

液晶ディスプレイの各種材料の散乱がコントラスト視野角に与える影響

結城昭正*
奥本和範**

Influences of Scattering on Contrast Viewing Angle of Liquid Crystal Displays

Akimasa Yuuki, Kazunori Okumoto

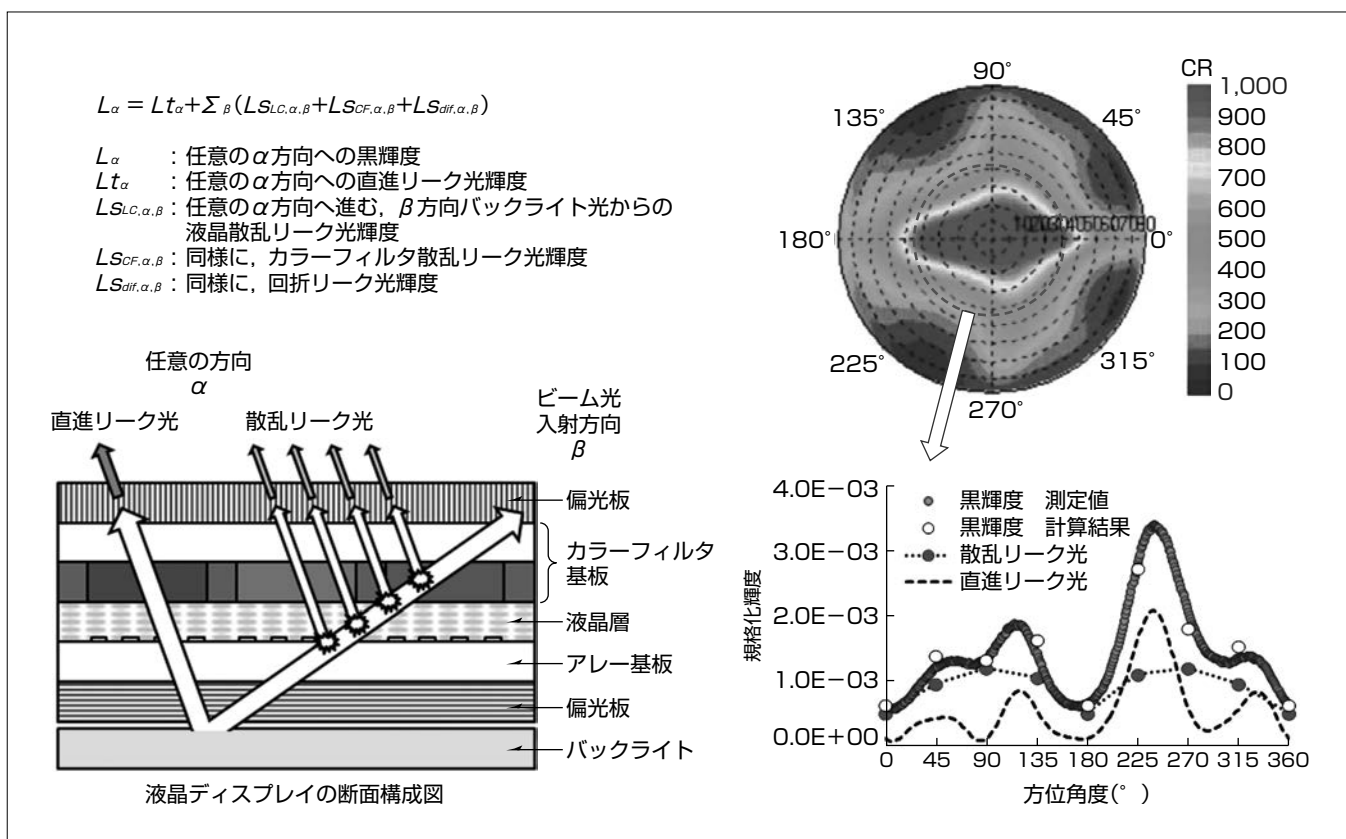
要旨

三菱電機は、液晶ディスプレイの任意の斜め方向のコントラスト比(CR=白表示時の輝度/黒表示時の輝度(以下“黒輝度”という。))に影響を及ぼす各種散乱光とその偏光板透過率の特性を明らかにし、散乱リーク光輝度を定量的に予測する計算モデルを開発した⁽¹⁾。

