

車載ディスプレイの低反射技術

Low Reflection Technology for In-vehicle Displays

藤本 高英
Takahide Fujimoto

大石 利治
Toshiharu Oishi

要 旨

車載ディスプレイは炎天下の太陽光が直接車室内に差し込む非常にまぶしい環境下においても、安全情報などの表示を瞬時に正確に認識できる視認性が求められている。そのような環境下においてディスプレイに必要な反射特性を明確にし、ディスプレイの表面反射成分、内部反射成分それぞれに対し反射低減を試みた。表面反射成分に対しては正反射で0.1%を切る新しい反射防止処理の開発。内部反射成分に対してはボンディング工法、および、円偏光での反射キャンセルによる反射低減を検討し、直射日光下でも視認可能な低反射ディスプレイを開発した。

Abstract

In-vehicle displays are required to have visibility that can instantly and accurately recognize displays such as safety information in very dazzling environments where sunlight under the scorching sun directly enters the vehicle's interior. We have clarified the reflection characteristics required for the display in such environments and have endeavored to reduce the reflection of each of the surface reflection component and the internal reflection component of the display. For surface reflection components, we have developed a new anti-reflection treatment that has a specular reflection of less than 0.1%. For internal reflection components, we investigated how to reduce reflection by using bonding methods and reflection suppression techniques with circularly polarized light. This enabled us to develop a low reflection display that can be visually recognized even in direct sunlight.

1. はじめに

太陽の光の強さは地域、季節、時間にもよるが、日本の夏の一番強い時間帯であれば約12万 lxもの強い光が地面に降り注ぎ、車室内にはその強い太陽光がフロント、リア、サイドのガラスなどから差し込んでくる。日常使用しているスマートフォンやタブレット端末では、画面に光が当たらないようにスマートフォンの角度を変える、自分の体の向きを変えるなどを自然に行い、少しでも見やすい状態を探し、見ているが、車載ディスプレイではそのような選択はできない。このような使用環境においても視認可能な反射特性は車載ディスプレイに求められる最も重要な特性の1つとなっている。

2. 車載ディスプレイに求められる視認性

2.1 車載ディスプレイの種類と目的

現在、車室内にはさまざまなディスプレイが搭載されており、第1図に自動車における主なディスプレイの種類と目的を示す。車載ディスプレイはその目的や搭載位置、またフードの有無などにより求められる特性が異なる。例えばダッシュボード上に搭載されるメータディスプレイやセンターインフォメーションディスプレイ (CID) には、常に太陽光にさらされる可能性があるなか、各運転情報を瞬時にドライバーに伝えるための高い視認性 (低反射) が求められる。一方リアシートエンターテインメント (RSE) には、

リアシートで映画などを楽しむ目的のため、ディスプレイには高い視認性よりも画質性能を重視した特性が求められることが多い。



種類	目的	主な情報表示内容
センターインフォメーションディスプレイ (CID)	運転環境サポート	ナビゲーション情報, スマートフォン情報, オーディオ情報
メータディスプレイ (Meter)	自車環境の伝達	車体情報 (スピード, 積算距離, 燃料メータ, エンジン回転数)
リアシートエンターテインメント (RSE)	車内エンターテインメントサポート	映像, 音楽の再生
ミラー (Mirror)	後方の安全サポート	自車のバックサイド情報

第1図 自動車における主なディスプレイの種類と目的
Fig. 1 Position and purpose of display in automobiles

2.2 車載ディスプレイに必要な反射特性

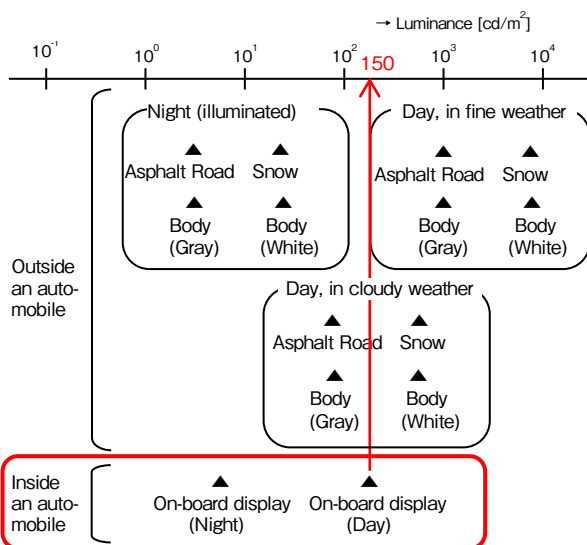
自動車関連の規格において、直射日光での車室内照度はISO16505にて45 000 lx（輝度換算で14 331 cd/m²）、直射日光下で視認に必要なコントラストはISO15008にて3:1（direct sunlight condition）と定義されている。コントラストと外光の関係は（1）式で示される。

