

**LM3401,LM3402,LM3402HV,LM3404,LM3404HV,
LM3405,LM3405A,LM3406,LM3406HV,LM3407,
LM3409,LM3409HV,LM3410,LM3414,LM3414HV,
LM3421,LM3423,LM3424,LM3429,LM3430,
LM3431,LM3433,LM3434,LM3435,LM3444,
LM3445,LM3450,LM3464,LM3492,LM5022**

Application Note 1656 Design Challenges of Switching LED Drivers



Literature Number: JAJA330

スイッチング LED ドライバの設計課題

スイッチング・レギュレータを LED ドライバとして使用する場合、電圧レギュレータを電流レギュレータに転換する必要があります。この時は帰還システムを電流制御に変更する問題に加えて、LED 自体が定電圧を必要とするデジタル・デバイスや他の負荷とは大きく異なる負荷特性を持っていることに注意してください。LEDWEBENCH[®] オンライン設計支援ツールを使うと、定電流への LED の応答性を予測し、シミュレーションができますが、その際に従来型のスイッチング・レギュレータの設計者にとっては新しい、いくつかの潜在的な設計パラメータを考慮に入れます。

LED 電流が変化した時の出力電圧の変化

LED WEBENCH ツールの第 1 ステップ「Choose Your LEDs」では、標準的な順方向電流 I_F で LED を 1 つ選択します。このデフォルト値は LED メーカーから提供され、大抵の場合、LED のテスト条件が記載されています。ハイパワー LED の代表的な値は、350mA、700mA および 1000mA です。

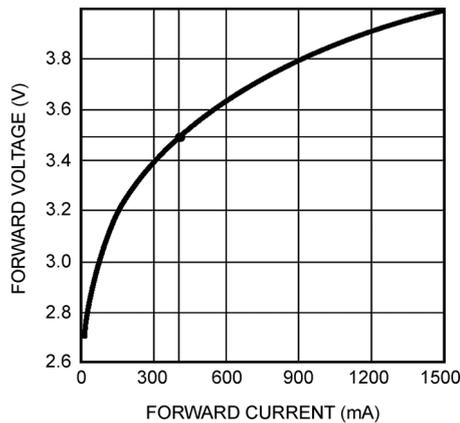


FIGURE 1. V-I Curve with Typical V_F and I_F

ただし、すべての設計案件で 1 つの標準的な電流値が用いられるわけではありません。標準値とは異なる LED 電流を選択すると、ステップ 2 の V_{LED} ボックス内で順方向電圧が変わります。電圧の変化は LED の V-I カーブから分かります。Figure 1 は、LED のデータシートで通常、目にするカーブとは異なる、5W の白色 InGaN LED からのカーブです。LED メーカーはこれらのカーブを提供していますが、電圧を独立量とした I-V カーブであることもよくあります。Figure 1 では、順方向電流が独立変数です。これは、LED ドライバ電流が制御され、電圧は可変という状態を反映しています。標準的 / 代表的な I_F 値および V_F 値である 350mA および 3.5V の地点で、クロスヘアが交差しています。

National Semiconductor
Application Note 1656
Chris Richardson
2007 年 10 月



いったん V-I カーブから LED の V_F が求められると、LED ドライバの出力電圧は次式で計算されます。

$$V_O = n \times V_F + V_{SNS}$$

この式で、'n' は直列接続された LED の数、' V_{SNS} ' は電流検出抵抗における電圧降下です。

V_{O-MIN} と V_{O-MAX} の設計

実際、 V_F 値は順方向電流に応じて変化します。また V_F はプロセスおよび LED のダイ温度に応じて変化するので、トータル出力電圧は綿密に解析する必要があります。直列接続した LED の数が増えるほど、 V_{O-MIN} 、 V_{O-TYP} および V_{O-MAX} 間の差は大きくなる可能性があります。このため、定電流を維持するには、LED ドライバは広範囲な出力電圧可変機能を備える必要があります。 I_F は制御されるパラメータですが、適切なレギュレータ・トポロジー、IC および受動部品を選ぶために、出力電圧の最小値と最大値を予測しておく必要があります。

