

# TOSHIBA

電源ラインから信号ラインまで幅広く

## 回路保護に必須 TVSダイオードの基礎

東芝デバイス&ストレージ株式会社

# Contents

- 01 はじめに、最新電子機器の課題と保護素子の重要性
- 02 TVSダイオードの基本動作
- 03 TVSダイオードの重要特性
- 04 TVSダイオードの選定方法や設計にあたってのポイント
- 05 最新のTVSダイオード製品

# 01

はじめに、

最新電子機器の課題と保護素子の重要性

# はじめに

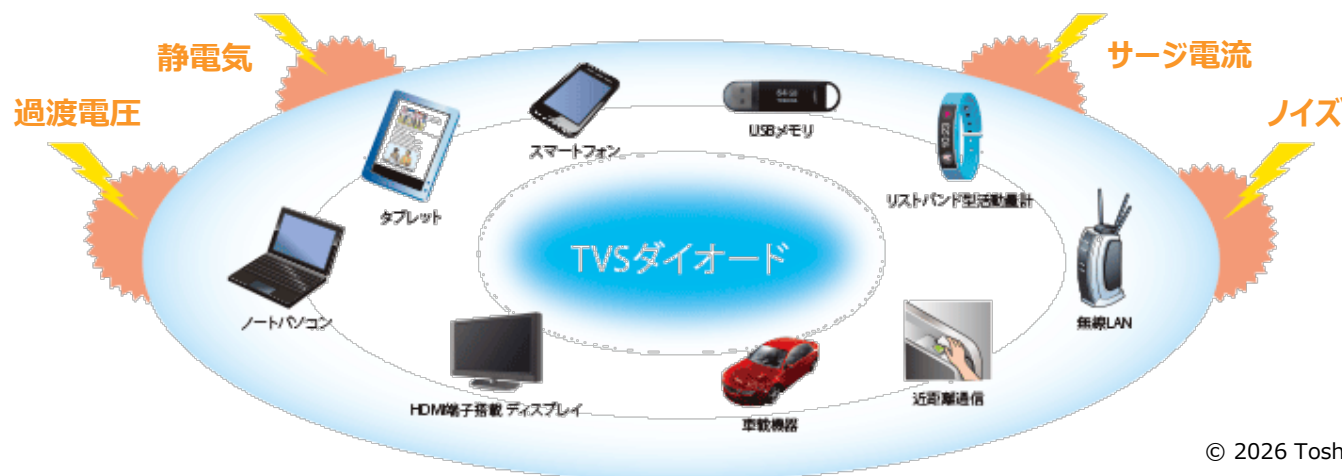
もっとも身近なサージといえば、**静電気放電(ESD : Electro Static Discharge)**で**静電気はどこにでもある、ありふれたものです**

MIL-HDBK-773Aより

静電気の電圧 (V)	電撃の強さ
1,000	全く感じない
2,000	指の外側に感じるが痛まない
3,000	針で刺された感じを受け、ちくりと痛む
4,000	針で深く刺された感じを受け、指がかすかに痛む
5,000	手のひらから前腕まで痛む
8,000	手のひらから前腕までしびれた感じを受ける
10,000	手全体に痛みと電気が流れた感じを受ける

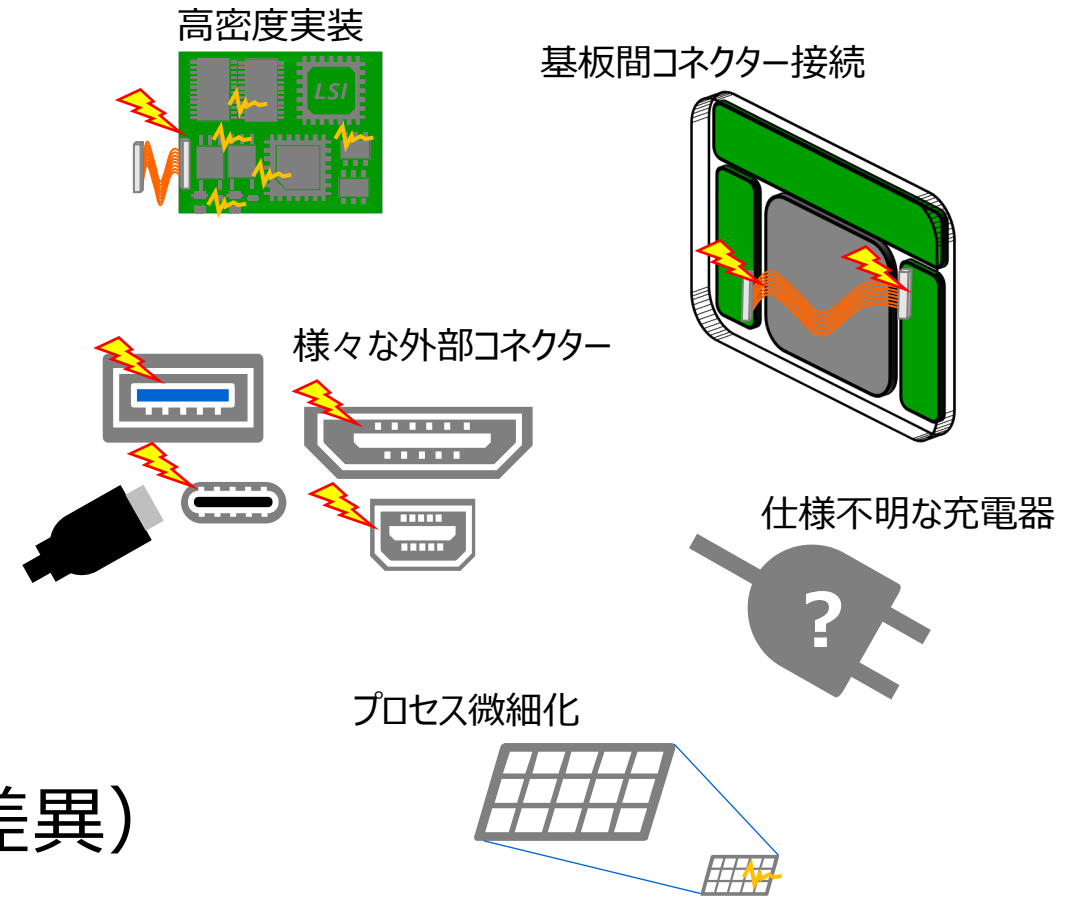
静電気発生源	帯電電圧 (V)	
	相対湿度10~20%	相対湿度65~90%
じゅうたん上を歩く人	35,000	1,500
ビニール床上を歩く人	12,000	250
作業台で作業する人	6,000	100
作業指示用のビニールケース	7,000	600
作業台から取り上げたポリ袋	20,000	1,200
ポリウレタンフォームを詰めた作業イス	18,000	1,500

電子機器とその中の電子デバイスは、**静電気に代表されるサージに影響を受ける機会が多いです**



## 近年の電子機器の特長

- ✓ 基板の小型化 / 狭い部品間隔
- ✓ セットの小型化による基板分割
- ✓ 外部コネクタ数の増加
- ✓ コネクタ接続の周辺機器の増加
- ✓ 高性能 & 多種多様なIC/LSI搭載  
(プロセスの微細化 & サージ耐量レベル差異)

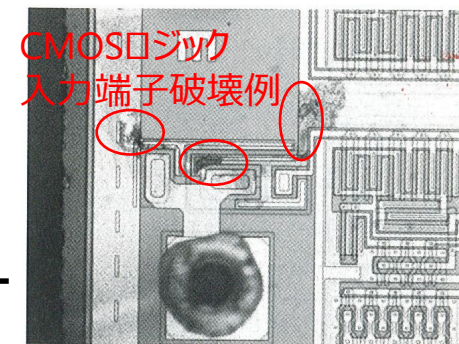


静電気などサージの影響を受けやすい環境、耐性も弱くなる方向で  
破壊リスクにさらされています

# 保護ダイオードはどのようにして必要なのか？ 保護ダイオードがなかったら？

サージ対策をしていないと

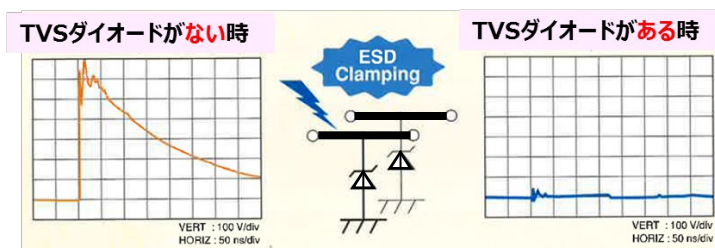
- ✓ 製品が壊れます
- ✓ 製品の評判が落ちます
- ✓ 会社ブランド力が落ちます



➡ 原因追及や顧客対応に時間とコストを要し、新製品開発も進みません

ダイオードが有ったら

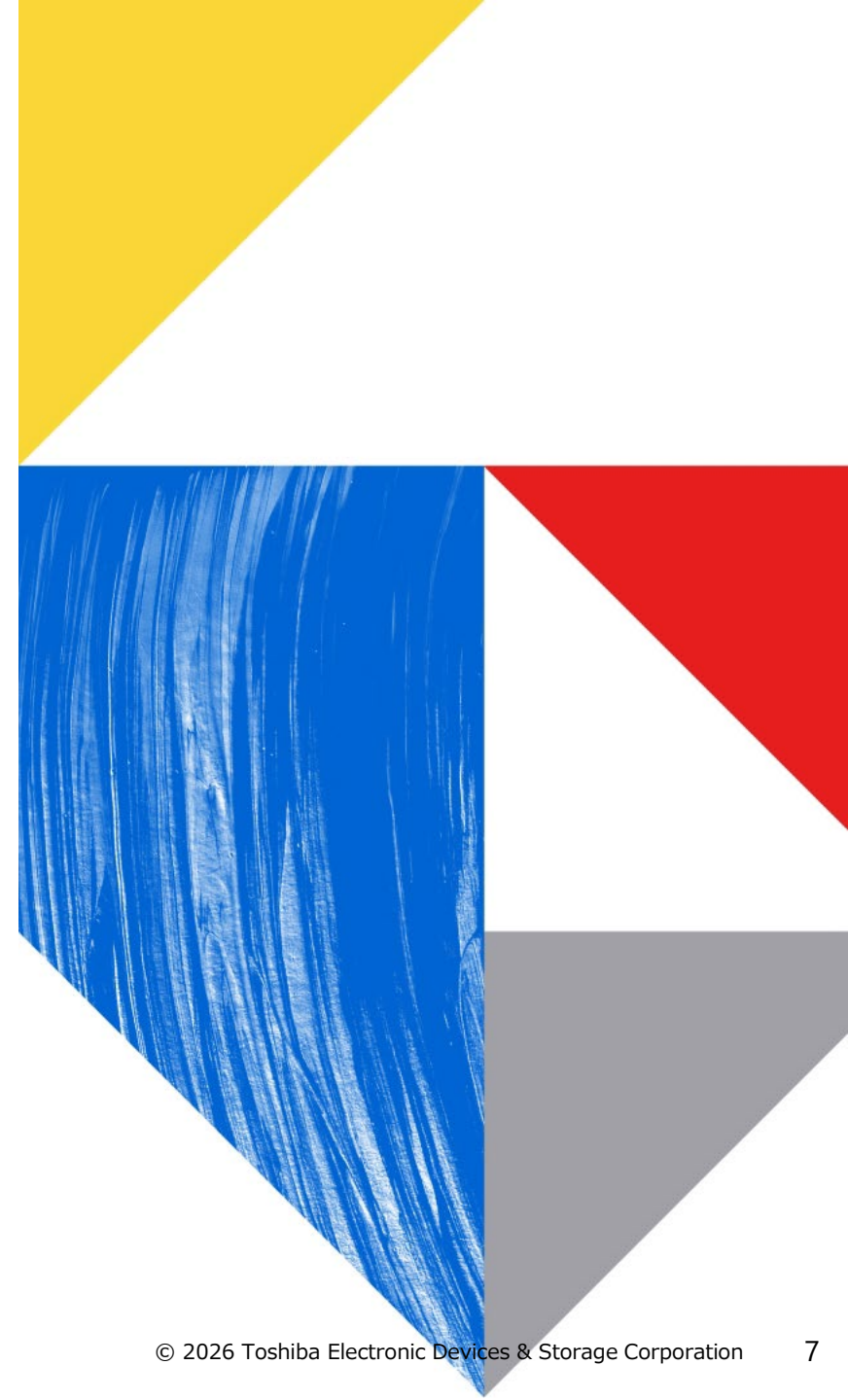
- ✓ 製品の破壊リスクが低減します
- ✓ 製品の信頼性が高まります
- ✓ 製品の評判が高まります
- ✓ 会社の信頼が上がります



TVSダイオードを搭載するだけで、サージに強くなり、破壊リスクの低減ができます

# 02

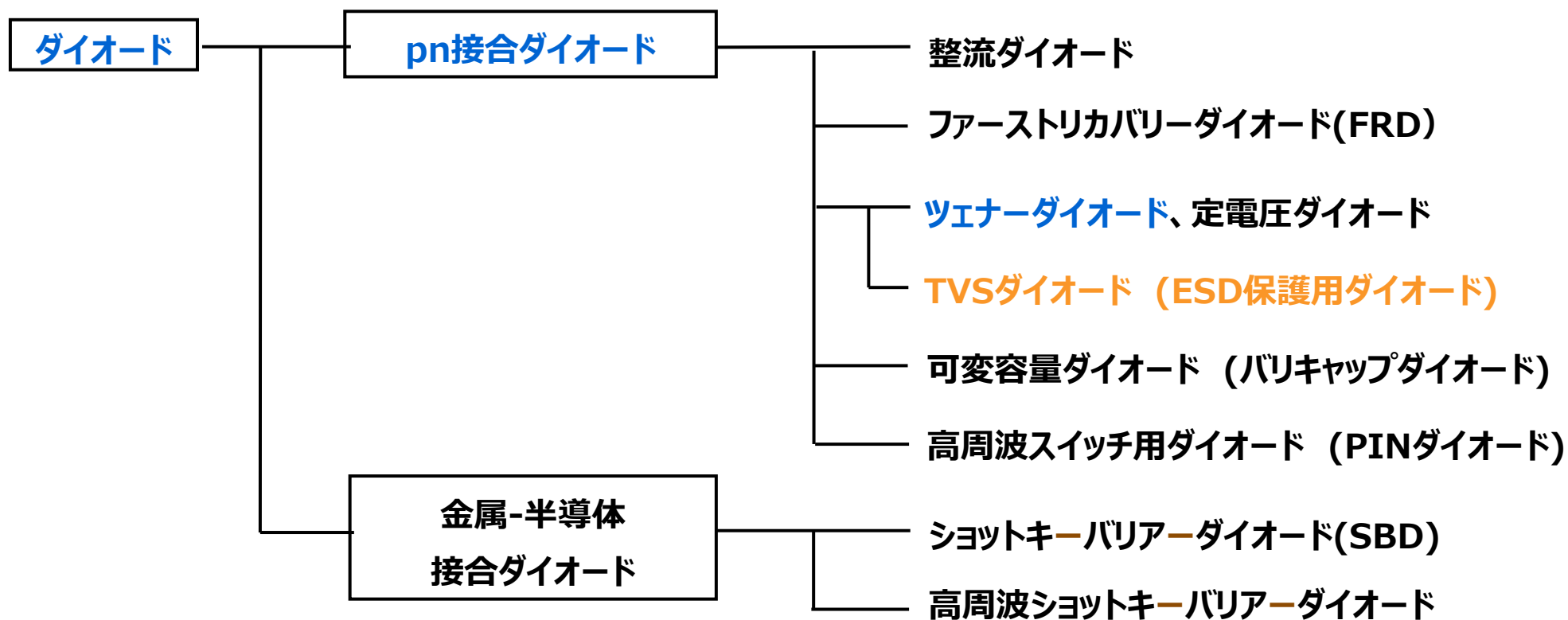
## TVSダイオードの基本動作



# TVSダイオードとは

pn接合ダイオードの一種であるツェナーダイオードを元に、静電気(ESD)や過電圧パルスからデバイスを保護する特性に焦点を置いて進化させたダイオードです

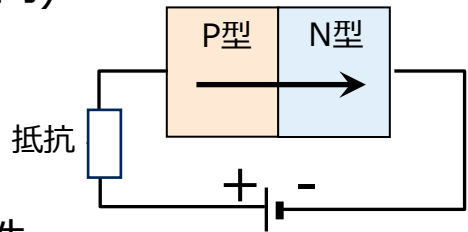
TVS(Transient Voltage Suppressor)



