

画素密度は果たしてどこまで必要か？

窪田 悟

エルゴデザイン研究所

<http://www.kubota-labo.com>

DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」

DC EXPO 2014

1

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」 2014.10.24

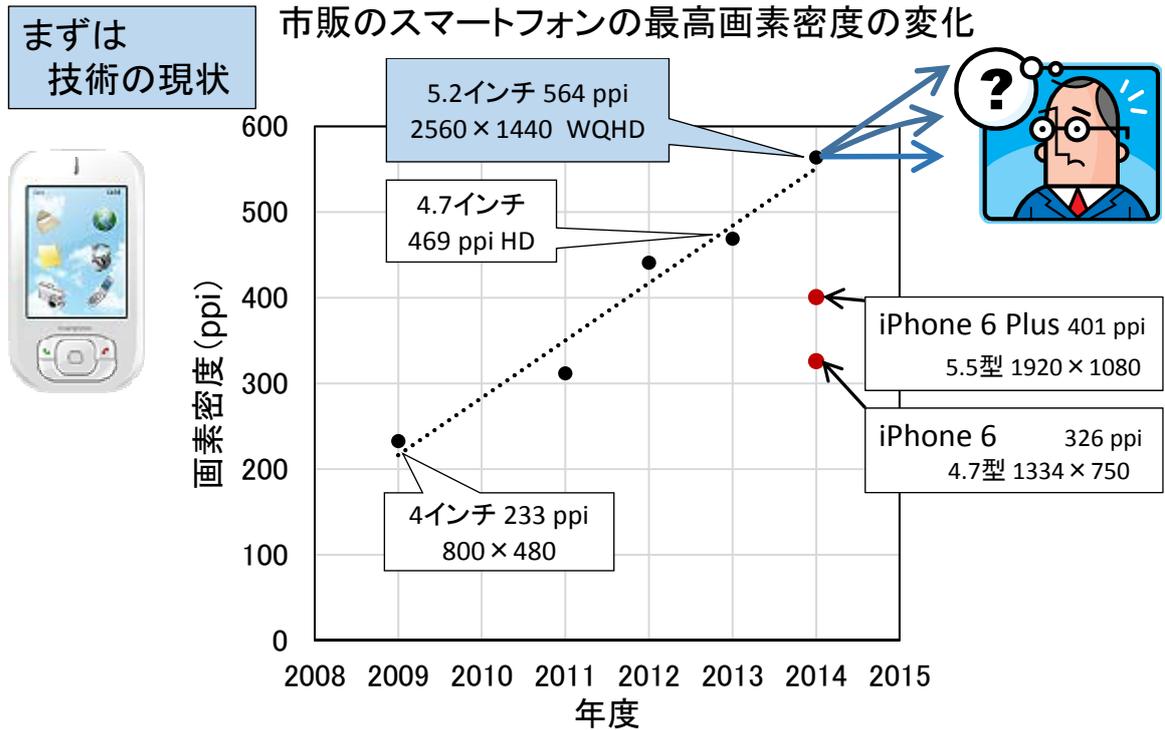
画素密度は果たしてどこまで必要か？

1. はじめに：スマートフォンの画素密度の変化
2. 画素数，画素密度，視距離，角解像度の関係
3. スマートフォンとテレビに要求される画素密度
4. 画素密度の要件に対する新たな視点
5. ディスプレイの高画素数化の価値は
アプリケーションと使用方法に依存
6. まとめ：アプリケーション別の画素密度の要件

2

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」 2014.10.24

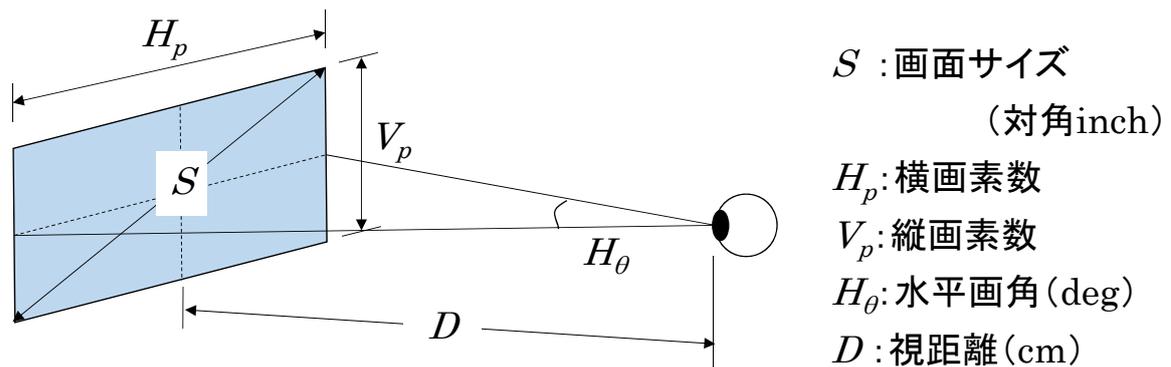
1. はじめに 電子ディスプレイの人間中心設計の視点からいただいたお題への回答を試みたい



