筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

電子書籍の操作性向上を目指した紙書籍ナビゲーションの再現手法

古田島 裕斗

修士（工学）

（コンピュータサイエンス専攻 ）

指導教員　高橋 伸

2017 年 3 月

概要

近年タブレットのような携帯情報端末の普及と共に，電子書籍が広く普及している．普及の理由として，電子書籍は従来の紙書籍にはない独自の利点を多数持っていることが挙げられる．しかし従来の紙書籍もまた，電子書籍にはない利点を複数持っている．中でも直感的なページめくりのような自由度の高いナビゲーションは，紙媒体の大きな利点としてたびたび取り上げられる．

本研究では，電子書籍独自の利点を保った上で，紙書籍のような柔軟で直感的なナビゲーションを最大限実現することで，電子書籍の操作性を向上させることを目的とする．そのために最低限の機器で，紙書籍のナビゲーションを電子書籍上で再現する手法を提案する．紙書籍のナビゲーションには，曲げによるページめくり，ページの厚みによる情報提示，指を挟むだけの軽量なブックマーク等の特徴が大きく関わると考えられる．本研究ではそれらに似た機能を実装することで紙書籍のナビゲーションを再現する電子書籍閲覧システムを開発した．

システム実装後，提案手法の評価のため 3 種類の実験を提案システム，既存電子書籍リーダー，そして紙書籍の 3 手法で行った．実験後のアンケートでは，主に提案手法と既存手法のそれぞれの操作について質問を行った．結果ほとんどの項目で有意な差を見出すことは出来なかったが，一部の項目では提案手法が有意に高評価だった．また提案手法に対するコメントは，肯定的なもの，慣れれば有用だと言うもの，センサは改善が必要だというものに集約された．以上のことから，提案手法は多少改善点のある現状でも既存手法と遜色なく，改善を行えばさらに高評価が望めるものだと考えられる．

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　電子書籍について 1
1.2　電子書籍の定義 1
1.3　電子書籍と紙書籍の比較 2
1.4　研究の目的・アプローチ 3

第 2 章　関連研究 **4**
2.1　電子媒体でのナビゲーション動作再現 4
2.2　紙や紙のような素材によるデジタルコンテンツ操作 4
2.3　物理的なページめくりと感触再現 4

第 3 章　システム設計 **5**
3.1　紙書籍のナビゲーション分析 5
3.1.1　厚みによる情報提示 5
3.1.2　曲げによるページめくり 5
3.1.3　指を挟むだけの軽量なブックマーク 7
3.2　ナビゲーションの再現 7
3.2.1　システム概要 7
3.2.2　厚み情報の可視化 8
3.2.3　圧力センサによるページめくり 9
3.2.4　センサのダブルタップによる簡易ブックマーク 11

第 4 章　プロトタイプシステム実装 **12**
4.1　開発・実装環境 12
4.2　システム構成 12
4.3　書籍データの表示 13
4.3.1　書籍データ一覧の取得 13
4.3.2　画像とページめくりの描画 13
4.4　厚みの描画 14
4.4.1　左右ページの厚みの描画 14
4.4.2　閉じた厚みの描画 15
4.5　圧力センサ値の処理 15

4.5.1 Arduino との連携 15
4.5.2 センサの状態の判定 15
4.5.3 センサの状態に応じた処理 15
4.6 タッチ入力の処理 16
4.6.1 ページめくりの操作 16
4.6.2 閉じた厚みの可視化操作 16

第 5 章 実験 **17**
5.1 実験環境 17
5.2 実験 1: 大域から局所への連続的検索性 17
5.3 実験 2: 位置情報の視覚的記憶性 19
5.4 実験 3: 離れたページの参照性 20

第 6 章 実験結果と考察 **22**
6.1 各実験の主観的評価結果と考察 22
6.2 実験 1 結果と考察 24
6.3 実験 2 結果と考察 27
6.4 実験 3 結果と考察 30

第 7 章 結論 **33**
7.1 まとめ 33
7.2 今後の展望 33

謝辞 **35**

参考文献 **36**

付 録 A 実験同意書 **39**

付 録 B 実験事前アンケート **41**

付 録 C 実験説明書 **43**

付 録 D 実験後アンケート **49**

図 目 次

1.1 電子書籍・電子雑誌の市場規模予測 [1] 1

3.1 紙書籍の開いた状態での厚み 6
3.2 紙書籍の閉じた状態での厚み 6
3.3 紙書籍のページめくり 6
3.4 紙書籍の指を挟むブックマーク 7
3.5 システム外観 8
3.6 左右ページの厚み可視化 9
3.7 閉じた厚み可視化の操作 9
3.8 閉じた厚みとページ移動 9
3.9 ページめくりの入力 10
3.10 ページめくり描画とフィードバック 10
3.11 簡易ブックマークの入力 11

4.1 プロトタイプ外観 12
4.2 システム構成と処理の流れ 13
4.3 書籍一覧表示 14

5.1 手法間評価実験 1 の動画例 18
5.2 手法間評価実験 1 の提示画像例 18
5.3 手法間評価実験 3 の離れたページ参照の例 21

6.1 手法間評価実験の主観的回答結果: 青が提案手法，オレンジが既存手法，緑が紙書籍による結果を示している．($**: p < 0.01, *: p < 0.05, +: p < 0.1$) . . . 23
6.2 手法間評価実験 1 の試行回数ごとの検索時間の推移: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している． 25
6.3 手法間評価実験 1 の被験者ごとの検索時間の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している．($**: p < 0.01, *: p < 0.05, +: p < 0.1$) 26
6.4 手法間評価実験 2 の誤差率の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法による結果を示している． 28
6.5 手法間評価実験 2 の順序誤差の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法による結果を示している． 29

6.6 手法間評価実験 3 の試行回数ごとの回答時間の推移: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している． 30
6.7 手法間評価実験 3 の被験者ごとの回答時間の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している．($**: p < 0.01, *: p < 0.05, +: p < 0.1$) 31

第1章　序論

1.1　電子書籍について

近年情報端末上で閲覧できる電子書籍が広く普及している.「電子書籍元年」とされた 2010 年頃から安価な電子書籍専用端末やタブレット端末が登場すると同時に，多数の大手企業が市場に参入し，各端末に対応した電子書籍コンテンツが提供されるようになった [2, 3, 4]．市場規模は年々拡大しており，2015 年度の市場規模は前年比 25.1%増の 1584 億円と推計されている．今後も市場規模は拡大していくと予測され，2020 年度には 3000 億円程度，電子雑誌と合わせた電子出版市場全体では 3480 億円程度となると予想されている (図 1.1[1]).

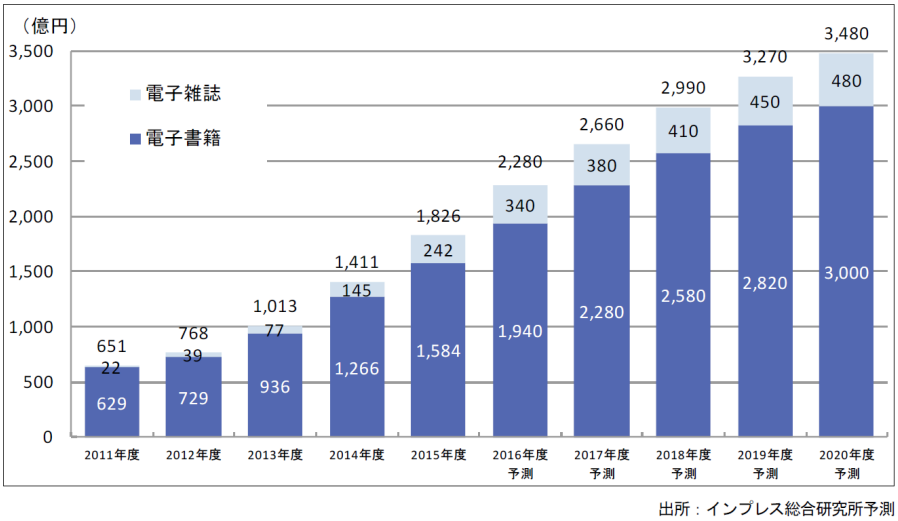


図 1.1: 電子書籍・電子雑誌の市場規模予測 [1]

1.2　電子書籍の定義

本題に入る前に電子書籍について定義をしておく．電子書籍という用語は広く用いられるようになったが，実のところ電子書籍の明確な定義は存在しない．しかし大まかな共通の理解として一般的に電子書籍の条件は次に挙げる例のように考えられている．

公正取引委員会の報告書では，電子書籍は「既存の書籍や雑誌に代わる文字や図が情報であり，電子情報として情報通信網を通じて有料で提供されるものであり，電子端末により閲

読されるものである」と定義している [5]．インプレス総合研究所では電子書籍を「書籍に近似した著作権管理のされたデジタルコンテンツ」と定義し，調査報告書でも「書籍の体裁に近い形で電子化され，書籍が書店流通を通して販売されるのと近い形で電子書籍ストア (サイト) で販売され，PC やフィーチャーフォン/スマートフォン，タブレット，電子書籍専用端末等の端末上で読書に近い形で活用されるデジタルコンテンツである」と記述している．[1]．渡部は電子書籍を,「電子書籍専用端末または汎用端末で読める書籍または雑誌の体裁をした著作物」としている [6]．このように電子書籍は,「電子端末で閲覧できる」,「ネットワーク上の電子書籍ストアで販売されている」,「書籍や雑誌のような体裁をしてる」といった条件で定義されていることが多い．

しかし近年では，電子書籍ストアを通さず自分で用意したデジタルコンテンツを電子書籍リーダーにて閲覧する利用者も多い．そしてそのようなコンテンツは必ずとも書籍のような体裁をしているとは限らない．本研究ではコンテンツの内容はあまり関係もないためそれらの事情も考慮し，電子書籍を「汎用端末のビューワーや電子書籍専用端末にて閲覧することができるフォーマットのデジタルコンテンツ全般」とする．すなわち，EPUB や Mobi といった一般的な電子書籍のフォーマットに限らず，PDF 等の別用途で普及しているフォーマットのデジタルコンテンツでも，一般的な電子書籍リーダーで読めるものであれば電子書籍であるとする．

1.3　電子書籍と紙書籍の比較

電子書籍が普及した理由として，電子書籍は電子媒体故の様々な利点を持つことが挙げられる．次に電子書籍の利点を挙げる [7, 8, 9].

- 携帯性が高い (一つの端末で何冊もの書籍が持ち運べる)
- 物理的な保管場所を取らない
- 普及している様々な汎用端末で読める (対応端末を一つでも所持していればよい，状況で端末を使い分けできる)
- ネットワーク経由で手軽にいつでも購入可能
- 文字に限らずビデオ・オーディオなどのマルチメディアに対応
- 文字サイズ変更やドキュメントの拡大が可能
- 文字等の検索が可能
- 在庫切れがない
- 内容の修正・更新が容易
- 製本コストや紙資源を削減できる

しかし従来の紙書籍も電子書籍にはない利点を複数持っている．紙書籍独自の利点を次に挙げる [10, 11, 12].

- 高速かつ大量にページ移動が可能
- ページ移動の速さや方向を柔軟に変えられる

- ページをめくった感覚が視覚的・触覚的刺激で感じられる (めくった量の把握，満足感の増加)
- 高速にページをめくっても内容が一瞬見える
- 厚みからページの位置や書籍の総量を把握できる (読んだ割合や読むのに必要な時間の把握)
- 何でも挟んで容易にしおりにできる
- 同時に複数の書籍を開いて瞬時に見比べることが可能
- かなり自由にドキュメントを加工できる (書き込み，付箋でのメモ，折り曲げて目印等)
- 実物があることで所有欲を満たせる
- 自由に空間を利用した管理により，存在自体が情報となる (並べ方で分類，すぐ使用するものをまとめ て近くに置いておく等)

この中でも柔軟で直感的なページめくりに関するものは大きな利点としてたびたび取りあげられる．

紙書籍と電子書籍に関するアンケート調査では，しばしば紙書籍の方が読みやすいと回答する人数が多くなり，また紙書籍の利点や利用する理由としてページめくり等のナビゲーションが挙げられる [13, 14, 15, 16].

