

# スマートフォンディスプレイの文字表示品質 に及ぼす画素密度の影響

エルゴデザイン研究所 窪田 悟

本報告の実験結果はSID2015においてジャパンディスプレイ社および成蹊大学と共同発表したものである

**SID2015 5-1: Influence of Pixel Density on Image Quality of Smartphone Displays**

**Satoru Kubota\***, **Yuzo Hisatake\*\***, **Tetsuya Kawamura\*\***,  
**Masanori Takemoto\*\*\***

**EDL**

Ergo Design Laboratory

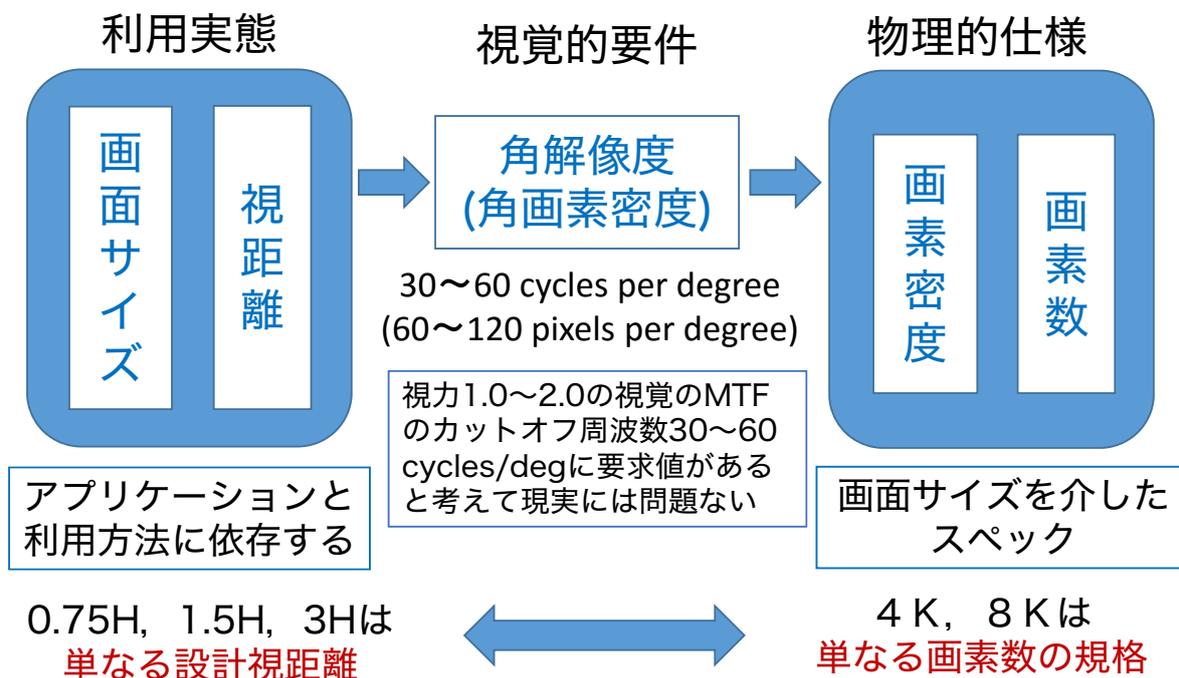
**JDI**  
Japan Display Inc.



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

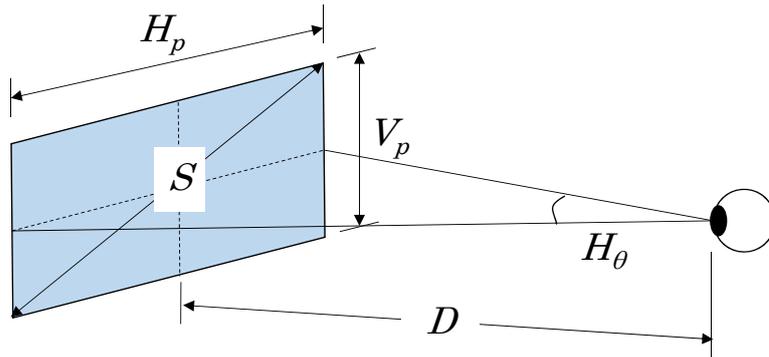
## 1. はじめに

人間工学の視点からは、画素数、画素密度の規格以前  
に利用実態の把握が重要になる



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 2. 画素数, 画素密度, 視距離, 角解像度の関係



$S$  : 画面サイズ  
 (対角inch)  
 $H_p$  : 横画素数  
 $V_p$  : 縦画素数  
 $H_\theta$  : 水平画角 (deg)  
 $D$  : 視距離 (cm)

画素密度の要件に対しては視距離と視力が支配要因

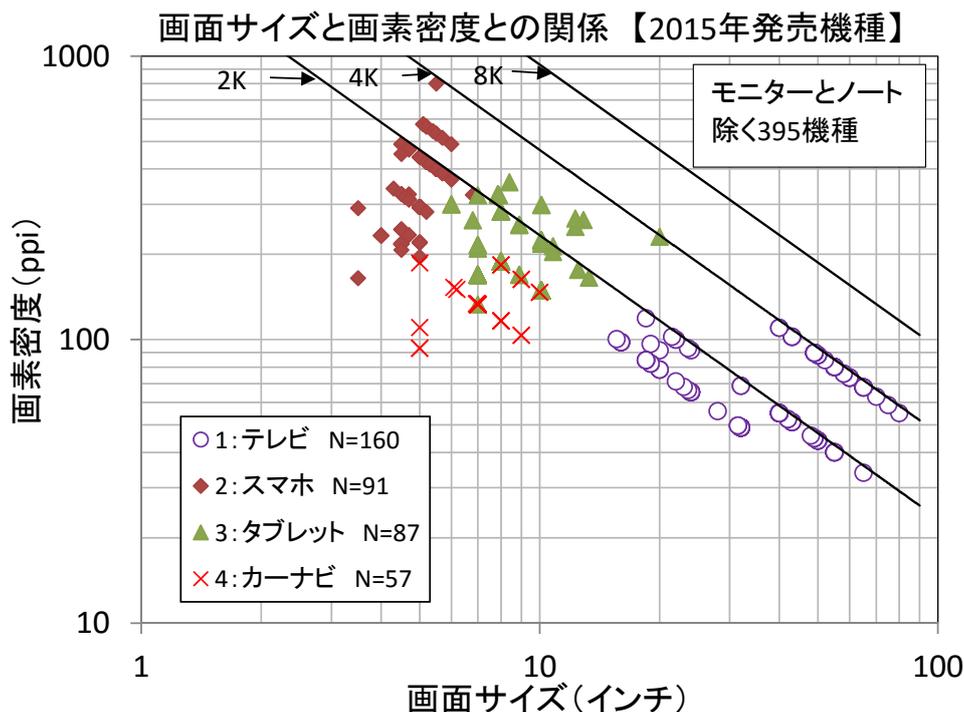
(1) 画素密度 (pixels per inch) Pixel Density  $PD_{ppi} = \sqrt{H_p^2 + V_p^2} / S$  1 inch 当りの画素数