3

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」 2014.10.24

2. 画素数, 画素密度, 視距離, 角解像度の関係



画素密度の要件に対しては視距離と視力が支配要因

画素密度 (pixels per inch) Pixel Density

$$PD_{ppi} = \sqrt{H_p^2 + V_p^2} / S$$

1 inch 当たりの画素数

角画素密度 (pixels per degree) Angular Pixel Density

$$PD_{ppd} = H_p / H_\theta$$

$$= 1 / \tan^{-1}((2.54 / PD_{ppi}) / D)$$

視角1° 当たりの画素数

角解像度 (cycles per degree) Angular Resolution

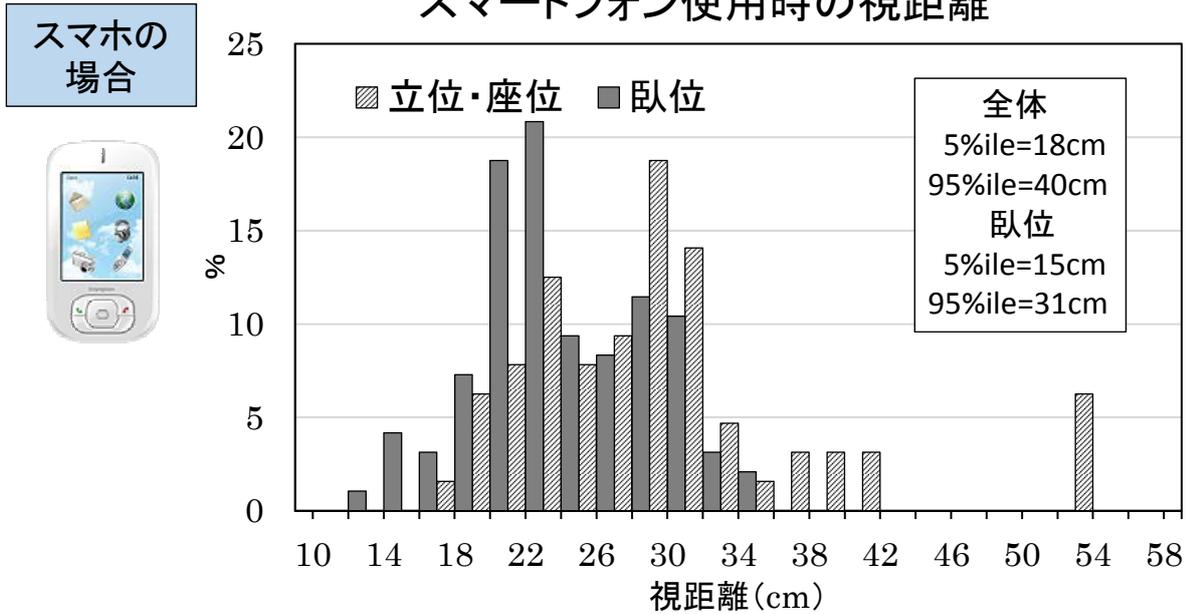
$$PD_{cpd} = PD_{ppd} / 2$$

4

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」 2014.10.24

3. スマートフォンとテレビに要求される画素密度

スマートフォン使用時の視距離



LINE画面を読み取り時の32名の大学生の視距離

家庭のテレビ視聴距離のほぼ1/10, すなわち

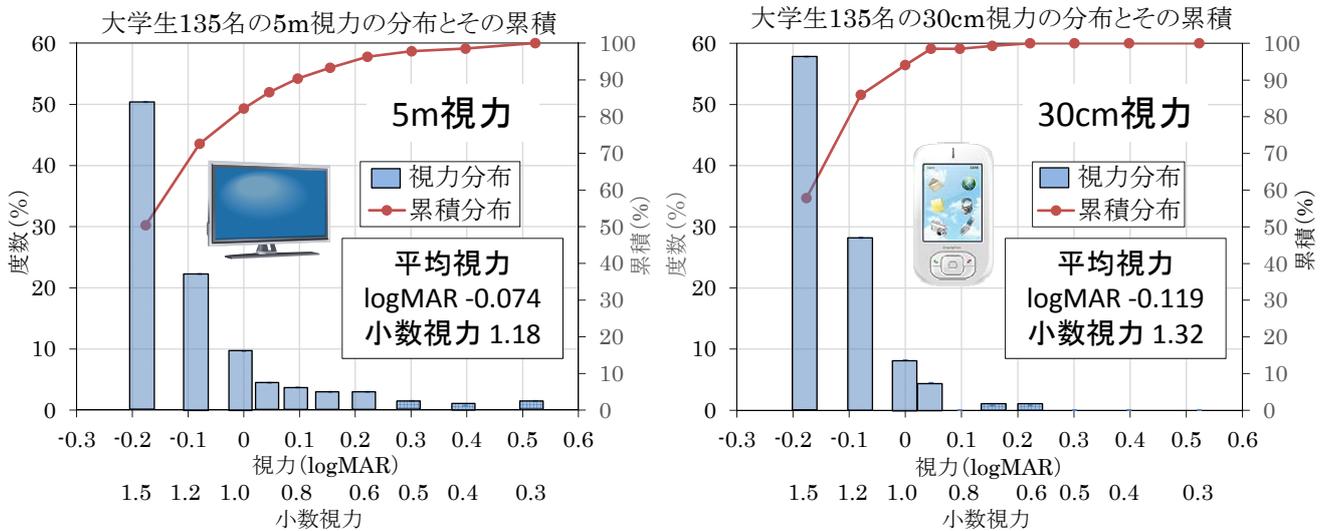
4型のスマホ画面の画角は、家庭の40型のテレビの画角に匹敵する

窪田ほか: 日本人間工学会第55回大会, 2014

大学生135名の視力

TopconスクリノスコープSS-3で測定 (ランドルト環視力)