このモデルは、バックライト光を様々な方向に進むビーム光線の束と考え、各ビーム光線が液晶パネルを通過する際に発生する任意の方向への散乱リーク光輝度を積算することによって、その任意の方向の黒輝度を計算する。この計算モデルによって、液晶パネルのカラーフィルタや液

晶層などの構成材料の光散乱特性、画素形状による回折光、位相差板を備えた偏光板での光リーク特性、バックライト配光による直進リーク光と散乱リーク光の輝度比の変化を考慮して、黒輝度を予測できる。

この計算モデルを用いれば、任意の方向のCRを定量的に推定できるため、客先の要求に対応した視野角特性の迅速な開発が可能になる。さらに、部材の特性ばらつきや組立て精度を考慮して量産時の歩留りを設計段階で予測することも可能になる。



液晶ディスプレイの黒輝度計算モデル

任意の α 方向の黒輝度を計算する基礎式とモデル図を示している。バックライト光をビーム光線の束と考え、 β 方向へのビーム光から発生する α 方向への散乱リーク光輝度を全ての β 方向にわたり積算し、これと α 方向への直進リーク光輝度を足し合わせることで、 α 方向の黒輝度を計算する。グラフに示すのは広視野角in-plane-switchingモード液晶ディスプレイの黒輝度分布(極角 42°)であり、計算結果は測定値をよく再現できている。ここで、グラフの縦軸は、入射ビーム光輝度分布で規格化した値であり、同様に規格した白輝度との比からCRを計算できる。

1. ま え が き

安全性と快適性の向上のため、自動車室内への液晶ディスプレイの搭載が増えている。車載用液晶ディスプレイでは、運転席方向に高いコントラスト比(CR)が求められ、製品差別化のポイントの1つになっている。液晶ディスプレイでは、CRを決める黒輝度に散乱リーク光が大きく影響していることが知られている⁽²⁾。特に、2軸位相差板を用いた広視野角in-plane-switchingモードの液晶ディスプレイでは、その割合は大きい。しかし、この散乱リーク光輝度を定量的に予測する方法はなかった。

当社は、液晶ディスプレイの任意の斜め方向のCRに影響を及ぼす各種散乱光とその偏光板透過率の特性を明らかにし、散乱リーク光輝度を定量的に予測する計算モデルを開発した。

本稿では、黒輝度の計算モデルとその妥当性、及び計算の一例としてパネル構成による黒輝度の変化について述べる。

2. 散乱リーク光のモデル化

2.1 ビーム光からの散乱リーク光輝度分布

液晶パネルに入射したビーム光によって発生する散乱リーク光について調べた。図1に示すように、テストサンプルとして、通常の液晶パネルであるパネルサンプル、カラーフィルタ(CF)基板に偏光板を貼り付けたCFサンプル、色材層を除いたCF基板(ブラックマトリクス(BM)開口パターンだけ)に偏光板を貼り付けたBMサンプルの3種を準備し、右30°方向と上30°方向のビーム光を入射した場合に発生する散乱リーク光の配光輝度を計測した。

図2、図3、図4に測定結果を等高線図で示す。これらの結果から、入射ビーム光から筋状に分布する回折散乱リーク光、扇状に広がるCF散乱リーク光、入射ビーム光を中心に軸対称に広がる液晶(LC)散乱リーク光の存在が分かる。さらに、ビーム光の入射方向への依存性から、回折散乱リーク光とCF散乱リーク光は偏光しており、LC散乱リーク光は無偏光と推察される。

2.2 回折散乱リーク光のモデル

単位入射光量当たりの回折リーク光の光度分布は、ホイヘンス・フレネルの原理に従いキルヒホッフの公式を用いた波動光学で計算できる。さらに、光源側偏光板を通過して入射したビーム状の直線偏光に誘起されるダイポールを光源として二次球面波が広がると仮定すると、ジョーンズマトリクス法によって伝搬方向ごとの回折リーク光の偏光板透過率が計算できる。したがって、これらに入射ビーム光光量を掛け合わせることで、回折リーク光の輝度分布が得られる。

