

パワーMOSFET 最大定格

概要

本資料はパワーMOSFET の絶対最大定格、熱抵抗及び安全動作領域について述べたものです。

目次

概要	1
目次	2
1. 絶対最大定格	3
1.1. 絶対最大定格の定義	3
1.2. 絶対最大定格項目	3
1.2.1. ドレイン・ソース間電圧 V_{DSS}	3
1.2.2. ゲート・ソース間電圧 V_{GSS}	4
1.2.3. ドレイン電流 I_D	4
1.2.4. 許容損失 P_D	4
1.2.5. アバランシェ電流 I_{AS} 、アバランシェエネルギー E_{AS}	4
1.2.6. チャネル温度 T_{ch} 、保存温度 T_{stg}	6
1.2.7. 絶縁耐圧 $V_{ISO(RMS)}$	7
1.2.8. 締め付けトルク TOR	7
2. 熱抵抗	8
2.1. 熱抵抗とは	8
2.2. 熱抵抗計算	8
2.3. 過渡熱抵抗と定常熱抵抗	9
3. 安全動作領域	10
3.1. 順バイアス安全動作領域 SOA	10
3.2. 安全動作領域規定	10
製品取り扱い上のお願い	11

1. 絶対最大定格

1.1. 絶対最大定格の定義

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、目標とする稼働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。

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ー、周囲温度の変化、入力信号の変動などに注意し、定格の1つでも超えることは避けなければなりません。

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ができず、また外部回路条件によっても異なります。

1.2. 絶対最大定格項目

(製品によって規定している項目が異なります。指定のない限り、測定条件は $T_a=25^{\circ}\text{C}$)

項目	記号	単位	説明
ドレイン・ソース間電圧	V_{DS}	V	ゲート・ソース間を短絡した状態で、ドレイン・ソース間に許容される電圧の最大値です。
ゲート・ソース間電圧	V_{GS}	V	ドレイン・ソース間を短絡した状態で、ゲート・ソース間に許容される電圧の最大値です。
ドレイン電流	DC	I_D	ドレイン・ソースに許容される直流電流の最大値です。
	パルス	I_{DP}	パルス動作において許容されるドレイン電流の最大ピーク値です。
許容損失 ($T_c=25^{\circ}\text{C}$)	P_D	W	MOSFET に許容される損失の最大値です。
アバランシェ電流	I_{AS}	A	アバランシェ状態で許容できる最大ピーク電流(非繰り返し)です。
アバランシェエネルギー	E_{AS}	mJ	アバランシェ降伏時の最大許容損失エネルギー(非繰り返し)です。
チャネル温度	T_{ch}	$^{\circ}\text{C}$	MOSFET の動作が許容されるチップ温度の最大値です。
保存温度	T_{stg}	$^{\circ}\text{C}$	MOSFET に電圧を印加しない状態で保存できる温度の最大値です。
絶縁耐圧	$V_{ISO(RMS)}$	V	パッケージの指定されたケース部分と電極端子間の絶縁耐圧の最大値です。
締め付けトルク	TOR	N・m	ねじを回して締め付けるときに回転方向に回す力の最大値です。

1.2.1. ドレイン・ソース間電圧 V_{DS}

パワーMOSFET のドレイン・ソース間降伏電圧の規定は、ゲート・ソース間のバイアス条件により、下記があります。

- (1) V_{DSS} : ゲート・ソース間短絡時のドレイン・ソース間電圧です、定格以上の電圧が加わると、ブレイクダウン領域に入って MOSFET が故障する危険があります。
- (2) V_{DSX} : ゲート・ソース間逆バイアス時のドレイン・ソース間電圧です。

上記以外に、 V_{DSR} (ゲート・ソース間に抵抗を挿入した場合のドレイン・ソース間電圧)、 V_{DSO} (ゲートオープン時のドレイン・ソース間電圧)があります。パワーMOSFET は入力インピーダンスが非常に高いため、 V_{DSO} モードでは静電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高くこのモードでは使用しないでください。

