

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730118

研究課題名(和文) 機能性材料による実世界と情報世界をシームレスに繋ぐペーパーコンピューティング技術

研究課題名(英文) Paper Computing Technology: Making Ordinary Paper an Input/Output Medium for the Information World

研究代表者

橋田 朋子 (HASHIDA, Tomoko)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：90513044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、我々が慣れ親しんだ日常素材である紙をシームレスに情報世界と繋ぎ、紙面の表現可能性や利便性を広げるペーパーコンピューティング技術を創出することを目指した。そのために、光・熱・磁力・電気などによる物理的な制御や作用の可能性を有する機能性材料に着目し、紙に手描きや印刷した機能性材料を「制御」「認識」することにより、(1)手描き表現をコンピュータによる処理を介して紙面上で拡張する技術の開発や(2)紙を情報世界にアクセスするためのインタフェースとして活用する技術の検討を進めた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined the possibilities of making ordinary, day-to-day "paper" an input/output medium for the information world. By focusing on functional materials having potential to provide physical control and effect through factors such as light, heat, magnetism and electricity, and by "controlling" and "recognizing" functional materials hand-drawn or printed on paper, we have studied a way to (1) use computers to process and expand hand-drawn representations on paper, and (2) use paper as an interface to access the information world.

研究分野：情報学

キーワード：ペーパーコンピューティング 機能性材料 紙面拡張

1. 研究開始当初の背景

情報技術の高度化が進むにつれ、電子デバイスによる入出力インタフェースだけでなく、慣れ親しんだアナログな日常素材を情報世界と繋ぎ、入出力インタフェースとして活用するメディアデザインが注目されつつある。申請者はアナログな日常素材の中でも特に“紙”に注目している。紙は書く・読むといった身近な日常行為に使われる直感的で汎用的なツールである。さらにその印字された情報は視認性に優れ、折ったり切ったりして所望の形にすることや、重ねたり持ち運んだりすることも容易である。ペンタブレットなどの電子的な描画デバイスが発達しても多くの人は依然として紙とペンによる手描きや、印刷された紙での情報伝達を好む。本研究では、優れた特徴を有し人々にとって欠かすことができない実世界の紙を情報世界と繋ぐことでメディア化する技術に関して下記の二つの方向性を考える。

一つ目は、情報世界を介して紙の上の表現を拡張する方向性である。人の手によるスケッチや印刷も含めた紙面の情報を、コンピュータ制御を介して動的に編集・加工を可能とすることを考える。先行研究として、可視光のプロジェクションで手描きに付加情報を重畳提示するような仕組みが代表的であるが、発光型の情報提示であるため、反射型の印刷された文字と併記すると違和感があった。一方、最近では紙にサーモクロミック材料などを塗布して外部から熱刺激を与えることで、発色型で動的に情報を提示する試みもある。ただしこの方式では解像度に課題があった。そこで発色型で高解像度で動的な情報を提示する方法が望まれる。またいずれの方式でも紙の上にペンで手描きされた情報そのものをコンピュータ制御で消去することや、複数の紙面に関して動的に情報を提示することは実現されておらず、今後の挑戦課題と考えられる。

二つ目は紙を情報世界にアクセスするための入力インタフェースとする方向性である。紙を入力とする従来研究としては、紙に印刷された二次元マーカ情報をカメラで取得するものや、文書画像検索法などを用いて印刷された文書に画像処理を施すアプローチなどがあげられる。しかし紙の前にカメラを配置してかざす必要があるためにシステムが大規模になり、付加情報の提示の際の位置あわせが煩雑であるといった課題があった。一方で最近ではカメラなどでの認識を必要としない新たな手法として、導電性インクや容量性インクによる手書きや印刷された紙を静電容量式のタッチディスプレイ上で認識する技術などの取り組みも始まっている。導電性インクを印字できる家庭用プリンタなどの普及も始まっており、このような方式での紙の入力インタフェースの可能性を検討することは今後重要と考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、我々が慣れ親しんだ日常素材である紙を、シームレスに情報世界と繋ぎ、紙面の表現可能性や利便性を広げるペーパーコンピューティング技術を創出することである。上述したようにその方向性としては、紙面の手描きや印刷などの情報を、コンピュータ制御を介して動的に編集・加工できるようにする紙面の表現の拡張技術と、情報世界にアクセスするための紙の入力インタフェース技術を考える。以下にそれぞれの具体的な目的を示す。

まず、紙面の表現の拡張技術に関しては、紙にペンで描いた絵や文字などの手描きスケッチなどを対象として、紙の上の情報を消去したり、発色型で高解像度に情報の付与を可能とする技術を確立する(目的(1))。また、一枚だけの紙ではなく複数枚にわたる紙への新たなインタラクションについても開発する(目的(2))。次に紙を入力インタフェース化する技術に関しては、カメラでの認識なしにタッチディスプレイで、人のタッチと同様に紙を認識する手法について検討する(目的(3))。

