



HMD装着時の歩行から生じる画面揺れを考慮した和文フォントの可視性・可読性の評価

松浦, 裕久 ; 寺田, 努 ; 秋末, 大作 ; 園田, 晋 ; 磯山, 直也 ; 塚本, 昌彦

(Citation)

情報処理学会論文誌, 61(8):1343-1352

(Issue Date)

2020-08

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うをお願いいたします。

Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by th...

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90008734>



HMD装着時の歩行から生じる画面揺れを考慮した 和文フォントの可視性・可読性の評価

松浦 裕久¹ 寺田 努^{1,a)} 秋末 大作² 園田 晋² 磯山 直也^{3,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

受付日 2019年12月16日, 採録日 2020年5月12日

概要: 頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いることで, ユーザは様々な場面で視覚情報を取得できる. しかし, たとえば歩行時には足の着地により, HMD が上下に振動し, 提示される文字情報が読みづらくなるなど, HMD 上の情報を取得するのが困難な場合がある. そこで, 本研究では文字のデザインであるフォントに着目し, HMD 上での情報提示に適した和文フォントを調査する. 本稿では, 歩行中の HMD の揺れを考慮したフォントの調査を行う. デザインの異なる 8 種類のフォントを用いて, 可視性 (文字の判別のしやすさ), 可読性 (文章の読みやすさ) の 2 つの観点から, それぞれ評価を行った. 評価の結果, 可視性の実験から, 画面揺れによって縦線/横線の細いフォントは見えにくくなるため, 単語を表示させる場合, 縦線あるいは横線が太いフォントが好ましいことが分かった. また, 可読性の実験から, 画面揺れによって縦線/横線の細いフォントは読みにくくなるため, 30 文字程度の文章を表示させる場合, 縦線あるいは横線が太いフォントが好ましいことが分かった.

キーワード: HMD, フォント, 可読性, 可視性, 画面揺れ

Legibility and Readability of Fonts Considering Shakiness of HMD Generated from Walking

YUKI MATSUURA¹ TSUTOMU TERADA^{1,a)} DAISAKU AKISUE² SUSUMU SONODA²
NAOYA ISOYAMA^{3,b)} MASAHICO TSUKAMOTO^{1,c)}

Received: December 16, 2019, Accepted: May 12, 2020

Abstract: By using head mounted display (HMD: Head Mounted Display), users can acquire visual information in various scenes. However, there are cases where it is difficult to acquire information on the HMD, for example, when walking, the HMD vibrates up and down due to the landing of the foot, making it difficult to read the presented character information. In this study, we focus on the font, which is a character design, and investigate the Japanese font suitable for information presentation on HMD. In this paper, we investigate the font considering the swinging of HMD during walking. Using 8 kinds of fonts with different designs, evaluation was carried out from 2 viewpoints of visibility (Easy character recognition) and readability (readability of sentences), respectively. As a result of the evaluation, the font of which the vertical line and the horizontal line are thick is preferable, when the word is displayed, because the font of which the vertical line and the horizontal line are thin becomes difficult to be seen by the screen shake from the experiment of the visibility. Moreover, from the experiment of the readability, the font of which the vertical line and the horizontal line are thin becomes difficult to read by the screen shake, and the font of which the vertical line and the horizontal line are thick is preferable when the text of about 30 characters is displayed.

Keywords: HMD, font, readability, legibility, screen shakiness

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan
² 株式会社モリサワ
Morisawa Inc., Osaka 556-0012, Japan
³ 奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of
Science and Technology, Ikoma, Nara 630-0192, Japan

1. はじめに

ウェアラブルコンピューティング環境における装着型

a) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
b) isoyama@is.naist.jp
c) tuka@kobe-u.ac.jp

デバイスの1つに頭部装着型ディスプレイ（HMD：Head Mounted Display）が存在する。HMDは目の前に映像が つねに提示されており、歩行中のメールの確認や電車乗車中のニュースの閲覧など、様々な環境下で情報を取得できるようになり、日常生活における様々な場面で活用されることが期待されている。しかし、HMD上での情報提示はデスクトップPCやスマートフォン、電子書籍リーダなどの従来のディスプレイ上での情報提示とは異なり、歩行から生じる端末の揺れや動作ごとの視線の動きの違い、背景の明るさが情報の取得しやすさに影響を与える。このようなHMDの特性を考慮したアプローチは様々な考えられるが、HMD上では着信通知やマップ表示など、文字情報を提示する場面が多く、情報提示に適したフォントの調査は不可欠であると考えられる。一般のスクリーン上での読みやすいフォントの調査は文献[1]などで行われているが、HMDの特性を考慮して適切なフォントを探る取組みは筆者らの知る限り行われていない。

そこで本研究では、HMD上での情報提示に適した和文フォントを調査する。具体的に、歩行から生じるHMDの揺れを考慮したフォントの調査を行い、書体や線の太さなどの観点から、歩行時における情報提示に適したフォントを決定する。

本稿は以下のように構成されている。2章で本研究に関連する研究について述べ、3章でフォントの評価方法について説明する。4章で実験方法、結果について述べ、5章で本稿のまとめを述べる。

