CRT ディスプレイ上の光源の反射像の許容輝度

正会員 窪田 悟* 正会員 高橋 誠**

Permissible Luminance of Disturbing Reflections
of Light Source on CRT Displays

Satoru Kubota (Member) (Seikei University)

Makoto Takahashi (Member) (Institute for Science of Labour)

Abstract

The purpose of this paper is to consider the effect of CRT display image characteristics upon permissible luminance of reflected images of light source. In experiment 1 subjects were asked to adjust the luminance of disturbing light source on permitted luminance. The results showed that permissible luminance of disturbing reflections on the positive polarity display (dark character) was about three times higher than on the negative polarity display (light character). In experiment 2 subjects were asked to count the number of specific character in the displayed textual material containing disturbing reflection. The results showed that no significant differences in the effect of disturbing reflections on visual performance can be attributed to display polarity.

1. はじめに

VDT (Visual Display Terminals: 視覚表示端末) 作業場における直接グレア、反射グレア、文字の輝度比の低下、作業面の過度な明るさの対比は、作業者の視覚負担の発生要因となることが多くの研究で指摘されている¹⁻⁴⁾。これらの要因のなかでも反射グレアすなわちCRTディスプレイへの高輝度の光源や窓などの映り込みは、視覚負担の最も大きな原因とされ、各国の作業基準や指針にも防止対策が述べられている⁵⁻⁷⁾。高橋ら⁸⁾は、834箇所VDT作業場の光環境を調査した結果、反射グレアは32% (268箇所)の作業場で観察され、反射グレア源としては蛍光灯、次いで窓が多かったとしている。

このような反射像の輝度値をどの程度まで制限すれば、作業性に影響を及ぼしたり作業者に不快を感じさせずにすむかについては、CRTディスプレイの表示極性(陽画表示と陰画表示があり、陽画表示は文字が暗く背景が明るい、陰画表示はその逆の明暗関係)^{9), 10)}、発光輝度¹¹⁾、外光拡散反射輝度^{11), 12)}、文字表示密度⁹⁾などの表示特性が影響するとされている。

しかしながら、こうした反射像の許容輝度を求めるにあたっては、いずれも主観評価を指標としたものであり、作業パフォーマ

ンス(文字の読み取りスピードとエラー)への影響からの検討はなされていない。また、解像度や文字の大きさの要因も含め、CRTディスプレイの表示特性が反射像の許容輝度に及ぼす影響を総合的に検討した研究はない。

本研究では、CRTディスプレイの表示極性、発光輝度、外光拡散反射輝度、文字表示密度、解像度などの表示特性と反射像の許容輝度の関係、および映り込みが文字検索作業のパフォーマンスにおよぼす影響について検討した。実験1では、被験者にさまざまな表示条件において、映り込む光源の輝度を表示文字の読み取りに影響しないレベルに調整させ、主観評価による反射像の許容輝度を求めた。実験2では、被験者に文字検索作業を行わせ、作業パフォーマンスから反射像の許容輝度について検討した。

2. 実験1: 主観評価による反射像の許容輝度の検討

2.1 方法

被験者は、男性23名、女性7名の計30名で、年齢は21~34歳である。いずれの被験者もVDTの使用経験がある。

実験に使用したCRTディスプレイは、表1に示した2機種で、ディスプレイAはドット・ピッチ0.31mmのカラーディスプレイ、文字の大きさ2.8mm×4.2mm、ディスプレイBはドット・ピッチ0.25mmの高解像度モノクロームディスプレイ、文字の大きさ2.6mm×5.0mmである。これら2機種のCRTディスプレイにランダムな英数列を表示し、白色蛍光灯を用いた円形の格子状の光源を映り込ませた(図1)。この光源(図2)は、ディスプレイから220cmの距離で入射角が20°になるように設置

* 成蹊大学・工学部経営工学科 〒180 武蔵野市吉祥寺北町3-3-1
Department of Industrial Engineering, College of Technology, Seikei University

3-3-1, Kitamachi, Kichijoji, Musashino-shi, Tokyo, 180

** 労働科学研究所・労働生理心理学研究部 〒213 川崎市宮前区菅生2-8-14
Division of Work Physiology and Psychology, Institute for Science of Labour
2-8-14, Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa, 213