参加者のスクリーニングなし, 日常矯正視力

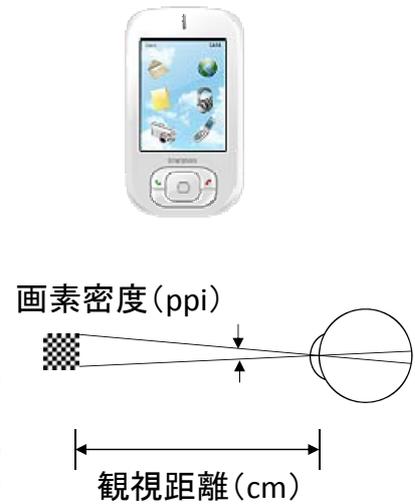
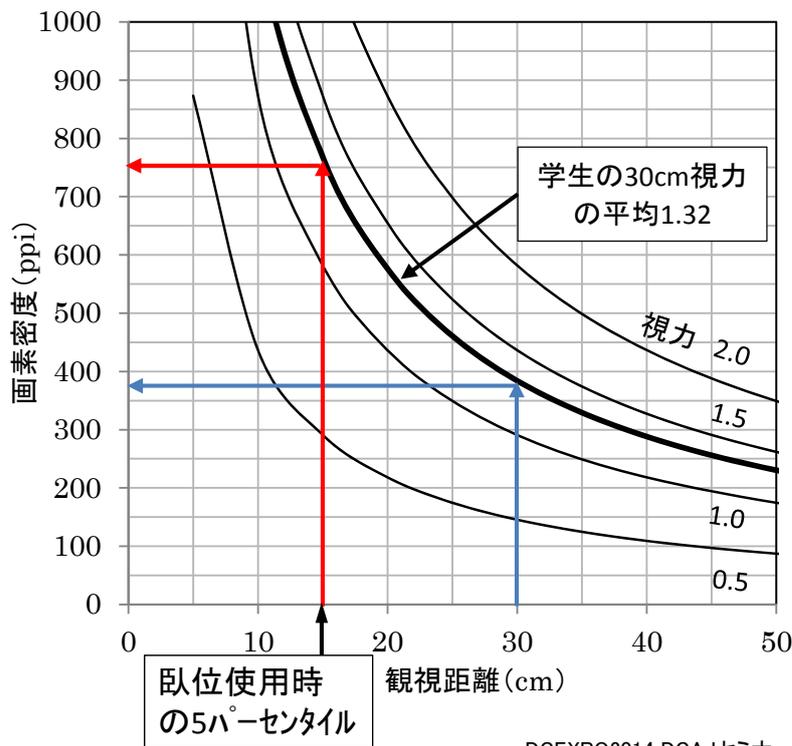


一応テレビの場合は5m視力, スマホの場合は30cm視力で考える

分布の低い方の裾だけを表していないか? 網膜の錐体密度だけで考えると2.0~2.5 (-0.3~-0.4logMAR)とされる.

視距離と画素密度に対する視力別の画素の可視閾

大学生の近距離視力とスマートフォンの視距離を対象とする

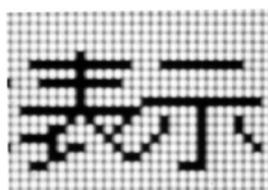


7

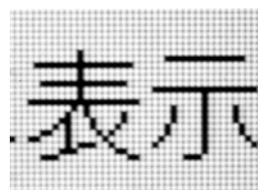
DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」 2014.10.24

画素密度と文字表示品質との関係

文字サイズ
実寸約3mm



100ppi



150ppi



実験方法

銀塩ポジフィルムによる
超高画素密度の擬似LCDを作成

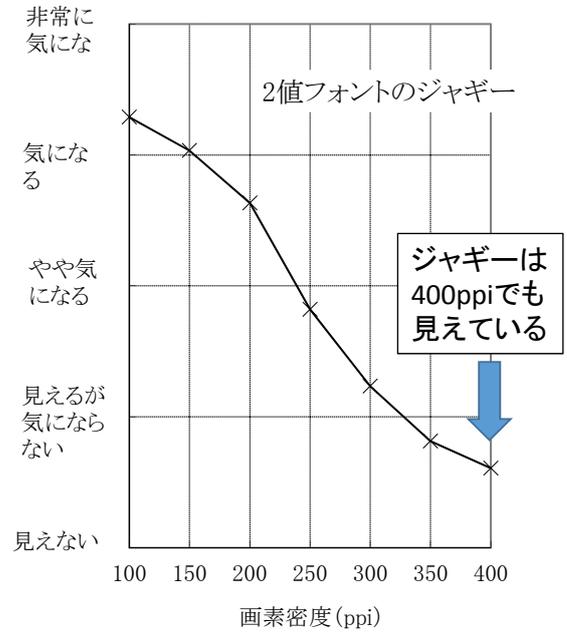
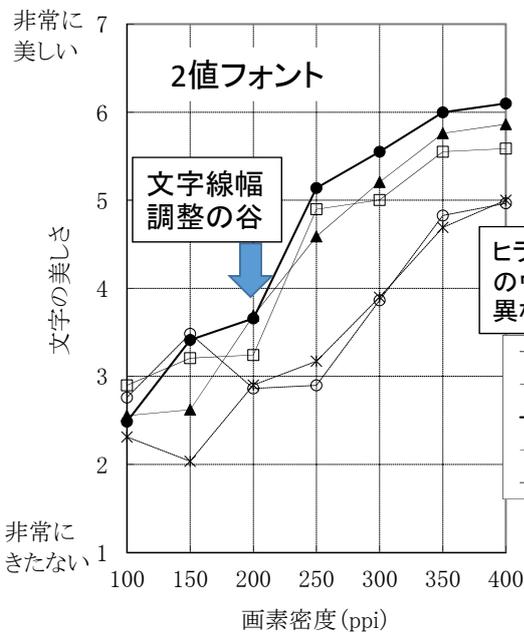
1. 中判カメラで実際のLCDを異なる倍率で撮影
2. 現像されたポジフィルムをバックライトに載せると透過型LCDになる



フィルムシミュレーションで100~400ppiの画素密度の表示を実現

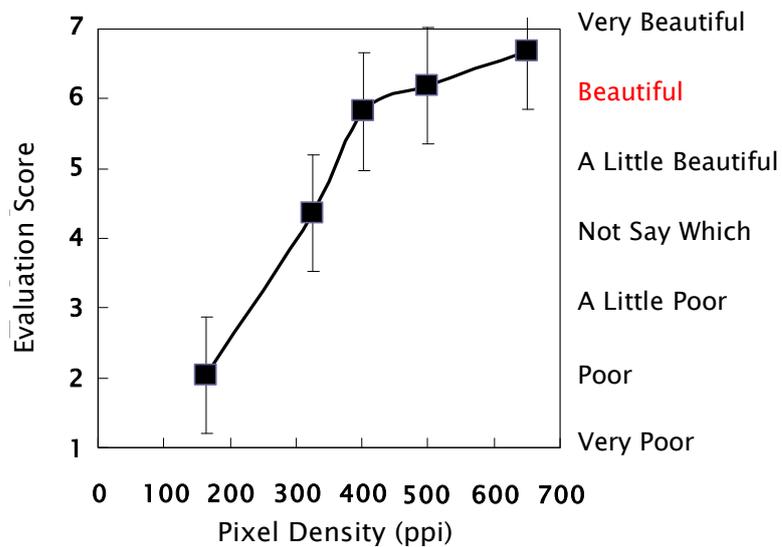
30名の学生による主観評価

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」 2014.10.24



窪田ほか:映像情報メディア学会誌, 60巻, 3号, 2006.3

3mmの文字, 視距離30cm固定における実験結果
最近のスマートフォンでは1.5mmの文字を15cmで見ること
少なからずあるので, さらに高い画素密度が必要となる



