

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^{1,a)} 嵯峨 智² 高橋 伸² 田中 二郎³

概要: 近年情報端末上で閲覧する電子書籍が広く普及している。電子書籍は独自の利点を持っているが、従来の紙書籍も多くの利点を持ち、特にページめくりのような自由度の高いナビゲーションは比較の場においてたびたび取りあげられる。本研究では電子書籍上で、紙書籍のような柔軟で直感的なナビゲーションを再現することで、操作性を向上させる手法を提案する。本手法ではタブレット端末と端末背面に設置した圧力センサのみを用いることで、電子書籍の利点を保ったまま、柔軟なページめくり等のナビゲーションを実現する。また本手法を取り入れた電子書籍閲覧システムを実装し、数種類の評価実験を行った。その結果、本手法は多少の改善点は挙げられるが既存の電子書籍リーダーと遜色なく、改善を行えば更なる高評価が望めると分かった。

1. はじめに

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。2015年度の市場規模は前年度比で25.1%増加しており、今後も市場規模は拡大していくと予測されている [1]。

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。例えば、携帯性が高い、物理的な保管場所を取らないなどである。

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。紙書籍独自の利点として、高速かつ大量なページ移動、移動の速さや方向を柔軟に変えられること、ページをめくった感覚のフィードバック、厚みからページの位置の把握、容易なしおり操作などがあげられる [2], [3], [4]。

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 [5], [6], [7], [8]。

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。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操作性も向上させることができると考えられる。

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。

2. 関連研究

本節では、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について、いくつか紹介する。

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岡田らによる本メタファの研究 [2] や、Yoon らによる、タッチディスプレイでのブックマーク [9]、Kim らによるベゼルスワイプ操作を用いたページめくりなどが提案されてきた [10]。

また、紙や紙のような素材によるデジタルコンテンツ操作手法として、Back らや Yamada による RFID タグの入った紙書籍での操作や [11], [12]、光永らや Watanabe による、表示装置周辺への曲げセンサやプラスチックシートを用いたページめくり [13], [14]、Strohmeier らによる、フレキシブルタッチスクリーンの曲げによる操作 [15] などが提案されている。

その他、物理的なページめくりと感触再現として Fujita

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

³ 早稲田大学大学院情報生産システム研究科

Graduate School of Information, Production and systems, WASEDA University

a) kotajima@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

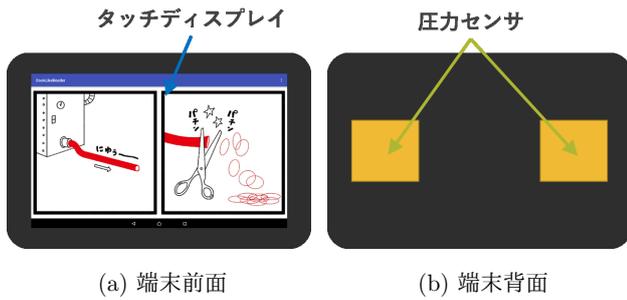


図 1: 使用機器

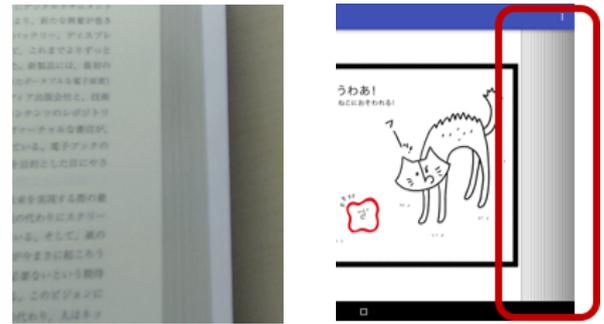


図 2: 厚みによる情報提示

らによるローラ寄稿を用いた触覚再現 [16] や、井澤らによる、PET フィルムとタブレット端末によるページめくりの研究 [17] などがあげられる。

これらの過去研究では使用する機器がより多くより特殊になるほど、実装したナビゲーションがより紙書籍に近いものとなる傾向がある。しかし端末の特殊化・大型化が進むと、高い携帯性等の電子書籍の利点が失われてしまう。これらに対して本研究では、最低限の機器のみで最大限紙書籍のナビゲーションを再現することで、電子書籍の利点を保ったまま操作性を向上させる。

3. システム設計

本節では、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を紹介し、これらの機能の振る舞いやもたらす効果を分析した上で、電子書籍上で同様の効果を実現する手法を示す。

またそれらの手法では、タブレット端末と圧力センサを使用する。タブレット端末は紙書籍と大きさが近いので、同じように持つことができる。端末前面への入力タッチディスプレイで、背面への入力は新たに設置した圧力センサをで検知する (図 1)。