(2) 角画素密度 (pixels per degree) Angular Pixel Density  $PD_{ppd} = H_p / H_\theta$  視角1° あたりの画素数

(3) 角解像度 (cycles per degree) Angular Resolution  $PD_{cpd} = PD_{ppd} / 2$

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

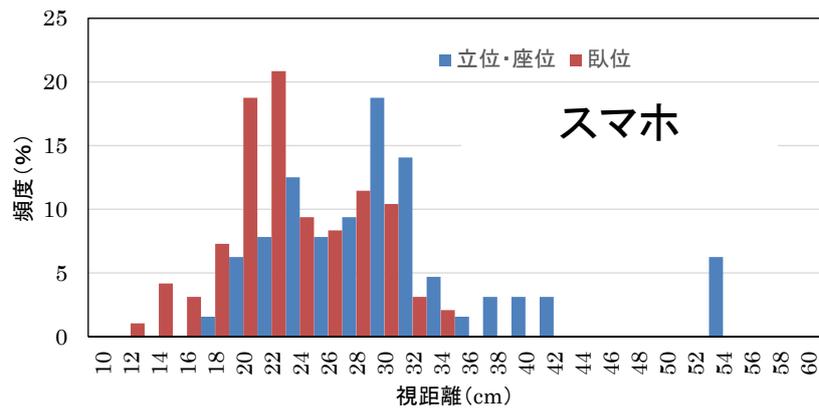
## 3. ディスプレイの画素密度の実態



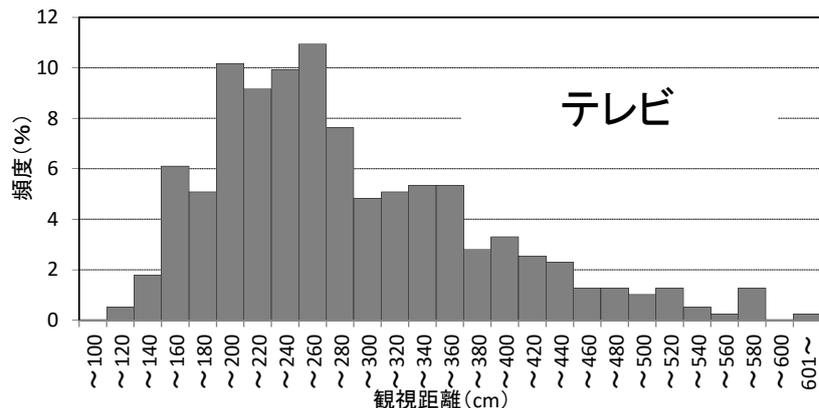
2015年に我が国で発売されたPCとモニターを除くほぼ全てのディスプレイ関連製品395機種のデータ

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 4. 視距離の実態 スマホはテレビのほぼ1/10



全体 N=96  
 5 percentile=18cm  
**Mean=27cm**  
 95 percentile=40cm  
 臥位 N=32  
 5 percentile=15cm  
 Mean=24cm  
 95 percentile=31cm



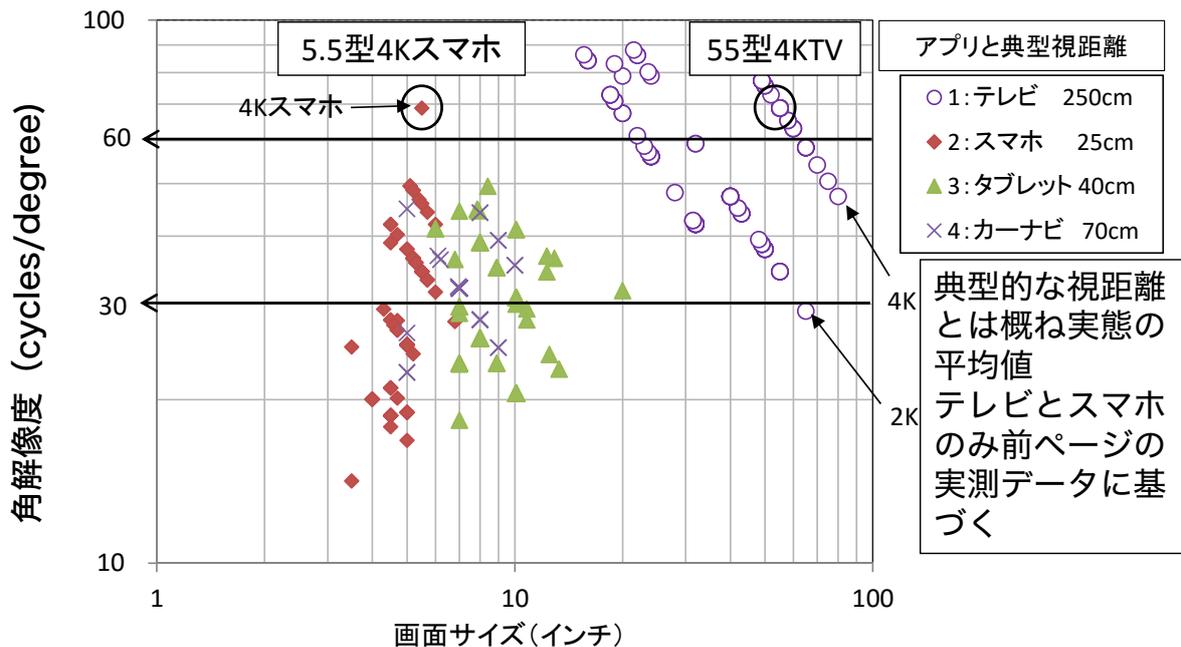
N=393 (83世帯)  
 5 percentile=150cm  
**Mean=277cm**  
 95 percentile=470cm

