

仮想書籍ブラウジングシステムの試作

島田 恭宏[†] 宇都宮 毅[†] 鏡原 篤 男[†]
 田中 圭^{††} 島田 英之[†]
 大倉 充[†] 東 恒人[†]

本論文では、ユーザが実際の書籍をパラパラめくるのと同じ動作で操作し、その動作に対応してディスプレイ上に表示された仮想書籍のページをめくることができるシステムについて報告する。本システムは、入力インタフェースと仮想書籍ビューワから構成される。入力インタフェースは、ポリプロピレン板上にベンドセンサとタッチパネルを設置することで作成した。仮想書籍は、3次元CGにより書籍の形状を再現し、その形状に書籍の各ページ画像をテクスチャマッピングすることで作成した。ユーザはポリプロピレン板を撓ませ、タッチパネル上で指を移動させることにより仮想書籍のページをめくることができる。小規模な評価実験を行った結果、試作したシステムは、ページ検索に時間がかかるものの、実際に書籍をめくる動作とかなり似た操作で扱えるという評価を得た。

Prototyping of Virtual Book Browsing System

YASUHIRO SHIMADA,[†] TSUYOSHI UTSUNOMIYA,[†]
 ATSUO KAGAMIHARA,[†] KEI TANAKA,^{††} HIDEYUKI SHIMADA,[†]
 MITSURU OHKURA[†] and TSUNEHITO HIGASHI[†]

This paper presents a browsing system of a virtual book displayed in a computer. A user can operate this system in action the same as turning over a book of real world. In correspondence with the action, the system draws state turned up of page of a virtual book. The system has an input interface and a virtual book viewer. The input interface is made of the bend sensor and the touch panel on the polypropylene plate. The virtual book is a 3D shape model and each page is made by the texture mapping of a real book's page. If the user bends the polypropylene plate and slides his finger on the touch panel, the pages of virtual book are turned. The system which we produced experimentally took time for searching a page. But, the user gave the evaluation that the interaction style of the system considerably resembled the movement that they really turned up a book.

1. はじめに

現実世界において、我々の情報取得行動は書籍に頼ることが多い。岡田らは、

- 高速ブラウジングが可能である、
- パラパラめくることにより、全体の雰囲気の把握や偶然の情報発見が可能である、
- 全体の中のどこを読んでいるのかが明確である、
- 人間にとってなじみの深いメディアであり、使用法を教わる必要がない、

などの本メディアの7つの特徴を文献1) であげた。こ

れらは、紙媒体を用いた情報のコンテナとしての書籍メディアと、それに起因するインタラクションスタイルの特徴といえる。

書籍は紙を媒体とし、それが束をなすことで構成される。またそれをなす1枚1枚の紙がページであり、情報がページという物理単位でブロック化されている。次のブロックにアクセスするには、単にページをめくればよい。ページを連続的にパラパラとめくることを前提に考えれば、書籍を湾曲させ小口に置いた親指をずらすだけで操作は可能である。入力場²⁾は、主に小口という狭い領域である。ページをめくるときの速度は、ユーザが主体的に決定できる。書籍を大きく湾曲させればページは高速にめくられるし、その逆も可能である。ユーザは、書籍を湾曲させる度合いによりページめくりのための分解能を調節することができる。大きく湾曲させれば小口におけるページのずれの間隔は広

[†] 岡山理科大学工学部情報工学科
 Department of Information & Computer Engineering,
 Okayama University of Science

^{††} 岡山理科大学大学院
 Graduate School, Okayama University of Science

くなり、ページを押さえている親指をずらせば1ページだけめくることができる。逆に湾曲量を少なくすれば、前例と同じ量だけ親指をずらしても、複数のページを連続的にめくることができる。小口上の親指をずらす速度によってもめくり方を変化させることが可能である。これらの操作はモードを切り替えることなく、操作可能という点でインタラクションスタイルとして優れているといえるだろう。

このように書籍というコンテナは、情報空間をブラウズするための理想的な環境の1つと考えられる。何より書籍に対しては、誰もが共通するメンタルモデル³⁾を持っており、現在、一般的に使用されているコンピュータのように操作方法を学習する必要もない。このような特徴を持つコンピュータの操作系を実現すれば、実世界とシームレスにコンピュータの世界を扱うことが可能となる。

コンピュータ上の情報空間のブラウジング手法は Information Visualization 分野において、これまでもさまざまな研究がなされてきた⁴⁾。たとえば Card らの Information Visualizer プロジェクトは、3次元グラフィクスにより奥行き方向を用いることで表示領域の効果的利用方法を示した。ことに Perspective Wall⁵⁾ は、3次元グラフィクスの透視投影図法を利用することによって、局所的詳細と大局的概略を統合した表示を可能とした。しかし Perspective Wall は、個別の情報に対応付けられたメタファを表示するだけであり、個々の情報自体をブラウズできるものではなかった。

個々の情報をブラウジングできるシステムとしては、Document Lens⁶⁾ が提案されている。Document Lens は、平面に敷き詰められたドキュメントのページ上で1ページ大の領域を拡大するレンズを上下左右に移動させることでブラウジングを実現していた。

これらのシステムは、ユーザと対話しながらユーザの認知を妨げないスピードで画面変化をアニメーション表示した。しかしユーザとシステムの対話の方法は、依然としてマウスなどの一般的なコンピュータシステムのものに限られていた。

書籍メタファを使用した研究は、Card らが 3Book^{7),8)} を、岡田らが BookWindow を提案している¹⁾。これらは単に電子データを「本」という日常的なオブジェクトの形態に変換しただけではなく、電子メディアを使う特性を生かして実世界の書籍が持たない各種機能が実装されていた。3Book では、ユーザがキーワードを入力することにより、ユーザのそれぞれの情報に対する関心度 (DOI: Degree-Of-Interest) を求め、DOI

Index や DOI Table-Of-Contents を生成することができた。BookWindow では、動画を扱うことやキーワード検索が可能であった。また BookWindow は、X-Window System のライブラリとして実装されており、ユーザアプリケーションから使用できた。

彼らの業績は、単に情報の表示方法や本メタファを追求しただけではなく、ページをめくるスタイルでシステムとの対話を可能にした点にある。3Book でページをめくる場合、ページ面に触れることで1ページめくりを実行できた。また小口に触れることで数ページをまとめてめくることができた。3Book では書籍を見開き状で表示するだけでなく、ページの綴じ位置で左右ページを折り曲げ左右いずれかのページだけを拡大表示することも可能である。BookWindow では、ページ面をマウスでクリックすれば1ページめくりを実行できた。また小口にマウスカーソルを合わせ、マウスボタンを継続的に押すと連続ページめくりを実行できた。しかし、これらはソリッドなディスプレイ上に表示され、マウスを用いて操作する間接指示・直接操作方式²⁾であった。

British Library の Carr らは、Turning the Pages と呼ばれるその名が示すとおり、ページをめくることができる古書の閲覧システムを1998年に発表した⁹⁾。Turning the Pages はタッチパネルを装着したディスプレイを使用し、ユーザが画面上に表示された書籍メタファに触れたりなぞったりすることでページめくりを実行できる直接指示・直接操作方式を採用していた。しかしこのシステムは大型の装置で構成され、実世界の本のように手に持って扱うことはできなかった。

このほかにも Mixed Reality や Augmented Reality など Virtual Reality と連続したスペクトラム上に位置する分野からの興味深いアプローチがさまざまに行われてきた¹¹⁾⁻¹⁶⁾。しかし彼らの研究成果は、いわゆる“飛び出す絵本”的な電子的拡張や実世界の書籍のブランクページにビデオプロジェクタを用いてページ情報を投影したり、HMD 越しにブランクページを見ることでリアリティあふれるページ面を再現したりすることに主眼が置かれていた。つまり、実物体の書籍を使用するものの、書籍のインタラクションスタイルの特徴を積極的に生かしたものではなかった。

