

# LED 機能と LED ドライバの 設計に関する一般的な 考慮事項



## Kenneth Du

パワー・スイッチ、インターフェイス、ライティング担当  
製品マーケティング・エンジニア  
テキサス・インスツルメンツ

TI POWER

# LED は全般的に、従来型の照明より多くの利点を実現します。LED の各機能について理解すると、効率の改善、信頼性の向上、動作寿命の延長に貢献する各種設計を実現できます。

## 概要

このホワイト・ペーパーは、LED の 4 つの主な機能と、それぞれを活用して開発中の設計を最適化する方法を説明します。



### 1 LED による表示

変化を続ける市場条件は、安全性要件に関する規格の高度化を推進する材です。



### 2 LED アニメーション (パターン表示)

LED アニメーション (パターン表示) ドライバは、非常に広く使用されている RGB LED を複数駆動するために、色の混合 (複数色の同時点灯) や輝度の制御などの機能を搭載しています。



### 3 LED 照明

LED 照明は、大出力の LED を複数、または複数の LED で構成されたストリングを使用して、人や物品を照らします。



### 4 LED バックライト

バックライト LED ドライバは、さまざまなディスプレイ・サイズにわたってユーザーの使いやすさを改善します - バッテリー動作時間の延長とボード面積の節減。

LED は現在、一般的な光源として使用されています。従来型の白熱電球やネオン電球に比べて、効率の改善、信頼性の向上、動作寿命の延長、サイズの小型化、点灯と消灯の高速な切り替えなど、多くの利点を実現します。LED 全般の特長用途は、可視光を照射するヒューマン・マシン・インターフェイス (HMI) や照明に加え、検出、測定、療処置を目的とした赤外線 (IR) と紫外線 (UV) の波長も該当します。

LED 全般にはこのような多様な使用事例があるので、ハードウェア設計者やソフトウェア設計者の皆様にとっては、最善の LED ドライバを設計する方法が複雑に思える可能性があります。一方、LED 全般は多様なアプリケーションで使用されているので、幸いなことに類似性を LED ドライバの機能から見つけて出して最終機器で活用することや、機能ごとに共通の設計時検討事項を適用できることもあります。

LED の 4 つの主な機能として、表示、アニメーション (パターン表示)、照明、バックライトを挙げることができます。次に図示するとおりです。(図 1)

幅広い産業用アプリケーションで LED ドライバを選定する場合、膨大な選択肢に圧倒されることがあります。

開発中のシステムに適した特定の LED を見つけ出し、最善のドライバを設計するのは、夜の空から特定の星を識別する作業に似ています。星座早見表を活用すると、星や星座を見分けやすくなるのと同様に、LED の 4 つの主な機能を理解すると、適切な LED およびそれに関連する LED ドライバ回路を選定しやすくなります。



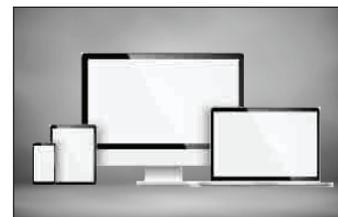
LED による表示



LED アニメーション



LED 照明



LED バックライト

図 1. LED の 4 つの代表的な機能に関する例。

## LED の歴史と当初のアプリケーション

1960年代前半にLEDは考案され、主に白熱表示器やネオン表示器を置き換える用途で採用されました。当時はLEDの電力密度が低く、コストも非常に高額だったので、高価な機器の7セグメント・ディスプレイが中心でした。LEDテクノロジーに関する継続的で集中的な調査と研究が実施された結果、さまざまな色を発光する、より効率的なLEDが生み出されました。1994年に、超高輝度の青色LEDが考案され、コスト効率の優れた白色LEDの開発を促進しました。その間、人間の目には見えない不可視光のLEDも、当初のIR(赤外線)からUV(紫外線)へと拡張され、当時の各種最新LEDは、可視光、UV、IRの各波長に対応領域を広げて、高効率の光を出力するようになりました。

