

頭部装着型ディスプレイのための歩行時着地衝撃を考慮した動的フォント変化手法

寺田 努^{1,a)} 松浦 裕久¹ 青木 友裕² 園田 晋²

概要: 近年, さまざまな頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) が開発・発売されており, 装着型ディスプレイで表示するためのさまざまな提示情報が作成されている. 文字表示に使われるフォントに着目すると, アプリケーションデザイナーは伝えたい雰囲気やこだわりをもとに使用したいフォントを選ぶことになるが, その読みやすさに関しても考慮する必要がある. 一方で, 著者らの先行研究により, HMD を利用している場合は各フォントの見やすさが状況に応じて動的に変化することがわかっている. 例えば歩行中に単眼 HMD を装着しているような場合, 着地の瞬間に衝撃で目とディスプレイの相対位置関係が上下に振動するため, 横棒が細い明朝体などのフォントは見づらくなる. そこで本研究では, 着地の瞬間にのみ着地衝撃に強いフォントに切り替えたり, マスキングパターンを表示して着地時に文字を読ませないようにすることで, 歩行時の文字の読みにくさを軽減する手法を提案する. 提案方式を可読性と精神的負荷の観点から評価した結果, HMD の振動時に揺れに強いフォントに動的に切り替えることで, 文字の読みにくさと精神的負荷が軽減されることがわかった. また, 着地時にマスキングパターンを表示し, HMD 振動中に視覚マスキングを行った場合, 可読性や精神的負荷は改善しなかった.

1. はじめに

近年, さまざまな頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) が発売されるようになり, コンテンツデザイナーやアプリケーションデザイナーも, HMD での表示を意識した提示情報を作成するようになってきた. ここで, 特に文字情報の提示に使われる**フォント**に着目すると, フォントの違いはそれぞれ伝わるイメージの違いになるため, デザイナーは与えたい印象やこだわりをもとに, フォントを選択している. 例えば日本語では, 図 1 に示すようにフォントの書体は大まかに明朝体とゴシック体に分かれており, それぞれさまざまなバリエーションが存在している. 一般的なイメージとしては, 明朝体は高い信頼性を表現したい場合に使われ, ゴシック体は親しみやすさや力強さを表現したい場合に使われることが多い.

一方で, 筆者らの先行研究 [1] より, HMD を利用している場合, 一般的な環境におけるフォントの読みやすさ特性と HMD での読みやすさ特性は異なること, また, フォントの読みやすさはその状況次第で動的に変化することを明らかにした. 例えば, 図 2 左に示すユニバーサルデザインフォント (UD ゴシックや UD 明朝等) は, 濁点や半濁点



図 1 明朝体とゴシック体

が大きくかつ文字に提供されたエリア (仮想ボディ) に対して字が実際描かれるエリア (字面枠) が大きく読みやすいため, 日常的に印刷物に広く使われているが, 歩行時に HMD で見る場合には他のフォントに可視性で劣る可能性があった. これは, HMD は歩行時の着地振動によって, 目とディスプレイの相対位置関係が上下に振動するため, UD フォントは振動により隙間がつぶれてしまい見にくいためだと示唆された. また, この見にくさは着地の瞬間にしか起こらないため, 振動がないときには UD フォントが見やすく, 着地振動があるときには UD フォント以外が見やすい, といったように, 刻々と変わる状況に応じて見やすいフォントは変化する. このような状況はこれまでは想定されていなかったが, さまざまなウェアラブルデバイスが普及し, ウェアラブルデバイスから情報を得ながら生活することが当たり前になる世界でユーザに伝わりやすい情報提示を考える上で考慮すべき重要な課題である.

¹ 神戸大学

² 株式会社モリサワ

^{a)} tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

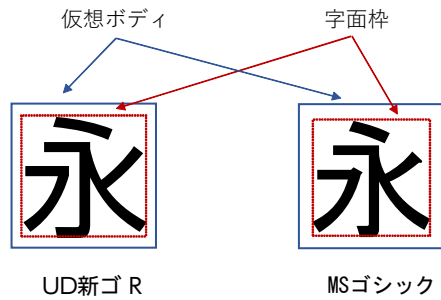


図 2 UD フォントの特徴

そこで本研究では、着地衝撃によって目と HMD の相対位置関係が振動しているときのみフォントを振動に強いものに置き換え、それ以外ではデザイナーの使いたいフォントを自由に使えることで、デザインの自由度と読みやすさを両立する仕組みを提案する。

