

手書きインタラクションにおける遅延マネジメント ——表示遅延時間の受容性

田丸 恵理子^{†1} 竹内 孝行^{†1}
中村 新一^{†1} 廣瀬 吉嗣^{†1}

人間の知的活動を支援するためには、思考の邪魔をしないインタフェースが必要である。これに対して、紙のように自然な「読み書き」を支援する新しいメディアの研究を、電子ペーパーからのアプローチで進めている。ここで最大の技術的課題は、電子ペーパーの技術的な特質からくる「表示の遅延時間」をどのように扱うかである。そこで、遅延時間がユーザに与える影響を理解するための評価実験を行った。その結果、対象に対して下線を引いたり円で囲んだりするマーキング行為と手書きで文字を書く行為とでは、それぞれ遅延時間に対する感度が異なり、受容性の度合いに差異が見られた。また、対象への注意の向け方、視線や身体の動きなどに関して、各々に特徴的な行動特性が抽出された。この差異を効果的に利用して遅延時間をマネジメントすることで、技術的制約を乗り越え、紙の良さを保持した新しいメディア・インタラクションを提供することが可能であることが示唆された。

Delay Management for Handwriting Interaction — Acceptance of Feedback Delay

ERIKO TAMARU,^{†1} TAKAYUKI TAKEUCHI,^{†1}
SHIN-ICHI NAKAMURA^{†1} and YOSHITSUGU HIROSE^{†1}

It needs a natural interface that doesn't obstruct user's thinking. For this purpose, we research and develop a new interactive media that support both readability and interactivity, based on electronic paper. The most critical issue is how to treat a delay time of display. We conducted an experiment to understand how delay time influences a user, and evaluate user's acceptance level of delay time. The result indicates that sensitivity to delay time was different between annotation and handwriting-character, and it has influence on the acceptance level. In addition, we could find out characteristic user's behaviors, like allocation of attention, eye movement, body movement, and so on. It was suggested to be able to come-over a technical restriction by management

the time delay, and would be able to provide the new interactive media that maintained the goodness of paper.

1. はじめに

今日、コンピュータは、ビジネスから日常生活まで、あらゆる分野において、欠くことのできないツールとなっている。たとえば、オフィスワークにおいては、データ処理技術によって、事務作業の効率を大幅に向上させた。さらに文書作成、文書の蓄積/保管、配布、大量の文書ライブラリへのアクセス（検索）など、コンピュータは、オフィスワークを増力化し、ドキュメントワークの生産性の向上に寄与してきた。

その一方で、コンピュータは、本当に人々の知的な活動を支援するツールとなりえているのであろうか。Sellen ら¹⁾の調査によれば、ペーパーレス・オフィスを標榜し、様々な最先端のテクノロジーを導入しているオフィスでさえも、多くの紙が利用されているという。知的ワークといわれる活動の中でも、特に「アイデアを考える」「文書をじっくりと読んで、理解する」「文書を校正/編集する」という場面では、紙が利用されることがしばしば観察されたことが報告されている。

筆者らは、知的ワークを支援するための新しいメディアとして、「紙のようなインタフェース」について検討している。近年、電子ペーパー²⁾という紙に近い新しいメディアの研究・開発が行われている。ディスプレイは自発光型であるのに対して、電子ペーパーは、紙同様に反射型であり、目に優しく読みやすいメディアであるといわれている。さらに、ディスプレイに対して、高解像度で、薄く軽量で、紙に近いインタラクションを提供しうる可能性のある新しいメディアであると考えられている。従来、電子ペーパーは、「表示媒体」とか「読む」ためのツールとして検討されてきた。これに対して、本文では、電子ペーパーのインタラクション・メディアとしての可能性について検討する。

ここでは、電子ペーパーが、「紙のようなインタラクション」を提供するための課題として、「インタラクションの表示の遅延」に着目し、評価実験を通じて、その課題と解決策について検討する。

^{†1} 富士ゼロックス株式会社
Fuji Xerox Co., Ltd.

2. 関連研究

「紙」のようなインタフェースを提供しようとする試みは、これまでもいろいろ行われてきた。

1つの重要な流れは、近年の Tablet PC の登場である。Tablet PC の特徴としては、①従来のコンピュータ機能に加えて、「手書き機能」が追加されている ②紙のように手に持って自由な姿勢で扱える、という点があげられる。このように、コンピュータと「手書き」を融合させることで、人間の知的活動を支援しようとしているが、メーカ側の思惑どおりに、なかなか受容されていないのが現状である。それは、現状の Tablet PC が、既存のノート PC に単に Tablet PC の特徴を追加しただけのものになっているためであり、必ずしも、「紙のようなインタラクション」を実現しているとはいえない。

Tablet PC のデバイスを生かしつつ、「読み」に着目して、「読み」を支援するアプリケーションを提供したものが、XLibris³⁾である。ここでは、人間の知的活動として“Active Reading”に着目している。Adler⁴⁾によると、深く理解するために読むという知的活動の中で、人は、読んでいる対象に下線を引いたり、チェックをしたりするなど、マーキングを行いながら読んでいる。このような Active Reading の活動を支援するアプリケーションが、XLibris である。XLibris は、マーキングされた箇所を集めたり、キーワードを強調したりして、「ざっと読む」など、多様な読み方を提供し、文書の深い理解を支援するものである。同時に、自由な姿勢でドキュメントを読んだり、マーキングを書いたりすることが可能なデバイスとして、Tablet PC や液晶タブレットを利用している。

このように電子デバイス上で紙のようなインタラクションを提供しようとするアプローチに対して、紙そのものをインタフェースとして用いることで紙の利点を保持しつつ、電子情報との連携を図るというアプローチが存在する。たとえば Anoto Pen⁵⁾では、アドレスが埋め込まれた紙に、カメラの付いたデジタルペンで手書きを行う。ペン先に付けられたカメラが紙に埋め込まれたアドレスを読み取ることで、ペンのストローク情報が抽出される。抽出された情報は、デジタルペンに記憶され、デジタルペンと PC 間で通信することで PC に転送される。これにより、紙とペンという従来のインタラクションの方法をまったく変更することなく、手書き情報を電子情報として取り込むことができる。

紙の利点は、読みやすさ書きやすさのほかに、薄くて軽い性質による、「ハンドリング性」の高さがあげられる。O'Hara⁶⁾らは、紙の持つ「身体性」や「アフォーダンス」に着目した研究を報告している⁶⁾。また、紙のアフォーダンスを利用しつつデジタル情報とリンクすること

で、インタラクションを向上させようというアプローチがある。たとえば、PaperWindows⁷⁾では、電子情報をハンドリングするために、物理的な紙をインタフェースとして利用する。紙をディスプレイに重ねて“こする”ことで、電子情報を紙にコピーする（実際には紙上に電子情報をプロジェクションする）など、物理的な紙を電子情報のハンドリングツールとして用いている。