当時の各種最新LED向けアプリケーションは、シンプルなインジケータから、可視光と不可視光の両方まで広い範囲に対応し、使用事例は事実上あらゆる種類の電子機器に広がりました。たとえば、スマート・ホームの場合、スマート・スピーカはスマート・ホームのハブとして動作し、家庭内にある他のスマート・デバイスと接続できます。スマート・ロック(錠前)、カメラ付きインターホン、サーモスタット、大型/小型の家電、ロボット型掃除機、照明システムなどです。図2をご覧ください。これらのアプリケーションで、出力レベルと色がさまざまに異なる多様なLEDを複数使用してステータスを表示します。またはHMI用途の場合、LCDバックライトやIR/白色光の照射に使用します。



図2. スマート・ホームでの各種LEDの使用事例。

## 設計上の検討事項

LEDとはダイオードのうち、順方向バイアスを印加すると容易にオンになるものを指しますが、非常に多くのアプリケーションに対応できる単一の方式を設計するのは複雑です。従来型の設計ルールが使用するのとは、システム内に存在するすべてのLEDの合計電力レベルを、さまざまなLEDドライバを選定するための目安とする方法です。ただし、調光機能は一般的な要件になってきたほか、色の混合(複数色の同時点灯)をRGB LEDや白色LEDで採用した結果、ユーザーの使いやすさを改善できました。また、LED駆動の上位層にソフトウェア制御を導入した結果、適切なソリューションの識別が困難になりました。したがって、設計者の皆様は電力レベルに加えて、トポロジー、効率、調光方式、制御方法も考慮する必要があります。

## LEDによる表示

LEDインジケータは、おおむねあらゆる種類の電子機器で使用されています。

最も一般的な機能であるLEDインジケータは、設計が最も簡単です。システム内のインジケータが一般的に必要なとするのは、ステータスを表示するために点灯または消灯することだけです。したがって、図3に示すように、順方向バイアス電流をLEDに印加し、電流制限抵抗を追加するのが、最も直接的な方式になります。機械式スイッチまたは電子スイッチ(バイポーラ・トランジスタまたはMOSFET、金属-酸化膜-半導体の電界効果トランジスタ)を使用して、LEDを点灯または消灯させることができます。

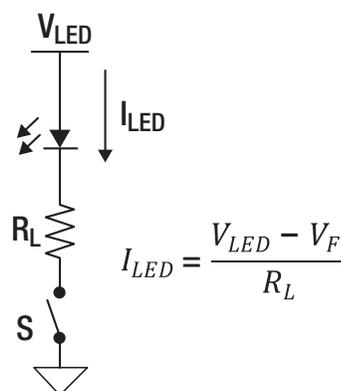


図3. 電流制限抵抗を採用したLED駆動回路。

家電製品のような特定の種類の機器は、複数のインジケータまたは7セグメント・ディスプレイとドット・マトリクス・ディスプレイを使用し、時刻やバッテリーの電力レベルのような情報を表示します。設計者の皆様は通常、74HC164 または 74HC595 のような汎用シフト・レジスタを実装します。ただし、LED の電流 - 電圧曲線は指数関係にあるので、LED の電源電圧 (VLED) の変動や電流制限抵抗 (RL) のばらつきが原因で、LED 電流は簡単に変化します。

このような電流変化は、一様性の低下や製品寿命の短縮という結果につながります。特に、VLED の変動が大きいバッテリー動作アプリケーションの場合です。図 4 に示す定電流 LED 駆動回路は、より精度の高い電流を生成し、すべての LED に流します。基準電圧 (VREF) は通常、高精度の電圧源に由来しており、VLED の変動にかかわらず、LED 電流を一定に保つことができます。

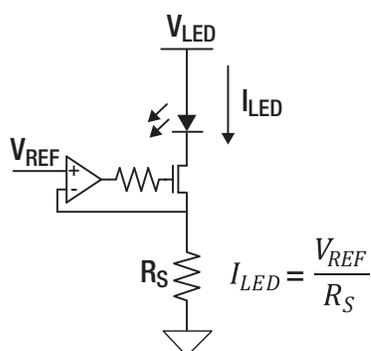


図 4. 定電流を流す LED 駆動回路。

この種の定電流回路を内蔵した LED ドライバは広く採用されています。複数のチャンネルで高い電流精度を実現すると、輝度の一様性を確実にすると同時に、多くの LED をシングルチップで駆動して、システム・サイズを縮小することができます。ゴースト (二重映り、同じ画像が微妙にずれて複数表示される) 排除回路を追加してドライバに追加すると、ドット・マトリクス・ディスプレイを駆動する設計を簡素化できます。半導体プロセスが大幅に進歩した結果、表示向け LED ドライバのコストは現在、トランジスタ・アレイと比較可能な水準まで低下しています。

