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

正会員 窪 田 悟[†]

Lightness and Contrast Requirements for Legibility of Reflective Liquid Crystal Displays

Satoru Kubota[†]

Abstract The purpose of this study is to investigate the required lightness and contrast for legibility of reflective liquid crystal displays (LCDs). Thirty subjects rated 65 lightness and contrast combinations displayed on the hard copy that simulate a reflective LCD, under various ambient illuminance conditions. The results indicate that a higher contrast ratio is required as the lightness L^* of the background is decreased lower than 65 or 70 (i.e. reflectance is 35-40%). The required contrast ratio is about 5 when the lightness is higher than 65 or 70. The influence of ambient illuminance on subjective legibility of the simulated reflective LCDs is not so obvious when the lightness of the background is higher than 65 or 70. These results suggest that the lightness of the background should be higher than 65 or 70, and the contrast ratio between the characters and background should be at least 5.

1. ま え が き

反射型の液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display: LCD) は、小型軽量、低消費電力という利点を備えており、携帯用の情報機器に欠くことができない。しかし、現状の反射型 LCD は、画質という点で透過型 LCD に及ばない¹⁾。特に、表示文字の視認性を左右している明度とコントラストの向上は最重要課題である。したがって、反射型 LCD の明度およびコントラストと表示の読み取りやすさとの関係を明確にしておくことは、反射型 LCD の開発にあたって不可

欠である。

透過型 LCD については、表示輝度、コントラスト、鏡面反射、視野角などの要因について、視覚特性に即した開発指針を得るために、実験的な検討を重ねてきた^{2)~4)}。しかし、反射型 LCD は、透過型 LCD や自発光型ディスプレイのように能動的に光を発するディスプレイと基本的に異なる。したがって、従来の透過型 LCD を対象とした評価研究の知見は必ずしも適用できない。むしろ印刷物のそれに近い。また、印刷物の評価と同様の枠組みで考えると、照明条件が重要な要因となる。さらに、反射型 LCD の理想的な表示

キーワード：液晶ディスプレイ、視認性、画質評価

1996 年 2 月 13 日受付、1996 年 3 月 21 日再受付

[†] 成蹊大学 工学部 (〒180 武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, TEL 0422-37-3772)

[†] Faculty of Engineering, Seikei University (3-3-1, Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo 180, Japan)

条件を求めるためには、現状の反射型 LCD をもってしては設定できる条件の範囲に限りがあり、他の手段によらなくてはならない。

平ら⁵⁾は、印刷画像を用いた主観評価実験により反射型 LCD に要求される反射率とコントラストの関係について検討し、低明度条件ではより高いコントラストが求められるなどの結果を得ている。ただし、照度条件の影響、LCD 特有の色彩の影響については考慮していない。

本研究では、まず、フルカラーのデジタルプリンタ用いて、反射型 LCD をシミュレートしたハードコピーを作成した。そして、作成したハードコピーに対する異なった照度条件における主観評価実験により、反射型 LCD の文字画像に求められる明度とコントラストの条件について検討した。実験では、文字背景の明度、コントラスト、文字背景の色、照度の4要因が表示文字の読み取りやすさに及ぼす影響について総合的に検討した。

なお、ハードコピーによって反射型 LCD の表示特性をシミュレートすることの妥当性は、ハードコピーと同一の文字画像を表示した反射型 LCD に対する主観評価の結果が、同等の明度とコントラストのハードコピーのそれと一致することをもって検証した。

