

原著論文

電子書籍リーダーの可読性に及ぼす
文字サイズ及び加齢の影響松波 紫草¹⁾, 石井 佑樹¹⁾, 岩田 光平¹⁾, 小嶋 健仁^{1,2)}, 宮尾 克¹⁾¹⁾名古屋大学大学院情報科学研究科, ²⁾中部学院大学The Effects of Character Sizes and Aging on the Evaluation of the
Readability of E-book ReaderShigusa Matsunami¹⁾, Yuki Ishii¹⁾, Kohei Iwata¹⁾, Takehito Kojima^{1,2)}, Masaru Miyao¹⁾¹⁾ Graduate School of Information Science, Nagoya University²⁾ Chubu-Gakuin University

Abstract: We conducted the experimental reading test to evaluate the effects of Character Sizes and Aging on readability of E-book reader that is the LCD with backlit and the e-paper with built-in light, and ordinary paper text with different age groups. We set the text character size in four levels; 4 pt (character height: 1.4 mm), 6 pt (character height: 2 mm), 8 pt (character height: 2.75 mm), 12 pt (character height: 3.25 mm). On the basis of this and our prior studies that investigated the effects of character size, we suggest the character size of 6 pt is the limiting minimum size level at which subjects whose age is 64 years and younger can maintain their performance and the size of 8 pt is the level for the subject whose age is 65 years and older. Further this study found possibility that E-book readers had 2 advantages of readability over the paper text. First, E-book readers improved the evaluations of readability for older groups, as they were of variable text size. Second, the backlights of LCDs contributed to improving subjective evaluations for the younger group at the 4 pt size.

Keywords: E-book reader, Readability, Character size, Aging

キーワード: 電子書籍リーダー, 可読性, 文字サイズ, 加齢

1. はじめに

近年、日本の電子書籍の市場規模の拡大は目覚しく、2002年度には10億円だったものが、2013年度には936億円に達した[1]。また、電子書籍リーダーの利用についても幅広い年代に広がっており[1]、各デバイスには快適な機能が求められている。本実験では、電子書籍リーダー及び紙の可読性について、表示される文字の大きさ及び加齢がどのような影響を及ぼすかについて、特に、被験者のパフォーマンスを維持できる(目読速度が低下しない、正答率が下がらない)最小の限界の文字サイズに注目した実験を行い、評価・考察を行った。

2. 方法

2.1 被験者

本実験の被験者は14歳から88歳の男女86名(平均年齢46.8歳、標準偏差18.8)、通常、読書に眼鏡、コンタクトレンズを使用している場合はその状態で実験を実施した。被験者は

年齢によって4群に分類し、29歳以下の被験者を若年、30歳から44歳を壮年、45歳から64歳を中年、65歳以上を高年とした。年齢群別の視機能の特徴として、若年は十分な調節力を持っている群。壮年は、やや調節力が衰えているが近見作業に支障がない群。中年は緩やかな老視であり、近見作業に支障がある群。高年は老視であり、近見作業に老眼鏡を用いる群である。年齢の構成比を表1に示す。被験者については、測定が可能であれば、水晶体白濁度の測定を行った。水晶体白濁度は、透明から白濁色までを0から255までの256階調とし、測定値は計測装置(前眼部撮影解析装置: NIDEK EAS-1000)による任意単位である。測定結果の年齢群別の両眼の平均値及び標準偏差を表2に示す。また、被験者に対しては、事前にインフォームドコンセントを実施し、名古屋大学大学院情報科学研究科倫理審査委員会の承認の下行なわれた。

2.2 実験デザイン

実験には、電子書籍リーダーとしてフロントライト搭載型のAmazon社製Kindle VoyageTM[2]、及びバックライト型の液晶ディスプレイ(LCD)としてアップル社製iPadTM[3](第三世代)

2015年10月26日受理

の2種類のデバイス、そしてPPC用紙(白度69%に白黒2値(1200 dpi × 1200 dpi)で出力)の計3種類のデバイスを用いた。以下、それぞれKV、iPad、及び紙と表記する。各デバイスの仕様を表3に示す。

それぞれのデバイスは、ベゼルの色による影響を避けるために、スクリーン以外を白色ケント紙で覆った。また、底部に台を設け、表示されるテキストの高さを同じにした。KVのフロントライトとiPadのバックライトの光量は最大で固定した。テキストの

表1 被験者の年齢構成

	若年 (14~29)	壮年 (30~44)	中年 (45~64)	高年 (65~88)	合計
人数	21名	18名	28名	19名	86名

表2 年齢群別の水晶体白濁度

年齢群	測定人数	白濁度(256階調) Mean±S.D.
若年	20名	42.5±10.3
壮年	17名	70.7±18.2
中年	28名	98.5±32.1
高年	15名	162.2±45.1
合計	80名	90.5±49.8

表3 各デバイスの仕様

	Kindle Voyage	iPad	紙
画面サイズ	6 inch	9.7 inch	6 inch
解像度	300 ppi	264 ppi	1200 dpi

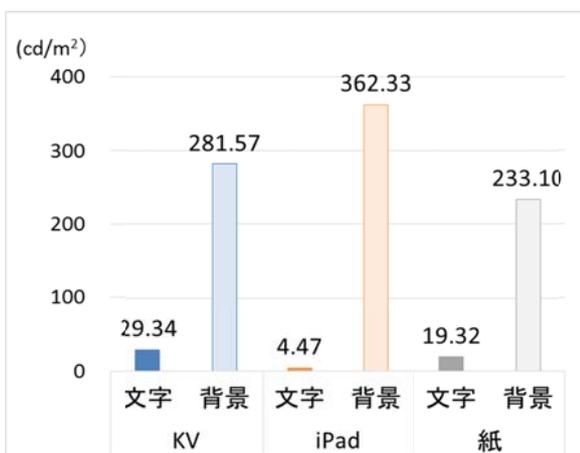


図1-1 各デバイスの文字及び背景の輝度

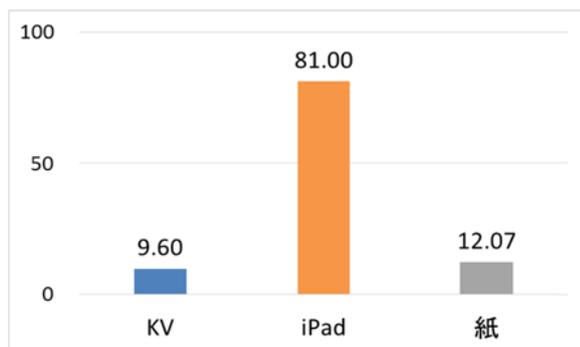


図1-2 各デバイスのコントラスト比

文字色は黒、背景の色は白とした。デバイスごとのテキスト文字及び背景の輝度を図1-1に示す。各デバイスの実際のコントラスト比は背景とテキスト文字色の輝度の実測値から算出した(図1-2)。KV、及び紙においては、文字及び背景の輝度が似た傾向にある。iPadはKV、及び紙と比較して文字輝度が低く、背景輝度が高いため、高いコントラスト比を示している。

