

Inkantatory Paper: 銀ナノ粒子インクを用いた 発熱制御に基づく発色式紙面インタフェース

辻井 崇紘^{*1} 小泉 直也^{*1} 苗村 健^{*1}

**Inkantatory Paper: Color-forming Paper Interface
Based on Temperature Control Using Silver Conductive Ink**

Takahiro Tsujii^{*1}, Naoya Koizumi^{*1} and Takeshi Naemura^{*1}

Abstract --- We propose a combination of multiple functional inks, including conductive silver ink, thermo-chromic ink, and regular inkjet ink, for a novel paper-based interface called Inkantatory Paper that can dynamically change the color of its printed pattern. Constructed with off-the-shelf inkjet printing using silver conductive ink, our system enables users to fabricate thin, flat, flexible, and low-cost interactive paper. In addition, we realize thermal feedback control by using a thermo sensor. We evaluated the characteristics of the conductive silver ink as a heating system for the thermo-chromic ink and created applications demonstrating the usability of the system.

Keywords: Paper Computing, Conductive Ink, Heater, Thermo-chromic

1 はじめに

インクジェット印刷可能な銀ナノ粒子導電性インクが市販され、手軽に入手可能になったことから、紙によるデジタルファブリケーションの多様性が広がっている[1]。紙は薄く軽く、可搬性に優れており、印刷による安価で容易な複製が可能であるといった利点を持つ。紙の機能を拡張する研究、特に銀ナノ粒子インクを印刷することで、入力を行う研究が数多く行われている[2][3][4]。一方で、情報提示機能を印刷によって実現した研究は少ない。

本研究では、入力機能に加え、情報提示機能を印刷により紙面に付与する。銀ナノ粒子インクのインクジェット印刷により作成したパターンを用い、静電容量によるタッチセンシングと発熱制御を行う手法を提案する。これは紙の利点を活かしたまま、ヒーターを紙面上に印刷可能にするものである。紙の背面にヒーターとして銀ナノ粒子インクを、表面にサーモクロミックインクをそれぞれ印刷することで、発熱制御によりサーモクロミックインクを発色させるシステムを、Inkantatory Paper として提案した[5]。本システムは、印刷により安価で大量な複製が可能な、発熱制御による発色式紙面インタフェースである。

本稿では、まず関連研究を踏まえ、紙面での情報提示における課題を述べる。次に、本研究で用いたシステム構成と、それを利用した紙面へのヒーターパターンの印刷手法と発熱制御について述べる。そしてヒーターを

設計する際に必要となる銀ナノ粒子インクの物性を調査し、設計したヒーターの発熱性能を計測することで、電源、発熱面積及び応答速度の制約条件を明らかにする。最後に、本技術の応用例を述べ、デジタルファブリケーションとしての応用の可能性を示す。

2 関連研究

2.1 平面上の発熱制御による情報提示

発熱制御手法は大きく分けて非接触型と接触型がある。非接触型は、光を照射するなど、熱源が発熱部に接触しない手法であり、西村らの提案した AR-eLaser が例として挙げられる[6]。レーザをガルバノスキャナで制御することにより、紙面上の局所的な発熱制御を実現した。また、山田らは、LED による赤外線の照射から生じる発熱を用いて、64 画素のディスプレイを作成した[7]。

一方で、熱源を発熱部に接触させることで加熱する接触型の手法として、ペルチェ素子を用いたものが挙げられる。ペルチェ素子は発熱だけでなく、冷却が可能であるという利点があり、串山らはペルチェ素子のアレイを構成し、ペンタブレットで描く絵を温度として提示する Thermo Drawing という温度描画システムを提案した[8]。Maes らはプリント基板に発熱パターンを描き、背面に塗布したサーモクロミックインクを発熱により発色制御するシステムを提案した[9]。しかし、これらの発熱制御手法は、紙のような柔軟な対象に利用できるものではなかった。紙のようなヒーターとしては、日本ユニバーサル電機株式会社が面発熱を行う紙として CCP サイゾンペー