2. 方 法

2.1 評価対象

パーソナルコンピュータ (Macintosh Quadra 840 AV) と3機種フルカラープリンタを用い、様々な明度とコントラストの反射型液晶画面をシミュレートしたハードコピーを作成した。文字部は、インクジェットプリンタ (Canon PIXEL-JET) とトナー式プリンタ (Xerox A-color 636) を用い、様々な濃度の無彩色で OHP フィルムに出力した。これを昇華型プリンタ (Tektronix Phaser 440 JS) で作成した様々な明度の文字背景に貼り付けた。文字背景の色は、無彩色と一般的な STN-LCD の色 ($a^*=-13$, $b^*=6$) の2条件とした。この方法によって、反射型液晶画面の質感に近い様々な明度とコントラストの文字画像を作成した。評価画面を図1に示す。印字した文字のサイズは12ポイント、書体は中ゴシックとした。文字間隔は約0.5mm、行間隔は約3mmであった。この画面はA4用紙の中央に印刷されている。画面周囲の枠は明度 $L^*=58$ (反射率27%) のグレイにした。

2.2 実験条件

表示条件を図2に示した。すなわち、(1)文字背景の明度条件を6条件、(2)文字背景の色を2条件、無

図1 主観評価実験に使用したハードコピー画面
Hard copy display used in the experiment.

図2 実験で設定した明度とコントラストの条件
(1~65は条件番号を示す。1~30はSTN-LCD色、31~65は無彩色)

Lightness and contrast combinations employed in the experiment.

彩色と STN 反射型液晶に合わせた色、(3)文字部の明度を5条件、以上の合計 ($6 \times 2 \times 5$) = 60 条件に、背景が白紙 ($L^*=94$) に対して文字部の明度5条件、合計65条件である。また、照度の影響を評価するために、机上面照度70,300,1200 lxの3条件について実験した。照明条件は、色比較用 D₆₅ 蛍光ランプの天井照明を調光して設定した。評価対象は机上面に水平

に置いた．これを天井照明が映り込まないように，約45°の角度から視距離約30 cmで観察させた．実験室には窓がない．壁面は無彩色に近く反射率は約60％であった．

各条件の反射率は，D₆₅ 蛍光ランプを評価対象に対して45°の入射角に設置して，法線方向から輝度計(TOPCON BM-5 A)で反射輝度を測定し，標準白色板(BaSO₄)の反射輝度との比から求めた．この値は実験の観視条件における値に一致する．明度は反射率に対応した心理物理量である．本研究ではCIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間による明度指数 (Psychometric lightness: L^*)を用いた．明度指数(L^*)と反射率(ρ)との関係は， $L^*=116\rho^{1/3}-16$ によって表される．なお，コントラストは，背景部の反射率/文字部の反射率とする．

2.3 被験者

被験者は年齢20～25歳の大学生男子25名，女子5名，合計30名であった．視力は，0.2～1.5(矯正含む)で，いずれの被験者も色覚は正常であった．

2.4 手続き

被験者は，あらかじめディスプレイのコントラストと明度の概念および評価尺度法について，実験者から30分間程度の講義を受けた．その後，ひとりずつ，65(表示条件)×3(照度条件)=195条件について文字の読み取りやすさを主観評価した．評価尺度は次のとおりであった．

1：非常に読み取りにくい(ディスプレイとして全く使えない)，2：読み取りにくい(ディスプレイとして使いたくない)，3：やや読み取りにくい(ディスプレイとして普通に使える限界)，4：普通に読み取れる(ディスプレイとして問題なく使える)，5：やや読み取りやすい，6：読み取りやすい，7：非常に読み取りやすい，である．括弧内の表現は，実際の使用を想定した評価尺度として，被験者に示したものである．これを対応づけて応答するように指示した．

条件は順序効果を相殺するためにランダムに提示した．各条件は1回ずつ評価させた．65の画面条件を終えたら，照度を変えて試行を繰り返す．照度条件を切り替えた際に順応時間を約5分間おいた．実験時間は約1時間であった．

図3 明度とコントラストに対する主観的な読み取りやすさ(無彩色条件)

Subjective legibility as a function of lightness and contrast for the reflective display with achromatic color. (a) 70 lx, (b) 300 lx, (c) 1200 lx.