以下、2 章では関連研究について述べ、3 章では提案手法について説明する。4 章で提案手法を評価し、最後に 5 章で本研究をまとめる。

2. 関連研究

2.1 HMD 上での情報提示手法

HMD はスマートフォンやデスクトップ PC と利用環境が異なる。例えば、HMD を使用する際に歩行しながらメールの確認やニュースの閲覧、走行しながら心拍数の確認など、並列にタスクを行う場面が多々存在する。そのため、HMD 上の情報を効率的に取得するための情報提示について様々な研究が行われている。Chua らは、あるタスクにとりかかりながら、HMD 上での情報を取得する際の最も適した情報の提示位置を調査した [2]。この研究では、HMD 上の右中央に情報を提示すると、ユーザの満足度が高く、また情報を取得しやすくなることがわかった。Rufat らは、ユーザの行動とタスクを考慮したスマートグラス上での適切な情報提示手法を調査した [3]。この研究では、スマートグラス上の右上に情報を提示した際に主観的な負荷がかかり、提示された情報の理解度も減少することがわかった。また、情報提示方法に 1 単語ずつ表示する高速逐次視覚提示 (RSVP: Rapid Serial Visual Presentation) [4]、スクロール表示などがあるが、着座時に RSVP を用いることで提示される情報に対する理解度が上がり、また歩行時にスクロール表示を用いることで理解度が上がることがわかった。HMD 上の情報を取得する際、ディスプレイを注視できる度合いは周囲の環境によって異なる。例えば、静止時は HMD を注視できる一方、歩行時や階段昇降時は周囲に注意を払いながら、HMD 上の情報を閲覧しなければならないため、注視時間は短くなり、十分な情報を得られにくい。そこで、中尾らはユーザの周囲の環境に応じて情報提示の方法を切り替える試みを行った [5]。この手法を

用いることで、ユーザの情報の見逃しを減らせることがわかった。光学式シースルー型 HMD を使用する際、ユーザの視界に重ねて情報を提示することが可能になる一方で、HMD の背景が明るすぎたり、明暗が大きく変化する場合に提示された情報を取得しづらくなる。そこで、田中らは広角カメラを用いて取得した HMD の背景画像を評価し、情報の提示に適した領域を決定する試みを行った [6]。この研究では、HMD の背景にあわせて情報の提示に適した領域を決定することで、ユーザが情報を見逃しにくくなることがわかった。また、富士原らは、表示情報の色を HMD の背景色の反対色に切り替える試みを行い、視認性を向上させた [7]。

このように、ユーザの状況や行動、周囲の環境に応じた HMD 上での情報提示に関する研究は多く行われている。本研究ではフォントの観点から情報提示を考えているが、フォントの特性を考慮した状況依存の情報提示手法はこれまでほとんど行われていない。また、提案手法は上記のほとんどの手法と組み合わせて利用可能であり、情報の読みやすさを向上させられる。

2.2 表示の安定化

歩行等による身体の動きが影響する表示の見にくさを改善しようという取り組みもいくつか存在するが、これは主にウェアラブルプロジェクタに関するものである。例えば、太田らはウェアラブルプロジェクタを装着した場合の歩行中と静止中の投影映像の見やすさの違いを調査し、状況に合わせてプロジェクタの提示を切り替える手法を提案している [8]。多治見ら [9] や村田ら [10] らは、ウェアラブルプロジェクタの大きな振動をある程度キャンセルすることで情報提示が見やすくなることを示している。一方で、これらの研究がターゲットとしているのは、歩行による大きな動きが投影映像に与える影響をどうキャンセルするか、であって、このような大まかな関係変化は HMD と人間の目の間では起こらない。また、本研究でターゲットとするような着地振動のような細かな振動はキャンセルすることは難しいとも報告されている [9]。提案手法が想定する状況を物理的な振動キャンセルで解決する手法は筆者らの知る限りこれまで存在せず、一方で、前節でも述べたように、提案手法は既存のほぼすべての安定化手法とも共存可能である。