これらに対して、「高解像度」「軽く薄い」「省電力」といった紙と類似した特性を持つ電子ペーパー⁸⁾も、紙のようなインタラクションを提供するための1つのアプローチである。電子ペーパーの従来の研究では、「読む道具」としての側面が強調されてきた。面谷は、紙を電子ペーパーの理想形と仮定し、紙とディスプレイで比較実験を行い、電子ペーパーの持つべき特徴を抽出している。たとえば、読むという作業に対して、紙のほうが、生理的な指標レベルで疲れにくい⁹⁾とか、文字列の発見率や計算の効率などの作業において、正答率は有意な差異が見い出せないが、紙のほうが作業性が高いことなどを報告している¹⁰⁾。

電子ペーパーは、1度表示させると、エネルギーを供給することなく、表示が保持されるという特徴を持つ。これも、電子ペーパーが紙に近いメディアであることを象徴する重要な特性の1つである。この性質は、省電力であるという点にとどまらず、電池の問題で「見られないかもしれない」という不安から利用者を解放し、表示された情報が「いつでも見られる(消えない)」という安心感を利用者に提供している。このように、「読みやすく」「省電力」という点を生かして、電子ペーパーを利用した商用のアプライアンスもいくつか出てきている。たとえば、電子BOOK¹¹⁾などはその代表的な商品である。また、iLiad¹²⁾は、読みに特化するのではなく、「読む」とこと「メモ書き」機能も含めた情報端末である。このように、電子機器の中にも、書籍やピュア、PDA 端末などのアプライアンスの表示デバイスとして、電子ペーパーを利用する機器も、徐々に商用化されつつある。

3. 課題とアプローチ

筆者らが目指す「紙のようなインタフェース」とは、第一義的には、紙の持つ「読みやすく」「書きやすく」「ハンドリングしやすい」という紙の持つ利点をそのまま継承したようなインタフェースを目指すという意味である。しかしながら、紙にも欠点がある。最も重要な点は「電子情報との連携の弱さ」である。今日の IT 化が進んだ仕事環境の中では、この欠点は決定的である。したがって、筆者らが目指す「紙のようなインタフェース」とは、前述のような紙の利点を継承しつつ、紙の欠点を補い、場合によっては電子と連携しやすいことで紙を超える価値も提供できるようなインタフェースである。しかしながら、いかに価値が



図 1 文書の論理構成の検討シーン

Fig. 1 Scene of checking logical structure of document.

高まる場合でも、紙の利点を保持できることを最優先として考えている。

関連研究で見えてきたように、「紙」とのインタラクションには、「読む」という側面と「書く」という側面がある。そして、これらは決して別々に存在するのではなく、しばしば同時に発生するのである。Active Reading はその代表的活動であり、文書を読んで深く理解するという知的活動は、「読むこと」と「アノテーションなどを書くこと」が分かち難く連動している。また、文書の論理構成を検討するという知的活動でも、同様の現象が観察される。アイデアを考えたり、文書の構成を考えたりするときなどは、「書いた」対象を様々な角度から「読んで」検討する。検討の際は、頭の中だけで考えるのではなく、多様な視点を持つために、アイデアを書いた紙を並べ替えたり、紙を近くから見たり、遠くから俯瞰して眺めて見たり、物理的な位置を変更しながら、深く思考を行っている。

たとえば、図 1 は、プレゼンテーション資料を複数人で作成している過程（共同文書作成過程）で、全体の論理構成の一貫性を検討している場面である。この文書はもともと PC 上の PowerPoint 文書として作成されている。しかし、論理構成の検討の場面では、PowerPoint の電子文書は一時的に紙文書にプリントされ、それらは大きなテーブル上に一覧できる形で配置された。そして、文書の中身を読みつつ、各々の紙にコメントが追記されたり、ポストイットが貼られたり、配置や順番の変更が発生したり、シートの追加が発生したりした。このように、1 ページずつの文書の内容を読んで理解するときだけではなく、数ページにわたる文書の論理構成を理解する際にも、読むこと（論理の一貫性を検討することを含む）と書くこと（コンテンツと構造の編集を含む）は、同時に発生している。

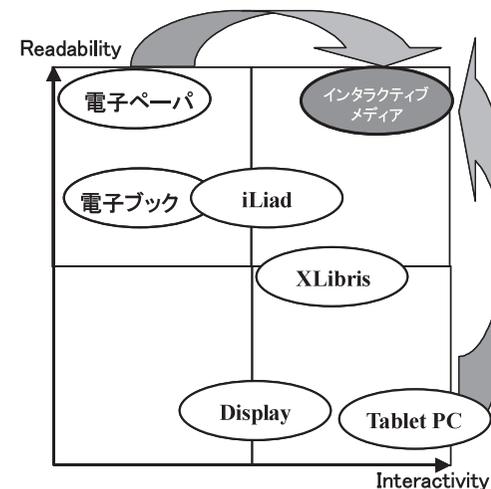


図 2 紙のようなメディアの位置づけ

Fig. 2 MAP of paper-like interactive media.

以上のように、「書くこと」と「読むこと」は一体であるにもかかわらず、従来の研究では、しばしば、どちらかが偏重される傾向があった。この理由は様々であるが、その中の重要な要因の 1 つは、「書くための機能」と「読むための機能」の両方を十分に実装したデバイスがないことである。

図 2 は、紙のようなメディアを Readability と Interactivity の軸にマッピングしたものである。コンピュータおよびその表示メディアであるディスプレイは、比較的インタラクティブ性に優れている。ここでのインタラクティブ性とは、入力性と表示の即時性という 2 つの性質をいう。これらはキーボードやスタイラスペンといった入力機能を持つと同時に、入力された情報は、即座に表示に反映される。その一方で、電子ペーパーは、解像度が高く、反射型で目に優しく、軽量で、多様な姿勢に対応できることから、「読むためのツール」としての評価が高い。

しかしながら、先に述べたように、「書くこと」と「読むこと」が不可分であるならば、両者を両立させるための技術的な課題を解決することは必須であろう。筆者らは、知的ワークを支援するツールを考えた場合、「書くこと」と「読むこと」を両立させ、かつ、ユーザにとって自然で、紙のようなインタラクションを提供できるような、メディアの開発が必要で

あると考える。

これに対して、筆者らは、電子ペーパーからアプローチする。これは、多くの知的ワークが圧倒的に「読む」という行為が多いからである¹⁾。基本として「読みやすさ」に優れた特徴を持つ電子ペーパーで、「紙のように自由に書く」ということを両立させることで、新しいメディア・インタラクションを提供しようというアプローチをとる。

