

**LM3406,LM3409**



Literature Number: JAJA417

No. 126

特集記事 ..... 1-6

トライアック調光対応  
LEDドライバ ..... 2

温度管理制御機能付き  
LEDドライバ ..... 7

## スイッチ・モードLEDドライバのための調光テクニック

— Rich Rosen, Field Applications Engineer

### はじめに

LED照明の普及が急速に進み、制御された電力をLEDに供給するため、多様なICデバイスが次々に誕生しています。エネルギーへの世界的な関心の高まりとともに、消費電力の高いリニア電流源は過去のものとなり、それに代わってスイッチ・モードLEDドライバが業界標準の地位を確立しています。懐中電灯からスタジアムのスコアボードに至るまで、さまざまなアプリケーションにおいて、レギュレートされた電流の高精度制御が必要になっています。多くの場合、LED出力強度をリアルタイムで変化させることが求められています。この機能は一般的に調光制御と呼ばれています。本稿ではLEDの基本的な原理のほか、スイッチ・モードLEDドライバの調光制御を可能にするテクニックを解説します。

### LED輝度と色温度

#### LED輝度

LEDの可視光の輝度に関する概念は、比較的容易に理解できます。LED出力の知覚輝度に数値を指定することにより、カンデラ(cd)と呼ばれる光束密度の単位を使い、容易に測定することができます。LEDの全体的な出力がルーメン値(lm)となります。

順方向LED電流の平均値がLED輝度を決定することへの理解も重要です。

Figure 1は、あるLEDの順方向電流とルーメン出力の関係を示しています。 $I_F$ (順方向電流)の使用可能範囲においては、この関係は非常に直線的ですが、 $I_F$ が増加するにつれて、非直線性が現れ始めます。直線的な関係を示している範囲を動作電流が超えると、ワットあたりルーメンの有効性が低減します。

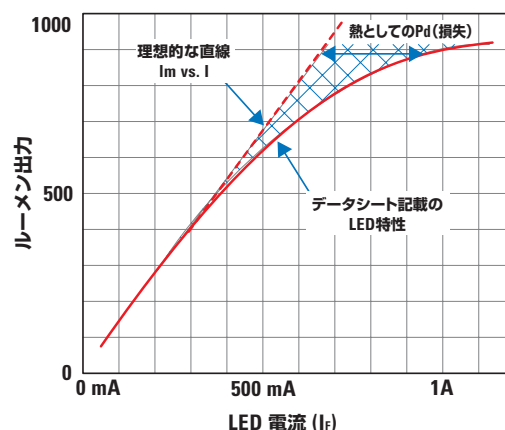


Figure 1. LED出力 vs. LED電流

# クラス最高の調光性能。 高効率。

## ナショナル セミコンダクターの高性能、トライアック調光対応LEDドライバ

ナショナル セミコンダクターが業界に先駆けて発表したトライアック調光対応オフラインLEDドライバ・ソリューションは、LEDドライバを標準トライアック壁面調光器に接続するアプリケーションに最適です。ナショナル セミコンダクターの新製品トライアック調光対応LEDドライバは、幅広く均一な調光範囲でちらつきを解消、クラス最高の調光性能、高効率を提供しながら、代表的なアプリケーションにおいて ENERGY STAR®(米国エネルギー省の省エネ基準)の力率仕様を満たしています。

✓ オンライン設計支援ツール

✓ リファレンス・デザイン

✓ アプリケーション・ノート



### フルレンジ調光性能

ナショナル セミコンダクターのトライアック調光対応LEDドライバは、100:1のフルレンジ調光性能を提供し、消灯状態を発生させることなく完全点灯から知覚できないほどのわずかな明るさにいたる無段階調光を可能にします。また標準的なライン電圧から直列多灯LEDストリングに定電流を提供します。

