

STM32 マイクロコントローラを使用した USB ハードウェアと PCB のガイドライン

概要

STM32 マイクロコントローラには、USB(ユニバーサル・シリアル・バス)ペリフェラルが内蔵された製品群が含まれています(適用可能な製品については次の表を参照)。フルスピードおよびハイスピード動作は、内蔵およびまたは外部 PHY(開放型システム間相互接続モデルの物理レイヤ)を介して提供されます。

このアプリケーション・ノートでは、STM32 マイクロコントローラに実装された USB ペリフェラルの概要を示します。また、USB 規格に電気的に準拠していることを保証するために、PCB 設計に関するハードウェアのガイドラインも提供します。

詳細については、製品リファレンスマニュアルの USB または OTG のセクションを参照してください。

表 1. 対象とする製品

タイプ	参照	シリーズ、製品ライン、品名
マイクロコントローラ	全シリーズ	STM32F2 シリーズ、STM32L1 シリーズ、STM32L4+ シリーズ
	全ライン	STM32F102、STM32F103、STM32F105/107、STM32F373、STM32F401、STM32F405/415、STM32F407/417、STM32F411、STM32F412、STM32F413/423、STM32F427/437、STM32F429/439、STM32F446、STM32F469/479、STM32F7x2、STM32F7x3、STM32L0x2、STM32L0x3、STM32L4x2、STM32L4x3、STM32L4x5、STM32L4x6、STM32H743/753、STM32H750 バリューライン
	STM32F04xxx	STM32F042C4、STM32F042C6、STM32F042F4、STM32F042F6、STM32F042G4、STM32F042G6、STM32F042K4、STM32F042K6、STM32F042T4、STM32F042T6、STM32F048C6、STM32F048G6、STM32F048T6
	STM32F072xx	STM32F072C8、STM32F072CB、STM32F072R8、STM32F072RB、STM32F072V8、STM32F072VB
	STM32F078xx	STM32F078CB、STM32F078RB、STM32F078VB
	STM32F070xx	STM32F070C6、STM32F070CB、STM32F070F6、STM32F070RB
	STM32F302x6	STM32F302C6、STM32F302K6、STM32F302R6
	STM32F302x8	STM32F302C8、STM32F302K8、STM32F302R8
	STM32F302xB	STM32F302CB、STM32F302RB、STM32F302VB
	STM32F302xC	STM32F302CC、STM32F302RC、STM32F302VC
	STM32F302xD	STM32F302CD、STM32F302RD、STM32F302VD、STM32F302ZD
	STM32F302xE	STM32F302RE、STM32F302VE、STM32F302ZE
	STM32F303xB	STM32F303CB、STM32F303RB、STM32F303VB
	STM32F303xC	STM32F303CC、STM32F303RC、STM32F303VC
	STM32F303xD	STM32F303CD、STM32F303RD、STM32F303VD、STM32F303ZD
	STM32F303xE	STM32F303RE、STM32F303VE、STM32F303ZE
ロードノード	STM32F74xxx	STM32F745IE、STM32F745IG、STM32F745VE、STM32F745VG、STM32F745ZE、STM32F745ZG、STM32F746BE、STM32F746BG、STM32F746IE、STM32F746IG、STM32F746NE、STM32F746NG、STM32F746VE、STM32F746VG、STM32F746ZE、STM32F746ZG
	STM32F756xx	STM32F756BG、STM32F756IG、STM32F756NG、STM32F756VG、STM32F756ZG、
	STM32F76xxx	STM32F765BI、STM32F765IG、STM32F765II、STM32F765NG、STM32F765NI、STM32F765VG、STM32F765VI、STM32F765ZG、STM32F765ZI、STM32F767BG、STM32F767BI、STM32F767IG、STM32F767II、STM32F767NG、STM32F767NI、STM32F767VG、STM32F767VI、STM32F767ZG、STM32F767ZI、STM32F768AI、STM32F769AG、STM32F769AI、STM32F769BG、STM32F769BI、STM32F769IG、STM32F769II、STM32F769NG、STM32F769NI、STM32F769SL
モード	STM32F77xxx	STM32F777BI、STM32F777II、STM32F777NI、STM32F777VI、STM32F777ZI、STM32F778AI、STM32F779AI、STM32F779BI、STM32F779II、STM32F779NI

1 一般情報

本書は、Arm® コアベースの STM32 マイクロコントローラに適用されます。
注 Arm は、米国内およびその他の地域にある Arm Limited(またはその子会社)の登録商標です。



表 2. 略語と略記

項目(略称)	説明
ADP	接続検出プロトコル
BCP	バッテリ充電検出
EMI	電磁干渉
ESD	静電放電
FS	フルスピード
HBM	人体モデル
HS	ハイスピード
IEC	国際電気標準会議
LPM	リンク電源管理
LS	ロースピード
MCU	マイクロコントローラユニットまたはマイクロコントローラ
OTG	On-The-Go
PCB	プリント回路基板
PHY	物理層
SOF	フレーム開始
ULPI	UTMI + ローピンインタフェース
USB	ユニバーサル・シリアル・バス
UTMI	USB 2.0 トランシーバマクロセルインタフェース

参照

- 「System Level ESD-expanded」、JEDEC、2013 年 9 月。
- 「Improve System ESD Protection While Lowering On-Chip ESD Protection」(www.mobiledesign.com、2009 年 2 月)。
- 「USB 2.0 specification」、リビジョン 2.0、2000 年 4 月、www.usb.org で入手可能。
- 「On The Go and Embedded Host Supplement to the USB revision 2.0 specification」、リビジョン 2.0、2012 年 7 月、www.usb.org で入手可能。
- 「High Speed USB Platform Design Guidelines」、www.usb.org で入手可能。

2 STM32 製品の USB

USB をサポートする各デバイスには、次のインターフェースを少なくとも 1 つ内蔵しています。

- A: USB 2.0 FS デバイスインターフェース
- B: USB 2.0 OTG FS、すなわちオンチップ FS PHY を備えた USB 2.0 FS デバイス/ホスト/OTG コントローラ
- C: USB 2.0 OTG HS、すなわち USB 2.0 FS/HS デバイス/ホスト/OTG コントローラは、フルスピード動作用トランシーバを内蔵し、ハイスピード動作用 ULPI を備えています。ULPI に接続された外部 PHY デバイスが必要です。
- D: オンチップ HS PHY 内蔵の USB 2.0 OTG HS コントローラ