^{*1} 東京大学

^{*1} The University of Tokyo

パーを販売しているが、これは形状やヒーター性能を自由に設定できるものではない[10]. 紙面上でヒーターを制作したものとして、辻らは紙の上に炭素ペースト及び銀ペーストを塗布し、電熱線として用いることで、サーモクロミックインクを発色制御するシステムを *Anabiosis* として提案した[11]. 本研究では、銀ナノ粒子の特性を踏まえたヒーターを設計した上で、温度フィードバックも含めることで安定した発熱制御を行う。

2.2 銀ナノ粒子インクの応用

従来、紙の機能を拡張する研究としては、紙に電線を折り込み、情報提示を行う研究がある[12]. 2012 年に新たに三菱製紙株式会社が銀ナノ粒子インクの販売を開始した[1]. これは、家庭用のプリンタで専用メディアへの導電性パターンのインクジェット印刷を可能にするものである。

ユビキタスコンピューティングに向け、このインクを用いた装置のラピッドプロトタイピングが注目を集めている[2]. 例としては、銀ナノ粒子インクをセンサとして用い、光や音を提示する絵本として、Qi らの *Electronic Popables* が挙げられる[3]. また、Olberding らの *A Cutable Multi-touch sensor* は紙を切るという直感的な操作で、自由に形を変更することのできる静電容量式タッチセンサマトリクスを実現した[4].

入力機能を印刷で実現した研究はこのように多く行われている一方で、動的な情報提示機能を印刷によって紙面に付与した研究は少ない. 例としては、導体部として銀ナノ粒子インクを用い薄膜 EL をスクリーン印刷することで、紙面上で EL ディスプレイを作成することを可能とした Olberding らの *PrintScreen* が挙げられる[13]. しかし、*PrintScreen* は発光型の情報提示技術であり、そのため、継続的に情報を提示するためには電力供給をし続ける必要がある. 一方で、発色型の情報提示は、明るい場所でも使用することができ、発光によるエネルギーの損失がないため、継続的な情報提示を実現できる. 本研究では、銀ナノ粒子インクを用いた入力機能を備える、発熱制御に基づく発色式の紙面インタフェースを実現する。

3 提案手法

本システムの構成は、図 1 の通りである。銀ナノ粒子インクをインクジェット印刷することによりヒーターとタッチセンサを作成し、この紙ヒーターの発熱によりサーモクロミックインクの変色を制御する。

まず銀ナノ粒子インクパターンの静電容量の変化を検出することによって、手の接触を取得し、それに応じマイクロコントローラがパターンに通電、発熱部が指定温度に達するよう加熱制御を行う。表面に印刷したサーモクロミックインクは温度に応じて変色する。さらに、環

境に依存しないよう温度センサによるフィードバック制御を行う。

本提案手法の実現のため、銀ナノ粒子インクの物性を調査した。従来、銀ナノ粒子インクは電子回路を作成するために用いられる材料であるが、本稿ではこれをヒーターとして用いる。この際に必要となる以下の二点について検討する。

- ・発熱のための銀ナノ粒子インク印刷
- ・温度フィードバックによる発熱制御

マイクロコントローラとして *Arduino Pro Mini 3V* を、電源として *3.7V* リチウムポリマー電池をそれぞれ用いた。

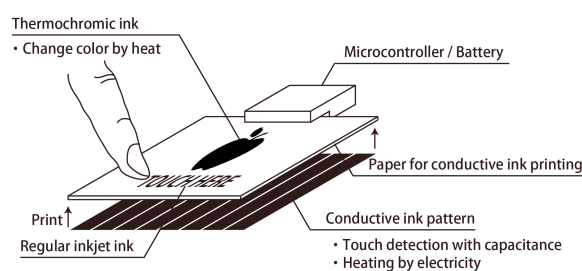


図1 システム構成

Fig.1 System configuration

4 発熱のための銀ナノ粒子インク印刷

電子回路の材料としての銀ナノ粒子インクの物性は既に調査されているが、ヒーターとして用いる際に必要となる物性は新たに調べる必要がある。まずは、発熱のモデルを構成し、必要となる物性を明らかにする。

