

概要

STM32 マイクロコントローラの汎用入出力ピン (GPIO) は、アプリケーションフレームワーク内の外部回路とインタフェースを取る多くの方法を提供しています。このアプリケーション・ノートでは、GPIO の設定に関する基本情報を提供するとともに、ハードウェアおよびソフトウェア開発者が GPIO ピンを使用して STM32 32-bit Arm® Cortex® MCU の電力性能を最適化するためのガイドラインを提供します。

このアプリケーション・ノートは、www.st.com から入手可能な、関連する STM32 リファレンスマニュアルおよびデータシートと併せて使用する必要があります。

目次

1	一般情報	6
2	この文書における表記の規則	6
2.1	用語	6
2.2	レジスタの略語	7
3	GPIO の主な機能	7
4	GPIO の機能詳細	8
4.1	GPIO の略語	8
4.2	GPIO の等価回路図	9
4.3	GPIO モードの説明	11
4.3.1	入力モードの設定	11
4.3.2	出力モードの設定	11
4.3.3	オルタネート機能	12
4.3.4	アナログ設定	13
5	GPIO の電気的特性と定義	14
5.1	GPIO 一般情報	14
5.1.1	パッドドリーフ電流 (I _{lkf})	14
5.1.2	注入電流 (I _{INJ})	14
5.1.3	GPIO 消費電流	15
5.1.4	電圧出力および電流駆動	15
5.1.5	プルアップの計算	17
5.2	3 V トレントおよび 5 V トレント	18
5.2.1	3 V トレント GPIO (TT)	18
5.2.2	5 V トレント GPIO (FT)	18
5.3	5 V トレントのアプリケーション例	19
5.3.1	白色 LED 駆動	19
5.3.2	トライアック駆動	20
5.3.3	I ² C アプリケーション	20
5.3.4	UART アプリケーション	21
5.3.5	USB VBUS の例	22
5.3.6	5 V ADC 変換用の I/O の使用	22

6	GPIO ハードウェアガイドライン	24
6.1	未使用ピンをフローティングさせない	24
6.2	クロス電圧ドメインのリーク	24
6.3	VDD が供給されない場合の電圧保護	25
6.4	無負荷時のオープンドレイン出力	26
6.5	MCO クロック出力の使用	26
6.6	デバッグピンにはデフォルトで PU または PD がある	26
6.7	NRST ピンはイネーブルとして使用できない	27
6.8	VBAT GPIO の電流強度は制限されている	27
6.9	BOOT0 ピン	27
7	電力最適化のための GPIO ソフトウェアガイドライン	28
7.1	未使用の GPIO 入力をアナログ入力として設定	28
7.2	GPIO 速度の調整	28
7.3	使用しないときの GPIO レジスタクロックの無効化	28
7.4	低電力モードに入るときに GPIO を設定する	28
7.5	シャットダウン終了モード	28
8	GPIO の選択ガイドと設定	29
9	改版履歴	31

表の一覧

表 1.	GPIO の構成一覧.....	8
表 2.	文書改版履歴.....	31
表 3.	日本語版文書改版履歴.....	31

図の一覧

図 1.	3 V 準拠の GPIO 構成 (TC)	9
図 2.	3 V または 5 V トレラントの GPIO 構成 (TT または FT)	10
図 3.	出力バッファと電流	16
図 4.	論理レベルの互換性	16
図 5.	出力電圧レベルに応じた STM32 の電流	17
図 6.	白色 LED 駆動の接続例	19
図 7.	トライアック駆動の接続例	20
図 8.	I ² C の接続例	20
図 9.	5 V から 3.3 V へ電力供給する例	21
図 10.	UART の接続例	21
図 11.	USB VBUS の接続例	22
図 12.	VBUS から VDD へ電力供給する例	22
図 13.	5 V ADC 変換の例	23
図 14.	5 V ADC 変換の回避策例	23
図 15.	多電圧リーカーの例	24
図 16.	VDD が供給されない場合の電圧保護	25
図 17.	無負荷時のオープンドレイン出力	26
図 18.	GPIO 設定フローチャート (1/2)	29
図 19.	GPIO 設定フローチャート (2/2)	30

1 一般情報

STM32 マイクロコントローラは Arm^{®(a)} Cortex[®] プロセッサをベースにしています。



2 この文書における表記の規則

2.1 用語

このセクションでは、本書で用いられる主な略語を定義しています。

AMR :	absolute maximum rating (絶対最大定格)
GPIO :	general-purpose input output (汎用入出力)
GP :	general-purpose (汎用)
PP :	push-pull (プッシュプル)
PU :	pull-up (プルアップ)
PD :	pull-down (プルダウン)
OD :	open-drain (オープンドレイン)
AF :	alternate function (オルタネート機能)
V_{IH} :	デジタル入力によって論理 1 と解釈される最小電圧レベル
V_{IL} :	デジタル入力によって論理 0 と解釈される最大電圧レベル
V_{OH} :	論理 1 の値にセットされたデジタル出力によって提供される保証最小電圧レベル
V_{OL} :	論理 0 の値にセットされたデジタル出力によって提供される保証最大電圧レベル
V_{DD} :	I/O 用の外部電源
V_{DDIO2} :	V _{DD} 電圧からは独立した、I/O 用の外部電源
V_{DDA} :	アナログ用の外部電源
V_{SS} :	グラウンド
I_{IH} :	入力が 1 のときの入力電流
I_{IL} :	入力が 0 のときの入力電流
I_{OH} :	出力が 1 のときの出力電流
I_{OL} :	出力が 0 のときの出力電流
I_{Ikg} :	リーケ電流
I_{INJ} :	注入電流