次の表に、USB をサポートする STM32 デバイスを示し、それぞれに実装されている USB ペリフェラルについて説明します。

表 3. STM32 デバイスへの USB の実装

シリーズ、製品ライン、またはリファレンス		サポートされている USB ⁽¹⁾				専用パケットバッファ SRAM のサイズ	専用の VDDUSB	USB_DP ライン上の内部 プルアップ抵抗
		A	B	C	D			
STM32F0 シリーズ	STM32F04x、 STM32F072、 STM32F078、 STM32F070x6/B	X	-	-	-	1 KB	いいえ	はい
STM32F1 シリーズ	STM32F102 ライン、 STM32F103 ライン	X	-	-	-	512 バイト	いいえ	(2)
	STM32F105/107 ライン	-	X	-	-	1.25 KB	いいえ	はい
STM32F2 シリーズ		-	X	-	-	1.25 KB	いいえ	はい
		-	-	X	-	4 KB	いいえ	はい
STM32F3 シリーズ	STM32F302xB/C、 STM32F303xB/C、 STM32F373 ライン	X	-	-	-	512 バイト	いいえ	(2)
	STM32F302x6/8、 STM32F302xD/E、 STM32F303xD/E	X	-	-	-	1 KB	いいえ	(2)
STM32F4 シリーズ ⁽³⁾	STM32F405/415 ライン、 STM32F407/417 ライン、 STM32F427/437 ライン、 STM32F429/439 ライン、 STM32F401 ライン、 STM32F411 ライン	-	X	-	-	1.25 KB	いいえ	はい
		-	-	X	-	4 KB	いいえ	はい
	STM32F446 ライン、 STM32F469/479 ライン、 STM32F412 ライン、 STM32F413/423 ライン	-	X	-	-	1.25 KB	はい	はい
		-	-	X	-	4 KB	はい	はい
STM32F7 シリーズ	STM32F74x、 STM32F756、 STM32F76x、 STM32F77x、 STM32F7x2 ライン	-	X	-	-	1.25 KB	はい	はい
		-	-	X	-	4 KB	はい	はい
	STM32F7x3 ライン	-	X	-	-	1.25 KB	はい	はい
		-	-	-	X	4 KB	はい	はい
STM32L0 シリーズ	STM32L0x2 ライン、 STM32L0x3 ライン	X	-	-	-	1 KB	はい	はい
STM32L1 シリーズ		X	-	-	-	512 バイト	いいえ	はい

シリーズ、製品ライン、またはリファレンス		サポートされている USB ⁽¹⁾				専用パケットバッファ SRAM のサイズ	専用の VDDUSB	USB_DP ライン上の内部 プルアップ抵抗
		A	B	C	D			
STM32L4 シリーズ	STM32L4x2 ライン、 STM32L4x3 ライン	X	-	-	-	1 KB	はい	はい
	STM32L4x5 ライン、 STM32L4x6 ライン	-	X	-	-	1.25 KB	はい	はい
STM32L4+ シリーズ		-	X	-	-	1.25 KB	はい	はい
STM32H7 シリーズ	STM32H743/753 ライ ン、STM32H750 バリ ューライン	-	X ⁽⁴⁾	X	-	4 KB	はい ⁽⁵⁾	はい

1. X: サポートされています。
2. USB 2.0 フルスピード電気的仕様に準拠するには、USB_DP(D+)ピンを $1.5 \text{ k}\Omega$ の抵抗で $3.0 \sim 3.6 \text{ V}$ の電圧範囲にプルアップする必要があります。
3. STM32F401/411/412/413/423 デバイスは、FS モードのみをサポートしています。
4. フルスピード動作のみをサポートする USB 2.0 OTG HS デバイス/ホスト/OTG ペリフェラル。
5. VDD50USB および VDD33USB ピンから使用可能です。

2.1 STM32 製品への USB の実装

表 4. STM32 のメインストリーム製品への USB の実装

機能 ⁽¹⁾	STM32F070x6/B	STM32F072	STM32F102	STM32F105/107	STM32F302xB/C	STM32F302x6/8
		STM32F078	STM32F103		STM32F303xB/C	STM32F302xD/E
USB 2.0 FS デバイスインターフェース				USB OTG FS	USB 2.0 FS デバイスインターフェース	
クリスタルレス USB	-	X	-	-	-	-
エンドポイント数	8		4 ⁽²⁾		8	
ホストモードチャネル	-		8		-	
専用パケットバッファ SRAM のサイズ	1 KB ⁽³⁾		512 バイト ⁽⁴⁾	1.25 KB ⁽⁵⁾	512 バイト ⁽⁵⁾	1 KB ⁽³⁾
USB_DP ライン上のプ ルアップ抵抗	内蔵		1.5 kΩ の抵抗の 追加が必要	内蔵	1.5 kΩ の抵抗の追加が必要	
LPM	X		-		X	
BCD	X		-		-	
ADP			-			

1. X: サポートされています。
2. 双方向、EP0 を含む。
3. CAN ペリフェラルを使用している場合、USB で使用できるのは最初の 768 バイトのみです。最後の 256 バイトは、CAN によって使用されます。
4. USB と CAN は、専用の 512 バイトの SRAM を共有しています。これらは、同じアプリケーションで使用できますが、同時には使用できません。
5. 専用 SRAM は、USB エンドポイントによって排他的に使用されます(他のペリフェラルとは共有されません)。

表 5. STM32 のハイパフォーマンス製品への USB の実装

機能 ⁽¹⁾	STM32F401		STM32F2x5/2x7		STM32F412		STM32F446 STM32F469 STM32F479 STM32F74x STM32F756 STM32F76x STM32F77x STM32F7x2 STM32F730R/V STM32F750		STM32F7x3		STM32H743/753 STM32H750	
	OTG FS	OTG HS	OTG FS	OTG HS	OTG FS	OTG HS	OTG FS	OTG HS	OTG FS	OTG HS	OTG FS	OTG HS
クリスタルレス USB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
双方向エンドポイント(EP0を含む)	4	-	4	6	6	-	6	9	6	9	9	9
ホストモードチャネル	8	-	8	12	12	-	12	16	12	16	16	16
専用パケットバッファ SRAM のサイズ (KB) ⁽²⁾	1.25	-	1.25	4	1.25	-	1.25	4	1.25	4	4	4
マルチブレクサ経由プライマリ I/O に使用できる ULPI	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X
統合 PHY	FS ⁽³⁾	-	FS ⁽³⁾	FS ⁽³⁾	FS ⁽³⁾	-	FS ⁽³⁾	FS ⁽³⁾	FS ⁽³⁾	HS ⁽⁴⁾	FS ⁽³⁾	FS ⁽³⁾
LPM	-	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X	X
BCD	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	X
ADP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1. X: サポートされています。

2. 専用 SRAM は、USB エンドポイントによって排他的に使用されます(他のペリフェラルとは共有されません)。

3. 内部 FS OTG PHY のサポート。

4. 内部 HS OTG PHY のサポート。

表 6. STM32 の超低消費電力製品への USB の実装

機能 ⁽¹⁾	STM32L0x2	STM32L1xx	STM32L4x2	STM32L4x5, STM32L4x6
	STM32L0x3	STM32L4x3	STM32L4Rx, STM32L4Sx	USB OTG FS
クリスタルレス USB	X	-	X	X ⁽²⁾
エンドポイント数		8		6(双方向)
ホストモードチャネル		-		12
専用パケットバッファ SRAM のサイズ ⁽³⁾		1 KB		1.25 KB(高度な FIFO 制御あり)
USB_DP ライン上のプルアップ抵抗		X		X
LPM		X		X
BCD		X		X
ADP		-		X

1. X: サポートされています。

2. STM32L47x/L48x デバイスを除く。

3. 専用 SRAM は、USB エンドポイントによって排他的に使用されます(他のペリフェラルとは共有されません)。

2.2 サポート対象の USB 速度

USB OTG_FS は、ホストモードではフルスピードとロースピードの転送をサポートする一方で、デバイスマードでは、フルスピード転送のみをサポートします。

表 7. サポート対象の OTG_FS 速度

モード ⁽¹⁾	FS(12 Mbit/s)	LS(1.5 Mbit/s)
ホスト	X	X
デバイス	X	-

1. X: サポートされています。

USB OTG_HS は、ホストモードではハイ、フル、ロースピードの転送をサポートする一方で、デバイスマードではハイスピードとフルスピードの転送のみをサポートします。

表 8. サポート対象の OTG_HS 速度

モード ⁽¹⁾	HS(480 Mbit/s)	FS(12 Mbit/s)	LS(1.5 Mbit/s)
ホスト	X	X	X
デバイス	X	X	-

1. X: サポートされています。

2.3 ESD および EMI からの保護

ESD と EMI から保護する必要があります。システムは、JESD22-A114D (HBM とも呼ばれる) と IEC 61000-4-2 の両方の規格に準拠している必要があります。