(a) 70lx 条件

(b) 300lx 条件

(c) 1200lx 条件

主観評価尺度値

- 7：非常に読み取りやすい
- 6：読み取りやすい
- 5：やや読み取りやすい
- 4：普通に読み取れる(ディスプレイとして問題なく使える)
- 3：やや読み取りにくい(ディスプレイとして普通に使える限界)
- 2：読み取りにくい(ディスプレイとして使いたくない)
- 1：非常に読み取りにくい(ディスプレイとして全く使えない)

(a) 70lx 条件

(b) 300lx 条件

(c) 1200lx 条件

主観評価尺度値	
7	: 非常に読み取りやすい
6	: 読み取りやすい
5	: やや読み取りやすい
4	: 普通に読み取れる (ディスプレイとして問題なく使える)
3	: やや読み取りにくい (ディスプレイとして普通に使える限界)
2	: 読み取りにくい (ディスプレイとして使いたくない)
1	: 非常に読み取りにくい (ディスプレイとして全く使えない)

2.5 反射型 LCD の表示特性をハードコピーで代用することの妥当性の検討実験

ハードコピーによって反射型 LCD の表示特性をシミュレートすることの妥当性について検討した。すなわち、ハードコピーと同一の文字画像を表示した反射型 LCD に対する主観評価実験を行った。そして、同等の明度とコントラストのハードコピーの評価結果と一致することを確認した。用いた反射型 LCD は、TN-LCD(スタティック駆動)で、実験に使用したハードコピーと同一の文字列を表示した。ただし、表示文字の書体だけはハードコピーのゴシック体と異なり明朝体であった。その他、表示書式、文字サイズ、額縁明度などは、ハードコピーと一致させた。

主観評価の方法は、ハードコピーによる実験に準じた。水平面照度は 300 lx とした。反射型 LCD の表示特性は、300 lx の実際の観視条件において、 $L^* = 48$, $a^* = -3.8$, $b^* = 9.3$, コントラスト比 6.9 であった。被験者は、22~30 歳の大学生男子 24 名、女子 6 名、合計 30 名であった。各被験者は、実験室の照度レベルに順応した後、先に示した主観評価尺度で反射型 LCD の表示文字の読み取りやすさを評価した。各被験者 1 回の評価を 30 名の被験者で集計して平均値を求めた。

3. 結果と考察

ハードコピーに対する主観評価の結果は、各条件に対する 30 名の平均評定値を求め、明度とコントラストに対して、等評価尺度を与える曲線で表現した。無彩色条件 (図 3) と STN-LCD 色条件 (図 4) に分けて、照度条件ごとにプロットした。評定値の被験者間のばらつきは、標準偏差で 1 前後であった。

実際の反射型 LCD に対する評価結果は図 4(b) に表示した。30 名の平均評定値は 3.72、標準偏差 1.14 であった。1 機種だけではあるが、実際の反射型 LCD に対する評価が同等の明度とコントラストのハードコピーに対する評価とほぼ一致している。したがって、ハードコピーに対する主観評価実験の結果をプロットした図 3 と図 4 から、反射型 LCD の明度とコントラストが読み取りやすさに及ぼす影響を予測できるといえる。

図 4 明度とコントラストに対する主観的な読み取りやすさ (STN-LCD 色条件)

Subjective legibility as a function of lightness and contrast for the reflective display with the color of a typical monochrome STN-LCD. (a) 70 lx, (b) 300 lx, (c) 1200 lx.