3. 研究の方法

紙をシームレスに情報世界と繋ぎ、紙面の表現を拡張したり、紙を入力インタフェース化したりするためのコア技術として、光・熱・磁力・電気などの物理的な制御や作用の可能性を有し、紙に塗布することが可能な機能性材料に着目する。紙に手描きや印刷した機能性材料を「制御」したり「認識」したりすることで、紙を動的な出力にしたり、情報世界への入力とすることが可能となる。下記に三つの目的ごとに、本研究で実施する具体的な課題や方法について述べる。

(1) 紙面の手描き消去と高解像度発色提示

申請者は紙面の手描きの消去と発色型・高解像度での付加情報提示に関する基盤技術として、光で発色や消色を制御できるフォトリソグラフィック材料を塗布した紙に、紫外光源のDMDプロジェクタ(解像度 1024 × 768)から紫外光を照射し、任意の情報を動的に発色で表示する方法と、フリクションペンと呼ばれる市販のサーモクロミックペンで書かれた手描きをレーザー光の熱変換制御で任意に消色する技術の簡易なプロトタイプ開発を進めてきた。一方で、より実際的なアプリケーションを実現するには、フォトリソグラフィック材料の応答速度や発色・消色の時間特性を明らかにすることが必要となる。この点に関する特性計測実験を進めると共に、これらの知見をいかした複数のアプリケーションを提案する。

(2) 複数紙面への同時描画

複数の紙を対象としてコンピュータ制御を介した拡張を行うことの実例として、複

数の所望の枚数の紙面に同時に情報の書き込みを行う仕組みについて新たに検討・開発を行う。このような用途に適した機能性材料の選定・制御手法の確立・及び材料の特性計測実験などを行い、システムの確立を目指す。

(3) 紙をタッチディスプレイで直接認識

導電性インクや容量性インクといった機能性インクで、静電容量型のタッチディスプレイと統合利用が可能なものを調査する。さらにプリンタで任意のパターンを印刷し、これらを人の手によるタッチと同様に認識可能かを検討する。

4. 研究成果

本研究では、紙をシームレスに情報世界と繋ぎ、紙面の表現を拡張したり、紙を入力インタフェース化したりする事を目指し、研究を進めた。その成果、特に紙面の表現を拡張する技術に関して、顕著な成果が得られた。下記に目的・方法にあげた3つの項目ごとに詳細な成果を述べる。

(1) 紙面の手描き消去と高解像度発色提示

紙面の手描きの消去と発色型・高解像度での付加情報提示を行うシステムを完成させるため、適切なフォトクロミック材料の検討とアプリケーションの実装を行った。まず、フォトクロミック材料の発色・消色の時間特性を明らかにするため、紫外光を $1500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の放射照度で7種類のフォトクロミック材料（ジアリールエテン 3種とスピロピラン 4種）に照射し、照射中と照射後の色度を計測した。その結果、図1に示すようにいずれの材料も発色は1-2秒であった。一方で消色に関しては、図2に示すようにスピロピランは自然消色が10分30秒から30分程度であり、ジアリールエテンは自然消色が30分以上で可視光を照射すると4-140秒程度で消色することが示された。以上より、何度でも書き換えるような応用を想定し、紫外光の制御系のみの簡易なシステム構成で実現するにはある程度の長さで自然消色するスピロピランが望ましいことがわかった。この結果を踏まえて、スピロピランの消色時間に応じた複数のアプリケーションを実装した。短い時間で消色する種類のスピロピランに関しては切り抜き線の表示といった図画のガイドを、比較的長時間の消色を要する（発色保持が可能な）種類のスピロピランに関しては、手描きの複製や共同書類制作などのアプリケーションを提案・実装した。

(2) 複数紙面への同時描画

紙面の手描き表現の拡張における新たな試みとして、複数枚の積層した紙に同時に情報を印字したり編集したりする仕組みを提案・実装した。まず、そのような仕組みを実現するための材料として、磁力が紙やシートを透過する性質に着目し、磁性シートと呼ば

れる磁力によって印字や消去が可能なリライタブルシートを調査・入手し、用いることにした。この磁性シートを複数枚積層した表示部に対し、電磁石をPWM制御することで任意の磁束密度を出力できる印字制御部を設計した。また特性計測実験をすすめ、磁石表面の磁束密度に応じて磁性シートの濃淡が変化することや（図3参照）、磁性シートに描画できる枚数が異なること（図4参照）を明らかにした。これらの結果を反映して所望の枚数の紙面に同時描画・編集可能な仕組みを実現した。