測定は暗室に照明箱(図2)を設置して行った。照度は6,500 Kの蛍光灯および同じ色温度のLED光源を用いて1,000 lx レベル(実測値 1,045 lx)とした。1,000 lxは、日本工業規格(照明基準総則)[4]において屋内事務室で精密な視作業を行うための照明要件である。照明箱には額をのせるヘッドレストを取り付け、視距離が一定(400 mm)になるようにした。なお、照明箱はUeki et al.[5]がディスプレイを評価するために用いたものを参考に作成した。本研究では、被験者自身の映り込みの影響を避けるため、デバイス表示面の垂直位置から10度傾けた100度で可読性評価を行った。

2.3 実験方法及び評価方法

実験はテキストの目読により行った。テキストは英数字のランダムテキストを用い、フォントはCourier、サイズは4 pt(文字高1.5 mm)、6 pt(文字高2 mm)、8 pt(文字高2.75 mm)、12 pt(文字高3.25 mm)とした。なお、この表示形式は、ISOの電子ディスプレイ装置の評価方法に準拠した[6]。テキストの表示例を図3に示す。

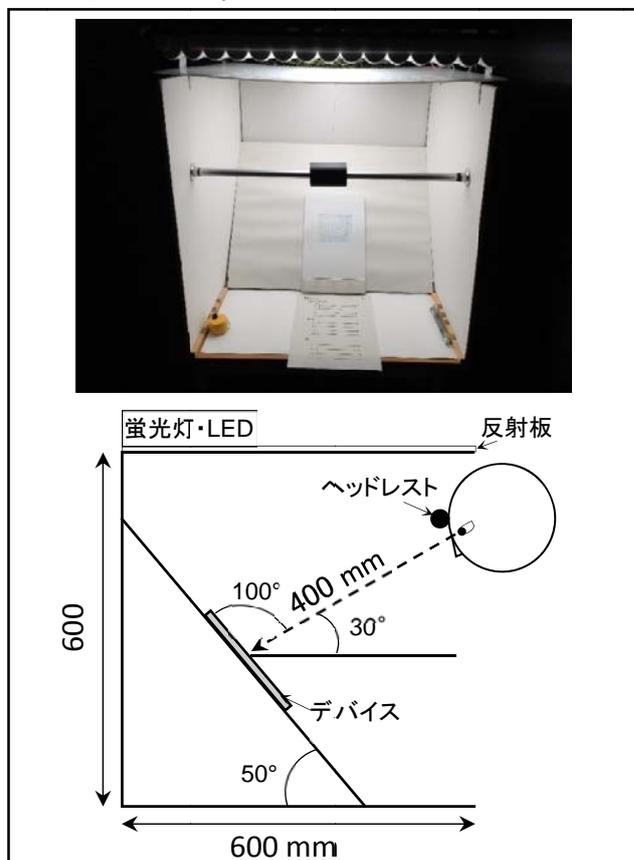


図2 照明装置

3. 結果

```
d49 9j Wph2 fX NQ7ZN1 mFf cb4X
i9k6 nv ona2D MMC3vtsF Rks COK
2W jds7N fB ST LtZ JJfd 4EU Np
xBDF T2Xvcv9PZM5 3NQdKyV6 fKej
KJk dxICo6r FHC36MTiS 46qQ VUL
S4P0y bGc 4QTtAD2 7oCd3I TJ2Uk
H3uv GIjBt89ZzJ EQ1c wZqkMVhMd
0F3B qB EmR il4uB ljlzjis 6KkI
vVW FQyMBL Jlhx xT3KUlsqA 4nrC
rUmt 1b9Z7 et TP kYMIR hrW9MJQ
zqI8Q vqapB1 kUUsW rbiluW FsDQ
7QJ LT pfVKeQ gUoX2fZNmu VrJDI
UOLaCnfCGf YuI6hE x54y zS CL41
p0vc eyvZi MVJ ypQl PQA eUjbs3
```

図3 テキストの表示例

実験では3種類のデバイスと4レベルの文字サイズを使用したため被験者は一人当たり12試行を行った。被験者は、1ページ分の表示されたテキストを、左上から目読み、大文字の「M」の数を手動カウンターにより計測した。計測値とテキスト中の実際の「M」の数の差の絶対値を実際の「M」の数で除した値を誤答率とした。1から誤答率を減じて正答率を算出した(ただし、数えた「M」は必ずしも正答とは限らないので、この正答率には、ある程度の誤差が存在する)。目読時間及び正答率については、個人の能力の差を相殺するために、被験者ひとりずつの平均値を算出し、実際の値をその平均値で除した値を目読時間 index、正答率 index とし、評価に用いた。目読時間 index は点数が高いほど、被験者がテキストを読むのに時間がかかっている。正答率 index は点数が高いほど正答数が多い。目読終了後、被験者は Visual Analog Scale (VAS) を用いてテキストの読みやすさを評価した。図4に被験者のVASの評価の方法の例を示す。VASの評価は無段階で、左側ほど読みにくく、右側に行くほど点数が高く読みやすいという評価になる。値は解析時に100点満点に換算し、読みやすさの主観評価とした。テキストの読みやすさの主観評価(VAS)に関しては、文字認識ができないとした被験者を0点(全く読めない)として評価し、目読時間 index 及び正答率 index については、文字の認識できない被験者を欠損値とした。データ分析は一元配置分散分析とSchefféの検定により行った。

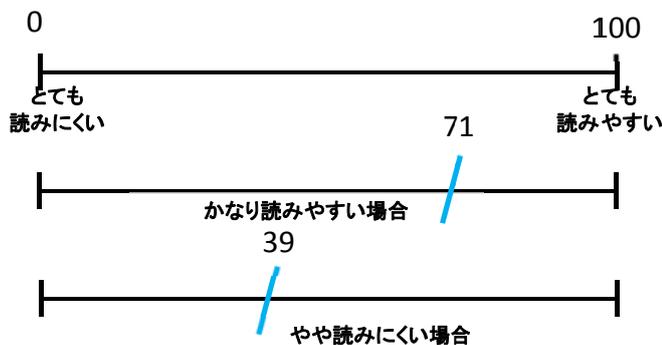


図4 VAS の評価方法の例

3.1 文字サイズ別、及び機種別の評価

文字サイズ別の読みやすさの主観評価(VAS)を表4-1及び図5-1に示す。表4-1の見方については、同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。例えば1_KV欄の4ptと6ptには「a」が記載してあるが、これは、KVの4ptの読みやすさの主観評価が6ptに比べて有意に低いことを示している。以降、表4-2、4-3、5-1、5-2、5-3、6-1、6-2、6-3、及び6-4についても同様に同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差があることを示している。全てのデバイスで4ptと比較して6、8、12ptのそれぞれの文字サイズの主観評価が有意に高かった。また、4ptと比較して8、12ptのそれぞれの文字サイズの主観評価が有意に高かった。KV、及び紙では8ptと比較して12ptで主観評価が有意に高くなった。なお、それぞれの文字サイズでデバイスによる読みやすさの主観評価に差はなかった。文字サイズ別の目読時間 index を表4-2及び図5-2に示す。全てのデバイスで4ptと比較して6、8、12ptのそれぞれの文字サイズの目読時間が有意に短くなった。KV及びiPadで6ptと比較して8、12ptのそれぞれの文字サイズの目読時間が有意に短くなった。なお、デバイスによる目読時間 index に差はなかった。文字サイズ別の正答率 Index を表4-3及び図5-3に示す。KV、及び紙では、4ptと比較して6、8、12ptのそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。また、6ptと比較して12ptの正答率が有意に上昇した。iPadでは、4ptと比較して8、12ptのそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。また、6ptと比較して12ptで正答率が有意に上昇した。なお、それぞれの文字サイズでデバイス間を比較すると、4ptではiPadがKV、及び紙より正答率が有意に高く、8ptでは、紙がiPadと比較して正答率が有意に高い結果となった。

3.2 年齢群別の評価

年齢群別の読みやすさの主観評価を表5-1、及び図6-1に示す。全ての年齢群において、4ptと比較して6、8、12ptのそれぞれの文字サイズの主観評価が有意に高かった。また、6ptと比較して8、12ptのそれぞれの文字サイズの主観評価が有意に高かった。さらに8ptと比較して12ptで評価が有意に高くなった。また、4ptから8ptまでの主観評価が高くなる割合に比較して、8ptから12ptの主観評価が高くなる割合が緩やかであった。なお、年齢群による傾向に違いはなかった。年齢群別の目読時間 index を表5-2及び図6-2に示す。若年、壮年、及び中年では、4ptと比較して6、8、12ptのそれぞれの文字サイズの目読時間が有意に短くなった。高年では4ptと比較して8、12ptのそれぞれの文字サイズの目読時間が有意に短くなった。また、若年、中年、及び高年においては、6ptと

比較して8、12 pt のそれぞれの文字サイズの目読時間が有意に短くなった。高年においては4 pt と6 pt は同程度の目読時間であったが、他の年齢群においては、4 pt に比較して6 pt を有意に速く読んだ結果となった。

年齢群別の正答率 index を表 5-3 と図 6-3 に示す。若年では、4 pt と比較して8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。壮年では、4 pt と比較して6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。中年では、4 pt と比較して6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。また、6 pt と比較して12 pt で正答率が有意に上昇した。高年では、4 pt と比較して6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。また、6 pt と比較して8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。中、高年群では、若、壮年群と比較して、表示文字が小さくなることで読み間違いが多くなる傾向にあった。また、正答率が急激に低下する文字の大きさについては、壮年、及び中年では4 pt と6 pt の間、高年では6 pt と8 pt の間であった。また、若年については、全体的に正答率が高かったため、文字サイズによる急激な正答率の低下は見られなかった。

3.3 各年齢群別の正答率 index のデバイス間比較

若年、壮年、中年、及び高年の4つの年齢群別の正答率

表 4-1 読みやすさの主観評価

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	10.8 ± 12.3 a**, b**, c**	14.8 ± 13.1 a**, b**, c**	11.7 ± 12.7 a**, b**, c**
6 pt	34.2 ± 19.1 a**, d**, e**	38.9 ± 20.9 a**, d**, e**	35.1 ± 19.8 a**, d**, e**
8 pt	54.9 ± 23.0 b**, d**, f**	61.7 ± 40.2 b**, d**, f**	54.0 ± 22.3 b**, d**, f**
12 pt	74.3 ± 20.5 c**, e**, f**	71.5 ± 19.4 c**, e**, f**	71.3 ± 21.2 c**, e**, f**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。例えば1_KV欄の4 pt と6 pt には「a」が記載してあるが、これは、KVの4 pt の読みやすさの主観評価が6 pt に比べ有意に低いことを示している。†**; p<0.01

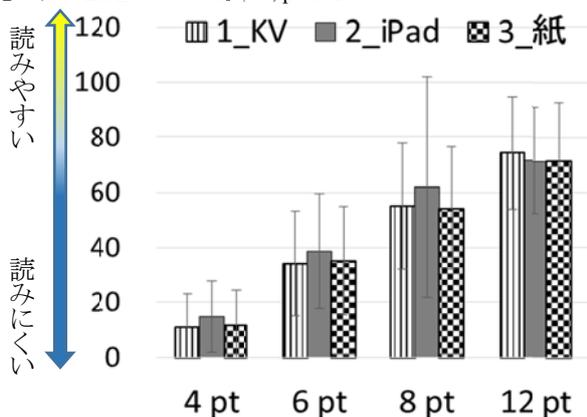


図 5-1 読みやすさの主観評価 (VAS)

表 4-2 目読時間 index

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	1.15 ± 0.14 a**, b**, c**	1.13 ± 0.12 a**, b**, c**	1.14 ± 0.29 a**, b**, c**
6 pt	1.00 ± 0.15 a**, d**, e**	1.03 ± 0.11 a**, d**, e**	1.00 ± 0.21 a**, d**, e**
8 pt	0.93 ± 0.09 b**, d**	0.92 ± 0.09 b**, d**	0.94 ± 0.12 b**, d**
12 pt	0.94 ± 0.10 c**, e**	0.94 ± 0.09 c**, e**	0.93 ± 0.14 c**, e**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。

†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を1とした。

†**; p<0.01

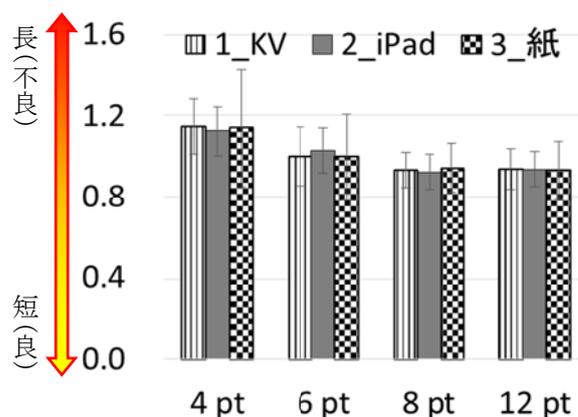


図 5-2 目読時間 index

表 4-3 正答率 Index

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	0.78 ± 0.26 a**, b**, c**	0.91 ± 0.29 a**, b**, c**	0.71 ± 0.29 a**, b**, c**
6 pt	1.01 ± 0.17 a**, d**	0.98 ± 0.16 c*	1.01 ± 0.17 a**, d**
8 pt	1.08 ± 0.16 b**, f**	1.02 ± 0.20 a*	1.10 ± 0.19 b**
12 pt	1.11 ± 0.17 c**, d**	1.09 ± 0.22 b**, c*	1.15 ± 0.17 c**, d**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。

†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を1とした。

†**; p<0.01, *; p<0.05

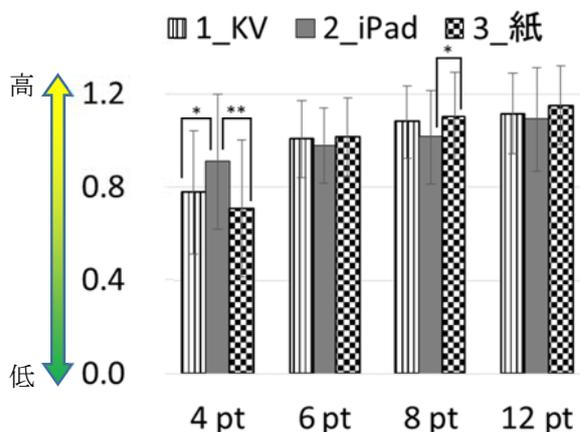


図 5-3 正答率 index (**; p<0.01, *; p<0.05)

index のデバイス間比較の結果を示す。なお、それぞれの年齢群の中で、4 種類の文字サイズにおける読みやすさの主観評価及び目読時間 index では、デバイス間に差はなかったため、デバイス間に有意差があった正答率 index について比較することとした。若年のデバイス別の正答率 index を表 6-1、及び図 7-1 に示す。KV では、4 pt と比較して 8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。また、6 pt と比較して 8 pt で正答率が有意に上昇した。紙では、4 pt と比較して 6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。iPad では、文字サイズによる正答率に有意差はなかった。壮年のデバイス別の正答率 index を表 6-2、及び図 7-2 に示す。KV、及び紙では、4 pt と比較して 6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。iPad では文字サイズによる正答率に有意差はなかった。中年のデバイス別の正答率 index を表 6-3、及び図 7-3 に示す。KV、iPad、及び紙の全てのデバイスにおいて 4 pt と比較して 6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。高年のデバイス別の正答率 index を表 6-4、及び図 7-4 に示す。KV では、4 pt と比較して 6、8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。iPad では、4 pt と比較して 12 pt で正答率が有意に上昇した。紙では 4 pt と比較して 8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。また、6 pt と比較して 8、12 pt のそれぞれの文字サイズの正答率が有意に上昇した。

表 5-1 読みやすさの主観評価

文字サイズ	1_若年 (Mean±S.D.)	2_壮年 (Mean±S.D.)	3_中年 (Mean±S.D.)	4_高年 (Mean±S.D.)
4 pt	15.2±13.2 ^{a**} , 12.1±12.1 ^{b**} , c**	12.1±12.1 ^{a**} , b** c**	11.7±12.7 ^{a**} , b** c**	10.2±12.6 ^{a*} , b** c**
6 pt	41.6±16.8 ^{a**} , d** e**	33.3±17.9 ^{a**} , d** e**	39.2±20.2 ^{a**} , d** e**	27.6±21.7 ^{a*} , d** e**
8 pt	63.2±17.4 ^{b**} , d** f**	54.8±21.8 ^{b**} , d** f**	60.6±19.4 ^{b**} , d** f**	47.0±50.4 ^{b**} , d** f*
12 pt	76.5±16.9 ^{c**} , e** f**	70.2±22.0 ^{c**} , e** f**	76.8±18.3 ^{c**} , e** f**	63.9±22.3 ^{c**} , e** f*

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。
†**; p<0.01, *; p<0.05

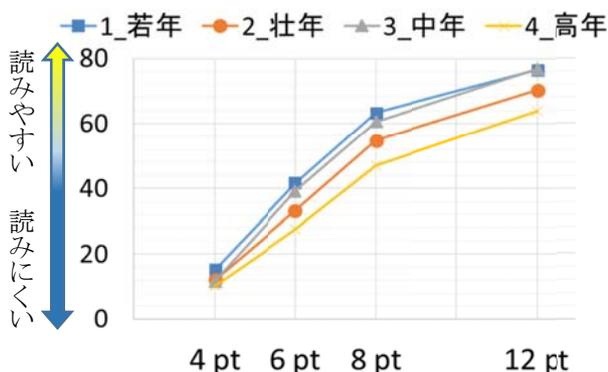


図 6-1 読みやすさの主観評価 (VAS)

表 5-2 目読時間 index

文字サイズ	1_若年 (Mean±S.D.)	2_壮年 (Mean±S.D.)	3_中年 (Mean±S.D.)	4_高年 (Mean±S.D.)
4 pt	1.13±0.18 ^{a**} , b** c**	1.11±0.11 ^{a**} , b** c**	1.19±0.26 ^{a**} , b** c**	1.09±0.14 ^{a**} , b** c**
6 pt	1.00±0.10 ^{a*} , d** e*	0.98±0.22 ^{a**}	1.00±0.15 ^{a**} , d** e*	1.06±0.15 ^{c**} , d**
8 pt	0.94±0.09 ^{b**} , d*	0.95±0.09 ^{b**}	0.91±0.10 ^{b**} , d**	0.94±0.11 ^{a**} , c**
12 pt	0.93±0.11 ^{c**} , e*	0.96±0.11 ^{c**}	0.91±0.11 ^{c**} , e*	0.95±0.11 ^{b**} , d**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。
†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を 1 とした。
†**; p<0.01, *; p<0.05

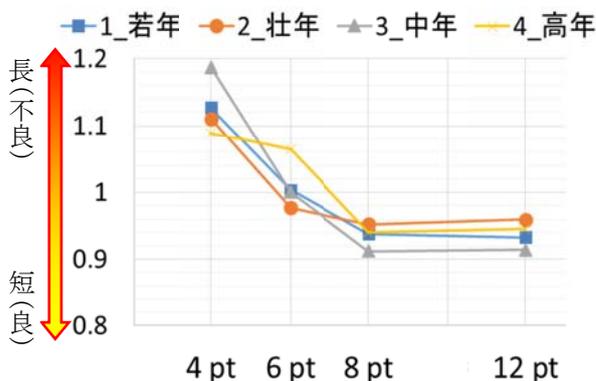


図 6-2 目読時間 index

表 5-3 正答率 index

文字サイズ	1_若年 (Mean±S.D.)	2_壮年 (Mean±S.D.)	3_中年 (Mean±S.D.)	4_高年 (Mean±S.D.)
4 pt	0.93±0.19 ^{a**} , b**	0.89±0.19 ^{a**} , b** c**	0.72±0.28 ^{a**} , b** c**	0.62±0.41 ^{a**} , b** c**
6 pt	1.00±0.12	1.01±0.12 ^{a**}	1.03±0.12 ^{a**} , d**	0.94±0.28 ^{a**} , d** e**
8 pt	1.03±0.14 ^{a**}	1.02±0.16 ^{b**}	1.10±0.16 ^{b**}	1.12±0.25 ^{b**} , d*
12 pt	1.05±0.11 ^{b**}	1.09±0.14 ^{c**}	1.13±0.15 ^{c**} , d*	1.20±0.30 ^{c**} , e**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。
†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を 1 とした。
†**; p<0.01, *; p<0.05

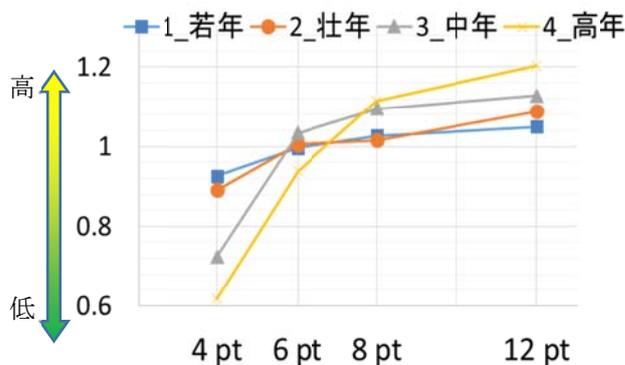


図 6-3 正答率 index

表 6-1 若年の正答率 index

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	0.89 ± 0.20 a**, b*	1.05 ± 0.12	0.84 ± 0.18 b**, c**
6 pt	0.96 ± 0.11 c*	0.98 ± 0.11	1.05 ± 0.10 a**
8 pt	1.10 ± 0.09 a**, c*	0.96 ± 0.13	1.02 ± 0.16 b**
12 pt	1.05 ± 0.12 b*	1.01 ± 0.09	1.08 ± 0.10 c**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。

†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を 1 とした。

†**; p<0.01, *, p<0.05

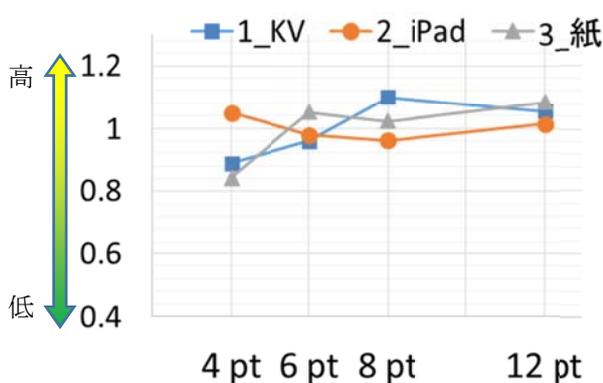


図 7-1 若年のデバイス別の正答率 index

表 6-3 中年の正答率 index

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	0.72 ± 0.26 a**, b**, c**	0.83 ± 0.23 a**, b**, c**	0.62 ± 0.30 a**, b**, c**
6 pt	1.05 ± 0.10 a**	1.00 ± 0.11 a**	1.05 ± 0.13 a*
8 pt	1.11 ± 0.14 b**	1.04 ± 0.19 b**	1.13 ± 0.14 b**
12 pt	1.10 ± 0.15 c**	1.11 ± 0.16 c**	1.17 ± 0.14 c**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。

†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を 1 とした。

†**; p<0.01, *, p<0.05

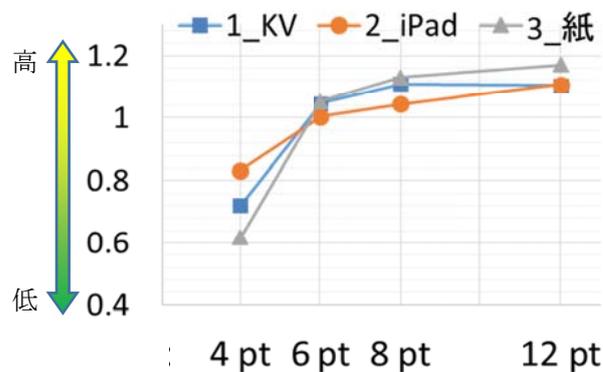


図 7-3 中年のデバイス別の正答率 index

表 6-2 壮年の正答率 index

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	0.87 ± 0.17 a*, b**, c**	0.98 ± 0.14	0.83 ± 0.22 a*, b**, c**
6 pt	1.00 ± 0.12 a*	1.00 ± 0.12	1.01 ± 0.12 a*
8 pt	1.05 ± 0.12 b**	0.96 ± 0.16	1.04 ± 0.18 b**
12 pt	1.08 ± 0.13 c**	1.07 ± 0.18	1.12 ± 0.09 c**

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。

†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を 1 とした。

†**; p<0.01, *, p<0.05

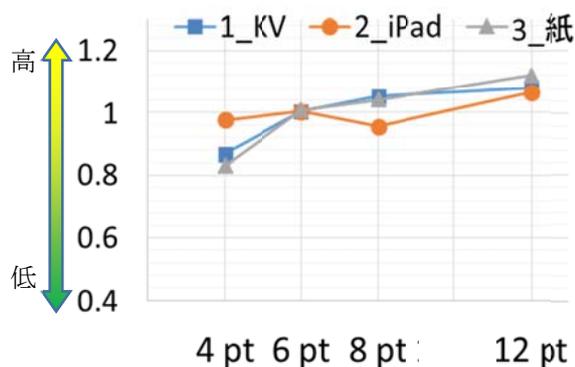


図 7-2 壮年のデバイス別の正答率 index

表 6-4 高年の正答率 index

文字サイズ	1_KV (Mean±S.D.)	2_iPad (Mean±S.D.)	3_紙 (Mean±S.D.)
4 pt	0.55 ± 0.31 a**, b**, c**	0.76 ± 0.50 a**	0.53 ± 0.32 a**, b**, c**
6 pt	1.00 ± 0.29 a**	0.91 ± 0.27	0.91 ± 0.26 a**, d*, e*
8 pt	1.04 ± 0.24 b**	1.09 ± 0.27	1.22 ± 0.22 b**, d*
12 pt	1.23 ± 0.24 c**	1.17 ± 0.37 a**	1.22 ± 0.27 c**, e*

†同じ列(機種)の中で同じアルファベットが付されている文字サイズ間には有意差がある。

†index 化; 被験者ごとに全試行の平均値を 1 とした。

†**; p<0.01, *, p<0.05

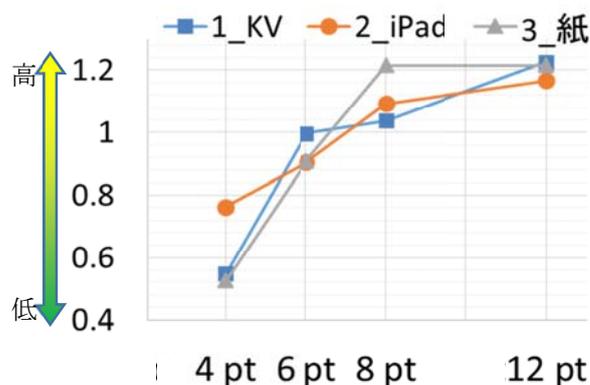


図 7-4 高年のデバイス別の正答率 index

図 7-1、7-2、7-3 及び 7-4 を比較すると、若年、及び壮年では文字の大きさによる正答率の変化は小さい傾向にあるが、中年、及び老年と年齢が高くなるに伴い、最も小さい文字サイズである 4 pt の正答率が大きく低下した。デバイス別では、若年、及び老年の年齢群では、iPad が 4 pt において高い正答率を維持している一方で、中年、及び老年の年齢群では、KV、及び紙と同様に iPad の 4 pt における正答率は大きく下がっている。

4. 考察

本研究では、電子書籍リーダーと紙の可読性に対する文字の大きさと加齢の影響について評価・検討を行った。共同研究者による先行研究[7]では、同条件の照明環境下で 8 pt (文字高 2.75 mm)、12 pt (文字高 3.25 mm) 16 pt 文字高 5.75 mm) の評価を行なったが、本研究においては、被験者の可読性のパフォーマンスが維持できる最小の限界の文字サイズの特定のため、4 pt、6 pt、8 pt、12 pt の 4 段階で実験を行った。また、本研究では、各デバイス間での環境照度の可読性への影響を最小限に抑えるため、様々な照度条件下で実施した先行研究[8]、[9]において、電子書籍リーダー及び紙の間の可読性に差が出なかった条件(1,000 lx)を用いた。

4.1 文字サイズの影響

今回の研究において、目読時間 index 及び正答率 index について年齢群全体では、8 pt、及び 12 pt における各デバイスの可読性に差はなかった。これは、Lee et al.[10]、[11]が E-ペーパーと紙で、数種類の文字サイズにおける読み上げ時間や正確さなどの視認性を調査し、文字高 2.2 mm 以上の大きさ、及び文字高 2.5 mm 以上の大きさを正答率に差がなかった結果を支持している。また、今回の研究では 8 pt は読みやすさの主観評価の点数 50 点以上を示した。共同研究者の先行研究[12]では、読みやすさの主観評価の点数の基準点を 45 点と報告していることから、被験者は 8 pt 以上の文字サイズを読みやすいと判断していることが示唆された。一方、8 pt、12 pt、及び 16 pt で実施した先行研究[7]では、8 pt で E-ペーパーの主観評価が今回よりも低い値を示していた。この原因として、前回の研究で用いた E-ペーパーがフロントライトを搭載しておらず、また、解像度が 212 ppi と今回使用したデバイスと比較して低いことが考えられる。この結果は、解像度 150 ppi から 400 ppi までは、被験者の読みやすさの評価が解像度が高くなるに伴い良くなるとした Takubo et al.[13]による報告を支持している。今回の研究では、年齢群全体では、バックライト型 LCD の正答率 index を除き、いずれのデバイスにおいても、読みやすさの主観評価、目読時間 index、及び正答率 index において、6 pt から 4 pt に文字サイズが小さくなると有意に可読性が低下した。また、Lee et al.[10]の研究においても、高さ

1.4 mm の文字サイズで高さ 2.2 mm 以上と比較して正答率が下がることが報告されている。これらのことから、6 pt が被験者のパフォーマンスを維持できる最小の限界の文字サイズであることが示唆された。なお、バックライト型 LCD の正答率 index において、若年及び老年の年齢群において、4 pt と 6 pt の間に有意差がなかった理由は、バックライトの効果により、他のデバイスと比較してコントラスト比が高くなり、可読性が向上したため 4 pt においても正解率が維持されたと考えられる。

本実験で使用したフォントの Courier は、頻用されている代表的なフォントの中では数少ない等幅フォントである。そのため本実験で使用した Courier は他のフォントと比較してサイズが小さい。本実験で、4 pt、6 pt、8 pt、及び 12 pt を用いたが、ポイント数だけでは、可読性に関する他の研究との互換性が確保できないので、実際の文字高を検討する必要がある。

4.2 デバイスの種類の影響

今回の研究における照度 1,000 lx の条件では、8 pt と 12 pt の文字サイズでデバイス間に可読性の違いがなかった。これは、1,000 lx の条件下で 8 pt もしくは 9 pt の文字サイズでバックライト型 LCD とフロントライト搭載型 E-ペーパーの可読性を比較した共同研究者による先行研究[9]、[14]の結果を支持している。バックライト型 LCD は、紙やフロントライト搭載型 E-ペーパーと比較し、高いコントラスト比を示した。一方、画面の解像度については、バックライト型 LCD よりもフロントライト搭載型 E-ペーパーが高かったため、このバックライトによる高コントラストが正答率の維持に寄与している可能性がある。正答率 index において、4 pt で、バックライト型 LCD が他のデバイスと比較して高く、特に近見作業において調節力がある若年、及び老年の年齢群でその傾向が顕著であった。先行研究[9]、[14]により、電子書籍リーダーの光源が環境照度の低い条件における可読性を改善し、有意差はないもののバックライト型 LCD がフロントライト型 E-ペーパーより効果が高い傾向にあることが報告されている。これらのことから本実験におけるデバイスの解像度では、液晶パネルとバックライトの組み合わせにより実現される高いコントラスト比が、若い年齢群での 4 pt における正答率の高さに寄与している可能性がある。また、今回の実験条件では、読みやすさの主観評価、目読時間 index、及び正答率 index の 3 種類の評価指標は 6 pt 以上では正答率 index の 8 pt のバックライト型 LCD と紙の差を除き、デバイス間に差はなく、これらのことから 3 種類のデバイスは、6 pt 以上の文字サイズではほぼ同程度の可読性を持つことが示唆された。

4.3 評価指標

本研究で用いた 3 つの評価指標である被験者の主観評価、目読 index、及び正答率 index については、それぞれその結

果に特徴があった。主観評価については、4 pt から 8 pt (読みやすいと評価された文字サイズ) までの評価は直線的に高くなった。また、8pt 以上での傾きは緩やかになるが、文字サイズが大きくなるに伴い評価が有意に高くなる結果となった。8 pt、及び 12 pt の結果は先行研究の結果を支持している[7]。目読時間 index については、8 pt までは主観評価と同じ傾向であった。一方で 8 pt 以上では文字が大きくなっても目読時間は短くならなかった。8 pt、及び 12 pt の結果は先行研究の結果を支持しており[7]、このことから被験者の目読速度が 8 pt で上限に達することが示唆された。正答率 index については、4 pt と 6 pt (限界の最小の文字サイズ) の間で最も正解率が上昇し、6 pt と 8 pt の間では緩やかになるが上昇した。8 pt と 12 pt では正答率に差はなかった。8 pt、及び 12 pt の結果は先行研究を支持しており[7]、このことから、被験者の正しく読む能力は 8 pt で上限まで達することが示唆された。

4.4 加齢の影響

4.1 において、若年、及び壮年の若い年齢群で 4 pt (最も小さい文字サイズ) の可読性に対して、LCD のバックライトによる改善効果があった。一方でこの効果は中年、及び高年の年齢群では見られなかった。これらの理由として、中年、及び高年では、表 2 に示したとおり、若い年齢群と比較して水晶体白濁度が高く、また視機能が低下している。そのため、摩りガラスを隔ててバックライト光を見ているような状態になり、その効果が低いと考えられる。水晶体白濁度の可読性への影響については、共同研究者の先行研究[15]においても、高齢者において、水晶体白濁度が低い被験者グループの方がテキストを早く読むことができることが報告されている。また、4.2 において、年齢群全体では 6 pt がパフォーマンスを維持できる最小の限界サイズであることを示唆した。しかしながら年齢群別では、若年、壮年、及び中年の年齢群では 6 pt が限界サイズ、高年では 8 pt が限界の文字サイズであることが示唆され、年齢群により異なる結果となった。環境照度や表示画面のコントラスト比等の条件を変えて実施した先行研究[9]、[14]、[16-18]では、年齢群により電子書籍リーダーの可読性が異なり、環境照度が低いなどの悪い条件では高い年齢群ほど、可読性が低下することを報告している。本研究においても高い年齢群ほど、小さいサイズの文字が読みにくく、可読性が低下したため、これらの結果を支持している。そのことから、特に高年においては、テキストの文字高が固定されている紙と比較して、読みやすいサイズに文字高を変えることが可能なバックライト型 LCD、及びフロントライト搭載型 E ペーパーが、実際の使用環境において優位となることが考えられる。

5. 要約

本研究では、電子書籍リーダーと紙の可読性に対する文字

の大きさと加齢の影響について調査した。その結果については以下のとおり要約する。

5.1 文字サイズ

- (1) 本研究の結果及び共同研究者の既報から、被験者が読みやすいとする文字サイズは、8 pt と示唆された。
- (2) 本研究及び先行研究の結果より、被験者の目読速度が低下しない、正答率が下がらない最小の限界文字サイズは年齢群全体では 6 pt であることが示唆された。また、本研究の結果から、年齢群別では若年、壮年、中年では 6 pt、高年のみ 8 pt であることが示唆された。

5.2 デバイス

- (1) 本研究で用いた電子書籍リーダーは紙と同様の高い可読性を持つ。また、文字サイズの調節によって、紙よりも快適な読書環境を提供する。特にその効果は高い年齢群で大きい。
- (2) LCD に搭載されているバックライトは若年、壮年の年齢群において、最小の限界文字サイズである 6 pt とそれより小さい 4 pt の文字サイズの可読性の改善に寄与している。
- (3) 本研究及び先行研究の結果より、E-ペーパーに搭載されたフロントライトは背景輝度を上昇させる(コントラスト比を増加させる)ため、読みやすさの改善に効果がある。また、E-ペーパーの解像度についても、150~300dpi の範囲では高解像度化は読みやすさの改善に効果がある。

5.3 評価指標

- (1) 被験者の読みやすさの主観評価は、4 pt から 12 pt までは文字が大きくなるに伴い、高くなっていくが、8 pt と 12 pt の間では評価が高くなる割合が緩やかになる。
- (2) 被験者の目読速度は文字サイズが大きくなるに伴い早くなるが、8 pt で上限に達する。
- (3) 被験者のテキストを読む正解率は文字サイズが大きくなるに伴い高くなるが、8 pt で上限に達する。

5.4 加齢

本研究の結果及び共同研究者の既報により、高い年齢群ほど、視機能の低下により、文字サイズが小さい、環境照度が低い、文字のコントラスト比が低いなどの悪い条件下において電子書籍リーダーの可読性の低下への影響が大きいことが示唆された。

参考文献

- [1] 平成 27 年度版情報通信白書，総務省，(平成 27 年 7 月)

- [2] Amazon.com.
http://www.amazon.co.jp/dp/B00M0EYVCC/
- [3] Apple – iPad, https://support.apple.com/kb/SP647
- [4] JIS Z 9110, 照明基準総則, 日本標準調査会 (2011)
- [5] S. Ueki, T. Taguchi, K. Nakamura, Y. Itoh, K. Okamoto,; New Metrics Based on Visual Perception for Evaluating Image Quality, Proceedings International Display Workshops, vol. **1**, pp. 519-522 (2006)
- [6] ISO 9241-304, User performance test methods for electronic visual displays, International Organization for Standardization (2008)
- [7] Y. Ishii, T. Koizuka, K. Iwata, N. Ishio, S. Matsunami, P. R. Lege, T. Kojima, M. Miyao,; Contribution of Character Sizes to the Readability of Mobile Devices, IDW 2014, Niigata, Japan (Dec. 3-5, 2014)
- [8] T. Koizuka, S. Sano, T. Kojima, M. Miyao,; Evaluating the Effects of Environmental Illuminance on the Readability of E-books, SID Symposium Digest of Technical Papers, pp. 571 - 573 (2013)
- [9] S. Matsunami, T. Koizuka, R. P. Lege, T. Kojima, M. Miyao,; The Effects of Ambient Illuminance and Aging on the Evaluation of the Readability of E-paper, 映像情報メディア学会誌, vol. **69**, No.10, p.p. J306-313 (2015)
- [10] D. Lee, Y. Ko, I. Shen, C. Chao,; Effect of light source, ambient illumination, character size and interline spacing on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays, Displays, **32**, pp. 1-7 (2011)
- [11] D. Lee, K. Shieh, S. Jeng, I. Shen,; Effect of character size and lighting on legibility of electronic papers, Displays, **29**, pp. 10-17 (2008)
- [12] T. Koizuka, Y. Ishii, T. Kojima, N. Ishio, R. P. Lege, M. Miyao, “Proposing a Baseline Setup for Readability”, IDW 2014, Niigata, Japan (Dec. 3-5, 2014)
- [13] Y. Takubo, Y. Hisatake, T. Iizuka, T. Kawamura, Ultra-High Resolution Mobile Displays, SID Symposium Digest of Technical Papers, vol. **43**, Issue 1, pp.869-872 (2012)
- [14] T. Koizuka, Y. Ishii, T. Kojima, R. P. Lege, M. Miyao,; The Contributions of Built-in Light on the Readability in E-paper Devices, SID Symposium Digest of Technical Papers, vol. **45**, pp. 861-864 (2014)
- [15] 神田哲也, 長谷川旭, 長谷川聡, 宮尾克: 高齢者にとつてのiPadの可読性評価-背景色と文字色が可読性に与える影響-, モバイル学会誌, vol. **1** (2), pp. 101-104 (2011)
- [16] 松波 紫草, 岩田 光平, 小飯塚 達也, 石井 佑樹, 小嶋 健仁, 宮尾 克, Eペーパーと紙の可読性に対するコントラスト比と加齢の影響—フロントライトの有無に注目して—モバイル学会誌, vol.5 (2), pp. 35-41 (2015)
- [17] S. Sano, T. Kojima and M. Miyao,; The Effect of Illuminance on Visibility during Reading e-books by Age Groups, Proceedings International Display Workshops, vol. **3**, pp. 1624-1627 (2012)
- [18] A. Wang, S. Hwang, H. Kuo, S. Jeng,; Effects of ambient illuminance and electronic displays on users’ visual performance for young and elderly users, Journal of the SID 18/9 (2010)

著者紹介

松波紫草(学生会員)



1994 名古屋大学大学院農学研究科博士課程前期課程修了, 同年愛知県庁入庁. 2014 (公財)愛知県国際交流協会に派遣, 同年名古屋大学大学院情報科学研究科博士課程後期課程入学, 現在に至る. 主にEペーパーの可読性の研究及び、多言語生活情報翻訳システムの運用に従事.

石井佑樹(学生会員)



2010 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科入学. 2013 名古屋大学情報科学研究科宮尾研究室に配属され現在に至る. モバイル機器の視認性や可読性の研究に従事.

岩田 光平(学生会員)



2011 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科入学. 2014 名古屋大学情報科学研究科宮尾研究室に配属され現在に至る. モバイル機器・電子ペーパー端末の可読性に関する研究に従事.

小嶋 健仁(正会員)



1989 信州大学農学部農芸化学学科卒業. 同年 愛知県公立学校教員. 2012 名古屋工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了. 同年 名古屋大学大学院情報科学研究科入学, 2014 名古屋大学大学院博士課程後期課程修了. 同年中部学大学助教を経て、2015 講師、現在に至る. 立体映像の生体測定, モバイルアプリケーションに関する研究に従事.

宮尾 克(正会員)



1977 名古屋大学医学部医学科卒業. 1982 同大学医学部助手. 1985 医学博士. 講師・助教授・教授(多元数理科学・情報基盤センター)を経て、2009 情報科学研究科教授, 現在に至る. 人間工学・公衆衛生学を通じ, 3D映像の生体影響, ケータイ・モバイル機器のユーザビリティ, 多言語情報システムを研究.