また、本稿はISWC2019[2]で発表した内容を拡張したものであり、新たにフォントを追加し、評価および議論を行ったものである。

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電子書籍、デスクトップPCと利用環境や特徴が異なるため、情報提示手法に関しての様々な研究が行われている。たとえば、HMDを使用する際、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。よって、HMD上の情報を取得するのに効率的な情報提示が必要とされる。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[3]。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分かった。Rzayev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[4]。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、主観的な負荷がかかり、また提示された情報の理解度も減少することが分かった。また、情報提示方法にRSVP[5]、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分かった。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。たとえば、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、Nakao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[6]。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分かった。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、Tanaka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[7]。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分かった。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[8]。視覚障害者の人々は、常時情報を提示できるHMDを用いることで、より便利な生活をするのが可能になる。そこで、Zhaoらは視覚障害者がHMD上で判別できる図形を調査し、視覚障害者に対して情報提示のガイドラインを作成した[9]。

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。しかし、HMDを使う際、歩行しながらメールやスケジュールの確認といった、文字を使って情報を取得する場面が多い。一般的に歩行しながら文字情報を取得するのは困難であり[10]、またHMDを装着しながら歩行した場合、足の着地によりHMD実機が上下に振動してしまい、さらに情報の取得が困難になる。そこで我々はこの問題に注目し、文字を扱ううえで不可欠な要素であるフォントでの解決を試みた。HMD上での情報提示に関する先行研究に対して、さらにフォントの考慮を行うことで、よりよりサービスとなることが期待される。

2.2 フォントに関する研究

フォントは文字情報を提示する際に不可欠な要素であり、イメージ伝達、視認性の向上など、様々な役割を担っている。Henderson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



図 1 UD 書体
Fig. 1 UD typeface.

影響を与えることが分かった。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。中田らは、株式会社モリサワが作成した視覚障害者用の UD (ユニバーサルデザイン) フォントの評価を行った [13]。ここで、株式会社モリサワが作成した UD フォントの 1 例と他のフォントの違いを図 1 に示す。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、可視性にともに優れていることが分かった。さらに、文字間の距離や字面を考慮した APFont [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分かった。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、Bragg らは回転、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、視認性が高いことが分かった。

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、筆者の知る限り、HMD の特徴を考慮したフォントの開発は行われていない。

3. フォントの評価方法

本研究では、HMD 上での文字情報の取得のしやすさに焦点を当てた調査を行う。HMD 上では、着信者の名前などの単語の表示、そして「〇〇から着信がきています」などの文章の表示が想定され、表示する文章によって、最適なフォントは異なる。そこで、単語の表示に適したフォントの調査として可視性 (文字の判別のしやすさ) の評価、文章の表示に適したフォントの調査として可読性 (文章読みやすさ) の評価を行う。これらの評価観点は、関連研究 [13] の評価基準を参考にして決定した。

3.1 可視性

可視性とは 1 文字 1 文字の判別のしやすさを示すものであるが、本稿では、ディスプレイの小さい HMD 上での文

字表示を想定している。そのため、本稿の可視性の評価では、どれだけ小さい文字を認識できるか、またその文字をどれだけ素早く認識できるか、の 2 点を評価する。可視性の実験では、フォント間での差異が少ない可能性が考えられるため、文字サイズを pt (ポイント) 単位で変化させて比較する。

評価方法としては、まず被験者に 18pt の文字を 1 文字提示する。被験者が提示された文字を認識できれば、その後、1pt 文字サイズを小さくした文字を提示する。この試行を繰り返して、文字サイズを小さくしていき、被験者が文字を認識できなくなると実験を終了する。文字サイズの文字の提示から認識までの時間を記録し、以下の 2 項目を評価する。

- 認知閾 認識できる最小の文字サイズ
- 認識時間 認知閾の文字の認識にかかった時間

検証文字種は、ひらがな、カタカナ、漢字の 3 種類とする。文字によって煩雑さが異なり、表示される文字によって得られるデータが不安定になる可能性があるため、同じ実験を 2 度繰り返す。ここで、本実験では認知閾を調査する際、大きい文字から小さい文字への提示のみしか行っていないため、ヒステリシスが考慮されておらず、結果に偏りが生じている可能性があるが、フォント間の比較としては有効であると考えられる。

3.2 可読性

文章としての読みやすさを示す可読性の評価には、主観評価 [17] や視線分析 [18] などがあるが、本稿では、世界で最も利用され信頼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 [19] 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 logMAR を用いる。logMAR とは図 2 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り、測定距離が変化しても相対的な文字の大きさが変化しない。文字サイズの単位 pt を用いた計算式は下記のとおりである。

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

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。文章中の文字を 1 文字でも読むことができれば、文字サイズの縮小と音読の試行を繰り返し、1 文字も読め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、読み損じた文字数から下記の 3 項目を算出し、フォントの評価とする。

- 読書視力 文章として知覚できる限界の文字サイズ

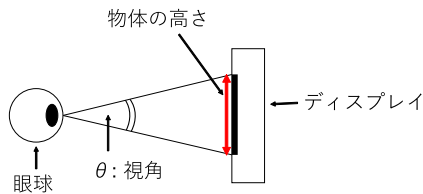


図 2 logMAR の定義

Fig. 2 Definition of logMAR.