HBM では、STM32 マイクロコントローラの場合、コンポーネントデバイスの USB ピンが 2 kV までの放電を許容する必要があります。JESD22-A114D 規格のテスト波形とクラスレベルについては、次の図と表を参照してください。詳細については、www.jedec.org から入手できるドキュメント「System Level ESD-expanded」を参照してください。

図 1. JESD22-A114D 規格のテスト波形

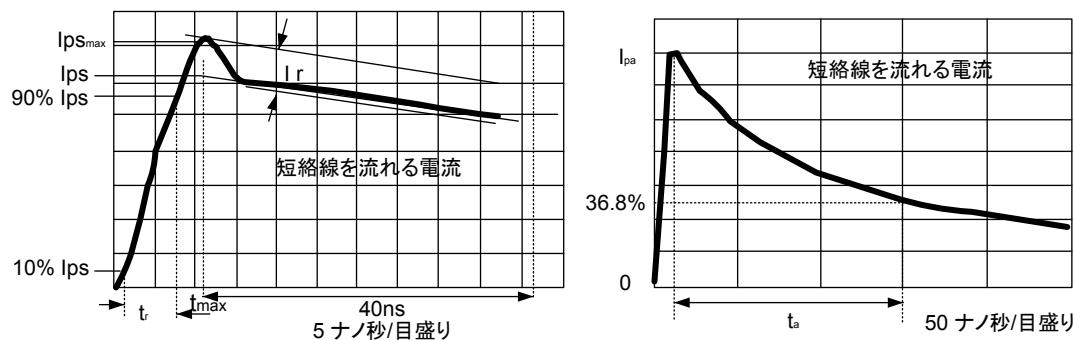


表 9. JESD22-A114D 規格のクラスレベル

Class	電圧範囲	電流範囲
クラス 0	$V < 250 \text{ V}$	$I < 0.17 \text{ A}$
クラス 1A	$250 \text{ V} < V < 500 \text{ V}$	$0.17 \text{ A} < I < 0.33 \text{ A}$
クラス 1B	$500 \text{ V} < V < 1000 \text{ V}$	$0.33 \text{ A} < I < 0.67 \text{ A}$
クラス 1C	$1 \text{ kV} < V < 2 \text{ kV}$	$0.67 \text{ A} < I < 1.33 \text{ A}$
クラス 2	$2 \text{ kV} < V < 4 \text{ kV}$	$1.33 \text{ A} < I < 2.67 \text{ A}$
クラス 3A	$1 \text{ kV} < V < 8 \text{ kV}$	$2.67 \text{ A} < I < 5.33 \text{ A}$
クラス 3B	$V > 8 \text{ kV}$	$I > 5.33 \text{ A}$

システムは、レセプタクルに接続されている場合は、USB ラインに関する IEC 61000-4-2 規格にも準拠する必要があります。この規格は、HBM 規格とはかなり異なります。IEC 61000-4-2 規格のテスト波形とクラスレベルについては、次の図と表を参照してください。

図 2. IEC 61000-4-2 規格の波形

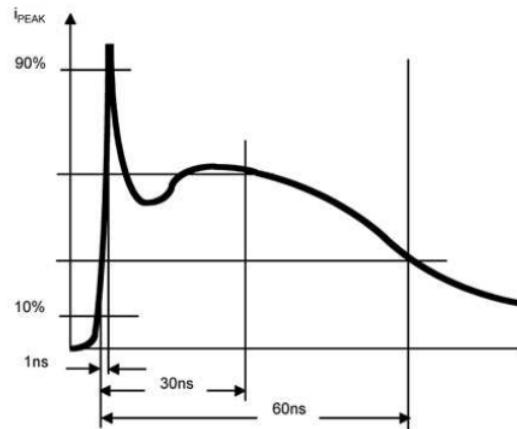


表 10. IEC 61000-4-2 規格のクラスレベル

レベル	接触	空気	ピーク電流(A)
	表示電圧(kV)	表示電圧(kV)	
1	2	3	7.5
2	4	4	15
3	6	8	22.5
4	8	15	30

2 つのテストに適用された電流パルスの違いを確認するために、前述の 2 つの図を比較します。

高 ESD サージからの保護を向上させるために(そして規格で求められる条件を満たすために)、専用コンポーネントをレセプタクルのできるだけ近くに配置する必要があります(次の表を参照)。

表 11. ESD 保護

インターフェース	保護	
	低価格	PCB の低い領域
USB FS	USBLC6-2SC6 (+ VBUS の場合は ESDA7P60-1U1M)	USBLC6-2P6 (+ VBUS の場合は ESDA7P60-1U1M)
USB FS OTG	USBLC6-4SC6	DSILC6-4P6
USB HS	ECMF02-2AMX6(+ 5 V VBUS の場合は ESDA7P60-1U1M)	
USB HS OTG ECMF02	ECMF02-2AMX6(+ 5 V VBUS の場合は ESDA7P60-1U1M + ID の場合は ESDALC6V1-1U2)	

2.4 クロック

FS USB デバイス/OTG は、高精度な 48 MHz クロックを必要とします。この周波数は、内部メイン PLL または 48 MHz の内部オシレータから生成できます。

前者の場合、クロックソースは HSE クリスタルオシレータを使用する必要があります。後者の場合、オシレータの同期は次から取得できます。

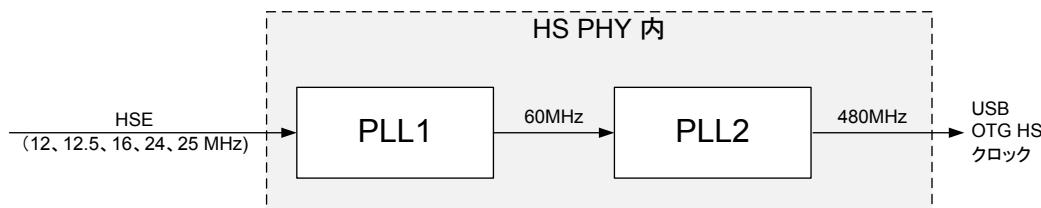
- USB データストリーム自体(SOF 信号)、外部発振子/クリスタルは必要ありません(この機能は、クリスタルレス USB 2.0 FS デバイスインターフェース内蔵のデバイスでのみ使用可能)、または
- LSE でトリミングされた 48 MHz の内部オシレータ(USB ホストに対して精度不十分)。
- STM32L47x/L48x デバイスでは MSI および LSE のみ。

ハイスピード動作が必要である場合、OTG PHY は 12 個の信号を通じてマイクロコントローラの ULPI ポートに接続されます。クロックには、60 MHz 出力を使用できます(HS PHY から供給され、この場合 HSE は必須ではありません)。

次の図に示すように、STM32F7x3xx デバイスの場合、USB HS PHY には 2 つの内蔵 PLL があります。

- PLL1: クロックソースとして HSE クロックを使用しています。サポートされる値は、12、12.5、16、24、および 25 MHz です。PLL1 は、PLL2 の入力として使用される 60 MHz を出力します。
- PLL2: ハイスピード(480 MHz)クロックを出力します。

図 3. STM32F7x3 デバイスの HS PHY PLL



注 AHB 周波数は、正しい動作を保証するために、USB OTG FS ペリフェラルでは 14.2 MHz より高く、また USB OTG HS ペリフェラルでは 30 MHz より高くなければなりません。

