

高視認性TFT-LCD技術

大槻英世*
清原 徹*

High Image Quality Technologies for TFT-LCD

Hideyo Ohtsuki, Toru Kiyohara

要 旨

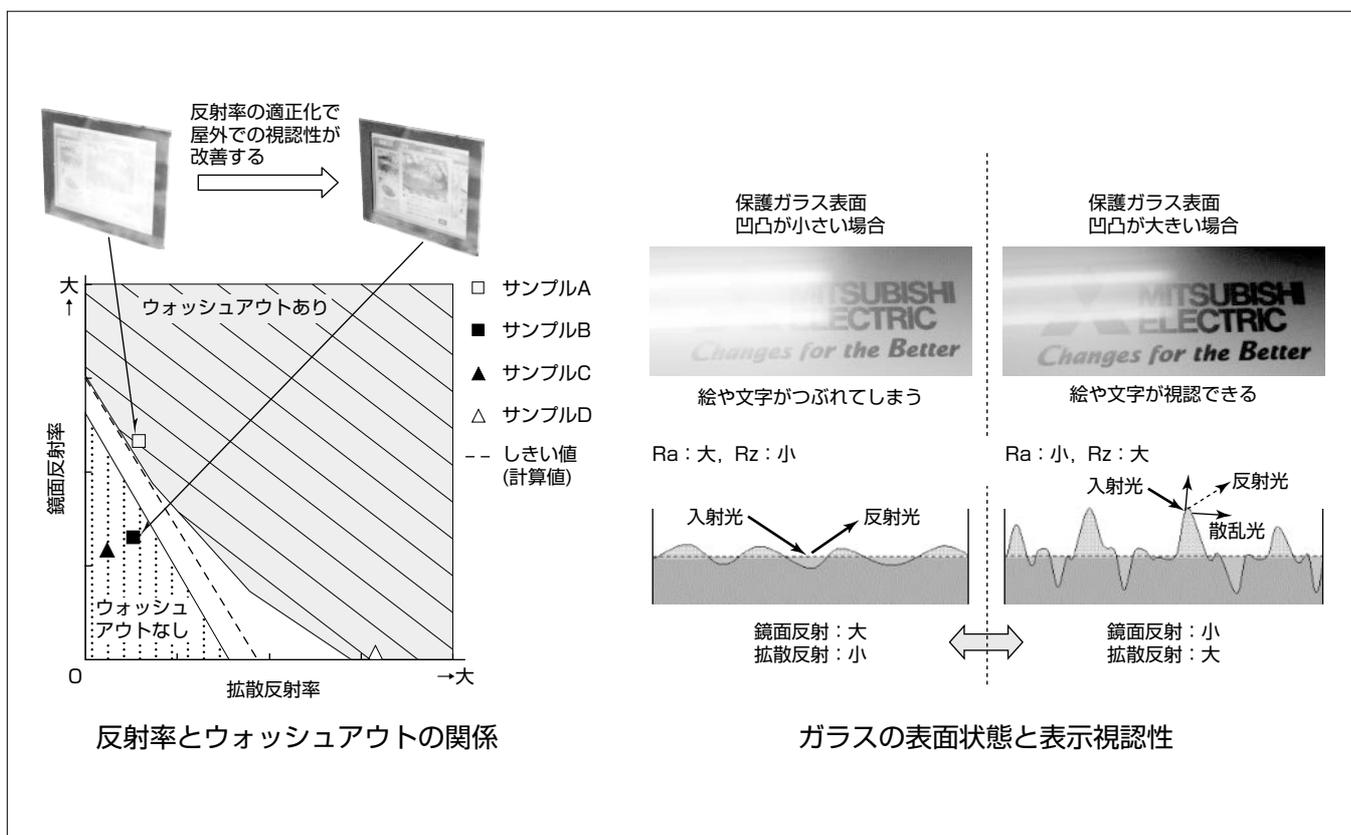
TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) (以下“LCD”という。)は表示面への保護ガラス装着やタッチパネル装着等の加工によって、新たな安全性能や入力機能を備えた高付加価値LCDとして、屋内、屋外を含む様々な分野の製品に搭載されている。その表示性能は表示面の加工に伴う表面反射特性の変化や、新たな使用環境による影響を受ける。三菱電機では、様々な条件におけるLCDの表示性能改善に取り組んでいる。

