

バススイッチの基礎

概要

本資料はバススイッチの種類と動作、付随機能（レベルシフト、トレラント）を説明しています。
また、東芝バススイッチシリーズのラインアップとその用途、信号切り替え・オン/オフレベルシフトなどの使用例と立ち上がり時間、立ち下がり時間の計算方法を掲載しています。

目次

概要	1
目次	2
1. バススイッチについて	4
1.1. バススイッチはどこで使われているか	4
1.2. バススイッチとは	5
1.3. バススイッチと標準ロジックの負荷への電流供給方法の違い	6
2. バススイッチの種類と動作	7
2.1. スイッチ部 MOSFET の基本動作	7
2.2. Nch タイプ	8
2.3. Nch + Pch タイプ	9
2.4. チャージポンプタイプ	10
3. バススイッチの付随機能	11
3.1. レベルシフト機能	11
3.2. トレラント機能	13
4. バススイッチラインアップ	14
4.1. 汎用バススイッチ	15
4.2. 広帯域シグナルスイッチ	16
5. バススイッチの使用例	17
5.1. 信号の接続先の切り替え	17
5.2. 信号ラインのオン/オフ(負荷軽減、IC の保護)	17
5.3. 信号のレベルシフト	18
6. 出力立ち上がり/立ち下がり時間(t_r / t_f)の計算法	19
製品取り扱い上のお願い	21

図目次

図 1.1	バススイッチ使用イメージ.....	4
図 1.2	バススイッチと機械スイッチ.....	5
図 1.3	信号のオン/オフ、信号の切り替え.....	5
図 1.4	バススイッチと標準ロジックの構成.....	6
図 1.5	バススイッチと標準ロジック(双方向バスバッファ)の差(回路と波形イメージ).....	6
図 2.1	Nch MOSFET の断面図.....	7
図 2.2	Nch タイプのブロック図と特性グラフ.....	8
図 2.3	Nch + Pch タイプのブロック図と特性グラフ.....	9
図 2.4	チャージポンプタイプのブロック図と特性グラフ.....	10
図 3.1	2 電源バススイッチ等価回路と入出力波形イメージ.....	11
図 3.2	ロジック(バッファタイプ)等価回路と入出力波形イメージ.....	12
図 3.3	トレラント機能有無のイメージ.....	13
図 4.1	各カテゴリーの周波数特性.....	16
図 4.2	アイパターン評価波形.....	16
図 5.1	信号ラインのオン/オフ基本回路例.....	17
図 5.2	信号のレベルシフトの基本回路例.....	18
図 6.1	出力立ち上がり/立ち下がり時間計算時の等価回路と出力波形イメージ.....	19

表目次

表 1.1	バススイッチの機能名.....	5
表 1.2	バススイッチと標準ロジック(双方向バスバッファ)の差.....	6
表 2.1	バススイッチの種類.....	7
表 3.1	トレラント機能に関連する特性.....	13
表 4.1	バススイッチのカテゴリー.....	14
表 4.2	汎用バススイッチのラインアップ.....	15
表 4.3	広帯域シグナルスイッチのラインアップ.....	16

1. バススイッチについて

この章では、バススイッチの使用箇所や種類を記載しており、バススイッチの概要が把握できます。

1.1. バススイッチはどこで使われているか

電子回路に使われるスイッチにはさまざまな種類があります。電源ラインに使用するスイッチとしてはロードスイッチが存在しますが、信号ラインに使用するスイッチとしてはアナログスイッチやバススイッチが存在します。アナログスイッチはアナログ信号用に最適化されたスイッチで、バススイッチはデジタル信号用に最適化されたスイッチとなります。

近年ではデジタル信号の高速化が進んでおり、半導体各社からは高速化に対応したバススイッチのラインアップが拡充しています。

図 1.1 がバススイッチの使用イメージとなります。CPU と IC 間に信号ラインが存在していますが、バススイッチは信号ラインの途中に使用することになります。

なお、バススイッチは大きな電流を流す仕様ではないため、電源ラインのスイッチとしては使用できません。電源ラインのスイッチには使用条件に合ったロードスイッチ(MOSFET やロードスイッチ IC)を選択してください。

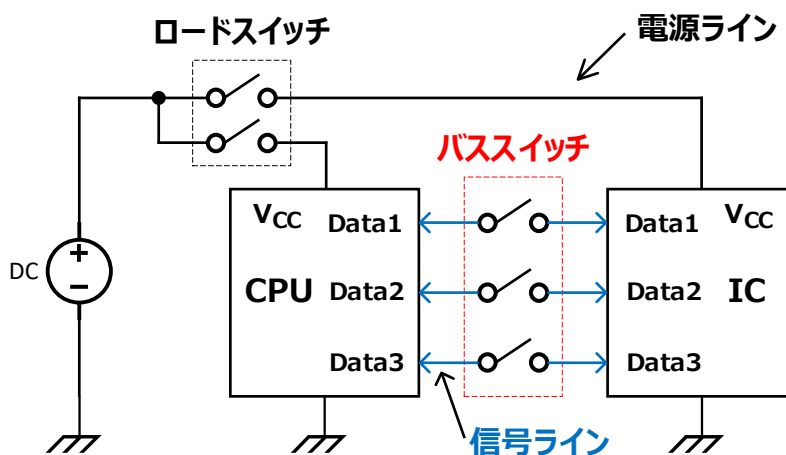


図 1.1 バススイッチ使用イメージ

1.2. バススイッチとは

バススイッチは前述したように、信号ラインに使用されるもので、デジタル信号に最適なスイッチです。基本機能は機械スイッチと同じで、オン/オフ機能を MOSFET で実現したものです(図 1.2)。信号の向きに関しては、双方向はもちろん、単方向でも方向を気にせず使用することができます。

また、機械スイッチは、入力された信号電圧のレベルをそのまま出力する機能しかありませんが、バススイッチの中には、入力信号電圧のレベルを変換(昇圧/降圧)して、出力する機能を持った製品もあります(レベルシフト機能)。