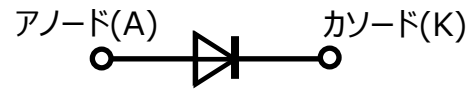
# pn接合ダイオードのおさらい

pn接合ダイオードは、P型半導体と、N型半導体を接合したダイオードです  
印加される電圧の方向によって電流が流れたり、流れなかったりする性質を持っています

## ■ 極性(順方向) アノード(A) カソード(K)



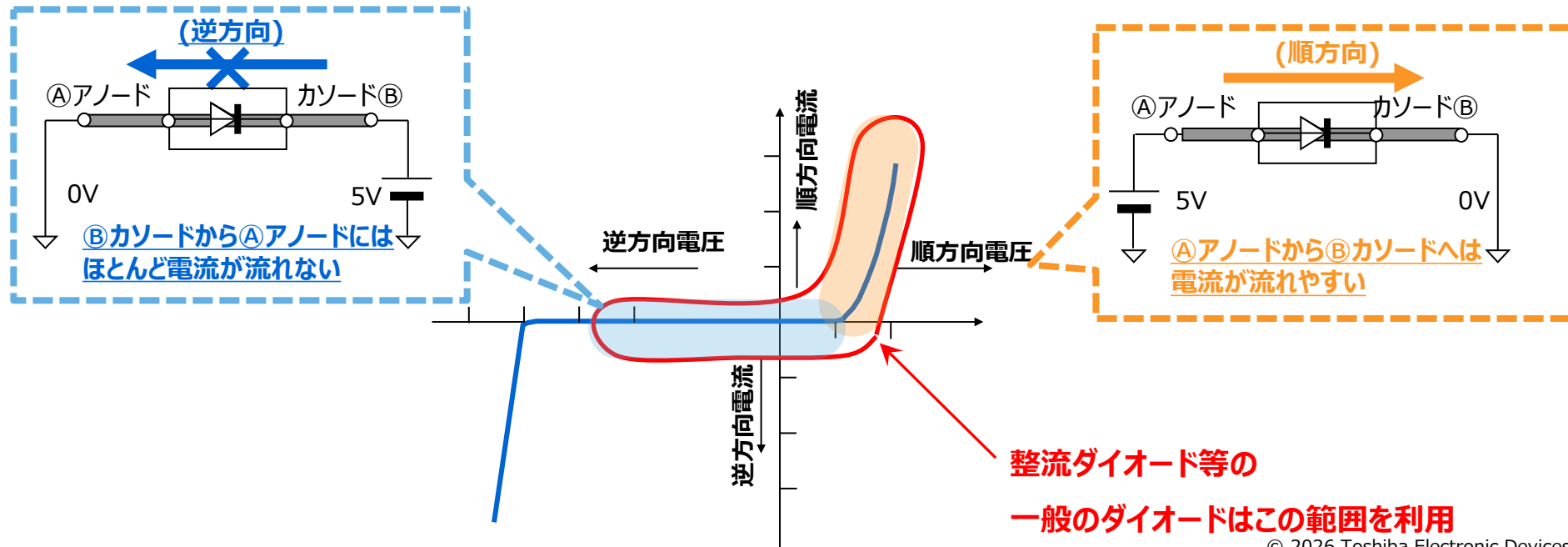
## ■ 記号



## ■ 外観例



## ■ 電気的特性

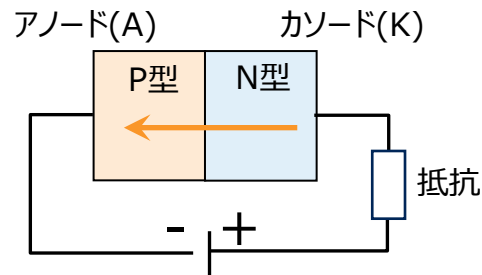


# ツェナーダイオード と TVSダイオード

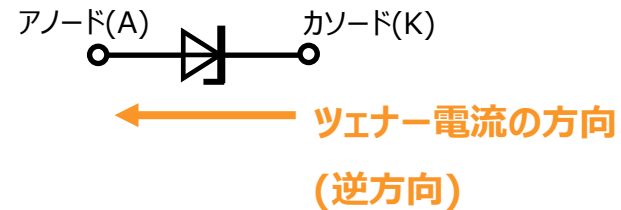
ツェナーダイオードは、PN接合の逆方向特性を利用するダイオードです。

PN接合ダイオードの逆方向電圧を上げていくと、ある電圧点で大きな電流が流れ始め（この降伏電圧をツェナー電圧と呼ぶ）電流に関わらずある一定の電圧が得られます。この特性を積極的に利用しています。