## LED アニメーション (パターン表示)

多色 LED の考案を通じて、LED アニメーション (パターン表示) の一般化が進んできました。アニメーションは、数百万の色を生成し、輝度を変化させて視覚的に魅力のあるライティング・パターンを形成する方法で、HMI の使いやすさの改善に貢献します。スマート・ホームが採用する各種機器などで、LED アニメーションは「冷たい」印象のある電子機器とユーザーとの間で色鮮やかな双方向のやり取りを実現し、機器がユーザーに

対して視覚的に「語りかける」、またはユーザーの「指示を受け入れたことを視覚的に表現する」のに役立ちます。これは LED アニメーションの魔法のような効果です。

LED アニメーション (パターン表示) ドライバは、LED インジケータ向けドライバをアップグレードしたものです。その追加機能として、非常に広く使用されている RGB LED を複数駆動を目的とした、色の混合 (複数色の同時点灯) や輝度の制御などを挙げることができます。

RGB のカラー・モデル (光の三原色による加色混合。異なる色を加えて行くと、最終的に白色になる) に基づき、さまざまな方法で RGB ライトを追加すると、図 5 に示すように、幅広いカラー配列を生成できます。たとえば、RGB (赤、緑、青) の各色に 8 ビットの色深度を割り当てた場合、それぞれが  $2^8$ 、つまり 256 階調になり、すべてを組み合わせると  $2^{24}$ 、つまり 1,680 万色を作り出すことができます。特定の色を生成した後、輝度の勾配変化を実施すると、物体がまるで息をしているかのように、微妙な色変化を繰り返す (脈動) こととなります。パターン表示) の一般化が進んできました。アニメーションは、数百万の色を生成し、輝度を変化させて視覚的に魅力のあるライティング・パターンを形成する方法で、HMI の使いやすさの改善に貢献します。スマート・ホームが採用する各種機器などで、LED アニメーションは「冷たい」印象のある電子機器とユーザーとの間で色鮮やかな双方向のやり取りを実現し、機器がユーザーに対して視覚的に「語りかける」、またはユーザーの「指示を受け入れたことを視覚的に表現する」のに役立ちます。これは LED アニメーションの魔法のような効果です。

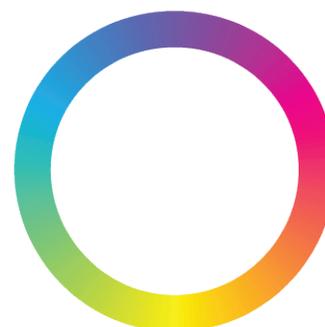


図 5. RGB カラー・モデルが作り出すカラー・リング (色相環)。

色の混合 (複数色の同時点灯) と輝度制御は、通常はアナログ調光またはパルス幅 (PWM) 調光機能を搭載している LED ドライバを使用して実現し、RGB の各 LED を互いに独立した形で制御します。アナログ調光は、LED に流す DC 順方向電流を調整します。この機能を使用して色のキャリブレーションを実施し、特定の色温度 (光学の観点で理想的な物体である黒

