Vol.2019-DPS-179 No.4
Vol.2019-MBL-91 No.4
Vol.2019-ITS-77 No.4
2019/5/23

HMD装着時の歩行による画面揺れを考慮したフォントの可読性・可視性の実機評価

松浦裕久[1]　寺田 努[1,2]　青木友裕[3]　園田 晋[3]　磯山直也[4]　塚本昌彦[1]

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，例えば歩行時や階段昇降時では HMD が上下に揺れて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 6 種類のフォントを用いて，可読性 (文章の読みやすさ)，可視性 (文字の判別のしやすさ) の 2 つの観点から，それぞれ評価を行った．評価の結果，HMD 上で文章を表示させる場合，明朝体を用いる際は，横線の太いフォント，ゴシック体を用いる際は，字面に対して余裕をもって設計されたフォントが好ましい．UD 書体は字面いっぱいに設計されているため，HMD 上で文章を表示させる場合には向いていない．短文を表示させる場合，明朝体を用いる際は，ある程度の横線の太さをもつフォント，ゴシック体を用いる際は，字面いっぱいに設計されたフォントが好ましい．また，HMD を用いた実験では，評価フォントの量によって疲労などの被験者の負荷が大きくなる．そこで，画像処理によって作成した，PC 画面上で実装できる振動シミュレータを用いてフォント評価を行い，振動シミュレータと HMD それぞれの評価結果を比較し，振動シミュレータのフォント評価における妥当性を調査する．

1. はじめに

ウェアラブルコンピューティング環境下における装着型デバイスの 1 つに頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) が存在する．HMD は目の前に映像が常に提示されており，歩行時にメールの確認，電車乗車時にニュースの閲覧など，様々な環境下で情報を取得することが可能になり，今後，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 上でのディスプレイ表示において，スマホや電子書籍などの従来のディスプレイ表示とは異なる問題が生じる．例えば，人ごみの中では周囲に注意しながら HMD 上の情報を閲覧する必要があるため，情報を見逃してしまったり，歩行時には HMD のディスプレイ部が上下に振動するため，文章が読みにくくなる，などユーザの状況によって，HMD 上の情報を取得しにくい場面が存在する．このような HMD 特有の問題を解決するために，例えば，歩行時，階段昇降時などユーザの周辺環境に応じて情報提示方法を切り替える手法 [1]，広角カメラを用いて取得した HMD の背景から，情報の提示に適した領域を決定する手法 [2] が提案されている．このようなシステム面に対するアプローチは必要だが，先行研究として，視覚障害者のための UD（ユニバーサルデザイン）フォントの評価 [4] や，スクリーン上で読みやすいフォントの調査 [5] などが行われており，ユーザの状況や環境，情報提示を行う媒体に応じて，最適なフォントは存在することが明らかになっている．よって，HMD 上での見やすいフォントも存在するはずで，情報提示に適したフォントの調査は不可欠である．しかし，HMD 特有の問題点を考慮したフォントの開発および研究事例は筆者らの知る限り存在しない．

そこで本研究では，HMD 上での情報提示に適したフォントを調査する．まずは，歩行中の HMD の揺れを考慮したフォントの調査を行う．筆者らは，被験者の負担を減らすために，歩行から生じる HMD の揺れを再現した振動シミュレータを PC 画面上で実装を行い，被験者 6 名でフォントの調査を行った [6]．本稿では，HMD を用いた実験を被験者 30 名で行った後，振動シミュレータを用いた実験

[1] 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
[2] 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency, PRESTO
[3] 株式会社モリサワ
Morisawa CO., LTD
[4] 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

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

Vol.2019-DPS-179 No.4
Vol.2019-MBL-91 No.4
Vol.2019-ITS-77 No.4
2019/5/23

の被験者を 30 名まで増やし，振動シミュレータと HMD それぞれの結果を比較をすることで，振動シミュレータのフォント評価における妥当性も調査する．

2. 関連研究

2.1 HMD 上での情報提示手法

HMD はデスクトップ環境のディスプレイと利用環境が異なるため，情報提示手法についての様々な研究が行われている．例えば，光学式シースルー型 HMD を用いるとユーザの視界に重ねて情報を提示できるが，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が読み取りにくい問題がある．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 [2]．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．HMD を用いて情報を確認する際に，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場合がある．例えば，静止時は HMD を注視できる一方で，歩行時や階段昇降時は周囲に注意をしながら HMD 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変えることで，ユーザが HMD 上に表示される情報を見逃しにくくなることを確認した [1]．また，HMD の使用において，歩行中にメールやニュースの閲覧，走行時に心拍数の確認など，パラレルでタスクを行う場面が想定され，効率の良い情報提示手法が求められる．そこで Rufat らは，ユーザの行動に応じた Hololens 上での最適な情報提示手法を調査し，ユーザの行動に応じて最適な情報提示手法は異なることを確認した [7]．これらのように，HMD を用いた情報提示方法に関しては様々な研究が存在する．しかし，HMD を用いる際は，メールやカレンダーなどの文字による情報を取得したい場面が多く考えられるものの，HMD 上に表示する文字の形などのデザインに関する研究は，筆者らの知る限り存在しない．

