

FPDへの人間工学的要求 —Web調査2006の結果を交えて—

成蹊大学 工学部 窪田 悟

1. コンピュータディスプレイのユーザー評価

- (1) LCDの高輝度・高コントラスト化の弊害
- (2) クリアパネルの普及による反射グレア増加の問題

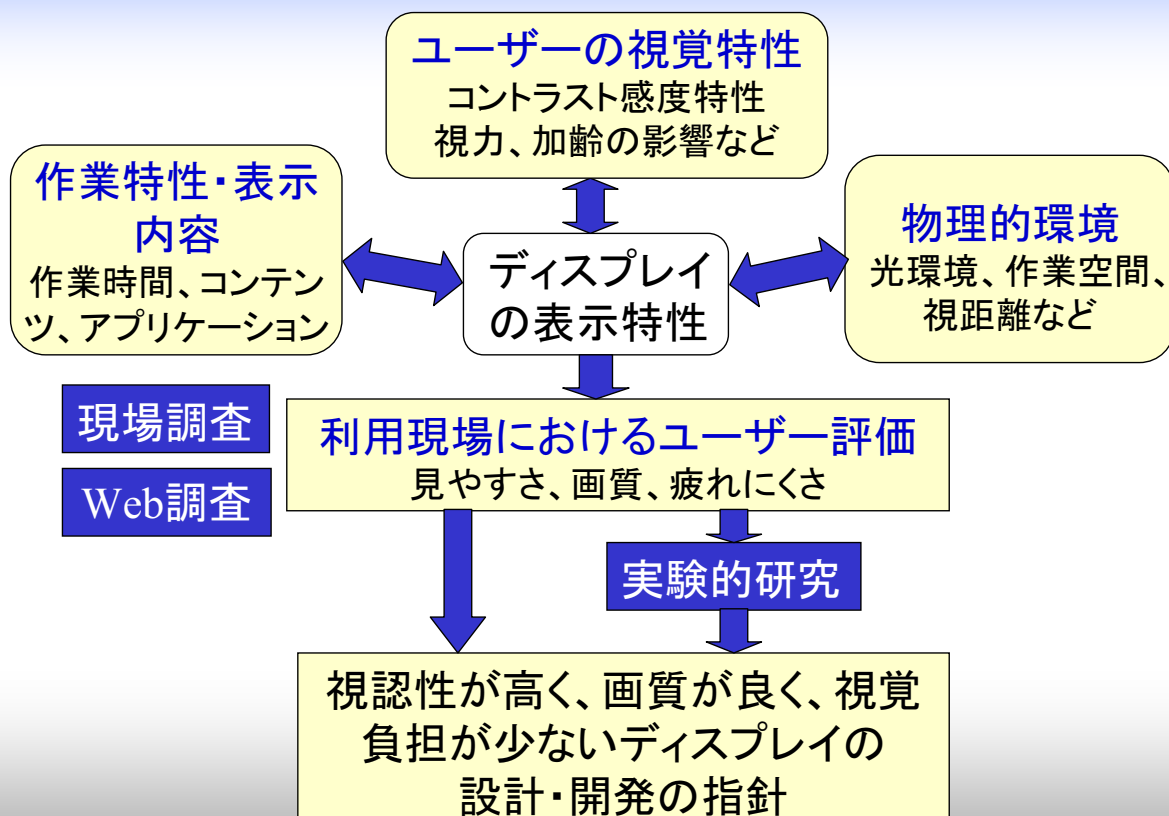
2. APL, 観視者の年齢, 照明環境を考慮した

FPDの最適輝度制御

- (1) テレビ映像とPC画像の平均輝度レベル(ALL)
- (2) ALLの関数としての最適輝度
- (3) 各種ディスプレイのピーク白輝度のALL依存性
- (4) 知覚される黒レベルのALL依存性
- (5) ディ스플레이の輝度のダイナミックレンジとコントラスト比

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

ディスプレイの人間工学



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

1. コンピュータディスプレイのユーザー評価

Web調査2006の概要

調査期間 2006年11月2日～24日

対象者 主としてディスプレイ関連業界の方々

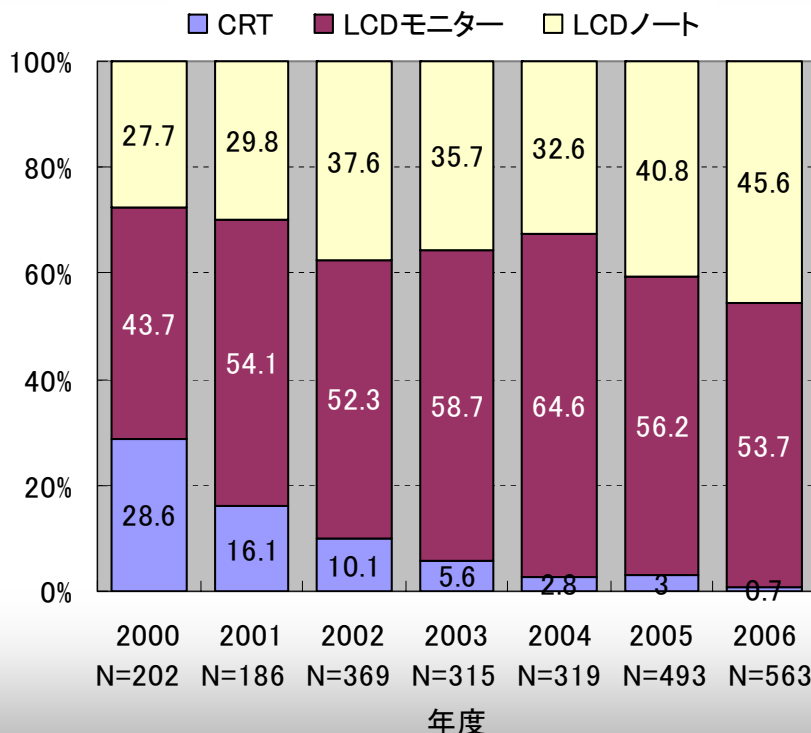
回答者数 564名（過去7年間では延べ約2500名）

調査項目

- ①回答者の属性：年齢，作業内容，作業時間など
- ②ディスプレイの特性：画素構成，サイズ，方式など
- ③文字の表示特性：大きさ，明るさ，CRなど
- ④目と身体部位の疲労感：目や身体の自覚症状

