AR-eLaser: 紙面の手書き文字を消去可能な AR インタフェース

西 村 光 平[†] 金 ジョンヒョン[††] 苗 村 健[††]

近年，電子的な手書き入力インタフェースが急速に発展する一方，実世界上の紙とペンを用いたインタフェースの重要性も増してきている．紙とペンによるインタフェースは筆跡が実世界上に残ることが特徴であるが，これは計算機での拡張に当たり妨げにもなる．筆者らはこの問題を解決するため，紙面の手書き文字を計算機側から消去可能な AR インタフェース，**AR-eLaser** を提案する．**AR-eLaser** は，熱変色性インクをレーザ光の熱変換によって加熱し，局所的な消色を実現している．本稿では本方式の利点及びシステム全体の構成について述べたのち，発熱部の即時性について構成の比較検討を行い，その結果を基にシステムを実装した．

AR-eLaser: Erasable Handwriting Interface with Paper and Pen

Kohei NISHIMURA,[†] Junghyun KIM[††]
and Takeshi NAEMURA[††]

Recently, while electronic handwriting interfaces are developing rapidly, it is considered that the interfaces using an ordinary paper and pen are getting more important. With using an ordinary paper and pen, the handwriting remains in the real world. That is the useful feature, but is the problem if we augment these with computer. To solve this problem, we developed erasable handwriting interface, **"AR-eLaser"**. The system consists of thermochromic ink and laser as the thermal source. In this paper, we present the method of erasing handwriting and construction of system. Then, we compared immediacy of the heating part among 3 layer patterns and implemented the system with the best pattern.

1. はじめに

計算機が幅広く普及していく中で，直感性の高い実世界指向インタフェースの重要性が増してきている．特に，ペンタブレットやタッチパネルを始めとする電子的な手書き入力インタフェースの研究が盛んに行われている．本研究では，通常の紙とペンを用いた入出力インタフェースに着目する．

人が使うペンには様々な種類があり，それぞれの好みや用途に応じて使い分けることができる．ペンタブレットなどを用いた場合には，手書き入力した情報も簡単に消えてしまうが，通常の紙とペンで書いた文字などは，消しゴムで消さない限り残ることになる．しかし実世界上で書いたものが残ることは，実世界と情報世界を融合していくようなインタフェース技術においては，利点であると同時に欠点でもある．

そこで本稿では，紙面にペンで書かれた文字を，計算機制御によって自動的に消去する手法を提案する．これによって，タブレットやプロジェクタ映像だけでなく，通常の紙とペンでも，実世界と情報世界の融合を実現していくための基礎検討に着手する．例えば，実世界でノートを取る行為を計算機で記録している場合，書き間違えの修正は，ノート紙面と計算機の両者でそれぞれ行う必要があった．また，ペンで紙面に何かを書き込むことによって計算機に指示を出すインタフェースにおいて，書いたものが残ると紙を繰り返し利用できないという問題点があった．本システムは第一にこのような問題を解決する．さらにその操作を第三者やプログラムに委ねることで，既存のシステムでは実現できなかったアプリケーションが可能となる．

本稿では，熱によって非接触で消色制御が可能な熱変色性インクを用い，紙面の手書き文字を計算機側から消去可能な AR インタフェース，**AR-eLaser** を実装する．また，熱変色性インクの消色安定温度を計測し，発熱部の即時性について構成の比較検討を行った．**AR-eLaser** による消色の様子を**図 1** に示す．

† 東京大学工学部 電子情報工学科
Dept. of Inform. and Commun. Eng., The Univ. of Tokyo
†† 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

図 1　AR-eLaser による消色（左：手書き紙面，右：消色結果）．
Fig. 1　Color fading by using AR-eLaser (left: Hand written paper, right: Result).