図5に、回折リーク光の輝度分布と偏光板透過率の計算結果を示す。ここで、入射ビーム光光量は前面偏光板がない

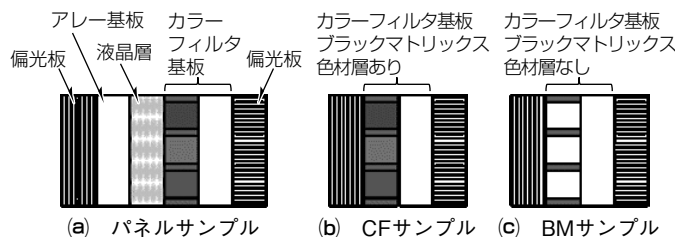


図1. テストサンプルの断面構成図

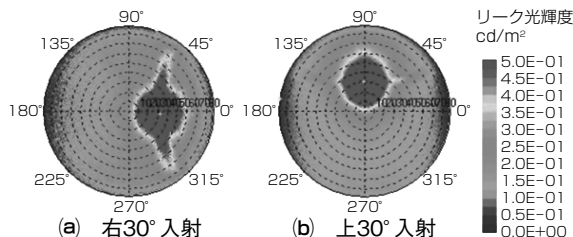


図2. パネルサンプルの散乱リーク光配光輝度分布

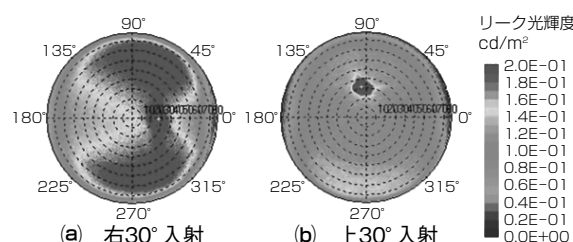


図3. CFサンプルの散乱リーク光配光輝度分布

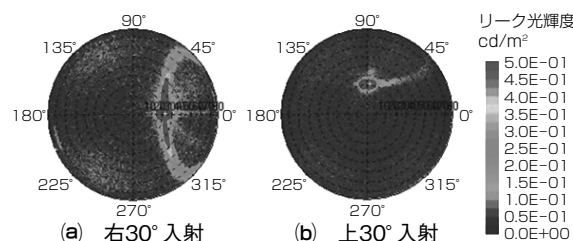


図4. BMサンプルの散乱リーク光配光輝度分布

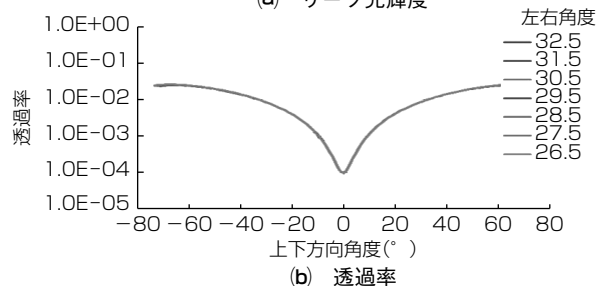
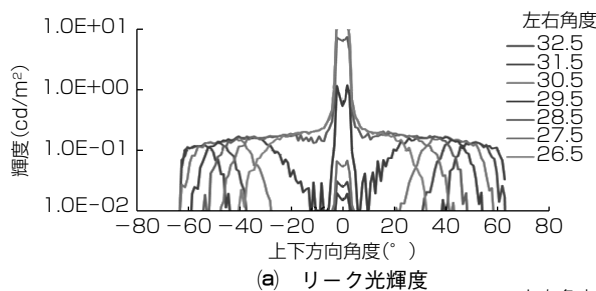


図5. 回折リーク光輝度と偏光板透過率の計算結果(右30°入射)

