また、(1) (2) 共に (B) の方が明瞭なエッジの市松模様を描くことができた。

4.3 得られた知見

(A) の条件下での (1) と (2) の結果から、霧吹きで吹きかける方法はディスプレイに水がまばらに溜まるため、ペルチェ素子の冷温制御通りに乾燥させることができなかった。ディスプレイ上の水たまりを解消する解決策として (2) の方法を検証してみたが、結果に差は見られなかった。これに対し、(B) の条件下での (1) と (2) のスポンジで塗り込む塗布方法では、提示面に水が溜まることがなく、水の乾きを制御することができた。そのため乾く速度が均等になり、明瞭なエッジになるように蒸発させることができた。また、(A) の塗布方法よりも乾燥速度が早いという結果も得られた。(B) の塗布方法は水たまりがでないことがないため、(1) と (2) のディスプレイの角度による違いはみられない。このことから、システムの安定性を考慮すると (1) での環境が最善と言える。よって、今回の提案システムでは (B) の条件下での (1) の方法を用いることとした。

4.4 冷却提示が視認性に与える効果

(B) の条件下での (1) の方法で、冷却提示の有無による視認性の実験を行った。この実験では蒸発させない部分のペルチェ素子の冷却提示を行ったが、これを行わない場合、蒸発させない箇所のペルチェ素子の熱の伝播によって、蒸発させない箇所にまで熱が広がってしまい、明瞭なエッジの市松模様を描くことができなかった。これに対して蒸発させない箇所のペルチェ素子を冷却し、熱の伝播を抑えることで、冷却提示をしていない場合よりも蒸発速度に違いを持たせることが可能になり、明瞭なエッジの市松模様を描

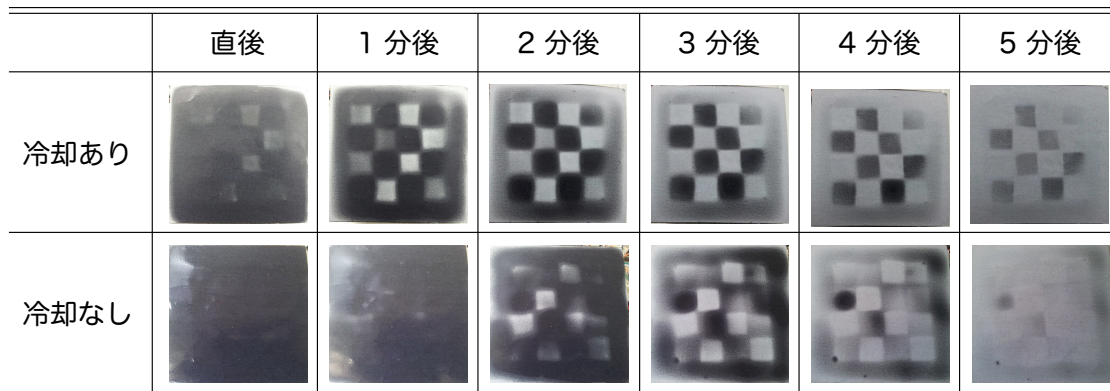


図 8 冷却提示の有無による模様の際の明瞭さの比較

Fig. 8 Comparison of the edges sharpness between with and without cooling function.

くことができた。その比較結果を図 8 に示す。

5. 関連研究

5.1 水を用いた情報提示システムに関する先行研究

これまでに様々な水を用いた情報提示システムが提案されている。本稿では代表的なシステムとして、rainterior、フォグディスプレイについて説明する。

奥出らの rainterior は、雨粒によって広がる水の波紋を利用したインタラクティブディスプレイである [5]。システムの情報提示面に、実際に雨粒が落ちた時の様子である。赤外光を利用したタッチセンシング技術を応用し、雨粒の位置を検出する水面インタフェースを実現している。水面上に雨粒が落下した位置を水面下部に設置したカメラにより検出し、水滴検出箇所からプロジェクタから映像を投影する。雨粒が水たまりに落ちたときに映像を映し出すことでユーザが雨の日に感じる不快感を軽減させ、新たな風情を生み出すことを目的としている。