2. 関 連 研 究

本研究において主要となる技術は，紙とペンによるインタフェースの構築と，手書き文字の選択的な自動消色である．以上 2 点について，関連研究を述べる．

2.1　紙とペンによるインタフェース

紙にペンで書いたものを計算機で取得する基礎技術としては，Anoto 社の *AnotoPen*[1] やぺんてる社の *airpen*[2]，ゼブラ社の *TegakiPad*[3] などが挙げられる．

Liao らは *AnotoPen* を利用し，紙への書き込みから自動的に処理を判別し，計算機上で注釈や引用等を行う *PapierCraft*[4] を開発した．また，*Brandl* らも同じく *AnotoPen* を用い，実世界上でノートを取りつつ，ペンで指定した領域を計算機に送ることのできるデバイス *NiCE Book*[5] を開発した．このように紙とペンによるインタフェースには多くの先行研究があるが，これらのシステムは，人が紙面に書いたものを消去することは想定していない．本研究では，従来人の手によってのみ行われてきた消すという行為を計算機で行えるようにすることで，より自由度の高いインタフェースの実現を可能にする．

2.2　クロミック材料を用いた消色制御

外的刺激によりその光物性を制御できる物質はクロミック材料と呼ばれる．クロミック材料には光で制御するフォトクロミック材料，電気で制御するエレクトロクロミック材料などがあるが，本研究では熱で制御するサーモクロミック材料を用いる．サーモクロミック材料を局所的に制御した研究としては，以下のようなものがある．

Maas らの *Thermochromic Information Surfaces*[6] は，銅線で描いた繊細なパターンの発色制御を実現している．一方，動的な情報提示に向け，串山らの *Thermo-Pict neo*[7] では，ペルチェ素子をアレイ状に配置し，15mm 間隔，80 画素での熱制御を実現している．さらに，山田らは赤外 LED を利用し，3.54mm 間隔，64 画素のディスプレイを製作した[8]．

本研究では，紙面の手書き文字を消去することを目的とするため，より高い空間分解能が必要となる．本研究で用いる熱制御法については，3.2 節で述べる．

3. AR-eLaser

AR-eLaser は，紙面上に書いたものを計算機側から自由に消去可能な AR インタフェースである．ここではそれを実現するための，サーモクロミック材料と熱制御法について述べる．

3.1　サーモクロミック材料の検討

本研究でサーモクロミック材料を用いるのは，非接触で消色制御できるからである．さらに，サーモクロミック材料を用いたペンが商品として広く流通しており，紙を選ばない多種多様のペンが安価で手に入るためである．

本研究では，商品化されているペンの中でも，最も種類，色ともに豊富な PILOT 社のフリクションシリーズ[9] を用いた．これはペンに付いた専用ラバーでこすることで生じる摩擦熱を利用した，消色可能なペンである．フリクションシリーズに用いられるインクはフリクションインキと呼ばれ，約 65 ℃で消色，約 -20 ℃で発色する双安定な熱変色性インクである．この性質については，4 章にて確認を行った．

3.2　熱制御法の検討

任意の点に局所的に熱を与えるための熱源としては，ペルチェ素子，赤外 LED，電熱線コイル，レーザなどが考えられる．これらの制御法として主に用いられるのは次の 2 つである．

アレイ方式　ペルチェ素子[7]，赤外 LED[8]，電熱線コイルなどの各素子をアレイ状に配置し，それぞれを個別に ON/OFF する方式が考えられる．この方式では複数の点を同時に加熱することが可能だが，各素子を小さくするほど，また素子数を増やすほど制御が困難になる．

スキャン方式　レーザは，ガルバノスキャナを用いることで照射位置を制御できる．この方式では，ガルバノスキャナの性能次第で制御可能な空間分解能が保証される．加えて，固定的なアレイ方式に比べると，スキャナと紙面の距離を変えることによって，さまざまなスケールのシステムを実装することが容易にできる．