ではそのためには、何が課題となるであろうか。電子ペーパーの特徴の1つとして、表示媒体がメモリ性を持つというものがある。これは、電源を切った状態でも表示状態を保持できるという機能である。現在検討されているメモリ性表示方式は、表示構成物質が、(準)安定状態を持つことと、その物質自体が動きにくいという特徴を持つ。そのため、ある表示状態を次の表示に切り替えるために時間を要する(遅延)という特性が生じる。

したがって、電子ペーパーが知的ワークを支援するツールとなるためには、「遅延」をどのように扱うかが課題となる。もちろん、根本的に遅延をなくす(遅延=0)方向での技術的な追求は必要であろう。しかしながら、上記に書いたような電子ペーパーの技術的特徴から考えても、遅延0を目指すのは現実的なアプローチではない。むしろ、「遅延」がユーザの知的ワークに対して与える影響を理解することを通じて、どのように「遅延」をマネジメントすれば、「紙のようなインタラクション」を提供できるのかを検討するべきであろうと考える。

4. 実験概要

ユーザへの遅延の影響を理解するために、電子ペーパーのインタラクションを模擬的に体験するためのシミュレータを作成し、評価実験を行った。

実験の目的：

実験には、次の2つの目的がある。

- ① ユーザにおける、表示の遅延時間の受容性を評価する。
- ② インタラクションにおいて「遅延時間」がユーザに与える影響がどのようなものかを理解する。

タスク：

入力的方式には様々な種類があるが、本実験では、電子ペーパーにおける入力方式として、「自由手書き入力」を前提とする。ここでは、任意の位置に任意の大きさの手書き入力を自由に行うことができるものとする。手書きのタスクとしては、次の2種類がある。

マーキング・タスク：ドキュメントを読みながら、重要なところ、気になったところにアンダーラインやチェックなどのマークをつけるタスクである(文字は除く)。

文字手書き・タスク：任意の文字や単語(漢字、カナ、数字など)を書くタスクである。ここでは、2種類の行為があり、1つは白紙の任意の位置に手書きで文字を書く場合である。他は、ドキュメントに対してコメント付けを行う文字手書きである。

被験者：

学生14名、社会人22名、計36名。

- 新しいインタラクティブ・メディアの将来のユーザとして、コンピュータなどの電子ツールに慣れ親しんでいる若者層を仮定した。被験者は、ICTインフラが整い、授業をすべてPC環境下で実施する大学生である。レベルの差はあるものの、全員がタッチタイピングができる。
- 社会人は、年齢分布が広く、職業/役職も多様である。事前アンケートにより、新規な電子機器に関心が高く、仕事にメモをよくとるといった特性を持つ人たちを選択した。さらに、オフィスワーク中心の人から、外出の多い人(モバイルワーカー)まで多様なワークシーンで働く人を網羅した。

評価項目：

「ストレス」と「使う気になる」という2つの評価項目を、5段階の主観尺度で評価した。「ストレス」は、遅延が生じるインタラクションに対して、被験者が感じた主観的なストレスの大きさを、数値的に評価したものである。「使う気になる」は、被験者が、そのような遅延を含むツールを提供されたとき、自発的に使う気になるかを、5段階で評価したものであり、受容性を行動の側面から評価するための尺度である。

実験環境：

図3に実験の様子を示す。手書きメモ用ソフト(電子ペーパー・インタラクション・シミュレータ)をWACOM液晶タブレット(Cintiq 21UX)上で稼働させた。被験者は、液晶タブレット上に表示されたドキュメントに、ペンを使って、文字を書いたりマーキングしたりすることができる。ドキュメントにアノテーションを付けた画面の様子を図4に示す。

シミュレータの基本機能は、ドキュメントの「表示」「ページ送り」「ドキュメント切替え」「メモ」である。ページの表示遅れ、筆跡のフィードバック遅れなどの遅延時間に関するパラメータは、任意に設定できる。メモは履歴として保存される。被験者は、視線追尾装置を装着し、視野と視線の動きを記録した。

実験手続き：

2つの実験を実施した。1つは、短時間の個別のタスクを繰り返し実行し、主観評価することで、定量的な受容性の評価値を得るものである。もう一方の実験では、電子ペーパーを利



図 3 実験環境

Fig. 3 Experimental environment.

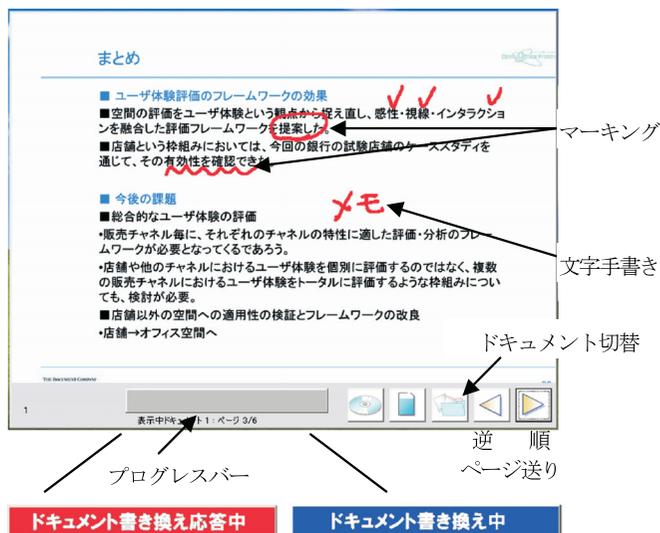


図 4 シミュレータ画面例

Fig. 4 Example of simulator screen.

用するシーンを想定し、それに近いタスクをシミュレータを用いて行うことで、ユーザの振舞いの観察やインタビューを通じた定性的なデータを抽出するものである。

(1) パフォーマンス評価実験

課題 1：ランダム評価課題

様々な遅延時間の条件のもとで、短時間のタスクを実施し、タスク試行のつど、各評価項目に対して主観評価を実施した。マーキング・タスクでは、授業や講演会などのプレゼンテーション資料を実験素材として用いた。文字手書き・タスクでは、記述する文章の内容はサンプルを示したが、サンプルと手元の間の視線移動を生じさせないため、サンプルを「見ながら書く」という行為は禁じた。

各タスクに対して 5 回の試行と評価を繰り返した。筆跡の表示遅延時間のパラメータ設定値は、[0-225] ミリ秒の範囲で 25 ミリ秒刻みで、各タスクの施行ごとにランダムに割り当てた。

