

TVS ダイオード (ESD 保護ダイオード) とは

ESD (Electrostatic Discharge : 静電気放電) とは、帯電した 2 つの物体 (例えば、人体と電子機器など) が接触すると電流が一時的/瞬間的に流れる (放電される) 現象です。この現象は、デバイスの破壊、電子機器の誤動作や損傷などの問題を起こします。このように電子機器内部に侵入する ESD が、デバイス・システム破壊することを防ぐ為に TVS ダイオード (ESD 保護ダイオード) などの ESD 抑制・除去対策部品が必要となっています。

ESD 対策は、人やあらゆる物体が接触する場所で必要となります。例えば、スマートフォンの USB コネクタの端子、ノートブック PC の USB や HDMI などの端子に人間の手・指が接触する場合や、電子機器を製造する工程で基板と基板をケーブルで接続する場合などが挙げられます。

本資料は、ESD 試験規格を初めとし、TVS ダイオード (ESD 保護ダイオード) の動作 (考え方) について、説明していきます。

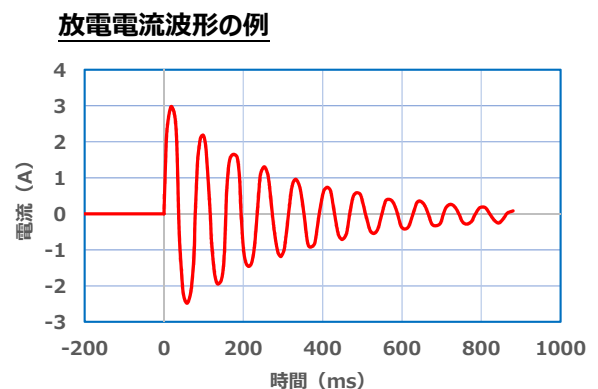
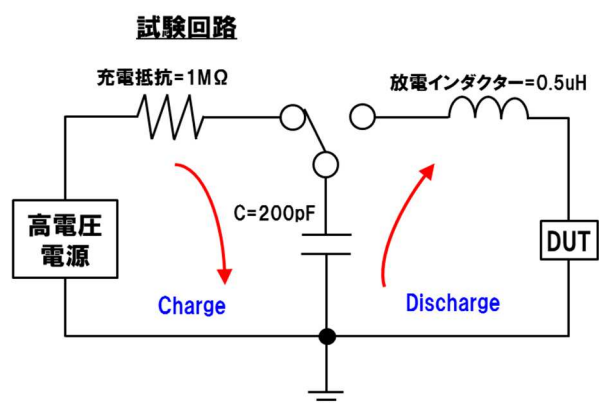
1. ESD 試験規格

ESD 試験には、用法・用途などにより求められる試験規格が異なり、大きく分けてデバイスレベル試験とシステムレベル試験に分けられます。以下に ESD 試験の種類と概要を説明します。

1-1 デバイスレベル試験 (MM・HBM・CDM 試験)

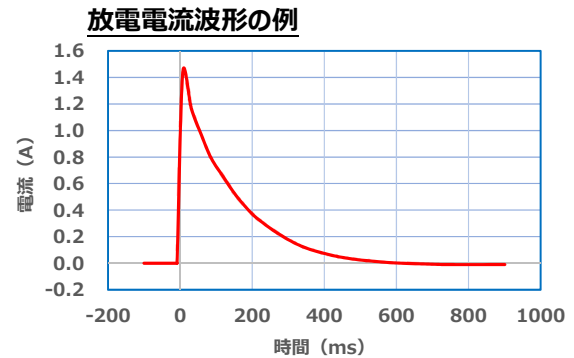
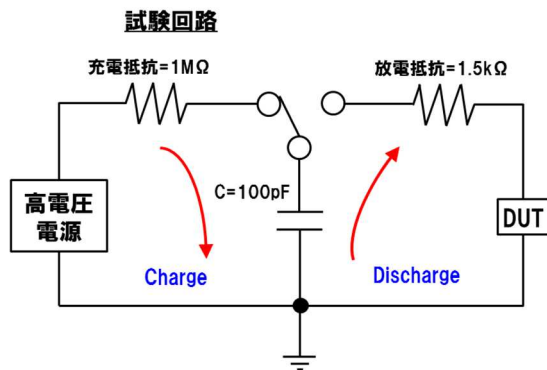
① MM 試験 (Machine Model: マシンモデル)

金属のフレームや工具のような導電体からの放電をモデルにしたものです。具体的には、製造工程において装置の電源投入後に電荷の蓄積が始まり、装置内で扱う IC/電子部品にその電荷が移動して放電が発生します。このようなタイプの ESD 現象を試験するためのモデルが MM 試験です。