- 臨界文字サイズ 最大速度で読める最小の文字サイズ
- 最大読書速度 文字が最適なサイズの場合の読書速度
読書視力の計算式は下記のとおりである。

$$\text{読書視力} = 1.1 - \text{文章数} \times 0.1 + \frac{\text{読み間違えた数}}{300} \quad (2)$$

最大読書速度は、臨界文字サイズ以上のそれぞれの文字サイズの読書速度

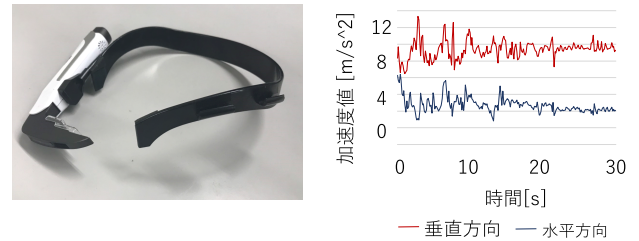
$$\text{読書速度} = \frac{(30 - \text{読み損じた文字数})}{\text{音読時間}} \times 60 \quad (3)$$

の値を平均して導出する。ここで、表示する文章を意味の通じる文章にした場合、人間の補完能力により本来なら読めない部分も推測で読めてしまう可能性があるため、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 字の文章とし、従来研究での実験方法に変更を加えた。選定した文字に関して、ひらがな、カタカナに関しては全種類（濁音/半濁音は含めない）、漢字に関しては小学生用漢字であり、かつひらがな、カタカナより画数の多い、5 画以上の 100 種類である。文章に慣れさせないために、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。

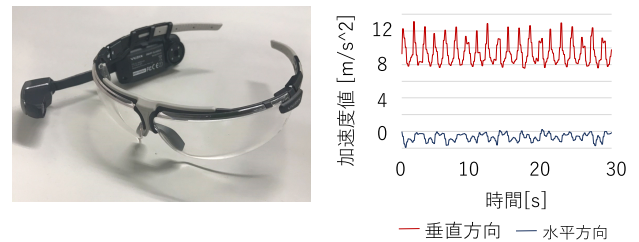
ここで、本実験では被験者に文字列を音読してもらってため、MNREAD-J チャートで想定されている実験環境とは異なるが、フォント間の比較が目的であるため、文字列を提示することによる実験結果への影響はないと考えられる。しかし、この実験方法でフォントを評価した先行研究は存在せず、本研究で採用している実験方法が妥当であるかを検証することは今後の課題である。

4. HMD 実機による評価

歩行時に生じる HMD の揺れを考慮したフォントの評価を行う。ここで、歩行中に HMD が上下に振動するかを確認するため、複数の単眼型 HMD を装着しながら 30 秒間歩行した際の加速度センサの値を記録したものを図 3 に示す。図では 2 種類の HMD、Telepathy Walker（解像度 960 × 540 px、メモリ 1 GB、輝度 3,000 nits）、M100 Smart Glasses（解像度 428 × 240 px、メモリ 1 G、輝度 2,000 nits）の結果を示している。これらの HMD はともに単眼型非透過型 HMD であり、使用用途は似ているが、グラフから HMD の種類によって、歩行中の端末の垂直方向、水平方向への揺れ方が異なることが分かる。今後、単眼/両眼、非



(a) TelepathyWalker



(b) M100 Smart Glasses

図 3 歩行中の HMD の揺れ

Fig. 3 Movement with each type of HMD.

透過/透過の違いや、重量バランスの違いなど様々な要素がどう HMD の揺れに影響するか、また、その揺れの違いがフォント視認性にどのような影響を与えるかを大規模に調査する必要がある。本研究では、まず歩行中に HMD の縦揺れが生じる M100 Smart Glasses を使用して、評価を行う。様々な HMD に対しての評価は今後の課題である。

4.1 実験方法

被験者は HMD（Vuzix M100 Smart Glasses）を装着し、静止と歩行の 2 つの状況で評価する。静止では被験者は直立静止し、歩行ではトレッドミルを平均歩行速度である時速 4km で歩行する。各状況で HMD 上に表示されたフォントの可読性、可視性を評価する。実験時に表示する単語や文章に関して、ディスプレイ中心に配置し、それぞれのフォントが本来持つ文字間のスペースを設定している。被験者はリモコンのボタンを可読性の評価の音読開始・終了時と可視性の評価の文字の提示開始・認識時に押す。被験者は片眼視力が 0.4 以上（矯正も含む）の 20 代男女 25 名（男性 23 名、女性 2 名）である。

4.2 フォントの選択

本研究で評価対象としたフォントは図 4 に示すとおり、明朝体 6 種類とゴシック体 2 種類の合計 8 種類である。ここで本研究では、文字が上下に揺れる場合、細い横線はブレて読みにくくなるという仮説を立てた。この仮説を検証するため、縦線、横線の太さがそれぞれ段階的に異なるフォントを用意して検証する必要がある。モリサワ株式会社の



図 4 評価対象のフォント

Fig. 4 Fonts evaluated.

