

# ShapeReading: 厚みを触覚提示することで進捗を提示するデバイスの提案

山本 匠\* 雨坂 宇宙\* Tian Min\* 杉浦裕太\*

**概要.** 近年電子書籍リーダーの普及が進んでいるが、これらのデバイスは紙の本と比べると物理的な触感や質感のフィードバックに乏しく、読書体験を損なう恐れがある。既存の電子書籍リーダーでは提示不可能な紙の書籍の触覚的特徴の中でも、ページをめくる際の厚みの変化に着目する。本研究では、電子書籍での読書時に読書の進捗状況に対応した厚み情報を触覚的に提示する手法を提案する。タブレット背面に形状変化ディスプレイを取り付けることで、読書中のページ数に応じて厚み情報を提示することができる。本稿では作成したプロトタイプについて述べる。

## 1 はじめに

電子書籍はデジタルデバイスで読むことが可能な書籍のことである。電子書籍は書籍データをデジタル化することで、多数の書籍を一台で管理でき、物理的なスペースを必要とせず容易に携帯できる。また、スマートフォン・コンピュータ・Kindleのような専用の電子書籍リーダー・タブレットなど様々なデバイスで利用することができる。加えて検索やメモ機能も電子書籍アプリケーション内の機能として備わり、多くの人々が利用するようになっている。一方で、紙媒体とデジタルデバイスの違いが読書体験に与える影響については多くの分野で研究が進められている。これまで心理学やHCIなど多くの研究分野が議論が進められてきたが、いくつかのメタ分析を行った研究において読書中の内容理解に関して紙媒体の優位性が認められている [1] [3]。

紙媒体がデジタルデバイスと比べて優位性を示すメカニズムの一つとして、デバイスの物質的な側面があるとされている [2]。例えば、紙の本ではページを指でめくる際に紙の質感を感じることができる。また両手で本を持ちながら読み進めると、本の片側が重くなる、左右の手で持つページの厚みが変わるといった触覚的な提示が行われる。このような紙の本で行われる触覚提示は既存の電子書籍端末では加えることができない。本研究では、このような触覚的な要素の中で、本を読み進めていく際の厚みの変化に着目する。

本研究では電子書籍端末における読書体験の向上を目指し、左右の厚みの変化を触覚的に提示するデバイス (図 1) を提案する。このデバイスはパンタグラフ機構をベースとした触覚ディスプレイであり、タブレット背面に取り付ける。専用の電子書籍リーダーを開発し、読書の進行に合わせて触覚ディス



図 1. 提案する触覚ディスプレイ。読書の進捗が進むにつれて形状が変化する。

レイの厚みを変化させることで、紙の本のように読書中のページ数に応じてデバイスの厚みを変化させることができる。本稿では作成したプロトタイプとその課題について述べる。

## 2 プロトタイプ

本章では作成したプロトタイプについて、具体的には (1) 厚みを提示する触覚ディスプレイ (2) ソフトウェア (電子書籍リーダー) について述べる。

**触覚ディスプレイ:** 読書の進捗状況に合わせて厚みを変化させることができるデバイス (図 2 A) を実装した。厚みを触覚提示するための機構として、パンタグラフ機構 (図 2 B) を採用した。手で持つことを想定したデバイスにおいて深さ情報を触覚提示する機構としては、リードスクリューを用いた機構 [5] やスコッチヨーク機構 [4] などが使用されている。本研究でパンタグラフ機構を選択した理由としては、リードスクリューよりも最小の厚みと比べて高い伸縮率を実現することができるためである。

実装したディスプレイを図 2 B に示す。ディスプレイの筐体作成は 3D プリンタ (PLA フィラメント製, 170mm × 52mm) を用いて行われた。アクチュエータとしては、2つの小型リニアアクチュエータ (LA-M-12-64-15-10/65) を使用しパンタグラフ機構の開閉を制御した。また現在の厚みを取得

