

# 高精細 LCD における文字の読みやすさに関する人間工学的研究

Ergonomic Evaluation of Readability of High-Resolution TFT-LCDs

井戸 健二 林 久子 宮木 宏明

IDO Kenji

HAYASHI Hisako

MIYAGI Hiroaki

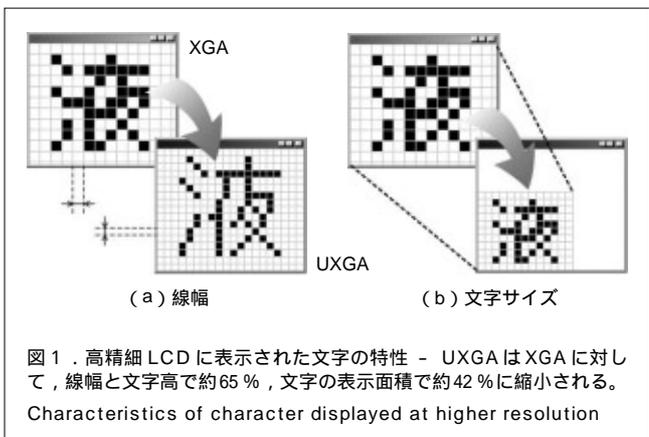
従来の液晶ディスプレイ(LCD)よりも、広い作業領域を提供できる高精細 LCD の需要が高まっている。しかし、高精細 LCD に表示された文字は線幅が細くなり、小さく表示されるなどの影響が現れる。われわれは、LCD の精細度と文字の読みやすさの関係を明らかにするために 15 インチの XGA と UXGA、精細度で言うと 86 ppi(pixel per inch) と 133 ppi の TFT(薄膜トランジスタ)-LCD を用いて、日本語フォントの読みやすさの人間工学的評価を行った。その結果、15 インチ UXGA が、文字の読みやすさについても優れていることが明らかとなった。また、文字の大きさと線幅のバランスなど、LCD に表示された文字の読みやすさに影響を与える要因も明らかにすることができた。

High-resolution LCDs with a large work information area are required for PC and monitor applications. However, the high resolution leads to thinner lines and smaller size in characters. In order to clarify the relationship between LCD resolution and character readability, an ergonomic evaluation of the character readability of Japanese fonts was performed using a 15-inch XGA TFT-LCD (86 pixels per inch) and UXGA TFT-LCD (133 ppi). The results indicated that the 15-inch UXGA TFT-LCD offered superior readability. In addition, other factors affecting readability, including the balance of character size and stroke width, were also clarified.

## 1 まえがき

近年、パソコン(PC)などの利用状況において、コンテンツの増大は目覚ましく、より多くの情報が表示できる高精細 LCD が求められている。この要求に対して、現在多く使われている XGA(1,024 × 768 画素)より画素数の多い UXGA(1,600 × 1,200 画素)LCD が使われ始めている。画面が高精細になると、従来と同一サイズの文字の場合、より滑らかな線の表示が可能となり、文字が読みやすくなることが期待される。しかし、1ドットの線幅で文字を表現する場合、線幅は細くなる。また、同じ画素構成(1文字を表現するためのドット数が同じ)の文字はより小さく表示される。高精細 LCD に表示された文字の特性を図 1 に示す。UXGA は XGA に対して、線幅と文字サイズ(文字高)は約 65%、文字の表示面積は約 42% に縮小される。

Wright らは、高精細 LCD に表示される英文フォントに関して、どの程度小さな文字を文字として視認できるかという観点で高精細 LCD の優位性を検討した<sup>(1)</sup>。しかし、今回は LCD の高精細化による表現力向上と、図 1 に示す問題点との関係に着目し、高精細 LCD に表示される文字の読みやすさを評価することが重要と考えた。また、英文フォントよりも構成が複雑な日本語フォントのほうが、精細度が読みやすさに与える影響は大きいと考えられる。今回は、LCD の精細