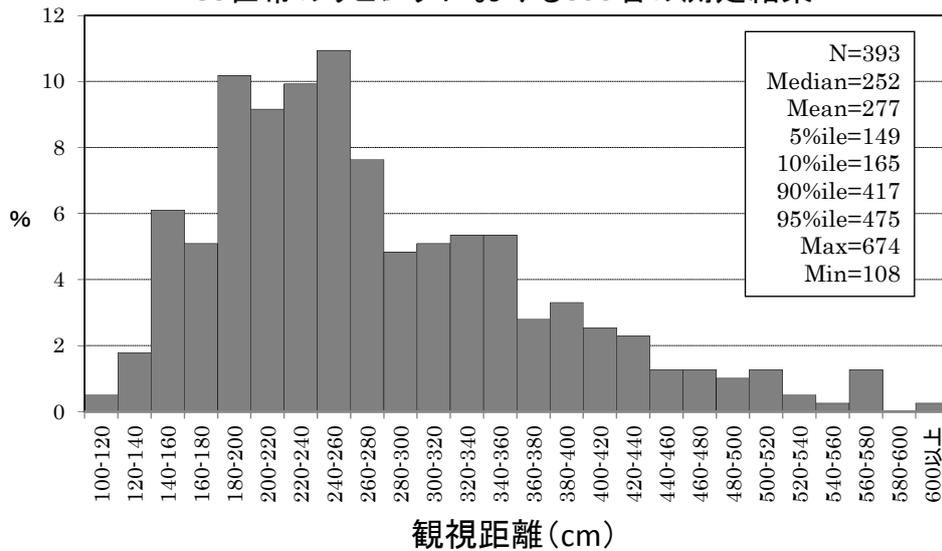
Correlation between pixel density and evaluated score for the beautyfulness

Yuzo Hisatake et al. (Japan Display), SID 2012 P-145L

試作した小型LCDでの主観評価実験
 日本語(秀英体)を表示して22名で評価した結果
 視距離25cm, 2mmと3mmのアンチエイリアスフォントを使用

テレビの場合

家庭におけるテレビの観視距離 83世帯のリビングにおける393名の測定結果

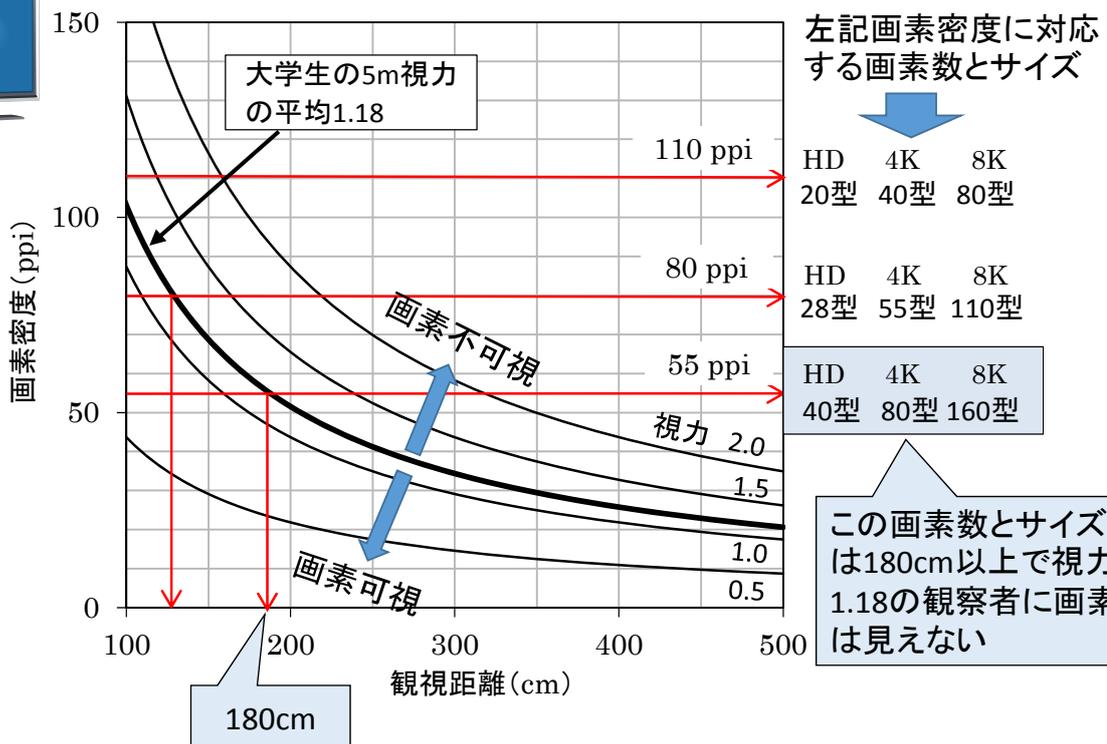


前の図に示した大学生のスマホの視聴距離のほぼ10倍
 テレビの視聴距離を決めている支配的要因は、ソファや椅子などの家具
 の位置である。画面サイズ、画素密度、部屋の大きさは無関係。

窪田ほか：映像情報メディア学会誌，65巻，8号，2011より

視距離と画素密度に対する視力別の画素の可視閾

大学生の5m視力とテレビの視距離の範囲を対象とする



4. 画素密度の要件に対する新たな視点

A. 従来の画素の可視閾に依拠した視点

視力1.0に相当する**30cpd (60ppd)**とされてきた

ハイビジョンやスーパーハイビジョンの設計視距離, 設計観視画角

はこの視点で決められてきた

B. 最近の実物感や奥行感に依拠した視点

← **新たな視点**

解像度の差が検知できないレベルでも

ハイレゾ音源の話と類似?