BMサンプルでの配光輝度分布測定値から算出した。図6に示すのは、図4に示すBMサンプルで測定された回折リーク光輝度等高線図の断面図、及び前面偏光板が有り無し

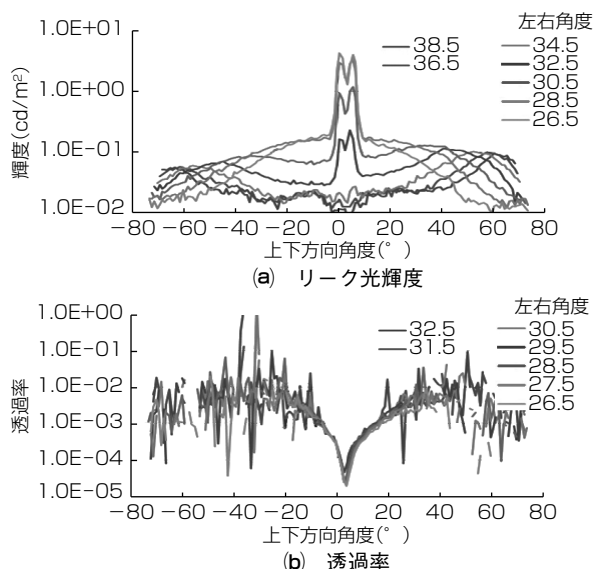


図6. 回折散乱リーク光輝度と偏光板透過率の測定値(右30°入射)

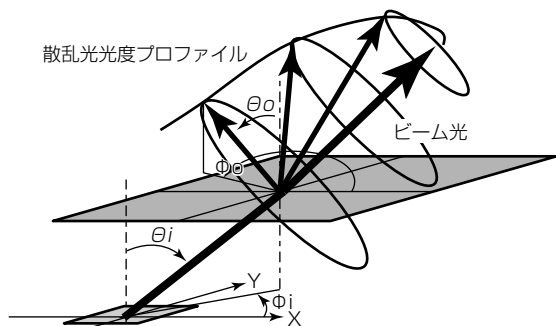


図7. CF散乱リーク光の偏光成分の内部散乱分布モデル

の状態の比から求めた偏光板透過率の測定値である。計算結果は、測定値とおおむね一致しているのが分かる。

2.3 CF散乱リーク光のモデル

CF散乱リーク光モデルでは、次の単純化を行った。

- (1) CF散乱リーク光には、偏光成分と無偏光成分が混在する。
- (2) 無偏光成分は、ビーム光の入射方向によらず入射ビーム光光量に対して等しい散乱効率で、散乱方向に均一なサンプル内部の輝度分布を示す。
- (3) 偏光成分は、図7に示すように、サンプル内部で入射ビーム光を中心とする軸対称な光度プロファイルを持ち、散乱効率と光度プロファイルは、ビーム光入射方向によらない。
- (4) CF偏光散乱リーク光の偏光板透過率は、回折リーク光と同様にジョーンズマトリックス法で求められる。

図8にビーム入射方向が30°の場合のCF散乱リーク光輝度分布の計算結果(CF偏光散乱リーク光輝度と無偏光散乱リーク光輝度の和)と測定値を示す。ビーム光入射方向から広がる筋状の回折リーク光を無視すれば、計算された輝度分布は測定された輝度分布をよく再現できている。