ディスプレイの種類の変化

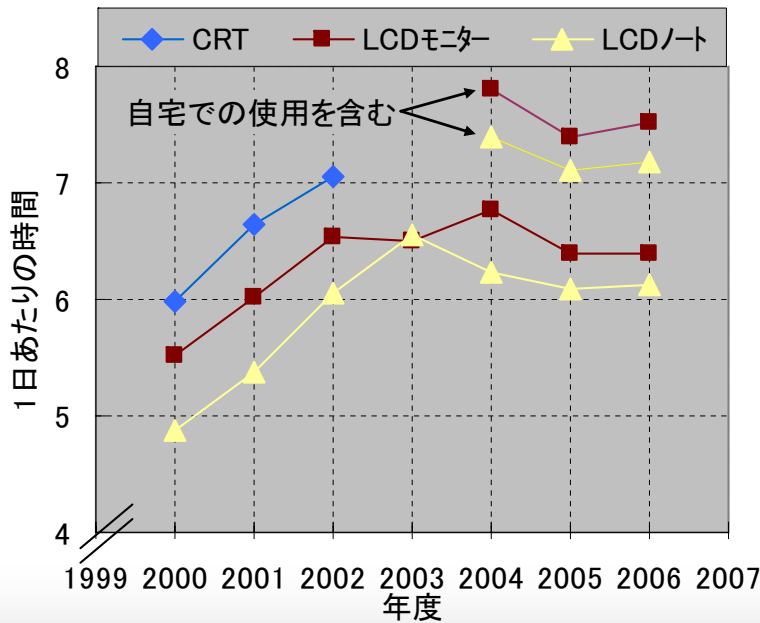
ディスプレイの種類の変化



CRTは0.7%(4/563)まで減少した。ノートの増加傾向が認められる。

ディスプレイ作業時間の推移

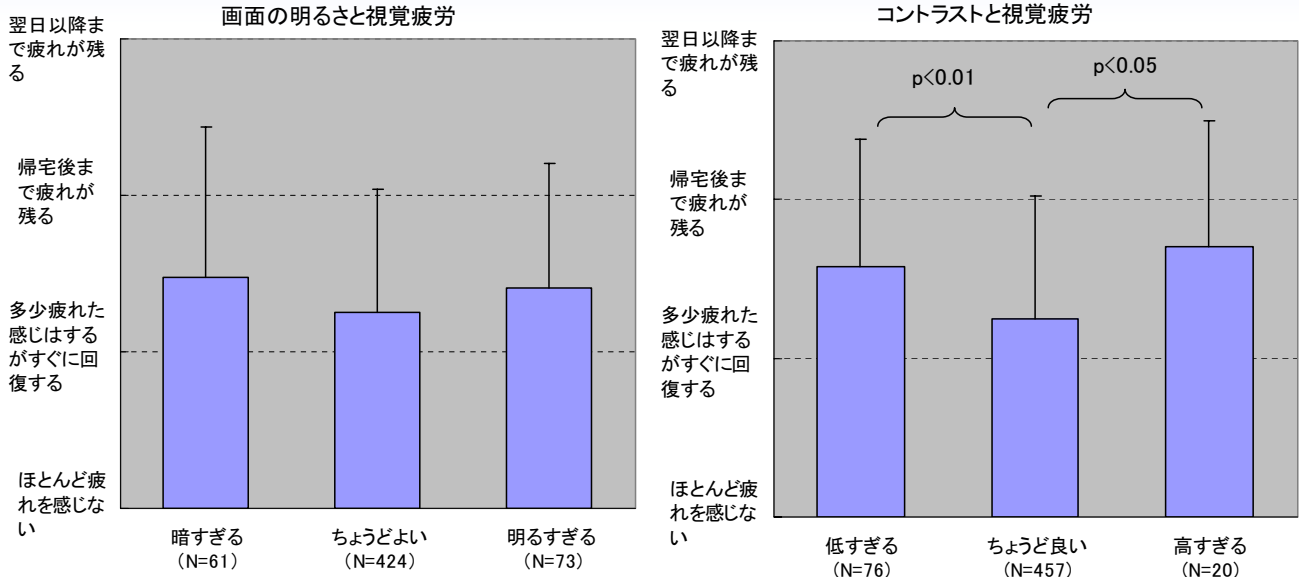
ディスプレイ作業時間の推移



2004年から家庭でのPC利用時間も聞き取っているが、多くの回答者が家庭でもPCを使用している。平均使用時間は約1時間、会社での使用を合計すると1日あたり平均7~8時間ディスプレイに向かっていることになる。2002年度までの延長傾向は一段落した。2002年までにPCがオフィスに一人1台でほぼ普及したと言えよう。CRTは2003年度以降サンプル数が少なく比較の対象とならないのでプロットしていない。

(1) LCDの高輝度・高コントラスト化の弊害

明るさ・コントラストと終業時の目の疲労感



使用しているディスプレイの明るさおよびコントラストの主観評価結果と終業時の目の疲労感を示す。いずれも、調節の重要性を示している。個々のユーザーと環境、タスクに適応した表示を実現する技術の重要性を示している。
能動的に光を発する電子ディスプレイと印刷紙面との究極の違いに起因する問題。

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

モニターLCDの表示輝度の現場測定

成蹊大学内の情報処理センターの8つの部屋に設置されたLCDモニター合計227台(センター全体では500台以上設置されている)の表示輝度を使用現場で測定した。同時に画面照度も測定した。



輝度の測定

TOPCON BM-3で、測定角2°

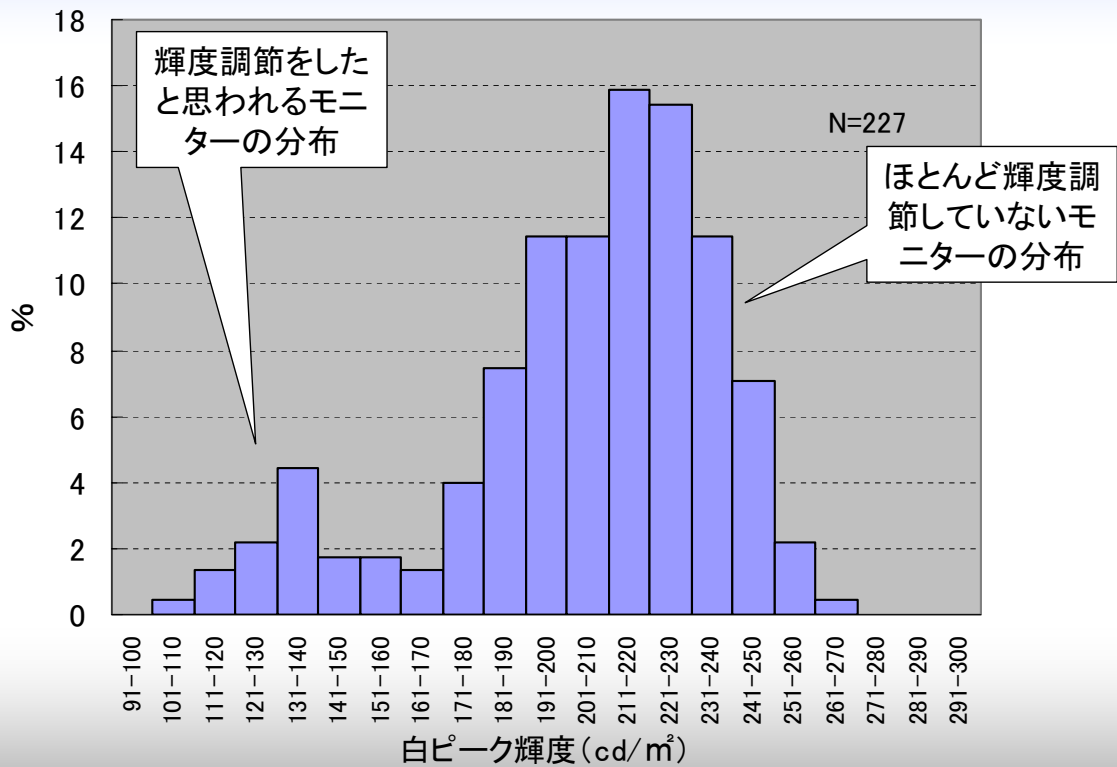


画面照度の測定

MINOLTA 色彩照度計 CL-200

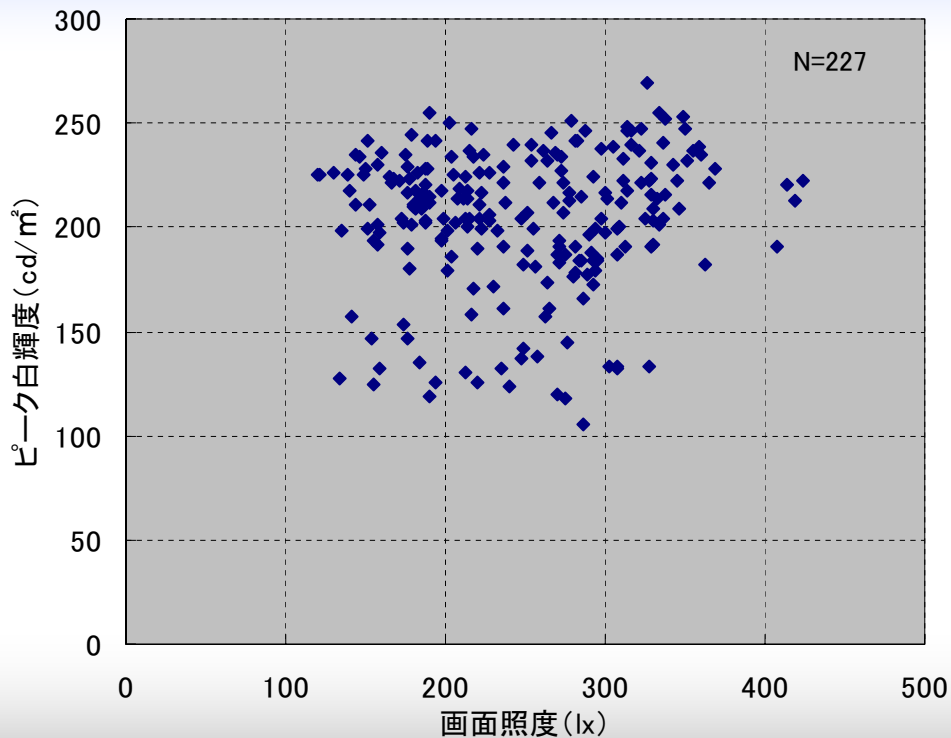
フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

