

トレーシングペーパーの吸湿変形のための 表現メディア装置の要件の検討

Consideration of Requirements to Make Media Device for Expression
Using Hygroscopic-morphing of Tracing Paper

高橋 明日香¹, 渡邊 恵太¹

Asuka TAKAHASHI¹, Keita WATANABE¹

明治大学¹

¹Meiji University

【要約】

トレーシングペーパーは湿気を吸収しやすく、吸湿した面が膨張し丸まるように変形する。変形速度が比較的速く様々な加工が可能なため、表現メディアとして視覚的に楽しめるのではないかと考えた。そこで、我々は以前トレーシングペーパーの変形を表現メディアとして用いることを目指して変形の制御性を調査し、トレーシングペーパーの吸湿量の調整によって特有のはためきを伴った大まかな制御が可能であることを示した。本研究では、これらの性質を活かした表現メディア装置作成のために、ガーゼに含ませた水分を熱で蒸発させて片面に吸湿をさせる手法と、空気の攪拌により一時的に変形を戻す手法を提案する。さらに、これらの手法を用いた装置を試作し表現例を提示する。

キーワード: トレーシングペーパー, 吸湿変形, 表現メディア, ディスプレイ

【Abstract】

Tracing paper absorbs moisture easily and curls up by the expansion of the surface that absorbed it. Since it curls up relatively quickly and can be processed in various ways, we thought it would be visually pleasing as media for expression. We previously examined the controllability of the morphing of tracing paper on the premise that it would be used as media for expression and showed that it was possible to control the morphing roughly by adjusting the amount of moisture absorption, with a characteristic flutter. Here, we propose a method of evaporating moisture in the gauze with heat to absorb moisture on one side of the tracing paper and a method of temporarily returning the morphing to its original shape by ventilation to create a media device for expression making use of its property. In addition, we prototype the device using these methods and present examples of expression.

Keywords: tracing paper, hygroscopic-morphing, media for expression, display

1. はじめに

木材繊維製の紙には、吸湿・放湿によって伸縮する性質がある。表裏で吸湿量の差があった場合、吸湿量の大きい面がより膨張し、その面を外側にして丸まるように変形する[1]。特に、トレーシングペーパーは一般上質紙に比べてより大きく変形する[2]。また、変形速度も掌の上で 30 秒程度と比較的速く、変形過程をリアルタイムに認知することができる。さらに、一度変形させても、放湿させればまた元のフラットな状態に戻せる。

このように変形速度が比較的速く入手も容易なトレーシングペーパーの吸湿変形を用いて、インタラクティブな表現メディアの実現を目指す。そのために本研究では、トレーシングペーパーの吸湿・放湿を制御する手法を考案し、その手法を反映した装置を作成する。

我々は、トレーシングペーパーの変形を表現メディアとして用いることを目指して変形の制御性を調査し、ひらひらと揺れながら変形する性質上厳密な制御は難しいが、吸湿量を変えることで大まかな制御が可能であることを示した[3]。また、防水加工のパターンを施すことによって、変形の色・大きさ・形状を変化させられることを示した。

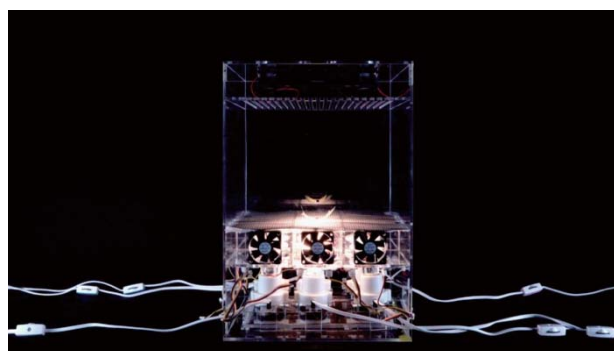


図 1. 試作した装置

本論文では、まずこれらの調査により分かった性質を活かし、吸湿変形を楽しめる表現メディア装置の要件検討と試作をする。

2. 関連研究

紙や布を吸湿・放湿により紙や布の変形させる研究報告がある。Guberan は、インクジェットプリンタを用いて、トレーシングペーパーに水のパターンを印刷し、水分を蒸発させることで立体的な構造に変形させている[4]。