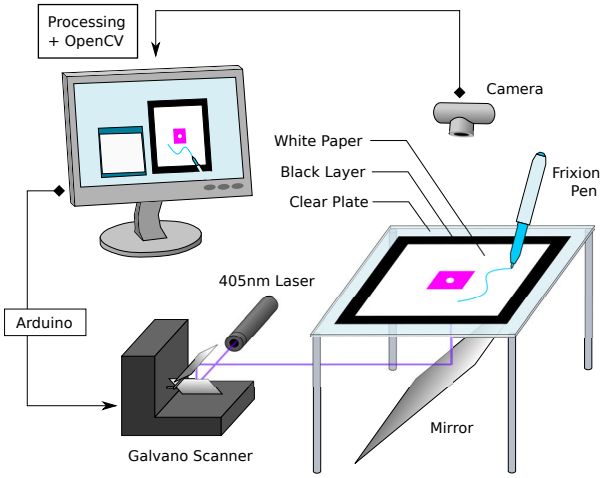

図 2　AR-eLaser の構成
Fig. 2　System of AR-eLaser

本システムでは，主として大面積性，局所性，即時性の 3 点が要求される．大面積性，局所性の観点から，本システムでは後者のレーザ，及びガルバノスキャナを用いた．

今回用いたガルバノスキャナは縦横ともに 4096 段階で操作可能であり，A4 サイズの長辺 297mm を走査した場合には，約 0.073mm の間隔で制御可能である．よって，本システムは先行研究に対し精緻な制御が可能であり，大面積性と局所性を同時に満たすことが期待される．

3.3　AR-eLaser の構成

本システムは**図 2** のように構成した．まず紙面の様子をカメラで取得し，計算機で処理をすることで動作を決定する．これを基にレーザ光の照射位置をガルバノスキャナで制御し，発熱部（黒い膜）で熱に変換して局所的な消色を行う．この一連の流れによって，紙面上と計算機との双方向性を実現する．

4.　実験 1: 消色安定温度の計測

4.1　実験の目的

フリクションインキは実際に加熱を行うと約 50 ℃で消色を開始するが，消色を完全に終える前に温度が低下すると再発色する．そこで本研究ではまず，消色安定温度を求める実験を行った．

4.2　実 験 方 法

1cm 四方の上質紙片にフリクションインキを塗り，定電圧により指定温度を保ったペルチェ素子に接触させる．サーモカメラを用いて紙片の表面温度を観測し，指定温度まで達したところで接触を止め，常温に 1 分間放置する．これを 59 ℃から 66 ℃まで行い，様子を記録する．なお本実験で用いたサーモカメラは，

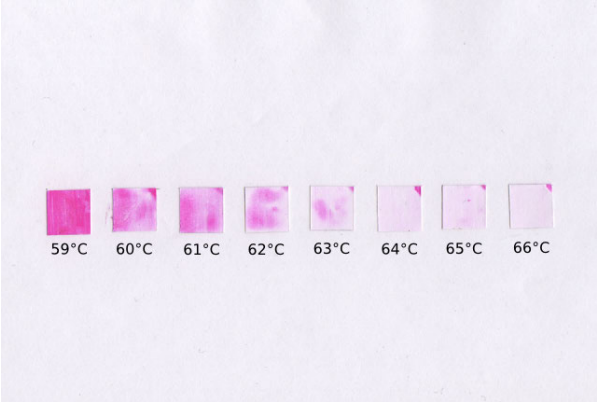

図 3　温度による消色の度合い
Fig. 3　Color fading induced by heat

Thermo Shot F30S（NEC/Avio 製）である．

4.3　結果と考察

結果を**図 3** に示す．59〜63 ℃では常温に放置すると再発色し，64 ℃以降は消色が保たれることが確認できた．この結果から，64 ℃付近で消色が安定していると言える．

5.　実験 2: 即時性の高い構成の選出

5.1　実験の目的

本システムでは，大面積性，局所性に加えて，即時性が要求される．本章では即時性の高い発熱部の構成を明らかにするため，構成による温度上昇の差異を検証した．前提として，下の 3 つの基準を設定して構成及び用いる素材を決定した．

- 吸収性：黒色など 405nm の光を吸収して効率的に熱に変換する性質
- 遮光性：ユーザの目に届かないように，レーザ光を遮断する性質
- 接触性：発熱部から紙面へ熱を効率的に伝えるための平面性と均一性

