

技術紹介

4

車載タッチパネル付きディスプレイに向けた視認性改善の取り組み ～低反射技術、耐指紋技術の開発～

The development of low reflection technology and anti-fingerprint technology

岩崎 彰	Akira Iwasaki	インターフェース・ソリューション事業部 技術部 マネージャー
高田 真吾	Shingo Takata	インターフェース・ソリューション事業部 技術部
二ノ方 智裕	Toshihiro Ninokata	インターフェース・ソリューション事業部 技術部
秋月 譲司	Joji Akizuki	インターフェース・ソリューション事業部 技術部 マネージャー
後藤 敬造	Keizo Goto	インターフェース・ソリューション事業部 技術部 主任

キーワード：低反射、耐指紋、視認性改善、外光反射対策、防汚対策

Keywords: low reflection, anti-fingerprint, visibility, external light reflection, antifouling

要 旨

自動車業界はいま「100 年に一度」の大変革時代と言われています。大変革を象徴するトレンドとして、自動車業界では「CASE」「MaaS」という言葉が注目されており、今後の自動車業界の未来を語るうえでは欠かせないキーワードとなっています。

「CASE」で示される「Connected」「Autonomous」の先進技術や、「MaaS」で表される新たな自動車の概念による影響の一つとして、車内空間でユーザーが取り扱う情報量はこれまでよりも遥かに増加し、それらの情報を直感的にコントロールする UI として、タッチパネルの搭載率は年々高まっています。また情報量の増加がもたらす車内空間のデザイントレンドとしてディスプレイの大型化が進み、車内空間におけるディスプレイの存在感は格段に増しており、それらディスプレイに求められる視認性改善のニーズが顕在化しています。

本稿では車載タッチパネル付きディスプレイに向けた視認性改善の具体的なアプローチとして筆者らが取り組んだ、外光反射対策を目的とした「低反射技術」および防汚対策を目的とした「耐指紋技術」の開発事例を紹介します。

SUMMARY

The automobile industry is now said to be "an era of revolution once in 100 years." The words "CASE" and "MaaS" are attracting attention in the automobile industry as a trend that symbolizes a major transformation, and are indispensable keywords when talking about the future of the automobile industry in the future.

As one of the influences by "CASE" and "MaaS", the amount of information handled by the user in the vehicle interior space has increased far more than ever before. As a UI that intuitively controls information, the installation rate of touch panels is increasing year by year. In addition, the size of the display becomes larger and the presence of the display in the interior space is remarkably increasing as the design trend of the vehicle, due to its increase in the amount of information. And the needs of improving visibility of the displays are becoming apparent.

In this paper, we introduce examples of the development of "a low reflection technology" and "an anti-fingerprint technology" for displays with in-vehicle touch panels aimed at improving visibility.

1. はじめに

自動車業界はいま「100年に1度の大変革時代」と言われています。大変革を象徴するトレンドとして、自動車業界では「CASE」や「MaaS」という言葉が注目されており、今後の自動車業界の未来を語るうえでは欠かせないキーワードとなっています。

CASEとは「Connected(繋がる)」、「Autonomous(自動運転)」、「Shared(シェアリング)」、「Electric(電動化)」の頭文字から構成された先進技術であり、MaaSとは「Mobility as a Service」を略した新たな自動車の概念を表しています。現在の自動車業界は安全快適で利便性の高い次世代のモビリティサービスを構築すべく、この4つの技術と概念が同時並行で進んでおり、業界を取り巻く環境は大きく変わろうとしています。

CASEの先頭で示される「Connected」は、簡単に言えば、自動車がネットワークに常時接続されている状態を表し、それにより現在位置や周辺道路状況の把握、最適なルート提案、事故発生時の通報、配送等の効率化など様々な利便性の向上が期待されています。また「Autonomous」で示される自動運転においては、クルマが今どこにいるか、どのような状態であるかをクルマ及びユーザーが常時把握できる状態を維持する必要があるとあり、道路環境及び自車周辺状況に応じたクルマとユーザーのインタラクティブな情報交換及び操作が必要となっています。

この「Connected」「Autonomous」により、車内空間でユーザーが取り扱う情報量はこれまでよりも遥かに増加し、それらの情報を直感的にコントロールするUIとして、タッチパネルの搭載率は年々高まっています。また、情報量の増加がもたらす車内空間のデザイントレンドとしてディスプレイの大型化が進み、車内空間におけるディスプレイの存在感は格段に増しており、それらディスプレイに求められる視認性改善のニーズが顕在化しています。

本稿では、車載タッチパネル付きディスプレイの「使いやすさ向上」に向けた視認性改善の具体的なアプローチとして、筆者らが取り組んだ外光反射対策を目的とした「低反射技術」、および防汚対策を目的とした「耐指紋技術」の開発事例を紹介します。

2. 車載タッチパネル付きディスプレイのトレンド

2.1 携帯情報機器向けタッチパネルディスプレイとの差異

表 1 にスマートフォンやタブレットなどに代表される携帯情報機器向けタッチパネル付きディスプレイ及び車載品向けタッチパネル付きディスプレイの仕様差異について示します。

表 1. タッチパネル付きディスプレイの仕様差異

項目	携帯情報機器向け ※2.		車載品向け ※3.
	スマートフォン	タブレット	
液晶サイズ	6.7 inch	10.2 inch	12.3 inch
耐水性能	IP68等級	-	-
保存温度	-20℃～45℃		-40℃～120℃
使用環境	屋内・屋外		屋外（車内）
保持方法	手、固定(スタンド) ※角度フリー		固定 ※角度固定
用途/表示内容	通話・アプリケーション		アプリケーション・ナビゲーション
タッチ部(カバーレンズ)材質	Glass		Glass/樹脂
タッチ部 (カバーレンズ部品) 表面処理※1.	AF	○	○
	AGAF	-	○
	ARAF	○	○
	AGARAF	-	○

※1. AF：Anti Fingerprint（防指紋）

AG：Anti Glare（防眩）

AR：Anti Reflection（反射防止）

※2. Apple社製品（iPhone 13 Pro、iPad 2021年モデル）の例 同社ホームページを参考に作成

※3. 自社調査

表 1 に示す通り、同じタッチパネル付きディスプレイであっても携帯情報機器向けと車載品向けでは仕様及び用途が異なります。画面描画の視認性に関し、特に筆者らが大きな違いと考える点は、使用環境と保持方法の二点です。まず使用環境について比較すると、車載品は常に屋外での使用が想定され、直接的な外光照射、または二次光源による間接的な外光照射を受けます。スマートフォン等においても屋外で使用するケースはありますが、例えば太陽光が映り込んだ際は、手で外光照射を防ぐことで影を作ることや、保持する角度を変え外光照射の正反射を避けることで無意識に視認性を確保しています。一方、車載ディスプレイは車両内装に固定されており、太陽光の直射や二次光源による映り込みがある場合、スマートフォン等の様に角度を変え視認性を確保する対策が取れない為、運転時における安全性確保の観点からも車載ディスプレイは防眩機能を備える必要があります。一般的に防眩性能を確保する為には、ディスプレイ最表面のカバーパネルに微細な凹凸を設け、光を拡散することで視認性を確保する AG (Anti Glare/防眩) 処理を施すことが主流です。しかしながら光を拡散することで画面全体が白っぽく見える為、昨今のスマートフォン等と比較し画面の艶感（グロス）が低減することと併せ、車内内装においても、ピアノブラック等の周辺部品との一体感が損なわれることで高級感が低下するという問題もあります。従って、昨今の車載ディスプレイのトレンドとしては、高デザイン性を備えながらも、太陽光等の高照度の外光照射環境下における視認性を確保する必要があり、これまで主流であった前述の

