

# HMD 周辺視野での動的文字拡大による 可読性向上システムの実装と評価

匂坂裕真<sup>1</sup> 田野俊一<sup>1</sup> 橋山智訓<sup>1</sup>

**概要:** 文章は現代において日常的に利用される重要な情報伝達手段の1つである。また、読書は一般的な娯楽の1つである。近年、Oculus Quest 等の安価な HMD(Head Mounted Display)の販売により、一般に VR(Virtual Reality)読書を行うことが可能となっている。本研究では、VR 読書時のユーザ負荷を軽減することを目的として VR 読書アプリに周辺視野での動的文字拡大システムを実装し、評価する。

**キーワード:** VR, 読書, HMD, インタラクション

## Implementation and evaluation of readability improvement system by dynamic character enlargement in HMD peripheral vision

YUUMA SAGISAKA<sup>†1</sup> SHUNICHI TANO<sup>†2</sup>  
TOMONORI HASHIYAMA<sup>†3</sup>

**Abstract:** Writing is one of the most important means of communicating information that we use on a daily basis today. Reading is also one of the most common pastimes. In recent years, the sale of inexpensive HMDs (Head Mounted Displays) such as Oculus Quest has made it possible for people to read in VR (Virtual Reality). In this study, we implement and evaluate a dynamic text magnification system in the peripheral vision of a VR reading application in order to reduce the user load during VR reading.

**Keywords:** VR, Text reading, HMD, Interaction

### 1. はじめに

近年、Oculus Quest2 などの安価な HMD(Head Mounted Display)の販売により、仮想空間で本を読む VR(Virtual Reality)読書を一般に行うことが可能となっている。一方で、読書を行うとき、電子媒体で読むよりも紙媒体で読んだ方が効率が良いとする調査結果がある [1][2][3]。そこで、過去に HMD を利用した VR 環境、紙の本、iPad での読書を同条件で多面的に評価する実験を行った。その結果、VR 読書中は頭の動きが大きくユーザ負荷が高いということが分かった。本研究では、VR 読書の効率向上を目的として、VR 読書中頭の動きが大きいという問題に対し、HMD レンズ周辺に表示される文字を動的に拡大するアプローチを提案する。また、提案アプローチを実現するシステムを実装し、評価する実験を行う。

### 2. 読書中の頭の動きの分析

過去に行った実験結果より、読書媒体ごとの読書中の頭の角度(オイラー角度)の分散を図1にまとめた。これより、VR 読書は紙の本で読書を行った場合よりも頭の動きが有意に大きいことが分かった。

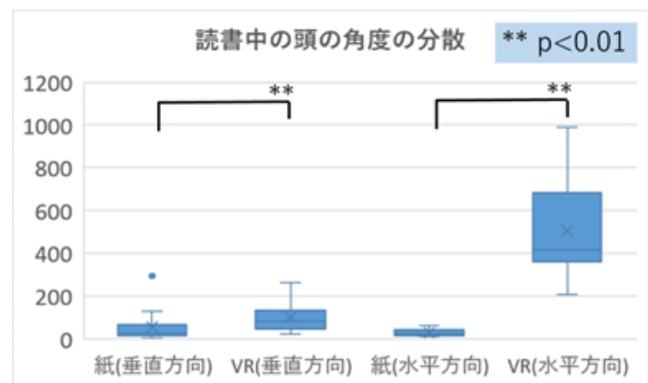


図1 媒体ごとの読書中の頭の角度(垂直方向)の分散  
Figure 1 Dispersion of vertical head angle during reading by medium.

### 3. 安価な HMD の構造に起因する問題

安価な HMD は、以下の図 3.3 のように提示映像が 1m ほど先にあるとユーザに認識させるために凸レンズを用いている [4]。

<sup>1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications

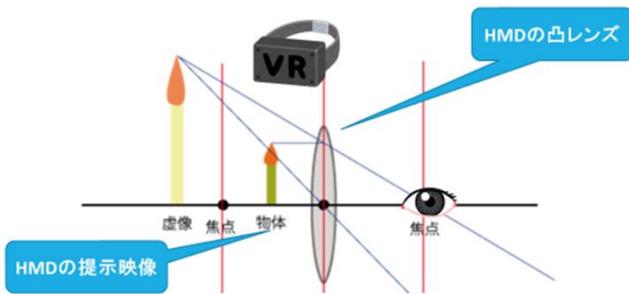


図2 安価なHMDの構造

Figure 2 Structure of an inexpensive HMD

安価なHMDでは図2に示すようにレンズ周辺の映像は引き伸ばばされ、解像度が低下する [5].

