

Re-blank Paper: 手書き領域の自動消去機能を有する紙 —複数の機能性インクの混合印刷による実現—

辻井 崇紘^{1,a)} 西村 光平² 橋田 朋子³ 苗村 健^{1,2,3}

概要: 近年, デジタルデバイスによる手書きインタフェースが普及している一方で, 紙やペンといったアナログな入出力とコンピューティングのシームレスな融合の重要性もまた増してきている. 通常のインクを用いて紙に記した手書きの筆跡は消去できないが, これはコンピュータによる紙の機能の拡張の妨げとなりうる. 筆者らはこの問題を解決するため, 複数の機能性インクを印刷することで構成される, 紙面上の筆跡を部分的に消去可能な紙面インタフェース **Re-blank Paper** を提案する. 本稿では提案手法の利点, その構成方法を述べ, 発熱制御の方法について検討し, システムを実装した.

Re-blank Paper: Automatically Erasable Handwriting Interface on Paper with Functional Printing Inks

TSUJII TAKAHIRO^{1,a)} NISHIMURA KOHEI² HASHIDA TOMOKO³ NAEMURA TAKESHI^{1,2,3}

Abstract: Recently, while digital handwriting interfaces are used commonly, it is considered that connecting paper and computing seamlessly are more important. As usual, handwritten characters on paper with ink remain in this world. That is useful feature in some way, but it is the problem when we try to augment the paper with computer. So, to resolve the problem, we developed printed paper interface, "**Re-blank Paper**", which can partly erase characters on it. In this paper, we present the method of erasing handwritings, and think about how to control the heat, then construct the system.

1. はじめに

紙は読み書きなど, 多様な直感的操作に利用可能なツールであり, 軽い, 薄い, しなやかであるといった物理的な利点を多く持つ. 近年では紙と情報世界をシームレスに融合することで, 紙の機能を拡張し, 紙を用いた行為及びインタラクションの可能性を広げることへの需要も高い. 筆者らは紙と情報世界を繋げるためには, 紙にペンで描いた筆跡を, コンピュータによる処理を介して, ユーザの行為にインタラクティブに, 消去可能とする技術が必要である

と考える. この技術の先には, コンピュータによる情報の再書き込みという課題もあるが, 本稿では消去までを範囲とする.

ここで, 紙面上の情報を一括消去して何度でも書き換えられる紙を実現する技術としてはサーモクロミック材料を塗布した特殊な紙とサーモプリンタによる RICOH 社のリライタブル材料技術がある [1]. しかしこのような技術では紙とは別に熱源として大掛かりなプリンタを用意する必要があり, また, リアルタイムに紙面上の情報を消去することは不可能である. 一方, 西村らは, 熱で消色するサーモクロミック材料で紙に描いた手描きスケッチをレーザー光により局所的に消色制御する AR-eLaser を実現し, ユーザのインタラクションに応じた紙の上でのリアルタイム消色を実現しているが, やはり紙以外に様々な装置が必要である [2]. そこで筆者らはなるべく紙の可搬性や携帯性を失わない, 紙のみで筆跡の消去制御が可能であるようなシステ

¹ 東京大学工学部 電子情報工学科
Dept. of Inform. and Commun. Eng., The Univ. of Tokyo
² 東京大学大学院 学際情報学府
Graduate School of Interdisciplinary Inform. Studies, The Univ. of Tokyo
³ 東京大学大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Inform. Science and Tech., The Univ. of Tokyo
a) tsujii@nae-lab.org

ムが望ましいと考えた。

このような問題意識のもと、筆者らが着目したのは紙に印刷可能な、導電性を示す機能性インクである。この導電性インクを熱源とすることで紙以外の大掛かりな発熱制御装置が必要ではなくなる。また、印刷可能な導電性インクを用いれば、紙の表面への印刷と同期した熱源を設計して同時印刷するなど可能であり、応用利用の可能性が高い。

筆者らは紙面で手書き文字の消去を行う場合、描画やアンケートなど、アプリケーションによっては筆跡をデジタルデータとして保存しておく必要があると考え、手書き入力として Anoto 社の Anotopen を用いた [3]。紙にパターンを印刷すれば Anotopen を使用でき、筆跡の保存にカメラ等の紙面で実装できないデバイスは必要なくなった。また、筆跡の消色のため、Simon Olberding らの手法を参考に、Anotopen にサーモクロミックインクを入れ替えて用いた [4]。