提案システムにおいて、微小時間 Δt における発熱量と放熱量、上昇温度 ΔT の関係は、ヒーターの熱容量 C 、印可した電圧 V 、温度 T における導電性インクパターンの抵抗値 $R(T)$ 、パターンの時間当たり放熱量 Q を用いて次のように表すことができる。

$$C\Delta T = \left(\frac{V^2}{R(T)} - Q \right) \Delta t \quad (1)$$

式(1)において、 $R(T)$ は温度により変化する。抵抗値の温度による変化が線形であるとする、抵抗温度係数 α は以下の式の通りである。 T_0 は初期温度、 R_0 は初期抵抗である。

$$R(T) = R_0 \{1 + \alpha(T - T_0)\} \quad (2)$$

抵抗温度計数を測定することで、パターンの温度と抵抗値の関係が明らかになり、式(1)によるヒーターの発熱の様子をフィッティングすることが可能となる。

本稿では発熱部の抵抗値の設定のために銀ナノ粒子インクの重ね印刷による抵抗値の変化と、抵抗温度係数を調査した。

4.1 重ね印刷による抵抗値の変化

ヒーターを作成するにあたり、銀ナノ粒子インクパターンは発熱部と導線部に分けることができる。つまり、発熱部までの電力の伝達を担う導線部では抵抗値を低く、発熱の役割を担う発熱部では抵抗値を高く設定し、電熱線として機能させる必要がある。筆者らは、銀ナノ粒子インクを局所的に複数回重ね印刷することで、これを実現した。

まず、重ね印刷による抵抗値の変化を計測した。図2で示されるような、幅 1mm、長さ 100mm の線分を 0.25mm 間隔で 8 本並べた 10mm x 50mm の面積を持つ発熱パターンを作成した。このパターンを銀ナノ粒子インク MU01 で、厚さ 200 μ m の三菱製紙社の銀ナノ粒子インク専用メディア NB3GF100 に対し、Canon 社のインクジェットプリンタ iP100 を用いて印刷した。重ね塗り回数は 1~10 回とし、均一にインクを印刷するため、各重ね塗りは 30 分の間隔をおき、十分に銀ナノ粒子インクが乾いてから行った。抵抗値の計測には SANWA 社のテスト CD-771 を用いた。

結果は図3の通りである。銀ナノ粒子インクパターンの厚みが増すと同時に、抵抗値は印刷回数に応じて減少していく様子が分かる。また、7 回の重ね印刷を頭打ちに、抵抗値は減少しなくなった。重ね印刷回数 10 回で抵抗値がわずかに上昇しているのは、紙面に吸収されなくなり、導電性を発現しない銀ナノ粒子インクが表面にたまり、接点の抵抗値が上昇したためだと考えられる。

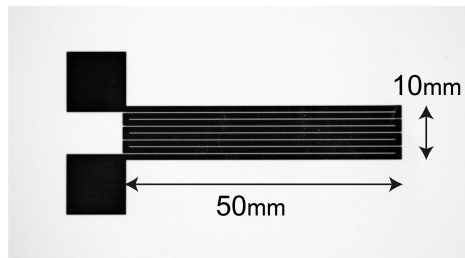


図2 発熱パターン
Fig.2 Heater-pattern

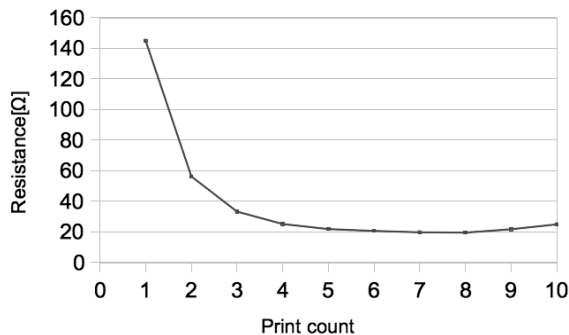


図3 重ね印刷回数と抵抗値の関係

Fig.3 The relation between print-count and resistance

4.2 抵抗温度係数

4.1 節で用いた図2のパターンを、15℃から 75℃まで 5℃おきに、パターンの抵抗値を四端子法により計測、記録した。なお、本実験では図4のように恒温槽にエスベック株式会社 SH-241 を、電流電圧計に SANWA CD-771 を用いた。得られた結果をグラフにプロットし、最小二乗法によってフィッティングした結果が図5である。図5より、この区間において温度上昇による抵抗率上昇が線形であることが読み取れる。直線の式から抵抗温度係数は 0.0015 となった。これは、 T_0 が 25℃のときの抵抗値が R_0 である銀ナノ粒子インクパターンの、温度 T における抵抗値 R は次のように表せるということを意味する。