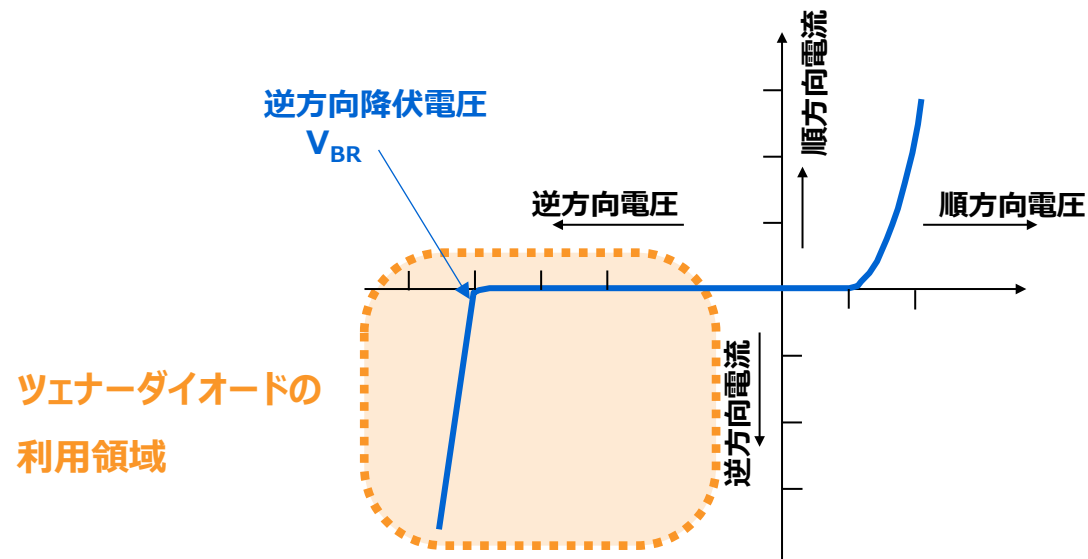
## ■ 極性構造



## ■ 記号



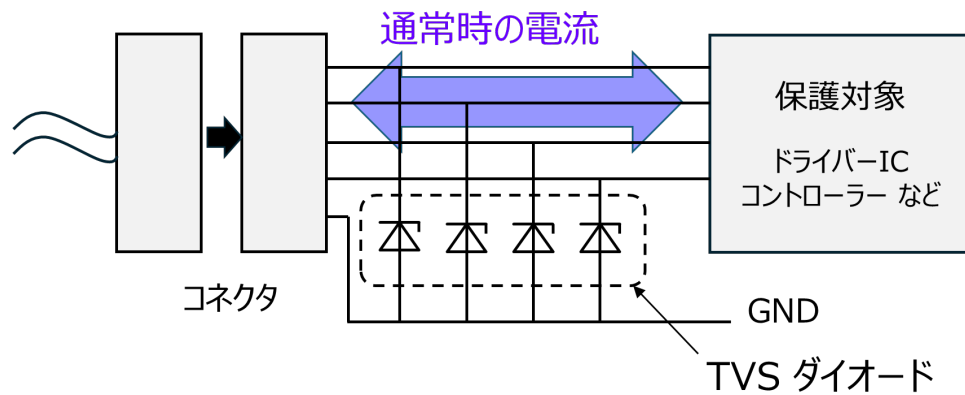
## ■ 電気的特性



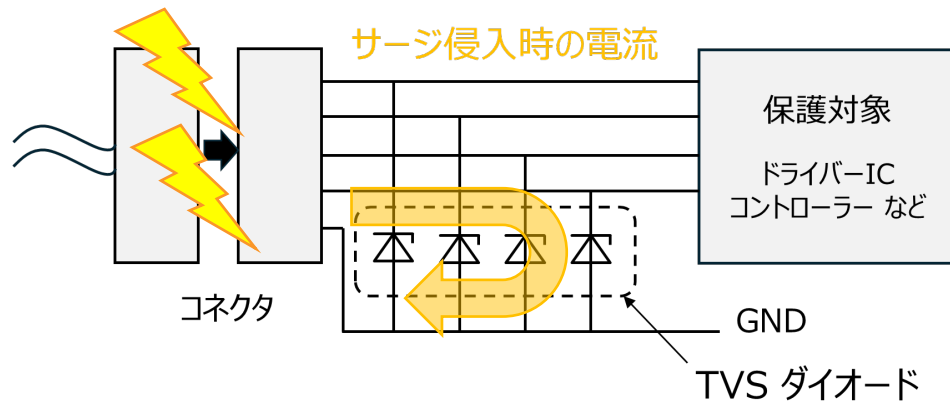
# TVSダイオードの基本動作

## TVSダイオードは、通常動作時と、過電圧パルス侵入時に動作範囲が異なります

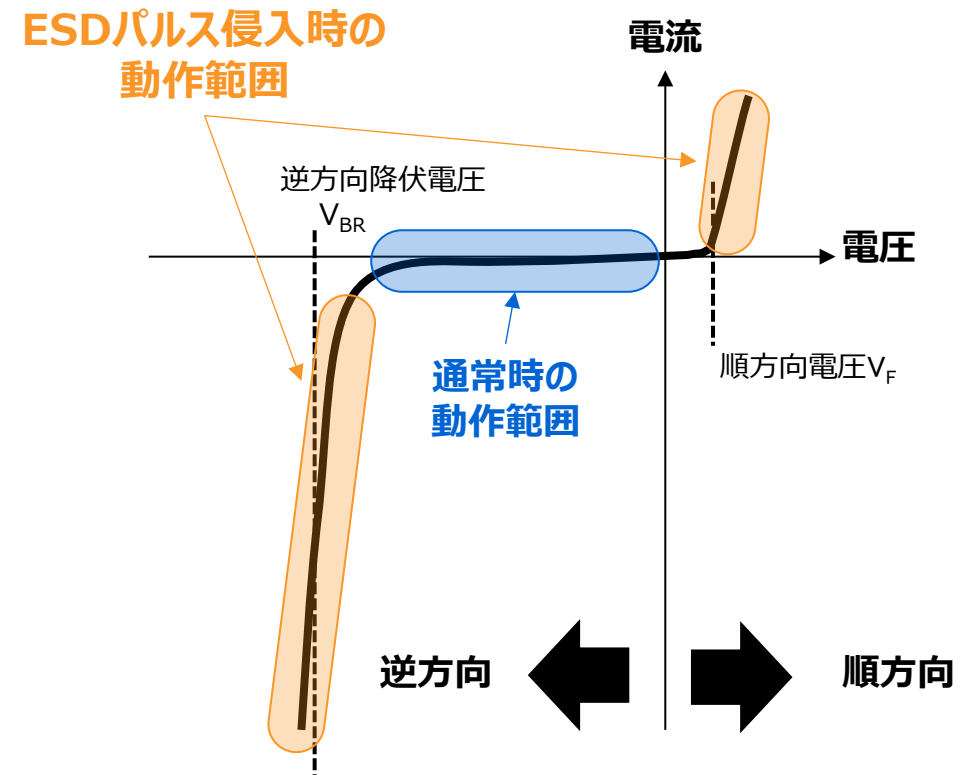
サージが侵入していないときの（機器にとって通常動作時）



サージ侵入時のイメージ

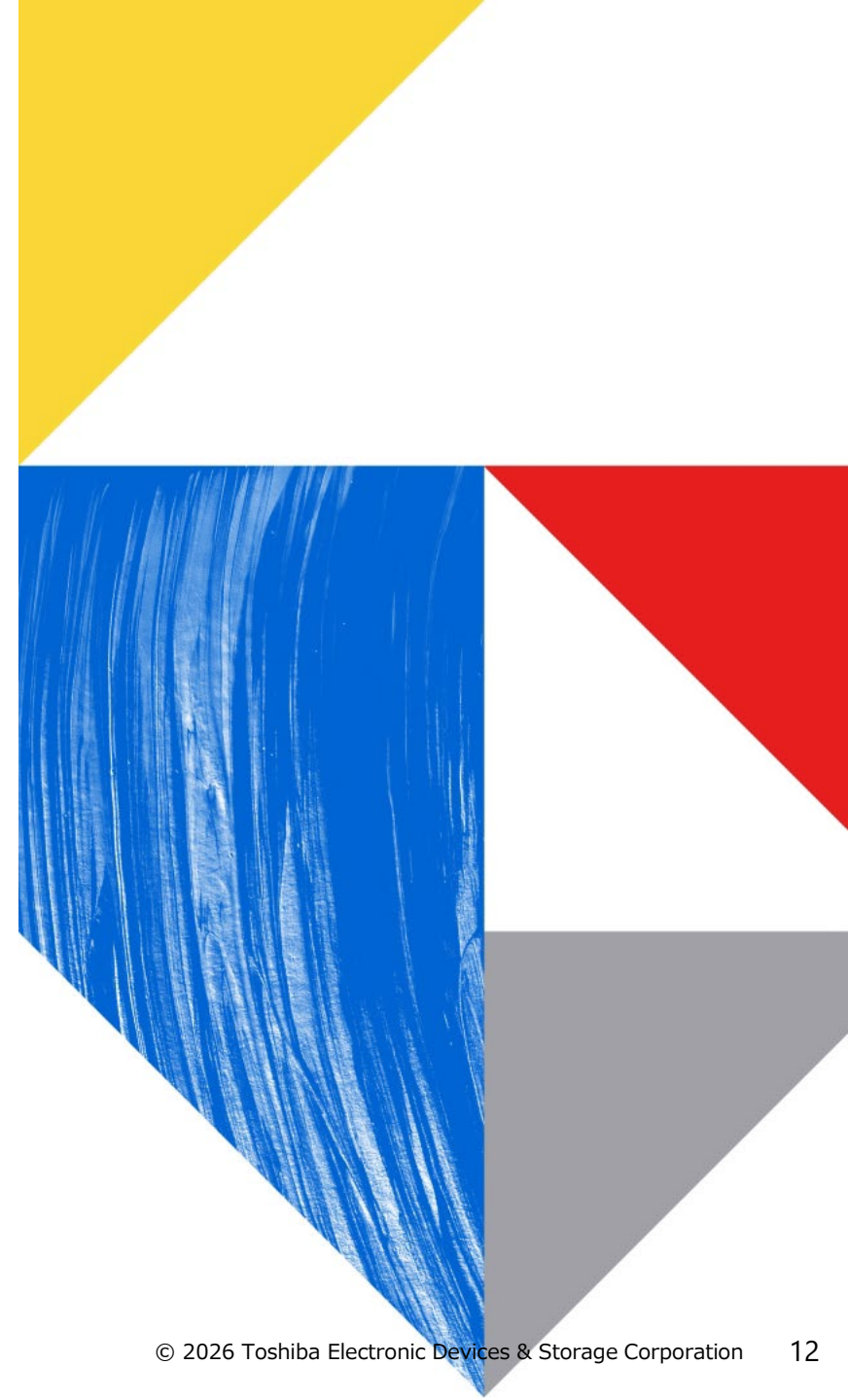


### TVSダイオード 動作範囲



# 03

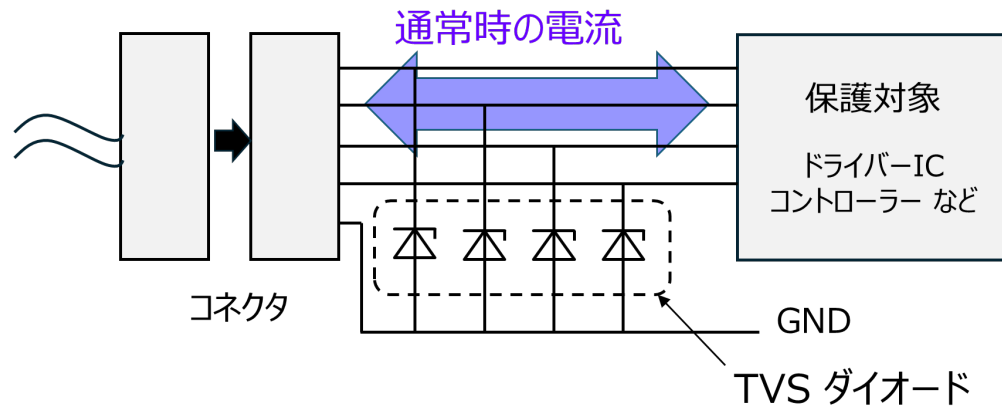
## TVSダイオードの重要特性



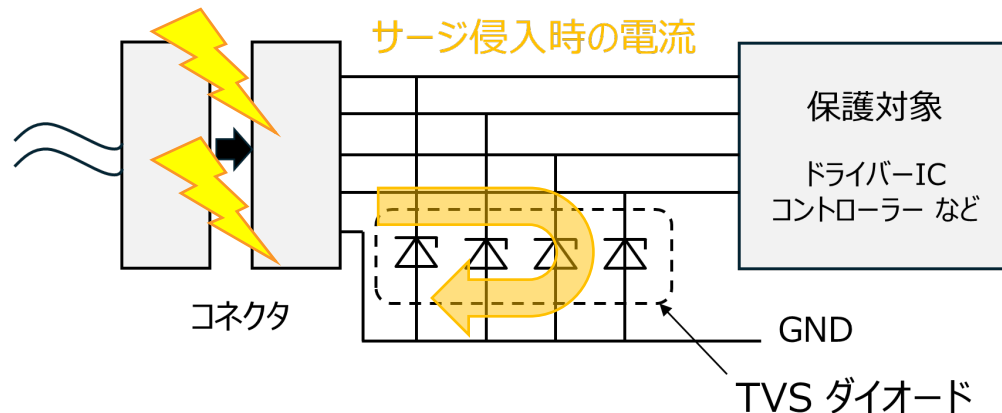
# TVSダイオードの重要特性

重要特性も 通常動作時と、過電圧パルス侵入時で 異なります

サージが侵入していないとき（機器にとって通常動作時）



サージ侵入時のイメージ



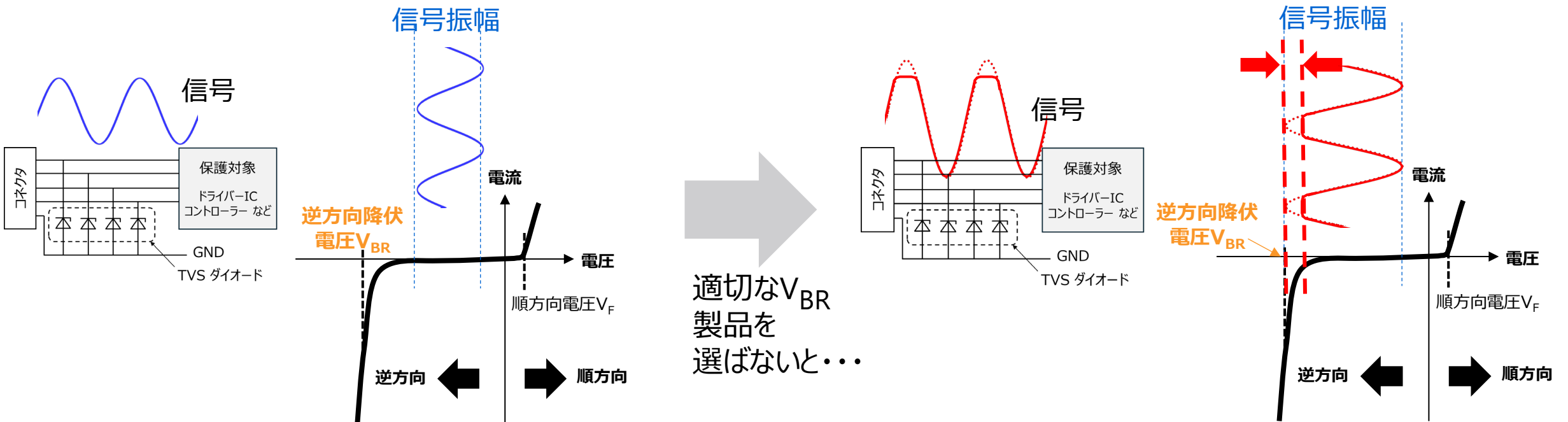
## 重要特性

- ① 逆降伏電圧 $V_{BR}$   
(ツェナー電圧 $V_Z$ )
- ② 信号の極性
- ③ 端子間容量 $C_T$
- ④ ダイナミック抵抗 $R_{DYN}$
- ⑤ クランプ電圧 $V_C$

# TVSダイオードの重要特性 ①逆降伏電圧 $V_{BR}$ (ツェナー電圧 $V_Z$ )

## ①逆降伏電圧 $V_{BR}$ (ツェナー電圧 $V_Z$ )

: 指定された逆電流( $I_R=5mA$ 等)における、逆電圧 $V_R$ の値です



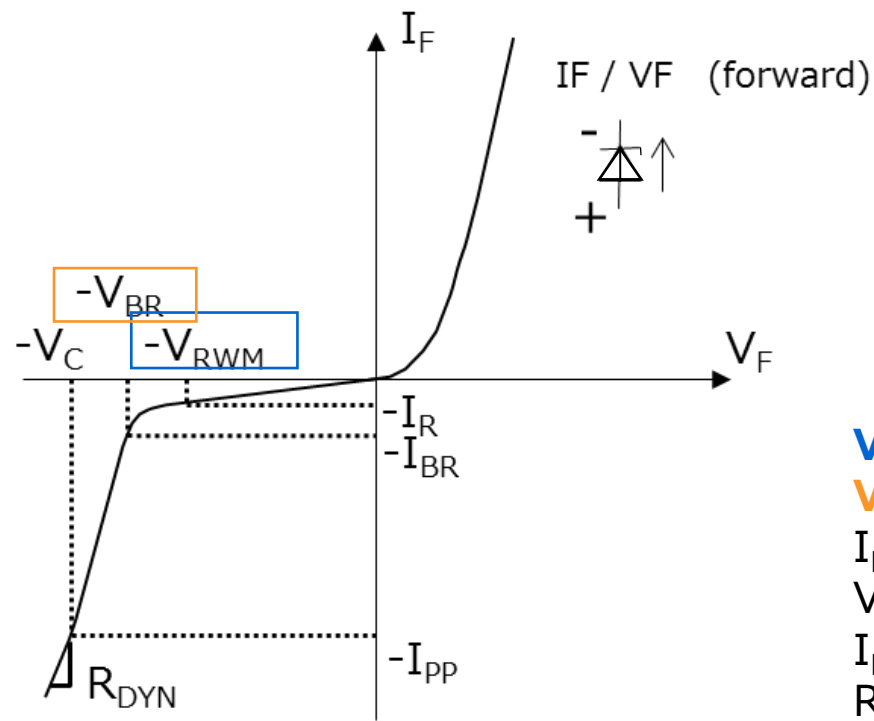
保護対象の信号のハイレベル電圧より、高い電圧を選ぶ必要があります

信号のハイレベル電圧が5Vの場合は、 $V_{BR}$  ( $V_Z$ )が6.2Vや6.8V等の製品がお奨めです

# TVSダイオードの重要特性 ①逆降伏電圧 $V_{BR}$ (ツェナー電圧 $V_Z$ )

## ①逆降伏電圧 $V_{BR}$ (ツェナー電圧 $V_Z$ )

実際の製品のデータシート記載例



項目	記号	注記	測定条件	最小	標準	最大	単位
ピーク逆動作電圧	$V_{RWM}$		—	—	—	5	V
ツェナー電圧 (逆方向降伏電圧)	$V_Z$ ( $V_{BR}$ )		$I_Z = 5 \text{ mA}$ ( $I_{BR} = 5 \text{ mA}$ )	6.4	6.8	7.2	V
動作抵抗	$Z_Z$		$I_Z = 5 \text{ mA}$ ( $I_{BR} = 5 \text{ mA}$ )	—	—	30	$\Omega$
逆電流	$I_R$		$V_{RWM} = 5 \text{ V}$	—	—	0.5	$\mu\text{A}$

$V_{RWM}$ 定義

- $V_{RWM}$  : ピーク逆動作電圧
- $V_{BR}$  : 逆方向降伏電圧
- $I_R$  : 逆電流
- $V_C$  : クランプ電圧
- $I_{PP}$  : ピークパルス電流
- $R_{DYN}$  : ダイナミック抵抗

常温でTVSダイオードがブレイクダウンしない電圧  
 常温でTVSダイオードがブレイクダウンする電圧

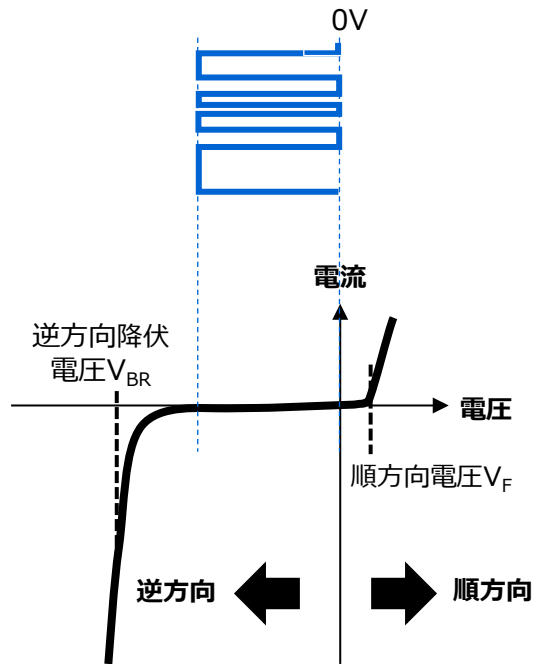
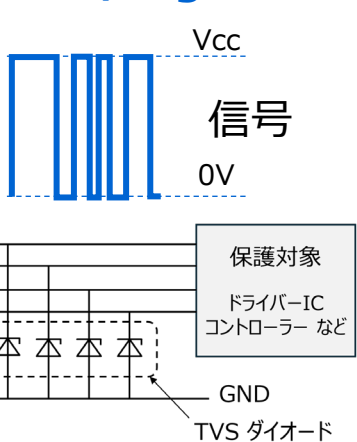
製品によってはピーク逆動作電圧 $V_{RWM}$ を定義しています  
 信号振幅の最大値が $V_{RWM}$ 以下になるようにTVSダイオードを選択します

# TVSダイオードの重要特性 ②信号の極性

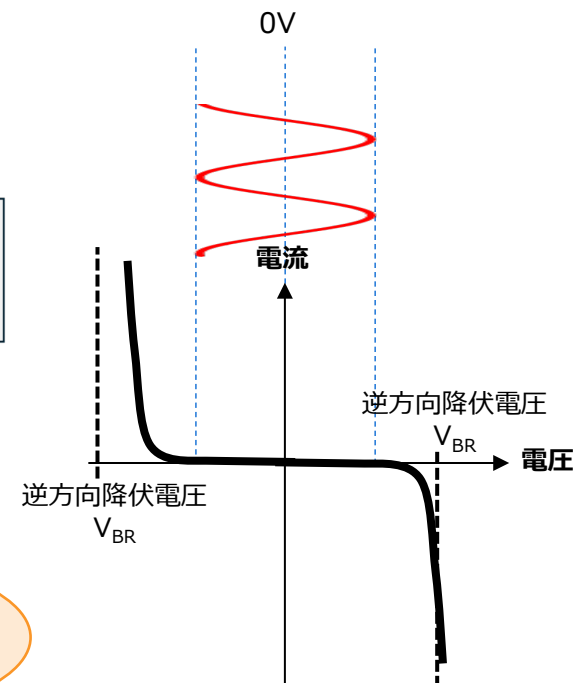
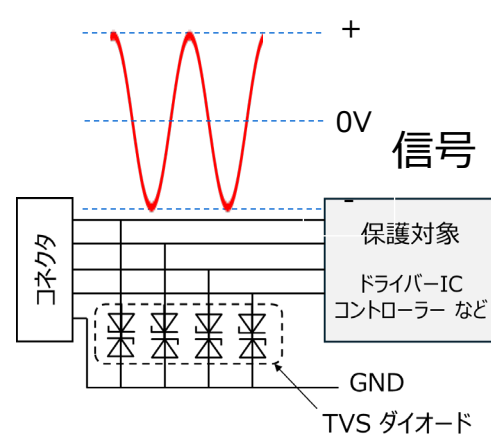
## ②信号の極性

