

拡張現実感による本型インタフェースを用いた 資料閲覧ツールの開発

西村将利^{†1} 住江慶彦^{†1} 賀川経夫^{†1} 西野浩明^{†1}

拡張現実感 (Augmented Reality: AR) 技術を応用して, AR マーカが印刷された本の上に様々なコンテンツを提示することにより, 実際の本と同様の直観的な使用感でファイルやマルチメディアコンテンツを閲覧することのできる本型インタフェースを提案する. 提案手法では, ページをめくる動作に加えて, 特定のページをピックアップし, 机の上に配置する機能を実現するために, Kinect で検知するユーザの身体動作を利用する. これにより, 直観的に操作が可能な資料閲覧機能を有するインタフェースを実現した. 本論文では, このようなインタフェースの操作環境や機能について述べ, その有効性に関して考察する.

Development of a Document Browsing Tool Based on a Book-Style Interface with Augmented Reality

MASATOSHI NISHIMURA^{†1} YOSHIHIKO SUMIE^{†1}
TSUNEO KAGAWA^{†1} HIROAKI NISHINO^{†1}

We propose a document browsing method based on a book-style interface. Augmented reality technology is applied to realize an intuitive interface. In the proposed method, documents and multi-media contents are projected on a book that includes an AR marker printed on each page. Users can feel that they are reading a book consisting of document files, presentation files, movies, and images. Furthermore, we utilize the motion sensor Kinect to recognize the users' gestures. The detected gestures can be used to activate some functions such as picking a page up and putting it on a real world table. In this paper, we describe the proposed book-style interface and discuss the effectiveness of the proposed method.

1. はじめに

現在, インターネット環境が整備され, 個人で様々な情報をより簡単かつ適時に調べることができるようになった. また, 計算機の処理能力, 特にグラフィックス描画性能の向上により, 動画や画像, 音楽のような閲覧に負荷のかかるコンテンツでもウィンドウを多数開いて, 手軽に見たり聴いたりすることができるようになった. このように, ユーザは, 個人の作業場や家にながら, 多くの資料を収集し, 文書作成や動画・音楽の編集・再生など, 複数のアプリケーションを起動しながら, マルチタスクで情報の閲覧や編集等の作業を進めることができる.

しかしながら, このようにマルチタスク, マルチウィンドウ環境による作業の利便性が向上する反面, ウィンドウの切り替えなどに要する余分な操作の量が増加する, 資料が多くなりすぎると見たい資料がすぐに見つからないなど, それらを処理するユーザの混乱を招き, 利用する際の負担が大きくなる恐れがある. また, 複数の資料やアプリケー

ションを一覧したい場合, デュアルディスプレイのように複数のディスプレイを用意する, 印刷して並べるなど, デスクワークには向いていない作業をしなければならず, 個人の限られたスペースを煩雑な状態にしかねない. これらのようなユーザの負担を避けるために, 様々な形式のコンテンツからなる資料を一括管理し, 直観的に扱うことのできる手法が求められている.

計算機を利用しないで資料の収集や調査を行う場合, 一般的には, 紙の資料をファイリングしてまとめることにより, 必要な情報の閲覧や編集を行う. 計算機を用いた高速な検索やマルチメディア情報の提示機能には劣るものの, 紙媒体を利用した資料閲覧には, 以下に示すような利点がある.

1. 検索性

見たい資料に関する情報が曖昧な場合, 一枚ずつ確認しながら検索することができる. また, 検索時に, 他の資料を見る時間が長くなるため, 資料全体の把握が自然にできるようになる.

2. 直観性

資料の位置をページの厚さや重さ, 触感などの人間本来の感覚で認識できるため, 印象に残りやす

^{†1} 大分大学大学院工学研究科知能情報システム工学専攻
Department of Computer Science and Intelligent Systems, Graduate School of
Engineering, Oita University

く直観的な検索が可能になる。

3. カスタマイズ

ファイリングの順序等を自分の好みによって内容を見ながら変えることができる。また、資料の取捨選択が容易にできる。

そこで、本研究では、通常は計算機で取り扱う画像や動画などのマルチメディアコンテンツやドキュメントファイルを操作対象として、上記のような紙媒体の利点をもった閲覧ツールの作成に取り組んでいる。本稿では、拡張現実感 (Augmented Reality : AR) の技術と、モーションセンサを用いたジェスチャ認識による操作法を実現した資料閲覧ツールを提案する。