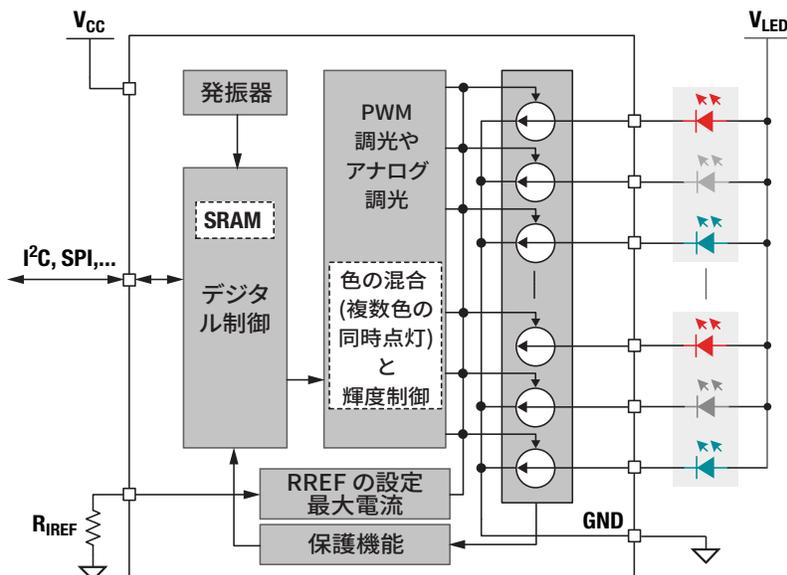


図 6.LED アニメーション・ドライバの代表的なブロック図。

体を特定の温度まで加熱したときに再現できる色。実際の温度にかかわらず、黒体の温度を表記して特定の色を表す)を達成することができます。たとえば、6500K(ケルビン)は白色です。PWM 調光は、さまざまなデューティ・サイクルを使用する方法で平均電流を変調します。この結果、最大 16 ビットの分解能を容易に達成でき、よりの確な効果を表現できます。

人間の目が受容する輝度は、LED の輝度に対して線形の関係になっていません。人間の目は低輝度のときにいっそう敏感になるので、なめらかな脈動効果を実現するには、LED ドライバの指数調光が必要になります。

図 6 に、LED アニメーション・ドライバの代表的なブロック図を示します。一部のアプリケーションは自動制御を必要とします。これは、LED ドライバがコントローラとの継続的な通信を行わずに、ライティング・パターンを具体化できる能力を意味します。その場合、SRAM (static random access memory、スタティック RAM) とそれに対応するアルゴリズムが必要です。

## LED 照明

LED 照明は、大出力の LED を複数、または複数の LED で構成されたストリングを使用して、人や物品を照らします。白色 LED 照明は一般的に普及しており、非常に効率的な光源の 1 つです。それに対し、IR (赤外線) LED 照明は、暗闇で物体を可視化するカメラの動作で使用されています。UV (紫外線) LED 照明は、医療業界や化学業界で重要な役割を演じています。

定電流を流す電源レギュレータ(電流レギュレータ)は、LED 照明にとって必須です。電圧がわずか 10% 上昇するだけで、大出力 LED の電流は 2 倍になることがあるからです。つまり、

電圧のわずかな変動であっても、大電流が流れ、LED を損傷させる可能性が高くなります。電力段のトポロジーとフレキシブルな調光制御が、図 7 に示すように LED 照明ドライバを選定する際の 2 つの大きな検討事項になります。

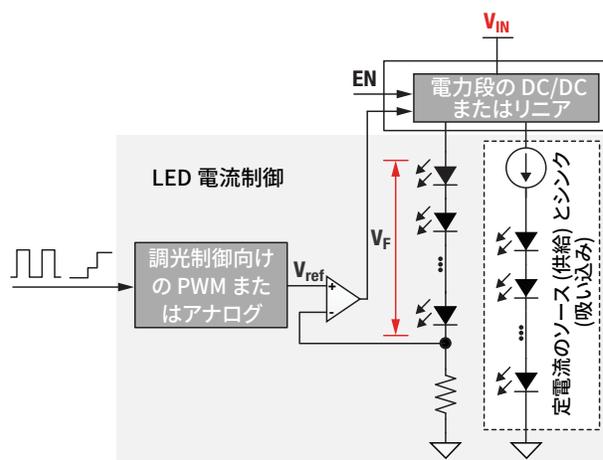


図 7.LED 照明の代表的なシステム・ブロック図。

電力段の観点では、LED 照明は通常、複数の LED ストリングを使用します。そのため、適切なトポロジーを選定するには、LED ストリングの合計順方向電圧 ( $V_F$ ) と入力電圧 ( $V_{IN}$ ) を比較する必要があります。 $V_F$  が  $V_{IN}$  より高い場合、LED ストリングに順方向バイアスを供給する目的で十分高い電圧を生成するために、昇圧トポロジーが必要になります。 $V_F$  が  $V_{IN}$  より低い場合、全体の効率を高めるために、降圧トポロジーが必要になります。 $V_F$  が  $V_{IN}$  に十分近接しているが、前者の方がわずかに低い場合、リニア定電流のソース(供給)またはシンク(吸い込み)機能が適していることがあります。