2.2 フォントに関する研究

文字デザインを扱う書体データであるフォントは多くの種類があり，それぞれイメージの伝達や視認性の向上などの様々な役割をもつ．Pamela らは，フォントごとに伝える印象は異なることを確認し，またロゴを作成する際に，使用するフォントの選択を手助けするためのガイドラインを作成した [3]．Mansfield らはフォントが文章の読みやすさに与える影響を調査した [8]．読書評価表である MNREAD 視力チャートを用いてセリフ体とサンセリフ体の 2 種類のフォントを用いて比較を行った結果，フォントの選択が読書効率に影響を与えることが分かった．フォントは文章のイメージや読みやすさに大きな影響を与えており，広告や店の看板，商品のロゴマークを作る際に，フォントは無視できない要素である．



図 1: UD 書体

またユーザの状況や環境，情報提示を行う媒体に応じて，最適なフォントは異なるため，様々な場合に応じたフォントの開発や調査が行われている．通常のフォントは晴眼者 (視覚に障害のない者) を対象にデザインされることが多いが，病気や事故などで視覚に機能障害をうけたロービジョン者や加齢によって近い距離でのピント調整が困難な人を考慮する必要がある．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) 書体の評価を行った [4]．ここで，株式会社モリサワが作成した UD 書体の 1 例を図 1 に示す．実験の結果から，UD 書体は他の書体に比べて，可読性，可視性ともに優れていることを確認した．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 の開発と評価を行い，Eido による加齢黄斑変性患者の文字の誤認識の減少を確認した [9]．Eido を使用することで，文字の誤認識がかなり減ったことを確認した．Danielle らはモバイル端末などの小さな画面に表示するための回転，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，その可視性を評価した [10]．その結果，livefonts は一般的に使用されている文字より，可視性が高く，慣れるとより可視性が増すことがわかった．これらの研究から，情報を提示する端末や環境，ユーザにより，認識しやすいフォントが異なるため，表示するフォントを適宜変更させる必要がある．しかし，近年普及しつつある HMD 向けのフォントの開発や評価を行った研究は筆者らの知る限り存在しない．そこで，本研究では HMD 上での情報提示に適したフォントを調査する．

3. フォントの評価方法

フォントの役割として，可読性 (文章の読みやすさ)，可視性 (文字の判別のしやすさ)，印象性 (ユーザに与える印象) などが挙げられるが，本研究では，HMD 上での文字の読みやすさに焦点を当てた調査を行うため，可読性，可視性それぞれの評価を行う．

3.1 可読性

文章としての読みやすさを示す可読性の評価では，主観評価や視線分析 [11] などがあるが，本稿では，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

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

Vol.2019-DPS-179 No.4
Vol.2019-MBL-91 No.4
Vol.2019-ITS-77 No.4
2019/5/23

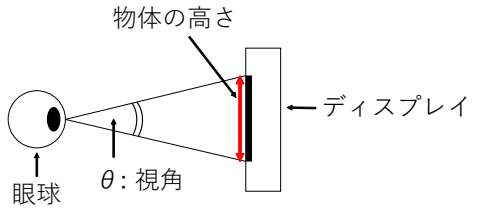


図 2: logMAR の説明

力チャートの日本語版 MNREAD-J チャートを用いた評価方法を参考にした．可読性の評価方法を説明する．被験者はディスプレイ上の文章を可能な限り早く，正確に音読する．音読終了後，文字サイズを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実験を続け，1 文字も読めなければ終了する．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，音声を録音する．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(ポイント) を用いた logMAR の計算式を式 (1) に示す．

$$\mathrm{logMAR} = \log\{12 \times \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1}(\frac{\mathrm{pt}}{1908})\} \qquad (1)$$

ここでの底数は 10 である．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．文字サイズは実験開始時は 1.0logMAR とし，音読し終えると 0.1logMAR ずつ小さくしていく．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 項目を解析プログラムにより算出し，フォントの評価をする．

読書視力　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　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