八木らの多視点観察可能なフォグディスプレイは、フォグによる光の散乱が指向性を持つことを利用し、円筒状のフォグスクリーンに対し、多方向から異なる映像を投影することでユーザの視点位置に応じた映像を提示するシステムである [1]。フォグはタンクに貯蔵した水を加湿器によって霧化することで発生させる。ユーザは視点を移動させることで、対象物の立体形状を認識することが可能である。従来からあるフォグスクリーンの技術と同等の映像提示機構を保持しつつ、対象物への接触による直接的なインタラクションを可能にしている。フォグをスクリーンとして用いているため空間そのものが見えるようになり、スクリーンの存在が希薄に感じられるという利点があげられる。

5.2 温度変化を利用した情報提示システムに関する先行研究

温度変化による情報提示システムに関する研究として、Thermo-Tracer, Thermo-Drawing, Thermo-Painter, につ

いて説明する。

串山らの Thermo-Tracer [3] は、天井部に取り付けたプロジェクタからディスプレイへ画像を投影し、ディスプレイに表示される画像の色情報とディスプレイの温度が連動して変化するシステムである。複数の冷温提示装置をディスプレイとしているため、ユーザは温度情報を触れて感じ取ることができる。ディスプレイ部分の冷温提示装置には 15mm 角のペルチェ素子 80 個を用い、それらをマトリクス状に並べ個別に温度を制御している。

同じく串山らによる Thermo-Drawing [4] は、Thermo-Tracer 同様、画像の色情報とディスプレイの温度情報が連動して変化するシステムである。Thermo-Tracer と異なる点は、ユーザの描いたイラストを冷温提示ディスプレイへ投影し、イラストの色に合わせた温度変化を提示できることである。このシステムは Thermo-Tracer 同様、天井部に取り付けられたプロジェクタからユーザの描画したイラストをディスプレイへ投影する。ユーザは描画されたイラストが映し出されたディスプレイ部分に触れることで、その色に合わせた温度を感じ取ることができる。

岩井らの Thermo-Painter は、ディスプレイ部分と入力端末の温度差を用いた描画システムである [2]。このシステムは、熱画像を取得する赤外カメラ、タッチ面、プロジェクタから構成されている。ディスプレイ部分をタッチ面としても用いており、ディスプレイ部分に触れる入力端末との温度差をカメラで読み取り、ユーザによって描かれた情報をタッチ面へプロジェクタで投影する。タッチ面の上部に和紙を貼り、入力端末として筆を用いることで、ユーザは現実世界での描画に近い感覚で描画情報をデジタル化することが可能である。

5.3 先行研究との差異

本研究で提案するシステムでは、水による乾湿感の違いでピクセルアートのような情報が提示されることが望ましいため、乾湿感の違いを制御する方法として Thermo-Tracer

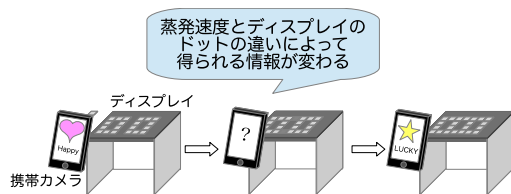


図 9 情報コード表示装置としてのディスプレイへの応用例

Fig. 9 Applied example of the information code presentation device

や Thermo-Drawing と同じく、複数の冷温提示装置をマトリクス状に並べて制御する手法を用いる。ただし、これらの先行研究では情報の移り変わりを目で見て感じ取ることができない。また、本システムには水を用いるため、Thermo-Painter のように情報提示部には速乾性に優れた素材を使用する。Thermo-Painter は入力端末に水を用いることが可能であるが、情報提示はプロジェクトからの映像であり、水そのものは情報提示に用いられない。そのため、本システムの目的である水そのものを用いた情報提示とは異なる。同じく多視点観察可能なフォグスクリーンは、水を用いているが、情報の移り変わりを視覚的に感じ取ることができない。本節で考察したように、水の蒸発速度を利用して情報の移り変わりを感ずることを意図した情報提示システムは未だ提案されていない。