AG 処理に加え、より防眩性能を向上させる為に、AR (Anti Reflection/反射防止) 処理を施したカバーパネルの採用が増加する傾向にあります。これには液晶の高精細化に伴い、AG 処理の凹凸がギラツキ (sparkling) の原因となって視認性を悪化させる為、その対策として AG 処理を弱め、代わりに AR 処理を施すことで視認性と防眩性を確保する狙いがあることも少なからず影響していると考えられます。

2.2 市場調査結果

ユーザーニーズのトレンドとして、興味深い 2 件の調査結果が示されています。

2020 年 6 月に発表された IHS Markit のウェブセミナー資料¹⁾では世界各国延べ 8000 人以上への調査結果として、ナビゲーションシステム及び空調コントロールのインターフェースとして最も好まれるのはタッチスクリーンであり、回答者の約 70%がタッチスクリーンを使用していることが分かっています。一方、タッチスクリーンへの不満としては「操作により運転中の注意力が散漫になる」に次いで「ディスプレイに指紋が残る」という指摘が第 2 位に挙げられており、また「タッチスクリーンによる眩しさ」の指摘も報告されています。この調査結果から、タッチスクリーンへの不満については、機能や操作性だけでなく指紋付着や画面が眩しいといった視認性課題もユーザーニーズとして顕在することが読み取れます。

もう一つの市場調査データとして、J. D. Power が実施している IQS (Initial Quality Study/自動車初期品質調査)²⁾におけるインフォテインメントのカテゴリーの設問として、2020 年に改訂された Ver.5 から新たに、“Difficult to see (見にくい)”、“Too much glare (眩しい)”、“Get dirty to easily (汚れやすい)”の 3 つの評価指標が追加されています。これはまさに車内空間におけるディスプレイ等表示部の視認性改善ニーズが高まっていることを示しており、防汚性を含めた視認性改善は自動車メーカー各社の商品性を向上させ、顧客満足度を高める取り組みの具体的なテーマの一つと考えられます。

2.3 開発方針

これらの市場調査データから、序論で述べたタッチパネル付きディスプレイの搭載率増加に伴い、タッチパネル付きディスプレイに求められる視認性改善のニーズが顕在化していることが確認された為、視認性を改善する具体的なアプローチとして、外光反射対策を目的とした低反射技術および防汚対策を目的とした耐指紋技術の二つの技術開発に取り組みました。

3. 外光反射対策

3.1 タッチパネル付きディスプレイにおける反射成分について

まず初めに、タッチパネル付きディスプレイにおける反射成分について説明します。反射とは一般的に光が物体表面に当たりはね返る現象であり、その成分は光の入射角と同じ角度で反射する正反射成分と、入射角とは異なった角度で反射する拡散反射成分に分けられます。また、測定方式としては SCI (正反射成分含む) 方式と SCE (正反射成分除去) 方式があり、それぞれの方式で測定した反射率は Y (SCI) と Y (SCE) で表されます。

※ Y (SCI) : Specular Component Include /正反射光を含む反射成分

Y (SCE) : Specular Component Exclude /正反射光を除いた反射成分 (拡散反射成分)

タッチパネル付きディスプレイの構造が引き起こす反射成分としては、図 1 に示す通りカバーパネル表面で発生する表面反射と、カバーパネルよりも内側の異屈折率の物体界面で発生する内部反射があります。

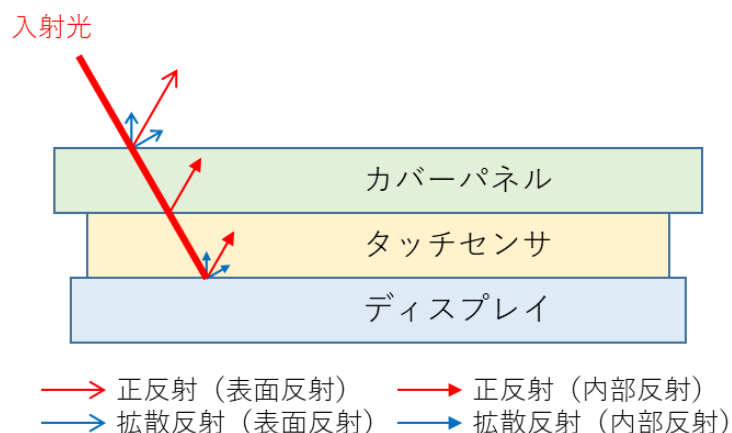


図 1. タッチパネル付きディスプレイにおける反射成分

3.2 外光入射による視認性への影響

次に外光入射が視認性に与える影響について説明します。車内環境においてディスプレイが眩しいと感じる原因は主に太陽光の影響ですが、ディスプレイへの外光入射は図 2 に示す①②の二つに分類されます。

