

ケツログラフィティ: 結露を用いた インタラクティブディスプレイ

宮崎陽平^{†1}
羽鹿 諒^{†2}

安藤正宏^{†1}
Ondreicka Merrielle^{†3}

藤田悠矢^{†1}
伊藤雄一^{†1}

我々は、鏡状のディスプレイ上で結露の発生・消滅を制御し、結露に対して自由に落書きしたり、落書きを修正したりすることができる新しいインタラクティブなディスプレイ「ケツログラフィティ」を提案する。結露は指で触れることで加工することができ、落書きをしたり、文字を書き込んだりすることができる。しかし、一度描いた落書きを修正することは困難で、一度描いたものは時間とともに消えてしまい、その絵を保存・再現することはできない。本システムでは、ディスプレイ面の任意の位置の冷温を制御することで、その位置における結露の生成・消滅を制御する。これにより、結露で情報を提示することが可能となり、結露の復元や加工が可能となるだけでなく、結露を指でなぞることにより、インタラクティブに情報を加工することもできる。また、任意の位置に結露を発生させることで、誤った場合に修正したり、一度描いた落書きを記録、再生したりすることもできる。

キーワード: 結露, ペルチェ素子, 電磁石

Ketsuro-Graffiti: an Interactive Display with Water Condensation

Yohei MIYAZAKI^{†1} Masahiro ANDO^{†1} Yuya FUJITA^{†1}
Ryo HAJIKA^{†2} Merrielle ONDREICKA^{†3} Yuichi ITOH^{†1}

In this paper, we propose a novel interactive display called “Ketsuro-Graffiti”, which allows users to write or fix graffiti on water condensed mirror-like display surface. People can write graffiti or letters on the water condensed surface by touching. However, for this kind of playing, a large water condensed area is necessary and it is difficult to fix the graffiti once it is drawn. Moreover, the graffiti will evaporate to disappear as time passes and cannot be saved or reproduced. Ketsuro-Graffiti can control the temperature of arbitrary points of the surface to control the generation and evaporation of the condensation there. Thus, users cannot only receive the displayed information but process it with their fingers. Also, it is possible to fix, record, and reproduce it.

Keyword: Water condensation, Peltier device, Electro-magnet

1. はじめに

結露は私たちの身近に現れる天然のキャンバスであり、電車の窓やコップの表面に自然に現れた結露に指で文字やイラスト、メッセージを書き込む遊びは子どもから大人まで広く行われている。実際に結露自身が一つの芸術作品となる前例もある[1]。結露でこうした遊びを行うには、結露発生面がある程度広くなければならず、また結露の発生には気温や湿度などの条件が整う必要がある。また、結露に指で触れると、触れた部分の結露の小さい水滴は大きい水滴となり、結露としては消えてしまう。これにより文字や絵などが描けるのであるが、一旦消えてしまった結露はなかなか復活せず、間違えて描いてしまった場合にその修正は非常に困難である。

そこで我々は、電流を流すことで吸熱・発熱を制御できるペルチェ素子を用いてディスプレイ表面上の任意の位置に

結露を発生させ、ユーザが表示された情報を受け取るだけでなく、発生した結露を指でなぞることによりインタラクティブに情報を加工することもできる、結露によるインタラクティブなディスプレイ「ケツログラフィティ」を提案し、その実装を行う。本稿では、主に、ペルチェ素子を用いた結露の生成を制御する機構について実験を通じて検討する。また、本稿ではケツログラフィティを用いた応用例の一つとして、結露が発生しやすい鏡表面のメタファを用い、ユーザの顔をディスプレイ上に結露として描画し、それにユーザ自身で落書きできるというアプリケーションを実装する。

2. 関連研究

CRT や LCD をはじめとした表示解像度の高いディスプレイに対して、シャボン玉や水滴などの物体を配列したりその色を制御したりして情報を表現するディスプレイが提案されている。Polka dot[2]では撥水布上に配置した水滴の動きを制御して表示に用いている。Colloidal display[3]ではシャボン玉の表面の色の变化をディスプレイとして利用している。Shaboned display[4]はシャボン玉そのものをディスプレイの画素に見立てた表現が提案されている。我々が提

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
int_creation@ime.cmc.osaka-u.ac.jp