$$R(T) = R_0 \{1 + 0.0015(T - T_0)\} \quad (3)$$



図4 実験の様子

Fig.4 Appearance of an experiment

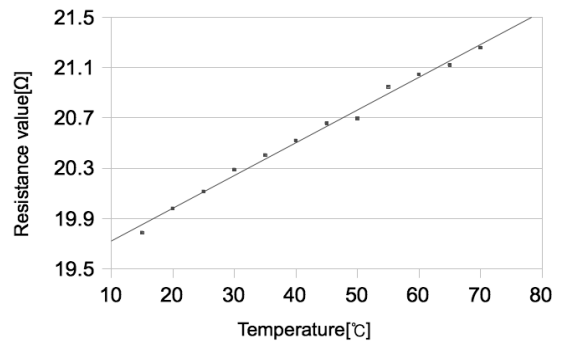


図5 抵抗値と温度の関係

Fig.5 The relation between resistance and temperature

4.3 発熱性能の測定

ヒーターの性能には 4.2 節で求めた抵抗温度係数に加え、空気中への対流熱損失、放射熱損失と、パターンが印刷されていない紙面への伝導による熱損失が影響する。そのため、ヒーターの発熱の様子をサーモカメラで測定し、放熱の影響およびヒーターの性能を調べた。このときの温度上昇の式は、式(1)に式(3)を代入することで得られる。このとき、熱損失が初期温度 T_0 からの温度差に比例し、そのときの係数を β とすると下のよう

$$\frac{V^2}{R_0 \{1 + \alpha(T - T_0)\}} - \beta(T - T_0) = C\Delta T \quad (4)$$

この式(4)により得られたヒーター性能の測定結果をフィッティングし、放熱の影響を考える。また、面積当たり消費電力による温度変化の様子として得られた結果を面積当たり消費電力と応答速度を軸にプロットすることで、電源の設計の指標となるグラフを得られる。

1mm, 0.25mm 間隔の銀ナノ粒子インク線を折り返し配線した室温 25.7℃時の抵抗値が 41.2Ωとなるパターンに、目的の面積当たり消費電力になるよう定電圧を印加し、サーモカメラを用いて 7.5fps で温度の上昇を計測した。安定化電源にサンハヤト株式会社 DK-806 を、サーモカメラにテックジャム株式会社 CPA-8200 を用いた。

結果を図 6 に示す。式(4)をもとに実測値との誤差が最小になるようフィッティングを行った。結果、放熱量の係数 β の値の平均値は 0.018 となった。これは室温より 1℃高い 10mm x 50mm のヒーターからは、0.018J/s の放熱が起きることを示唆する。また、一定の電力でヒーターの発熱を続けた場合、周囲の温度上昇とともに、ヒーター自身の温度は単調に増加していくことが分かった。また、気温次第で、特定の温度必要まで過熱する際に必要となる電力は変化する。

また、0.05, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6W/cm² それぞれの場合について、10℃及び20℃温度が上昇するのに要した時間をプロットしたものが図 7 になる。この図を用いることで、適切な電源と発熱の応答速度の設計を行うことができるようになる。例えば、厚さ 200μm の紙片を 3 秒で 10℃加熱するには、0.15W/cm² の電力が必要であることがグラフから読み取れる。この条件で、20 cm² を加熱するためには 3.7V, 800mAh, 1C 出力のリチウムポリマー電池(3W)が必要だとわかる。また、200 cm² を加熱するには 15V, 2A 出力の安定化電源(30W)が必要となる。