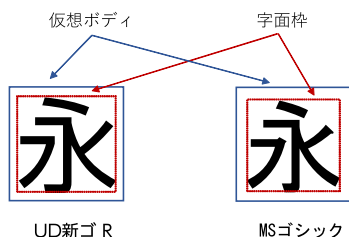


図 5 UD 新ゴ R と MS ゴシックの違い

Fig. 5 Differences in the two Gothic typefaces.

黎ミングラデーションファミリーを選定した。黎ミン Y20 R, 黎ミン Y20 B, 黎ミン Y20 H に関して, 縦線のみが段階的に異なり, 黎ミン Y20 B の縦線の太さを 100 とした場合, 黎ミン Y20 R は 58, 黎ミン Y20 H は 158 である。黎ミン B, 黎ミン Y20 B, 黎ミン Y40 B に関して, 横線のみが段階的に異なり, 黎ミン Y20 B の横線の太さを 100 とした場合, 黎ミン B は 71, 黎ミン Y40 B は 132 である。また, 黎ミングラデーションファミリーの以外の明朝体として, Windows PC に標準搭載されている MS 明朝を選定した。ゴシック体に関して, 明朝体と同様に, MS ゴシックを選定した。また, 縦横の線の太さが均一であるゴシック体にも, 結果の違いが生じるかを検証するために, MS ゴシック以外のゴシック体として, UD 新ゴ R を選定した。UD 新ゴ R は UD (ユニバーサルデザイン) フォントの 1 種であり, 誰でも文字を判別しやすいように工夫されたフォントである。図 5 に示すように, 文字をデザインする際, 文字と文字が接しないように, 仮想ボディと呼ばれる正方形の枠内に対して, 字面枠と呼ぶ小さな枠内にデザインされる。UD 新ゴ R は仮想ボディに対する字面枠の大きさが他のフォントより大きいことが特徴であり, 通常のフォントより大きく見えるのが特徴である。先行研究 [13] から他のフォントに比べて可読性, 可視性ともに良いことが分かっている。

4.3 実験結果

以降のグラフ全般に関して, 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。グラフ中の点線はリファレンスとして静止状態, 歩行状態それぞれの黎ミン Y20 B の値を示す。また, 明朝体とゴシック体は相手

に伝えるイメージや用途が異なるため, 本稿では個別に考察する。

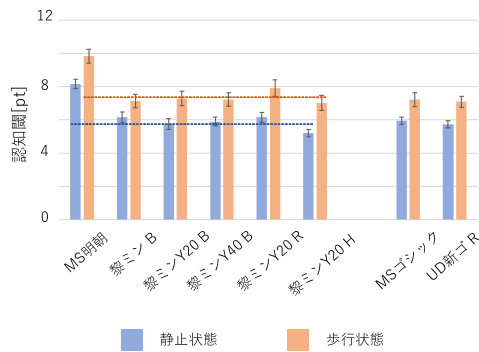
4.3.1 可視性

認知閾

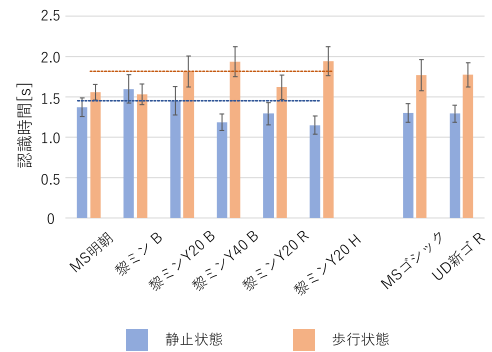
認知閾の数値が小さいほど, 文字サイズの小さい文字が認識できる。図 6 (a)~(c) から, 明朝体に関しては MS 明朝が悪い結果となった。また, 静止状態, 歩行状態ともに, 縦線が段階的に異なるフォント群を比較すると, どの文字種に対しても縦線が太くなるにつれて良い結果となった。歩行状態における黎ミン B に関して, ひらがなではそれほど悪い結果ではなかったが, カタカナ, 漢字は, 他より悪い結果となった。ゴシック体に関して, どれも UD 新ゴ R の方が MS ゴシックよりも良い結果となった。これは, UD 新ゴ R は仮想ボディに対する字面枠の面積が大きく, 同じ文字サイズでも一回り大きく見えるからだと考えられる。

