小型反射型 LCD の文字サイズ，文字画素構成，画素密度と読取りやすさとの関係

Effects of Character Size, Character Format, and Pixel Density on Subjective Legibility of Reflective Liquid Crystal Displays for Personal Digital Assistants

正会員 窪田 悟[†]

Satoru Kubota[†] (member)

あらまし 携帯電話などに用いられる小型反射型 LCD の文字サイズ，文字画素構成，画素密度と読取りやすさとの関係について検討した。日本語の表示には，最低限 1 文字あたり 11×11 画素が必要であり，また，高画素密度化にあたっては，適正な文字線幅を確保するために，文字サイズ，文字画素構成，画素密度のバランスを考慮することが重要であることを示した。

キーワード：液晶ディスプレイ，視認性，携帯情報端末，画素密度，精細度

1. はじめに

携帯電話や携帯情報端末から電子メールなどの文字情報を読取る機会が増加している。このような小型のディスプレイに要求される文字表示条件については，十分に検討されていない。従来のディスプレイの視認性に関する研究は，主として CRT ディスプレイまたは透過型 LCD を対象としており，本研究で対象とする小型の反射型 LCD における日本語テキスト表示の視認性に直接適用できるとは限らない。反射型と自発光型といった表示モードの違いだけでなく，視距離や利用の文脈がまったく異なるからである。反射型 LCD に要求される明度とコントラストの条件については印刷画像を用いた主観評価実験により検討されている²⁻⁴⁾。しかし，文字の画素構成やディスプレイの画素密度などの文字を構成する基本的な特性と読取りやすさとの関係は検討されていない。

そこで本研究では，携帯電話等の小型反射型 LCD の文字サイズ，文字画素構成，画素密度と読取りやすさとの関係について，印刷画像による擬似の反射型 LCD を用いた主観評価実験により検討した。

2. 実験方法

2.1 評価実験に用いた擬似の反射型 LCD

主観評価実験に用いた擬似の反射型 LCD は，2 機種

のデジタルプリンタにより作成した。文字部(液晶層)に相当する部分は，1200 dpi のトナー式プリンタ(Tektronix Phaser 740 J)を用いて OHP フィルムに黒文字でプリントした。反射板に相当する部分は 300 dpi の昇華型プリンタ(Tektronix Phaser 440 J)で光沢紙に特定の反射率とモノクロームの反射型 TN-LCD に近似させた色($a^*=-13$, $b^*=6$)で印刷した。これと先に述べた OHP フィルムに印刷した文字のプリントを貼り合わせることによって，擬似の反射型 LCD を作成した。評価にあたっては，表示特性が既知の実際の反射型 LCD を評価に加え，擬似の反射型 LCD による評価の妥当性についても確認した。

2.2 文字表示条件

図 1 に示したような文字の画素構成 8×8 画素から 28×28 画素の 9 種類の文字列を擬似の反射型 LCD に表示した。これらの文字は，すべて 1 画素線幅で構成されてい

表示容量に限りのある小型 8×8
表示容量に限りのある小型 9×9
表示容量に限りのある小型 10×10
表示容量に限りのある小型 11×11
表示容量に限りのある小型 12×12
表示容量に限りのある小型 16×16
表示容量に限りのある小型 20×20
表示容量に限りのある小型 24×24
表示容量に限りのある小型 28×28

図 1 実験に用いた文字の画素構成

Examples of dotted-characters used in the legibility experiment.

