

視覚特性を考慮したディスプレイの動きぼやけ評価法に関する一考察

Correlation Analysis between Motion Blur Widths and Human Perception

学生会員 平井 経太[†], 正会員 津村 徳道[†], 中口 俊哉[†], 正会員 三宅 洋一^{††}

Keita Hirai[†], Norimichi Tsumura[†], Toshiya Nakaguchi[†] and Yoichi Miyake^{††}

Abstract We examined the validity of perceived blur edge width (PBEW) by analyzing the correlation between observer rating values and physical properties that were extended blur edge width (EBEW) and PBEW. We also examined the correlation with changing contrast sensitivity function (CSF) models in the calculation of PBEW. In our results, PBEW correlated more with the observer's rating values than EBEW. It was also shown that Spatio-Velocity CSF model is significant for calculating PBEW.

キーワード：動画質評価, Extended Blur Edge Width, Perceived Blur Edge Width, コントラスト感度関数, 主観評価実験, 相関係数

1. ま え が き

近年、デジタル放送への移行にともない、一般家庭で用いられるテレビは従来のブラウン管テレビ (CRT) に代わり、液晶テレビ (LCD) やプラズマテレビ (PDP) に代表されるフラットパネルディスプレイ (FPD) が広く用いられるようになった。特に LCD は CRT に比べ大型化、薄型化が可能という利点があり現在広く普及しているが、一方、動画画質劣化、動きぼやけが大きいという課題が挙げられる^{?)?)}。そのため、倍速表示や黒フレーム挿入、オーバドライブなど、LCD における動画表示性能の改善手法が多く提案されている^{?)?)?)?)}。これに伴い、動きぼやけを定量的に示す動画画質評価法は改善手法の有効性を検証する上で非常に重要である。

動画画質評価法として、Moving Picture Response Time(MPRT)^{?)?)} や動画解像度^{?)} が提案されている。特に MPRT 測定法は現在、VESA(Video Electronics Standard Association) で規格化されており^{?)}、LCD の動きぼやけの指標として広く用いられている。しかし近年、この

手法を用いて定量化した値はその算出過程において人の視覚特性を考慮していないため、知覚するぼやけを充分に表せないという報告がなされている^{?)}。画質評価に関する研究分野では従来、視覚特性を考慮した評価方法を用いることが多い。画像は最終的には視覚系を通して観測されるため、入力画像、画像出力システムの特性に加えて視覚特性が複雑に絡み合っており、最終的に知覚する画像となる。静止画像のぼやけを評価するにあたり、入出力システムの鮮鋭度を示す MTF (Modulation Transfer Function) に視覚系の空間周波数特性であるコントラスト感度関数 (Contrast Sensitivity Function, CSF) をフィルタとして用いることで知覚する鮮鋭度を評価する方法は古くから用いられてきた^{?)?)}。これと同様に、Oka らは動きぼやけを評価する方法として、MPRT の算出過程で得られる物理評価値に視覚特性である CSF をフィルタとして用いることで、人が知覚する動きぼやけと高い相関があると考えられる物理評価値 Perceived Blur Edge Width(PBEW) を提案した^{?)?)}。

PBEW は MPRT 法で算出される物理評価値 Extended Blur Edge Width (EBEW) にかわる新たな物理評価尺度として提案されている。しかし、PBEW が EBEW に比べ、より主観的に知覚する動きぼやけを表す物理尺度値であるか、また PBEW の算出方法が妥当であるかについてはこれまで十分に検証されていない。そのため、PBEW の有効性や算出方法の検証は重要な課題となっている。

そこで本研究では、EBEW、PBEW の各物理評価値と主観実験により得られた評価値との相関について考察し、PBEW の有効性について検証を行う。また、PBEW の算出方法を検証するため、ぼやけ幅に関する定義を変更した

2007 年 12 月 6 日, IDW'07 で発表

2008 年 2 月 29 日受付, 2008 年 6 月 18 日再受付, 2008 年 8 月 4 日採録

[†] 千葉大学 大学院 融合科学研究科

(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33, TEL 043-290-3261)

^{††} 千葉大学 フロンティアメディカル工学研究開発センター

(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33, TEL 043-290-3114)

[†] Graduate School of Advanced Integrated Science, Chiba University

(1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan)

^{††} Research Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

(1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan)

場合のPBEW,異なるCSFモデルをフィルタとして用いた場合のPBEWをそれぞれ算出し,主観評価値との相関を考察する.

2. 動画質評価法:EBEWとPBEW

2.1 MPRT測定法とEBEW

ディスプレイの動画質評価の手法として,動きぼやけを定量化するMPRT測定法が提案されている.この手法は,ディスプレイ上をスクロールするエッジ画像の境界部を,追従するCCDカメラで撮影することで境界部分のぼやけた画像を取得し,この画像から動きぼやけに関する値を算出する(図1).ディスプレイの画面サイズや解像度が異なると,撮影画像のぼやけ幅も変化する.そのため,異なる機

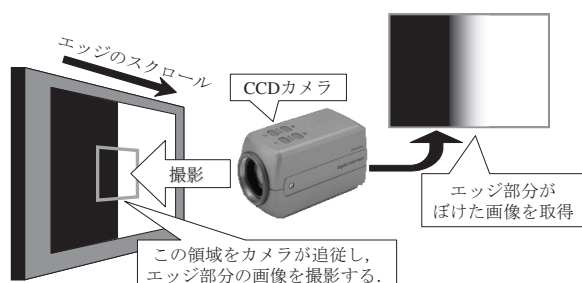


図1 MPRT測定における画像撮影の概要
Overview of MPRT measurement method.