屋外のように明るい環境で保護ガラス、又はタッチパネルを装着したLCDを使用する場合、周囲の光が表示面で反射することによって画面が白くなり視認性が低下する“ウォッシュアウト”と、周囲の景色が表示面で鏡のように反射し、視認性を阻害する“映り込み”が課題である。

ウォッシュアウトに対しては、モデルを基に観察結果に適合する条件式を導き、様々な使用環境で表示装置が達成すべき鏡面反射特性、拡散反射特性を明確にした。

映り込みに対しては、アンチグレアコーティングなどの表面処理を行うことで対策することが多いが、LCDの画素ピッチとガラスの表面処理の干渉によって“ギラツキ”が発生する。ガラスの表面形状特性を測定することで、ギラツキ視認性、散乱・反射特性に相関するパラメータを見だし、保護ガラスの表面処理を最適化する手法を確立した。

このように反射特性及び表面処理を最適化することで、LCDは様々な環境で良好な表示性能を実現することができる。



反射率とウォッシュアウトの関係、及びガラス表面状態と表示視認性の関係

左は反射率の実測結果とウォッシュアウトの相関を示したものである。反射率を適切に低減することで、屋外での視認性が改善する。
右は表示面の表面状態と表示視認性の例である。表面状態の違いによって精細感が低下する。表面状態(算術平均粗さRa, 最大高さRz)を制御することによって様々な環境下でも高い視認性を得る。

1. ま え が き

TFT-LCD(LCD)は表示面への保護ガラス装着やタッチパネル装着等の加工によって、新たな安全性能や入力機能を備えた高付加価値LCDとして、屋内、屋外を含む様々な分野の製品に搭載されている。その表示性能は表示面の加工に伴う表面反射特性の変化や、新たな使用環境による影響を受ける。当社では、様々な条件におけるLCDの表示性能改善に取り組んでいる。

屋外のように明るい環境で保護ガラス、又はタッチパネルを装着したLCDを使用する場合、周囲の光が表示面で反射することによって画面が白くなり視認性が低下する“ウォッシュアウト”と、周囲の景色が表示面で鏡のように反射して視認性を阻害する“映り込み”が課題である。

ウォッシュアウトに対しては、屋外向け表示装置に要求される反射特性について検討した結果を述べる。映り込みに対しては、アンチグレアコーティング(AG)を表示面に施すことで対策することが多いが、表面処理による画素ピッチとガラスの表面処理の干渉によって“ギラツキ”が発生する。AGを最適化する手法と、新たに構築した散乱光角度特性測定システムについて述べる。

2. 屋外向け表示装置の反射特性検討

2.1 背景・目的

屋外では太陽光などの強い光が表示面で反射することによって画像が白っぽくなるウォッシュアウトが起こる。保護ガラス又はタッチパネルの装着によってLCDは表示面に積層構造を持つため、その各層の界面で反射が起こり、表示面で高い反射率を持ちやすい。ウォッシュアウトの抑制には、反射率の低減が必要である。

2.2 屋外向け表示装置に要求される反射特性⁽¹⁾

反射光には表示面で拡散反射する光と鏡面反射する光がある。拡散反射と鏡面反射によってウォッシュアウトが発生するモデルを図1に示す。観測者が視認する光は、表示

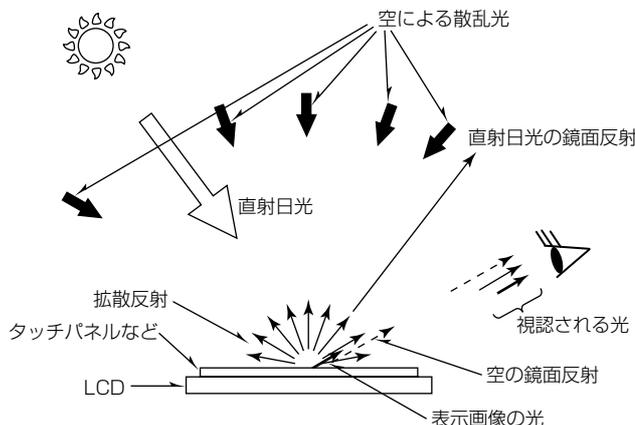


図1. ウォッシュアウトのモデル

画像の光と、太陽光が表示面で拡散反射した光と、空で散乱された太陽光が表示面で鏡面反射した光である。空全体は太陽光の散乱による2次光源と考えられる。表示画像の光が反射光と比べて相対的に少ない場合にウォッシュアウトが起こると考える。