2.3 フォントに関する研究

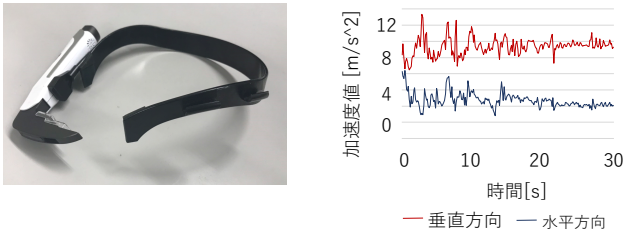
文字の書体データであるフォントは文字情報提示においてイメージ伝達、視認性の向上などの様々な役割を担う重要な要素である。Pamela らは、フォントによって伝える印象は異なることを確認し、ロゴを作成する際に使用するフォントの選択に役立つガイドラインを作成した [11]。Mansfield らは、文章を読む際のフォント選択の影響を調

査した [12]. MNREAD チャートを用いて、2つの書体(セリフ体とサンセリフ体)の可読性を比較し、フォントの選択が可読性に影響を与えることがわかった. フォントは伝えるイメージ、可読性などに大きな影響を及ぼし、広告や看板、製品ロゴなどを作成するうえで無視できない存在である. 一般的なフォントは晴眼者を考慮してデザインされているが、視覚障害者を考慮したフォントの開発は必要である. 中野らは、株式会社モリサワが作成した視覚障害者用の UD フォントの評価を行った [13]. 実験の結果から、UD フォントは他のフォントに比べて可読性、可視性ともに優れていることがわかった. さらに、文字間の距離や字面を考慮した APHont[14] や *Tiresias* など、視覚障害者に優しいフォントが多く開発されている. 加齢黄斑変性の患者は文章を構成している単語を正確に認識しづらい. そのため、Bernard らは加齢黄斑変性患者のためのフォント *Eido* の開発と評価を行った [15]. *Eido* を使用することで、加齢黄斑変性患者の文字の誤認識を減らせることがわかった. モバイル端末などの小さな画面に文字情報を表示する際、情報を取得しづらくなる. そこで、Danielle らは回転や点滅などのアニメーションと色を組み合わせたフォント *livefonts* を開発し、その可視性、習熟度を評価した [16]. 実験結果から、*livefonts* は他のフォントに比べて視認性が高いということがわかった. また慣れにより、*livefonts* はさらに視認性が上がることがわかった. これらの研究から、デバイスやユーザの特徴を考慮したフォントを使用することは、情報を提示する際に効果的である. しかしながら、筆者らの知る限り、HMD の特徴を考慮したフォントの開発および評価は行われていなかった.

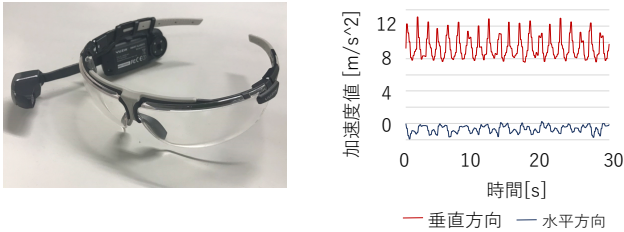
そこで、筆者らは本研究の先行研究として、HMD に適したフォントを調査する実験を行った [1]. 本研究は、この実験によって得られた成果を活用し、歩行中でも読みやすくかつデザインの意図したデザインを維持する仕組みを確立することを狙っている.

3. 提案手法の設計と実装

本研究では、歩行中に HMD に提示された文字情報を読む環境を想定し、歩行衝撃のタイミングのみフォントを読みやすいものの変化させる. HMD は図 3 に示すように歩行中に揺れている. 特に、着地衝撃のときには慣性により HMD のディスプレイ部分と目の位置関係が同期せず振動するものが多いため、ディスプレイ自体が上下に細かく揺れているように感じてしまう. 筆者らの先行研究 [1] ではこのような状況において、図 4 に示すさまざまなフォントに対して、読みやすさの評価を行った. その結果、明朝体においては、横線が細すぎる場合は上下の揺れによってその横線が見えにくくなり、横線が太すぎる場合はスペースがつぶれてしまうためそれぞれ可読性が落ちることがわかった. 縦線に関しては静止時・歩行時ともに太い方が望



(a) 株式会社テレパシージャパン TelepathyWalker



(b) Vusix 社 M100 Smart Glasses

図 3 歩行中の HMD の加速度値



図 4 読みやすさの評価に用いたフォント

ましく、また、ユニバーサルデザインフォントである UD 新ゴシックは、画面揺れに弱く、画面が揺れていないときはもっとも見やすいが、着地衝撃の際の読みやすさの悪化が大きいことがわかった (詳細は文献 [1] を参照のこと). 提案手法ではこの調査結果をもとに、動的にフォントを切り替える.

