

# 拡張現実を利用した3D電子テキスト表示に関する研究 — 入力インタフェースの現状と課題 —

杉山正治\*, 生田敦司\*, 柴田みゆき\*

大谷大学文学部人文情報学科\*

## 1. はじめに

我々はこれまでに、拡張現実の技術を応用した3D電子テキスト表示システムを開発してきた[1][2]. 本システムでは、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)を用いて書籍を立体的に表示し、かつ、非接触型センサ Leap Motion[3]を用いて人の手の動きを取得し、本物の紙媒体を扱うような操作感を、PC上に初めて実現した. その結果、複数ページの同時めくり、離れたページの同時閲覧、書籍の厚みの把握が容易になった.

しかし、本システムでは非接触かつ複雑な手の形状を用いて書籍の3次元コントロールをしなければならず、Leap Motionの認識精度も発展途上にあるため、多くのユーザにとって操作習熟は困難であった. そこで、本報告ではこの問題を解消すべく、複数枚同時めくり可能なスワイプを新たに提案し、その有効性を示す.

## 2. システム構成

本研究では、小型で安価な非接触センサとして Leap Motion を利用した(図1). 開発環境としては、HTML5と Javascript に WebGL とした. これによりブラウザ環境さえあれば多くのプラットフォームで GPU を利用した高速な 3DCG を利用できる. なお、Leap Motion のライブラリとして Leap.js の V0.6.4[3] を、WebGL ライブラリとして THREE.js の R74[4] を、それぞれ用いた. Internet Explorer 11 の他、Google Chrome、Firefox などの各種ブラウザ上で本システムの動作を確認した.

## 3. 3次元電子書籍の構築手法

3DCG は基本的に長文のテキストを表示することを想定していない. そこで、書籍の PDF をフリーソフト CubePDF[5] を用いて 1 ページずつ連番ファイル名付き画像ファイルにする方法を採用し、画像として取り込むことにした. 今回、この解像度を最小設定の 72[dpi] とし、A4 用紙 1 枚を  $595 \times 842$ [pixel] に設定した.

ページ集合(画像ファイル群)は、

$$\{p_1, p_2, \dots, p_{max} \mid max \geq 2\} \quad (1)$$

で表される. ここで、添え字  $1, 2, \dots, max$  はページ番号を表す. なお、 $max$  は最終ページを表し、必ず偶数とする.  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, max$ ) は 3 次元空間における画像データの幅、高さ、位置、回転、倍率を保持する.

ページ集合(1)から表裏のある紙面を作成する(図2). まず、THREE.jsの関数である平面メッシュを用いて plane1 と plane2 を準備し、奇数ページを plane1 に、偶数ページを plane2 にテクスチャマッピングで配置する. この状態で plane2 を Y 軸中心に 180 度回転することで、plane1 と plane2 が表裏のある紙面となる. 最終的

\*Displaying 3D Electronic Text Using Augmented Reality

\*Seiji Sugiyama, Atsushi Ikuta, Miyuki Shibata: Human Informatics, Otani University

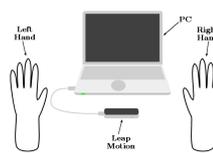


図 1: Our System

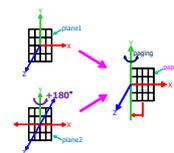


図 2: Paper

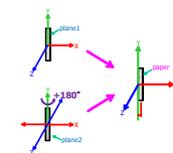


図 3: Spine

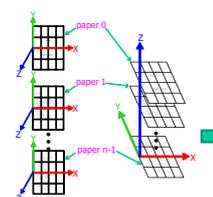


図 4: Book

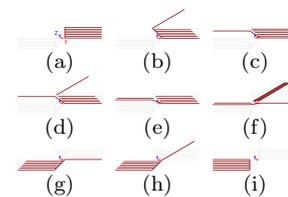


図 5: Paging Method

に plane1 と plane2 は Paper オブジェクトで管理される. 更に、Paper オブジェクトの左側を Y 軸に設定することで、Y 軸回転のみでページめくりを表現できる.