5.2　実 験 方 法

実験に用いたレーザは，波長 405nm の紫外レーザである．これを電圧 9V 固定で出力し，直径 2mm, 100Hz の円軌道で，下記の 3 つの構成に対して，発熱部の中央に照射する．

検討する構成は次の 3 種である．**図 4** のように透明板に直接塗料を塗り，その上に白紙を載せたものを構成 1 とする．接触を安定させるため，白紙と透明板をテープで固定する．**図 5** のように透明板の上に黒紙を載せ，その上に白紙を載せたものを構成 2 とする．構成 1 同様，白紙と黒紙をテープで固定する．**図 6** のように白紙の裏に直接塗料を塗り，透明板に載せたものを構成 3 とする．白紙自体に加工を施す形となり，紙

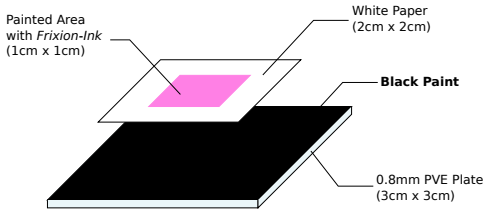

図 4　構成 1
Fig. 4　Layer Pattern 1

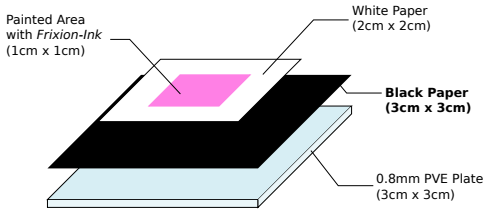

図 5　構成 2
Fig. 5　Layer Pattern 2

の汎用性は損なわれる．

3 種の構成それぞれについて数種類の素材を用い，白紙（一般のコピー用紙）上面の温度の比較を行った．プレートは各素材につき 5 枚ずつ用意しておき，照射開始から 1 分間白紙上面の最高温度の遷移を記録し，5 回の平均を取ってグラフ化する．最終的に 3 種の構成のうち最も温度上昇が速かったものを，本システムにおいて即時性の高い構成として採用する．温度計測は実験 1 同様，Thermo Shot F30S を用いて行った．実験の様子を**図 7** に示す．

5.3　発熱部に用いた素材

各構成について比較対象とした素材を記す．

構成 1　構成 1 において，用いた塗料は以下の 4 つである．

- マジック（uni：PROCKEY 黒）
- アクリル塗料（TAMIYA：アクリルカラー XF-1）
- アクリルガッシュ（TUENER：ACRYL GOUACHE ジェットブラック）
- アクリルスプレー（アサヒペン：Creative Life Spray マットブラック）

構成 2　構成 2 では黒紙の種類及び厚さによる比較を行うため，厚手の紙（100kg 前後）で 8 種，薄手の紙（70kg 以下）は 3 種を用いた．なお，紙の厚さは四六判 1000 枚を連ねた重さを基準として示している．用いた白紙は四六判換算約 55kg である．

- 色上質（黒，特厚口（約 108kg 換算））
- NB ファイバー（黒，110kg）
- エキストラブラック（100kg）
- スーパーコントラスト（スーパーブラック，100kg）
- ビオトープ GA-FS（ポルトブラック，90kg）

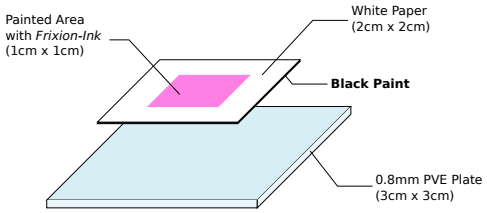

図 6　構成 3
Fig. 6　Layer Pattern 3

図 7　実験 2 の様子（左：消色の様子，右：サーモカメラの LCD）
Fig. 7　Experiment 2 (Left: Color state, Right: LCD of thermo camera)