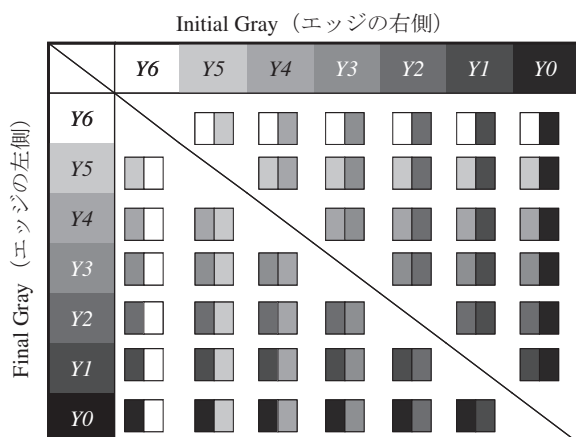


図2 MPRT測定で用いられるエッジパターン
Combination of gray levels for measurement patterns.

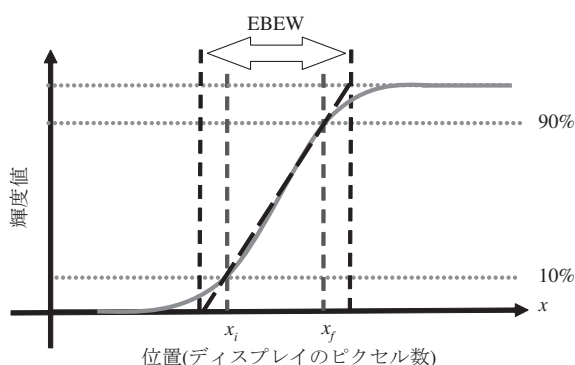


図3 EBEWの定義
Definition of EBEW.

種の結果の比較を容易にするために,単純な画像のぼやけ幅ではなく,共通の尺度として時間を用い,単位はミリ秒となる.この値が小さいほど動きぼやけが少ない.

MPRT測定法では液晶素子の応答特性を考慮し,エッジの階調差を左右7種類ずつ,計42パターンの組合せ(図2)に対し測定を行う.エッジが通過する前の階調をInitial Gray,後の階調をFinal Grayとする.階調 Y_n は,測定対象のディスプレイの最大,最小輝度をそれぞれ Y_6, Y_0 として,式(1)により算出する.

$$L0 = 903.3 \times Y0/Y6 \quad \text{for } Y0/Y6 \leq 0.008856$$

$$Y_n = Y6 \times \left(\frac{(L0 + (100 - L0) \cdot n/6) + 16}{116} \right)^3$$

$$n \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

(1)

次に撮影画像の輝度値を正規化し,水平方向にプロットした輝度プロファイル(図3)を作成する.Initial GrayからFinal Grayの画素値を値域としたとき,相対輝度の10%と90%を閾値とし,このラインを破線で示す.この2本の破線が輝度値のグラフと交わる位置をそれぞれ x_i, x_f とする.このとき,式(2)によりEBEWを求める.

$$EBEW = \frac{x_f - x_i}{0.9 - 0.1}$$

(2)

最後にスクロールエッジの速度 v_p [pixels/frame]とディスプレイにおける1フレームの時間 t_f [msec/frame]を用いて,式(3)によりEBEWを時間尺度に変換した値EBETを算出する.MPRT値は全42エッジパターンにおけるEBETの平均値として算出される.

$$EBET = EBEW \cdot \frac{t_f}{v_p}$$

(3)

2.2 EBEWの問題点とPBEW

EBEWは10%-90%の輝度値を閾値として,算出される.しかし,LCDの応答特性により異なった輝度プロファイルにおいて,EBEWが同様になる場合が生じる(図4).このため,人が知覚する動きぼやけとEBEWとの相関は輝度値の閾値設定により変化することが知られている²⁾.そこ

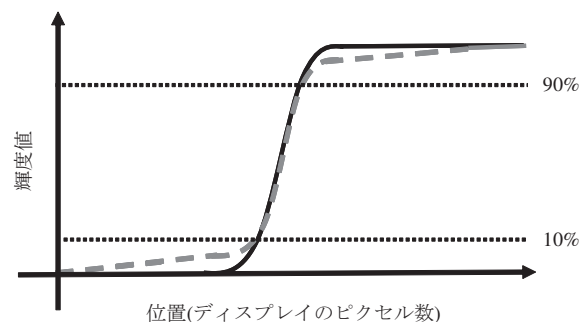


図4 異なった輝度プロファイルにおいてEBEWが同じ値になる例
Example of same EBEW values in different luminance profiles.