提案システムの動作を説明する. システムは HMD に内蔵された加速度センサのうち、重力方向の値を用いて閾値により着地衝撃を認識する. そこから、着地衝撃によって目と HMD のディスプレイ部分の相対位置関係が振動している間、フォントを読みやすいものもしくはマスキングのための図形に入れ替え、位置関係の振動が終わったら元に戻す. 例えば、図 5 に示すように、振動していない間は図左の細い横棒のフォントを用い、着地衝撃の影響がある間のみ図右の横棒が太いフォントを使う.

着地衝撃の認識に用いる閾値の設定については、システムを利用する被験者は利用前にまず 5 歩歩いてもらい、その際の加速度データにおいて、もっとも小さかった着地衝撃時の値を閾値として用いた. また、フォント入れ替え状態から通常状態に戻すまでの時間を決定するために、目と HMD の位置関係を計測するシステムを別途作成した. 処理の流れを図 6 に示す. 計測では、薄型カメラを取り付け

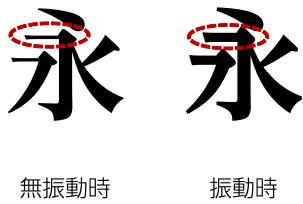


図 5 切り替えるフォントの例

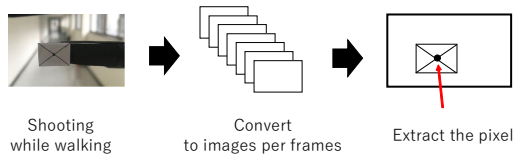


図 6 目と HMD の相対位置の計測方法

た眼帯を右目につけた状態で右目用 HMD を着用して歩行させる。薄型カメラは右目の眼球部付近に位置し、歩行時の HMD のディスプレイ部の動画を撮影し、ユーザから見た HMD の相対位置を記録する。ディスプレイ部にはマーカー (バツ印) をつけており、撮影した動画からフレーム毎にマーカーの垂直成分のピクセル座標を取得した。数名の被験者から得た結果から、一般的な歩行においては相対位置の振動が起こるのは 150ms 程度であったため、フォント入れ替えの継続時間は 150ms と設定した。

上記機能を実現した HMD 用アプリケーションを作成し、Vuzix 社の M100 Smart Glasses(ディスプレイ解像度: 428×240px) 上で文字の読みやすさの評価をできるようにした。

4. 評価

提案手法の有効性を評価するための実験を行った。被験者は Vuzix 社の M100 Smart Glasses を装着し、各切り替えパターンに対して、トレッドミル上で速度 4km で歩行しながら HMD 上での可読性を評価し、評価直後に歩行をやめて情報取得の作業負荷度を主観評価した。評価する切り替えパターンと可読性の評価方法 (実験手順) については以降で説明する。作業負荷度の評価は、信頼性の高い評価手法である、日本語版 NASA-TLX[17] を利用して評価した。被験者は 20 代男性 11 名である。実験では、後述する 7 パターンの評価をランダムな順序で行った。試行間には 5 分間の休憩を入れている。

4.1 フォントの切り替えパターン

表 1 に提案手法で用いるフォントの切り替えパターンを示す。表中のパターン 1~4 はフォントを動的に切り替えるパターンで、筆者らの先行研究の実験結果に基づいて図 4 のうちの 5 種類のフォントを選んだ。先行研究の結果から、縦線/横線の太いフォントは揺れに強いことがわかって

表 1 切り替えパターン

パターン	無振動時	振動時
パターン 1	黎明 B	黎明 Y40 B
パターン 2	黎明 Y20 R	黎明 Y20 H
パターン 3	黎明 Y20 B	MS ゴシック
パターン 4	黎明 Y20 B	●
パターン 5		黎明 B
パターン 6		黎明 Y20 R
パターン 7		黎明 Y20 B

いるので、パターン 1 と 2 はそれぞれ横線と縦線の太さが異なるフォントを組み合わせた。パターン 3 は書体を切り替えることによる影響を調査するために、線の太さがほぼ同じで、書体の異なるフォントを組み合わせた。パターン 4 に関して、パターン 1~3 はそれぞれ、振動中でも文字が読めるようにフォントを読みやすいものへと置換しているが、振動中は逆に文字を読ませないように変化を加えた方がよい可能性がある。これは、我々は眼が静止している間に視覚情報を取得するためである [18]。そこで、HMD の振動中に読む必要のない簡易的な図形を表示することで、可読性を下げずに、揺れる文字がユーザへ与える作業負荷を軽減できるのではないかと考え、パターン 4 を用意した。パターン 5 はパターン 1、パターン 6 はパターン 2、パターン 7 はパターン 3、4 のベースラインとするために、それぞれ変化が起こらないものを用意した。