また答えを探す読みなどの特定の条件の読みにおいては，電子書籍より紙書籍の方が効率的であるという結果も得られている [17, 18, 19, 20, 21]．これらの研究でも紙書籍に優位な結果が出た理由として，紙書籍への慣れだけでなく，柔軟なページめくりや直感的なナビゲーションの効果もあると考察されている．

これらのことからページめくりのような紙書籍のナビゲーションは，読むという活動において高い使いやすさを実現していると推察できる．また電子書籍の利点はほぼ書籍がデータ化したことによるもので，ナビゲーションや操作性はあまり関係がない．よって，紙書籍のナビゲーションをうまく取り入れることにより，電子書籍の利点はそのままで操作性も向上させることができると考えられる．

1.4 研究の目的・アプローチ

後の節 2 で詳しく述べるが，実際にデジタルコンテンツの閲覧に紙書籍のようなナビゲーションを取り入れようとする研究は数多く行われている．それらの過去研究ではそれぞれ異なる手法で紙書籍ナビゲーションを再現しているが，その再現度は特殊な端末や外付けの部品など使用する機器が多くなるほど高くなる傾向がある．しかし使用機器が増えることで端末の特殊化や大型化が進むと，電子書籍の利点のうち高い携帯性や汎用端末で読めるというものが失われてしまう．

そこで本研究では，電子書籍独自の利点を保った上で紙書籍のような柔軟で直感的なナビゲーションを最大限実現することで，電子書籍の操作性を向上させることを目的とする．そのために，最低限の機器で紙書籍のナビゲーションを電子書籍上で再現する手法を提案し，プロトタイプシステムを実装する．

第2章　関連研究

前節で述べた通り，デジタルコンテンツの閲覧に紙書籍のようなナビゲーションを取り入れようとする研究が数多く行われている．

2.1　電子媒体でのナビゲーション動作再現

紙書籍のナビゲーション動作を電子媒体内で再現する研究としては次のものがある．岡田らは本メディアの特徴に着目し，空間的記憶を利用した電子メディアの情報の整理や，情報全体の概要把握を支援するため本メディアと電子メディアを融合した本メタファを作成した [10]．Yoon らはタッチディスプレイでの単純なタッチジェスチャで，ブックマークとブックマークしたページへの復帰を行う手法を提案した [22]．Kim らは端末のベゼルへのスワイプなどの操作でページの厚み・重なりの視覚化と連続したページめくり操作とアニメーションを行う手法を提案した [23].

2.2　紙や紙のような素材によるデジタルコンテンツ操作

紙や紙のように折り曲げることができる素材でデジタルコンテンツを操作する研究としては次のものがある．Back らや Yamada は RFID タグの埋め込まれた紙の本でデジタルコンテンツを操作させた．[24, 25] 光永らは表示装置の周りに曲げられる領域を用意し，その領域の曲げを検出してページのめくりを行わせた [26]．Watanabe らは薄いプラスチックシートを曲げることでアプリケーションを操作し，小型スピーカでページをめくった際の音と振動のフィードバックを与えた [27]．Strohmeier らはフレキシブルタッチスクリーンを曲げることで操作を行わせ，音やアクチュエータでめくっている感覚を再現した [28].

2.3　物理的なページめくりと感触再現

紙書籍のページをめくる動きと感触を物理的なハードウェアによって再現する研究としては次のものがある．Fujita らは本型の曲げられるハードウェアとローラ機構で速度調整可能なページ操作を，ローラ機構に紙片を付けることでページをめくった際の触覚の再現を実現した [29]．井澤らは複数の PET フィルムからなるフリップセンサをタブレット端末の両端に固定し，フリップセンサをめくることでページめくりの操作を行わせた [30].

第3章　システム設計

本章では，まず紙書籍の柔軟で直感的なナビゲーションの実現に大きく関わると考えられる機能について述べる．それらの機能の振る舞いやもたらす効果を分析した上で，電子書籍上でも似た振る舞いで同様の効果を得られる機能を実現する手法を示す.

3.1　紙書籍のナビゲーション分析

3.1.1　厚みによる情報提示

紙書籍は物理的な実体を持っているため，ページの量に応じた厚みが存在する．読者が厚みを知覚できることにより，紙書籍には次のような利点があると考えられる.

- 開いた状態の左右の厚みから大体の読んだページ数・残りのページ数がわかる
- 閉じた状態の厚みから総量を把握し，コンテンツの位置を予測してページを開ける

紙書籍を開いた状態では，開いているページより前のページと後のページが書籍の左右に存在する (図 3.1)．読者はそれらのページの厚みを，視覚的情報や持っている手からの触覚的情報から感じ取ることで，直感的に前後のページ数や現在のページ位置を把握することができる．また意識せずとも本のコンテンツと厚みを関連づけて記憶することにより，コンテンツの位置や順序の把握を自然に行うことが期待できると考える.

紙書籍を閉じた状態では，その本の総ページ数がどの程度の分量か厚みから一目で把握することができる (図 3.2)．また開いた状態でのコンテンツの位置把握と合わせて，厚みからコンテンツの位置を予想して開くことができる.

3.1.2　曲げによるページめくり

紙書籍は書籍を曲げることで弾性力を発生させ，その後ページを押さえる指の位置や力を変化させることで部分的にページの支えをなくしてページをめくる (図 3.3)．このページめくり方法により，紙書籍には次のような利点があると考えられる.

- 曲げている間継続してページめくりが行える
- 指先で曲げる力を細かく調整可能
- 紙のめくれる動きや指先をこすれる感覚によるめくれたことの知覚補助

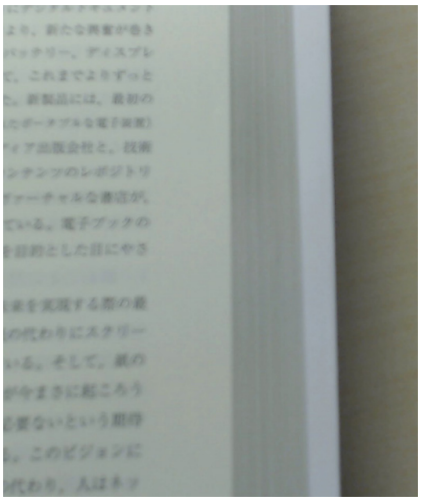


図 3.1: 紙書籍の開いた状態での厚み

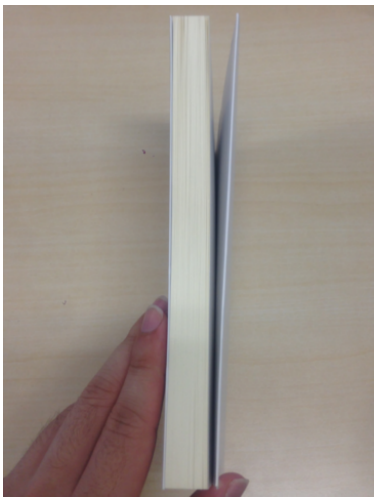


図 3.2: 紙書籍の閉じた状態での厚み

紙書籍では書籍を曲げ押さえる指を緩める動作を続けることで，その間継続的にページめくりが行われる．この際読者はめくられるページのコンテンツを確認しながらページを高速にめくることができるため，コンテンツ内容を確認しながらの検索やページ移動が高速に行える．

ページをめくる速度は背面に加える力を変化させて，書籍の曲げ具合を変えることで細かく操作することができる．加えてどのページまでめくるかはページを押さえる指の動きで操作できるため，紙書籍のページめくりはかなり直感的かつ柔軟に行える．

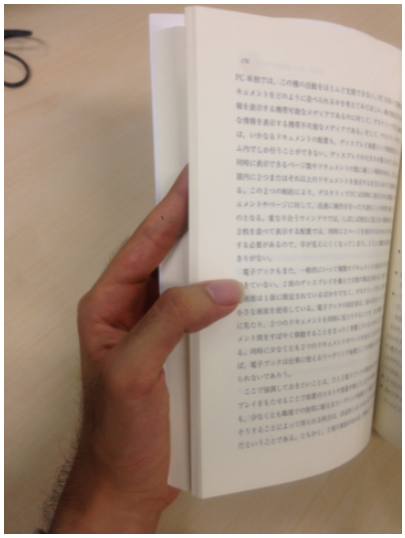
更にページをめくる際にはページのめくれる動きを視覚的に，めくれる感触を指先で触覚的に知覚することができる．このめくったことの知覚がページめくりを操作する際の目安となり，直感的で柔軟なページめくりの実現を補助している．

図 3.3: 紙書籍のページめくり

3.1.3　指を挟むだけの軽量なブックマーク

紙書籍はページ間にしおりを挟むことでそのページを長期間ブックマークすることができるが，しおりの代わりに読者自身の指を挟むことで軽量なブックマークを行うことも可能である．この手法は読者の身体の一部を書籍に挟み続ける必要があるため長期的に扱うことはできない．しかしその代わりに，ブックマークする際は書籍に添えている指を少し曲げてページに挟むだけ (図 3.4a)，そのページに戻る際は挟んでいた指を使ってそのページを開くだけ (図 3.4b) と極めて単純かつ直感的な動作で迅速に行える．

この設置も解除も容易に行える軽量なブックマークを使用することで，紙書籍ではしおりを挟むまでもない超短期的なブックマークが必要な動作が効率的に行える．例を挙げると，離れたページを何度も行き来して見比べる動作や，すぐそのページに戻る前提で周辺のページをパラパラめくって探索する操作は，わざわざしおりを挟むよりも指を挟んだ方が手間がかからない．



(a) ブックマークした状態

(b) ブックマーク先へ戻る動作

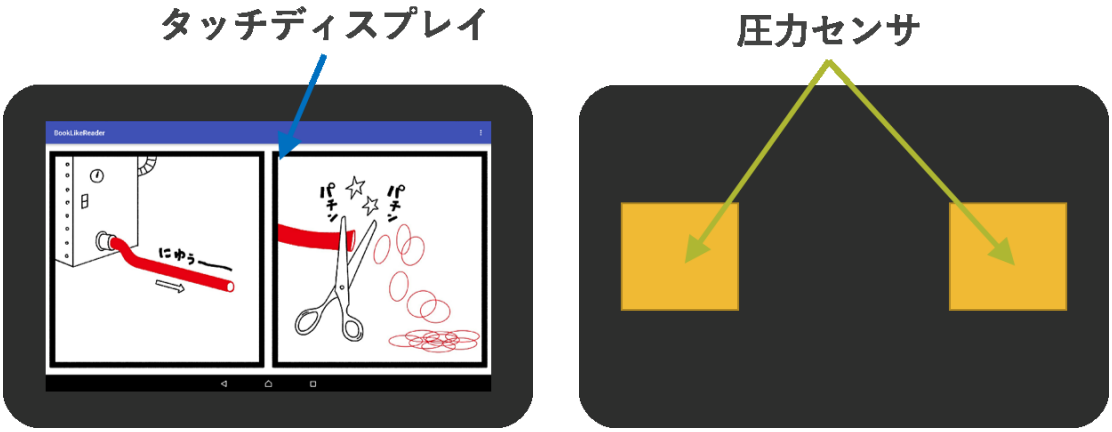
図 3.4: 紙書籍の指を挟むブックマーク

3.2　ナビゲーションの再現

3.2.1　システム概要

基本的に紙書籍を読む際は書籍を両手で持ち，指先の動作によって書籍の操作を行う．書籍を持ったときの指の置き場所は開いた書籍の前面の左右両際と背面となる．この持ち方と操作手法が節 3.1 で述べた機能の実現に大きく関わっているため，紙書籍ナビゲーションの再現にはこれに似た手法で電子書籍を操作させる必要がある．

この操作手法を再現するため，本研究では紙の書籍と大きさが近く同じ持ち方を行いやすいタブレット端末を対象として電子書籍リーダーを開発する．横向きでの使用を前提とし，紙書籍と同様に書籍データは一度に 2 ページ分表示する．タブレット端末はディスプレイがタッチディスプレイであるため，紙書籍の前面で行うような操作は端末単体で実現できる (図 3.5a). しかし紙書籍を曲げるための加圧のような背面への操作は端末単体では検知できない．そこで端末背面の指を置く位置 2 箇所に圧力センサを設置し，背面での加圧を検知する (図 3.5b). 本システムではこのタッチディスプレイと圧力センサ 2 つを用い，紙書籍に近い操作でそれぞれの機能を扱えるようにする．



(a) 端末前面　　(b) 端末背面

図 3.5: システム外観

3.2.2　厚み情報の可視化

節 3.1.1 で述べた厚みによる情報提示に代わり，厚み情報の可視化を行う．まず書籍を閲覧している状態で，紙書籍を軽く曲げるように圧力センサ両方に力を加えると，表示されているコンテンツの左右にそれぞれのページ数に応じた厚みを表示する．この状態でもコンテンツサイズを十分読める大きさに保つため，厚みを表示する領域の幅は固定とする．ページ数は領域内の縦線の数と背景色のグラデーションの濃さで表す (図 3.6).