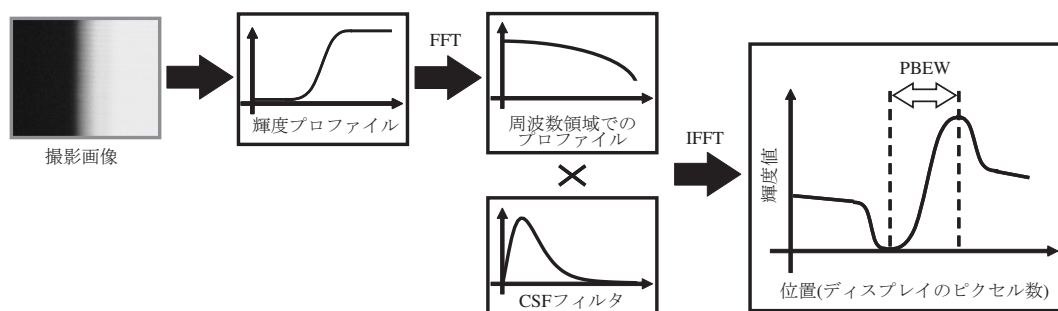


図 5 PBEW の算出の流れ
Calculation of PBEW.

で、Oka らはこのような閾値設定に左右されない新たな動きぼやけの物理評価尺度として、視覚系の空間周波数特性であるコントラスト感度関数 (CSF) を用いた PBEW を提案した^{?)?)}。

PBEW の算出の流れを図 5 に示す。PBEW の算出では、EBEW と同様にまず、撮影画像から輝度プロファイルを作成する。この輝度プロファイルに周波数領域で CSF をかけたプロファイルを作成する。そして、このプロファイルにおいてピーク間のディスプレイのピクセル数を PBEW とする。

3. Perceived Blur Edge Width の検証実験

3.1 検証実験の流れ

図 6 に本論文における PBEW の有効性検証実験の流れを示す。検証実験ではまず、物理測定値として EBEW、PBEW を算出する。そして、主観評価実験を行い、その結果と EBEW、PBEW を比較し、どちらがより相関が高くなるかを求めることで、PBEW の有効性について検証する。

3.2 物理測定システム

物理測定には、Sano らによって MPRT 測定のために構築されたエッジ追従カメラシステム^{?)}を使用した。図 7 に本測定のシステムを示す。測定システムは CCD カメラ (SONY 製 DFW-X710) と、アーム型ロボット (MITSUBISHI 製 MELFA) から構成される。ロボットは、アームの移動速度が秒速 mm 単位で調節が可能であり、正確な平行移動を実現できる。このアームの先端に CCD カメラを取り付け、ディスプレイ上のエッジスクロールを追従し、エッジ撮影画像を得る。撮影画像はカメラのガンマの影響を除いた状態で撮影されており、画像サイズは 1024 × 768 である。

3.3 EBEW と PBEW の算出

EBEW と PBEW の算出は従来提案されてきた手法に基づき算出した。ただし、EBEW については輝度値の閾値変化により値が変わり、主観評価値との相関が異なることを考慮し、5-95%、10-90%、15-85%、20-80%、25-75% の 5 段階で算出した。

従来の PBEW 算出ではピーク間のピクセル数で定義されているが、その定義の具体的な有効性については十分に検証

されていない。そこで本研究では、EBEW と同様に閾値設定を行って PBEW を算出した。相対輝度の 10% と 90% を閾値とした場合、図 8 に示すように閾値と輝度値のグラフが交わる位置のピクセル数を PBEW とする。本研究ではこのようにして、0-100% (ピーク間)、5-95%、10-90% で

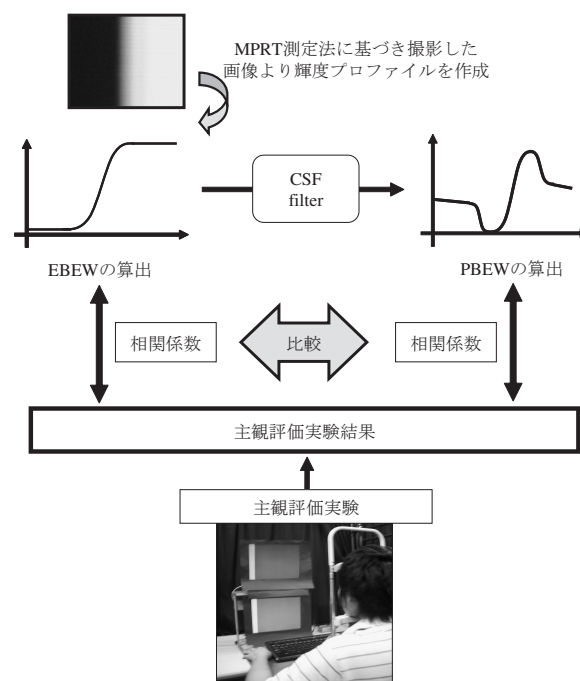


図 6 検証実験の流れ
Schematic diagram of our experiment.

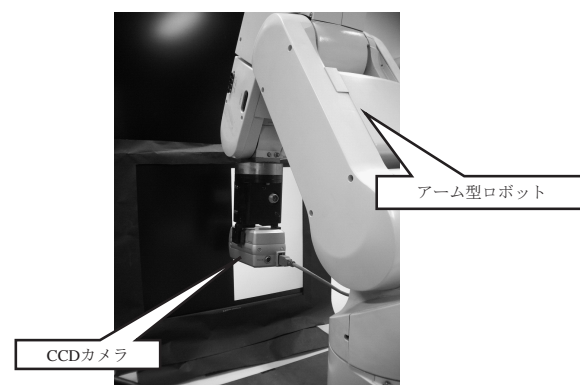


図 7 物理測定の様子 (実際は暗室下)
Pursuit camera system developed for measuring MPRT
(The measurement was done in a dark room).