書籍のインタラクションスタイルに最も近い機器は、電子書籍^{17),18)} 端末¹⁹⁾ であろう。この装置の一部は、LCD 2面を採用して見開きとなり、端末自体が本メ

2004年現在では、Turning the Pages on the web として Web 上でも閲覧可能となっている¹⁰⁾。

タファを構成している。ページ送りは左右の LCD パネル下部に配置されたプッシュスイッチを押下することにより実行される。インタラクションスタイルは現実の書籍に近いといえる。しかし本の厚みなどは表示されておらず、ユーザが書籍のどのあたりを読んでいるのか直感的に把握することはできない。

そこで筆者らは、実世界の書籍におけるページをバラバラとめくるといったインタラクションスタイルでコンピュータ上の文書データ（ページ単位にコンテンツがブロック化された書籍などのデータを対象と考えている）を閲覧することを可能にするシステムを試作した。

2. 仮想書籍ブラウジングシステム

本システムは、入力インタフェースと仮想書籍ビューワから構成される。入力インタフェースはページをめくるときに行う、書籍を手を持ち湾曲させる、小口においてページの復元力によりめくれようとするページを押さえる親指をずらし、めくべきページをリリースするといったユーザの行為を定量化する。仮想書籍ビューワは、入力インタフェースから送出される情報を用いて 1 冊の書籍形状を 3 次元モデリング後、ドキュメント画像をモデルのページ面上にテクスチャマッピングしてディスプレイ上へ表示する。またページのめくれる動きなど、ユーザの操作による仮想書籍の状態の変化をリアルタイムにアニメーション表示する。

本システムは上述の BookWindow 同様、間接指示・直接操作方式だが、入力インタフェースを手を持ち、書籍と同じインタラクションスタイルでコンピュータ上の文書データのブラウジングが可能であるという特徴を持つ。

2.1 入力インタフェース

図 1 に試作した入力インタフェースの構成を示した。入力インタフェースのベースには、片面縦 375 mm × 横 285 mm（マチ（背表紙厚）10 mm）の大きさのポリプロピレン板を使用した。

ページをバラバラめくするためには、ベース上に置かれた親指の位置と移動時の変化量を検出しなければならない。このためにタッチパネルをベースの左右に 1 機ずつ配置した。このタッチパネルは、Magic Touch と呼ばれる NDC Corp. 製のキットを使用している。外寸縦 115.3 mm × 横 155.6 mm であり、6.4 インチサイズの LCD 用のものである。

ベースの湾曲量を検出するためにバンドセンサを使用する。本試作では Measurand Inc. 製のシェイプセンサ S720 を使用した。このセンサは、幅 1.1 mm、厚

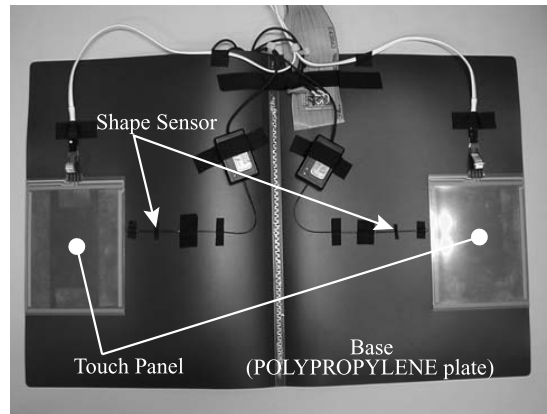


図 1 入力インタフェースの構成
Fig. 1 Input interface configuration.

さ 0.5 mm、長さ 200 mm のプラスチックオプティックファイバと、それを駆動する回路から構成される。S720 はファイバの片側が処理されており、曲がりによって光を損失させ、曲率を電圧値として出力する。このセンサを左右のベースのほぼ中心部分に設置し、ベースの湾曲量を計測する。なお本試作では、入力インタフェースの見開き状態における左右ベース間の角度は計測していない。

2.2 仮想書籍ビューワ

仮想書籍ビューワ（以後、ビューワと呼ぶ）は、ユーザに書籍のコンテンツ情報を可視化して提供する。本研究では簡易的な 3 次元モデルを用いて仮想書籍をモデリングし、それに画像として用意した書籍のコンテンツ情報をテクスチャとしてマッピングすることでビューワを構成する。またビューワは、入力インタフェースに対して行われる操作の結果として現れる“湾曲する”、“ページがめくれる”という書籍の状態変化をリアルタイムにアニメーション表示する。ビューワは、Microsoft Visual C++、グラフィック開発用（高次元）API として OpenGL と glut を使用して作成した。

2.2.1 書籍の計算モデル

本研究では 1 枚のページを図 2 に示すようにモデル化した（このモデルはページ 1 枚のモデルだが、分りやすいように厚みを持たせて示している）。図中各面の名称は、書籍の形態をなした場合の伝統的な書籍の各部位の名称であり、 w , h , d はそれぞれページの幅、高さ、厚さを示している。書籍のブラウジングにともなう形状変化は、ページの撓みとそれにより引き起こされる小口の幅の拡大、ページがめくられるときのページ移動である。これを表現するために、図中の地側のページ断面形状をモデル化し計算モデルとし

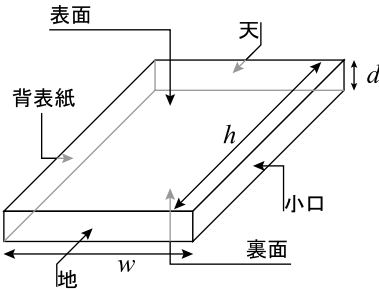


図2 ページのモデル
Fig.2 Page model.

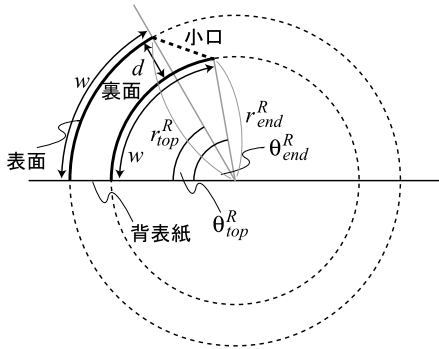


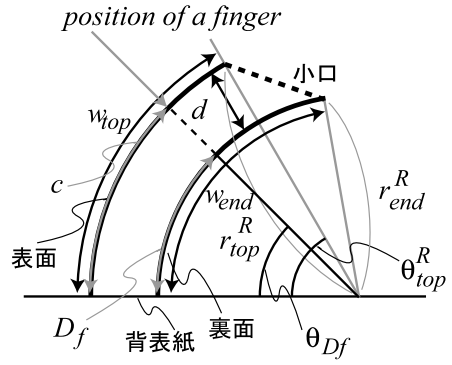
図3 計算モデル
Fig.3 Calculation model.

た．仮想書籍の形状とめくるべきページの枚数は，入力インタフェースから得られる湾曲量と指の位置を計算モデルに反映させ決定する．さらに計算モデルを立体化し，ページ画像をテクスチャマッピングすることで仮想書籍を描く．

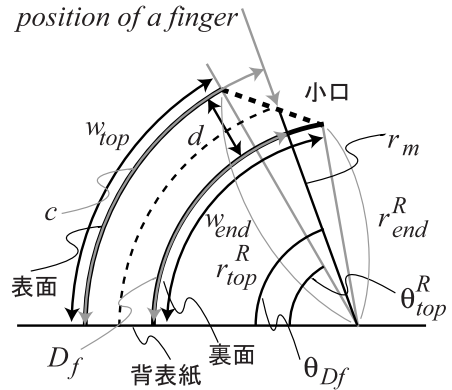
本研究では，図3に示すような円弧を用いて単純化したモデルでページ断面形状を表現する．なお本章でのモデルの説明は，見開き状態における右側のページ(の束)を例に行う．

まず表面(おもてめん)の円弧の形状を決定するが，弧長 w はページ幅として規定されており，円弧の中心角 θ_{top}^R を入力インタフェース右側のバンドセンサの出力とすることで円周 ($\ell = 2\pi r_{top}^R$)，および円周と円弧の長さの関係式 ($\ell = 2\pi w / \theta_{top}^R$) からその弧をなす円の半径 ($r_{top}^R = w / \theta_{top}^R$) を求め，弧の形状を計算する．裏面を構成する円弧の形状は表面の円弧と同心円であるが，図示したように r_{top}^R からページの厚さ d を差し引いた長さを半径 r_{end}^R とし，これと w から θ_{end}^R を求め形状を計算する．なお計算モデルでは小口，および背表紙の形状は必要ないゆえ割愛する．

この計算モデルを用いてユーザのページ上での指の位置を特定し，めくるページ枚数を決定する．本研究



(a) 指が表面を構成するページにある場合



(b) 指が小口上にある場合

図4 仮想書籍上での指の位置の決定
Fig.4 Position of a finger on a virtual book.

