

**TOSHIBA**

Leading Innovation >>>

# パワーMOSFET

## 最大定格

株式会社 **東芝** セミコンダクター社



## 2. 最大定格

### 2.1 最大定格の定義

パワーMOSFETに流し得る電流や、印加可能な電圧、電力損失などの最大許容値は最大定格値として定められています。

回路を設計する上で最大定格をよく認識することはパワーMOSFETを有効に働かせる上からも、目標とする稼動時間に十分高い信頼度で動作させる上からも、非常に大切なことです。

最大定格値は、パワーMOSFETの寿命と信頼度を保証するために超えてはならない最大値で、絶対最大定格の考え方を採用しています。

**絶対最大定格とは、瞬時といえども動作中に定格値を超えてはならないとするものです。**

最大定格を超えて使用した場合、特性は回復しない場合もあります。回路設計においては供給電圧の変動、電気部品の特性のバラつき、回路調整時の最大定格オーバ、周囲温度の変化、入力信号の変動などに注意し、最大定格の1つでも超えることは避けなければなりません。

最大定格値として定められるべき主な項目は、パワーMOSFETのドレイン電流、各端子間電圧、電力損失、チャンネル温度、保存温度などです。これらの特性は相互に密接な関係があるので、個々別々に考えることはできず、また外部回路条件によっても異なります。

### 2.2 電圧定格

#### 2.2.1 ドレイン・ソース間電圧の最大定格

パワーMOSFETのドレイン・ソース間降伏電圧を規定する方法は、ゲート・ソース間のバイアス条件などによって4つに分類できます。

図 2.1にドレイン・ソース間降伏電圧の4モードを示します。

- (1)  $V_{DSS}$ : ゲート・ソース間ゼロバイアス時 [3つ目の添字“S”がショート (short) を意味する] のドレイン・ソース間電圧。
- (2)  $V_{DSX}$ : ゲート・ソース間逆バイアス時 (例えばNチャンネルMOSFETの場合  $V_{GS} = -3\text{ V}$  などの電圧を印加時) のドレイン・ソース間電圧。
- (3)  $V_{DSR}$ : ゲート・ソース間を抵抗でシャントした場合のドレイン・ソース間電圧 (3つ目の添字の“R”がシャント抵抗を意味する)。

パワーMOSFET (トレンチ形構造を除く) が完全なエンハンスメントタイプの場合、前述の耐圧モードの中で  $V_{DSS} \approx V_{DSX}$  なる関係が成立します。さらに、ゲート・ソース間にある値の抵抗を挿入してドレイン・ソース間降伏電圧 ( $V_{DSR}$  モード) を測定しても、 $V_{DSX}$  モードの場合その大きさはほとんど差がなく、 $V_{DSS} \approx V_{DSX} \approx V_{DSR}$  という関係が成立します。

また、トレンチ形構造のパワーMOSFETの場合、 $V_{DSX}$  のモードではゲート・ソース間に印加する電圧に応じて耐圧が低下するため  $V_{DSS} \geq V_{DSX}$  という関係が成り立ちます。

従って、最大定格の規定値である  $V_{DSS}$  より大きいドレイン・ソース間降伏電圧の規定方法は、存在しないことになります。これから  $V_{DSS}$  値は瞬時といえども超えないよう注意する必要があります。

(4)  $V_{DSO}$ : ゲートがオープン時のドレイン・ソース間電圧。

パワーMOSFETの入力インピーダンスは非常に高いため、静電気誘導などによりゲート・ソース間がバイアスされ、“オン”状態になって素子を破壊する可能性があります。このモードでは使用しないでください。