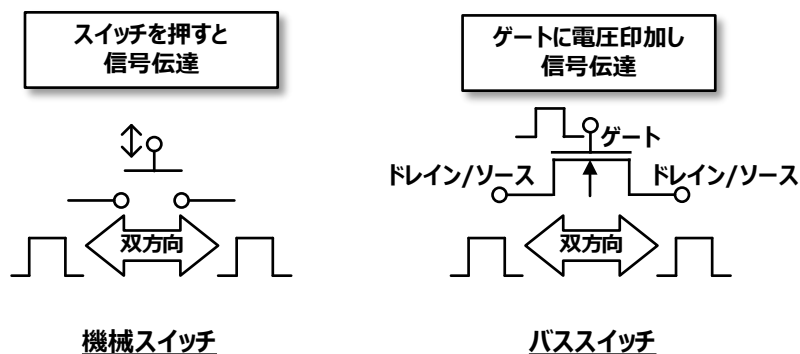


図 1.2 バススイッチと機械スイッチ

機械スイッチと同様に、信号のオン/オフを行う製品や、信号の接続先を切り替える動作を行う製品があります(図 1.3)。

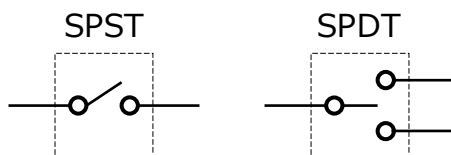


図 1.3 信号のオン/オフ、信号の切り替え

図 1.3 にあるように、バススイッチは配線数の状態ごとに呼び名が存在しています。

呼び名は一般的に略称を使用しますので、略称と機能名および機能図の関係を把握しておくことが重要です(表 1.1)。

表 1.1 バススイッチの機能名

略称	機能名	機能図
SPST	Single-Pole Single-Throw	
SPDT	Single-Pole Double-Throw	
SP4T	Single-Pole quadruple-Throw	

1.3. バススイッチと標準ロジックの負荷への電流供給方法の違い

バススイッチは、スイッチ部の MOSFET のドレインとソースの間を信号が伝達します。そのため、負荷への電流供給は入力信号源からとなります。

標準ロジックは図 1.4 の最小回路を組み合わせ、論理回路を構成しています。信号は直列に接続した Nch MOSFET と Pch MOSFET のゲートに入力し、各 MOSFET をオン/オフします。これにより、MOSFET 自体が負荷に対しての電流供給能力を持つことになります。

以下では、標準ロジックの中から 1 例として、バッファ出力(双方向)を取り上げ、バススイッチとの特性と機能の違いを説明致します。

バススイッチは信号伝達機能を MOSFET で実現したもので、信号の遅延時間がほとんどなく、高速に双方向の信号のやり取りが可能です。バッファ出力はバススイッチより信号の遅延時間が発生しますが、駆動能力を持っているので、大きな負荷の回路を接続しても入力信号源には影響を与えません。

表 1.2、図 1.5 にバススイッチと標準ロジック(双方向バスバッファ)の違いを示します。

バススイッチと双方向バスバッファは、それぞれ特徴を持つ製品なので、使用状況に合わせて使い分けをするようにしてください。

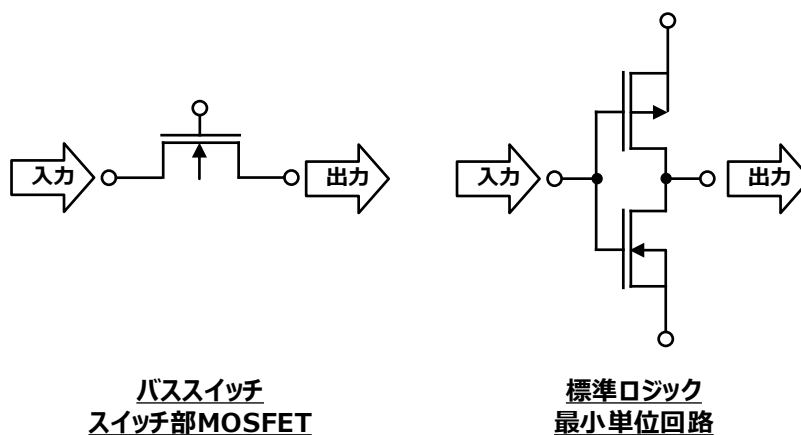


図 1.4 バススイッチと標準ロジックの構成

表 1.2 バススイッチと標準ロジック(双方向バスバッファ)の差

	バススイッチ(TC7MBL3245C)	標準ロジック(TC74VHC245)
信号遅延時間	1 ns 以下	数 ns
信号増幅機能	なし	±4mA(標準:V _{CC} =3 V 時)
DIR 信号による方向切り替え	不要	必要

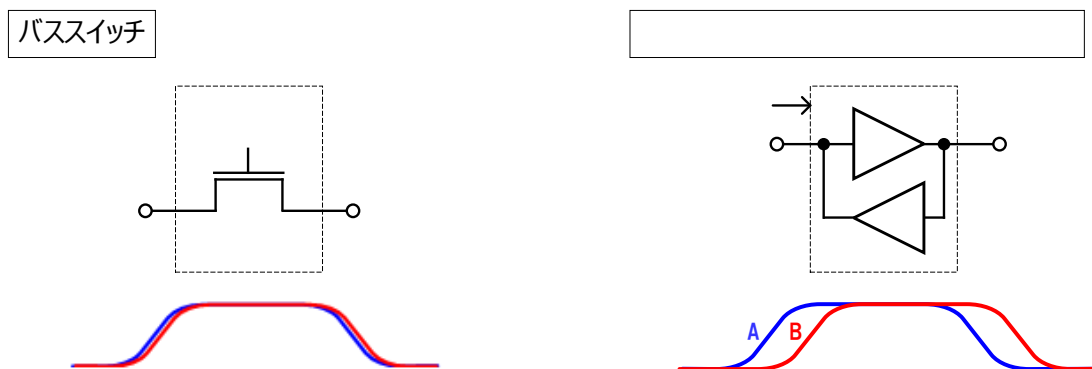


図 1.5 バススイッチと標準ロジック(双方向バスバッファ)の差(回路と波形イメージ)

2. バススイッチの種類と動作

バススイッチには、スイッチ部の構造と電源供給回路の違いにより、Nch タイプと Nch + Pch およびチャージポンプタイプの 3 種類があります(表 2.1)。

