

# DLP®テクノロジー: 拡張現実ヘッドアップ・ディスプレイシステムにおける太陽光負荷

## White Paper



Literature Number: JAJA572

July 2018

# DLP®テクノロジー: 拡張現実ヘッドアップ・ディスプレイ・システムにおける太陽光負荷

Sam Martin  
Junji Watanabe

Texas Instruments Incorporated  
Kuraray Co., Ltd

概要: 次世代の車載AR (拡張現実) HUD (ヘッドアップ・ディスプレイ)テクノロジーは、運転者に多くのメリットをもたらすものの、HUDシステムの光学系により太陽光が増幅され、表示パネルの一部に集中します。熱による故障のリスクを軽減するには、入念な設計とシミュレーションが必要とされます。

キーワード: ヘッドアップ・ディスプレイ、HUD、拡張現実、AR、虚像、太陽光、太陽、温度、熱、テキサス・インスツルメンツ、TI、DLP、クラレ、拡散

## 1 背景<sup>(1)</sup>

車載ヘッドアップ・ディスプレイ業界において「拡張現実」という言葉がすっかり定着した背景には、近年の技術的進歩があり、広い視野(FOV)と長い虚像距離(VID)の実現により、運転者の前方風景をより完全な形でカバーし、現実世界にある物体に重ねてHUDグラフィックスを表示できるようになっています[1]。この次世代ディスプレイ・システムは、情報を運転者の視野内に表示して、道路から目を離す時間を短縮します。その情報をより遠くに表示することにより目のピント調節時間を短縮できるほか[2]、状況に応じて物体に情報を重ねて表示することで素早く状況を認識することができます[3]。

ただし、従来のHUDとは光学アーキテクチャが異なるため、ディスプレイ・システムに環境面の課題が生じます。現在使用されている従来型の車載HUDに比べて、AR HUDシステムはFOVが広く、アイボックス(虚像が視認される範囲)が大きく、VIDが長くなっています。このような特性により集光面積が大きくなり、その集束したエネルギーの密度も高まるため、日常的な走行条件でHUDシステム内の太陽放射照度は高くなる可能性があります。こうした懸念から、設計に際して、従来のHUDシステムでは不要であった検討事項が当然浮上します。クルマの耐用期間にわたってHUDシステムが受ける可能性のある太陽放射照度を入念に把握し、それに応じて設計を選択しなければなりません。太陽光が入射する材料の温度上昇を正確に予測するために、精密な光学シミュレーションと材料テストを実施する必要があります。

テキサス・インスツルメンツ(TI)は、DLP®テクノロジーを基にしたAR HUDシステムのプロトタイプを設計・構築しました。このアーキテクチャは、集光処理に利点があります。投影型HUDでは、拡散スクリーンを中間像として使用します。TIとクラレは、高画質を実現し、このようなAR HUDシステムで想定される高い太陽放射照度に対応する高効率の拡散スクリーンを共同開発しました。

本書では、入射太陽光の仮定や現在のHUDシステムに採用されている一般的な分光フィルタリングを含めて、AR HUDのプロトタイプにおける集光と太陽光負荷について述べます。単純な太陽光モデリングの手法で、HUD光学系の主光線に沿って太陽光のシミュレーションを行い、軸外太陽光により放射照度が高くなる可能性があることを示します。また、太陽放射照度を許容水準まで下げる方法として、さまざまな軽減法についても述べます。クラレの拡散スクリーン・テクノロジーは実環境テスト済みであるため、スクリーン材料の温度上昇を予測し、温度制限の範囲内で使用できます。クラレは発光型表示HUDシステムに使用されている材料もテストしており、こちらは著しい温度上昇により目に見える損傷に至ることが分かりました。

## 2 AR HUDの光学特性

幾何光学により、物体、レンズ、結像の関係を記述します。レンズとその焦点の間に物体を配置すると、その物体から若干離れた場所に虚像が拡大表示されます[4]。この方法でHUDは虚像をつくります。対象物(この場合は拡散スクリーンまたはTFTパネル)をHUDミラー光学系の焦点距離内に置きます。こうすることで、虚像が目前から若干離れた場所に投影されて見えます。

ガウスの結像公式により、虚像距離を長くするには、図 1 に示すように対象物を光学系の焦点に近づける必要があります。

<sup>(1)</sup> すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。

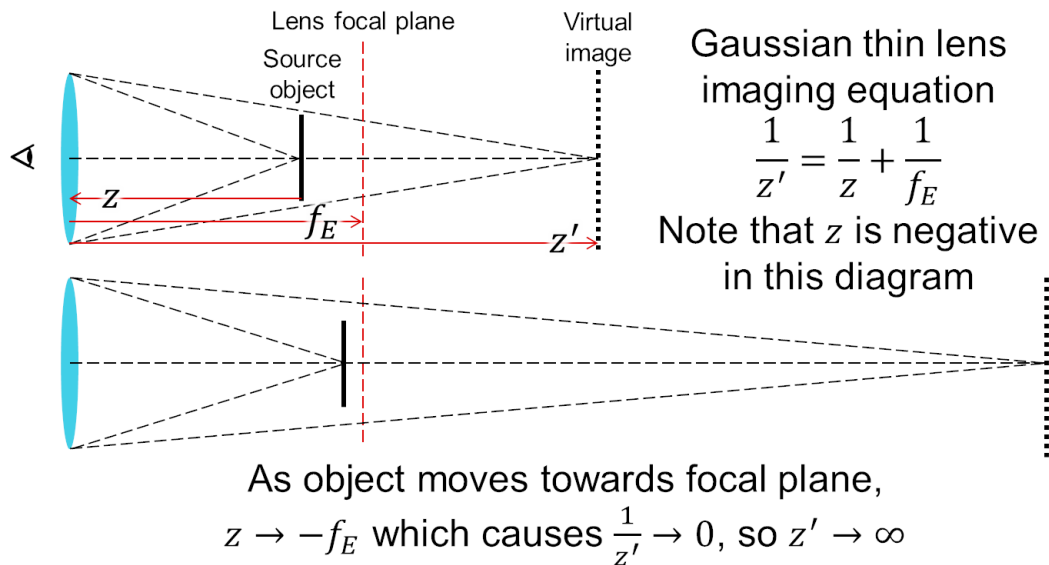


図 1. ガウス光学系により、物体物距離( $z$ )、像距離( $z'$ )、焦点距離( $f_E$ )の関係を記述します[4]。長い虚像距離を実現するために、物体を焦点面に近づけています。