* 実物感は**120cpd (240ppd)**くらいまで飽和しない, エンジニアリング

的には, 従来の2倍の **60cpd (120ppd)**くらいが目標としている

Masaoka et al. (NHK), IEEE Tran. on Broadcast, 59, 1, Mar.2013

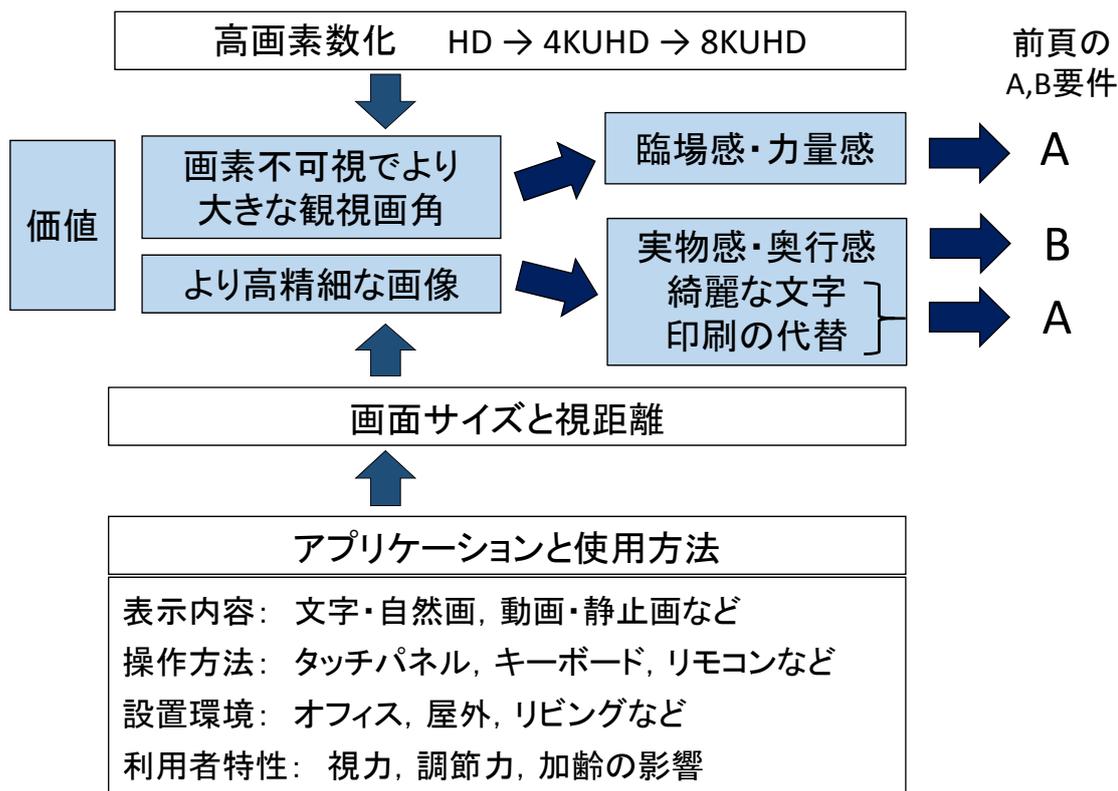
* 奥行感についても**100cpd (200ppd)**まで飽和しないとの結果もある