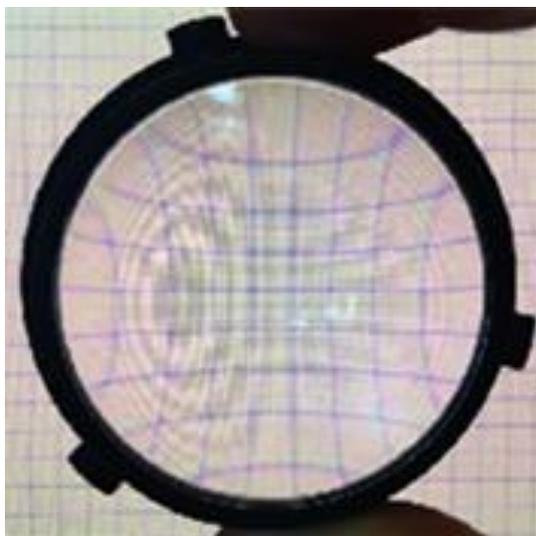


図3 HMD接眼レンズを通して方眼紙を見たときの情景 [5]

Figure 3 Scene when looking at a piece of grid paper through the HMD eyepiece [5].

#### 4. 関連研究

Cameronらは被験者にHMDとデスクトップモニターのそれぞれでwebサイトの文章を読み取らせる実験を行った [6]. Cameronらが構築したHMDの作業環境では図4のようにウィンドウを曲面状に提示、もしくは平面状に提示することが可能であり、そのどちらの形状も試された。HMDはユーザ頭部の角度のみを画面の描画に反映するDK1(Development Kit 1)と、角度に加え位置情報を画面の描画に反映し、ウィンドウに顔を近づけることが可能であるDK2の2種でプロトタイプが用意された。ユーザアンケートの結果、デスクトップモニターが最も好まれ、次にDK2が好まれ、DK1が最も好まれなかった。ユーザアン

ケートで、HMDの場合、文字のぼやけにより読み取りが阻害されるという意見が顕著であった。



図4 HMD環境のビジュアル (曲面ウィンドウの場合)  
Figure 4 Visual of HMD environment (for curved window)

Clémentらは、図5のようにVR空間内で書籍データを筒状の3Dモデルによって提示し、同じく筒状のコントローラデバイスを回転させることで読み進めるといった新たなインタラクションを設計した [7]. この独自手法と紙の本による読書のそれぞれで被験者に1冊の短編小説を読ませ、読書所要時間を測定する実験を行った。結果、2つの場合に差はなかった。この読書手法には、実際に文字を表示する領域が小さく、HMDの表示領域を広く活用しきれていないという問題がある。

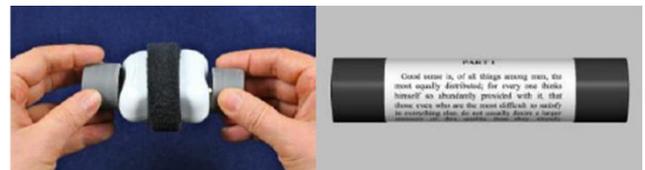


図5 コントローラデバイスと提示3Dモデル  
Figure 5 Controller device and presentation 3D model

Rufatらは図6のように光学シースルー方式HMDにより視界内の特定位置に文字を描画し、読書を行うシステムを設計した [8]. 文字の位置やインタラクションなど複数の提示手法で被験者に読書させる実験を行い、座りながらの読書と歩きながらの読書、それぞれの場合に最適な提示手法を求めた。この実験では、文章理解度の評価のために英語学習者向けの文章と10個の理解度を問う質問が設けられ、その正答率を比較した。この読書手法についても、HMDの表示領域を広く活用しきれていないという問題がある。



図6 光学シースルー方式 HMD により描画される文字のイメージ

Figure 6 Image of text drawn by optical see-through HMD

## 5. 仮説

安価な HMD を用いた VR 読書の際、可読範囲はレンズの中心に映る部分のみとなる。これにより、HMD での可読範囲を広げること、頭部の動きを低減させ、ユーザ負荷を軽減させることができるのではないかと仮説を立てた。

## 6. 提案アプローチ

本研究では、図7のように HMD レンズ周辺の低解像度領域に位置する文字を動的に拡大することで可読性の向上をはかる。



図7 提案するテキスト提示手法

Figure 7 Proposed text presentation method.