図 2 に示すように、太陽光は光学系に入射すると焦点に集中する傾向があります。これは HUD 光学系にも当てはまります。VID が長い HUD では、対象物が HUD 光学系の焦点に近くなるため、当該デバイスが受ける太陽光の密度は高くなる可能性があります。従来型 HUD の虚像距離 (VID) は約 2.5m であり、虚像はクルマのフロント・バンパー付近に結像されます。このように VID が短い場合、表示パネルは焦点面にさほど近くないため、太陽光密度は極めて低くなります。しかし、AR HUD のように長い VID を実現するには、表示パネルを焦点面に近づける必要があるため、太陽光の集中度ははるかに高くなります。AR HUD の VID 要件は、処理系依存で議論の余地があるものの、通常は最低 7m、多くの場合それ以上が望ましいとされています [5]。

VID はスクリーンの太陽放射照度に大きく影響します。例えば、図 3 は 7m と 15m という 2 つの VID を設定した TI の AR HUD プロトタイプでの太陽放射照度を示しています。15m の VID では、7m の VID よりスクリーンが焦点面に近いいため、スクリーンの太陽放射密度は高くなります。太陽放射照度を予測し、過熱防止のための軽減法を実装するには、入念なシミュレーションと解析を行う必要があります。解析手法と適用可能な軽減法については、以下に述べます。

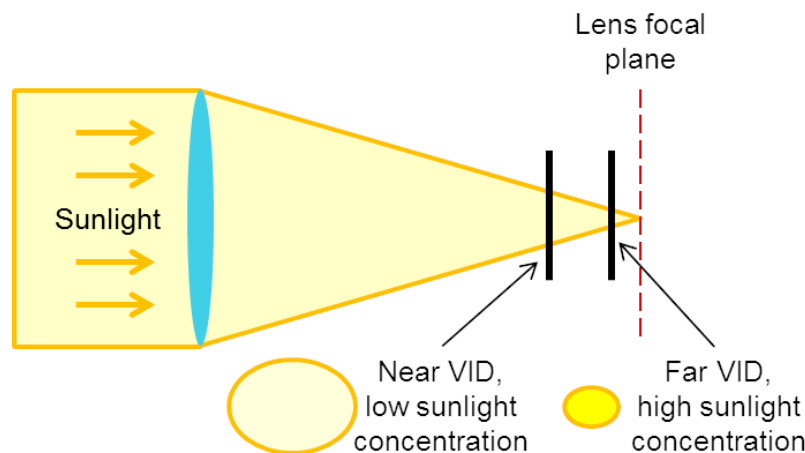


図 2. 集束した太陽光は焦点面に向かって集中します。焦点面に近い物体ほど、受ける太陽光の密度(太陽放射照度)は高くなります。



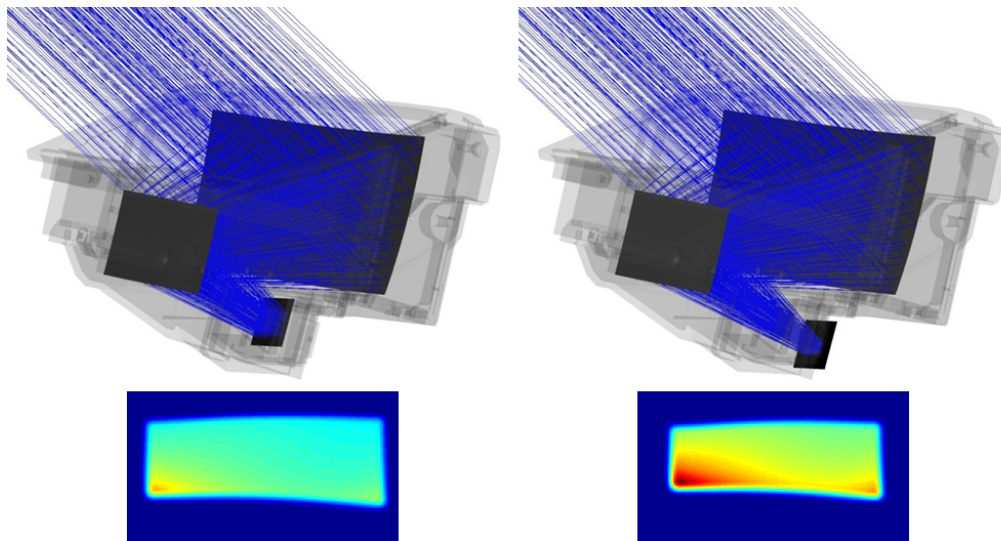


図 3. 7mのVID (左)と15mのVID (右)に最適化したTI AR HUDプロトタイプ。スクリーンの放射照度分布は、長いVIDを設定したほうのピーク放射照度が著しく高いことを示しています。

### 3 Zemaxによる太陽光モデリング

入念な設計とシミュレーションにより、屋外走行条件でHUDシステムが受ける最大太陽放射照度を予測できます。Zemax OpticStudio®17を使用して、太陽光がHUD光学系内を伝播するシミュレーションを実施しました。このシミュレーションは、角度、スペクトル、放射照度といった特性を適切に設定した、正確な太陽光源モデルに依存します。この解析(図 4)で使用した太陽光スペクトル・データはASTM G173-03基準スペクトルです[6]。

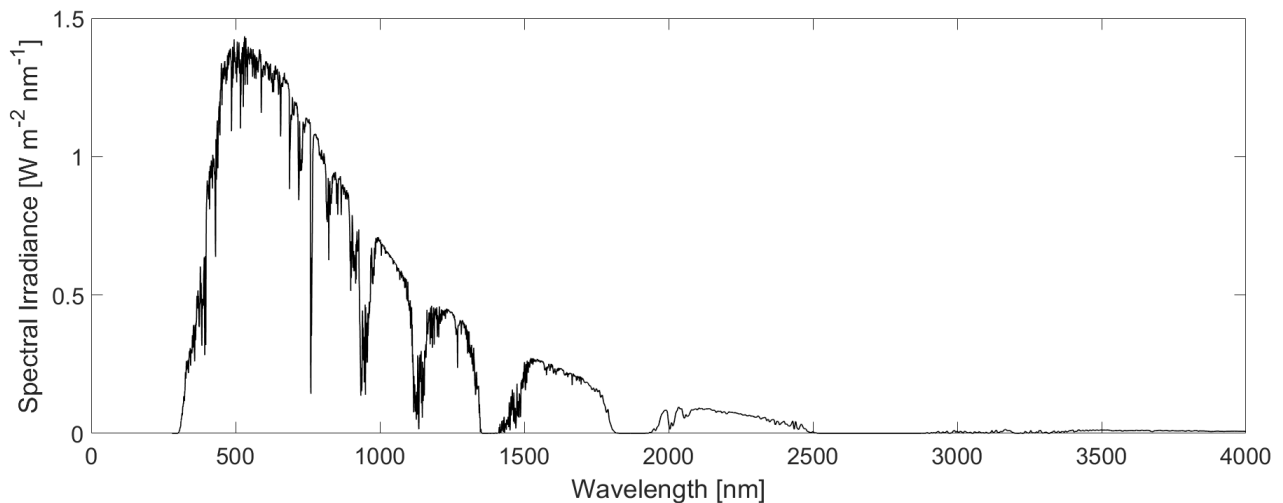


図 4. ASTM G173-03基準スペクトル(直達+散乱)[6]。総放射照度は900.14W/m²です。

この基準スペクトルにより、大気によるフィルタリング後の地表における放射照度のスペクトル分布を記述します。ただし、このデータは角度37°の太陽で取得したものであり、天頂からの直射日光では放射照度がこれより高くなります。基準スペクトルの総放射照度は900W/m²ですが、地表の最大直達放射照度は1050W/m²[7]になるため、これに合わせてスペクトル・データを拡張する必要があります。