4.2 可読性の評価方法

可読性は文章としての読みやすさを示す。可読性の評価方法には、主観評価 [19] や視線分析 [20] などがあるが、本研究では、世界で最も利用され、信頼性も妥当性も高いと評価されている、ミソネタ大学ロービジョン研究室が開発した MNREAD 視力チャートの日本語版 MNREAD-J チャート [21] を用いた評価方法を参考にした。まず本評価では、文字サイズの単位には logMAR を用いる。logMAR とは図 7 に示すように、視角 (目で見える物体の上端と下端それぞれから眼球の中心に引いた 2 本の直線が作る角) の常用対数のことである。文字サイズの単位 pt を用いた logMAR の計算式を式 (1) に示す。

$$\log\text{MAR} = \log_{10} \left\{ 12 \times \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{\text{pt}}{1908} \right) \right\} \quad (1)$$

logMAR は測定距離が変化しても相対的な文字の大きさは変化しないため、この視力の単位を MNREAD-J チャートでは文字サイズの単位として扱っている。

評価方法としては、まず被験者はディスプレイ上の 1.0logMAR のサイズの文章を可能な限り早く正確に音読する。音読終了後、0.1logMAR 小さくした異なる文章を音読する。被験者は文字サイズの縮小と音読の試行を繰り返す。文章中の文字を 1 文字でも読むことができれば、さらに 0.1logMAR 小さい文章を音読してもらい、1 文字も読めな

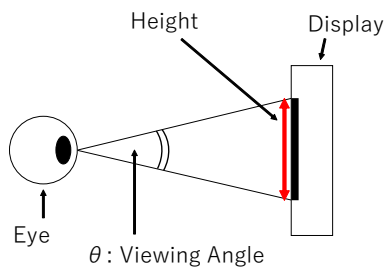


図 7 logMAR の説明

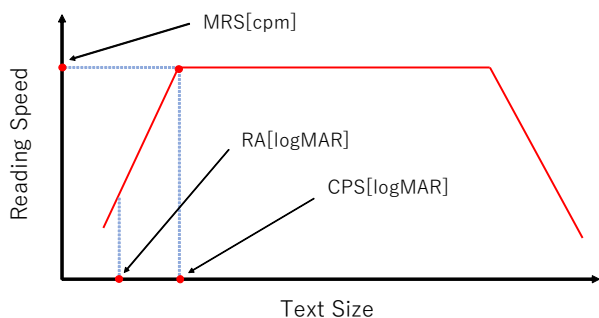


図 8 3つのパラメタの意味

くなくなったらそこで終了する。文字サイズごとの音読時間を記録し、文字サイズごとに読み損じた文字数を調べるために音声録音する。文字サイズごとの音読時間、読み損じた文字数から下記の3項目を算出する。

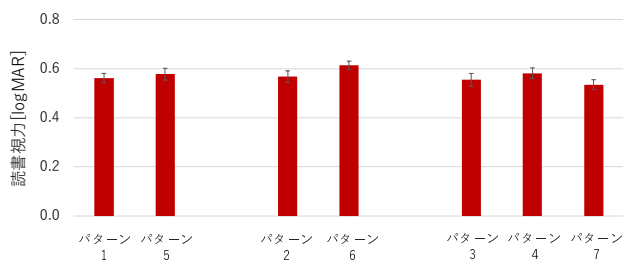
- **読書視力 (RA: Reading Acuity):** 文章として知覚できる限界の文字サイズ
- **臨界文字サイズ (CPS: Critical Print Size):** 最大速度で読める最小の文字サイズ
- **最大読書速度 (MRS: Maximum Reading Speed):** 文字が最適なサイズの場合の読書速度

文字サイズ・読む速度とそれぞれのパラメタの意味を図8に示す。被験者に、文字サイズの小さいものから順番に文字を大きくしながら文章を読ませるとすると、最初は小さすぎて読めず、ある文字サイズ (RA) から文字が読めるようになる。そこからは文字が大きくなればなるほど読む速度が上がるが、ある一定の文字サイズ (CPS) 以上になると、十分な文字サイズであるため、読む速度は最速となりこれ以上は上がらない。このときの読書速度が MRS である。文字サイズがあまりにも大きくなった場合 (1文字が視界からはみ出るほどの大きさになった場合など) は、逆に見にくくなって読書速度が落ちることが想定されるが (図右)、本研究ではそこまで文字サイズを大きくすることは想定していない。具体的な各値の計算式や読み損じの処理については、日本語版 MNREAD-J チャート [21] に倣っている。