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の位置

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 5. 画素密度を角解像度に変換すると

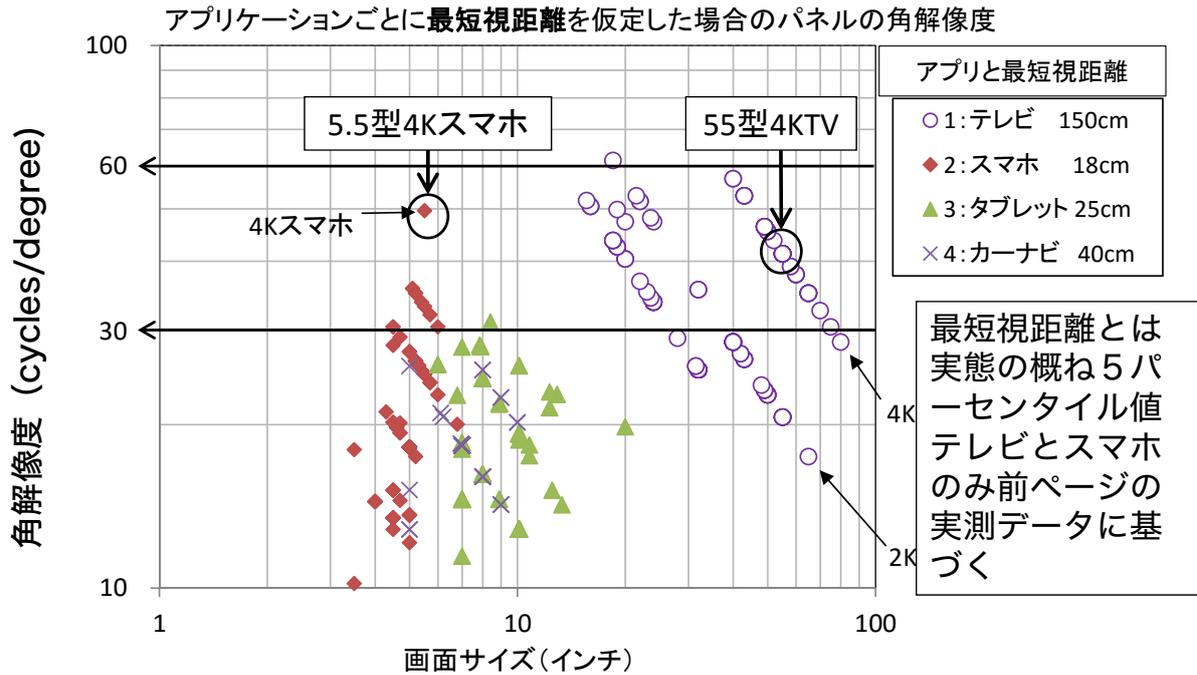
典型的な視距離を想定した角解像度



2015年に我が国で発売されたPCとモニターを除く  
 ほぼ全てのディスプレイ関連製品395機種のデータ

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

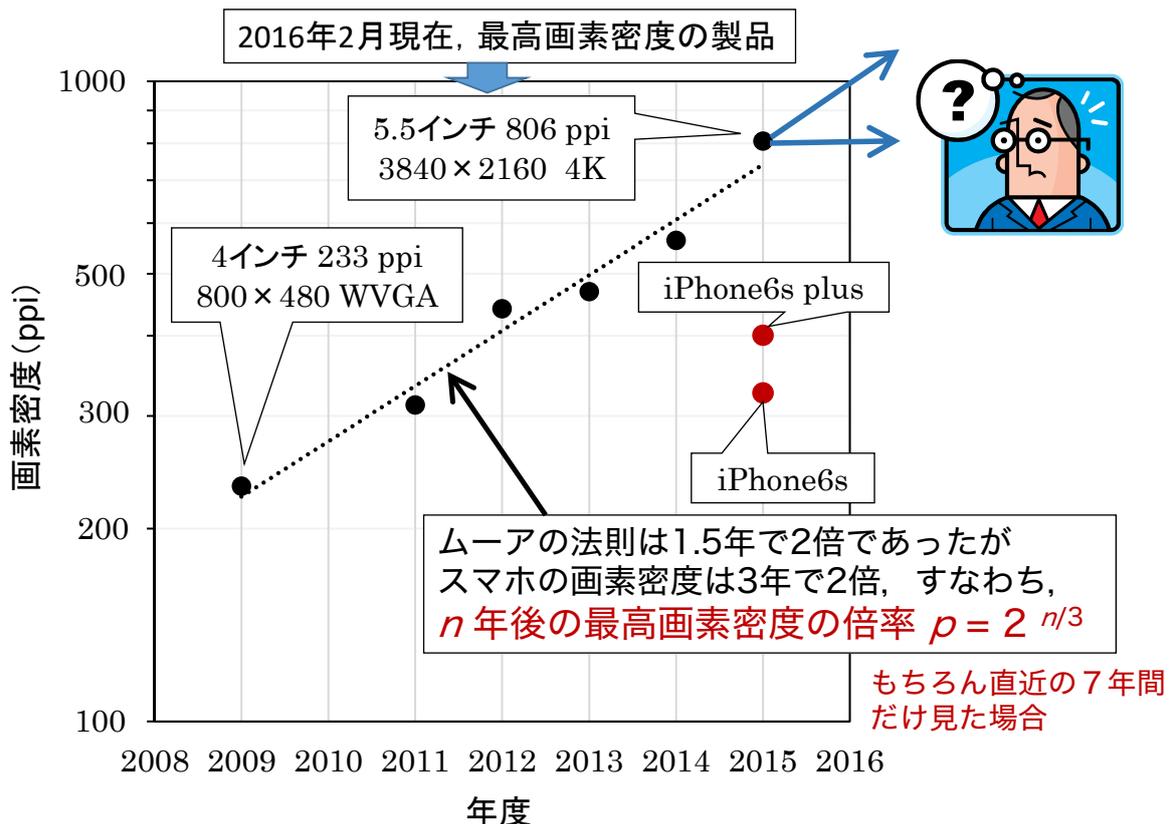
# 最短視距離（実態の5°-センチル）を想定した角解像度



2015年に我が国で発売されたPCとモニターを除く  
ほぼ全てのディスプレイ関連製品395機種のデータ

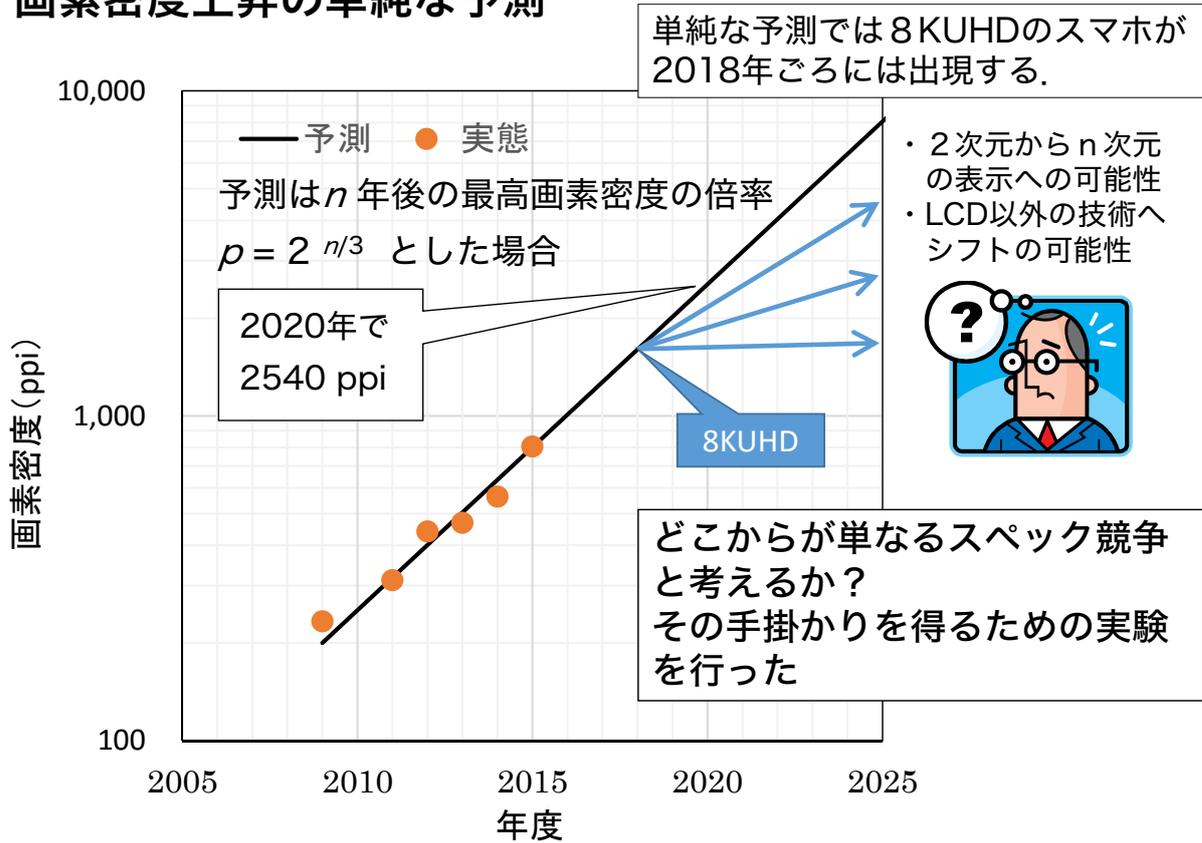
JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 6. スマホの画素密度の向上



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 画素密度上昇の単純な予測



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 実験 画素密度の異なるパネルに対する一対比較実験



30名の学生参加者によって、画素密度の異なる5つのパネル上の表示文字の美しさを一対比較した。

シェッフェの一対比較（中屋の変法）で各フォント条件ごとに ${}_5C_2=10$ 対の比較結果を得た。

評価尺度，相対的に見て

0: 同じ, 1: やや良い, 2: 良い, 3: 非常に良い

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

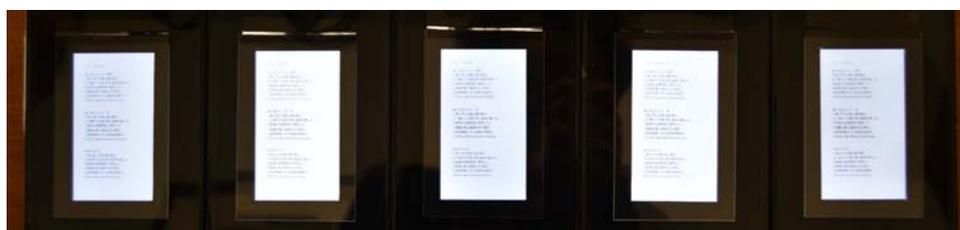
# 画素密度の異なる5種類のパネルの文字表示品質を比較評価

## Specifications of evaluated LCD panels and displayed characters

Pixel density (ppi)	Pixel pitch (mm)	Character format	Character height (mm)	LCD panel format	Display area format *	Display area size (mm) *
403	0.0630	24×24	1.51	1440×2560	1440×2560 (Scaled factor 2)	45.36×80.64
538	0.0472	32×32	1.51	1440×2560	960×1707	45.36×80.66
588	0.0432	34×34	1.47	1440×2560	1050×1867	45.36×80.65
706	0.0360	43×43	1.55	1440×2560	1260×2240	45.36×80.64
806	0.0315	49×49	1.54	1440×2560	1440×2560	45.36×80.64

\* Outer display area was filled with black