提案するツールでは、本型のインタフェースを机上に配置し、各ページに掲載する AR マーカを利用してマルチメディアコンテンツを本のように提示する。さらに、資料を並べて一覽したり、順序を入れ替えたりできるように、資料を本から外して空間上の適当な位置に配置できる機能を実装した。このとき、より自然な動作での利用を可能にするためにモーションコントローラを利用する。このように、本のもつ特性を最大限に生かしつつ、様々なコンテンツをより直観的に閲覧することのできるツールを実現した。

2. 関連研究

2.1 資料提示技術

近年、多くの資料の閲覧や操作を計算機で補助する手法として、3次元デスクトップのようにディスプレイ上の表示方法を工夫する研究が多くなされている。また、タブレット端末や電子書籍専用端末の普及により、通常の紙媒体だけでなく、多種多様な電子コンテンツを提示する技術についても検討がなされている。

2.1.1 3次元デスクトップ

ユーザの PC 環境内でのマルチタスクやウィンドウの切り替え等を効率的に行うことができるように、2次元的なデスクトップ表示を3次元表示に拡張する3次元デスクトップが提案されている。BumpTop [1]は、デスクトップを3次元空間として提示することで、ウィンドウの重なりなどによる作業効率の低下を軽減することができる。同システムでは、3次元デスクトップの操作を主にマウスで行う。しかしながら、3次元表示されたデスクトップを2次元入力装置であるマウスで操作するのは容易ではなく、ユーザに違和感を与えてしまう。そのため、3次元デスクトップにおいては、マウスだけでなく、3次元ジョイスティックやタッチパネル、モーションコントローラなど、3次元的な操作が可能なきざまな入出力デバイスの利用が考案されている。我々の研究室でも、触感提示が可能な3次元入出力装置である力覚デバイスを用いた3次元デスクトップ

システムを開発している[2]。図1に開発したシステムの表示画面の例を示す。同システムでは、3次元配置されたデスクトップ上のオブジェクトを力覚デバイスで空間的に操作することができるため、操作する次元の違いによる違和感の問題を解消することができる。しかしながら、複数資料を一覧する場合においては、画面サイズやディスプレイ数に依存するといった問題は解決していない。

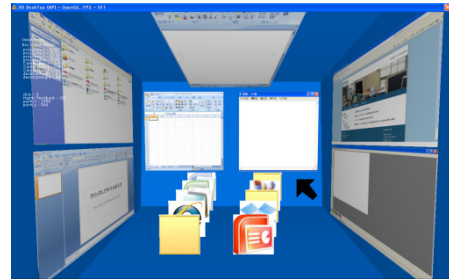


図 1. 3次元デスクトップ表示画面の例。

Figure 1. An example 3 dimensional desktop screen.

2.1.2 電子書籍

様々な形式の電子媒体を閲覧する装置として、近年、iPadのようなタブレット型端末や kindle^{a)}のような電子書籍専用端末が普及してきている。電子書籍は、通常の紙媒体では難しい大量の書籍データを、軽量かつ小型の装置で見ることを可能にする。また、強力な検索エンジンを搭載することにより、ユーザが欲しい書籍情報を即時に得ることが可能である。近年、電子書籍に関しては、世界的な市場が形成されつつあり、国内における関心も高まりつつある。このような動向の中で、文章理解や記憶に及ぼす影響を紙と電子媒体とで比較する研究が行われている[3][4]。こうした研究では、電子書籍は手軽に読めるために内容を思い出しづらいこと、紙媒体の方が文章理解や記憶がしやすいこと等の見解が論じられている。しかしながら、紙と電子書籍との比較には、ユーザが慣れ親しんでいる経験や時間の差異、ページめくりやナビゲーションなどの操作性、人が紙媒体の中で過ごしてきた環境面の問題等、様々な要因も関係している。これらを踏まえ、将来的にはペーパーレス化によるコストの削減やデータ管理の効率化を進める企業などで電子書籍が優位に立つ可能性も示唆されており、紙と電子書籍とのスマートな使い分けや融合が望まれている。