課題 2：受容性限界の探索課題

遅延時間のパラメータを、「速い方から遅い方」へ徐々に変化させ、受容できる遅延時間（許容値）を回答してもらった。評価は、受容できる場合は○、受容できない場合は×の二者択一で回答してもらった。さらに、「遅い方から速い方」へ変化させた場合も、同様の評価を実施した。両方向からの受容できる遅延時間に、50 ミリ秒を超える大きな開きが生じた場合は、その区間内の遅延時間を再度評価してもらい、安定した許容値が得られるまで評価を繰り返した。実施したタスクや遅延時間のパラメータ設定値は、課題 1 と同様である。

(2) ノートテイキング実験

ビデオを視聴しながら、ビデオに対応した手元資料（液晶ペンタブレットに表示）に自由にメモをとってもらった。ここでのメモは、マーキングと文字手書きを含む。タスク終了後に、『マーキングと文字手書き』^{*1} について、パフォーマンス評価と同様に 5 段階で評価してもらった。遅延時間のパラメータは、125 ミリ秒^{*2} に設定した。ビデオ素材および、タスクの指示の内容は、被験者に合わせて、次のように設定した。

学生：欠席した授業を e-Learning で受講することで出席するために、講義ビデオを視聴する。受講後にテストがあるので、そのために、講義テキストにできるだけメモをとるように指示。

*1 リアルな環境下での実験のため、マーキングと文字手書きを区別せず実験を行ったため、両方を一緒に評価した。

*2 本設定値は、ベンチマーキング商品の遅延速度の測定値と、筆者らの現時点での目標値との両者を鑑み、ベンチマーキングの測定値よりやや速めに設定した。

社会人：講演会に参加しており、手元に配布資料が配られている。講演の内容を帰社後に上司や同僚に伝達するため、できるだけメモをとるように指示。

タスク実施中の被験者の行動を観察するとともに、タスク終了後、ミニインタビューを行い、リアルな環境での手書きのしやすさや、パフォーマンス評価実験との遅延時間の主観評価の差異などについて聞いた。

5. 結 果

(1) 評価値の分布

図5は、パフォーマンス評価実験のランダム評価課題におけるマーキングと文字手書きについて、各遅延時間に対して、『使う気になる』の各主観評価値ごとの回答数をまとめたものである。グラフ中の円の位置と大きさは、円が置かれた交点上の遅延時間に対して該当する主観評価値を得られた評価の回答件数を示すものである。特に、マーキングについて、学生と社会人の間で、分布に差があることが分かる。

図6は、パフォーマンス評価実験の受容性限界の探索課題において、受容性の限界値の回答人数を、マーキングと文字手書きのそれぞれに対して集計した結果を示すグラフである。

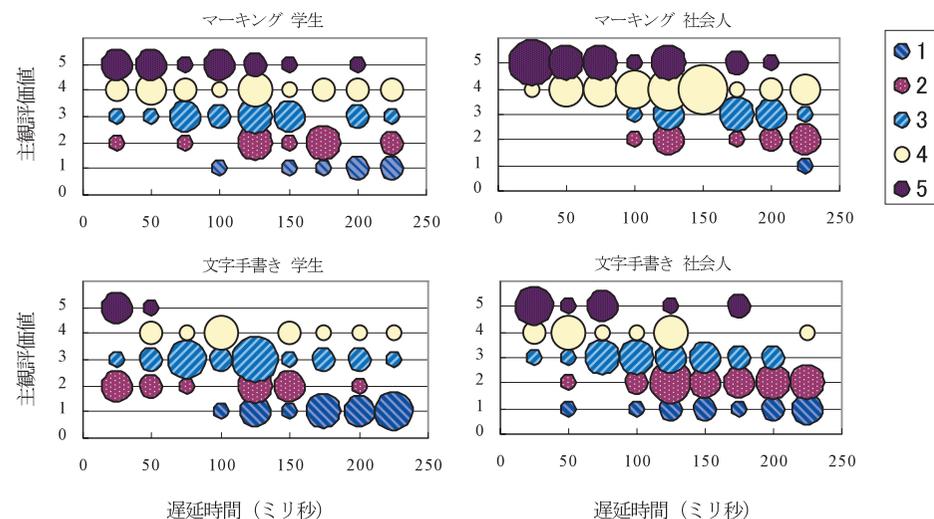


図5 受容性の評価値の分布
Fig.5 Scatter diagram of acceptance.

る。ここから分かるように、マーキングは、学生、社会人ともに、表示遅延時間 225 ミリ秒以上の許容値がある。一方、文字手書きは、今回の設定値以下に収まっている。

学生と社会人の間での平均値の差を、t-検定 (Welch 法) を行った結果、マーキング = 99.3% (有意水準 5% で棄却)、文字手書き = 91.4% となった。したがって、マーキングに関しては、社会人と学生との間に有意な差異が認められた。一方、文字手書きでは、両者の間に有意な差異は認められなかった。

(2) 受容性評価結果

図6の結果から、マーキングと文字手書きについて、学生と社会人両方のデータを z-分布と仮定して受容性の度合いを導出した。受容性の度合いと遅延時間との関係を表1に示す。たとえば、文字手書きでは、50 ミリ秒の表示遅延でも 80% の受容性にとどまっている。一方、マーキングでは 100 ミリ秒の遅延時間でも、90% の受容性がある。ある市販の電子

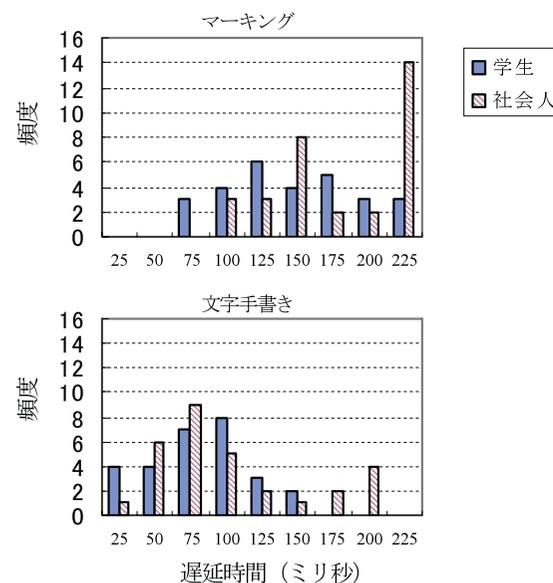


図6 受容性の限界値
Fig.6 Limitation of acceptance.

表 1 遅延時間と受容性
Table 1 Acceptance of delay time.

	受容度	90%		
		80%	50%	
マーキング	(ミリ秒)	100	125	165
文字手書き	(ミリ秒)	30	50	90

表 2 ノートテイキング実験の結果
Table 2 Evaluation in note-taking.