2001 年 5 月 8 日受付，2001 年 7 月 6 日採録

[†] 成蹊大学 工学部

(〒180-8633 武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, TEL 0422-37-3720)

[†] Faculty of Engineering, Seikei University

(3-3-1, Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo 180-8633 Japan)

る。文字設計者の主観により最適化された文字であり、この実験用に作成されたものである。本研究で用いた文字列は、漢字かな混じり文であるが、一般的に最も出現頻度が高い画数である10～12画の漢字を含んでいる。

図2に示したように、これらの文字列を文字サイズ1.5～4.0 mm、文字を構成している画素の密度67.7～203.2 pixel per inch (ppi)で表示した。すなわち、図2にプロットした71条件の文字を表示した擬似の反射型LCDを作成し用いた。画面の大きさは、対角2インチ、アスペクト比4:3であった。その中に図1の文字列を1行だけ文字の大きさ条件との関係で入るだけ表示した。文字列を1行にしたのは、複数行に表示した場合は、行間隔などの表示書式が影響すると考えたためである。コントラスト比(CR)は10とし、文字背景の明度は、現状の反射型LCDの平均的な値 $L^*=45$ (反射率で14%)とした。また、先に述べたように、プリンタで反射型LCDをシミュレートすることの妥当性を確認するために特性のわかっている実際の反射型LCD(対角2インチ、文字サイズ2.95 mm、文字画素構成11×12画素、画素密度103 ppi、反射率14%、コントラスト10)を評価に加え、合計72条件を評価した。

図2 文字サイズ、文字画素構成、画素密度の条件
Character size and pixel density for each character format.

2.3 手続き

被験者は学生で、男性27名、女性3名の合計30名であった。被験者の30 cm視力はいずれも0.7以上、平均1.19であった。各被験者は、視距離30 cmに頭部を固定し、45°後方に傾斜させた評価対象を法線方向から観察した。実験室内の照度は水平面500 lx、評価対象面の照度は350 lxであった。

主観評価の尺度は、図3に示した4つの項目であった。評価は、まず、基準画面(12×12画素文字、文字サイズ3.0 mm、反射率14%、コントラスト比10)との相対比較を行う。次に、電子メールを読取ることを想定して、文字の大きさを7段階、文字を構成する線の太さを7段階、総合評価を5段階で評価した。順序効果を相殺するために、実際の反射型LCDを含めた72の条件は、被験者ごとにランダムに提示した。実験時間は1被験者あたり30分間以内であった。

3. 結果と考察

図4は、文字サイズと文字画素構成に対する読取りやすさの総合評価を30名の平均値で示している。ここで読取

図4 文字サイズ、文字画素構成と主観的な読取りやすさとの関係30名の平均値
Subjective rating of readability as a function of character size and character format. Mean for 30 subjects.

基準画面との相対評価	メールを読み取ることを想定した絶対評価		
● 個々の文字の読み取りやすさ	● 文字の大きさ	● 文字線の太さ	● 総合的評価
7: 非常に読み取りやすい	7: 非常に大きい	7: 非常に太い	5: 充分使える
6: 読み取りやすい	6: 大きい	6: 太い	4: 使える
5: やや読み取りやすい	5: やや大きい	5: やや太い	3: なんとか使える
4: ほぼ同じ	4: ちょうど良い	4: ちょうど良い	2: 使えない
3: やや読み取りにくい	3: やや小さい	3: やや細い	1: まったく使えない
2: 読み取りにくい	2: 小さい	2: 細い	
1: 非常に読み取りにくい	1: 非常に小さい	1: 非常に細い	

図3 主観評価尺度
Subjective rating scale.

りやすさの総合評価とは、日本語の電子メールを読取ることを想定した5段階評定(図3)の主観評価の結果である。一機種ではあるが、実際の反射型LCDと特性に近い擬似の反射型LCDの評価はほぼ一致していることから、作成した擬似の反射型LCDによる評価は妥当であるとみなした。

最も評価が高いのは、16×16以上の画素構成の文字で約3.5mm(視角で40min)であった。それに対して、11×11と12×12画素文字は、約3mm(視角で34min)で最も評価が高い。3mm以下の文字サイズでは11×11より画素構成を大きくしても評価は向上しない。これは、1画素線幅で文字を構成しているので、文字の構成画素数を大きくすると、いわゆるjaggy(輪郭のギザギザ)が目立たなくなるが、文字線幅が細くなりコントラスト感が低下するというトレードオフが存在するためと考えられる。一方、文字の画素構成が10×10以下の評価は低く、比較的小さい文字でも11×11画素が必要であることを示している。