筆者らは本稿において、導電性インク、サーモクロミックインクといった印刷可能な機能性インクを用いて発熱制御をし、紙面上にプロットした文字や、手書き文字の消色が可能な、紙インタフェース、Re-blank Paper を実装する。またその際、発熱制御の手法として用いた導電性インクの電気的物性を調べ、温度制御や消費電力の観点から発熱回路の構成を検討した。

2. 関連研究

紙面上で視覚的な出力を得る手段として、クロミック材料を用いることが挙げられる。クロミック材料とは外的刺激によってその光物性を制御できる物質のことであるが、その中でも特に、熱を外的刺激として変色するサーモクロミック材料が塗料としても既に広く流通しており有効である。手書きサーモクロミックインクペンとして消色温度が 65 であるフリクシオンシリーズが市販されており、プロッターと組み合わせることで印字の手段としても用いることができる。このため、本研究では紙面上のサーモクロミック材料を 65 程度まで発熱制御することを目的とし、この章では本研究に先駆けて平面状の物質の発熱制御を実現した関連研究について述べる。

まず、光を照射するなど、熱源が平面に直接接触しない手法としては、先に述べた西村らの提案した AR-eLaser が例に挙げられる。レーザをガルバノスキャナで制御することで、紙面上の局所的な発熱制御を非接触で実現し、レーザの直径 0.024mm 間隔で発熱を制御できるという優れた局所性を持っているが、温度上昇に時間を要するため、即時的な処理や大面積の発熱制御には向かない。また、レーザの制御やカメラによる筆跡の取得のため周囲に大掛かりな装置が必要になるという問題がある。

また、発熱素子を温度制御したい平面に直接接触させる温度制御の手段として、ペルチェ素子を用いた手法が考案

されている。ペルチェ素子は発熱と冷却の両方を制御可能であるという利点があり、串山らは 15mm 四方のペルチェ素子で 8×10 のアレイを構成、局所的な温度制御を可能にし、熱をサーモシートで可視化する Thermo-Pict neo というディスプレイを開発した [5]。ただしペルチェ素子には厚みがあり、紙の薄さ、軽さ、しなやかさといった性質を損なうという問題点があるため紙面上の温度制御には不向きである。

また、プリント基板上に回路を描き、電流を流し、発生したジュール熱で発熱制御することも可能である。Maasらはプリント基板に特定の絵柄のパターンを描き、電流を流すことで基板上に塗布されたサーモクロミックインクの光物性を線画状に制御するシステムを構築した [6]。この研究で用いられているプリント基盤は十分薄く、紙の性質を保持しうるが、印刷、記述することを考えると樹脂でできた基盤よりも、紙の素材である方がよい。

樹脂ではなく、紙の上に電気回路を構成する際に用いられる炭素ペーストを電熱線として用い、表面のサーモクロミックインクを加熱、変色させる研究としては辻らの Anabiosis がある [7]。紙面で発熱制御を行っており、素子の厚みもなく、紙の性質を活かすことに成功しているといえる。この研究に用いられている導電性インクは炭素ペーストで、手塗りにしか対応しておらず、緻密な回路の構成が難しいという問題がある。

筆者らはこれらの関連研究を踏まえ、入力系と出力系を印刷により紙面上に実現することで、複製が容易かつ大掛かりな装置を必要としない、手書き文字を消去可能な紙インタフェースを実現する。

3. Re-blank Paper

Re-blank Paper は紙面に印刷可能である導電性インクを用いることで、紙の利点を損なうことなくサーモクロミック材料の変色を熱制御し、筆跡を繰り返し消去可能とする紙面インタフェースである。この章では Re-blank Paper の構成について述べる。

3.1 発熱制御

サーモクロミック材料の光物性を制御するためには紙面を加熱する仕組みが必要となるが、紙面上で実装可能、印刷可能であるといった利点から、本研究では市販のプリンタで印刷可能な導電性インクの一つである、三菱製紙の銀ナノ粒子インクを用いることにした [8]。この手法ではサーモクロミック材料、導電性インクを共に紙面に印刷することによってシステムを構成するため、紙の優れている性質を保つことが可能である。導電性インクは図 1 のように、消色領域を覆うよう矩形波状に印刷してあり、電気を流し発生するジュール熱が伝わることで、表面のサーモクロミック材料の印刷や筆跡を消去することができる。

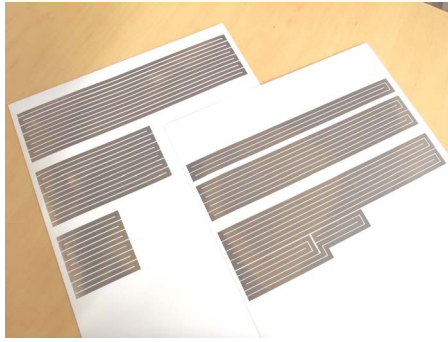


図 1 導電性インクの印刷パターンの様子。
Fig. 1 Printed pattern of the conductive ink.