## 7. システムの設計と実装

### 7.1 システム全体の構成

図8にシステム全体の構成を示した。

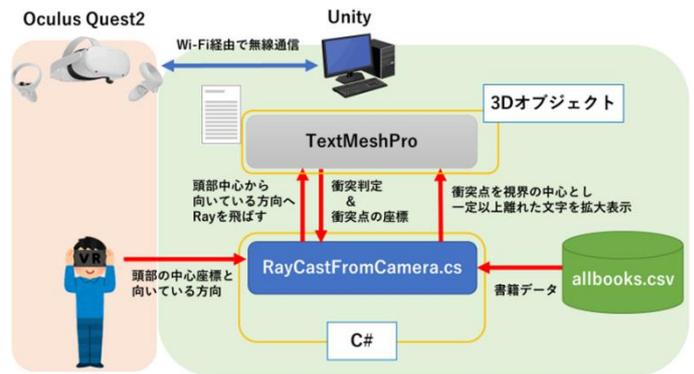


図8 システム全体の構成

Figure 8 Overall system configuration.

### 7.2 周辺文字動的拡大処理

HMD レンズを通した視界において、2つのレンズの周辺領域によって構成される低解像度領域は以下の図9のように存在する。



図9 HMD レンズによって構成される低解像度領域

Figure9 Low-resolution area composed by HMD lens.