検証文字種ごとに, 被験者内 2 要因分散分析 (要因: 状態, フォント) を行った。ひらがなに関して, 状態とフォントの各主効果が有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 38.068$, $p < .05$; フォント, $F_{(7,399)} = 69.414$, $p < .05$)。フォントの主効果における Ryan 法による多重比較の結果, ひらがなにおける認知閾に関して, MS 明朝 > 黎ミン Y20 R > その他のフォント, また黎ミン B > 黎ミン Y20 H, という結果になった。カタカナに関して, 状態とフォントの各主効果が有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 46.647$, $p < .05$; フォント, $F_{(7,399)} = 83.306$, $p < .05$)。フォントの主効果に多重比較の結果, MS 明朝 > 黎ミン Y20 R > その他のフォント, さらに黎ミン B > 黎ミン Y20 H = MS ゴシック, という結果となった。漢字に関して, 状態とフォントの各主効果, およびその交互作用が有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 59.137$, $p < .05$; フォント, $F_{(7,399)} = 19.218$, $p < .05$; 交互作用, $F_{(7,399)} = 3.885$, $p < .05$)。フォントの主効果における多重比較の結果, MS ゴシック > 黎ミン B = 黎ミン Y20 B > その他のフォント, 黎ミン Y20 R > 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y20 H = UD 新ゴ R, 黎ミン B = MS ゴシック > 黎ミン Y20 H という結果となった。また, 状態とフォントの交互作用における主効果に関して, 黎ミン Y20 R における状態の効果を除いて, それぞれの組合せで有意であった。静止状態における多重比較の結果, MS 明朝 > 黎ミン B = 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y40 B = 黎ミン Y20 H = MS ゴシック = UD 新ゴ R, そして, 黎ミン Y20 R > 黎ミン B = 黎ミン Y40 B = 黎ミン Y20 H = MS ゴシック = UD 新ゴ R という大小関係になった。歩行状態における多重比較の結果, MS 明朝 > 黎ミン B = 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y40 B = 黎ミン Y20 R = 黎ミン Y20 H = UD 新ゴ R, そして, 黎ミン B > 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y20 H, 最後に MS ゴシック > 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y20 H という大小関係になった。

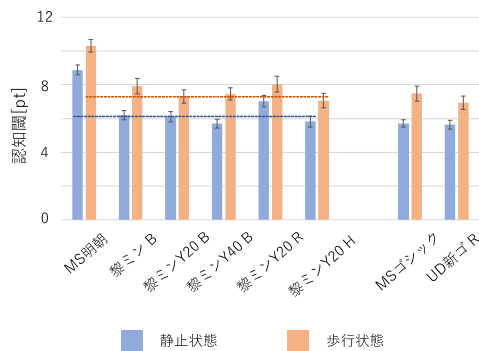
このことから, 全文字種に対して, 静止状態, 歩行状態と



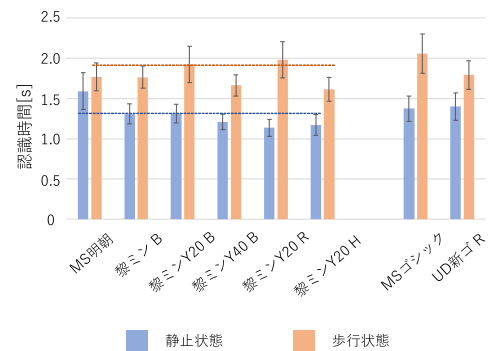
(a) ひらがな



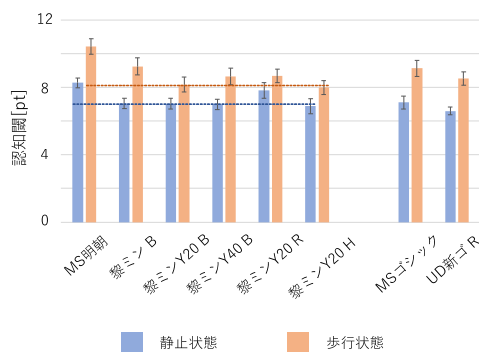
(a) ひらがな



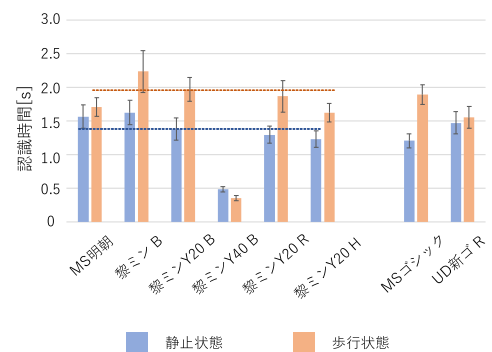
(b) カタカナ



(b) カタカナ



(c) 漢字



(c) 漢字

図 6 認知閾の実験結果

Fig. 6 Cognitive threshold.

図 7 認識時間

Fig. 7 Recognition time.