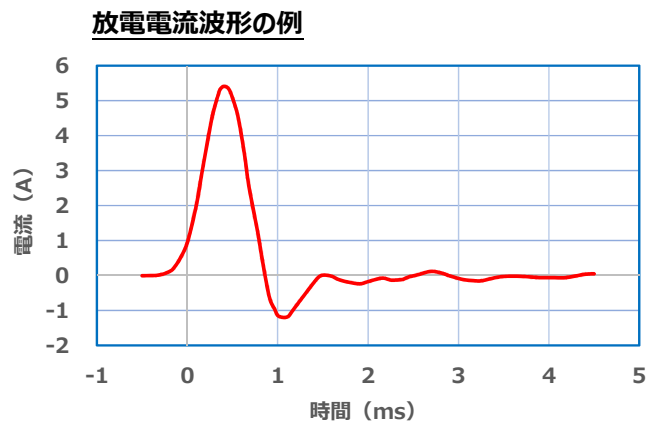
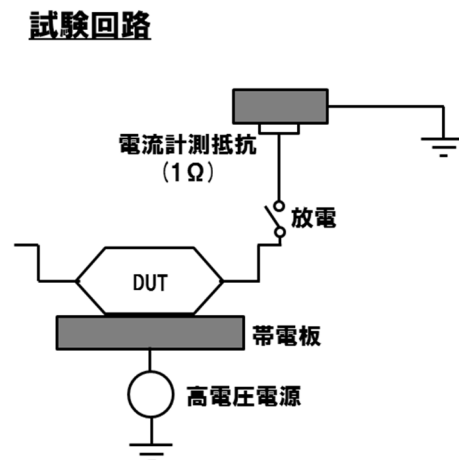
② HBM 試験 (Human Body Model: 人体モデル)

人体や帯電デバイスなどに蓄積した電荷が、対象物 (電子部品) に放電する現象をモデルにしたものです。一般的な ESD 試験として広く知られています。



③ CDM 試験 (Charged Device Model: デバイス帯電モデル)

近年の IC/電子部品は組み立て工程の自動化により、人がデバイスに触れる機会が減り、HBM による破壊も少なくなっています。CDM はこのように製造環境で起きやすい事象をモデルにしたものです。製造過程にある IC/電子部品は、電位が不安定な状態 (フローティング、非接地) に保持されていることが多く、このような状態にあるときはデバイスに電荷が蓄積し続けます。そして、装置や治工具の金属部などにこのデバイスが接触した時に放電が起こります。このようなタイプの ESD 現象を試験するためのモデルが CDM です。



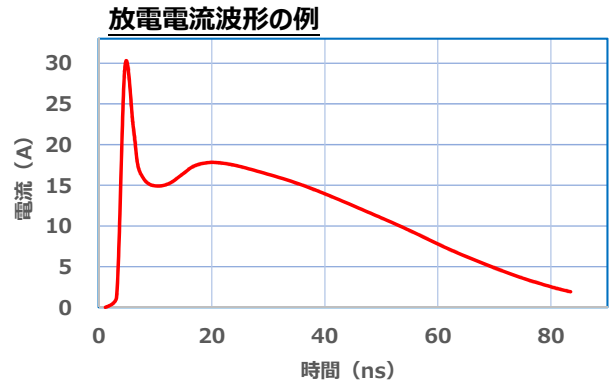
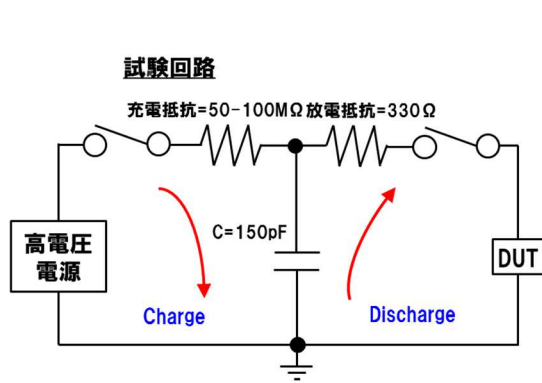
1-2 システムレベル試験 (IEC61000-4-2, 4-5 試験)

① IEC61000-4-2 試験 (ESD イミュニティ試験: 人体モデル)