アナログ信号のようにGNDをまたがる信号か？

Low/Highで振れるデジタル信号など



GND中心で振れるアナログ信号など

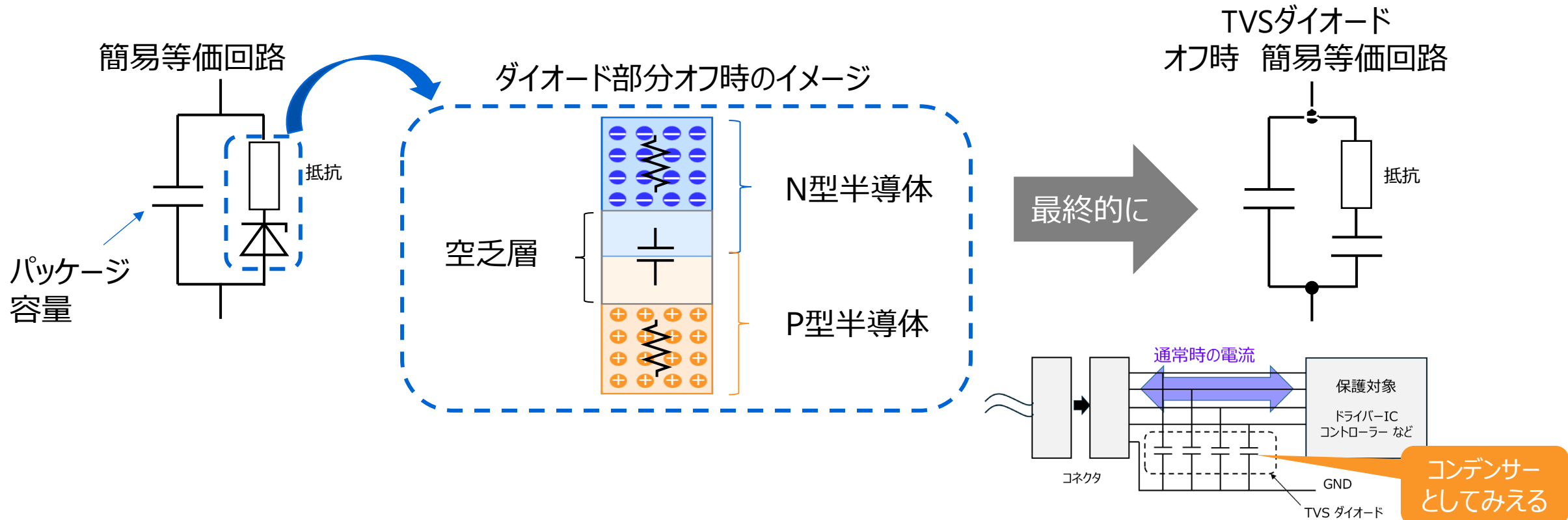


両極性の信号であれば双方向のESD保護用ダイオードを選択する必要があります

# TVSダイオードの重要特性 ③端子間容量 $C_T$

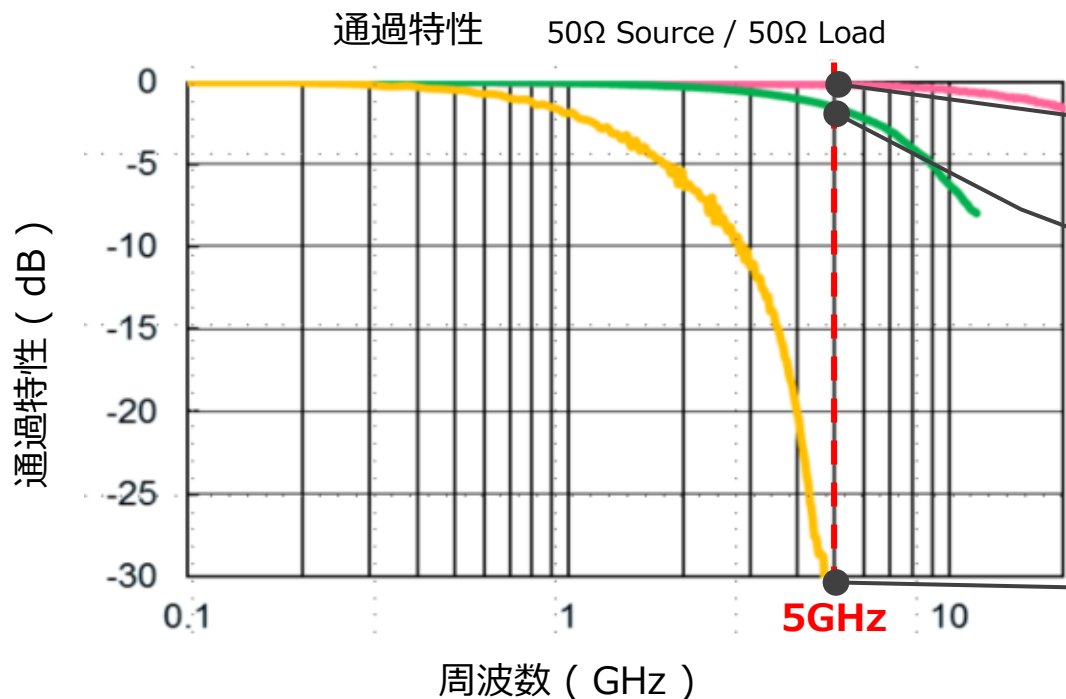
## ③端子間容量 $C_T$

通常動作時のTVSダイオードの等価回路

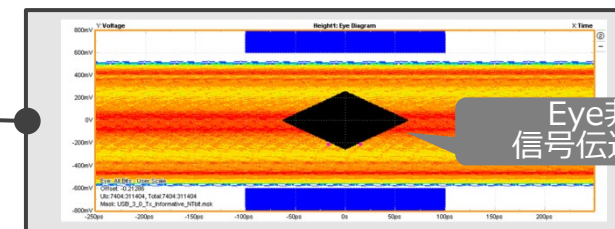
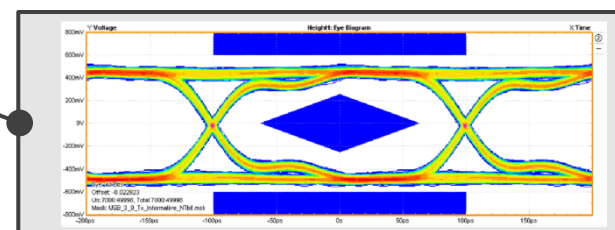
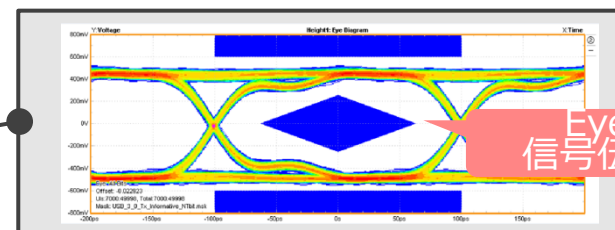


ダイオードの空乏層はコンデンサーとして働き、信号波形に影響を与えることになる

## TVSダイオードの端子間容量と挿入損失



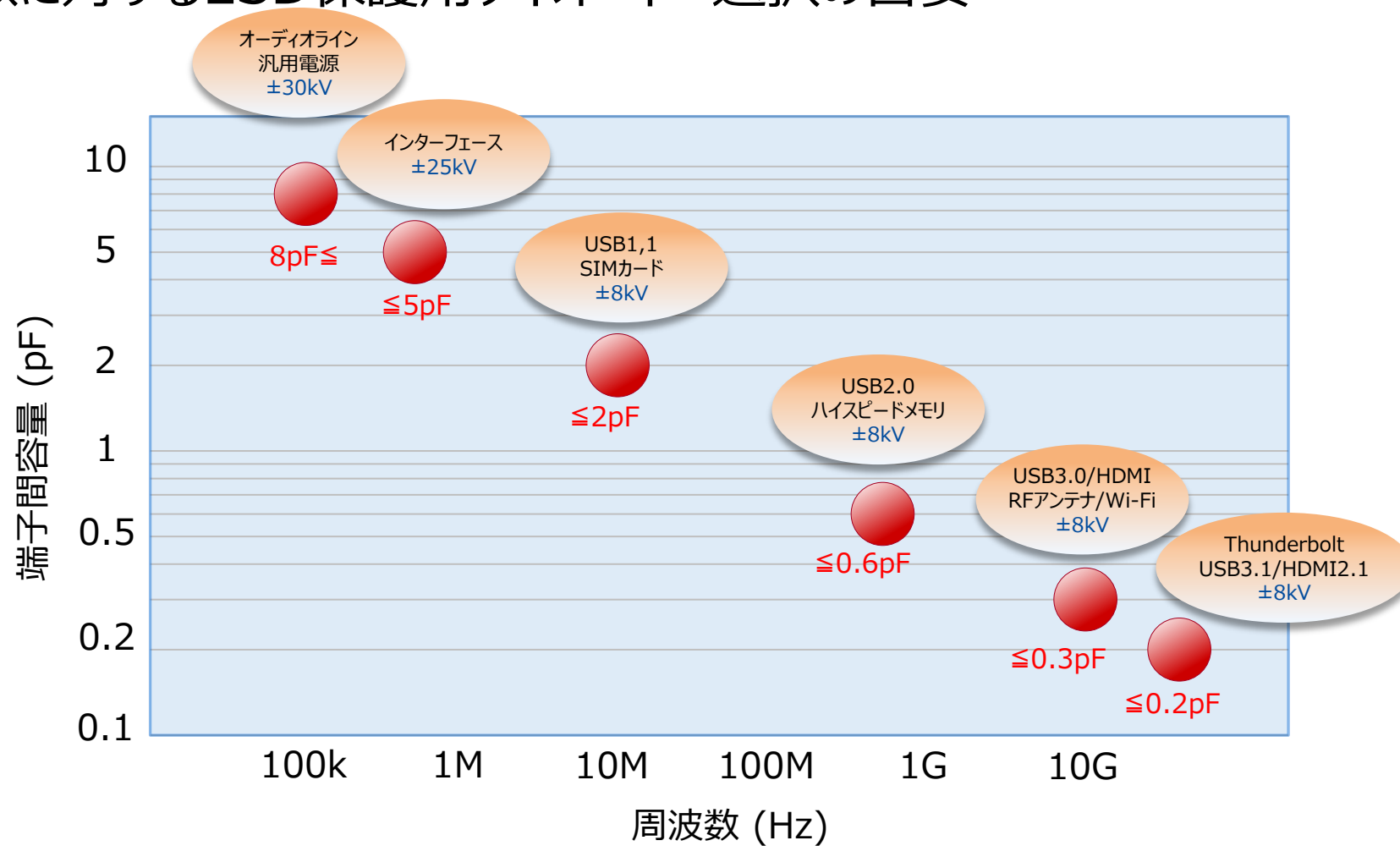
## Eye Pattern (評価結果USB3.1信号印加時)



信号ラインの周波数に対して適切な素子を選択しないと信号品質に影響します

# TVSダイオードの重要特性 ③端子間容量 $C_T$

## 周波数に対するESD保護用ダイオード 選択の目安

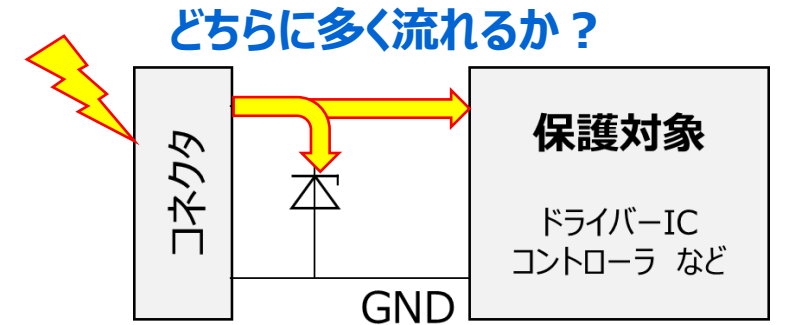
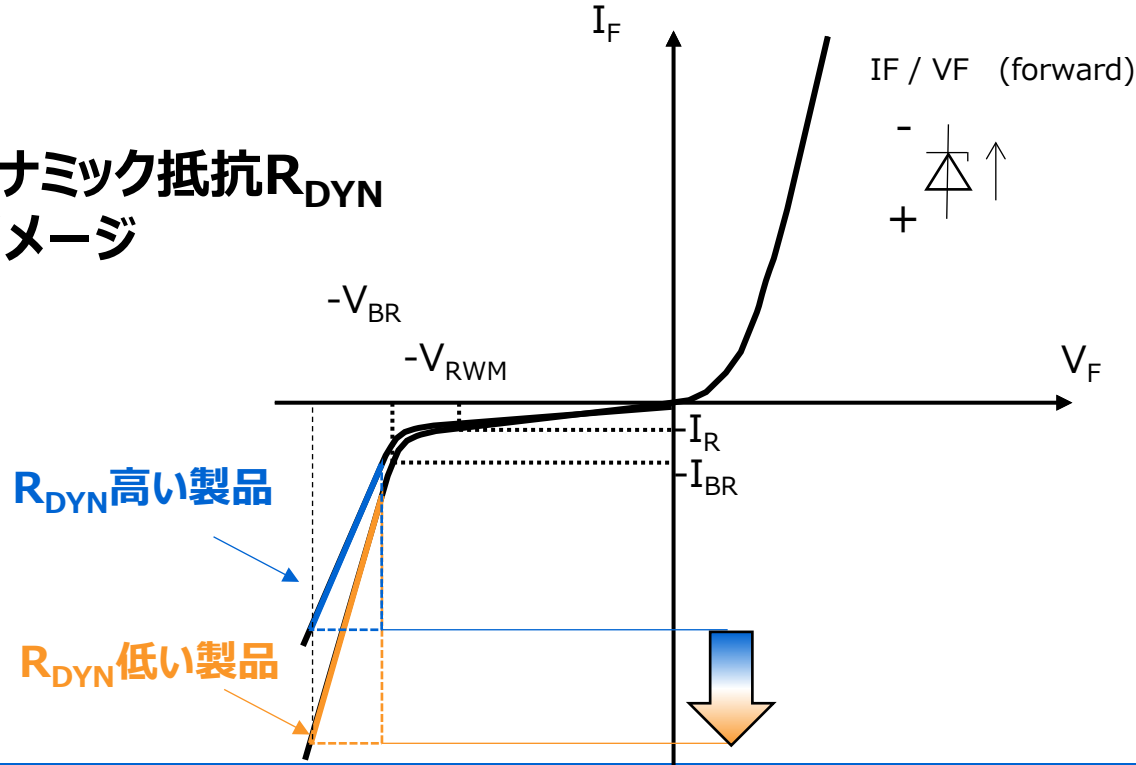