227台のモニターLCDのピーク白輝度の現場測定値



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

227台のモニターLCDの画面照度とピーク白輝度



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

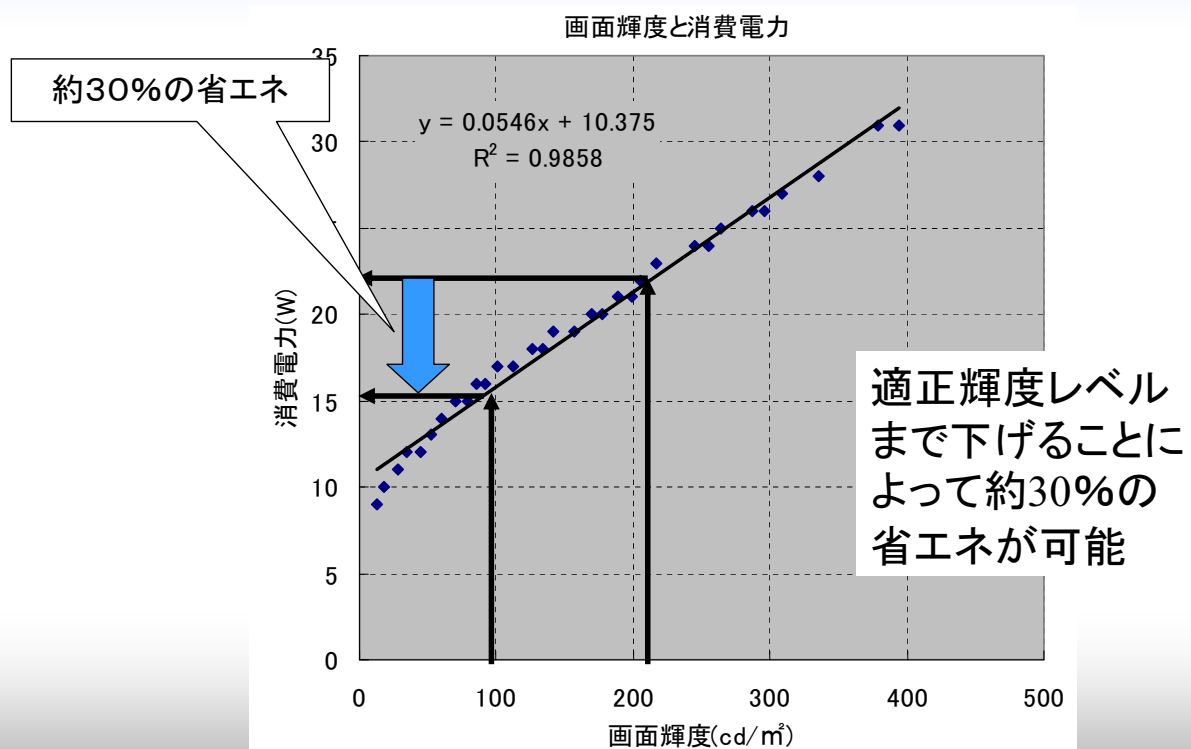
モニターの過度な輝度は写真撮影でも明らか



一番手前のモニターは環境に合わせて輝度を下げている. この席が一番うしろで照度が低く, たまらずに調節したユーザーがいたものと考えられる

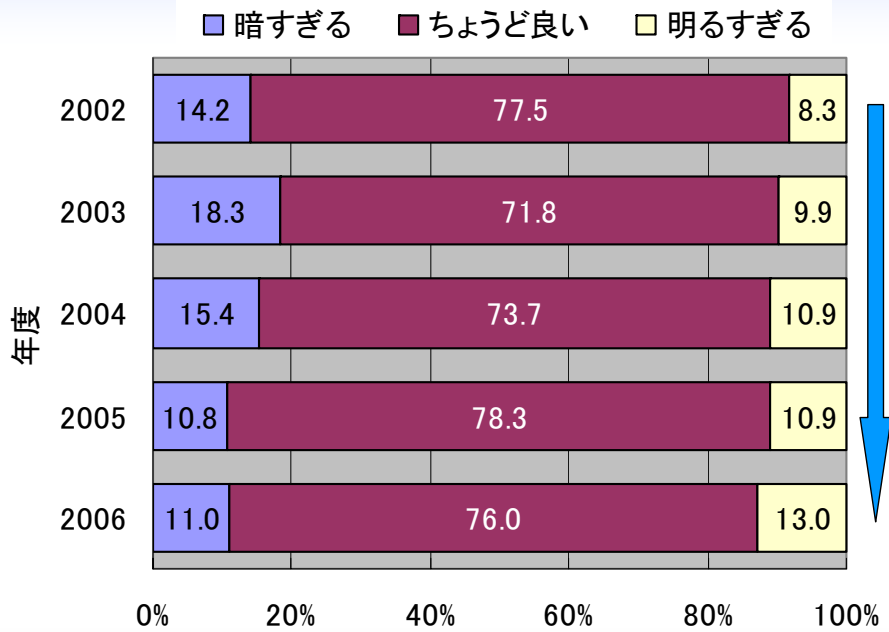
フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

表示輝度と消費電力(17型モニターLCD)