でのページめくりは，小口部のページの縁上で指を移動させることによりページを押さえていた力を取り除き，それによりページの復元力でめくれる動作が開始されるページめくりのみを想定している．そのためページめくりは，ページを押さえる指が小口上に位置したときのみ発生する．よってタッチパネルから得られるユーザの指の位置をモデルにマッピングし(詳細は後述する)，その位置を特定する．特定の結果，ユーザの指が小口上にあると判断されれば，めくるページ枚数を同モデルより算出する．

ページ上に指の位置をマッピングする原理を図4に示した．なお本説明では，指の位置を表面，裏面を構成する円弧の背表紙側端点からの弧長として示すことにする．この位置情報は，表面，裏面の各々で区別する必要があるため，表面，裏面のページ幅を w_{top} ， w_{end} と区別して記す．ただし，弧長としては $w_{top} = w_{end} = w$ である．

モデルにマッピングされた指の位置は，モデルの裏面における背表紙側の端点からの弧長 D_f として表している．なお詳細は2.2.2項に譲るが， D_f は w_{end}

より大きくなくことはない．まず D_f/r_{end} を計算し，裏面を構成する円弧上において弧長を D_f とする円弧の中心角 θ_{Df} を求める．次に表面を構成する円弧上での指の位置を背表紙側端点からの弧長 c とする． c は $r_{top}^R \theta_{Df}$ により求められる． c を表面のページ幅である w_{top} と比較することで，モデル上での指の位置を判定する．すなわち， $c \leq w_{top}$ であれば指は表面を構成する円弧上にあり， $c > w_{top}$ であれば小口上に位置すると判定する．

小口上に指が位置すると判定された場合，ページめくりが要求されたものと判断し，めくるページの枚数を決定する．これにはまず， θ_{Df} と w から w/θ_{Df} を計算し，指が置かれているであろうページを表現する円弧の半径 r_m を求める．次に $r_{top}^R - r_m$ により，新たに保持すべきページまでの長さ（深さ）を求める．そしてこの長さを事前に定義した 1 ページの厚さで除することにより，表面のページから新たに保持されるページまでの枚数を求める．この値が 1 であれば 1 ページめくりであり，2 以上であれば複数枚めくりとなる．

2.2.2 タッチパネルと仮想書籍の校正

本研究では仮想書籍上における指の位置を決定するために，タッチパネルを使用した．本来，タッチパネルはディスプレイと一体化（入力場と出力場が融合している）され，画素レベルで校正を行い，ディスプレイ座標系における指定座標を画素単位に直読する．しかし本研究ではタッチパネルを単なる位置センサとして使い，タッチパネルから得られるディスプレイの座標値をモデル上の絶対的な位置へと変換した．そのため本研究では，タッチパネルの出力する座標値にディスプレイ座標としての意味はない．

まずタッチパネルから得られるディスプレイの x 座標を正規化し，モデルのページ幅 w の $1/4$ の大きさを乗じてスケール変換を行った．フルスケールをページ幅の $1/4$ としたのは，操作が仮想書籍のページ面全体ではなく，小口の領域と表面のページにおける小口側の比較的狭い領域を対象とするためである．またスケールを小さくすることで，タッチパネルの実効上の分解能を上げることができる．最終的にオフセットとしてこの値にページ幅 w の $3/4$ の大きさを加え，計算モデルにおける長さへ変換した．

2.2.3 仮想書籍の描画とアニメーション

仮想書籍の描画においても，2.2.1 項で述べた計算

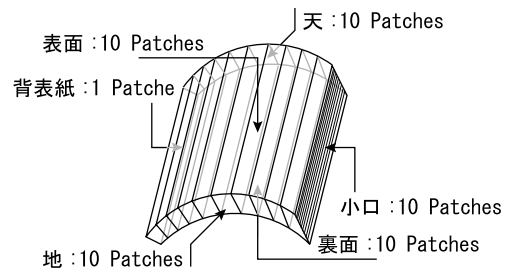


図5 ページの3次元形状モデル
Fig. 5 3D shape model of a page.

モデルを用いる．本研究では，1枚のページも見開き状態にある左右のページの束も，ページの厚さ d を変化させて同モデルで表現する．仮想書籍はサーフェスモデルでモデリングしており，計算モデルを元に次の手法でページの各面を構成する四角形パッチの頂点座標を求めた．

仮想書籍のモデリングは，まずページ断面において表面，裏面，地の面を構成するための四角形パッチの頂点座標を決定する．表面を構成するパッチの地側の頂点座標は， θ_{top}^R を N 等分 ($N = 10$) した角度を増分とし，その角度における表面を形成する円弧上の座標を取得した．裏面を構成するパッチの地側の頂点座標も同様の方法で取得する．分割数は表面，裏面ともに同じであり，表面，裏面を形成する円弧上の点をおのの2つずつ，計4つを選択することで地の面を形成するパッチの頂点座標を決定する．次に書籍の高さである h だけ平行移動した位置に同様の点を設け対応をとることで表面，裏面，天の面を形成するパッチの頂点座標を決定する．

小口の描画は，計算モデルの裏面の描画における円弧の形状を求める場合と同様に，ページの厚み d を N 等分 ($N = 10$) した長さ Δd を求める． $r_{top}^R - n\Delta d$ ($n = 1, 2, \dots, N-1$) を円弧の半径として中心角を求め，各々の中心角に対応した円弧の形状を計算し，小口側の端点座標を取得する．そして，書籍の高さである h だけ平行移動した位置に同様の点を設け対応をとることで，小口のパッチの頂点座標を決定する．背表紙は表面，裏面の背表紙側の端点を頂点とするパッチで形成した（図5参照）．

ページめくり要求が発生していない場合，仮想書籍の表示形態は見開き状である．上述の手法により作成した単独のページ，あるいはページの束は，平行移動・回転の処理により，背表紙側の端点で接合することで見開き状をなす書籍形状を構成する（図6参照）．ここで見開きの角度 θ_0 はページの断面形状より，背表紙と直交する表面を形成する円弧の接線どうしのなす

ここでは表面，裏面は関係しないことから，単にページ幅 w で示した．以後も同様である．

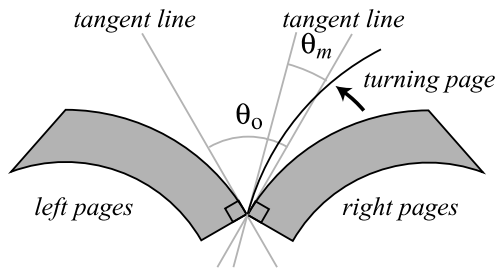


図 6 書籍状モデルの断面形状
Fig. 6 Cross-sectional shape of book model.