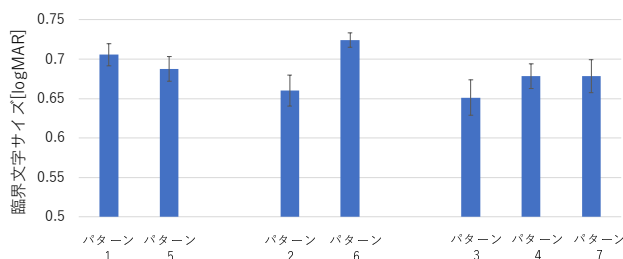
ここで、表示する文章を意味の通じる文章にすると、人間の補完能力により推測で読めてしまい、適切な結果が得

たテム出クあらう会用
ハ陽マラ辺鳴ヤ赤ツ練
さユ恋ムンホ中こウキ

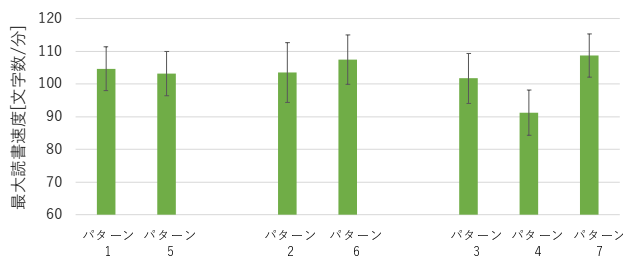
図 9 実験に用いた文字列の例



(a) 読書視力



(b) 臨界文字サイズ



(c) 最大読書速度

図 10 可読性

られない可能性がある。そこで、文章はひらがな、カタカナ、漢字からそれぞれ10文字ずつの意味を成さない30字の文章とする。文章の例を図9に示す。文章に慣れが生じないために、被験者には1度読んだ文章は2度と読ませないようにした。

4.3 実験結果

図10, 11に実験結果を示す。棒グラフは全被験者の平均値を示し、エラーバーは標準偏差を示す。

読書視力

図10(a)に読書視力の結果を示す。読書視力の数値が小さいほど、小さい文字の文章でも文章として読むことができることを示している。グラフから、パターン1, 2とも

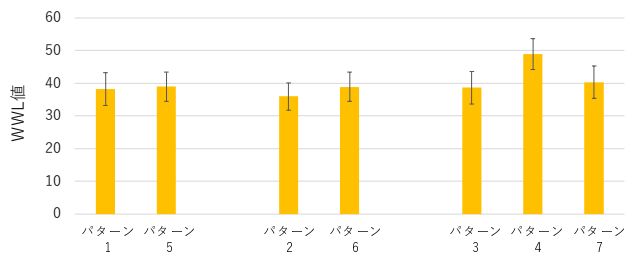


図 11 作業負荷度

にフォントを切り替えないパターンに比べて良い結果となった。これは、揺れに強い特徴である、縦線/横線の太いフォントを、HMDの振動中に切り替えることで、読めなかった箇所が読めるようになったからだと考えられる。パターン3に関しては、パターン7に比べて悪い結果となった。これは、書体を切り替えることで、違和感を感じたからだと考えられる。また、もともと黎明 Y20B は揺れても読みやすいフォントであったことも理由のひとつと考えられる。パターン4もパターン7に比べて、悪い結果となった。原因として、視覚マスキングにおけるターゲット刺激(ここでは文字)とマスク刺激(ここでは●)が短い時間間隔で近い位置に提示された場合、ターゲット刺激がマスク刺激によって妨害される現象が生じることがあるためだと考えられる。ここで、被験者内1要因分散分析(要因: 切り替えパターン)を行った結果、主効果が有意であった(状態, $F_{(6,76)}=6.235$, $p<.05$)。切替パターンの主効果における Ryan 法による多重比較の結果、読書視力の大きさは、パターン6>パターン1, 2, 3, 7, パターン4, 5>パターン7という結果となった。つまり、もともと揺れに強いフォントを使っていない場合には提案手法が有効であると示唆された。また、マスキングのようなパターンは歩行時の文字を読む際には効果的に働かないという結果であったため、フォントの切り替えという本研究のアプローチがより優れているといえる。