度と文字の読みやすさの関係を明らかにする第一歩として、従来精細度の 15 インチ XGA LCD(86 ppi)と高精細の 15 インチ UXGA LCD(133 ppi)に表示される日本語フォントの読みやすさを人間工学的に評価した。以下、この論文では便宜的にそれぞれの評価対象 LCD を、単に XGA、UXGA と表記する。

## 2 実験方法

### 2.1 評価刺激

今回評価刺激としたフォントの一覧を表 1 に示す。刺激は、

表 1 . 提示刺激の文字サイズと画素構成

Size and character format of sample display text for evaluation

文字サイズ (mm)	視距離 400 mm での 視角(分)	画素構成(ドット)	
		XGA	UXGA
1.5	13		8 × 8
1.7	15		9 × 9
2.3	20	8 × 8	12 × 12
2.7	23	9 × 9	14 × 14
3.2	28	11 × 11	17 × 17
3.8	33	13 × 13	20 × 20
4.4	38	15 × 15	23 × 23

MSゴシックをベースとして実験用に加工・修正した1ドットの線幅で成る日本語フォントである。画素構成やサイズの異なるフォントをXGA, UXGA 両方合わせて12種類用意した。文字サイズは約1.5 mm ~ 4.4 mmの範囲となる。

実験は視距離(被験者の眼からLCDまでの距離)400 mmで行った。この距離は、一般的なノートPCを用いたVDT (Visual Display Terminal)作業を想定したもので<sup>(2)</sup>,この視距離における刺激の視角は約13 ~ 38分となる。刺激として用いた文章を図2に示す。今回は2種類の各々1行から成る文章を用意し、それぞれの文章につき、表1に示した12種類の条件をランダムな順序で提示・評価した。どちらの文章から実験を始めるかということも被験者ごとにランダムにした。文字は白地に黒で表示し、XGA, UXGAともに同等の画面輝度となるように、白い部分は約110cd/m<sup>2</sup>, 黒い部分は約3 cd/m<sup>2</sup>に調整した。

液晶ディスプレイの視認性に関する検討  
雑誌に掲載された分子軌道計算に関するデータ

図 2 . 提示刺激の文章サンプル(画素構成 : 13 × 13) - 白地に黒文字で表示した。

Sample of display text (character format: 13 x 13)

2.2 主観評価

表1に示したすべての刺激に対し、主観評価により読みやすさを評価した。また、読みやすさ以外にもそれにかかわる要素として、文字線幅の適切さ、ジャギー、文字の鮮明さについても評価を行った。評価スケールを図3に示す。それぞれの評価用語は、以下のように定義した。

- (1) 読みやすさ 文字の読みやすさに対する総合的な評価
- (2) 文字線幅の適切さ 文字の大きさに対する線幅の太さの適切さの評価
- (3) ジャギー ジャギーとは文字のギザギザのことで、

1. 読みやすさ

- 非常に読みやすい
- 読みやすい
- やや読みやすい
- どちらでもない
- やや読みにくい
- 読みにくい
- 非常に読みにくい

2. 文字線幅の適切さ

- 非常に太い
- 太い
- やや太い
- ちょうどよい
- やや細い
- 細い
- 非常に細い

3. ジャギー

- 気にならない
- わずかに気になる
- やや気になる
- 気になる
- 非常に気になる

4. 文字の鮮明さ  
(文字のつぶれなどが気になるか)

- 気にならない
- わずかに気になる
- やや気になる
- 気になる
- 非常に気になる

図 3 . 主観評価スケール - それぞれの評価を5 ~ 7段階とした。

Evaluation scales

それが気になるかどうかという評価

- (4) 文字の鮮明さ 文字の美しさや細部の表現力などの評価

2.3 実験環境と被験者

実験風景を図4に示す。被験者の前にXGAとUXGAのLCDを配置し、実験者の指示に従って評価対象となるLCDのほうに顔を向けて評価を行った。視距離を400 mmに固定するために、あご台を用いた。被験者は、全員正常な視力を持つ(両眼視力で0.7以上、矯正視力も可)20代から30代の男女39名とした。