### 使いやすさ

ナショナル セミコンダクターのトライアック調光対応LEDドライバは、トライアック調光器に接続されている白熱球やハロゲン電球システムをそのままLEDシステムに置き換えることを可能にします。既存設備の変更は不要で、性能を犠牲にすることもありません。さらに、WEBENCH® LED Designerを使うと新製品のトライアック調光対応LEDドライバを採用した回路の設計が容易かつ迅速に実現します。

### ちらつきのない均一な調光

ナショナル セミコンダクターのトライアック調光対応LEDドライバは、マルチチップ・ソリューションでのマスタースレーブ動作制御ができます。これにより単一のトライアック調光器による多灯LEDストリング制御を実現、ちらつきのないスムーズで均質な調光を提供します。

## スイッチ・モードLEDドライバのための調光テクニック

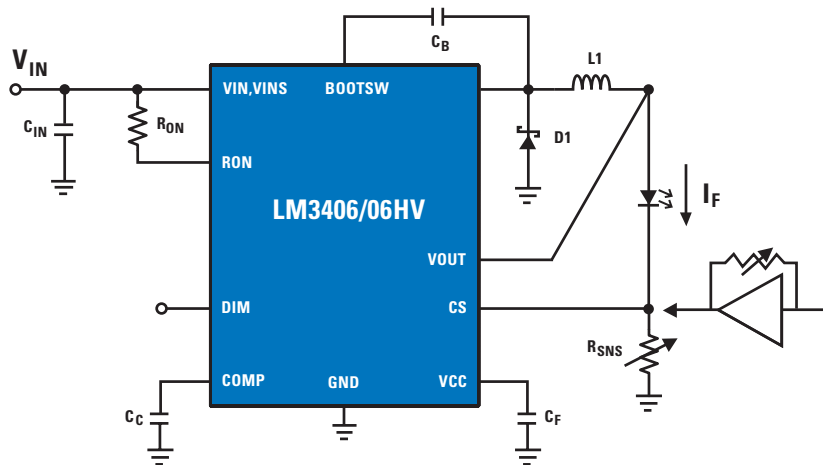


Figure 2. 降圧型レギュレータ・トポロジー

直線的な関係を示している範囲を超えて動作すると、出力電力はLEDからの熱に変化します。こうした熱の発生はLEDドライバにとって負担となり、サーマル設計が複雑になります。

### LED色温度

色温度はLEDの色を表す測定基準で、その数値はLEDのデータシートに記載されています。LEDの色温度はある範囲内で特定され、順方向電流、接合部温度、使用年数に応じて変化します。色温度が低ければより赤黄色（暖色）になり、高ければより青緑色（寒色）になります。有色LEDの多くは色温度ではなく優勢な波長を定めており、波長の変化にも左右されます。

### LED調光方式

スイッチ・モード・ドライバ回路のLED調光には、一般的によく使用される2つの方式があります。パルス幅変調（PWM）調光とアナログ調光です。どちらの方式もLEDまたはLEDストリングを流れる平均電流を制御しますが、両タイプの調光回路のメリットとデメリットを調べると、相違点があることがわかります。**Figure 2**は、降圧型トポロジーにおけるスイッチ・モードLEDドライバを示しています。 $V_{IN}$ は常にLEDと $R_{SNS}$ にかかる電圧よりも高くなる必要があります。インダクタ電流はLED電流です。電流検出ピン（CSピン）での電圧を監視することにより、電流は

レギュレートされます。電流検出（CS）が設定電圧を下回り始めると、 $L1$ 、LED、 $R_{SNS}$ を流れる電流パルスのデューティ・サイクルが増加し、その結果、LED電流の平均値が上昇します。

### アナログ調光

LEDのアナログ調光とは、サイクル・バイ・サイクルLED電流を調整することです。さらに簡単に言えば、LED定電流レベルを調整することです。アナログ調光は電流検出抵抗 $R_{SNS}$ の調整か、またはICのDIM機能ピン上でのアナログ電圧の駆動により実行できます。**Figure 2**はアナログ調光の2つの例を示しています。

