

## Application Report

## ダイナミック・グランド・プロジェクション・アプリケーションの要件



Jackson Thomas

## 概要

カスタム・ライティングおよびイルミネーションは、数 10 年にわたって全セグメントの自動車に差別化機能であり続けてきましたが、最近までそれは LED の色彩設計または静的ロゴに限定されていました。TI DLP® テクノロジーの車載認定により、自動車メーカーとティア 1 は、ダイナミック・グランド・プロジェクション (DGP) を使用してフルカラーで動的に変化するロゴまたはビデオを含む、個々のユーザーに合わせたコンテンツを作成できるようになりました。小型プロジェクタは、ドア・パネル、サイド・ミラー、ロッカー・パネル、フロント・バンパー、リア・バンパーなど、車内の多くの場所に組み込み、車両の周囲の地面にフルモーション・ビデオを投射できます。これらのダイナミック・グランド・プロジェクタは、多くのシネマ・プロジェクタやピコ・プロジェクタと同じディスプレイ・テクノロジーを使用していますが、画質と輝度の要件は従来型ディスプレイ・アプリケーションとは異なり、車両内の場所によっても異なる場合があります。このアプリケーション・レポートでは、さまざまな車載アプリケーションにおけるダイナミック・グランド・プロジェクタの輝度、電力、画質の要件について説明します。

## 目次

1 車載アプリケーションの静的プロジェクション.....	2
2 輝度の要件.....	2
2.1 ディスプレイの輝度に影響を与える主なパラメータ.....	2
2.2 輝度に関するその他の考慮事項.....	4
2.3 DLP テクノロジーの輝度能力.....	5
3 まとめ.....	5
4 関連資料.....	6

## 商標

DLP® is a registered trademark of Texas Instruments.  
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 車載アプリケーションの静的プロジェクション

静的プロジェクタ・アプリケーションの車載実装には、小さな画像を生成するドア・パネルのロゴ・プロジェクタと、車の長さに沿ったロッカー・パネル・プロジェクションから、車両の周囲に投射される一般的な歓迎用の照明まで、複数の例があります。アフターマーケット実装も多数提供されています。これらの従来の実装は、動的コンテンツを使用した将来の実装に対する期待値と要件を設定するのに役立ちます。

## 2 輝度の要件

車載アプリケーション向けプロジェクタの光束の要件はさまざまです。一部の拡張現実ヘッドアップ・ディスプレイ・システムでは約 100 ルーメンが必要とされ、一部の高解像度ヘッドライト・システムでは 1500 ルーメンを超える値が必要とされる場合があります。ダイナミック・グランド・プロジェクタ (DGP) アプリケーションでも光束の要件はさまざまですが、通常は 50 ルーメン未満です。DGP アプリケーションに必要な輝度を決定する主なパラメータはディスプレイ・サイズですが、その他にも、必要とされる機械的フォーム・ファクタ、最大消費電力、周囲の輝度、目標とする熱的性能など、最大輝度を制限する可能性がある複数のパラメータがあります。

プロジェクタまたはディスプレイの輝度を測定するのに、主に 2 つの単位が使用されます。プロジェクタの光束は通常、プロジェクタの総光出力の測定値であるルーメン (lm) で測定されます。一方、ディスプレイの明るさ (輝度) は通常、1 平方メートルあたりのカンデラ (cd/m<sup>2</sup>) または nit で測定されます。輝度 [cd/m<sup>2</sup>]、照度 [lux]、光束 [ルーメン] の関係を以下の式に示します。

### 2.1 ディ스플레이の輝度に影響を与える主なパラメータ

最終的には、表示画像の輝度は、すべてのエンド・ユーザー、ドライバー、同乗者が DGP 実装で見るものがすべてです。プロジェクタの光束、表示画像のサイズ、画像が表示される表面、周囲照明の条件のすべてが、表示画像の総合的な明るさの知覚を決定します。

#### 2.1.1 周囲の照明の条件

ある画像が目に見えるためには、その画像の輝度を、画像を投射しようとする表面の自然 (周囲) の輝度より大きくする必要があります。自然の輝度は、周囲の照明の量と表面の反射率の両方で決まります。投射表面の自然の輝度に対する画像の輝度の比を、輝度コントラスト比 (LCR) と呼びます。LCR が 1.5 の場合、画像は通常辛うじて目に見えます。これは、その画像が周囲の表面より 50% 明るいことを意味します。しかし、「辛うじて目に見えること」は通常、見やすさの観点からは不十分です。実用的には、2~4 の最小 LCR が大抵必要です。幅広い周囲条件にわたって最大限の見やすさを実現するには、25 以上の LCR が望ましいとされています。