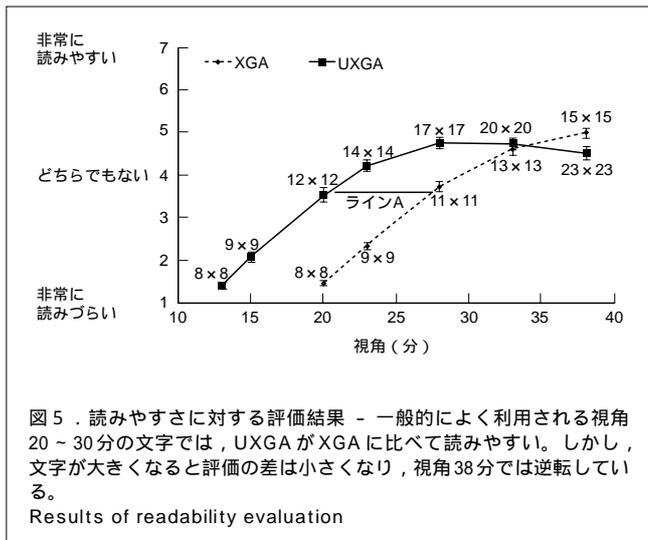
図 4 . 実験風景 - あご台を用い、視距離を400 mmに固定して評価を行う。

Test environment

3 結果

3.1 読みやすさ

読みやすさの結果を図5に示す。JIS( Japan Industrial



Standard)では、VDT作業における日本語の推奨視角を最小25分に定義している<sup>(3)</sup>。また、同JISにおいて、作業上あまり可読性が重要でない場合には、これより小さな文字を使ってもよいともある<sup>(3)</sup>。また、窪田らの調査によると、ノートPCユーザーの間でもっとも多く使われている文字サイズは3.5mmという報告があり<sup>(4)</sup>、これを視距離400mmで計算すると視角は約30分となる。これらのデータから考えると、現在VDT作業において一般的によく利用されている文字は視角20分～30分の間にあると予想できる。

今回の実験で用いた文字で、視角20分～30分の範囲の文字は文字サイズが2.3mm、2.7mm、3.2mmのものであり、この範囲において、UXGAはXGAに比べて顕著な読みやすさの向上を示しており、分散分析によって統計的に比べたところ、有意差があった。グラフで縦に並んでいる刺激はほぼ同一サイズであるが、線幅はUXGAのほうが細くなっている。この結果からUXGAは、広くVDTの実用に適したサイズの文字に関して、XGAと比べて線幅が細くなっても読みやすいということが明らかになった。

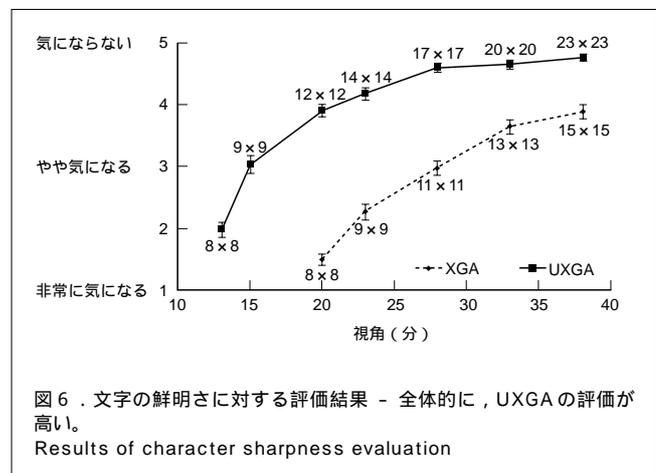
しかし、文字が大きくなるほど、同一サイズの文字のUXGAとXGAの評価の差は小さくなる傾向にあり、視角38分のUXGAの画素構成23×23ドット、XGAの画素構成15×15ドットに関しては評価が逆転して統計的にも有意にXGAのほうが読みやすいという結果となった。この原因は、文字の大きさに対して1ドットの線幅では細すぎるということが原因と考えられる。詳細については3.4節で述べる。