一面に文章を表示し、HMD レンズを通して見た場合、この領域内にある文字は以下の図10のようにぼやけて見える。



図10 低解像度領域でぼやけて見える文字

Figure10 Characters that appear blurred in low-resolution areas

この低解像度領域を図11のように上下と左右の2種に分割し、それぞれにおいて文字サイズを拡大する。

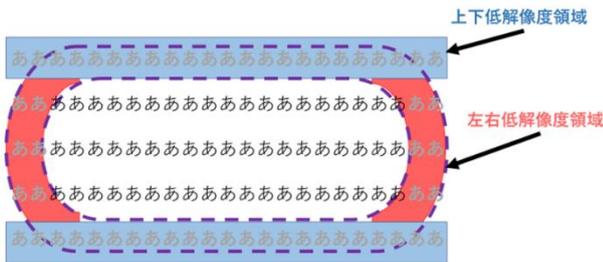


図 11 上下・左右低解像度領域

Figure 11 Top-bottom and left-right low-resolution areas

### 7.2.1 左右低解像度領域における拡大処理

各行について、図 12 のように中心から左右に  $x$  文字以上離れた文字を拡大する。

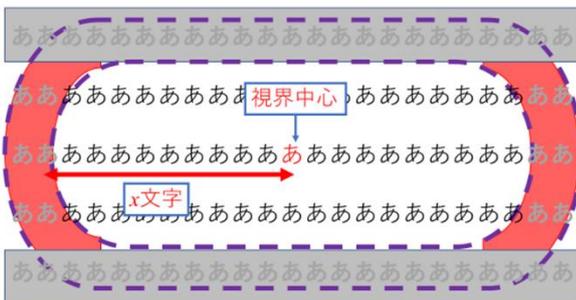


図 12 拡大対象文字

Figure 12 Characters to be magnified

左右低解像度領域は曲線を描いているため、 $x$  は楕円の方程式を基に算出する。

以下に楕円の方程式（標準形）を示す。

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a > b > 0)$$

ここでは、 $y$  は拡大対象となる行と中心にある行とで離れている行数にあたる。

左右低解像度領域に拡大する文字が重なるよう  $a$ 、 $b$  を調整した結果、 $a = 40$ 、 $b = 15$  となった。これを方程式に代入し

$$\frac{x^2}{40^2} + \frac{y^2}{15^2} = 1$$

これを  $x$  について解く。

$$x = \pm \frac{8}{3} \sqrt{225 - y^2}$$

例えば、中心にある行の左右低解像度領域の文字を拡大するとき、 $y = 0$  であるから

$$x = \frac{8}{3} \sqrt{225} = 40$$

よって、中心から左右に 40 文字以上離れた文字を拡大する。図 13 にそのイメージを示す。

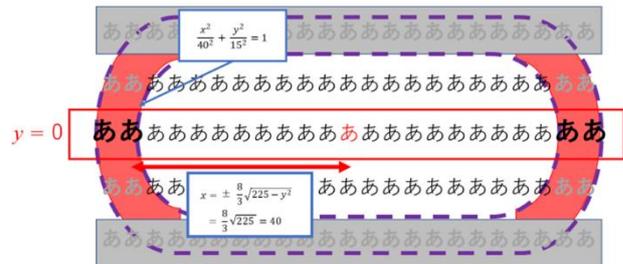


図 13 左右低解像度領域文字拡大処理結果の例（ $y = 0$  のとき）

Figure 13 Example of the result of the left-right low-resolution area text expansion process when  $y = 0$

### 7.2.2 上下低解像度領域における拡大処理

視界の中心にある行から 9 行、10 行、11 行、12 行離れた行に含まれる文字を全て拡大する。外側に位置する行はより大きく拡大する。図 14 にそのイメージを示す。



図 14 上下低解像度領域文字拡大処理結果のイメージ

Figure 14 Image of the result of the text expansion process in the upper and lower low-resolution areas

## 7.3 システムの実装

以上の設計を踏まえ、レンズ周辺文字動的拡大システムを備えた VR 読書アプリを実装した。図 15 は文字サイズを拡大する場合のユーザから見た光景である。文字の拡大率は 200% である。



表 1 実験用課題図書

Table 1 Books for the experiment

| 実験項目 | 書籍名          | 作者   | 文字数  |
|------|--------------|------|------|
| 実験A  | 吾輩は猫である      | 夏目漱石 | 3030 |
|      | 夢十夜          | 夏目漱石 | 3030 |
|      | 坊ちゃん         | 夏目漱石 | 3030 |
| 実験B  | 坊ちゃん (2ページ目) | 夏目漱石 | 3030 |
|      | 坊ちゃん (3ページ目) | 夏目漱石 | 3030 |
|      | 坊ちゃん (4ページ目) | 夏目漱石 | 3030 |

実験 A では夏目漱石の著作「吾輩は猫である」, 「夢十夜」, 「坊ちゃん」のそれぞれ冒頭から 3030 文字を使用する。それぞれ 1 ページを読み、ページめくりは行わない。

実験 B では「坊ちゃん」の実験 A で読んだ続きから 9090 文字を 3 分割して使用する。

## 9. 結果および考察

### 9.1 実験 A システム別読書について

図 6 に実験 A における読書中の被験者頭部水平方向角度の分散およびその平均をまとめた。その他、頭の位置や読書時間、順序回答問題得点に差はみられなかった。

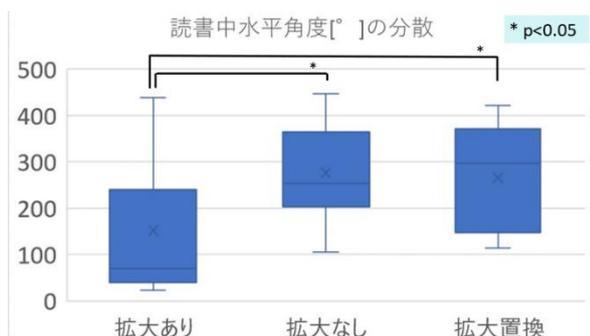


図 20 読書手法別被験者頭部水平方向角度の分散  
Figure 20 Variance of subject's horizontal head angle by reading method.