地面の明るさは、周囲の照明条件とその場所の表面反射率で決まります。街灯直下の明るい街路からは、月によってのみ照らされる田舎道よりも、はるかに多くの光が反射されます。同じ LCR を維持するには、暗い条件よりも明るい条件の方が表示画像をずっと明るくする必要があります。通常、DGP アプリケーションではより高い LCR を持つディスプレイが望ましく、表示画像が明るすぎるということはありません。ダイナミック・グランド・プロジェクタは、最も明るい夜間の周囲条件でも目に見えるように設計する必要があります。より暗い条件は、表示画像の明るさの知覚を向上させるのみです。昼間の輝度条件は、DGP アプリケーションを表示させるに明るすぎて適しません。

表 2-1 (2 ページ) に、各種照明条件での周囲輝度レベルの概算値を示します。

表 2-1. 代表的な周囲照明レベル

夜間の照明条件	代表的な周囲照明 (lux)
たそがれ時	10.8
満月	0.108
星明かり	0.0011

#### 2.1.2 ディ스플레이の輝度に対する投射面の影響

画像の輝度の測定値と明るさの知覚も、画像が投射される表面の影響を大きく受けます。プロジェクション・ディスプレイ・スクリーンにはしばしば白色の反射素材が使用され、見る人に向けてより多くの光を反射することで画像がより明るく見えるように、何らかのゲインが組み込まれることもあります。ディスプレイ用に加工されていないほとんどの表面 (コンクリートなど) はランベルト面となります。ランベルト面とは、表面で反射される光がすべての方向に等しく散乱され、表面の見掛け上の明るさがすべての角度から同じに見える表面を意味します。表面の色、質感、材料自体が、DGP 画像の明るさの知覚に大きな影響を及ぼします。さまざまな表面の上

の画像の輝度は、材料の反射率、プロジェクタの光束、画像のサイズによって決まります。複数の代表的な地面の反射率を以下の表に示していますが、特定の構造とその他の多くの環境要因に基づいてこれらは大きく変化する可能性があります。

表 2-2. 代表的な材料の平均反射率

表面の種類	平均反射率
セメント	0.47
アスファルト	0.15
芝生	0.20
砂利	0.29
土	0.15

ランベルト面の場合、照度 (lux) から輝度 (cd/m<sup>2</sup>) への変換は比較的簡単です。ほとんどの舗装路面と地面はランベルト面と見なされます。

$$\text{輝度} \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{照度} [\text{lux}]}{\pi} \times \text{反射率} \quad (1)$$

### 2.1.3 表示画像のサイズ

特定のプロジェクタの投射比 (画像幅に対する投射距離の比率) が固定されている場合、そのプロジェクタが配置されている場所がディスプレイ表面から遠いほど、表示画像は大きくなります。しかし光束が一定の場合、画像が大きくなるにつれて、投射された光がより大きな画像全体に広がるため輝度も低くなります。画像が暗くなりすぎると、見る人はもはや認識できません。車載プロジェクション・アプリケーションの場合、投射比とプロジェクタ位置のパラメータは、設計によって固定される場合があります。これにより、確実に画像が目的のサイズになり、適切に焦点を結び、画像の輝度が設定されます。

投射された画像の輝度は、表示画像の面積に反比例します。表示画像の面積が 2 倍になると、輝度は 50% 低下します。このため、サイド・ミラーから小さな画像を投射するプロジェクタは、自動車の長さに沿った画像を生成するロッカー・パネル・プロジェクタよりも低い輝度で済みます。これは、2 つの画像のサイズが通常非常に異なるためです。サイド・ミラーに取り付けられたプロジェクタは 10 ルーメンしか必要としませんが、ロッカー・パネルに取り付けられたプロジェクタは 80 ルーメンを必要とする場合があります。

### 2.1.4 表示画像の輝度

DGP 画像の輝度の推定値は、前のセクションで示した数値で計算できます。画像サイズ、投射面、周囲条件、投射光束を組み合わせると、投射画像の輝度が得られ、これを使用して、さまざまな周囲照明条件でその画像がどのように見えるかを予測できます。

$$\frac{\text{プロジェクタの光束} [lm] \times \text{反射率}}{\text{画像サイズ} [m^2] \times \pi} = \text{画像の輝度} \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \quad (2)$$

$$\text{LCR} = \frac{(\text{画像の輝度} + \text{周囲の輝度})}{\text{周囲の輝度}} \quad (3)$$

上記の式を整理して、LCR、周囲の輝度、画像サイズ、表面反射率の関数として必要なプロジェクタの光束 (ルーメン) の値を求めると、次の式で表されます。

$$\text{プロジェクタの光束} [lm] = \frac{\text{周囲の輝度} \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \times (\text{LCR} - 1) \times \text{画像サイズ} [m^2] \times \pi}{\text{反射率}} \quad (4)$$