	ストレス	使う気になる
学生	3.2	2.8
社会人	3.3	3.4

ペーパー商品では、手書きの遅延時間が [150–200] ミリ秒^{*1}である。この数値を基準に考えると、マーキングツールとしては、50%程度の受容性が得られるが、文字手書きツールとしては、ほとんど受容されず、必ずしも十分なパフォーマンスを提供できているとはいえない。

(3) ノートテイキング実験の主観評価結果

ビデオを見ながら、その内容に関するメモをとるというリアルなタスクに関して、「ストレス」および「使う気になる」という2つの評価項目の主観評価結果を表2に示す。ここでは、学生、社会人を問わず、主観的に感じるストレスレベルは同程度であった。それにもかかわらず、「使う気になる」は、社会人のほうが学生よりも高く、受容性が高い。ストレスは生理的な尺度であり、社会人でも学生でも差異なく遅延時間に対するストレスを感じているが、「道具を使う」という尺度になると、社会人のほうが、受容性が高いという結果が示された^{*2}。

6. 考 察

6.1 受容性の差異

5章の結果から、文字手書きにおける表示の遅延時間に関して、社会人と学生の間に差異

*1 筆者らによる計測値

*2 この差異は、学生と社会人との差異ということもできるが、一方で、文脈を利用していることから、文脈に対する各々の重要度の差異も影響しているかもしれないが、ここでは、それは区別されていない。

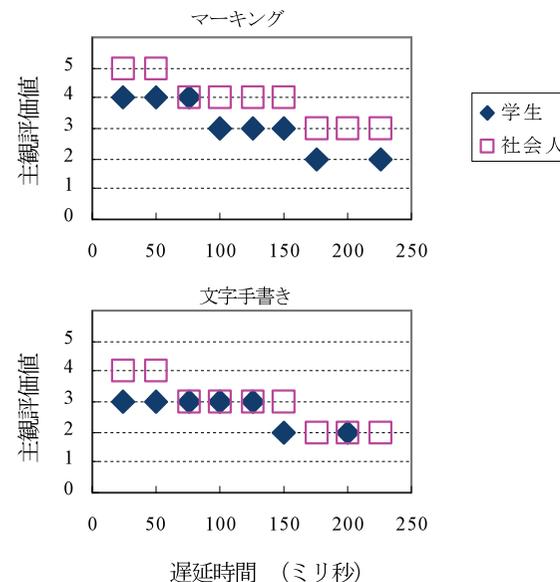


図 7 受容性の確率密度分布
Fig. 7 Probability distribution of acceptance.

があることが示されたが、ここでは、もう少し詳細に差異の内容を分析する。図5の分布の差を比較するため、2つのタスクについて、確率密度(マハラノビス距離の2乗)を導出した。各時間に対して、被験者が最も多く選択した判定数値(密度が高い数値)をプロットした結果を図7に示す。

マーキングの場合、学生と社会人の間で判定数値が“1”シフトしていることが示された。一方、文字手書きでは、遅延が小さい場合に学生のほうがやや厳しい傾向が見られるものの、75ミリ秒を超えるあたりから、学生と社会人の表示遅延への受容性は、ほぼ同等であることが分かる。

遅延の阻害レベル

なぜ、マーキングで、より顕著な差が出たのであろうか？ 実験におけるミニインタビューのデータから、その理由を考察する。文字手書きやマーキングのタスクを実施するうえで、なんらかの阻害要因に関わることを言及しているコメントを抽出・比較すると、遅延の影響がどこで顕在化してくるのかという点において、2つのタスクの間で差異が存在することが

分かる。

たとえば、マーキングに対する代表的なコメントは、「内容そのものよりも、引いていることに意識がいかってしまう」「(遅れが)気になって中身が頭に入らない」といったものである。一方、文字手書きでは、「文字のバランスがとりにくい」「何を書いているか分からなくなる」「表示されるまで待ってしまう」というようなコメントがあげられた。

マーキングでのコメントの多くは、遅延が思考を妨げていることに関連したもの(思考の阻害)である。一方、文字手書きでは、思考というよりも、文字を書く行為そのものが阻害されている(行為の阻害)、というものである。

手書きをするということは、必ずなんらかの思考がともなう。したがって、思考と手書きのどちらにどの程度注意のリソースが向けられているのかによって、阻害の現れ方が異なってくると考えられる。マーキングでは、手書きそのものに多くの注意を必要としないため、残りの多くのリソースを「読んで思考する」ほうに向けることができ、遅延によるブレイクダウンは、意識が集中した思考のほうで現れてきた。一方、文字手書きでは、遅延の影響で文字手書きそのものに注意のリソースをとられたため、「文字を書く」という行為そのものがブレイクダウンを起こしてしまった。その結果が、行為の阻害に関わるコメントとして言及されたと考えられる。以上のように、「どこに注意が向けられているのか」によって、遅延の影響が顕在化する場所が異なっており、この差異がマーキングと文字手書きの受容性の差異につながったのではないかと考えられる。

受容性のバラツキ

被験者は、年齢層や仕事や知識などもばらばらで、幅広い背景を持った人々が集まった。それにもかかわらず、文字手書きはバラツキが少ない安定した評価が得られた。これは、「文字を書く」という行為が、人間の長年の学習によって、高度に自動化され、マーキング以上に、より低位な意識レベルでの行動となっている可能性を示唆している。たとえば、ノートテイキング実験において、手元を見ずに文字手書きをしている被験者が数名観察された。彼らは「見なくても書ける」とコメントしており、文字手書きが非常に身体になじんだ行為であることを裏付けている。このため、遅延時間の受容性評価値も被験者の背景によらず、安定したものになったと考えられる。

6.2 文脈と視線移動

パフォーマンス評価実験では、文字手書きよりもマーキングのほうが、許容度が大きかった。これに対して、「ビデオを視聴しながらメモをとる」というリアルな文脈を導入したノートテイキング実験では、「画面(ビデオ)を参照しながら書いたらストレスは感じなかった」

ビデオを見ながら文字手書き



文字の書き始めはペン先に視線が集中する。しかし、書き始めると、ビデオの画面に視線が移動してしまい(写真上方に外れている)、ペン先・文字を見ていない。ビデオがない場合(パフォーマンス評価実験)、常にペン先に視線が集中していた。

ビデオを見ながらマーキング



文字手書きのときと違い、文章に対してマーキングを付ける行為は、対象との位置関係を把握して書かなければならないため、視線は、書き終わるまで手元に集中している。

図8 ノートテイキング実験における視線の動き

Fig. 8 Eye movement in the video condition.