もに、縦横の線がきわめて細い MS 明朝は悪い結果となった。また、ひらがな、カタカナにおいて、縦線の細い黎ミン Y20 R も MS 明朝に次ぎ、悪い結果となった。漢字において、静止状態では、縦線の太さが認知閾に影響を与え、また、歩行状態では、横線の太さが影響を与える可能性がある。

認識時間

図 7(a)~(c) から、明朝体に関して、ひらがな、カタカナでは、特徴的な傾向が見られなかったが、漢字では、静止状態、歩行状態ともに、黎ミン Y40 B が他のフォントに

比べて、かなり良い結果となっている。ゴシック体に関して、歩行状態において、UD 新ゴ R が MS ゴシックに比べて良い結果となっている。また、静止状態では MS ゴシックは UD 新ゴ R とそれほど大きな差はないが、歩行状態では大きな差がある。

検証文字種ごとに、被験者内 2 要因分散分析 (要因: 状態、フォント) を行った。ひらがなに関して、状態の主効果のみ有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 29.620$, $p < .05$)。カタカナに関して、状態の主効果のみ有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 42.544$, $p < .05$)。漢字に関して、状態とフォ

ントの各主効果が有意であった（状態， $F_{(1,399)} = 27.694$ ， $p < .05$ ；フォント， $F_{(7,399)} = 16.044$ ， $p < .05$ ）。フォントの主効果における Ryan 法による多重比較の結果，黎ミン Y40 B < その他のフォント，黎ミン Y20 H < 黎ミン B，という結果となった。

このことから，フォントは認識時間にそれほど影響を与えないが，複雑な形状をする漢字において，黎ミン Y40 B のような横線が最も太いフォントが良い可能性がある。

4.3.2 可読性

読書視力

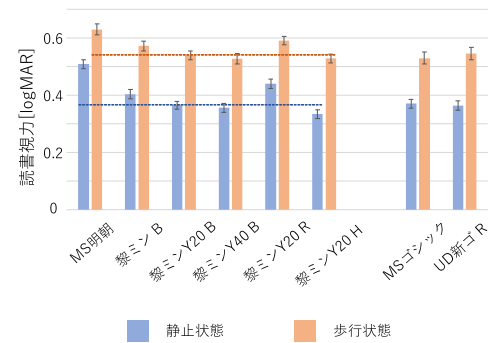
読書視力の数値が小さいほど，小さい文字の文章でも文章として読むことができる。図 8(a) から，明朝体に関して，横線の太さが段階的に異なる黎ミン B，黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B を比較すると，静止状態，歩行状態ともに，横線が太くなるほど良い結果となった。また，縦線の太さが段階的に異なる黎ミン Y20 R，黎ミン Y20 B，黎ミン Y20 H を比較すると，静止状態，歩行状態ともに，縦線が太くなるほど良い結果となった。縦横の線が細い MS 明朝は，最も悪い結果となった。ゴシック体に関して，静止状態では UD 新ゴ R の方がよい結果となったが，歩行状態では，MS ゴシックの方がよい結果となった。これは，UD 新ゴ R は仮想ボディに対する字面枠の面積が大きいので，他のフォントより一回り大きく見えるため，静止状態では文章が鮮明に見えるため良い結果となったが，文章が揺れてしまうと，字間が狭い特徴があるため，文章が煩雑に見えてしまうためだと考えられる。

被験者内 2 要因分散分析（要因：状態，フォント）を行った結果，状態とフォントの各主効果，およびその交互作用が有意であった（状態， $F_{(1,399)} = 214.610$ ， $p < .05$ ；フォント， $F_{(7,399)} = 46.610$ ， $p < .05$ ；交互作用， $F_{(7,399)} = 3.483$ ， $p < .05$ ）。フォントの主効果における Ryan 法による多重比較の結果，読書視力に関して MS 明朝 > 黎ミン Y20 R > 黎ミン B > その他のフォント，という結果となった。また，状態とフォントの交互作用における主効果に関して，すべての組み合わせで有意であった。静止状態における Ryan 法による多重比較の結果，MS 明朝 > 黎ミン Y20 R > 黎ミン B > その他のフォント，という結果になった。歩行状態における Ryan 法による多重比較の結果，MS 明朝 > 黎ミン Y20 R > 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y40 B = 黎ミン Y20 H = MS ゴシック = UD 新ゴ R，そして MS 明朝 > 黎ミン Y20 R > 黎ミン B を除く他のフォント，MS 明朝 > 黎ミン B > 黎ミン Y40 B = 黎ミン Y20 H = MS ゴシック，という結果となった。

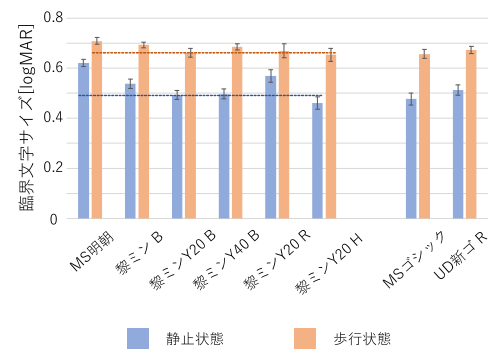
これらの結果から，縦線，横線ともに，ある一定以下の細さの場合，静止状態，歩行状態ともに読書視力の結果が悪くなることが分かった。

臨界文字サイズ

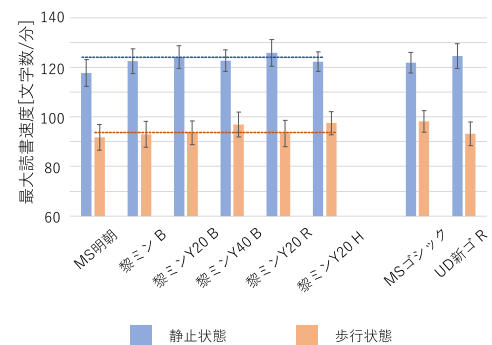
臨界文字サイズの数値が小さいほど，小さい文字サイズ



(a) 読書視力



(b) 臨界文字サイズ



(c) 最大読書速度

図 8 可読性

Fig. 8 Readability.