403 ppi      538 ppi      588 ppi      706 ppi      806 ppi



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 1.5mm高の4種類のフォントで文章を表示して文字の美しさ（文字表示品質）を一对比較

### Gennokaku Gothic-Std

源ノ角ゴシック 標準

- ①曇り空に白鷺と鷹が舞う。
- ②三鷹市では雹が降り豪雨が襲った。
- ③劇場の音響環境に驚愕した。
- ④綺麗な蘭と薔薇の花が薫る。
- ⑤超高精細パネル視認性実験中。
- ⑥Ultra-High Resolution Display

### Gennokaku Gothic-Medium

源ノ角ゴシック 中

- ①曇り空に白鷺と鷹が舞う。
- ②三鷹市では雹が降り豪雨が襲った。
- ③劇場の音響環境に驚愕した。
- ④綺麗な蘭と薔薇の花が薫る。
- ⑤超高精細パネル視認性実験中。
- ⑥Ultra-High Resolution Display

### MSP Gothic

MSPゴシック

- ①曇り空に白鷺と鷹が舞う。
- ②三鷹市では雹が降り豪雨が襲った。
- ③劇場の音響環境に驚愕した。
- ④綺麗な蘭と薔薇の花が薫る。
- ⑤超高精細パネル視認性実験中。
- ⑥Ultra-High Resolution Display

### MS UI Gothic (Aliased)

- ① 曇り空に白鷺と鷹が舞う。
- ② 三鷹市では雹が降り豪雨が襲った。
- ③ 劇場の音響環境に驚愕した。
- ④ 綺麗な蘭と薔薇の花が薫る。
- ⑤ 超高精細パネル視認性実験中。
- ⑥ Ultra-High Resolution Display

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 実験に用いた1.5mm文字の拡大画像の例

Pixel Density	Gennokaku Gothic-STD	Gennokaku Gothic-M	MSP Gothic	MS-UI Gothic Aliased
806 ppi	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹
706 ppi	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹
588 ppi	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹
538 ppi	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹
403 ppi	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹	鷺と鷹

レンダリングはWindowsのクリアタイプによる

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 評価者

学生30名：30cm視力と近点距離を計測



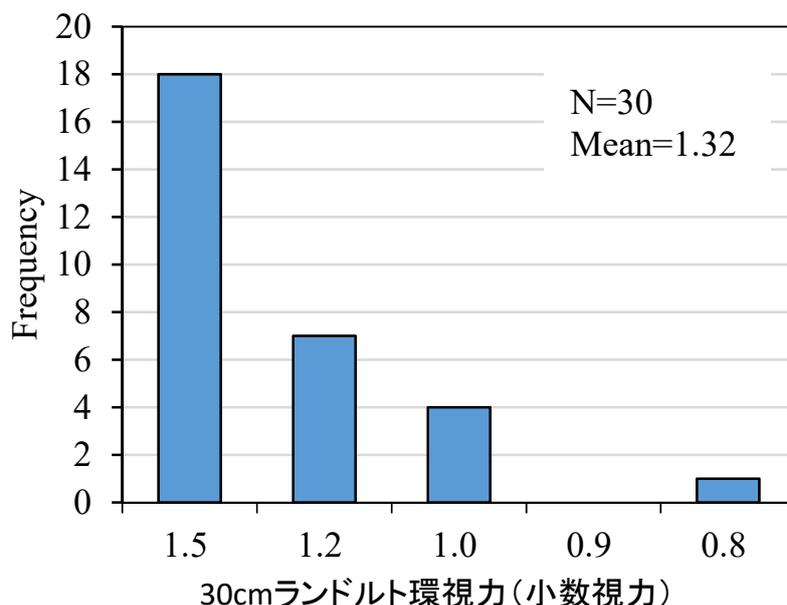
(a) Visual acuity was measured using SS-3 Screenoscope (Topcon Corporation, Japan)



