

リニアレギュレータシリーズ

リニアレギュレータの熱計算

リニアレギュレータは入出力電圧差が大きいと損失が大きくなり、損失はほとんどが熱に変わるため、条件によっては非常に発熱が大きくなります。数ワット以上の電力で使いこなすには、常に熱の問題を考える必要があります。このため温度上昇が IC チップのジャンクション温度の最大定格を超えてしまい、目標の出力電流まで使えない場合があります。このアプリケーションノートでは、IC チップのジャンクション温度の見積もり方法を説明し、ローム標準基板での計算例を掲載しています。

熱計算には、IC の損失電力、パッケージの熱抵抗または熱特性パラメータ、周囲環境温度またはパッケージ上面中心温度の情報が必要になります。これらの値から IC チップのジャンクション温度を見積もり、絶対最大定格を超えていないことを確認します。

IC の損失電力 P

リニアレギュレータの回路図を Figure 1 に示します。この条件で IC の損失電力は次の式で求めることができます。

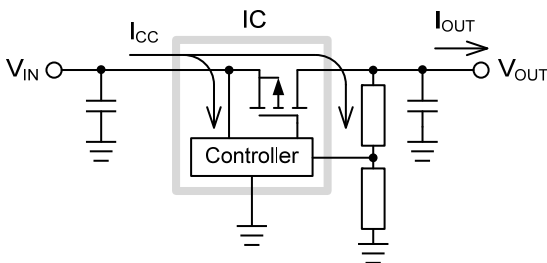


Figure 1. リニアレギュレータの回路図

$$P = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} + V_{IN} \times I_{CC} \quad [W] \quad (1)$$

V_{IN} : 入力電圧 [V]

V_{OUT} : 出力電圧 [V]

I_{OUT} : 出力電流 [A]

I_{CC} : 回路電流 [A]

損失電力は、入出力電圧差に出力電流を掛けた値と、IC の消費電力を足し合わせた値になります。

熱抵抗 θ_{JA} と熱特性パラメータ ψ_{JT}

熱抵抗 θ_{JA} と熱特性パラメータ ψ_{JT} の定義を Figure 2 に示します。 θ_{JA} はジャンクション温度 T_J と周囲環境温度 T_A 間の熱抵抗です。JEDEC 規格 JESD51 によると、周囲環境温度 T_A は測定対象部品から影響を受けない位置での雰囲気温度で発熱源の境界層の外側とされています。 θ_{JA} は複数の熱経路で放熱しているため、基板構造や他の発熱源など周囲条件の影響を受けやすく、また空間が狭い機器の筐体内で T_A を定義することが難しいことなどから、形状が異なるパッケージ間で放熱性能の相対評価に使用することが望ましいです。

ψ_{JT} はデバイス全体の損失電力 P に対するジャンクション温度 T_J とパッケージ上面中心の温度 T_T の温度差を表す熱特性パラメータです。 ψ_{JT} も基板構造の影響を受けますが、 θ_{JA} と比較すると変

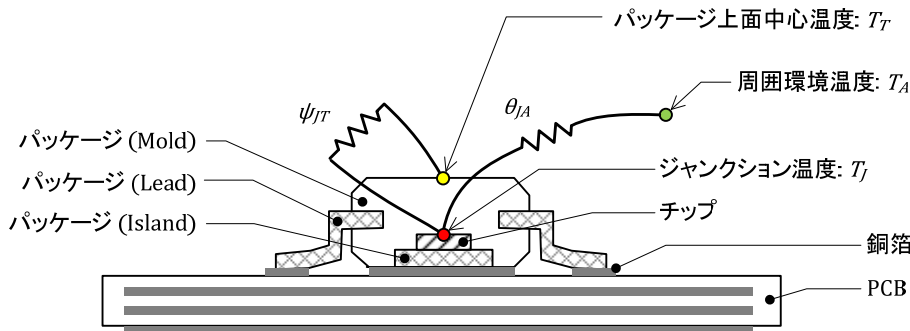


Figure 2. 熱抵抗 θ_{JA} と熱特性パラメータ ψ_{JT} の定義

化は小さいため近い条件であれば代表値で代用することができます。すべての総熱流量(損失電力)をパラメータとした ψ_{JT} を使用して T_J を見積もることが JEDEC にて推奨されています。