3.1 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 (図 2a)。このような厚みにより、書籍を開いても閉じていても、書籍総量の把握と、現在位置のおおまかな推定が可能となる。

本機能を実現するため、我々の提案するシステムにおいても、開いているときと閉じているときそれぞれで厚み情報を可視化して表示する。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 2b)。また閉じているときの厚みの表示では、厚みをタップすることでタップ位置に応じたページへ移動することもできる。

3.2 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 3a)。この

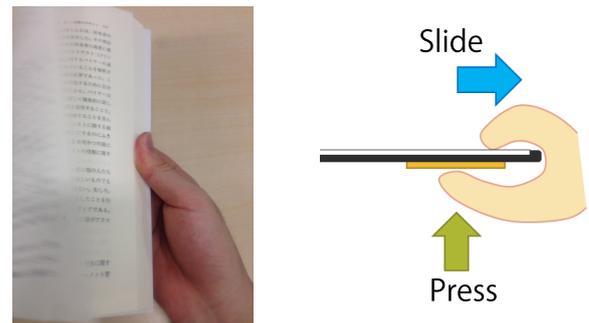


図 3: 曲げによるページめくり

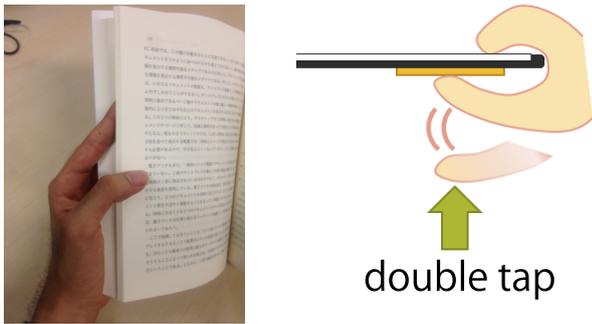
ページめくり方法により、紙書籍では連続したページめくり、めくる速度の力による調整、視触覚的なフィードバックが実現できる。

これを実現するため、我々は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と仮定し、それを考慮して実装を行った。図 3b のように、センサへの加圧とディスプレイ外側へのスワイプを入力とし、入力中連続的にページめくりが行われる。めくるスピードはセンサへ加える力に応じて変化する。

3.3 軽量のブックマーク

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より軽量のブックマークを行うことも可能である。

この機能を実現するため、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実装を提案する。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、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



(a) 紙書籍でのブックマーク (b) 提案手法でのブックマーク
図 4: 軽量のブックマーク

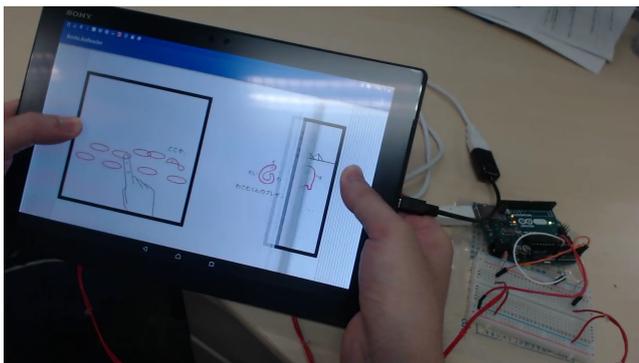


図 5: プロトタイプ外観

る間ブックマークを維持し、他のページへ移動した後に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。

4. システム実装

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 Android 6.0 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 Windows 8.1 の PC 上で、Android Studio 2.1.0 と Arduino IDE 1.6.5 にて開発を行った。プロトタイプの外観を図 5 に示す。

5. 実験

本節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。

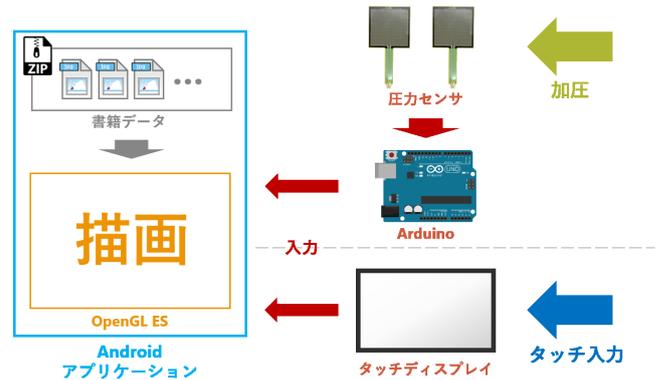


図 6: システム構成と処理の流れ



図 7: 連続的検索性実験の動画例

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 を実験端末上で使用した。

5.1 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 3.1 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 7)。
- (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 8) 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。