$$\text{コントラスト} = \frac{\text{白輝度}}{\text{（黒輝度 + 外光輝度} \times \text{反射率）}} \dots\dots\dots (1)$$

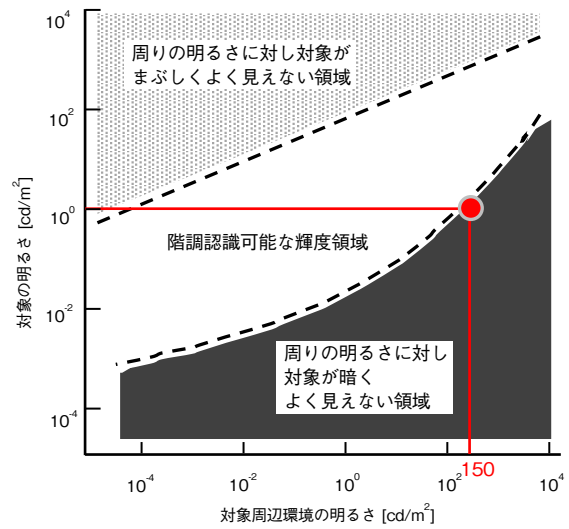
ここでディスプレイの白輝度を400 cd/m²、黒輝度を1 cd/m²と標準の数値とした場合、直射日光下で視認に必要なコントラスト3:1を満足するためには、前出のコントラストと外光の関係式からディスプレイに必要な反射率は0.9%以下となる。

また別の考え方として、画質やデザイン面などの影響を考慮した黒レベルからの反射率算出がある。車室内における環境照度を第2図に、環境による人間の視認可能輝度特性を第3図に示す。ここでon-board displayの日中の環境輝度は150 cd/m²、このときの視認可能下限輝度は約1 cd/m²となっている。on-board displayとは第1図で示したCIDである。視認可能下限輝度 ÷ 環境輝度 = 黒視認反射率としたとき、1 cd/m² ÷ 150 cd/m² = 0.7%となり、ディスプレイの反射率を0.7%以下に抑えれば、日中の標準環境輝度において外光反射による黒浮きでの映像劣化は視認されないことになる。

以上より車載ディスプレイにおいてあるべき姿の反射率はコントラスト、黒レベル両面を考慮し0.7%以下とした。



第2図 車外とオンボードディスプレイの輝度 [1]
Fig. 2 Luminance of outside of the vehicle and on-board display [1]

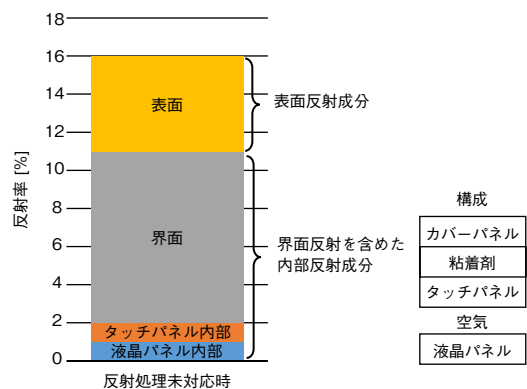


第3図 異なる順応輝度に対する識別可能な物体輝度の範囲 [2]
Fig. 3 A schematic illustration of the range of object luminance within which discrimination is possible for different adaptation luminance [2]

3. 低反射化技術

3.1 車載ディスプレイの構成

車載ディスプレイにおいて最も反射率の高い構成となるのは、カバーパネルとタッチパネルを装備した場合であり、第4図にその構成での反射処理未実施時の測定値およびシミュレーションを元に分類した反射成分を示す。表面の反射成分が5%、各構成部品の界面反射成分とタッチパネルおよび液晶パネルの内部反射成分を合わせた内部反射成分が11%、合計で反射率16%となっている。この反射率16%をいかにして車載ディスプレイに必要な反射率0.7%以下とするかが課題となる。次節から低反