2.2 拡張現実感

拡張現実感とは、実世界の環境と仮想環境とをシームレスに統合させた情報をリアルタイムにユーザに提示することにより、人間の知覚環境を補強する技術である。例えば、ユーザの視界内に電子的な情報を付与することで、直観的な空間の把握や状況の認識を支援することが可能となる。

a) 2007年にアメリカで第1世代が発売された電子書籍専用端末。米国では高いシェアをもち、2012年10月には日本向けのストアが開設された。

このように、新たな HCI(Human-Computer Interface)の可能性を示す技術として、様々な分野で注目を集めている。

提案するツールでは、一般的な AR マーカを利用して視覚的な AR 環境を実現する。通常の AR では、カメラで撮影されたマーカについて、その形状や大きさなどからマーカの空間中の位置や傾きが計測され、その座標に従って対応するファイルやグラフィックスが表示される。図 2 に実空間中に仮想的な資料を投影している様子を示す。同図のような環境のユーザへの提示は、ヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display: HMD)を利用することにより、より自然に行うことができる。このような画像処理や 3 次元の位置計算処理は、ARToolkit[5]を利用することにより、容易にプログラミングを行うことができる。

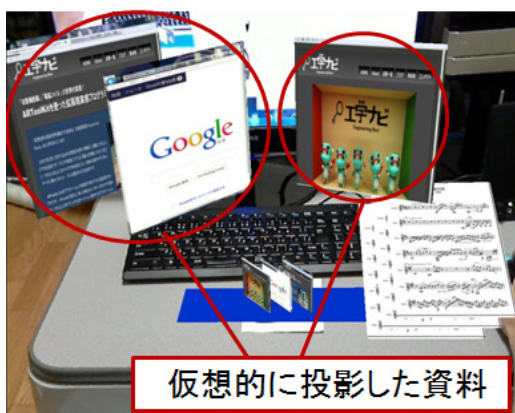


図 2. 電子資料の実環境への投影。

Figure 2. Projection of electrical document to real environment.

2.3 実世界指向インタフェース

実世界指向インタフェースとは、人間が通常行うような振る舞いや音声を仮想世界の入出力制御に利用するインタフェースであり、センサデバイスの普及により、多くの試みがなされている。

2.3.1 本型インタフェース

本をめくるという操作についても、本型インタフェースや電子ペーパーにおいて様々な研究が行われている[6][7][8][9]。これらはいずれも、曲げセンサや感圧センサを使用し、紙媒体をめくる際の曲げ具合やせん断力の関係をコンテンツの操作方法に用いている。しかしこれらの研究では、操作部のインタフェースのみが提案されており、表示部と操作部が切り離されていることが多く、ユーザが実際の紙媒体のように電子的な資料を見たり、読んだりすることは困難である。図 3 に示す Flip Interface は、iPad にフリップセンサを取り付けることでこの問題の解決を試みた[10]。Flip Interface では表示部と操作部とが一体化しているものの、手全体ではなく指先のみで操作するため、細かい動きに対して誤動作することがあり、より高精度な

センサを要する。本システムでは、実際の紙媒体を用いることで、本をめくるリアルな感覚で資料閲覧を可能にする。



図 3. Flip Interface による電子書籍の操作。

Figure 3. Operating an electronic book with Flip interface.

2.3.2 Kinect を利用したジェスチャ認識

提案システムでは、AR で実空間中に投影された資料を、ユーザが直観的に操作できるようにするために、Kinect センサを使用する。Kinect は、2010 年にマイクロソフト社から販売されたゲーム用デバイスである。多数のセンサを内蔵しており、既存の 3 次元センサよりも比較的安価であり専門的知識を多く必要としないことから、発売当初より解析が進められ、さまざまな応用研究が行われている。そうした動きに対し、マイクロソフト社は 2012 年には Microsoft Windows 向けに Kinect for Windows および SDK を正式に公開し、さらに研究が活性化された。Kinect は RGB カメラ、深度センサ、マイクロフォン、および専用ソフトウェアを動作させるプロセッサを内蔵したセンサを持ち、ユーザの位置、動き、声、顔を認識することができる。本システムでは、主にユーザの手の形の認識や位置の推定に Kinect を使うことで、ユーザが現実世界で行っている動作をそのまま各種操作に利用できるようにした。図 4 に Kinect から得た深度画像を元に手の位置推定を行っている様子を示す。