Tsushima et al. (NHK), IDW2013

13

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」2014.10.24

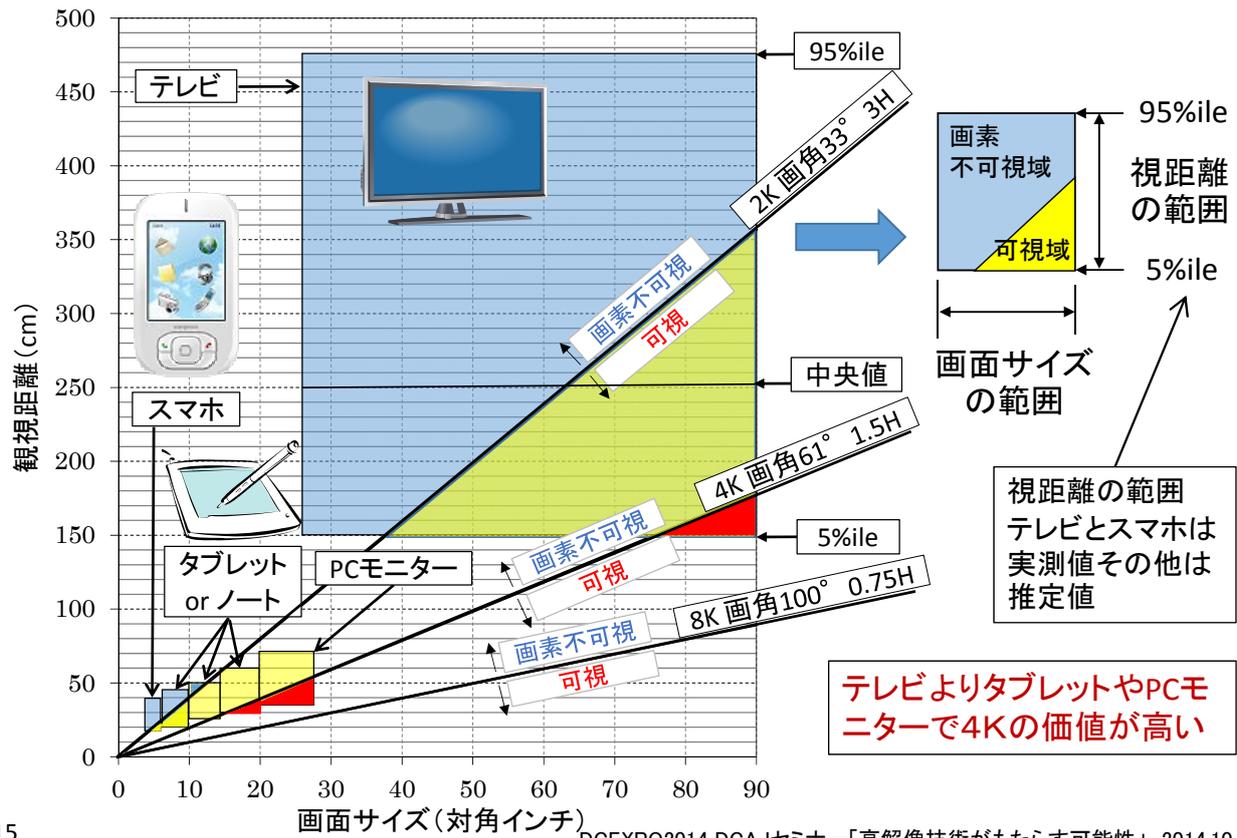
5. ディスプレイの高画素数化の価値は アプリケーションと使用方法に依存



14

DCEXPO2014 DCAJセミナー「高解像技術がもたらす可能性」2014.10.24

6. まとめ アプリケーション別の画面サイズと視距離の範囲および2K-3H,4K-1.5H,8K-0.75H条件に対する画素の可視閾(視力1.0, アスペクト比16:9)