a. 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。

2.2 レジスタの略語

レジスタの説明では、次の略記が使用されます（x = A ~ H）。

GPIOx_MODER	GPIO ポートモード・レジスタ
GPIOx_OTYPER	GPIO 出力タイプ・レジスタ
GPIOx_OSPEEDR	GPIO 出力スピード・レジスタ
GPIOx_PUPDR	GPIO ポート・プルアップ／プルダウン・レジスタ
GPIOx_IDR	GPIO ポート入力データレジスタ
GPIOx_ODR	GPIO ポート出力データレジスタ
GPIOx_BSRR	GPIO ポートビットセット／リセット・レジスタ
GPIOx_LCKR	GPIO ポート設定ロック・レジスタ
GPIOx_AFRL	GPIO オルタネート機能下位レジスタ
GPIOx_AFRH	GPIO オルタネート機能上位レジスタ
GPIOx_ASCR	GPIO ポートアナログスイッチ制御レジスタ

3 GPIO の主な機能

STM32 GPIO には、以下の機能があります。

- 出力状態 : **GPIOx_MODER**、**GPIOx_OTYPER**、および **GPIOx_PUPDR** レジスタの設定に応じた、プッシュプル、またはオープンドレイン＋プルアップ／プルダウン
- 出力データレジスタ **GPIOx_ODR** またはペリフェラル（オルタネート機能出力）からの出力データ
- 各 I/O のスピード選択 (**GPIOx_OSPEEDR**)
- 入力状態 : **GPIOx_MODER**、**GPIOx_PUPDR**、および **GPIOx_ASCR** レジスタの設定に応じた、フローティング、プルアップ／プルダウン、アナログ
- 入力データレジスタ (**GPIOx_IDR**) またはペリフェラル（オルタネート機能入力）への入力データ
- **GPIOx_ODR** へのビット単位の書き込みアクセス用のビットセット／リセット・レジスタ (**GPIOx_BSRR**)
- I/O ポート設定を固定するロック機構 (**GPIOx_LCKR**)
- アナログ機能選択レジスタ (**GPIOx_MODER** および **GPIOx_ASCR**)
- オルタネート機能選択レジスタ (**GPIOx_MODER**、**GPIOx_AFRL**、および **GPIOx_AFRH**)
- 2 クロックサイクルで変化可能な高速トグル
- I/O ピンを GPIO またはいくつかのペリフェラル機能の 1 つとして使用できる柔軟性の高いピンの多重化

4 GPIO の機能詳細

STM32 GPIO は、さまざまな設定で使用できます。各 GPIO ピンは、個別にソフトウェアによって次のいずれかのモードに設定できます。

- 入力フローーティング
- 入力プルアップ
- 入力プルダウン
- アナログ
- プルアップまたはプルダウン機能を持つ出力オープンドレイン
- プルアップまたはプルダウン機能を持つ出力pushpull
- プルアップまたはプルダウン機能を持つオルタネート機能pushpull
- プルアップまたはプルダウン機能を持つオルタネート機能オープンドレイン

4.1 GPIO の略語

STM32 デバイスの範囲にわたって使用可能な GPIO の構成がいくつかあります。各構成は、オプションのリストに関連付けられています。

表 1 に、STM32 製品に適用可能な GPIO の定義と略語をまとめます。

表 1. GPIO の構成一覧

名前	略語	定義
ピンタイプ	S	電源ピン
	I	入力専用ピン
	I/O	入出力ピン
I/O 構成	FT ⁽¹⁾	5 V トレラント I/O ピン
	TT ⁽¹⁾	3 V トレラント I/O ピン
	TC	3 V 対応 I/O ピン（標準 3.3 V I/O）
	B	専用ブートピン
	RST	組込みウィークプルアップ抵抗付き双方向リセットピン
ピン機能	オルタネート機能	GPIOx_AFR レジスタで選択できる機能
	追加機能	ペリフェラルレジスタで直接選択・有効化できる機能

1. FT および TT I/O には、デバイスによってオプションがあります。その定義については、データシートを参照してください。

例として、次の記述は STM32 データシートの GPIO から引用しています。

PB1 I/O FT とは :

- ピン PB1 I/O : ポート B ビット 1 入出力
- FT : 5 V トレラント

基板設計を開始する前に、STM32 製品のデータシートまたは STM32CubeMX ツールを参照して、目的の用途に応じて GPIO が使用可能かどうかを確認することが重要です。