2.5 パワー

USB トランシーバの場合、動作電圧範囲は 3.0 ~ 3.6 V です。この電圧は、次のいずれかから取得します。

- V_{DD} : STM32MCU I/O 用の標準外部電源
- V_{DDUSB} : 専用の独立した USB 電源です。この電源は、 V_{DD} または USB トランシーバ用の独立した外部電源に接続できます。

それにより、マイクロコントローラの電源は規定の最小電源電圧で供給でき、その一方で独立した 3.3 V の電源を V_{DDUSB} に接続できます。

V_{DDUSB} は、独立した電源に接続されている場合は V_{DD} や V_{DDA} から独立していますが、最後に供給され最初に切断される電源でなければなりません。

注意すべき重要なポイントを次に示します。

- USB フルスピードトランシーバの機能は 2.7 V まで保証されます。USB フルスピード電気的特性は、 V_{DD} の範囲が 2.7 ~ 3.0 V の場合に低下します。
- V_{DDUSB} はすべての STM32 デバイスで使用できるわけではありません。この機能が特定のマイクロコントローラで使用可能かどうかを確認するには、表 3. STM32 デバイスへの USB の実装 の「専用 VDDUSB」列を参照してください。
- V_{DDUSB} ピンには、デカップリング用の外部コンデンサを 2 つ(100 nF セラミック + 1 μ F タンタルまたはセラミック)接続する必要があります。
- 一部のデバイスは、ピン数の多いパッケージで、専用の VDDUSB ピンを持っています。ピン数の少ないパッケージを組み立てる場合、これらのデバイスには USB 機能を保証する VDD ピンのみがあります。
- STM32F7x3xx デバイスでは、USB HS PHY サブシステムは追加の電源ピンを使用します。 $V_{DD12OTGHS}$ ピンは HS PHY レギュレータの出力(1.2 V)です。外部コンデンサ(2.2 μ F)を $V_{DD12OTGHS}$ ピンに接続する必要があります。
- STM32H7x3 デバイスでは、USB 内部レギュレータを介して $V_{DD33USB}$ を生成するために、USB ケーブルを介して $V_{DD50USB}$ を供給できます。これは、3.3 V 以外の V_{DD} 電源をサポートするために使用します。USB レギュレータは、バイパスすることで $V_{DD} = 3.3$ V のときに直接 $V_{DD33USB}$ を供給できます。

2.6

VBUS センシング検出

USB 仕様に基づき、USB デバイスは VBUS センシング検出を使用する必要があります。デバイスは、ホストの存在を検出すると、プルアップ抵抗を D+ または D- データ信号に接続します。これにより、ホストはバス上にデバイスが存在することを検出できます。

これには、2 つのケースがあります。

- USB デバイスはバスパワー型です。VBUS センシングは必須ではありません(USB は、デバイスへの電源供給時に常時接続されています)。
- このデバイスはセルフパワー型です。VBUS センシングは必須です。

ピン PA9(5 V トレーラントピン)は、元々 VBUS センシング専用です。データシートの絶対最大定格の表には、5 V トレーラントピン電圧が $V_{DD} + 4$ V を超えられないことが示されています。ユーザは、マイクロコントローラに電源が供給されておらず、5 V VBUS が PA9 に接続されている状況を回避する必要があります。絶対最大定格の条件に違反し、デバイスの永続的な損傷につながる可能性があるためです。

このため、PA9 の電圧を 4 V 未満に下げる必要があります。また、STM32 データシートで説明されているように、OTG ペリフェラルの内部 VBUS 検出ブロックでは電流が消費されます。「VBUS センシング機能が有効な場合、PA9 はオルタネート機能としてではなく、デフォルト状態(フローティング入力)のままにする必要があります。この機能が有効になったときに、PA9 では内蔵されたセンシングブロックで、200 μ A の電流が消費されます(異なるセッションを決定するための電流から電圧への変換)。」

信頼性が高く安全な VBUS 検出のため、絶対最大定格を保証する分圧器の使用を推奨します。この場合、DC 電流を最小にするには、VBUS と GND の間の合成抵抗値を高くする必要があります。抵抗分周器によって基本 GPIO レベル(VIL, VIH)を使用可能です。

注

VIL/VIH の計算では、すべての GPIO はメイン I/O 電源の V_{DD} から供給されます。一部のマイクロコントローラで、 V_{DDUSB} は USB 信号専用です。

VBUS 検出に推奨される抵抗分周器の値は次のとおりです。

- 範囲 3.0 ~ 3.6 V の V_{DD} の場合 : 82 k Ω (GND へ接続)、33 k Ω (VBUS へ接続)
- 範囲 1.8 ~ 2.0 V の V_{DD} の場合 : 68 k Ω (GND へ接続)、82 k Ω (VBUS へ接続)

レジスタ値は、± 0.1% の許容誤差を想定して評価されています。これらは、VBUS が 0.8 ~ 3.67 V であるときの切り替えを保証するために、さまざまな STM32 ファミリーにわたり、VIL/VIH に対してチェックされます。

3 USB の実装に関するハードウェアガイドライン

このセクションでは、USB ペリフェラルが正しく動作するためのハードウェア要件について説明します。

3.1 USB FS のアップストリーム・ポート

ペリフェラルモードでは、VBUS 電源は常にケーブルから供給されます。USB FS インピーダンスドライバは、データラインバスに外部直列抵抗を追加しなくて済むよう、常に内部で管理されます。

USB 仕様によると、主な 2 つの使用例があります。

- セルフパワー型アプリケーション：独自に電源を供給し、ケーブル挿入時にアップストリーム・ポートとして機能するプラットフォーム。いかなる条件でも、USB インタフェースから電流を流してはなりません。
- バスパワー型アプリケーション：VBUS のみを介して供給され、アップストリーム・ポートとして機能するプラットフォーム。

3.1.1 セルフパワー型アプリケーションでの USB FS のアップストリーム・ポート

セルフパワー型プラットフォームでの消費電力を最適化するため、VBUS 検出時には、USB PHY とコントローラのみを起動してください。

抵抗ブリッジを実装することを推奨します（詳細については、[セクション 2.6 を参照](#)）。また、ESD 保護デバイスの使用と、このデバイスができるだけ USB コネクタの近くに配置することも推奨されます。

USB 2.0 フルスピード電気的仕様に準拠するには、USB_DP(D+)ピンを $1.5\text{ k}\Omega$ の抵抗で $3.0 \sim 3.6\text{ V}$ の電圧範囲にプルアップする必要があります。

いくつかの STM32 マイクロコントローラには、プルアップ抵抗がすでに実装されています。他の STM32 マイクロコントローラには、ユーザがこの抵抗を追加する必要があります（表 3 の「USB_DP ライン上の内部プルアップ抵抗」の列を参照）。

図 4. セルフパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のある USB FS のアップストリーム・ポート