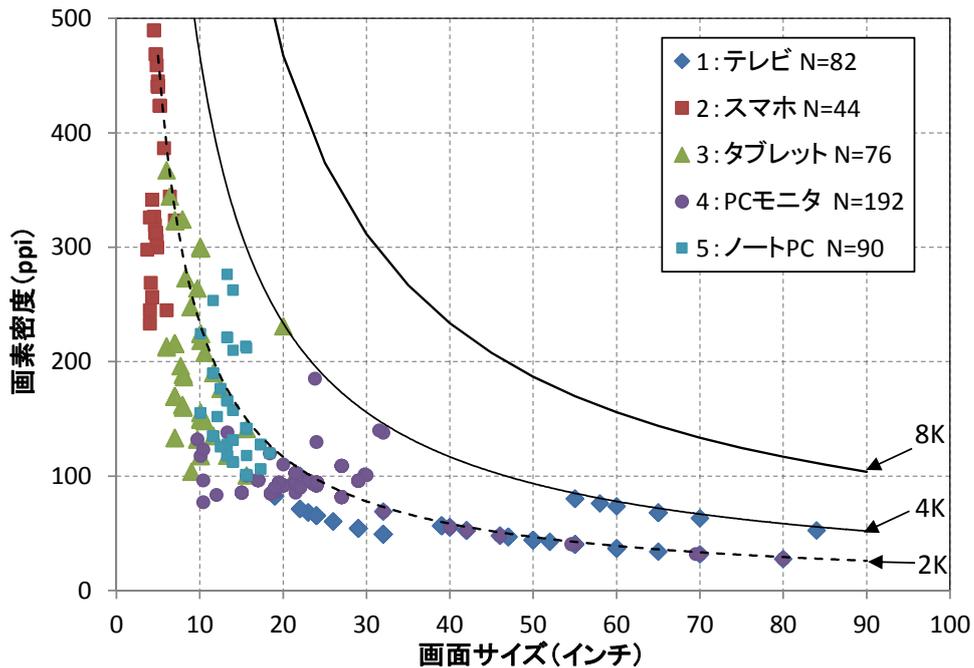


関連資料

1. 画面サイズと画素密度
2. ディスプレイの画素数の規格一覧
3. 視力測定用の視標と視力の定義
4. 年齢と視力

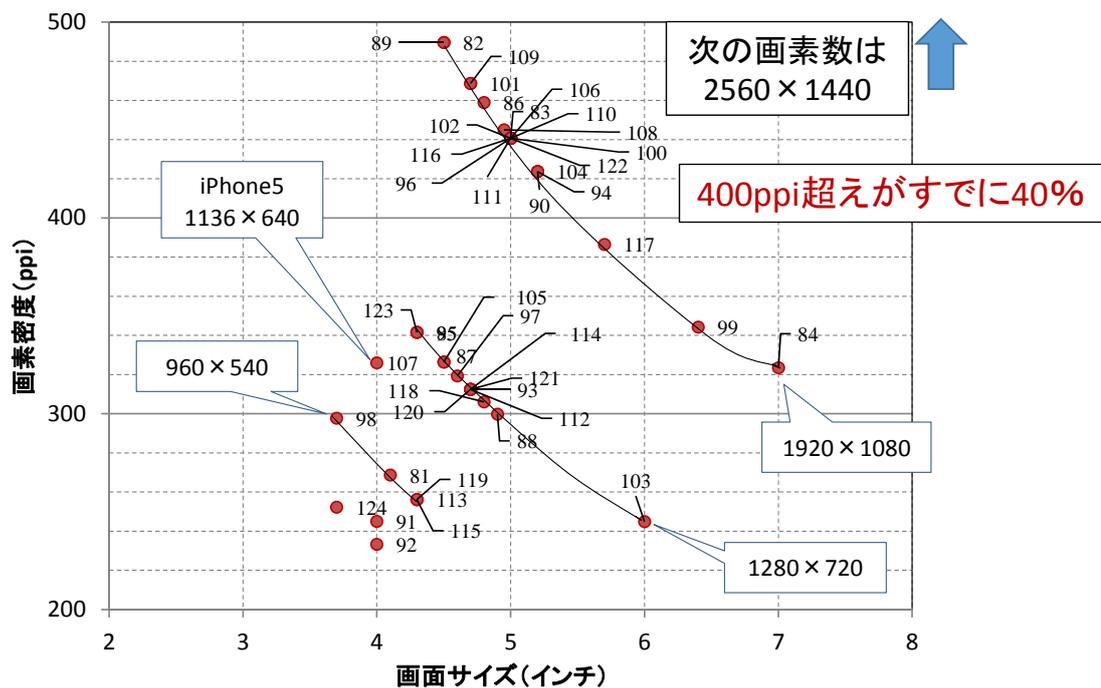
関連資料 1. 画面サイズと画素密度

2012年8月から2014年3月に発売された製品482機種



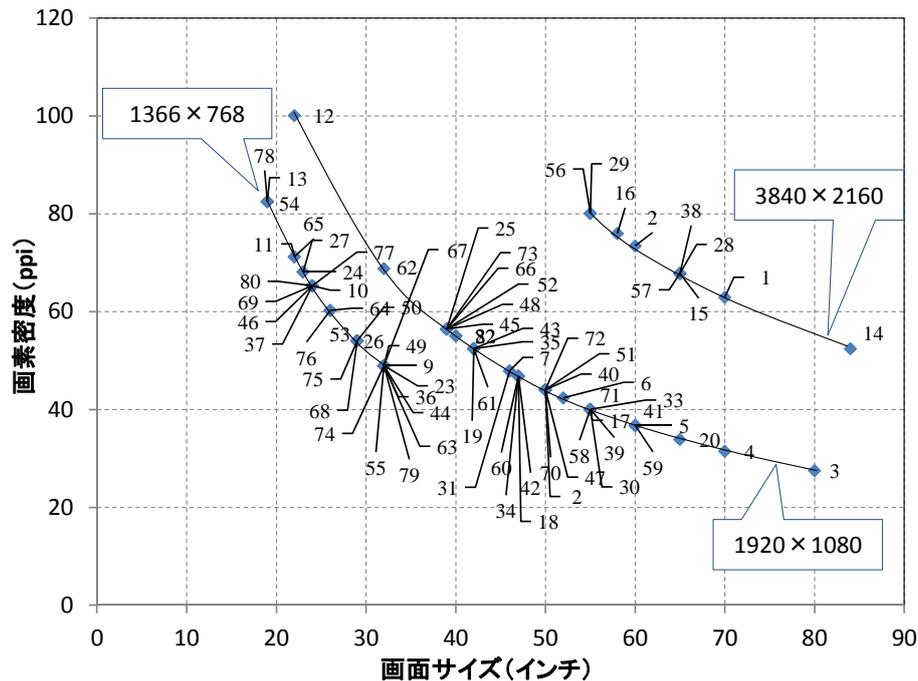
スマートフォンの画面サイズと画素密度

2012年8月から2014年3月に発売された製品44機種



テレビの画面サイズと画素密度

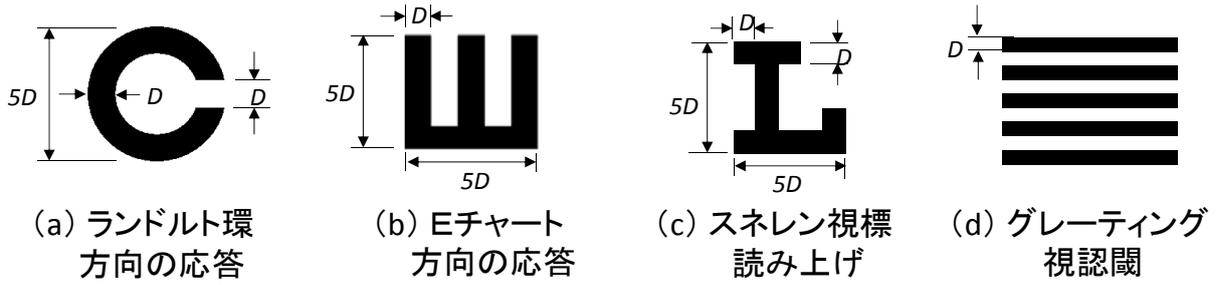
2012年8月から2014年3月に発売された製品82機種



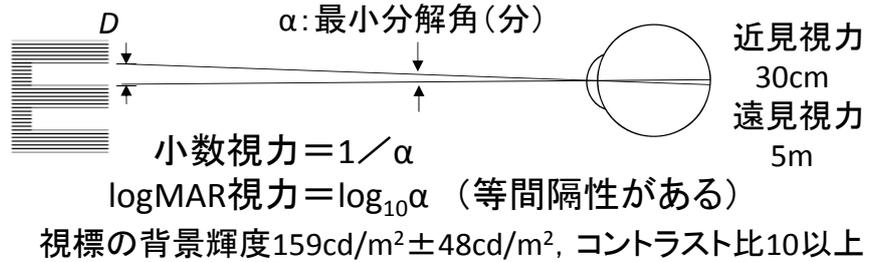
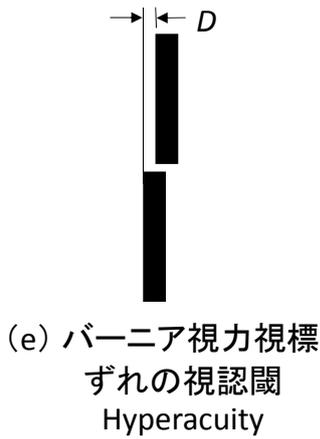
関連資料2. ディスプレイの画素数の規格一覧

規格	画素数	規格	画素数	規格	画素数
sQCIF	128×96	WSVGA	1024×600	FULL-HD	1920×1080
QCIF	176×144	XGA	1024×768	WUXGA	1920×1200
ワンセグ	320×180	PC-98ハイレゾ	1120×750	2K	2048×1080
QVGA	320×240	iPhone 5	1136×640	QWXGA	2048×1152
CIF	352×288	XGA+	1152×864	QXGA	2048×1536
WQVGA	400×240	MAC21インチ	1152×870	4M	2304×1728
iPhone 3	480×320	UWSVGA	1280×600	WQHD	2560×1440
EGA	640×350	HDTV(720p)	1280×720	WQXGA	2560×1600
PC-98ノーマル	640×400	WXGA	1280×768	QWXGA+	2880×1800
VGA	640×480	WXGA	1280×800	WQHD+	3200×1800
DVD	720×480	Quad-VGA	1280×960	QUXGA	3200×2400
NTSC	720×483	SXGA	1280×1024	4KUHD	3840×2160
PAL	768×576	iPhone 6	1334×750	QUXGA Wide	3840×2400
WVGA	800×480	HD FWXGA	1366×768	4K	4096×2160
SVGA	800×600	SXGA+	1400×1050	8KUHD	7680×4320
MAC16インチ	832×624	WXGA+	1440×900	8K	8192×4320
FWVGA	854×480	HD(地デジ)	1440×1080		
FWVGA+	864×480	WSXGA	1600×1024		
iPhone 4	960×640	UXGA	1600×1200		
UWVGA	1024×480	WSXGA+	1680×1050		