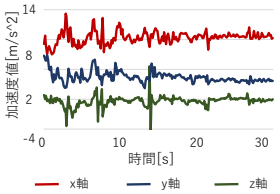
表示する文章を意味の通じる文章にすると，人間の補完能力により揺れた文章でも推測で読めてしまい，適切な結果が得られない可能性がある．そこで，文章はひらがな，カタカナ，漢字からそれぞれ 10 文字ずつの意味を成さない 30 文字の文章とする．文章に慣れが生じないために，被験者には 1 度読んだ文章は 2 度と読ませないようにした．

3.2　可視性

可視性とは 1 文字 1 文字の判別のしやすさであるが，本論文では，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，本論文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．この実験では文字サイズの単位に logMAR ではなく，pt を用いる．評価方法は，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，この時間から，以下の 2 項目を評価する．



(a) 実機

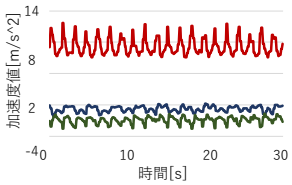


(b) 歩行中の加速度センサ値

図 3: TelepathyWalker



(a) 実機



(b) 歩行中の加速度センサ値

図 4: M100

認知閾　認識できる最小の文字サイズ
認識時間　認知閾の文字を認識するのにかかった時間

検証文字種として，ひらがな，カタカナ，漢字の 3 種類とする．ここで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．

4.　HMD 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，図 3，4 に，2 種類の HMD を装着した際の，歩行中の HMD の加速度センサの値を示す．このグラフから，HMD の種類によっても揺れ方が異なることが分かる．まずは，図 4(a) の上下に振動する Vuzix Corporation の M100 Smart Glasses(ディスプレイ解像度: 480×240px) を用いたフォントの評価を行う．また，本研究にて，私たちは，歩行によって生じる HMD の上下の揺れによって文字を構成する横線がぶれるために文字を認識しにくくなると考えた．そこで，歩行中の HMD に表示するフォントは横線の太さが太いほど上下に揺れている状況でも認識され

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

Vol.2019-DPS-179 No.4
Vol.2019-MBL-91 No.4
Vol.2019-ITS-77 No.4
2019/5/23



図 5: 比較対象フォント

やすい，という仮説をたて，この仮説も検証する．評価に使用したフォントは図 5 の 6 種類である．

4.1 実験方法

HMD は Vuzix Corporation の M100 Smart Glasses(ディスプレイ解像度: 480×240px) を用いた．被験者は HMD を装着し，静止と歩行の 2 つの HMD の使用状況で評価を行う．静止では，被験者は立って静止し，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．被験者は VR 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 20 代の男女 30 名 (男性 28 名，女性 2 名) である．

4.2 実験結果

明朝体とゴシック体は用途が異なり，また相手に伝えるイメージも異なるため，使用場面が異なる．そこで，本稿では明朝体とゴシック体を個別に考察する．

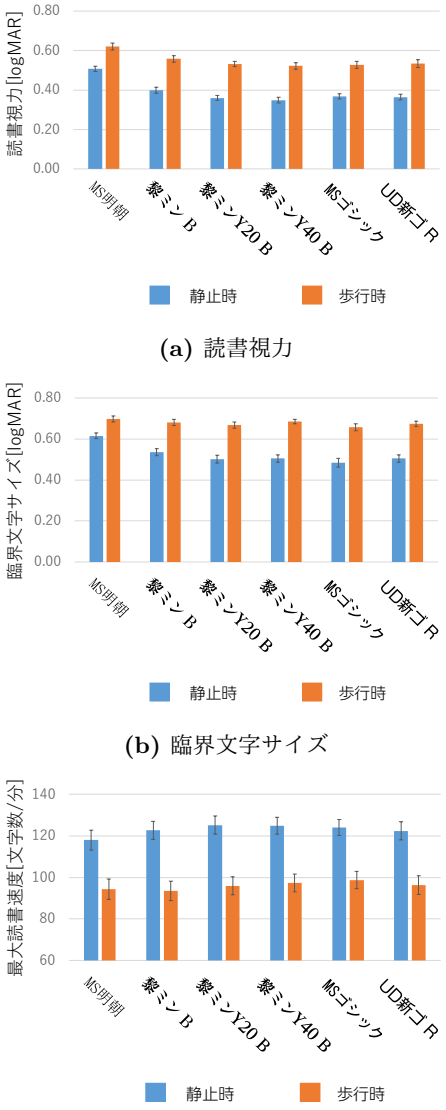
4.2.1 可読性

実験結果を図 6 に示す．被験者 30 名で実験を行ったが，1 名だけ静止状態の黎ミン Y40 B のデータを取れていなかったため，被験者 29 名分のデータで考察を行う．実験結果は測定できた被験者のデータから算出したものである．読書視力，臨界文字サイズ，最大読書速度についてそれぞれ考察する．