1.2.2. ゲート・ソース間電圧 V_{GSS}

ドレイン・ソース間を短絡した場合のゲート・ソース間電圧が V_{GSS} です。この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。

1.2.3. ドレイン電流 I_D

一般的にはパワーMOSFET では順方向に直流印加できる電流を I_D 、パルスにて流し得る電流を I_{DP} とし、逆方向（ダイオード方向）の直流電流 I_{DR} とパルス電流 I_{DRP} 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、チャネル温度が定格 $T_{ch(max)}$ 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。

$$I_D = \sqrt{\frac{T_{ch(max)} - T_c}{R_{DS(on)}(max) \times R_{th(ch-c)}}}$$

$$I_{DP} = \sqrt{\frac{T_{ch(max)} - T_c}{R_{DS(on)}(max) \times r_{th(ch-c)}(t)}}$$

$T_{ch(max)}$: チャネル温度 max

T_c : ケース温度(25°C)

$R_{th(ch-c)}$: 定常熱抵抗

$r_{th(ch-c)}(t)$: 過渡熱抵抗

$R_{DS(ON)}(max)$: 最大チャネル温度時のドレイン・ソース間オン抵抗の max 値

製品への通電可能なドレイン電流(I_D)は損失制限以外に、その製品のパッケージの通電能力、最大チャネル温度や安全動作領域等で制限されます。

1.2.4. 許容損失 P_D

規定の放熱条件において、MOSFET に連続的に消費させることのできる MOSFET の損失の最大値です。

許容損失は使用条件（周囲温度、放熱条件）によって変わります。

許容損失 ($T_c=25^\circ\text{C}$) は周囲温度 25°C で無限大放熱器を付けた場合に等しい条件の値です。

$$P_D = \frac{T_{ch(max)} - 25^\circ\text{C}}{R_{th(ch-c)}}$$

また、過渡期の許容損失 P_{DP} はデータシートの過渡熱抵抗特性により下記で算出されます。

$$P_{DP} = \frac{T_{ch(max)} - 25^\circ\text{C}}{r_{th(ch-c)}(t)}$$

1.2.5. アバランシェ電流 I_{AS} 、アバランシェエネルギー E_{AS}

パワーMOSFET を高速スイッチング素子として使用する場合、回路自体のインダクタンスおよび浮遊インダクタンスにより、ターンオフ時に高いサージ電圧がドレイン・ソース間に印加され、時にはサージ電圧が素子の定格を超えブレイクダウン領域に入る場合があります。この時、アバランシェ電流が流れ、素子が許容できる電流およびエネルギーを超えると破壊に至ります。このモードをアバランシェ破壊と呼びます。また、これを許容できる電流をアバランシェ電流 I_{AS} 、エネルギーをアバランシェエネルギー E_{AS} と言います。