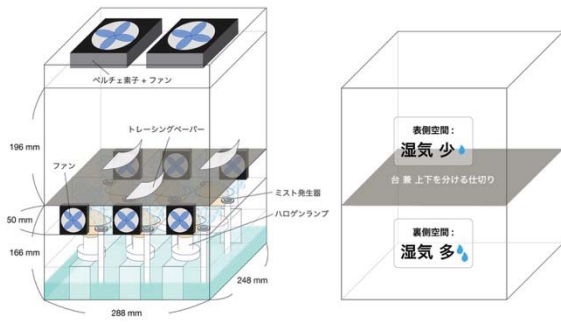


図 2. 左: 全体構造 右: 湿気の量の状態

Shigemuneらは、Gubaranの研究のメカニズムを考察し、高揮発性インクと有機アクチュエータを用いた、組み上がりから稼働までを自動で行うトレーシングペーパー製の紙ロボットを提案した[5]。また、インクジェットプリンタで濃度の異なる電解質溶液を印刷し分け、自己折りたたみに時間差をつける手法を提案した[6]。Riveraらは、水に反応して膨張するハイドロゲルを吸湿変形の性質を持たない布に印刷し、放湿することで縮ませて変形させる手法を提案した[7]。

本研究では、トレーシングペーパー本来の吸湿変形の性質に着目し、それを表現メディアとして応用する場合にどのような装置であるべきかの要件を検討し、装置を試作した。

3. 表現メディア装置の要件の検討と試作

3.1. 作成方針・要件

トレーシングペーパーの性質や、変形の制御性の調査結果[3]を踏まえて考察した装置作成の要件を以下に示す。

1. 片面の吸湿量をもう片面より多くできること
2. 吸湿量をだまかに制御できること
3. 変形を戻せること

1 つ目は、トレーシングペーパーの変形が表裏の吸湿量の差に起因することから要件に挙げた。2 つ目は、先行研究の制御性の調査[3]より、吸湿量の変化によってだまかに変形の大きさを制御できることから要件に挙げた。3 つ目は、変形の可逆性があることがメリットの 1 つであることと、変形を戻すことによって表現の幅が広がると考えたことから要件に挙げた。

3.2. 全体の実装

これらの要件を満たす装置として、4mm厚の亚克力板を用いて図2のような装置を作成した。吸湿は裏面へ限定している。装置を中央のトレーシングペーパーを置く台となる網にて、表側空間と裏側空間に区切る。そして、表側空間の水分量を少なく、裏側空間の水分量を多くすることで、トレーシングペーパーの表裏の水分量に差をつけて変形させる。表側空間は、上部に設置したペルチェ素子とファンで除湿することによって、水分量を少なくする。裏側空間の水分量を多くする構造と、

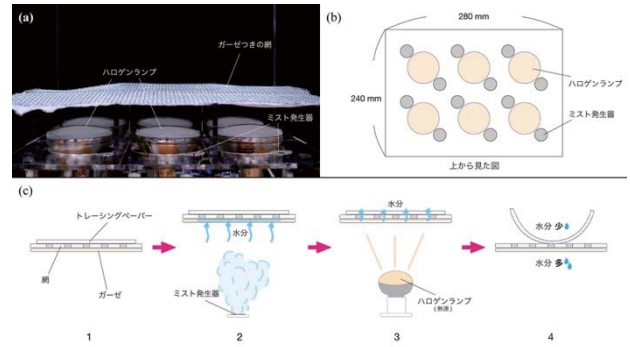


図 3. 吸湿手法と裏側空間の構造

その構造による吸湿手法、変形を戻す手法については、3.3 以降で述べる。

3.3. 吸湿手法と構造

裏面に吸湿させるために、装置の裏側空間を図 3ab のような構造にする。上から順に、装置を上下に分けるための裏側にガーゼをつけた亜鉛製の網、熱源として神畑養魚株式会社のネオハロゲン 50W を 6 個、ミスト発生器として Seeed Technology Co., Ltd. の Grove Water Atomization を 12 個用いた。