たとえば、アスファルトの周囲照明条件が 10lux (たそがれ時のおおよその照度)、目的の画像が 0.09m<sup>2</sup> (対角約 18 インチ)、LCR が 25 であると仮定します。式 1 (3 ページ) を使用して、アスファルトの周囲照度が 10lux の場合の周囲輝度を以下のように求めることができます。

$$\frac{10 [\text{lux}]}{\pi} \times 0.15 = 0.48 \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \quad (5)$$

式 4 (3 ページ) とこれらの周囲条件を使用して、プロジェクタの最小輝度を以下のように求めることができます。

$$\frac{0.48 \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \times (25 - 1) \times 0.09 [\text{m}^2] \times \pi}{0.15} = 21.6 [\text{lm}] \quad (6)$$

大きなロゴやアニメーションの投射画像 (約 18 インチ) をたそがれ時に高い可視性 (LCR = 25) で表示する場合、DGP プロジェクタは 20 ルーメンをわずかに超える値を出力する必要があります。これは、DLP3021-Q1 車載グレード DMD を使用したプロジェクタで実現できる輝度です。

## 2.2 輝度に関するその他の考慮事項

その他にも、画像の可視性に直接影響を与えることが少なく、またはプロジェクタの設計では完全には制御できない多くのパラメータがあります。DGP アプリケーションの輝度の要件を決定する際の、その他の考慮事項を以下に示します。

### 2.2.1 時刻

時刻は、画像の可視性に非常に大きな影響を与えます。時刻を変えることは、実は上記の式の周囲輝度の値を変化させることに他ならないため、プロジェクタの輝度要件にも影響します。DGP の画像 (投射画像) を完全な太陽光下で見ると、プロジェクタの輝度を非常に高くする必要があります。このように高い輝度要件 (おそらく 500 ~ 1000lm) はプロジェクタのコスト、サイズ、複雑さ、熱負荷を増大させるため、低コストの DGP アプリケーションにとって困難な課題です。

太陽光下で表示することは現実的ではないかもしれませんが、輝度を少し上げることで、真夜中の条件だけでなく、薄暗い時間帯でも画像が適度に見やすくなる可能性があります。上記の式で周囲輝度の変数を変更することで、夜間動作時のプロジェクタの輝度を推定できます。米国テキサス州ダラスで 8 月に撮影された [図 2-1](#) (4 ページ) の画像は、1 年を通じて輝度が高い時期の 1 日のうちのさまざまな時間を代表したものです。

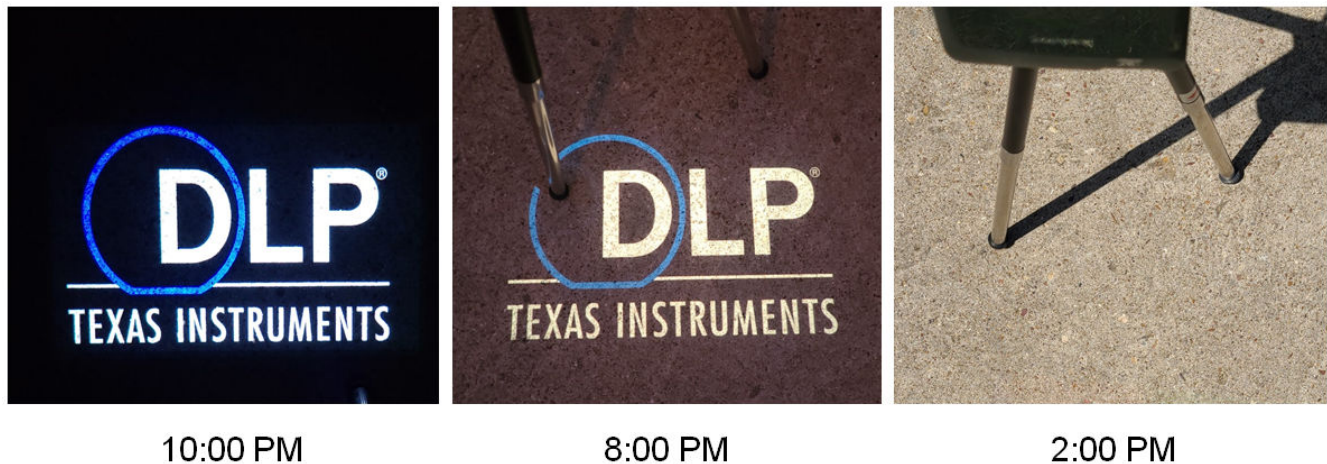


図 2-1.1 日のうちのさまざまな時間の輝度

### 2.2.2 プロジェクタのコントラスト

プロジェクタ (またはすべてのディスプレイ) のコントラストは、完全な白の画像と完全な黒の画像の輝度の比です。黒を表示するピクセルから光が全く放射されない理想的なディスプレイのコントラストは無限度ですが、実際にはこのようなディスプレイは存在しません。表示されたコントラストが低すぎる場合、画像の暗い部分では詳細はよく見えません。周囲の輝度が高い環境の、コントラストが低い投射画像の場合、画像の周囲に暗い境界線を表示し、灰色の箱を点灯させ、中央の明るい画像の周囲に「ポストカード」を表示することもあります。