# TVSダイオードの重要特性 ④ダイナミック抵抗 $R_{DYN}$

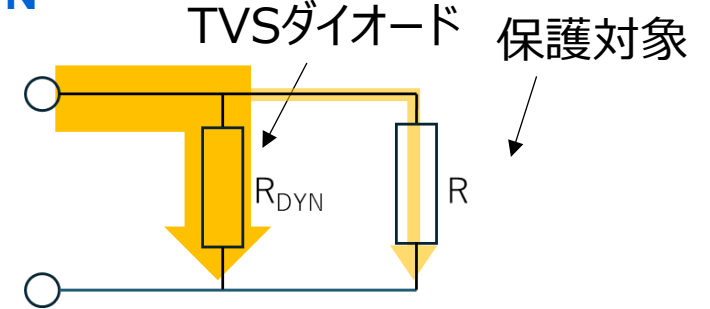
## ④ダイナミック抵抗 $R_{DYN}$

サージ侵入時、TVSダイオードがオンしたときのインピーダンスです

ダイナミック抵抗 $R_{DYN}$   
のイメージ



$R_{DYN}$ が低いと保護対象の電流は小さくなる

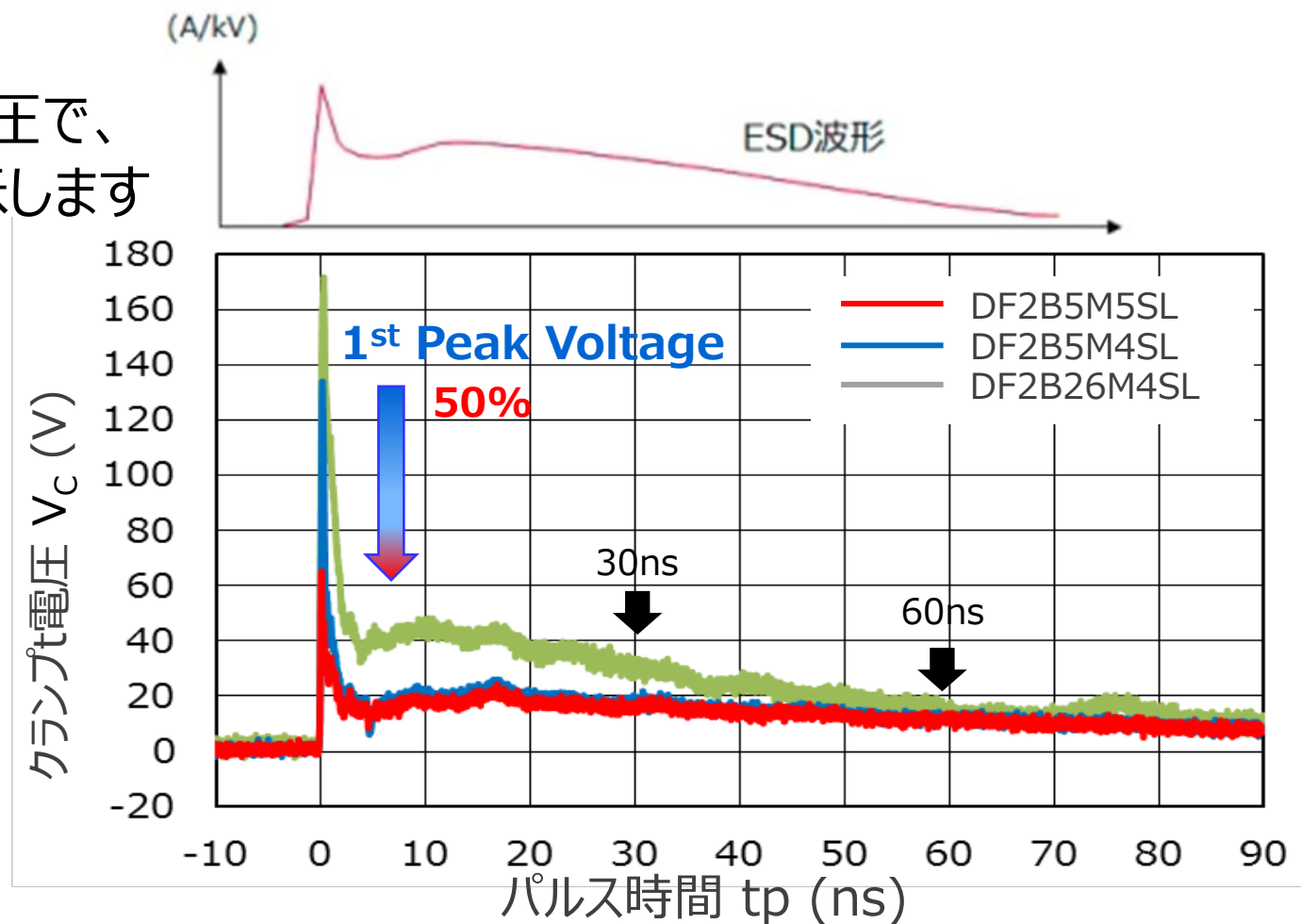
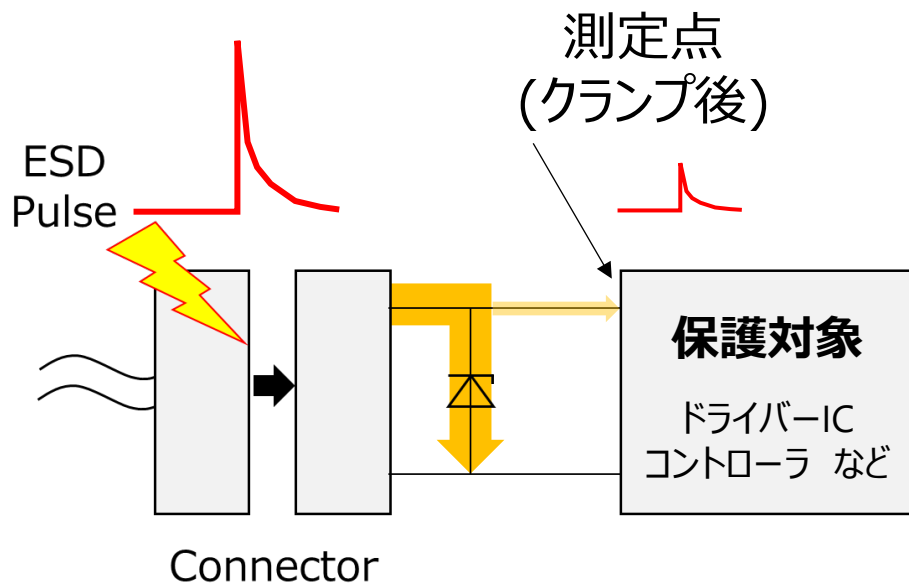


TVSダイオードのインピーダンス (ダイナミック抵抗) が低ければ、  
大部分の電流はTVSダイオードに流れ保護対象に流れる電流は小さくなります

# TVSダイオードの重要特性 ⑤クランプ電圧 $V_C$

## ⑤クランプ電圧 $V_C$

TVSダイオードによって制限された電圧で、ESD等のサージパルス吸収性能を示します

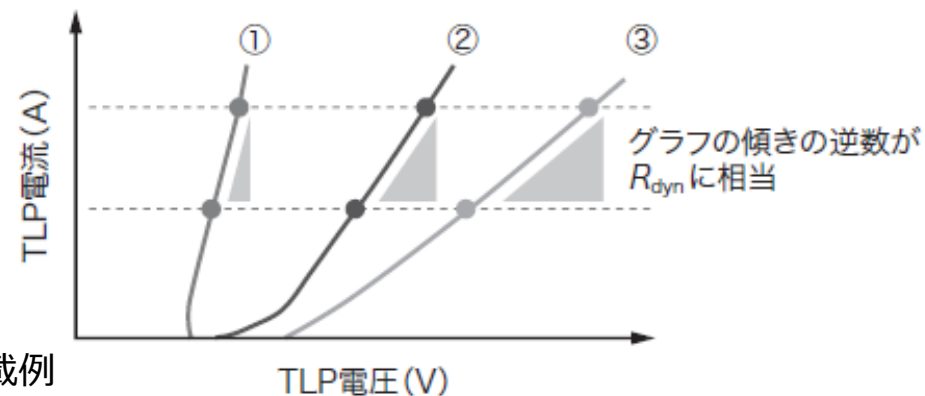


クラムプ波形の総面積が小さいほど、保護対象へのダメージが抑制されます

# TVSダイオードの重要特性（補足：ダイナミック抵抗とクランプ電圧の測定）

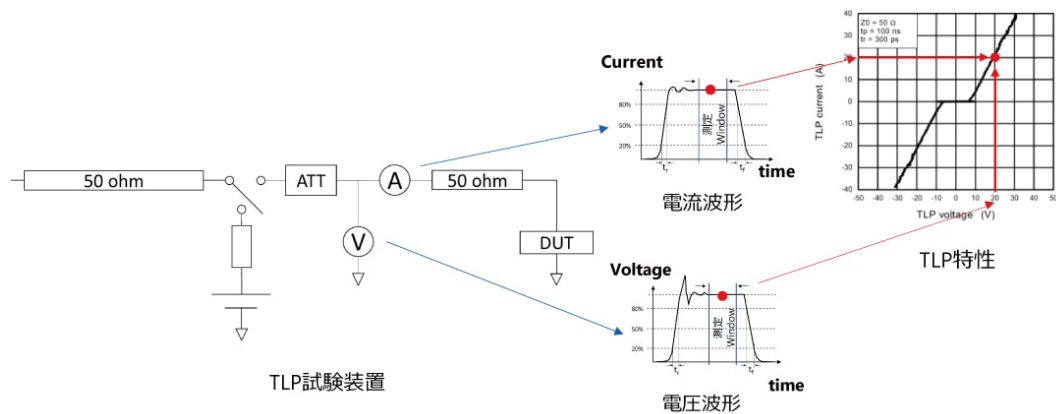
## TLP(Transmission Line Pulse)測定とは？

サージ印加時の動作を、電流と時間領域で表す試験  
 nsオーダーの短パルスを利用することで、破壊を起こさことなく  
 大電流領域のI-V特性を把握することが可能



### 測定例

ケーブル長やフィルター特性を変更することで、パルス幅や立上がり時間を変化させる



### データシート記載例

項目	記号	注記	測定条件	最小	標準	最大	単位
ピーク逆動作電圧	$V_{RWM}$	(注1)	—	—	—	5.5	V
端子間容量	$C_t$		$V_R = 0 V, f = 1 MHz$	—	8.5	10	pF
ダイナミック抵抗	$R_{DYN}$	(注2)	—	—	0.2	—	$\Omega$
逆方向降伏電圧	$V_{BR}$		$I_{BR} = 1 mA$	5.8	6.8	7.8	V
逆電流	$I_R$		$V_{RWM} = 5.5 V$	—	—	100	nA
クランプ電圧	$V_C$	(注3)	$I_{PP} = 1 A$	—	8	—	V
			$I_{PP} = 4 A$	—	11	20	V
		(注2)	$I_{TLP} = 16 A$	—	12	—	V
			$I_{TLP} = 30 A$	—	15	—	V

注1: 推奨動作条件

注2: TLPパラメータ:  $Z_0 = 50 \Omega, t_p = 100 ns, t_r = 300 ps, averaging window: t_1 = 30 ns \sim t_2 = 60 ns$

ダイナミック抵抗はTLP特性の $I_{PP1} = 8 A \sim I_{PP2} = 16 A$ 間で最小二乗法を用いて抽出しています。

注3: IEC61000-4-5規格の8/20  $\mu s$ パルスで測定。

製品毎に比べることにより保護性能の比較ができるだけでなく、  
 保護対象のI-V特性と比較する等、ESD設計の補助として利用できます。

# 04

TVSダイオードの選定方法や  
設計にあたってのポイント

## 重要特性のまとめから最適なTVSダイオードを選択できます

### 保護する信号ラインの信号品質の保持

#### ① 信号ラインの電圧

保護する信号ラインの最大電圧に対して適切な逆方向降伏電圧 $V_{BR}$   
(またはピーク逆動作電圧 $V_{RWM}$ ) を選択

#### ② 信号の極性

GNDをまたがるアナログ信号のような場合は双方向のTVS保護用ダイオードを選択

#### ③ 信号の速度

信号の最大周波数に合わせて適切な端子間容量 $C_t$ を選択

### より良い保護性能

#### ④ ダイナミック抵抗

できるだけ低いダイナミック抵抗 $R_{DYN}$ の製品を選択

#### ⑤ クランプ電圧

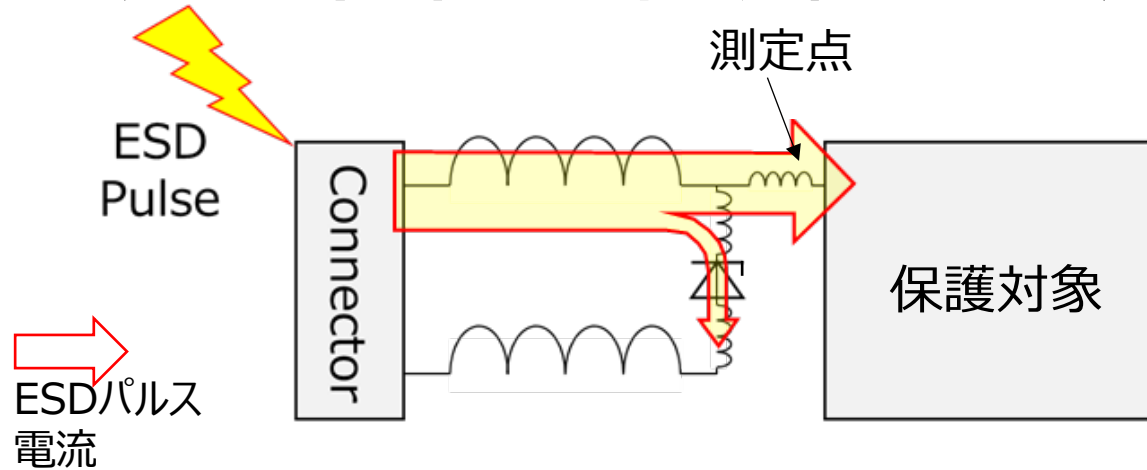
必要となる $V_{RWM}$ に対し、できるだけ低いクランプ電圧 $V_C$ の製品を選択

電源ラインの保護用途では考慮不要

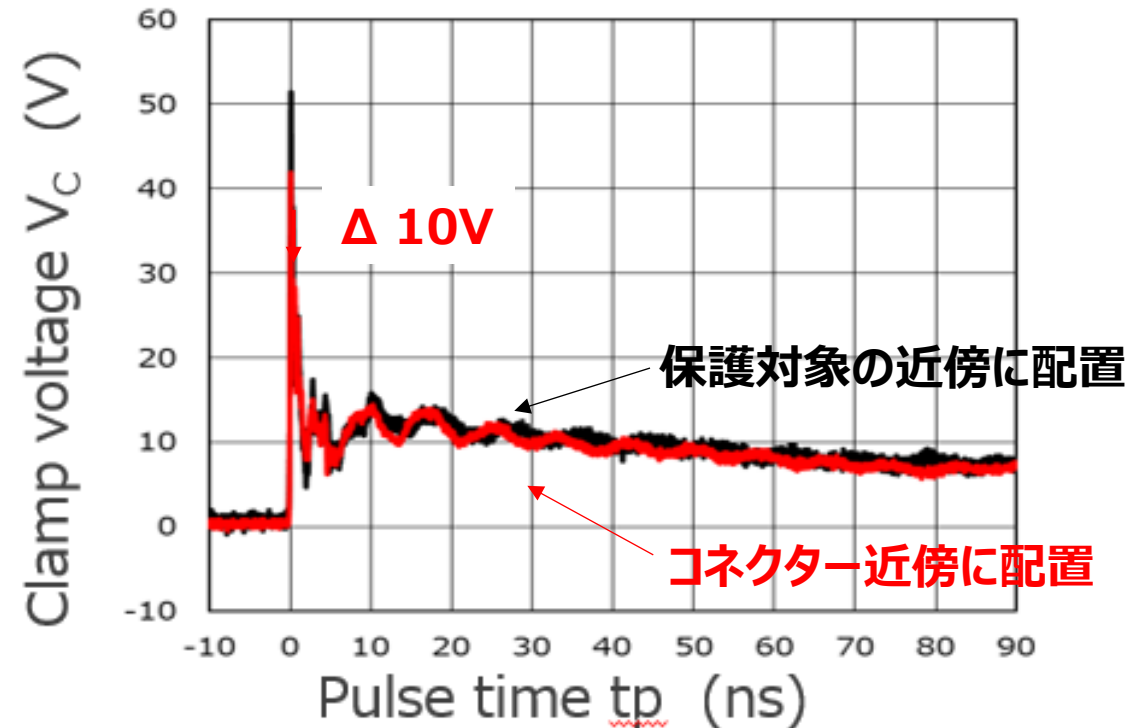
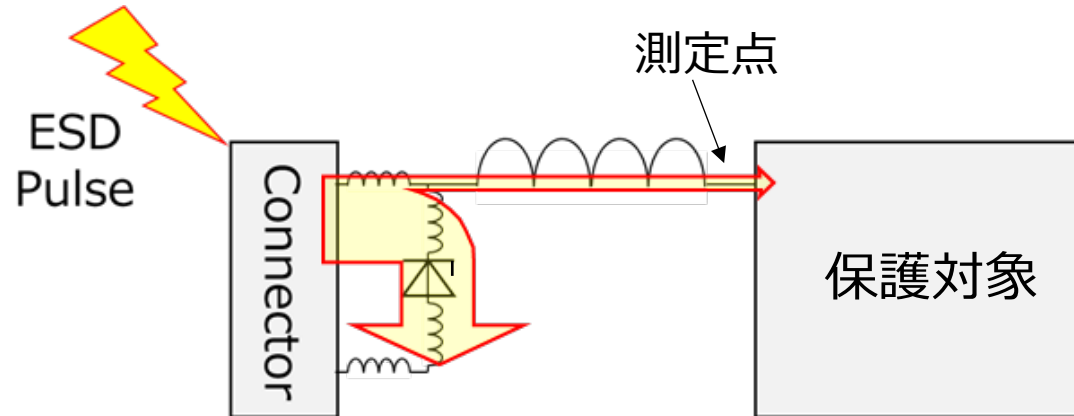
# TVSダイオード レイアウト上の注意点