θ_{JA} や ψ_{JT} の値はデータシートを参照するかメーカーに問い合わせることで入手します。

周囲環境温度 T_A とパッケージ上面中心温度 T_T

周囲環境温度 T_A は前述のように JEDEC 規格 JESD51 では、測定対象部品から影響を受けない位置での雰囲気温度で発熱源の境界層の外側とされています。JESD51 で定められている測定環境を Figure 3 から 5 に示します。

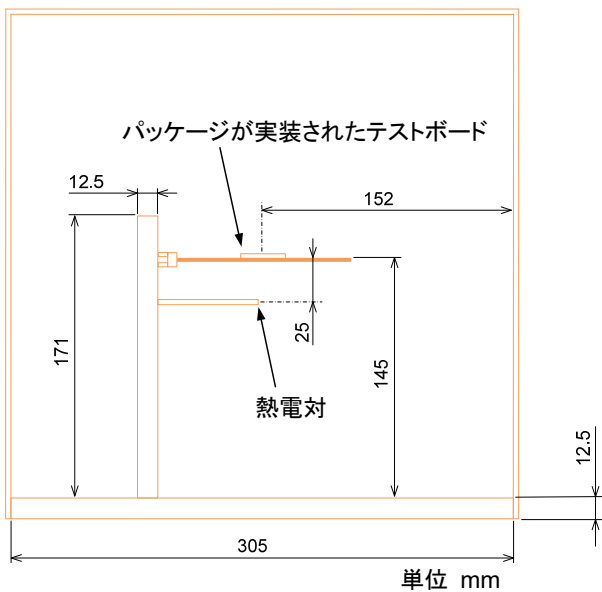


Figure 3. 試験装置と筐体の側面図 (JESD51-2A)

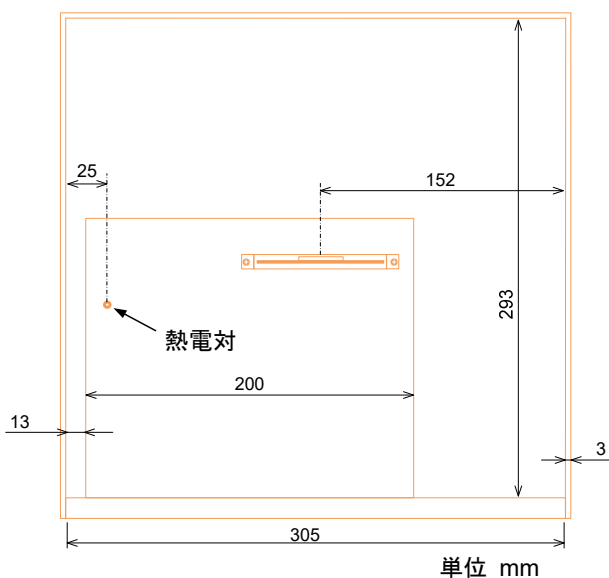


Figure 4. 試験装置と筐体の端面図 (JESD51-2A)