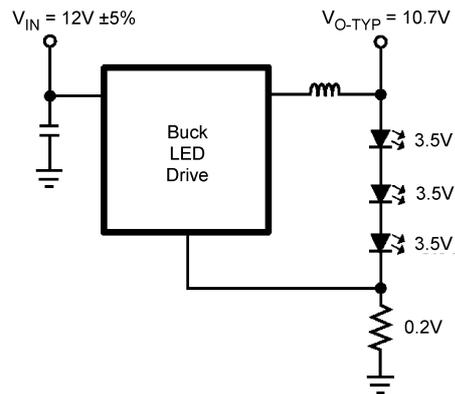


FIGURE 2. $V_{IN-MIN} > V_{O-TYP}$ Buck Regulator Works

支障が起きる恐れがある代表的な例は、 $12V \pm 5\%$ の入力電圧で白色 (InGaN) LED を 3 灯駆動する場合です。

Figure 2 では、各 LED は代表的な V_F 値 3.5V で動作しており、10.7V の V_O に対して電流検出抵抗の 0.2V が加わります。最小入力電圧は 12V の 95%、すなわち 11.4V であり、これは、LED 駆動に高いデューティ・サイクルで動作可能な能力を持った降圧型レギュレータが必要であることを意味します。

ただし、代表的な V_O 値を対象にした降圧型レギュレータでは、 V_{O-MAX} が最小入力電圧を超えると、 I_F を制御できなくなります。代表的な V_F 値 3.5V を持つ上記の白色 LED は、 V_{F-MAX} が 4.0V です。代表的な条件下ではヘッドルームは窮屈で、LED を 1 つまたは複数追加すると、 V_F が少し増えただけで、この降圧型レギュレータはレギュレーションを喪失します (Figure 3)。

V_{O-MIN} と V_{O-MAX} の設計 (つづき)

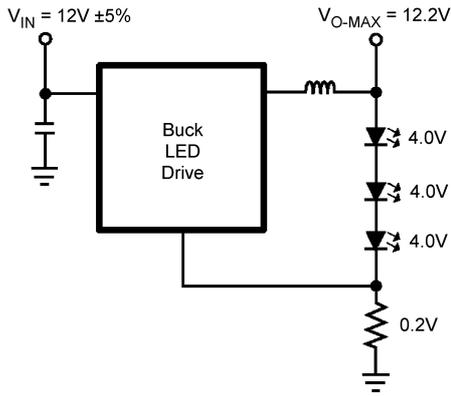


FIGURE 3. $V_{IN-MIN} > V_{O-TYP}$, Buck Regulator Works

並列接続 LED アレイの落とし穴

LED を並列接続すると、異なるブランチに流れる電流にミスマッチが起きる恐れがあります。各 LED の順方向電圧 V_F はプロセスに応じて変化するため、各 LED の V_F がマッチするよう LED を選別しない限り、トータル順方向電圧が最も低い LED または LED ストリングの方へ電流の大半が流れてしまいます (Figure 4)。この問題には、LED (およびすべての PN 接合ダイオード) の負の温度係数が関係します。電流の大半が流入する LED では、ダイ温度が急上昇します。ダイ温度が上昇すると、 V_F が低下し、正帰還ループが生じます。ダイ温度の上昇は、光出力の低下と LED の寿命劣化を招きます。

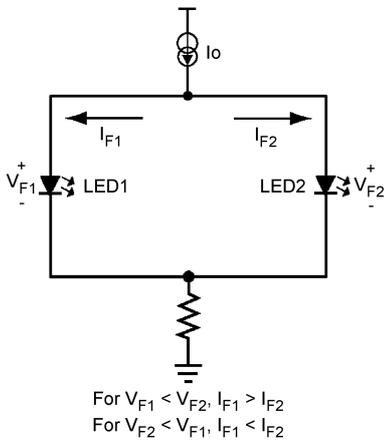


FIGURE 4. Mismatched LEDs in Parallel

並列接続 LED システムで安全性と信頼性を維持するには、順方向電圧をマッチさせる必要があります。また、短絡または断線によって故障した LED をモニタリングで検出する必要があります。最後に、アレイ全体に均等にヒート・シンキングを施し、ダイ温度の観点から、 V_F の変化が全部の LED で均等になるようにさせる必要があります。