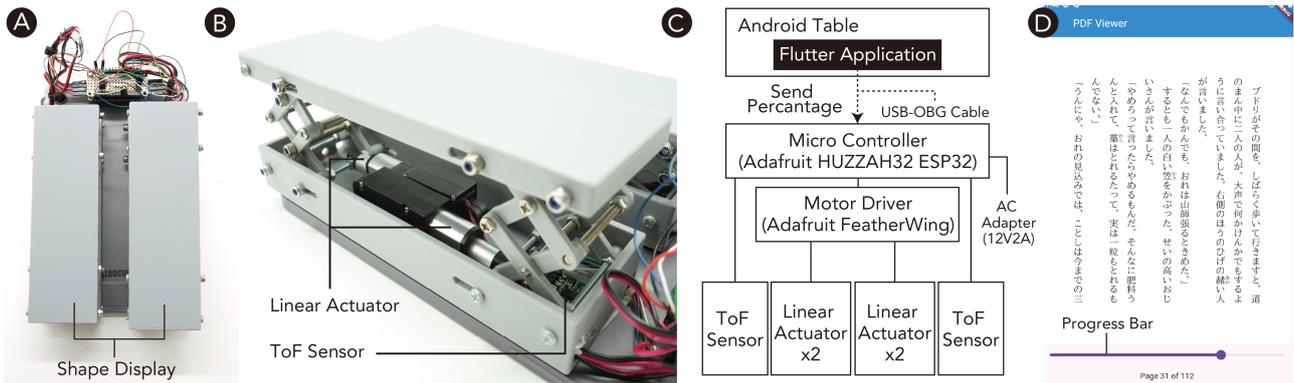


図 2. A : デバイスの外観. B : パンタグラフ機構. C : 回路図. D : 実装した電子書籍リーダー.

するために距離センサ (VL6180X) を内蔵している. このディスプレイを, タブレット (ALLDOCUBE iPlay50 mini) の背面を 2 つ固定した. 結果としてタブレットの厚み (約 10mm) と合わせて, 最小の厚みは約 42mm, 最大の厚みは約 75mm の範囲を変化させることができる. これらの機構とセンサはマイクロコントローラ (Adafruit HUZZAH32 ESP32) とモータドライバ (FeatherWing - DC/ステッピングモータドライバ, Adafruit) で制御される. 回路図を図 2 C に示す. タブレットとマイクロコントローラは OTG ケーブルで接続され, シリアル通信によって通信する. リニアアクチュエータを制御する電源は 12V2A を外部電源から取得した.

**ソフトウェア:** 電子書籍リーダーを実装した. 実装には Flutter を用いた. 実装した電子書籍リーダーの UI を図 2 D に示す. この電子書籍リーダーは電子書籍のファイル形式の一つである epub ファイルを読み込み, 表示することができる. UI の下部にはプログレスバーがついている. この電子書籍リーダーから現在の読書状態のパーセントがマイクロコントローラに送信され, マイクロコントローラが受信した値に応じてリニアアクチュエータを制御する.

### 3 今後の課題

本プロトタイプではパンタグラフ機構を用いた触覚ディスプレイを実装した. しかし, 現状の実装にはいくつかの課題がある. まず, 試作したデバイスで用いたアクチュエータにはエンコーダが搭載されていないため, 現在の形状ディスプレイの変化量は距離センサを用いて計測され, その値を元にフィードバック制御を行うことで厚みを変化させている. しかし距離センサの距離解像度は約 1 mm であり, フィードバック制御に使用した際の誤差が大きい. そのため現状では 5 段階程度の段階の制御しかできていない. 今後はエンコーダを搭載してモータを使用してフィードバック制御を行い, より精密な制御を行う.

またパンタグラフ機構を用いた理由として高い伸縮率を有することであったが, 本研究でのデバイスの厚みの変化量は最小の厚みが約 42 mm, 最大の厚みが約 75 mm にとどまっている. 紙の本の読書では最小の厚みは 0 mm となる. これに近づけるために今後は可能な限り最小の厚みを小さくするためにより機構を改善させることを目指す.

さらに, 力を加えた際に機構がわずかに伸縮してしまう. これは 3D プリントで作成した機構にわずかな設計誤差があるためであると考えられる. 今後は再設計を行うことでこの課題を解決する.

### 4 まとめ

本研究では電子書籍での読書体験を向上させるために, 読書の進捗状況に対応した厚み情報を触覚的に提示する手法を提案した. 実際にプロトタイプを作成しデバイスの厚みを紙の本と同じように変化させることができたが, 触覚ディスプレイの実装において様々な課題がある. 今後は機構の変更を含めた触覚ディスプレイの改良に加えて, ユーザ調査を行い実際の読書体験への影響を調査する.

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP24KJ1957 の助成, 潮田記念基金による慶應義塾博士課程学生研究支援プログラムの助成を受けたものです.

### 参考文献

- [1] P. Delgado, C. Vargas, R. Ackerman, and L. Salmerón. Don't throw away your printed books: A meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension. *Educational research review*, 25:23–38, 2018.
- [2] J. Hou, J. Rashid, and K. M. Lee. Cognitive map or medium materiality? Reading on paper and screen. *Computers in Human Behavior*, 67:84–94, 2017.

- [3] Y. Li and L. Yan. Which reading comprehension is better? A meta-analysis of the effect of paper versus digital reading in recent 20 years. *Telematics and Informatics Reports*, 14:100142, 2024.
- [4] J. Maiero, D. Eibich, E. Kruijff, A. Hinkenjann, W. Stuerzlinger, H. Benko, and G. Ghinea. Back-of-device force feedback improves touchscreen interaction for mobile devices. *IEEE transactions on haptics*, 12(4):483–496, 2019.
- [5] S. Yoshida, Y. Sun, and H. Kuzuoka. PoCoPo: Handheld Pin-based Shape Display for Haptic Rendering in Virtual Reality. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, p. 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.