前述した HBM 試験と同様に人体からの ESD を模擬したものです。例えば、人間が湿度の低い環境下に居たり、導電率の低いカーペット上を歩いたり、化学繊維製の衣服を着用した場合、人体には電荷が蓄積します。このように人体に蓄積した電荷の放電をモデル化したものです。この規格には、ESD を印加する 2 種類の方法があります。一つは、人体がデバイスに直接触れることを想定した、評価装置のコンタクト部とデバイスを直接接触させて放電を起こす「接触放電」。もう一つは、人体とデバイスが少し離れた状態で放電が発生することを想定し、評価装置のコンタクト部とデバイスの間に隙間 (空気層が介

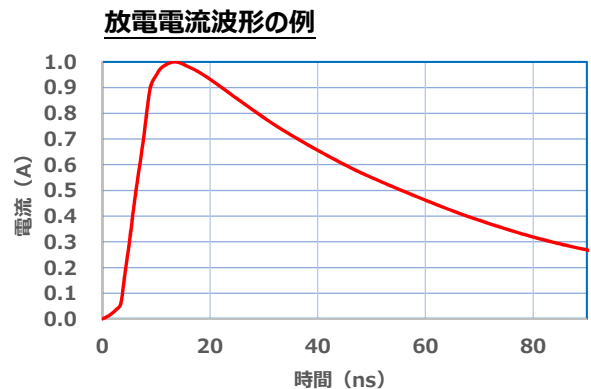
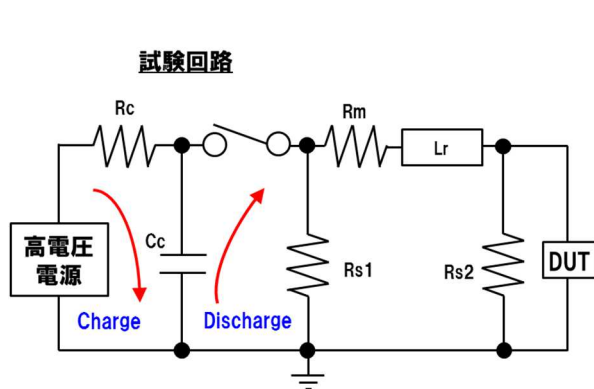
TVS ダイオード (ESD 保護ダイオード) とは

在) のある状態で放電を起こす“気中放電”です。これらの試験方法は、デバイス表面が金属であれば直接放電、樹脂などで覆われているものは気中放電などと定義されていますが、TVS ダイオードの多くは、双方の方法で試験を実施しています。



② IEC61000-4-5 試験 (サージイミュニティ試験:雷試験)

サージイミュニティ試験は、雷試験とも呼ばれ、落雷の直撃による過渡現象や、落雷の影響によってその周辺で誘起されるサージ電圧/電流などをモデル化した試験です。あるいは大型機械の電源の投入時など負荷の急変や短絡を含む電力システムのスイッチング過渡現象なども含まれます。印加するサージの電流レベルや周期を考慮すると、最も厳しいシステムレベルのイミュニティ試験です。



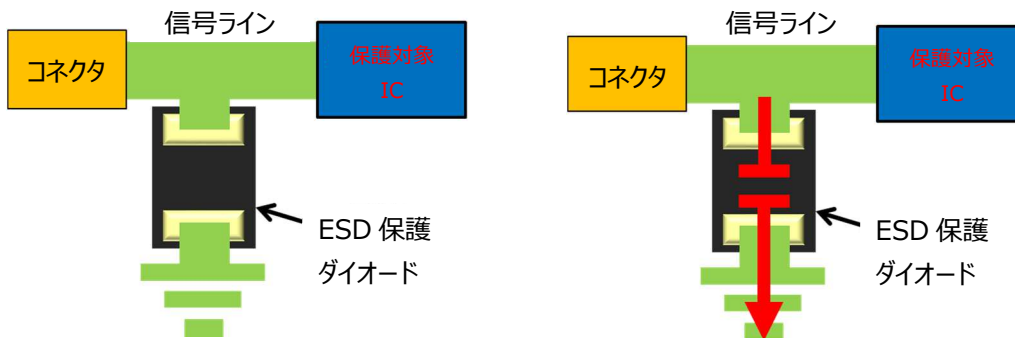
これまで説明したように、ESD 試験にはデバイスレベルの試験とシステムレベルの試験がありますが、現在はシステムレベルの ESD 試験を重要視するメーカーが多くなっています。東芝 TVS ダイオードに関しても、システムレベルの ESD 試験を重要視し対応を進めています。