本論文の一部は、昭和63年度照明学会全国大会において発表した。

表 1 実験に使用したCRTディスプレイの諸仕様

項目	ディスプレイ A	ディスプレイ B
画面サイズ	14インチカラー (240mm×150mm)	15インチモノクロ (262mm×178mm)
解像度	640ドット×400ライン ドットピッチ0.31mm	1066ドット×725ライン ドットピッチ0.25mm
文字サイズ	2.8mm×4.2mm	2.6mm×5.0mm
フレーム周波数	56.4Hz ノンインタレース	75.6Hz ノンインタレース
表示色	白色 CIE 1976 $u^*=0.18$ $v^*=0.43$	黄色 CIE 1976 $u^*=0.21$ $v^*=0.56$
管面の反射特性		
鏡面反射率*	4.0×10^{-2} (表面無処理)	2.3×10^{-3} (多層膜コート)**
拡散反射係数	5.1×10^{-2} (cd/m ²) / lx	5.7×10^{-2} (cd/m ²) / lx

* 鏡面反射率の測定法は、VDTガイドライン¹⁸⁾ 鏡面反射-1 (小面積) による

** 本実験ではフィルムをコーティングして 9.3×10^{-2} として使用した。

図 1 映り込みの状況 (陰画表示, 高文字密度)

図 2 映り込み光源の形状

した。光源の輝度は、0～4,700 cd/m² の範囲で調整できるようにした。実験室内の壁面は暗幕で覆った。また、映り込み光源の輝度が変化しても CRT ディスプレイの入射照度が一定となるように全般照明を自動調光した。

被験者の顔面は、表示文字列と映り込みが重なりかつ CRT ディスプレイまでの距離が 50 cm となる位置に固定した。被験者には、反射像の輝度が許容できるレベルに光源の輝度を調整させた。調整の基準については、『このような文字列の中から特定の文字をさがすような作業を長時間にわたって行うことを想定し、この程度の反射輝度までならフィルタやフードを使ったり、ディスプレイの位置を動かすようなことをしなくても、差し支えないレベル』と被験者に指示した。

表示条件は、以下の 4 要因で合計 100 条件 ($5 \times 2 \times 5 \times 2 = 100$) である。いずれも、現場調査資料⁸⁾ を参考に現実の VDT 作業場で生じ得る範囲内に設定した。

- (1) 外光拡散反射輝度 5 条件 (2, 4, 7, 10, 20 cd/m²)
- (2) 表示極度 2 条件 (陽画表示と陰画表示)

- (3) 発光輝度 5 条件 (20, 35, 55, 90, 150 cd/m²)

- (4) 文字表示密度 2 条件 (高文字密度と低文字密度)

高文字密度と低文字密度の文字密度の比は 4 : 1 である。高文字密度は、図 1 に示した 16 文字×8 行で、低文字密度は、高文字密度と等しい表示領域内に文字の間隔をあげ 8 文字×4 行で表示した。

各被験者は、各条件で 3 回、全条件で合計 300 回映り込み光源の輝度を許容レベルに調整した。順序効果を相殺するために被験者ごとに条件の提示順をかえた。1 被験者あたり約 2 時間の実験時間を要した。

各被験者は、ディスプレイ A で実験した後、日をあらためて、ディスプレイ B で一部の条件に限定して実験を行った。

2.2 結果と考察

図 3～図 7 は、外光拡散反射輝度 2 cd/m²～20 cd/m² におけるディスプレイの発光輝度と反射像の許容輝度の関係を示している。同様に図 8～図 12 は、ディスプレイの発光輝度 20 cd/m²～150 cd/m² における外光拡散反射輝度と反射像の許容輝度の関係を示している。ここで反射像の輝度とは、鏡面反射輝度で外光拡散反射輝度は加えていない。いずれも 30 名の被験者の結果を幾何平均値で示した。なお、データのばらつきは示していないが、95 パーセンタイル値は幾何平均値の約 2 倍、5 パーセンタ

図 3 反射像の許容輝度 (外光拡散反射輝度 2 cd/m²) 30 名の被験者の幾何平均値

図 4 反射像の許容輝度 (外光拡散反射輝度 4 cd/m²) 30 名の被験者の幾何平均値

図 5 反射像の許容輝度 (外光拡散反射輝度 7 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 6 反射像の許容輝度 (外光拡散反射輝度 10 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 7 反射像の許容輝度 (外光拡散反射輝度 20 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 8 反射像の許容輝度 (発光輝度 20 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 9 反射像の許容輝度 (発光輝度 35 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 10 反射像の許容輝度 (発光輝度 55 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 11 反射像の許容輝度 (発光輝度 90 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