以降ではスイッチ部 MOSFET の基本動作の説明と、各タイプの特徴と動作に関して説明致します。

表 2.1 バススイッチの種類

種類	レベルシフト機能の付加	フルスイングへの対応 (入出力信号電圧)	高速信号への対応
Nch タイプ	✓	-	-
Nch + Pch タイプ	-	✓	-
チャージポンプタイプ	-	✓	✓

2.1.1. スイッチ部 MOSFET の基本動作

バススイッチに用いられる Nch MOSFET のバックゲートは、GND に接続されています(図 2.1)。

この状態で、ゲートとバックゲートの間に電圧を印加すると、絶縁層(酸化膜)近傍の p 型半導体領域の性質が反転し、n 型のチャネルが形成されます。

このチャネルにより、ドレインとソースの間は導通状態となり、双方向に信号が伝達できます。

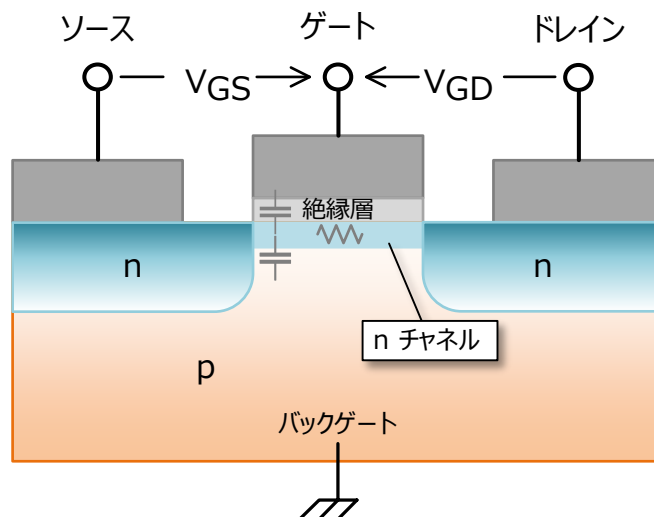


図 2.1 Nch MOSFET の断面図

2.2. Nch タイプ

Nch タイプのバススイッチを使用する際、オン状態ではスイッチ部分の MOSFET のゲートに電源電圧(V_{CC})が印加されることになり、ドレインまたはソースには信号電圧が印加されることとなります。

信号電圧を変化させた場合、バススイッチのオン抵抗は以下ようになります(図 2.2)。

- ・信号電圧を下げる

- > MOSFET のゲート-ドレイン間電圧(V_{GD})とゲート-ソース間電圧(V_{GS})が増加

- > チャンネルの電荷が増加し、オン抵抗値が減少

- ・信号電圧を上げる

- > MOSFET のゲート-ドレイン間電圧(V_{GD})とゲート-ソース間電圧(V_{GS})が減少

- > チャンネルの電荷が減少し、オン抵抗値が増加

なお、電源電圧と信号電圧の差分が一定電圧(一般的にはしきい値電圧 V_{th})を下回ると、スイッチ部分の MOSFET はチャンネルが形成できなくなり、ドレインとソースの間はオープン状態となります。

そのため、信号電圧の上限値は、電源電圧(V_{CC})から一定電圧(一般的にはしきい値電圧 V_{th})を差し引いた電圧となります。

ただし、スイッチ端子にプルアップ抵抗を使い、それぞれの電源に接続することで、それぞれの電源電圧まで信号レベルを上げることができます。具体的な方法は 3.1 や 5.3 章を参照してください。

また、このタイプはレベルシフト機能を持たせることができます。レベルシフト機能の詳細は 3 章を参照してください。

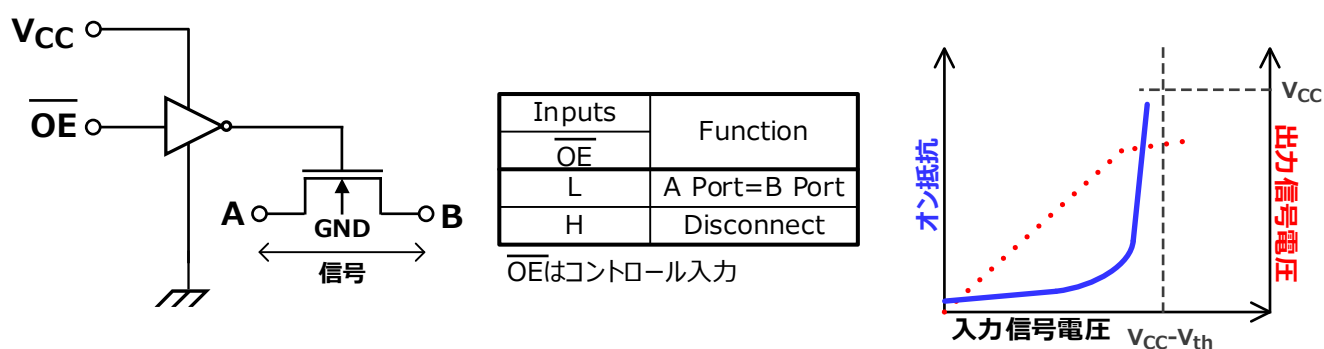


図 2.2 Nch タイプのブロック図と特性グラフ

2.3. Nch + Pch タイプ

Nch タイプの MOSFET は入力信号の電圧がゲート電圧の値に近づくとオン抵抗が大きく増加し、出力信号電圧は 0 V から、ゲート電圧-しきい値電圧(ゲート電圧 - V_{th})の範囲までしか使用できません。

それに対し、Nch + Pch タイプは出力信号電圧の使用範囲を V_{CC} ~GND で使用可能にしたものです。

図 2.3 にあるように、Nch + Pch タイプは Nch の MOSFET と Pch の MOSFET を並列接続した構成になっています。この接続によりスイッチ部のオン抵抗特性は、Nch MOSFET と Pch MOSFET の特性を重ね合わせた特性となります。よって、オン抵抗の特性カーブは入力電圧 0 V から電源電圧まで、ほぼ平坦な特性となります。