(2) MOSFET 等価回路

MOSFET の断面および等価回路を図 1.1 および図 1.2 に示します。

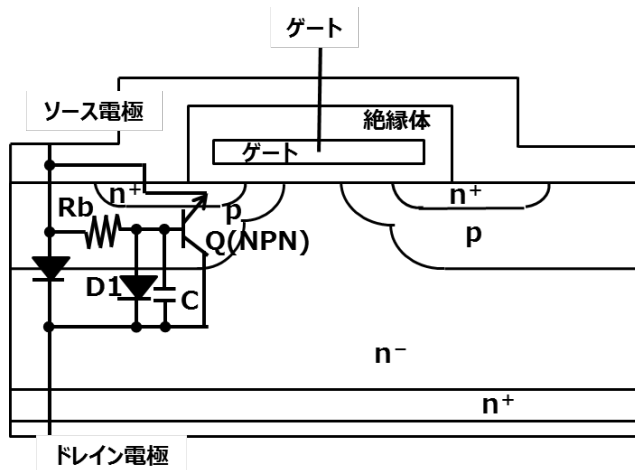


図 1.1 MOSFET の断面図（寄生 NPN トランジスタ）

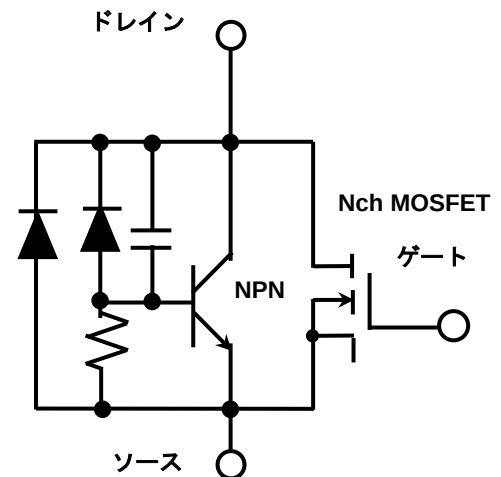


図 1.2 MOSFET 等価回路

(2) アバランシェ動作

アバランシェ破壊には次の 2 つのモードがあります。図 1.3 にアバランシェ電流等価回路を示します。

(a). 電流破壊モード

ドレイン・ソース間に耐圧以上の電圧が印加されると抵抗 R_b に電流 i が流れます。トランジスタのベース・エミッタ間には $i \times R_b$ の順方向電圧が印加されます。許容できる電流を超えると、寄生 NPN トランジスタがターンオンし、トランジスタに大電流が流れ、破壊されます。

(b). エネルギー破壊モード

ドレイン・ソース間に耐圧以上の電圧が印加されると電流 i が流れます。この電流と印加電圧 ($i \times BV_{DSS}$) により損失が発生し、このエネルギーで温度が上昇し、定格チャネル温度を超えると破壊に至ります。

(3) アバランシェ耐量及び測定

パワーMOSFET のアバランシェ耐量の測定回路を図 1.4 および測定波形を図 1.5 に示します。

ターンオフ時にゲート電圧 V_{GS} がしきい値以下になると、インダクタ L を流れるドレイン電流が減少し、ドレイン・ソース間電圧 V_{DS} が急激に上昇します。 V_{GS} がしきい値電圧以上のときは、 I_D はパワーMOSFET のチャネル領域を流れていますが、しきい値以下になるとチャネルが遮断され、 I_D の経路はドレイン・ベース間のダイオード(図 1.3)にかわります。この間に V_{DS} は上昇し、自己ブレークダウン電圧 BV_{DSS} (実力値) に達すると、パワーMOSFET はアバランシェブレークダウンを起こし V_{DS} は一定となります。 L に蓄えられたエネルギーは素子の温度上昇によって消費されます。この結果 $I_D = 0$ となり、 V_{DS} は印加電圧 V_{DD} となります。この時の許容されるピーク電流がアバランシェ電流 I_{AS} で、許容されるエネルギーがアバランシェエネルギー E_{AS} です。