- タント（N-1，100kg）
- ハンマートーン GA（黒，100kg）
- ぐびき（黒，100kg）
- 色上質（黒，特薄口（約 45kg 換算））
- スーパーコントラスト（スーパーブラック，70kg）
- ビオトープ GA-FS（ポルトブラック，45kg）

構成 3　塗料として用いた素材は以下の 5 つである．

- マジック（uni：PROCKEY 黒）
- アクリル塗料（TAMIYA：アクリルカラー XF-1）
- アクリルガッシュ（TUENER：ACRYL GOUACHE ジェットブラック）
- アクリルスプレー（アサヒペン：Creative Life Spray マットブラック）
- ポスターカラー（TURNER：POSTER COLOUR ブラック）

5.4　結果と考察

構成 1　構成 1 における塗料の比較の結果を**図 8** に示す．塗料による差異はほとんど確認できなかった．開始直後の立ち上がりにラグが存在するが，これは塗料下面で発生した熱が上面に達するまでの時間であると考えられる．

構成 2　構成 2 における黒紙の比較の結果を**図 9** に示す．ここでは，スーパーコントラスト 70kg とビオトープ GA-FS 45kg の両者の即時性が高かった．上部に離れた 3 つのグラフが 70kg 以下の紙，他が 100kg 程度の紙である．同じ種類の紙についても明確な差が確認できるため，より薄い紙の方が即時性が高いと言える．また色上質紙 45kg とスーパーコントラスト 70kg のグラフを比較すると，厚い紙であるスーパーコント