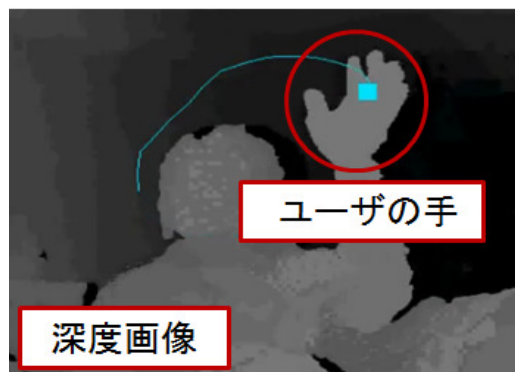


図 4. ユーザの手の位置推定。

Figure 4. Detection of a user's hand position.

3. 資料閲覧ツールの概要

提案手法の使用環境を図5に、資料閲覧ツールの処理の流れを図6にそれぞれ示す。ユーザは、机の上に置かれた本型インタフェースを座って利用する。また、ユーザはWebカメラとHMDを装着することにより、図7に示すようにARによって表示された資料を閲覧することができる。正面に設置されたKinectにより、ユーザの動作の認識が行われる。本インタフェースを用いた環境では、以下に示す操作を直観的に実行することができる。

1. 資料集の選択・決定
2. 資料の閲覧
3. 本からのデータの抜き出しと空間上への再配置

本ツールの利用により、PC上の同じフォルダ内に格納されているすべての電子ファイルの中で、ドキュメントとして提示可能なすべての資料を1冊の本として閲覧することができるようになる。

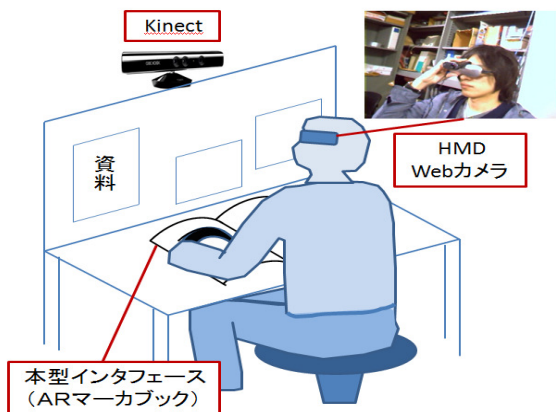


図5. システムの使用環境.

Figure 5. Usage environment of the tool.

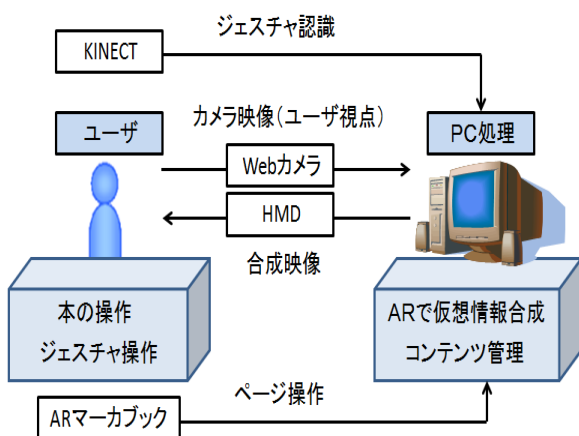


図6. ツールの処理概要.

Figure 6. Processing overview of the tool.

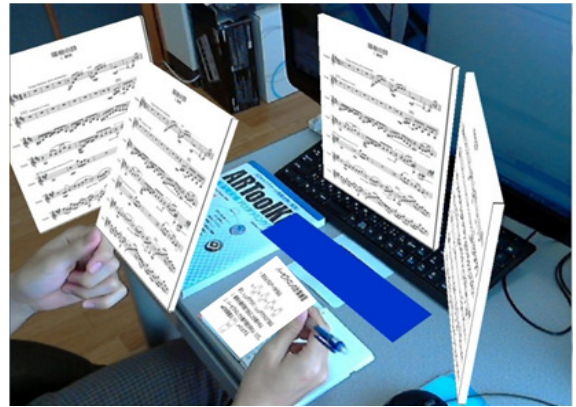


図7. 資料の閲覧環境

Figure 7. Document viewing environment.