次の章では、TVS ダイオードの動作について説明していきます。

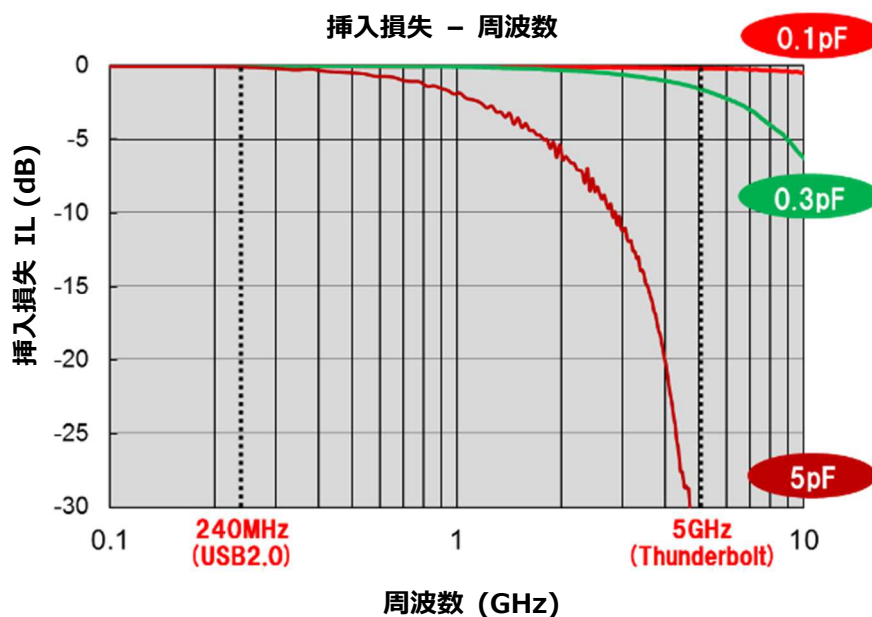
2. TVS ダイオードの動作

2-1 定常状態 (TVS ダイオードが OFF)

TVS ダイオード (ESD 保護ダイオード) は、通常、信号ライン-GND 間に配置されます。そのため、定常状態の動作ではダイオードはキャパシタンスとして見えます。このキャパシタンスが、信号速度 (特に高速信号 USB3.0 や USB3.1 など) によってはインピーダンスとして含まれるようになるため、信号ロス (挿入損失: Insertion Loss (以下 IL)) が生じ信号品質を劣化させることになります。

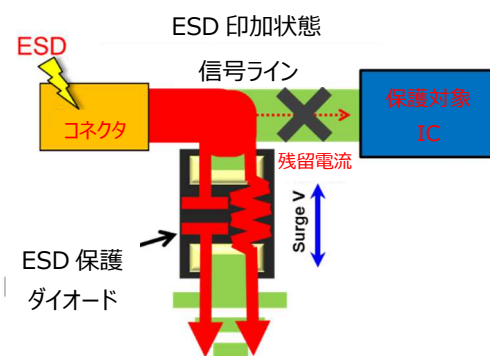
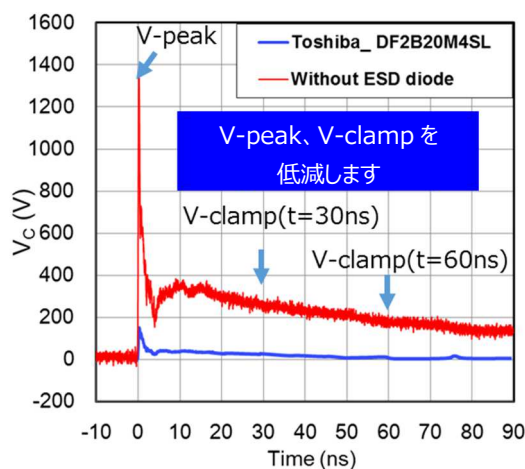


以下が、キャパシタンスの大きさによる IL の値の変化を表したグラフです。キャパシタンスの大きいものに関しては、IL が大きく (数値がマイナスに大きく変動) っており、信号速度に追従できていないことを示しています。例として、USB 2.0 (480Mbps/周波数換算:240MHz) と Thunderbolt (10Gbps/周波数換算:5GHz) のポイントを図示しましたが、キャパシタンス小さいもの (0.1~0.3pF) は、IL 値が小さく両アプリケーションに使用可能です。しかし、キャパシタンスの大きいものは、USB2.0 は使用できますが、高速で通信を行う Thunderbolt には使用できないという見方が出来ます。よって、信号速度に応じたデバイス容量を選択することが必要となります。