異なる反射率を持つLCDサンプルについて、直射日光下でのウォッシュアウトの観測と反射率の測定を行い、相関の確認を行った。反射率の測定方法は、ISO13406-2に基づく⁽²⁾。ウォッシュアウトの観測は、100klx環境下で、太陽光の鏡面反射方向からずれた位置から行った。各サンプルの輝度は1.2kcd/m²である。

表1は、サンプルの状態及びサンプルの反射率の測定結果である。アンチリフレクションコーティング(AR)とは表示面に透明薄膜を構成し、光の干渉を利用して反射を低減する処理である。AGとは表示面に細かい凹凸をつけることで光を散乱する処理である。図2は各サンプルの反射率の測定結果とウォッシュアウトの観測結果の関係をまとめたものである。図2中の写真は直射日光下で各サンプルに画像を表示した際の目視イメージである。斜線部はウォッシュアウトが発生したことを、点描部はウォッシュアウトが起こらなかったことを意味する。ウォッシュアウトは、拡散反射と鏡面反射の両方に依存して発生することが分かる。

ウォッシュアウトの発生と反射率の関係のモデルについて、数式化を検討する。拡散反射光と鏡面反射光の輝度は、

表1. 反射率とウォッシュアウトの評価結果のまとめ

サンプル名	サンプル条件		測定結果	
	表示面への加工	表面処理	反射率(%)	
			拡散	鏡面
A	タッチパネルあり	AR	0.27	1.15
B	タッチパネルあり(低反射構造)	AR	0.26	0.65
C	なし	AR	0.12	0.58
D	なし	AG	1.58	0.03

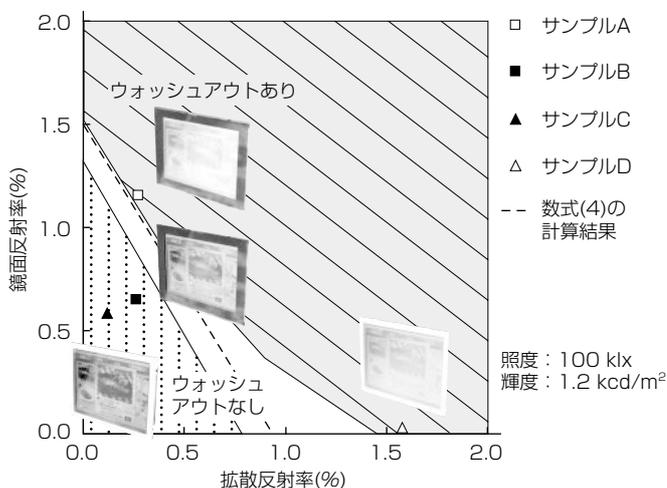


図2. 反射率とウォッシュアウトの関係

それぞれ式(1), 式(2)のように表される。直射日光下での液晶のコントラスト比は, 式(3)のように表される。

$$Ld = \frac{Rd \cdot E}{\pi} \dots\dots\dots(1)$$

$$Ls = Rs \cdot Li \dots\dots\dots(2)$$

$$Cr = \frac{Lw + Ld + Ls}{Lk + Ld + Ls} \dots\dots\dots(3)$$

- Ld: 拡散反射光の輝度
- Rd: 拡散反射率
- E: 照度
- Ls: 鏡面反射光の輝度
- Rs: 鏡面反射率
- Li: 鏡面反射方向の輝度(二次光源を含む)
- Cr: LCDの屋外でのコントラスト比
- Lw: LCDの白の輝度(暗室条件)
- Lk: LCDの黒の輝度(暗室条件)

式(1), 式(2), 式(3)から, ウォッシュアウトを発生させない条件式(4)を導く。

$$\frac{Lw + Ld + Ls}{Lk + Ld + Ls} > Cw$$

Cw: 屋外でウォッシュアウトが発生しないコントラスト

$$Lk \ll Ld + Ls$$

$$Ld + Ls < \frac{Lw}{Cw - 1}$$

$$\frac{Rd \cdot E}{\pi} + Rs \cdot Li < \frac{Lw}{Cw - 1} \dots\dots\dots(4)$$

式(4)に図2の観測条件である照度(100klx)と空の輝度20kcd/m²を適用した場合, コントラスト比5で式(4)は図中の破線のように計算されて実験結果と良く合う。コントラスト比5以上である式(4)が, 屋外用表示装置が満たすべき反射特性であると考えられる。式(4)は天候やLCDの輝度等の条件によって変化することを考慮する必要がある。