^{†2} フリーランス
Freelance

^{†3} Worcester Polytechnic Institute

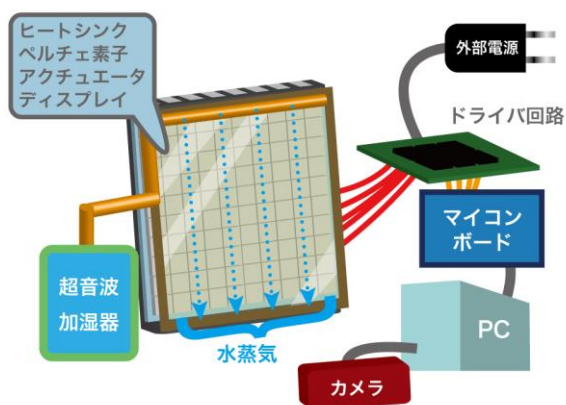


図 1 システム概要図
Figure 1 System Overview

案するケツログラフィティでは、ディスプレイの表示方法として結露を用いることにより、物体の描画だけではなく、ユーザが手で触れて自由に模様やテキストを書き込める。

また、ケツログラフィティでは結露を発生させるためにペルチェ素子配列を用いて冷温制御を行う構成を検討するが、こうした構成を利用した冷温提示装置もいくつか提案されている[5, 6]、その中にユーザが描いた画やアニメーションに対応した冷温分布を提示できるディスプレイとして Thermo Drawing[5]がある。これは 15 mm 四方のペルチェ素子 80 個をアレイとし、コンピュータ上の画面の色に合わせてペルチェ素子の温度を調節することで、所望の画像に対応した冷温分布をユーザに提示することができる。一方、結露を表示に用いた例として Dewy[6]が存在する。これはペルチェ素子の ON/OFF で結露の生成と消滅を制御することにより、PC 上の文字を結露でディスプレイ上に描画するものである。しかし、PC 上の文字を描画するだけであるため、インタラクティブ性に乏しい。

提案システムでは、ペルチェ素子上に複数のアクチュエータを配置することで、従来よりも高解像度にさらに所望の位置に結露を発生させられるディスプレイを提案する。これにより、ユーザの書き込みによって結露が欠如した部分に新たに結露を発生させることができるため、アンドウやリドゥの機能などが提供でき、ユーザとシステムとのインタラクティブ性の向上が期待できる。

3. ケツログラフィティ

3.1 概要

本稿で提案するケツログラフィティは、結露が発生する面（以下、ディスプレイ面と呼ぶ）の任意の位置に結露を発生させることができるため、ユーザは表示された情報を受けとるだけでなく、結露を指でなぞることにより、インタラクティブに情報を加工することもできる。また、ユーザが結露に描いた模様を記録すれば、それを繰り返し再現したり、結露への落書きをアンドウしたりすることも可能

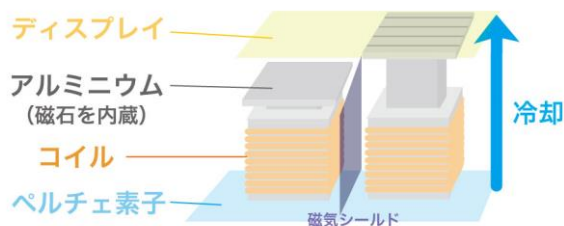


図 2 アクチュエータ部概要図
Figure 2 Actuator Overview

になる。図 1 にシステムの概要図を示す。主に、ディスプレイ面に結露を生成する機構の部分と、ディスプレイ面の結露を認識してフィードバック制御する部分とで構成する。

実装アプリケーションでは、発生させる結露の模様を決定するために、ユーザの顔を撮影するカメラやユーザのインタラクションを記録するカメラを別途用い、ユーザの顔を結露で表現したり、ディスプレイ上での落書きを記録して再現したりすることを検討する。

3.2 結露生成機構

ケツログラフィティでは、ディスプレイ面に冷温を伝えることにより結露を発生させる。ディスプレイの裏側には、ペルチェ素子の上に、それよりも小さなアクチュエータをマトリクス状に並べて配置し、各アクチュエータを介してディスプレイ面に冷温を伝え、結露を発生させる。アクチュエータは図 2 に示すように磁石とコイルにより構成する。各アクチュエータは常時、底面のペルチェ素子によって冷却されている。アクチュエータが ON になるとアクチュエータの上面がせり上がってディスプレイ面と接触し、接触した領域を冷却する。これにより冷却されたディスプレイ面側に結露が発生する。アクチュエータが OFF になるとアクチュエータの上面がディスプレイ面から離れる。この時、ディスプレイ面の熱が拡散することで結露が消失する。

今回の実装では 10mm 四方のアクチュエータを 10×10 のマトリクス状に並べ、トランジスタにより行・列を指定し、モータードライバ IC を用いて ON/OFF を制御する。このようにマトリクス状に並んだアクチュエータを電氣的に ON/OFF 切り替えることで、10pixel×10pixel の解像度の画像が結露によって生成可能となる。アクチュエータの数を変更することで解像度の変更が可能である。