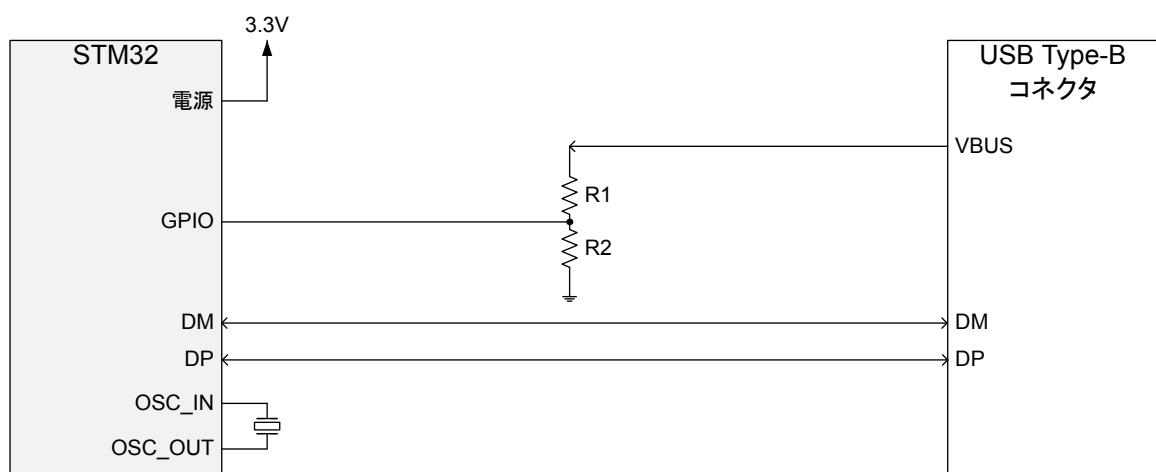
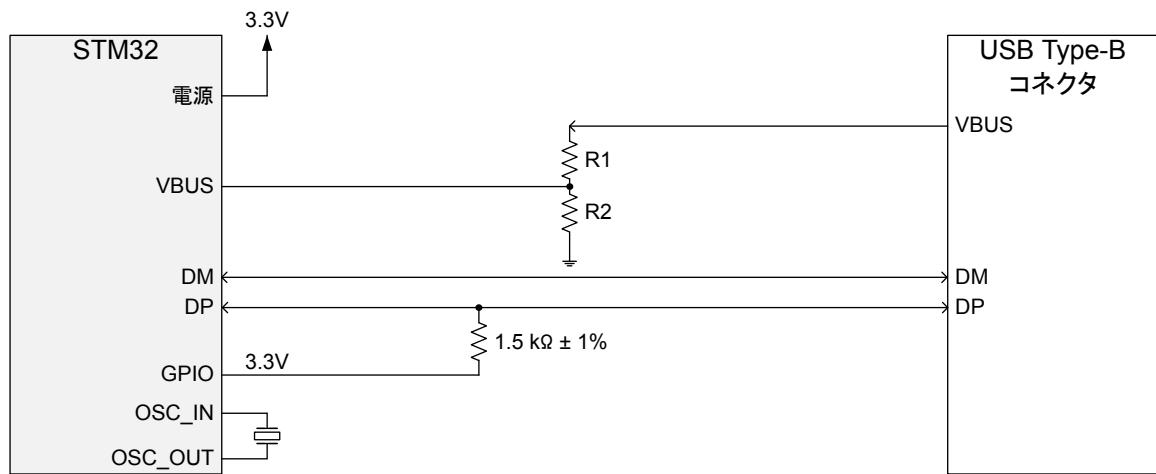


図 5. セルフパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のない USB FS のアップストリーム・ポート



DP プルアップは、VBUS が挿入されている場合にのみ接続する必要があります。VBUS 検出後は、マイクロコントローラからの GPIO を使用して駆動されます。

3.1.2 バスパワー型アプリケーションでの USB FS のアップストリーム・ポート

バスパワー型アプリケーションとは、電源が VBUS からのみ供給されるアプリケーションです。ホストをアクティブにし、VBUS を使用可能な状態に保つには、PHY とコントローラの両方を常にアクティブにしておく必要があります。

外部の低損失レギュレータ(LDO)を使用してマイクロコントローラの入力電源を下げ(LDO39050PU33R または同等のコンポーネントを使用可能)、ESD 保護チップ(使用されている場合)ができるだけ USB コネクタの近くに配置することを推奨します。

図 6. バスパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のある USB FS のアップストリーム・ポート

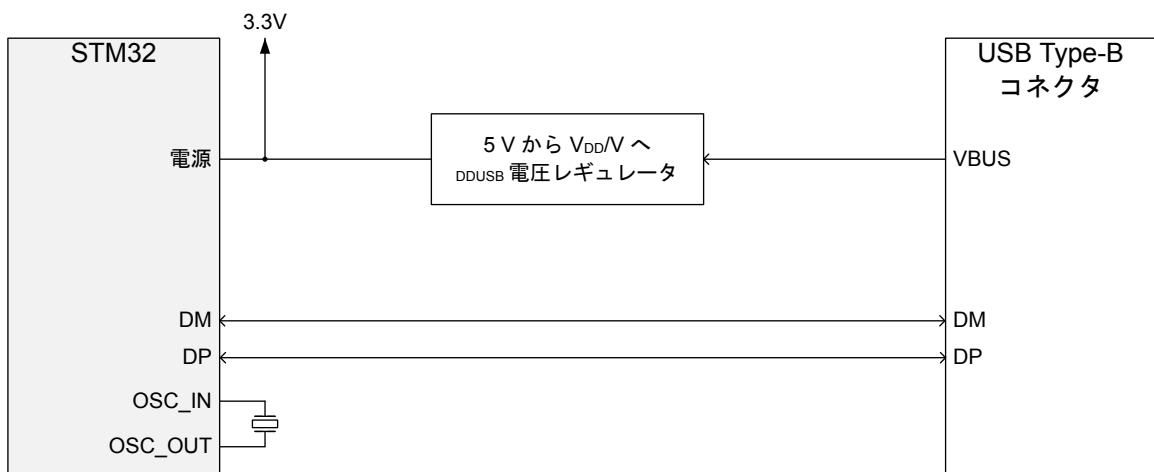
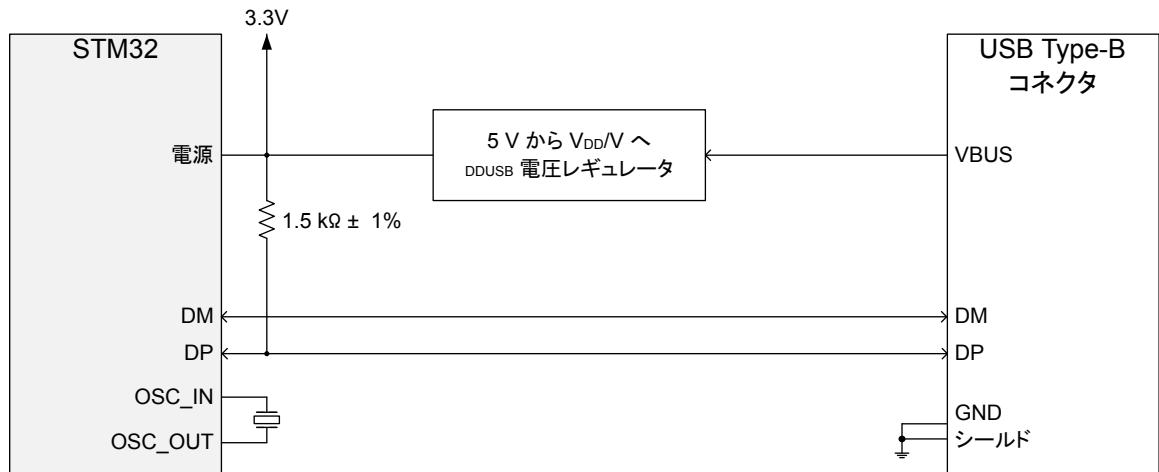


図 7. バスパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のない USB FS のアップストリーム・ポート



