

熱設計

熱抵抗と熱特性パラメータの使い方

データシートにはパッケージの熱抵抗 θ_{JA} 、 θ_{JC} や熱特性パラメータ ψ_{JT} が記載されています。このアプリケーションノートでは、これらの値を熱設計でどのように使用するかを説明しています。

熱抵抗 θ_{JA} の使い方

熱抵抗 θ_{JA} はデバイスのジャンクションから周囲環境温度までの熱抵抗です。 θ_{JA} の記号は他に、 R_{thJA} 、 $R_{\theta JA}$ 、 Θ_{JA} が使われています。 θ_{JA} を図で表すと Figure 1 のようになります。また、式で表すと(1)のように、ジャンクション温度と周囲温度の温度差を電力損失（熱流量）で割ったものです。

データシートに記載している θ_{JA} は JEDEC Standard JESD51-2A で定義されている環境で測定された値になります。同じ環境で測定された他の製品や他社製品の放熱性能の比較に使います。

固有のアプリケーション下では JEDEC と環境が異なるため θ_{JA} の値も違ったものになります。従って固有のアプリケーション下ではデータシートに記載している θ_{JA} を使って、式 1 を T_J の式に変形してジャンクション温度を推定することはできません。

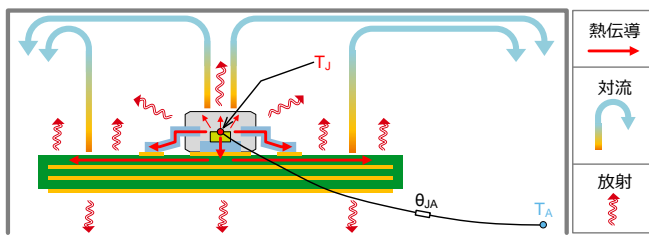


Figure 1. θ_{JA} の定義

$$\theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{P_D} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (1)$$

T_J : ジャンクション温度 [$^{\circ}\text{C}$]

T_A : 周囲温度 [$^{\circ}\text{C}$]

P_D : 電力損失 [W]

θ_{JA} の使用例

事例 1 :

異なる製品間で θ_{JA} を比較し、放熱性能が良い（ θ_{JA} が低い）製品を選ぶときに使用します。

製品	θ_{JA}	条件
A	40.5 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	JEDEC 4 層基板
B	33.1 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	JEDEC 4 層基板
C	157.2 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	JEDEC 1 層基板

この例では、製品 A と B は基板条件が同じなので比較できるが、製品 C は条件が違うので比較できません。同条件のデータを入力する必要があります。

事例 2 :

予め現状アプリケーションでジャンクション温度が判っているときに、異なる製品間で θ_{JA} を比較し、ジャンクション温度が相対的に何 $^{\circ}\text{C}$ 変化するかを求めます。JEDEC 下の θ_{JA} とアプリケーション下の θ_{JA} は異なるため、相対比較といえども目安として扱います。

$$\Delta T_J = (\theta_{JA2} - \theta_{JA1}) \times P_D \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

θ_{JA1} : 製品 1 の熱抵抗 [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

θ_{JA2} : 製品 2 の熱抵抗 [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

P_D : 電力損失 [W]

製品 A を使用している現状アプリケーションでジャンクション温度が 155°C である。製品 B に変更するとジャンクション温度が幾つになるか推定します。電力損失は 2W として計算します。

製品	θ_{JA}	条件
A	40.5 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	JEDEC 4 層基板
B	33.1 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	JEDEC 4 層基板

$$\Delta T_j = (33.1 - 40.5) \times 2 = -14.8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_j = 155 - 14.8 = 140.2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

事例 3 :

TO パッケージなどのスルーホール部品は PCB への放熱の影響が少ないため IC 単体での θ_{JA} がデータシートに記載されています。アプリケーションでヒートシンクを使用しない場合は式 3 を用いてジャンクション温度を推定することができます。アプリケーション下での周囲温度は、自己発熱や他部品の発熱により周囲温度が上昇した分を含めた状態で考える必要があります。

$$T_j = \theta_{JA} \times P_D + T_A \text{ [}^\circ\text{C]} \tag{3}$$

P_D : 電力損失 [W]

T_A : 周囲温度 [°C]

IC 単体の θ_{JA} が 70°C/W、電力損失が 1W、筐体内の周囲温度の最大値が 65°C の場合は次式のように推定できます。

$$T_j = 70 \times 1 + 65 = 135 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

事例 4 :