臨界文字サイズ

図 10(b) に臨界文字サイズの結果を示す。臨界文字サイズの数値が小さいほど、小さい文字サイズの文章を滑らかに読めることを示している。グラフからパターン1はフォントを切り替えないパターンに比べて悪い結果となった。一方、パターン2はフォントを切り替えないパターンに比べて良い結果となった。パターン3はパターン7に比べて良い結果となったが、パターン4に関してはパターン7とそれほど変わらない結果となった。被験者内1要因分散分析(要因: 切り替えパターン)を行った結果、主効果が有意であった(状態, $F_{(6,76)}=2.623$, $p<.05$)。切替パターンの主効果における Ryan 法による多重比較の結果、臨界文字サイズは、パターン6の方がパターン2, 3より大きいという結果となった。つまり、臨界文字サイズに関しても、フォント切り替えが効果的に働いている場合があることが

わかった。パターン1と5の関係が想定と逆である理由は不明であるが、その差は有意なものではなかった。

最大読書速度

図 10(c) に最大読書サイズの結果を示す。最大読書速度の数値が大きいほど、臨界文字サイズ以上の文章の読書速度が速いことを示している。グラフからパターン1はフォントを切り替えないパターンに比べて良い結果となった。一方、パターン2はフォントを切り替えないパターンに比べて悪い結果となった。パターン3, 4に関して、パターン7に比べて、悪い結果となった。被験者内1要因分散分析(要因: 切り替えパターン)を行った結果、主効果が有意であった(状態, $F_{(6,76)}=3.290$, $p<.05$)。切替パターンの主効果における Ryan 法による多重比較の結果、最大読書速度は、パターン4がパターン6と7より遅いという結果となった。つまり、マスキングの手法は最大読書速度に悪影響を与えるため使わない方がよさそうであることがわかった。

作業負荷度

図 11 に作業負荷度の結果を示す。作業負荷度を示す WWL 値は NASA-TLX でのアンケート結果をもとに導出され、WWL 値が小さいほど、ユーザに対する負荷が少ないことを示している。グラフからパターン1, 2ともにフォントを切り替えないパターンに比べて良い結果となった。フォントを切り替えることで、揺れても読める箇所が増えたからだと考えられる。パターン3はフォントを切り替えないパターンに比べて良い結果となった。一方、パターン4に関して、パターン7とそれほど変わらない結果となった。被験者内1要因分散分析(要因: 切り替えパターン)を行った結果、主効果が有意であった(状態, $F_{(6,76)}=2.623$, $p<.05$)。切替パターンの主効果における Ryan 法による多重比較の結果、心理負荷はパターン4が他の切替パターンより大きいという結果となった。これは、マスクパターンに置き換えられてしまうことが文字の形自体の大きな変化を生み、それが負荷となったと考えられる。フォントの切り替えについてはそのような負荷増大が起こっていないため、提案手法は可読性を上げられる一方、切り替えのせいで作業負荷が上がるというわけではない。

5. まとめ

本研究では、HMD を装着している環境で生活しながら文字コンテンツを読むような場合、その可読性は状況に応じて動的に変化するという筆者らの先行研究の成果をベースに、着地の瞬間だけ読みやすいフォントに切り替えることで、デザインの自由度と読みやすさを両立する手法を提案した。いくつかの切り替えパターンを用意し、可読性と作業負荷の観点から評価した。評価結果から、HMD が振動するタイミングで線が太いフォントに切り替えることで

文字情報を閲覧しやすくなり、文字の上下動によるストレスを軽減できることがわかった。また、HMD 振動時に図形を表示することで視覚マスキングをする手法も検討したが、心理負荷の観点からも可読性の観点からも現状では不適切であることがわかった。図形でマスクするのではなく、空白にするような手法の方が適切な可能性がある。