更に，紙書籍を閉じる動作のように前側の両親指を，同時に内側に素早くスワイプし離す (図 3.7) ことで，紙書籍を閉じた状態のように書籍全体の厚みを表示する．この閉じた厚み表示をタップすると，タップ位置に応じたページ数を表示し (図 3.8)，指を離すとそのページを表示する．

図 3.6: 左右ページの厚み可視化

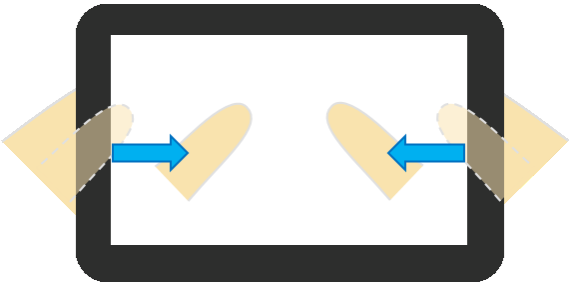


図 3.7: 閉じた厚み可視化の操作

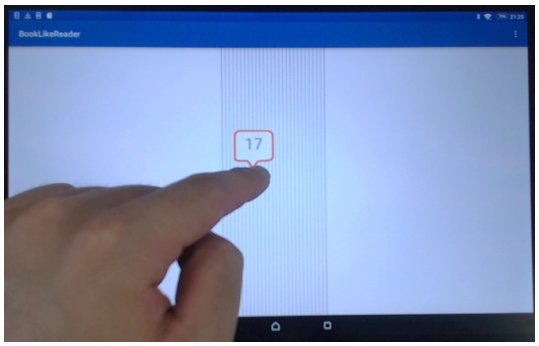


図 3.8: 閉じた厚みとページ移動

3.2.3　圧力センサによるページめくり

節 3.1.1 で述べた曲げによるページめくりに代わり，圧力センサへの入力を用いてページめくりを行う．曲げによるページめくりに似た機能を提案するにあたり，通常の端末は紙のように曲げることができないという問題があった．しかし紙書籍のページめくりにおいて最も重要なことは，曲げる力によりページめくりを細かく調整できることと，その際の紙の振る舞いである (もちろん紙を曲げること自体にも意味はあると考えられるが，本研究では汎用端末と最低限の追加機器を用いるという前提があるため，優先度が低くまたこの条件では困難である曲げの再現までは行わない).

本システムでは紙を曲げるための背面への加圧と，めくるための親指の外側への移動に着目し，同様の動作をタッチディスプレイと圧力センサで検知することでページめくりの入力とした．まず紙書籍を曲げる様に両圧力センサに力を加え，前節の左右ページ厚み可視化を行う．その後厚みが可視化されているディスプレイの左右端どちらかで，親指を外側へスワイプする (図 3.9).

この操作を行うことで，外側へ動かした指のある側のページめくりが行われる．加圧とス

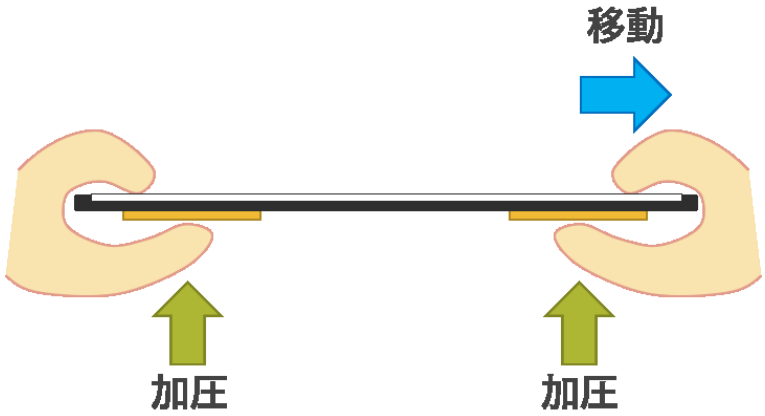


図 3.9: ページめくりの入力

ワイプの操作を継続して行うとその間ページめくりも継続して連続的に行われ，めくる速度はめくる側の圧力センサにかかる力に応じて変化する．ページめくり時には紙のようにページがめくれるアニメーションを描画し，バイブレーション機能で端末を振動させることでめくれた際のフィードバックを与える (図 3.10).

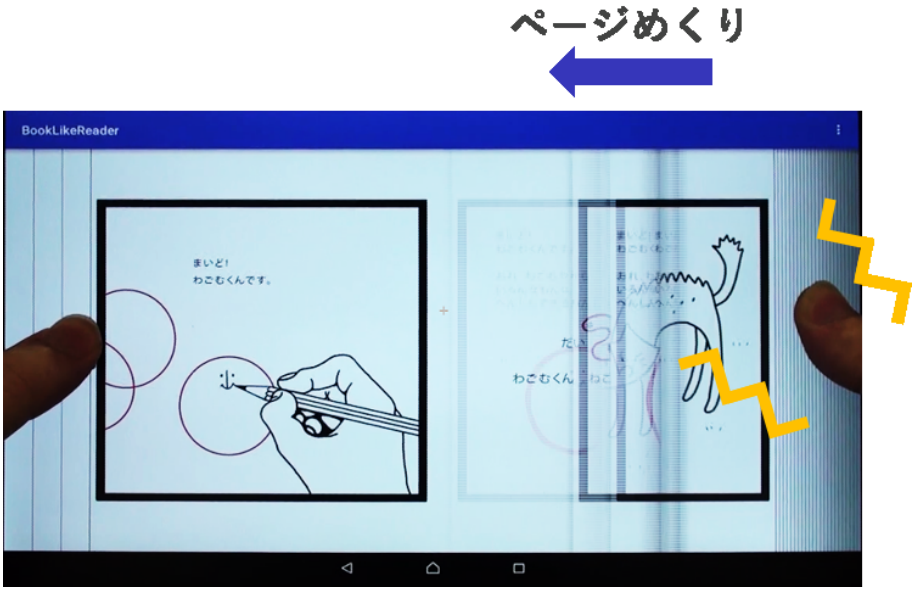


図 3.10: ページめくり描画とフィードバック

3.2.4　センサのダブルタップによる簡易ブックマーク

節 3.1.3 で述べた指で挟むだけの軽量なブックマークに代わり，指挟みと同じくらい単純な操作で簡易ブックマークを行う．紙書籍での指によるブックマークは物理的なページの間に指を挟むが，もちろん電子書籍には物理的なページはなく，端末にも指を挟むような部位は存在しない．しかし指を挟む際の動作と挟んだ状態の維持，そしてページへ戻る際の動作が簡単であることが重要であり，指を挟まずともその点が実現できればよい．

本研究では圧力センサへのダブルタップを入力として簡易ブックマークを行う．まず背面に設置された 2 つの圧力センサどちらかをダブルタップすると (図 3.11)，その時開いているページ位置をブックマークする．ダブルタップした指を圧力センサに触れさせている間ブックマークを維持し，他のページへ移動した後指をセンサから離すとブックマークしたページへ移動すると同時にブックマークの破棄を行う．操作は圧力センサをダブルタップし，しばらく指を添え続けた後離すだけであるため，指を挟むブックマークと同様に容易に行える．

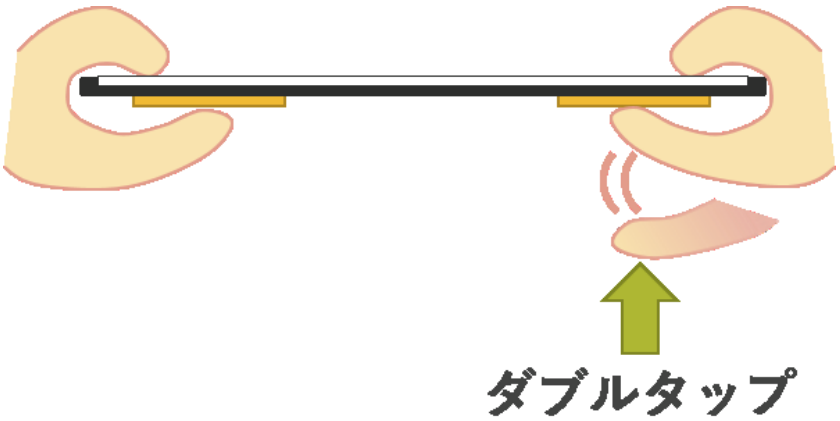


図 3.11: 簡易ブックマークの入力

第4章　プロトタイプシステム実装

4.1　開発・実装環境

本システムはAndroidタブレットをプラットフォームとし，電子書籍リーダーはAndroidアプリケーションとして実装を行った．圧力センサの値を取得しタブレット端末に送る処理はマイコンにて行う．タブレット端末はAndroid6.0を搭載したXperia Z4 Tabletを使用し，圧力センサにSEN-09375を2個，マイコンにArduino Unoを用いた．アプリケーションはWindows8.1のPC上で，AndroidStudio2.1.0とArduino IDE1.6.5にて開発を行った．

最終的な目標としてはマイコンや配線は小型化し端末に固定させるが，今回のプロトタイプでは端末とは付けず長めの配線で接続する．プロトタイプの外観を図4.1に示す．

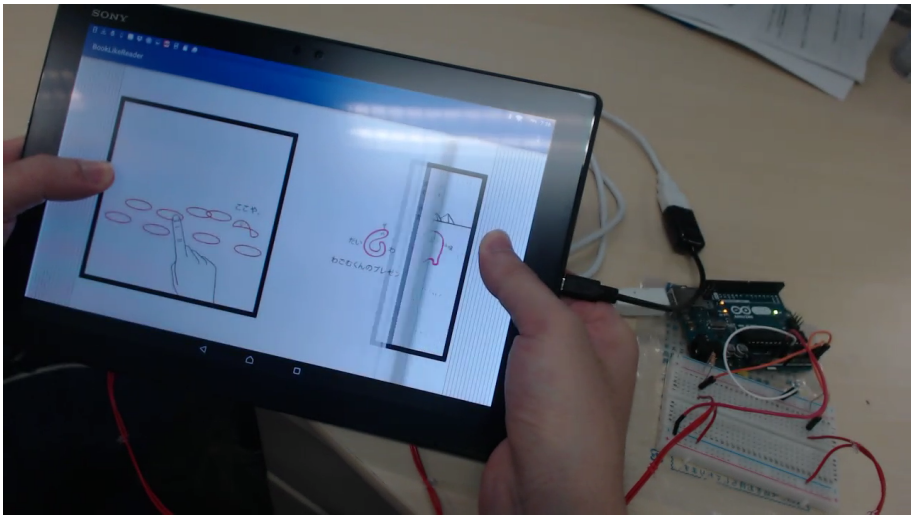


図4.1: プロトタイプ外観

4.2　システム構成

プロトタイプシステムの構成と処理の流れを図4.2に示す．図4.2のように本システムはハードウェア側で入力を行い，それを受け取ったソフトウェア側で電子書籍の描画処理を行う．ハードウェア側ではタブレット端末のタッチディスプレイでタッチ入力を，圧力センサにて背面の加圧を受け取る．圧力センサの値はArduinoからUSBシリアル通信でソフトウェ

アへ送られる．電子書籍のデータは複数の jpg 形式画像ファイルを zip 形式でまとめたものを用い，入力に応じて OpenGL ES[31] で描画を行う．

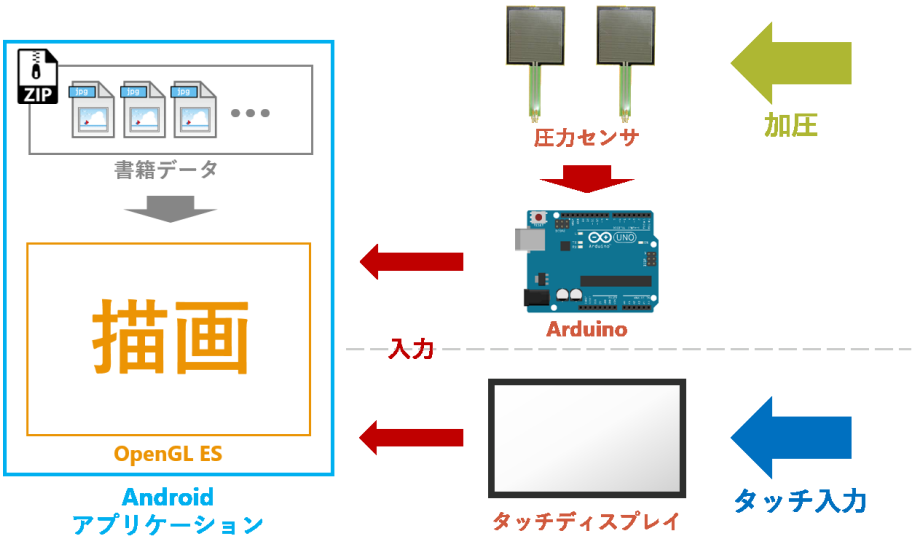


図 4.2: システム構成と処理の流れ

4.3 書籍データの表示

4.3.1 書籍データ一覧の取得

本システムのアプリケーションを起動すると，端末内から特定ディレクトリ内の書籍データを取得し一覧表示する．書籍データは内部ストレージの Books ディレクトリ内に保存されているものとし，処理としてはまず Books ディレクトリ内の全ファイルを配列で取得する．次に前述の通り書籍データは zip ファイルであるため，配列の始めのファイルから名前を取得し，末尾が.zip であるか確認する．zip ファイルだった場合はリストに格納し，全ファイル確認が終了したらリスト表示ができる ListView という Android のインタフェースを用いて，書籍データ名を一覧表示する (図 4.3)．このリストから読みたい書籍を選択してタッチすると，書籍閲覧用アクティビティ(Android アプリにおける UI，つまりアプリ画面を構成するコンポーネント) を作成して書籍データファイルのパスを渡し，書籍閲覧画面へ遷移する．