## ESD対策はTVSダイオードの配置の仕方によって保護性能が変わります

### TVSダイオードを保護対象の近傍に配置した場合



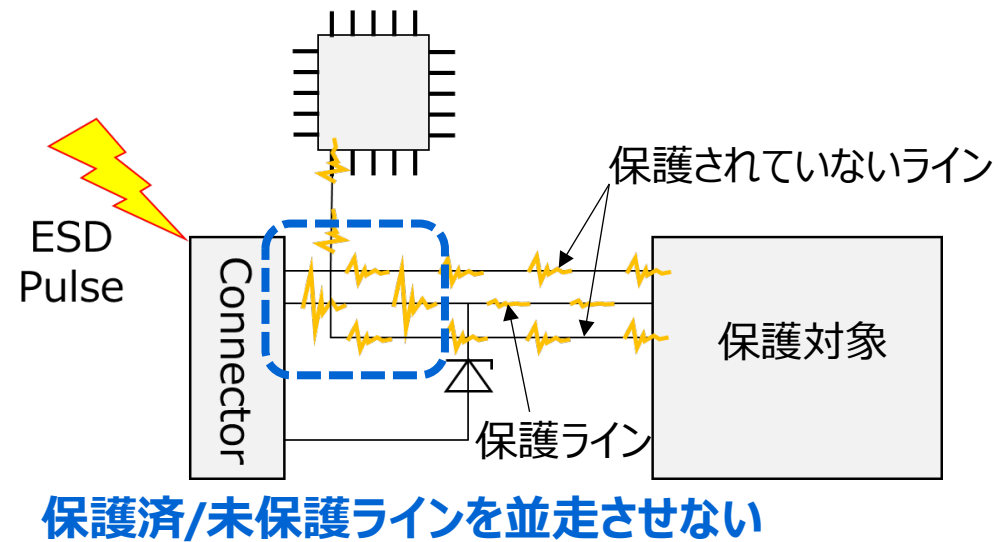
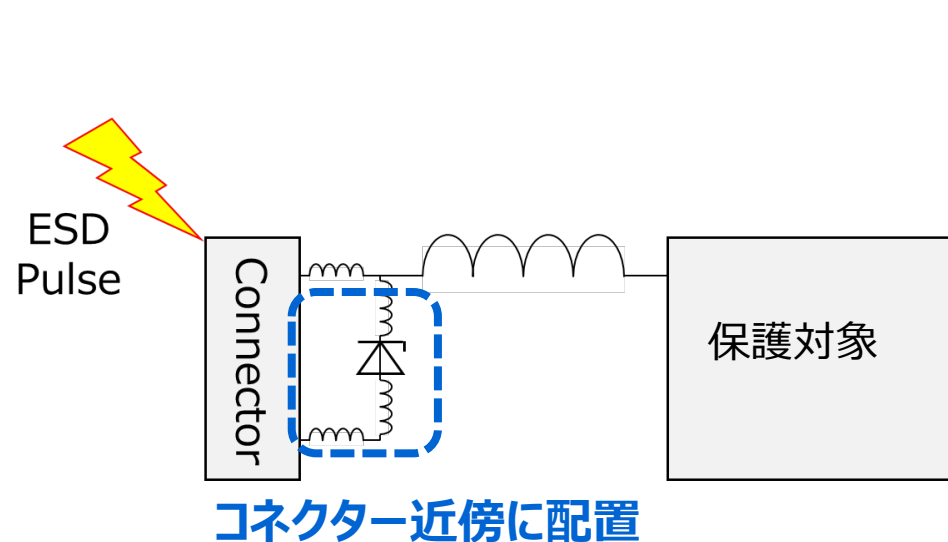
### TVSダイオードをコネクタ近傍に配置した場合



# TVSダイオード レイアウト上の注意点

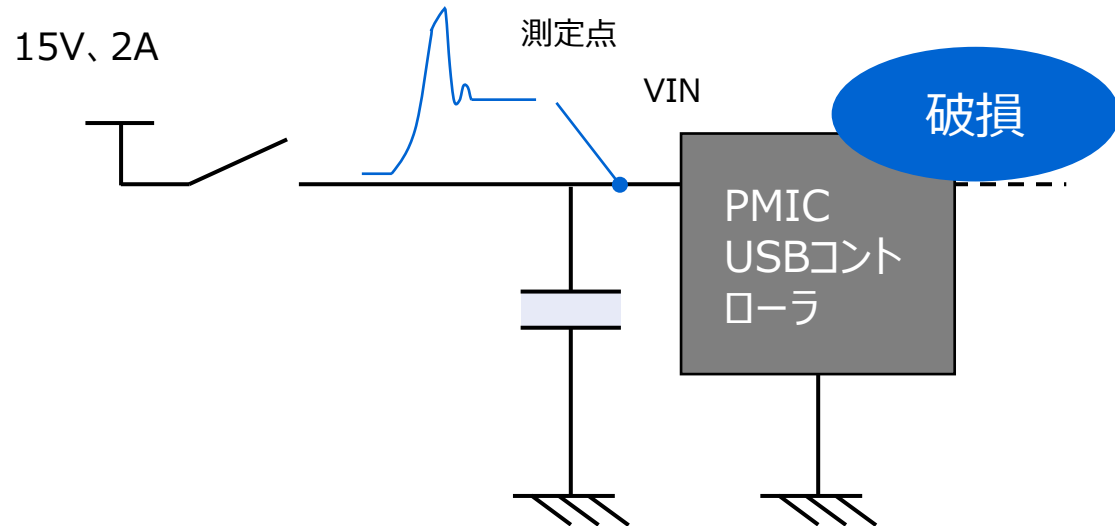
## 注意点

- ① 侵入口に近いところにESD保護用ダイオードを配置してください。
- ② 被保護素子のラインとESD保護用ダイオードのライン分岐後、GNDも含めESD保護用ダイオードに直列の配線インダクタンスはできるだけ小さくなるようにしてください。
- ③ ESDパルスが重畳する可能性のある配線と他の配線が並走しないようにしてください。特に内部だけで結線されているラインはESDに対する考慮がされておらず危険です。



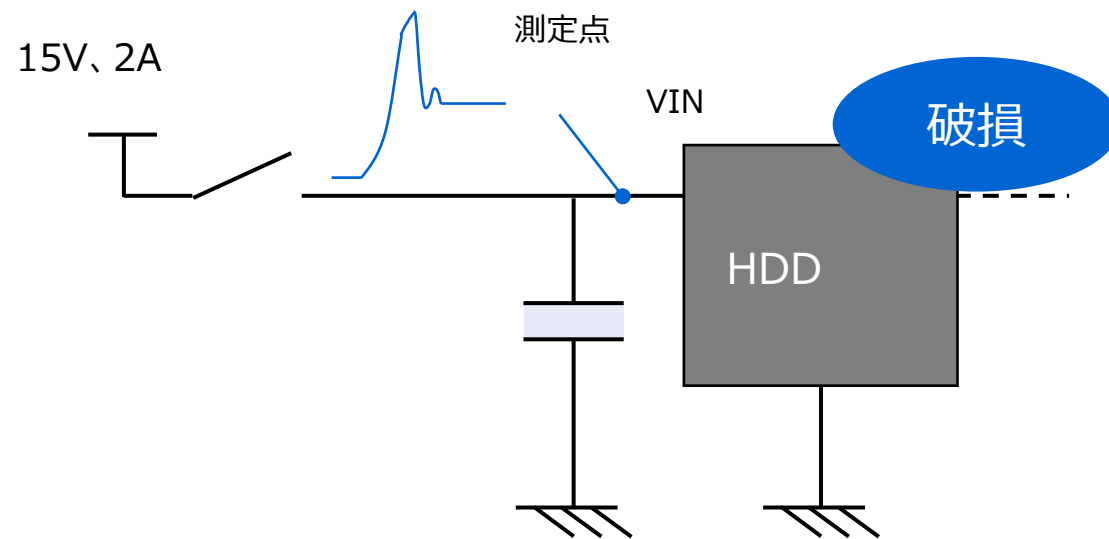
## 電源ラインのESD以外にも過電圧パルスからの保護が必要です

### ノートPC



- 電源が入らなくなる。
- 通信が失われる。

### サーバー



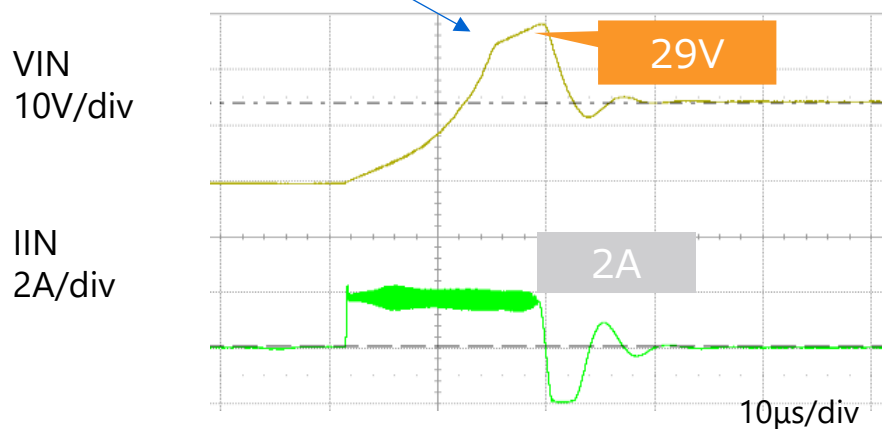
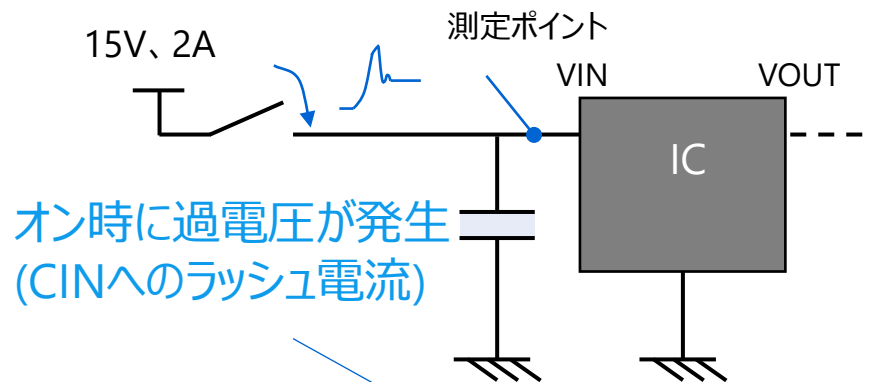
- 重要なデータが破壊されます

# 電源ラインの過電圧保護について

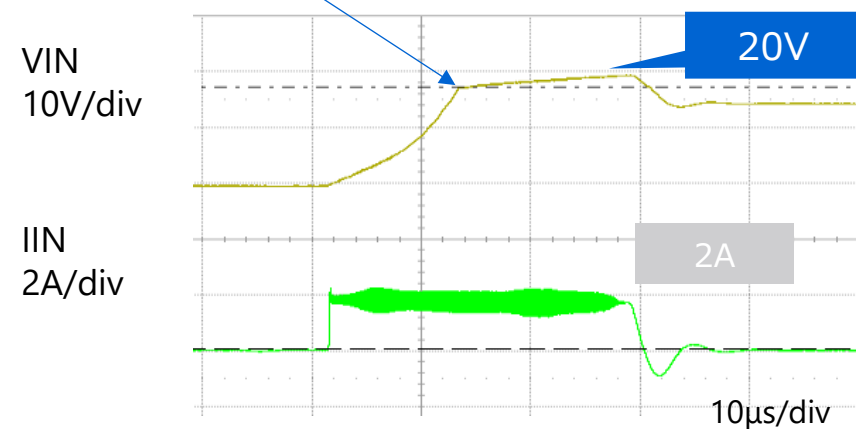
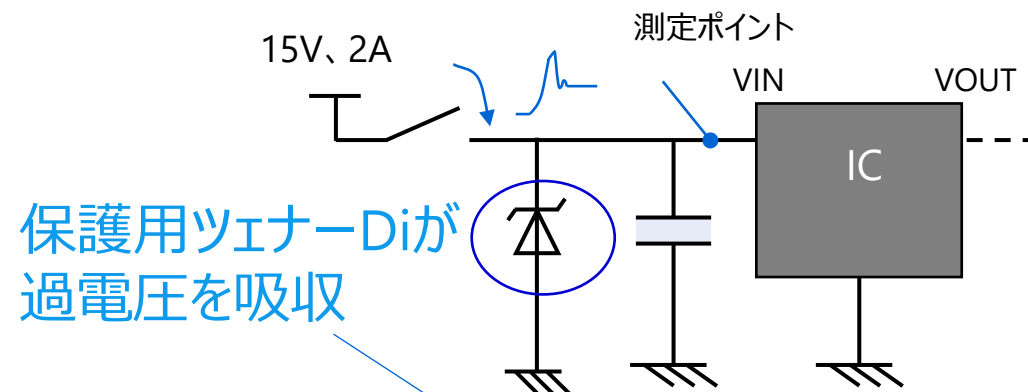
保護用ツェナーダイオードで内部回路やICを過電圧から簡単に保護できます