www.st.com/stm32 のソフトウェア開発ツールに関するセクションを参照してください。

4.2 GPIO の等価回路図

STM32 製品には、以下の 3 つの主要な GPIO 基本構成が内蔵されています。

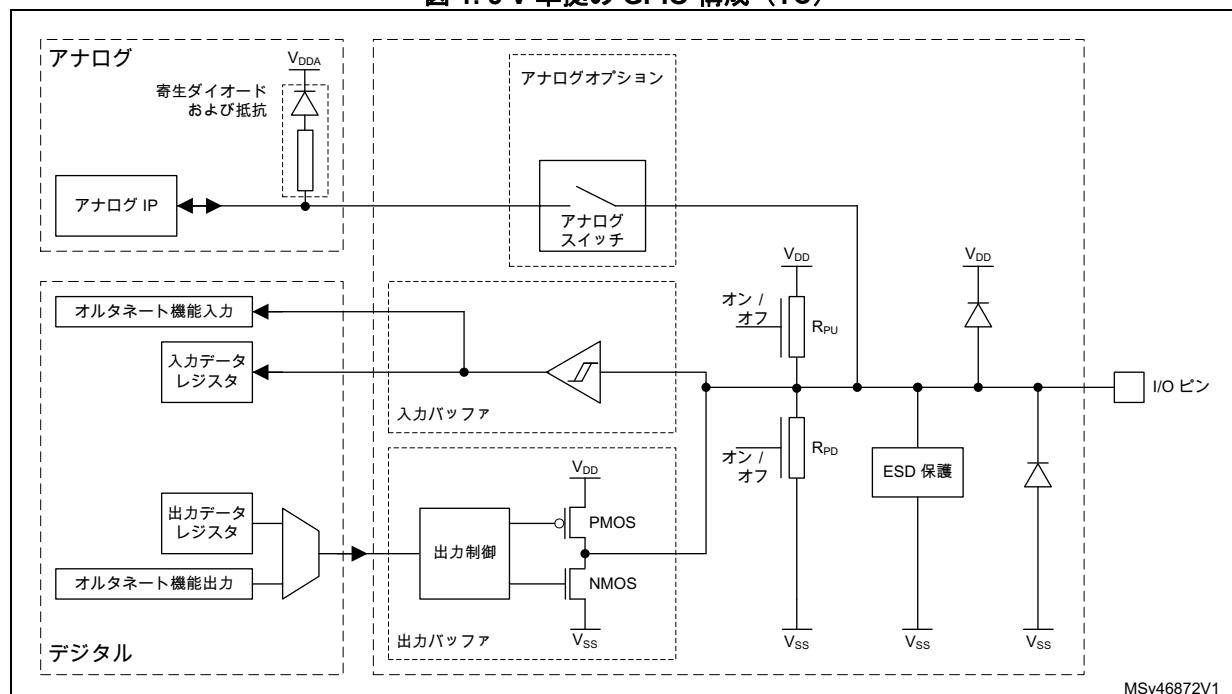
- 3 V 準拠（略して TC）
GPIO の等価回路図の構成を図 1 に示します。
- 3 V トレラント（略して TT）
- 5 V トレラント（略して FT）
TT または FT の GPIO の等価回路図の構成を図 2 に示します。

注：

図 1 および図 2 で、点線の四角形内のアナログスイッチはオプションです。検討する STM32 製品によって、ある場合とない場合があります。アナログスイッチは、そのピン上のアナログペリフェラルを有効にすることによって制御されます（GPIO をアナログモードにセットすることではありません）。詳細については、製品データシートを参照してください。

図 1 および図 2 で、 V_{DD} 電源は、検討する STM32 製品によって V_{DD} または V_{DDIO2} を指す場合があります。詳細については、製品データシートを参照してください。

図 1. 3 V 準拠の GPIO 構成 (TC)