(b) Near point of accommodation was measured using Accommodo-poly recorder HS-9E (Kowa Co., Ltd., Japan)

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

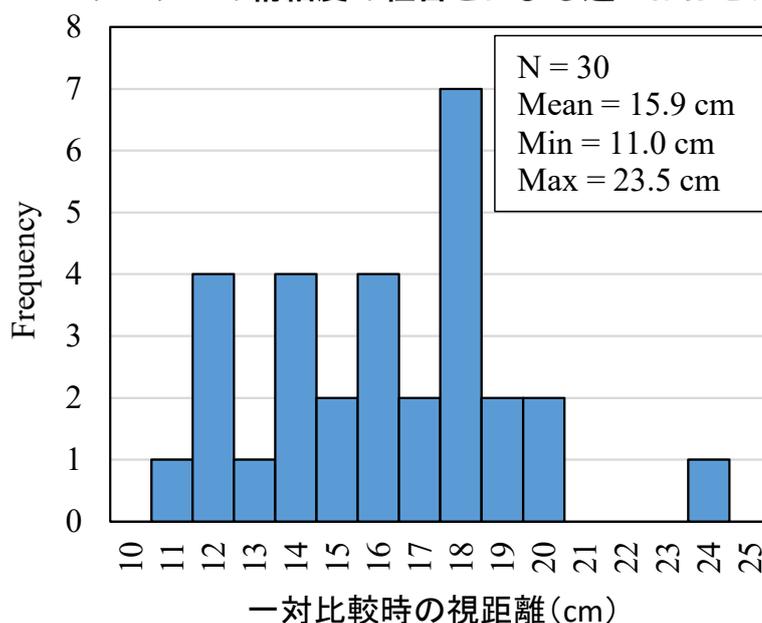
**参加者の30cm視力は1名を除いて1.0以上であった**  
**参加者のスクリーニングなし，一般的な大学生の視力である**



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

**評価時の視距離の分布 平均は15.9cm**

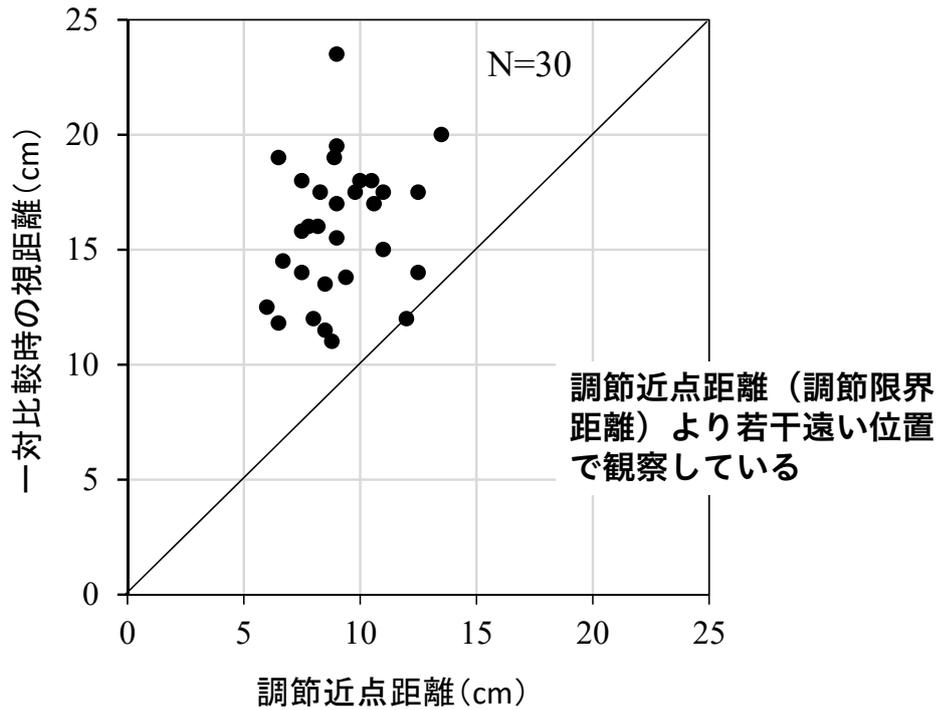
サンプルの精細度の組合せによる違いはほとんど無かった



視距離15.9cmは，大  
 学生の臥位使用時の  
 視距離の5パーセン  
 タイルとほぼ一致し  
 ているので実際の使  
 用でもあり得る視距  
 離である

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 調節近点距離と評価時の視距離



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## ジャギーの見えるの評価に用いたエイリアスフォントの記号

5段階の妨害尺度でジャギーの見えるを主観評価

○ × △ ▽ ● ◎ #

○ × △ ▽ ● ◎ # \$ ☆ ⊕

○ × △ ▽ ● ◎ # \$ ☆ ⊕ ○ ×

○ × △ ▽ ● ◎ # \$ ☆ ⊕ ○ × △ ▽

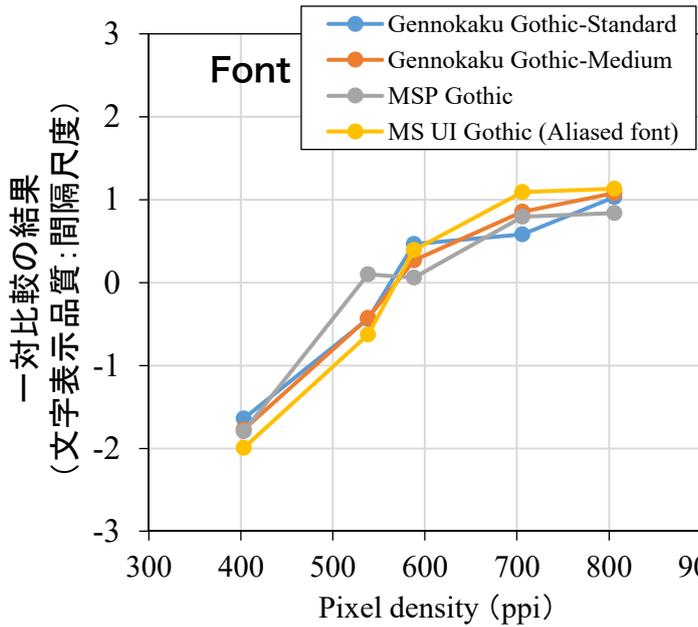
○ × △ ▽ ● ◎ # \$ ☆ ⊕ ○ × △ ▽ ● ◎ #

Aliased (bi-leveled) symbols to evaluate the perception of the jagged edges of the symbols. Symbols size were 1.2mm to 3.2mm.