角としている．なお見開き状態において、右ページの裏面を形成する弧の背表紙側の端点を原点に固定している．

ページめくりにおける遷移中のページの挙動は、同図に示すように背表紙側の端点を中心とした回転移動で表される．そこで遷移中のページは書籍形状を形成する際、見開き状態における左右のページの束の間にページオブジェクトを挿入することで描画する．遷移中のページの位置は、たとえば右から左へ向かうページめくりの場合、右側の表面を形成する円弧の接線と遷移中のページを形成する円弧の接線のなす角 θ_m で表す．遷移中のページの湾曲量は、右から左へと移動するにつれ、見開きページの右側のページの束の湾曲量から左側のページの束の湾曲量へと徐々に変化するようにしている．

アニメーションにおける 1 フレーム間の差異は、角度の増分 $\Delta\theta_m$ として定義し、描画のつど、 θ_m に $\Delta\theta_m$ を加算して遷移中のページのその時刻（すなわち、今から描画する 1 フレーム）における位置とした．ページ遷移の終了判定は $\Delta\theta_m$ を累積加算した結果、 θ_0 と同値か、あるいはその差がしきい値以内になった場合である． $\Delta\theta_m$ は θ_{top}^R に反比例するように設定した．これはページの復元力でめくれる動作を行うという前提からである．またマシンの負荷によるアニメーションの時間的ばらつきを低減させるため、前 1 フレーム描画に要した時間を計測し、それを係数化して $\Delta\theta_m$ に乗じた．負荷が高ければ $\Delta\theta_m$ は大きくなり、1 フレーム間の移動量を大きくする．

2.2.4 ページ画像のテキストチャマッピング

ここまでモデリングされた仮想書籍に、書籍のページ画像をテキストチャとしてマッピングする．マッピングするオリジナルの画像は、 $1,024 \times 1,024$ の大きさであり、jpeg で保存している．ブラウズ中の情報検索ではページに動きをともなうため、高い空間周波数成分からなるような文字などのパターン情報は知覚しにくいと考えられる．このような場合、ページの概

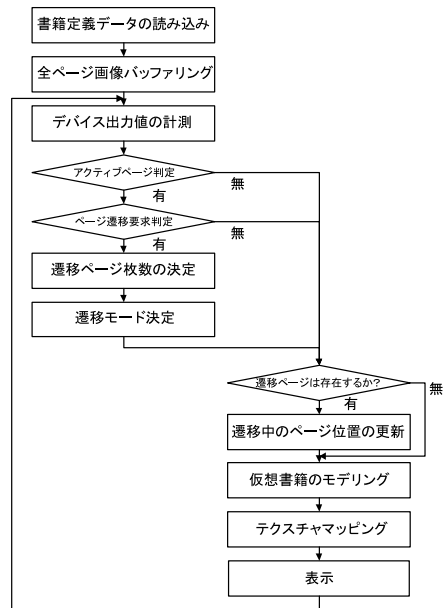


図 7 処理の流れ
Fig. 7 Processing flow.

略が知覚できればよいわけであり、低い空間周波数成分からなる視覚情報だけでも十分と考えられる．よってブラウズ中は、オリジナル画像を縦横それぞれ 1/4 に縮小してマッピングすることとし、ページめくりを終了させた時点で高解像度のオリジナル画像を再マッピングするようにした．ゆっくりした速度でページをめくり、ページ内の文字を読もうとしても読みにくい、少なくともこの解像度で文字が判読できることは確認している．またページめくり時に低解像度の画像をマッピングすることで処理が高速になり、ストレスなくページめくりのアニメーションを実行することができる．

2.3 処理の流れ

図 7 に仮想書籍ビューワの処理の流れを示した．システムが行う仮想書籍描画のための処理は、図示した流れを繰り返す．

まず表示対象となる書籍の各種データを定義ファイルから読み込む．データは書籍モデルの幅、高さ、厚さ、ページ数、綴じ方（右綴が左綴か）、テキストチャのサイズなどである．次に上記書籍定義データに対応する書籍のページ画像を全ページ読み込む．デバイス出力値の計測では、バンドセンサからの値とタッチパネルからの出力を取得する．

アクティブページとは、見開き状となった書籍モデルの左右いずれがめくる対象かということの意味する．これは左右どちらのタッチパネルから出力が得られる

かで判定する．しかし場合によっては、同時に両タッチパネルに触れる可能性がある．そこで両タッチパネルから出力が得られた場合は、より湾曲量の多い側をアクティブページと決定した．それ以外の場合はアクティブページはないと判断し、仮想書籍のモデリング、各ページ面に対応したページ画像をマッピングして表示する．なお 1 フレーム前の仮想書籍のモデリングにおいて遷移中のページが存在する場合、ページ遷移のアニメーションを行うために遷移中のページ位置を更新する手続きを行った後、モデリング以後の処理を行う．

アクティブページが存在する場合、アクティブページと決定された側のバンドセンサとタッチパネルの出力値を用いて、計算モデルよりページ遷移要求の有無を判定する．その結果、遷移要求がない場合はアクティブページの判定後の処理同様、遷移中のページの有無を判断し描画にいたる処理を行う．

遷移要求が発生したと判定した場合、計算モデルより遷移すべきページの枚数を決定する．その後、これまでと同様に遷移中のページの有無を判断し描画にいたる処理を行う．ただし遷移中のページが存在していた場合には、現処理サイクルで新たに発生した遷移ページを追加して処理を行う．

ここで遷移要求がなされたページの枚数が 1 であれば 1 ページめくりであり、2 以上であれば複数枚めくりとなる．ただし複数枚めくりには、連続ページめくりと一括ページめくりという 2 つの状態が存在する．前者はパラパラと複数枚のページが各々独立して連続的にめくれる場合であり（よって 1 フレームの描画において、複数の遷移中のページを描画する必要がある）、後者は複数枚のページが束となって一括してめくれる場合である．遷移モードの決定は、複数枚の遷移ページ要求がなされた場合、上記のいずれのモードで描画するかを決定する．1 フレーム前の仮想書籍を描画した処理サイクルにおいてアクティブページが存在した場合、その時点におけるユーザの仮想書籍上での指の位置はページ面が小口上と断定される．よって指は書籍上を連続的に移動したと判断され連続ページめくりと決定する．逆にアクティブページが存在していない場合、直接小口上を指定されたことになるため一括ページめくりと決定する．

このほかに図には示していないが、キーボード入力による視点位置の移動、見開き角度の設定を行うことができる．

2.4 システムの構成

図 8 にシステム構成を示した．本システムは 1 台

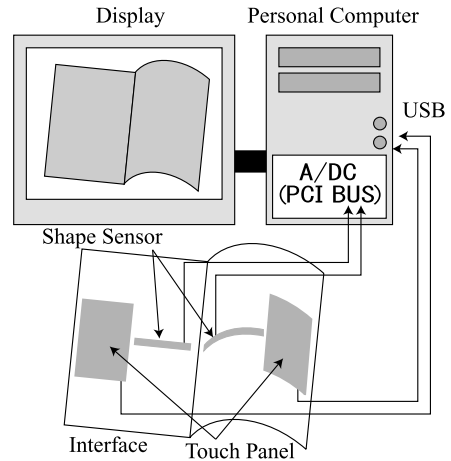


図 8 システム構成

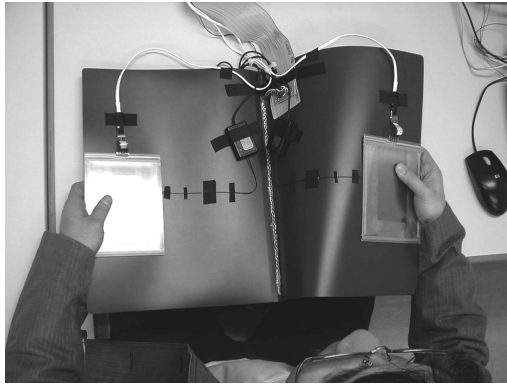
Fig. 8 System configuration.