- ①ディスプレイへの太陽光直射
- ②パッセンジャーシート等への太陽光直射による二次反射

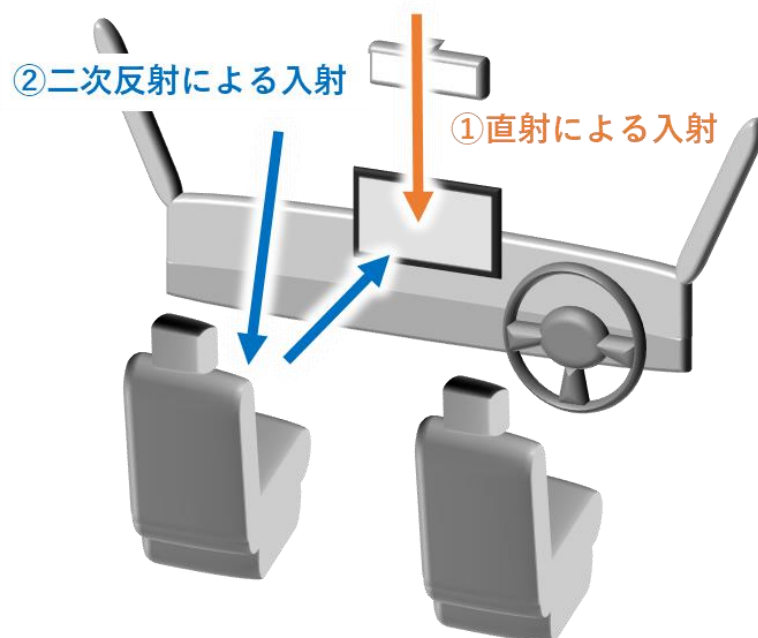


図 2. 車内環境におけるディスプレイへの入射分類

①ディスプレイへの太陽光直射

ディスプレイへの太陽光直射時の照度は、例えば日本における快晴時のフロントガラスからの入射であれば 5～10 万ルクス程度であり、この値は JIS Z9110 で定められた屋内における照度基準である 50～750 ルクスに対し、約 100 倍の高い照度となります。しかしながら車両設計としては安全性の配慮から、基本的にディスプレイを介した太陽光の直射による正反射光は、運転者の目に入ることを避けた位置関係に設計がされており、つまり光源となる太陽光とドライバーのアイポイントはディスプレイに対し正反射の位置関係にはありません。従ってディスプレイへの太陽光の直射時における視認性への影響としては、正反射以外の反射成分、即ち拡散反射成分が眩しさの原因となります。また拡散反射成分は視認性を阻害すると共にディスプレイの白ボケと呼ばれる外観品位を低下させる要因にもなっており、その低減が求められています。

②パッセンジャーシート等への太陽光直射による二次反射

前述の安全性の考慮から、ドライバーがディスプレイを見た際、正反射位置には通常パッセンジャーシートかルーフ内装が位置します。最近ではディスプレイの大型化に伴い、ディスプレイ角度はドライバーに対し正立し設計されることが一般的に多く、ドライバーがディスプレイを見た正反射位置にはパッセンジャーシートが位置します。パッセンジャーシートが太陽光の直射を受けた際、シート自体が二次光源となり、シートまたはパッセンジャーの衣服等がディスプレイに映り込むことで LCD 表示のコントラストが低下し、これが視認性阻害の原因となっています。①の拡散反射成分が引き起こす視認性及び外観品位の低下に対し、②の映り込みについては正反射成分が原因となっており、その低減が求められています。

3.3 一般的な反射低減対策

前項で説明の①②は、個別または西日等太陽が低い位置にある状況においては同時に発生する可能性があります。これらの一般的な対策としてはカバーパネル表面に AG 処理や AR 処理を行う表面反射対策と、カバーパネルの透過率を低下させるスモーク処理による内部進入光量の削減、またはダイレクトボンディングといった内部反射対策があります。

これらの対策により、過去 8%程度で推移していたタッチパネル付きディスプレイの反射率 Y (SCI) は、現在では 1～2%のレベルを達成しています。

3.4 更なる低反射技術への取り組み

筆者らは前項の反射低減対策に加え、更に低反射を実現する為の開発に取り組み、業界最高レベルの超低反射となるタッチパネルの開発を実現しました。開発品の反射率として、Y (SCI) は 0.4%を達成しました。以降、筆者らが行ったタッチパネルの開発詳細について紹介します。

3.4.1 内部反射対策

タッチパネルは図 3 に示す通り、カバーパネルとセンサ及びそれらを貼り合わせる OCA (Optical Clear Adhesive/光学透明粘着材) から構成され、更にセンサは基材 (ガラス又はフィルム) とパターンを形成する ITO (Indium Tin Oxide/酸化インジウムスズ)、OC (Over Coat/パターン保護材) から構成されています。

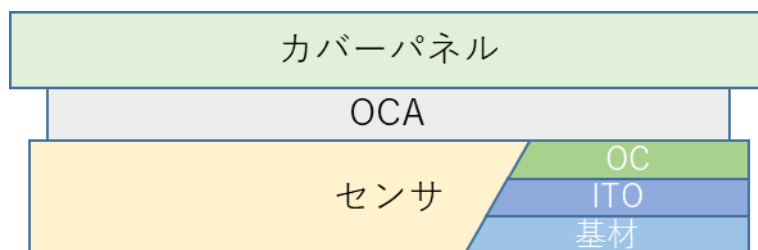


図 3. タッチパネル構成図

筆者らは、従来の反射低減対策と併せ、更に反射率を低減させる取り組みとして、タッチパネルを構成する各部材及び各部材の積層界面における反射成分の低減を図りました。表 2.に筆者らが開発したタッチパネルの仕様とその特性を示します。

表 2. タッチパネル仕様及び特性

仕様		特性		
部品	項目	①従来品	②改良1	③改良2
カバーパネル	表面処理	AR	AR	AR
OCA	材料屈折率	1.48	1.48	1.52
センサ	OC（材料屈折率）	1.54	1.60	1.52
	センサ電極	ITO	Agメッシュ	Agメッシュ
	反射低減対策	－	無	有
反射特性	Y（SCI）（％）	1.8	0.9	0.4
	Y（SCE）（％）	0.1	0.3	0.1
センサ抵抗値	比抵抗（ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ）	175	30	30
低反射対応		×	×	○
大型化対応		×	○	○

①は従来から生産・販売している ITO センサと AR 処理を施したカバーパネルで構成される仕様です。7～9 inch のディスプレイに対しては ITO センサの適用が主流でしたが、昨今のディスプレイの大型化に伴い 10 inch 以上、例えば 12.3 inch 等においては、センサ抵抗値の上昇によるセンサ感度の悪化に対応するため、低抵抗配線材料を用いた新たなセンサとして②Ag（銀）メッシュセンサを開発しました。

配線材料を ITO から Ag に変更することで、パターン抵抗値は $175 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ から $30 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 程度に低減が出来、大型化への対応が可能となりました。また、図 4 に示す通り、ITO センサは基材のほぼ全面に成膜されるのに対し、Ag メッシュセンサは細線で形成される為、センサ面内におけるパターン専有面積を 2～3%にすることが出来ます。これにより反射を引き起こす OC とパターンの界面が減少し、正反射成分が低減したため、②は①に対し Y（SCI）を約 1/2 倍にすることが出来ました。