さらに、ビーム光入射角度30°の測定値から求めた散乱効率と光度プロファイルを用いて、ビーム光入射角度60°

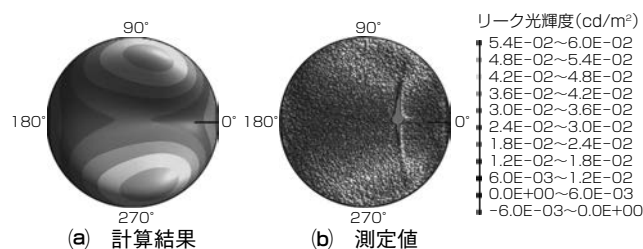


図8. CF散乱リーク光輝度の計算結果と測定値の等高線図

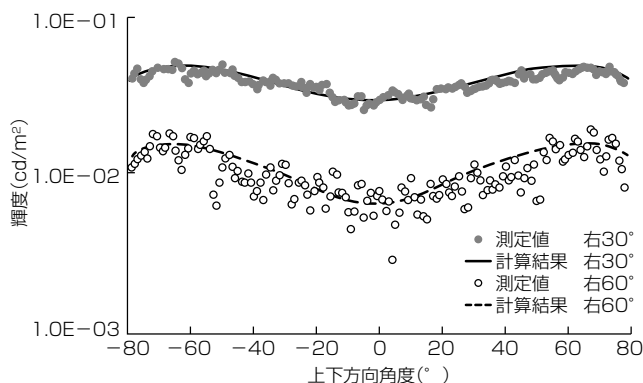


図9. CF散乱リーク光の配光輝度分布の計算結果と測定値の比較

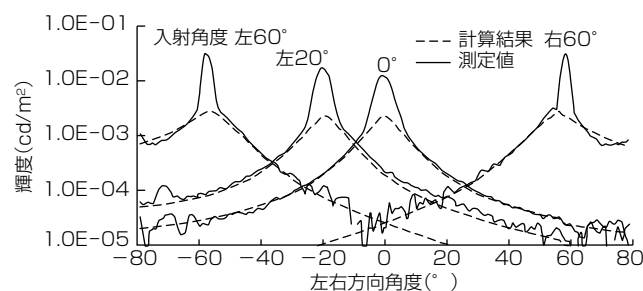


図10. LC散乱リーク光輝度分布の計算結果と測定値

の場合について計算した結果を図9に示す。入射ビーム光の方向が60°の場合の測定値を再現できることが分かる。

2.4 LC散乱リーク光のモデル

LC散乱リーク光は、無偏光であり、単位入射ビーム光光量当たりのサンプル中での散乱リーク光光度プロファイルは、入射ビーム光の方向によらず、入射ビーム光の方向を中心とした軸対称の散乱光光度プロファイルを持つと単純化したモデルを仮定した。

正面方向0°のビーム光での測定値から算出した散乱光光度プロファイルを用いて計算した結果、図10に示すように、異なるビーム光入射方向の場合のLC散乱リーク光輝度分布も、精度良く再現できることが分かる。

3. 斜め方向の黒輝度の計算

3.1 各散乱リーク光の比率

2章で述べた計算モデルによって、ある1つの方向 β に向かう単位光束のビーム光で発生し、任意の α 方向に向かうLC散乱リーク光、CF散乱リーク光、回折散乱リーク光の輝度が算出できる。これらをバックライト配光輝度分布に従う光量比分布で全ての β 方向のビーム光について積算することによ

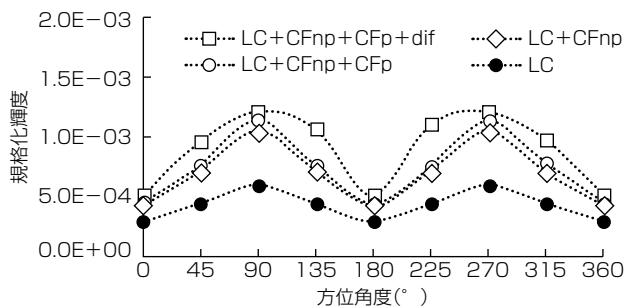


図11. 散乱成分ごとの散乱リーク光輝度の計算結果(極角42°)

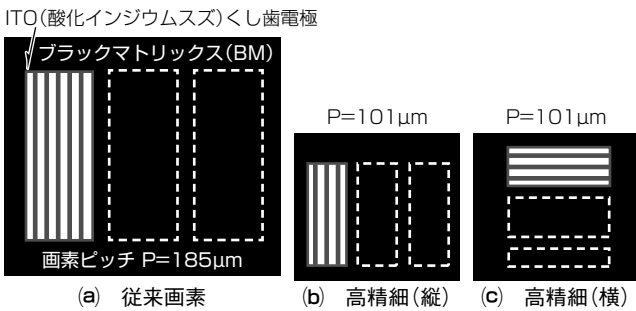


図12. 検討したパネル画素形状のイメージ図

て、任意の a 方向への散乱リーク光輝度が算出できる。これに、ジョーンズマトリクス法で計算できる a 方向への直進リーク光輝度を足し合わせることによって、 a 方向の黒輝度を算出できる。

要旨の図に示すように、最新の2軸位相差板を用いた広視野角in-plane-switchingモード液晶ディスプレイを対象にした計算結果は、測定値とおおむね一致している。

図11に散乱リーク光輝度の中での各種散乱リーク光の構成割合を示す。黒輝度の主たる割合を占める散乱リーク光輝度の中で、LC散乱リーク光(LC)、CF無偏光散乱リーク光(CFnp)の割合が多く、回折リーク光(dif)、CF偏光散乱リーク光(CFp)の割合は比較的少ないことが分かる。