図5のラインAはほぼ同一の評価を受けているXGAの画素構成11×11ドット、UXGAの画素構成12×12ドットの比較を表している。一般的にPCを用いた電子メールや文書作成の作業には、画素構成11×11ドット程度の日本語フォントが多く使われている。今回ラインAで比較した両者(文字サイズ比1:0.72)の読みやすさに対する評価結果に統計的な

有意差は認められなかった。つまり、画素構成11×11～12×12ドットの範囲を想定した場合、UXGAは文字サイズが小さくても読みやすさは十分に保たれ、1画面に表示できる情報量が増すことが示された。文字サイズ比から計算すると、UXGAはXGAと同等の読みやすさを持つ文字を1.96倍表示できるということになる。

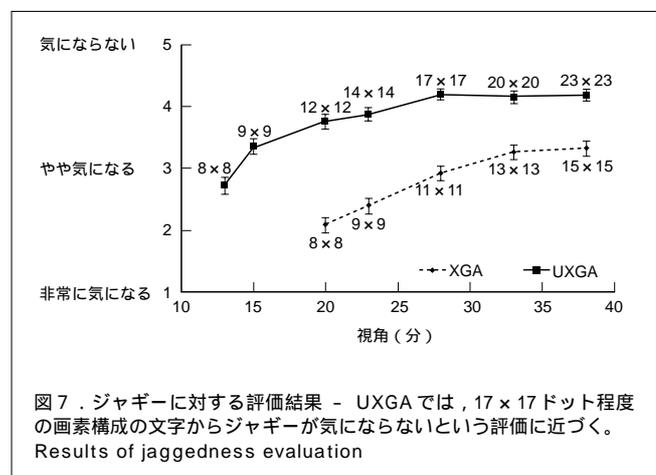
### 3.2. 文字の鮮明さ

文字の鮮明さの評価結果を図6に示す。全体的に、XGAに比べて、UXGAの評価が高い結果となった。一般的にVDT作業でよく用いられる文字と思われる視角20分から30分の範囲に注目してみると、XGAの評価は評価スケールの中間以下の悪い評価であるのに対し、UXGAでは鮮明な文字であるとの高い評価が得られている。この鮮明さが文字の読みやすさに対する高い評価につながったと考えられる。



### 3.3 ジャギー

ジャギーの評価の結果を図7に示す。UXGAにおいて、ピクセルの大きさが小さいことがそのままジャギーに対する評価を上げていることがわかる。UXGAの場合、17×17ドット程度の画素構成の文字からジャギーが気にならないとい



う評価に近くなる。窪田らの研究でも 150 ppi 程度から文字のジャギーは“見えるが気にならない”という評価になることが報告されている<sup>(5)</sup>。これらの結果からも、この実験で使用した UXGA(133 ppi)程度の精細度であれば、一般的な VDT 作業における文字に関して、ジャギーがあまり気にならないレベルの精細度と考えることができるであろう。このジャギーの減少も読みやすさに影響を与えていると思われる。

### 3.4 文字線幅の適切さ

文字線幅の適切さに対する評価結果を図 8 に示す。UXGA に表示された文字は鮮明でジャギーが気にならず、読みやすいという評価を得ている一方で、UXGA は XGA に比べて線幅が細いという評価となっており、サイズの大きな文字ほどその傾向は強くなっている。