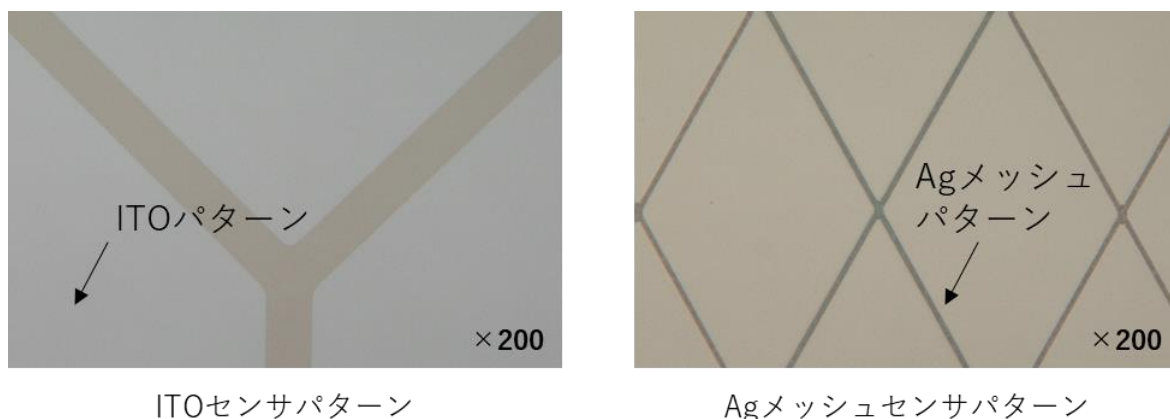


図 4. 配線材料によるパターン形状

一方、Y (SCE) においては、②は①に対して約 3 倍に増加し、見た目の影響としては白ボケを悪化させる結果となりました。原因としては、ITO と Ag の材料としての反射率差^(a)と、図 5 に示すパターン材料表面性状差^(b)によるものと考えられます。

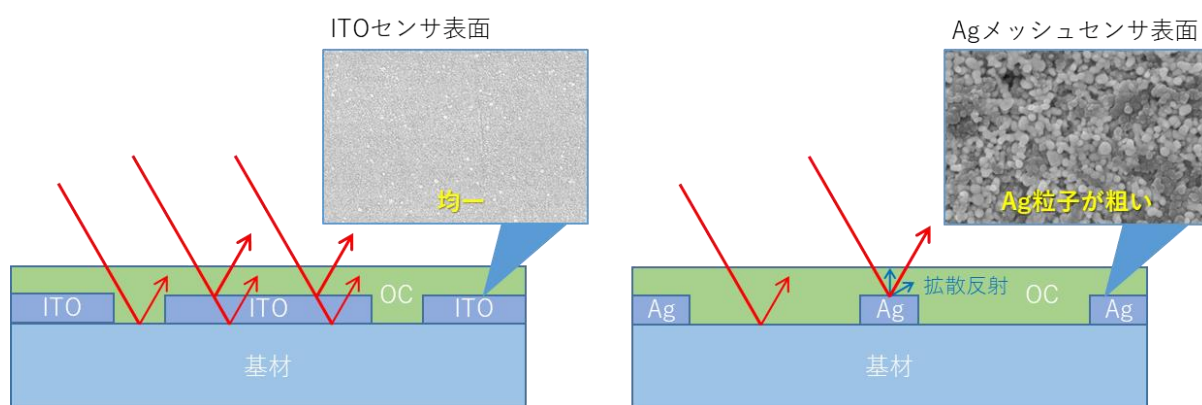


図 5. センサ設計差異による反射成分差とセンサ材料表面性状

上記結果より、Ag メッシュパターンにおける拡散反射低減の取り組みを行いました。図 6 に検討した対策及びその結果を示します。

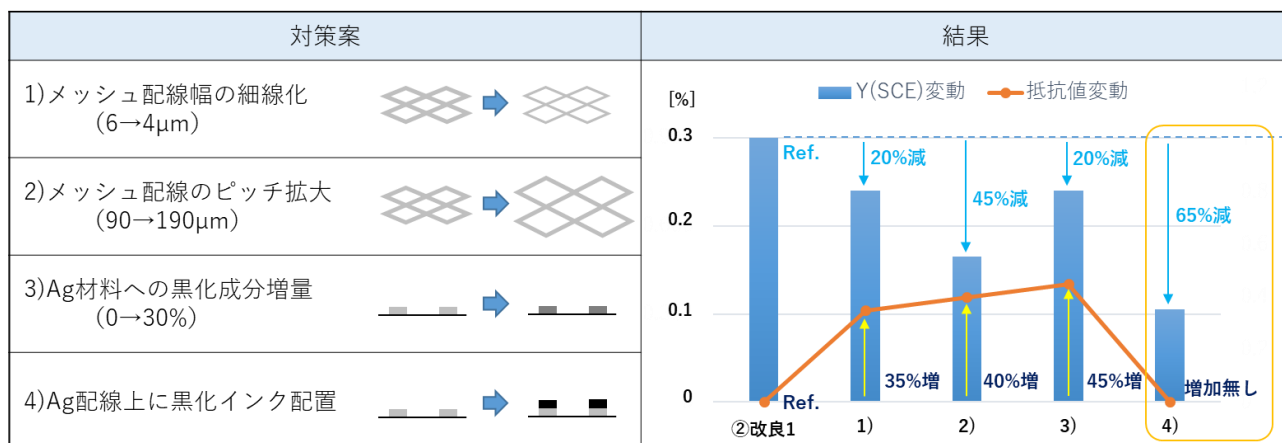


図 6. 対策案及び結果

検討における効果と背反事項、最適化における代表例の結果について示します。

1) メッシュ配線幅の細線化

(a) の間接的な対策として、線幅を 2/3 に細線化した結果、Ag 表面積の低下により Y (SCE) は 20% の改善が確認されましたが、背反事項としてセンサ抵抗値が 35% 上昇しました。

2) メッシュ配線のピッチ拡大

1) 同様に間接的な (a) の対策として、メッシュ配線ピッチを約 2.1 倍に拡大した結果、Ag 表面積低下により Y (SCE) は 45% の改善が確認されましたが、背反事項としてセンサ抵抗値が 40% 上昇しました。

3) Ag 材料への黒化成分増量

(a) の直接的な対策として、黒化成分を 30% 増量し Ag に光吸収効果を向上させることにより材料反射率低減を狙った結果、Y (SCE) は 20% の改善が確認されましたが、センサ抵抗値が 45% 上昇しました。

4) Ag 配線上の黒化インク配置

(a) と (b) の直接的な対策として、Ag 配線上に黒化インクを配置し 3) 同様に Ag 材料としての反射を低減すると共に、黒化インクで Ag 表面の粗さを埋め平滑にすることで拡散反射低下を図りました。結果としてセンサ抵抗値を上昇させることなく、Y (SCE) を 65% 改善することが出来ました。

以上の検討結果から、1) や 2) のような Ag の表面積を減らす間接的な対策では Ag の体積低下による抵抗値上昇は避けられず対策として不適であり、また 3) のような Ag 材料への黒化成分の添加も、Y (SCE) の改善の為に抵抗値を大幅に上昇させる量の黒化成分を添加させなければならず、現実的では無いことが分かりました。従って、4) の手段が Y (SCE) の改善並びにセンサ抵抗値維持の観点から最適であると判断しました。

更に、タッチパネルの OC とカバーパネルを貼り合わせる OCA の屈折率を最適化し、カバーパネル/OC/OCA 界面の反射を低減し、Y (SCI) として 0.1~0.2% 改善することが出来ました。

3.5 開発品結果

開発したサンプルのデータを表 2-③に示します。

4) の結果として、表 2-②に対して③は抵抗値を上昇させることなく Y (SCI) は 0.4%、Y (SCE) は 0.1% に低減することが出来、Ag メッシュセンサにおける低反射化を達成しました。