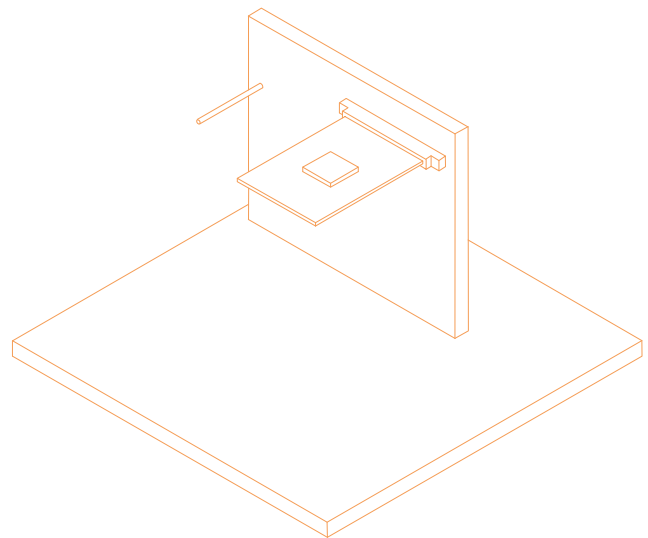


Figure 5. 筐体が無い状態でのテストボードと固定具の等角図 (JESD51-2A)

パッケージ上面中心温度 T_T の測定は、熱電対を IC へ接触させる方法と、放射温度計(サーモグラフィ)を用いて非接触で測定する方法があります。放射温度計は手軽に測定できますが、放射率の設定次第で値がずれることや、IC の様に形状が小さな被測定物に対しては、放射温度計の測定円が大きいため測定誤差が大きくなります(温度が低くなる)。

熱電対による測定でも、固定方法によっては測定誤差が大きくなりますが、正しく固定することにより精度良く温度測定ができます。

ジャンクション温度 T_J の見積もり

IC の熱設計ではチップのジャンクション温度 T_J が、ジャンクション温度の絶対最大定格 T_{Jmax} 以下であることが大前提です。この値を超えて使用すると IC の寿命低下、性能低下、信頼性低下が起こります。ジャンクション温度の絶対最大定格 T_{Jmax} は IC のデータシートを参照します。

ジャンクション温度 T_J は次の 2 通りで見積もることができます。

1. 周囲環境温度 T_A と熱抵抗 θ_{JA} から次式で求める。

$$T_J = T_A + \theta_{JA} \times P \quad [^\circ\text{C}] \quad (2)$$

T_A : 周囲環境温度 $[^\circ\text{C}]$

θ_{JA} : T_J と T_A 間の熱抵抗 $[^\circ\text{C}/\text{W}]$

P : IC の損失電力 $[\text{W}]$

計算例 1

条件:

- 入力電圧 V_{IN} : 12V
- 出力電圧 V_{OUT} : 5V
- 出力電流 I_{OUT} : 0.3A
- 回路電流 I_{CC} : 0.6mA
- パッケージ: TO252-3
- 基板 : FR-4、4 層
- 周囲環境温度 T_A : 60°C

結果:

式(1)より、IC の損失電力 P は次式で計算できます。

$$P = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} + V_{IN} \times I_{CC}$$

$$= (12 - 5) \times 0.3 + 12 \times 0.6 \times 10^{-3} = 2.107 \text{ [W]}$$

TO252-3 パッケージの θ_{JA} は 23.3°C/W です。

式(2)より、ジャンクション温度 T_J は次式で計算できます。

$$T_J = T_A + \theta_{JA} \times P = 60 + 23.3 \times 2.107 = 109.1 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

2. 実使用状態での IC パッケージ上面中心温度 T_T と熱特性パラメータ ψ_{JT} から次式で求める。

$$T_J = T_T + \psi_{JT} \times P \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

- T_T : パッケージ上面中心温度 [°C]
- ψ_{JT} : T_J と T_T 間の熱特性パラメータ [°C/W]
- P : IC の損失電力 [W]

計算例 2

条件:

- 入力電圧 V_{IN} : 12V
- 出力電圧 V_{OUT} : 5V
- 出力電流 I_{OUT} : 0.3A
- 回路電流 I_{CC} : 0.6mA
- パッケージ: TO252-3
- 基板 : FR-4、4 層
- 実使用状態で測定した T_T : 105°C

結果:

式(1)より、IC の損失電力 P は次式で計算できます。

$$P = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} + V_{IN} \times I_{CC}$$

$$= (12 - 5) \times 0.3 + 12 \times 0.6 \times 10^{-3} = 2.107 \text{ [W]}$$

TO252-3 パッケージの ψ_{JT} は 2°C/W です。

式(3)より、ジャンクション温度 T_J は次式で計算できます。

$$T_J = T_T + \psi_{JT} \times P = 105 + 2 \times 2.107 = 109.2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

突入電流時の T_J 見積もり

起動時に出力コンデンサへ突入電流が流れますが、例えば計算例 1 の条件で突入電流が 1ms 間に 1A 流れたとします。これを式(1)で損失電力を求めると次の式になります。

$$P = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} + V_{IN} \times I_{CC}$$

$$= (12 - 5) \times 1 + 12 \times 0.6 \times 10^{-3} = 7.007 \text{ [W]}$$

さらにジャンクション温度を計算すると次の式になります。

$$T_J = T_A + \theta_{JA} \times P = 60 + 23.3 \times 7.007 = 223.3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

計算結果はジャンクション温度が絶対最大定格 150°C を超えるため使用できない結果になりました。しかしこれは定常状態での計算方法なので正しくありません。

突入電流や過渡的に損失電力が増加する場合の温度上昇は、過渡熱抵抗 Z_{TH} を用いて計算を行います。Figure 6 に TO252-3 パッケージの過渡熱抵抗のデータを示します。上の例では 1ms 間の温度を計算するため、Figure 6 より 1ms 時の過渡熱抵抗 Z_{TH} を読み取ると、値は 2.2°C/W になります。この値を使ってジャンクション温度を計算すると次の式になります。

$$T_J = T_A + Z_{TH} \times P = 60 + 2.2 \times 7.007 = 75.4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

計算結果より、問題ないことが判ります。

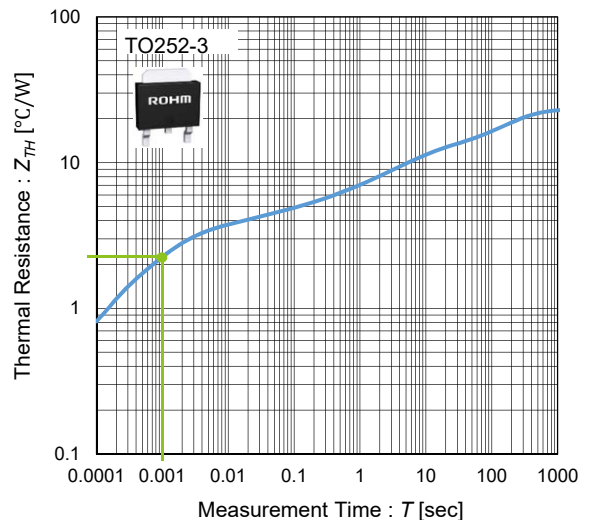


Figure 6. TO252-3 パッケージの過渡熱抵抗

放熱効率を上げるためのヒント

基板の銅箔厚を変化させたときの熱抵抗 θ_{JA} をシミュレーションで求めた結果を Figure 7 に示します。銅箔厚が増すほど熱抵抗が小さくなっていることが判ります。銅箔厚が 70 μm (=2oz) 以上になると効果が小さくなります。