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

# 評価結果

## 文字表示品質の一対比較の結果



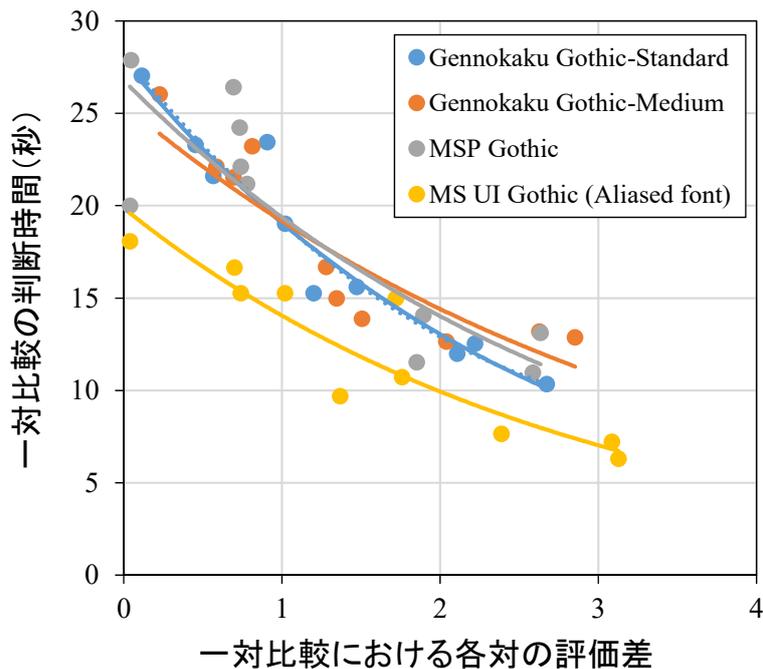
### 隣接条件間の統計的有意性

Font	Pair of comparison			
	403ppi vs 538ppi	538ppi vs 588ppi	588ppi vs 706ppi	706ppi vs 806ppi
GenKSTD	**	**	n.s.	**
GenKMed	**	**	**	n.s.
MSP	**	n.s.	**	n.s.
MS Aliase	**	**	**	n.s.

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01, n.s.:Not significant

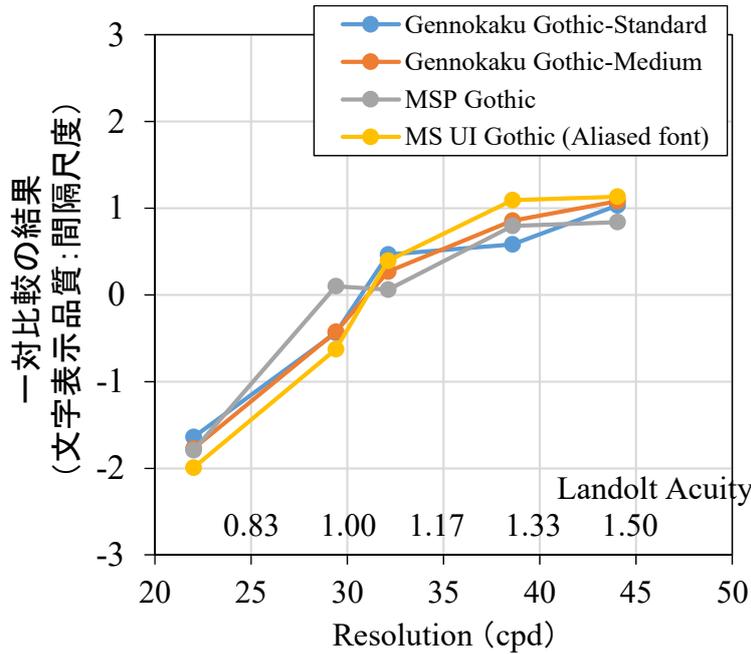
JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 一対比較のスコアの差と評価時間との関係



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 横軸を平均視距離15.9cmに対する空間解像度と視力に換算した値で示した図

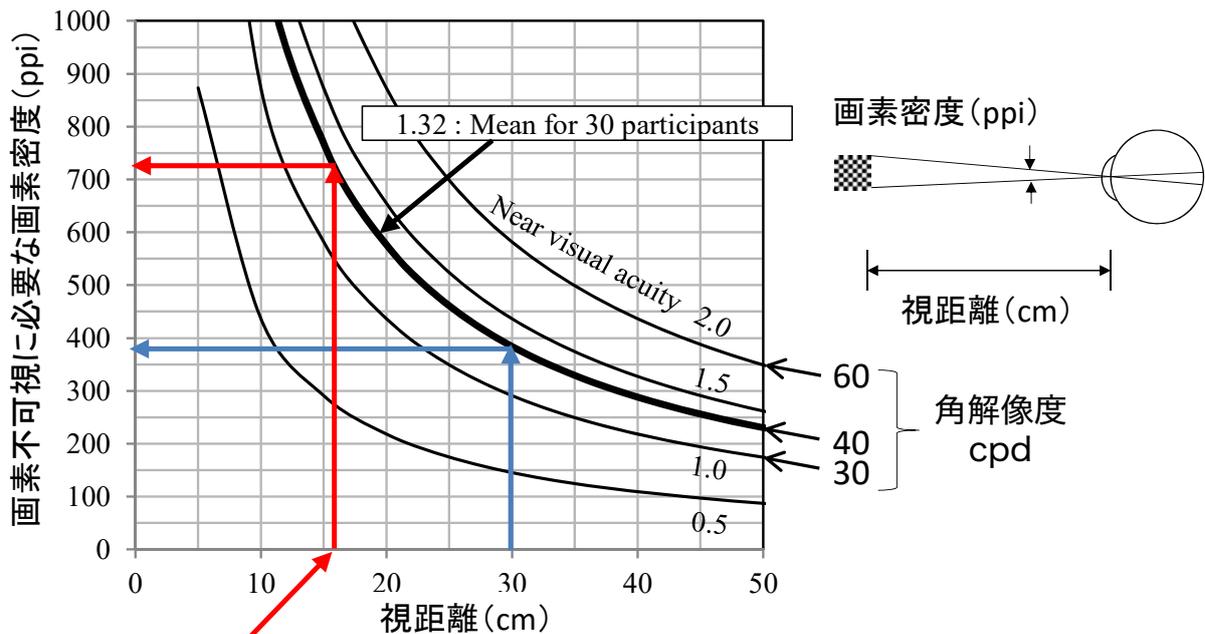


文字表示品質（文字が綺麗に見えるかどうか）の次元においては、従来の画素の可視・不可視と視力との関係で解釈できる。

自然画を表示した場合の実物感・奥行感についてはさらに高い密度が求められる可能性はあるが、近視距離の小型モバイル用途という環境においては上記の考え方で十分であろう。