4.3.2 画像とページめくりの描画

ページのめくれるようなアニメーションの描画には，オープンソースの android_page_curl[32] というアプリケーションを改変し利用した．android_page_curl は OpenGL ES を使用して，画面タッチに応じてタッチ位置までページをめくるような効果を描画するアプリケーションで

図 4.3: 書籍一覧表示

ある．めくられるモデルには表裏にそれぞれビットマップ画像をテクスチャとして貼ることができ，めくった際には裏側のテクスチャも描画される．

本システムでは書籍データの画像をビットマップとして取得し，書籍のように 2 枚並んで描画されるように実装した．画像は描画される左右ページの表裏計 4 枚分を取得しておき，めくり操作が行われた際に次に描画するページの裏表分の画像 2 枚を新たに取得する．画像の取得処理中は，事前に取得しておいたサイズが小さく粗い画像を代わりに描画し，大きい画像が取得でき次第再描画を行う．

4.4 厚みの描画

4.4.1 左右ページの厚みの描画

節 3.2.2 で述べたように，厚みはページ数に応じた線と矩形を描画することで表現する．可視化の操作が行われると，まず厚みを描画する領域を確保するため，書籍コンテンツの描画領域を一定幅まで狭め左右に空白の領域を作る．そして現在開いているページ位置に応じて，空白の領域に線と矩形を描画する．描画する線の数は以下の式で求める．ここで n_L は左の厚みの線の数，n_R は右の厚みの線の数，i は現在表示している右側のページ数，i_m は書籍の総ページ数とする．

$$
\begin{aligned}
n_L &= i/2 - 1 \\
n_R &= i_m/2 - i/2 - 1
\end{aligned}
$$

矩形は空白領域と同じサイズ，線はディスプレイ高さと同じ長さでディスプレイ底辺に対して垂直とする．線は矩形の前に等間隔となるように配置する．矩形の背景は描画する線の数が少ない場合は白一色だが，線の数が一定数を越えるごとに灰色のグラデーションがかかり，徐々に濃く広くなっていく．

4.4.2 閉じた厚みの描画

閉じた厚みも前節の左右ページの厚みと同様に，ページ数に応じた数の線で表現される．ただし閉じた厚みは可視化操作が行われると，書籍コンテンツの描画を中断して中央に描画される．描画する線の数は書籍の総ページ数を 2 で割った数で固定である．

また閉じた厚みを表示した状態で厚み領域をタッチすると，吹き出しとタッチ位置に応じたページ数を表示する．表示するページ数は厚みの左端を基準として，タッチ位置が右へ移動する程大きくなる．ページ数は吹き出しの中に表示され，タッチ位置の上に描画される．タッチしたまま指をスライドさせると，吹き出しとページ数は指に追従して移動する．

4.5 圧力センサ値の処理

4.5.1 Arduino との連携

圧力センサの値は Arduino のアナログ入力で取得し，USB シリアル通信でアプリケーションに送信する．アプリケーション側の処理では，Physicaloid Library[33] というオープンソースライブラリを利用した．このライブラリを使用して Arduino との USB シリアル通信で送られたデータを取得する．

書籍閲覧画面が開かれた際，Arduino との連携用のサービス (Android アプリにおけるバックグラウンドで動作するコンポーネント) を起動する．このサービスでは定期的にシリアル通信で受信したデータを読み込む処理を行い，その値を解析用のプログラムに渡す．

4.5.2 センサの状態の判定

取得したセンサの値から，センサの状態が無把持状態，把持状態，加圧状態の 3 種のどれであるか判別する．判別用の閾値は 2 つあり，センサ値が閾値を越えるごとに無把持 → 把持 → 加圧と遷移したとする．また最大圧力値を設定し，センサ値が最大圧力値を越えた場合はセンサ値を最大圧力値と等しいものとして扱う．閾値 2 つと最大圧力値は簡単な予備実験から設定した．

4.5.3 センサの状態に応じた処理

両圧力センサが加圧状態となった場合，節 3.2.2 で示した左右ページの厚み可視化処理が行われる．そしてページめくり処理が行われた際のめくり速度を決定するために，加圧閾値か

ら最大圧力値までの範囲でそれぞれのセンサ値の割合を求める．その割合に応じて，ページめくり速度も最低値から最大値の間で変化させる．

どちらかのセンサが一定時間以内に把持以上 → 無把持 → 把持以上と状態遷移した場合，簡易ブックマーク処理としてその時開いていたページが保存される．そしてそのセンサの状態が再び無把持に遷移すると，保存していたページの描画が行われると同時にページ情報が破棄される．

4.6 タッチ入力の処理

4.6.1 ページめくりの操作

節 3.2.3 で示したように，左右ページの厚みを可視化している状態でディスプレイの左右どちらかの端で外側へのスワイプを行うと，ページめくり処理が行われる．画面端で外側にスワイプが行われたかどうかは，指の位置座標の差で判断を行う．

この処理の実装には View クラスの OnTouchListener インタフェースを利用する．OnTouchListener インタフェースの onTouch メソッドはタッチディスプレイへの操作で呼び出され，引数に MotionEvent クラスのインスタンスが渡される．これを用いると，そのタッチイベントのアクション (タッチ押下やタッチしたままのスライドなどの操作) やタッチ位置の座標などを取得できる．

まずアクションがタッチ押下だった場合，その位置座標をスワイプ開始位置として保持する．そして同じ指がタッチしたままスライド操作を行った場合その位置座標を取得し，座標が厚み可視化領域内かつスワイプ開始位置よりも外側だった場合ページめくり処理を実行する．

4.6.2 閉じた厚みの可視化操作

節 3.2.2 で示したように，タッチパネル上で両親指を同時に内側へスワイプする動作で，閉じた厚みの可視化処理を実行する．実装には，ピンチイン・ピンチアウトジェスチャの認識に使われる ScaleGestureDetector クラスを用いた．このクラスの OnScaleGestureListener インタフェースはジェスチャ開始時に呼ばれる onScaleBegin メソッド，ジェスチャ中に呼ばれる onScale メソッド，ジェスチャ終了時に呼ばれる onScaleEnd メソッドを持つ．これらのメソッドは引数に ScaleGestureDetector クラスのインスタンスが渡され，これを用いると前回のイベントでの 2 点間の距離との比率や 2 点間の X 軸と Y 軸方向の距離が取得できる．

今回想定される動きは，ディスプレイの左右端からジェスチャが開始され，素早く内側に移動して終了するジェスチャである．そのため，ジェスチャ開始時の 2 点間の X 軸方向距離がある程度離れていて，2 点間の距離が縮まり始めてから一定時間以内にジェスチャ終了した場合に処理を実行するように実装した．

第5章　実験

本章では書籍の閲覧方法として，電子書籍の既存手法と提案手法，加えて実際の書籍のような紙書籍を用い，さまざまな閲覧操作を比較するため，被験者を募り以下のような実験を実施し，アンケートによる回答を得た．

(1) 大域から局所への連続的検索性

(2) 位置情報の視覚的記憶性

(3) 離れたページの参照性

なお，全ての実験の被験者は 23-25 歳の大学院生男子 6 名である．

5.1　実験環境

提案手法の実装環境は，ほぼ節 4.1 で示したものと同様である．しかし端末の Xperia Z4 Tablet が不調であったため，全機能が正常動作することを確認した上で，実験では Nexus10 を端末として使用した．

既存手法としては，Amazon が提供する電子書籍 Kindle の Android 端末用アプリケーションの Kindle for Android を電子書籍リーダーとして使用し，提案手法で使用したものと同じ Nexus10 を端末として使用した．Kindle を選択した理由は，Kindle ストアが利用率の高い電子書籍ストアであること，電子書籍リーダーの標準的な機能を備えていること等である．また電子書籍リーダーの Kindle ではなく Android アプリケーション版を使用した理由は，汎用端末上で扱える等の条件を揃えるためと，標準的な既存リーダーとの比較としては Kindle 端末独自の機能は不要であるためである．

紙書籍としては，A4 用紙にコンテンツを印刷したものを，市販の製本カバーを使って製本したものを用いた．それなりの厚みを持たせるため，A4 用紙は書籍あたり 200 枚ずつ使用した．

5.2　実験 1: 大域から局所への連続的検索性

本実験では，書籍内の大域的な移動と，局所的な移動を連続的に実施し，必要な情報を検索する状況において，既存手法と提案手法，紙書籍について比較をするため実験を行った．既存手法における大域的な移動とはスクロールバーによる移動とし，局所的な移動はスワイプ

によるページめくりとする．提案手法における大域的な移動とは 3.2.2 節にて示した厚み可視化機能からの移動とし，局所的な移動は連続ページめくり機能によるページめくりとする．

実験手順は以下のとおりである．

(i) 被験者は 90 秒前後のショートムービーを 3 回閲覧する (図 5.1) .

(ii) 動画から一定間隔で順番に切り出した静止画で構成された電子書籍上から，実験者が提示する画像 (図 5.2) を探索する．

(iii) 探索方法は自由だが，大域的な移動方法と局所的な移動方法を組み合わせる方法があることを伝える．

(iv) 上記セッションを既存手法，提案手法，紙書籍それぞれについて 10 回実施する．手法ごとの実施順は，3 手法 6 通りの順序を，被験者 6 人で一人一人別の実施順となるようにした．

(v) 実験後にアンケートによる主観的評価を収集する．

図 5.1: 手法間評価実験 1 の動画例

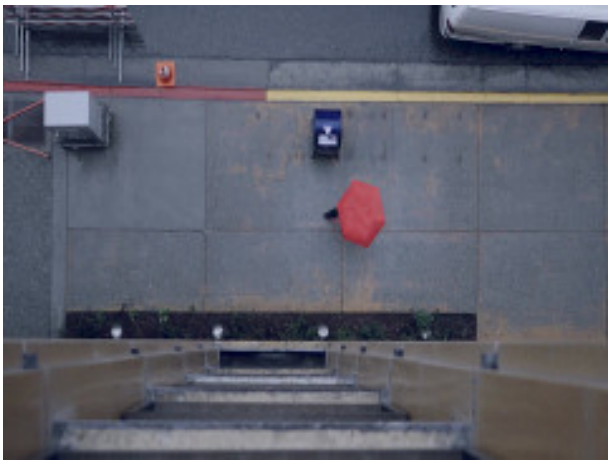


図 5.2: 手法間評価実験 1 の提示画像例

実験 1 にて実施したアンケート項目は以下のとおりとなっている．各項目 1-5 の 5 段階評価によってその主観的な度合いを回答してもらった．

(1-a) 提案システムの閉じた厚みからの検索は直感的に行えましたか？

(1-b) 提案システムの連続ページめくりでの検索は直感的に行えましたか？

(1-c) 既存リーダーのスクロールバーでの検索は直感的に行えましたか？

(1-d) 既存リーダーのスワイプでのページめくりによる検索は直感的に行えましたか？

(1-e) 提案システムの閉じた厚みからの検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

(1-f) 提案システムの連続ページめくりでの検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

(1-g) 既存リーダーのスクロールバーでの検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

(1-h) 既存リーダーのスワイプでのページめくりによる検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

5.3 実験 2: 位置情報の視覚的記憶性

本実験では，提案手法による大域的な位置情報の視覚的な記憶が，位置情報の把握にどの程度寄与するかを確認するため，既存手法と比較実験を行った．大域的な位置情報の視覚的な記憶とは，書籍を読む際に意識せずに知覚される，書籍中の現在位置の，視覚による相対的な位置情報を示している．大域的な視覚記憶として，提案手法ではコンテンツの左右端に表示される厚み可視化 (3.2.2 節参照) による表示を想定している．既存手法でもスクロールバーによる表示が大域的な視覚記憶となるが，スクロールバーは書籍を普通に通読するだけでは表示されないため，今回の実験で表示は行わず，既存手法は大域的な視覚記憶なしでの試行とする．