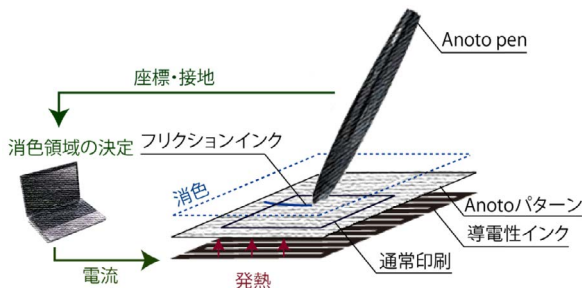


図 2 Re-blank Paper の構成。
Fig. 2 Structure of Re-blank Paper.

3.2 デジタルペンによる入力

紙面の手書き領域を消去するだけでは、記述した情報が損なわれてしまう。そこで、本研究では紙面に記した情報を保存する手段として、Anoto社のAnotopenを用いた。Anotopenとは、紙に印刷された座標パターンを認識することでペンの位置を把握し、記述された筆跡をコンピュータに保存することができるペンである。紙に必要な工夫は座標パターンの印刷だけであるため、依然として紙の物質的な利点を保つことができる。

3.3 Re-blank Paperの構成

本システムは図2のように構成した。まず、デジタルペンで筆跡を取得し、コンピュータに保存、筆跡の内容に応じて消色のタイミング、領域を決定する。これをもとに、消色する領域に印刷された導電性インクに電流を流し、発生したジュール熱で部分的にサーモクロミックインクを加熱、消色する。この際、今回用いたサーモクロミックインクの消色温度に達するよう発熱制御をする必要があるため、単位面積あたり消費電力と時間による温度変化の関係を明らかにする必要がある。

4. 実験

4.1 実験の目的

導電性インクを電熱線として用いているため消費電力と発熱量は比例する。ただし、システムに用いている紙の比熱や空気中への放熱量は明らかでないため、温度変化の様

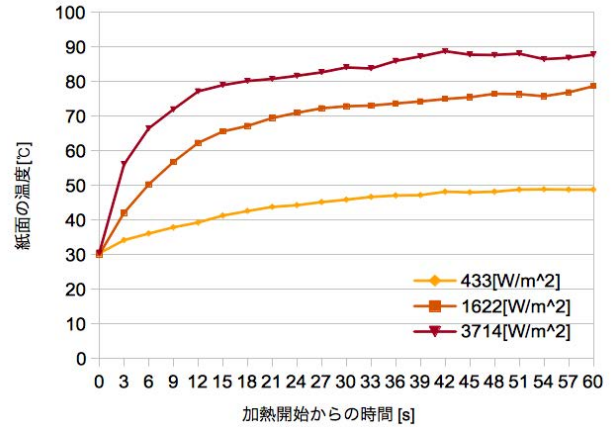


図 3 単位面積あたり消費電力と時間による温度変化の関係。
Fig. 3 The relationship between the electricity consumption per unit area and the temperature change.

子を知るためには実験で実際に調べる必要がある。ここでは、単位面積あたりの消費電力と時間による温度変化の関係を実験によって明らかにし、導電性インクの印刷パターンを検討する。

4.2 実験方法

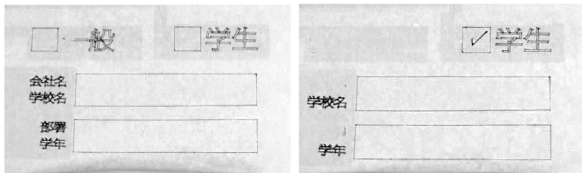
15V 定圧電源で、様々な単位面積あたり消費電力になるよう直流電流を流し、温度変化の様子をサーモカメラ Thermo Shot F30S (NEC/Avio 製) で 3 秒おきに記録した。5 μ 銀ナノ粒子インクは、三菱製紙社の A4 専用紙 NB3GR120 に Canon のプリンタ PIXUS iP100 で印刷して用いた。室温は 30 で、熱の下方への不要な発散を防ぐため導電性インクを印刷した紙の下には断熱材を敷いた。