6. 考察

6.1 期待される適応分野

本節では、本研究で実装した情報提示システムの適応分野について検討する。このシステムは、(1) 文字表示装置としてのディスプレイへの応用、(2) 情報付加コードとしての利用が期待できる。この情報提示ではペルチェ素子を個別に制御し、塗布された水の乾きの違いによって、ディスプレイ上の乾湿感の違いをピクセルとして使用し、水の蒸発速度の違いによって文字や記号を表示する。ディスプレイ部分に水を塗布し、コンピュータで任意の文字を入力すると、ディスプレイにその文字が“じわじわ”と浮かび上がる。ユーザは水の蒸発によって“じわじわ”とした情報提示の変化を目で見て感ずることが可能である。

(2) の使用例を図 9 に示す。提案したシステムを用いてディスプレイの水の蒸発部分の違いで提示されるドットをパターン化して情報を付加し、それをカメラで取得して情報を読み取る。水の蒸発速度は冷温提示装置の温度制御によって変えることが可能なため、経過時間の違いを利用してディスプレイ全体が乾くまでの段階ごとに違った情報を付加させる。これによって同じディスプレイでも時間やタイミングによって違った情報を与えることが可能である。

6.2 提案手法の問題点と解決策

(a) システムの試行環境

4 章で行った実験は、空調の効いた部屋だと風などによって良い結果が得られないことがあり、風のない空調の元で行った。このように、本研究で実装したシステムでは試行場所が制限されてしまう。この問題の解決方法として、温熱提示箇所の温度を上げ、冷却提示箇所との温度の差をより明瞭にする方法が考えられる。これにより、ディスプレイの乾湿感によりはっきりとした区別を短時間でつけることが可能になると考える。

(b) ディスプレイへの水の塗布方法

4 章で行った実験では、ディスプレイを平面にした状態でのスポンジによる水の塗布方法が最適だと述べた。しかし、6.1 で述べた適応分野では、スポンジを用いて手動で塗布する方法は適切ではない。このため自動的に満遍なくディスプレイへ水を塗布する方法をとして、ディスプレイに海綿ローラーを取り付け、ディスプレイが蒸発したら手動または自動で水を塗布する方法が考えられる。海綿は切手などに水を塗布する際に用いられており、その質感はスポンジと酷似しているため、これを用いることで解決できると考えられる。

6.3 今後の展望

2.2 節で行った素材の選定では、速乾性、見た目による乾湿感の区別、乾湿感の制御についてそれぞれの素材について検討した。そこでは色の濃淡で見え方による区別を行ったが、色による識別方法の他にも検討する必要がある。例えば、比較素材として使用した和紙は、多種多様な種類があり、着色することも可能である。また、和紙は他の素材と違って乾く際に伸縮するため、見た目に変化を確認することができる。ディスプレイの上部に用いる素材を着色した和紙や、異なる種類の和紙を使用するなどの検討が必要である。

参考文献

- [1] 八木明日華, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理: 多視点観察可能なフォグディスプレイ, 情報処理学会インタラクショナル 2011, pp. 315-318 (2011).
- [2] 岩井大輔, 金谷一郎, 日浦慎作, 井口征士, 佐藤宏介: ThermoPainter: 熱画像を用いたタブレット型入力装置とそのインタラクティブ描画システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 7, pp. 1582-1593 (2005).
- [3] 串山久美子, 馬場哲晃, 土井幸輝, 笹田晋司: 冷温提示による小型触覚ディスプレイ「Thermo-Tracer」の開発, 情報処理学会インタラクショナル 2010, SB11 (2010).
- [4] 串山久美子, 土井幸輝, 笹田晋司, 馬場哲晃: Thermo Drawing: 冷温提示による小型触覚ディスプレイを利用した温度描画システムの開発, 情報処理学会インタラクショナル 2012, pp. 723-728 (2012).
- [5] Okude, E. and Kakehi, Y.: Rainterior: An Interactive Water Display with Illuminating Raindrops, In *Proc. of ACM international Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp. 270-271 (2011).