第4図 カバーパネルとタッチパネルを備えた車載ディスプレイの反射
Fig. 4 Reflectance of the in-vehicle display with a cover panel and touch panel

射化の手法を、ディスプレイを見た際にその印象を大きく左右する表面の反射成分低減と、界面の反射成分およびタッチパネルの内部反射成分低減とに分けて説明する。

3.2 表面反射の低減

[1] 反射処理

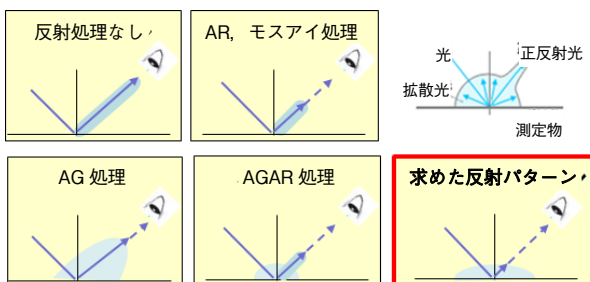
表面反射の低減方法（処理）は、アンチグレア（AG）、アンチリフレクション（AR）、両者を組み合わせたAGAR、モスアイ（蛾の目の構造に似たナノメートルオーダーの微細凹凸構造で反射を抑える技術）などがある。AGは光を散乱させる効果が反射光を抑え、ARやモスアイは干渉や屈折率差を抑え反射光量を下げている。低反射化にはモスアイ構造は優れているが、表面強度、汚れ拭き取り性など課題が多く、品質要求の厳しい車載用途には採用は難しい。一方ARは多層化により反射低減性能を上げていくことは可能であるが、コストが大幅に増加する。車載では近年反射率低減と防眩（ぼうげん）性を付与したAGARの採用が増えてきている。

当社では以下の各種反射処理を商品化している。

- ① ウエットフィルムタイプによるAG, AR, AGAR
- ② ドライフィルムタイプによるAR, AGAR
- ③ 樹脂成型レンズダイレクト処理によるAG, AR, AGAR
- ④ ガラスレンズダイレクト処理によるAR, AGAR

これらの処理をお客様のご要望により対応しており、表面反射としては0.5%~4%程度の反射率を選択可能である。

しかし前記のあるべき姿（表面反射成分、内部反射成分合わせて反射率を0.7%以下に抑える）を目指すには更なる改善が必要と考え、筆者らは拡散パターンに着目した新しい反射処理の検討を行った。第5図は既存の反射処理と求めた反射パターンのイメージを示す。ARで低減しきれない反射成分を目に入らない領域へ拡散させて正反射光を抑えることと、かつ正反射光方向への散乱を抑



第5図 既存反射パターンと求めた反射パターンのイメージ図

Fig. 5 Images of existing reflection processing patterns and target reflection patterns

えることにより、今までにない新しい性能のAGARができないかと考えた。

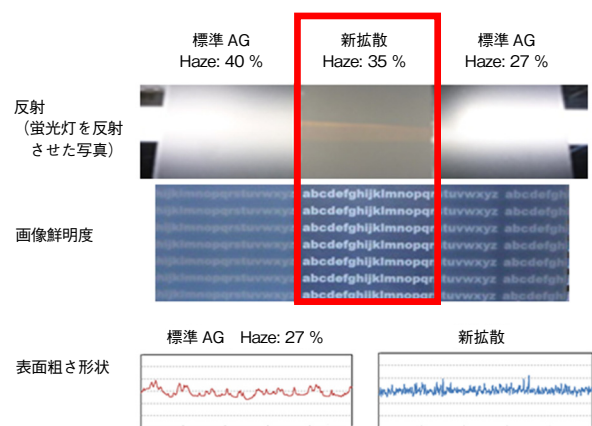
[2] 拡散形状

拡散は表面を荒らすことにより乱反射を発生させて行う。AGの場合は塗料に粒子を混ぜ塗布、乾燥させ凹凸を形成する手法やガラスにフロスト処理を行い凹凸を形成する手法などがある。しかしながらこれらの手法では、粒子による散乱光の発生や形状が大きくなだらかなパターンなどから、求める反射パターンと画像の鮮明度の両立は困難と判断した。このため今回の形状作成工法は新たな手法を開発し作成した。凹凸形状設計で注目したパラメータは算術平均粗さ（Ra）、曲面要素の平均長さ（RSm）、二乗平均平方根傾斜（RΔq）の3点である。