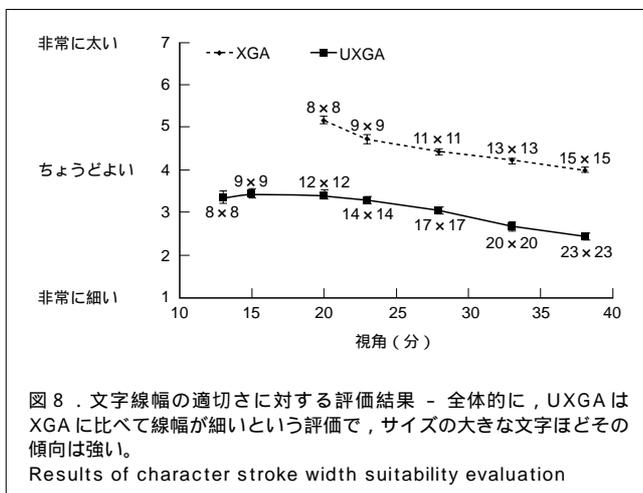


図 8. 文字線幅の適切さに対する評価結果 - 全体的に、UXGA は XGA に比べて線幅が細いという評価で、サイズの大きな文字ほどその傾向は強い。  
Results of character stroke width suitability evaluation

読みやすさの結果(図 5)を見ると、視角 38 分の文字で UXGA と XGA の評価の逆転も起こっている。これは、文字の大きさのわりには 1 ドットの線幅では細すぎて、バランスの悪い文字になっていたためと思われる。現在の日本語フォントは 100 ppi 以下の表示デバイスを想定して作られているものが多いため、それらをそのまま高精細 LCD に表示した場合、この文字サイズと線幅の不適合が生じる。

現在、LCD は更なる高精細化が進んでおり、今後は表示デバイスの精細度に合ったフォントとそれをコントロールする基本ソフトウェア(OS)やアプリケーションソフトウェアの開発が急務となる。

## 4 あとがき

高精細 LCD の特長として 1 画面の情報量の多さや作業領

域の広さに優れていることが挙げられる。しかし、表示される文字の線幅の細さや、文字サイズの小ささが読みやすさに及ぼす影響はこれまで明らかになっていなかった。しかし、今回評価した 15 インチ UXGA(133 ppi)においては、細く小さな文字でも、一般的な VDT 作業でよく用いられるサイズの文字に関して、十分に読みやすく、情報の一覧性をも両立するというデータを、人間工学的な方法論に基づき示すことができた。

将来的には、この研究で明らかになった高精細 LCD の文字表示特性が十分に考慮されたフォント、OS、アプリケーションソフトウェアなどの研究・開発がなされ、ユーザーにとって魅力的で真に使いやすい LCD 搭載商品が生み出されることが期待される。

## 文 献

- (1) S. L. Wright. "Resolution and Legibility: A Comparison of TFT-LCDs and CRTs". SID 99 DIGEST. 1999, p.346 - 349.
- (2) 吉武良治. コンピューター利用の実態調査 - ノートパソコンとデスクトップパソコンの比較 -. 人間工学 .35, 特別号 2, 1999, p.538 - 539.
- (3) JIS Z 8513: 人間工学 - 視角表示装置を用いるオフィス作業 - 視角表示装置の要求事項.
- (4) 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 (2000 年度) の結果 ". 入手先 < <http://klee.is.seikei.ac.jp/display/cgi-bin/index.html> > (参照 2002-4-25).
- (5) 窪田 悟 " LCD の画素密度と表示文字の読み取りやすさとの関係 - 銀塩写真フィルムによる擬似 LCD を用いた検討 ". 映像情報メディア学会技術報告 .25, 60, 2001, p.25 - 30.



井戸 健二 IDO Kenji

デザインセンター デザイン第一担当。  
人間工学を応用した製品開発、評価に従事。日本人間工学会、日本生理人類学会会員。  
Design Center



林 久子 HAYASHI Hisako

東芝松下ディスプレイテクノロジー(株) 営業企画部。  
液晶モジュールの広告・販促に従事。  
Toshiba Matsushita Display Technology Co., Ltd.



宮木 宏明 MIYAGI Hiroaki

東芝松下ディスプレイテクノロジー(株) PC 応用技術部主務。  
液晶ディスプレイの開発・評価業務に従事。  
Toshiba Matsushita Display Technology Co., Ltd.