の PC (HP xw4100/CT, Pentium4 3 GHz, 1 GByte RAM, NVIDIA Quadro4 380XGL, 80 GByte HDD, Windows XP), それに接続された液晶ディスプレイ (EIZO Flex Scan L461, 16inch, 1,280×1,024), そして試作した入力インタフェースから構成される．

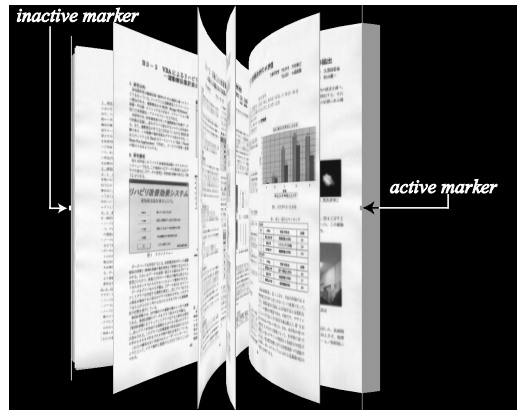
入力インタフェースのタッチパネルは USB により PC と接続される．タッチパネルは、通常のマウスの機能をエミュレーションする．使用したディスプレイは 1,280×1,024 の解像度を持つが、タッチパネルはこのディスプレイの x 軸によって 2 等分した領域に対応するように各々校正している．よって右側のタッチパネルは 640 以上 1,280 未満のディスプレイ上の x 座標をポイントできる．左側は 0 以上 640 未満である．シェイプセンサからの出力は、PC の PCI バスに搭載した A/D コンバータ (adtek system science 社製 aPCI-A35, 分解能 12 bit, 変換速度 25 μ s) を介して入力される．

3. 表示結果

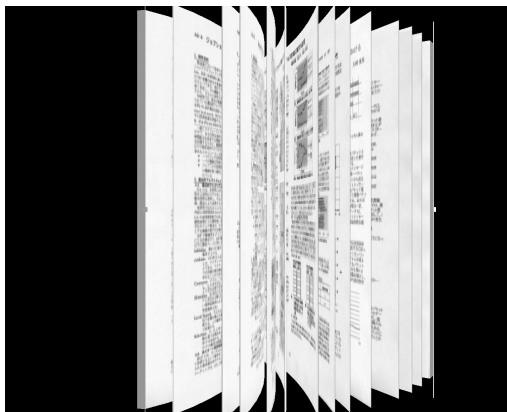
本研究では書籍データとして、筆者らが所属する学科の 2003 年度の卒業研究発表会予稿集を用いた．この予稿集は、A4 版 104 ページ (52 枚) で構成されるものである．これをイメージスキャナにより画像化しテクスチャとして使用した．図 9 に本システムの稼働状態を示す．同図 (a) はユーザが入力インタフェースを操作している様子であり、ユーザが入力インタフェースの右側を湾曲させ、タッチパネル上の親指を移動させながらブラウジングしている様子を示している．(b) は (a) の操作により生じた 5 枚の連続したページめくりの様子を示している．この図では、右から左へと



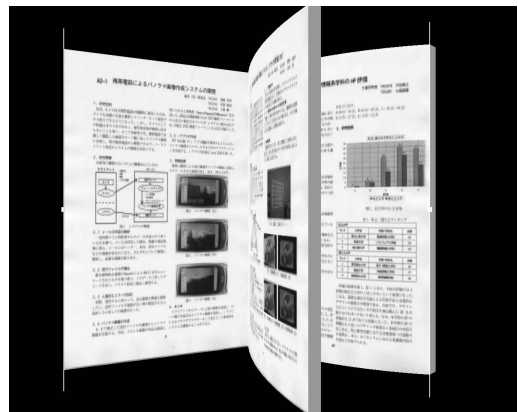
(a) オペレーション



(b) 右 → 左への連続ページめくり



(c) 左 → 右への連続ページめくり



(d) 右 → 左への一括ページめくり

図 9 実験の様子

Fig.9 Experiments in Virtual Book Browser.

ページがめくれている。(c)は(b)とは逆に、左から右へ多数枚のページが連続的にめくれている様子を示している。(d)は右から左へと、一括ページめくりを行った様子を示している。

なお試作システムでは、入力場(入力インタフェース)と出力場(ディスプレイ)が融合していないため、ユーザが入力インタフェースのタッチパネルに指をおいた場合、ページ上のどこに自己の指が位置するか分からない。そこでユーザの親指の位置を示すためのマーカを仮想書籍上に描画させている(図9(b)参照)。マーカはアクティブページが緑色で、非アクティブページが白色で示される。

試作システムの処理時間は、1フレーム描画あたり0.05秒(フレームレート換算で約20fps)であった(timeGetTime関数を使用してミリ秒単位で計測した)。これは20枚程度の連続ページめくりを実施した場合のワーストケースであり、この結果から表示バ

フォーマンスに問題はないと考えている。

4. ユーザによる評価実験

試作したシステムが提供する操作系・表示系の問題点を探るため、パイロットスタディとしてユーザによる小規模な評価実験を行った。

4.1 実験の概要

実験には、同一コンテンツ・異メディア(書籍、pdfファイル(Adobe Acrobat Reader(以後Acrobatと略す)を使用)、試作システム)を用意した。そして被験者に各メディアにおいて書籍から抜粋コピーしたサンプルページを参照させ、サンプルページと同一ページを検索させるタスクを設定し、タスク遂行に要する時間を計測した。

書籍をパラパラめくりながら情報を探すという行為は、言語情報を手がかりに探す場合より、図や写真のようなテキスト的な特徴を手がかりに探す場合が多

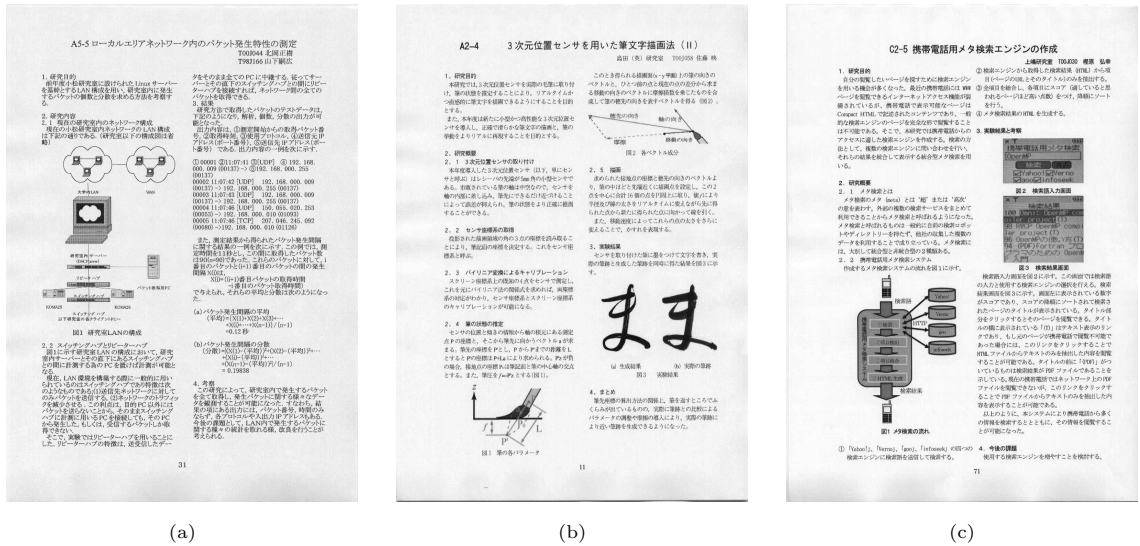


図 10 評価実験に用いたサンプルページ
Fig. 10 Samples.