特に注目したのはRΔqで、傾斜により拡散を極力横に広げることを狙った。また拡散による画像鮮明度の低下を防ぐため、RSmの最小化を図った。

第6図に検討試作した拡散サンプルとLCD（Liquid Crystal Display）で最も一般的に使われているAGとの反射性能と画像鮮明度の比較を示す。反射は各拡散サンプルの裏面を黒くし蛍光灯の映り込みを撮影、画像鮮明度は各拡散サンプルをLCDより27 mm距離を確保し設置したときの透過画像を撮影している。

標準AGと比較し、RΔqで約4倍、RSmは約1/10の形状特性としており、既存品とは異なる光学特性を得られていることがわかる。



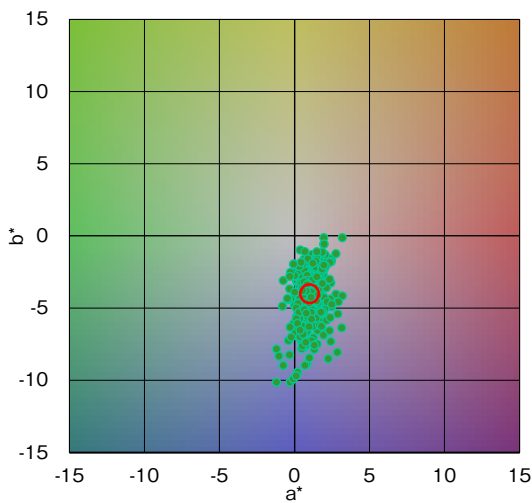
第6図 プロトタイプAGと既存AGの映り込みと画像鮮明度比較

Fig. 6 Comparison of reflection and image resolution between prototype AG and conventional AG samples

[3] AR処理

AR処理は、コーター（印刷装置）によるウエット方式と蒸着やスパッタによるドライ方式の2種類があるが、ウ

エット方式では凹凸の谷間に塗料がたまり膜厚の均一性が確保できないことからドライ方式を採用した。層数はコスト、生産性を考え4層としている。また反射率も重要であるが、色付きにより人が反射を認識するため、反射色についても検討を行った。第7図に各層の膜厚ばらつきによる反射色予測のシミュレーションを示す。白の座標原点が理想と考えるが、量産性を考えばらつきにより色相が大きく反転しないよう、 $b^* < 0$ (b^* : 知覚色度指数。負の値は青寄り、正の値は黄寄り)の領域内に多く収まる設定を行った(知覚色度指数 a^* は、負の値は緑寄り、正の値は赤寄り)。



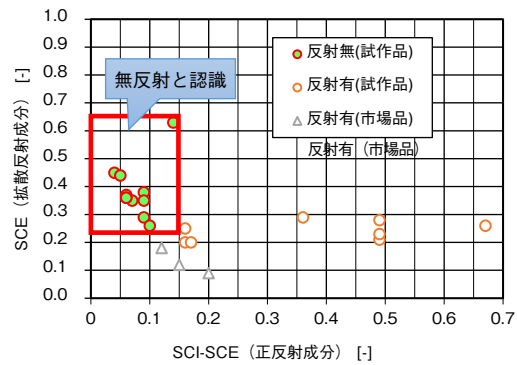
第7図 コーティング膜厚偏差による反射色度シミュレーション
Fig. 7 Simulation of reflected chromaticity deviation due to the thickness deviation of each coating

〔4〕正反射と拡散反射の関係

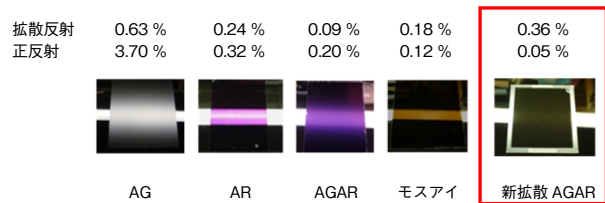
AGの凹凸パターンとAR反射率のパラメータの各種組み合わせの反射処理サンプルを作製し、測定、視覚評価を行った。正反射と拡散反射の関係でプロットしたのが第8図で、1000 lxの蛍光灯下で評価者10名中7名以上が無反射と認識したサンプルが赤枠の範囲であった。