### $R_{SNS}$ の調整によるアナログ調光

**Figure 2**より、 $R_{SNS}$ 値の変化が固定CS基準電圧によるLED電流の変化に一致することがわかります。高いLED電流を扱うことができ、 $1\Omega$ 未満での対応が可能なポテンショメータがあれば、LED調光の有効な手段となります。

## スイッチ・モードLEDドライバのための調光テクニック

### CSピン上でのDC電圧駆動によるアナログ調光

より複雑なのは、電圧をCSピンに与える方法により、LEDのサイクル・バイ・サイクル電流を直接制御するテクニックです。電圧源は一般的に、アンプによるLED電流のサンプリングとバッファリングが行われるフィードバック・ループへ挿入されます(*Figure 2*)。アンプのゲインによるLED電流の制御が可能です。このフィードバック回路により、電流/サーマル・フォールドバックなどの機能が実行され、LEDの保護をさらに強化できます。

アナログ調光のデメリットは、放射光の色温度がLED電流に応じて変化する可能性があることです。LEDの色が重要な場合、または特定のLEDがLED電流の変化によって色温度の大幅な変化を示す場合、電流の変化による調光は避けるべきです。

### PWM調光

PWM調光方式では、短時間でLED電流のスタートとリスタートを行います。ちらつきを回避するため、人間の目が感知できる以上にスタート-リスタート・サイクル速度を上げる必要があります。通常は200Hz程度かそれ以上の速度が好ましいとされています。

LED出力は調光波形のデューティ・サイクルに比例するようになっており、次の式で表せます。

$$I_{DIM-LED} = D_{DIM} \times I_{LED}$$

ここで $I_{DIM-LED}$ はLED電流の平均値、 $D_{DIM}$ は調光波形のデューティ・サイクル、 $I_{LED}$ は $R_{SNS}$ 選択による設定LED電流です。*(Figure 3を参照)*

### LEDドライバの変調

最近のLEDドライバの多くが、広い範囲のPWM周波数と振幅を受け入れる専用のPWM DIMピンを備えており、外付けロジックとの簡単なインタフェースが可能です。DIM機能は内部回路の動作を継続しながら出力ドライブをシャットダウンするだけで、ICのリスタートの遅延を防ぎます。出力イネーブル・ピンとその他のロジック・シャットダウン機能が使用可能です。

### 2線式PWM調光

2線式PWM調光は自動車の内装照明によく使用される方式です。 $V_{IN}$ が $V_{IN-NOMINAL}$ の70%未満に変調されると、VINSピン(*Figure 3*)は電圧の変化を検出し、PWM波形を出力ドライブの対応PWM信号に変換します。この方式のデメリットは、コンバータへの電力源に、DC出力へのPWM波形を提供する回路が必要になることです。