このオン抵抗の特性により、出力信号電圧を 0 V から電源電圧までフルスイングで使用することができます。

Nch + Pch タイプのバススイッチは、アナログスイッチと同じ回路構成を持ちますので、アナログ信号用途にも使用可能です。ただし、バススイッチはデジタル信号に最適化して設計されていますので、アナログ信号用途に使用の際は詳細評価の上使用してください。

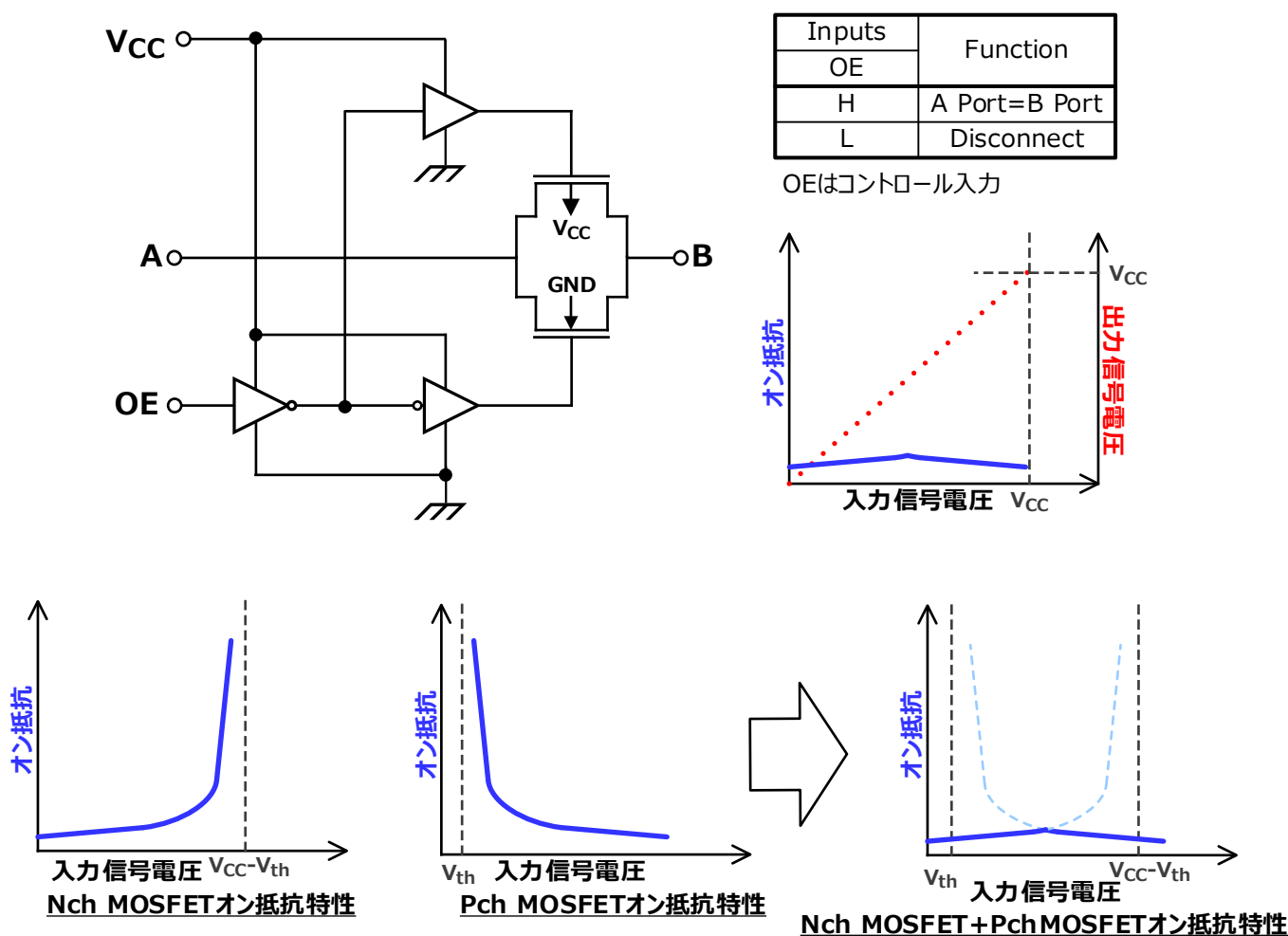


図 2.3 Nch + Pch タイプのブロック図と特性グラフ

2.4. チャージポンプタイプ

チャージポンプタイプは Nch タイプの MOSFET のみを利用し、Nch + Pch タイプ同様に、出力信号電圧の利用範囲を改善したものです。

チャージポンプタイプは電源電圧をチャージポンプ回路(Note)で昇圧し、スイッチ部の Nch MOSFET のゲート電圧を高く保つことで、入力電圧に対するオン抵抗値は低く抑えることができ、かつ特性カーブはほぼ平坦となる特性を持ちます。

そのため、入出力信号電圧を 0 V から電源電圧までフルスイングで使用することができます。

また、使用 MOSFET が 1 つのため、Nch + Pch タイプより、スイッチ部の寄生容量を減らすことができます。

これらの理由によりチャージポンプタイプは、高速信号に対応可能な特徴を持ちます。ただし、チャージポンプタイプは、チャージポンプ回路を持つため、他タイプより消費電流が大きくなるので注意が必要です。

(Note:チャージポンプ回路とは、複数のコンデンサーとスイッチを利用し、高い電圧を得ることができる回路です)

