

(研究題目) 液晶ディスプレイの人間工学的要件に関する実験的検討
Experimental Studies on Ergonomic Requirements for Liquid Crystal Displays

(研究者)

窪田 悟 (成蹊大学工学部・助手)

Satoru Kubota (Faculty of Engineering, Seikei University)

高橋 誠 (労働科学研究所・主任研究員)

Makoto Takahashi (Institute for Science of Labour)

Summary

Three experiments were designed to investigate the ergonomic requirements for liquid crystal displays(LCDs) viewed under a wide range of lighting conditions. In experiment 1 we present the psychophysical measurement method that could evaluate legibility of LCDs under a wide range of lighting conditions. In experiment 2 appropriate luminance and contrast levels were estimated by means of subjective evaluation. In experiment 3 the effects of luminance properties on visual task performance were investigated. These results represent a first step toward a device-independent model of LCD legibility.

研究目的

近年、コンピュータの小型化にともない、軽量・薄型の液晶ディスプレイ(Liquid Crystal Display: LCD)が、コンピュータ用のディスプレイとして、広く使われるようになった。しかし、LCDの人間工学的な側面については、従来の陰極線管(Cathode Ray Tube: CRT)ディスプレイを対象とした研究結果が適用できない問題が多い。たとえば、非発光型ディスプレイとして特徴づけられるLCDの輝度特性が視認性、可読性さらには視覚負担に及ぼす影響については、自発光型のCRTディスプレイによる実験結果が必ずしも適用できない。また、ディスプレイを使用する場所の光環境に依存した輝度や色度などの心理物理特性の変化についても、LCDはCRTと比較して際立った特徴を示すとされている。しかし、現実の光環境下におけるLCDの心理物理特性の測定方法は確立されていない。

本研究では、LCDの視認性を規定している輝度やコントラストについて、人間工学的な視点から適正値を求め、実際の光環境下においてどのような輝度特性を具備すれば、ユーザにとって見やすく視覚負担が少ないかについてCR

Tと対比しながら検討することを目的とした。

研究は3つの実験から構成される。実験1では、現実の光環境を考慮したLCDの表示特性の測定・評価の方法について検討した。本研究で提案した方法は、従来のCRTやプラズマディスプレイ（Plasma Display Panel：PDP）など他の方式のディスプレイにも適用でき、異なった方式のディスプレイ間での比較を可能にした。実験2では、文字サイズ、画素数、表示色などを一致させたLCDとCRTを用いて、さまざまな輝度とコントラストの条件を設定し、多次元の評定尺度による主観評価実験を行い、適正な輝度とコントラストの条件を求めた。実験3では、実験2と同様の条件下で、文章の読み取り作業と文字の検索作業を被験者に課し、それらの作業のパフォーマンスからLCDが具備すべき輝度特性を明らかにした。これらの実験結果を総合することによって、LCDの人間工学的な具備条件を明確にすることができる。

研究経過および成果

実験1 光環境を考慮したLCDの表示輝度、コントラスト、色度の測定と評価

光環境を考慮したLCDの表示輝度、コントラスト、色度の測定方法について検討した。また、LCD以外のさまざまな方式のディスプレイを含めた測定結果に基づき、利用者の視点に立った表示性能の評価について考察した。まず、画面照度に依存した表示輝度とコントラストの変化を示した。次に、大面積の窓や天空の映り込みによる表示輝度とコントラストの変化を示した。その上で、所定のコントラストを確保するためのディスプレイの輝度、拡散反射輝度係数、鏡面反射率の条件を明確にした。さらに、画面照度に依存した色域の変化を測定評価した。これらの結果は、屋外での使用をも想定したディスプレイの開発指針を得るための基礎資料となる。

実験2 主観評価実験によるLCDの適正な輝度とコントラストの検討

主観評価実験によりLCDの適正な表示輝度とコントラストを求めた。比較のために画素数、文字サイズなどが等しいCRTでも実験した。いずれも16階調表示、最高表示輝度 150cd/m^2 であった。表示色は無彩色で相関色温度は6500K

とした。文字と背景の輝度の組み合わせは156通りとした。被験者は学生30名であった。各被験者は、すべての条件について、7段階の評定尺度で見やすさを評価した。1被験者あたり約2時間の実験時間を要した。実験室は、水平面照度500lx、画面照度300lx、壁面の輝度40～60cd/m²の無窓室であった。