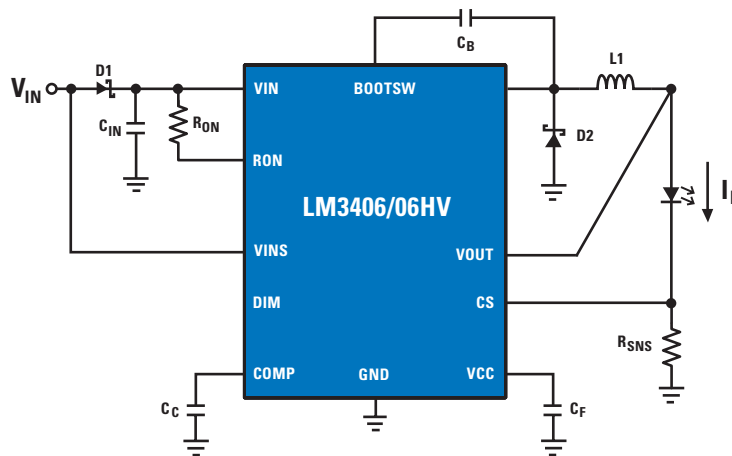


Figure 3. 2線式PWM調光



## スイッチ・モードLEDドライバのための調光テクニック

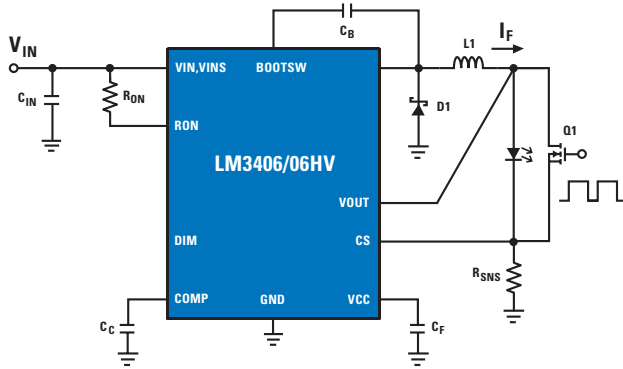


Figure 4. 高速PWM調光

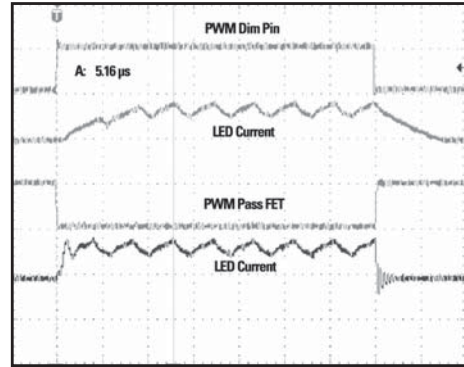


Figure 4. 回路とPWM波形

### シャント・デバイスによる高速PWM調光

コンバータ出力のシャットダウン/スタートアップ遅延により、PWM調光周波数とデューティ・サイクル範囲に制約が生まれます。FETのような外付けのシャント・デバイスをLEDまたはLEDストリングに平行に配置し、LED周りにコンバータの出力電流を迅速にバイパスさせることにより、この遅延を解決することができます (Figure 4 を参照)。

インダクタ電流は「LEDシャットダウン時間」の間連続し、インダクタ電流のランプ・アップ/ダウンの遅延を防ぎます。この方式では、遅延時間はシャント・デバイスの立ち上がり/立ち下がり時間に制限を受けます。Figure 4 はシャントFETを取り付けたLM3406と、DIM機能ピンを使用した場合とシャントFETを使用した場合のLEDオン/オフ遅延を比較したプロットです。どちらの測定についても、使用されている出力キャパシタンスは10nfで、シャントFETは Si3458です。

FETのターン・オンの際に出力電流のオーバーシュートが発生することから、電流モード・コンバータを使用したLED電流のシャットを行う場合、注意が必要です。LM340x LEDドライバファミリはオンタイム制御コンバータで、こうしたオーバーシュートは発生しません。オン/オフの遷移速度を最大化するため、出力キャパシタンスは低く維持する必要があります。

出力シャットダウンに対する高速調光回路のデメリットは、効率の損失です。シャント・デバイスがオンになっている間、 $V_{SHUNT DEVICE} \times I_{LED}$  の電力損失は熱損失の形で現れます。 $R_{DS-ON}$  の低いFETを使用すれば、こうした効率損失を最小限に抑えることができます。

### LM3409の多様な調光機能

ナショナル セミコンダクターのLM3409のLEDドライバとしてのユニークな特長は、アナログ調光およびPWM調光を容易にする機能です。LM3409では、次の4つのLED調光方式を使用することができます。

1. 0Vから1.24Vの電圧源を使用して $I_{ADJ}$ ピンを直接駆動するアナログ調光
2.  $I_{ADJ}$ ピンとGNDの間にポテンショメータを配置するアナログ調光
3. イネーブル・ピンを使用するPWM調光
4. 外付けシャントFETを使用するPWM調光