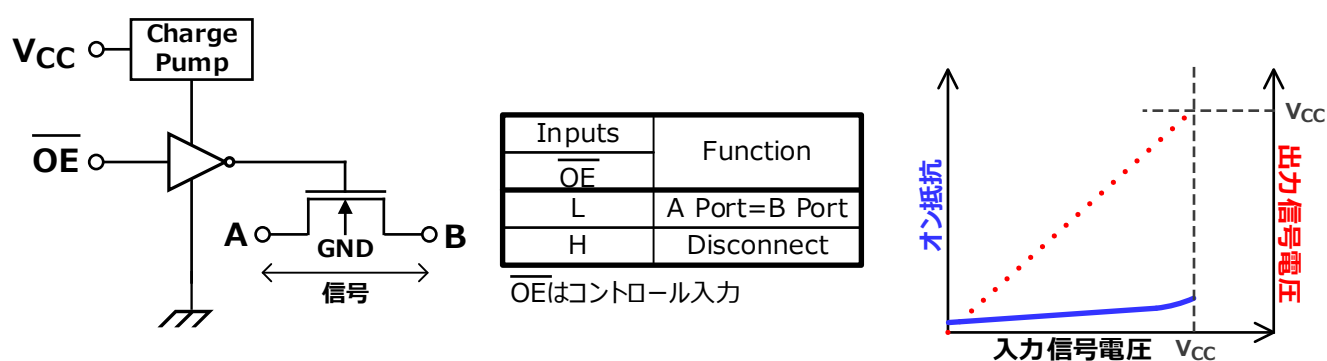


図 2.4 チャージポンプタイプのブロック図と特性グラフ

3. バススイッチの付随機能

1 章に記載のとおり、バススイッチはデジタル信号伝送に使用されるものであり、信号のオン/オフや切り替えなどに用います。バススイッチの中にはレベルシフト機能付き製品(2 電源間で使用可能)や、トレント機能付きの製品があります。

3.1. レベルシフト機能

2 電源間(異レベルの信号間)で使用できるバススイッチのスイッチ部の構成は Nch タイプです。スイッチ端子にプルアップ抵抗を使い、それぞれの電源に接続することで、それぞれの電源電圧まで信号レベルを上げることができます。双方向で使用する場合、スイッチ端子の入出力はどちらにもなりえます。このため両方のスイッチ端子にプルアップ抵抗が必要ですが(図 3.1)、片方向で使用の場合は、入力となる端子にはプルアップ抵抗は必要ありません。

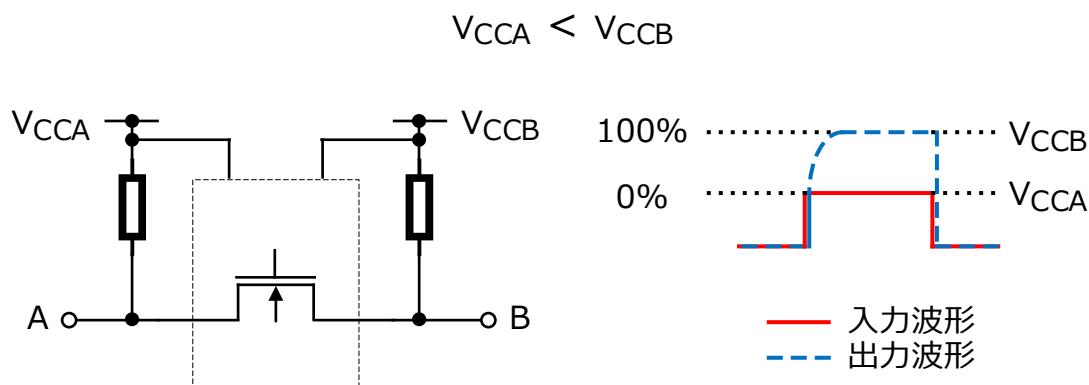


図 3.1 2 電源バススイッチ等価回路と入出力波形イメージ

このバススイッチはコントロール入力(コントロール回路の基準電圧は V_{CCA})により、オン/オフの制御をすることができます。コントロール入力でバススイッチがオンするように制御しているとき、入力電圧が基準となる電圧を超えるとバススイッチはオフします。この基準となる電圧は電源電圧 V_{CCA} を基に決めています。基準電圧を V_{CCA} とし、A 端子から B 端子に信号を伝達する場合、入力電圧が V_{CCA} まで上がったところでバススイッチがオフし、 V_{CCB} 側のプルアップ抵抗を使って入力信号から出力となる信号を電源電圧 V_{CCB} までレベルアップします。また、B 端子から A 端子に信号を伝達する場合も、入力電圧が V_{CCA} まで上がったところでバススイッチがオフし V_{CCA} 側のプルアップ抵抗で出力電圧を保持します。

上述のように 2 電源バススイッチのレベル変換はプルアップ抵抗を用いるので、出力の立ち上がり時間は立ち下がり時間よりも長くなります。バススイッチの最大動作周波数は、立ち上がり波形を基に計算します。容量と抵抗の充放電により電圧が決まるため、時定数(63 %まで立ち上がる時間)で計算します。最大動作周波数の計算式は以下となります。

最大動作周波数 $\cong 1/(\tau)$ ※ τ は時定数

$$1/(\tau) = 1/(C \times R)$$

例えば以下条件で TC7SPB9306 を使用する場合、出力が立ち上がるまでの時定数は、 $\tau = (14 \text{ pF} + 30 \text{ pF}) \times 1 \text{ k}\Omega$ となり、約 20 MHz と計算できます。製品搭載時には基板容量などによって伝搬遅延時間が変わるため、実使用状態にて問題無いことを十分に確認してください。

スイッチ入出力容量 $C_{I/O}$: 14 pF

負荷容量 C_L : 30 pF

プルアップ抵抗 R_{pu} : 1 k Ω

<ロジック(バッファタイプ)を用いたレベルシフトとの差異>

1.3 章で示しますように、ロジック(バッファタイプ)の製品は、CMOS で構成されており、ゲートにデジタル信号を入力して MOSFET を駆動する回路形式となっています。そのため製品固有の駆動能力があり、出力はデジタル信号になります。また、出力は入力に対して伝搬遅延時間遅れます(図 3.2)。