鑑沢ら⁵⁾は、CRTディスプレイ上で文字画素構成と判読率の関係を検討し、20画までの文字で100%の判読率を得るには、18×18画素が必要であることを示している。ただし、彼らが用いた文字は、既存の活字パターン上に所定の密度のメッシュを被せて、各メッシュの字面部分の比率から生成したもので、現在一般的に用いられているディスプレイ書体とはかなり異なるものであった。また、個々の文字の判読率から検討したものであり、文脈のあるテキストでは、画素数を下げても判読率は低下しないとしている。さらに、CRTディスプレイはLCDと異なり、文字が小さくなるほどピストローク間が分離されず、いわゆるつぶれが生じやすくなり、視認性を阻害し得る⁶⁾。したがって、CRTの結果をLCDに直接適用できない。漢字の画数の影響については、本研究では画数を実験変数としていないので言及できないが、本研究で用いた文字列は、一般的に出現頻度が最も高い画数である10~12画の漢字を含んでいる。また、コンピュータディスプレイの日本語表示には11×11画素ないし13×13画素が最も頻繁に使われているという実態^{7,8)}もある。

図5と図6は、文字線幅に対する主観評価結果を示している。図5は、文字線幅の実寸に対して、主観評価の結果をプロットしたもので、図6は、文字線幅を文字の高さに対する比で同様にプロットしたものである。文字の線幅はコントラスト感に大きく影響するため、主観的な読取りやすさにも寄与し得る⁹⁾。図5に示したように文字線幅を実寸で見ると、文字の大きさにも影響されるが、概ね200~250 μ (視角で2.3~2.9min)が主観的にちょうど良い太さとなる。一方、このちょうど良い文字の線幅を文字の大きさに対する比率で表すと、図6に示したように、3mm以上の文字では、文字の高さに対して6~7%、2.5mmの文字で8%、同様に2mmで10%、1.5mmで12%とな

図5 文字線幅に対する主観評価結果 30名の平均値
Subjective rating of stroke width as a function of stroke width for different character sizes. Mean for 30 subjects.

図6 文字線幅(文字の高さに対する%)に対する主観評価結果 30名の平均値
Subjective rating of stroke width as a function of stroke width for different character sizes. Mean for 30 subjects.

る。もちろん、これらの値は、現状の反射型LCDの明るさとコントラストを前提にした結果である。ただし、次世代の反射型LCDを想定した $L^*=75$ (反射率45%)、コントラスト比10の条件でも同様の実験を行っている¹⁰⁾が差は小さかった。

本研究で用いた文字は、線幅が1画素なので、文字線幅が画素サイズと対応する。したがって、ちょうど良いと感じられる文字の太さを確保するには最低でも200 μ (視角で2.3min)の画素サイズが必要であることを示している。この値に、最低限必要な文字画素構成の11画素をかけると $0.2 \times 11 = 2.2$ mmという下限文字サイズが得られる。これは図5に示されているように主観評定値3「なんとか使える」という大きさに近い。

図7は、画素密度と読取りやすさとの関係を示したものである。画素構成11×11以上では、文字の読取りやすさ

図7 画素密度、画素構成と主観的な読取りやすさとの関係 30名の平均値

Subjective legibility as a function of pixel density and character format for different character sizes. Mean for 30 subjects.

は画素密度より主に文字サイズに依存していることを示している。この結果は、文字表示を対象としたディスプレイに必要な下限の画素密度が、文字の大きさから求められることを意味する。例えば、1.5 mmの文字表示が必要な場合、 $1.5 \text{ mm} \div 11 \text{ 画素}$ で約180 ppiの画素密度が必要になる。すなわち、3 mm以下の文字であれば、図2の実験条件で示した11×11画素文字の線、すなわち4の線をたどれば、表示したい文字サイズに対する必要画素密度が求められる。