②と③の外観写真を図 7 に示します。正反射成分の低減による二次光源の映り込み時の視認性改善と共に、拡散反射成分の低減により直射時の視認性を改善しました。また、拡散反射成分の低減により白ボケが改善され、黒枠と表示部の境界の一体感が増して漆黒感が高まり、外観品位が向上しました。



図 7. 開発品外観

以上を纏めると、タッチパネル付きディスプレイの視認性改善のニーズに対する具体的なアプローチとして外光反射対策を目的とした低反射技術の開発に取り組み、従来の一般的な反射低減対策に加え、更にタッチパネルを構成する各部材で対策実施及び設計を最適化し、業界最高レベルの超低反射化を実現・達成すると共に、外観品位を向上することが出来ました。

4. 指紋対策

4.1 指紋の課題

タッチパネルディスプレイに求められる視認性改善の具体的なアプローチの二つ目として、防汚性課題を解決する為の耐指紋技術の取り組みを紹介します。タッチパネルディスプレイの操作について、タブレット等においては一部タッチペン等で操作するケースもありますが、スマートフォンや車載タッチパネルにおいては人が直接指でタッチパネルに触れ操作をすることがほとんどと考えられます。人間の指には皮膚の内部にある皮脂線から分泌される皮脂成分や汗に加え、皮膚や埃等の固形分、ハンドクリームを含めた化粧品の成分などが付着しており、人がタッチパネルに触れることによりそれらの成分が指からタッチパネル表面に指紋形状として転写し指紋付着が発生します。その対策として、タッチパネル表面には低表面自由エネルギー材料である PFPE (パーフルオロポリエーテル) を用い、指紋付着を低減させる AF (Anti Fingerprint/耐指紋) 処理を施すことが一般的ですが、それでも指紋付着を完全に防ぐことは出来ないのが現状です。つまり指紋付着については、民生、車載に関わらず指で触れるタッチパネル共通の課題です。その為、車載品の開発においては、カーメーカーやそのサプライヤーが指紋付着による画面汚れを軽減する目的で、耐指紋性能を定量的に示す評価方法及び評価基準を独自で定めており、その方法及び基準の多くは指紋付着前後における光学変化に着目し、付着した指紋の目立ち性を評価しています。しかしながら、既存の評価方法及び評価基準では官能評価との相関が取れておらず、実際の指紋付着時の目立ち性を正確に捉えることが出来ていませんでした。筆者らはここに耐指紋性能に関する潜在的な課題があると考えました。つまり指紋課題については、目立ち性の解析と併せ、定量的な評価方法の確立が必要であると捉え、評価方法の確立及び耐指紋性能向上を達成する為の表面処理開発に取り組みました。

4.2 指紋が目立つ理由

4.2.1 材料屈折率による光学変化

まず初めに、指紋目立ちの原理を説明します。指紋目立ちは、指紋付着前後におけるタッチパネル表面の光学変化を人が視認することで指紋が付着したと認知していると考えられます。既存の評価方法においては、光学指標として反射特性が用いられており、具体的には ΔL^* (SCI) により指紋の目立ち性を評価しています。 ΔL^* (SCI) に影響する要因としては、表面コーティングを構成する材料の屈折率が関係しています。屈折率が及ぼす影響について、車載タッチパネルの代表的な表面コーティングとして大別される、AG コーティングと AGAR コーティングのそれぞれの屈折率の構成を図 8 に示します。

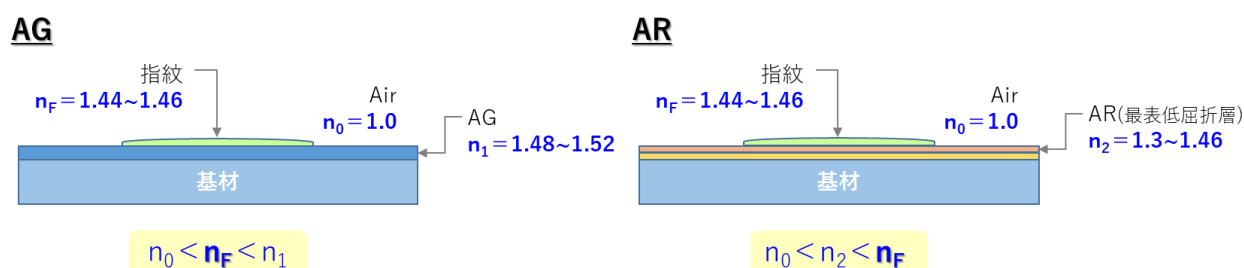


図 8. 表面コーティングの違いによる屈折率構成

従来から使用されている AG コーティングはアクリル系材料を主としており、その屈折率は 1.48～1.52 程度です。一方、指紋は主に皮脂・水分等で構成されており、皮脂はオレイン酸やトリオレインなどの長鎖カルボン酸・エステル類といった有機化合物であり、その屈折率は 1.44～1.47 程度、また水の屈折率は 1.33 である為、指紋自体の屈折率としては 1.44～1.46 程度です。図 8 の左図に示す通り、AG コーティング表面に指紋が付着した際、指紋付着部は周辺の非指紋付着部と比較し屈折率は低くなる為、その際の光学変化としては式 1 より、反射率が低下する方向、即ち明度が低下し指紋付着部は周辺の非指紋付着部と比較し目立つことはありません。

$$\text{表面反射率 } R_{ref} = \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right]^2 \quad \text{式 1.}$$

一方で、図 8 の右図に示す通り、AGAR コーティングにおいては、最表面に低屈折層を設け反射率を低減しており、最表面の屈折率としては一般的に 1.3～1.46 程度です。その為、指紋付着部は周辺の非指紋付着部と比較し屈折率が高くなり、同じく式 1 より反射率が上昇する方向、即ち明度が上昇し指紋付着部は周辺の非指紋付着部と比較し目立って見えます。これが指紋目立ちの原因です。

つまり、指紋目立ちは最表面の屈折率による反射成分の増減が関係していると考えられ、その評価指標として反射成分の変化を示す ΔL^* (SCI) が従来から用いられてきました。

4.3 官能評価と ΔL^* (SCI) の相関

ここで、複数人の被験者による指紋付着前後における指紋目立ちの官能評価結果と、従来の評価指標である ΔL^* (SCI) の関係を図 9 に示します。左図は室内の蛍光灯環境下、右図は実車環境における評価結果です。グラフ横軸に指紋付着前後の明度変化 ΔL^* (SCI)、縦軸に指紋目立ちの官能評価点 (5 : 良～1 : 悪) を示しており、評価に用いた試験体は双方の環境下で同一のものを使用しました。