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 視距離と画素密度に対する画素の可視閾

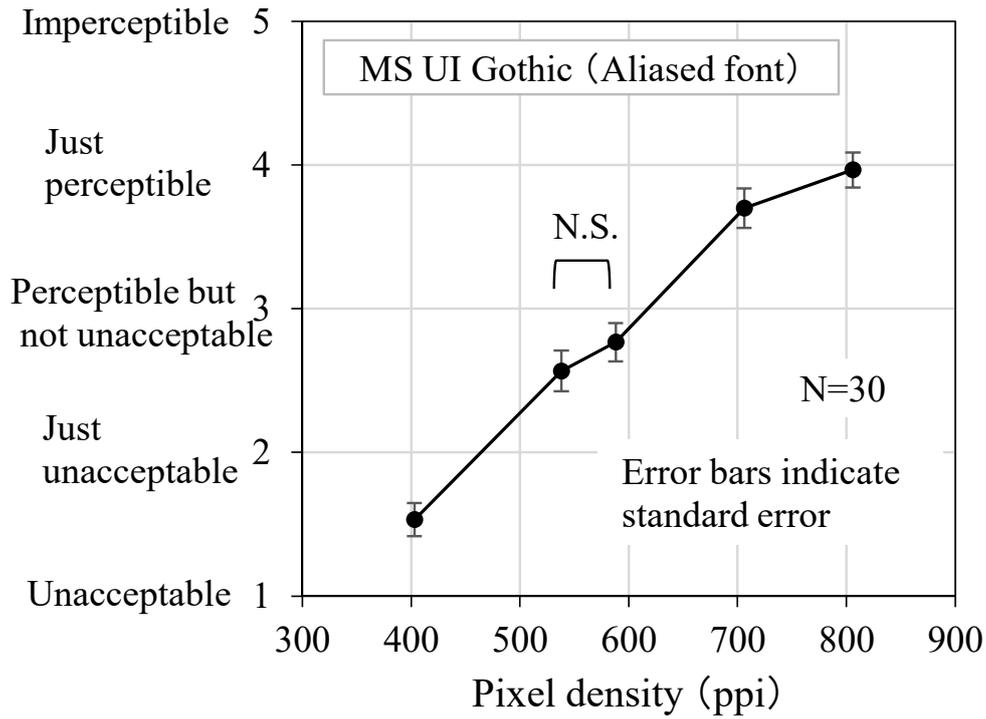


15.9 cm : Mean for 30 participants

↑  
大学生の臥位使用時の5% - センタイルとほぼ一致、実際に生じ得る距離

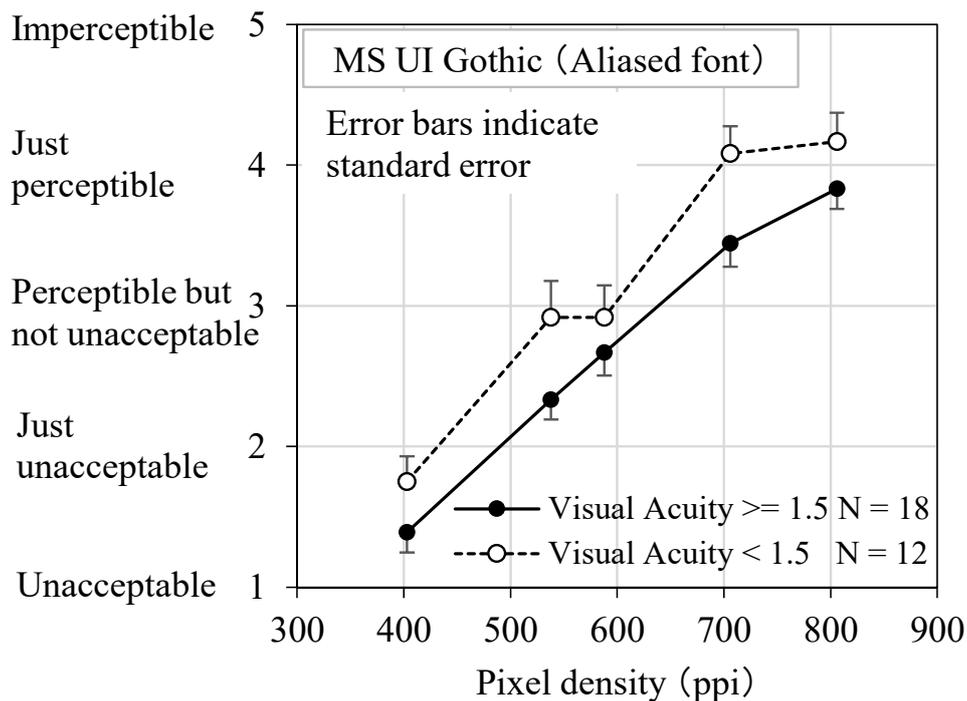
JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

ジャギー（輪郭のギザギザ）は806ppiでも見えている



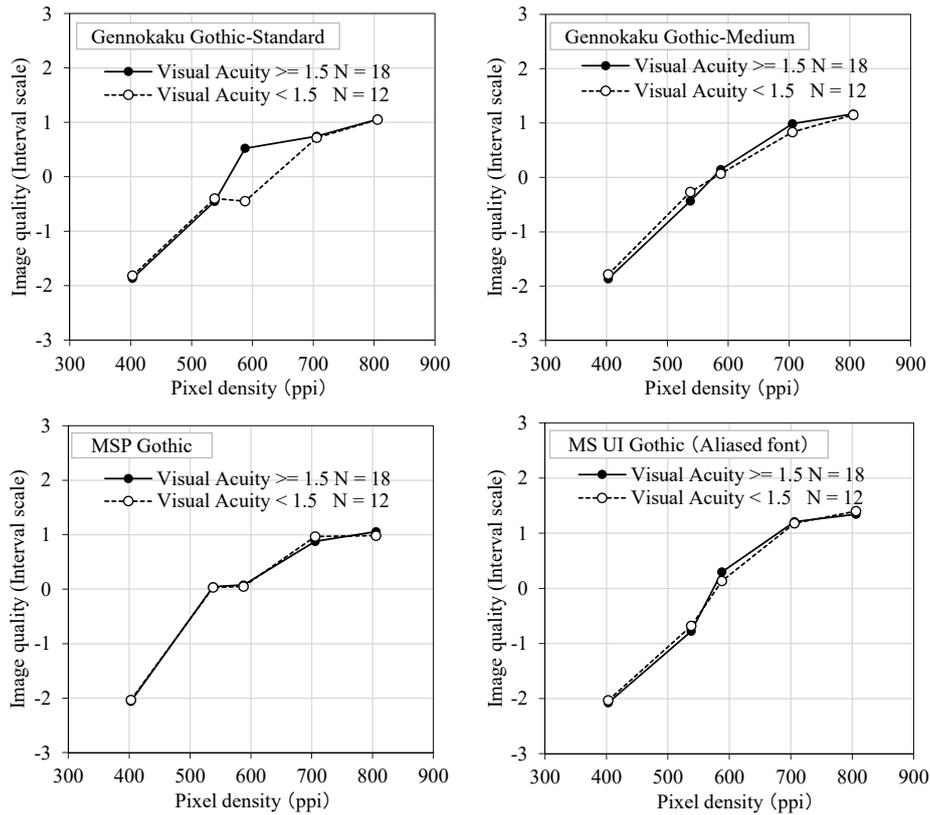
JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