太陽光は、フロントガラスやグレートラップ、ホット/コールドミラーを含む(がこれらに限定されない)さまざまな車載光学素子によって減衰されます。太陽光モデリングでは、こうした素子の分光透過曲線を考慮する必要があります。このHUDシステムは設計の柔軟性が著しく高いため、以下のシミュレーションで仮定および単純化して、最大放射照度の控えめな推定値を出します。まず、不可視光線(UVおよびIR)は完全に減衰すると仮定します。現在のHUDアーキテクチャでは、フロントガラス、グレートラップ、ホット/コールドミラーによる分光フィルタリングを使用して、この不可視光線を抑制していますが、こうした素子の正確な分光曲線は設計によって異なります。将来のHUD設計では、HUD光源の放射波長に近い、より積極的な分光フィルタリングが採用されるものと予想されます。例えば、新しいフロントガラスによってIR/UVフィルタ機能が追加され[8]、HUDシステムに入り込む不可視光線エネルギーを抑制できるかもしれません。この解析では、フィルタによってTI AR HUDプロトタイプ・システムのスペクトル出力測定結果に近い波長が除去されると仮定しています。図5にHUDのスペクトル放射の測定結果と、HUDの虚像に影響を与えることなく除去できる太陽光の部分を示します。

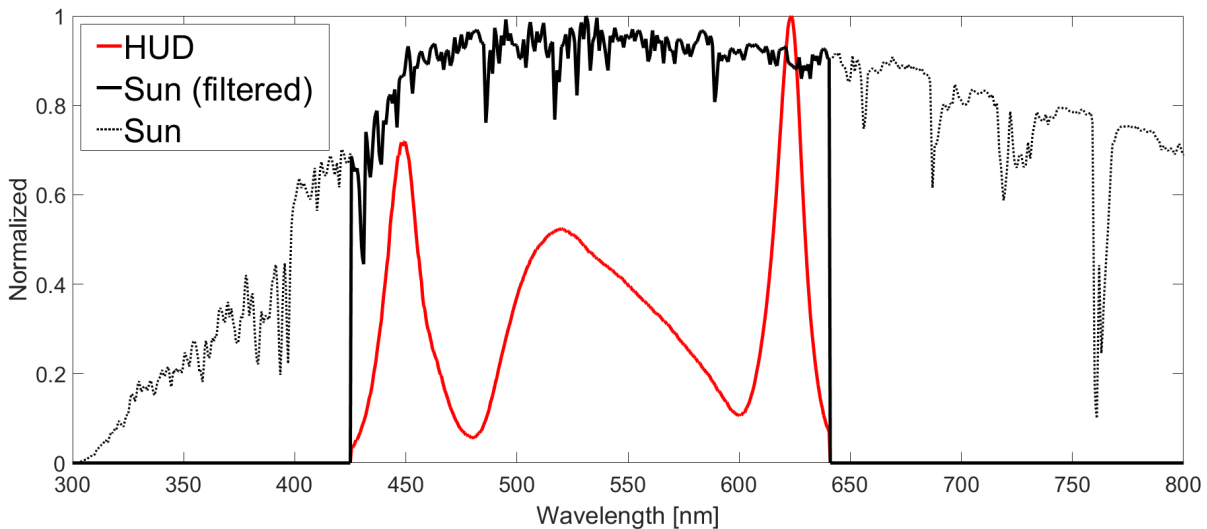


図 5. 分光フィルタリングにより、HUDシステムに入り込む太陽光エネルギーを削減できます。HUDのエネルギー範囲は420nm～640nmです。この範囲外の波長をフィルタリングすることで、HUD光源への影響を最小限に抑えながら太陽光エネルギーを削減できます。分光フィルタリングを経て、フルスペクトルの放射照度1050W/m<sup>2</sup>は325W/m<sup>2</sup>に低下しています。

また、さまざまな素子の相対透過率により、全体的な太陽光負荷をさらに25%削減できるものと推定されます。この削減については表1にまとめます。上記の仮定に基づき、HUDシステムに入り込む可能性がある太陽光の最大放射照度は約244W/m<sup>2</sup>となります。

表 1. HUDシステムに入り込む太陽光を減衰する光学素子の仮定効率。(1)

光学素子	効率
フロントガラス	83%
グレートラップ	95%
ミラー	95%
合計	75%

(1) フロントガラスの効率は、2面、 $n=1.5$ 、 $AOI=60^\circ$ でのフレネルの式に基づく推計です[9]。グレートラップとミラーの効率は、測定結果と一般的な仕様に基づく控えめな推計値です。これらの値はシステムによって異なり、個々のシステム解析で詳細に評価する必要があります。

より正確な(より多くの演算処理を伴う)手法では、太陽光路にある各光学素子の分光透過曲線を評価します。この透過データをZemaxにロードして、より物理的に正確な光線追跡を実現できますが、このシミュレーションでは、エネルギー損失を概算して光線追跡を高速化しました。

Zemaxでの太陽光形状のモデリングは、Grether、Nelson、およびWahlig (1975年)の散乱光測定データ[10]に基づいて「Source Radial」オブジェクトで放射強度の値を設定して行います。図6の角度強度プロットは、太陽が約0.5°の円形に発光していることを示しています。また、「Source Two Angle」オブジェクトを使用して、XおよびYの半角を0.25°に設定することもできます。これは太陽円盤における角度強度変動を加味していないものの、このようなシミュレーションでは十分に正確です。