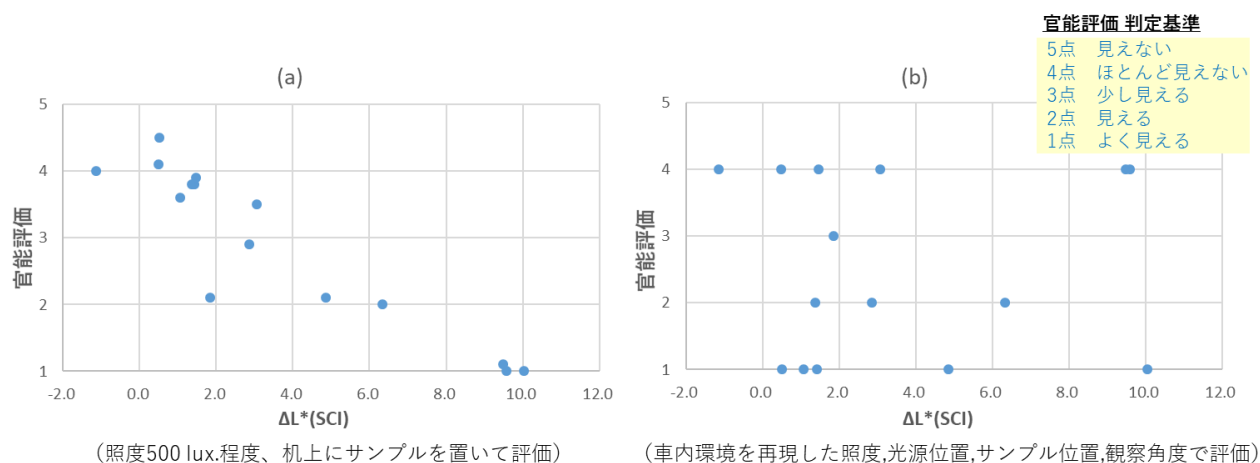


図 9. 二つの評価環境下における指紋目立ち官能評価結果と ΔL^* (SCI)

(a) 蛍光灯環境下、(b) 実車環境下

図 9 に示す通り、蛍光灯環境下においては官能評価と ΔL^* (SCI) は相関が確認されましたが、同じサンプルでも実車環境下においては相関性が低い結果となっており、官能評価と ΔL^* (SCI) は測定環境により相関性が異なることが確認されました。その為、評価指標を再検証する必要が有ると考え原因解析を行いました。

4.4 評価指標見直し

指紋目立ちの要因としては、表面の屈折率による反射成分の増減が影響していることは前項で記載の通りですが、更に解析を進めると二つ目の要因として、指紋付着時の指紋成分の付着形状が影響していることが考えられました。付着形状は最表面の表面自由エネルギーに依存します。表面エネルギーが及ぼす影響について、車載向けカバーパネルの代表的な表面コーティングとして大別される、撥油性コーティングと親油性コーティングの指紋付着形状の模式図を図 10 に示します。

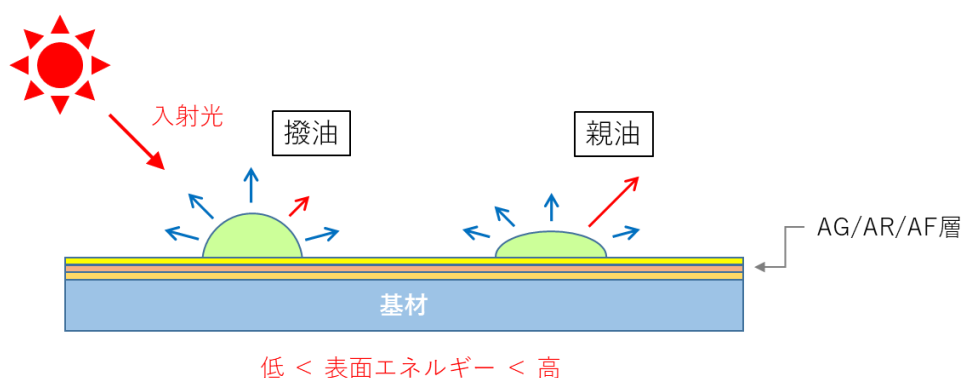


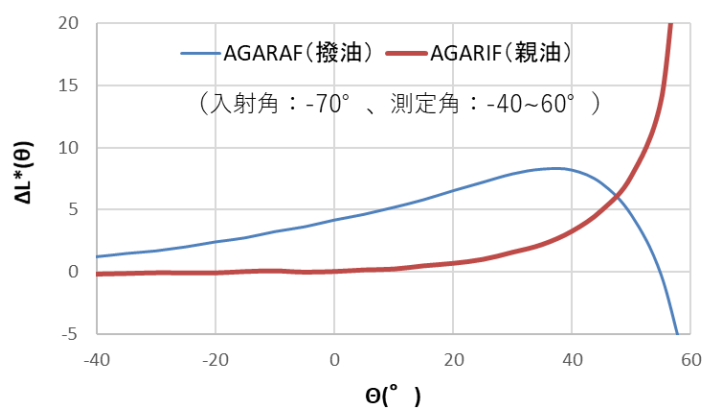
図 10. 表面エネルギーによる指紋付着形状の違い

撥油性コーティングは、オレイン酸接触角が 70° 以上程度、一方、親油性コーティングのオレイン酸接触角は 30° 以下程度であり、図に示す通り指紋が付着した際の付着形状が異なります。この付着形状の違いにより、外乱光を受けた際の指紋付着部の光学変化の傾向が異なり、撥油性コーティングは指紋付着前後で拡散反射成分が増加するのに対し、親油性コーティングでは正反射成分が増加する傾向があると考えられます。つまり表面特性の違いにより指紋付着前後の光学変化には角度依存性があると考えられ、その傾向は表 3 に示す通りです。

表 3. 表面特性による反射成分への影響

表面特性	指紋付着部における直射時の反射成分変化	
	正反射成分	拡散反射成分
撥油コーティング	小	大
親油コーティング	大	小

これらの確認として、角度毎の反射成分の測定が可能な光学測定機（変角測色計）を用い、前述説明の 2 種のコーティングにおける指紋付着前後の明度変化 $\Delta L^*(\theta)$ を検証しました。結果を図 11 に示します。

図 11. $\Delta L^*(\theta)$ 測定結果

データが示す通り、入射角が一定の場合でも観察角度により指紋付着前後の明度変化量が異なることが分かりました。また、表面自由エネルギーによりその挙動は異なっており、拡散反射領域では $\Delta L^*(\theta)$ は親油 \leq 撥油であったものが、正反射領域に近づくことで $\Delta L^*(\theta)$ は撥油 \leq 親油となっており、優位性が逆転していることも分かりました。

この結果より、指紋目立ち性には角度依存性があることを確認した為、実際の車内環境における太陽光の入射角度、及びディスプレイとドライバーの位置関係を再現した評価環境（図 12）を構築し、再度官能評価との相関確認を実施しました。太陽光は人工太陽光照明を用い、ドライバーのアイポイントには輝度計を設置しました。