(a)  $V_{DSS}$  モード

(b)  $V_{DSX}$  モード

(c)  $V_{DSR}$  モード

(d)  $V_{DSO}$  モード

〔素子を破壊する  
可能性がある〕

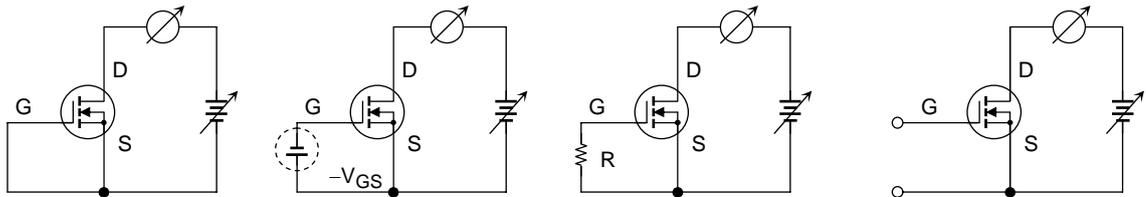


図 2.1 ドレイン・ソース間降伏電圧

### 2.2.2 ゲート・ソース間電圧の最大定格

ドレイン・ソース間をショートした場合のゲート・ソース間電圧が  $V_{GSS}$  です。この最大定格はゲート酸化膜の耐量に起因しますが、MOSFETでは実用的な電圧あるいは信頼性を考慮して、その値を定めています。

### 2.3 電流定格

パワーMOSFETでは順方向に直流印加できる電流を  $I_D$  (DC)、パルスにて流し得る電流を  $I_D$  (パルス) とし、逆方向 (ダイオード方向) の直流電流  $I_{DR}$  (DC) とパルス電流  $I_{DR}$  (パルス) も同電流 (理想的な放熱条件下) で規定しています。

しかしながら、この各電流は順方向がドレイン・ソース間オン抵抗によるパワー損失で、逆方向はダイオードの順方向電圧による損失によって制限を受けます。そのため、電流定格については放熱条件によって左右され、チャネル温度が最大定格  $T_{chmax}$  を超えない電流値を設定し、その電流値以下で使用する必要があります。

2.4 温度定格

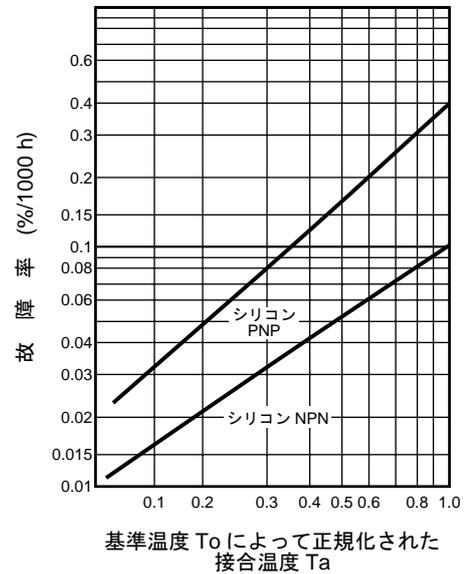
最大チャンネル温度  $T_{chmax}$  はパワーMOSFET を構成する材料と信頼度によって規定され、単に動作するというだけでなく、劣化、寿命など信頼性との兼ね合いで考えねばなりません。

一般にパワーMOSFET の劣化はチャンネル温度が高くなるにつれて加速され、平均寿命  $L_m$  (時間)、チャンネル温度  $T_{ch}$  (K) との間には、A、B をトランジスタ固有の定数として、次式の関係が認められています。

$$\log L_m \approx A + \frac{B}{T_{ch}} \dots\dots\dots (1)$$

従って、長期寿命の保証を要するパワーMOSFET では不良率、信頼度に見合った許容チャンネル温度の上限を決めており、一般的に  $150^{\circ}\text{C}$  の値がとられています。

保存温度  $T_{stg}$  はパワーMOSFET を動作させないで保存し得る温度範囲で、これも構成する材料の性質と信頼度から規定されます。図 2.2 にバイポーラトランジスタの寿命と接合温度の関係の例を示します。



$$T_a = \frac{T_j - T_o}{T_{jmax} - T_o}$$

図 2.2 バイポーラトランジスタの寿命と温度の関係 (MIL-HDBK-217A による)