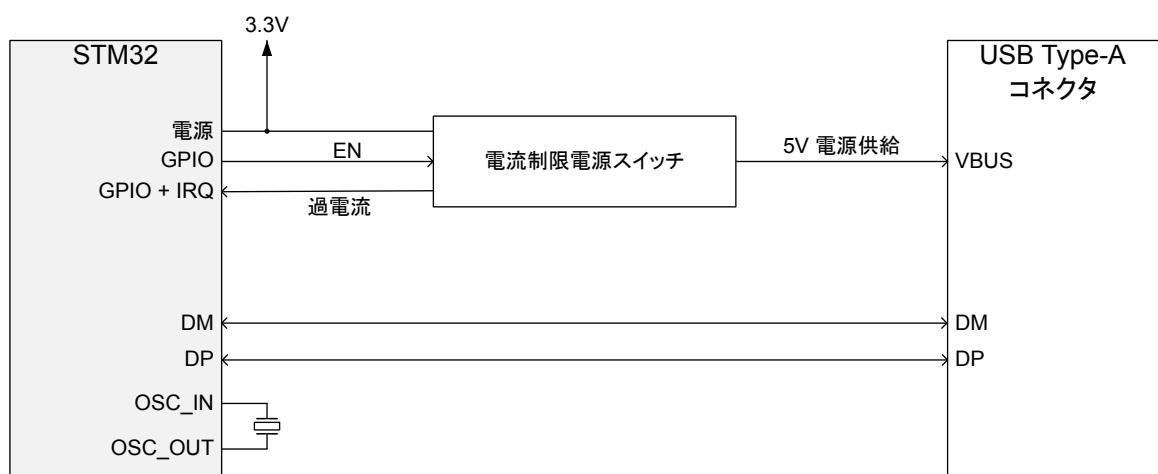
3.2 USB FS ダウンストリーム・ポート

このセクションでは、ホスト接続をサポートするすべての STM32 マイクロコントローラで使用可能な USB FS のダウンストリーム・ポートの実装について説明します。

USB 仕様の要求に応じて、VBUS のオーバーロードが発生した場合は、ユーザに通知する必要があります。VBUS のオーバーロードに関する情報は、次の図に示すように、過電流保護付きスイッチ(STMPS2151STR または同等)を介して STM32 デバイスに提供されます。

ESD 保護チップを使用する場合は、USB コネクタのできるだけ近くに配置する必要があります。

図 8. USB FS のダウンストリーム・ポートの実装



3.3 内蔵 PHY を介した OTG アプリケーション

USB OTG 製品は、ポータブルデバイスと PC 以外のホストに以下の拡張機能を付与できるシナリオに対応しています。

- 選択された USB ペリフェラルのリストと通信するターゲットホストの機能
- OTG デバイス間における直接接続のサポート
- バッテリを長持ちさせる省電力機能
- USB 電源の役割を識別する、ID という名前の新しいコネクタのピン

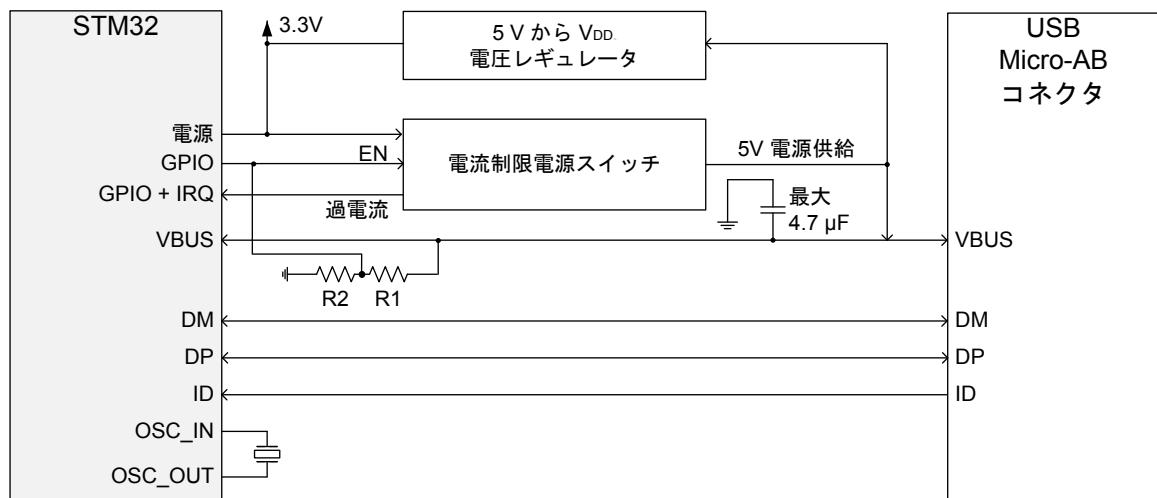
結果として、OTG プラットフォームには次を含める必要があります。

- OTG 機能をサポートする STM32 マイクロコントローラ
- マイクロ AB コネクタ: USB の役割を ID ピンによって識別
- OTG デバイスがダウンストリーム・ポートとして機能する場合の VBUS 生成
- VBUS 電流オーバーフロー（ダウンストリーム・ポートとして監視および動作の両方）

次に示す図について：

- OTG 仕様では、VBUS でコンデンサ（最大値 $4.7 \mu\text{F}$ ）を使用する必要があります。
- ESD 保護チップを使用する場合は、USB コネクタのできるだけ近くに配置する必要があります。
- 電源スイッチ（STMP2151STR など）が必要です。
- 過電流が検出されると、情報は STM32 ソフトウェアに送信され、STM32 ソフトウェアは問題について警告します（VBUS を DP/DM から遠くに離してルーティングすることを推奨します）。
- プラットフォームがデバイスとしてホストに接続されているときには、常に STM32 に電源を供給する必要があります（バッテリ切れサポートの場合は、PA9 の電圧をセクション 2.6 の説明に従って下げる必要があります）。

図 9. OTG 回路図の実装（デュアルモード）



その他の考慮事項：

- 外部電圧レギュレータは、VBUS で電源が供給されるデバイスを設定する場合にのみ必要です。
- 電流制限は、アプリケーションが VBUS で電源が供給されるデバイスをサポートしなければならない場合にのみ必要です。基本的な電源スイッチは、アプリケーションボード上で 5V が使用可能な場合に使用できます。
- ID ピンは、デュアルロールでのみ必要です。
- OTG HS を FS モードで使用して同じアプリケーションを開発し、大容量 Rx/Tx FIFO と専用 DMA コントローラによって性能を向上させることができます。

3.4 ULPI を介して接続された OTG_HS PHY

USB 規格では、USB-IF のウェブサイトから入手可能な「High Speed USB Platform Design Guidelines」ドキュメントに記載されたハイスピード USB プラットフォームのルーティングガイドラインを提案しています。