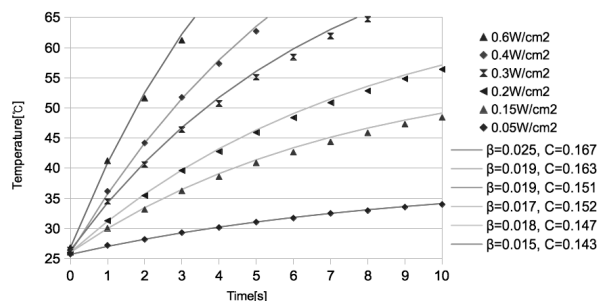


図6 ヒーターの時間による温度変化

Fig.6 Relation between time and temperature

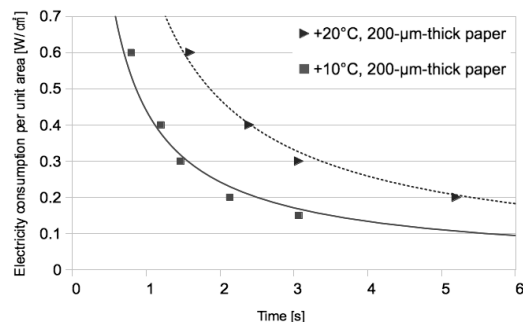


図7 面積あたり消費電力と発熱の応答速度の関係

Fig.7 Relation between electricity consumption per unit area and response speed

5 温度フィードバックによる発熱制御

サーモクロミックインクの色発色により安定して情報提示を行うには、温度を安定させる必要がある。例えば、気温や人体の体温で変色せず、低温やけどの心配もないシステムを実現するためには、サーモクロミックインクの変色温度として 38℃以上、45℃以下を設定する必要がある。これを実現するため、温度フィードバックを用いヒーターを発熱制御する。本研究においては、容易に実装できる制御手法として PID 制御を用いた。

本システムでは、図 8 の通りテキサス・インスツルメンツ社の非接触型温度計 TMP006 をヒーターの背面の制御回路に実装し、PID 制御を行った。ヒーターの抵抗値は均一であるため、発熱も均一であるとみなしてよく、ヒーターの上部で温度を測定する。出力 Y は偏差 Z と比例感度 K_p 、積分動作定数 K_i 、微分動作定数 K_d を用いて式(5)の通り表せる。

$$Y = K_p \cdot Z + K_i \int Z dt + K_d \cdot \frac{dZ}{dt} \quad (5)$$

予備実験を通じてパラメータは $K_p=8.3$, $K_i=0.93$, $K_d=0.18$ とした。

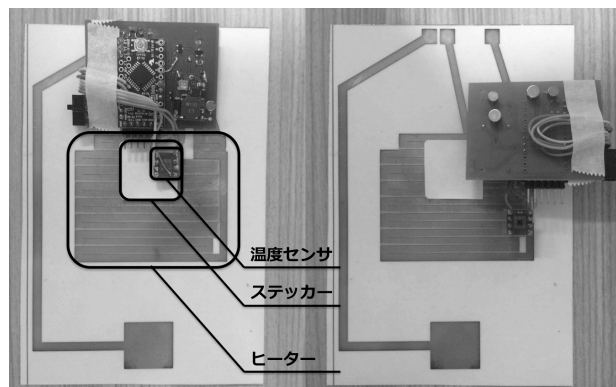


図8 回路の構成

Fig.8 Configuration of the electronic circuit

5.1 温度制御の様子

実際に PID 制御により、適切な温度に制御されているかどうかを確認した。図 2 のパターンに、センサから得られた温度情報を元に、65℃、50℃、40℃を目標温度に設定し、安定化電源 5V を LM2735 で 15V に昇圧し通電した。出力電圧の PWM のデューティ比により発熱制御した。この実験時の室温は 29.5℃、無風状態であった。得られた結果は図 9 の通りである。4.3 節の一定電流で発熱制御を行った図 6 とは異なり、目的の温度を維持できていることがわかる。