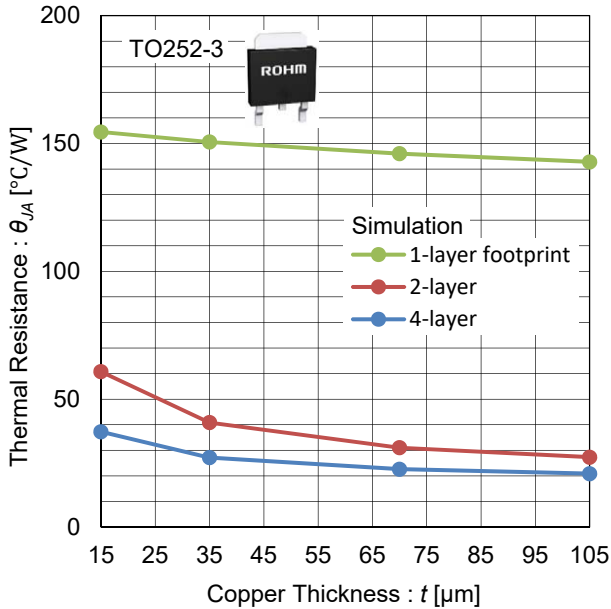


Figure 7. 熱抵抗 vs 銅箔厚

基板層数を変化させたときの熱抵抗 θ_{JA} をシミュレーションで求めた結果を Figure 8 に示します。層数を増やすと熱抵抗は小さくなる傾向にあります。IC 裏面の Exposed Pad 直下にビアコンタクトを配置すると熱抵抗の低減効果が大きいことが判ります。

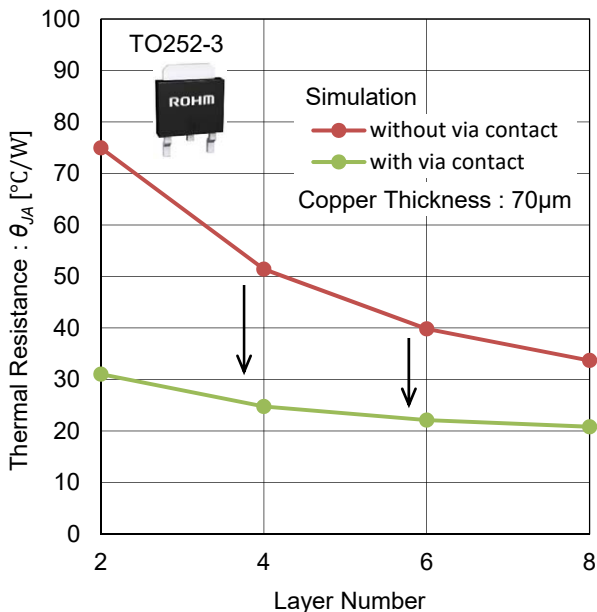


Figure 8. 熱抵抗 vs 基板層数

PCB レイアウトの注意点

IC の放熱性を良くするためにはパッケージの熱抵抗を小さくする必要があります。それに必要な放熱面積を見積もりレイアウトの参考にします。

必要な放熱面積は、 θ_{JA} vs 銅箔面積のグラフを用いて見積もります。Figure 9 に TO252-3 パッケージの例を示します。

計算例 3

条件:

- IC の損失電力 P : 1.5W
- パッケージ: TO252-3
- 基板 : FR-4、2 層
- 周囲環境温度 T_A : 60 $^{\circ}\text{C}$
- 目標ジャンクション温度 T_J : 120 $^{\circ}\text{C}$

結果

式(2)を θ_{JA} の式に変形し、上記条件を代入すると次の結果になります。

$$T_J = T_A + \theta_{JA} \times P \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{P} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$$

$$= \frac{120 - 60}{1.5} = 40.0 \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$$

Figure 9 より、熱抵抗が 40 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 時の銅箔面積を読み取ると約 1500 mm^2 となります。必要最低限の放熱面積が見積もれたので、これをもとにレイアウトを実施します。