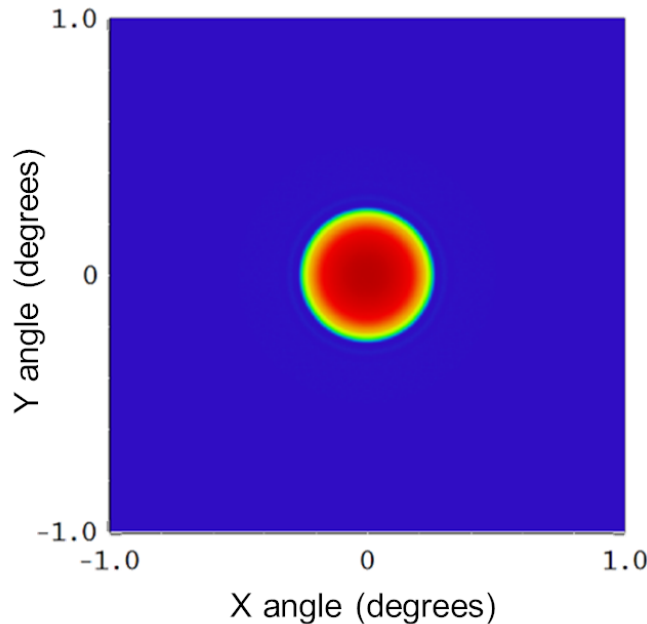


図 6. シミュレーションで使用した「Source Radial」の太陽光源の角度強度。

Zemaxでは、2つの波長間にある黒体スペクトルのサブセットとして太陽光スペクトルをモデリングできます。[11]. この解析では、5800Kの黒体光源を400~700nm、100の離散スペクトル線と定義しました。望ましい放射照度を実現するには、光源域に基づいて光源出力(W)を計算する必要があります。光源出力が光源放射照度と等しくなるように光源域を1m×1m四方とすることはできますが、この場合、多くの光源光線がHUDに当たらなくなるため演算上非効率です。光源域をHUDシステムの入口開口部に適合させたほうが効率的です。このシミュレーションでは、光源を0.34m×0.2mの長方形と定義してHUD光学系により適合させた結果、244W/m<sup>2</sup>を達成するのに16.6Wの光源出力を必要としました。

日常的な走行では、クルマが方向転換したり、上下に傾くため、太陽光の入射角度の範囲は広くなります。このため、適切な角度範囲で入射する太陽光をスキャンすることが重要です。例えば、オープンカー向けであれば、他のクルマより太陽光がHUDシステムに入り込む機会が増えます。このシミュレーションでは、まず、太陽光源をフロントガラスから伝播するHUDの主光線に合わせますが、軸外太陽光の放射照度が著しく高くなる可能性があることがわかりました。どの入射角度で放射照度が最も高くなるかを特定するため、スクリプトを使用して、入口開口部を中心にさまざまな角度で太陽光源をスキャンしました。これはZemaxのマクロ、またはZemaxに組み込まれているさまざまなAPIオプションのいずれかを使用して実行できます。この解析ではMATLAB APIを使用しましたが、C#、C++、またはPythonでも同じことができます。図7に太陽光源レイアウトと回転軸を示します。

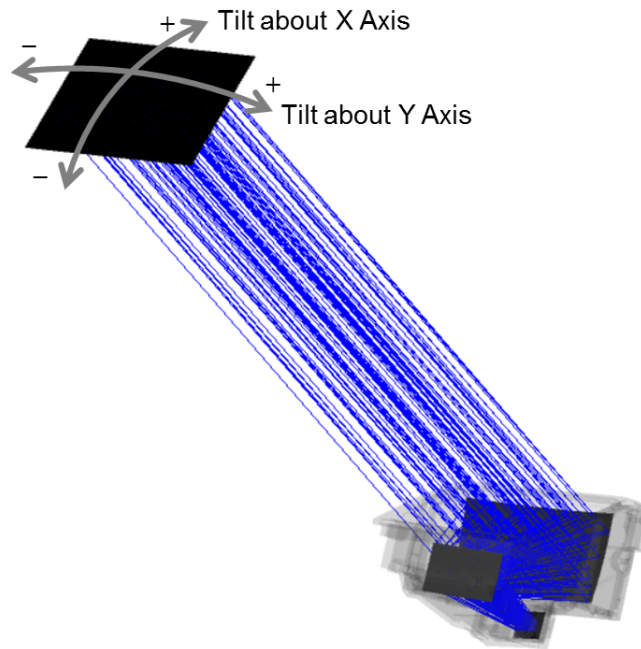


図 7. 実際の走行条件は広範囲に及ぶため、さまざまな入射角度でシミュレートした太陽光源をスキャンすることが重要です。軸上光線をここに示します。

スクリプトはXおよびYの傾斜を1°間隔で変化させました。XおよびYの各傾斜で、スクリーン表面のピーク放射照度を記録しました。この値を用いて作成した図 8のプロットは、スクリーンの最悪条件放射照度が軸上(0, 0)ではなく、光軸から(3, 7)°ずれてシステムに入り込む太陽光に起因することを示しています。図 9に示すスクリーンの軸上と軸外の放射照度分布を比較すると、太陽光がより小さな面積に集中するため、全光束は軸上の場合より低くても、局部的に放射照度の高いスポットが生じることが分かります。TI AR HUDプロトタイプの場合、スクリーンのピーク太陽放射照度のシミュレーション結果は7mのVID構成で40kW/m<sup>2</sup>、15mのVID構成で57kW/m<sup>2</sup>でした。