実験手順は以下のとおりである．

(i) 被験者は用意された 50 ページほどの絵本を読む．

(ii) 読了後，絵本内からページ画像が 5 つ提示され，何ページかを予想する．実験者は予想された答えを記録する．

(iii) 上記セッションを既存手法および，提案手法それぞれについて 5 回実施する．手法ごとの実施順は，2 手法 2 通りの順序を，被験者 6 人で同順序 3 人ずつとなるよう実施した．実験後にアンケートによる主観的評価を収集する．

実験 2 にて実施したアンケート項目は以下のとおりとなっている．各項目 1-5 の 5 段階評価によってその主観的な度合いを回答してもらった．

(2-a) 提案システムの厚み表示は読んでいる位置の把握に役立ちましたか？

(2-b) 既存リーダーでの読書で十分読んでいる位置は把握できましたか？

5.4 実験 3: 離れたページの参照性

本実験では，書籍において，離れたページを参照しながら内容を理解する際の操作性について確認するため，既存手法と提案手法，紙書籍にて比較実験を行った．離れたページとは，問題集などにおける解答記載部分や，小説における登場人物紹介などのように，書籍を読み進めるうえで，適宜参照しながら読解する必要のあるページのことである．この離れたページを既存手法ではスクロールバーやスワイプを利用して参照し，提案手法では 3.2.4 節にて示した簡易ブックマーク機能を利用して参照するものとする．

実験手順は以下のとおりである．

(i) いくつか図形の並んだ画像 (図 5.3a) と，その画像についての問題 10 問 (図 5.3b) が含まれた書籍を用意する．画像は表紙の次 (裏) のページに，問題は最後の方のページにあり，その間には大量の空白ページが挟まれている旨を説明する．

(ii) 被験者は問 1 から順番に，画像を参照しながらなるべく早く問題に解答する．

(iii) 被験者は画像を覚えていて参照せずとも解答できる場合でも，必ず画像ページに移動してから解答してもらう．

(iv) 被験者は問 1 から順番に口頭で回答する．実験者の正誤判定に基づき，正解の場合は次の問いに進む．

(v) 上記セッションを既存手法，提案手法，紙書籍それぞれについて 10 回実施する．手法ごとの実施順は，3 手法 6 通りの順序を，被験者 6 人で一人一人別の実施順となるようにした．実験後にアンケートによる主観的評価を収集する．

実験 3 にて実施したアンケート項目は以下のとおりとなっている．各項目 1-5 の 5 段階評価によってその主観的な度合いを回答してもらった．

(3-a) 提案システムの簡易ブックマークによるページ参照は直感的に行えましたか？

(3-b) 既存リーダーによる離れたページの参照は直感的に行えましたか？

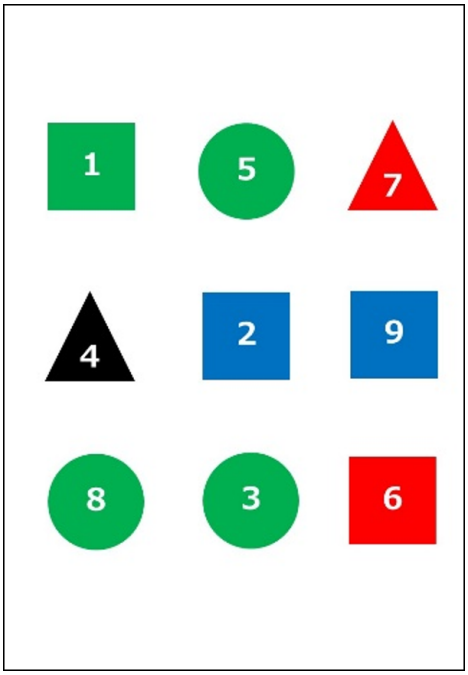
(3-c) 提案システムの簡易ブックマークでのページ参照は紙に近い感覚で行えましたか？

(3-d) 既存リーダーによる離れたページの参照は紙に近い感覚で行えましたか？

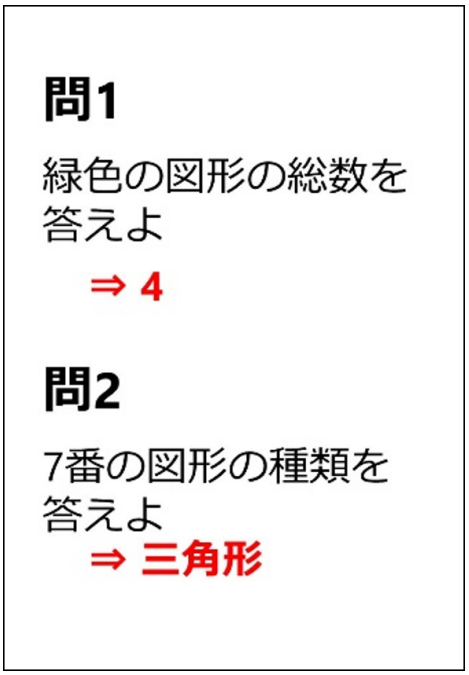
(3-e) 提案システムの簡易ブックマークを使用した離れたページの参照は簡単でしたか？

(3-f) 既存リーダーによる離れたページの参照は簡単でしたか？

(3-g) 紙書籍での離れたページの参照は簡単でしたか？



(a) 図形ページ例



(b) 問題例と回答例

図 5.3: 手法間評価実験 3 の離れたページ参照の例

第6章　実験結果と考察

ここでは，前章における実験の結果と，それぞれに対する考察について議論する．実験結果にて有意差を調べる際は全て t 検定を用いている．

6.1　各実験の主観的評価結果と考察

ここでは各実験の主観的評価結果とその考察について議論する．図 6.1 に各実験におけるアンケートによる主観的評価の結果を示す．横軸は各実験，縦軸は評価の平均を表し，1-a と 1-c, 1-b と 1-d など，3-d までの隣接する 2 項目が提案手法と既存手法の比較になっている．また，3-e,f,g は提案手法，既存手法に加え，紙書籍による手法の比較である．それぞれまとめると下記のような比較である．スコアが高いほどよい評価を示している．

図をみてわかるとおり，それぞれの項目で既存手法と提案手法にあまり有意な差を見出すことはできなかった．しかし 1-e/1-g: 大域的検索の紙書籍との類似性では提案手法が既存手法より $p < 0.01$ の有意差を示しており，提案手法が紙書籍の検索性を模倣できたことがわかる．

1. 1-a/1-c: 大域的検索の直感性
2. 1-b/1-d: 局所的検索の直感性
3. 1-e/1-g: 大域的検索の紙書籍との類似性
4. 1-f/1-h: 局所的検索の紙書籍との類似性
5. 2-a/2-b: 位置情報の視覚的記憶性
6. 3-a/3-b: 離れたページの参照性
7. 3-c/3-d: 離れたページ参照の直感性
8. 3-e/3-f/3-g: 各手法の簡便さ

ここで，得られたコメントからいくつか確認しながら考察をすすめる．得られたコメントは以下ように分類できる．

- 提案手法が現状でも有用
  - 連続的にページをめくれるところがよかった

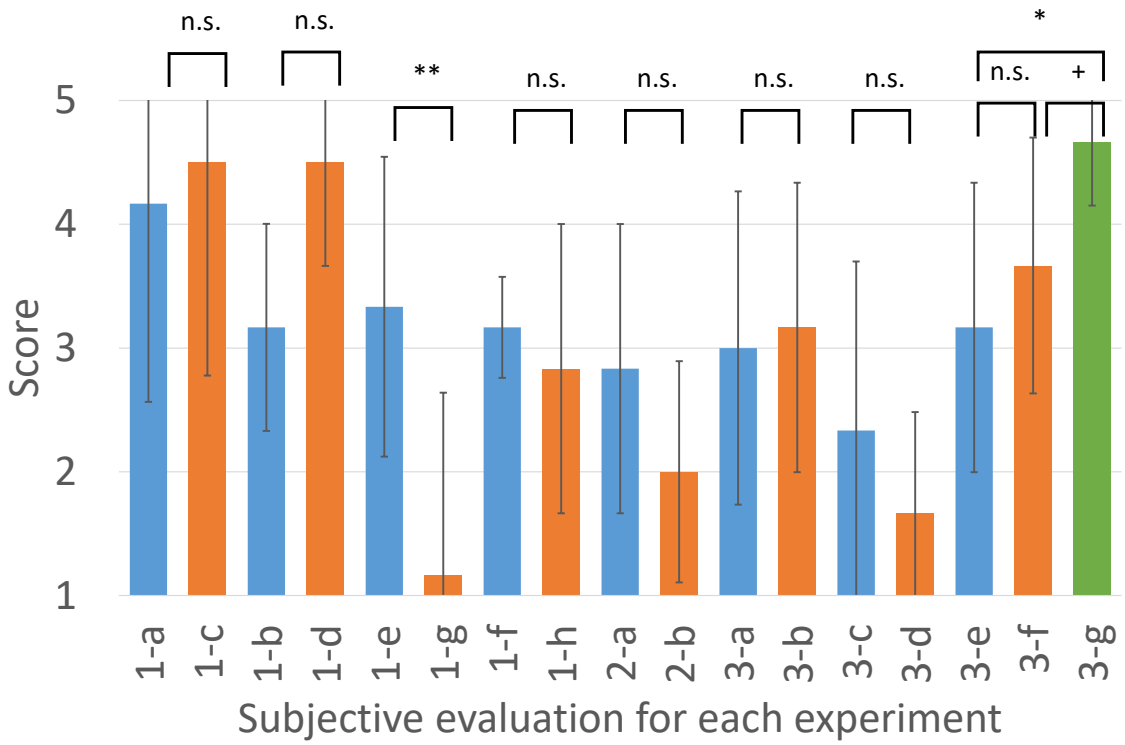


図 6.1: 手法間評価実験の主観的回答結果: 青が提案手法，オレンジが既存手法，緑が紙書籍による結果を示している．($** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1$)

  - ページめくり時の振動フィードバック，めくるアニメーションはよい!
  - 紙書籍での読書の体験は再現したとおもう
  - 既存リーダにない読書感
- 提案手法は慣れれば有用
  - 簡易ブックマークを使用した離れたページの参照は使いなれたら便利だと考える
  - 使い方を覚えれば早く読める
  - ページめくりのジェスチャを逆に画面の内側に押してしまうことがあった
  - 慣れが必要なシステムだと思った
- 改善点
  - センサに厚みがほしい
  - センサを押す感触がもっと欲しかったかも
  - 裏面をおさえたままタッチパネル操作するのが難しかった
  - 圧力センサをつかうと，長時間使用すると疲れを感じるという欠点がある
  - ブックマークしつづけるのは指に負担がかかる 一つ一つのアクションに時間がかかった 指がいたくなる

コメントをまとめると現状での肯定的な意見，慣れればよいという意見，センサについて改善が必要との意見に集約できる．このことから，提案手法の方向性は問題ないものの，センサの実装方法について改善が必要な点，慣れを要するシステムである点が指摘された．

これらとあわせて上記の主観的回答を考察すると，既存手法にくらべて，実装や慣れについて問題がある現状でも既存手法に遜色のない結果が得られたと見ることもできる．すなわち，上記改善点を考慮したシステムであれば，スコアの向上が大きく望めるものと考える．

6.2 実験 1 結果と考察

ここでは実験 1 における定量的な実験結果について示し，考察を加える．実験 1 は，書籍内の大域的な移動と局所的な移動での検索性を調べる目的で，数回動画を見て流れを記憶したうえで，書籍内から提示された静止画を探してもらうものである．大域的な移動として，提案手法では厚み可視化機能からの移動，既存手法ではスクロールバーによる移動を想定している．局所的な移動として，提案手法では連続ページめくりでの移動，既存手法ではスワイプによる移動を想定している．

このときの実験結果として，試行回数ごとの検索時間の推移を図 6.2 に示す．横軸に試行回数，横軸に手法ごとの検索時間の平均をプロットしている．検索時間は画像が提示されてからその画像を見つけるまでに経過した時間である．