調光制御を実現するには、現在もなおアナログ調光と PWM 調光が主な制御方式になっています。

アナログ調光は連続的な出力電流を使用する方式であり、カメラ関連のアプリケーションで一般的に採用されています。ビデオ監視カメラなどです。

その理由は、フリッカ（ちらつき）を低減できるからです。アナログ調光の場合、2 種類の供給源を考慮する必要があります。図 8 に示すように、DC 電圧入力と PWM 入力です。DC 電圧入力を使用するアナログ調光は、DC 電圧信号を印加する方法で出力電流を調整します。電圧精度が原因で、この方式の調光比は通常、低い値です。それに対し、PWM 入力は 0% ~ 100% のスケールで高い調光比を達成することができます。通常、内部フィルタは高周波の PWM 入力を必要とします。

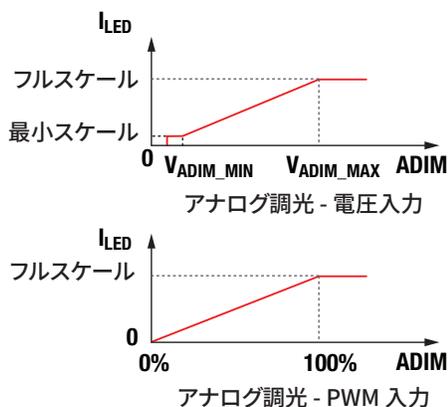


図 8. アナログ調光を使用する LED 照明。

PWM 調光を実施する場合、図 9 に示すように、出力電流は連続的ではありません。LED の電流波形に注目すると、 $t_r$  は PWM コマンドに応答する際の立ち上がり時間、 $t_f$  は立ち下がり時間であり、これらの時間の長さは調光比と最小パルス幅に影響を及ぼします。図 10 に示すように、メイン FET 調光、シリーズ (直列) FET 調光、シャント FET 調光を含め、PWM 調光方式が異なると、立ち上がり時間と立ち下がり時間も変化します。

メイン FET 調光は、立ち上がり時間と立ち下がり時間が最も長くなります。その結果、高速な調光や高い調光比の達成は困難です。シリーズ (直列) FET 調光は調光の速度と比を改善できます。それに対し、シャント FET は最高の調光比と同時に、最も高速な PWM 調光ソリューションになります。表 1 で、ここまでで説明した各調光方式を比較しています。

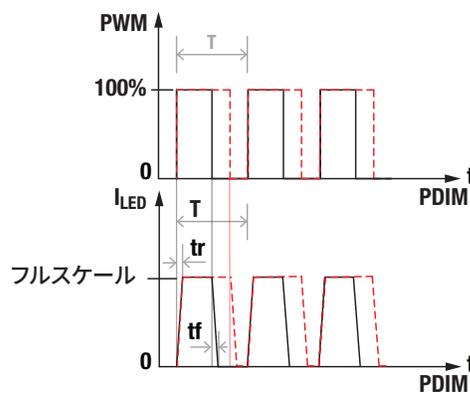


図 9. PWM 調光を使用する LED 照明。

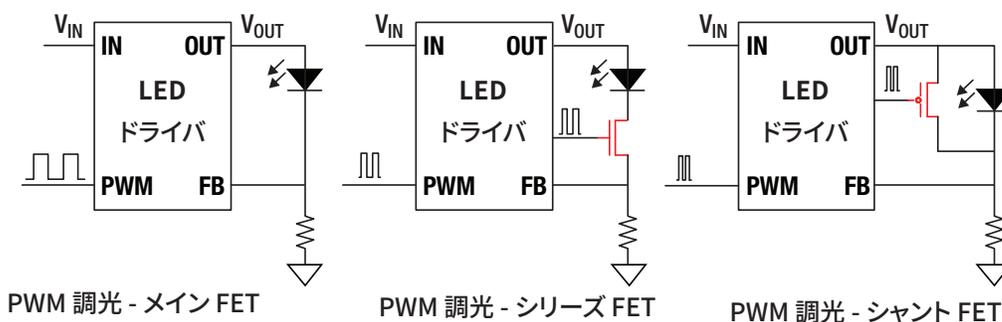


図 10. 複数の PWM 調光方式を使用する LED 照明。

項目	アナログ調光		高精度 PWM 調光		
	電圧入力	PWM 入力	メイン FET	シリーズ FET	シャント FET
入力信号	DC 電圧	PWM	PWM	PWM	PWM
調光比	低	高	低	中程度	高
調光速度	低	中程度	低	中程度	高
カメラ使用時のフリッカ	不可	不可	一般的に使用	まれに使用	まれに使用