「 θ_{JA} の使い方」の項で、「データシートに記載している θ_{JA} を使って、式 1 を T_j の式に変形してジャンクション温度を推定することはできません。」と書きましたが、基板がまだ存在しない回路設計段階でジャンクション温度を推定するときには、PCB の違いによって θ_{JA} が変化する事を理解したうえで使うことができます。SMD (Surface Mount Device) ではこの方法で大まかな推定をします。

T_j の推定には式 3 を使用しますが、 θ_{JA} にどの値を使うかが重要になります。 θ_{JA} はデータシートに記載されている値を使用しますが、将来完成する PCB の θ_{JA} よりもデータシートの θ_{JA} の方が低い場合はマージンが負となり、ジャンクション温度が絶対最大定格を超えてしまう可能性が大きくなります。

これを防ぐために、設計する PCB よりも熱抵抗が高い条件の θ_{JA} を使用します。例えば設計する PCB が 4 層ならば、データシートに記載されている 1 層 PCB の θ_{JA} を使用するという方法です。

JEDEC PCB	θ_{JA} (°C/W)
1 層 (1s)	139.0
4 層 (2s2p)	35.6

Figure 2. HTSOP-J8 パッケージの θ_{JA}

1 層と 4 層 PCB の銅箔面積は大きく違うため θ_{JA} も大きな差があります (Figure 3)。マージンを取り過ぎてジャンクション温度が明

らかにオーバーする場合は、銅箔面積を可変した時の θ_{JA} を入手して、適切なマージンを持った θ_{JA} を選択するようにします (Figure 4)。

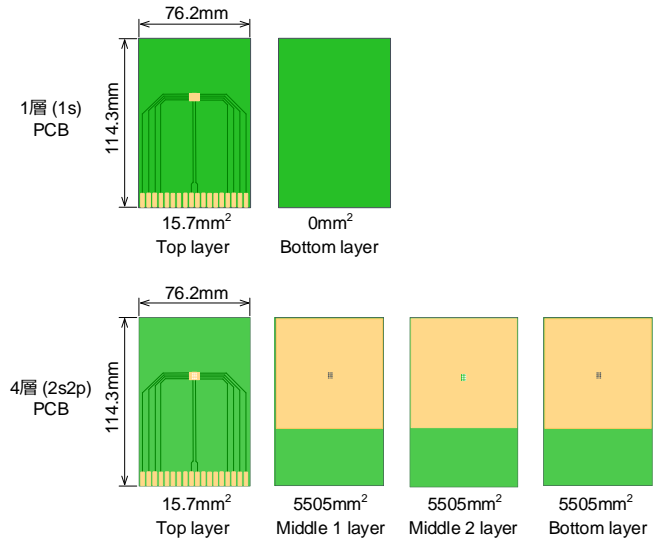


Figure 3. 1 層と 4 層 PCB の銅箔面積の違い

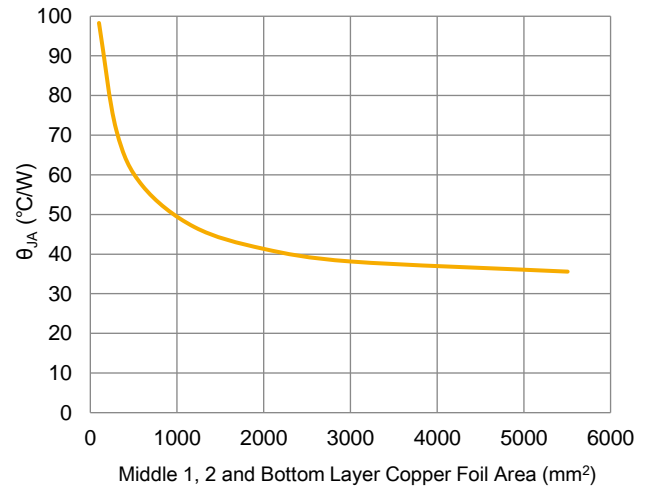


Figure 4. 銅箔面積を可変した時の θ_{JA} の変化

熱抵抗 θ_{JC} の使い方

熱抵抗 θ_{JC} はデバイスのジャンクションからケース表面までの熱抵抗です。 θ_{JC} の記号は他に、 R_{thJC} 、 $R_{\theta JC}$ 、 Θ_{JC} が使われています。データシートに記載している θ_{JC} の測定はJEDEC Standard JESD51-14に定義されているTransient Dual Interface (TDI)テスト法を用いています。