裏面に吸湿させる手順は以下のとおりである(図 3c)。

1. 網の上にトレーシングペーパーを置く
2. ミストを発生させ網の下のガーゼに吸湿させる
3. ガーゼの水分をハロゲンランプで蒸発させる
4. 蒸発した水分を裏面が吸うことで変形する

ミストの大きい水滴を直接トレーシングペーパーの裏面に当ててしまうと、放湿後も変形の跡がついてしまい、変形の可逆性が損なわれやすい。そこで、一度ミストの水分をガーゼに吸収させ、その水分を熱で蒸発させる。この手法には、ランプの照射時間を変えることによって蒸発量を調整し、変形の大きさを制御できるというメリットもある。トレーシングペーパーの固定は、亜鉛製の網に吸着可能なマグネットで行った。熱源には、ミストを遮らずに赤外線加熱可能なハロゲンランプを使用した。

3.4. 一時的に変形を戻す手法と構造

トレーシングペーパーは表裏の吸湿量の差によって変形するため、装置の表側空間と裏側空間の水分量の差を無くせば変形は元に戻る。3.3 の手法のミストの噴霧とハロゲンランプによる加熱を停止し、表側空間の除湿を止めれば、これを実現できる。しかし、この変形の戻し方では即効性がなく、場所ごとの制御も難しい。

そこで、裏側空間にファンを設置した(図 4ab)。トレーシングペーパーが変形した状態でファンを回転させて外に風を送り出すと、表側と裏側の吸湿量の差が緩和され、一時的に変形を元に戻すことができる(図 4c)。この状態でファンを止めると、表側と裏側の吸湿量に差が生まれ、再び変形させることができる。

また、仕切りを入れることでファンの風が到達する範囲を限定でき、部分的に変形を戻すことができる。今回試作した装置では、図 4b のように亚克力板の仕切りを

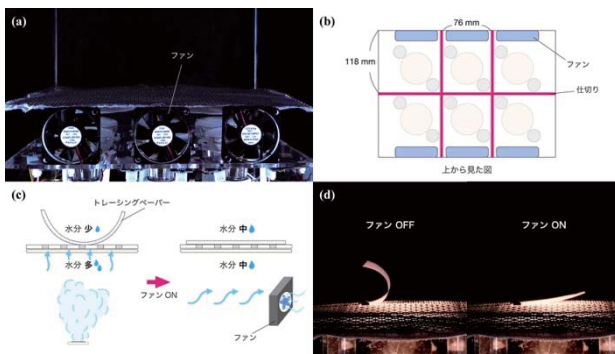


図 4. 一時的に変形を戻す手法と裏側空間の構造

設置し、6箇所の変形のそれぞれを個別に戻せるようにした。

4. 表現例

吸湿変形や防水加工による変形の違いを活かし、装置で試した表現例を紹介する。現状では、ミストやファン、ハロゲンランプのON・OFFは手動で制御している。今後は装置でこれらのパラメータを制御できるメリットを活かした表現例をさらに探索する予定である。

4.1 吸湿量制御で変形の大きさを変える

ガーゼに吸収させる水分量を変えることで、変形の大きさを変えることができる。図 5a の例では、噴霧するミストの数を左から順に 2 個, 1 個, 0 個とすることで、炎の立ち上がる大きさを左から右にかけてだんだん小さくしている。

4.2 防水加工で丸い部分と真っ直ぐな部分を作る

変形させる根本を避け、立ち上がる面に防水加工をすることによって、真っ直ぐに立ち上がらせることができる。図 5b の例では、花びらの部分には防水加工をせず、がくの部分には根本を残して防水加工をすることによって、花びらは丸く、がくは真っ直ぐに変形させている。

4.3 ファンで一時的に変形を戻す

ファンを回すと一時的に変形が戻ることを利用し、ファンを回したり止めたりして一時的に変形をさせたり戻したりすることができる。図 5c の例では中央の図のように蝶の羽が変形したところでファンを回すことで、右の図のように羽の変形を戻し、蝶の羽ばたきを表現している。

4.4 ファンと仕切りで部分的に変形を戻す

網の下に仕切りを入れてファンの風の到達範囲を限定することで、部分的に変形を戻すことができる。図 5d の例では紙芝居箱を想定し、まず左の図のように鬼側だけファンを止めて鬼を立ち上がらせ、次に中央の図のように桃太郎側もファンを止めて桃太郎を立ち上がらせた後、右の図のように鬼側のファンをつけて鬼だけを倒れさせている。