LED リップル電流の選択

LED ドライバの LED リップル電流 i_F は、電圧レギュレータの出力電圧リップル v_O に相当します。一般に、 i_F は出力電圧リップルほど、要件が厳しくありません。出力電圧リップルは数ミリボルトから V_O の 4%_{p.p} が一般的なのに対し、LED ドライバのリップル電流は平均順方向電流 I_F の 10% ~ 40%_{p.p} と広範囲です。Figure 5 と Figure 6 は、降圧型スイッチング LED ドライバからのリップル電流値を代表的な 25%_{p.p} としています。このリップルは人間の目には見えないほど高周波なので、 i_F にはより広い余裕度が許容されます。一般的なイルミネーション用 (ランプ、フラッシュ・ライト、標識など) では、発光の質や特性を損なうことなく、大きなリップル電流を許容できます。大きいリップル電流の許容は、出力フィルタのためのインダクタンスと容量が低減することを意味し、結局、PCB フットプリントの小型化と部品コストの低減をもたらします。このため、用途の許容範囲内で i_F は概して大きめにする必要があります。

i_F の真の上限值は、LED に流れるピーク電流が増えた時に生じる、光に対する熱の非線形率から求められます。リップルがおよそ 40%_{p.p} を超えると、LED ではピーク時の温度上昇が谷の時の温度低下より大きくなります。このためダイ温度が上昇し、LED の寿命劣化につながります。

ハイエンド・アプリケーションの中には、LED リップル電流の制御をもっとタイトに行わなければならないものがあります。例えば、工業検査、マシン・ビジョン、バックライトやビデオ・プロジェクション用の RGB (赤、緑、青) 混合などです。これらのアプリケーションでは、システム・コストが高くなるほど、リップル電流を 10%_{p.p} 未満に抑えられる、大型で高価なフィルタリングを採用しやすくなります。

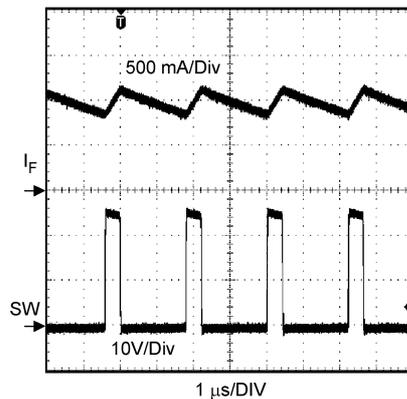


FIGURE 5. LED Current (DC and AC)

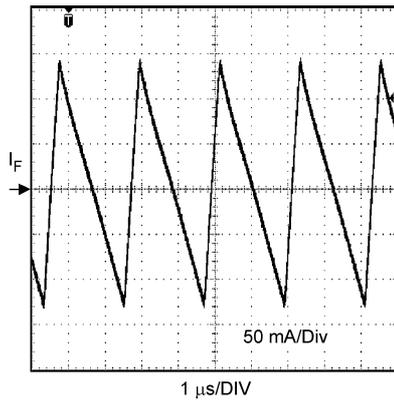


FIGURE 6. Only LED Ripple Current

ダイナミック抵抗

負荷抵抗は電源設計における重要なパラメータで、特に制御ループにとって大切です。LEDドライバでは、所望のLEDリップル電流を達成するために必要な出力容量を選ぶ際にもこれを使います。出力電圧をレギュレートする標準的な電源では、負荷抵抗は次式で簡単に求められます。

$$R_O = V_O / I_O$$

ただし、負荷がLEDまたはLEDストリングの場合は、負荷抵抗はダイナミック抵抗 r_D および電流検出抵抗に置き換えられます。LEDはPN接合ダイオードであり、このダイナミック抵抗は順方向電流の変化に応じてシフトします。 V_F を I_F で除算すると、真の r_D 値より5倍から10倍大きい、正しくない結果が出てしまいます。

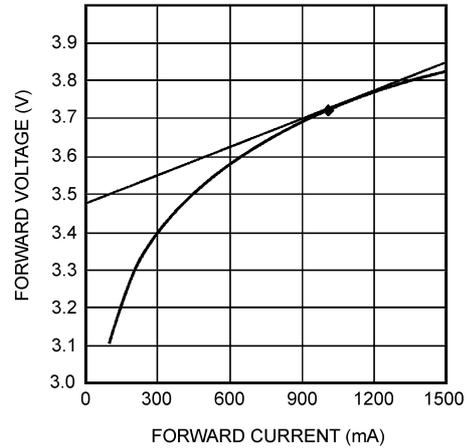
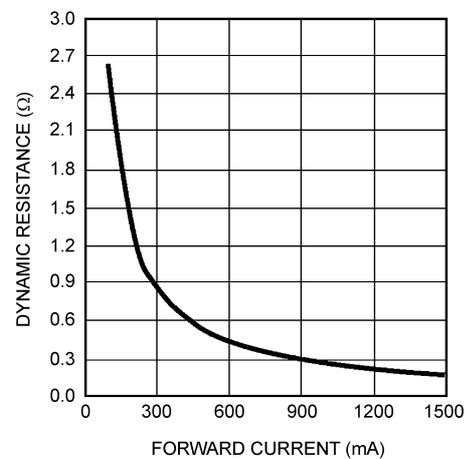
特定の順方向電流値における代表的なダイナミック抵抗値を提供しているメーカーもありますが、大抵は、I-Vカーブ(すべてのLEDメーカーはI-Vカーブを少なくとも1つ提供しています)を用いて計算する必要があります。順方向電流がある値の時の r_D を求めるには、I-Vの傾きに対する接線を引きます(Figure 7を参照)。この接線をプロットの端まで延ばして、順方向電圧と順方向電流の変化を記録します。 V_F を I_F で除算すると、このポイントでの r_D 値が求められます。Figure 8は、順方向電流の変化に応じて r_D がどれほどシフトしたかを示すために、順方向電流に対してプロットした複数の r_D 値のうちの1つを示したものです。