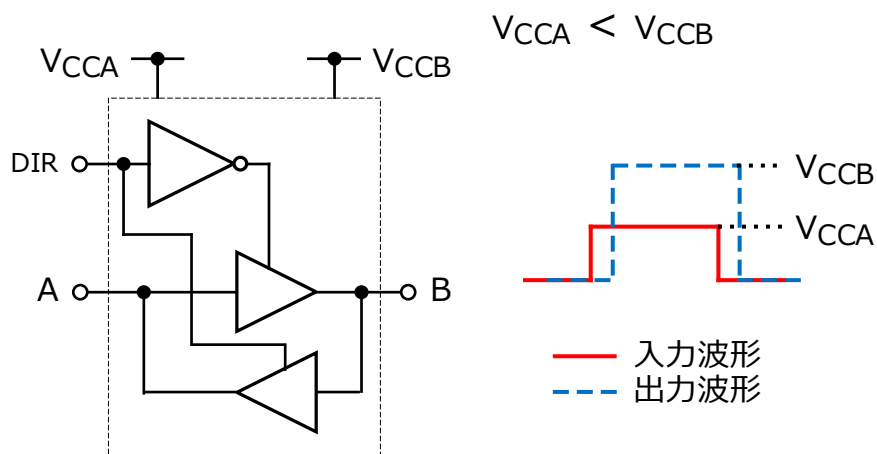


図 3.2 ロジック(バッファタイプ)等価回路と入出力波形イメージ

3.2. トラント機能

バススイッチは、コントロール端子やスイッチ端子にトラント機能があります。コントロール端子のトラント機能とは、入力電圧が電源電圧以上に高く設定されたとき、また、電源 $V_{CC}=0\text{ V}$ のときに、入力から電源に向かって電流が流れない機能です。入力電圧規格については、技術資料の動作範囲に記載されています。

例えば、入力規格が $0\sim V_{CC}$ の製品は、入力端子から電源端子に向けダイオードがある回路を採用しているため(トラント機能なし)、 V_{CC} 以上の電圧を印加することはできません。これに対し、入力電圧が、 $2.0\sim 5.5\text{ V}$ となっていれば、電源電圧に関係なく $V_{IN}=(V_{CC}\leq 5.5\text{ V})$ までの電圧が入力可能です。

スイッチ端子のトラント機能とは、電源 $V_{CC}=0\text{ V}$ の時とスイッチオフ時にスイッチ端子から電源に向かって電流が流れない機能です。

トラント機能の有無については、個別の技術資料を確認してください。

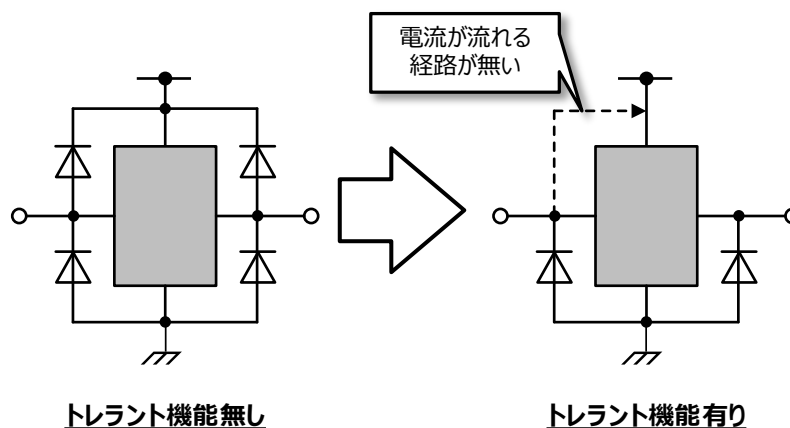


図 3.3 トラント機能有無のイメージ

表 3.1 トラント機能に関連する特性

動作条件

項目	記号	トラントなし	トラントあり
電源電圧	V_{CC}	$2.0 \sim 5.5\text{ V}$	$2.0 \sim 5.5\text{ V}$
コントロール入力電圧	V_{IN}	$0 \sim V_{CC}$	$0 \sim 5.5\text{ V}^*$
スイッチ入出力電圧	V_S	$0 \sim V_{CC}$	$0 \sim 5.5\text{ V}^*$

*動作電源電圧の最大値まで

4. バススイッチラインアップ

当社バススイッチには、汎用バススイッチと広帯域バススイッチがあります。
以下表 4.1 に通信速度に対する製品カテゴリーのイメージを示します。

表 4.1 バススイッチのカテゴリー

製品カテゴリー 大分類	製品カテゴリー 小分類	通信速度	規格例	製品名例
汎用バススイッチ	低電圧	200 Mbps	-	TC7SBL シリーズ
	5 V 系			TC7WBL シリーズ TC7MBL シリーズ
	2 電源レベルシフト	200Mbps (使用環境による)	I ² C	TC7SB シリーズ TC7WB シリーズ TC7SPB シリーズ TC7WPB シリーズ TC7QPB シリーズ TC7MPB シリーズ
広帯域シグナルスイッチ	USB 2.0	480 Mbps	USB 2.0	TC7USB シリーズ
		2.5 Gbps	PCIe Gen. 1.1	
		3 Gbps	SATA 2.0	
		3 Gbps	SAS 1.0	
		3.4 Gbps	HDMI 1.4	
	USB 3.0	5 Gbps	USB 3.0	TC7USB3 シリーズ
		5 Gbps	PCIe Gen. 2.0	
		5.4Gbps	Displayport 1.2	
		6 Gbps	SATA 3.0	
		6 Gbps	SAS 2.0	
PCIe Gen. 3.0	8 Gbps	PCIe Gen. 3.0	TC7PCI シリーズ	
	10 Gbps	USB 3.1		

4.1. 汎用バススイッチ

当社の汎用バススイッチには、3つのカテゴリ(低電圧、5 V系、2電源レベルシフト)があります。以下表 4.2 にスイッチ構成、電源電圧、タイプ、トレラント機能についてまとめました。

汎用バススイッチは、200 Mbps よりも低い信号速度の信号ラインで使用できます。

表 4.2 汎用バススイッチのラインアップ

カテゴリ	スイッチ構成	V _{CC} (V)		タイプ	製品名例	トレラント機能	
						コントロール端子	スイッチ端子
低電圧	SPST	1.65 to 3.6		Nch + Pch	TC7SBL シリーズ	✓	✓ *SBL66C は無
					TC7WBL シリーズ		
					TC7MBL シリーズ		
	SPDT	TC7MBL シリーズ	✓		✓		
	SP4T	TC7MBL シリーズ	✓		✓		
5 V系	SPST	1.65 to 5.5			TC7SB シリーズ	✓	-
				TC7WB シリーズ			
	SPDT	TC7SB シリーズ	✓	-			
2電源 レベルシフト	SPST	V _{CCA} 1.65 to 5.0	V _{CCB} 2.3 to 5.5	Nch	TC7SPB シリーズ	✓	✓
		TC7WPB シリーズ					
	SPDT	TC7QPB シリーズ	TC7MPB シリーズ	✓	✓		
		TC7MPB シリーズ	✓	✓			