3.1 本型インタフェースの操作

本型インタフェースのプロトタイプは、図8に示すようなARマーカが各ページに印刷された本（ARマーカブック）をインタフェースとして利用する。この本に各ページのARマーカに応じた資料や様々なマルチメディアコンテンツを投影、表示することにより、ユーザは、1ページずつ読む、一気にパラパラめくる等の日常的に本を読む感覚で資料を閲覧することができる。

ユーザが本をめくることにより、そのページのマーカに応じたコンテンツが表示される。これらのコンテンツは、PCで扱う通常のドキュメントだけではなく、コンピュータグラフィックス、動画、音声などを含んだマルチメディアコンテンツも利用可能である。



図8. ARマーカブック.

Figure 8. A book of AR markers.

3.2 ジェスチャ認識による操作

現在のツールでは、本をめくるという操作以外に、以下に示すようなジェスチャによる操作を実現している。また、これらのジェスチャ認識機能は、図9に示すようにKinectセンサを用いて指の本数や手の形を取得・識別することで実行される。

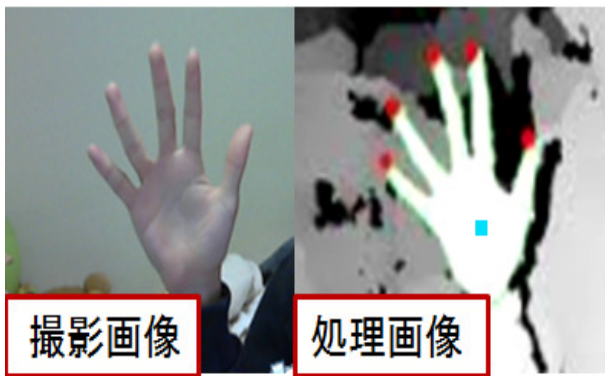


図 9. 開いている手の形の認識例.

Figure 9. An example for detecting the shape of an open hand.

1. 「つかむ」および「はなす」操作

ユーザが気に入ったページや作業に必要な資料については、図 10 に示すように本から外して空間内を移動することができる。移動した資料は、適当なところに再配置できる。この操作は、ユーザの「つかむ・はなす」ジェスチャ動作に対応しており、移動したい資料が表示されているページを「つかむ」ことでページを取り外し、把持している間は自由に移動させることができる。また、「はなす」ことでその位置に資料を配置する。空間中に配置された資料に対しても、「つかむ」操作を繰り返すことで再移動が可能である。



図 10. 3次元空間への資料配置.

Figure 10. Placing documents in the 3 dimensional space.

2. 両手でひっぱる操作

1 の操作により、空間中に配置された資料に対しては図 11 に示すように「ひっぱる」ジェスチャ動作で資料のスケールアップが可能である。ここではユーザが、より直観的にスケールアップを行うために、両手でひっぱる感覚で操作できるようにした。この機能により、文字や挿絵等が小さい資料でも、従来の電子書籍のように拡大して閲覧することができる。



図 11. 両手による資料のスケールアップ.

Figure 11. Bimanual scaling operation.

3.3 資料の管理

図 12 に示すように、閲覧する資料は PC 内のフォルダを使って管理する。したがって、このツールを利用するには、あらかじめ見たい資料を 1 つのフォルダに入れておく必要がある。1 つのフォルダが 1 冊の資料集に相当し、フォルダ内の各データファイルが 1 枚の資料として見なされる。ユーザは、これらの資料集のうちの 1 冊を選択することで、それに対応するフォルダ内のファイルが資料として投影される。初期設定の資料集からの選択にも、この本型インタフェースに資料名やサムネイル画像が提示される。

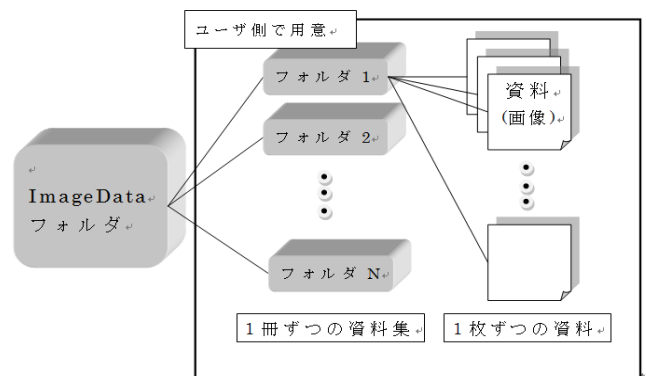


図 12. 資料集のためのデータ構造.

