反射型液晶ディスプレイの反射率とコントラストの測定方法に関する検討

正会員 窪 田 悟[†]

1. ま え が き

反射型の液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display: LCD) は、携帯用情報機器の表示装置として広範囲の普及が見込まれる。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反射率とコントラストの向上が求められている。反射型 LCD に要求される反射率とコントラストの条件は、ハードコピーを用いた主観評価実験により検討した²⁾。

しかし、反射型 LCD の反射率とコントラストは、使用環境によって大きく異なる。そのために、実際の観視条件に即した測定方法の確立が急務である。現在のところ開発メーカーごとに異なった測定方法を採用しており、利用者の視点に立った一貫した評価が困難な状況にある。

そこで、本研究では、次のような手順で現実の光環境に即した反射型 LCD の反射率とコントラストの測定方法を提案した。

- (1) 方式の異なる 6 機種の反射型 LCD の反射率とコントラストをオフィス内のあらゆる光環境下で測定し、現実の光環境条件下での表示性能を評価した。
- (2) (1) で測定した反射型 LCD を暗室内に持ち込み、光源と入射角を変えたいくつかの方法で、反射率とコントラストを測定した。
- (3) (1) と (2) の測定結果を対応づけ、実際の光環境下での反射型 LCD の表示性能を予測するのに適した測定方法を提案した。

2. 現実の光環境における測定

2.1 測定方法

現実の使用において生じ得るあらゆる光環境条件下で、各種反射型 LCD の反射率とコントラストを測定した。測定対象とした反射型 LCD は、次の 6 機種である。すべてモノクロームであった。

- ① STN/NW(A) : Super Twisted Nematic, Normally White, Multiplex Drive
- ② STN/NW(B) : Super Twisted Nematic, Normally White, Multiplex Drive
- ③ TN/NW : Twisted Nematic, Normally White, Static Drive
- ④ TN/NB : Twisted Nematic, Normally Black, Static Drive
- ⑤ PDLC : Polymer Dispersed Liquid Crystal, Static Drive
- ⑥ PCGH : Guest-Host Type Cholesteric-Nematic Phase Change, Normally White, Static Drive

測定場所は、4 つのオフィス内の合計 25 カ所であった。これらのなかには、昼光が入射している窓際の机上や、人工照明だけの無窓室内の机上など意図的に広範囲の光環境を含めた。測定場所において 60° 上方に傾けた LCD 画面の法線照度は、150 lx から 1940 lx の範囲にあった。これは、VDT 作業場で生じ得る画面照度の範囲³⁾を包含している。

反射率とコントラストの測定方法は次の通りである。各測定場所の机上 (70~75 cm 高) に測定対象の反射型 LCD を 60° 上方に傾けて設置する。画面中央に表示した 25×25 mm の明と暗のブロックの輝度を画面の法線方向から 40 cm の距離で測定する。輝度計は TOPCON BM-5 A を使い、アパーチャは 2° で測定した。輝度計は三脚で固定した。なお、鏡面性の反

[†] 成蹊大学 工学部

“Measurements of Reflectance and Contrast of Reflective Liquid Crystal Displays” by Satoru Kubota (Faculty of Engineering, Seikei University, Tokyo)

(a) STN/NW(A)

(b) STN/NW(B)

(c) TN/NW

(d) TN/NB

(e) PDLC

(f) PCGH/NW

図 1 さまざまな光環境における各種反射型 LCD の反射率とコントラスト
Reflection factor and contrast ratio of reflective LCDs under various ambient lighting conditions.

射に対して輝度計がトラップとなるように測定したので、鏡面反射輝度は無視できる程度に低い。画面上の測定位置に標準白色板 BaSO₄(反射率 99.7%)を置いて同じように反射輝度を測定した。LCD の反射輝度と標準白色板の反射輝度の比から LCD の反射率を求めた。また、明部と暗部の反射率の比をコントラスト比とした。

2.2 測定結果

図 1 に 6 機種 of 反射型 LCD の 25 カ所における反射率とコントラスト比の測定結果を示した。これらの結果から、反射型 LCD の現実的な表示性能が評価できる。PDLC 以外は、反射率の光環境依存性が極めて高い。図 1(a)および(b)より、一般的な反射型 STN-LCD の反射率は、現実の光環境下で数%から 30%の範囲にあることがわかる。そこで、反射率と光環境の対応について調べた。その結果、数%の低反射率を示した光環境は、利用者の背後になる画面前方は全面が壁で覆われており、上方にだけ光源があるという特徴があった。一方、30%程度の高反射率を示した光環境は、利用者の後方に当たる画面前方に窓があった。

STN-LCD および TN-LCD は、光環境に依存した反射率の上昇に伴ってコントラスト比の上昇も認められる。これに対して PCGH/NW は、反射率が変化してもコントラスト比は、ほぼ一定である。また、PDLC は、光環境が変化して反射率が上昇するとコントラスト比が低下している。これらの違いは、光環境とディスプレイの表示特性の関係が表示方式によって大きく異なることを表している。したがって、反射型 LCD の表示特性の評価にあたっては、光環境要因を充分考慮する必要がある。