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

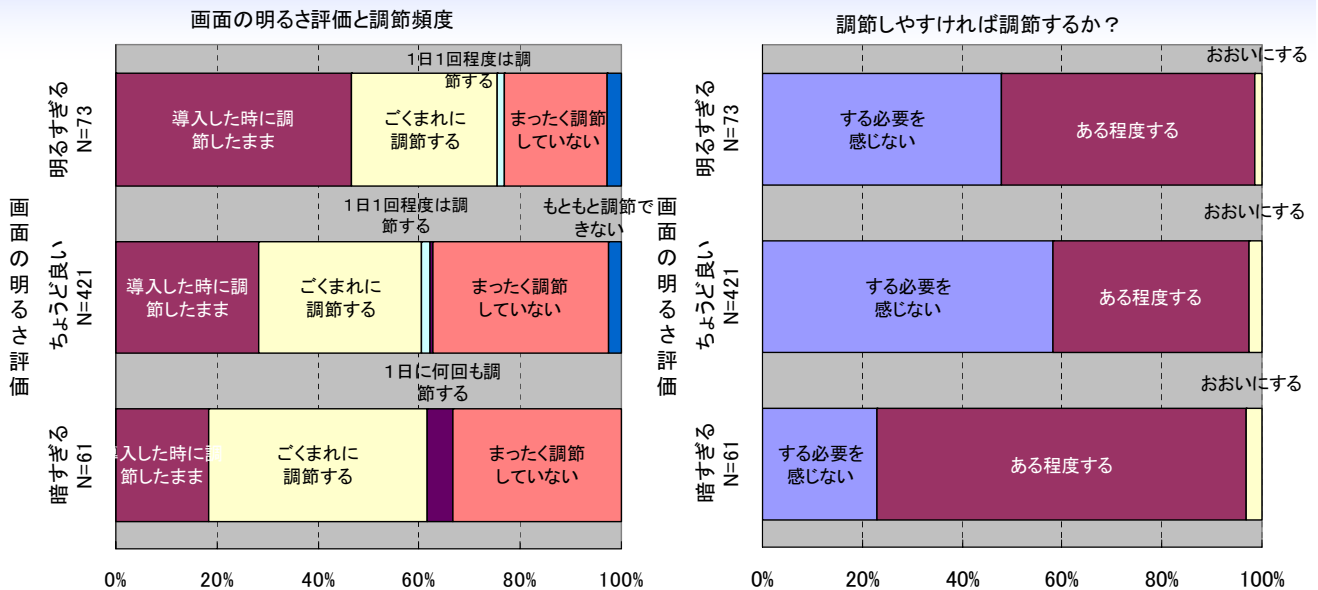
高輝度化の傾向



「暗すぎる」よりも「明るすぎる」が相対的に増加している。映像の表示に対応するため高輝度、高コントラスト化が加速する可能性がある。

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

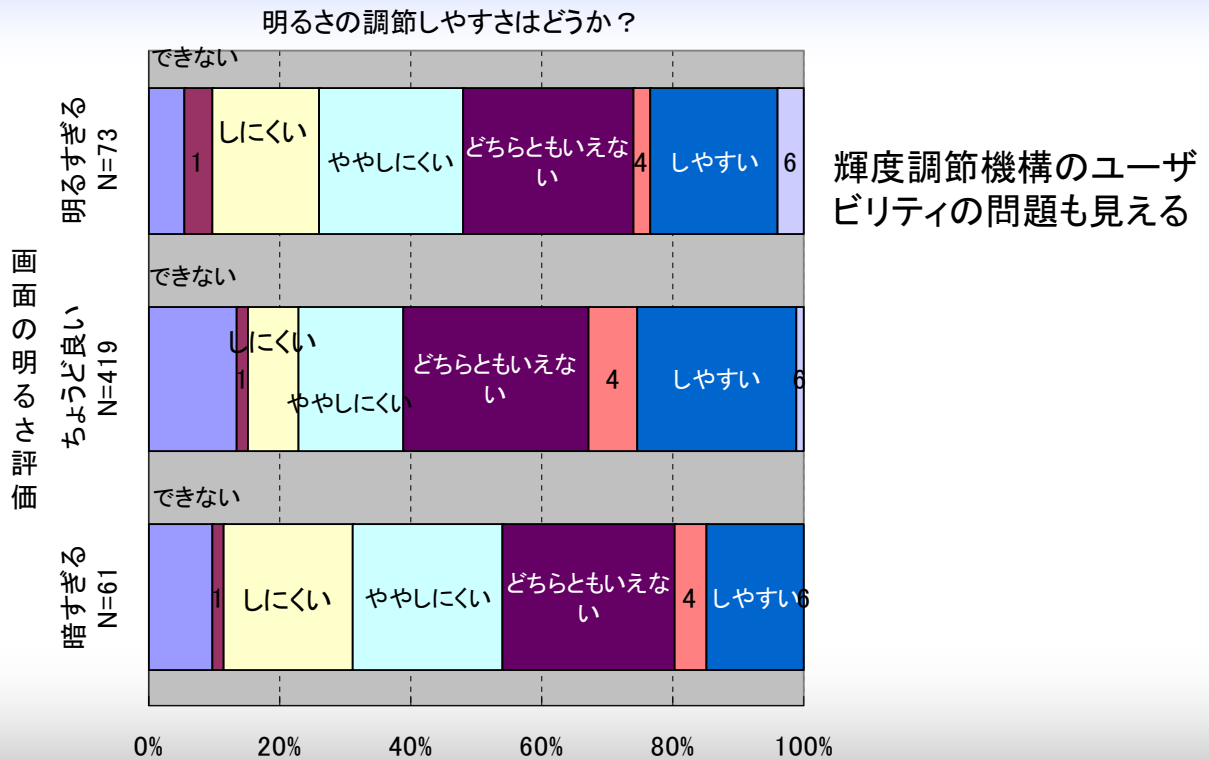
明るさの調節頻度と調節の必要性の認識度



左の図に示すように「導入したときのまま」のために明るすぎる状態で使用している実態が見える。右の図に示したようにユーザーもその重要性に気がついていない。電子ディスプレイと印刷紙面の根本的な違いに起因する問題である。

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

輝度調節のしやすさの評価



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

輝度調節機構のユーザビリティの問題



背面にオーディオボリュームと並んで配されており、後ろから至近距離で覗き込まないと区別がつかない。半分が埋め込まれているので回しにくい、これでユーザーに調節を促すのは酷である。

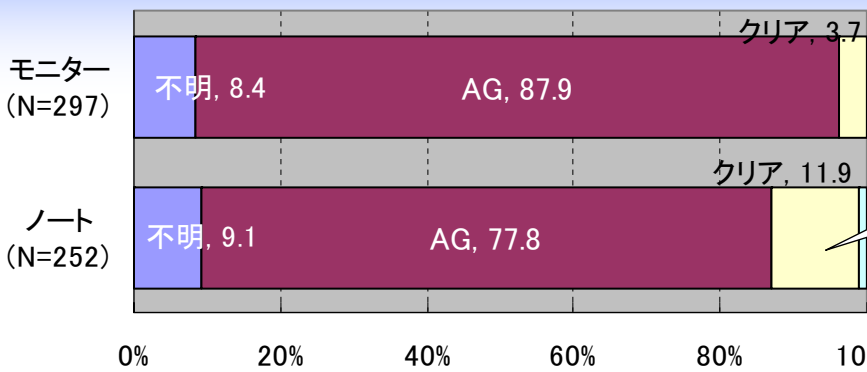
ユーザビリティを上げてユーザー自身が過度な輝度に気がついていない問題をどうするかが次の課題

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

(2) クリアパネルの普及による 反射グレア増加の問題

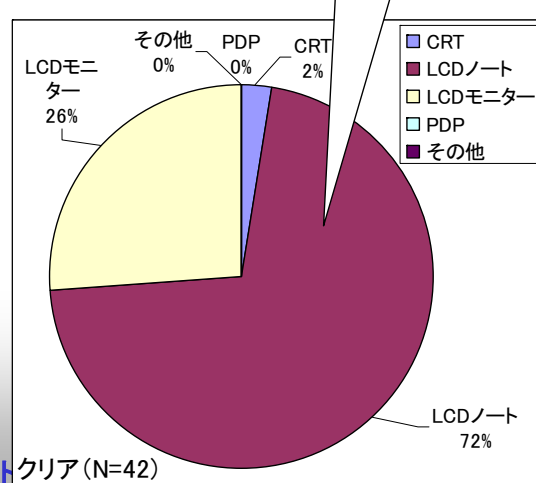
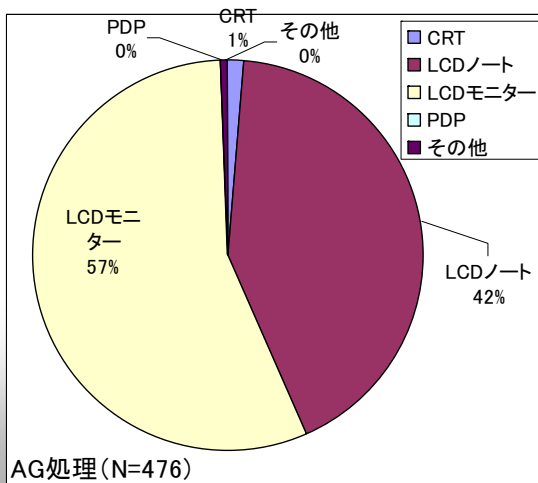
フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

クリアパネルの割合

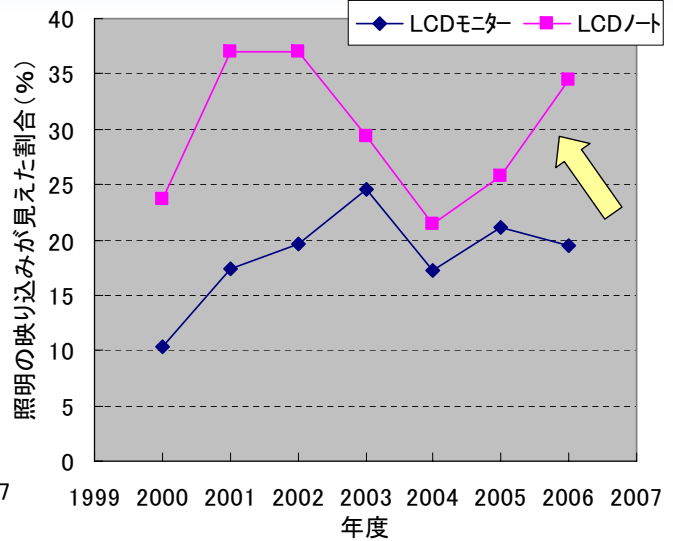
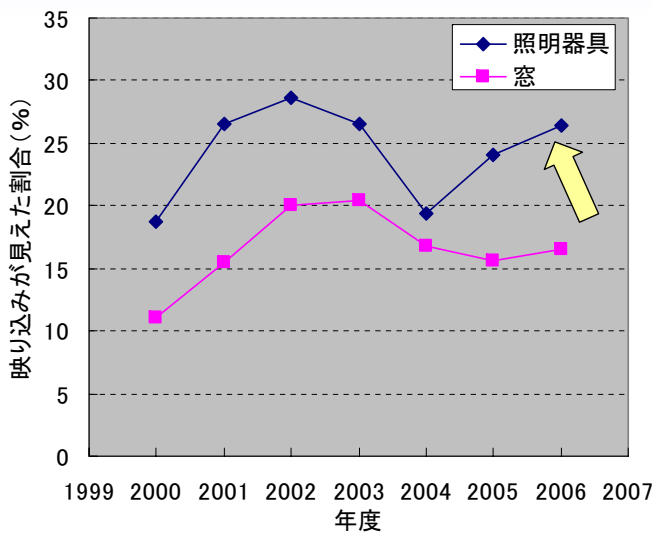


業務利用でもノートPCのクリアパネルは11.9%に達していることを意味する

クリアパネルの72%はノートPC



映り込みが見えた割合 年次変化



反射の問題が再燃しないか？

ノートPCにおけるクリアパネルの増加が照明器具の映り込みを明らかに増加させている。ノートPCはモニターより画面を上向きで使用するので、オフィスでは照明器具が映り込みやすい。