読書視力

読書視力のグラフ (図 6(a)) はすべての被験者の平均値を示し，エラーバーは標準誤差を示す．読書視力の数値が小さいほど，小さい文字サイズの文章が知覚できることを示している．

被験者内 2 要因分散分析の結果，使用状況とフォントの各主効果とその交互作用がすべて有意であった (使用状況, $F_{(1,347)}$=249.35, p<.05; フォント, $F_{(5,347)}$=78.11, p<.05; 交互作用, $F_{(5,347)}$=4.88, p<.05)．使用状況の単純主効果はすべてのフォントにおいて有意であり (黎ミン B, $F_{(1,464)}$=132.74, p<.05; 黎ミン Y20 B, $F_{(1,464)}$=155.84, p<.05; 黎ミン Y40 B, $F_{(1,464)}$=158.99, p<.05; MS 明朝, $F_{(1,464)}$=66.95, p<.05; MS ゴシック, $F_{(1,464)}$=136.23, p<.05; UD 新ゴ R, $F_{(1,464)}$=151.27, p<.05)，各フォントの読書視力は静止時より歩行時が大きかった．このことから，歩行時に文章を読むためには，文字サイズを静止時より大きくする必要があることがわかる．次に，フォントの単純主効果は静止時，歩行時ともに有意であった (静止時, $F_{(5,464)}$=62.77, p<.05; 歩行時, $F_{(5,464)}$=24.53, p<.05)．静止時における Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝が他のフォントに比べて読書視力が有意に大きかった．また，黎ミン B の読書視力が MS 明朝を除く 4 種類のフォントに比べて，有意に大きかった．歩行時における Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝が他のフォントに比べて読書視力が有意に大きかった．また，黎ミン B が黎ミン Y40 B，MS ゴシックに比べて，



(a) 読書視力

(b) 臨界文字サイズ

(c) 最大読書速度

図 6: HMD を用いた可読性実験の結果

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

有意に大きかった．このことから，MS 明朝のような縦横の線が細いフォントは，静止時も歩行時も読書視力は大きくなることが分かった．これは，解像度の関係で，文字が小さくなると消えて見えなくなるからだと考えられる．黎ミン 3 種類は，段階的に横線の幅が太くなるフォントファミリーである．黎ミン 3 種類の中でも，黎ミン B は横線が最も細く，そのため静止時も歩行時も黎ミン B の読書視力が大きくなったと考えられる．黎ミン B は縦横の線の太さに大きな差があり，これも読書視力が大きくなった要因の一つと考えられる．

図 6(a) に示す実験結果の考察を行う．横線の太さが段階的に太くなる黎ミン 3 種類の読書視力を比較する．静止時も歩行時も横線の太さが太くなるにつれて，読書視力が小さくなっている．静止と歩行に関わらず，横線の太さは読書視力を変化させることがわかった．2 種類のゴシック体の読書視力を比較する．静止時では UD 新ゴ R の読書視力が小さく，歩行時では MS ゴシックの読書視力が小さくなった．これは，UD 新ゴ R は字面いっぱいに文字が設計されているため，UD 新ゴ R で書かれた文章が揺れてしまうと文章が煩雑に見えてしまうためだと考えられる．

臨界文字サイズ

臨界文字サイズのグラフ (図 6(b)) はすべての被験者の平均値を示し，エラーバーは標準誤差を示す．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．

被験者内 2 要因分散分析の結果，使用状況とフォントの各主効果とその交互作用がすべて有意であった (使用状況, $F_{(1,347)}$=217.67, p<.05; フォント, $F_{(5,347)}$=8.13, p<.05; 交互作用, $F_{(5,347)}$=4.02, p<.05)．使用状況の単純主効果はすべてのフォントにおいて有意であり (黎ミン B, $F_{(1,464)}$=55.97, p<.05; 黎ミン Y20 B, $F_{(1,464)}$=73.11, p<.05; 黎ミン Y40 B, $F_{(1,464)}$=85.80, p<.05; MS 明朝, $F_{(1,464)}$=18.32, p<.05; MS ゴシック, $F_{(1,464)}$=79.33, p<.05; UD 新ゴ R, $F_{(1,464)}$=76.18, p<.05)，各フォントの臨界文字サイズは静止時より歩行時が大きかった．このことから，歩行時の読書速度を保つためには，文字サイズを静止時より大きくする必要があることがわかる．次に，フォントの単純主効果は静止時のみ有意であった ($F_{(5,464)}$=62.77, p<.05)．静止時における Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝は他のフォントより臨界文字サイズが大きかった．これは，MS 明朝は縦横の線がどちらも細いためと考えられる．しかし，歩行時には有意な差が出なかった．歩行時の HMD 上の臨界文字サイズにはフォントによらないサイズがある可能性がある．