今後は被験者数やハードウェアのバリエーションを増やし、提案手法の特性をさらに検証していく予定である。また、他の HMD 向け情報提示手法と組み合わせて用いることで、HMD での最適な文字情報提示手法についての検討を進める。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(A)(22H00550, 22H00078)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Y. Matsuura, T. Terada, T. Aoki, S. Sonoda, N. Isoyama, and M. Tsukamoto: Readability and Legibility of Fonts Considering Shakiness of Head Mounted Displays, *Proc. of the 23rd International Symposium on Wearable Computers (ISWC '19)*, pp. 150–159 (Sep. 2019).
- [2] S. H. Chua, S. T. Perrault, D. J. C. Matthies, and S. Zhao: Positioning Glass: Investigating Display Positions of Monocular Optical See-Through Head-Mounted Display, *Proc. of the 4th International Symposium on Chinese CHI (ChineseCHI 2016)*, No. 1, pp. 1–6 (May 2016).
- [3] R. Rzayev, P. W. Wozniak, T. Dingler, and N. Henze: Reading on Smart Glasses: The Effect of Text Position, Presentation Type and Walking, *Proc. of the 36th Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*, No. 45 (Apr. 2018).
- [4] K. I. Forster: Visual Perception of Rapidly Presented Word Sequences of Varying Complexity, *Perception & Psychophysics*, Vol. 8, No. 4, pp. 215–221 (July 1970).
- [5] M. Nakao, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Information Presentation Method for Head Mounted Display Considering Surrounding Environments, *Proc. of the 5th Augmented Human International Conference 2014 (AH '14)*, No. 47, pp. 1–8 (Mar. 2014).
- [6] K. Tanaka, Y. Kishino, M. Miyamae, T. Terada, and S. Nishio: An Information Layout Method for an Optical See-through HMD Considering the Background, *Proc. of the 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '07)*, pp. 109–110 (Oct. 2007).
- [7] 富士原匡隆, 新井イスミル: 光学透過型 HMD を用いた AR ナビにおける背景色に基づくビューマネジメント, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-UBI-41, No. 11, pp. 1–5 (Mar. 2014).
- [8] 太田脩平, 寺田 努, 塚本昌彦: 投影映像の視認性を考慮した装着型プロジェクタの装着位置評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1924–1937 (July 2012).
- [9] 多治見圭亮, 上村敬志, 梶原康宏, 酒田信親, 西田正吾: 歩行の周期性を利用した腰部搭載プロジェクタによるフロアプロジェクション安定化手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 161–169 (2011).
- [10] S. Murata and K. Fujinami: Stabilization of Projected Image for Wearable Walking Support System Using Pico-projector, *Proc. of 17th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, pp. 113–116 (2011).
- [11] P. W. Henderson, J. L. Giese, and J. A. Cote: Impression Management using Typeface Design, *Journal of Marketing*, Vol. 68, No. 4, pp. 60–72 (Oct. 2004).
- [12] J. S. Mansfield, G. E. Legge, and M. C. Bane: Psychophysics of Reading. XV: Font effects in Normal and Low Vision, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 37, No. 8, pp. 1492–1501 (July 1996).
- [13] 中野泰志: モリサワフォント (UD フォント) の可視性・可読性に関する比較研究報告, <https://www.morisawa.co.jp/fonts/udfont/study/> (2013).
- [14] American Printing House for the Blind Inc.: APFont: A Font for Low Vision, <https://www.aph.org/products/aphont/> (2004).
- [15] J. B. Bernard, C. Aguilar, and E. Castet: A New Font, Specifically Designed for Peripheral Vision, Improves Peripheral Letter and Word Recognition, but Not Eye-Mediated Reading Performance, *PLoS One*, Vol. 11, No. 4, pp. 1–25 (Apr. 2016).
- [16] D. Bragg, S. Azenkot, K. Larson, A. Bessemans, and A. T. Kalai: Designing and Evaluating LiveFonts, *Proc. of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2017)*, pp. 481–492 (Oct. 2017).
- [17] 芳賀 繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定 -各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-, 人間工学, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79 (1996).
- [18] 菊地 正: 視覚マスキングと視覚記憶, *VISION*, Vol. 8, No. 4, pp. 221–231 (1996).
- [19] M. Z. Ramadan: Evaluating College Students' Performance of Arabic Typeface Style, Font Size, Page Layout and Foreground/Background Color Combinations of E-book Materials, *Journal of King Saud University Engineering Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 89–100 (June 2011).
- [20] D. Beymer, D. M. Russell, and P. Orton: An Eye Tracking Study of How Font Size and Type Influence Online Reading, *Proc. of the 22nd British HCI Group Annual Conference on HCI (BCS HCI 2008)*, Vol. 2 (Sep. 2008).
- [21] 小田浩一: MNREAD-J, Jk チャートマニュアル, <https://www.cis.twcu.ac.jp/~k-oda/MNREAD-J/> (2002).