LM3409はポテンショメータを使用するアナログ調光が可能です (Figure 5)。内部の5 $\mu$ A電流源は $R_{ADJ}$ で電圧を生成し、それにより内部の電流検出スレッショルドが変化します。同様の効果を得るため、DC電圧を使用して $I_{ADJ}$ ピンを直接駆動することも可能です。

## スイッチ・モードLEDドライバのための調光テクニック

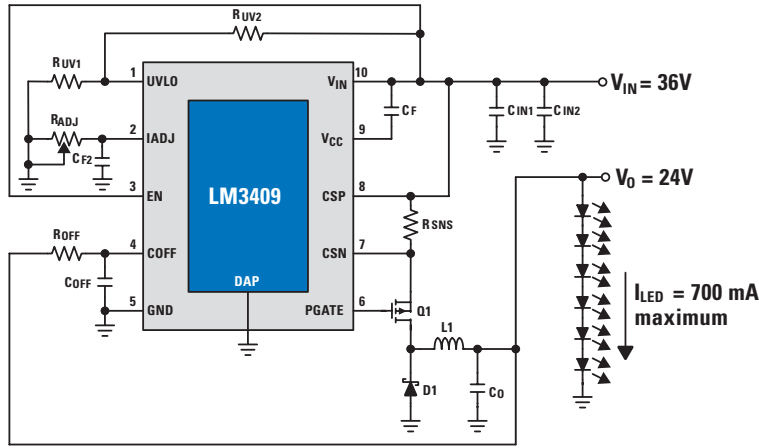


Figure 5. アナログ調光アプリケーション

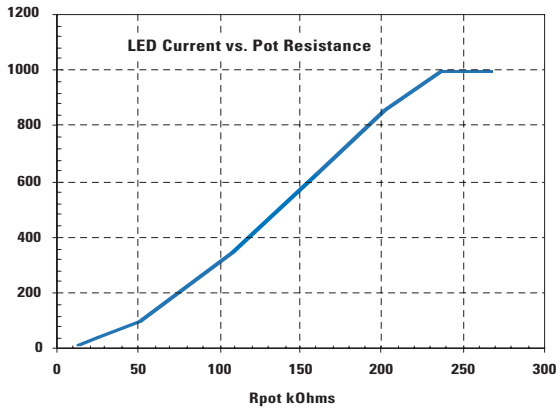


Figure 6. LED 電流 vs. ポット抵抗

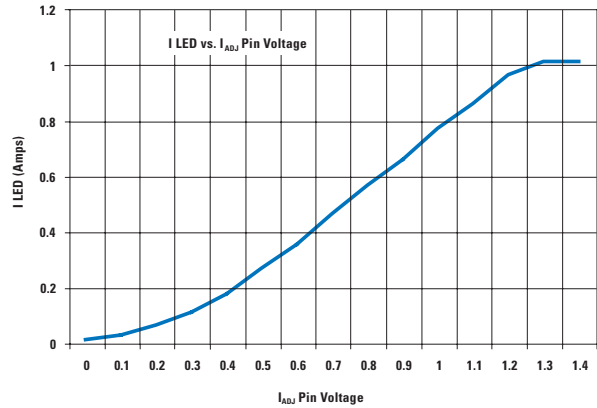


Figure 7. LED vs. I<sub>ADJ</sub> ピン電圧

Figure 6 は I<sub>ADJ</sub> ピンと GND 間のポテンショメータ抵抗に対する測定 LED 電流のプロットです。LED 電流は 1A まで上昇し、その後一定のレベルで推移しますが、この最大値が Figure 4 の電流検出抵抗 R<sub>SNS</sub> によって設定される最大公称 LED 電流となります。

Figure 7 は I<sub>ADJ</sub> ピン上に与えられた DC 電圧の関数として測定された LED 電流を示しています。同じ最大 LED 電流が R<sub>SNS</sub> によって設定されることに留意してください。