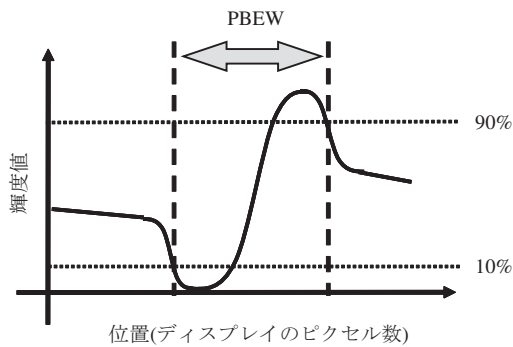


図 8 閾値設定を用いた PBEW の算出
Calculation of PBEW using threshold set.

の閾値を用いた 3 段階の PBEW を算出した。

また、PBEW 算出の際に Oka ら^{?)} は Barten らの静止画像用のモデル^{?)} を用いているが、動画像評価のためには動き刺激に対応した CSF モデルが必要である。そこで本研究における PBEW 算出において、Barten らの CSF モデルと、動き刺激を考慮した Spatio-Velocity CSF モデル^{?)} を用いた (本論文ではそれぞれ CSF_{Barten} , CSF_{Hirai} と表記する)。図 9, 10 に本論文において PBEW 算出の際に用いた CSF_{Barten} モデルと CSF_{Hirai} モデルを示す。図 9 に示されるように、 CSF_{Barten} は 5[cyc/deg] 付近でピークとなるバンドパス特性を持つことがわかる。一方、Spatio-Velocity CSF はコントラスト感度、空間周波数、刺激速度 [deg/sec] の関係で表せられる。 CSF_{Hirai} モデル (図 10(a)) では提示刺激が静止している場合、 CSF_{Barten} と同様に 5[cyc/deg] 付近でピークとなるバンドパス特性を示す。また、刺激が動きを伴う場合、その速度が速くなるにつれコントラスト感度のピークはより低周波領域に移行する。本研究では刺激速度が 12.5[deg/sec] の際の CSF_{Hirai} モデル (図 10(b)) を PBEW 算出におけるフィルタとして用いたが (3.4 節参照)、このときのコントラスト感度のピークは 1.5[cpd/sec] 付近であり、 CSF_{Barten} に比べ、より低周波領域を通すバンドパス特性をもつことがわかる。

図 11 に EBEW, PBEW の算出に用いるプロファイルの例を示す。物理評価値はそれぞれ $EBEW=5.6$, $PBEW(CSF_{Barten})=8.3$, $PBEW(CSF_{Hirai})=19.4$ (単位は [pixels]) である。上記に示したとおり、 CSF_{Hirai} は CSF_{Barten} に比べ、ローパスフィルタの特性をもつ。そのため、図 11(c) に示すように CSF_{Barten} に比べ、 CSF_{Hirai} によって得られるプロファイルはよりピーク間の幅が広くなるような概形となる。

3.4 主観評価実験

主観評価実験では、同一のディスプレイを用いた一対比較実験と、異なるディスプレイを用いた一対比較実験を行い、動きばやけ比較を行った。図 12 に主観評価実験の様子を示す。一対比較実験はサーストンの一対比較法に基づいて行った^{?)?)}。これは二つの提示された刺激を比較して、

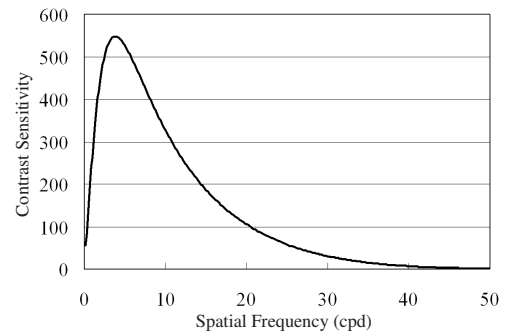
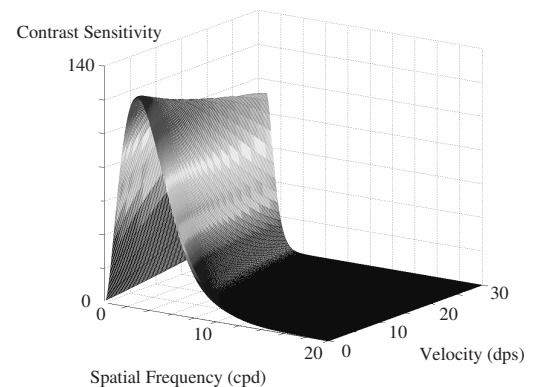
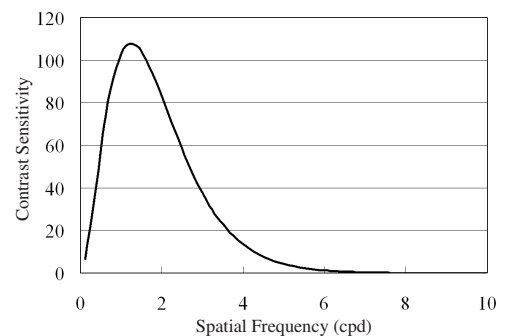


図 9 Barten の CSF モデルの概形
Barten's CSF model.



(a)



(b)

図 10 (a)Spatio-Velocity CSF モデルの概形 (b)velocity=12.5deg/sec における Spatio-Velocity CSF の断面図

(a)Spatio-Velocity CSF model, (b)Sectional view of Spatio-Velocity CSF model at velocity=12.5deg/sec.