実験の結果、拡大ありの場合は拡大なしの場合に比べ、読書中の頭部水平角度の分散が有意に小さかった。よって、レンズ周辺の文字を動的に拡大し、可読範囲を広げることにより、必要となる頭の動きを低減させ、ユーザ負荷を軽減できたといえる。また、拡大ありの場合は拡大置換の場合と比べても水平角度の分散が有意に小さく、拡大置換と拡大なしの間に有意差はなかった。これにより、頭の動きの軽減は単にレンズ周辺の文字が拡大された刺激によるものではなく、レンズ周辺を活用して文章を読み進めることが可能であるからだといえる。

図 21 に実験 A における読書中の被験者頭部垂直角度の分散およびその平均をまとめた。

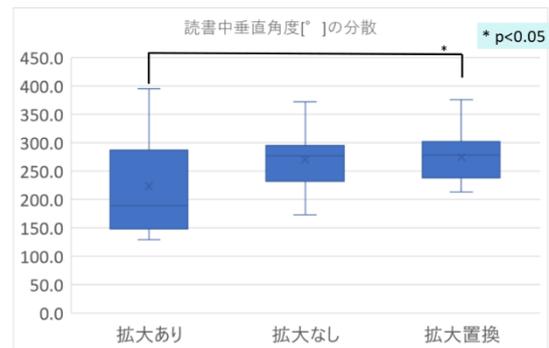


図 21 読書手法別被験者頭部垂直方向角度の分散  
Figure 21 Variance in vertical head angle of subjects by reading method

垂直角度については拡大なしと拡大ありの間に有意差がみられなかった。これは文章が横書きであるから垂直方向の必要となる動きが小さく、差が出にくかったためと考えた。

### 9.2 実験 B 拡大率別読書について

拡大率によって頭の位置、角度に有意差はみられなかった。これは図 22 のように、拡大率を上げると読みやすくなる一方、文字がさらに端に追いやられて大きく頭を動かす必要が生じ、動きの増減が相殺されたのではないかと考えた。

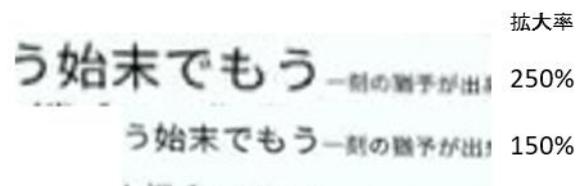


図 22 拡大率の大きい文字が端へ追いやられる様子  
Figure 22 Characters with a large magnification ratio are pushed to the edge

## 10. まとめ

本研究では、VR 読書中の頭の動きが大きいという問題に対し、HMD レンズにおける周辺低解像度領域に表示される文字を動的に拡大することでの解決を提案した。提案アプローチを実現するシステムを実装し、評価した結果、読書中の頭部水平角度の動きが低減されたことから、提案アプローチは VR 読書の効率向上に有効であることが確認された。

## 11. 文献目録

- [1] 高野健太郎, “紙と電子メディアの利用が読みに与える影響に関する定量的比較研究,” 電気通信大学大学院情報システム学研究科博士論文, 2014.
- [2] 亮. 小林, 淳. 池内, “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), 第 147 巻, 第 29 号, pp. 1-7, 2012.
- [3] A. Mangen, “Readers absorb less on Kindles than on paper, study finds | Books | The Guardian,” 19 8 2014.  
[オンライン]. Available:  
<https://www.theguardian.com/books/2014/aug/19/readers-absorb-less-kindles-paper-study-plot-ereader-digitisation>.  
[アクセス日: 9 2 2021].
- [4] 館ススム, バーチャルリアリティ入門, 筑摩書房, 2002.
- [5] 西川善司, 古林克臣, 野生の男, izm, 比留間和也, VRコンテンツ開発ガイド, 株式会社エムディエヌコーポレーション, 2017.
- [6] C. Grout, W. Rogers, M. Apperley, S. Jones, “Reading text in an immersive head-mounted display: An investigation into displaying desktop interfaces in a 3D virtual environment,” *CHINZ 2015 Proceedings of the 15th New Zealand Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 9-16, 2015.
- [7] P. Clément, H. H. Shuo, C. Pierre, “Reading with a digital roll,” *CHI EA '13 CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1377-1382, 2013.
- [8] R. Rufat, P. W. Woźniak, T. Dingler, N. Henze, “Reading on Smart Glasses: The Effect of Text Position, Presentation Type and Walking,” *CHI '18 Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Paper No.45*, 2018.