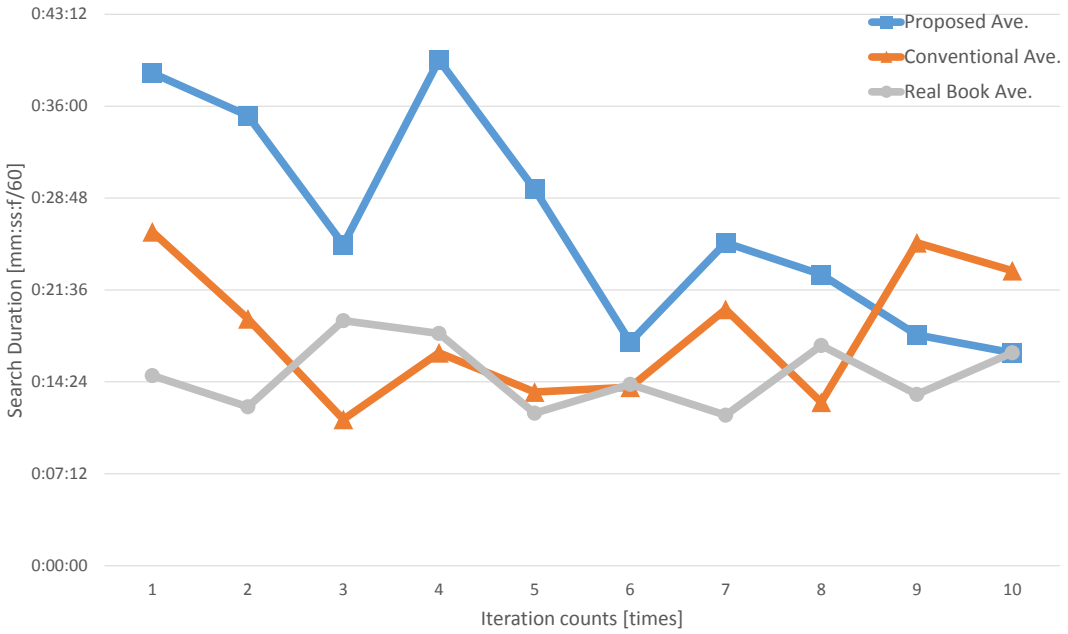


図 6.2: 手法間評価実験 1 の試行回数ごとの検索時間の推移: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している．

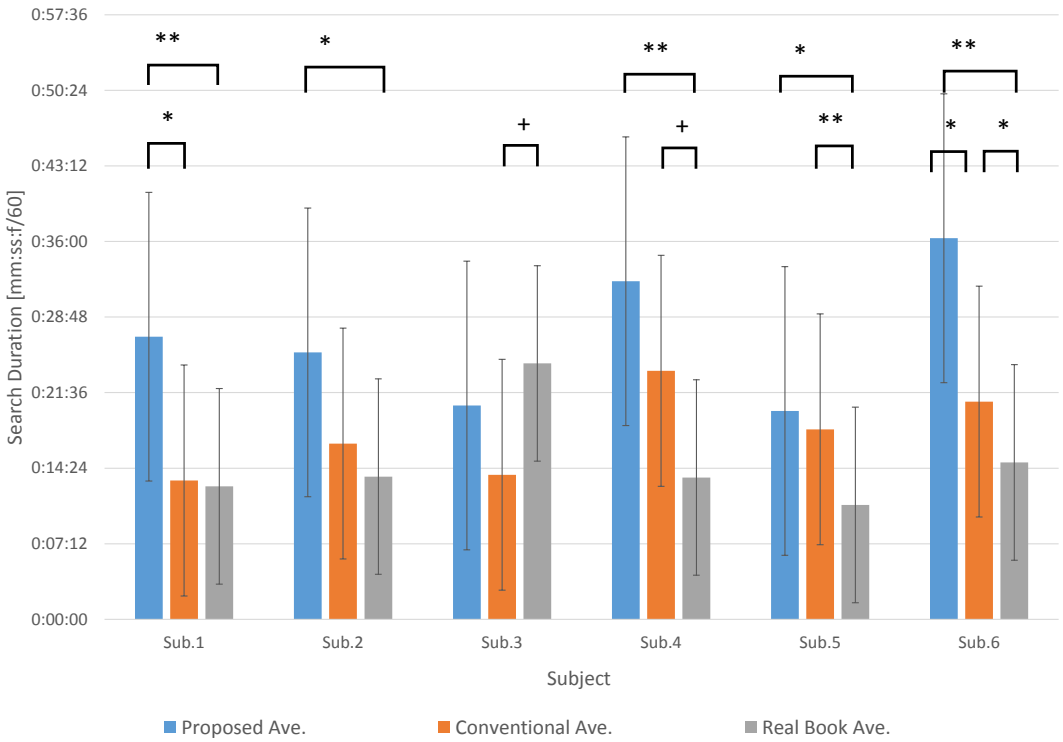


図 6.3: 手法間評価実験 1 の被験者ごとの検索時間の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している．($** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1$)

また被験者ごとの検索時間の比較結果を図 6.3 に示す．横軸に被験者，縦軸に手法ごとの検索時間の平均をプロットしている．

これらの図の通り，他手法と比べ提案手法の検索時間が大幅に長くなるという結果となった．これは主観的評価の結果 (節 6.1 参照) からもわかるとおり，タブレット上では今までにない操作形態であったため，操作に慣れが必要であるためと考えられる．しかし図 6.3 の通り，試行回数を経るごとに検索時間は劇的に短くなってきており，6 回目には他手法に迫るほどになっていることがわかる．このことから，提案手法においても，少しの訓練により効果的に検索を行うことが可能であると考えられる．

6.3 実験 2 結果と考察

ここでは実験 2 における定量的な実験結果について示し，考察を加える．実験 2 は，位置情報の大域的な視覚記憶性を調べる目的で，与えられた書籍を一度通読してもらい，読了後に適当なページの絵を示して記述されてたページを予想してもらうものである．大域的な視覚記憶として，提案手法でのみ，コンテンツの左右端に表示される厚み可視化 (3.2.2 節参照) による表示を想定している．

このときの実験結果を図 6.4 に示す．比例尺度の比較として，横軸に被験者，縦軸に手法ごとの予想ページと正解との誤差率をプロットしている．誤差率とは，$\frac{(\text{正解ページ数})-(\text{予想ページ数})}{\text{全体ページ数}}$ であらわされる誤差の度合いである．誤差率として表記することで，全体ページ数によらない評価尺度にした．誤差率が 0 に近ければ近いほどよい結果を表す．結果から，既存手法，提案手法の間で有意な差は確認できなかった．しかし全体的な傾向として，提案手法では既存手法に比べて，小さいページ数を予想する傾向があることがみてとれる．

また，順序尺度の比較として，手法ごとの予想順序の誤差を比較する．例として，正解のページ順位が 1,2,3,4,5 の場合に，1,2,3,5,4 の順として回答したときには順序を 1 つ間違えたものとしてカウントした．このときの被験者全ての平均順序誤差を図 6.5 にプロットした．有意差は見出せなかったものの，提案手法では既存手法より順序誤差の小さい傾向がみてとれる．

以上の結果をまとめると，提案手法では，既存手法に比べ，小さいページ数を予想する傾向があること，順序誤差について有意差はみられなかったものの誤差を低くおさえる傾向がみられた．

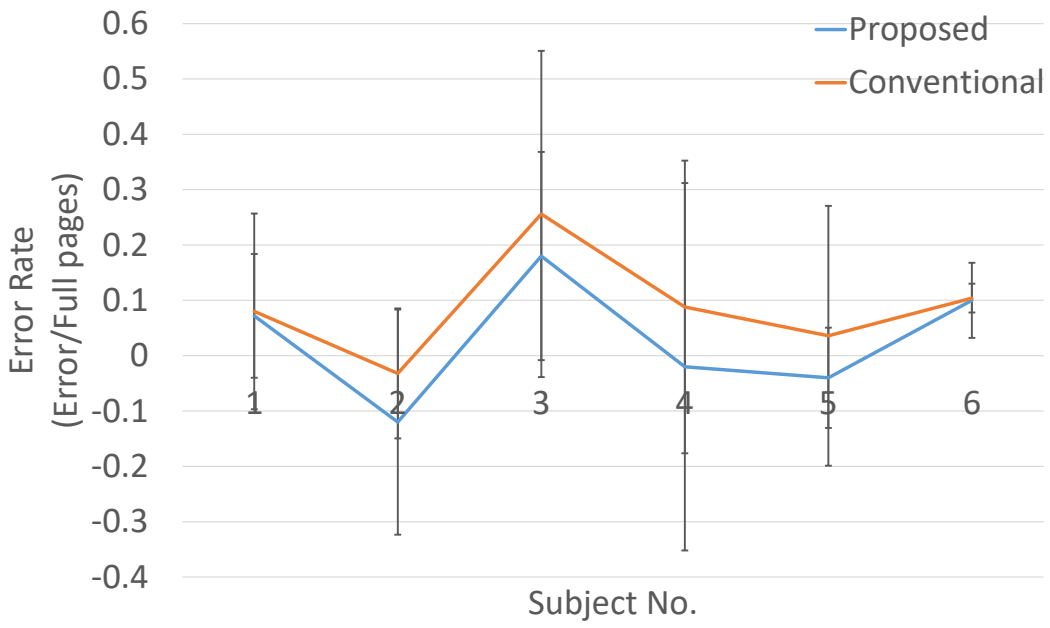


図 6.4: 手法間評価実験 2 の誤差率の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法による結果を示している．

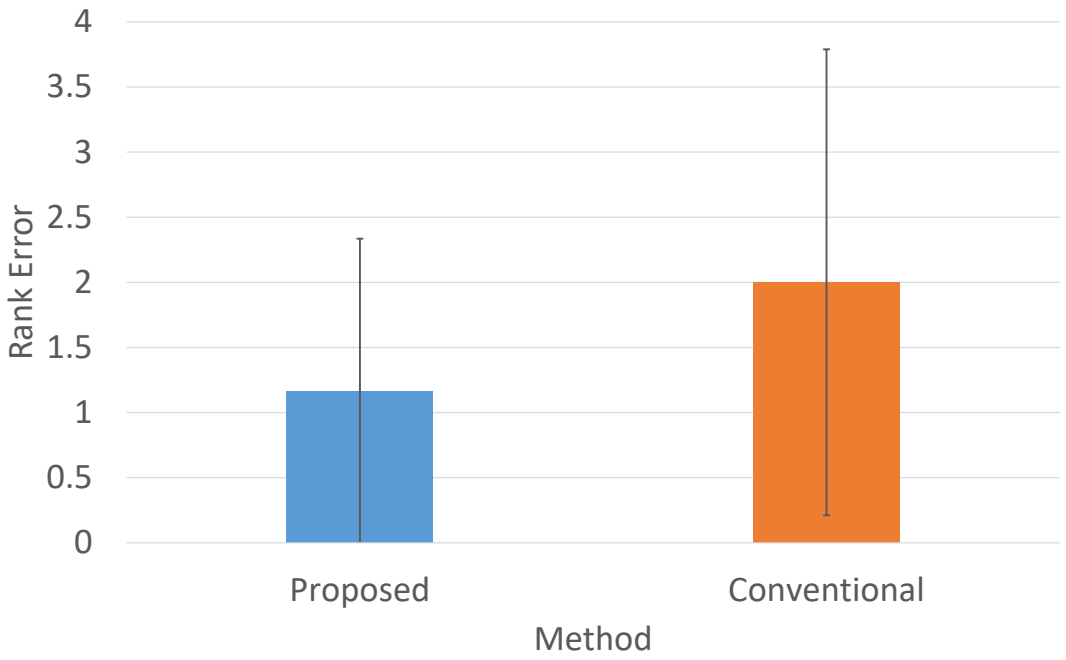


図 6.5: 手法間評価実験 2 の順序誤差の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法による結果を示している．

6.4　実験 3 結果と考察

ここでは実験 3 における定量的な実験結果について示し，考察を加える．実験 3 は，離れたページの相互参照の操作性を調べる目的で，画像ページと問題ページを参照しながら問題に回答してもらうものである．相互参照の方法として，提案手法では簡易ブックマーク機能での移動，既存手法ではスクロールバーやスワイプでの移動を想定している．

このときの実験結果として，試行回数ごとの回答時間の推移を図 6.6 に示す．横軸に試行回数，縦軸に手法ごとの回答時間の平均をプロットしている．回答時間は問題ページを開いてから問題に正答するまでに経過した時間である．ただし，今回の実験では被験者 2 の回答時間が適切に計測できていなかったため，他の被験者 5 名の平均をとっている．