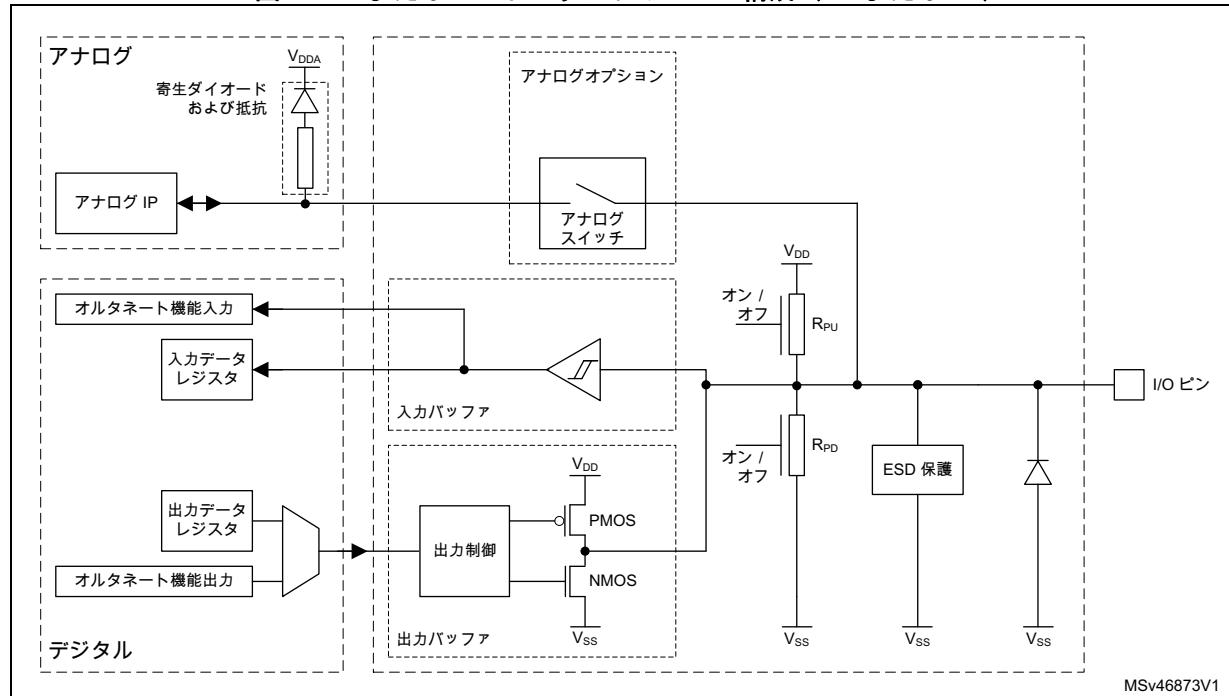


注：

アナログドメインの寄生ダイオードは V_{DDA} に接続されていますが、保護ダイオードとしては使用できません。

一部のデータシートとリファレンスマニュアルで、 V_{DD_FT} と呼ばれる電圧レベルは、ESD 保護ブロック内にあります。

図 2. 3 V または 5 V トレラントの GPIO 構成 (TT または FT)



注： アナログドメインの寄生ダイオードは V_{DDA} に接続されていますが、保護ダイオードとしては使用できません。

一部のデータシートとリファレンスマニュアルで、 V_{DD_FT} と呼ばれる電圧レベルは、ESD 保護ブロック内にあります。

特定のピンでアナログペリフェラルを有効にすることによって、アナログオプションが選択されると、ピンに V_{DDA} が供給されるため、FT I/O は 5 V トレラントではなくなります。

注意： TT または FT GPIO ピンには、電源 (V_{DD}) に接続された内部保護ダイオードがありません。過電圧に対する物理的な制限がありません。したがって、制限された電圧閾値が必要なアプリケーションでは、外部ダイオードを V_{DD} に接続することを推奨します。

4.3 GPIO モードの説明

このセクションでは、STM32 デバイスで使用可能な GPIO ピンの設定について説明します。

4.3.1 入力モードの設定

STM32 デバイスの I/O ピンを入力に設定する場合、以下の 3 つのオプションのいずれかを選択する必要があります。

- 内部プルアップ付き入力。STM32 デバイスでプルアップ抵抗を使用し、入力信号がフローティングの場合に、明確に定義された論理レベルを保証します。アプリケーションの要件によっては、代わりに外部プルアップを使用することもできます。
- 内部プルダウン付き入力。STM32 デバイスでプルダウン抵抗を使用し、入力信号がフローティングの場合に、明確に定義された論理レベルを保証します。アプリケーションの要件によっては、代わりに外部プルダウンを使用することもできます。
- フローティング入力。信号レベルは外部信号に従います。外部信号が存在しない場合、シュミットトリガは、外部ノイズによって誘導される論理レベルの間でランダムにトグルします。これにより、全体の電力消費が増加します。

入力としてプログラムされた I/O ポートは、次の特性を示します。

- 出力バッファが無効になります。
- シュミットトリガ入力が有効になります。
- GPIOx_PUPDR** レジスタの値に応じて、プルアップまたはプルダウン抵抗が有効になります。
- I/O ピン上のデータは、AHB クロックサイクルごとに入力データレジスタにサンプリングされます。
- I/O 状態は、**GPIOx_IDR** 入力データレジスタを読み出すことで得られます。

4.3.2 出力モードの設定

STM32 デバイスの I/O ピンを出力として設定する場合、以下の 2 つのオプションのいずれかを選択する必要があります。

- プッシュプル出力モード：

プッシュプル出力は、実際には 2 つのトランジスタを使用します。1 つは PMOS、1 つは NMOS です。各トランジスタがオンになって、次のように出力を適切なレベルに駆動します。

- 出力をハイ状態に駆動する必要があるとき、上部のトランジスタ（PMOS）がオンになります。
- 出力をロー状態に駆動する必要があるとき、下部のトランジスタ（NMOS）がオンになります。

2 つのトランジスタの制御は、GPIO ポート出力タイプ・レジスタ（**GPIOx_OTYPER**）によって行われます。

出力レジスタ（**GPIOx_ODR**）の関連ビットに 0 を書き込むと、NMOS トランジスタがアクティブになり、I/O ピンが強制的にグラウンドに接続されます。

出力レジスタ（**GPIOx_ODR**）の関連ビットに 1 を書き込むと、PMOS トランジスタがアクティブになり、I/O ピンが強制的に V_{DD} に接続されます。

- オープンドレイン出力モード：

オープンドレイン出力モードでは PMOS トランジスタを使用しないため、プルアップ抵抗が必要です。

出力をハイにする必要がある場合、NMOS トランジスタをオフにし、プルアップ抵抗のみでラインをハイにプルアップしなければなりません。このプルアップ抵抗は、標準値 $40\text{ k}\Omega$ で内部にあり、GPIO ポートのプルアップ／プルダウンレジスタ（**GPIOx_PUPDR**）によってアクティブになります。

注： プルアップとプルダウンを同じ I/O ピンで同時に有効にはできないことに注意することが重要です。

内部抵抗の代わりに、外部のプルアップまたはプルダウン抵抗を使用することもできます。この場合、その値は GPIO 出力電圧および電流特性に準拠するように調整する必要があります。

出力としてプログラムされた I/O ポートは、次の特性を示します。

- 出力バッファをオープンドレインまたはプッシュプルモードに設定することができます。
- シュミットトリガ入力が有効になります。
- **GPIOx_PUPDR** レジスタの値に応じて内部のプルアップおよびプルダウン抵抗が有効になります。
- 出力データレジスタ **GPIOx_ODR** に書き込まれた値によって I/O ピンの状態がセットされます。
- **GPIOx_ODR** に書き込まれたデータは、AHB クロックサイクルごとに更新される **GPIOx_IDR** レジスタから読み出すことができます。