図 6(b) に示す実験結果の考察を行う．縦横の線が細い MS 明朝の臨界文字サイズは静止時では他のフォントより大きいが，歩行時では静止時より他のフォントとの差が小さい．黎ミン 3 種類を比較すると，静止時，歩行時ともに横線の太さが中間サイズの黎ミン Y20 B がわずかに小さい．これらのことから明朝体の臨界文字サイズにおいて，文章中の文字を構成する横線の太さに最適な太さがあると考えられる．ゴシック体の臨界文字サイズは静止時，歩行時ともに MS ゴシックがわずかに UD 新ゴ R より小さい．字面いっぱいに設計された UD 新ゴ R の文章が煩雑に見えてしまうことが原因と考えている．

最大読書速度

最大読書速度のグラフ (図 6(c)) はすべての被験者の平均値を示し，エラーバーは標準誤差を示す．最大読書速度の数値が大きいほど，臨界文字サイズの文章の読書速度が速いことを示している．被験者内 2 要因分散分析の結果，使用状況の主効果のみ有意であった ($F_{(1,347)}$=101.45, p<.05)．静止時と歩行時を比較すると，静止時の HMD 上の文章の最大読書速度が歩行時より速い．

図 6(c) に示す実験結果を考察する．黎ミン 3 種類の最大読書速度は，静止時では黎ミン Y20 B，歩行時では黎ミン Y40 B が他の黎ミンよりわずかに速く，さらに歩行時は横線の太さに従い，読書速度が速くなっている．2 種類のゴシック体の最大読書速度の比較の結果，静止時，歩行時ともに MS ゴシックの読書速度が速い．

4.2.2 可視性

認知閾，認識時間の結果をそれぞれ図 7，8 に示す．可視性の評価実験では，データが測定できなかった被験者はおらず，30 名の被験者の実験結果をもとに評価する．

認知閾

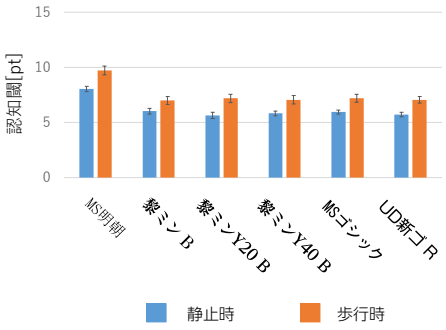
図 7 は検証文字種ごとの被験者全体の平均認知閾と標準誤差を示す．認知閾の数値が小さいほど，文字サイズの小さい文字が認識できることを示している．

ひらがなの認知閾の被験者間 2 要因分散分析の結果，使用状況とフォントの各主効果が有意であった (使用状況, $F_{(1,359)}$=50.72, p<.05; フォント, $F_{(5,359)}$=99.26, p<.05)．使用状況の比較の結果，歩行時のひらがなの認知閾は静止時より有意に大きくなった (p<.05)．各フォントの認知閾の Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝が他の 5 種類のフォントに比べて，有意に大きかった．

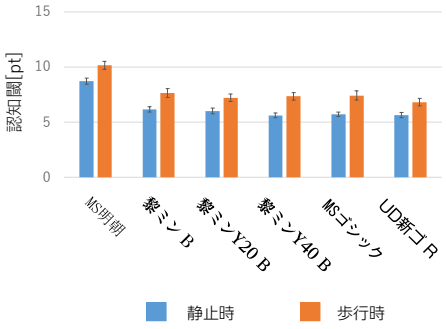
カタカナの認知閾の被験者間 2 要因分散分析の結果，使用状況とフォントの各主効果が有意であった (使用状況, $F_{(1,359)}$=68.28, p<.05; フォント, $F_{(5,359)}$=145.88, p<.05)．使用状況の比較の結果，歩行時のカタカナの認知閾は静止時より有意に大きくなった (p<.05)．各フォントの認知閾の Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝が他の 5 種類のフォントに比べて，有意に大きかった．また，黎ミン B が黎ミン Y40 B，UD 新ゴ R に比べて，有意に大きかった．

漢字の認知閾の被験者間 2 要因分散分析の結果，使用状況とフォントの各主効果とその交互作用がすべて有意であった (使用状況, $F_{(1,359)}$=72.20, p<.05; フォント,