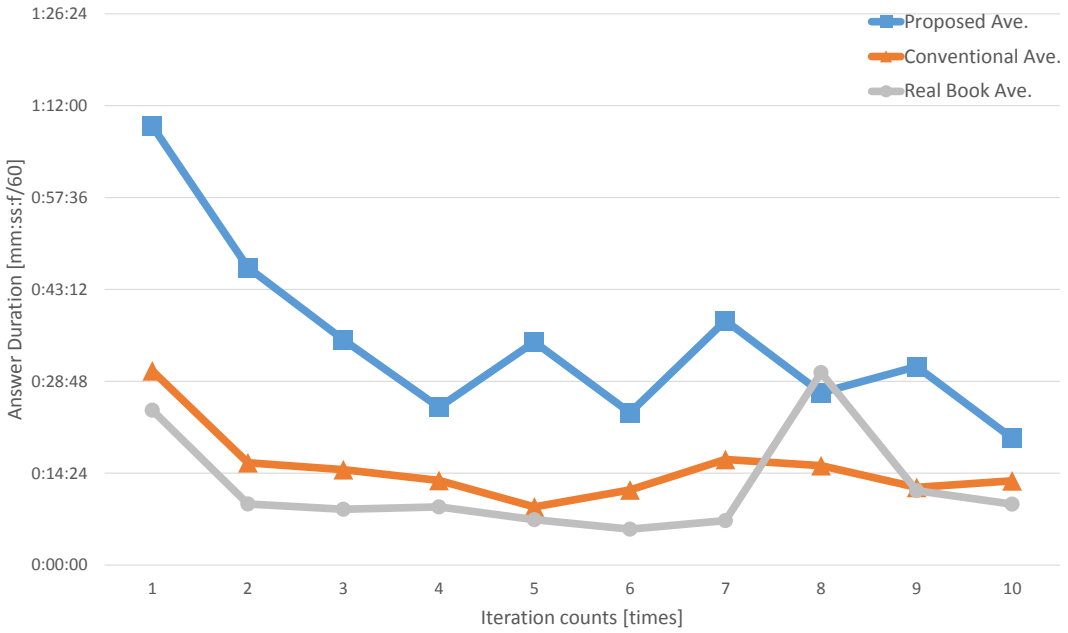


図 6.6: 手法間評価実験 3 の試行回数ごとの回答時間の推移: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している．

また被験者ごとの回答時間の比較結果を図 6.7 に示す．横軸に被験者，縦軸に手法ごとの回答時間の平均をプロットしている．

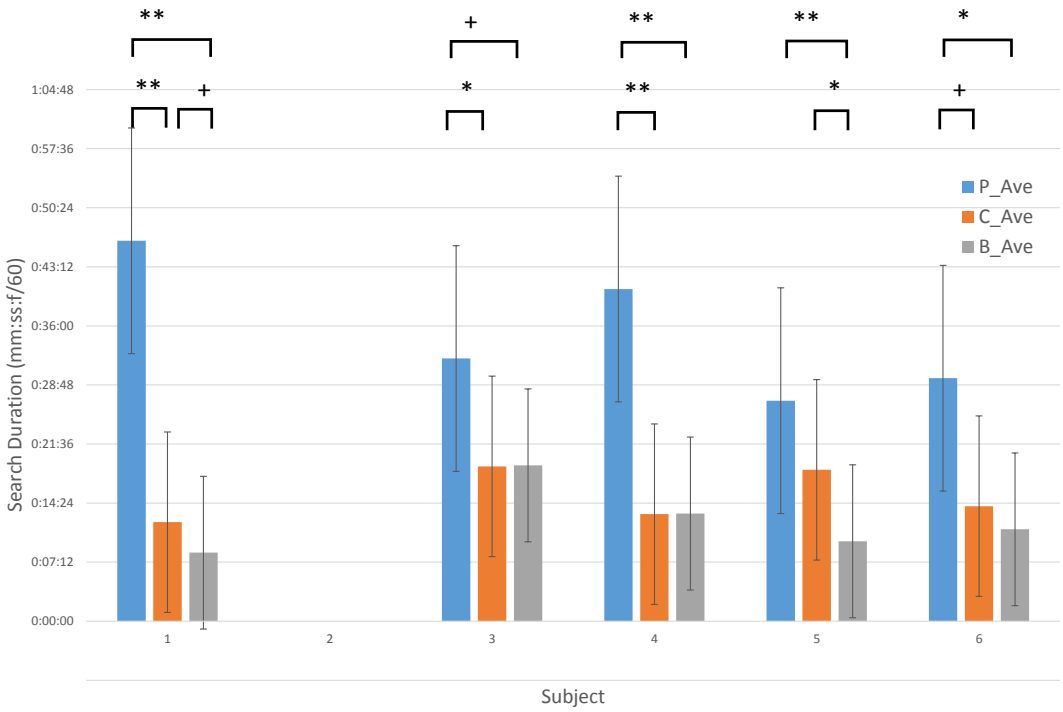


図 6.7: 手法間評価実験 3 の被験者ごとの回答時間の比較: 青が提案手法，オレンジが既存手法，グレーが紙書籍による結果を示している．($** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1$)

これらの図の通り，実験 3 の結果からは，節 6.2 で示した実験 1 の結果と同様の傾向が見られる．つまり，提案手法は他手法と比べ回答時間が大幅に長くなっているが，試行回数を重ねることで他手法と同じくらいまで時間が縮まるというものである．よって，提案手法においても少しの訓練により効果的に交互参照が可能であると考えられる．

第7章　結論

7.1　まとめ

本研究では，紙書籍の柔軟で直感的なナビゲーションを電子書籍にも取り入れることにより，操作性を向上させることを目指した．その際，端末の特殊化や大型化により電子書籍独自の利点が失われることを防ぐため，最低限の機器で紙書籍ナビゲーションを再現する手法を提案し，プロトタイプシステムを開発した．タブレット端末と圧力センサ2つ，そしてセンサ値を取得するマイコンのみを使用し，紙書籍と似た持ち方と操作手法で電子書籍を扱う．

紙書籍のナビゲーションには，厚みによる情報提示，曲げによるページめくり，指を挟むだけの軽量なブックマーク等の機能が大きく関わると考えられる．それらに似た機能を電子書籍上でも実装することで，紙書籍のナビゲーションを再現した．紙書籍背面に添えている指で行うような操作は，端末背面に設置した圧力センサへの入力を，紙書籍前面で親指などで行うような操作は，タッチディスプレイへのタッチ操作を代わりとして，機能を扱えるようにした．

プロトタイプ実装後，提案手法の評価のため実験を実施し，アンケートによる回答を得た．行った実験は大域から局所への連続的検索性の実験，位置情報の視覚的記憶性の実験，別ページの参照性の3種類である．実験1と3は，提案手法と既存の電子書籍リーダー，そして紙書籍の3手法で行い，実験2は提案手法と既存手法の2手法で行った．実験後のアンケートでは，主に提案手法と既存手法のそれぞれの操作の性能について質問を行った．結果，ほとんどの項目で既存手法と提案手法にあまり有意な差を見出すことはできなかったが，一部の項目では提案手法が既存手法より有意に高評価であった．また提案手法に対するコメントは，肯定的な意見，慣れれば有用という意見，センサは要改善との意見に集約された．加えて実験時の計測から得られた定量的な結果からは，提案手法は試行回数を重ねるごとに結果が良くなる，つまり慣れによって結果が改善される傾向がみられた．以上のことから，提案手法は現状でも既存手法と遜色なく，実装や慣れについての問題を改善すれば更なるスコアの向上が望めると考えられる．

7.2　今後の展望

今回行った実験の主観的評価で，あまり有意な差を見いだせなかった原因として，被験者6名とサンプル数が少なかったことも大きく影響していると考えられる．今後の展望としては更に実験を重ね，より厳密な評価を求めていくことが考えられる．

また今回の実験で指摘された通り，センサやシステムへの慣れに関する改善点がまだまだ存在する．システムの実用性を向上させるためには，指摘された点の改善はもちろん，予備実験等を行い実装をより直感的で慣れの必要ないものに最適化させていく必要がある．

最後に，今回実装したプロトタイプシステムでは，圧力センサの値を取得するマイコンが固定されておらず，配線も整理されていない．本研究の目的には，高い携帯性という電子書籍の利点を損なわないことも含まれているため，マイコンや配線の小型化や，端末との通信及び固定方法も適したものを考える必要がある．

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である高橋伸先生を始め，嵯峨智先生，志築文太郎先生，昨年度の指導教員であった田中二郎先生には，ゼミを通して多くの御指導や御意見を頂きました．特に本年度直接ご指導いただいた嵯峨智先生には，精神的に不安定だった時期にも丁寧な御指導や御助言，お力添えを頂きました．お世話になった先生方へ，心より感謝申し上げます．またインタラクティブプログラミング研究室の皆様には，研究への御助言や実験への御協力等幾度もお世話になりました．この二年間共に研究生活を過ごした皆様にも，この場を借りてお礼申し上げます．

参考文献

[1] インプレス総合研究所編. 電子書籍ビジネス調査報告書 2016. 株式会社インプレス, 2016.

[2] 西田宗千佳. 電子書籍革命の真実 未来の本 本のミライ. 株式会社エンターブレイン, 12 2010.

[3] 中西秀彦. 電子書籍は本の夢を見るか: 本の未来と印刷の行方. 印刷学会出版部, 2 2015.

[4] 長谷川秀記. 日本の電子出版 30 年の軌跡 : 電子辞書・電子書籍の黎明期から現在まで. 情報管理, Vol. 59, No. 9, pp. 587–598, 2016.

[5] 大橋弘, 泉克幸, 田中辰雄, 上田昌史, 山田弘, 田邊貴紀, 塩友樹, 山崎和久, 柳田千春. 電子書籍市場の動向について, 2013.

[6] 渡部和雄. 電子書籍利用者と紙書籍利用者の意識や行動の差異に関する研究. 日本印刷学会誌, Vol. 52, No. 1, pp. 061–068, 2015.

[7] 内木哲也, 明星聖子. 情報システム視点からの電子書籍出版に関する考察. 情報処理学会研究報告情報システムと社会環境（IS）, Vol. 2004, No. 53, pp. 43–50, may 2004.

[8] 佐々木隆一. 電子書籍ビジネスの現状と課題. 日本印刷学会誌, Vol. 43, No. 2, pp. 94–97, apr 2006.

[9] 渡部和雄. 消費者調査に基づく電子書籍に対する意識の分析と利用促進策. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 11, pp. 2487–2497, nov 2014.

[10] 岡田謙一, 松下温. 本メディアを越えて : bookwindow. 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 3, pp. 468–477, mar 1994.

[11] Abigail J.Sellen, Richard H.R.Harper, 柴田博仁, 大村賢悟. ペーパーレスオフィスの神話 : なぜオフィスは紙であふれているのか？ 創成社, 2007.

[12] 筑瀬重喜. 読書端末はなぜ普及しないのか. 情報化社会・メディア研究, Vol. 5, pp. 33–40, 2008.

[13] 矢口博之, 植村八潮. 電子書籍ユーザ意識調査による普及要因分析の試み. 出版研究, No. 42, pp. 123–142, 2011.

[14] 新川達矢, 岩楯麻由, 松山恵理, 山田光穂. アンケートと行動分析による電子書籍と紙書籍の比較. 電子情報通信学会技術研究報告. IMQ, イメージ・メディア・クオリティ, Vol. 112, No. 40, pp. 19–22, may 2012.

[15] 菅谷克行. 読書媒体の違いが読解方略に及ぼす影響. 人文コミュニケーション学科論集, No. 20, pp. 101–120, mar 2016.

[16] 株式会社マクロミル. 電子書籍に関する調査, 2016.

[17] 柴田博仁, 大村賢悟. 答えを探す読みにおける紙の書籍と電子書籍端末の比較. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）, Vol. 2011, No. 5, pp. 1–8, jan 2011.

[18] 高野健太郎, 大村賢悟, 柴田博仁. 短編小説の読みにおける紙の書籍と電子書籍端末の比較. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）, Vol. 2011, No. 4, pp. 1–8, jan 2011.

[19] 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—. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）, Vol. 2012, No. 29, pp. 1–7, mar 2012.

[20] 塙拓朗, 西内信之, 橋爪絢子. J-044 情報探索における電子書籍と紙書籍の比較評価 (j 分野:ヒューマンコミュニケーション&インタラクション, 一般論文). 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 12, No. 3, pp. 481–482, aug 2013.

[21] 松山麻珠, 池内淳. 表示媒体の違いが誤りを探す読みに与える影響. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）, Vol. 2015, No. 2, pp. 1–8, mar 2015.

[22] Dongwook Yoon, Yongjun Cho, Kiwon Yeom, and Ji-Hyung Park. Touch-bookmark: A lightweight navigation and bookmarking technique for e-books. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, pp. 1189–1194, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[23] Sangtae Kim, Jaejeung Kim, and Soobin Lee. Bezel-flipper: Design of a light-weight flipping interface for e-books. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, pp. 1719–1724, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[24] Maribeth Back, Jonathan Cohen, Rich Gold, Steve Harrison, and Scott Minneman. Listen reader: An electronically augmented paper-based book. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, pp. 23–29, New York, NY, USA, 2001. ACM.

[25] Hiroki Yamada. Sequencebook: Interactive paper book capable of changing the storylines by shuffling pages. In *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '10, pp. 4375–4380, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[26] 光永法明, 米澤朋子, 田近太一. 一枚の紙束 (taba): 電子ペーパの未来に向けたフリップインタフェース. インタラクション 2008 論文集, pp. 39–40, 2008.