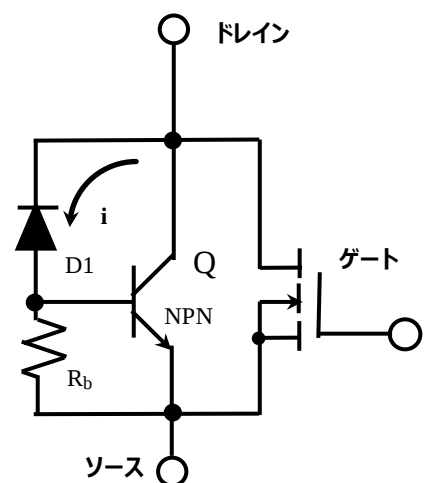


図 1.3 アバランシェ電流等価回路

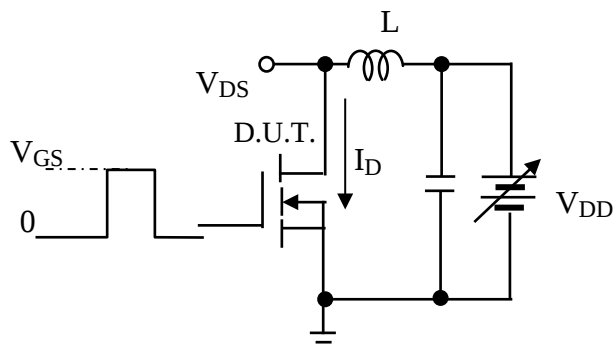


図 1.4 一般的アバランシェ耐量測定回路

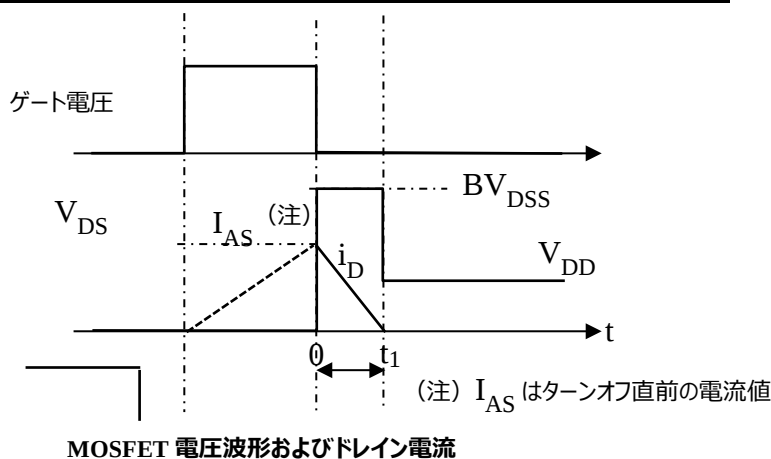


図 1.5 アバランシェ降伏時各部の波形

(4) アバランシェエネルギー計算

アバランシェエネルギーは下記から計算される。

$$\Delta V = -L \frac{di_D}{dt} \text{ から}$$

$$BV_{DSS} - V_{DD} = -L \frac{di_D}{dt}$$

$$di_D = -\frac{BV_{DSS} - V_{DD}}{L} dt$$

$$i_D(t) = I_{AS} - \left(\frac{BV_{DSS} - V_{DD}}{L} \right) t$$

$$E_{AS} = \int_0^{t_1} i_D(t) \cdot BV_{DSS} dt$$

$$= \int_0^{t_1} \left\{ I_{AS} - \left(\frac{BV_{DSS} - V_{DD}}{L} \right) t \right\} \cdot BV_{DSS} dt$$

$$= \left[I_{AS} BV_{DSS} t - \frac{1}{2} \left(\frac{BV_{DSS} - V_{DD}}{L} \right) BV_{DSS} t^2 \right]_0^{t_1}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{I_{AS} L}{BV_{DSS} - V_{DD}}$$

を代入して式を解くと

$$E_{AS} = \frac{1}{2} L I_{AS}^2 \frac{BV_{DSS}}{BV_{DSS} - V_{DD}}$$

となる。

1.2.6. チャネル温度 T_{ch} 、保存温度 T_{stg}

最大チャネル温度 $T_{ch}(\max)$ はパワーMOSFET を構成する材料と信頼度によって規定され、単に動作するだけでなく、劣化、寿命など信頼性との兼ね合いで考えなければなりません。

一般にパワーMOSFET の劣化はチャ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。

$$\log L_m = A + \frac{B}{T_{ch}}$$

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ネル温度の上限を決めて

おります。

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。

1.2.7. 絶縁耐圧 $V_{ISO(RMS)}$

フルモールドパッケージ製品において、指定されたケース部分と内部回路および電極端子との絶縁耐圧を示すものです。交流電圧を規定時間印加し確認します。絶縁耐圧は AC 電圧の実効値で示します。

1.2.8. 締め付けトルク TOR

放熱器に素子をねじで取り付ける時は、締め付けトルクを管理する必要があります。
締め付けトルクが小さすぎるとねじがゆるみ、大きすぎると素子を破損することになります。