オープンドレイン出力は、STM32 とは異なる電源電圧で動作するデバイスの制御にしばしば使用されます。オープンドレインモードは、特定のプルアップ抵抗が必要な、1つまたは複数の I²C デバイスを駆動するためにも使用されます。

4.3.3 オルタネート機能

一部の STM32 GPIO ピンでは、ユーザはオルタネート機能の入力／出力を選択できます。各ピンは、通信インターフェース (SPI、UART、I²C、USB、CAN、LCD など)、タイマ、デバッグインターフェースなどの最大 16 のペリフェラル機能間で多重化されます。

選択したピンのオルタネート機能は、次の 2 つのレジスタで設定します。

- **GPIOx_AFRL** (ピン 0 ~ 7 用)
- **GPIOx_AFRH** (ピン 8 ~ 15 用)

どの機能が各 GPIO ピンに多重化されているかについてはデバイスデータシートを参照してください。

I/O ポートがオルタネートモード機能としてプログラムされた場合、

- 出力バッファをオープンドレインまたはプッシュプルモードに設定することができます。
- 出力バッファが、ペリフェラル (トランスマッティネーブルおよびデータ) からの信号で駆動されます。
- シュミットトリガ入力が有効になります。
- レジスタ **GPIOx_PUPDR** の値に応じてプルアップおよびプルダウン抵抗が有効になります。

I/O ピン上のデータは、AHB クロックサイクルごとに入力データレジスタにサンプリングされます。

入力データレジスタへの読出しアクセスによって、I/O 状態が得られます。

オルタネート機能の詳細は、製品のデータシートおよびリファレンスマニュアルに記載されています。

4.3.4 アナログ設定

STM32 のいくつかの GPIO ピンは、ADC、DAC、OPAMP、および COMP 内部ペリフェラルが使用できるアナログモードに設定できます。GPIO ピンをアナログモードで使用するには、以下のレジスタを設定します。

- **GPIOx_MODER** でモード（入力、出力、オルタネート、アナログ）を選択します。
- **GPIOx_ASCR** で必要な機能 ADC、DAC、OPAMP、または COMP を選択します。

I/O ポートがアナログ設定としてプログラムされた場合、

- 出力バッファが無効になります。
- シュミットトリガ入力が無効化され、I/O ピンのすべてのアナログ値に対して電力消費がゼロになります。シュミットトリガの出力は、強制的に一定値（0）にされます。
- プルアップ抵抗およびプルダウン抵抗はハードウェアによって無効にされます。

入力データレジスタの読み出しアクセスを行うと、値 0 が得られます。

ADC、DAC、OPAMP、および COMP の機能とプログラミングの詳細については、製品のデータシートとリファレンスマニュアルを参照してください。

アナログスイッチ自体は閉じません。アナログスイッチは、当該ピンでアナログペリフェラルが選択されている（または有効になっている）ときのみ、閉じます。

5 GPIO の電気的特性と定義

この章では、STM32 データシートにある電気的パラメータのいくつかを定義し、説明します。

5.1 GPIO 一般情報

以下のセクションでは、データシートにあるいくつかの電気的パラメータについて、使用上の役割として、アプリケーションの観点から詳しく説明します。

AMR (absolute maximum ratings : 絶対最大定格)

絶対最大定格は、超えてはならない電圧、電流、温度、消費電力などの値を示します。これらの値を超えると IC の劣化や破壊につながる可能性があります。

動作条件

動作条件は、IC が正常に動作するための保証値の範囲を示します。

5.1.1 パッドリーケ電流 (I_{Ikg})

パッドリーケ電流は、I/O ピンが入力モードに設定されている場合に、I/O ピンによって入力信号から供給される電流です。リーケ電流の値は、I/O 構造と、I/O ピンに入力される V_{IN} 信号の電圧範囲に依存します。

リーケ電流は製品に依存します。それらの値は、データシートを参照してください。

5.1.2 注入電流 (I_{INJ})

注入電流は、正の電源 ($V_{DD} + \Delta V$) より高い、またはグラウンド (V_{SS}) より低い入力電圧 (V_{IN}) によってピンに強制的に流される電流です。

所定の仕様を超える注入電流は、デバイス内部に電流を引き起こし、信頼性に影響します。指定された制限を超えるわずかな電流でも、許容されません。

STM32 のデータシートでは、注入電流と V_{IN} が規定されています。

負の注入電流は、 $V_{IN} < V_{SS}$ のときに誘導される電流です。負の最大注入電流は -5 mA であり、GPIO で許容できる最小 V_{IN} 電圧レベルは、TT および FT GPIO で -0.3 V です。

正の注入電流は、 $V_{IN} > V_{DD}$ のときに誘導される電流です。STM32 デバイスの場合、TT および FT GPIO の正の最大注入電流は、N/A または 0 mA と定義されています。

- N/A とは、GPIO の内部設計により、入力電圧が AMR の範囲内にある限り、電流注入が発生しないことを意味します。結果として、そのような場合に GPIO および STM32 デバイスの動作が破綻することはありません。
- 0 mA とは、電流注入があると、GPIO が損傷し、STM32 の誤動作が誘発される可能性があることを意味します。