その一方を選択する方法である。サーストンの一対比較法で得られる主観評価値は心理尺度値 (相対値) であり、この主観評価値と物理評価値である EBEW, PBEW との相関係数を求め、PBEW の有効性を検証する*。

同一のディスプレイを用いた実験では一つの LCD の上下に異なる輝度パターンのエッジスクロールを表示し、被験者は『よりばやけているエッジスクロール』を選択した。評価

* 本論文における相関係数は以下の式で定義する。

$$\text{相関係数} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

ここで、 x_i は主観評価値、 y_i は物理評価値であり、 $\bar{x}$, $\bar{y}$ はそれぞれ $x = (x_1, \dots, x_n)$, $y = (y_1, \dots, y_n)$ の相加平均である。

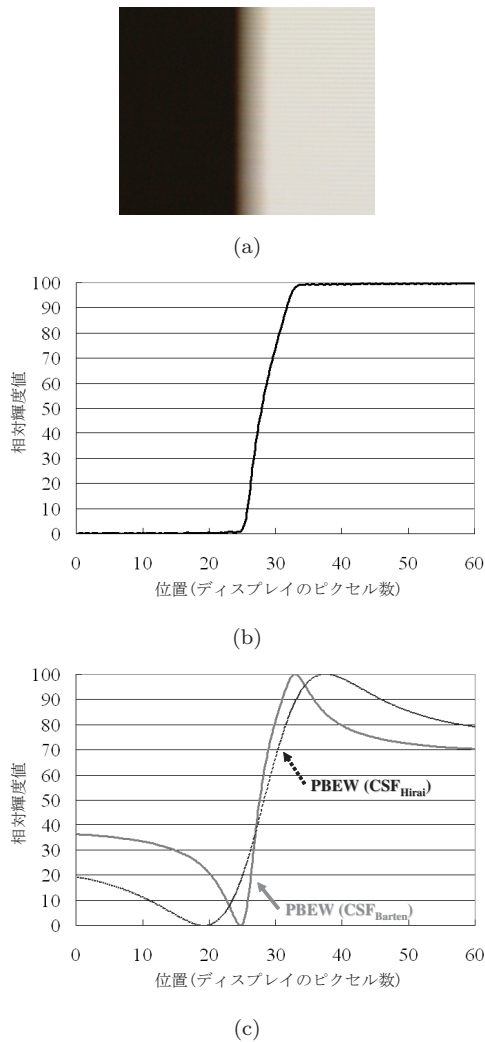


図 11 EBEW, PBEW の算出に用いるプロファイル例 (a) 撮影画像 (b) 撮影画像より作成した輝度プロファイル (c) 輝度プロファイルに CSF フィルタをかけたプロファイル

Example of Profiles (a)Captured Image, (b)Luminance profile obtained from captured image (c)Profiles obtained from CSF-filtered luminance profile.

に用いたエッジスクロールは 2.1 節で述べた階調から Y_0 , Y_2 , Y_4 , Y_6 を用い, それぞれ Initial Gray, Final Gray とした計 12 パターンである. 実験ではこれらのパターンの内, 二つのパターンをディスプレイの上下に表示し, 被験者はよりぼやけているエッジスクロール評価することになり, 合計 $66(12C_2)$ 通りの組合せを評価している. またこの実験では, 同様の内容を異なる 2 種の 17 インチ LCD(本論文では, それぞれ LCD1-1, LCD1-2 と表記する) を用いて行った.

異なるディスプレイを用いた実験では, 上下のディスプレイに同じ輝度パターンのエッジスクロールを表示した. 被験者は上記の実験と同様に『よりぼやけているエッジスクロール』を選択した. ディスプレイは 5 種の 17 インチ LCD を用意し, 被験者は計 10 通りのディスプレイの組合せを評価した. また, 評価に用いた階調は Y_0 , Y_2 , Y_4 , Y_6 をそれぞれ Initial Gray, Final Gray の組合せで, 計

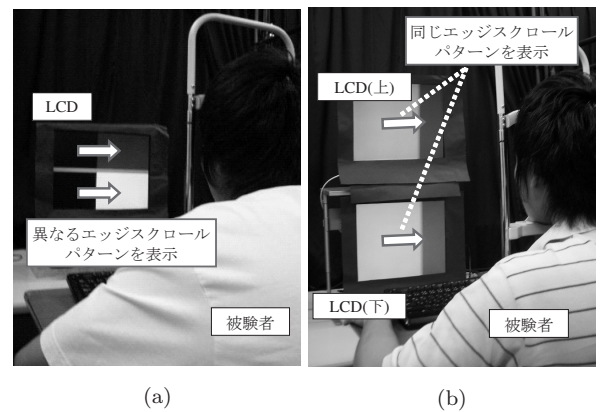


図 12 主観評価実験 (一対比較) の様子 (実際は暗室下) (a) 同一のディスプレイを用いた実験 (b) 異なるディスプレイを用いた実験

Subjective experimental setup(The experiments were done in a dark room). (a)Different test patterns displayed on an LCD, (b)Same test patterns displayed on an LCD pair.

12 パターンである.

両実験ともに, 被験者数は 12 名であり, 視距離は 800[mm], エッジスクロールの速さは 10 [pixels/frame] (12.5[deg/sec]) とした. また, 実験は暗室下でおこなっており, LCD の最大輝度は 200[cd/m²] に調節している.