2. 熱抵抗

2.1. 熱抵抗とは

熱抵抗値は、熱の伝わりづらさを表す数値です。

半導体チップ内で発生した消費電力は熱となりチップからケースに伝わり放熱器などを通して最終的には周囲空間に放熱されます。消費電力（ P_D ）を増やせば温度上昇分（ ΔT ）は大きくなります。

$\Delta T = R_{th} \cdot P_D$ の関係があり、この ΔT と P_D との比例係数 R_{th} を熱抵抗と呼びます。

2.2. 熱抵抗計算

製品の熱抵抗表示には、主に下記があります。

$R_{th(ch-c)}$: チャンネル・ケース間熱抵抗

$$R_{th(ch-c)} = \frac{T_{ch(max)} - 25^{\circ}\text{C}}{P_D(T_c = 25^{\circ}\text{C})} \quad (^{\circ}\text{C}/\text{W})$$

ケース温度を周囲温度 25°C に保った状態での熱抵抗であり、無限大放熱器を付けた状態と同等です。

$R_{th(ch-a)}$: チャンネル・周囲間熱抵抗

$$R_{th(ch-a)} = \frac{T_{ch(max)} - 25^{\circ}\text{C}}{P_D(T_a = 25^{\circ}\text{C})} \quad (^{\circ}\text{C}/\text{W})$$

チャンネルから周囲温度 25°C までの熱抵抗であり、 $R_{th(ch-c)} + R_{th(c-a)}$ となります。

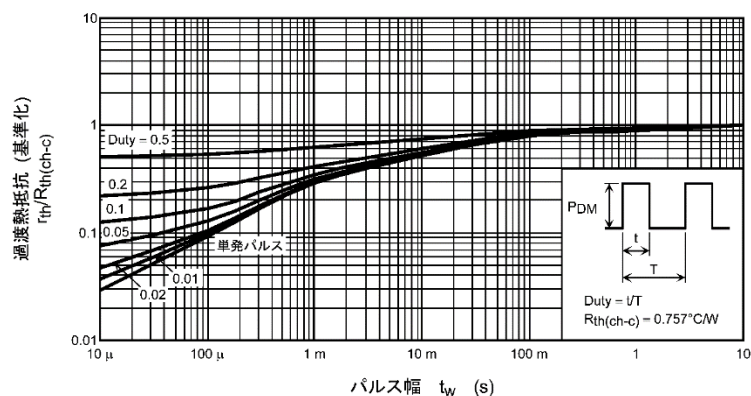
但し、基板への実装条件等で変わってきますので注意が必要です。

2.3. 過渡熱抵抗と定常熱抵抗

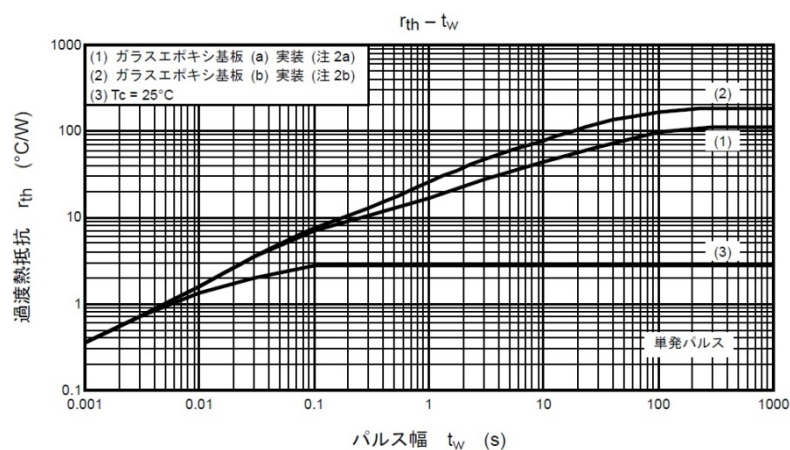
過渡熱抵抗は熱容量の影響がある時間範囲の熱抵抗であり時間の関数です。繰り返し率（Duty 比）によって変わってきます。