2.5 電力定格

パワーMOSFET 内部での電力損失は熱エネルギーに変換され、内部の温度を上昇させます。

ある動作点で動作しているパワーMOSFET の内部電力損失はドレイン損失 =  $I_D \cdot V_{DS}$  で決まります。

パワーMOSFET の最大許容損失  $P_{Dmax}$  を制限するパラメータは、前述の最大チャンネル温度  $T_{chmax}$  と基準温度  $T_o$  (周囲温度  $T_a$  あるいはケース温度  $T_c$ ) であり、これらは熱抵抗 $\theta$  (または  $R_{th}$ ) によって、次のように関係づけられていることは良く知られているとおりです。

$$P_{Dmax} = \frac{T_{chmax} - T_o}{\theta} \dots\dots\dots (2)$$

熱抵抗は、単位電力損失に対するチャンネル温度の上昇する割合、すなわち放熱のしにくさを示す物理量です。従って、電力損失を大きく取るためには、 $P_{Dmax}$  の大きなパワーMOSFET を選ぶ必要があります。特にパワーMOSFET においては、放熱設計が極めて重要となります。

通常、 $P_{Dmax}$  の定格値は  $T_a = 25^{\circ}\text{C}$ 、放熱器の使用が予想される場合は  $T_c = 25^{\circ}\text{C}$  のときの値が示されます。それぞれ (2) 式を用いてパワーMOSFET のチャンネル、外気間の熱抵抗、またはチャンネル・ケース間の熱抵抗を知ることができます。

2.6 安全動作領域

2.6.1 順バイアス安全動作領域 SOA

パワーMOSFETは、構造的に電流集中が起こりにくいいため基本的にはバイポーラトランジスタで見られるような高電圧領域における二次降伏現象を発生しません。従って、パワーMOSFETの安全動作領域SOAは、図2.3のように熱抵抗で制限される等電力線で、パルス幅をパラメータにして表すことができます。そのため高電圧領域のSOAがせまくなることはなく、ドレイン・ソース間の降伏電圧以内で、極めて広く安全に、動作させることができます。

しかしながら、セルの微細化が進むにつれ、パワーMOSFETでも一部の素子で二次降伏に類似した現象が見られるようになりました。そのような製品は、図2.4のように従来の等電力線ではない安全動作領域を個々に定義しています。

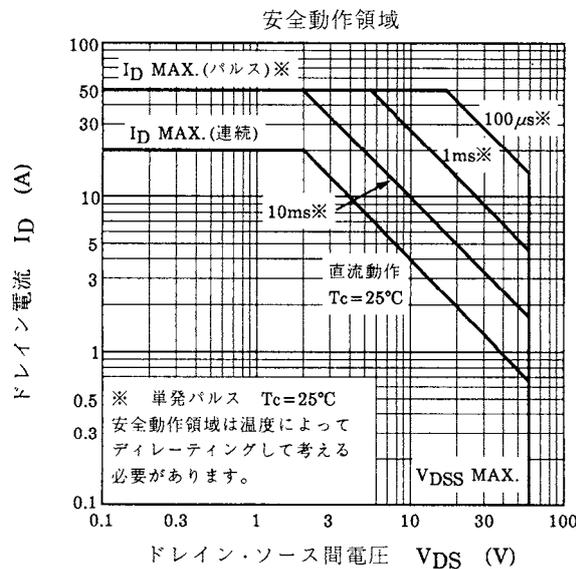


図 2.3 2SK2782 の安全動作領域

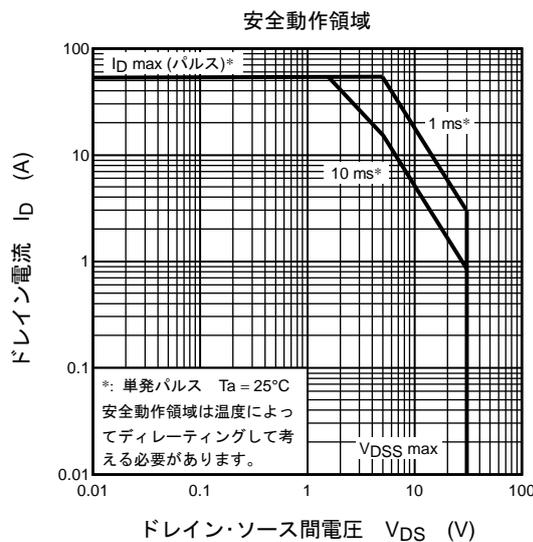


図 2.4 TPC8009-H の安全動作領域

2.6.2 逆バイアス安全動作領域

スイッチングデバイスがスイッチング電源などのパワースwitchingの分野で使用される場合、負荷は誘導性になります。この場合、順方向安全動作領域とともに逆方向の安全動作領域も問題になります。