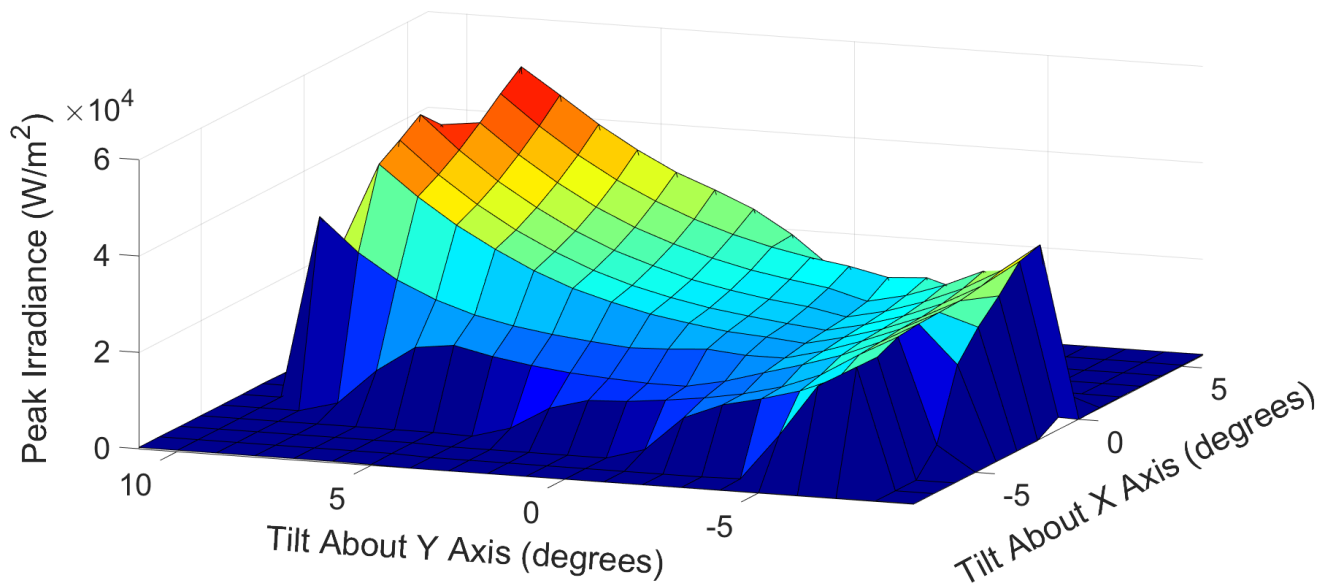


図 8. 太陽光入射角に応じたスクリーンのピーク放射照度。ピーク放射照度は軸外太陽光ではるかに高くなる可能性があります。TI AR HUDプロトタイプの最悪条件ピーク放射照度は、X軸に対して3°、Y軸に対して7°の傾斜で生じることが分かりました。

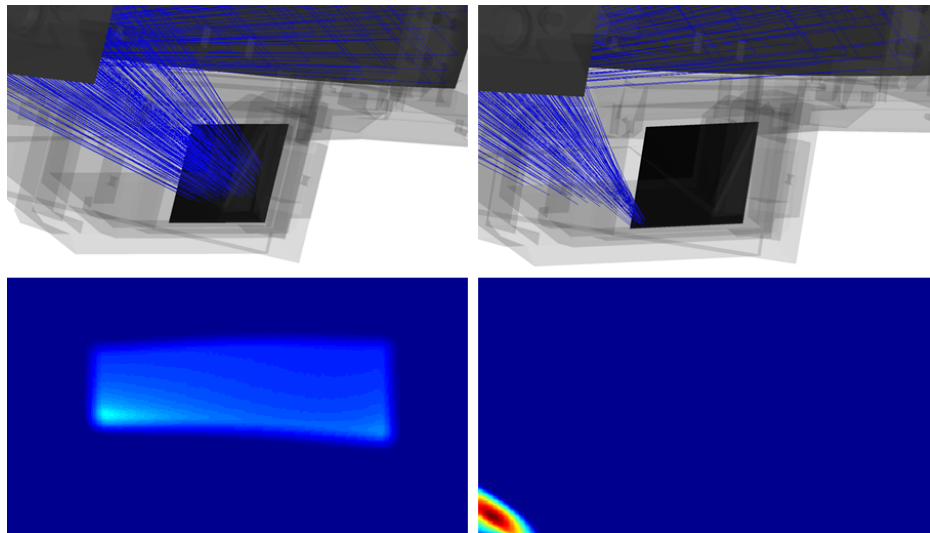


図 9. TIのAR HUDプロトタイプ・システムにおける軸上(左)と最悪条件軸外(右)の太陽放射照度シミュレーション結果。このケースでは、最悪条件軸外ピーク放射照度が軸上ピーク放射照度の2.7倍でした。

なお、これらのシミュレーションではスクリーン領域に入射する太陽光の放射照度しか記録していません。スクリーン外で放射照度が高くなる可能性があるため、これを入念にシミュレートして把握し、最適な機械筐体材料を選定する必要があります。

#### 4 太陽放射の熱による影響

ピーク太陽放射照度のシミュレーションは熱による故障を予測し、回避するための第一歩に過ぎません。太陽光エネルギーは、入射する材料の分光吸収率に基づいて熱に変換されます。

DLP HUDに使用するマイクロ・レンズ・アレイ(MLA)スクリーンを、厚さ0.3mmのポリカーボネート・フィルムにUV硬化樹脂を使用してモールドします。MLAスクリーンの吸収率を図 10に示します。太陽光のスペクトル放射(AM 1.5 G)とMLAスクリーンの吸収率から、MLAスクリーンによって吸収される太陽放射を図 11に示します。熱による故障を防ぐために350nm付近、1680nm周辺、2000nmを超える範囲の吸収率が大幅に下がるように対策を講じる必要があります。