「文字を書いているときは気にならなかったが、むしろマークを書いているときのほうが(遅延が)気になった」というように、コメントに現れる評価に変化が生じた。この変化の原因として、「視差^{*1}」と「視線の動き」の2つの要因が大きく影響していると考えられる。

視差は、文字手書きでもマーキングでも、受容性を低下させる大きな要因である。マーキングは「対象に対して線を引く」という相対位置関係が重要であり、視差の影響を直接的に受ける。文字手書きでも、前に書いたストロークとのバランスをとるという意味では、視差が影響する。しかしながら、ノートテイキング実験では、視線がビデオと手元を移動するため、視差の影響に変化が生じた。

図8は、ノートテイキング実験中の被験者の視線の軌跡を示す。文字手書きでは、視線は主にビデオに向けられるのに対して、マーキングでは、画面と手元を行き来する。文字は書き始めの位置だけ決めれば、あとは「手で覚えていて書いてしまう」ため、視線が手元から離れても書くことができる。一方、マーキングは、対象との位置関係を把握して書かなければならないため、視線が手元になければ書けない。

*1 液晶タブレットなどでは、表面のガラスの厚みにより、スタイラスペンなどのペン先とペンの軌跡が表示されているペン先との間にズレが生じる。このズレのことを視差と呼ぶ。

文字手書きでは、視線がビデオに集中することで、視線が文字のフィードバックを追わないため、表示のフィードバックの遅れや視差によるストレスが軽減された。一方、マーキングでは、視線移動によって、マーキングする対象を認識する負荷や、視差によるストレスの負荷も増大されたといえるであろう。このことが、文字手書きに比べて、マーキングの評価を相対的に減じさせたと考えられる。

これは、見方を変えると、評価対象が変化したことによる影響と考えられる。パフォーマンス評価実験では、書いたものを見たり確認したりする意識が強く、フィードバックの速度が直接的に評価対象となった。一方、ノートテイキング実験では、「メモが記録されていること」という行為の文脈が関心の対象であった。そのため、書いた情報が確実に保存されていることを知ると、被験者の意識は、文字そのものではなく、「狙ったところにポジショニングすること」に向き、そこまで意識を向ければ、あとは「手が書いてくれる」という状態となっていた。このように被験者がフォーカスする対象の違いが、マーキングと文字手書きの評価の変化に影響を与えたと考えられる。以上のように、行為の文脈への焦点のあて方により、同じ行為でも評価が変動することが示された。

6.3 メディアとユーザとの距離感

視線の動きの分析から、手書きを行う際のユーザとメディアとの距離感覚に、マーキングと文字手書きで、各々特徴が見られた。図9にそれぞれの特徴的な視線の軌跡を示す。マーキングでは、まず、自分がマーキングしたい対象を走査する。そして、対象を順次目で追いつながりながら、マーキングしていく。このとき、ペン先の移動にともなって、被験者の頭部も一緒に動いていることが観察された。これは、マーキングしている対象との距離を、ある程度一定に保つための行動であると考えられる。今回は、「読み」の実験には触れていないが、「読む」ときはほとんど頭が動かさず、視線移動だけで文字を追っていたことと対照的である。

一方、文字手書きでは、視線は、ペン先を追うというよりも、文字全体のバランスを見ていた。1文字書いている間は頭は動かさず、文字全体に視線がフォーカスし、別の文字を書くとき、視線のフォーカスも頭の位置も移動する。このように、文字手書きの場合、眼球は真っ直ぐ前を向き、横方向の視線移動が少ない。

以上のように、各タスクにおいて、視線移動、頭部の動き、それぞれに違いがあることが確認できた。ユーザと、メディアもしくはコンテンツの間には、最適な距離があると考えられる。このことは、本文の主張である「紙のようなインタラクション」における重要な属性を示唆している。紙のようなインタラクションにおいては、ユーザとメディアやコンテンツとの間の距離感をユーザごとだけでなく、書いている対象によっても容易に変化させ、

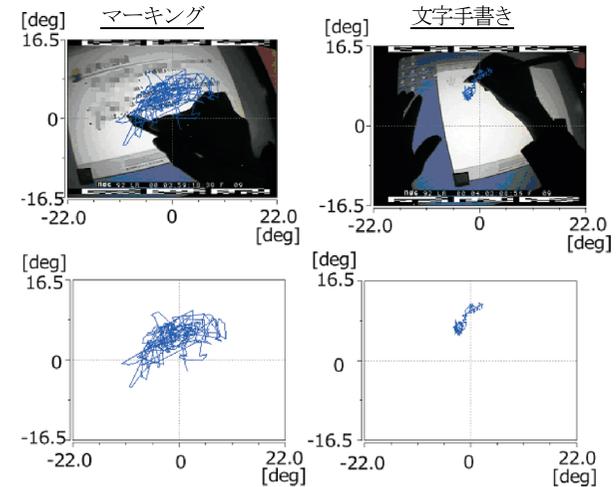


図9 手書き時の視線の軌跡

Fig.9 Trajectory of eye movement in handwriting.

ある一定の距離感を保てるような性質を持つことが重要であることを示唆している。たとえば、文字手書きをしているときは、書いている対象がつねに視線の先にあるように、書いている進捗に従って、その位置を容易に変更できる必要がある。これは、ディスプレイ（固定された表示メディア）に対して、紙の持つ重要な特性であるといえる。

6.4 受容性に影響を与える他の要因

ここでは、「遅延時間」以外の要素で、「手書き」の受容性に影響を与えられようとする要因を、実験のコメント分析を中心に考察する。

ここまでの評価実験に加え、Tablet PCのエキスパートユーザへのディープインタビューを実施した（1名、2時間）。今回の実験の被験者は、NintendoDSやPDAなどで手書き経験を持つが、Tablet PCで日常的に手書きを使い込んでいるユーザは、ほとんどいなかった。彼らは、自身の感覚や行動を「感覚的な言語」で表現した。一方、エキスパートユーザは、Tablet PC利用時の自身の行動や感覚に対して、非常に自覚的であり、論理的に言語化して伝達してくれた。今回の実験の被験者であるナイブユーザと、Tablet PCのエキスパートユーザの手書きに対する感覚は、表現の差異こそあれ、非常に符合する部分が多く見られた。その結果、エキスパートユーザのインタビューから、今回の実験の被験者の感覚的