Figure 12. Data structure for managing documents.

3.4 応用例

本システムの利用により、1 つのプロジェクトや作業に使用するファイルをまとめて、1 冊の本として表現することができる。例えば、文書とプレゼンテーションを作成しながら、動画や画像を閲覧する場合について考える。

ユーザは、一連の作業に必要なすべてのファイルを参照するフォルダに入れると、そのフォルダをツールで指定することにより、マークブック上に資料が表示される。ユーザは、本のように進んだり戻ったりしながら 1 ページずつ閲覧することができる。また、作業中に着目するファイルがあった場合、ユーザはそれをピックアップして空間中に配置することができる。作業を終了する場合には、本を閉じることによりすべてのファイルが閉じられる。

4. 評価実験

4.2 実験結果

AR 提示による資料の見やすさ、ジェスチャによる資料の操作感などを確かめるために、本ツールのプロトタイプを作成し、AR による資料閲覧について簡単な評価実験を行った。実験では、10 人の被験者に HMD を装着した状態で、50 枚程度の画像やテキスト、図解などの様々な種類が含まれた資料の閲覧を行ってもらった。その際、図 13 に示すように、予め指定した 1 から 4 までの数字がつけられたページを検索し、空間上に配置してもらおうというタスクをとおして、以下の①～④に示す本プロトタイプの動作性能や操作感を評価してもらった。評価は各項目について 10 段階の数字（高得点ほど高い評価となる）とコメントによる評価を行った。なお、今回の実験では空間への資料配置の評価を分かりやすく行うために、被験者の周囲に仮想的な壁を作成している。資料をつかんで壁に近づけた状態ではなすことで壁に資料が投影される。

- ① AR で表示された資料の見やすさ
- ② 資料選択の容易性
- ③ 資料移動の容易性
- ④ 資料配置の容易性

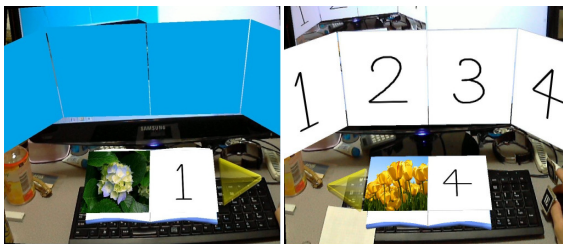


図 13. 実験イメージ（左：開始時，右：達成時）。
 Figure 13. Experimentation image (left: start, right: goal).

4.2 実験結果

課題のタスクは、10 人全員が 5 分以内に完了することができ、平均課題実行時間が 1 分 41 秒となり、事前の予想よりも早かった。

4.1 節で述べた評価内容①～④について被験者単位にまとめたものを表 1 に示す。

表 1. 評価結果
 Table 1. Evaluation results.

被験者 項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
①	7	5	8	7	7	6	5	9	8	9	7.1
②	7	8	6	5	3	6	7	5	5	6	5.8
③	8	7	8	6	7	5	4	7	6	7	6.5
④	7	6	9	4	6	7	6	9	5	6	6.5

表 1 のまとめと被験者からのコメントをもとに、AR で

表示された資料の見やすさと資料の操作感を考察する。

1. AR で表示された資料の見やすさ

この項目は、基本的に評価が高く、AR で表示した資料が十分に閲覧可能であることが確認できた。また、元の画像サイズがページサイズと異なる場合でも OpenGL[11]のテクスチャ機能を利用することで適切にリサイズ処理がなされ、鮮明な資料として提示することができた。しかし、図 14 に示すように文字の小さいテキスト資料などについては文字がつぶれてしまうケースもあり、文献資料などを利用する際は、ある程度のフォントサイズを確保するか、スケーリング機能を適宜使用する必要があることが判明した。

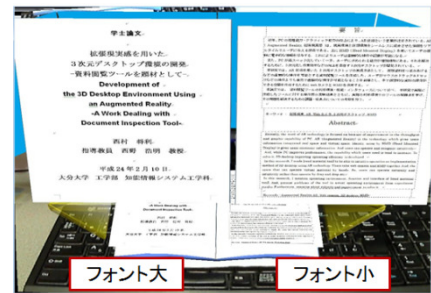


図 14. 文献資料の閲覧。

Figure 14. Viewing text documents.