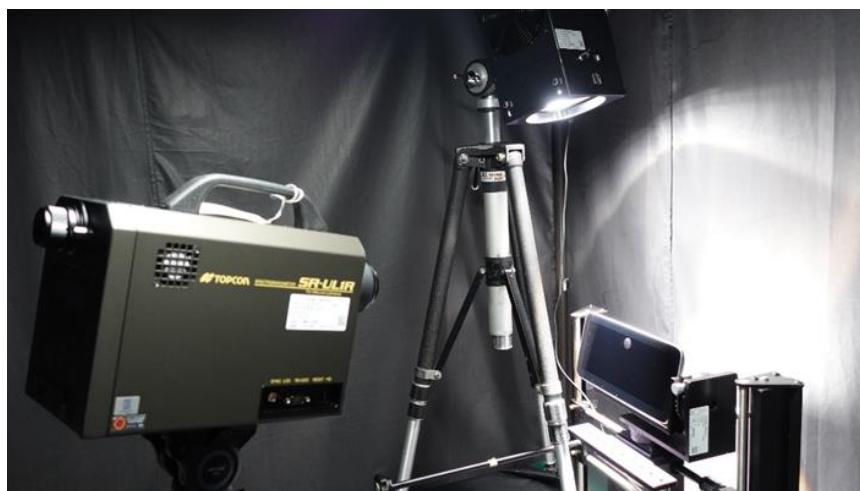


図 12. 評価環境

輝度計による輝度変化（ $\Delta L(\theta)$ ）と同じ位置から指紋の目立ち程度を観察した官能評価結果を図 13 に示します。

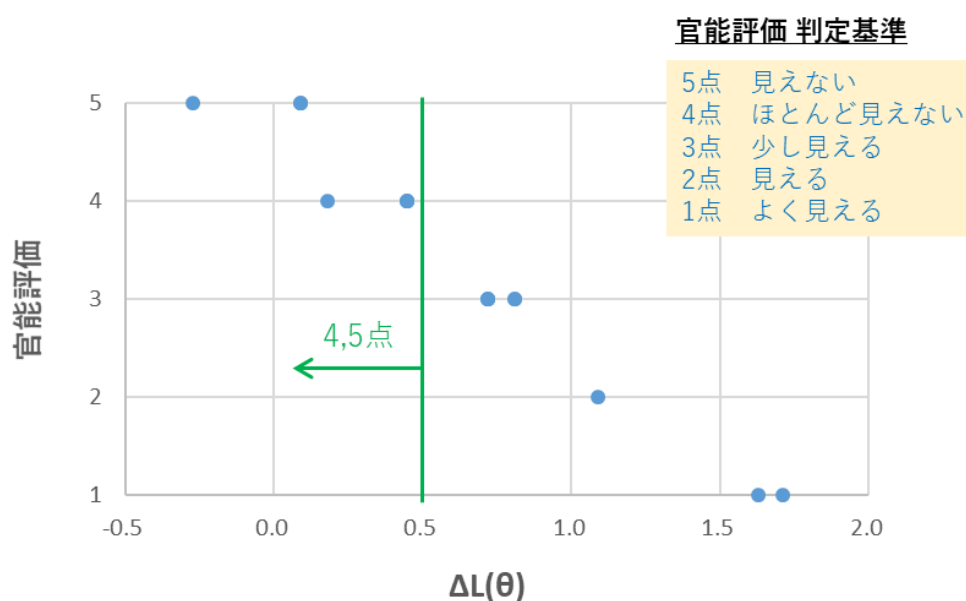


図 13. 官能評価結果及び輝度変化

結果から、指紋目立ちは指紋付着前後の輝度変化に対し一定の相関があることが確認されました。また、 Δ 輝度 ≤ 0.5 程度ではほとんど目立たなくなることが判明しました。

これらの結果から、指紋目立ちの要因は表面コーティングを構成する材料の屈折率による指紋付着前後における反射成分の増減が原因ですが、その光学変化の傾向は、指紋付着部の表面自由エネルギーにより角度依存があることが確認されました。これは図 9 に示された、あらゆる角度から観察可能な蛍光灯環境下における官能評価と ΔL^* (SCI) に相関が見られたのに対し、観察角度が固定された実車環境下での官能評価と ΔL^* (SCI) に相関が見られなかった結果と照らし合わせても矛盾がありません。つまり、従来一般的に評価指標として用いられていた、積分球による角度積分された全角度の反射強度を示す光学指標 ΔL^* (SCI) では、指紋目立ち性を適正に評価することは困難であり、使用環境に応じた光学特性を測定可能な $\Delta L^*(\theta)$ が評価指標として適していることが分かりました。

4.5 指紋目立ち性改善

これまでの検証により、車載タッチパネルにおける指紋目立ち要因は、以下 2 点であることが分かりました。

- (1) 指紋と表面コーティングの屈折率差
- (2) 表面コーティングの表面自由エネルギーによる角度依存（撥油・親油）

上記 (1) に対し、コーティングの設計と指紋が 50 nm 付着した際の光学変化（反射率変化）をシミュレーションした結果を表 4 に示します。

表 4. 指紋付着前後における光学シミュレーション結果

層		AG シミュレーション		AGARAF シミュレーション	
		屈折率	厚み	屈折率	厚み
指紋		1.46	50 nm	1.46	50 nm
AF		-	-	1.32	10 nm
AR	低屈層	-	-	1.46	76 nm
	高屈層	-	-	2.33	114 nm
	低屈層	-	-	1.46	24 nm
	高屈層	-	-	2.33	17 nm
AG		1.51	5 μ m	1.51	5 μ m
基材		1.50	1.0 mm	1.50	1.0 mm
反射率 (Y)		4.1		1.0	
光学干渉 (ΔY)		-0.69		4.3	

表中の Y はコーティングの反射率、 ΔY はコーティング表面に指紋が 50 nm 付着した部分と付着していない部分との反射率差を示します。シミュレーション結果より、従来の AG コーティングに対し、AR コーティングは ΔY が大きくなるため指紋が目立ちやすい傾向を示しており、先述の内容に対し矛

盾が無いことが確認されました。

次に設計を最適化する為に AR コーティングの屈折率を変更した際の影響を検証しました。

簡略化のため、AF/低屈層/高屈層/基材の 4 層構成でのシミュレーションを行いました (図 14)。

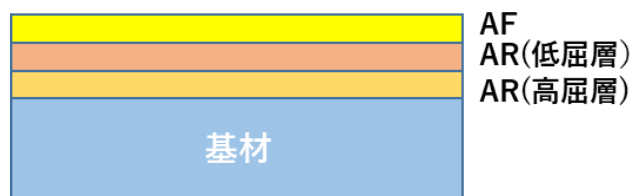


図 14. シミュレーションにおける層構成

反射率を一定 ($Y=1.0$) に保ったまま、低屈層のみ屈折率を変更した場合のシミュレーション結果を図 15 に示します。尚、シミュレーションは反射率を一定にするために適宜低屈層の厚みを変更しています。