図 12 反射像の許容輝度 (発光輝度 150 cd/m^2) 30 名の被験者の幾何平均値

イル値は幾何平均値の約1/2であった。これらの図から以下のよう傾向が認められる。

- (1) 陽面表示の方が陰面表示よりも反射像の許容輝度が約3倍高い。
- (2) 発光輝度が高くなるほど反射像の許容輝度が高くなる。表

示極性にかかわらず、発光輝度が 150 cd/m^2 のときの反射像の許容輝度は、発光輝度が 20 cd/m^2 のときの3倍から4倍である。

- (3) 高文字密度の方が低文字密度よりも反射像の許容輝度が高い。この傾向は、陰面表示で発光輝度が高いほど顕著であ

る。

- (4) 外光拡散反射輝度が高くなるほど反射像の許容輝度が高くなる。ただし、この傾向は陽画表示ではほとんど認められない。
- (5) ディスプレイ A よりもディスプレイ B の方が反射像の許容輝度が高い (図 5 および図 10)。ディスプレイ B においても、陽画表示の方が陰画表示よりも反射像の許容輝度が約 3 倍高いなどの傾向は、ディスプレイ A と一致している。

これらの結果について、多元配置の分散分析 (外光拡散反射輝度(5)×表示極性(2)×発光輝度(5)×文字表示密度(2)×被験者(8)) を行った。分散分析は、データの分布を正規化するためにデータを対数変換したうえで行った。

その結果、(1)～(4)に述べた傾向は、いずれも有意であった ((1) $F(4, 116)=6.79, p<0.001$, (2) $F(1, 29)=816.8, p<0.001$, (3) $F(4, 116)=664.5, p<0.001$, (4) $F(1, 29)=24.9, p<0.001$)。また、各要因の寄与率を求めたところ、表示極性 35.5%、発光輝度 27.8%、文字表示密度 1.3%、外光拡散反射輝度 0.9% の順に高かった。これらの値は、各要因が変動の何%を説明しているかを表わしている。

CRT ディスプレイの表示極性については、作業パフォーマンスや主観評価などを指標として比較検討してきたが、映り込みがなく適正なコントラストが確保されていれば、表示極性による差は小さいという結果を得ている^{13), 14)}。しかし、陽画表示のほうが陰画表示よりも反射像の主観的な許容輝度が高いので、映り込みが避けられないような環境下では陽画表示のほうが陰画表示よりも有利である。

従来、VDT に関する指針^{5), 15-19)}では、VDT 作業場で使用する照明器具は、鉛直角 50～60 度以上の領域で輝度が 200 cd/m² 以下のものを使用するのが望ましいとしている。しかし、この基準は、管面無処理で鏡面反射率 4～5% の CRT ディスプレイを陰画表示で使用した場合について設定されたものである。本実験の結果は、発光輝度 55～90 cd/m² の陰画表示の場合、反射像の許容輝度は 5～10 cd/m² であり、CRT の鏡面反射率が 4% あるので、映り込み光源の許容輝度はおおむね 200 cd/m² となり、これらの指針と一致する。

しかし、これらの指針では、CRT ディスプレイの表示極性、発光輝度などの表示特性や鏡面反射率については言及していない。本実験の結果では、陰画表示から陽画表示にすることによって、照明器具の輝度許容限界値は約 3 倍高くできる。また、CRT ディスプレイに反射防止処理を施せば、鏡面反射率は 0.5% 程度まで低くすることができるとされている²⁰⁻²²⁾。

金谷ら²⁰⁾は、鏡面反射率 0.5% 前後の多層膜コーティングされた陰画表示の CRT ディスプレイで発光輝度 36 cd/m² の場合、照明器具の輝度許容限界値は約 4,000 cd/m² であることを示している。したがって、多層膜コーティングされた CRT ディスプレイを陽画表示で使用した場合は、照明器具の輝度許容限界値は蛍光灯の輝度に近いと考えられる。