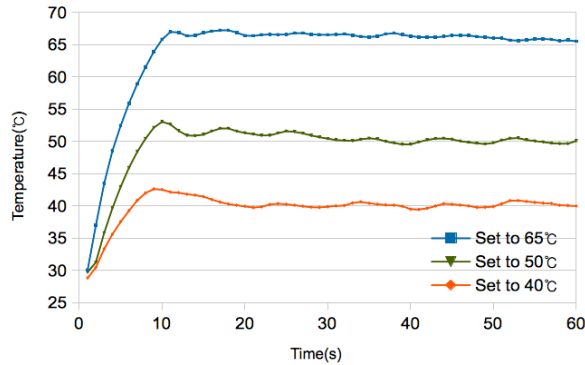


図9 PID 制御による発熱の様子

Fig.9 Change of temperature by PID control

また、サーモカメラに日本アビオニクス社のサーモショット F30 で撮影した温度画像が図 10 である。銀ナノ粒子インクを塗布した領域がまんべんなく発熱している様子がわかる。温度センサで取得した温度情報は公称誤差 $\pm 2.5^\circ\text{C}$ に収まるものであった。

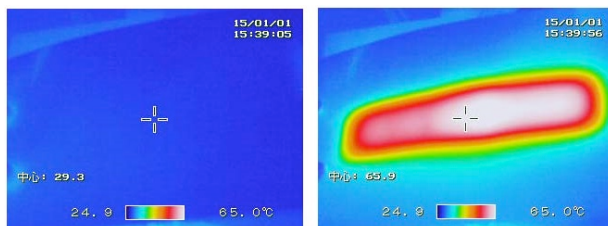


図10 温度画像(65℃設定時、左:開始時、右:発熱開始から約 50 秒経過時)

Fig.10 Thermal images (set 65℃, left: 0[s] have passed, right: 50[s] have passed)

5.2 外乱の影響

発熱のフィードバック制御を実現したことで、環境温度の変化や、風などの影響によらず、一定の温度を維持することが可能となる。5.1 節で用いたヒーターを、エスベック株式会社の恒温槽 SH-241 に入れ、環境温度として想定される 0℃から 35℃の範囲で変化させながら、ヒーターの PID 制御による発熱制御及びに温度の計測を行った。湿度は 40%に設定した。パラメータの設定は

図 6 を参考にし、設定を行った。電源は 5.1 節の実験と同様、15V を抵抗値 50Ω (29.5℃)、面積 5cm² のヒーターパターンに印加した。このときの面積あたり消費電力は 0.9W/cm² である。ヒーターの設定温度は 65℃と 42℃とした。恒温槽内は空気の循環のため、ファンが起こす風があった。

結果は、図 11 の通りである。ヒーターの温度が安定して以降、42℃設定時は 1800 秒間全てで $42 \pm 2.5^\circ\text{C}$ の範囲内であった。65℃設定時は恒温槽の温度が 0℃となる、720~770 秒間を除き $65 \pm 2.5^\circ\text{C}$ の範囲内であった。720~770 秒間では、61.8℃まで温度が低下した。4 節ではヒーターの性能を 25℃、無風状態で測定した。4 節の実験結果から導かれる限りでは電力は十分であったが、風の循環がある恒温槽では不足した。他の環境における発熱制御は今後の課題とする。

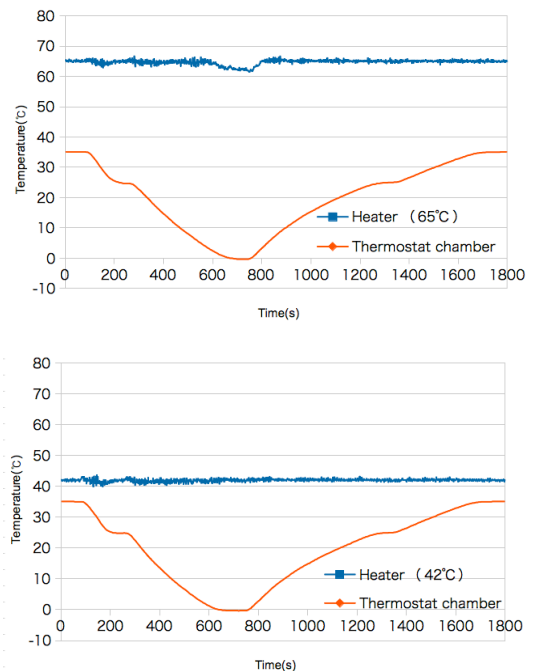


図11 発熱の外乱による影響(上:65℃設定、下:42℃設定)

Fig.11 Change of temperature (Top: set 65℃, Bottom: set 42℃)