2. 資料操作の評価

資料の操作性については、提案手法では柔軟な 3 次元空間の操作が可能で、誤動作を起こすことも少ないことが確認できた。しかし、本プロトタイプでは、資料の可動範囲などを設定していないため、図 15 に示すように手前に配置した資料が、後方に置かれた資料や画面の妨げになってしまうといった問題が生じた。特に、この問題はユーザがスケーリング操作を行うときに顕著である。

また、AR マーカの特性上、各マーカの全景がカメラ画像に映っていなければ資料は表示されない。そのため、パラパラめくるといった操作はできるものの、実際に資料を探すときは 1 ページずつ丁寧にめくる必要があり、時間を要するといった問題が被験者から指摘された。

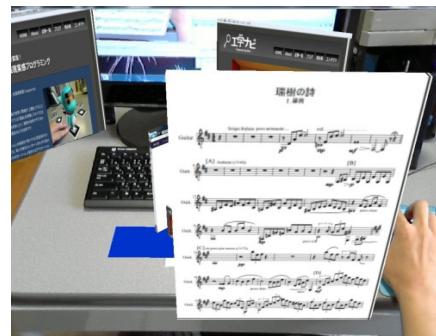


図 15. 資料による視野の妨げ。

Figure 15. View interference caused by a front document.

5. 考察

本論文で提案した資料閲覧ツールと本、および電子書籍との特性の比較を表2に示す。紙面の本は、普段から慣れ親しまれている媒体であり、親しみやすさや直観性に優れている。また、2節で述べたように、本の方が熟読をすることができるため、記憶に残りやすいという利点がある。しかし、紙面による制約があるため、印刷物しか利用できない、許容量に限度があるなどの欠点がある。

一方、電子書籍については、ファイル化されたドキュメントを扱うという特徴を生かし、手軽さ、すなわち複数冊分の本のデータを端末1台で持ち運びできるという可搬性に優れている。また、キーワードを用いた強力な検索機能を備えている。しかしながら、すべてのコンテンツをサムネイルで表示すると、もともと画面が小さいためにすべて小さくなってしまい、一覧することが困難である。そのため、順番を入れ替えたり、2つのページを見比べたりするといった作業が困難である。また、タッチパネルなどでページをめくる感覚を再現する機能は装備されているが、実際にページをめくるわけではないので、パラパラと速読的に眺めるというような閲覧スタイルが取りにくい。

本論文で提案した本型インタフェースにおいては、3節で述べたように、持ち運びができないという欠点があるが、紙と電子書籍との双方の利点を生かしたものとなっている。

評価実験の結果、おおむね良好な結果が得られたが、同時に現時点での課題も明確になった。以下に課題とその改善策について述べる。

- (1) AR提示において、ページをめくり始めてからARマーカの全景が映るまで、対応するオブジェクトやコンテンツの表示がされず、一般的な本に比べて多少の遅延が生じる。このような表示における遅延が違和感を生じさせる原因となっており、本を見ている感覚になれないことがある。次のページ内容を先読みしておく、ARマーカに工夫を施す、などのデータ表示における遅延を解消する方法を検討する必要がある。
- (2) 作業を続ける上で、多くの資料を机上に再配置すると、ある資料が別の資料を隠してしまい、PCのデスクトップと同様の問題が生じた。視線を変えることや資料を移動させることにより、他の資料や複数の資料を見通すことができるのはデスクトップの場合とは違うものの、それでもユーザの負担を増やす原因となっている。空間中へ配置した資料の整理方法や可動範囲の設定など、作業効率を落とさない工夫を考える必要がある。
- (3) HMDの重さや視野範囲の狭さに起因する装着感や使用感に起因して、長時間の作業が困難であるという問題点も挙げられた。現在、HMDについ