3. 実験 2：作業パフォーマンスによる反射像の許容輝度の検討

3.1 方法

被験者は、男性 41 名、女性 7 名の計 48 名で、年齢は 21～34 歳である。いずれの被験者も VDT の使用経験がある。

実験に使用した CRT ディスプレイは、実験 1 で使用した 2 機種である。その他の映り込み光源などの装置は、実験 1 と同一である。ただし、CRT ディスプレイの表示条件は、陽画表示、陰画表示ともに、発光輝度 70 cd/m²、外光拡散反射輝度 7 cd/m² に固定した。また、映り込み光源の鏡面反射輝度は、0, 10, 30, 100 cd/m² の 4 条件に設定した。

被験者に課した作業は、図 1 に示したようなランダムな英数列の各行に特定の文字が何文字含まれているか計数し、その個数をブラインド・タッチでテンキーから入力する文字検索作業である。被験者の顔面は、表示文字列と映り込みが重なりかつディスプレイまでの距離が 50 cm となる位置に固定した。

各被験者は、10 分間の練習試行の後、表示極性 2 条件×映り込み光源の鏡面反射輝度 4 条件の合計 8 条件で上記の作業を 10 分間ずつ実行する。順序効果を相殺するために被験者によって条件の提示順をかえた。また、48 名の被験者のうち 24 名はディスプレイ A を、残りの 24 名はディスプレイ B を使った。

3.2 結果と考察

図 13 に各条件における一行あたりの検索時間とエラー率を 24 名の平均値で示した。映り込み光源の鏡面反射輝度が高くなるほどパフォーマンスの低下が認められるが、この傾向は検索時間よりもエラー率で顕著である。分散分析 (表示極性(2)×映り込み光源の鏡面反射輝度(4)×被験者(24)) の結果、エラー率はディスプレイ A、B ともに鏡面反射輝度条件間で有意差が認められた (ディスプレイ A : $F(3, 69)=5.26, p<0.01$, ディスプレイ B : $F(3, 69)=4.95, p<0.01$)。検索時間については、ディスプレイ B のみ鏡面反射輝度条件間で有意差が認められる ($F(3, 69)=6.02, p<0.01$)。また、映り込み光源の鏡面反射輝度 10 cd/m² の条件では、映り込み無しの場合と比較して検索時間、エラー率ともにほとんど上昇が見られないが、30 cd/m² からエラー率が高くなる傾向が認められる。

ただし、いずれのディスプレイについても、表示極性と映り込み光源の鏡面反射輝度の間に有意な交互作用は認められない。つまり、映り込み光源の鏡面反射輝度の上昇にともなう作業パフォーマンスの低下傾向は、陽画表示と陰画表示で差が認められない。したがって、視作業のパフォーマンスという点からは、映り込みに対する陽画表示の優位性は認められないことになる。

図 13 映り込み光源の鏡面反射輝度と作業パフォーマンス
24 名の被験者の平均値

図13を見ても明らかなように、映り込みの影響よりもむしろディスプレイ自体の差の方が大きい。分散分析の結果、検索時間、エラー率ともにディスプレイ間で有意差が認められる(検索時間: $F(1, 46) = 3.76$, $p < 0.01$, エラー率: $F(1, 46) = 5.58$, $p < 0.01$)。また、ディスプレイAは、陽画表示の方が陰画表示より検索時間が有意に短い($F(1, 23) = 11.6$, $p < 0.01$)が、ディスプレイBは表示極性間で検索時間に有意差は認められない。ディスプレイによるこれらの差異は、解像度、文字の大きさなどの要因が関与しているためと考えられる。

4. ま と め

CRTディスプレイの表示極性、発光輝度、文字表示密度などの表示特性と映り込み反射像の主観的な許容輝度の関係、および映り込みが文字検索作業のパフォーマンス(検索時間とエラー)におよぼす影響について検討した。

主な結果は、以下のようまとめられる。

- (1) CRTディスプレイ上の反射像の主観的な許容輝度は、陽画表示の方が陰画表示より約3倍高い。
- (2) 発光輝度が高くなるほど反射像の主観的な許容輝度が高くなる。
- (3) 外光拡散反射輝度が高くなるほど反射像の許容輝度が高くなる。ただし、この傾向は陽画表示ではほとんど認められない。
- (4) 表示文字密度が高い方が表示文字密度が低い場合よりも、反射像の主観的な許容輝度が高い。
- (5) ディスプレイの発光輝度70 cd/m²、外光拡散反射輝度7 cd/m²の条件で文字検索作業を行わせ、映り込みの影響を調べた結果、表示極性にかかわらず反射像の輝度が30 cd/m²以上の条件で文字検索作業のパフォーマンスに低下が認められた。