4.3 結果・考察

実験の結果を図 3 に示す。このことから、1600[W/m²] 程度で今回用いたサーモクロミック素材の消色温度である 65 に達することが分かった。電圧を $V[V]$ 、電流を $I[A]$ 、抵抗を $R[\Omega]$ 、面積を $S[m^2]$ 、発熱パターンを構成する線の長さを $l[m]$ 、細さを $w[m]$ とすると単位面積あたり消費電力は以下の式で表される。

$$\frac{V^2}{RS} = \frac{IV}{S} = \frac{V^2}{Rlw} = \frac{IV}{lw}$$

よって、フリクションインクが消色する最低限の 1600W/m² で設計すると、例えば 15V、2A を定格とする定圧電源では最大約 0.018m²、つまり 180cm² の領域を同時に消色可能であることがわかる。使用した紙の熱容量や敷いた断熱材の熱伝導率によって温度変化の様子が変化することに注意が必要である。ちなみに今回の実装では、消色の即時性を増すため 1600W/m² より大きな単位面積あたり消費電力を与え、加熱時間の制御で任意の温度にしている。



(a) 初期状態 (b) 対応するプロットの消色

図 4 アプリケーション 1: プロットした文字の消去

Fig. 4 Application 1: Erasing plotted characters

5. アプリケーション

4章で明らかとなった時間による温度変化の様子と消費電力の関係を元に、プロットした文字を選択的に消去できるアプリケーションと、筆跡を選択的に消去できるアプリケーションの2通りを実装した。

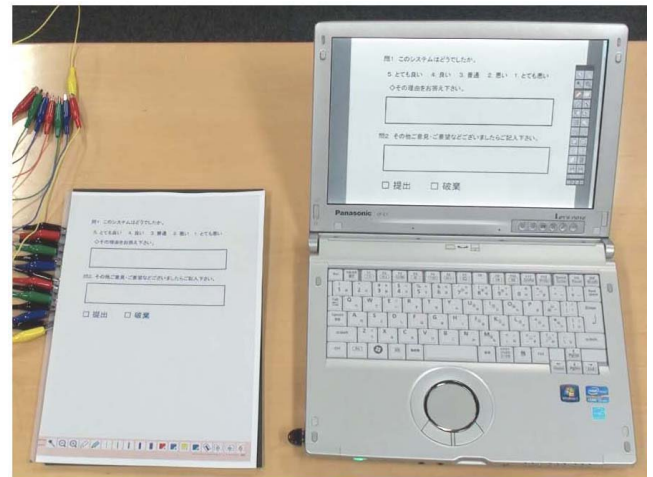
5.1 プロットした文字の消去

予めプロッターでプロットされた文字を消去するアプリケーションとしては、条件分岐を持った図4の様なアンケートが挙げられている[2]。(a)の様にアンケート用紙をサーモクロミックインクで予めプロットしておき、上段で「一般」と「学生」が選択できるようにしてある。「一般」のチェックボックスに記入すると、不必要な中段の「学校名」、下段の「学年」という印字を自動的に消色する。(b)の様に一方「学生」に記入した場合は、「会社名」と「部署」を消色する。上位の質問の選択によって下位の質問に対する回答の内容が異なるような場合に、回答者にとって分かりやすいシステムを実現することができる。