の文章を滑らかに読める。図 8(b) から，明朝体に関して，横線の太さが段階的に異なる黎ミン B，黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B を比較すると，静止状態，歩行状態ともに，横線が中間の太さである黎ミン Y20 B が良い結果となった。また，縦線の太さが段階的に異なる黎ミン Y20 R，黎ミン Y20 B，黎ミン Y20 H を比較すると，静止状態，歩行状態ともに，縦線が太くなるほど，良い結果となった。ゴシック体に関して，静止状態，歩行状態ともに，UD 新ゴ R より MS ゴシックの方が良い結果となった。

被験者内 2 要因分散分析（要因：状態，フォント）を行った結果，状態とフォントの各主効果，およびその交互作用が

有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 148.457$, $p < .05$; フォント, $F_{(7,399)} = 7.011$, $p < .05$; 交互作用, $F_{(7,399)} = 3.171$, $p < .05$). フォントの主効果における Ryan 法による多重比較の結果, 臨界文字サイズに関して, MS 明朝 > 黎ミン B = 黎ミン Y20 R を除く他のフォント, 黎ミン B = 黎ミン Y20 R > 黎ミン Y20 H, という結果となった. また, 状態とフォントの交互作用における主効果に関して, 歩行状態におけるフォントの効果を除いて, すべての組み合わせで有意であった. 静止状態における Ryan 法による多重比較の結果, MS 明朝 > 黎ミン Y20 R を除く他のフォント, 黎ミン B > 黎ミン Y20 H, 黎ミン Y20 R > 黎ミン Y20 B = 黎ミン Y40 B = 黎ミン Y20 H = MS ゴシック, という結果となった.

これらの結果から, 静止状態では, 縦線がある一定以下の細さの場合, 臨界文字サイズの結果が悪くなることが分かったが, 横線の太さが異なる黎ミン 3 種類の間で, 有意な差は見られず, 横線の太さの影響は分からなかった. 臨界文字サイズには, 縦線が大きく影響を与える可能性がある. また, 歩行状態では, フォントは臨界文字サイズに対して影響を与えないことが分かった.

最大読書速度

最大読書速度の数値が大きいくほど, 臨界文字サイズ以上の文章の読書速度が速い. 図 8(c) から, 明朝体に関して, 横線の太さが異なる黎ミン B, 黎ミン Y20 B, 黎ミン Y40 B を比較すると, 静止状態では, 横線の太さが中間サイズである黎ミン Y20 B が最も良い結果となり, 歩行状態では, 横線の太さが太くなるにつれて, 良い結果となった. また, 縦線の太さが異なる黎ミン Y20 R, 黎ミン Y20 B, 黎ミン Y20 H を比較すると, 静止状態では, 縦線の太さが細くなるにつれて, 良い結果となり, 歩行状態では, 縦線が最も太い黎ミン Y20 H が良い結果となった. ゴシック体に関して, 読書視力と同様, 静止状態では, UD 新ゴ R の方が良い結果となったが, 歩行状態では, MS ゴシック体の方が良い結果となった.

被験者内 2 要因分散分析 (要因: 状態, フォント) を行った結果, 状態の主効果のみ有意であった (状態, $F_{(1,399)} = 107.579$, $p < .05$). これらの結果から, フォントは最大読書速度に大きな影響を与えないことが分かった.

4.4 評価のまとめ

可視性の評価結果から, 画面の揺れによって, 縦線/横線の細いフォントは, 線が見えづらくなるため文字を視認しづらいため, 日本語の単語の提示には縦線あるいは横線が太いフォントが好ましいことが分かる.

可読性の評価結果から, 画面の揺れによって縦線/横線の細いフォントは, 線が見えづらくなるため文章が読みにくくなるため, 日本語の 30 文字の程度の文章の提示には, 縦

線あるいは横線が太いフォントが好ましいことが分かる.

また, これまでの先行研究では, 文字自体が揺れるといったことを想定していなかったため, 「UD フォントは見やすい」という結論しかなかった. しかし本研究から, 揺れなどが生じるとき, 他のフォントの方が UD フォントより優れる可能性がある, ということが示された.

5. おわりに

本稿では, 歩行時に生じる HMD の揺れを考慮した和文フォントの評価を可視性と可読性の 2 つの観点から行った. 可視性の実験から, 日本語の単語を表示させる場合, 縦線あるいは横線が太いフォントが好ましいことが分かった. また, 可読性の実験から, 日本語の 30 文字程度の文章を表示させる場合, 縦線あるいは横線が太いフォントが好ましいことが分かった.

今後の課題として, HMD の種類ごとの問題点を考慮したフォントの調査や日本語以外の言語への応用が考えられる.