どちらのアナログ調光方式も実行が容易で、非常に直線性の高い調光レベルを最大値の 10% 程度まで提供します。

### まとめ

スイッチモード・レギュレータ駆動の LED 調光には、多くのアプローチがあります。その 2 大カテゴリである PWM 調光とアナログ調光には、それぞれメリットとデメリットがあります。PWM 調光は輝度レベルの変化により LED の色変化を大幅に低減させますが、そのためには PWM 波形生成のために新たなロジックが必要になります。アナログ調光を採用すればよりシンプルな回路が実現できますが、一定の色温度を必要とするアプリケーションには適さない場合があります。

## エネルギー効率に優れたLEDライティング・ソリューション

ナショナル セミコンダクターの新しいローサイド定電流LEDドライバは、集積型サーマル・コントロール機能により、システムの信頼性を向上させます。PowerWise®LM3424 LEDドライバのサーマル・フォールドバック機能は、LED寿命の延長を実現する信頼性の高いサーマル設計を可能にし、さまざまな屋内/屋外照明や車載アプリケーション向けソリューションとして最適です。

- ✓ オンライン設計支援ツール
- ✓ 評価ボード
- ✓ アプリケーション・ノート



© 2009, National Semiconductor Corporation. National Semiconductor, PowerWise, and WEBENCH are registered trademarks. All rights reserved.

### サーマル・マネジメント

サーマル設計はLEDの光出力と寿命に多大な影響を及ぼすため、サーマル・システムの適切な設計が重要です。LM3424のサーマル・フォールドバック機能は外付けのサーマル・マネジメント回路を不要にし、サーマル・システムの堅牢性や信頼性の向上と、LED寿命の延長を実現します。

### 使いやすさ

ナショナル セミコンダクターのWEBENCH®LED Designer オンライン設計支援ツールにより、設計者は選択したLED温度のブレイクポイントでの設計挙動を、LM3424のサーマル・フォールドバック機能により視覚化し、サーマル・マネジメント・システムを迅速かつ容易に開発できます。

### 自由度の高い設計

LM3424LEDドライバは広い入力電圧範囲を提供し、最小限の調整だけで降圧/昇圧/昇降圧/SEPICトポロジを容易に構成できます。LM3424は最大18灯のLEDの駆動が可能で、設計の自由度を高めるとともに、最大96%の効率と高精度の電流レギュレーションを実現し、消費電力と温度上昇を抑えます。



# 電源回路設計ツール

## エネルギー効率の高い製品設計のためのツール

PowerWise®製品/システムに関するホワイト・ペーパー、リファレンス・デザインおよびアプリケーション・ノートをぜひご利用ください。

[www.national.com/JPN/powerwise](http://www.national.com/JPN/powerwise)

## Technology Edge / アプリケーション・ノート

アナログ設計に関するナショナル  
セミコンダクターのオンライン技術情報誌。  
毎月発行。

[national.com/edge](http://national.com/edge)

TECHNOLOGY  
Edge 

## オンライン・セミナー

ナショナル セミコンダクターのエキスパートによる  
無料オンライン・セミナーです。

ナショナル セミコンダクターのアナログ専門  
オンライン・セミナーにぜひご登録ください。

[www.national.com/JPN/onlineseminar](http://www.national.com/JPN/onlineseminar)

ONLINE  
Seminars 

ナショナル セミコンダクターの  
日本語サイト:

[www.national.com/jpn](http://www.national.com/jpn)

お問い合わせ:

[jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)

## どの号もお見逃しなく!



Power Designerのバックナンバーは  
ナショナル セミコンダクターのサイトで  
ご覧いただけます。

[national.com/powerdesigner](http://national.com/powerdesigner)

Signal Path Designerもオンラインで  
提供しています。ぜひお読みください。

[national.com/spdesigner](http://national.com/spdesigner)



 **National**  
Semiconductor

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-16

TEL 03-5639-7300 (大代表) [www.national.com/jpn](http://www.national.com/jpn)

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えたり、保証もしくは承認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, 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

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
    - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
  4. 機械的衝撃
    - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
  5. 熱衝撃
    - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
  6. 汚染
    - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
    - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上