なコメントの意味を解釈するために、非常に有効なデータを得ることができた。

(1) 書き味

遅延とは別に、ユーザの受容性に影響を与える要因として、「書き味」があげられる。実験におけるミニインタビューの中でも数多くのコメントで言及されている。特に、マーキング、文字手書きに共通で、「すべる」「ペンが書きにくい」「カリカリ感」などというコメントがあげられている。これらは、ペン先とメディア表面の固さや材質などにかかわる要因である。これは、書き手の「筆跡をコントロールしたい」という欲求と関連するのではないかと考えられる。メディアの表面とペンとの間の「硬さ(やわらかさ)」と「摩擦」というのは、筆跡をコントロールする重要な要因であり、個人ごとの好みも非常にばらつく要素である。万年筆などでも、ペン先がしなるなどして、筆圧がコントロールされたり、ボールペンなどでも、インクのすべり具合によって摩擦に違いが出たりする。日常の世界では、このあたりを緩和するために、「好みのペンの種類を選ぶ」というような行動によって、ユーザは書き味を調整している。また、エキスパートユーザは、Tablet PC のペン先が「柔らかく、少し沈み込む感覚」がするペンを用いることで、この問題を緩和していた。このような書き味に対して、ソフトウェアで筆跡のコントロール感を提供している事例として、味ペン¹³⁾などの先行研究がある。書き味に影響を与える因子はほかにも数多くあると思うが、このように筆跡のコントロール感が制御できるようなデバイスやソフトウェアの提供は必須であろう。

(2) 書いた(つもりの)まま表現される

インタビューコメントの中に、文字が「カクカク」しているという不満のコメントがあった。本実験では、紙とペンのように、細かい文字が書けるようにするために、高精細の液晶タブレットと、細いペン先の設定で実験を行った。しかしながら、上記のようなコメントから、高精細で細いペンが必ずしも紙の使用感に近づいているわけではなかった。この理由を検討してみる。

今回、多くの被験者が、文字手書きの経験として、NintendoDS¹⁴⁾をあげていた。この文字手書きの評価は高く、今回の実験の比較対照として、心地良い書き味の代表としてあげる人もいた。その理由の1つにはペンの太さがある。「カクカクしている」というのは、自分では「すっ」と書いたつもりなのに、ディスプレイに表現されたものがカクカクして表示されているという意味で、いい換えれば、「自分がすっ」と書いたとおりに表現されていない」「すっ」と書いたものがカクカク表示されている」ということになる。NintendoDSでは、解像度が低く、太いペン先であることにより、手先のゆれが吸収されることに対して、本実験のような細いペン先では、手先のゆれがそのまま表現されてしまう。このため、「書いたと

おりに表現されていない」という不満が示されたと思われる。

このように、手書きの場合は、手の動きの軌跡のとおり描画してほしいというよりも、「すっ」と書いた」「なめらかに書いた」「勢よく書いた」など、書き手が書いたつもりのものが、ギャップなしに表現されることが望ましいと考えられる。

(3) 書いたものが保持されている安心感

紙とペンの重要な特徴の1つは、情報の保持性である。電源がなくても、表示された情報が保持されることが電子ペーパーと紙の類似した特性であるが、これは、電子ツールに対して紙が持つ優位性を表現する重要な特性である。今回の実験者たちの中には、パフォーマンス評価実験の中で、シミュレーションツールの「書いた情報が確実に保管されている」という機能を理解すると、ノートテイキング実験において、「手元を見ないで書く」という行動を示す人が数名いた。インタビューでは、「情報が残っているのが分かっていたので、見ないで書いた」という声があった。

今回のノートテイキング実験では、視線はビデオと手元の間を行き来した。また実際のリアルな様々な手書きの状況でも、視線は様々な複数の対象の間を行き来しながら、手書きが行われることが普通である。そのような状況の中で、「書かれたことが保存されている」という安心感があることで、視線を本当に必要な対象に焦点をあてながら、メモをとることが可能となる。

(4) 自由記述と1文字入力

被験者の中には、PDAの利用者もいたが、彼らはPDAのときは、入力にストレスはあまり感じたことがなかったと言う。「今まで1文字ずつ入力していたので、今回のように連続して書くのは感じが違う」というコメントがあった。今回実験の前提として、手書き入力とは、自由記述の手書きであることとした。すなわち、任意の位置に任意の文字やマークを記述することができる。しかしながら、現在、一般的に行われている手書きツールでは、1文字ずつ入力エリアが固定されて、そこに手書きで入力を行い、文字変換され、表示される、というスタイルのものが多い。多くの人の手書き体験は、1文字入力のことを指している。この両者は、同じ「手書き」という言葉で表していても、非常に異なる体験であるといえる。自由記述の手書きは、紙とペンのアナログとして比較対照され、それに比べて「書きにくい」という否定的なコメントが生まれる。一方、1文字入力タイプの手書きは、文字を書いているというよりも、文字を入力するための手段として手書きを使っているのであり、「機械にうまく認識させるための入力」を行っている。すなわち、自由記述の手書きは、自分の筆跡を残すための入力であるのに対して、1文字入力は、変換されたテキストを残すた

めの入力指示というタスクである。したがって、1文字入力では、いかに紙のようにスムーズに書くかではなく、「どうしたら認識されやすい書き方ができるか」というマインドに近いのではないと思われる。もちろん、必ずしもユーザがこのことを意識しているわけではないが、今回の被験者の中で、実験での自由記述の体験が、いつもの1文字入力と異なる体験であると体感した人がいたことは、この両者が別の性質を持つタスクであることを示唆している。

7. 遅延マネジメントへの示唆

本実験の結果から、マーキングと文字手書きの遅延の許容時間を導出し、文字手書きの方が許容時間が小さく、許容範囲が狭いことが確認できた。このことから、電子ペーパーにおけるインタラクションにおいて遅延を扱うためには、なんらか、文字手書きとマーキングを分けて考えることが必要であることが示唆される。

たとえば、文字手書きが頭部を固定したまま視線で文字のバランスを見ているのに対して、マーキングでは頭が動いてペン先を追っていた。このような身体の動きをとまなうことで、マーキングのほうが遅延に対する感度が低くなっているのではないかと考えられる。このことを利用するならば、文字手書きでも、小さな文字で、頭を動かさずに書くのではなく、自由記述の形式を維持したまま、ある程度「大きく文字を書く」という作法にすることで、マーキングの感度に近づけることが可能となるのではないかと考える。もちろん、書くときは大きく書くが、入力される文字は、他とバランスのとれた大きさになって入力される。Tablet PC のエキスパートユーザは、Tablet PC の Journal ツールで任意の場所に大きな図や文字で記述し、ある単位で書いた文字を縮小して、本来記入したい場所に収める、という方法を行っていた。文字が小さくて書きにくいとか、小さな文字で書くために線を細くして、カクカクしてしまう、というデメリットを避けて、自分なりの書きやすい方法を、自身の Tablet PC の利用経験の中から編み出していたのである。このように、文字手書きをマーキングに近づけることで、遅延に対する感度を鈍らせるという方法は、有効な手段の1つではないかと考えられる。

以上のように文字手書きとマーキングでは遅延に対する感度が違うということを前提に考えるならば、それを利用して遅延時間を積極的にハンドリングして、できるだけスムーズなインタラクションを提供することが可能となると考えられる。