3.2 パネル構成による回折リーク光の増加

LC散乱リーク光、CF散乱リーク光は材料の物性値で決まるが、回折リーク光は、画素のサイズと形状の影響を受ける。さらに、偏光しているため、偏光板構成の影響も受ける。ここで検討した画素は、図12に示す、従来画素、高精細(縦)、さらに、これを90°回転させた高精細(横)の3種である。偏光板構成は、図13に示すように、2軸位相差板が光源側(背面)と前面側の場合について検討した。バックライト配光は、導光板上に拡散シートだけを配置した広い配光を標準とし、さらに、視野角制限板を設けて上下方向の光をカットすることによる散乱リーク光輝度の抑制効果を調べた。

表1に計算結果を示す。計算された各散乱リーク光輝度は、右上方向(運転席方向)への値であり、各パネルサンプルの前面偏光板を除いた場合の輝度を用いて規格化している。表1によれば、画素が高精細化しても回折リーク光の増加は他の散乱リーク光と比べ無視できる程度である。た

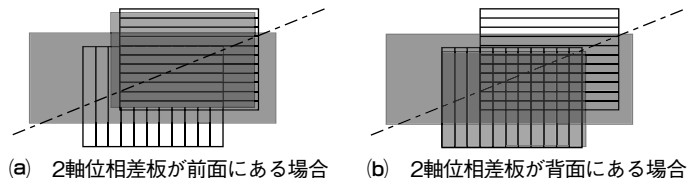


図13. 検討した偏光板の配置図

表1. 各種パネル構成における散乱リーク光輝度の計算結果

画素構造	2軸位相差板偏光板	バックライト	回折リーク光	CF散乱リーク光		LC散乱リーク光	散乱リーク光合計
				偏光	無偏光		
従来画素	前面	視野角制限板なし	0.4E-4	0.1E-4	1.5E-4	4.2E-4	6.2E-4
			0.7E-4	0.1E-4	1.5E-4	4.2E-4	6.5E-4
高精細(縦)	前面	視野角制限板なし	0.6E-4	0.1E-4	1.5E-4	4.2E-4	6.4E-4
			1.7E-4	0.1E-4	1.5E-4	4.2E-4	7.5E-4
高精細(横)	背面	視野角制限板あり	1.1E-4	0.1E-4	0.8E-4	3.1E-4	5.1E-4

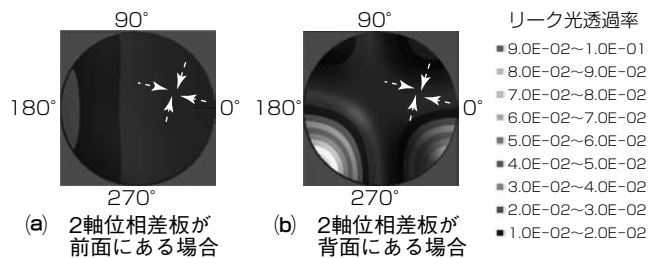


図14. 回折リーク光の偏光板透過率の分布

だし、2軸位相差板が光源側(背面)にある場合は、回折リーク光輝度は 1.7×10^{-4} に増大する。これは散乱リーク光輝度の20%を超える値である。図14に示すように、2軸位相差板が光源側(背面)にある場合は、前面にある場合に比べ、下方に向かうビーム光からの回折リーク光の偏光板透過率が大きくなるためである。

またこのとき、表1の最下段に示すように、バックライトに上下方向の視野角制限板を追加すると効果的に散乱リーク光輝度の増加を抑制することができることが分かる。

4. むすび

今回、液晶ディスプレイの黒輝度を定量的に予測する計算モデルを開発した。この計算モデルを用いれば、任意の方向のCRを定量的に予測できるため、客先要求に適合した視野角特性の液晶ディスプレイを迅速に開発していく。

参考文献

- (1) Okumoto, K., et al.: A Novel Simulation Method in In-Plane Switching Mode Panel with Considering Light Scattering Behavior, SID Symposium DIGEST of Technical papers, **46**, Issue 1, 1555~1558 (2015)
- (2) Utsumi, Y., et al.: Improved contrast ratio in IPS-Pro LCD TV by Using quantitative analysis of Depolarized Light Leakage from Component materials, SID Symposium DIGEST of Technical papers, **39**, Issue 1, 129~132 (2008)