いと考えられる。そこで評価実験では 3 章で示した予稿集をコンテンツに選定した。予稿集を用いた理由は、ページ間で図面、グラフ、表の占める大きさ・位置が異なり、被験者がターゲットページの特徴をとらえやすく、見誤りなどによるタスク失敗を回避できると考えたからである。また筆者らの身近な問題としても、論文集などからキーワードとなる言語情報を忘れた場合に、パラパラとめくりながら情報を探すケースもあり、日常的な使用に合致していると考えたためでもある。

筆者らはテキストチャックに特徴的な要素だけでなく、それらとテキストのレイアウトも検索キーになりうると考えている。そこで被験者へ与える検索キーは、ターゲットページの特徴的な要素のみではなくページ全体を提示した。検索キーとなるサンプルページは 3 枚であり、

- (a) モノクロページでネットワークの構成図が存在する、
- (b) 肉太のラインで大きな“ま”が記述されている(“ま”以外の図はカラー)、
- (c) カラーで描かれたブロックダイアグラムが存在する、

というものである(図 10 参照)。この予稿集はカラーの図面などを多数含み、全メディアにおいてページ番号に従い、昇順に並んだものだけを使用した。

実験に先立ち、被験者に対して試作システムの簡単な説明を行った。この説明は主に入力インターフェイスについてであり、

- タッチパネルはある程度の強さで押さえないと反応しないこと、
- タッチパネルのアクティビティは仮想書籍上のマーカーが白色から緑色に変化することで確認できること、
- タッチパネルは横軸のすべての範囲を使用しなければならないこと、
- ページめくりはより大きく湾曲させた側から他方へとめくられるため、めくりたい側をより大きく湾曲させる必要があり、かつ、より大きく湾曲させた側のタッチパネルが操作されなければならないこと、
- 入力インターフェイスを大きく撓ませることで小口のページのずれを大きくすることができ、1 ページめくりが簡単に行えること、

を告げた。この説明は、被験者に筆者の 1 人のデモを見てもらいながら行った。この後、被験者自身に 5 分間程度試用する時間を与えた。試用には実験に使用するコンテンツとは別のコンテンツを用い、被験者の操作に対して適宜アドバイスを与えた。実験で使用するコンテンツは、各メディアで同一であることをこの説明中に告げている。

実験時、被験者に以下のような事項を守るよう指示した。

- いずれのメディアにおいても、検索タスクは必ずコンテンツの先頭から始めること、
- Acrobat でのスクロール操作はマウスのみの使用とし、手のひらツール、スクロールボタン、スク

表 1 書籍, Acrobat の計測結果 [sec]
Table 1 Experimental results (Book & Acrobat).

Examinee No.		A		B		C	
Media	Sample No.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Book	(a)(p.31)	11.8	1.6	7.1	3.0	4.4	1.2
	(b)(p.11)	5.3	2.3	6.4	2.9	3.6	1.2
	(c)(p.71)	14.1	8.8	7.7	2.1	4.6	0.8
Acrobat	(a)(p.31)	13.6	3.4	10.7	3.6	9.4	3.6
	(b)(p.11)	7.0	1.4	9.9	2.9	6.7	2.3
	(c)(p.71)	17.1	4.0	12.4	3.6	9.3	2.2

ロールバーのドラッグ, 1 ページごとのページ送りボタン, マウスのホイールのみを使用すること。実験ではページ内のどのような情報を用いて検索するかは指示せず, 被験者の意志に任せた。なお, Acrobat を使用する場合は, ウィンドウを最大化し, 1 ページ全体が見渡せる大きさで表示した。

実験は書籍, 試作システム, Acrobat の順で行い, 各メディアにおいて 3 枚のサンプルを (a), (b), (c) の順に提示し (提示順序は固定), 各々 1 回の検索タスクを実行させた。これを 1 セットとして計 15 セットの実験を行った。実験では 5 セットごとに 3 分間の休憩時間を設けた。また約 24 時間後に試作システムに対してのみ 15 回の実験を行った。ただし 2 日目の実験では, 被験者にタスク内容の説明だけを行い, 試作システムの説明は行わなかった。聞き取り調査は両日の実験後に行い, 主観評価は 2 日目の実験終了後に行った。被験者は 3 名であり, 彼らは日常的にコンピュータを業務上で使用しているが, 試作したシステムに触れるのは初めての人間である。

4.2 実験結果と考察

4.2.1 書籍・Acrobat

本実験では試作システムとパフォーマンスを比較するために, 書籍, Acrobat を用いたタスクを設定した。まず 3 名の被験者 (A, B, C) の書籍, Acrobat におけるサンプル (a), (b), (c): 表中のカッコ内の記述は使用した書籍のページ番号を示している。サンプル番号は, 図 10 に対応している) ごとのタスク遂行に要した平均時間, 標準偏差を表 1 に示す (なお実験時に検索を失敗したタスクは発生していない)。

各被験者の書籍と Acrobat の平均時間を比較すると, すべてのサンプルにおいて書籍におけるタスクが短時間で終了している。これは両メディアにおける操作系の違いに起因すると考える。書籍の場合, たとえば順方向のパラパラめくりにおいてターゲットページを通り過ぎたとしても, 瞬時に逆向きのめくり操作に切り替えることが可能である。しかし Acrobat では, 逆向きの操作を司るオブジェクトにマウスカーソルを

移動させ, その後, 実際に逆向きのスクロールが実施される。しかもスクロールの方法は複数存在しており, 場合によっては, そのどれを使用するかということも判断しなければならない。このような処理系の違いや操作に対する被験者の反応の違いにより, 時間的な差が現れたものと考えられる。被験者間の書籍と Acrobat の平均時間にも差が認められる。

実験後の聞き取り調査の結果, 被験者 A はページに含まれる図を, 被験者 B はタイトル横に記された講演番号を, 被験者 C はページ番号を各々ページ検索のための手がかりに使用していたことが分かった。講演番号やページ番号はシーケンシャルな並びであり, 現在の参照位置からどのくらいの位置にターゲットページが存在するかを瞬時に知覚できるため, 被験者 B, C が被験者 A に比べ短時間でタスクを完了できたものと推測する。同一被験者, 同一メディアにおけるサンプル間の時間差は, 全タスクにおいて先頭から検索を開始するため, コンテンツにおけるターゲットページの存在する位置が先頭に近いほど短い。しかし被験者 C では, 特にサンプル (a), (c) 間に他の被験者ほど顕著な差は認められない。これは次項で述べる学習効果によるものと考えられる。

4.2.2 繰り返しによる学習効果

本実験では各メディアにおいて, ページ番号順に並んだ同一コンテンツを用いている。このことはタスク遂行に従い, コンテンツ中のページの存在位置を被験者が学習できることを示唆している。実際, 書籍, Acrobat の測定結果を見ると, 4 回の実験セットが終了した時点で学習効果が飽和しているものと判断された。表 2 に各被験者の書籍, Acrobat における 4 回目までと 5 回目以降の実験セットの平均値と標準偏差を示す。平均値, 標準偏差とも 5 回目以降がいずれも低い値を示しており, 学習効果の存在が示唆される。これは実験時の被験者の操作方法からも予測できる。たとえば前述の被験者 C の操作方法は次のようなものであった。書籍ではターゲットページの存在すると予想されるページを開き, ページめくりを開始していた。

表 2 書籍, Acrobat における学習効果 [sec]
Table 2 Learning effect in Book & Acrobat.

Examinee No.	Media	No.1 - No.4		No.5 - No.15	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.
A	Book	12.3	2.5	11.6	1.4
	Acrobat	17.0	5.7	12.3	0.7
B	Book	9.5	4.4	6.2	1.9
	Acrobat	13.9	5.3	9.5	1.8
C	Book	5.6	1.7	3.9	0.6
	Acrobat	17.8	8.0	8.1	2.0

表 3 試作システムの計測結果 [sec]
Table 3 Experimental results (Prototype).