Paper オブジェクト(表裏のある紙面)  $P_i$  は、

$$P_i = \{p_{od}, p_{ev} \mid ev = od + 1\}; \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \quad (2)$$

で表される. ここで、 $p_{od}$  は奇数ページを、 $p_{ev}$  は偶数ページを、 $n$  は最大ページ数  $\frac{max}{2}$  を表す.  $P_i$  は 3 次元空間における Paper オブジェクトの位置、回転、倍率を保持する.  $P_i$  の 3 次元パラメータのみコントロールすることで表裏 2 ページを同時に動かせる. つまり、 $p_{od}$  と  $p_{ev}$  のパラメータは  $P_i$  から見た相対座標となる.

同様に、背表紙のページ集合  $P_n$  は、

$$P_n = \{p_s, p_g\} \quad (3)$$

で表される(図3). ここで、 $p_s$  は背表紙画像を、 $p_g$  は灰色に設定された背表紙裏面(糊付け面)を表す. なお、添え字  $n$  は(2)の集合の次の番号である.  $P_n$  もまた 3 次元空間における位置、回転、倍率を保持する.

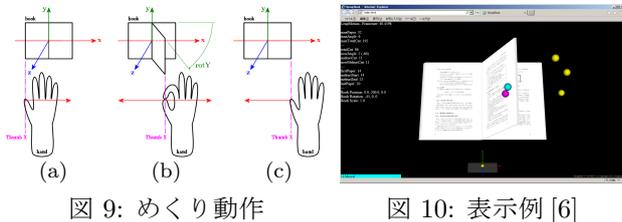
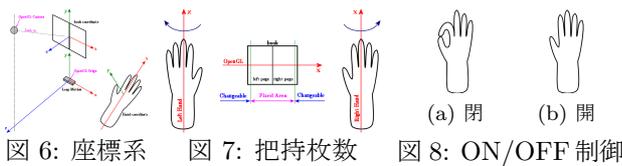
以上(2)(3)より、背表紙の幅が本の厚みになるように Paper オブジェクトを Z 軸方向に積み重ねて Book オブジェクトを作成する(図4). Book 集合  $B$  は、

$$B = \{P_0, P_1, \dots, P_{n-1}, P_n\} \quad (4)$$

で表される.  $B$  もまた 3 次元空間における位置、回転、倍率を保持する. すなわち、 $B$  のパラメータのみコントロールすることで全紙面と背表紙を同時に動かせる.

本研究では紙面の曲げ変形は行わないものとする. このとき、3つの拘束条件: i) 紙面交叉の回避, ii) 各紙面の上下関係の維持, iii) 複数ページの同時めくりへの対応、を満たす必要がある. 図5(a)-(i)にこれらの条件を満たすシンプルな解の1つを XZ 平面から見た図で表す. この配置では、めくり途中の各紙面の X 座標を固定し、Z 座標のみ変化させる方法を採用している.

なお、背表紙については先頭紙面と最終紙面に接続できるように Y 軸回転とスケールを調整している.



紙面が全て同じ白色の場合、厚みの視認が困難になる。このため、ページ毎に可視フラグを設定し、物理的に閉じて見えていないページを false としてフラグメントシェーダで灰色にする方法を採用し、高速化した。離れたページの同時閲覧を実現するため、ページめくりの途中で停止できるようにした。更に、複数枚同時めくりに対応するため、ページめくり角度と把持枚数を連動してページ管理する方法を採用し、ページめくりを単一アニメーションでまとめないようにした。

#### 4. 3次元書籍操作手法

図 6 に全体の座標系を示す。3DCG の原点を Leap Motion の原点に一致させた上で実空間の寸法を基本的に利用し、本のサイズと手の位置を直感的に把握しやすくした。片手でページめくりを行うように設定した。左手・右手は Leap Motion ライブラリが自動判別する。紙媒体のような複数ページめくりを実現するため、図 7 のように本の外側のエリアを変更可能領域とし、手のロール回転度合いにより把持枚数を増減出来るようにした。手のひらが真下を向いたときを 1 枚めくり、真上を向いたときを最大枚数めくりとする。右手・左手ともに外側に向かって回転する方向を正とする。なお、ページめくり途中での把持枚数変更は不可とする。図 8(a),(b) のように、ページめくり動作のトリガーとして親指と人差し指の開閉でコントロールできるようにする。閉じたときにめくれる、開けたときにめくれないとする。この手法は手の位置を本の位置に厳密に一致させることなく容易にめくれることを意味する。ページめくり途中の紙面の角度は図 9(a)-(c) のように親指の水平位置でコントロールできるようにした。なお、次のページをめくるためには本の両端で一旦指を開いてめくり動作を解除してから行うことで実現する。図 10 に指先位置 (球体) と書籍の表示例を示す [6]。