θ_{JC} を図で表すとFigure 5のようになります。 θ_{JC} の測定環境はパッケージ表面をヒートシンクと接触し、さらに他の面を断熱して測定しているため、ジャンクションで発生した熱がすべて移動するくらい非常に良い冷却環境下で使用されることを想定されています。そのためヒートシンクを使ったパワー半導体アプリケーションの熱設計に使用できます。ケースの表面温度 T_C はパッケージとTIM (Thermal Interface Material)の境界面の温度であり、物理的な測定点は存在しません。そのため熱電対で T_C を測定して式4を使ってジャンクション温度を推定することはできません。

$$T_J = \theta_{JC} \times P_D + T_C \quad [^\circ\text{C}] \quad (4)$$

P_D : 電力損失 [W]

T_C : ケース表面温度 [°C]

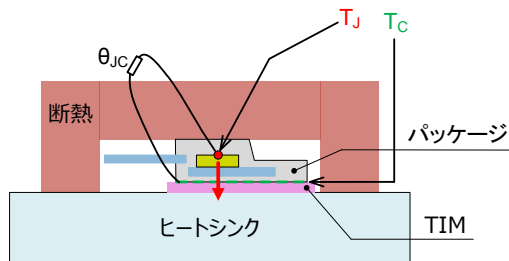


Figure 5. θ_{JC} の定義

T_C はパッケージとTIMの境界面の温度

θ_{JC} の使用例

事例1:

予め現状アプリケーションでジャンクション温度が判っているときに、異なる製品間で θ_{JC} を比較し、ジャンクション温度が相対的に何°C変化するかを求めます。JEDEC下の θ_{JC} と固有のアプリケーション(実機)下の θ_{JC} は異なるため、相対比較といえども目安として扱います。

$$\Delta T_J = (\theta_{JC2} - \theta_{JC1}) \times P_D \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

θ_{JC1} : 製品1の熱抵抗 [°C/W]

θ_{JC2} : 製品2の熱抵抗 [°C/W]

P_D : 電力損失 [W]

製品Aを使用している現状アプリケーションでジャンクション温度が150°Cである。製品Bに変更するとジャンクション温度が幾つになるか推定します。電力損失は5Wとして計算します。

製品	θ_{JC}	条件
A	2.6 °C/W	JESD51-14
B	1.3 °C/W	JESD51-14

$$\Delta T_J = (1.3 - 2.6) \times 5 = -6.5 \quad [^\circ\text{C}]$$

$$T_J = 150 - 6.5 = 143.5 \quad [^\circ\text{C}]$$

事例2:

ヒートシンクを使用した熱設計を行う場合。ジャンクション温度は式6のように、ジャンクションから周囲温度までの熱抵抗にデバイスの電力損失を乗算し、周囲温度を加算して求めます。ジャンクションから周囲温度までの熱抵抗には、Figure 6のようにジャンクションからケースまでの熱抵抗 θ_{JC} 、TIMを含んだケースからヒートシンクまでの接触熱抵抗 θ_{CH} 、ヒートシンクから周囲温度までの熱抵抗 θ_{HA} が含まれます。アプリケーション下での周囲温度は、自己発熱や他部品の発熱により周囲温度が上昇した分を含めた状態で考える必要があります。

$$T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA}) \times P_D + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (6)$$

θ_{JC} : ジャンクションからケースまでの熱抵抗 [°C/W]

θ_{CH} : ケースからヒートシンクまでの熱抵抗 [°C/W]

θ_{HA} : ヒートシンクから周囲温度までの熱抵抗 [°C/W]

P_D : 電力損失 [W]

T_A : 周囲温度 [°C]