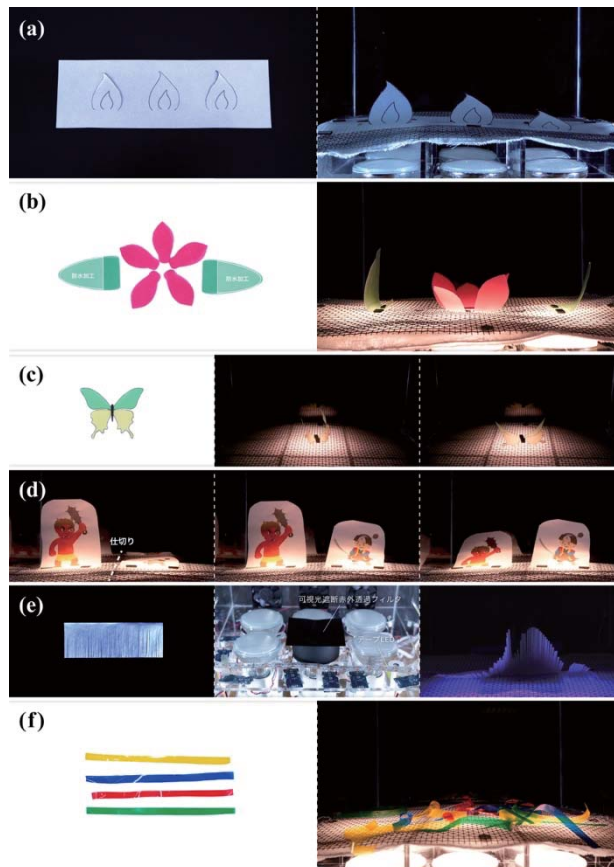


図 5. 表現例

4.5 赤外線透過フィルタで演出に可視光を使う

ハロゲンランプの上に可視光遮断赤外透過フィルタをかぶせることで、ランプの光に左右されない表現ができる。図 5e の例では可視光を遮断して下からテープ LED の色を変化させながら当てている。他にも、可視光を遮断することでプロジェクションを使った表現や、明るい場所の変形を想定した表現に応用できる。

4.6 吸湿変形する別の素材を使う

トレーシングペーパー以外にもセロハンやオブラートなど同様の性質を持っている素材にも、制御性は異なるが応用できる。図 5f の例では、トレーシングペーパーよりも変形速度の速いセロハンを細長く切って無造作に置き、うねうねと生き物のように変形させている。他にも、2章で挙げたハイドロゲルによって形状変化可能になった布[7]や、水溶液のインクジェット印刷により自己折りたたみ可能になった紙[6]と組み合わせられる可能性もある。

5. 議論

装置の制御性や精度による課題、トレーシングペーパーの性質による課題、そして提案した手法・構造自体によって表現の幅を狭めている課題について述べる。

5.1 制御性・精度

現在の変形速度や変形を戻す速度は、リアルタイム

に認知できる速度ではあるが、さらに改善する必要があると考える。例えば図 5c の例では、ハロゲンランプの照射を開始してから中央の図の状態まで約 10 秒かかっている。また、中央の図の状態から右の図の状態に戻すまでにファンの回転を開始してから約 20 秒かかっている。変形速度や変形を戻す速度をさらに上げることができれば、表現力がより高まる。変形速度を上げるためには、表側空間の除湿性能を上げたり、より熱源の温度を上げて水分の蒸発速度を上げたりして、表裏の吸湿量の差を大きくする必要がある。変形を戻す速度を上げるためには、ファンの風量を上げる必要がある。

また、精度についても、パラメータの制御幅が小さいという問題と、装置の置かれた湿度状況に左右されるという問題がある。前者は、ガーゼを蒸発させるための熱源の温度を制御可能にしたり、ミストの噴霧量の細かい制御を可能にしたりすることで解決できると考える。後者は、常に湿度制御が可能な環境に装置を置くか、装置自体の湿度制御を厳密にできるようにすれば解決できる。しかし、水分を蒸発させているだけの現状の装置に比べてコストがかかることと、ひらひらと揺れながら変形する性質を考慮すると、厳密な制御をするよりも、変形が大きさが変わっても相対的に見て差し支えない表現や、ジェネラティブアートのような意図しない動きをする表現を楽しむ方が向いていると考える。