現在、CRTディスプレイの画質と視認性の問題について、同様な視点から検討している。

謝 辞

財団法人労働科学研究所の西岡所長、飯田室長および日本大学生産工学部の大久保堯夫教授の平素のご指導に深く感謝いたします。また、本研究に便宜を与えてくださった成蹊大学工学部の丹羽明助教授、渡辺一衛助教授に御礼申し上げます。なお、実験にあたっては、卒研生成田高徳君(山一證券株式会社)と室田憲志君(株式会社日立製作所)の協力を得た。記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) Hultgren, G. V. and Knave, B.: Discomfort Glare and Disturbances from Light Reflections in an Office Landscape with CRT Display Terminals, *Applied Ergonomics* 5-1 (1974) 2-8
- (2) Laubli, T., Hunting, W. and Grandjean, E.: Visual Impairments Related to Environmental Conditions in VDU Operators, In E. Grandjean and E. Vigliani (Eds.) *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, Taylor & Francis (1980) 85-94
- (3) Smith, M. J., Cohen, B. G. F., Stammerjohn, L. and

Happ, A.: An Investigation of Health Complaints and Job Stress in Video Display Operations, *Human Factors* 23-4 (1981) 387-400

- (4) Stammerjohn, L., Smith, M. J. and Cohen, B. G. F.: Evaluation of Workstation Design Factors in VDT Operations, *Human Factors* 23-4 (1981) 401-412
- (5) DIN 66234: Bildschirmarbeitsplätze, Deutsche Norm (1980)
- (6) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Potential Health Hazards of Video Display Terminals, Cincinnati, Ohio, NIOSH Publication No. 81-129 (1981)
- (7) 労働省: VDT 作業のための労働衛生上の指針, (昭60)
- (8) 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 (昭62) 181-191
- (9) Bauer, D., Bonacker, M. and Cavonius, C. R.: Influence of VDU Screen Brightness on the Visibility of Reflected Images, *Displays*, April (1981) 242-244
- (10) Roll, K. F.: Recent Results on the Illumination of VDU and CAD Workstations, In B. Knave and P. G. Wideback (eds.) *Work with Display Units* 86, Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland) (1987) 368-375
- (11) 田淵, 中村, 松島: CRTディスプレイの表示文字と外部反射映像の見え方の主観評価, *照学誌* 71-2 (昭62) 131-137
- (12) 高橋貞雄, 袴田薫生: OA 機器のある室の照明設計, *照学誌* 68-3 (昭59) 122-126
- (13) 窪田悟, 大倉元宏: CRTディスプレイの表示モードおよび適正コントラストに関する実験的研究, *テレビ誌* 40-12 (昭61) 1245-1251
- (14) 窪田悟, 高橋誠: VDTスクリーンの輝度条件が瞳孔の大きさに及ぼす影響, *照学誌* 72-6 (昭63) 307-312
- (15) DIN 5035 Teil 7, Deutsche Norm (1986)
- (16) CIE: Vision and the Visual Display Unit Work Station, CIE Publication No. 60 (1984)
- (17) 日本電子工業振興協会: VDT ガイドラインに関する調査報告書 (昭60)
- (18) 新時代の照明環境研究調査委員会: VDT 表面における照明の反射グレア・光幕反射の防止, *照明学会技術指針* No. JIEG-005 (昭61)
- (19) 人間, 機械系における照明環境研究調査委員会: 人間・機械系における照明環境研究報告書, *照明学会報告書* No. JIER-007 (昭61)
- (20) 金谷, 吉田, 橋本: VDT 作業環境における照明器具の輝度許容限界値の検討, *照学誌* 71-6 (昭62) 361-362
- (21) 中山勝豊, 斉藤満: オフィス用基準照明器具の評価と具備すべき条件の検討, 第21回照明学会全国大会論文集 (昭63) 127-128
- (22) 窪田悟: Visual Display Terminal用フィルタの比較評価 *照学誌* 70-10 (昭61) 550-554

(受付1988年3月15日)