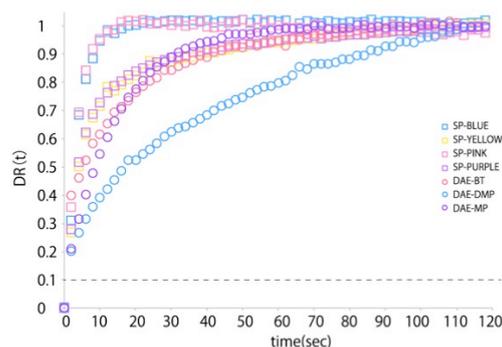


図1 フォトクロミック材料の発色の時間特性

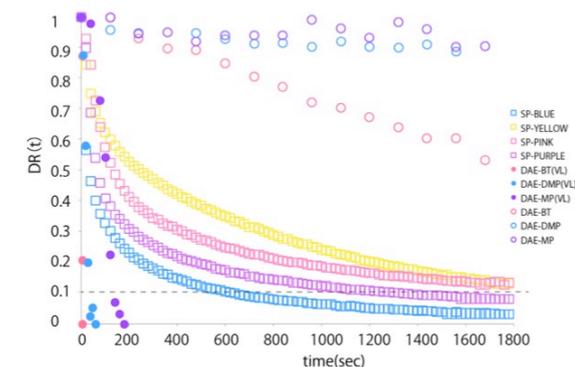


図2 フォトクロミック材料の消色の時間特性

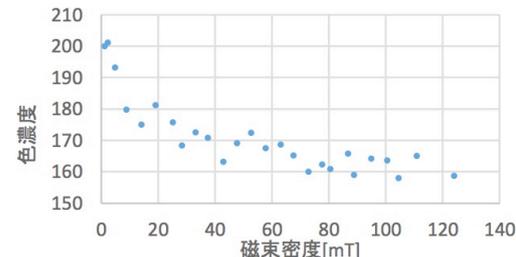


図3 磁束密度と色濃度

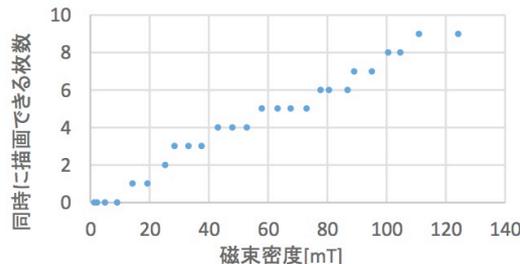


図4 磁束密度と同時に描画できる枚数

(3) 紙をタッチディスプレイで直接認識

導電性インクとして、家庭用プリンタで所望のパターンが印刷できる銀ナノ粒子インクに着目し、それらを用いたマルチタッチパターンの認識について基礎検討を進めた。銀ナノ粒子インクで描かれたマルチタッチパターンの一点をタッチすることで複数点タッチされたと認識される性質を利用した。どのようにタッチされている状態かを認識することでパターンを読み取り、学習データと同じパターンであるかを確かめる手法について検討をすすめた。さらにこのパターンの生成を行うにあたり、タッチ入力部間の接続部の幅、入力部の直径、入力部間距離、分岐の有無に関して実験を行った。

以上、紙面の表現を拡張する技術の開発・実験に重点を置きつつ、紙を入力インタフェース化する技術の基礎検討を行った。紙面の表現の拡張技術の中でも特に(1)の紙面の手書き消去と高解像度発色提示に関して、その成果をまとめた論文が日本バーチャルリアリティ学会論文誌に採択され、第17回論文賞を受賞した。さらに日本バーチャルリアリティ学会誌「プロジェクションマッピング」特集に招待され、研究成果の解説論文を寄稿した。また、(2)複数紙面への同時描画に関して電子情報通信学会 MVE (マルチメディア・仮想環境基礎)研究会にて発表し、MVE 賞を受賞した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 橋田 朋子, 西村光平, 苗村 健 :
“Hand-rewriting : 紙面上における人とコンピュータの協調的な加筆と消去”
日本バーチャルリアリティ学会論文誌,
査読有, Vol19, No. 3, pp. 367-375,
(2014. 9)
- ② 橋田 朋子, 苗村 健 : “発色型映像投影技術の試み”, 日本バーチャルリアリティ学会誌「プロジェクションマッピング」特集, 査読無, Vol19, No. 2, pp. 10-13
(2014. 6)

[学会発表] (計 1 件)

- ① 埜 克樹, 橋田朋子 : 磁性シートを用いた手書き拡張の基礎検討, 電子情報通信学会 マルチメディア・仮想環境基礎研究会 (2016年3月7日, 名桜大学)

[その他]

- ① 2015年9月: 日本バーチャルリアリティ学会第17回論文賞
- ② 2016年3月: 電子情報通信学会 MVE 賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋田 朋子 (HASHIDA, Tomoko)

早稲田大学理工学術院基幹理工学部・准教授

研究者番号 : 90513044