Very High Contrast  
~2000:1 contrast



Medium Contrast  
~1000:1 contrast



Low Contrast  
~100:1 contrast

図 2-2. 各種コントラストの DGP 画像

DGP アプリケーションでは、周囲の照明条件を十分には制御できないため、暗い周囲条件でも背景が見えないように、コントラストを十分高くする必要があります。しかし、コントラストを必要以上に高く設計すると、コストが上がりサイズも大きくなる可能性があります。DGP アプリケーション用プロジェクタは、製造コストを最小限に抑えながら、十分良好な性能を発揮するコントラストに設計する必要があります。どのようなコントラスト・レベルを「十分良好」と見なすかは主観的な問題であり、投射面の影響も受けます。通常、これは最小で約 400 : 1 のコントラストです。多くの暗い周囲条件で、400 : 1 のコントラストは、画像から背景の影を除去するのに十分高い値です。

### 2.2.3 その他のアプリケーション制約

その他の複数の要因が、DGP プロジェクタの最大輝度に間接的に影響を及ぼします。多くのアプリケーションでは、モジュールのサイズと入力電力に制限があります。より高輝度のプロジェクタほどより多くの入力電力を必要とします。車両内の配置方法によっては、モジュールに供給できる総電力が制限され、プロジェクタの最大輝度が制限される場合があります。より大きな電力またはより大きな LED も輝度を向上させますが、これにより、必要とされる熱的冷却ソリューションも通常大きくなります。この熱的ソリューションによってモジュール・サイズがあまりにも大きくなる場合、サイズの制約に対応するために輝度を下げる必要があります。電力または熱の制約により輝度が制限される場合、輝度の目標を達成するために表示画像のサイズを小さくする必要があります。

## 2.3 DLP テクノロジーの輝度能力

DGP アプリケーションに必要なプロジェクタの光束の最小値を決定した後、特定のプロジェクタの出力能力を評価する必要があります。プロジェクタ設計の最終的な出力輝度とモジュール・サイズを決定する要因は多数ありますが、表 2-3 (5 ページ) に、複数の一般的な出力目標 (DLP3021-Q1 車載認定 DMD をフルカラー DGP アプリケーション用に使用する構成など) を示します。実際のサイズと出力光束は、個々の設計によって変わります。

表 2-3. DLP3021-Q1 の代表的なプロジェクタ能力

入力電力 (W)	出力光束 (ルーメン)	プロジェクタの概略サイズ (mm)
3	最大 25	50 x 30 x 25
10	最大 120	80 x 80 x 30

## 3 まとめ

DGP アプリケーションの最終的に成功するかどうかは、ドライバーまたは歩行者にはっきり見えるかどうかで決まります。ダイナミック・グラウンド・プロジェクション・ディスプレイの見掛け上の明るさには、プロジェクタの輝度、周囲の照明条件、投射面など、各種の要因が影響します。画像のサイズと配置の要件が異なると、プロジェクタの輝度、コントラスト、全体的なフォーム・ファクタの要件も異なる場合があります。目的の表示条件とディスプレイ・コンテンツを理解することは、DGP の輝度設計の残りの部分を決定するための第一歩です。

## 4 関連資料

ダイナミック・グラウンド・プロジェクション・アプリケーションの詳細については、以下の資料を参照してください。

- テキサス・インスツルメンツ、[DLP3021-Q1 製品フォルダ](#)
- テキサス・インスツルメンツ、[『DLP3021-Q1 0.3-Inch WVGA DMD』データシート](#)
- テキサス・インスツルメンツ、[『DLP3021-Q1 FPGA User's Guide』](#)
- さまざまな道路材料の反射率に関する参考資料：
  - [『Recommended Light Levels \(Illuminance\) for Outdoor and Indoor Venues』](#)
  - [『HOMER Pro 3.14 Ground Reflectance』](#)
  - [『Average Ground Reflectance Info』](#)
  - [『Experimental Analysis of Natural Gravel Covering as Cool Roofing and Cool Pavement』](#)
  - [『Remote Sensing for Soil Science』](#)

## 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に該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、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](#)、または [ti.com](https://www.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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022, Texas Instruments Incorporated