このように, 屋外用途の表示装置におけるウォッシュアウトの低減には, 拡散反射率と鏡面反射率の両方をバランスよく低減する必要がある。ウォッシュアウトの観察結果と反射率の実測結果の関係から, 数式(4)及びコントラスト比5以上が屋外向け表示装置で達成すべき反射特性であることを見出した。

3. 表面処理の最適化

3.1 背景・目的

映り込みを抑える一つの方法として, 表示面にAGが施されることが多い⁽³⁾⁽⁴⁾。図3に示すように, 付加されるAGの状態によってLCDの画素ピッチとの干渉によるギラツキが発生し表示品位が悪化するという課題がある。視認性向上を目的とし表面処理を最適化するためには, 表面形状の違いによって光がどのように散乱するかを把握するこ

とが重要である。

3.2 表面処理最適化手法⁽⁵⁾

AGの程度は一般にHazeによって表現される。Hazeとは全透過光に対する拡散透過光の割合を指し, 値が大きいほど拡散光が増える。様々なHaze値の異なるAG処理されたガラスサンプルを用いてギラツキの視認性について確認した結果を図4に示す。ほぼ同じHaze値を持つ材料でもギラツキの視認性が大きく異なることが明らかになった。Haze値を指標として表面処理を最適化することは難しいことが分かった。

ギラツキはLCDの画素と保護ガラスのAGで拡散した光との干渉によって生じ, そのギラツキの視認性は拡散光の強度とガラス表面の粗さによって決まると考える。各ガラスの表面状態をAFM(Atomic Force Microscope: 原子間力顕微鏡)を用いて観察し, 得られた表面粗さ特性を表2に示す。Raはガラス表面の算術平均粗さであり, Rzは最大高さである。



図3. AGと画素ピッチ干渉によるギラツキ発生サンプル

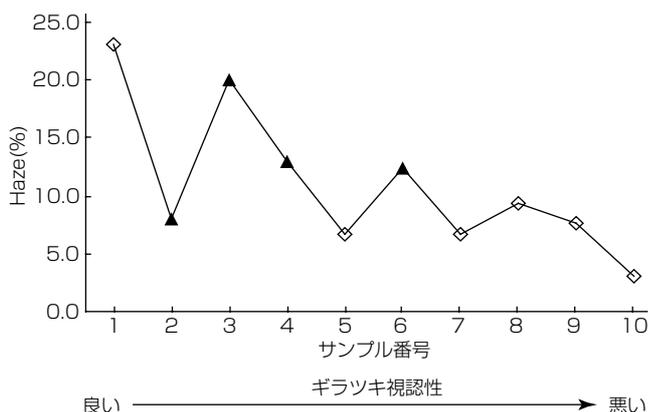


図4. 各種AGガラスサンプルでのギラツキ視認性

表2. 表面粗さ特性

サンプル番号	ギラツキ視認性	反射率 (拡散+鏡面)	Haze (%)	Ra (nm)	Rz (nm)
No.2	++	1.10	8	69.6	431.6
No.3	+	0.51	20	83.4	1,024.6
No.4	+	0.55	12	86.9	1,081.7
No.6	-	1.00	12	94.1	497.3