なお、ここで示した画素密度の要求値は、日本語表示を30 cmの視距離で観視する場合を前提としており、欧文表示や視距離が異なる場合には適用できるとは限らない。また、明度とコントラストとの関係も考慮する必要がある。ただし、先にも述べたように $L^*=75$ の条件との差は小さかった。また、200 ppi以上の超高精細のレベルになった場合は、文字を構成する線を2画素以上で描くことも可能になるため、本研究の結果をそのまま適用できない。

4. まとめ

小型反射型LCDに1画素線幅の日本語文字を表示し30 cmで観視する場合に読取りやすい文字サイズ、文字画素構成、画素密度の条件について、擬似の反射型LCDを用いた主観評価実験により検討した。

主な結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 日本語表示に最低限必要な文字画素構成数は11×11画素である。
- (2) 3 mm以下の文字では11×11画素より画素構成を大きくしても読取りやすさはほとんど向上しない。

(3) 同様に3.5 mm前後の文字では16×16画素より画素構成を大きくしても読取りやすさはほとんど向上しない。

(4) 上記(2)と(3)の結果は、文字ストロークを1画素で構成する限り、特定の大きさの文字に対して、文字の画素構成数を一定数以上に増やしても、jaggyは減じるが、文字線幅が細くなりコントラスト感が低下し、読取りやすさが向上しないためである。

(5) 評価した文字サイズの範囲内では、文字線幅の適正值は200~250 μ であった。したがって、文字ストロークを1画素で構成する場合は、200~250 μ の画素サイズが必要となる。画素密度で102~127 ppiである。

(6) (5)から、ディスプレイを高画素密度化する場合、102~127 ppiをn倍した範囲に画素密度を設定する必要がある。すなわち、文字ストロークをn画素で描くことを意味する。

現在、銀塩写真ポジフィルムによって擬似LCDを作製し、さらに高画素密度のLCDをシミュレートした評価実験を進めている。

本研究の遂行にあたっては、松下通信工業株式会社マルチメディアライフクリエイティブセンター・インタフェースクリエイト部のご協力を得ました。

〔文 献〕

- 1) 窪田 悟: 液晶ディスプレイの生態学—利用者中心のディスプレイ技術への視点—, 労働科学研究所出版部, (Mar. 1998)
- 2) 平, 鈴木: “反射型LCDに要求される反射率・コントラストの関係”, テレビ学技法, 20(9), pp. 113-118, (1996)
- 3) Kubota, S.: “Ergonomic requirements for reflective liquid crystal displays”, Displays, 19(3), pp. 121-125, (1998)
- 4) 窪田 悟: “反射型LCDの文字表示特性と好ましい視距離および見やすさとの関係”, 映情学誌, 52, (9), pp. 1386-1390, (Sep. 1998)
- 5) 鉦沢, 井上: “CRTディスプレイ上のドット文字表示におけるドットマトリクス次数と文字品質の関係” テレビ誌, 38, (3), pp. 237-244, (Mar. 1984)
- 6) 田村 徹: “TFT/LCDとCRTディスプレイの文章読取り速さに関する比較”, 映情学誌, 52, (1), pp. 116-118, (Jan. 1998)
- 7) 佐藤, 吉武: “コンピュータ・ディスプレイ上で利用されている文字サイズの調査”, 日本人間工学会関東支部大会論文集, pp. 110-111, (Dec. 2000)
- 8) 窪田 悟: “コンピュータモニターの利用実態に関するWeb調査の結果”, <http://amadeus.is.seikei.ac.jp/~kubota/>, (Jan. 2001)
- 9) 窪田, 松戸: “加齢による視覚特性の変化がLCDからの文字情報の読取り速度に及ぼす影響”, 信学技報, EID 2000-50, (Nov. 2000)
- 10) 窪田, 豊田: “携帯端末用小型反射型LCDの視認性に関する研究”, 日本人間工学会第41回大会論文集, (Jun. 2000)

窪田 悟 1976年、成蹊大学工学部卒業。現在、成蹊大学工学部助教授。ディスプレイのエルゴノミクスに関する研究に従事。博士(工学)。正会員。