謝辞 本研究の一部は, JST CREST (JPMJCR16E1) 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] Boyarski, D., Neuwirth, C., Forlizzi, J., et al.: A study of fonts designed for screen display, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 1998)*, pp.87–94 (1998).
- [2] Matsuura, Y., Terada, T., Aoki, T., et al.: Readability and Legibility of Fonts Considering Shakiness of Head Mounted Displays, *Proc. 23rd International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2019)*, pp.150–159 (Sep. 2019).
- [3] Chua, S.H., Perrault, S.T., Matthies, D.J.C., et al.: Positioning Glass: Investigating Display Positions of Monocular Optical See-Through Head-Mounted Display, *Proc. 4th International Symposium on Chinese CHI*, No.1 (2016).
- [4] Rzyayev, R., Woźniak, P.W., Dingler, T., et al.: Reading on Smart Glasses: The Effect of Text Position, Presentation Type and Walking, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2018)*, No.45 (2018).
- [5] Forster, K.I.: Visual perception of rapidly presented word sequences of varying complexity, *Perception & Psychophysics*, Vol.8, No.4, pp.215–221 (1970).
- [6] Nakao, M., Terada, T. and Tsukamoto, M.: An Information Presentation Method for Head Mounted Display Considering Surrounding Environments, *Proc. 5th Augmented Human International Conference (AH 2014)*, No.47, pp.1–8 (2014).
- [7] Tanaka, K., Kishino, Y., Terada, T., et al.: An Information Layout Method for an Optical See-through Head Mounted Display Focusing on the Viewability, *Proc. 7th International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2008)*, pp.139–142 (2008).
- [8] 富士原匡隆, 新井イスマイル: 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-MBL-70, No.11,

- pp.1848–1858 (2014).
- [9] Zhao, Y., Hu, M., Hashash, S., et al.: Understanding Low Vision People's Visual Perception on Commercial Augmented Reality Glasses, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2017)*, pp.4170–4181 (2017).
 - [10] Vadas, K., Patel, N., Lyons, K., et al.: Reading on-the-go: A comparison of audio and hand-held displays, *Proc. 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2006)*, pp.219–226 (2017).
 - [11] Henderson, P.W., Giese, J.L., Cote, J.A.: Impression Management using Typeface Design, *Journal of Marketing*, Vol.68, No.4, pp.60–72 (2004).
 - [12] Mansfield, J.S., Legge, G.E. and Bane, M.C.: Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol.37, No.8, pp.1492–1501 (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（2013），入手先（<https://www.morisawa.co.jp/fonts/udfont/study/>）.
 - [14] American Printing House for the Blind Inc.: APHont: A Font for Low Vision, available from (<https://www.aph.org/products/aphont/>).
 - [15] Bernard, J.B., Aguilar, C. and Castet, E.: 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 (2016).
 - [16] Bragg, D., Azenkot, S., Larson, K., et al.: Designing and Evaluating LiveFonts, *Proc. 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2017)*, pp.481–492 (2017).
 - [17] Ramadan, M.Z.: 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 Sciences*, Vol.23, No.2, pp.89–100 (2011).
 - [18] Beymer, D., Russell, D.M., and Orton, P.: An eye tracking study of how font size and type influence online reading, *Proc. 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers*, Vol.2, pp.15–18 (2008).
 - [19] 小田浩一：MNREAD-J, Jk チャートマニュアル (2002).



松浦 裕久 （学生会員）

2018 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。同年より同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程前期課程。現在に至る。



寺田 努 （正会員）

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。2018 年より同教授。現在に至る。博士（工学）。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE 等，7 学会の会員。



秋末 大作

2005 年駒澤大学経済学部商学科卒業。同年 IT サービス会社に入社。業務システム向けオープンシステム開発経験を経て、システム提案の営業業務に従事。2016 年株式会社モリサワ入社。以来、モリサワ電子書籍ソリューションの普及やモリサワフォントの商用ハードウェア、ミドルウェア、ソフトウェア等への組み込みフォント提供に係る営業企画・提案事業に従事。MUD メディア・ユニバーサルデザイン・アドバイザー。MCPC IoT アドバイザ。



園田 晋

1993 年同志社大学工学部機械工学科卒業。同年株式会社モリサワ入社。以来、Desktop Publishing システムの販売企画やサポート，広報部門を経て 2017 年よりフォントソリューション部。現職ではグラフィックデザイン以外でフォントが担う役割に着目し，ウェアラブルや IoT デバイス，Web システム等テクノロジーとの連携を模索。扱うデジタルフォントは，高精度アウトラインからビットマップまでと幅広い。



磯山 直也 (正会員)

2010年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2012年同大学院工学研究科博士課程前期課程修了。2015年同大学院工学研究科博士課程後期課程修了。同年青山学院大学理工学部助教。2017年神戸大学工学部特命助教。2019年より奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科助教。現在に至る。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, 日本バーチャルリアリティ学会等, 4学会の会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996年同専攻助教授。2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学大学院工学研究科教授。現在に至る。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等, 8学会の会員。