ギラツキ視認性 - : 悪い, + : 良い, ++ : とても良い

Ra : 算術平均粗さ, Rz : 最大高さ

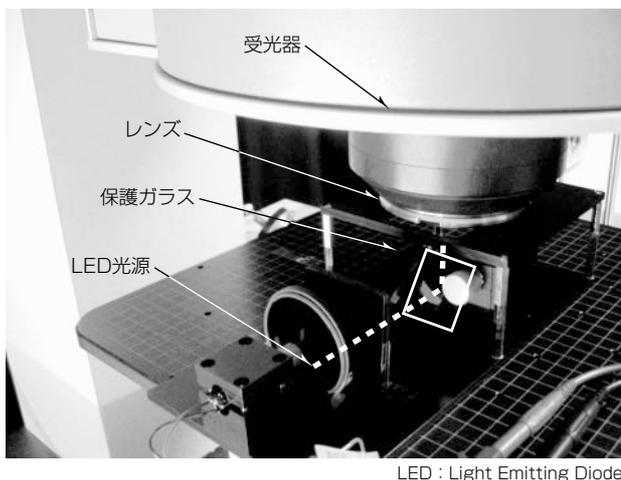


図5. 散乱光角度特性測定系

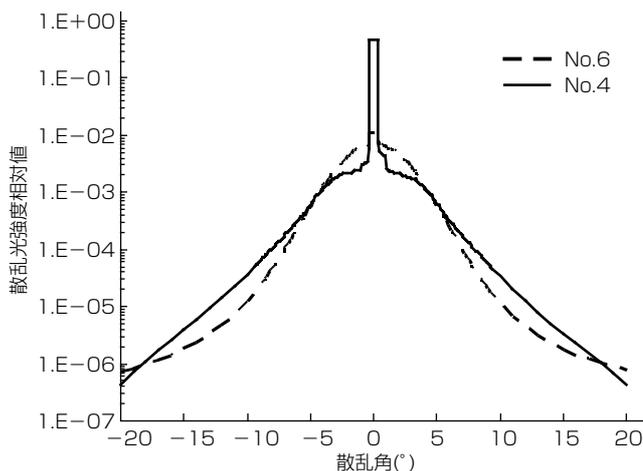


図6. 散乱光角度特性の測定結果

ギラツキ視認性はRaに依存しており、Raが小さくなるにつれギラツキ視認性が良くなることを確認した。

一方、ガラス表面での光の散乱・反射に対してはRaでなくRzが大きく寄与していると考えられる。Rzが小さい場合はRaの大小に関わらず表面は平滑であるが、Rzが大きくなると表面の凹凸が大きくなり、散乱光が増えることが考えられる。従来のHaze値では光がどの方向にどの位散乱しているかを知ることができなかつたため、今回図5に示す測定系を新たに構築した。

この測定系は光源から出射した光をサンプルへ垂直に入射させ、サンプルを透過後表面で散乱した光をレンズ系で平行光にして受光器へ入射させるものである。測定結果の一例を図6に示す。

表2のNo.4とNo.6のサンプルを比較した結果、いずれも従来のHazeでは12%程度のサンプルであるが大きく透過光の散乱特性が異なることが分かる。Rzの大きいNo.4の方が $\pm 5 \sim \pm 20^\circ$ の範囲でより散乱光強度が大きくなっており、散乱光が多いことが今回構築した測定系で確かめることができた。散乱光を多くすることによって表面の鏡面反射の割合を低減し拡散反射の割合を増加させることができ、その結果映り込みを低減することができる。

このように、従来のHaze値ではなく保護ガラスの表面形状特性をパラメータとすることで、ギラツキ視認性及び散乱・反射特性を最適化する手法を確立した。また、今回構築した散乱光角度特性測定系によって得られる結果を光線シミュレーションへ応用することによって、表面形状の違いによる散乱光の振る舞いが計算可能となる。これによって、保護ガラスに求められる所望の特性を計算によって求めることが可能になる。

4. む す び

LCDは保護ガラス又はタッチパネルの装着に伴う表面反射特性の変化や、新たな使用環境の影響によって、その表示性能が変化する。ウォッシュアウトに対しては、表示装置が各環境で達成すべき拡散反射特性、鏡面反射特性を具体的に見出した。映り込みに対しては、AGのギラツキ視認性及び散乱・反射特性を最適化する手法を確立した。反射特性及び表面処理を最適化することで、LCDは様々な環境で良好な表示性能を実現することが可能となる。

LCDは今後、更に付加価値を備えた表示デバイスとして、様々な分野で応用範囲を広げることが予想される。当社は、高付加価値化に伴う新たな部品との組合せ、新たな使用環境でも、良好な表示性能を実現するように、製品開発に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) Ohtsuki, H., et al.: The Proposal for Improving the Image Quality of LCD with Touch Panel for Outdoor Use, IDW/AD2012, INPp-6, 329~332 (2012)
- (2) 窪田 悟: 液晶ディスプレイの反射特性と反射グレアの関係, 照明学会誌, **79**, No. 5, 226~233 (1995)
- (3) Brunnstrom, K., et al.: Visual Ergonomic Effects of Screen Gloss on LCDs, SID Symposium Digest of Technical Papers, **39**, No. 2, 1014~1017 (2008)
- (4) Antiglare vs Antireflection, White Paper http://www.gdoptilabs.com/documentation/pdf/white_paper-antiglare_vs_antireflection.pdf
- (5) Kiyohara, T., et al.: Optimization of the Surface on Cover Glass for Automotive TFT-LCDs, IDW/AD2012, FMC2-4, 177~180 (2012)