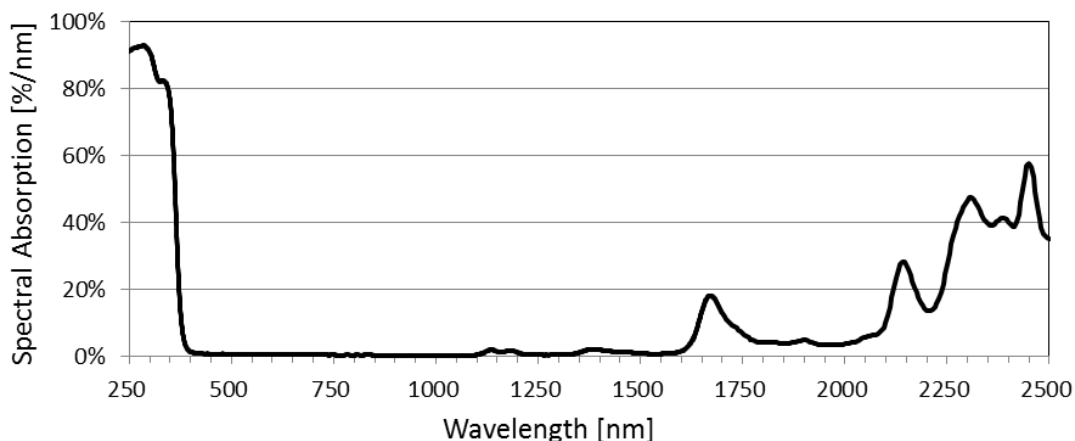


図 10. MLAスクリーンの分光吸収率。



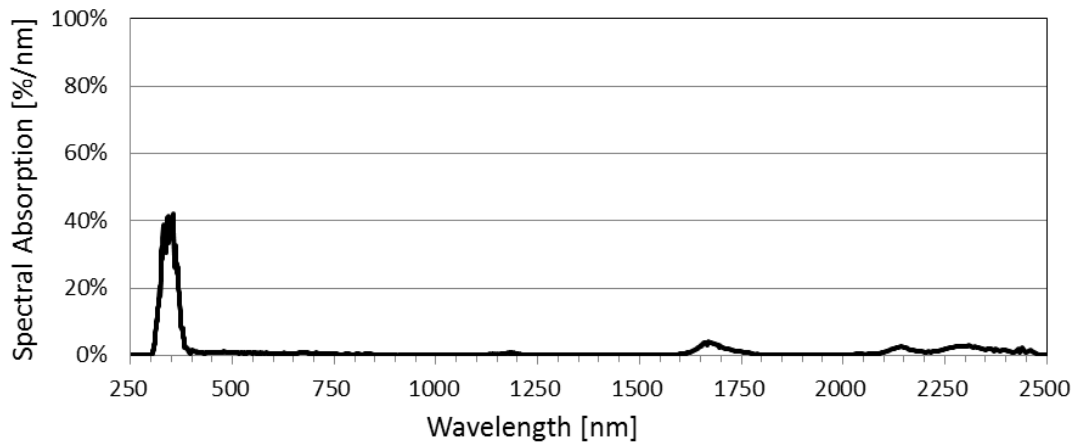


図 11. 基準太陽光スペクトル(AM 1.5 G)を乗じたMLAスクリーンの分光吸収率。

## 5 実環境テスト

MLAスクリーンとTFTパネルをさまざまな照度の太陽放射に曝して、実環境テストを行いました。MLAスクリーンはクラレが製造し、TFTパネル(図 12)は2016 BMW F30のHUDモジュールから取り外しました。



図 12. 太陽光テストで使用したTFTパネル。型番: E06030K16。

フレネルレンズを使用して、太陽光をMLAスクリーンに集光しました(図 13)。フレネルレンズからMLAスクリーンまでの距離と太陽放射照度との関係は光強度測定器で測定し、望ましい太陽放射照度が得られるようにフレネルレンズからMLAスクリーンまでの距離を調整しました。MLAスクリーンの温度を温度カメラで測定しました。温度カメラで温度を測定するための放射率は、吸収スペクトルから取得した0.902としました。

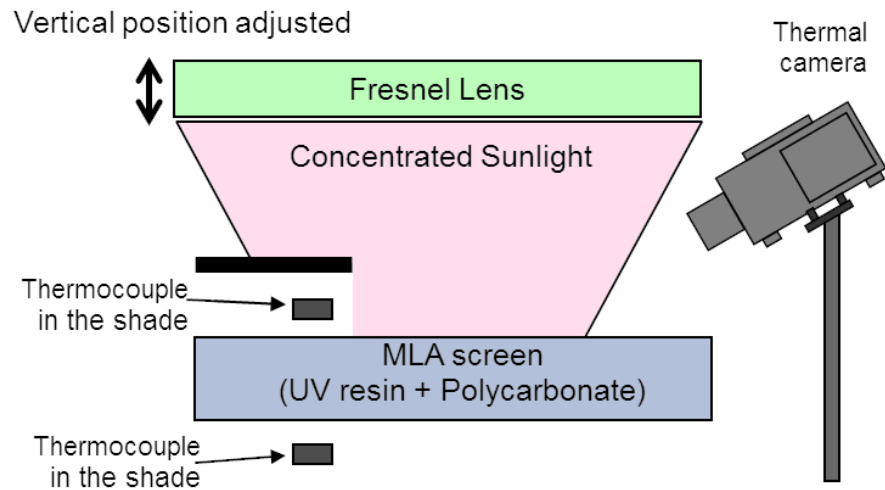


図 13. 太陽放射照度に応じた温度を測定するためのテスト構成。

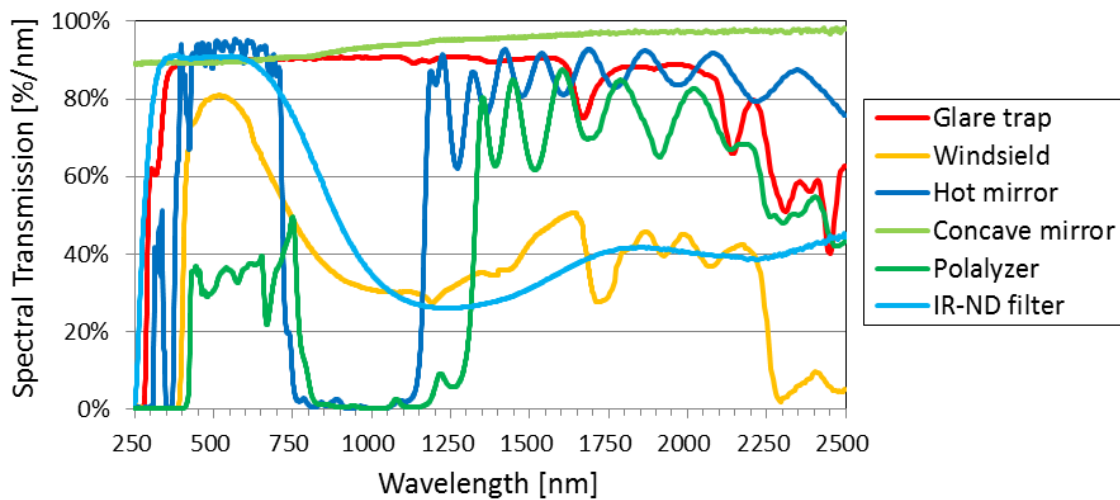


図 14. 分光光度計(日立U-4100)で測定した車載HUDシステムによくあるさまざまな光学素子の分光透過曲線。

表 2. 太陽放射照度と温度上昇の関係を特定するための3つのテスト条件。

テスト条件	光学素子スタック
A	フロントガラス、グレアトラップ、凹面鏡、MLAスクリーン
B	フロントガラス、グレアトラップ、凹面鏡、ホットミラー、IR-NDフィルタ、MLAスクリーン
C <sup>(1)</sup>	フロントガラス、グレアトラップ、凹面鏡、偏光板、TFTパネル