ジャギー（輪郭のギザギザ）は806ppiでも見えている  
しかも30cm視力が高い人の方が良く見えている



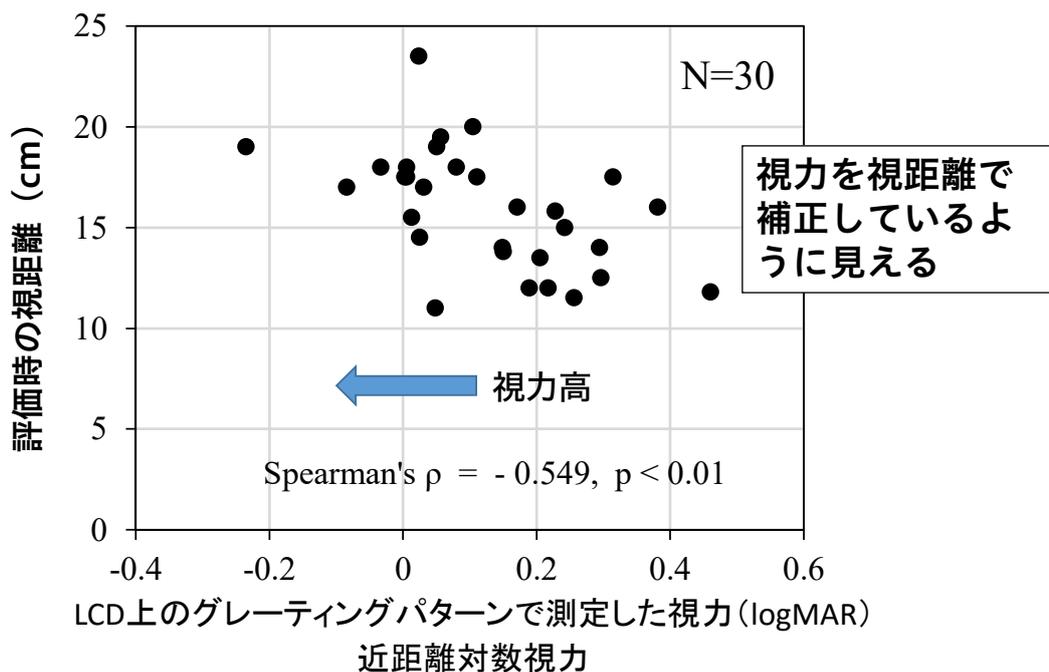
JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 高視力群（1.5以上）と低視力群（1.5未満）の評価の比較



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

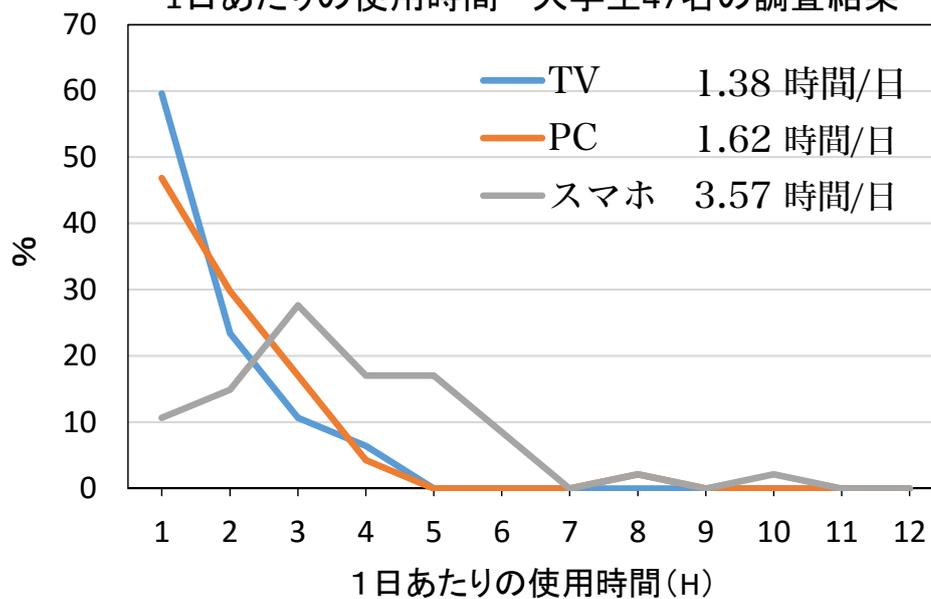
## 30名の評価者の近距離視力と評価時の視距離との関係



JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## 大学生のスマートフォンの利用時間 (2015年10月と2016年2月の調査)

1日あたりの使用時間 大学生47名の調査結果



サンプル数は少ないが定点観測的に調査しているとスマホの利用時間は予想以上に延びている。3年ほど前の調査と比較しても2倍近い、総務省の2012年の調査でも約2時間/日であった

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4

## まとめ

- ① スマートフォンの画素密度は視覚的な要件とは無関係に、今しばらくは、以下の傾向で上昇すると考えられる。

$$n \text{ 年後の最高画素密度の倍率 } p = 2^{n/3}$$

- ② 403, 538, 588, 706, 806ppiのパネルの文字表示品質に対する若年者による一対比較実験の結果では、706ppiまで文字表示品質は有意に向上したが、706ppiと806ppiの間では飽和傾向が認められた。
- ③ Aliased font (2階調フォント) のジャギーは806 ppiでも知覚されていた。Aliasedの画像表示では、ジャギーの知覚という点ではさらに高い画素密度が要求される。
- ④ 参加者を高視力群と低視力群に分けて結果を分析したが、②の傾向に視力による差異は認められなかった。
- ⑤ ジャギーの知覚については、評価者の視力の影響が認められ、高視力群の方が低視力群より感度が高かった。

JEITA主催 FPDの人間工学シンポジウム 2016.3.4