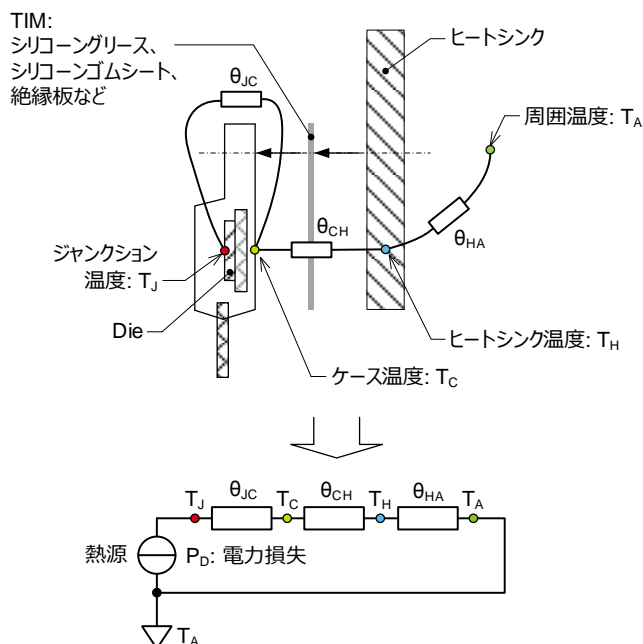


Figure 6. 熱源から周囲環境までの放熱等価回路

一例として TO-220FM パッケージの T_J を計算します。 θ_{JC} はデータシートより $2.6^\circ\text{C}/\text{W}$ 、 θ_{CH} は TIM のデータシートより熱伝導率を読み取り、式 7 で熱抵抗に換算します。 θ_{HA} は $10.9^\circ\text{C}/\text{W}$ のヒートシンクを使用するとします。 P_D は 3.5W 、筐体内の周囲温度の最大値が 60°C の場合で計算します。

まず TIM の熱伝導率を式 7 で熱抵抗に換算します。

$$\theta_{CH} = \frac{t}{K \times L \times W} \quad [^\circ\text{C}/\text{W}] \quad (7)$$

t : シリコングリスの厚み [m]

K : 熱伝導率 [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

L : ケース接触面の長さ [m]

W : ケース接触面の幅 [m]

TIM の条件 (単位に注意)

シリコングリスの厚み $t = 0.1$ [mm]

熱伝導率 $K = 1$ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

TO-220FM 接触面の長さ $L = 14.8$ [mm]

TO-220FM 接触面の幅 $W = 9.9$ [mm]

$$\theta_{CH} = \frac{t}{K \times L \times W} = \frac{0.1}{1 \times \frac{14.8}{1000} \times \frac{9.9}{1000}} = 0.68 \quad [^\circ\text{C}/\text{W}]$$

次に各パラメータを式 6 に代入して T_J を計算します。

$$T_J = (2.6 + 0.68 + 10) \times 3.5 + 60 = 106.5 \quad [^\circ\text{C}]$$

熱特性パラメータ Ψ_{JT} の使い方

熱特性パラメータ Ψ_{JT} はデバイスのジャンクションからパッケージ外面の上部中央の温度差を部品に印加された電力で割った値を示す熱特性パラメータです。 Ψ_{JT} の記号は他にPsi-JTが使われています。 Ψ_{JT} を図で表すと Figure 7 のようになります。また、式で表すと(8)のように、ジャンクション温度 T_J とパッケージ上面中央温度 T_T の温度差を電力損失で割ったものです。

データシートに記載している Ψ_{JT} はJEDEC Standard JESD51-2Aで定義されている環境で測定された値になります。固有のアプリケーション下でデバイスのパッケージ温度を測定することで、温度特性パラメータが同様の条件で測定されていれば、ジャンクション温度を推定することができます。Figure 7に放熱経路を示しますが、SMDではPCBに対して大半の熱を放出するため、ジャンクションとパッケージ上面間を通る熱の流れは非常に小さくなります。そのため、 T_J と T_T 間の温度差は非常に小さくなり、 Ψ_{JT} の値も小さくなります。 Ψ_{JT} の値が小さければ、JEDEC環境と固有のアプリケーション環境下に差異があっても、ジャンクション温度を推定する誤差も小さくなります。

回路設計時に θ_{JA} や θ_{JC} を使って机上計算でジャンクション温度を推定した後、試作でPCBが完成したときに Ψ_{JT} を使って実機確認を実施することを推奨します。

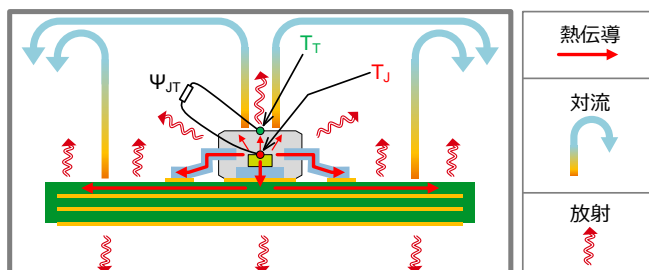


Figure 7. Ψ_{JT} の定義

$$\psi_{JT} = \frac{T_J - T_T}{P_D} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (8)$$

T_J : ジャンクション温度 [$^{\circ}\text{C}$]

T_T : パッケージ上面中央の温度 [$^{\circ}\text{C}$]

P_D : 電力損失 [W]

Ψ_{JT} の使用例

パッケージ上面の温度を測定し、データシートに記載されている Ψ_{JT} を使ってジャンクション温度を推定します。

ジャンクション温度は次式を使って求めます。

$$T_J = \Psi_{JT} \times P_D + T_T \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (9)$$