主な結果は、次の通りであった。①LCDとCRTの評価結果には、若干の相違は認められたが、概ね一致した。②最も評価が高い条件は、陰画表示で表示輝度が60～70cd/m²以上、コントラスト比10前後（CRTは7前後）であった。③陰画表示では、表示輝度が60～70cd/m²以上の条件で、コントラスト比が15～20を越えると評価が下がった。陽画表示では、この傾向は顕著ではなかった。④表示輝度が60～70cd/m²を下回る条件では、陽画表示の方が陰画表示よりも評価が高かった。⑤陽画表示では、表示輝度が100cd/m²を越えると評価が下がる傾向があり、この傾向はCRTで顕著であった。

実験3 読み取り作業および文字検索作業のパフォーマンスによるLCDの適正な輝度とコントラストの検討

実験2と同一の輝度条件において、文章の読み取り作業と、ランダムな漢字文字列の中から特定の文字を検索する文字検索作業を被験者に課し、作業パフォーマンス（作業スピードとエラー）を記録した。読み取り作業は、各条件で25文字×10行の文章を2ページずつ、合計156条件×2ページ=312ページの読み取りを各被験者に課した。検索作業は、同様に1条件あたり2画面の検索を課した。これを、LCDとCRTで行った。被験者は、それぞれの作業に学生26名を割り当てた。1被験者あたり約4時間の実験時間を必要とした。作業後にLCDとCRT、陽画表示と陰画表示どちらが好ましいかなどについて内省報告を得た。

主な結果は、次の通りであった。①読み取り作業のパフォーマンスによる比較ではCRTがLCDに優っていた。②検索作業ではLCDの方がCRTに優っていた。③上記①②の結果は被験者の主観評価でも認められた。④コントラスト比が2以下の極端に低い条件では、陽画表示の方が陰画表示よりもパフォーマンスが良かった。この傾向はCRTとLCDで一致した。⑤CRT、LCDともに表示輝度レベルに関わらず、概ねコントラスト比が3を割るとパ

パフォーマンスに低下が認められた。

結果の①～③で述べたように、作業内容によってLCDとCRTの優位性に差が生じたことについては、作業中の視距離など作業のやり方の違いに依存したものであると考察した。現在、作業の性質をも考慮したディスプレイの評価方法について検討している。

まとめ

実験1と実験3の結果を統合することによって、広範囲の光環境条件下におけるユーザの視点に立った評価方法を提案した。すなわち、実験1ではコントラスト比は、画面照度(E_i)、映り込み対象物の輝度(L_i)、画面の鏡面反射率(SR)、画面照度 $0[lx]$ における高輝度部の輝度(L_{eh})および低輝度部の輝度(L_{el})、高輝度部と低輝度部の拡散反射輝度係数それぞれ(q_h)、(q_l)によって表せることを示した。これに、実験3で得られたコントラスト比3を代入することによって、広範囲の光環境条件下におけるディスプレイの具備条件が明確になる。すなわち、所定の光環境条件下でコントラスト比3以上を確保するためのディスプレイの物理的条件は、以下のような式で表すことができる。この結果は、

$$L_i \leq \frac{E_i (q_h - 3q_l) + L_{eh} - 3L_{el}}{2SR}$$

LCDのみならず他の方式のディスプレイにも適用でき、電子ディスプレイの開発指針となり得る。今後、実験2で得られた結果をはじめ、角度依存性や視覚負担の要因を取り込んださらに厳密なモデルに拡張していく予定である。

本研究に関連した発表論文

1. 窪田 悟：光環境を考慮したディスプレイの表示輝度とコントラストの評価，ヒトとシステム，第1巻，第1号，1994（掲載決定）
2. 窪田 悟：液晶ディスプレイの人間工学的要件に関する実験的検討－Ⅰ．適正な輝度とコントラストに関する主観評価実験，
日本人間工学会第35回大会，1994.6月
3. 窪田 悟：液晶ディスプレイの人間工学的要件に関する実験的検討－Ⅱ．視作業のパフォーマンスによる輝度とコントラストの評価，
日本人間工学会第24回関東支部大会，1994.12月