一般にバイポーラトランジスタがスイッチング電源に使用される場合、スイッチング損失を軽減するために、ベース・エミッタ間を強制的に逆バイアスし、ベース逆電流  $I_{B2}$  を流して、 $t_{stg}$  と  $t_f$  を短くする方法がとられます。しかし、 $I_{B2}$  を大きくすれば、図 2.5に示すように、逆バイアス安全動作領域が狭くなり、ターンオフ時の負荷曲線動作範囲が制限されてしまいます。

一方、パワーMOSFET においても、ゲート・ソース間を逆バイアスすることで  $t_f$  と  $t_{off}$  を短くすることができます。しかし、パワーMOSFET は多数キャリアデバイスで、本質的にキャリアの蓄積効果がありません。従って、ゲート・ソース間逆電圧 ( $-V_{GS}$ ) を大きくすることで、電力損失の制限が変わり逆バイアス SOA が狭まる現象は生じません (ただし、トレンチ形構造のパワーMOSFET は耐圧が低下するため、逆バイアス SOA は狭まります)。

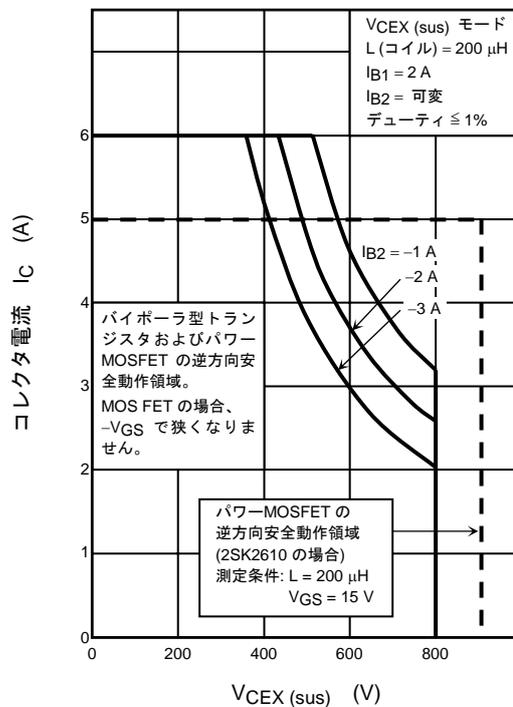


図 2.5 逆方向安全動作領域

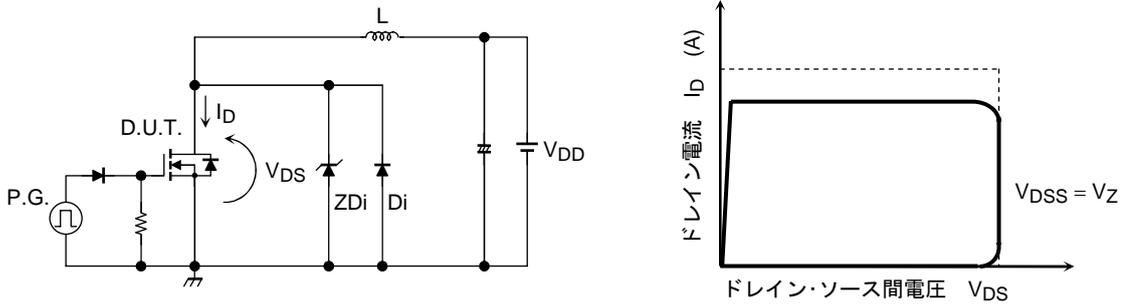


図 2.6 逆方向安全動作領域の測定回路と Load Locas 波形

2.7 ディレーティング

パワーMOSFET を用いて回路設計する場合、基本的にはカタログ表示の最大定格から適当な放熱条件を設定することによって、電圧、電流、電力（チャネル温度）とも最大定格内の設計をすることができます。しかし、通常は信頼度を考慮してディレーティング（通減）して使用します。