ハードコピーに対する主観評価実験の結果は、次のようにまとめられる。

- (1) 明度指数 65~70(反射率 35~40%)以下の条件では、明度が下がるほど、同レベルの読み取りやすさを確保するために、より高コントラストが求められる。
- (2) 明度指数 65~70 以上では、読み取りやすさは、ほぼコントラスト比のみに依存している。
- (3) 明度指数が 65~70 以上では、コントラスト比が約 5 で評定値 4 のディスプレイとして問題なく使用できるレベル、コントラスト比約 3 で評定値 3 のディスプレイとして普通に使える限界条件になる。
- (4) 明度が低い条件で、照度の影響が認められる。すなわち、明度指数が 65~70 以下の条件では、照度が高いほど読み取りやすさの評価が高い。特に 1200 lx 条件での低明度域の読み取りやすさの向上が顕著である。
- (5) 低明度条件では、STN-LCD 色条件の方が無彩色条件よりも評価が高く、逆に、高明度条件では、無彩色条件の方が STN-LCD 色条件よりも評価が高い。これは、低明度では無彩色よりも有彩色の方が等明度でも明るさ感が高いことが影響しているものと考えられる。
- (6) 新聞紙面は、明度指数 75~80、コントラスト比 5~6 であるから、読み取りやすさの評価は、おおむね評定値 4 のディスプレイとして問題なく使えるに相当する。比較的高コントラストのコピー紙面は、明度指数約 90、コントラスト比 10~15 であるから、読み取りやすさの評価はおおむね評定値 5 のやや読み取りやすいに相当する。

以上の結果を総合すると、視覚特性に即した反射型 LCD の開発目標は、明度指数 65~70、反射率で 35~40%、コントラスト比約 5 にあると考えられる。なぜならば、明度指数が 65~70 を越えると、読み取りやすさは、ほぼコントラストのみに依存し、かつ、照度の影響を受けにくいという結果が得られている。また、この明度条件に対して、コントラスト比約 5 で評定値 4 のディスプレイとして問題なく使えるという評価が得られる。さらに、この読み取りやすさの評価レベルは、新聞紙面(明度指数 75~80、反射率で 50~60%、コントラスト比 5~6)に匹敵する。

ちなみに、市場で入手できる反射型 STN-LCD の明度指数は、実際の使用環境下で 30~60、反射率で 6~30%、コントラスト比 3~6 である。

4. む す び

反射型 LCD に文字画像を表示する場合に要求される明度とコントラストの条件を、反射型 LCD をシミュレートしたハードコピーに対する主観評価実験により検討した。主な結果は次の通りである。

- (1) 明度指数 65~70(反射率 35~40%)以下の条件では、明度が下がるほど、高コントラストが求められる。
- (2) 明度指数が 65~70 以上の条件では、コントラスト比が約 5 で、ディスプレイとして問題なく使用できるレベルになる。
- (3) 明度指数 65~70 以上の条件では、照度が読み取りやすさに及ぼす影響は比較的小さい。

これらの結果より、視覚特性に即した反射型 LCD の開発目標を、明度指数 65~70、反射率で 35~40%、コントラスト比約 5 とした。この条件の読み取りやすさは、新聞紙面の読み取りやすさに匹敵することを示した。

なお、本研究では、表示の観視角依存性や反射板と液晶層の視差の要因は排除した条件で実験した。これらの要因が表示文字の視認性に及ぼす影響については現在検討中である。

〔参 考 文 献〕

- 1) 窪田：“平面ディスプレイの人間工学的要件”，照学誌，**76**，10，pp. 549-556(Oct. 1992)
- 2) 窪田：“透過型液晶ディスプレイに求められる表示輝度とコントラストの条件”，テレビ誌，**50**，6，pp. 768-774(June 1996)
- 3) 窪田：“液晶ディスプレイの反射特性と反射グレアの関係”，照学誌，**79**，5，pp. 226-223(May 1995)
- 4) 窪田：“液晶ディスプレイの視野角の評価”，テレビ誌，**46**，3，pp. 354-356(Mar. 1992)
- 5) 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—印刷画像を用いた主観評価及び解析—”，テレビ学技報，**20**，9，pp. 113-118(Feb. 1996)

窪田 清孝 1976 年，成蹊大学工学部経営工学科卒業。現在，同大助手。電子ディスプレイのヒューマンファクタに関する研究に従事。(財)労働科学研究所協力研究員。博士(工学)。正会員。