<sup>(1)</sup> 条件CはTFTパネルのテストです。

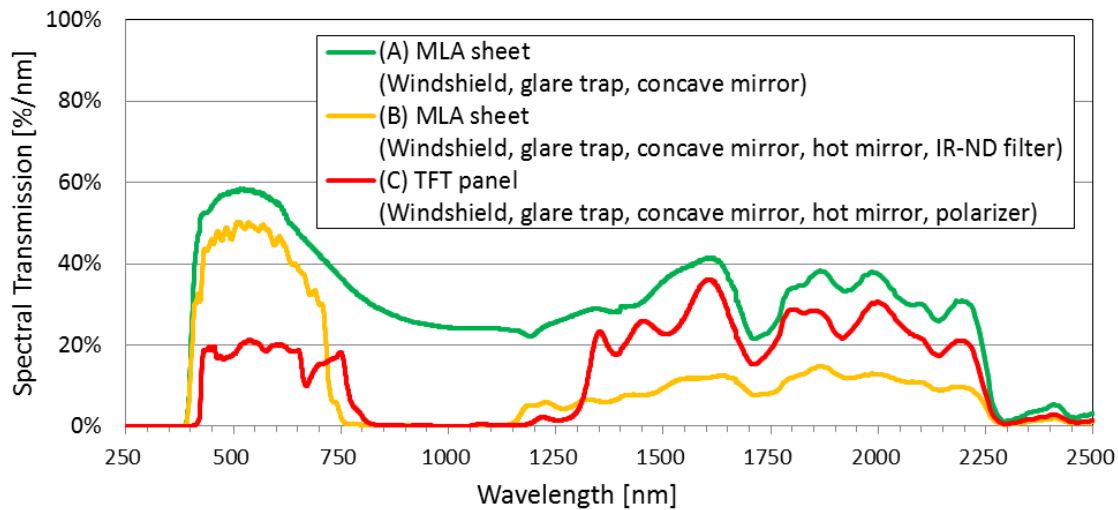


図 15. 表2に記載する3つのテスト条件の光学素子スタックの分光透過率。

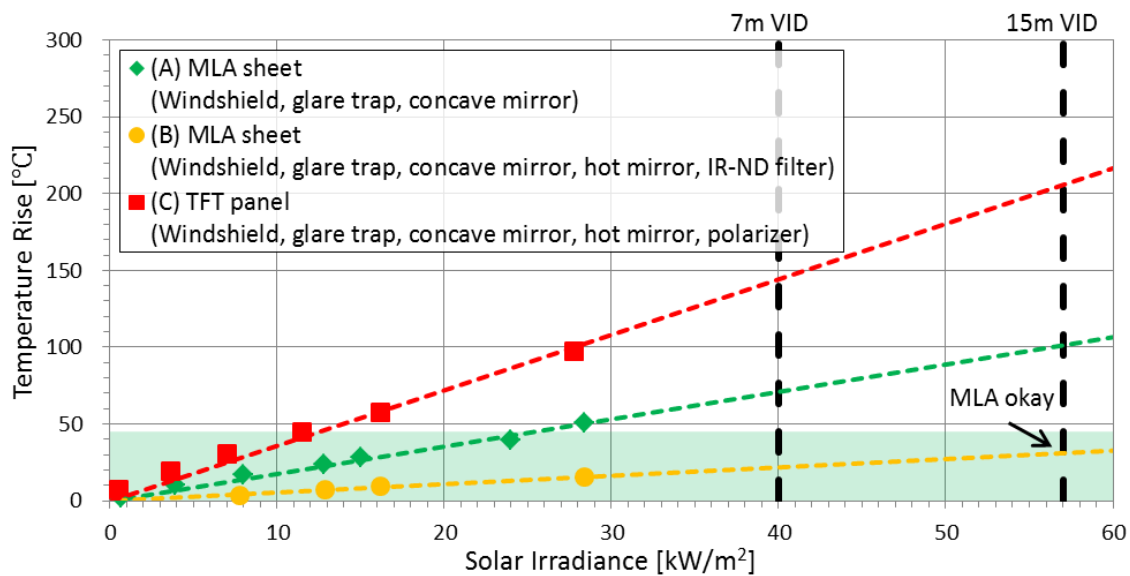


図 16. 温度上昇と太陽放射照度との関係。VIDを7mと15mに設定したTI AR HUDプロトタイプで予測される太陽放射照度を縦線で示しています。同様の太陽放射照度で、TFTの温度はMLAの6倍の速度で上昇することが確認されました。緑色の網掛け領域は、温度上昇が45°C未満であることを示しています。

この実験では、表 2 で挙げた3つの条件で光学素子を通過する集光された太陽光を、MLAスクリーンとTFTパネルに曝しました。各光学素子の分光透過率を図 14 に示し、表 2 の各条件の総分光透過率を図 15 に示します。図 16 では、TFTパネルの温度(条件C)が、偏光板により大半の可視太陽光を遮断しているにもかかわらず、他の2つのテスト条件に比べて著しく高速に上昇していることが分かります。



周囲ダッシュボード内温度の最大値を105°Cと仮定した場合、スクリーン温度が最大動作温度150°Cを下回るようにするには、太陽光負荷による最大温度上昇を45°C未満に抑える必要があります。条件(A)の場合、26kW/m<sup>2</sup>の太陽放射照度で45°Cの温度上昇となりました。HUDの最大太陽放射照度が26kW/m<sup>2</sup>未満であれば、MLAスクリーンの温度は150°Cを下回るため、熱による故障を回避できます。条件(B)の場合には、82kW/m<sup>2</sup>で45°Cの温度上昇に至ると予測されます。条件(C)では、わずか12kW/m<sup>2</sup>で45°Cの温度上昇に至ると予測されます。このデータに基づき、DLPプロジェクション・テクノロジーとクラレMLAスクリーン・テクノロジーをベースにしたHUDアーキテクチャは、太陽光負荷が増大する次世代AR HUDシステムに最適であることが分かります。

太陽放射照度に起因する温度上昇の可能性は、VIDが長くなるほど大きくなります。現在使用されている従来型の車載HUDは、集光面積が小さく、VIDも約2.5mと短いため、これほどの放射照度に曝されることはありません。AR HUDは長いVIDと大きな光学系を必要とするため、太陽放射照度ははるかに高くなり、表示パネルの温度上昇もはるかに大きくなります。TFTパネルは吸収率が高く、透過型MLAスクリーンよりも太陽放射照度によるダメージを受けやすくなります。

## 6 太陽光軽減法

予測した太陽放射照度が材料の耐性を上回ることがあります。この場合、設計者は次の戦略のいずれかにより、太陽放射照度を下げる必要があります。DLPテクノロジーを採用するような投影型HUDアーキテクチャは、中間像のサイズを変更できる柔軟性を備えているため、中間像と虚像の間の倍率を変更できます。倍率を下げれば、スクリーンの太陽放射照度は下がります。ただし、システムの倍率を下げることには代償が伴うため(HUDパッケージ全体のサイズなど)、常に最善のソリューションになるとは限りません。

ティント(着色)や偏光によっても、スクリーンに入射する太陽光の量を削減できます。ティントを光路のさまざまな素子に適用することで、同様の効果が得られます。ただし、ティントをどこに適用しても同じ割合でHUDの輝度が下がるため、17,000cd/m<sup>2</sup>という望ましい虚像輝度の達成は難しくなる可能性があります[1][2]。偏光による太陽光フィルタリング方式では、HUDの光も偏光を余儀なくされます。このため、偏光サングラスをかけている間はHUDの像の可視性に大きく影響しますが、次世代AR HUDシステムの重要な性能要件とされています[1]。ただし、図15および図16のデータから、偏光によって可視太陽光エネルギーのほぼ50%を除去しても(条件C)、TFTパネルは依然として比較的低い太陽放射照度で臨界温度に達することが分かります。