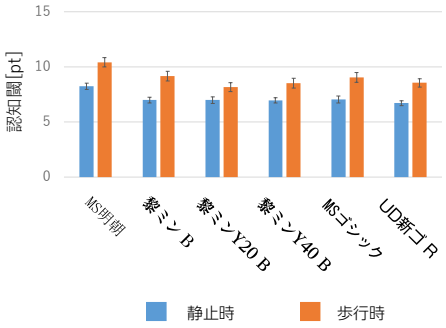
Vol.2019-DPS-179 No.4
Vol.2019-MBL-91 No.4
Vol.2019-ITS-77 No.4
2019/5/23



(a) ひらがな



(b) カタカナ



(c) 漢字

図 7: HMD 上の文字の認知閾

$F_{(5,359)}$=36.10, p<.05; 交互作用, $F_{(5,359)}$=3.66, p<.05). 使用状況の単純主効果はすべてのフォントにおいて有意であり (黎ミン B, $F_{(1,480)}$=58.59, p<.05; 黎ミン Y20 B, $F_{(1,480)}$=16.99, p<.05; 黎ミン Y40 B, $F_{(1,480)}$=30.63, p<.05; MS 明朝, $F_{(1,480)}$=58.59, p<.05; MS ゴシック, $F_{(1,480)}$=49.09, p<.05; UD 新ゴ R, $F_{(1,480)}$=41.95, p<.05), 歩行時の漢字の認知閾は静止時より有意に大きかった (p<.05). 次に，フォントの単純主効果は静止時，歩行時ともに有意であった (静止時, $F_{(5,480)}$=13.46, p<.05; 歩行時, $F_{(5,480)}$=28.49, p<.05). 静止時における Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝の認知閾が他のフォントに比べて有意に大きかった．歩行時における Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，MS 明朝の認知閾が他のフォントより有意に大きく，黎ミン B の認知閾が黎ミン Y20 B と黎ミン Y40 B，MS ゴシックより有意に大きかった．

歩行時の評価したすべてのフォントのひらがな，カタカナ，漢字の認知閾は静止時より大きくなることを確認した．MS 明朝の認知閾は，3 種類の検証文字種すべてにおいて，静止時，歩行時ともに，他のフォントに比べて大きくなることが分かった．線の細い MS 明朝は，解像度の関係で，文字が小さくなると消えて見えなくなるからだと考えられる．加えて，漢字の場合は歩行時の黎ミン B の認知閾が黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B より大きくなることが確認できた．漢字はひらがな，カタカナと比べて線が多く，煩雑な文字が多い．そのため，歩行時の黎ミンの中でも横線の細い黎ミンの認知閾が大きくなったと考えられる．

図 7 に示す実験結果の考察を行う．3 種の文字種において MS 明朝の認知閾が静止時，歩行時ともに最大であった．黎ミン 3 種類を比較すると，黎ミン Y20 B と黎ミン Y40 B が検証文字種いずれにおいても，静止時，歩行時ともに小さい．線の細い MS 明朝と横線の細い黎ミン B は認知閾が大きくなってしまう．ゴシック体に関して，3 種の文字種において，UD 新ゴ R が静止時，歩行時ともに MS ゴシックより小さい結果となった．UD 新ゴ R は字面いっぱいに設計されているため，同じ文字サイズでも，MS ゴシックに比べて，一回り大きく見えて認識しやすい．

認識時間

被験者全体の各検証文字種の平均認識時間と標準誤差を図 8 に示す．認識時間の数値が小さいほど，認知閾サイズの文字の認識のための時間が短いことを示す．

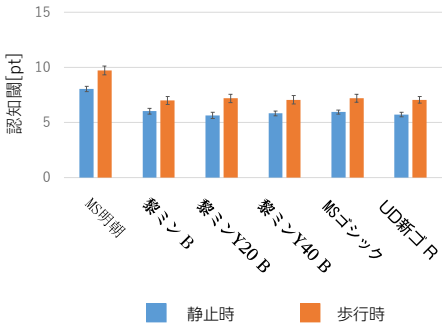
ひらがなの認識時間の被験者間 2 要因分散分析の結果，有意差はなかった．

カタカナの認識時間の被験者間 2 要因分散分析の結果，使用状況の主効果が有意であった ($F_{(1,359)}$=34.05, p<.05). 静止時と歩行時の認識時間の比較の結果，歩行時の認識時間が静止時より大きい．