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

AGとクリアの視覚負担の比較

翌日以降まで疲れが残る

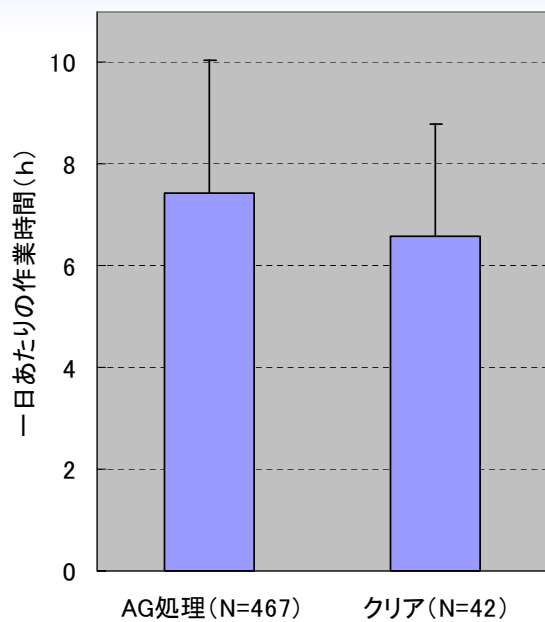
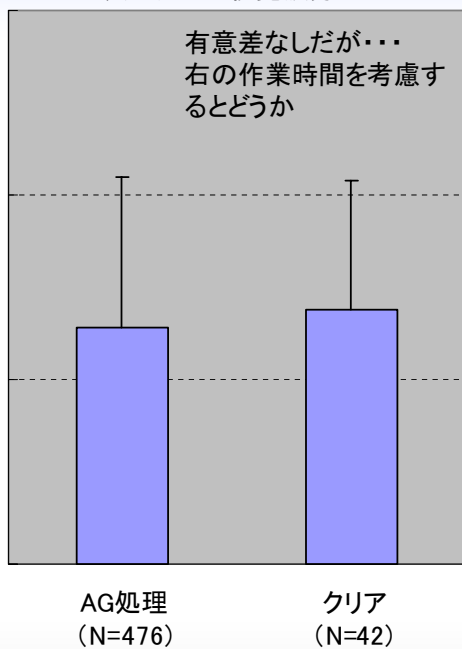
帰宅後まで疲れが残る

多少疲れた感じはするがすぐに回復する

ほとんど疲れを感じない

表面処理と視覚疲労

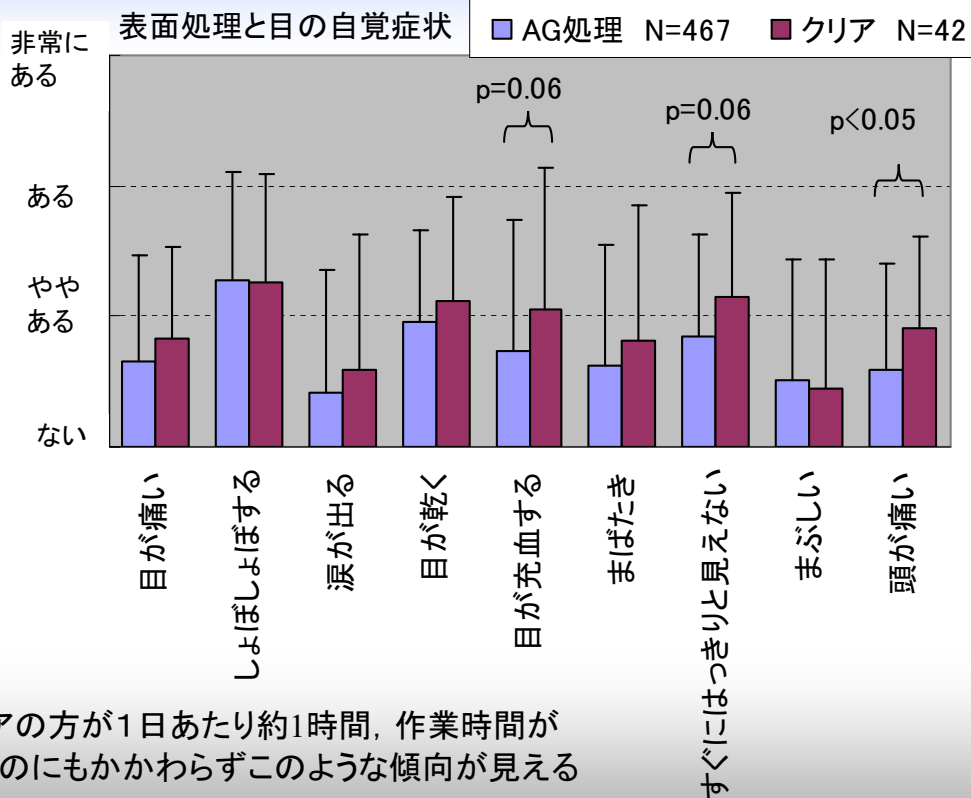
有意差なしだが...
右の作業時間を考慮するとどうか



右の図に示したように、クリアの方が約1時間作業時間が短いにもかかわらず平均値はAGより高い(統計的に有意ではないが)。

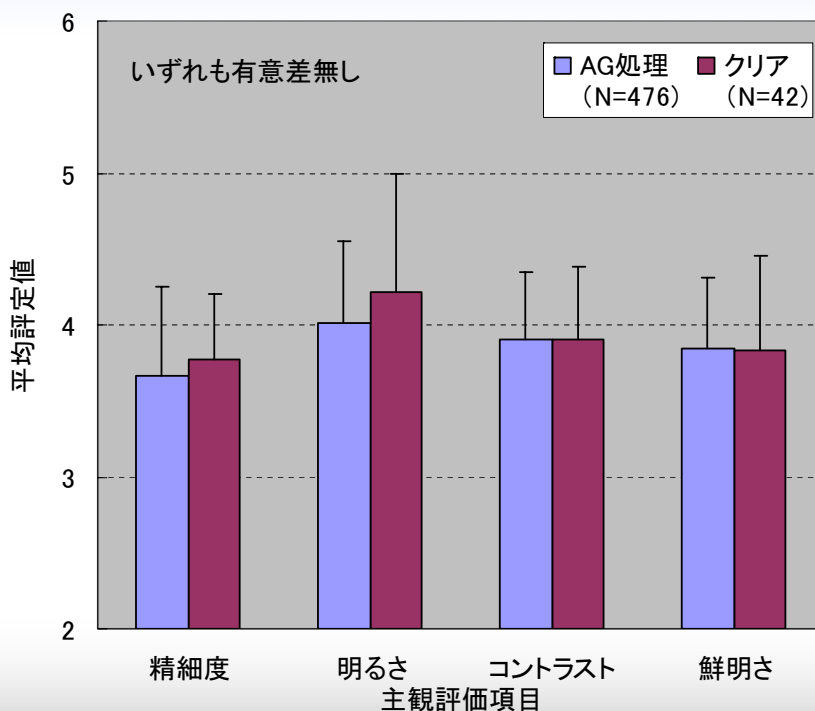
フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

AGとクリアによる目の症状



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

AGとクリアパネルの画質



クリアパネルは何のために？

家庭での利用はともかく、オフィスにクリアパネルのノートPCを普及させるのは理解しがたい。

ユーザーも映り込みの問題の重要性に気がついていないことが多いので、売れば良いというメーカーの姿勢が問われる。

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

2. APL, 観視者の年齢, 照明環境を考慮した FPDの最適輝度制御

(1) テレビ映像とPC画像の平均輝度レベル

(ALL: Average Luminance Level)

(2) ALLの関数としての最適輝度

(3) 各種ディスプレイのピーク白輝度のALL依存性

(4) 知覚される黒レベルのALL依存性

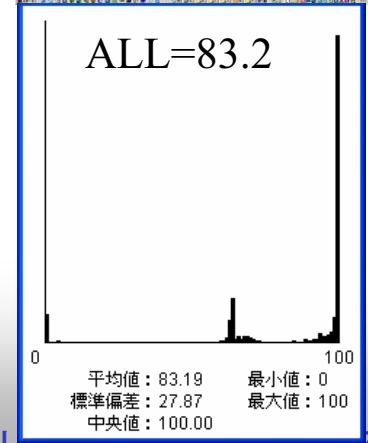
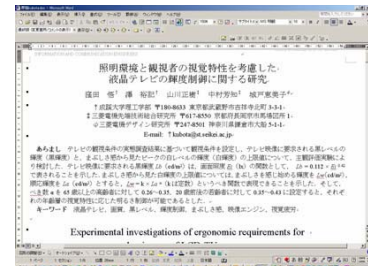
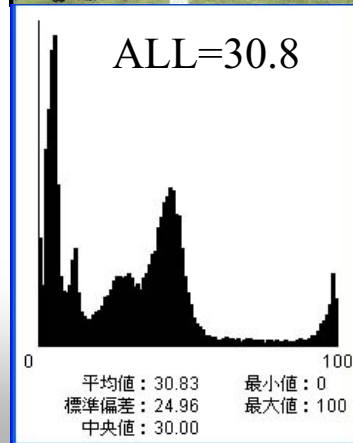
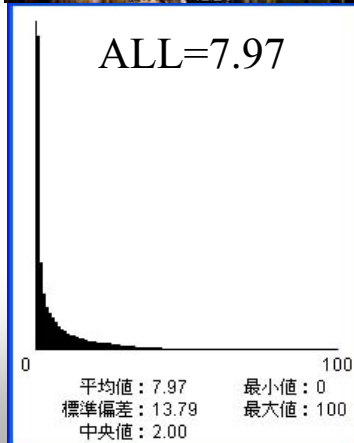
(5) ディスプレイの輝度のダイナミックレンジと