4.2. 広帯域シグナルスイッチ

広帯域シグナルスイッチは、USB2.0、USB3.0、PCIe3.0 のような信号(480 Mbps~10 Gbps)線で使われます。当社の広帯域シグナルスイッチは、汎用バススイッチに比べ入出力容量を低減し高速な信号に対応しています。以下表 4.3 にスイッチ構成、電源電圧、タイプ、トレラント機能についてまとめました。

表 4.3 広帯域シグナルスイッチのラインアップ

カテゴリ	スイッチ構成	V _{CC} (V)	タイプ	製品名例	トレラント機能	
					コントロール端子	スイッチ端子
USB 2.0 (480 Mbps)	SPDT	2.3 to 4.3	Nch + Pch	TC7USB シリーズ	✓	✓
USB 3.0 (5 Gbps)	SPDT	1.65 to 1.95	チャージポンプ	TC7USB シリーズ	✓	✓
PCIe 3.0 (8 Gbps)	SPDT	3.0 to 3.6		T7PCI シリーズ	✓	-

広帯域シグナルスイッチは、技術資料に周波数特性を記載しております。以下図 4.1 に各カテゴリの周波数特性を示します。

また、広帯域シグナルスイッチのような高速の信号ラインに使用される製品の評価にはアイパターン(図 4.2)を使います。

図 4.2 に PCIe3.0 用の製品を使って USB3.1(10 Gbps)の信号を入力したときのアイパターンを示します。アイパターンは十分に開いており信号波形に問題ないことが分かります。

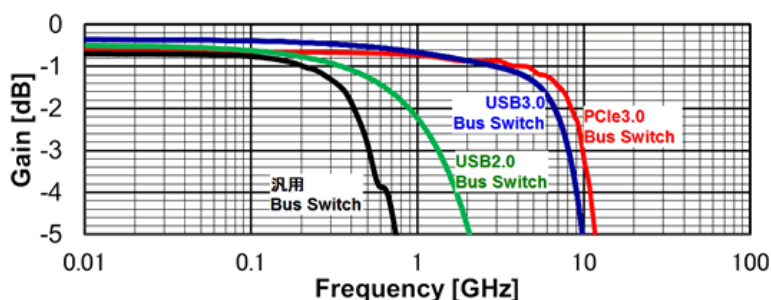


図 4.1 各カテゴリの周波数特性

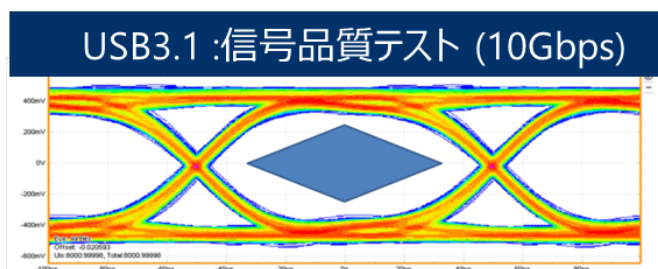


図 4.2 アイパターン評価波形

5. バススイッチの使用例

バススイッチは、信号のオン/オフや切り替えの目的で使用されます。製品によってはレベルシフトもできます。以下に回路図を用いて使用例を示します。

5.1. 信号の接続先の切り替え

CPU の出力信号を 2 つの IC(IC1 と IC2)のいずれかに切り替えたい場合、SPDT のバススイッチを使用します。バススイッチは双方向に信号を通すことができるため、IC1 や IC2 から出力される信号を CPU に伝えることもできます。バススイッチのオン抵抗に電流をかけた値分だけ信号電圧が減衰しますが、一般的にデジタル信号ではほとんど電流は流れないため信号はほぼ減衰しません。

また、出力信号の立ち上がり立ち下がり時間は、バススイッチのスイッチ入出力容量($C_{I/O}$)とオン抵抗(R_{ON})に加えて回路上の容量や抵抗成分の影響をうけます(CR 時定数)。一般的には数十 MHz 以上の高い周波数で使用できます。計算方法については 6 章を確認してください。

5.2. 信号ラインのオン/オフ(負荷軽減、IC の保護)

図 5.1 は、CPU の出力信号を IC1 と IC2 に伝える回路を示しています。

CPU からの信号を IC1 に入力する必要がない状態がある場合、CPU と IC1 の間に SPST のバススイッチを使用します。こうすることで、CPU の出力信号を IC1 に任意のタイミングで入力することができ、IC1 に信号を入力する必要がないときに IC1 を切り離せるので CPU の負荷も軽減することができます。

また、図内の赤枠で示すパーシャルパワーダウンエリア内の電源が、0 V になる可能性がある状態を考えます。

パーシャルパワーダウンエリアの電源が 0 V になる場合、バススイッチが破壊する可能性や、CPU の出力信号が IC1 に入力されると IC1 の寄生ダイオードを通して電源に電流が流れ IC1 が破壊する可能性もあります。

CPU の出力信号から IC1 を保護するためには、スイッチ端子にトレラント機能付きのバススイッチを使用します。バススイッチの電源は IC1 と同じ電源へ接続します。パーシャルパワーダウンエリアの電源(IC1 とバススイッチの電源)が 0 V になる場合、バススイッチのスイッチ端子にはトレラント機能がありますので、CPU と IC1 間はオープンの状態になり、IC1 を保護できます。