正反射が0.15%以下で、かつ拡散反射>正反射×2の条件時に無反射と認識されている。これは反射輝度が前出の視認可能下限輝度に近く、かつ拡散光に正反射が埋まり反射輪郭が見えなくなっていることによると考察した。

第9図には既存反射処理との映り込み比較を示す。AR、AGAR、モスアイなど既存の反射処理は上記条件を満たしていない。また既存AGにて拡散を上げARを付加した場合は正反射も上がってしまい上記条件を満たすことはできず、新拡散形状のみ条件を達成できた。



第8図 視覚評価による実験結果
Fig. 8 Experimental result of the visual evaluation



第9図 新拡散AGARと従来AG/AR/AGAR/モスアイの反射比較(蛍光灯反射)
Fig. 9 Comparison of reflection between prototype AGAR and conventional AG/AR/AGAR/Mos-eye (reflection of fluorescent light)

3.3 界面反射を含む内部反射成分の低減

〔1〕界面反射の低減とデザイン対応

フレネルの式より反射は界面材料間の屈折率差により発生する。使用される材料は、PET (Polyethylene terephthalate), TAC (Triacetylcellulose), PC (Polycarbonate), PMMA (Polymethyl Methacrylate)、ガラスなどが使われ空気との屈折率差が大きいことから、現在スマートフォンやタブレットなどでは部材間を透明粘着、接着剤で埋め固定するオプティカルボンディングが導入されている。オプティカルボンディングによる界面反射の低減効果は明らかで、使用される材料の屈折率とほぼ同じ屈折率をもつアクリル系のボンディング材料の場合、界面反射はほぼゼロに抑えることができる。

ボンディング材料には、両面テープタイプの光学用透明粘着シート (OCA: Optical Clear Adhesive) と、液タイプで紫外線や熱などで硬化させる光学用透明樹脂 (OCR: Optical Clear Resin)、双方の中間的なプレジェルOCRなどがある。OCAはシート状でその両面にセパレーターを持つ構成でハンドリング性に優れるが、加飾印刷部の段差吸収性やリワーク性に劣る。一方OCRは一般的にディスプレイで液を塗布し、ボンディング後硬化する工法で、

OCAのように材料の一次加工は必要なく低コストで購入可能であり、段差吸収性に優れているが、接着剤のぬれ広がりや隙間を充填することや、はみだしや液漏れを抑制するためダムを形成する必要があるなど、タクト面や生産性に課題がある。プレジェルOCRは、スリットコーターを用いて面で塗布し、塗布しながら紫外線により仮硬化(ジェル化)することで塗膜の形状を形成し、OCRの弱点である生産性を大きく向上させることができる。第1表にボンディング材料ごとの特性比較をまとめる。

またOCRとプレジェルOCRでは曲面(2.5D)も貼合可能で、意匠性に優れた付加価値の高い製品を提供することが可能となる。

当社ではお客様のご要望にお応えし、以下のボンディング工法を確立している。

- ① OCA
- ② OCR
- ③ 2.5D OCR (曲面充填)
- ④ プレジェルOCR

第1表 OCA/OCR/プレジェルOCRの比較

Table 1 Comparison of bonding performance OCA/OCR/ Pre-gel OCR

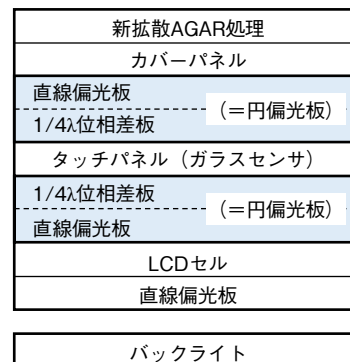
	OCA	OCR	プレジェルOCR
使用装置	ラミネーター	ディスペンサ	スリットコーター
段差吸収性	△	○	○
効果収縮ムラ	○	△	○
UV非透過対応	○	×	○
タクト	○	△	○
リワーク	×	○	△~○