コントラスト比

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

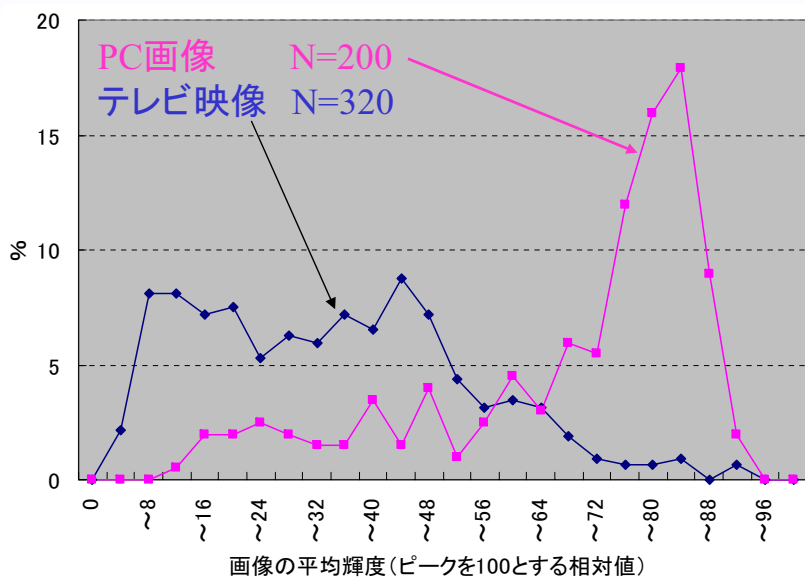
(1) テレビ映像とPC画像のALL

(Average Luminance Level)
$$ALL = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \left(\frac{Y(i, j)}{255} \right)^{2.2} \times 100$$



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

テレビ映像とPC画像のALL

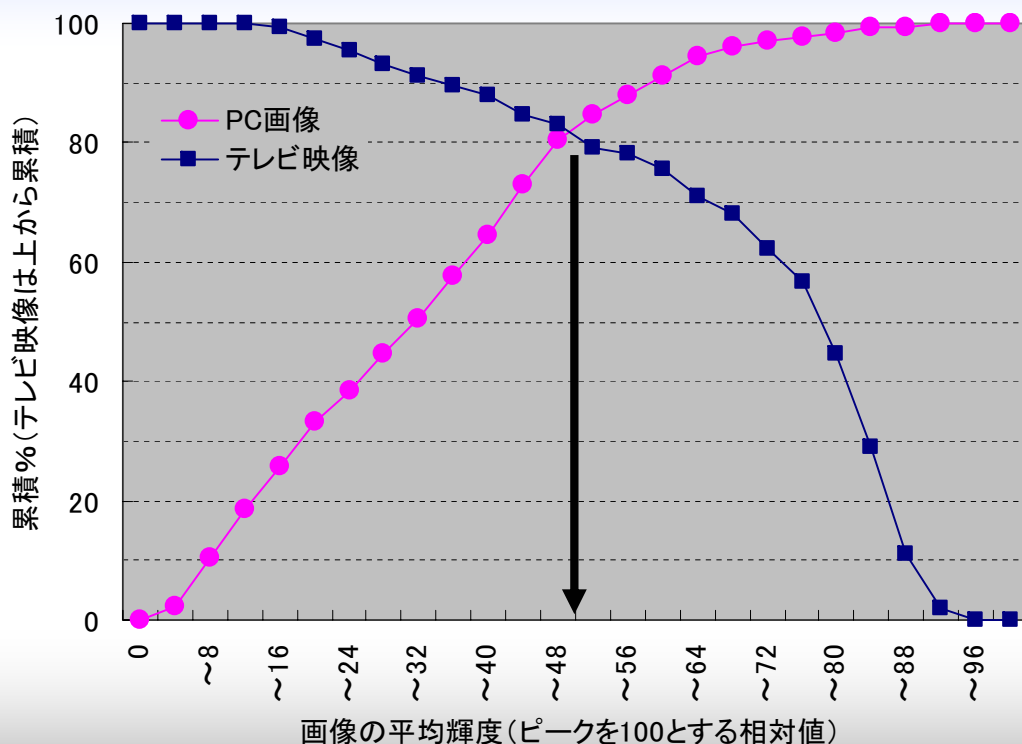


PC画面については、4名のPCユーザーによって、普段使う可能性の高い画面を、一人当たり50フレーム、合計200フレームをサンプリングして、JPEG保存して輝度情報を解析した。テレビ映像については、中村ら(5)、野本ら(6)が分類解析に用いた映像を、2名の分析者が映像を再生しながら、それぞれのコンテンツで典型的と思われるフレームを合計320フレームサンプリングした。これらをJPEG保存して輝度情報を解析した。

$$ALL = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \left(\frac{Y(i, j)}{255} \right)^{2.2} \times 100$$

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

テレビ映像とPC画像のALLの違い



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

(2) ALLの関数としての最適輝度

実験方法

- ① 実験に用いたディスプレイ
17型LCDモニター(SXGA, TNモード, コントラスト比 1000 : 1, 輝度調整範囲20~400cd/m², 相関色温度6500K)
- ② 被験者
若年者20名 (平均21.3歳)
高齢者24名 (平均68.9歳)
- ③ 画面照度 100 lx, 300 lx
- ④ ALLの異なる36種類の画像の主観的な最適輝度をLCDのバックライトの自己調整により求める
- ⑤ 調整の基準
「最も見やすく,画質がよく,長時間見ても疲れない」

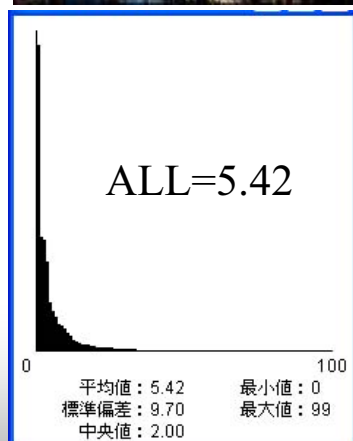


実験風景

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

実験に用いたALLの異なる36画像の例

ユニバーサル・ピクチャーズ・ジャパン:
恋に落ちたシェークスピアより



ソニー・ピクチャーズ・エンターテインメント:
スパイダーマンより

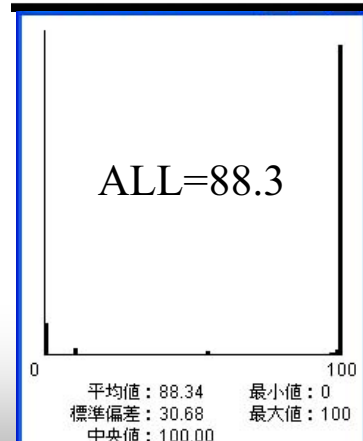


実験方法

- 被験者3人に液晶で高輝度条件を実験室内で再現して, 15条件の, 明るさ感, 眩しさ感の評価してもらいました。

実験環境

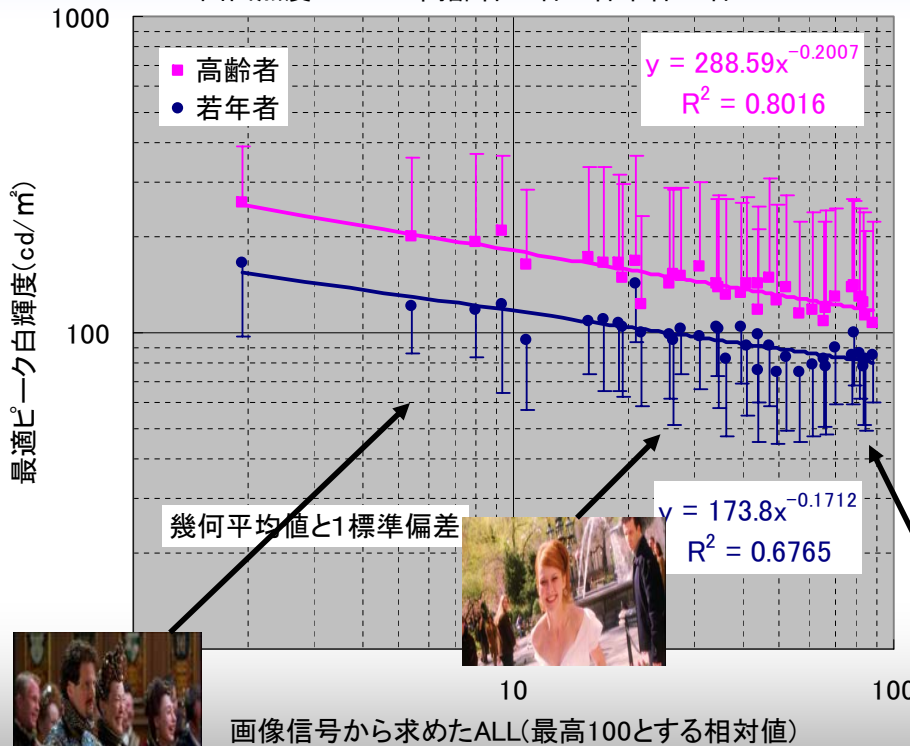
- 視覚サイズ 20°
- 刺激の提示時間 0.5秒
- 画面照度 100lx



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

画像のALLと最適ピーク白輝度との関係(100lx)