4. 結果 と 考 察

4.1 同一のディスプレイを用いた主観評価実験結果と物理評価値

同一のディスプレイを用いた実験の主観評価値と物理評価値との相関係数を表 1, 2 に示す. また, 図 13, 14 に従来用いられてきた定義における EBEW(閾値 10-90%), PBEW(閾値 0-100%) と主観評価値との関係を示す. 図 13, 14 における主観評価値はサーストンの一対比較法に基づいた心理尺度値 (相対値) であり, 0(最もぼやけていない) ~ 100(最もぼやけている) に正規化して記載している. また, 図中の直線は主観評価値と物理評価値から得られた回帰直線である.

各物理評価値と主観値との相関係数が最も高くなる閾値は, EBEW において LCD1-1 で 10-90%, LCD1-2 で 20-80%と閾値になった. これは 2.2 節で示したように従来用いられてきた EBEW の閾値設定 (10-90%) では人が知覚する動きぼやけを十分に表せないことを示している. 一方 PBEW はすべて 0-100%(ピーク間) の閾値において最も相関係数が高い結果が得られた. このことから PBEW は閾値設定に影響を受けない評価値であり, 閾値は Oka らによって提案された 0-100%が知覚する動きぼやけを表す物理尺度値として最も適切であることがわかる.

また, 各物理評価値と主観値との相関係数は LCD1-1 を用いた実験において, PBEW が EBEW に比べ主観評価値とより相関が高い結果が得られた. 一方 LCD1-2 を用いた実験では EBEW(閾値 20-80%) が最も主観評価値と高い相

表 1 LCD1-1 における主観評価値と各物理評価値との相関係数

Correlation coefficients between blur edge widths and observer rating values with LCD1-1.

(a)EBEW と主観評価値との相関係数					
閾値	5-95%	10-90%	15-85%	20-80%	25-75%
相関係数	0.785	0.818	0.806	0.759	0.669
(b)PBEW(CSF _{Barten}) と主観評価値との相関係数					
閾値	0-100%	5-95%	10-90%		
相関係数	0.843	0.836	0.835		
(b)PBEW(CSF _{Hirai}) と主観評価値との相関係数					
閾値	0-100%	5-95%	10-90%		
相関係数	0.878	0.878	0.873		

表 2 LCD1-2 における主観評価値と各物理評価値との相関係数

Correlation coefficients between blur edge widths and observer rating values with LCD1-2.

(a)EBEW と主観評価値との相関係数					
閾値	5-95%	10-90%	15-85%	20-80%	25-75%
相関係数	0.424	0.879	0.884	0.925	0.863
(b)PBEW(CSF _{Barten}) と主観評価値との相関係数					
閾値	0-100%	5-95%	10-90%		
相関係数	0.880	0.875	0.823		
(b)PBEW(CSF _{Hirai}) と主観評価値との相関係数					
閾値	0-100%	5-95%	10-90%		
相関係数	0.913	0.898	0.866		

関が得られた。しかし、従来用いられてきた EBEW の定義 (閾値 10-90%) における相関係数は、PBEW (閾値 0-100%) に比べ低い。EBEW は、閾値設定により主観評価値との相関係数が変化することを考慮した場合、閾値 0-100%を用いた PBEW の方がより適切な物理評価値と考えられる。

PBEW 算出の際に用いる CSF フィルタに関しては、LCD1-1, LCD1-2 の両実験において、CSF_{Barten} モデルよりも、動き刺激を考慮した CSF_{Hirai} モデルの方が、より主観評価値と相関が高い PBEW が得られた。この結果より、PBEW(CSF_{Hirai}) は PBEW(CSF_{Barten}) に比べ、より知覚する動きぼやけをあらわす物理尺度値として適切であることが示唆される。

表 3 異なるディスプレイを用いた実験の主観評価値と物理評価値との相関係数 (エッジパターンは Final Gray-Initial Gray で表記)

Correlation coefficients with five LCDs. Edge pattern : Final Gray-Initial Gray.

(a)EBEW と主観評価値との相関係数			
エッジパターン	相関係数		
	EBEW	PBEW(CSF _{Barten})	PBEW(CSF _{Hirai})
Y0-Y2	0.418	0.472	0.425
Y0-Y4	0.826	0.824	0.852
Y0-Y6	0.495	0.385	0.885
Y2-Y4	0.185	0.177	0.319
Y2-Y6	0.891	0.950	0.927
Y4-Y6	0.456	0.566	0.488
Y2-Y0	0.247	0.176	0.299
Y4-Y0	0.366	0.320	0.451
Y6-Y0	0.864	0.872	0.889
Y4-Y2	0.284	0.269	0.313
Y6-Y2	0.838	0.834	0.854
Y6-Y4	0.564	0.535	0.753
平均	0.536	0.531	0.616

表 4 主観評価値と物理評価値との相関係数 (相関係数 0.8 以上のエッジパターン)

Results of correlation coefficients over 0.8 in table. 3.