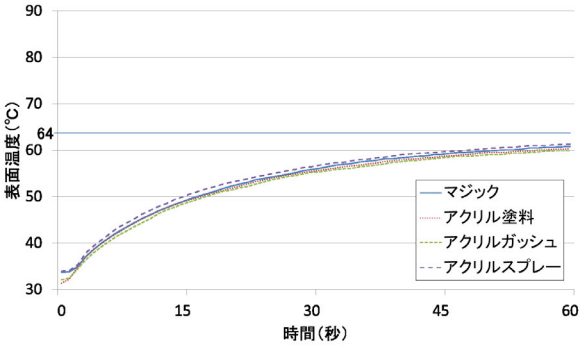

図 8　構成 1 における塗料の比較
Fig. 8　Comparison among Paints on Layer pattern 1

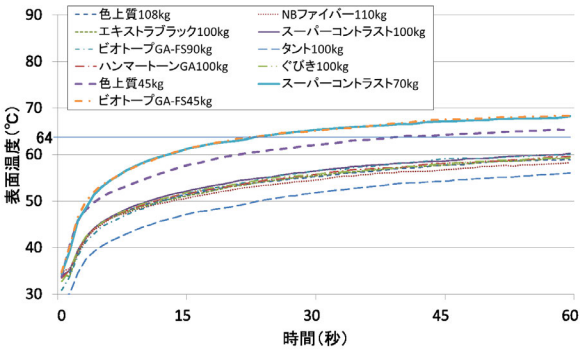

図 9　構成 2 における黒紙の比較
Fig. 9　Comparison among Black Paper on Layer pattern 2

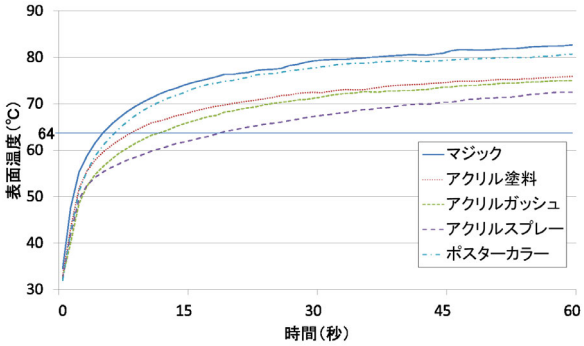

図 10　構成 3 における塗料の比較
Fig. 10　Comparison among Paints on Layer pattern 3

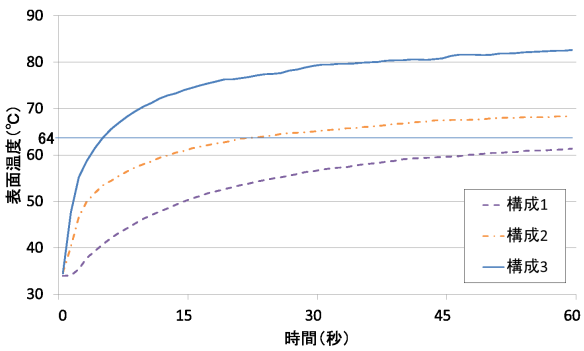

図 11　各構成の最大値の比較
Fig. 11　Comparison among best results of Layer patterns

ラストの方が温度上昇が速い．よって，紙の種類でも差異が発生すると言える．

100kg 程度の紙は，8 種中 7 種のグラフが集中している．唯一温度上昇が遅かったタント紙を検証した結果，8 種のうちタント紙のみの表面にわずかな凹凸が見られたため，接触性が不足していた可能性が高い．また集中した 7 種のグラフを図 8 と比較すると，1 分後の温度にはほとんど差が見られないが，開始直後の立ち上がりが速いことが確認できる．これは，紙が塗料より熱伝導性が高いためであると考えられる．

構成 3　構成 3 における塗料の比較の結果を**図 10** に示す．塩ビ板に塗った場合と比較し，塗料の種類による差が激しいのは，紙への浸透性の違いが 1 つの理由として考えられる．また，マジックやアクリル塗料のグラフが安定していないのは，重ね塗りの際の均一性の不足が理由として考えられる．

5.5　結　　論

以上 3 つの構成について，それぞれ温度上昇が速かったものをまとめたのが**図 11** である．構成 1 ではアクリルスプレー，構成 2 ではビオトープ，構成 3 ではマジックを挙げている．図 8〜図 10 と比較すると，温度上昇速度は素材よりも構成によって大きく左右される傾向が見られる．これにより構成 3 の優位性が確認されたため，本システムでは構成 3 で実装を行った．

6.　アプリケーション

本システムの特徴を活かしたアプリケーションを考案しその実装例について述べる．

本システムは，ユーザが自ら消しゴムで消去せずとも，手書き文字が自動消去されるものである．消去すべき文字（もしくは紙面上のエリア）の指示は，もちろん本人が計算機画面上から行うことも可能であるし，遠隔地の人がカメラ映像を見ながら計算機画面上で指示をすることもできる．

インタラクティブ発表においては，このように人が指示を出すことで消去領域を指定する方法に加え，カメラ入力に基づいて計算機が自動的に消去領域を選択するシステムの実演を行う．

単純な例として，**図 12** のような条件分岐を持ったアンケートが挙げられる．このアンケート用紙は，あらかじめフリクションインキで作成しておく．上段には「一般」と「学生」を選択するエリアがある．「一般」をチェックすると，それを認識して，中段および下段における「学校名」と「学科」という表記を自動で消