警告 : 0 mA と定義された TT または FT GPIO では、正の電流注入は禁止されます。

TT GPIO の場合、最大 V_{IN} 電圧は $V_{DD} + 0.3\text{ V}$ となります。FT GPIO の場合、 V_{IN} 最大電圧は、 V_{DD} 、 V_{DDA} 、 V_{DDIO2} 、 V_{DDUSB} 、および V_{LCD} のうちの最小値に 3.6 V を増加させた値ですが、最大 V_{IN} 値は 5.5 V に制限されます。

注 : $-0.3\text{ V} < V_{IN} < V_{INmax}$ である間は、注入電流はありません。

総注入電流は、標準でデバイスあたり 25 mA に制限されます。正確な制限値については、デバイスのデータシートを参照してください。これにより、電流を注入できるピン数が制限されます。

5.1.3 GPIO 消費電流

STM32 デバイスでは、I/O ピンの消費電流に以下の 2 つのタイプがあります。

1. I/O ピンが入力として使用されローに保持されるとき、または I/O ピンが外部プルダウンまたは外部負荷を伴う出力として使用されるときの、主としてプルアップ抵抗による静的消費電流
2. I/O ピンが切り替わったときに、I/O ピンの回路と容量性負荷で使用される I/O 供給電圧からの電流である動的消費電流

動的消費電流は、式 1 で与えられます。

$$\text{式 1 } I_{SW} = C_L \times V_{DD} \times F_{SW}$$

- I_{SW} は、容量性負荷を充電／放電するためにスイッチング I/O によって流される電流
- C_L は I/O ピンから見た総負荷容量
 C_L は内部、外部、PCB、およびパッケージの容量の合計
- V_{DD} は I/O 供給電圧
- F_{SW} は I/O のスイッチング周波数

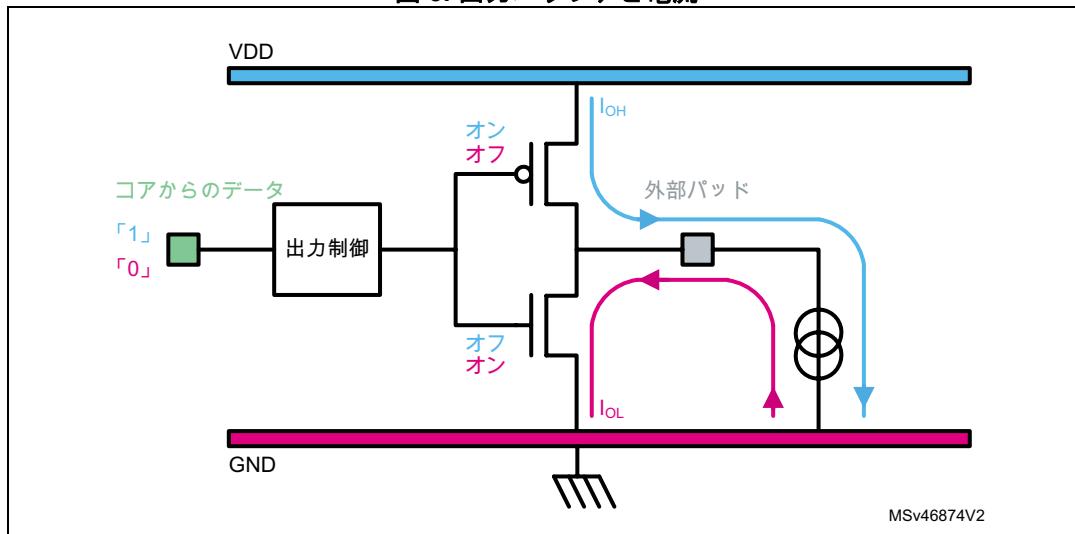
注 : GPIO 速度は、動的消費電流に影響を与えません。

5.1.4 電圧出力および電流駆動

すべての STM32 GPIO は CMOS および TTL に準拠しており、外部ピンから電流をソースまたはシンクすることができます。図 3 に、選択した出力レベルに応じた電流を示します。 I_{OH} は GPIO 出力がハイ状態のときの、ソース電流を示します。 I_{OL} は GPIO 出力がロー状態のときの、シンク電流を示します。1 つの GPIO または電源によってシンクまたはソースできる最大出力電流は、GPIO を保護するために制限され、また、すべての GPIO によってソースまたはシンクされる電流の合計値も同様であり、製品データシート内で決められた AMR 値を超えることはできません。電流駆動の制限に従って、結果として電流を駆動できる GPIO の数を制限する必要があります。