エッジパターン	相関係数		
	EBEW	PBEW(CSF _{Barten})	PBEW(CSF _{Hirai})
Y0-Y4	0.826	0.824	0.852
Y2-Y6	0.891	0.950	0.927
Y6-Y0	0.864	0.872	0.889
Y6-Y2	0.838	0.834	0.854
平均	0.855	0.868	0.881

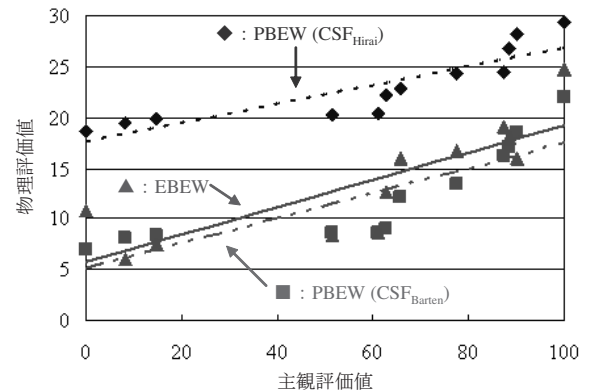


図 13 LCD1-1 における EBEW (閾値 10-90%), PBEW (閾値 0-100%) と主観評価値

Relationship between edge blur widths and observer rating values with LCD1-1.

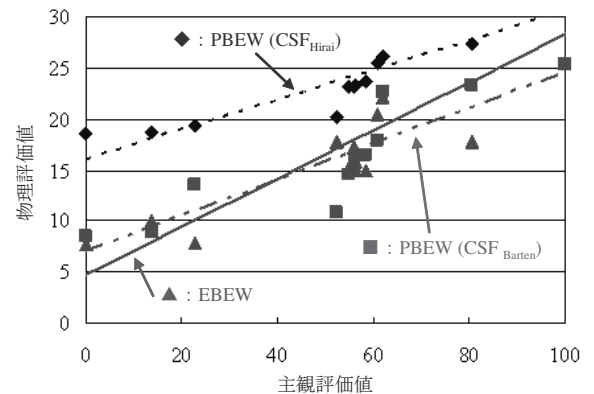


図 14 LCD1-2 における EBEW (閾値 10-90%), PBEW (閾値 0-100%) と主観評価値

Relationship between edge blur widths and observer rating values with LCD1-2.

4.2 異なるディスプレイを用いた主観評価実験結果と物理評価値

5 種の異なるディスプレイを用いた実験の主観評価値と物理評価値との相関係数を表 3 に示す。表 3 における閾値設定は 4.1 節の結果を考慮し、EBEW が 10-90%, PBEW が 0-100%である。また、図 15 にスクロールエッジパターンが Y0-Y4(Final Gray-Initial Gray) の時の EBEW, PBEW と主観評価値との関係を示す。

この実験では、エッジパターンにより物理評価値の相関係数の値が大きく異なる結果が得られた。特に、輝度差の低いエッジパターンや各ディスプレイ間の物理評価値の差が低い場合、相関係数が低くなる傾向を示した。これは被

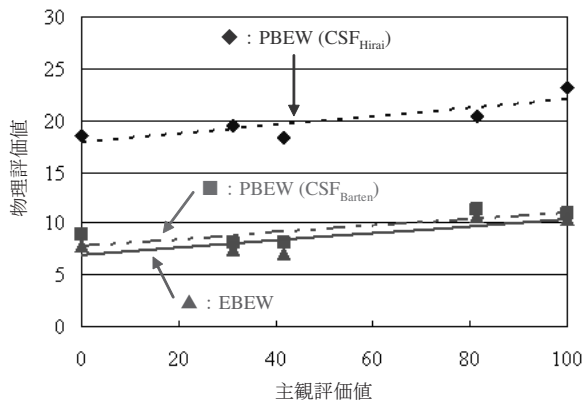


図 15 Y0-Y4(Final Gray-Initial Gray) における (閾値 10-90%), PBEW(閾値 0-100%) と主観評価値
Relationship between edge blur widths and observer rating values with five LCDs(Final Gray-Initial Gray :Y0-Y4).

験者にとって動きぼやけの差が非常に区別しづらいためだと考えられる。

各物理評価値の相関係数の平均 (表 3) は EBEW と PBEW(CSF_{Barten}) の間にはほとんど差がないものの、PBEW(CSF_{Hirai}) は EBEW, PBEW(CSF_{Barten}) に比べ、高い相関を示した。一方、表 4 に示すように各物理評価値での相関が 0.8 以上の場合のみでは、4.1 節の結果と同様に EBEW に比べ PBEW が主観評価値とより相関が高い結果が得られた。CSF フィルタによる PBEW の違いにおいても、Barten らのモデルよりも Spatio-Velocity CSF モデルが、より主観評価値と相関が高い PBEW が得られた。

5. む す び

本論文では、従来用いられてきた EBEW にかわる新たな動画質評価尺度として期待されている PBEW の有効性について、主観評価値と物理評価値の相関を分析することで検証を行った。その結果、EBEW に比べ PBEW はより主観評価値と高い相関が得られた。また、PBEW は閾値設定に影響を受けない評価値であり、その閾値は 0-100%(ピーク間のピクセル数) が最も適切であることが示唆された。PBEW 算出の際に用いる CSF フィルタに関しては、Barten らの静止画像用のモデルよりも動き刺激を考慮した Spatio-Velocity CSF モデルを用いた場合、より主観評価値と相関が高い PBEW が得られた。

今後の課題として、ディスプレイの動画質評価基準の構築が挙げられる。本研究では一つのディスプレイにおいて各エッジパターンの物理評価値である EBEW, PBEW を用いているが、動画質評価基準としては MPRT 測定法のように一つのディスプレイに対し、一つの評価基準が求められる。そのため、PBEW を用いることで、MPRT 値のような動評価基準を確立する必要がある。また本論文では、スクロールエッジ表示における PBEW の有効性を示したが、今後は動画像などを表示した場合における PBEW の