Ψ_{JT} : ジャンクションからパッケージ上面までの熱特性パラメータ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

P_D : 電力損失 [W]

T_T : パッケージ上面中央の温度 [$^{\circ}\text{C}$]

計算に必要な各パラメータを準備します。

- Ψ_{JT} はデータシートまたは熱抵抗アプリケーションノートに記載されていますので、その中から実機に一番近いPCB条件の値を選択します。より正確にジャンクション温度を求める必要があるときは、実機PCBで Ψ_{JT} を測定してください。
- P_D は該当デバイスの動作時の電力損失です。実測または計算で求めます。
- T_T は熱電対をパッケージの上面中央に熱伝導性エポキシ接着剤で固定して測定します。測定時の注意点は資料[3]を参照してください。

まとめ

回路設計段階では熱抵抗 θ_{JA} または θ_{JC} を使ってジャンクション温度を推定します。 θ_{JA} と θ_{JC} は使用するパッケージやヒートシンクの有無によって使い分けます。詳細は下表を参照してください。

試作の PCB が完成したときは熱特性パラメータ Ψ_{JT} を使ってジャンクション温度を確認するようにしてください。 Ψ_{JT} の値はデータシート記載の数値を使用していますが、より正確にジャンクション温度を求める必要があるときは、実機 PCB で Ψ_{JT} を測定し、ジャンクション温度を確認してください。

	θ_{JA}	θ_{JC}	Ψ_{JT}
規格	JEDEC Standard JESD51-2A	JEDEC Standard JESD51-14	JEDEC Standard JESD51-2A
定義	デバイスのジャンクションから周囲環境温度までの熱抵抗	デバイスのジャンクションからケース表面までの熱抵抗で、その表面全体の温度変化を最小限に抑えるために、同じ表面が適切にヒートシンクされていること	ジャンクション温度と部品パッケージ外面の上部中央の温度差を部品に印加された電力で割った値を示す熱特性パラメータ
使用段階	回路設計時の机上計算	回路設計時の机上計算	試作時の実機測定
用途	<ol style="list-style-type: none"> 異なる製品間でθ_{JA}を比較し、放熱性能が良い(θ_{JA}が低い)製品を選ぶときに使用する。 異なる製品間でθ_{JA}を比較し、ジャンクション温度が相対的に何°C変化するか推定する。 TO パッケージなどのスルーホール部品でヒートシンクを使用しない場合のジャンクション温度を推定する。 SMD でジャンクション温度を推定する(条件付き)*1。 	<ol style="list-style-type: none"> 異なる製品間でθ_{JC}を比較し、ジャンクション温度が相対的に何°C変化するか推定する。 TO パッケージなどでヒートシンクを使用したアプリケーションでジャンクション温度を推定する。 	<ol style="list-style-type: none"> SMD でパッケージ上面の温度を測定し、ジャンクション温度を推定する。 熱設計(机上計算)が正しいか実機でジャンクション温度を確認する。
ジャンクション温度の推定	<p>対象デバイス：1. TO パッケージなどのスルーホール部品でヒートシンクを使用しないアプリケーション。2. 条件付きで SMD*1。</p> $T_J = \theta_{JA} \times P_D + T_A$ <p>P_D: 電力損失 [W] T_A: 周囲温度 [°C]</p>	<p>対象デバイス：TO パッケージなどでヒートシンクを使用したアプリケーション</p> $T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA}) \times P_D + T_A$ <p>θ_{CH}: 接触熱抵抗 [°C/W] θ_{HA}: 放熱板熱抵抗 [°C/W] P_D: 電力損失 [W] T_A: 周囲温度 [°C]</p>	<p>対象デバイス：SMD</p> $T_J = \Psi_{JT} \times P_D + T_T$ <p>P_D: 電力損失 [W] T_T: パッケージ上面中央の温度 [°C]</p>

TO: Transistor Outline

SMD: Surface Mount Device

*1: PCB の違いによって θ_{JA} が変化する事を理解したうえで使用できます。適切なマージンを持った θ_{JA} を選択するようにしてください。

参考資料

- [1] [JESD51-2A](#), Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions - Natural Convection (Still Air), January 2008
- [2] [JESD51-14](#), Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction to Case of Semiconductor Devices with Heat Flow Through a Single Path, November 2010
- [3] アプリケーションノート「[熱電対を用いた温度測定における注意点](#)」, ローム株式会社, 2020

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いません。
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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/>