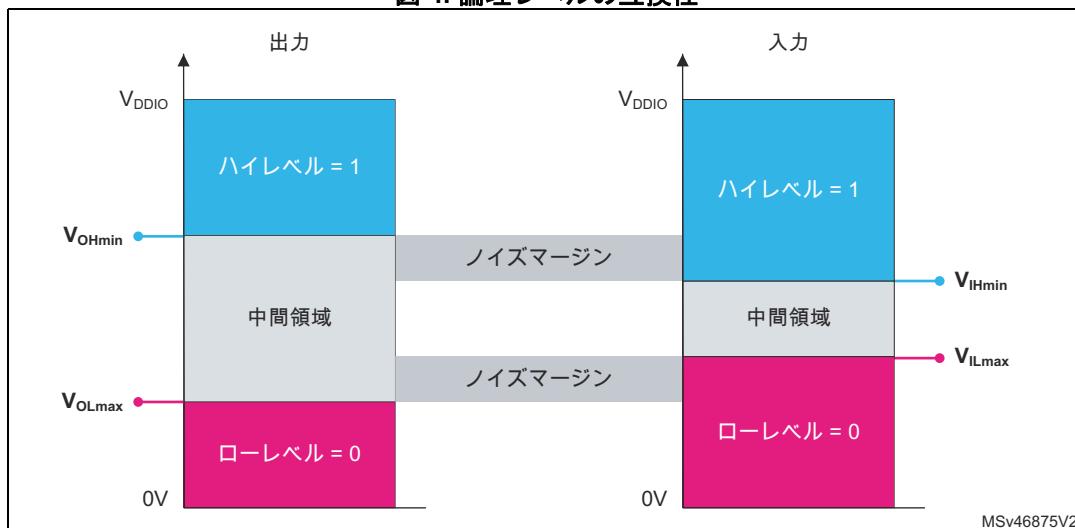
詳細については、データシートにある AMR 電流特性表で許容されている I_{VDD} 、 I_{VSS} 、 I_{IO} および $\sum I_{VDD}$ 、 $\sum I_{VSS}$ 、 $\sum I_{IO}$ パラメータの値を参照してください。

図 3. 出力バッファと電流



相互通信の場合、図 4 に示すように、STM32 の出力信号は受信デバイスの V_{IL}/V_{IH} と互換性がなければならず、STM32 の入力は送信デバイスの V_{OL}/V_{OH} に適合していなければなりません。

図 4. 論理レベルの互換性



CMOS テクノロジーの場合、入力閾値電圧は次のように V_{DD} に対する相対値です。

$V_{IHmin} \sim 2/3 V_{DD}$ 、および $V_{ILmax} \sim 1/3 V_{DD}$

TTL テクノロジーの場合、レベルは固定で、 $V_{IHmin} = 2V$ および $V_{ILmax} = 0.8 V$ です。

V_{OH} 、 V_{OL} 、 V_{IH} 、 V_{IL} のレベルと出力駆動電流の値は、STM32 データシートにある一般入出力特性の一部です。

5.1.5 プルアップの計算

各 STM32 GPIO では、内部プルアップおよびプルダウンを選択できます（標準値 = 40 kΩ）。STM32 のアプリケーションによっては、外部プルアップ抵抗を使う必要がある場合があります。このセクションでは、STM32 の GPIO オープンドレイン出力が外部デバイスに接続された場合の、出力と入力レベルの互換性と適切なプルアップ抵抗を計算する方法について説明します。

図 5. 出力電圧レベルに応じた STM32 の電流

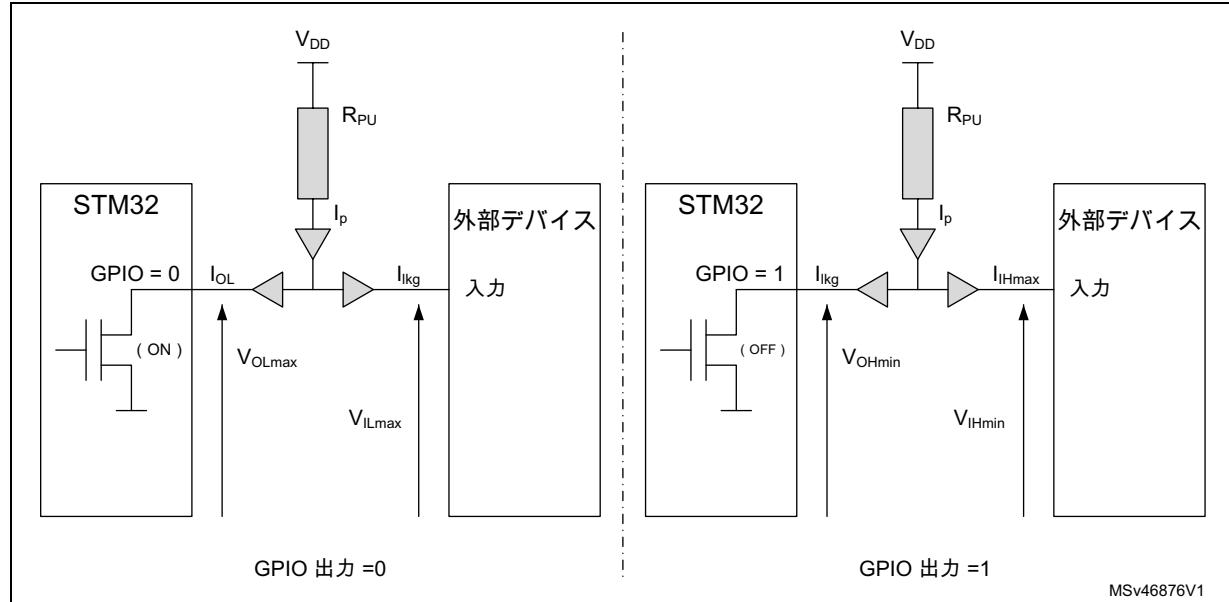


図 5 の回路図に、プルアップ抵抗 R_{PU} の計算に必要な電流（灰色の矢印）と、関連する電圧を示します。

R_{PU} の値は、GPIO の出力が 1 のとき最大です。これは、NMOS トランジスタはオフであることを意味します。計算には V_{OHmin} 電圧を使用します。