なお、本研究の測定結果を、反射型 LCD の表示特性と視認性の関係について検討した研究結果²⁾と対応づけることによって、現実の光環境における各種反射型 LCD の視認性が評価できる。

3. 暗室における測定

3.1 測定方法

(1) サークル蛍光灯を用いた測定

図 2 に示したように、40 W のサークル蛍光灯を光源として、先に示した 6 機種 of 反射型 LCD の反射輝度を測定した。測定は、測定光源以外を OFF にした暗室条件で行った。画面中央に表示した 25×25 mm の明と暗のブロックの輝度を画面の法線方向から約 50 cm の距離で測定した。輝度計は TOPCON BM-5 A を用い、アパーチャは 2° で測定した。光源の入射

図 2 サークル蛍光灯による反射率の測定方法
Geometry for measuring reflection factor of reflective LCD using a ring fluorescent lamp.

図 3 平行光源による反射率の測定方法
Geometry for measuring reflection factor of reflective LCD using a beam light.

角は、20, 25, 30, 35, 40, 45°の 6 条件とした。光源の入射角は、サークル蛍光灯と LCD の距離により変化させた。画面上の測定位置に標準白色板 BaSO₄(反射率 99.7%)を置いて同じように反射輝度を測定した。LCD の反射輝度と標準白色板の反射輝度の比から LCD の反射率を求めた。また、明部と暗部の反射率の比をコントラスト比とした。

(2) 平行光源を用いた測定

図 3 に示したように平行光源を配置し、入射角を 20, 25, 30, 35, 40, 45°の 6 段階に変えて、先に示した 6 機種 of 反射型 LCD の反射輝度を測定した。用いた輝度計および反射率とコントラスト比の求め方は、サークル蛍光灯を用いた測定と同じである。

3.2 測定結果

図 4 に 2 つの方法で測定した 6 機種 of 反射型 LCD の反射率とコントラスト比を示した。現実の光環境下での測定結果との対応を見るために、現実の光環境における測定値の分布を楕円で表した。これらの結果が

図 4 暗室内で光源を使った測定結果と実際の光環境での測定結果との対応関係
(図中の数値は光源の入射角 (deg) を示す)

Reflection factor and contrast ratio of reflective LCDs by using the different measurement methods.
The plotted numbers indicate the incident angles of the light source.

ら、次のような点が指摘できる。

- ① 反射率の測定値は、光源の入射角に依存する。光源の入射角が小さいほど高反射率となる。入射角 20°と 45°では、機種によって 4 倍から 8 倍の差が生じる。
- ② サークル蛍光灯と平行光源による測定結果は、TN/NW を除外すると、光源の入射角に対して同様の傾向を示す。
- ③ 実際のオフィス環境における測定値の範囲は、概ね入射角 25°から 45°で測定した値に対応している。

4. 現実の光環境下での表示性能の 予測に適した測定方法の提案

本研究の結果から、実際の光環境下での反射型 LCD の表示特性を予測するためには、光源の入射角を 25°～45°に変えて測定する必要があることがわかる。つまり、25°の入射角による反射率の測定値は、おおむね利用者の背後に大面積の窓を背負った環境での測定値に相当し、45°の入射角による測定値は、利用者の背後が壁で覆われており照明器具が利用者の上方にしか存在しない環境での測定値に相当する。なお、入射角 20°による測定値は、実際の使用状況下では生じ得ない高い値をとる場合が多いので、避けるべきである。

光源の入射角を変化させて測定することによって、ディスプレイの光環境依存性もある程度予測できる。したがって、できる限り 25°～45°の範囲をカバーした測定方法をとるべきである。ただし、一般的な測定方法との互換性を考慮すると、平行光に近いビーム光源を用いて 30°と 45°の入射角で反射率を測定し、2

つの測定値を入射角を併記して表示する方法が妥当と考える。いずれにしても、反射率およびコントラストを表示する場合は光源の入射角を併記すべきである。

なお、鏡面性の反射は本報告では扱わなかった。しかし、高輝度物体が映り込む可能性がある光環境下での使用においては無視できない。鏡面性の反射の測定方法とその評価方法については、透過型 LCD や CRT ディスプレイを対象としてすでに検討した⁴⁾。その結果は反射型 LCD にも適用できる。

5. む す び

実際の光環境における表示性能の予測に適した、反射型 LCD の反射率とコントラストの測定方法について検討した。そして、平行光源もしくはそれに近いビーム光源を用いて、30°と 45°の入射角で反射率とコントラストを測定し、2 つの測定値を入射角を併記して表示する方法を提案した。

(1996 年 4 月 2 日受付)

〔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：“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”，テレビ誌(本号), **50**, 8, 66.1091～1095 (Aug.1996)
- 3) 高橋, 窪田, 西岡：“VDT 作業場の光環境に関する実態調査”，労働科学, **63**, 4, pp. 181-191 (Apr. 1987)
- 4) 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)

くぼた きよたか
窪田 悟 1976 年、成蹊大学工学部経営工学科卒業。現在、同大学助手。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。