Examinee No.		A		B		C	
Experiment	Sample No.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
First day	(a)(p.31)	15.3	6.6	14.0	5.8	14.5	8.3
	(b)(p.11)	14.8	11.8	14.1	9.6	11.1	7.9
	(c)(p.71)	18.6	10.5	25.7	15.6	15.2	9.1
Second day	(a)(p.31)	11.2	4.3	16.5	8.0	14.1	10.2
	(b)(p.11)	8.7	7.2	9.4	5.2	7.2	3.4
	(c)(p.71)	13.1	13.1	14.6	7.2	11.4	6.2

Acrobat ではスクロールバーをターゲットページの存在すると予想される位置まで一気にドラッグし、その後、ページ送りボタンで検索していた。特に被験者 C は検索ページをページ番号で探していたため、ページ番号から小口の厚さやウィンドウに対するスクロールバーの位置を予想し検索したものと考えられる。実験セット 5 回目以降のタスク遂行時間の短縮は、書籍、Acrobat のいずれでも同様の傾向を示しており、学習効果がメディアに対して偏りなく作用するものと考ええる。

4.2.3 試作システム

2 日間の実験での 3 名の被験者 (A, B, C) の試作システムにおける各サンプルのタスク遂行に要した平均時間、標準偏差をまとめて表 3 に示す (2 日間の実験において検索を失敗したタスクは発生していない)。試作システムではタスクに要する時間が他の 2 つのメディアより長く、ばらつきが大きい結果となった。その主たる要因は、実験の観察から初心者ゆえのページめくりの難しさにあると判断する。各被験者はターゲットページ付近に至るまでの連続的なめくり操作は問題なく行っていた。またサンプルに関係なく、順方向のページめくり (右 → 左) でターゲットページを発見し、即座にめくり操作をやめることができた場合、短時間にタスクを終了していた。しかしターゲットページを通り過ぎてしまい、逆方向の探索を開始した場合、ターゲットページがあることは分かっているにもかかわらず 1 ページめくりができないためページめくりを繰り返すことになりタスクを終了できずにいた。この現象

は順方向、逆方向、いずれのめくり操作でも生じていた。学習効果は、4.2.2 項の検討より試作システムにも作用しているものと考えられるが、計測データのばらつきが大きく今回の測定結果からは学習効果の優位性は見出せない。しかし実験の観察では、どの被験者もターゲットページの存在する周辺には比較的短時間に参照位置を移動させることができることから、学習効果の影響は少なからず存在するものと考えられる。

2 日目の実験結果はデータのばらつきは大きいものの、1 日目の結果と比較するとタスクの遂行時間の平均は短縮されていることが確認できる。2 日目の実験ではタスク内容のみの説明で、試作システムの使用方法は説明していないことから、被験者が試作システムの操作法を 1 日目の実験である程度習得したものと筆者らは考える。

試作システムでタスク遂行に時間を要する主要因は、1 ページめくりの実行が難しいためであることはすでに述べた。そこで 2 日目の実験では被験者がターゲットページを通り過ぎたことに気付き、逆方向へのページめくりを開始するまでのスプリットタイムも計測した。この時間とタスク完了までの時間の差の平均を求めたところ、被験者 A, B では約 10 秒、被験者 C では約 8 秒であった。このことから 1 ページめくりの難しさからタスク完了までの時間が延びていたことが分かる。

4.2.4 主観評価

実験後、選択式のアンケート調査を行い、主観評価を行った。評価項目は、「分かりやすさ」「覚えやすさ」

表 4 被験者による主観評価
Table 4 Subjective evaluation result by examinee.

Examinee No.	A	B	C
分かりやすさ	やや分かりやすい	やや分かりやすい	かなり分かりやすい
覚えやすさ	かなり覚えやすい	普通	かなり覚えやすい
使いやすさ	かなり使いにくい	かなり使いにくい	やや使いにくい
間違いやすさ	やや間違いやすい	かなり間違いやすい	普通
疲れにくさ	かなり疲れる	やや疲れる	やや疲れる
満足度	やや不満足	やや不満足	普通

「使いやすさ」「間違いやすさ」「疲れにくさ」「満足度」という6項目である。各項目の質問では、反対語（たとえば「分かりやすさ」では「分りやすい」－「分かりにくい」）を列挙し、「非常に」「かなり」「やや」「普通」という修飾語を選択する形式で行った。表4に回答結果を示す。なお被験者が少数のためアンケート結果はそのまま表に示した。また各項目の回答に対する聞き取り調査の結果を以下に示す。

「分かりやすさ」「覚えやすさ」という2項目については、全被験者が普通以上の回答を行っており、良好な結果を得ることができた。しかし「使いやすさ」については、程度の差は被験者間であるものの、全員が使いにくいと回答した。この理由として全員が「見つけるべきページ付近にはある程度の時間で近づくが、そこから数ページ、場合によっては1ページをめくることができないから」と報告した。

「間違いやすさ」については被験者A, Bが間違いやすいと評価した。ターゲットページ付近における1ページめくり操作は、めくる側の入力インタフェースを大きく撓ませることにより小口のページ選択のための解像度を上げ、タッチパネル上の指を少しずつずらすことにより実行可能である。しかし被験者らはタスク遂行時、その操作ができなかったことが理由であると報告した。

「疲れにくさ」において「かなり疲れる」と回答した被験者Aは、入力インタフェースのベースのサイズが大きく、これを両手で保持するためには肩に力が入って疲れると報告した。また「やや疲れる」と回答した被験者Cは、ターゲットページを探すためにページ番号を見続けていた。そのためには低解像度表示によるページ画面を凝視せざるをえず、目が疲れると報告した。

「満足度」については1ページめくりができず、試作システムにおいてタスクを行うことに対する満足感が得られないと被験者A, Bが報告した。

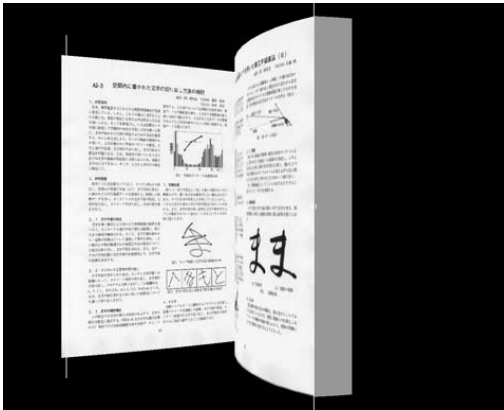
その他の意見として「入力インタフェースのベースサイズは小さいほうが良い」「1ページめくりの機能が欲しい」「実際の書籍と同じようにめくれているペー

ジを強制的に止めて見開きにする機能が欲しい」「実際の書籍ではページが湾曲していても見やすい位置に視点を移せばよいが、それが入力インタフェースでは操作できないためページ上の文字が見にくい」などの報告を得た。なお全被験者が、このシステムの操作には慣れが必要であると報告した。

筆者らの試作システムに対するデザインモデルは実世界の書籍である。筆者らは、試作システムが実世界の書籍のインタラクションスタイルを部分的にはあるが模倣できていると考えている。そのため被験者は筆者らの持つデザインモデルと同様のメンタルモデルを構築できるものと期待した。被験者からの聞き取り調査では、全員から実世界の書籍のインタラクションスタイルに近い感覚で操作できたと報告しており、アンケートの回答結果とあわせて、被験者が試作システムを実際の書籍と同じようにとらえることができたものと筆者らは考えている。しかし主観評価の結果は、筆者らの予想をはるかに下回るものであり、その原因を以下のように考察する。

全被験者において、1ページめくりの実行が困難だったことは前述した。これを瞬時に実行するためには、ページの湾曲量を増やせば容易に行える（試作システムのTipsとしてタッチパネル上の指を移動させる場合、タッチパネルの x 軸に平行に移動させるより斜め方向に移動させることで、移動距離が同じでも x 軸上の移動距離は短くなり実効上のページ選択の分解能を上げることができる）。湾曲量を増やせば小口の幅は増え、ページのずれの間隔をより広げることになり、結果的に操作上の解像度を上げることになる。筆者らは被験者がこのことを理解していると考えていたが、そうではなかった。この問題点は次の2つのことが原因として考えられる。

1つは、小口のテキストチャの問題である。小口の描画は、たとえば図11に示すように、グレーに塗りつぶしただけである。被験者が入力インタフェースをより大きく撓ませても小口の領域が広がるだけであり、ページのずれの間隔が広がっていることを被験者は知覚できない。解決策として小口にページのずれの間隔



(a) 開度が狭い場合 (60°)



(b) 開度が広い場合 (120°)

図 11 開度の違いによる小口の表現の違い

Fig. 11 A difference of representation of thickness of a book.