関連資料3. 視力測定用の視標と視力の定義



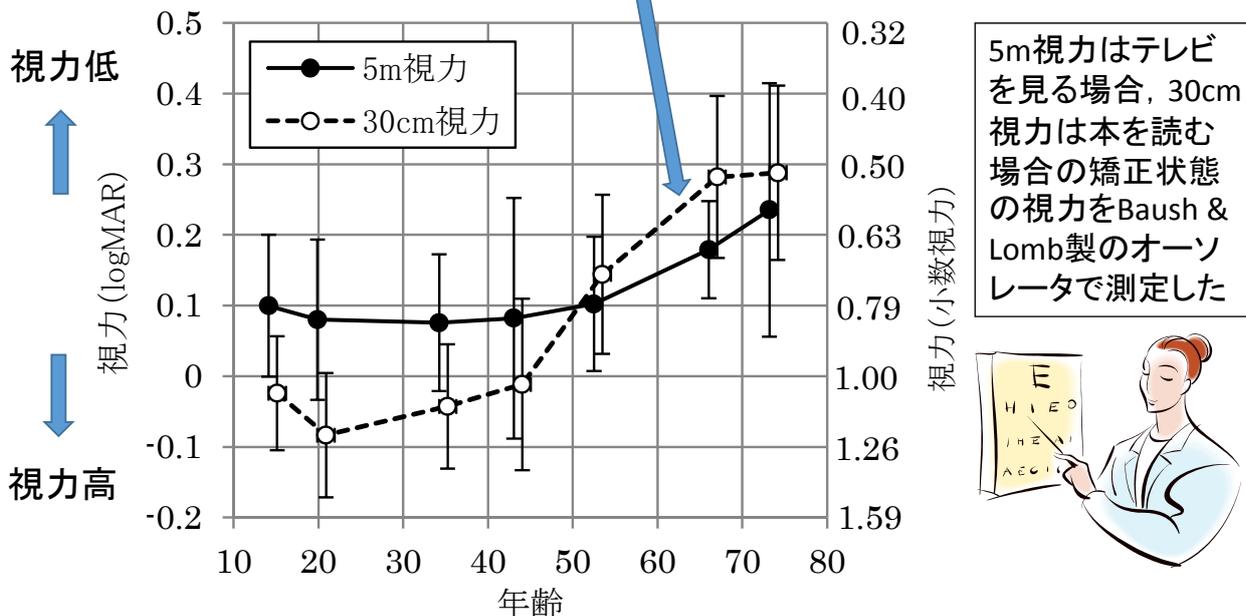
$\alpha=1$ 分のとき視力1.0, 30cpd (60ppd)に相当



(a)~(d)は比較的近い測定値が得られる。
 (e)のバーニア視力標のDの検出閾は2秒程度とされる。超視力(Hyperacuity)という。文字のジャギーの見えはこの超視力と対応するという説もあるが疑問である。

関連資料4. 年齢と視力

テレビよりスマートフォンの高齢化対応の重要性を意味する

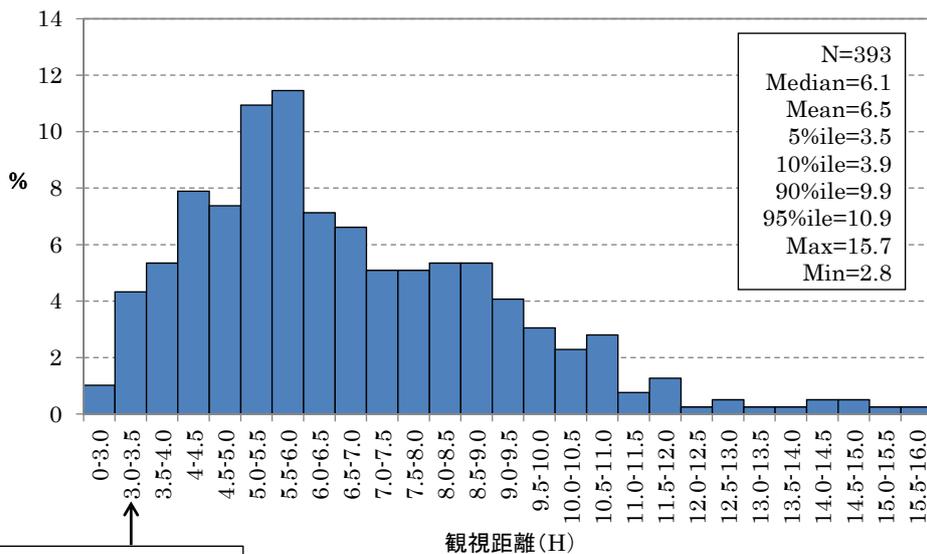


logMAR視力の各年代20名の平均値と±1標準偏差
 Baush & Lomb社製のオーソレーターで測定
 市松模様の視標でランドルト視標による測定値より幾分低めになっている

家庭におけるテレビの観視距離

83世帯のリビングにおける393名の測定結果

画面高に対する比Hで表すと



2007年時点だが3H
で見ている人はほと
んどいない

3H, 1.5H, 0.75Hはあくまで設計視距離
実験室と現場の乖離？

日本人間工学会：薄型テレビの人間工学設計ガイドライン，2012より