車載用レーザー光源の普及に伴い[12]、狭帯域3パス分光フィルタリングによる太陽光除去の可能性も広がっています。ダイレクト・レーザー照射の場合(レーザー蛍光体やLED光源とは違って)、HUDの光エネルギーはレーザー発振波長に相当する狭帯域内に存在します。この3帯域のみを伝送するように設計された分光フィルタは、太陽光エネルギーの最大92%を反射でき、図17に示すようにノッチ幅は20nmになると想定されます。

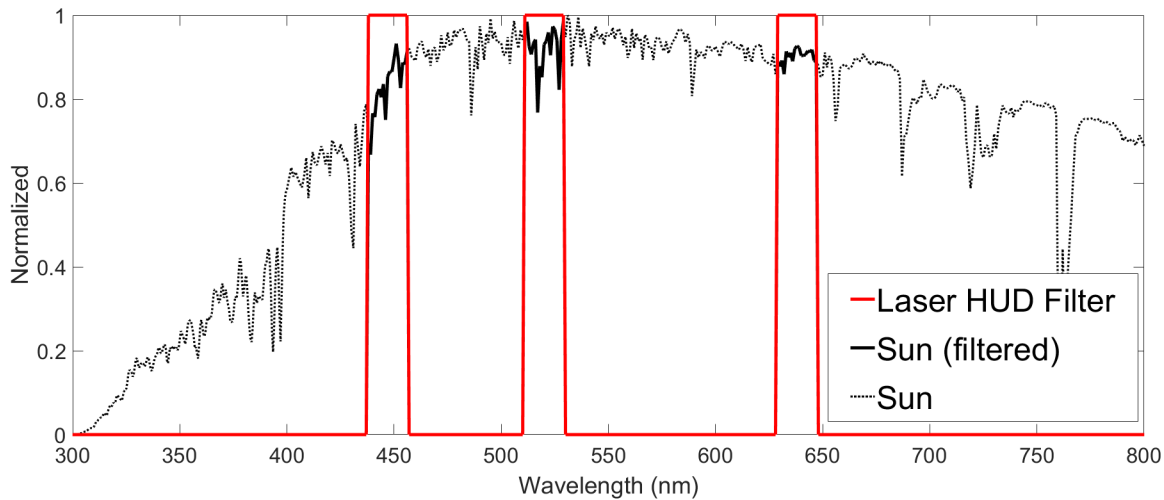


図 17. ダイレクト・レーザー波長を中心に設計した3パス20nmノッチ・フィルタにより、HUDシステムに入射する太陽光を大幅に削減できました。

車載用ダイレクト・レーザー光源には、温度安定性や耐用期間など、さまざまな課題があります。テクノロジーが成熟するにつれて、狭帯域光源はシステムレベルの利点をもたらすものとなるでしょう。DLPテクノロジーをベースにしたHUDは光源を問わないため、LEDやレーザー光源を効率よく利用するように設計できます。DLPテクノロジーはレーザー光源の利点を活かして、太陽光除去性能をはじめ、画像彩度、小型化、コントラスト、電力効率といったシステム性能の向上を実現します[12]。

## 7 まとめ

次世代AR HUDシステムは、設計プロセスを通じて環境条件を念頭に置き、入念に設計する必要があります。従来のHUD設計に比べて、AR HUDは倍率が高く、集光面積も大きいいため、太陽光が大きな課題となります。AR HUD設計では太陽光の集光を入念に把握し、設計を選定したり軽減法を採用したりして、太陽放射照度を許容水準まで下げる必要があります。許容太陽放射照度は、HUD像源にある材料に大きく依存します。DLPテクノロジーをベースにしたHUDなどの投影型HUDの場合、拡散スクリーンはこの太陽放射照度をまともに受けませんが、予想される太陽光エネルギー負荷量に耐えるものとします。

クラレのMLA拡散スクリーン・テクノロジーは、こうした環境条件に耐えるように設計されています。このスクリーンの透過特性により、エネルギー吸収を最小限に抑え、温度上昇を極めて小さくすることができます。適切な設計手法により、最も厳しい条件でこのスクリーンに予測される温度上昇があっても、拡散スクリーン材料の動作温度範囲内には収まります。こうしたことから、損傷を与えかねない太陽放射照度にも耐えるシステムを構築し、車載HUD業界で標準とされている高輝度・高解像度の鮮明な画像を確保できます。

## 8 関連資料

- (1) S. Martin, "Next-Generation Augmented Reality Head-Up Display: Defining and Exploring System Requirements," in SID Vehicle Displays, 2015.
- (2) K. Gish and L. Staplin, "Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature," U.S. Department of Transportation, 1995.
- (3) J. Gabbard, G. Fitch and H. Kim, "Behind the Glass: Driver Challenges and Opportunities for AR Automotive Applications," Proceedings of the IEEE, vol. 102, no. 2, pp. 124-136, 2014.
- (4) J. E. Greivenkamp, Field Guide to Geometrical Optics, Bellingham: SPIE, 2004.
- (5) T. Seder, "Automotive Augmented Reality," in SID Vehicle Displays, 2017.
- (6) American Society for Testing and Materials, "Reference Solar Spectral Irradiance: Air Mass 1.5," [Online]. Available: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>. [Accessed 19 12 2017].
- (7) Newport, "Introduction to Solar Radiation," [Online]. Available: <https://www.newport.com/t/introduction-to-solar-radiation>. [Accessed 19 12 2017].
- (8) A. Nishimoto, "3M's Window Films Block Heat and UV Rays Without Dark Tint," Motortrend, 2011. [Online]. Available: <http://www.motortrend.com/news/3ms-window-films-block-heat-uv-rays-dark-tint-77391/>. [Accessed 2017].
- (9) C. R. Nave, "Fresnel's Equations," Georgia State University Department of Physics and Astronomy, [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/freseq.html>. [Accessed 2017].
- (10) D. Grether, J. Nelson and M. Wahlig, "Measurement of Circumsolar Radiation," 1975.
- (11) Zemax, "How to Simulate a Rainbow," 2009. [Online]. Available: <http://customers.zemax.com/os/resources/learn/knowledgebase/how-to-simulate-a-rainbow>. [Accessed 2017].
- (12) M. Firth, A. Norris, D. Segler and J. Thompson, "Next Generation Augmented Reality Head-Up Display with DLP Technology," in SID Vehicle Display, 2017.

---

**注:** 本書は2018年2月28日～2018年3月1日にドイツ ニュルンベルクで開催されたElectronic Displays Conferenceにおいて発表されたものです。 [www.electronic-displays.de](http://www.electronic-displays.de)

---

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売条件 ([www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html](http://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html))、または [ti.com](http://ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売条件 ([www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html](http://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html))、または [ti.com](http://ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社