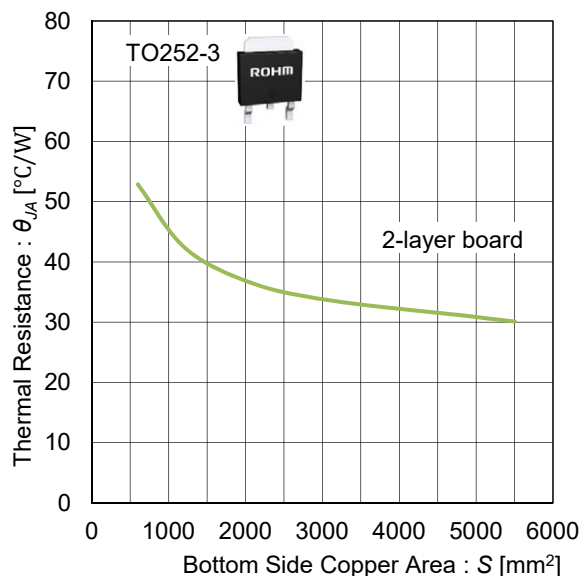


Figure 9. 熱抵抗 vs 銅箔面積

裏面放熱が必要なパッケージでは Exposed PAD の直下にビアコンタクトを設け、基板裏面へ放熱する方法が最も熱抵抗を小さく出来ます (Figure 10 左下)。量産時に実装仕様の制限により、Exposed PAD 直下にビアコンタクトを配置できない場合は、IC に隣接した箇所にビアコンタクトを配置することになります。この場合、前者に対して熱抵抗が高くなります (Figure 10 右下)。

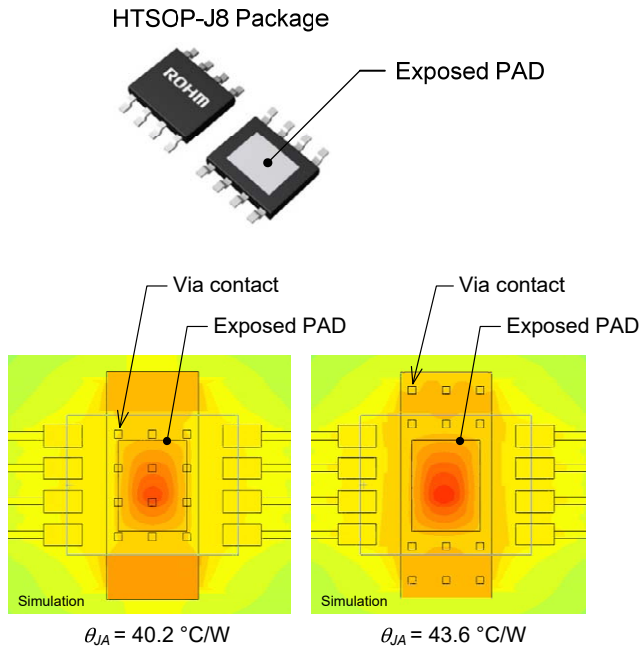


Figure 10. ビアコンタクト位置の違いによる熱抵抗差

正確な熱評価

このアプリケーションノートに記載されている熱抵抗や熱特性パラメータ、シミュレーション値は特定条件での例であり、熱見積もり方法を説明するための資料です。熱特性は基板の種類、レイアウト配置、筐体の形状など多くのパラメータに影響されます。正確な熱評価は最終製品の状態で熱抵抗や熱特性パラメータを取得する必要があることを認識してください。

参考資料

- (1) EIA/JESD51-1, Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device), 1995
- (2) JESD51-2A, Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions - Natural Convection (Still Air), 1995-2008
- (3) EIA/JESD51-3, Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages, 1996
- (4) JESD51-5, Extension of Thermal Test Board Standards for Packages with Direct Thermal Attachment Mechanisms, 1999
- (5) JESD51-7, High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages, 1999
- (6) JESD51-9, Test Boards for Area Array Surface Mount Package Thermal Measurements, 2000
- (7) JESD51-10, Test Boards for Through-Hole Perimeter Leaded Package Thermal Measurements, 2000
- (8) JESD51-13, Glossary of Thermal Measurement Terms and Definitions, 2009

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本製品は、一般的な電子機器（AV機器、OA機器、通信機器、家電製品、アミューズメント機器など）および本資料に明示した用途への使用を意図しています。
- 7) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされておられません。
- 8) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 9) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 10) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 12) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上でご使用ください。お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 13) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 14) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>