Reference

## 保護用ツェナーダイオード 無し



## 保護用ツェナーダイオード 有り

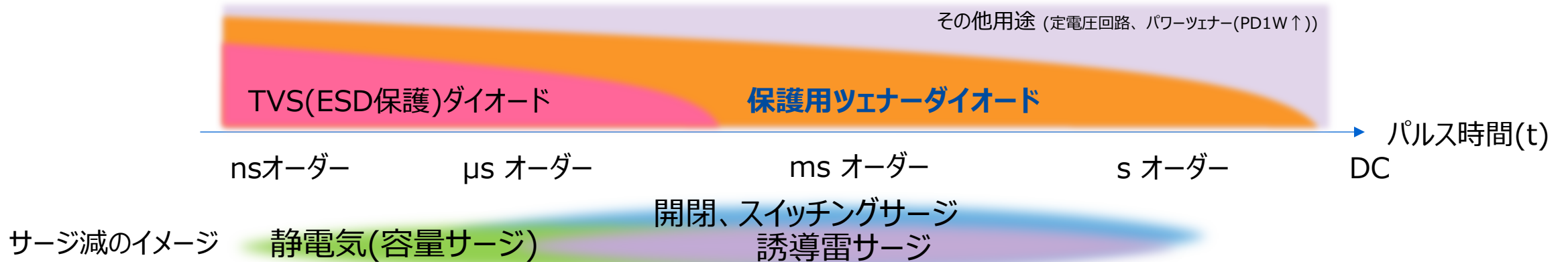


30%  
削減

# 電源ラインの過電圧保護に適したツェナーダイオードについて

## 保護用ツェナーダイオードは様々なパルス時間のサージから回路を保護します

### サージ原因とそれらに適応した保護デバイス



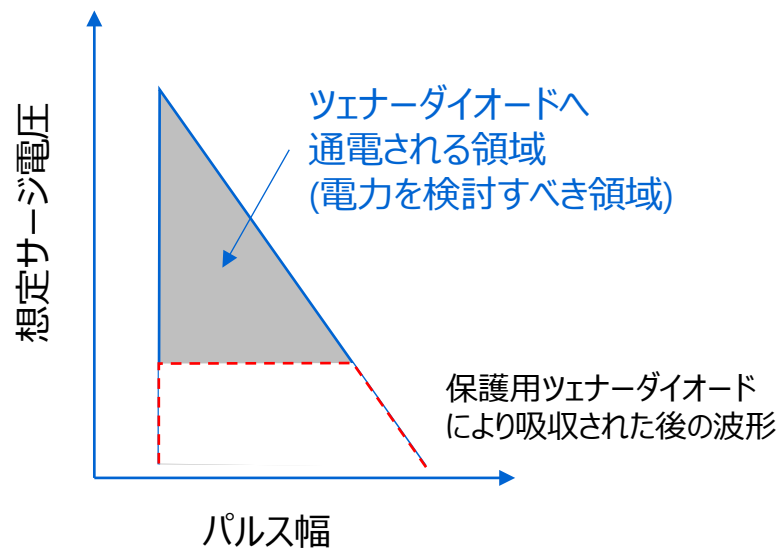
### 各TVSダイオードの特徴

	TVS(ESD保護)ダイオード	保護用ツェナーダイオード
主な用途	マイクロ秒オーダー以下の過電圧パルスから対象保護が目的	マイクロ秒以上の過電圧パルス保護 (ESD保護用途も可能※1)
端子間容量	0.12pF~	100pF~600pF
使用箇所例	USB、HDMI等コネクタ用	電源ライン、電源制御ライン
備考	1pF以下の低容量を中心にラインアップ化	許容損失以内であればDCに近い過電圧パルスからも保護可能

# 電源ラインの過電圧保護向けツェナーダイオード 使用上の注意点

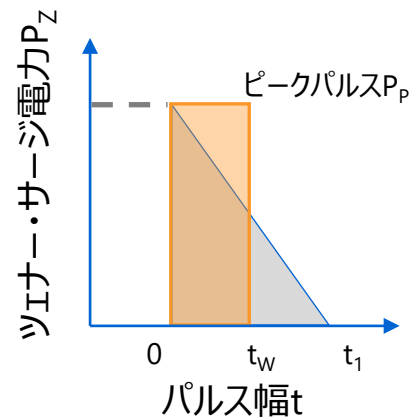
パルス幅の長い過電圧パルスから対象を保護するためには  
想定されるサージエネルギーを許容できる製品を選択する必要があります

## 過電圧パルス波形

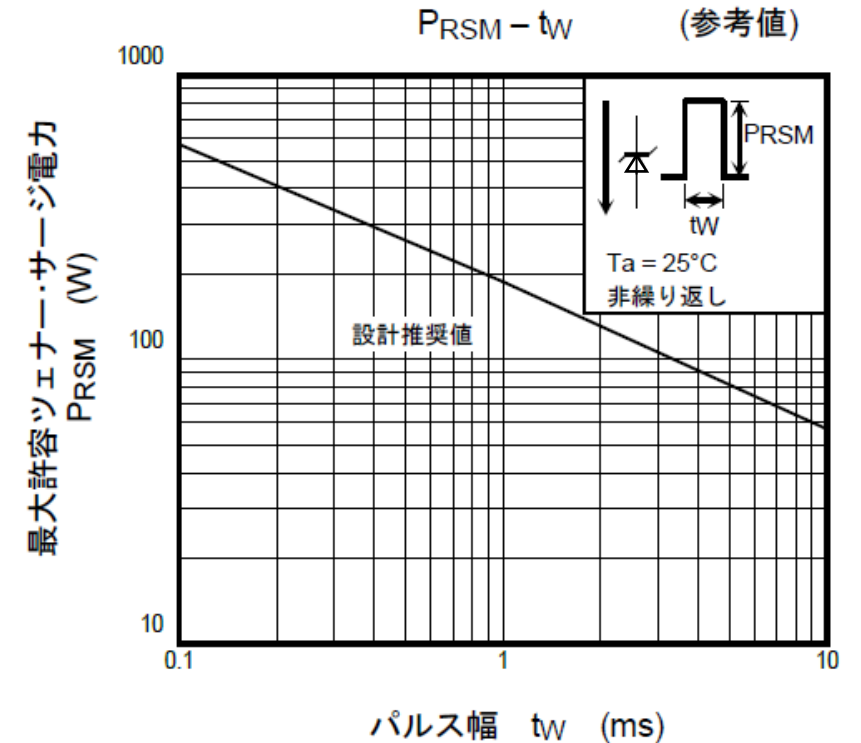


## 電力の方形波近似

$$t_W = \frac{1}{P_P} \int_0^{t_1} P_Z(t) dt$$

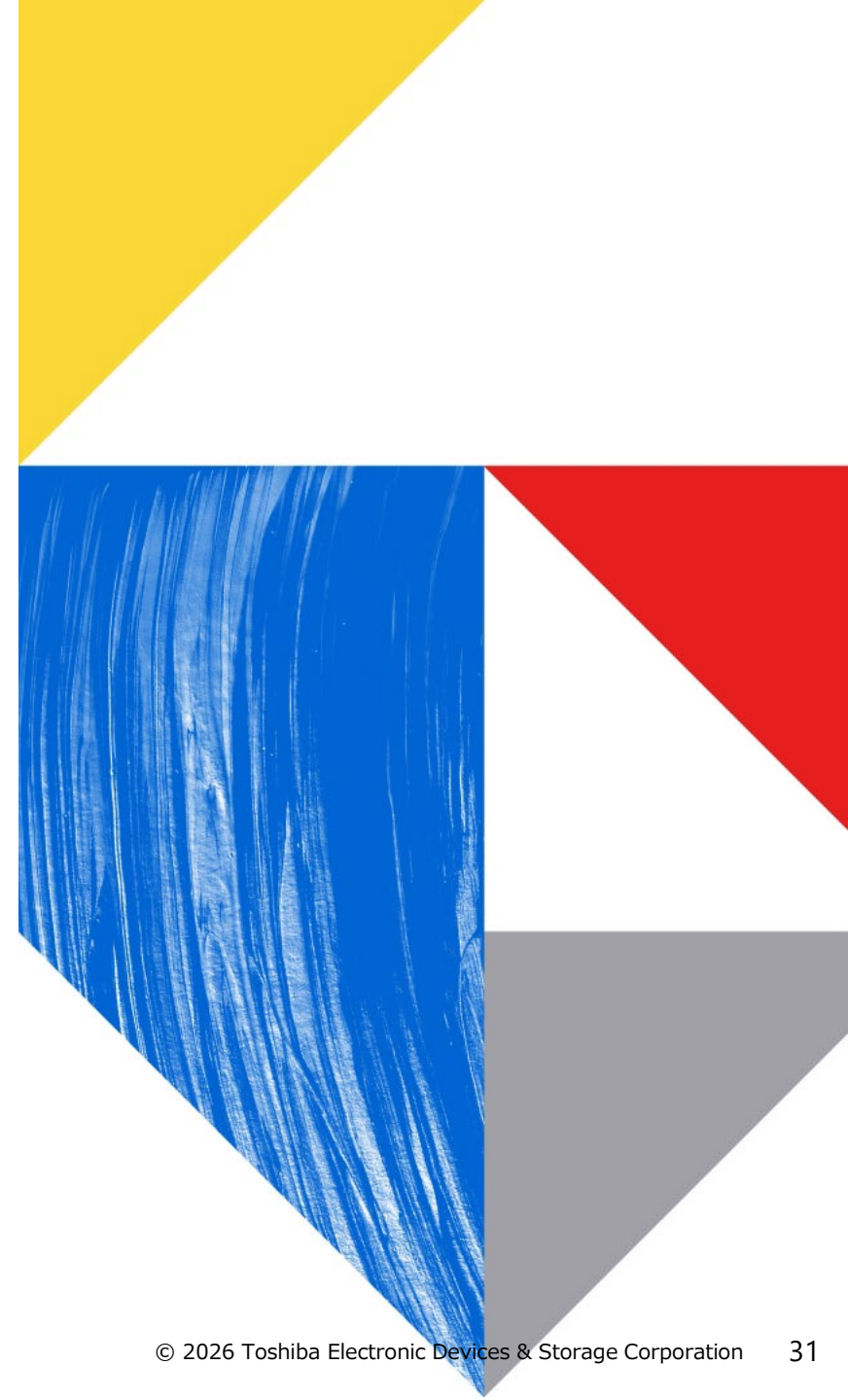


## 製品ごとのサージ電力耐量



# 05

## 最新のTVSダイオード製品



# TVSダイオード 技術ヒストリー

~2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2026~

プロセス世代

EAP : ESD Diode Array Process

EAP-III

Rdyn : 0.7Ω  
Vc : 13V  
ESD : ±12kV

EAP-IV

低Rdyn : 0.5Ω  
低Vc : 7.5V  
高ESD : ±20kV

EAP-V

製品・パッケージラインアップ展開

SOD-962(SL2) 0.62x0.32mm  
SOD-882(CST2) 1.0x0.6mm  
SOD-923 1.0x0.6mm

EAP-VI

Next

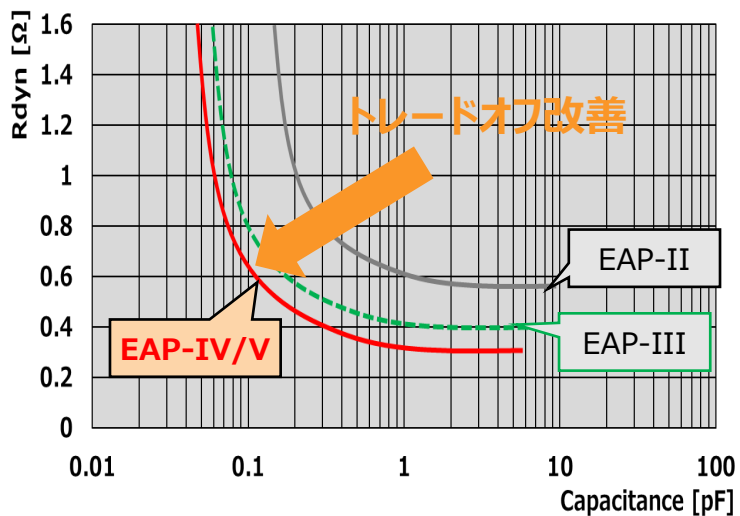
Deep snapback採用  
超低クランプ電圧Vc技術

低1st peak voltage  
低Rdyn : 0.5Ω  
高ESD : ±20kV

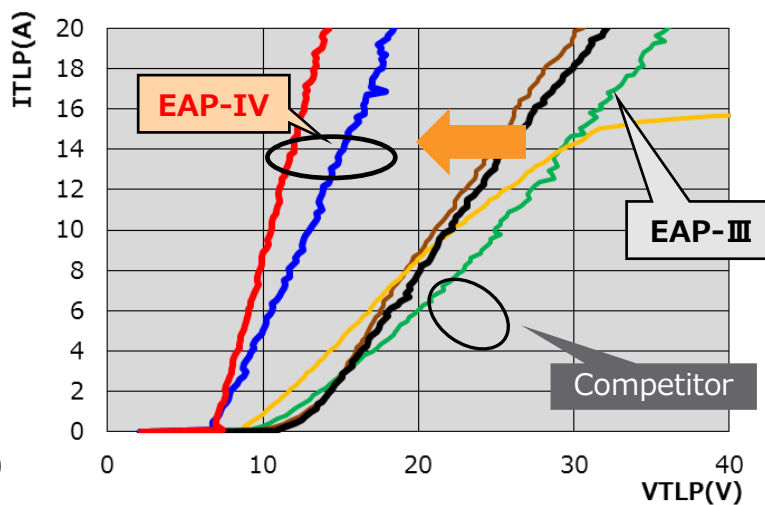
Reference

データライン用  
低容量

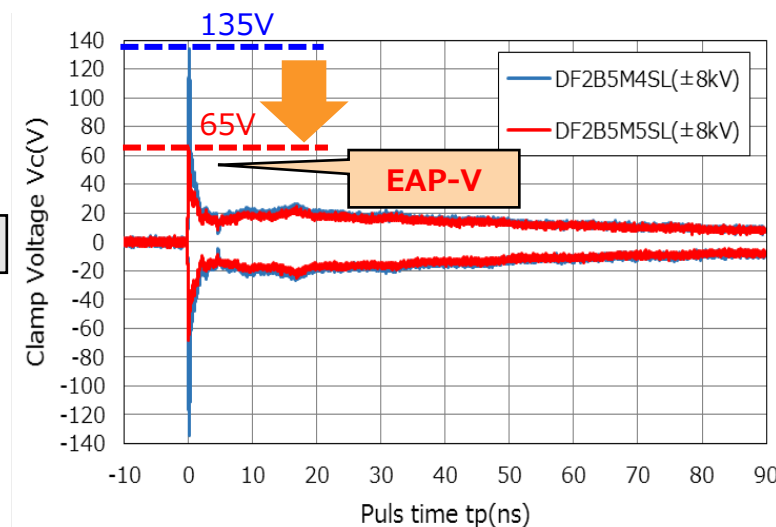
ダイナミック抵抗vs容量トレードオフ改善



低クランプ電圧化により高ESD耐量化



低ピーク電圧による高保護性能化



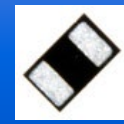
# 新プロセス(EAP-V)低容量TVSダイオード

## DF2xxM5 series

クランプ電圧Vcが低く、サージ対策に貢献します。



SL2 (SOD-962)  
(0.62x0.32mm)



SOD-882 (CST2)  
1.0x0.6mm

➤ 最大ピーク逆動作電圧:

$$V_{RWM} = 3.3 \text{ V} / 5.0 \text{ V}$$

➤ 超低クランプ電圧:

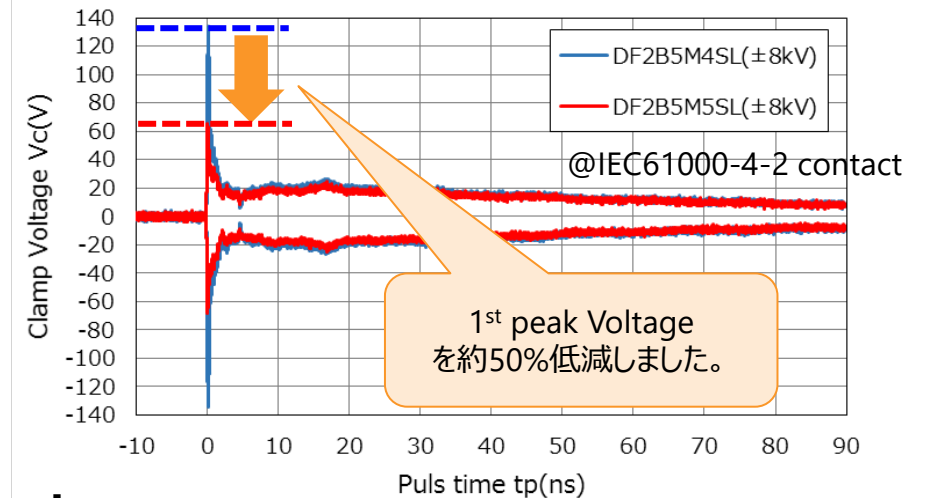
$$1st \text{ Vpeak} = 70\text{V} @ \text{DF2B6M5SL}$$

➤ 超低端子間容量:

$$C_t = 0.3 \text{ pF (双方向)} / 0.6 \text{ pF (単方向)}$$

➤ 低ダイナミック抵抗:

$$R_{DYN} = 0.3 \sim 0.5 \ \Omega \text{ 標準}$$



注) DF2xxM5SL:SL2 Package ,DF2xxM5CT : CST2 Package

製品型番	構造	V <sub>RWM</sub> 最大 (V)	1st Vpeak Level 標準 (V)	C <sub>t</sub> @0V 標準 (pF)	R <sub>DYN</sub> 標準 (Ω)	V <sub>ESD</sub> (kV) 最小 IEC61000-4-2 (接触放電)	V <sub>CL</sub> (V) 最大 @Ipp=2A IEC61000-4-5 (8/20μs pulse)	スケジュール
<a href="#">DF2B5M5SL/CT</a>	双方向	3.3	65	0.3	0.5	±20	15	量産中
<a href="#">DF2B6M5SL/CT</a>		5.0	70	0.3	0.5	±20	15	
<a href="#">DF2S5M5SL/CT</a>	単方向	3.3	60	0.6	0.3	±20	15	
<a href="#">DF2S6M5SL/CT</a>		5.0	65	0.6	0.3	±20	15	

# 超低容量(0.15pF(typ.))TVSダイオード

## DF2B5M4ASL, DF2B5M4ASL

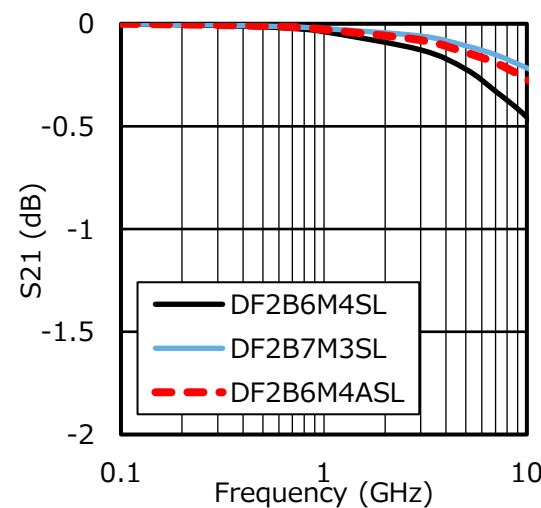
USB3.1等、高速信号ラインのサージ保護用の超低容量品をラインアップ



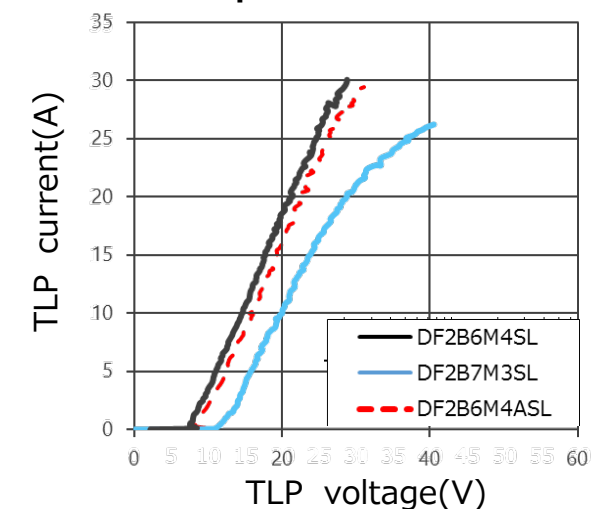
SL2(SOD-962)  
(0.62x0.32mm)

- アプリケーション : **USB3.1**など高速信号ライン
- 高速信号ラインに最適 : **CT = 0.15pF (typ.)**
- 2種類の耐圧ラインナップ : VRWM = 3.6 V/ 5.5 V
- 高ESD耐量 : **VESD = ±15kV**  
(IEC61000-4-2,接触放電)
- 低クランプ電圧: 20V@ITLP=16A

Estimated insertion loss



TLP performance



製品型番	V <sub>RWM</sub> 最大 (V)	C <sub>t</sub> @0V (pF)		V <sub>ESD</sub> @IEC61000-4-2 接触放電 最小 (kV)	V <sub>CL</sub> (V) typ. @I <sub>TLP</sub> =16A	R <sub>DYN</sub> typ. (Ω)	スケジュール
		Typ.	Max.				
<a href="#">DF2B5M4ASL</a>	3.6	<b>0.15</b>	<b>0.20</b>	<b>±16</b>	<b>20</b>	0.7	<b>量産中</b>
<a href="#">DF2B6M4ASL</a>	5.5	<b>0.15</b>	<b>0.20</b>	<b>±15</b>	<b>20</b>	0.7	
<a href="#">DF2B7M3SL</a>	5.5	0.12	0.20	±12	(25)	0.7	
<a href="#">DF2B6M4SL</a>	5.5	0.20	0.30	±20	18	0.5	

# 保護用途向け小型ツェナーダイオード

## 電氣的ストレスから素子を保護するツェナーダイオードをラインナップ

### ■特徴

- 幅広い電圧ラインナップ：  
Vz(typ.)=5.6~75V
- 様々なサイズのパッケージラインナップ：  
汎用パッケージに加え、小型、高許容損失なUS2H、  
超小型SL2パッケージにも展開

### ■代表的なアプリケーション

- 家電製品 (PC、TV、エアコン、掃除機 等.)
- 産業機器 (FA 制御装置、ネットワーク装置 等.)

### ■代表製品名 (CUZシリーズ)

Vz(typ.)	製品名	Vz(typ.)	製品名	Vz(typ.)	製品名	Vz(typ.)	製品名	Vz(typ.)	製品名
5.6V	CUZ5V6	9.1V	CUZ9V1	15V	CUZ15V	24V	CUZ24V	56V	CUZ56V
6.2V	CUZ6V2	10V	CUZ10V	16V	CUZ16V	27V	CUZ27V	62V	CUZ62V
6.8V	CUZ6V8	11V	CUZ11V	18V	CUZ18V	30V	CUZ30V	68V	CUZ68V
7.5V	CUZ7V5	12V	CUZ12V	20V	CUZ20V	33V	CUZ33V	75V	CUZ75V
8.2V	CUZ8V2	13V	CUZ13V	22V	CUZ22V	36V	CUZ36V		

### ■パッケージラインナップ

分類	パッケージ	シリーズ名称	許容損失
2pin 超小型ツェナー	SL2(SOD-962) 0.62x0.32mm	<u>CSLZxxxシリーズ</u>	150mW※1
2pin 汎用ツェナー	ESC(SOD-523) 1.6x0.8mm	<u>CEZxxxシリーズ</u>	150mW※1
	USC(SOD-323) 2.5x1.25mm	<u>CUZxxxシリーズ</u>	200mW※1
3pin 汎用ツェナー	USM(SOT-323) 2.1x2.0mm	<u>MUZxxxシリーズ</u>	150mW※2
	S-Mini(SOT-346) 2.9x2.5mm	<u>MSZxxxシリーズ</u>	200mW
	SOT23(SOT-23) 2.9x2.4mm	<u>MKZxxxシリーズ</u>	320mW※3
2pin パワーツェナー	US2H(SOD-323HE) 2.4x1.4mm	<u>CUHZxxxシリーズ</u>	1200mW※4

※1 : FR4基板実装(20x20mm, Cu pad 4x4mm)  
 ※2 : FR4基板実装(20x20mm, Cu pad 0.5mm2 x3)  
 ※3 : FR4基板実装(25.4x25.4mm, Cu pad 0.42mm2 x3)  
 ※4 : FR4基板実装(25.4x25.4mm, Cu pad 645 mm2)

新たに小型パッケージ品のラインアップも追加しました

CST2(SOD-882)  
1.0x0.6mm

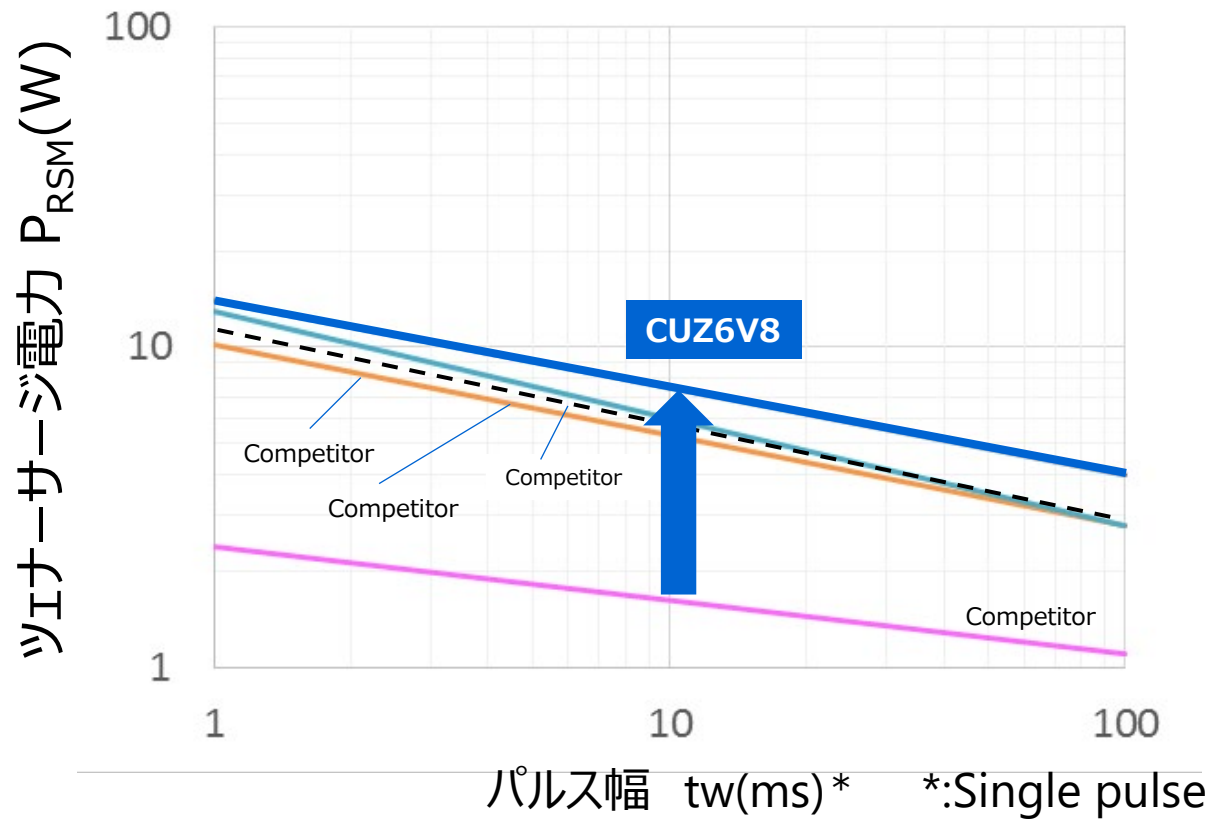
CTZ シリーズ

# ツェナーサージ電力データ比較 $P_{RSM}$ vs $tw$ (ご参考)

耐量が高いため、より強いエネルギーのサージからも対象を保護できます

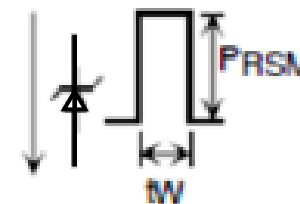
## $P_{RSM}$ vs $tw$ \*

ご参考データ



2.5mm×1.25mm

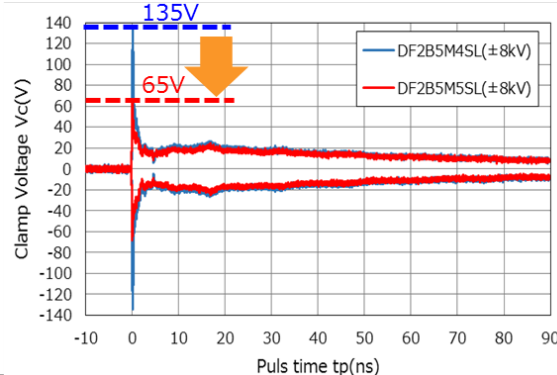
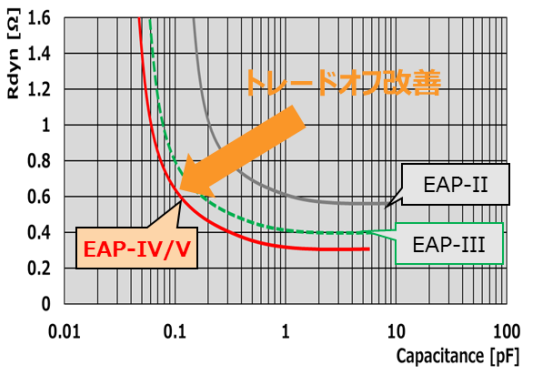
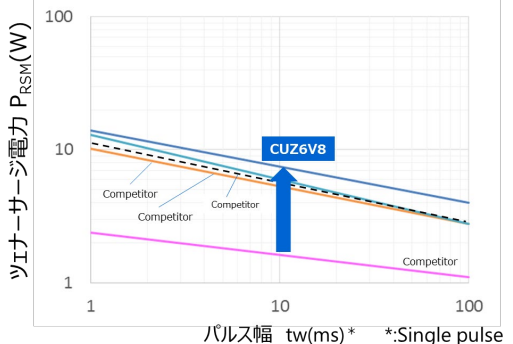
※TEST Condition



$T_a = 25^\circ\text{C}$

非繰り返し単発パルス

## TVSダイオード重要特性へのご要求に対し、東芝ダイオードは新技術・製品開発を進めています

用途	動作状態	重要特性	東芝ダイオードの特長・技術アプローチ
信号用	保護動作 (サージ侵入時)	ダイナミック抵抗 $R_{DYN}$ クランプ電圧 $V_C$	<b>1st peak voltage低減、低ダイナミック抵抗かつ低容量</b>  
	通常動作 (サージ非侵入)	逆降伏電圧 $V_{BR}$ (ツェナー電圧 $V_Z$ ) 信号の極性 端子間容量 $C_T$	
電源用	保護動作 (サージ侵入)	クランプ電圧 $V_C$ 最大サージ電力耐量	<b>高ツェナーサージ電力化、高許容損失パッケージラインアップ</b> 

ご清聴ありがとうございました

\* 社名・商品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

**TOSHIBA**