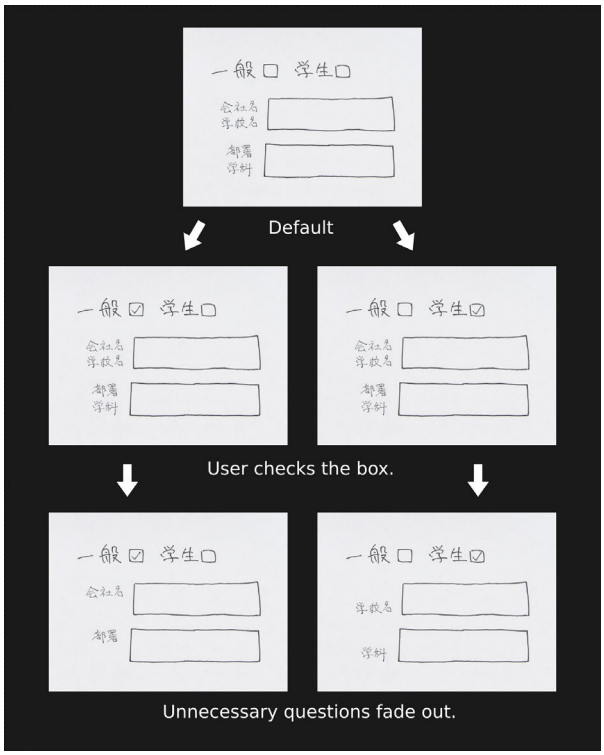

図 12　アプリケーション 1：アンケート
Fig. 12　Appication 1: Questionnaire

す.「学生」をチェックすると，それを認識して，中段および下段における「会社名」と「部署」という表記を自動で消す．このように，紙面でありながら，電子的な制御によって動的なアンケートの実施が可能となり，回答者にとって分かり易いシステムを実現することができる．一方で，書いた文字が一定時間経つと消去されるなどすれば，プライバシーの配慮にも利用できると考えられる．フォームに書きこまれた情報は同時に計算機に取り込むこともできるため，紙面上で消去されてもデータとしては残すことができる．

また，このシステムのもう 1 つの利点として，様々な色のペンを自由に使用できることが挙げられる．例えば**図 13** のように，ユーザがペンで塗り潰した色を計算機が認識し，それ以外の色が消えるといった応用も実装されている．

7. おわりに

本稿では，紙面の手書き文字を計算機側から消去可能な AR インタフェース，**AR-eLaser** を提案し，その構成について検討を行った．結果，用いる白紙の裏面に直接塗料を塗る構成の即時性が最も高かったため，その構成を用いてシステムを実装した．

今後は光源やその走査法について定量的な評価を行い，より即時性の高いシステムを構築していきたい．

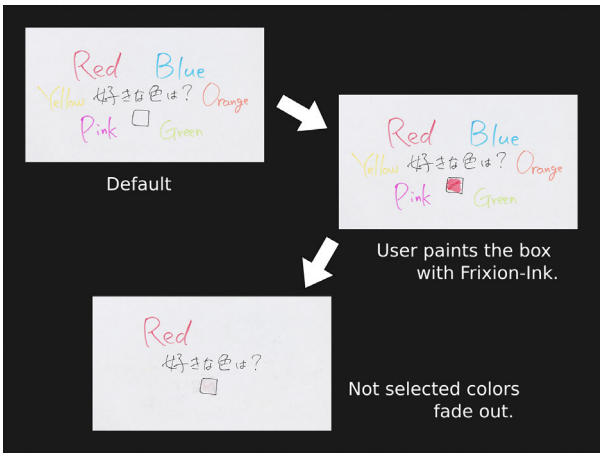

図 13　アプリケーション 2：色の利用
Fig. 13　Application 2: Use of Multi Color

また，他の技術の導入も視野に入れつつ，このシステムを応用したアプリケーションの検討を行っていきたい．

参　考　文　献

1) http://www.anoto.co.jp/ (2011 年 12 月現在)
2) http://www.airpen.jp/ (2011 年 12 月現在)
3) http://www.zebrawing.jp/tegakipad/ (2011 年 12 月現在)
4) Chunyuan Liao, Francois Guimbretiere, “PapierCraft: A Gesture-Based Command System for Interactive Paper”, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 14, No. 4, Article 18, 2008.
5) Peter Brandl, Christoph Richter, Michael Haller, “NiCEBook - Supporting Natural Note Taking”, CHI 10: Proceedings of the eight annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 599 – 608, 2010.
6) David van der Maas, Mark Meagher, Christian Abegg, Jeffrey Huang, “Thermochromic Information Surfaces”, The 27th International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe 27), pp. 1 – 6, 2009.
7) Kumiko Kushiyama, Tetsuaki Baba, Kouki Doi, Shinji Sasada, “Thermo-Pict neo”, In ACM SIGGRAPH 2010 Posters (SIGGRAPH ’10). ACM, New York, NY, USA, , Article 42, 1 pages, 2010.
8) 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.
9) http://www.pilot.co.jp/frixion/info/ (2011 年 12 月現在)