画面照度 100 lx: 高齢者24名vs若年者20名



$$L_p = k \times ALL^\alpha$$

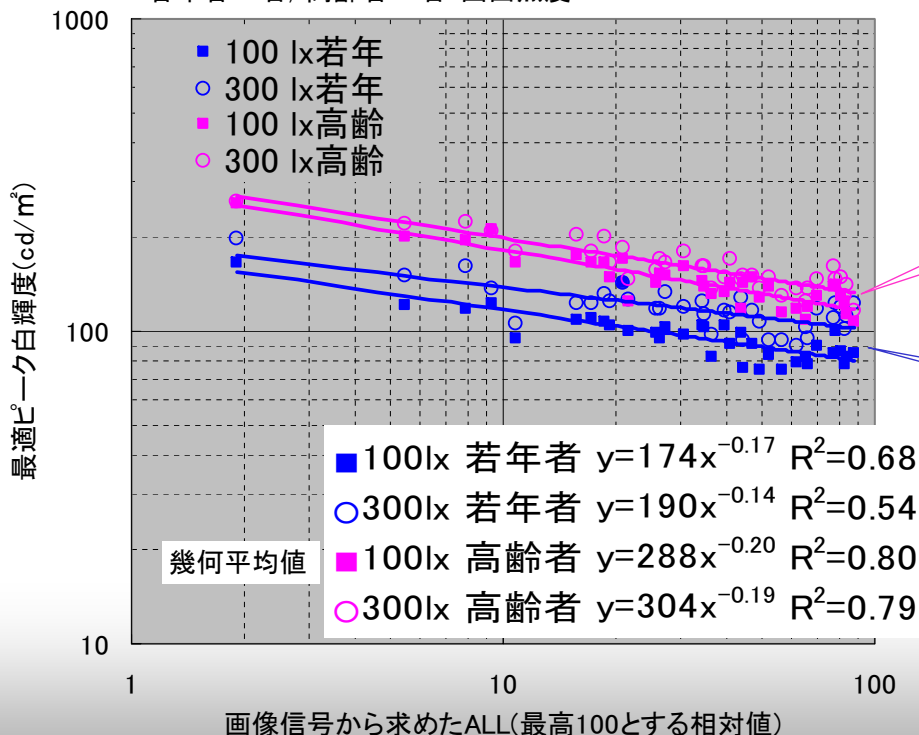
- L_p = 主観的に最適なピーク白輝度(cd/m^2)
- ALL = 平均輝度レベル(最高を100とする相対値)
- k と α は、照明環境や被験者の年齢によって異なる係数.

実験方法
 ① 被験者5人に液晶で高輝度条件を体験してもらい、その際の、感じる眩しさを評価してもらいました。
 実験環境
 ② 観察サイズ 20"
 ③ 画像の提示時間 0.5秒
 ④ 画面照度 100lx

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

画像のALLと最適ピーク白輝度との関係

若年者20名, 高齢者24名: 画面照度 100 lx vs 300 lx

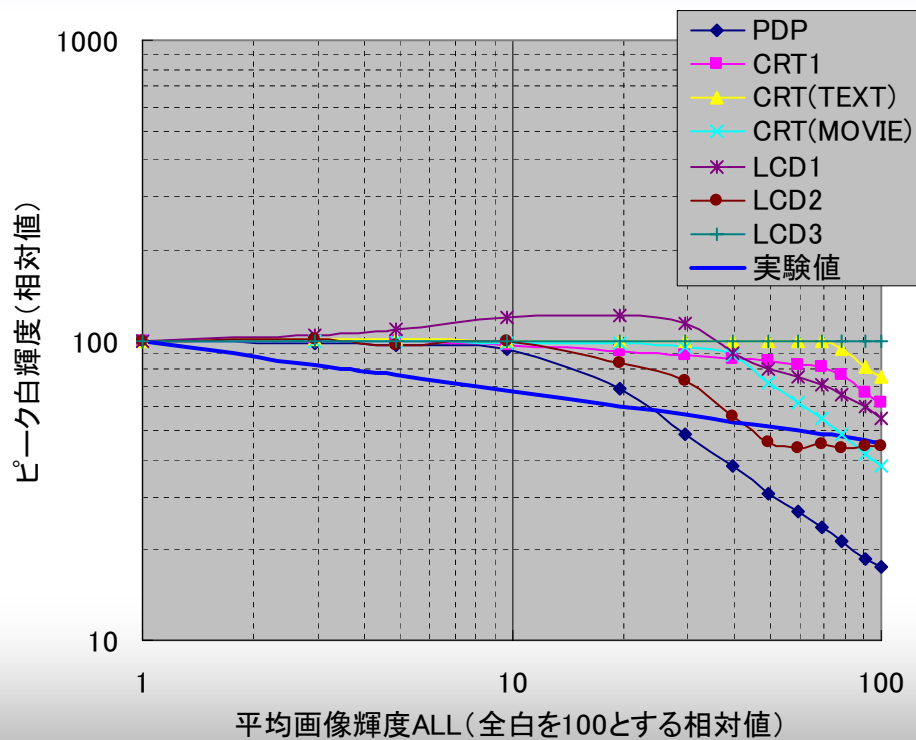


高齢者群

若年者群

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

(3) 各種ディスプレイのピーク白輝度のALL依存性

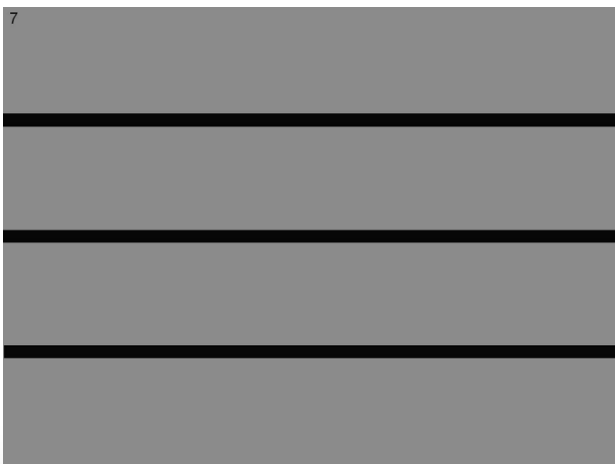


フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

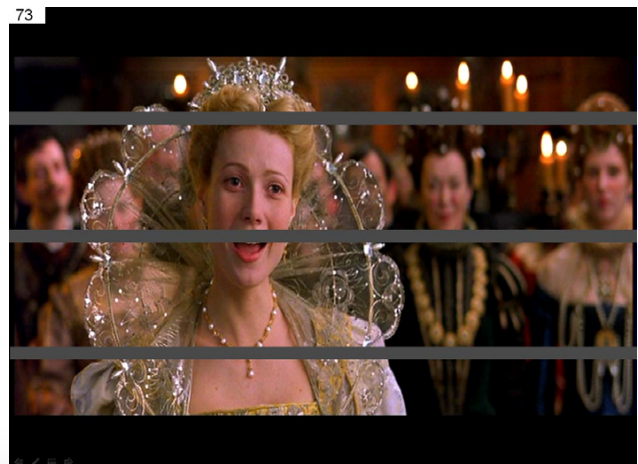
(4) 知覚される黒レベルのALL依存性

実験方法

各画像には、下図に示したように視角0.5° 幅の黒のストライプを3本表示し、被験者にこのストライプの輝度を黒に知覚される限界レベル(黒浮きしない黒)に調節させた。被験者は3本のストライプを常に目でスキャンしながら調節した。調節は被験者の手元のマウスのホイールを回転させておこなった。