5.2 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。

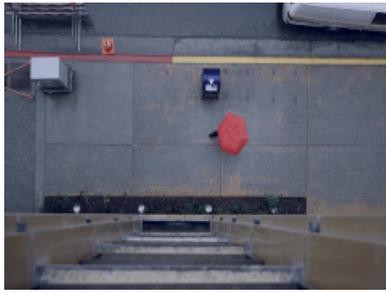


図 8: 連続的検索性実験の提示画像例

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(3.1節参照)による表示を想定している。

実験手順は以下のとおりである。

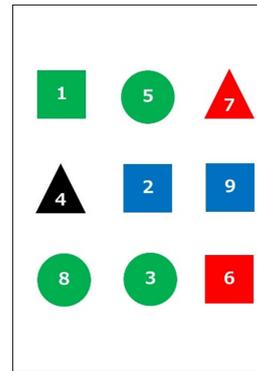
- (i) 被験者は用意された 50 ページほどの絵本を読む。
- (ii) 読了後、絵本内からページ画像が 5 つ提示され、何ページかを予想する。実験者は予想された答えを記録する。
- (iii) 上記セッションを既存手法および、提案手法それぞれについて 5 回実施する。手法ごとの実施順は、2 手法 2 通りの順序を、被験者 6 人で同順序 3 人ずつとなるよう実施した。実験後にアンケートによる主観的評価を収集する。

5.3 離れたページの参照性

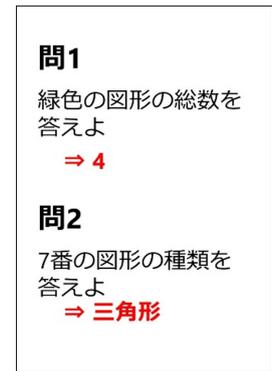
本実験では、書籍において、離れたページを参照しながら内容を理解する際の操作性について確認するため、既存手法と提案手法、紙書籍にて比較実験を行った。離れたページとは、問題集などにおける解答記載部分や、小説における登場人物紹介などのように、書籍を読み進めるうえで、適宜参照しながら読解する必要のあるページのことである。この離れたページを既存手法ではスクロールバーやスワイプを利用して参照し、提案手法では 3.3 節にて示した簡易ブックマーク機能を利用して参照するものとする。

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 9a)と、その画像についての問題 10 問(図 9b)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



(a) 図形ページ例



(b) 問題例と回答例

図 9: 手法間評価実験 3 の離れたページ参照の例

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。

6. 実験結果と考察

ここでは、前節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。

6.1 全体を通しての主観的評価

図 10 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。

- (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

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。

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のように分類できる。

- 提案手法が現状でも有用

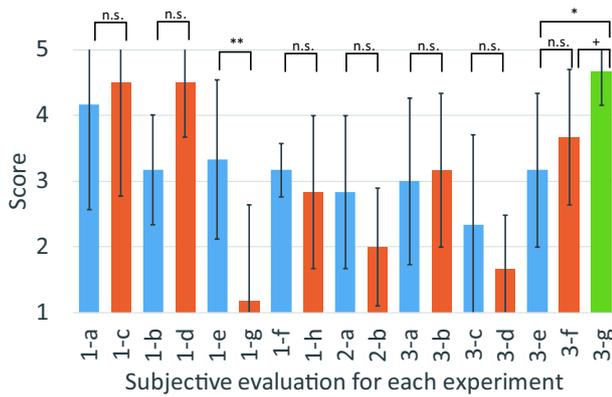


図 10: 手法間評価実験の主観的評価結果: 青が提案手法, オレンジが既存手法, 緑が紙書籍による結果を示している. (** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, + : $p < 0.1$)

- 連続的にページをめくるところがよかった
- 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

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評価を考察すると, 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られる.

6.2 実験 2 の結果と考察

実験 2 の結果を図 11 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

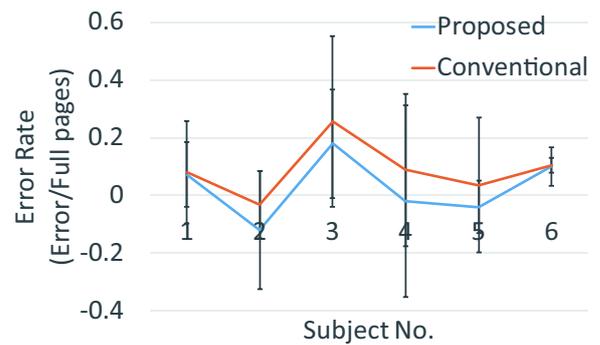


図 11: 手法間評価実験 2 の誤差率の比較: 青が提案手法, オレンジが既存手法による結果を示している.