表 1. LED 照明の調光方式の比較

## LED バックライト

LED バックライトは、照明 (ディスプレイの背景光) の目的で使用します。LCD ディスプレイのバックライトとして、複数の白色 LED スtringを使用するのは一般的です。LCD は自己発光ではないからです。携帯電話やスマートフォン、ノート PC、モニタ、TV のようなアプリケーションはいずれも、互いに異なるサイズの LCD を使用しますが、LED バックライトの設計に関する検討事項は同じであり、効率、調光、または明暗比 (コントラスト) に注目することになります。

昇圧 LED ドライバは通常、LED スtringを駆動する目的で使用します。必要とされる最大輝度を生成するには、LCD パネルが大型化するほど、LED スtringの数と、直列接続する LED の数がより多く必要になります。低電流シンク (吸い込み機能) を追加すると、複数の LED スtringの間で、より高い精度を実現できます。

バックライト・ドライバにとって、高効率は非常に重要です。その場合、製品は消費電力を削減し、放熱特性を改善する (発熱量を減らす) ことができます。同時に、バッテリー動作アプリケーションの場合、高効率はバッテリー動作時間の延長も意味します。高効率を実現するために LED バックライト・ドライバが必要とするのは、高効率の電力段、低静止電流、定電流シンクを目的とした小さいヘッドルーム電圧 (電圧の変動が小さければ電流も安定しやすい)、最適化済みの外部部品です。

明暗比は、バックライトの分野でもう 1 つの主な検討事項になります。特に、屋内と屋外両方の用途に対応するディスプレイの場合です。7 インチ LCD ディスプレイを搭載したサーモスタットが必要とするのはわずか最大 300 nit (1 nit は、1 平方メートル当たり 1 カンデラの光量を発する場合の輝度単位) で済むことがあり、調光比は 500:1 未満です。一方、魚群探知機は同じサイズを使用している最大 3,000 nit の輝度を必要とすることがあり、調光比は 10,000:1 を上回ります。アナログ調光は、500:1 のような低調光比を達成できます。それに対し、10,000:1 を上回る調光比を実現するには、高分解能の PWM 調光、または PWM 調光とアナログ調光を組み合わせたハイブリッド調光が必要になります。

LED のアーキテクチャによっては、LED バックライトは 2 つの構成を採用しています。グローバル調光とローカル調光です。グローバル調光は、LCD パネルの端に 1 つまたは複数の LED スtringを配置することができ、光ガイドを使用して、光を一樣に分散させることが可能です。この方式は実現が容易で、現在は最も広く使用されているソリューションです。

ローカル調光はフル LED アレイを使用し、パネルの背後で個別に制御するゾーン数をより多く実装する方法で、明暗比を引き上げます。ミニ LED とそれに対応するマトリクス・ドライバの登場というブレイクスルーを通じて、ローカル調光は、非常に高い明暗比を必要とするアプリケーションの分野で有望な将来が待ち受けています。

## 将来の展望

電力密度の向上、効率の改善、パッケージ・サイズの小型化という各要因は、より多くの使用事例で LED の実装につながっています。同時に、LED ドライバも、LED の 4 つの機能に基づいて、さまざまな要件に合わせた最適化を実施済みです。

- LED インジケータ・ドライバは、集積度をいっそう高めており、ディスクリート・トランジスタ・アレイに匹敵するコストを達成してきています。
- LED アニメーション (パターン表示) ドライバは、チャンネル数の増加という課題に直面しているのに対し、マトリクス・ドライバは市場へのリリースが続いており、シングルチップで数百個の LED を駆動することができます。
- LED 照明ドライバは、マシン・ビジョンのようなアプリケーションでいっそう高速な調光能力を必要としており、同時に、電力密度の向上と、小さい電磁干渉 (EMI) も求められています。
- LED バックライト・ドライバは、グローバル調光で非常に高い効率を達成するために複数レベルの昇圧段を採用するというブレイクスルーに直面しているのに対し、ローカル調光はマトリクス・ドライバを使用して一層高い明暗比を実現しています。

LED の 4 つの主な機能分野に対応する先進的な LED ドライバは、現在の課題を解決し、LED アプリケーションを新しいレベルに引き上げることができます。

**重要なお知らせ:**ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 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 © 2020, 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