5.2 耐久性・可逆性

木材繊維製の紙には、強制的に吸湿変形を繰り返すと、伸縮率が小さくなるエージング効果がある[1]。そのため、トレーシングペーパーの変形や可逆性にも限界があり、同じパラメータで同じ変形を無限に繰り返せるのではない。この問題に対しては、トレーシングペーパーは入手や加工が容易だという利点を生かして、変形が鈍ってきたらすぐに取り替えることで対応できる。将来的に、装置をトレーシングペーパーの取り替えを想定した設計にアップデートしたり、トレーシングペーパーのデザインやカット、防水加工段階を支援するエディタやツールを用意したりする必要があると考える。

5.3 表現の幅を狭める課題

本論文で試作した装置では、ハロゲンランプやミスト発生器の配置の関係上、変形の単位が仕切りで区切った区画に縛られる。区画と区画の間はハロゲンランプやミストの中心が遠く、変形の制御性に差が出てしまう。これを解消するためには、一面を均一に加熱可能な熱源を使用したり、ミストの配置の仕方を工夫したりする必要があるが、最終的にはファンの設置単位が空間解像度の単位として限界だと考える。

また、裏面への吸湿に限定して装置を試作しているため、裏面が外側になる方向にしか変形できない。本来トレーシングペーパーは吸湿量の多い面を外側にしておいて変形するため、表面の吸湿量を多くすれば表面を外

側に変形させることもできる。そのため、表側空間の水分量が少ない状態と裏側空間の水分量が多い状態を任意に入れ替えることができれば、表面が外側になる変形と裏側が外側になる変形の両方を楽しむことができる。今回は、認知できる変形速度を維持しつつこれを実現できる手法を発見できなかったため裏面への吸湿に限定したが、表現の幅をより広げるためには両面共に変形できる方が望ましい。

6. おわりに

本論文では、トレーシングペーパーの性質や、変形の制御性の調査結果を踏まえ、表現メディア装置作成のための要件検討と装置の試作を行った。

今後は、試作した装置の改良を進め、ランプ照射時間やファンの回転時間、ミストの発生時間による変形の違いを調査し、装置による制御性や課題について考察する予定である。また、表現例をさらに探索し、表現ごとに可能性や限界について考察する予定である。

参考文献

1. 中嶋隆吉, 「紙について(6-3) 紙の特徴《紙と湿度》」, 紙への道. <https://dtp-bbs.com/road-to-the-paper/paper/about-paper-006-3.html> (閲覧日: 2021 年 9 月 25 日).
2. 永井輝夫, 1979, 「トレーシングペーパー」, 『繊維学会誌』, Vol. 35, No.5, pp.140-143.
3. 高橋明日香, 西條瞳, 渡邊恵太, 2020, トレーシングペーパーへの防水加工による吸湿変形の制御と表現, Conference on 4D and Functional Fabrication 2020, 2020 年 10 月 16 日.
4. C. Guberan, “HYDRO-FOLO,” STUDIO GUBERAN. <http://www.christopheguberan.ch/hydro-fold/> (閲覧日: 2021 年 9 月 25 日)
5. Shigemune, H., Maeda, S., Hara, Y., Hosoya, N. and Hashimoto, S., 2016. “Origami robot: a self-folding paper robot with an electrothermal actuator created by printing.” IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, 21(6), pp.2746-2754.
6. Shigemune, H., Maeda, S., Iwase, E., Hashimoto, S., Sugano, S. and Sawada, H., 2021. “Programming Stepwise Motility into a Sheet of Paper Using Inkjet Printing.” Advanced Intelligent Systems, 3(1), p.2000153.
7. Rivera, M.L., Forman, J., Hudson, S.E. and Yao, L., 2020. “Hydrogel-Textile Composites: Actuators for Shape-Changing Interfaces.” In Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-9).