ては、軽量化を行いながら、十分な視野角をもつ高解像度の画像表示の開発が行われている。しかしながら、本研究に関しても、HMDで資料を表示させることを考慮して、資料の位置やサイズなどを容易に調整できる機能が必要である。

本型インタフェースに関して、今回は本に対するアナロジを考慮して、資料の閲覧という観点で評価を行っているが、膨大な数の資料を見たり読んだりする場合には、しおりや付箋紙を貼るなどの機能が必要になると考えられる。また、本型インタフェースを入力デバイスとして捉えて、ブラウザなどのアプリケーションの操作についても検討を行う必要がある。この時、本を「めくる」、「なぞる」、「つまむ」などの動作とアプリケーション操作との分かり易い対応付けが重要となる。

表2. 媒体と特性の比較.

Table 2. Comparison on media and their characteristics.

媒体 \ 特性	保存性	可搬性	検索性	データ変更
紙	○	△	△	×
電子書籍	△	○	○	○
提案手法	△	×	△	○

媒体 \ 特性	親しみやすさ	一覧性	個人作業支援	複数人作業支援
紙	○	△	△	△
電子書籍	△	×	△	△
提案手法	△	○	○	×

6. おわりに

本論文では、ARとモーションセンサを利用することにより、紙媒体の書籍をめくる感覚で各種の資料が閲覧できるインタフェースを提案した。タブレットなどの電子書籍に比べると、検索性や可搬性が問題として挙げられたが、実際の本のような使用感、操作感を与えることができ、さらにユーザのジェスチャを利用することにより、直観的なインタフェースが実現できた。また、このインタフェースを利用することにより、実世界の作業スペースを有効に利用することができるため、3次元デスクトップに比べて効率のよい個人作業スペースを提供することができた。

今後は、実践的な資料集を作成し、提供されるすべての機能について、より詳細な評価実験を行いながら、新たな機能の追加や現機能の拡張に関して検討する予定である。

参考文献

- 1) Anand Agarawala and Ravin Balakrishnan, "Keep in It Real: Pushing the Desktop Metaphor with Physics, Piles and the Pen," Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing system (CHI'06), pp.1283-1292, 2006.
- 2) Yusuke Ouchi, Hiroaki Nishino, Tsuneo Kagawa, and Kouichi Utsumiya, "A Tangible 3D Desktop Environment with Force Feedback," Journal of Mobile Multimedia, Vol.8, No.2, pp.114-131, 2012.
- 3) 小林亮太, 池内淳: 表示媒体が文章理解と記憶に及ぼす影響 -電子書籍端末と紙媒体の比較-, 情報処理学会研究報告 HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告.
- 4) 柴田博仁, 高野健太郎, 大村賢悟, 電子書籍端末は紙を代替できるか? 電子書籍端末の評価実験にもとづく考察, 富士ゼロックス, テクニカルレポート, No.21, 2012.
- 5) 加藤博一, Billinghurst.M, "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system," In Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99), October 1999.
- 6) 渡邊純一郎, 望月有人: フレキシブルディスプレイへ応用可能な曲げを利用した操作デバイス, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.12, pp.3899-3907 (2008).
- 7) 光永法明, 米澤朋子, 田近太一: 一枚の紙束 (TAB) 電子ペーパーの未来に向けたフリップインタフェース, 情報処理学会シンポジウム論文集, pp.39-40 (2008).
- 8) チーム TERIYAKI 「バランガ」, 国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト 2010, (2010).
<http://www.youtube.com/watch?v=76CjECNmSxk>
- 9) David Holman, Roel Vertegaal, Mark Altosaar, Nikolaus Troje and Derek Johns: PaperWindows
- 10) 井澤謙介, 鈴木宣也, 赤羽亨, 山川尚子, 丸山潤, 相坂常朝, 久保元亮樹, 柴山史明, 竹中寛, 小林茂: 直接操作可能なめくりインタフェースによる新しいインタラクションの提案, インタラクション 2011, 2012-HCI-147(29), 2011.
- 11) Silicon Graphics 社, OpenGL
<http://www.opengl.org/>