6 発色式インタフェースの実装

本稿では、本システムの特徴を活かした応用例として、サーモクロミックインクと銀ナノ粒子インクの組み合わせを用いた、印刷可能な発色式紙面インタフェースを複数作成した。すなわち、変色するペーパーラフト、模様が浮かび上がるタンブラー、文字が浮かび上がる年賀状、動的なアンケートの四通りである。紙面以外の、外部に実装する回路のサイズや構造も重要な要素である。模様が浮かび上がるタンブラーについては物理的制約から、5 節の温度フィードバック回路の実装はできなかった。

提案手法によって作成されたヒーターは、発熱部を紙のように折り曲げることが可能であり、ヒーターを折り曲げ作成したペーパークラフトの表面にサーモクロミックインクをスクリーン印刷することにより、動的な変色を実現する。図12のように、ヒーターがペーパークラフトの形状通りに発熱している様子が分かる。また、提案する紙ヒーターは十分に薄く柔軟性があるため、図13の通りタンブラーの隙間に入れることができ、握ると発熱し、模様が浮かび上がってくるタンブラーを作成することができた。これらは、元の温度に戻れば色も戻るものである。

一方で、PILOT社のFrixionインクを用いると、一度65℃に達し変色した場合、-20℃になるまで色が元に戻ることはない紙を作ることができる。図14のようにで触れると発熱し、Frixionインクが消色することで固有の模様が浮かび上がってくる年賀状を作成した。

図15のように、複数パターンを紙面に印刷し、選択的にタッチセンシングと発熱制御が可能となるよう設計すると、手で触れた領域のみが動的に変色するアンケートを実現可能である。電池とマイクロコントローラをクリップに装着することで、外部配線を必要とせずに駆動する。

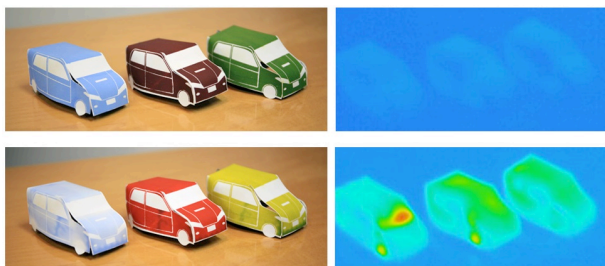


図12 変色するペーパークラフト(左:RGB画像, 右:サーモグラフィー)

Fig.12 Changing color of paper crafts, It is caused by change of temperature, as shown in the thermal images at right



図13 模様が浮かび上がるタンブラー

Fig.13 Emerging patterns of tumbler



図14 文字が浮かび上がる年賀状

Fig.14 Emerging characters of new year card

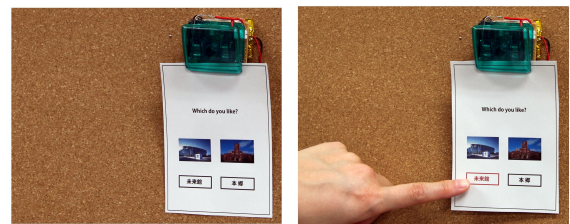


図15 動的なアンケート

Fig.15 Responsive questionnaire

7 おわりに

本稿では、銀ナノ粒子インクのインクジェット印刷によって構成が可能なヒーターを提案し、銀ナノ粒子インクの電気的性質及びヒーターとしての発熱性能を評価した。加えて、温度センサによるフィードバック制御を行った。また、サーモクロミックインクと組み合わせ用いることで、発色式紙面インタフェースの制作を行った。

本システムをデモ展示した際、色覚異常があるため紙面の変色がわかりづらいという感想があった。これは、青の減色によって生じる色変化のデモを中心にしたためと思われる。今後は多様な色の選択などにも力を入れたいと考えている。また、フィードバック制御を行わず100℃を超え発熱させ続けた場合、銀ナノ粒子インクパターンが白色に変色し、抵抗値が上昇することがあった。より高温に加熱する用途に用いる際には、加熱によるパターンの劣化に関する研究を進める必要がある。現在、銀ナノ粒子インクが導電性を発現するのは写真専用紙や専用メディア等、特定の紙に限られているが、他の紙にもインクジェット印刷可能な導電性インクの研究が進むことが期待される。