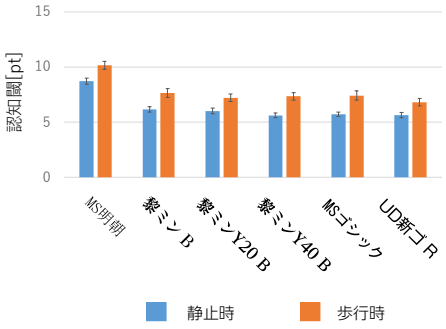
漢字の認識時間の被験者間 2 要因分散分析の結果，使用状況とフォントの各主効果が有意であった (使用状況, $F_{(1,359)}$=22.06, p<.05; フォント, $F_{(5,359)}$=28.07, p<.05). 静止時と歩行時の認識時間の比較の結果，歩行時の認識時間は静止時より大きい．フォントの認識時間の Ryan 法による多重比較 (有意水準 5 %) の結果，黎ミン Y40 B が他の 5 種類のフォントに比べて，有意に小さかった．また，黎ミン B が UD 新ゴ R に比べて，有意に大きかった．ひらがな，カタカナより煩雑な漢字の場合，横線の太い黎ミン Y40 B は認識しやすく，横線の細い黎ミン B は認識しにくいことがわかった．

図 8 に示す実験結果を考察する．明朝体に関して，黎ミン Y40 B の漢字の認識時間が他のフォントより非常に小さい結果となった．縦横の線が太いうえに，セリフもあるため，文字の判別がしやすいのだと考えられる．さらに黎ミン 3 種類の認識時間は，歩行時のひらがなを除いた使用

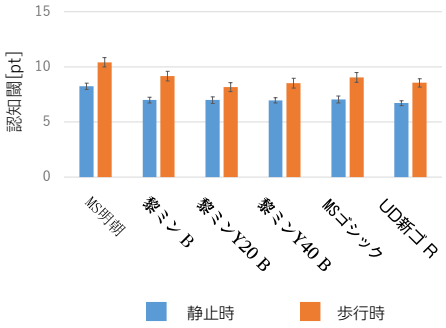
ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan



(a) ひらがな



(b) カタカナ



(c) 漢字

図 8: HMD 上の文字の認知閾に対する認識時間

状況と文字種の組合せで横線の太いフォントほど認識時間が短くなっている．ゴシック体では，歩行時の文字種 3 種の認識時間は UD 新ゴ R が MS ゴシックより小さい結果となった．認知閾と同様に，UD 新ゴ R は字面いっぱいに設計されているため，同じ文字サイズでも，MS ゴシックに比べて，一回り大きく見えるからだと考えられる．

4.3 評価のまとめ

可読性に関して，読書視力，臨界文字サイズ，最大読書速度の結果から，HMD 上でメールなどの文章を表示させる際，明朝体を使用する場合，黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B などの横線の太さがある程度太いフォントが望ましい．ゴシック体を使用する場合，MS ゴシックを使用することが望ましい．また，UD 書体である UD 新ゴ R は MS ゴシックに比べて読みにくい結果となった．UD 書体は字面いっぱいに設計されており，縦揺れすると煩雑に見えてしまうため，HMD 上で文章を表示させる場合には向いていないことが分かった．

可視性に関して，ひらがな，カタカナ，漢字の認知閾と認識時間の結果から，HMD 上で「右に曲がれ」などの短文を表示させる際，明朝体を使用する場合，黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B などの横線の太さがある程度太いフォントが望ましい．ゴシック体を使用する場合，MS ゴシックを使用することが望ましい．

5. 振動シミュレータによる評価

HMD を用いた実験では，評価フォントの量によって疲労などの被験者の負荷が大きくなる．そのため，歩行から生じる HMD の揺れを再現した振動シミュレータを実装し，フォント評価に利用することを検討した [6]．本稿では，PC 画面のシミュレータ上での評価結果と HMD 上での評価結果を比較し，シミュレータを用いたフォント評価の可能性を調査する．被験者は 30 名 (男性 28 名，女性 2 名) である．

図 9 に振動シミュレータを用いた可読性の評価の結果を示す．シミュレータ上での評価結果と HMD 上での評価結果を比較すると，読書視力では，静止時と歩行時ともに明朝体の大小関係は合致しているが，ゴシック体は大小関係が逆転している．臨界文字サイズは，明朝体では歩行時の黎ミン Y40 B が最大となってしまったが，その他の大小関係は合致している．ゴシック体は静止時，歩行時ともに大小関係が合致している．最大読書速度は明朝体，ゴシック体ともに静止時も歩行時も大小関係が合致していない．可視性における評価実験の結果は割愛するが，まったく相関がなかった．よって，振動シミュレータではフォントの選定にあまり有効な手段ではないと言える．原因として，まず PC と HMD の解像度が異なることが考えられる．振動シミュレータによる文字の揺れが同じ揺れの繰り返しのため，被験者の揺れへの慣れが生じた可能性もある．さらに，被験者が歩行動作を伴わないことも考えられる．