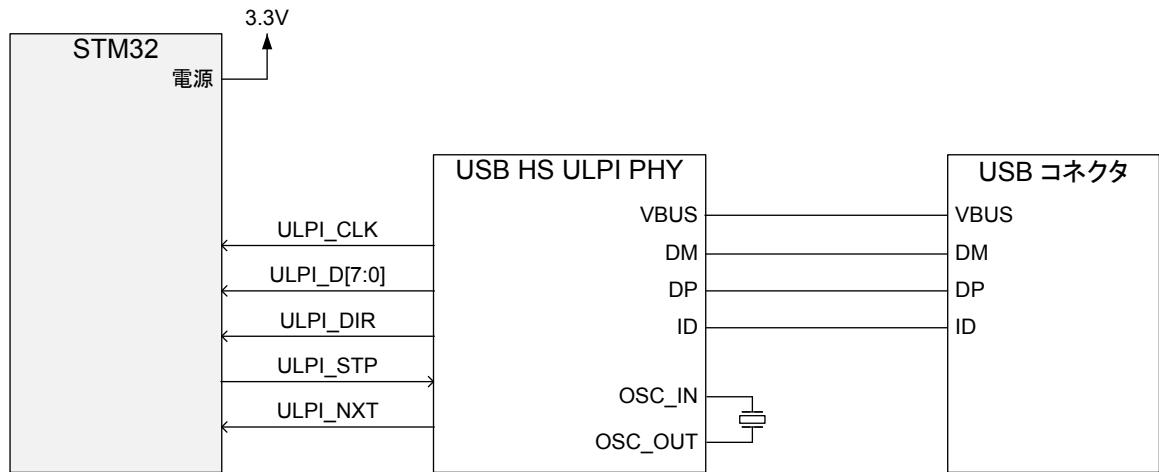
注

ハイスピードドライバの一部であるフルスピードドライバの場合、インピーダンスは $45 \Omega \pm 10\%$ です。

推奨事項:

- ULPI PHY は ULPI CLK のマスターであるため、ULPI サンプリングおよび USB HS データサンプリングのクロック精度を保証するには、クリスタルオシレータが必要です。
- OTG 仕様では、VBUS にコンデンサ(最大値 4.7 μ F)が必要です。
- ESD 保護チップを使用する場合は、USB コネクタのできるだけ近くに配置する必要があります。

図 10. ULPI インタフェースを介した USB HS



3.4.1

ULPI インタフェース経由で互換性のある外部 USB HS PHY

次の表に、ULPI インタフェース経由で互換性のある外部 USB HS PHY の一部を示します。

表 12. 互換性のある USB HS PHY

USB HS PHY	テスト対象	
	ボード	MCU
ISP1705AET	STM3240G-Eval	STM32F407
	STM3241G-Eval	STM32F417
	STM3221G-Eval	STM32F207
	STM3220G-Eval	STM32F217
USB3300-EZK	STM32779I-Eval	STM32F777
	STM32769I-Eval	STM32F769
	STM32756G-Eval	STM32F756
	STM32746G-Eval	STM32F746
	STM32479I-Eval	STM32F479
	STM32F446E-Eval	STM32F446
	STM32F439I-Eval	STM32F439
	STM32F429I-Eval	STM32F429
USB3320C-EZK	STM32H753I-Eval	STM32H753
	STM32H743I-Eval	STM32H743
	STM32F769I-Disco	STM32F769
	STM32F746G-Disco	STM32F746

3.5

内蔵 OTG HS PHY を介した USB アプリケーション

内部 HS USB PHY がすでに含まれているため、STM32F7x3 デバイスで USB HS を動作させるために ULPi を介して外部 HS PHY を接続する必要はありません。

内蔵 USB FS PHY 用に詳しく説明された推奨事項以外に、次のような推奨事項があります。

- 2.2 μ F の外部コンデンサを VDD12OTGHS ピンに接続する必要があります。
- HS PHY には較正に必要な OTG_HS_REXT ピンがあり、このピンは外部高精度抵抗(3 K Ω \pm 1%)を介して GND に接続する必要があります。

3.6

STM32 の USB-IF 対応リスト

認証済み USB ペリフェラルを含む STM32 デバイスのリストは、www.usb.org から入手できます。次の表に、STM32 デバイスの認証済み USB ペリフェラルの一覧を示します。

表 13. 認証済み USB ペリフェラル

STM32 デバイス	認証カテゴリー	速度	TID
STM32F072	ペリフェラル	LS/FS	40001561
STM32F103	ペリフェラル	LS/FS	40000455
STM32F105	ペリフェラル	LS/FS	40001571
STM32F205/7	ペリフェラル	LS/FS	40001366
STM32F205/7	ペリフェラル	HS	40001365
STM32F207	組み込みホスト	FS	120000252
STM32F207	組み込みホスト	HS	120000251
STM32F303	ペリフェラル	LS/FS	40001494
STM32F373	ペリフェラル	LS/FS	40001496
STM32F405/7	ペリフェラル	HS	40001393
STM32F405/7	ペリフェラル	LS/FS	40001394
STM32F407	組み込みホスト	HS	120000253
STM32F407	組み込みホスト	FS	120000256
STM32F723	ペリフェラル	HS	40001777
STM32F723	組み込みホスト	FS	120000703
STM32F723	組み込みホスト	HS	120000702
STM32F723	ペリフェラル	LS/FS	40001776
STM32L053	ペリフェラル	LS/FS	40001612
STM32L152	ペリフェラル	LS/FS	10730015
STM32L476 STM32L476ZGT6U	ペリフェラル	LS/FS	40001658
STM32L476 STM32L476ZGT6U	組み込みホスト	FS	120000348

4

FAQ(よくある質問)

Q: USB の最小動作電圧は？

A: USB は、内部トランシーバを含め、 $V_{DD}/V_{DDUSB} \geq 2.7\text{-V}$ でのみ機能します。ただし、USB 仕様に準拠するには、最低 3.0 V が必要です。2.7-V 未満の場合、内部トランシーバの機能は、全温度範囲にわたって保証されません。

Q: データシートによると、USB トランシーバの機能は 2.7 V までは保証されますが、フルスピード電気的特性は 2.7 ~ 3.0 V の電圧範囲で低下します。これは、どのような意味ですか？

A: USB 動作電圧が 3.0 V 未満の場合、ST は、PLL が 48 MHz を正しく生成すること、およびアナログトランシーバが機能すること、すなわち USB が正しく動作することを保証します。

ただし、電気信号は USB2.0 フルスピード仕様に準拠していないため、結果的に USB 認証を取得するために必要な一部のテスト(アイダイアグラムテストなど)に合格できません。つまり、USB は動作しますが、顧客は USB 認証を取得できません。

USB 仕様に準拠するために必要な電気的要件の詳細については、www.usb.org を参照してください。

Q: STM32 がフルスピードデバイスとして機能する場合、D+ ラインにプルアップ抵抗を常に追加する必要がありますか？

A: フルスピードデバイスは、D+ に接続されたプルアップ抵抗を使用して、自身をフルスピードデバイスとして指定します（また、スピードを示します）。デバイス側のプルアップ抵抗は、ホストまたはハブが、そのポートに接続されたデバイスの存在を検出するためにも使用されます。プルアップ抵抗がない場合、USB はバスに何も接続されていないものとみなします。

一部の STM32 マイクロコントローラには、すでにプルアップ抵抗が組み込まれています。そうでない場合は、顧客が追加する必要があります。この抵抗が使用された STM32 マイクロコントローラに組み込まれているかどうかを確認するには、表 3 の USB_DP ライン上の内部プルアップ抵抗を参照してください。

Q: USB デバイスでの VBUS 検出を管理するための、抵抗ブリッジの推奨値はありますか？

A: 抵抗ブリッジの値は、次の条件を考慮して選択する必要があります。

- 電圧が 4 V 未満であること。
- 電圧が $0.7 \times V_{DD}$ より高いこと。
- 消費電流標準値 200 μA が許容されていること。

<http://community.st.com> で共有されている「Management of VBUS sensing for USB device design」を参照してください。