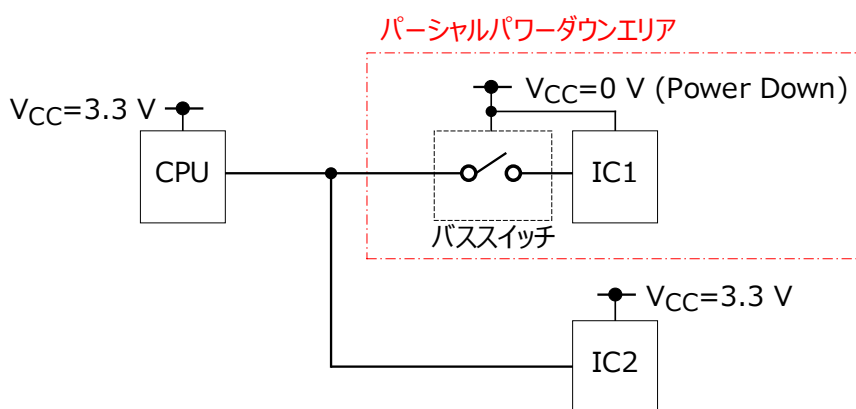


図 5.1 信号ラインのオン/オフ基本回路例

5.3. 信号のレベルシフト

図 5.2 は CPU と IC の電源電圧が異なっており、CPU と IC 間の信号のレベルシフトが必要な回路です。

CPU と IC の間にレベルシフト機能を持つ SPST の 2 電源バススイッチを使用し、バススイッチの入出力それぞれを各電源に接続するプルアップ抵抗 R_{PU} を用いることで、2 電源間(例：3.3 V と 5.0 V)で双方向に通信できます。

レベルシフト機能を持つ 2 電源バススイッチの電源電圧は、 V_{CCA} が 1.65 から 5.0 V で、 V_{CCB} が 2.3 から 5.5 V です。ただし、 $V_{CCA} < V_{CCB}$ の条件で使用する必要があります。レベルシフト機能を持つ 2 電源バススイッチは、1bit の製品だけでなく 2bit、4bit、8bit もラインアップしています。

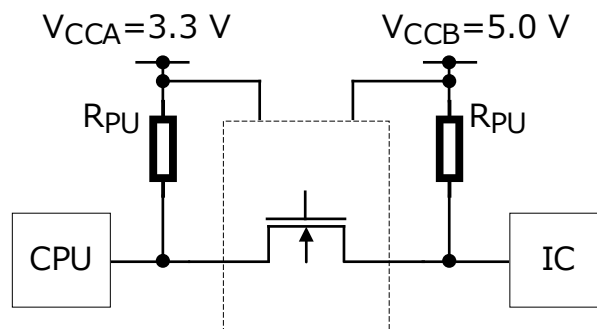


図 5.2 信号のレベルシフトの基本回路例

6. 出力立ち上がり/立ち下がり時間(t_r / t_f)の計算法

出力信号の $t_{r(out)}$ / $t_{f(out)}$ は、入力信号に対してバススイッチのスイッチ入出力容量($C_{I/O}$)とオン抵抗(R_{ON})の CR 時定数により影響されます。実際のアプリケーションでは、バススイッチ以外の回路上の容量成分および抵抗成分も $t_{r(out)}$ / $t_{f(out)}$ に影響します。

<出力立ち上がり/立ち下がり時間計算例>

TC7SB66CFU を例に算出します。

出力立ち上がり/立ち下がり時間の概算値は、下記の式で表せます(図 6.1 に算出回路を示します)。

【計算式 (概算値)】

$$t_{r(out)} / t_{f(out)} = -(C_{I/O} + C_L) \times (R_{DRIVE} + R_{ON}) \times \ln \frac{((V_{OH} - V_{OL}) - V_M)}{(V_{OH} - V_{OL})}$$

R_{DRIVE} = 前段回路の出力インピーダンス

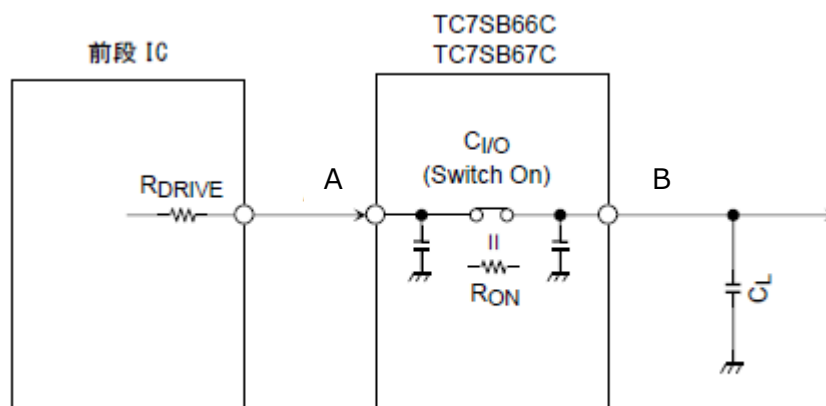
【計算例】

$$t_{r(out)} / t_{f(out)} = -(10 + 15)E^{-12} \times (120 + 4) \times \ln \frac{((4.5 - 0) - 2.25)}{(4.5 - 0)} \approx 2.1 \text{ ns}$$

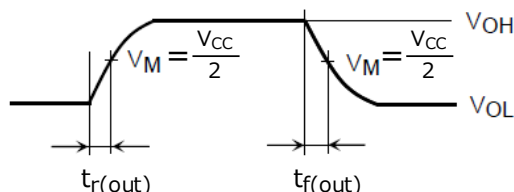
【計算条件】

$V_{CC} = 4.5 \text{ V}$, $C_L = 15 \text{ pF}$, $R_{DRIVE} = 120 \text{ } \Omega$ (前段 IC の出力インピーダンス), $V_M = 2.25 \text{ V}$ ($= \frac{V_{CC}}{2}$)

前段 IC のドライブ出力電圧 = デジタル信号("H"レベル電圧= V_{CC} , "L"レベル電圧= GND)



R_{DRIVE} = 前段 IC の出力インピーダンス



項目	V_{CC}			
		$5.0 \pm 0.5 \text{ V}$	$3.3 \pm 0.3 \text{ V}$	$2.5 \pm 0.2 \text{ V}$
V_M	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2$

図 6.1 出力立ち上がり/立ち下がり時間計算時の等価回路と出力波形イメージ

7. 関連リンク

- 製品のラインアップ (カタログ)

[Click](#)

- 製品のラインアップ (パラメトリックサーチ)

[Click](#)

- オンラインディストリビュータご購入、在庫検索



- 汎用ロジック IC の FAQ

[Click](#)

- アプリケーションノート

[Click](#)

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（ヘルスケア除く）、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、発電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、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームから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。