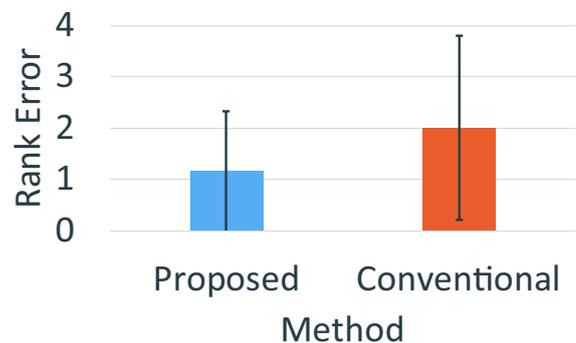


図 12: 手法間評価実験 2 の順序誤差の比較: 青が提案手法, オレンジが既存手法による結果を示している.

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 12 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.

6.3 実験 3 の結果と考察

実験 3 の結果, 既存手法に比べ, 提案手法の回答時間が大幅に上回る結果となった. これは主観的なアンケート結果からもわかるとおり, タブレット上ではいままでにない操作形態であったため, 慣れが必要であったためと考えられる. ここで実験 3 について手法ごとの回答時間の変化を

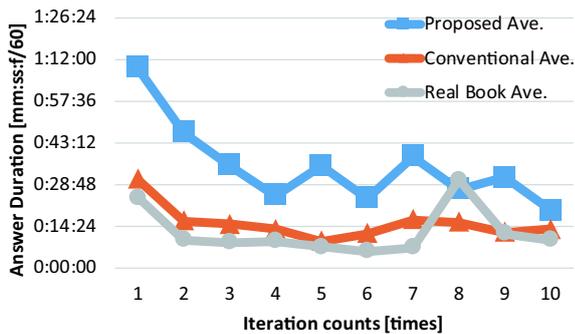


図 13: 手法間評価実験 3 の回答時間の推移: 青が提案手法, オレンジが既存手法, グレーが紙書籍による結果を示している。

図 13 に示す。この図をみてわかるとおり, 提案手法の回答時間が大幅に上回っていることがわかる。しかし, 回数を経るごとに時間は劇的に小さくなってきており, 6 回目には既存手法や紙書籍に迫るところまででき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ブックマークを利用可能であると考えられる。

7. 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, 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という, 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。

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。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。以上のことから, 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。

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や, 実装に対する慣れの度合いを考慮してい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。

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] 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 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110002722680/>) (1994).
- [3] J.Sellen, A., H.R.Harper, R., 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 新川達矢, 岩橋麻由, 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 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009567453/>) (2012).
- [7] 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 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/120005730578/>) (2016).
- [8] 株式会社マクロミル: 電子書籍に関する調査 (2016).
- [9] Yoon, D., Cho, Y., Yeom, K. and Park, J.-H.: Touch-Bookmark: A Lightweight Navigation and Bookmarking Technique for e-Books, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 1189-1194 (online), DOI: 10.1145/1979742.1979746 (2011).
- [10] Kim, S., Kim, J. and Lee, S.: Bezel-flipper: Design of a Light-weight Flipping Interface for e-Books, *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 1719-1724 (online), DOI: 10.1145/2468356.2468664 (2013).
- [11] Back, M., Cohen, J., Gold, R., Harrison, S. and Minneman, S.: Listen Reader: An Electronically Augmented Paper-based Book, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, New York, NY, USA, ACM, pp. 23-29 (online), DOI: 10.1145/365024.365031 (2001).
- [12] Yamada, H.: SequenceBook: Interactive Paper Book Capable of Changing the Storylines by Shuffling Pages, *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 4375-4380 (online), DOI: 10.1145/1753846.1754156 (2010).
- [13] 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, インタラクション 2008 論文集, pp. 39-40 (2008).
- [14] Watanabe, J., Mochizuki, A. and Horry, Y.: Booksheet: Bendable Device for Browsing Content Using the Metaphor of Leafing Through the Pages, *Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 360-369 (online), DOI: 10.1145/1409635.1409684 (2008).
- [15] Strohmeier, P., Burstyn, J., Carrascal, J. P., Levesque, V. and Vertegaal, R.: ReFlex: A Flexible Smartphone

- with Active Haptic Feedback for Bend Input, *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 185–192 (online), DOI: 10.1145/2839462.2839494 (2016).
- [16] Fujita, K., Itoh, Y. and Kidokoro, H.: Paranga: An Electronic Flipbook That Reproduces Riffing Interaction, *Int. J. Creat. Interfaces Comput. Graph.*, Vol. 4, No. 1, pp. 21–34 (online), DOI: 10.4018/ij-cicg.2013010102 (2013).
- [17] 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).