#### 5. 入力インタフェースの現状と課題

前章までに示した 3D 電子書籍表示システムのプロトタイプにより、非接触によるページめくり動作が実現したが、入力インタフェースには改善の余地がある。第 1 に、Leap Motion の認識精度の問題が挙げられる。Leap Motion に付属する動作チェック用のソフトウェアを用いて指の位置がどの程度認識されるかを検証すると、手の大まかな動きについてはかなりの精度で捉えられている一方で、特に今回設定したような指の開閉動作においてはかなりの場面で誤認識が発生する。本システムの試用者 10 人程度に、指を閉じるように指示すると、親指と人差し指の腹を第 1 関節付近まで

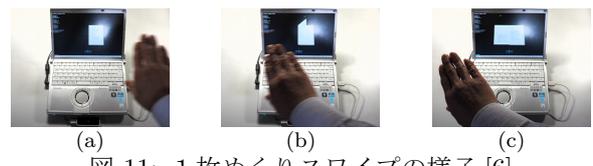


図 11: 1 枚めくりスワイプの様子 [6]

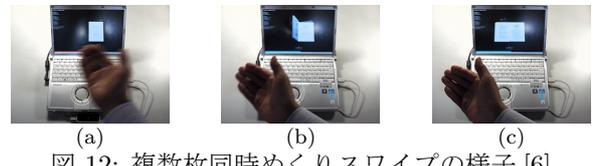


図 12: 複数枚同時めくりスワイプの様子 [6]

接するように閉じる人が多く、Leap Motion はこの状態を捉えるのが困難だと考えられる。回避策として、親指と人差し指の爪の先同士を閉じるように指示すると改善されることが分かっているが、爪を合わせるのは半数の試用者からかなり難しいという感想が得られた。第 2 に、センサを用いた実験研究の経験が無い試用者は Leap Motion が作る 3 次元空間を把握しにくいという問題が挙げられる。画面上には指の位置が表示されているにもかかわらず、どこに手を置けばよいのか分からず、動かせない状況になる人が多かった。この回避策として、センサの高さが分かる標識を配置する方法も考えられるが、非接触の利便性が失われてしまう。

#### 6. 複数枚同時めくりスワイプの提案

タッチインタフェースであれば触れたことがわかるため、ユーザにもソフトウェア設計にも都合のよい入力インタフェースを作れる。しかし、指をタッチするページめくりでは複数枚同時めくりや離れたページの同時閲覧は極めて困難である。そこで、可能な限りこれまでの本システムの利便性を失わずに追加できる改善策として、複数枚同時めくりスワイプを提案する。スワイプは Leap Motion ライブラリでも実装されているが、本システムでは、左右に手を振る動きと把持枚数取得のための手のロール回転角度を同時に検知させることにより、複数枚同時めくり可能なスワイプが実現する。これはタッチインタフェースにはない新しい操作方法となる。図 11(a)-(c) に 1 枚めくりスワイプの様子を、図 12(a)-(c) に複数枚同時めくりスワイプの様子を、それぞれ示す [6]。なお、スワイプ動作自体にはめくり途中で止める機能が無いため、指開閉によるページめくりと併用することで快適な閲覧が可能になった。

#### 7. おわりに

本研究では既に提案した 3D 電子書籍表示システムの入力インタフェースの現状と課題をまとめ、その解決策として、複数枚同時めくり可能なスワイプを実装し、その有効性を確認した。今後は本システムの更なる機能拡張、およびユーザの評価などを予定している。

#### 参考文献

[1] 杉山, 柴田, 平塚, “拡張現実を利用した 3D 電子テキスト表示に関する研究 -システム概要と入力インタフェース-”, 情報処理学会第 78 回全国大会, 6D-03, pp. 4-29~4-30, 2016  
 [2] S. Sugiyama, M. Shibata, et. al., “A study of Displaying 3D Electronic Text Using Augmented Reality via Leap Motion”, Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics(SMC2016), pp. 3015-3020, 2016  
 [3] Leap Motion, <https://www.leapmotion.com/>  
 [4] THREE.js, <http://threejs.org/>  
 [5] CubePDF, <http://www.cube-soft.jp/cubepdf/>  
 [6] 生田, 柴田, 高橋, 山城, “情報リテラシーの基礎”, 松香堂書店, 2015