一般的に信頼性と経済性との兼合いから、次のようなディレーティングが推奨されています。

- 電圧: サージを含めた最悪時の電圧が、最大定格電圧の 80%以下。
- 電流: サージを含めた最悪時の電流が、最大定格電流の 80%以下。
- 電力: サージを含めた最悪時の電力が、機器の最大周囲温度におけるディレーティングされた最大許容損失の 50%以下。
- 温度: サージを含めた最悪時の動作最大チャネル温度  $T_{ch}$  が最大定格の  $T_{chmax}$  の 70~80%以下。

スイッチング回路に使用される場合の電力損失量はサージなどを含めたピークとしての電圧、電流、電力、接合温度は最大定格を超えてはなりません、信頼性を加味したディレーティングを考えると平均の損失を考えればよいことになります。ディレーティング前後での安全動作領域を式で表すと、図 2.7 のようになります。

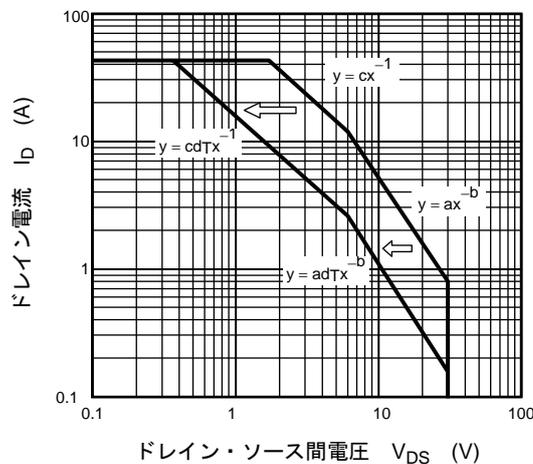


図 2.7 安全動作領域の温度ディレーティング

等電力線のディレーティング率  $d_T$  は許容損失の定義式

$$P_D = \frac{T_{chmax} - T_a}{r_{th(ch-a)}} \dots\dots\dots (3)$$

を用いて、

$$d_T = \frac{P_D(T_{ch}^{\circ C})}{P_D(25^{\circ C})} = \frac{T_{chmax} - T_{ch}}{T_{chmax} - 25} \dots\dots\dots (4)$$

と表せます。  $T_{ch} = 25^{\circ C}$  のとき等電力線を

$$y = cx^{-1} \dots\dots\dots (5)$$

としますと、ディレーティング後の等電力線は、

$$y = cd_T x^{-1} \dots\dots\dots (6)$$

で、表すことができます。

また、  $T_{ch} = 25^{\circ C}$  のときの二次降伏に類似した現象によって制限される線を

$$y = ax^{-b} \dots\dots\dots (7)$$

としますと、ディレーティング率およびディレーティング後の式は、それぞれ

$$d_{PS/B} = \sqrt[b]{d_T} \dots\dots\dots (8)$$

$$y = ad_T x^{-b} \dots\dots\dots (9)$$

で表すことができます。

<ディレーティングの例 (TPC8108)>

ここでは TPC8108 を例として安全動作領域を  $T_a (= T_{ch}) = 25^\circ\text{C}$  から  $T_a = 125^\circ\text{C}$  にディレーティングします。

図 2.8に表す  $T_a (= T_{ch})$  の安全動作領域 (個別規格に記載)から○で表したポイントの座標を読みます。読み取った座標を (5) (7) に代入して、 $T_a = 25^\circ\text{C}$  時の式を求めると、等電力線は

$$y = 407x^{-1} \quad (T_a = 25^\circ\text{C}, t = 1 \text{ ms}) \dots\dots\dots (10)$$

$$y = 76.2x^{-1} \quad (T_a = 25^\circ\text{C}, t = 10 \text{ ms}) \dots\dots\dots (11)$$