背景一様な画像の例

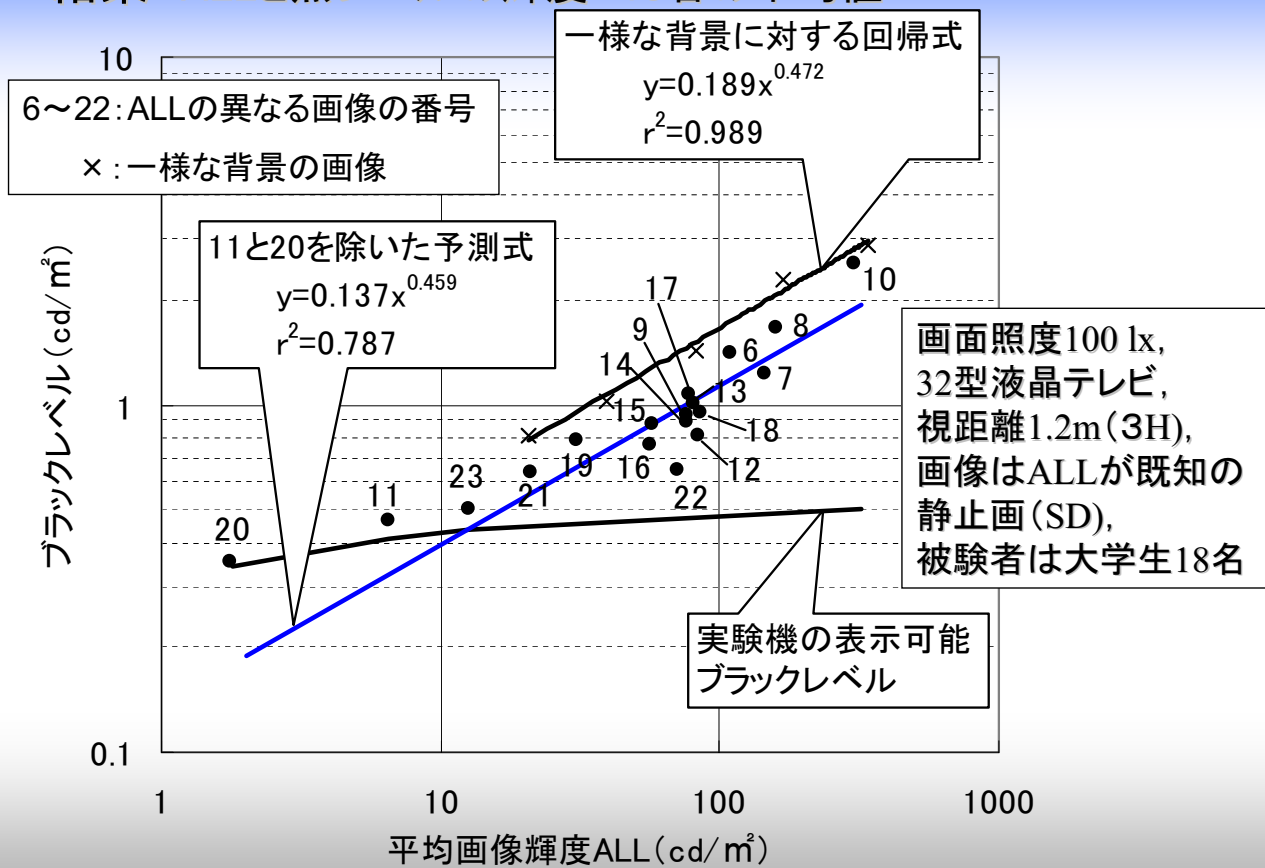


実際の映像を用いた画像の例

ユニバーサル・ピクチャーズ・ジャパン: 恋に落ちたシェークスピアより

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

結果 ALLと黒レベルの輝度 18名の平均値



フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

(5) ディスプレイの輝度のダイナミックレンジとコントラスト比

次の表はこれまでの実験結果から画面照度 1 ~ 1,000 lx (ほぼ暗室から量販店の店頭レベル) において、黒浮きしない黒レベルを満たし、同時にピーク白の要求を満たす条件を試算した結果である。ピーク白については、まぶしさ感の実験(4)におけるモデルのべき数を0.35乗とし、家庭の平均画面照度(3)100 lxで300cd/m²とした。100 lxで300cd/m²は実態調査に基づきCRTテレビの家庭での平均250cd/m²の2割増しに操作的に設定したものである。このモデルにおいて、ほぼ暗室におけるピーク白は、60cd/m²となり、映画のピーク白の規格に近く、概ね妥当なモデルと考えられる。

F列に示したように、店頭(画面照度1,000 lx)から暗室(画面照度1 lx)までをバックライト制御なしでカバーするためには約6000:1のダイナミックレンジが必要である。店頭から家庭の10パーセントイルまでの範囲であれば概ね1200:1で要求値を満たすことができる。ただし、映像のALLの下限が実験で用いた花火が前提である。ALLがさらに低い映像ではさらに広いダイナミックレンジが求められる。

今後はコンテンツと要求される輝度特性との関係、視聴環境と輝度特性との関係をさらに検討していく必要がある。画像の輝度分布からのコンテンツ分類(5), (6), 輝度順応レベルと明るさ感(7),(11), 視聴環境と表示特性(3),(8), APLと最適輝度(2)(10)(11)などがすでに検討されている。さらには高齢者や子供の視覚特性・行動特性を考慮したテレビの設計(2),(4),(9)が求められる。

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007

ディスプレイの輝度のダイナミックレンジとコントラスト比

		A	B*	C**	D***	E	F	
視聴環境条件		画面照度 E_i (lx)	視野の 平均輝度 L_a (cd/m ²)	白輝度 $L_a^{0.35}$ (cd/m ²)	要求黒レ ベルの実 験値 L_b (cd/m ²)	コントラ スト比 CR C/D	バックライト制御をしない場合にLCDパネルに要求される輝度のダイナミックレンジ, すなわち↔の範囲をカバーするために必要なコントラスト比	
		1	ほぼ暗室	1	0.1	60	0.11	534
2		2	0.2	76	0.15	509		
3		5	0.5	105	0.22	477	↑	3050 C_{10}/D_3
4		10	1	134	0.29	455	↑	
5		20	2	171	0.39	433	↑	1704 C_{10}/D_5
6	家庭の10%tile	50	5	235	0.58	406	↑	1160 C_{10}/D_6
7	家庭の平均	100	10	300	0.77	387	↑	867 C_{10}/D_7
8	家庭の90%tile	200	20	382	1.04	369	↑	
9	↑	500	50	527	1.52	346	↑	
10	量販店 ↓	1000	100	672	2.04	330	↓	330 C_{10}/D_{10}
B*		観視環境の実態調査(文献(4))に基づく, 画面照度 × 0.1						
C**		まぶしさの実験(文献(4))から得られたべき乗値を用い, 家庭の平均的環境で300cd/m ² に合わせた値, 300cd/m ² はCRTの1%パッチの実測値より2割高い輝度, この範囲でひとつのべき関数が成立するという前提, 視野の平均輝度 L_a の0.35乗とした場合						
D***		黒輝度の実験(文献(4))による黒レベル						

まとめに代えて

- ① ユーザー自身も問題に気がついていないことが多いので潜在的な問題を縦断的な研究で顕在化させていく必要がある
- ② APL, コンテンツ, 観視環境, 利用者の視覚特性を総合的にとらえた視覚負担の少ない輝度制御が必要である
- ③ ディスプレイに要求される輝度のダイナミックレンジと特定の画像における輝度のコントラスト比は当然のことながら分けて考える必要がある
- ④ 映像信号の送出側からリビングやオフィスにおける観視環境までを視野に入れた横断的な研究が必要である
- ⑤ 将来的なディスプレイの大型化では環境の中に存在するディスプレイから環境を創出するディスプレイになると予想されるので新たな視座が必要だろう

参考文献

- (1)窪田：コンピュータディスプレイのユーザー評価
<http://amadeus.is.seikei.ac.jp/~kubota/>， 2000-2006
- (2)窪田，羽原，中村，山川，野本，城戸：平均画像レベル，観視者の年齢，照明環境を考慮した液晶ディスプレイの輝度制御に関する研究，信学技報（ヒューマンインフォメーション研究会，メディア工学，映像表現&コンピュータグラフィックス合同研究会），北海道大学， 2007.2.23
- (3)窪田，嶋田，岡田，中村，城戸：家庭におけるテレビの観視条件，映像情報メディア学会誌， 60巻， 4号， pp.597-603， 2006.4
- (4)窪田，澤，山川，中村，城戸：照明環境と観視者の視覚特性を考慮した液晶テレビの輝度制御に関する研究，信学技報， Vol.105， No.608， 2006
- (5)中村，山川：輝度ヒストグラムによるコンテンツ分類の検討，信学技報， Vol.105， No.608， 2006
- (6)野本，城戸，中村，早川：テレビ番組と所望される画質との関係の感性モデル，信学技報， SIS2005-68， pp.49-54， 2006.3
- (7)Kimura et al. : New Technologies for Large-Sized High-Quality LCD TV, SID 05, Digest, pp.1734-1737, May 2005.
- (8)Fujine et al. : “Real-Life In-Home Viewing Conditions for FPDs and Statistical Characteristics of Broadcast Video Signal” , AM-FPD 2006, 2006
- (9)窪田，山川，中村，野本，城戸：子供のテレビ視聴距離，映像情報メディア学会誌， 61巻， 2号， pp.234-236， 2007.2
- (10)Segler et. al.,” The Importance of Contrast and its Effect on Image Quality,” SMPTE Motion Imaging, Vol.111, No.11, pp.533-540, 2000
- (11)窪田：FPDテレビに求められる人間工学的条件，FPDインターナショナル2006

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム2007