今回提示したアイデアは、必ずしも紙を模倣するものではない。むしろデジタル情報であることを積極的に利用している。ここで重要なことは、紙の長所を維持するという基本を壊

さない限りにおいて、電子メディアとしてのメリットを利用して、効果的に遅延をマネジメントすることは、必ずしも「紙のようなインタフェース」を目指すことと矛盾するものではないという点である。

8. おわりに

コンピュータが人間の知的活動を支援するための道具となるためには、知的活動を阻害しない自然なインタフェースが必要である。ここでは、古くから人間の知的活動のインタフェースとなっていた「紙」が1つの参考になると考え、「紙のようなインタラクション」を提供するような、メディアの研究開発を行っている。この際、最も困難な課題は、「読みやすさ」と「書きやすさ」の両立である。電子ペーパーのように紙に近いとされるメディアでは、読みやすさは十分に提供できても「書きやすさ」を提供するには、技術的課題が大きいからである。特に本研究では、課題の中でも「表示の遅延」に着目し、遅延時間をどのようにマネジメントしたらよいかに対する示唆を得るための評価実験を行った。

その結果、書くことといっても、「文字手書き」と「マーキング」では、受容性に差異があるという結果が得られた。特に、何に注意を向けて手書きを行っているのか、タスクの文脈の差異、視線や身体の動きなどによって、受容性に差異がみられた。この差異を効果的にマネジメントすることで、たとえ遅延があっても、遅延を感じさせず、紙に近いインタラクションが提供できる可能性が示唆された。

また、メディアと紙との距離感など、メディア・ハンドリングという点からも、「紙のように、メディア自体を自由に動かして利用できるツール」の有効性が示されたことから、筆者らが仮説としている、電子ペーパーの延長からのアプローチが間接的ではあるが支持された。

今後は、本実験から得られた示唆をプロトタイプしながら評価を行い、できるだけ紙の良さを取り入れた新しいメディア・インタラクションのあり方の探究と実装を行っていく予定である。

謝辞 実験の実施にあたり、ご協力をいただきました東京工科大学の上林憲行教授、シミュレーションツール作成にあたり、ご協力をいただきました富士ゼロックスエンジニアリング株式会社の佐藤浩一さん、実験に参加していただいた多くの皆様に、謹んで感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Sellen, A.J. and Harper, R.H.R.: *The Myth of the Paperless Office*, MIT Press (2001).
- 2) 日本機械工業連合会, ビジネス機械・情報システム産業協会: 平成 17 年度拡大する電子ペーパー市場と機械産業の取り組みについての動向調査研究報告書 (2005).
- 3) Schilit, B.N., Price, M.N., Golovchinsky, G., Marshall, C.C. and Tanaka, K.: 紙とコンピュータの利点を融合した新しい情報機器「XLibris」, 日経コンピュータ 1999 年 3 月 29 日号 (1999).
- 4) Adler, M.J. and van Doren, C.: *How to Read a Book*, Simon and Schuster, New York, NY (1972).
- 5) <http://www.anoto.co.jp/>
- 6) O'Hara, K. and Sellen, A.: A Comparison of Reading Paper and On-line Documents, *Proc. CHI '97*, pp.335-342, ACM Press (1997).
- 7) Holman, D., Vertegaal, R. and Altosaar, M.: PaperWindows: Interaction Techniques for Digital Paper, *Proc. CHI 2005*, pp.591-599 (2005).
- 8) Koshimizu, M., Hayashi, N. and Hirose, Y.: SnapTable: Physical handling for digital documents with electronic paper, *Proc. 3rd Nordic Conference on Human-computer Interaction*, pp.401-404 (2004).
- 9) 面谷 信: 第 4 章 紙の特徴と強み—読みやすさを決める要因, JBMIA 平成 15 年度拡大する電子ペーパー市場と機械産業の取り組みについての動向調査報告書, pp.109-143 (2004).
- 10) 面谷 信: 第 13 章 ハードコピーとソフトコピーの作業比較—デジタルペーパーの理想的ヒューマンインタフェース条件を求めて, 面谷 (監修) デジタルペーパーの最新技術, pp.167-187, シーエムシー出版 (2001).
- 11) <http://japanese.engadget.com/2007/11/18/amazon-kindle-399/>
- 12) <http://www.est.co.jp/iliad/index.html>
- 13) 渡邊恵太, 安村通晃: 味ペン: 仮想筆先による触覚的「書き味」感覚提示の提案と試作, *インタラクション 2007 予稿集*, pp.183-184 (2007).
- 14) 吉野元文: 「ペン入力」ニンテンドー DS—タッチパネルおよびペン入力採用までの流れ, *ヒューマンインタフェース学会誌*, Vol.8, No.3, pp.23-24 (2006).

(平成 20 年 3 月 24 日受付)

(平成 20 年 10 月 7 日採録)



田丸恵理子 (正会員)

1984 年慶應義塾大学大学院管理工学専攻修士課程修了。同年富士ゼロックス (株) 入社。ヒューマン・コンピュータ・インタラクション, CSCW, ワークプレイス研究, デザイン方法論等の研究開発に従事。現在は, デザイン部門において, 人間中心設計, 参加デザイン等に関する実践的な研究活動を行っている。日本認知科学会, 日本デザイン学会, ACM, IEEE 各会員。



竹内 孝行

1989 年静岡大学大学院工学研究科修士課程修了。同年富士ゼロックス (株) 入社。現在, オプト&エレクトロニクス要素技術研究所に所属。電子ペーパーの研究に従事。SID, IEEE, ACM 各会員。



中村 新一

1990 年青山学院大学理工学部電気電子工学科卒業。同年富士ゼロックス (株) 入社。ソフトウェア開発部門でソフトウェア設計を担当。現在は, ヒューマンインタフェースデザイン開発部にて, ソフトウェア製品のユーザビリティデザインを担当。DocuWorks, ApeosWare, ArcWizShare, PrinterDriver 等のユーザビリティ・デザインや評価を行ってきた。また, 視線追尾を利用したユーザビリティテスト手法等の研究開発にも取り組んでいる。



廣瀬 吉嗣

1983 年千葉大学工学部画像工学科 (旧, 天然色工学研究施設) 卒業。同年富士ゼロックス (株) 入社。1985 年よりカラー画像研究に着手, デジタルカラーコピープリンタシステムの画質設計, および画質評価, 解析の研究に従事。2003 年より, 次世代ドキュメントハンドリングメディア研究に着手。その一環として, ワーク分析による電子ペーパー活用ワークスタイル研究を実施。2008 年より顧客価値デザインセンターの創設に携り, “顧客価値創造プロセスデザイン研究” に従事。現在に至る。