[27] Junichiro Watanabe, Arito Mochizuki, and Youichi Horry. Bookisheet: Bendable device for browsing content using the metaphor of leafing through the pages. In *Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '08, pp. 360–369, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[28] Paul Strohmeier, Jesse Burstyn, Juan Pablo Carrascal, Vincent Levesque, and Roel Vertegaal. Reflex: A flexible smartphone with active haptic feedback for bend input. In *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '16, pp. 185–192, New York, NY, USA, 2016. ACM.

[29] Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh, and Hiroyuki Kidokoro. Paranga: An electronic flipbook that reproduces riffling interaction. *Int. J. Creat. Interaces Comput. Graph.*, Vol. 4, No. 1, pp. 21–34, January 2013.

[30] 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 論文集, pp. 123–130, 2011.

[31] OpenGL ES. https://www.khronos.org/opengles/.

[32] harison. android_page_curl. https://github.com/harism/android_page_curl/.

[33] Physicaloid. http://www.physicaloid.com/.

付 録 A　実験同意書

電子書籍における紙書籍ナビゲーション再現システムの性能評価実験のお願い

文責：古田島 裕斗

この度は実験にご協力いただき，ありがとうございます.

- 本実験の目的は，電子書籍上で紙書籍のナビゲーションを再現するシステムの性能を既存の電子書籍や紙書籍と比較し評価することです.

- 実験中に，写真及び動画の撮影を行う場合がありますが，これらは実験の様子を記録するために行います．その写真を発表において利用する場合は，本人の確認を得た上で，研究目的においてのみ利用いたします.

- この実験によって得られたデータは，個人が特定できないように処理いたします.

- 実験への参加は，協力者の自由意思によるものであり，実験への参加を随時拒否・撤回することができます.

- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが，いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます.

平成　　年　　月　　日

被験者　所属＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　署名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

説明者　所属　システム情報工学研究科＿＿＿　署名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

付 録B　実験事前アンケート

実験前 事前アンケート

文責：古田島 裕斗

1. 年齢，性別，利き手についてお答えください.

年齢：＿＿歳　　性別： 男・女　　利き手：右・左

2. 普段使用しているスマートフォンの機種は何ですか？

（例：iPhone4S，docomo Galaxy SⅡ，docomo AQUOS PHONE ZETA SH-01F)

3. 電子書籍を利用したことはありますか？

普段から利用している・利用したことがある・ない

4. 以降は普段から利用している・利用したことがある方に質問です.

電子書籍の利用歴はどのくらいですか？

＿＿＿年＿＿＿ヵ月

5. 電子書籍はどの端末で利用していますか？（複数回答可）

□ スマートフォン　　□ 専用端末

□ タブレット　　□ PC

6. タブレット・専用端末で利用している方に質問です.

利用しているタブレット・専用端末の機種は何ですか？

（例：iPad Air2，Nexus 7，Kindle Paperwhite)

付 録 C　実験説明書

実験に関する説明

- 提案システムと既存電子書籍リーダー（今回は Kindle アプリ），そして紙書籍を用いて後述の 3 種類の実験タスクを行っていただきます（実験 2 は提案システムの既存リーダーの 2 つのみ）.
- まず提案システムについて説明します.
  - 提案システムはタブレット端末にて動作する電子書籍閲覧システムです．操作には端末のタッチディスプレイと，端末背面に設置された 2 つの圧力センサを用います（図 1）.
    本システムは紙書籍のナビゲーション再現として大きく 3 つの機能を持ちます.

図 1．システム外観

厚み可視化機能

- 厚み可視化機能とは，電子書籍のページ数に応じて線や矩形を表示する機能です.
- 本を曲げるように背面の圧力センサに力を加えると，ディスプレイの左右端に前後のページ数に応じた擬似的な厚みを表示します（図 2）.
- また本を閉じるようにディスプレイの左右から中央に向かってスワイプを行うと，書籍の総ページ数に応じた閉じたような厚みを表示します．この厚み表示をタップすると，タップ位置に応じたページに移動することができます（図 3）.

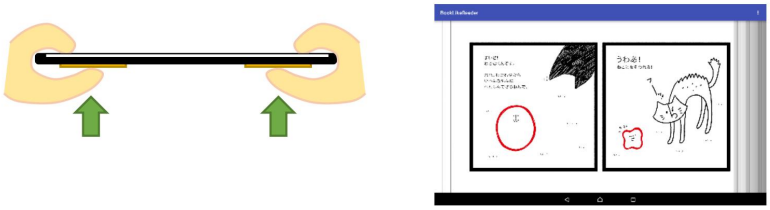


図 2．前後ページの厚み可視化

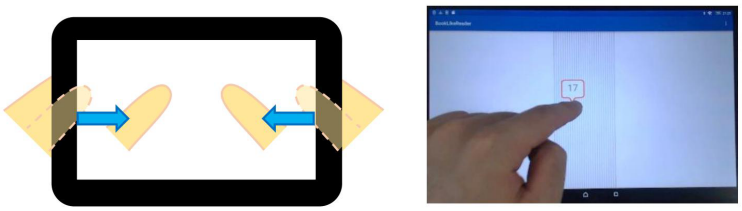


図 3．閉じた厚み可視化

連続ページめくり機能

- 連続ページめくり機能とは，一定の入力を続けることでページを連続的にめくる機能です．
- 本を曲げ親指の位置を動かしてページをめくるように，圧力センサに力を加えた状態でディスプレイ端付近から外側へ向かってスワイプを行うと，そちら側のページがめくられます(図 4)．めくる速さはめくる側の圧力センサへ加える力で変化します．

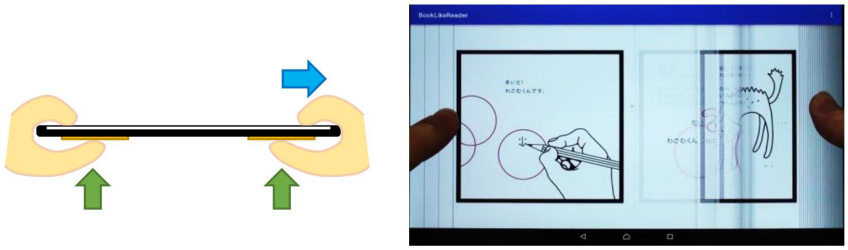


図 4．連続ページめくり

簡易ブックマーク機能

- 簡易ブックマーク機能とは，圧力センサをダブルタップすることで開いていたページを一時的にブックマークする機能です．ブックマークは圧力センサに触れ続けている間維持され，手を離すとブックマークが破棄されると共にブックマークしていたページを開きます．ブックマークはセンサ 1 個につき 1 回の計 2 回まで同時に行えます．

- 既存の電子書籍リーダーの基本的な操作について説明します.
  - 電子書籍リーダーは一般的にスワイプを行って 1 ページずつページを進めます.
  - また画面中央付近をタッチすることでメニュー等が表示されます．この時画面下部に表示されるスクロールバーを動かすことでページを一気に移動することができます.

- 次に実施してもらう 3 種類の実験タスクについて説明します.

タスク 1　提示された画像の検索

- はじめに 1 分半ほどの動画を 3 回流しますので，だいたいの流れを覚えてください.
- その動画からほぼ一定間隔で順番に切り出した静止画で構成された書籍が用意されます.
- 実験者が画像を提示するので，なるべく早く書籍内から画像があるページを探してください.
- 基本的に閉じた厚み表示やスクロールバーなどの一気に移動する方法でおおまかに画像位置に近づき，その後ページめくりで詳細に探すようにしてください．もちろんその方法だと効率が悪いと考えられる状況ならその限りではありません.
- 画像は 1 ページに 1 枚で，書籍を開いた状態では左右に 2 ページ表示されるので，どちらかに提示画像が表示されていれば OK です.
- 画像を見つけたら実験者に声をかけてください．次に探す画像を提示します.
- 画像の検索 10 回を 1 セッションとし，提案手法・既存リーダー・紙書籍の 3 手法ごとに 1 セッションの計 3 セッション行います.
- 提示画像 10 枚はセッションごとに変わりますが，検索を行う書籍の内容は全て同じです.

タスク 2　物語の時系列の把握

- まず用意された 50 ページほどの絵本を読んでください.
- 読了後，絵本内からページ画像が 5 つ提示されます.
- 提示された画像がそれぞれ何ページ目のものか予想し答えてください.
- 絵本内にページ数は表記されていませんが，画像提示時に総ページ数も示されるのでそれを参考にしてください.
- 解答にはそこまでの正確性は求めないので，絵本を読む際はページ数を数えながら読んだりせず，おおまかな時系列を覚える程度で自然に読んでください.
- 絵本 1 冊の読了と画像 5 つの解答で 1 セッションとし，提案手法・既存リーダーで計 2 セッション行います.

タスク 3　離れたページを参照しての問題解答

- 何個も図形の並んだ画像と，その画像についての問題 10 問が含まれた書籍が用意されます．
- 画像は表紙の次(裏)のページに，問題は最後の方のページにあり，その間には大量の空白ページが挟まれています．
- 問 1 から順番に，画像を参照しながらなるべく早く問題に解答してください．
- 画像を覚えていて参照せずとも解答できる場合でも，必ず画像ページに移動してから解答してください．
- 解答は問 1 から順番に口頭で行ってください．実験者が正誤判定をするので正解だった場合は次の問いに進んでください．
- 図 7 に画像と問題の例を示します．画像内の図形は一意な番号が与えられています．形状は円・四角形・三角形の 3 種，色は赤・青・緑・黒の 4 種です．
- 問題の意図が不明だった場合は実験者に問い合わせてもかまいません．
- 問題 10 問で 1 セッションとし，提案手法・既存リーダー・紙書籍で計 3 セッション行います．
- 提案手法でのセッションでは，画像ページと問題ページの行き来に必ず簡易ブックマークを用いてください．ただし初回問題ページへ移動する際と，誤動作等で簡易ブックマークが外れてしまった場合は例外とします．

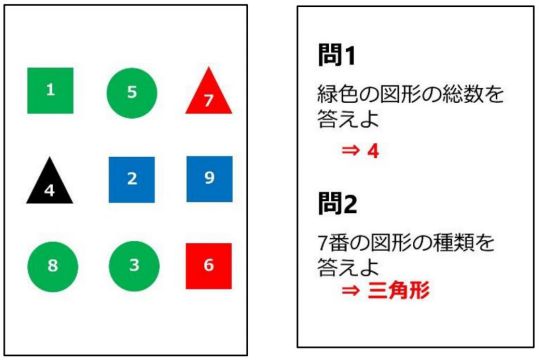


図 7．画像と問題の例

□　実験全体の進行手順を示します.

実験手順

1. まずは提案システムの上記 3 機能を使う練習をしてください．十分問題なく扱えるようになったら次に進みます.
2. そのまま同じ端末で既存電子書籍リーダーの練習をしてください.
3. そちらも問題なく扱えるようになったら練習を終え実験タスクを開始します.
4. それぞれのタスク開始前にもう一度内容の確認を行います.
5. タスク 1 を 3 セッション，タスク 2 を 2 セッション，タスク 3 を 3 セッション行ってください．セッション間には最低 1 分の，タスク間は最低 3 分の休憩をとります.
6. 全タスク終了後にはアンケートに回答してください.

付 録D　実験後アンケート

実験に関するアンケート

文責：古田島 裕斗

1. 実験タスク 1 についてお答えください.

・提案システムの閉じた厚みからの検索は直感的に行えましたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・提案システムの連続ページめくりでの検索は直感的に行えましたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・既存リーダーのスクロールバーでの検索は直感的に行えましたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・既存リーダーのスワイプでのページめくりによる検索は直感的に行えましたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・提案システムの閉じた厚みからの検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・提案システムの連続ページめくりでの検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・既存リーダーのスクロールバーでの検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

（そう思う）　5・4・3・2・1　（まったく思わない）

・既存リーダーのスワイプでのページめくりによる検索は，紙での検索に近い操作感でしたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

2. 実験タスク 2 についてお答えください.

・提案システムの厚み表示は読んでいる位置の把握に役立ちましたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・既存リーダーでの読書で十分読んでいる位置は把握できましたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

3. 実験タスク 3 についてお答えください.

・提案システムの簡易ブックマークによるページ参照は直感的に行えましたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・既存リーダーによる離れたページの参照は直感的に行えましたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・提案システムの簡易ブックマークでのページ参照は紙に近い感覚で行えましたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・既存リーダーによる離れたページの参照は紙に近い感覚で行えましたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・提案システムの簡易ブックマークを使用した離れたページの参照は簡単でしたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・既存リーダーによる離れたページの参照は簡単でしたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

・紙書籍での離れたページの参照は簡単でしたか？

（そう思う）　５・４・３・２・１　（まったく思わない）

4. 今回実施した実験について改善点や気になった点，感想等をご記入ください.

気になった点・改善点 感想等

5. 提案システムについて，良かった点，改善点，感想等をご記入ください。

良かった点 改善点・気になった点 感想等

アンケートは以上になります．ご協力ありがとうございました.