3W LEDのための代表的な駆動電流は1Aです。3W白色InGaNの1A時のダイナミック抵抗を求めた時の式は次の通りです。

$$V_F = 3.85V - 3.48V$$

$$I_F = 1.5A - 0A$$

$$r_D = V_F / I_F = 0.37 / 1.5 = 0.25$$

FIGURE 7. V_F vs. I_F FIGURE 8. r_D vs. I_F

リニア抵抗と同様、ダイナミック抵抗は直列値と並列値の和です。このため、'n' 灯のLEDを直列接続したストリング1本のトータルダイナミック抵抗は次のようになります。

$$r_{D-TOTAL} = n \times r_D + R_{SNS}$$

ハイパワーLEDに使用される、1A+電流能力のカーブ・トレーサを使うと、LEDのI-V特性を描くことができます。大電流と高電圧を測定できるカーブ・トレーサであれば、LEDアレイ全体の包括的なI-Vカーブを描けます。接線法を用いて、この線図からトータル r_D 値を求めることができます。ハイパワーなカーブ・トレーサがない場合は、ラボ用のベンチトップ型電源で代用が可能で、ここでは複数の順方向電流値でLEDまたはLEDアレイを駆動し、その結果生じる順方向電圧を測定します。測定した複数のポイントから1つの線図を作成して、やはり接線法を用いて r_D を求めます。

このドキュメントの内容はナショナル セミコンダクター社製品の関連情報として提供されます。ナショナル セミコンダクター社は、この発行物の内容の正確性または完全性について、いかなる表明または保証もいたしません。また、仕様と製品説明を予告なく変更する権利を有します。このドキュメントはいかなる知的財産権に対するライセンスも、明示的、黙示的、禁反言による惹起、またはその他を問わず、付与するものではありません。

試験や品質管理は、ナショナル セミコンダクター社が自社の製品保証を維持するために必要と考える範囲に用いられます。政府が課す要件によって指定される場合を除き、各製品のすべてのパラメータの試験を必ずしも実施するわけではありません。ナショナル セミコンダクター社は製品適用の援助や購入者の製品設計に対する義務は負いかねます。ナショナル セミコンダクター社の部品を使用した製品および製品適用の責任は購入者にあります。ナショナル セミコンダクター社の製品を用いたいかなる製品の使用または供給に先立ち、購入者は、適切な設計、試験、および動作上の安全手段を講じなければなりません。

それら製品の販売に関するナショナル セミコンダクター社との取引条件で規定される場合を除き、ナショナル セミコンダクター社は一切の義務を負わないものとし、また、ナショナル セミコンダクター社の製品の販売か使用、またはその両方に関連する特定目的への適合性、商品の機能性、ないしは特許、著作権、または他の知的財産権の侵害に関連した義務または保証を含むいかなる表明または黙示的保証も行いません。

生命維持装置への使用について

ナショナル セミコンダクター社の製品は、ナショナル セミコンダクター社の最高経営責任者 (CEO) および法務部門 (GENERAL COUNSEL) の事前の書面による承諾がない限り、生命維持装置または生命維持システム内のきわめて重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、生命維持装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

National Semiconductor とナショナル セミコンダクターのロゴはナショナル セミコンダクター コーポレーションの登録商標です。その他のブランドや製品名は各権利所有者の商標または登録商標です。

Copyright © 2007 National Semiconductor Corporation
製品の最新情報については www.national.com をご覧ください。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

www.national.com/jpn/

本資料に掲載されているすべての回路の使用に起因する第三者の特許権その他の権利侵害に関して、弊社ではその責を負いません。また掲載内容は予告無く変更されることがありますのでご了承ください。

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おりません。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、保証もしくは是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もありません。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もありません。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。
- マウンタやはんだ付け設備等、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