本システムの更なる応用例としては、熱覚提示装置、温度によって揮発する匂い物質と組み合わせることで匂い提示装置や発熱機能を持つ梱包用紙、熱収縮シートと組み合わせることで動く紙片等を実現することが考えられる[14][15]。

謝辞

本研究の一部は JST CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術の構築と実践」による助成を受けた。

参考文献

- [1] Silver Nano-particle inks: http://www.k-mpm.com/agnano/agnano_ink.html (2014 年 12 月現在)
- [2] Kawahara, Y., Hodges, S., Zhang, C. and Abowd, G.D.: Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of UbiComp Devices; In Proc. of UbiComp '13, pp. 363-372, 2013.
- [3] Qi, J., and Buechley, L.: Electronic popables: Exploring paper-based computing through an interactive pop-up book; In Proc. Of TEI '10, ACM, New York, pp. 121-128, 2010.
- [4] Olberding, S., Gong, NW, Tiab, J., Paradiso, J. A. and Steimle, J.: A cuttable multi-touch sensor; In Proc. Of UIST '13, pp. 245-254, 2013.
- [5] Tsujii, T., Koizumi, N. and Naemura, T.: Inkantatory Paper: Dynamically Color-changing Prints with Multiple Functional Inks, UIST '14, Demonstration, (2014).
- [6] 西村光平, 金ジョンヒョン, 苗村健: AR-eLaser: 紙面の手書き文字を消去可能な AR インタフェース; インタラクション 2012, pp. 575-580, 2012.
- [7] 山田啓己, 西村邦裕, 谷川智洋, 廣瀬通孝: 赤外光熱変換による CMYK カラーディスプレイの開発とその応用; 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会, 11D-1, pp. 45-48, 2011.
- [8] 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使用した 温度描画システムの開発; インタラクション 2012, 情報処理学会, pp. 724-728, 2012.
- [9] van der Maas, D., Meagher, M., Abegg, C., and Huang, J.: Thermochromic Information Surfaces : Interactive Visualization for Architectural Environments; eCAADe 27, pp. 1-6, 2009.
- [10] CCP サイゾンペーパー: <http://jpuni.co.jp/ccp/> (2014 年 12 月現在)
- [11] 辻航平, 脇田玲: Material Syncretism : 紙とコンピュータの調和による表現の開拓; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.3, pp.305-314, 2013.
- [12] Coelho, M., Hall, L., Berzowska, J., and Maes, P.: Pulp-Based Computing: A Framework for Building Computers Out of Paper; In Proc. of UbiComp '09, pp. 3527-3528, 2009.
- [13] Olberding, S., Wessely, M. and Steimle, J.: PrintScreen: Fabricating Highly Customizable Thin-film Touch-Displays; In Proc. Of UIST '14, pp. 281-290, 2014.
- [14] Suzuki, C., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Affecting Tumbler: Affecting our flavor perception with thermal feedback, ACE'14, Article 19, 2014.
- [15] Yasu, K. and Inami, M.: Popapy: instant paper craft made up in a microwave oven, ACE '12, pp. 406-420, 2012.

(2014 年 12 月 15 日受付)

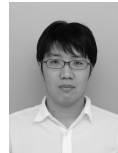
[著者紹介]

辻井 崇紘 (学生会員)



2013 年, 東京大学工学部電子情報工学科卒業. 2015 年東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻修了. ペーパーコンピューティングの研究に従事.

小泉 直也 (正会員)



2012 年, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科後期博士課程修了. 博士 (メディアデザイン学). 日本学術振興会特別研究員 PD を経て, 現在, 東京大学情報学環特任研究員. 知覚作用インタフェースやクロミック作用を利用したディスプレイの研究に従事.

苗村 健 (正会員)



1997 年, 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了. スタンフォード大学客員助教授 (日本学術振興会海外特別研究員) を経て, 2002 年, 東京大学大学院情報学環助教授, 同大学大学院情報理工学系研究科准教授を経て, 現在は情報学環教授. 実写に基づく画像合成, 複合現実感, 実世界指向情報環境などの研究に従事. 博士 (工学).