Q: USB クロックソースに外部クロックソース(HSE バイパスモード)を使用できますか？

A: はい、可能です。HSE ON の外部クリ��石、またはバイパスモードの HSE が必要ですが、HSI は使用できません。

Q: 2 つの USB ポートを同時に使用できますか(使用可能な場合)？

A: はい、使用可能です。

Q: ホストとして設定された同じ USB ポートに、複数のデバイスを接続できますか？

A: いいえ、ハブとしての動作はサポートされていません。

Q: STM32 USB FS ペリフェラルを使用して、USB LS デバイスを作成できますか？

A: いいえ、デバイスマードではフルスピード転送のみがサポートされます。詳細については、セクション 2.2 を参照してください。

Q: USB 仕様(フルスピードドライバ特性)に従い、フルスピードドライバがハイスピード対応のトランシーバに含まれるかどうかによって、各ドライバのインピーダンスは、それぞれ $40.5 \sim 49.5 \Omega$ / $28 \sim 44 \Omega$ の範囲内である必要があります。STM32 デバイスには、これらの整合抵抗が組み込まれていますか？

A: はい。内部 USB PHY では、整合する出力インピーダンスがパッドトランシーバに組み込まれており、USB 仕様に準拠しています。外部抵抗は必要ありません。

Q: マイクロコントローラの動作電圧 V_{DD} が 2.7 V 未満の場合、USB ペリフェラルは使用できますか？

A:これは、VDDUSB ピンが USB ブロックへの電源供給に使用できる場合にのみ可能です。この場合、マイクロコントローラの電源は規定の最小電源電圧で供給でき、その一方で独立した 3.3 V の電源を V_{DDUSB} に接続できます。

5

結論

このアプリケーション・ノートは、STM32 マイクロコントローラのユーザが USB アプリケーションを正しく設計するのに役立ちます。

本書に記載されているすべての側面、特にセクション 3 に記載されている要件は、STM32 マイクロコントローラで USB ペリフェラルが正しく動作するため、また USB 規格に電気的に準拠していることを保証するために必須です。

改版履歴

表 14. 文書改版履歴

日付	版	変更内容
2016 年 8 月 10 日	1	初版発行
2016 年 11 月 24 日	2	ドキュメントの分類をパブリックから ST 限定に更新。
2018 年 4 月 27 日	3	<ul style="list-style-type: none">• ドキュメントの分類を ST 限定からパブリックに変更。• 範囲をすべての STM32 マイクロコントローラに拡張。• 概要とセクション 3 を更新。USB 実装とそのサブセクションに関するハードウェアガイドライン• セクション 1:略語と略記のリスト、セクション 2:STM32 製品の USB とそのサブセクション、セクション 4:FAQ、およびセクション 6:まとめを追加。• セクション 3:USB の実装に関するハードウェアガイドラインを更新。• 前の表 1:対象とする製品、セクション 1:USB FS デバイスに関するレイアウトガイドライン、セクション 1.1:FS データライン上の PCB 配線インピーダンスとルーティング、セクション 4:OTG 製品の実装に関するハードウェアガイドライン、およびセクション 5:ULPI リンクを介して STM32 に接続された OTG USB ハイスピード PHY を削除
2018 年 12 月 18 日	4	表 1 を追加。対象とする製品 更新: <ul style="list-style-type: none">• セクション 1 一般情報• 表 3. STM32 デバイスへの USB の実装• セクション 2.1 STM32 製品への USB の実装およびそのすべての表• セクション 2.4 クロック• セクション 3.1.1 セルフパワー型アプリケーションでの USB FS のアップストリーム・ポート• セクション 3.1.2 バスパワー型アプリケーションでの USB FS のアップストリーム・ポート• セクション 3.2 USB FS のダウンストリーム・ポート• セクション 4 FAQ(よくある質問)• セクション 6 まとめ• 本書内のすべての図
2022 年 5 月 30 日	5	更新: <ul style="list-style-type: none">• セクション 2.6 VBUS センシング検出• 表 4. STM32 のメインストリーム製品への USB の実装の STM32F105/107• 図 4. セルフパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のある USB FS のアップストリーム・ポート• 図 9. OTG 回路図の実装(デュアルモード)• セクション 1 一般情報に統合されたリファレンス

目次

1	一般情報	2
2	STM32 製品の USB	3
2.1	STM32 製品への USB の実装	4
2.2	サポート対象の USB 速度	6
2.3	ESD および EMI からの保護	6
2.4	クロック	8
2.5	パワー	8
2.6	VBUS センシング検出	9
3	USB の実装に関するハードウェアガイドライン	10
3.1	USB FS のアップストリーム・ポート	10
3.1.1	セルフパワー型アプリケーションでの USB FS のアップストリーム・ポート	10
3.1.2	バスパワー型アプリケーションでの USB FS のアップストリーム・ポート	11
3.2	USB FS ダウンストリーム・ポート	12
3.3	内蔵 PHY を介した OTG アプリケーション	12
3.4	ULPI を介して接続された OTG_HS PHY	13
3.4.1	ULPI インタフェース経由で互換性のある外部 USB HS PHY	14
3.5	内蔵 OTG HS PHY を介した USB アプリケーション	15
3.6	STM32 の USB-IF 対応リスト	15
4	FAQ(よくある質問)	16
5	結論	18
	改版履歴	19
	表一覧	21
	図一覧	22

表一覧

表 1.	対象とする製品	1
表 2.	略語と略記	2
表 3.	STM32 デバイスへの USB の実装	3
表 4.	STM32 のメインストリーム製品への USB の実装	4
表 5.	STM32 のハイパフォーマンス製品への USB の実装	5
表 6.	STM32 の超低消費電力製品への USB の実装	5
表 7.	サポート対象の OTG_FS 速度	6
表 8.	サポート対象の OTG_FS 速度	6
表 9.	JESD22-A114D 規格のクラスレベル	7
表 10.	IEC 61000-4-2 規格のクラスレベル	7
表 11.	ESD 保護	8
表 12.	互換性のある USB HS PHY	14
表 13.	認証済み USB ペリフェラル	15
表 14.	文書改版履歴	19

図一覧

図 1.	JESD22-A114D 規格のテスト波形	6
図 2.	IEC 61000-4-2 規格の波形	7
図 3.	STM32F7x3 デバイスの HS PHY PLL	8
図 4.	セルフパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のある USB FS のアップストリーム・ポート	10
図 5.	セルフパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のない USB FS のアップストリーム・ポート	11
図 6.	バスパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のある USB FS のアップストリーム・ポート	11
図 7.	バスパワー型アプリケーションでの内部プルアップ抵抗のない USB FS のアップストリーム・ポート	12
図 8.	USB FS のダウンストリーム・ポートの実装	12
図 9.	OTG 回路図の実装(デュアルモード)	13
図 10.	ULPI インタフェースを介した USB HS	14

重要なお知らせ(よくお読み下さい)

STMicroelectronics NV およびその子会社(以下、ST)は、ST 製品及び本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定及び改良する権利を留保します。購入される方は、発注前に ST 製品に関する最新の関連情報を必ず入手してください。ST 製品は、注文請書発行時点で有効な ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択並びに使用については購入される方が全ての責任を負うものとします。購入される方の製品上の操作や設計に関して ST は一切の責任を負いません。明示又は默示を問わず、ST は本書においていかなる知的財産権の実施権も許諾致しません。

本書で説明されている情報とは異なる条件で ST 製品が再販された場合、その製品について ST が与えたいかなる保証も無効となります。

ST および ST ロゴは ST マイクロエレクトロニクスの商標です。ST の登録商標については ST ウェブサイトをご覧ください。www.st.com/trademarks その他の製品またはサービスの名称は、それぞれの所有者に帰属します。

本書の情報は本書の以前のバージョンで提供された全ての情報に優先し、これに代わるものです。

© 2023 STMicroelectronics – All rights reserved