に応じて縞を表示すれば分かりやすくなるだろう。

もう 1 つは、仮想書籍上で被験者の指の位置を示すマーカの表示方法の問題である。試作システムにおけるマーカの表示方式は仮想書籍と被験者の指の関係を分かりやすく表現しているとはいえない。近年、小型の液晶ディスプレイに静電容量方式の光を透過するタッチパッドを組み合わせたデバイスが登場している。これを入力インタフェースのタッチパネルに置き換え、入力インタフェースの撓みにともない、このデバイスの液晶ディスプレイにも小口の幅を意味する帯（長方形：2次元）をページのずれの間隔に対応した縞をともなって表示し、現在採用しているようなマーカも指の位置に表示すれば仮想書籍と利用者の指の関係を分かりやすく表示できるのではないかと考えている。

また図 11 に示すように、ページの開度による小口の描画の問題がある。評価実験においては全被験者で同じ条件を保つため、同図 (a) の開度で実験を行った。

しかし実際の使用では、大きく広げることでも可能である。この場合、同図 (b) に示すように小口が見えなくなってしまう。実効上、小口が見えないことによりシステムの挙動が変化する。たとえばページ選択の分解能が低下する。ことはない。これはタッチパネルから得られた座標値を計算モデル上にマッピングしていることに起因する。しかし被験者は小口が見えなくなることにより、どのくらいのページがアクティブページに存在し、指をどの程度移動させればどのくらいページがめくれるか判断できなくなる。開度を大きくとっても小口の幅を確保するためには、今回使用したような円弧のモデルではなく、他のパラメトリック曲線のモデルを使用するなどの対策が必要である。

5. むすび

本論文では、バンドセンサとタッチパネルを組み合わせ、実世界の書籍を扱う行動を定量化する入力インタフェースと 3 次元モデルにより仮想書籍を表示しユーザの入力インタフェースの操作にともない仮想書籍の状態変化をリアルタイムにアニメーション表示する仮想書籍ビューワからなる仮想書籍ブラウジングシステムについて報告した。実世界の書籍、それを pdf 化したファイル、および試作システムを使用してブラウジング実験を被験者 3 名に対して行った。その結果、検索タスクにおけるパフォーマンスはまだ低く、主観評価でも 1 ページめくりが難しく実際に使用するには慣れが必要などの問題点が明らかになった。しかし実際の書籍と同じインタラクションスタイルをとるため、ユーザが試作システムに対するメンタルモデルを早期に形成可能であると考えられる。被験者からは、より実世界の書籍のインタラクションスタイルのイメージに近いとの評価を得た。

今後は評価実験で明らかになった問題点を解決していくとともに、多人数の被験者による評価実験と統計的検定手法を用いたパフォーマンスの分析、サンプルページではなくテクスチャ的に特徴的な要素のみを提示しての評価実験を行いたいと考えている。さらに試作システムの発展型として、可撓性を持つディスプレイと可撓性を持ち光を透過するタッチパッドを積層させることで表示系と操作系を融合させ装置自体を書籍メタファとし、実世界の書籍同様に取り扱えるシステムの構築を目指す予定である。また、ページめくりというインタラクションスタイルにおける視覚以外の感覚器に対するフィードバック（たとえばページめくり時の効果音や、親指からページが離れるときの感覚の tactile device による再現など）の効果についても検

討したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 岡田謙一, 松下 温: 本メディアを超えて: BookWindow, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.3, pp.468-477 (1994).
- 2) 守屋慎次, 森田利広, 稲井幸治, 清水 聡: ストロークエディタと直接指示・操作方式, 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.8, pp.1022-1029 (1991).
- 3) 大須賀節雄 (編): ヒューマンインタフェース, オーム社 (1992).
- 4) 平川正人, 安村通晃 (編): bit 別冊 ビジュアルインタフェース—ポスト GUI を目指して, 共立出版株式会社 (1996).
- 5) Mackinlay, J.D., Robertson, G.G. and Card, S.K.: The Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI91)*, pp.173-179 (1991).
- 6) Robertson, G.G. and Mackinlay, J.D.: The Document Lens, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST93)*, pp.101-108 (1993).
- 7) Card, S.K., Hong, L., Mackinlay, J.D. and Chi, E.H.: 3Book: A 3D Electronic Smart Book, *Proc. Advanced Visual Interfaces (AVI2004)*, pp.303-307 (2004).
- 8) Card, S.K., Hong, L., Mackinlay, J.D. and Chi, E.H.: 3Book: A Scalable 3D Virtual Book, *Proc. Human Factors in Computing Systems Conference (CHI2004) Conference Companion*, pp.1095-1098 (2004).
- 9) <http://www.turningthepages.com/>
- 10) <http://www.bl.uk/onlinegallery/ttp/digitisation1.html>
- 11) 岡 倫弘: 複合現実感を利用した読書環境の実現, 修士論文, 岡山理科大学大学院 (1998).
- 12) <http://www.imgl.sfc.keio.ac.jp/~hana/mr/>
- 13) Billingham, M., Kato, H. and Poupyrev, I.: The MagicBook: A Transitional AR Interface, *Computers and Graphics*, Vol.25, pp.745-753 (Nov. 2001).
- 14) 広岡慎一郎, 斎藤英雄: 開かれた本の表面に対する自己補正投影システム, 電子情報通信学会 2003 総合大会, D-12-143 (2003).
- 15) Hirooka, S. and Saito, H.: Virtual Display System Using Video Projector onto Real Object Surface, *Proc. 14th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2004)*, pp.305-310 (2004).
- 16) 日経産業新聞: 電子ブック, 本持つ感覚で読める (2004).
- 17) <http://www.ebookjapan.co.jp/news.html>
- 18) <http://www.est.co.jp/ks/dish/openebook/>

19) <http://www.sigmapbook.jp/info/>

(平成 16 年 9 月 27 日受付)

(平成 17 年 5 月 9 日採録)



島田 恭宏 (正会員)

1986 年岡山理科大学理学部電子理学科卒業。1991 年同大学大学院博士課程修了。同年同大学助手。1997 年同講師。現在に至る。HCI 等の研究に従事。理学博士。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



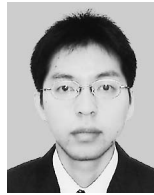
宇都宮 毅

2004 年岡山理科大学工学部情報工学科卒業。



鏡原 篤男

2004 年岡山理科大学工学部情報工学科卒業。



田中 圭

2004 年岡山理科大学工学部情報工学科卒業。現在, 岡山理科大学大学院在学中。



島田 英之 (正会員)

1989 年岡山理科大学理学部電子理学科卒業。1994 年同大学大学院博士課程修了。同年同大学助手。2001 年同講師。現在に至る。画像処理, コンピュータグラフィックスの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



大倉 充 (正会員)

1983 年愛媛大学工学部機械工学科卒業。1985 年同大学大学院修士課程修了。1985~1986 年日立製作所勤務。1990 年岡山理科大学大学院博士課程修了。同年同大学助手。1992 年同講師。現在に至る。パターン認識、画像処理等の研究に従事。理学博士。電子情報通信学会、日本ファジィ学会、映像情報メディア学会各会員。



東 恒人 (正会員)

1970 年大阪大学工学部通信工学科卒業。1972 年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) 入社、茨城電気通信研究所勤務。1990 年より岡山理大工学部教授。主として、生体計測法、形状解析法に関する研究に従事。