2-2 ESD (サージ・外乱ノイズ) 侵入状態

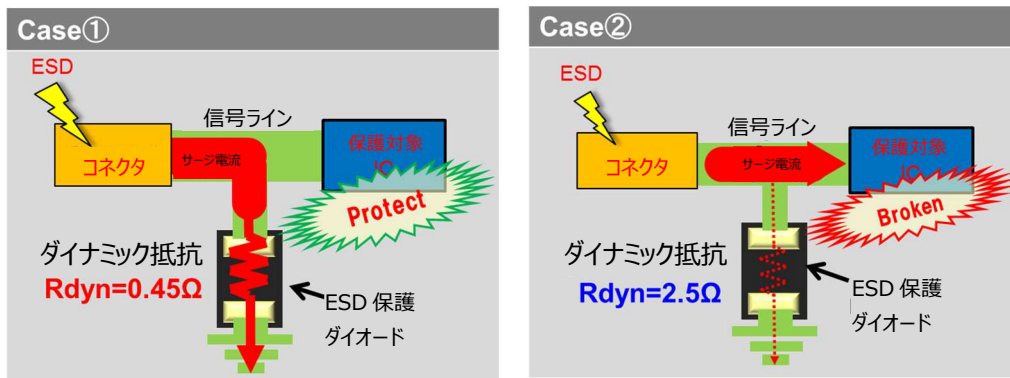
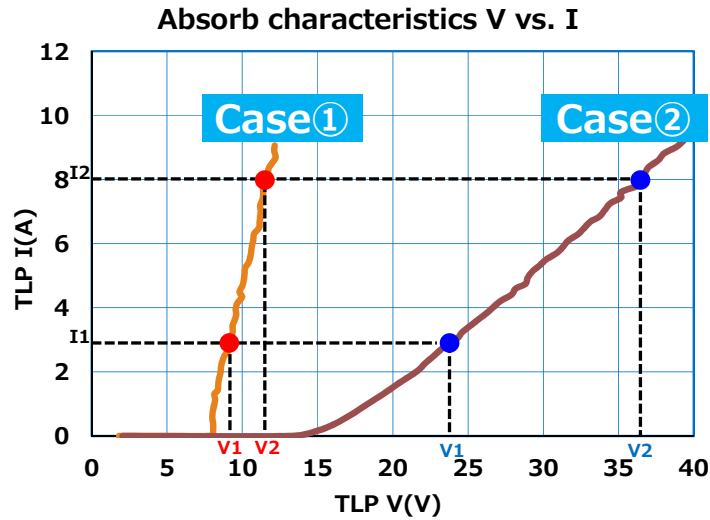
実際に ESD (サージや外乱ノイズなど) 侵入状態では、TVS ダイオードの有無により後段素子 (IC など) への影響度が大きく異なります。TVS ダイオードがない場合は、侵入したサージ電流がダイレクトに後段素子にかかり誤動作や破壊に至ります。一方で、TVS ダイオードがある場合は、サージ電流は TVS ダイオードを介してグランドに逃がします。ここで注目されるのが、ESD 侵入直後のピーク電圧 (V-peak 電圧) と印加後の 30ns 電圧 (V-clamp 電圧)、印加後の 60ns 電圧 (V-clamp 電圧) になります。各電圧が低ければ低いほど TVS ダイオードの保護性能が高いことになります。また、波形の面積が小さいほど、後段素子へのダメージが抑制されます。以下に、TVS ダイオードの有無によるサージ電圧波形 (クランプ波形) の比較を行いました。TVS ダイオードをいれることによって大幅に改善されることがわかります。



IEC61000-4-2 印加時のクランプ波形 (イメージ)

前段で述べたような通常状態の動作、ならびに ESD 侵入状態に加え重要なポイントがあります。TVS ダイオードの動的抵抗 (ダイナミック抵抗: R_{dyn}) です。この動的抵抗が低ければ低いほど、サージ電流をよりグランドへ吸収することができます。また、そのダイナミック抵抗間 (両端) に発生する電圧 (クランプ電圧) を抑えることができますので、後段素子への残留電流 (TVS ダイオードで吸収できなかったサージ電流) を抑えることができ、後段素子を保護する性能が向上します。

$$\text{ダイナミック抵抗 (Rdyn)} = \frac{(\text{TLP V2} - \text{TLP V1})}{(\text{TLP I2} - \text{TLP I1})}$$



3 最後に

TVS ダイオードは、外部から侵入する ESD やサージを吸収し、回路の誤動作の防止や後段素子を保護するためにさまざまなセットに使用されています。当社では、モバイル機器やコンシューマ機器など、さまざまなアプリケーションに対応した TVS ダイオードをラインナップしています。これまで述べた ESD 試験規格や、TVS ダイオードの動作を参考にして、ご使用・ご検討をお願いいたします。

東芝 TVS ダイオード： <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/product/diode/esd-protection-diode.html>

製品取り扱い上のお願ひ

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。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com>