3.3 予備実験

生成した結露に対してユーザが落書きをすることを考えると、(1) 短時間で結露が表面に発生すること、(2) 発生した結露が長時間ディスプレイ面に残ること、の 2 点が重要な特性となる。こうした特性は結露を発生する表面の素材によって大きく変化するため、まずはこれら 2 点につ

表 1 予備実験結果

Table 1 Results of the experiment

素材 (厚さ)	結露発生時間 (s)	結露持続時間 (s)
鏡 (3mm)	17	128
PVCミラー (3mm)	15	118
アクリル (3mm)	26	158
ガラス (10mm)	45	244
ステンレス (5mm)	6	43
ステンレス (3mm)	6	24
ステンレス (1mm)	3	22

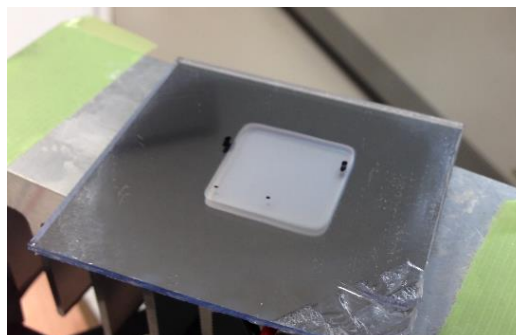


図 3 PVC ミラーにおける結露

Figure 3 Condensation on the PVC mirror

いて良好な特性を示すディスプレイ面の素材を実験により検討する。また、普段の生活での結露とのインタラクションは主にガラスと鏡で行われることから、ディスプレイ面の素材には透明、もしくは鏡面のものを用いることとした。

実験では透明もしくは鏡面の複数の素材について、結露発生時間、および結露持続時間の測定を行う。ペルチェ素子は日本テコモ製 TEC1-03105 (20mm×20mm) を使用し、電圧 3.7 V をかけ、電流 4.67 A を流した状態で、ディスプレイ面に押し付けて結露を発生させる。この時、ペルチェ素子に電流を流し始めてからペルチェ素子大の結露が発生するまでの時間を結露発生時間、その後、ペルチェ素子を離してから結露が完全に消えるまでの時間を結露持続時間として計測する。実験環境は、室温 25.3℃、湿度 51% である。実験の結果を表 1 に示す。

この実験結果を受け、ディスプレイ面には PVC ミラーを使用することとした。表 1 によれば、ステンレスでは結露の発生は早い結露継続時間も短くなっており、またガラスでは結露継続時間は最も長い結露の発生に時間がかかるため、今回の実装ではステンレスやガラスは適していないと考えられる。しかし PVC ミラーにおいて結露はステンレスに次ぐ早さで発生し、100 秒以上継続して残ることが分かる。そのため今回の実装では PVC ミラーがより適していると考えられる。また、図 3 に示すように、ペルチェ素子で PVC ミラーに結露を発生させた場合、結露が冷却した領域以上に広がる様子は見られなかった。これも結露を任意の位置に表示する上で望ましい特性である。

3.4 ユーザの操作に対するフィードバック

ケツロググラフィティでは、ユーザはディスプレイ面に発生した結露を指でなぞることにより、表現された情報を加工することができる。そのためディスプレイ面の結露をカメラで撮影すれば、ユーザのディスプレイに対する操作を認識することが可能となる。認識したユーザの操作に対し、

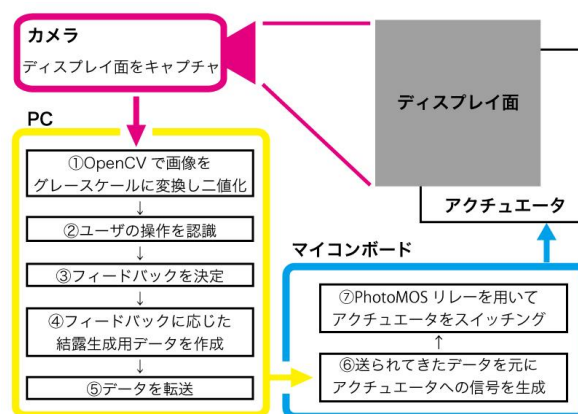


図 4 処理の流れ

Figure 4 Processing flow

結露生成機構を用いて新たな結露を生成することによりユーザの操作に対するフィードバックが可能となる。図 4 に処理の流れを示す。

はじめに、カメラにより結露の発生したディスプレイ面を撮影することにより画像を取得する。次に、PC 上で OpenCV により、取得した画像をグレースケール化し二値化する。生成された画像からユーザの操作を認識し、どのようなフィードバックを返すかを決定する。現段階ではフィードバックとして、ユーザの操作に対するアンドウやリドゥを検討している。そしてフィードバックを結露として表現するために、結露生成機構に送信するデータを生成する。最後に、結露生成機構では受信したデータをもとにアクチュエータを動作させ、結露によるフィードバックを行う。