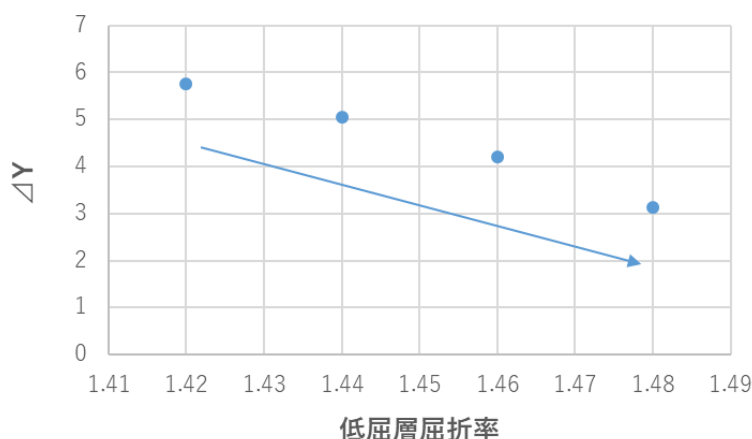
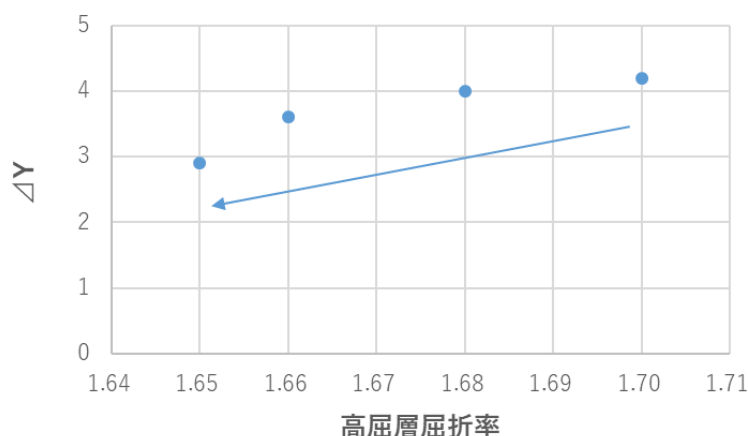


図 15. 低屈層屈折率と ΔY シミュレーション結果

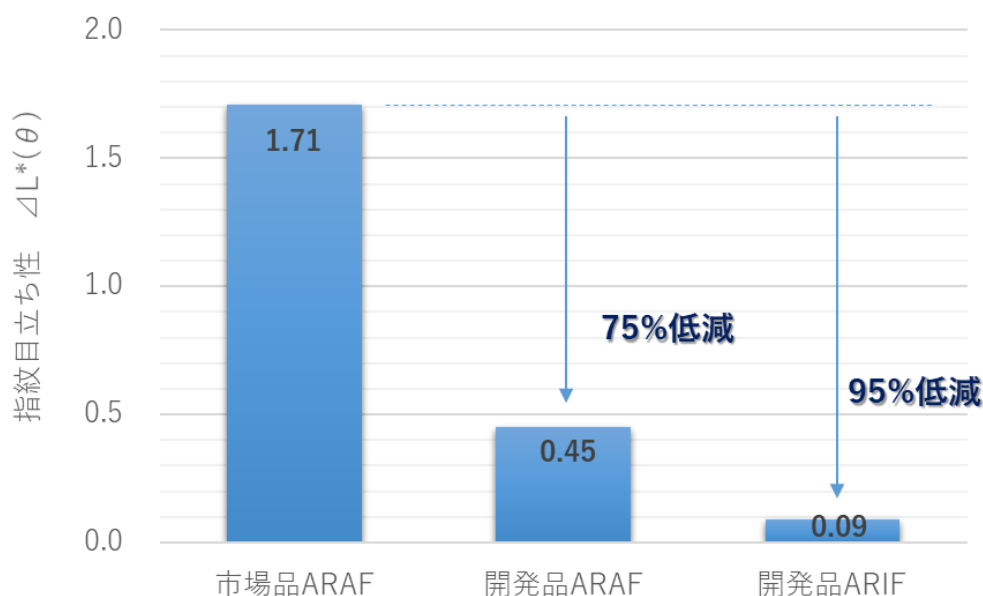
図 15 のシミュレーション結果から、屈折率の増加に伴い ΔY が減少していることが確認出来ましたが、低屈層の屈折率を上げすぎると反射率が増加する傾向があり、低反射化と指紋付着時の光学変化量は基本的に背反の関係にあると言えます。

一方、図 16 には、高屈層のみ屈折率を変更した場合のシミュレーション結果について示します。図 16 の結果から、高屈層は低屈層とは逆に、屈折率が低下するほど ΔY は減少する傾向にあることが分かります。これらのシミュレーションより、同じ反射率性能であっても AR 層を構成する膜の屈折率が指紋目立ち性能に影響を及ぼすということが示唆されました。

図 16. 高屈層屈折率と ΔY シミュレーション結果

4.6 開発品結果

以上の結果より、これまで角度依存性を有する指紋目立ちに対し、 ΔL^* (SCI) では定量的に性能を図ることが出来ませんでした。新たに角度依存性を考慮した光学特性 ($\Delta L^*(\theta)$) を性能指標とすることで、指紋目立ち特性の定量的な評価が可能となりました。また、性能改善の為、AR 膜の光学設計を最適化した結果、図 17 及び図 18 に示す通り開発品 ARAF (撥油コーティング品) は市場品比で $\Delta L^*(\theta)$ が 75%減、また、開発品 ARIF (親油コーティング) は 95%減とすることが出来、指紋目立ち性を大幅に向上させることが出来ました。

図 17. 指紋目立ち性改善 (入射角=70°、 $\theta=-5^\circ$)



- ・ 指紋は指紋パターンを有する評価治具(疑似指)を用い疑似指紋液を同一条件にて付着させた
- ・ サンプル裏面には黒化テープを貼合している

図 18. 実車模擬環境における指紋目立ち性（入射角=70°）

5. おわりに

自動車市場のトレンドを踏まえた、車載タッチパネル付きディスプレイにおける「使いやすさの向上」として、外光反射対策を目的とした低反射化技術と防汚性対策を目的とした耐指紋技術の開発に組み、視認性改善及び外観品位向上を図りました。

年々高まりを見せる「品位」や「見栄え」の重要性に対し、市場の官能品質要求を定量的な尺度に落とし込み、数値化した潜在ニーズを解決する「官能品質の定量化」に継続して取り組みを行ってまいります。

【参考文献】

- 1) Naoki Kimura, *Outlook on Vehicle Input Devices* (IHS Markit, Tokyo Japan, 2020), p. 20.
- 2) J. D. Power. Japan, *2021 日本 VQS (IQS/APEAL), TXU, VDS* (J. D. Power. Japan, Tokyo Japan, 2021), p. 28.