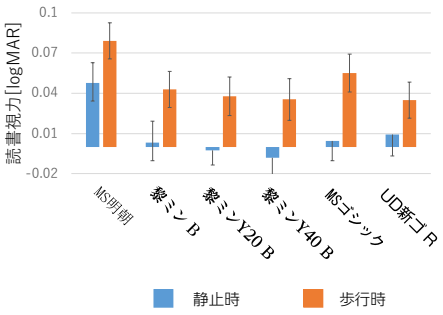
6. おわりに

本稿では，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った．比較対象フォントには，黎ミン B，黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B，MS ゴシック，MS 明朝，UD 新ゴ R の 6 種類のフォントを用いた．

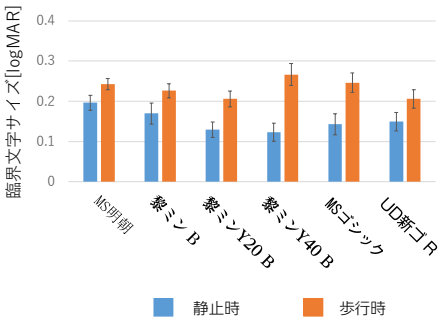
HMD を用いた可読性，可視性の評価結果より，HMD 上の表示に適したフォントを確認した．HMD 上でのメールなどの文章表示に，明朝体を使用する場合，黎ミン Y20 B，黎ミン Y40 B などの横線の太さがある程度太いフォントが望ましい．ゴシック体を使用する場合，MS ゴシックを使用することが望ましい．また，UD 新ゴ R のような UD 書体は，HMD 上で文章表示をする際は控えたほうが良い．

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

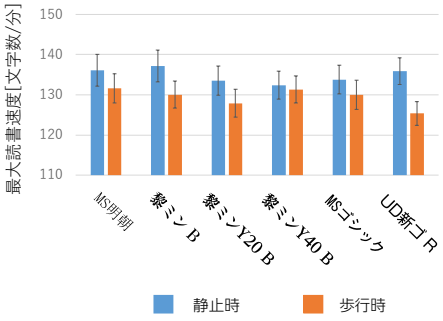
Vol.2019-DPS-179 No.4
Vol.2019-MBL-91 No.4
Vol.2019-ITS-77 No.4
2019/5/23



(a) 読書視力



(b) 臨界文字サイズ



(c) 最大読書速度

図 9: 振動シミュレータを用いた可読性実験の結果

HMD 上の「右に曲がれ」などの短文表示に，明朝体を用いる場合，ある程度太い横線をもつフォントが好ましい．ゴシック体を用いる場合，字面いっぱいに設計されているようなフォントが好ましい．また，歩行から生じる HMD の揺れを再現した振動シミュレータは，HMD に適したフォントの調査をする手段としてそれほど有効ではなかった．

今後は，HMD の種類ごとの問題点を考慮したフォントの調査も行う．また，振動シミュレータに関して，解像度の調整，PC 上での揺れをランダム化して，再度評価実験を行うことにする．

7. 謝辞

本研究の一部は，JST CREST(JPMJCR18A3) 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] 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).

[2] 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).

[3] 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).

[4] Y. Nakano, T. Arai, R. Yamamoto, et. al.: Development of a "universal design" font with blur tolerance(1): A Comparison of the Readability of Ming, Gothic, and "Universal Design" Typeface, *Proc. of the 3rd International Conference for Universal Design*, p. 17 (2010).

[5] D. Boyarski, C. Neuwirth, J. Forlizzi, and S. H. Regli: A Study of Fonts Designed for Screen Display, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI '98)*, pp. 87–94 (Apr. 1998).

[6] 松浦裕久, 寺田 努, 青木友裕, 園田 晋, 磯山直也, 塚本昌彦: 日常動作から生じる HMD の揺れを再現したシミュレータによるフォントの可読性評価, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム *2018* 論文集 *(DICOMO 2018)*, pp. 152–159 (July 2018).

[7] 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 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*, No. 45 (Apr. 2018).

[8] J. S. Mansfield, G. E. Legge, and M. C. Banet: Psychophysics of Reading. XV: Font Effects in Normal and Low Vision, *Investigative Ophthalmology & Visual Science (IOVS)*, Vol. 37, No. 8, pp. 1492–1501 (July 1996).

[9] J. B. Bernard, C. Aguilara, 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 (Apr. 2006).

[10] 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).

[11] D. Beymer, D. 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 People and Computers (HCI '08)*, Vol. 2, pp. 15–18 (Sep. 2008).

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan