

## 原著論文

## モバイル端末の視認性に対する照度の影響

佐野 峻太<sup>1)</sup>, 神田 哲也<sup>1)</sup>, 長谷川 旭<sup>1)</sup>, 小嶋 健仁<sup>2)</sup>, 宮尾 克<sup>1)</sup>

1)名古屋大学大学院, 2)名古屋工業大学大学院

## The Effects of Illuminance on Visibility of Reading Mobile Devices

Shunta SANO<sup>1)</sup>, Tetsuya KANDA<sup>1)</sup>, Akira HASEGAWA<sup>1)</sup>, Takehito KOJIMA<sup>2)</sup>, Masaru MIYAO<sup>1)</sup>  
<sup>1)</sup>Nagoya University, <sup>2)</sup>Nagoya Institute of Technology

**Abstract:** We carried out experiments to evaluate the visibility of reading tablet devices and e-paper under staged illuminance conditions. We compared iPad, Kindle DX and paper. In the experiments, we measured subjective evaluation of visibility, the pupil diameter of the subjects and viewing distance. The result found the evaluation of iPad was better than Kindle and paper under low illuminance and the evaluation of Kindle and paper were better than iPad under high illuminance. The result indicated the comfortable illuminance conditions to read for each device.

**Keywords:** e-book, visibility, illuminance, pupil diameter and viewing distance

**キーワード:** 電子書籍, 視認性, 照度, 瞳孔径, 視距離

## 1. はじめに

近年のディスプレイ技術の進歩により、従来の紙の本に代わるデバイスが普及している。Apple 社の iPad<sup>TM</sup> に代表されるタブレット型端末や電子ブックリーダーなどが使われるようになってきている。タブレット型端末に使用されるディスプレイの多くは自発光型であり、電子ブックリーダーの多くは表示部に反射型のディスプレイである電子ペーパーを使用している。

このように異なるディスプレイ方式であるため、視認性も大きく異なる。周囲の照度が高いときに自発光型ディスプレイを使用する端末は反射グレアが生じるため視認性が悪く、周囲の照度が低いときに反射型ディスプレイを使用する端末は視認性が悪いということが考えられる。

本研究では、照度の違いによる端末の視認性を評価するために実験を行なった。視認性が異なることによって、同等の環境で同等の作業を行なった場合でも作業者の目の疲労の程度が異なると考えられる。VDT 作業における視覚疲労の評価では、人間の目の機能の測定による研究が行なわれてきた [1-2]。そこで、人間の瞳孔径 (図 1) に着目して、視機能の測定から視認性を評価することの有用性について検討することにした。自発光型ディスプレイを使用する端末として iPad を、反射型ディスプレイを使用する端末として Amazon 社の Kindle DX<sup>TM</sup> (以下 Kindle と表記) を使用した。また、それらの比較としてプリント用紙 (以下紙と表記) を使用して、3つの媒体を用いて実験を行なった。

## 2. 実験方法

被験者は 21 歳から 25 歳の男性 7 名である。ナックイメージ

テクノロジー社のモバイル型アイマークレコーダ EMR-9<sup>TM</sup> (図 2) で瞳孔径を測定するために、普段眼鏡を装着している被験者にはソフトコンタクトレンズを装着させた。

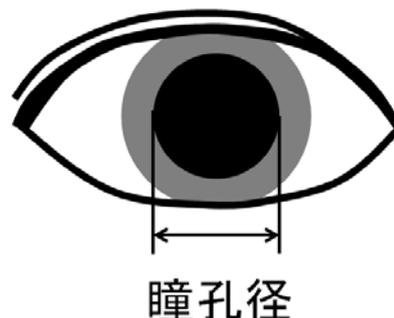


図 1 瞳孔径

実験は暗室で行なった。照度を調節するために、端末を見るための装置を使用した (図 3)。蛍光灯は D65 蛍光灯を使用して、明るさが一樣になるように拡散板を用いた。端末を角度が 50 度の斜面に置いて、媒体の中心における照度が 10.0 lx, 31.5 lx, 100 lx, 315 lx, 1,000 lx, 3,150 lx, 10,000 lx になるように蛍光灯を調整できるようにした。それぞれの照度におけるそれぞれの媒体の黒色を表示したときの画面輝度を表 1 に、白色を表示したときの画面輝度を表 2 に示す。黒色表示と白色表示のコントラスト比を表 3 に示す。

媒体には 1 行 25 文字、1 画面 20 行の日本語の文章を表示した。文字のフォントは MS ゴシック、大きさは 8.5 pt (3 mm) で作成した (図 4)。文字の色は黒色、背景色は白色とした。iPad と Kindle は画面表示部以外を白い紙で覆った。iPad は明るさ

調整で明るさが最大になるように固定した。被験者は装置内に置かれた媒体の文章を読みやすい位置から音読した(図5)。音読中の被験者の瞳孔径を EMR-9 で測定し、そのときの媒体の中心から被験者の目までの視距離を測定した。また、文字の見やすさについて0から5の6段階の主観評価(表4)を被験者は答えた。これらの測定と評価をそれぞれの照度(10.0 lx, 31.5 lx, 100 lx, 315 lx, 1,000 lx, 3,150 lx, 10,000 lx)でそれぞれの媒体(iPad, Kindle, 紙)を用いて行なった。その際の順番はランダムになるようにした。



図 2 モバイル型アイマークレコーダ EMR-9

表 3 コントラスト比

照度(lx)	iPad	Kindle	紙
10.0	374.9	10.6	19.8
31.5	294.0	9.6	20.7
100	276.5	9.8	23.3
315	200.9	9.9	20.8
1,000	127.5	8.6	18.3
3,150	61.2	12.2	17.8
10,000	20.0	7.8	14.1



図 4 文章の表示

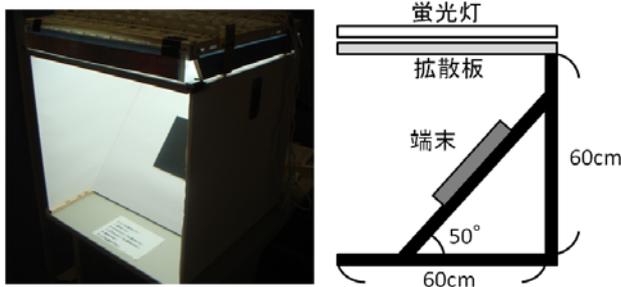


図 3 実験で用いた装置



図 5 実験の様子

表 1 黒色表示時の画面輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

照度(lx)	iPad	Kindle	紙
10.0	0.8	0.1	0.1
31.5	1.1	0.4	0.4
100	1.2	1.4	1.4
315	1.6	4.3	4.0
1,000	2.6	16.6	14.8
3,150	5.7	35.3	45.7
10,000	17.6	175.2	177.3

表 2 白色表示時の画面輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

照度(lx)	iPad	Kindle	紙
10.0	311.2	1.4	2.8
31.5	317.5	3.7	8.3
100	323.5	14.0	32.7
315	325.4	42.2	84.5
1,000	334.1	142.4	272.0
3,150	349.0	429.7	814.7
10,000	352.3	1369	2501

表 4 主観評価の尺度

点数	評価尺度
0	とても読みにくい
1	読みにくい
2	どちらかと言えば読みにくい
3	どちらかと言えば読みやすい
4	読みやすい
5	とても読みやすい

### 3. 実験結果

文字の読みやすさについての被験者による主観評価の平均の結果を図6に示す。照度ごとに一元配置分散分析を行なったところ、照度が10.0 lxと31.5 lxの条件ではiPadとKindle、iPadと紙の間に有意な差があり( $p < 0.01$ )、iPadが良い評価を得た。照度が100 lxのときはiPadとKindle、Kindleと紙の間に有意差があり(前者: $p < 0.01$ , 後者: $p < 0.05$ )、ともにKindleが低い評価を得た。照度が315 lxと1,000 lxの条件では有意差は見られなかった。照度が3,150 lxと10,000 lxの条件ではiPadとKindle、iPadと紙との間に有意差があり( $p < 0.01$ )、ともにiPadが低い評価を得た。

文章音読中の被験者の瞳孔径の大きさの平均を図7に示す。照度ごとに一元配置分散分析を行なったところ、照度が10.0 lxの条件でiPadを見るときの瞳孔径がKindleを見るときに比べて有意に小さかった( $p < 0.05$ )、ほかに有意差は見つからなかった。照度が315 lx以下のときにiPadを見るときの瞳孔径はKindleと紙に比べて小さいという傾向を示し、1,000 lx以上の条件下では3つの媒体ともに似たような値となった。

被験者から端末の中心までの視距離の測定結果の平均を図8に示す。照度ごとに一元配置分散分析を行なったところ、どの照度においても有意な違いは見られなかった。Kindleと紙を見るときの視距離は照度が低いときに短く、iPadのときの視距離は照度が高いときに短くなる傾向を示した。

### 4. 考察

照度が低いときにiPadの主観評価が高かった。その理由は、iPadのディスプレイが自発光型であるため十分な輝度が得られたからだと考えられる。これはKindleと紙よりも瞳孔径の大きさが有意に小さく3.0 mm以下であることからわかる。しかし、瞳孔径の大きさが3つの媒体ともに大きな違いがないにも関わらず、照度が3,150 lx以上のときのiPadの主観評価は低い。これはグレアが生じたために視認性が悪くなったと考えられる。そのため1,000 lxから3,150 lxの間にグレアが生じることによって視認性が悪くなる照度の境界が存在することが示唆された。また、Kindleは315 lx以下、紙は100 lx以下で評価が低く、照度が高くなるにつれて評価が高くなったが、照度が1,000 lxを超えるとそれ以上の評価を得ることはなかった。視距離が長くなったことから眩しく感じるようになったと考えられる。瞳孔は瞳孔括約筋の緊張と瞳孔散大筋の弛緩により縮瞳し、極度に縮瞳した状態で約1 mmになる[3]。照度が10,000 lxのときは3つの媒体ともに瞳孔径が約1.6 mmであり、かなり縮瞳した状態といえる。瞳孔が収縮することにより焦点深度が増大して明瞭に写る距離の範囲が増す[4]。したがって、近視視力が増大し視認性が向上することが考えられるので、グレアによる視認性の低下や長時間の視作業による疲労との関連性の検討が今後の課題となる。

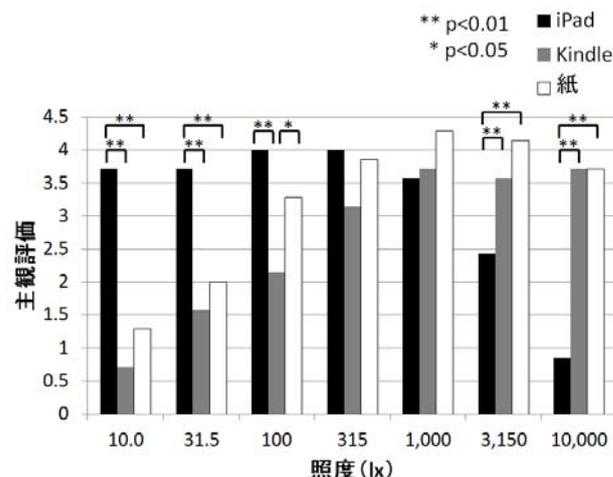


図6 各照度における主観評価の平均

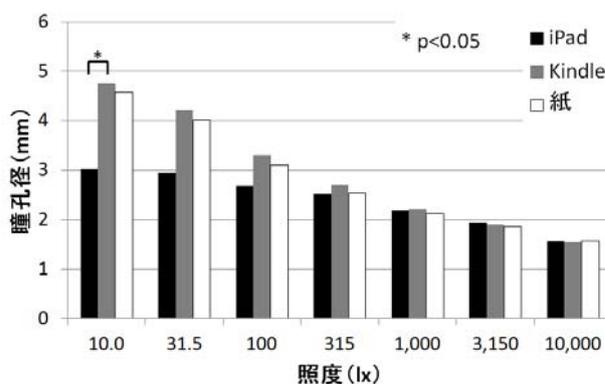


図7 各照度における瞳孔径の平均

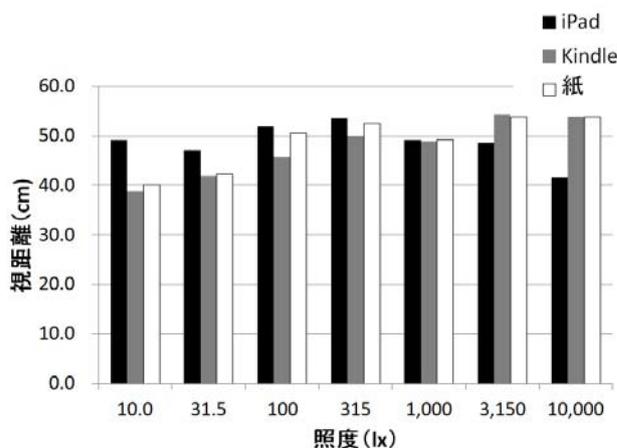


図8 各照度における視距離の平均

照度が 1,000 lx のときに Kindle と紙では良い主観評価の結果が得られた。また、iPad の主観評価も最大の値ではないが、1,000 lx のときも読みやすい評価が得られている。1,000 lx という照度は、日本工業規格による屋内作業での精密な視作業の照明要件の照度にあたり[5]、今回の文章の音読の視作業の程度と合致しており、媒体に限らずに良い視認性を得られる照度であると言える。

各照度の違いによる瞳孔径、視距離、主観評価の結果は Kindle と紙においておおむね同様の傾向を示したが、Kindle よりも紙が良い評価を得た。2 つの媒体の大きな違いは白色表示時の画面輝度であり、それがコントラスト比の違いにも表れている。コントラスト比が大きいうほうが良い視認性評価を得るので[6-7]、主観評価の違いに大きく表れた。そのため Kindle が紙に近い視認性を得るには白色表示の際の画面輝度の向上によるコントラスト比の向上が必要であると考えられる。また、コントラストが低いことによって紙と比べて電子ペーパーを読むときは目の疲労が増加するので[8]、コントラストが高ければ目の疲労の軽減にもつながる。iPad でのコントラスト比はどの照度でも高い値を示した。しかし、コントラストはグレアにより低減されるので[9]、高い照度のときには iPad でのコントラスト比は実際には小さくなっていったと考えられる。

iPad での主観評価が中間値 2.5 以上であったときの瞳孔径の大きさは 2.2 mm 以上のときであり、Kindle と紙では 3.1 mm 以下のときであった。また、iPad において瞳孔径が 3.0 mm より大きくなることはなかったが、2.2 mm よりも小さいときもあった。したがって、2.2 mm 以下の照度では媒体によって良い評価である場合と悪い評価である場合が混在することになる。このことからディスプレイの方式によって視認性が良いときの瞳孔径の大きさの範囲は異なることがわかる。そのため、瞳孔径の大きさから視認性を評価するときはディスプレイの方式を考慮する必要がある。また、どの媒体においても良い評価を得ていた 2.2~3.1 mm の範囲は、ディスプレイ方式によらずに読書に好ましい明るさの範囲であることが示唆された。

## 5. まとめ

本研究では環境照度の違いが与える視認性を評価するために実験を行なった。7 つの照度の段階で iPad と Kindle と紙の 3 つの媒体を使用した。被験者に文章を読むタスクを与えて、その際の瞳孔径と視距離の測定と主観評価を得た。

照度によって自発光型ディスプレイ端末と反射型ディスプレイ端末の視認性が異なることがわかった。自発光型のディスプレイを使用する際には 3,150 lx よりも低い照度、反射型のディスプレイを使用する際には 315 lx よりも高い照度が求められると考えられる。

本実験では視機能の 1 つである瞳孔径を測定した。それぞれの媒体を見るとききの照度による変化を捉えることができた。

そして、ディスプレイ方式の違いによる最適な瞳孔径の大きさの範囲の違いが見られ、共通して良い評価を得られた瞳孔径の範囲を検討することができた。このことから、視機能から視認性を評価する 1 つの方法を得ることができた。また、瞳孔径以外の視機能についても今後検討していきたい。

iPad と Kindle DX を用いて視認性の評価を行なったが、今後も様々な機器が登場することが期待される。そして、ディスプレイ技術はさらに向上することが考えられる。特に、電子ペーパーはカラー表示化などの技術が開発されてきている[10-11]。電子ペーパーは画面表示を切り替える際に消費する電力が少ないことが大きな特徴として挙げられており、より良い視認性やタブレット型端末のような多機能性を実現できればより一層普及することが考えられる。コントラスト比が良好な反射型液晶や、電力消費の少ない有機 EL を含め、多様なディスプレイの視認性について今後も検討する予定である。

## 参考文献

- [1] 植竹, 大塚, 高澤, 村田: VDT 作業時の視覚疲労の評価に関する研究, 電子情報通信学会論文誌, pp. 1521-1529 (2000)
- [2] 星野, 斎藤: 瞳孔対光反応の解析による VDT 作業時の視覚疲労評価, テレビジョン学会技術報告, pp. 7-12 (1992)
- [3] 猪俣, 岩崎, 千々岩: 虹彩, 眼の辞典, pp. 33-34, 朝倉書店 (2003)
- [4] 宮尾: 瞳孔, VDT 労働研究会, VDT 労働と健康, pp. 33-36, 労働基準調査会 (1988)
- [5] 日本工業規格 JIS Z 9110 (2010)
- [6] 長谷川, 藤掛, 大森, 松沼, 宮尾: ケータイ画面上の文字の視認性評価方法およびその実践, シンポジウム「モバイル 2007」, pp. 59-64 (2007)
- [7] 窪田: 反射型液晶ディスプレイに求められる明度とコントラストの条件, テレビジョン学会誌, pp. 1091-1095 (1996)
- [8] Yen-Yu Kang, Mao-Jiun J. Wang, Rungtai Lin: Usability evaluation of E-books, Displays, vol. 30, pp 49-52 (2009)
- [9] 池田: 視覚情報表示の方法による効果, 人間工学ハンドブック, pp. 389-393, 朝倉書店 (2003)
- [10] 株式会社ブリヂストン電子ペーパー AeroBee: [http://www.bridgestone.co.jp/business/dp/ele\\_paper/aerobee/index.html](http://www.bridgestone.co.jp/business/dp/ele_paper/aerobee/index.html)
- [11] Hanvon E-book Reader: <http://www.hanvon.com/en/products/ebook/index.html>

## 著者紹介

佐野 峻太 (学生会員)

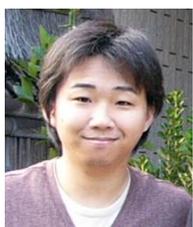
2011 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科卒業, 同年 同大学大学院情報科学研究科博士前期課程入学, 現在に至る。モバイル機器の視認性や可読性の研究に従事。





**神田 哲也**(学生会員)

2009 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科卒業, 2012 同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了. 株式会社トヨタデジタルクルーズに入社, 現在に至る.



**長谷川 旭**(学生会員)

名古屋文理大学情報文化学部卒, 名古屋商科大学大学院経営情報学研究科修了. 現在, 名古屋文理大学図書情報センター主任. 2012 名古屋大学情報科学研究科博士後期課程修了.



**小嶋 健仁**(非会員)

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, 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)

1997 名古屋大学医学部医学科卒業.  
1982 医学博士. 同大学医学部助手・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.