定常熱抵抗は、熱容量の影響が無くなった以降の熱抵抗を示します。

図 2.1 の(a)に過渡熱抵抗の基準化して表現した例と図 2.1(b)に絶対値で表現した例を示します。



(a) 過渡熱抵抗特性(基準化)



(b) 過渡熱抵抗特性(絶対値)

図 2.1 過渡熱抵抗特性

3. 安全動作領域

3.1. 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。

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 3.1 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規定しています。

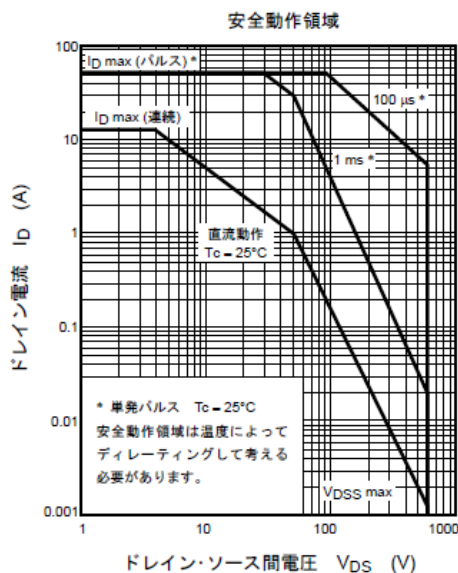


図 3.1 等電力線ではない安全動作領域(例)

3.2. 安全動作領域規定

安全動作領域 SOA は電流、オン抵抗、熱、二次降伏および電圧から制限され、下記により規定されています。

① 電流制限領域

ドレイン電流定格で制限される領域です。DC（連続）の場合は I_{Dmax} 、パルスの場合は I_{DPmax} で制限されます。

② オン抵抗制限領域

オン抵抗 $R_{DS(ON)max}$ により理論的に制限される領域で、 $I_D = V_{DS}/R_{DS(ON)}$ です。

③ 熱制限領域

許容損失 P_D で制限される領域です。

$$P_D(\text{許容損失}) = I_D \times V_{DS}$$

④ SB 領域

近年、セルの微細化が進み、パワーMOSFET でも一部の素子で見られるようになった二次降伏に相当する領域です。

⑤ 電圧制限領域

耐圧 V_{DSS} により制限される領域です。

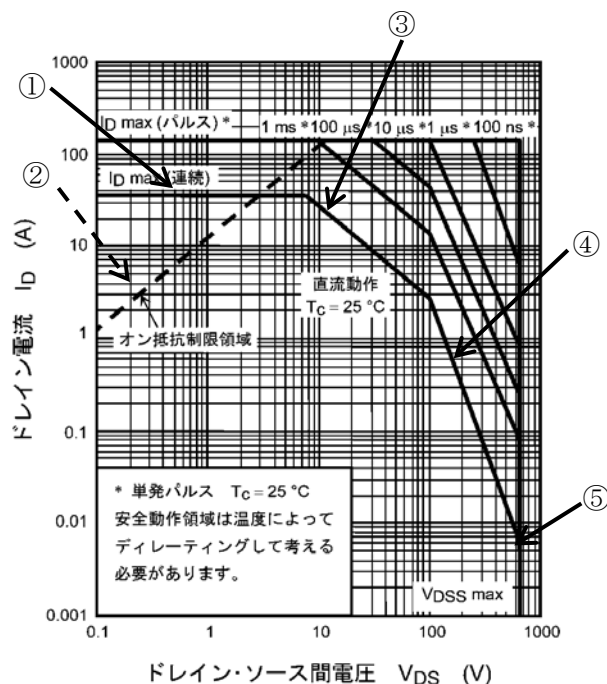


図 3.2 安全動作領域

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
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を以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、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・ストレージ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、お客様の製品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。
- 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が、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口までお問い合わせください。
- 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、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、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。）をしておりません。
- 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。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。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にご使用ください。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。