4. アプリケーション例

ケツロググラフィティでは、任意の位置に一定の大きさの結露を発生して模様や図を表現することができる。これを利用して、結露で絵を描く行為をモチーフにしたアプリケーションを実装する。

提案するアプリケーションでは、結露で表現されたユーザの顔にユーザ自身で落書きをすることを可能とする。また、結露で絵を描く行為は、電車や学校の教室の窓など、身近な場所で行われているが、やり直しがきかず、完成した絵も結露が溶けてくるに伴い消失してしまう。本アプリケーションでは、ケツログラフィティを用いることで、やり直しやリセットが可能な結露とのインタラクションを実現する。こうした結露で表現された顔に自由に落書きすることで、コンピュータを介しているという感覚なしで、画像に直接触れて落書きをするという体験ができる。更に、カメラによる画像イメージをドットパターン化する事で、単なる結露に対する落書きではなく、現実世界の画像が結露となって現れ、更にそれに加工するという不思議な体験が可能となる。

本アプリケーションでは、ユーザの顔をキャプチャするためにディスプレイ面の上部に追加のカメラを設置して使用する。また、実際の体験手順を含めた処理の流れを以下に示す。

1. ユーザが PVC ミラーと正対する。
2. 追加したカメラでユーザの顔をキャプチャし、制御用 PC に転送する。
3. PC では画像から顔領域を認識し、その顔画像をケツログラフィティの解像度に合わせたドットパターンに変換する。
4. ドットパターンに対応した結露が生じるように PC からマイコンボードに通信する。これにより、ユーザの顔に基づいた結露が発生する。
5. ユーザは結露に指で自由に落書きができる。また、本デバイスの結露生成を利用して、リセットしたりアンドゥしたりしながらより自由度の高い落書きを楽しむ。
6. ユーザが鏡をふき取って落書きを消すと体験終了となる。

このように、現実世界のユーザの顔が、結露によって表現され、更にそれに落書きをするという非現実的な体験が可能となる。この他にも、様々な画像イメージを反映した結露を生成することで、日常生活では体感できない不可思議な体験を提供でき、新しいエンタテインメントの創造に寄与することが期待できる。

5. おわりに

本稿では、結露の生成を制御することによって情報提示を可能としたディスプレイ「ケツログラフィティ」を提案した。このディスプレイは、ペルチェ素子で多数のアクチュエータを常時冷却し、任意の場所のアクチュエータを動作させディスプレイ面を冷やすことで、任意の模様の結露を発生させる。ディスプレイ面の素材は、様々な素材を試した実験の結果から PVC 板が適当であると分かった。また、

カメラ画像に基づいて任意の模様を結露として表示する機構を検討し、ディスプレイ面にユーザの顔を結露として表示し、これに自由に落書きができるインストールを提案した。

今後は、アクチュエータの密度を細かくする事でより高解像度な結露の発生を可能とし、より表現力の高いディスプレイを実装していく予定である。

参考文献

- [1] HAACKE, H. Condensation Cube.
“<http://www.artnet.com/Magazine/features/cone/cone8-6-9.asp>”, 2013 年 8 月 8 日閲覧, 1963.
- [2] Kojima, Y., Aoyama, K., Itoh, Y., Fujita, K., Fujimoto, T., and Nakajima, K., “Polka dot: the garden of water spirits,” Proc. of ACM SIGGRAPH Poster, Article No. 47, 2013.
- [3] Ochiai, Y., Oyama, A., and Toyoshima, K., “A colloidal display: membrane screen that combines transparency, BRDF and 3D volume”, Proc. of ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies, Article No. 2, 2012.
- [4] Hirayama, S. and Kakehi, Y., “Shaboned display: an interactive substantial display using soap bubbles”, Proc. of ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies, Article No. 21, 2010.
- [5] 串山久美子, 馬場哲晃, 土井幸輝, 笹田晋司, “Thermo Drawing:冷温提示による小型触覚ディスプレイを使用した温度描画システムの開発”, IPSJ Interaction 2012, pp. 723-728, 2012.
- [6] Amanda P., Dietmar O., “Dewy: A Condensation Display,” Proc. of ACM SIGGRAPH 2007 posters Article No.44, 2007