〔2〕タッチパネルの内部反射低減

タッチパネルには構造分類として、アウトセル構造(抵抗膜式、静電容量式)、オンセル構造、インセル構造があるが、今回筆者らはアウトセル構造での内部反射低減を試みた。アウトセル構造のタッチパネルでは、金属メッシュやITO (Indium-Tin Oxide) フィルムなどを用いて、パターンセンサが形成されているため、インデックスマッチング処理やハイブリッド構造化による内部反射の低減は行っているものの、金属材料の反射、ベース基材の反射によって、表面、裏面の反射成分を除いた内部反射成分を1%~15%含んでいた。筆者らが目標とする正反射0.7%以下を実現するには、このタッチパネルの内部反射成分を限りなくゼロに抑える必要があり、円偏光技術による内部反射低減を行った。円偏光板は直線偏光板と1/4波長(λ)位相差板をそれぞれの吸収軸と遅相軸を45°に貼り合わせたもので、直線偏光板によって特定の方向にのみ振動する光に変換し、更に1/4波長位相差板によ

てその特定の方向にのみ振動する光を回転させる機能をもつ。これにより外光が円偏光板を通過する際、その半分が吸収され残りの半分が通過し、更に右回り(または左回り)に回転する光となる。通過した外光はタッチパネルの反射面で反射して左回り(または右回り)になり再び円偏光板に入るが、円偏光板は右回り(または左回り)の光だけを透過させ左回り(または右回り)光は吸収するため、外光のタッチパネルでの反射光は理論上ゼロに抑えられる。

円偏光を有効に機能させるには、偏光を崩す拡散反射成分や材料のリタデーションを極力抑える必要や、材料の波長分散性を考慮する必要があるため、検討し最適化を図った。また基材が高分子材料となるフィルムセンサでは十分な円偏光の効果が望めず、ガラス基材にITO膜を直接積層させるガラスセンサを採用した。これによりタッチパネルの内部反射成分ゼロを実現した。なお、液晶表示光は特定方向にのみ振動する光のため、本構成の場合、輝度低下は発生しない(第10図)。



第10図 円偏光板を用いた構成例

Fig. 10 Configuration using a circularly polarizing plate

4. まとめ

表面反射低減としては、①拡散と映像鮮明度を両立した新しい拡散形状、特性の開発に成功した。②AR処理においては量産性を考慮した層数内で色調最適化を行った。③正反射と拡散反射の関係から無反射に見える条件を見つけ出すことができた。これらにより反射輝度、反射色、反射輪郭の低減が図れ、既存処理にはない正反射0.1%を切る新しい表面反射性能を実現できた。界面反射削減はオプティカルボンディング材料を含めた材料の組み合わせ最適化により反射率ゼロを実現するとともに、生産性の高い各工法を対応した。タッチパネルの内部反射低減は円偏光技術を用い反射率ゼロを実現した。以上を組み合わせることにより、目標とした直射日光下においても

視認性を確保できる正反射0.7%の低反射技術を開発することができた。第11図に本開発品と第4図で示した反射未対策ディスプレイの視認性比較を示す。外光を模した高照度ライトを正反射の位置に来るように設置し、ライトが当たっている所での地図映像の視認性の違いを比較できる。



開発品 (正反射 0.4%) 未対策品 (正反射 15.5%)

第11図 本開発低反射ディスプレイと未対策ディスプレイの比較
Fig. 11 Comparison of this developed low-reflection display and unmeasured display

本稿の技術実施例としては新拡散AGARと円偏光技術を採用し、フードレスを実現した3画面統合ディスプレイが上市となっている。

本開発は、当社の民生、車載、もの作りの技術と協業企業様の技術を集結し達成することができたものである。今後もお客様の期待ご要望にお応えできる開発を行い、新しい価値を提供して行きたい。

参考文献

- [1] 坂口靖雄 他, "目の順応特性を考慮した車載ディスプレイの表示," 豊田中央研究所R&Dレビュー, vol.33, no.2, pp.37-45, 1998.
- [2] Ralph Galbraith Hopkinson, et al., The Ergonomics of Lighting, Macdonald & Company, London, 1970, 4.2.

執筆者紹介



藤本 高英 Takahide Fujimoto
オートモーティブ社 HMIシステムズ事業部
HMI Systems Business Div., Automotive Company



大石 利治 Toshiharu Oishi
オートモーティブ社 HMIシステムズ事業部
HMI Systems Business Div., Automotive Company