となり、二次降伏に類似した現象によって制限される線は、

$$y = 1500x^{-1.73} \quad (T_a = 25^\circ\text{C}, t = 1 \text{ ms}) \dots\dots\dots (12)$$

$$y = 282x^{-1.73} \quad (T_a = 25^\circ\text{C}, t = 10 \text{ ms}) \dots\dots\dots (13)$$

となります。

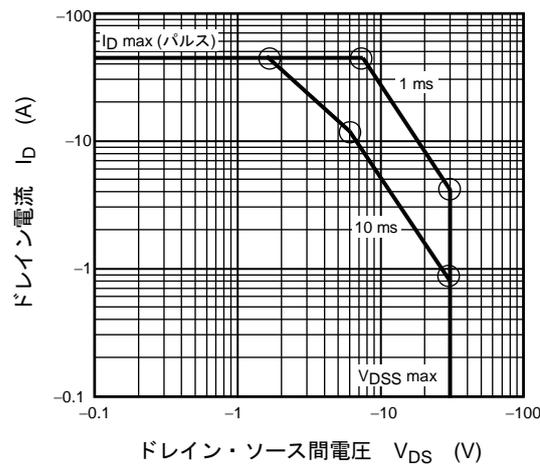


図 2.8 TPC8108 の安全動作領域 ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

等電力線のディレーティング率  $dT$  は  $T_a = 25^\circ\text{C}$  から  $T_a = 125^\circ\text{C}$  のディレーティングの場合に  $dT = 0.2$  となりますので、 $T_a = 125^\circ\text{C}$  のときの等電力線は

$$y = 407x^{-1} = 81.4x^{-1} \quad (T_a = 125^\circ\text{C}, t = 1 \text{ ms}) \dots\dots\dots (14)$$

$$y = 76.2x^{-1} = 15.2x^{-1} \quad (T_a = 125^\circ\text{C}, t = 10 \text{ ms}) \dots\dots\dots (15)$$

となり、二次降伏に類似した現象によって制限される線は

$$y = 1500d_x^{-1.73} = 300x^{-1.73} \quad (T_a = 125^\circ\text{C}, t = 1 \text{ ms}) \dots\dots\dots (16)$$

$$y = 282d_x^{-1.73} = 56.4x^{-1.73} \quad (T_a = 125^\circ\text{C}, t = 10 \text{ ms}) \dots\dots\dots (17)$$

となります。(14)～(17)を用いて安全動作領域を作成したものを図 3.9 に表します。

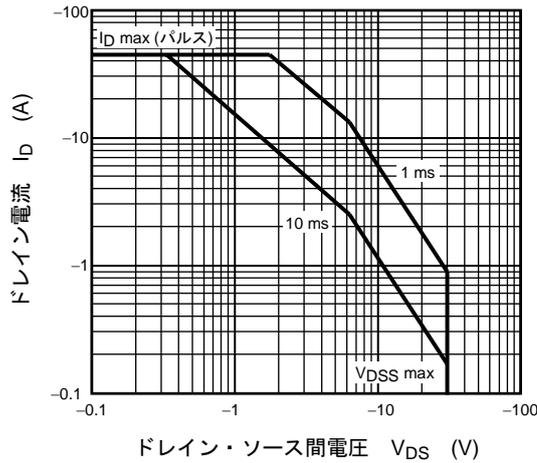


図 2.9 TPC8108 の安全動作領域 ( $T_a = 125^\circ\text{C}$ )

## 製品取り扱い上のお願い

- 本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステム（以下、本製品という）に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。当社は、適用可否に対する責任は負いません。
- 本製品は、一般的電子機器（コンピュータ、パーソナル機器、事務機器、計測機器、産業用ロボット、家電機器など）または本資料に個別に記載されている用途に使用されることが意図されています。本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、電力機器、金融関連機器などが含まれます。本資料に個別に記載されている場合を除き、本製品を特定用途に使用しないでください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途書面による契約がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本製品および技術情報に関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品には、外国為替及び外国貿易法により、輸出または海外への提供が規制されているものがあります。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず弊社営業窓口までお問合せください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。