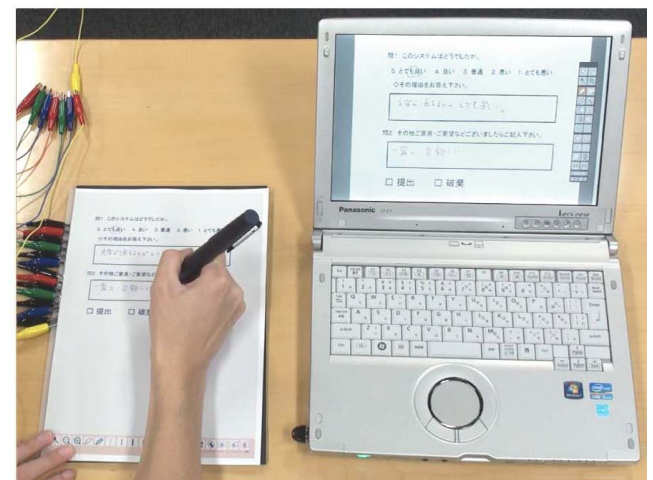
5.2 筆跡の消去

筆跡を消去するものとしては、図5のような、何度でも回答可能な自由記述型のアンケートが挙げられる。(a)の初期状態では既に、空欄とチェックボックスは手書き領域として、裏に導電性インクによるパターンが印刷されている。紙の表面にはAnotoパターンが印刷されており、Anotopenで自由に座標及び接地情報、筆跡がPCに送られるようになっている。(b)の様にまずサーモクロミックインクに入れ替えられたAnotopenでアンケートに回答する。この時同時に、PCにはアンケートの回答の内容が送信される。アンケートの回答が終わり「提出」のチェックボックスに記入すると、コンピュータに記録されている筆跡を保存した上で用紙を加熱、(c)の様に紙面上の回答を自動的に消去し、再度アンケート用紙として使用可能にする。書き損じ等の理由から「破棄」のチェックボックスに記入すると、PCに記録されている筆跡を破棄した上で、回答を自動的に消去することになる。

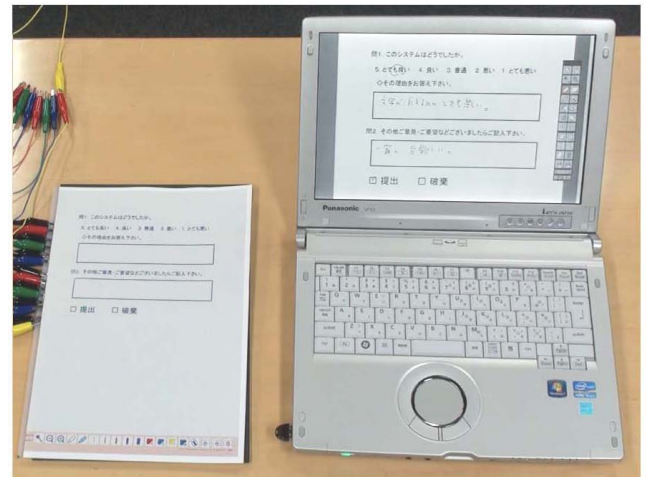
このシステムによって、順を追って行うアンケート回答を実施する際に、アンケート用紙を大量に用意する必要が



(a) 初期状態



(b) 紙面に記述すると同時に筆跡が保存される



(c) 情報を保持し、紙面上の筆跡のみ消去

図 5 アプリケーション 2: 手書き文字の消去

Fig. 5 Application 2: Erasing handwritten characters

なくなる。当日はこのような手書き領域を自動消去可能なアンケートを用いデモンストレーション展示を行う予定である。

6. おわりに

本稿では Re-blank Paper を実装し、印字及び手書き文字を部分的に消去可能な紙面上のインタフェースを実現することで、システム全てを紙面上で実現するシームレスな紙とコンピュータの融合の可能性を示した。Paper Battery など、様々な基材が紙面で実装できるよう研究が進められており、入出力だけでなく、制御回路を含めシステム全体が紙面に集約可能になることが期待される [9]。今後は Re-blank Paper の発熱制御回路の軽量化、紙面実装に向けて取り組むと同時に、変色等他のサーモクロミック材料を同時に扱うことで、更なるアプリケーションの可能性を探って行きたい。

参考文献

- [1] <http://www.ricoh.co.jp/about/company/technology/tech/004.html> (2012 年 11 月現在)
- [2] 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,” インタラクシオン 2012, (2012).
- [3] <http://www.anoto.co.jp/> (2012 年 11 月現在)
- [4] Simon Olberding, Juergen Steimle: “Towards Understanding Erasing-based Interactions: Adding Erasing Capabilities to Anoto Pens,” PaperComp (2010).
- [5] Kumiko Kushiya, Tetsuaki Baba, Kouki Doi, Shinji Sasada: “Thermo-Pict neo,” SIGGRAPH '10, Article No. 42 (2012).
- [6] David van der Maas, Mark Meagher, Christian Abegg, Jeffrey Huang: “Thermochromic Information Surfaces,” eCAADe 27 (2009).
- [7] Kohei Tsuji, Akira Wakita: “Anabiosis : A Pictorial Art Based on Polychrome Paper Computings,” ACE '11, Article No. 80 (2011).
- [8] <http://www.mpm.co.jp/cnews/pdf/20120426.pdf> (2012 年 11 月現在)
- [9] <http://www.paperbatteryco.com/> (2011 年 11 月現在)