有効性も検証する必要がある。

【文 献】

- 1) T. Kurita, A. Saito, and I. Yuyama: " Consideration on Perceived MTF of Hold Type Display for Moving Images, " Proc. of IDW ' 98, pp.823-826(1998)
- 2) J. Miseli: " Motion artifacts, " SID Symposium Digest of Technical Papers, **35**, 1, pp.86-89(2004)
- 3) M. A. Klompenhouwer: " Comparison of LCD Motion Blur Reduction Methods using Temporal Impulse Response and MPRT, " SID Symposium Digest of Technical Papers, **37**, 1, pp.1700-1703(2006)
- 4) T. W. Su, J. J. Su, T. J. Chang, P. L. Chen, K. Y. Lin, and C. T. Liu: " Moving-image simulation for high-quality LCD TVs, " J. Soc. Inf. Display, **15**, 1, pp.71-78(2007)
- 5) M. Baba, G. Itoh, and H. Okumura: " Software-processed edge-and level-adaptive overdrive (SELAO) method for high-quality motion pictures, " J. Soc. Inf. Display, **15**, 3, pp.205-211(2007)
- 6) J. Someya and N. Okuda: " Motion adaptive CODEC Feedforward Driving for LCD overdrives, " J. Soc. Inf. Display, **13**, 6, pp.517-524(2005)
- 7) K. Oka, and Y. Enami: " Moving Picture Response Time (MPRT) Measurement System, " SID Symposium Digest of Technical Papers, **35**, 1, pp.1266-1269(2004)
- 8) Y. Igarashi, T. Yamamoto, Y. Tanaka, J. Someya, Y. Nakakura, M. Yamakawa, Y. Nishida, and T. Kurita: " Summary of Moving Picture Response Time (MPRT) and Futures, " SID Symposium Digest of Technical Papers, **35**, 1, pp.1262-1265(2004)
- 9) I. Kawahara, M. Kasahara, and T. Shinoda: " Measurement and Evaluation of Moving Picture Resolution: From Milliseconds to TV-Lines, " Proc. of IDW'07, pp.1189-1192(2007)
- 10) VESA FPDM2: Video Electronics Standards Association, Flat Panel Display Measurements Standard, Version 2.0, May(2005)
- 11) J. Someya, and H. Sugiura: " Evaluation of liquid-crystal-display motion blur with moving-picture response time and human perception, " J. Soc. Inf. Display, **15**, 1, pp.79-86(2007)
- 12) 三宅洋一: " デジタルカラー画像の解析・評価, " 東京大学出版会 (2000)
- 13) 平井経太, 三宅洋一: " 視覚の時空間特性とディスプレイの評価, " 映像学誌, **62**, 3, pp.322-328(2008)
- 14) K. Oka, and Y. Enami: " Image Quality Degradation of Moving Pictures: Perceived blur edge width, " Proc. of IDW'05, pp.815-818(2005)
- 15) K. Oka, Y. Enami, J. Lee, and T. Jun: " Edge Blur Width Analysis Using a Contrast Sensitivity Function, " SID Symposium Digest of Technical Papers, **37**, 1, pp.10-13(2006)
- 16) S. Sano, T. Nakaguchi, N. Tsumura, and Y. Miyake: " Measuring motion blur of displays for the motions on various direction, " The Second International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.208-211(2007)
- 17) P. G. J. Barten: " Formula for the contrast sensitivity of the human eye, " Proc. of SPIE/IS&T Electronic Imaging, **5294**, pp.231-238(2004)
- 18) K. Hirai, N. Tsumura, T. Nakaguchi, and Y. Miyake: " Measurement and Modeling of Viewing-Condition- Dependent Spatio-Velocity Contrast Sensitivity Function, " Proc. of IS&T/SID 15th Color Imaging Conference, pp.106-111(2007)
- 19) L. L. Thurstone: " The Measurement of Values, " Univ. of Chicago Press(1959)
- 20) 武藤真介: " 計量心理学, " 朝倉書店, pp.48-64(1982)



ひらい けいた
平井 経太 2005 年，千葉大学工学部情報画像工
学科卒業．2007 年，同大大学院自然科学研究科博士前期
課程卒業．2007 年，同大大学院融合科学研究科博士後期
課程入学．現在に至る．主にフラットパネルディスプレイ
の画質評価・改善に関する研究に従事．学生会員．



つむら のりみち
津村 徳道 1995 年，大阪大学大学院博士後期課
程修了．博士（工学）．現在，千葉大学融合科学研究科
准教授．医用画像工学，計測画像工学，色再現工学，質
感再現工学の研究に従事．正会員．



なかくち としや
中口 俊哉 2003 年，上智大学大学院博士後期課
程修了．博士（工学）．現在，千葉大学融合科学研究科
助教．2001-2003 年，日本学術振興会特別研究員．画像
解析，画質評価，医用画像処理，組合せ最適化に関する
研究に従事．



みやけ よういち
三宅 洋一 1968 年，千葉大学大学院修士課程修
了，1978 年，工学博士（東工大）．京都工繊大助手，助
教授，千葉大助教授を経て，1989 年教授，スイス連邦工
科大学研究員，ロチェスター大学客員教授，東工大教授
（併任）などを歴任．2003 年より，千葉大学フロンティ
アメディカル工学研究開発センター長．正会員．