R_{PU} の値は、GPIO の出力が 0 のとき最小です。これは、NMOS トランジスタがオンであることを意味します。計算には V_{OLmax} 電圧を使用します。

$$(V_{DDmax} - V_{OLmax}) / (I_{OL} + I_{Ig}) < R_{PU} < (V_{DDmin} - V_{OHmin}) / (I_{IH} + I_{Ig})$$

I²C バスのプルアップ計算：

I²C バスの場合は、I²C モードを考慮する必要があるので、プルアップの計算は異なります。この計算は、I²C モード（標準モード、高速モード、高速モードプラス）、デバイスの V_{DD} 、およびバスの静電容量に依存します。

プルアップ抵抗値が低いと、専用の STM32 GPIO I²C ピンがバス上にローレベルを生成することが妨げられます。最小値 R_{PUMin} は、式 2 に従って V_{DD} 、 V_{OL} 、および I_{OL} の関数として定義されます。

$$\text{式 2 } R_{PUMin} = (V_{DD} - V_{OLmax}) / I_{OL}$$

最大プルアップ抵抗 R_{PUMax} は、ワイヤ、接続、およびピンの容量を含めたバスの総容量 (C_b)、および SDA および SCL 信号の最大立ち上がり時間 (t_{rmax}) によって制限されます。詳細については、データシートおよび I²C バスの仕様を参照してください。

プルアップ抵抗が高すぎると、I²C ラインはローに下げられる前までに論理ハイに立ち上がりません。最大値 R_{PUMax} は式 3 に従って計算されます。

$$\text{式 3 } R_{PUmax} = t_{rmax} / (0.8473 \times C_b)$$

式 3 の根拠を、次の手順で説明します。

1. 電圧振幅の時間変化は、次のように RC 時定数に依存します。
 $V(t) = V_{DD} \times (1 - e(-t / RC))$
2. $V_{IH} = 0.3 \times V_{DD}$ であるから、 V_{IH} に達する時間 t_1 は次の式を満たします。
 $V(t_1) = 0.3 \times V_{DD} = V_{DD} \times (1 - e(-t_1 / R_{PU}C_b))$
 したがって、 $t_1 = 0.3566749 \times R_{PU} \times C_b$
3. $V_{OH} = 0.7 \times V_{DD}$ であるから、 V_{OH} に達する時間 t_2 は次の式を満たします。
 $V(t_2) = 0.7 \times V_{DD} = V_{DD} \times (1 - e(-t_2 / R_{PU}C_b))$
 したがって、 $t_2 = 1.2039729 \times R_{PU} \times C_b$
4. $t_r = t_2 - t_1$ によって、下記を得ます。
 $t_r = 0.8473 \times R_{PU} \times C_b$

5.2 3 V トレラントおよび 5 V トレラント

電気的特性から、GPIO を 3 V トレラント、5 V トレラント、および 3 V 対応と定義しています。トレランスは、GPIO が許容できる電圧値を表します。対応値は GPIO が出力可能な電圧値を表します。

5.2.1 3 V トレラント GPIO (TT)

一部の STM32 では、電気仕様で GPIO が 3 V トレラントまたは 3 V 準拠として定義されています。ユーザの観点からは、これら 2 種類の GPIO に違いはありません。

3 V トレラントの入力電圧は $V_{DD} + 0.3 \text{ V}$ を超えることはできません。

なんらかのアナログ入力機能が GPIO で有効になっている場合 (ADC 入力がアクティブな I/O 構成 TT_a、COMP 入力、OPAMP 入力)、ピンの最大動作電圧は $\min(V_{DDA}, V_{REF+}) + 0.3 \text{ V}$ を超えることはできません。

5.2.2 5 V トレラント GPIO (FT)

STM32 デバイスは、5 V トレラント GPIO を内蔵しています。これらの GPIO は実際には $V_{DD} + 3.6 \text{ V}$ に対して耐性があります。つまり、I/O ピンは、GPIO にリーク電流や損傷をもたらすことなく、そのような電圧を許容できます。

電源電圧にかかわらず、 V_{IN} は 5.5 V を超えることはできません。

$V_{DD} = 0 \text{ V}$ の場合、GPIO の入力電圧は 3.6 V を超えることはできません。

複数電源 (V_{DD} 、 V_{DDUSB} 、 V_{LCD} 、 V_{DDA}) で多重化された GPIO の場合、GPIO は 3.6 V に、 V_{DD} 、 V_{DDUSB} 、 V_{LCD} 、および V_{DDA} のうちの最小供給電圧を増加させた値に耐えられます。

ただし、GPIO は入力モードでのみ 5 V トレラントです。出力モードが有効になると、GPIO は 5 V トレラントではなくなります。I/O 入力電圧の詳細については、データシートの一般動作条件の表にある V_{IN} パラメータを参照してください。

GPIO は、ピン (I/O 構成 FT_a、FT_fa、TT_a) で有効になっているアナログ機能がない場合のみ、5 V トレラントです。なんらかのアナログ入力機能が GPIO で有効になっている場合 (ADC 入力がアクティブ、COMP 入力、OPAMP 入力)、ピンの最大動作電圧は $\min(V_{DDA}, V_{REF+}) + 0.3 \text{ V}$ を超えることができません。

5.3 5 V トレラントのアプリケーション例

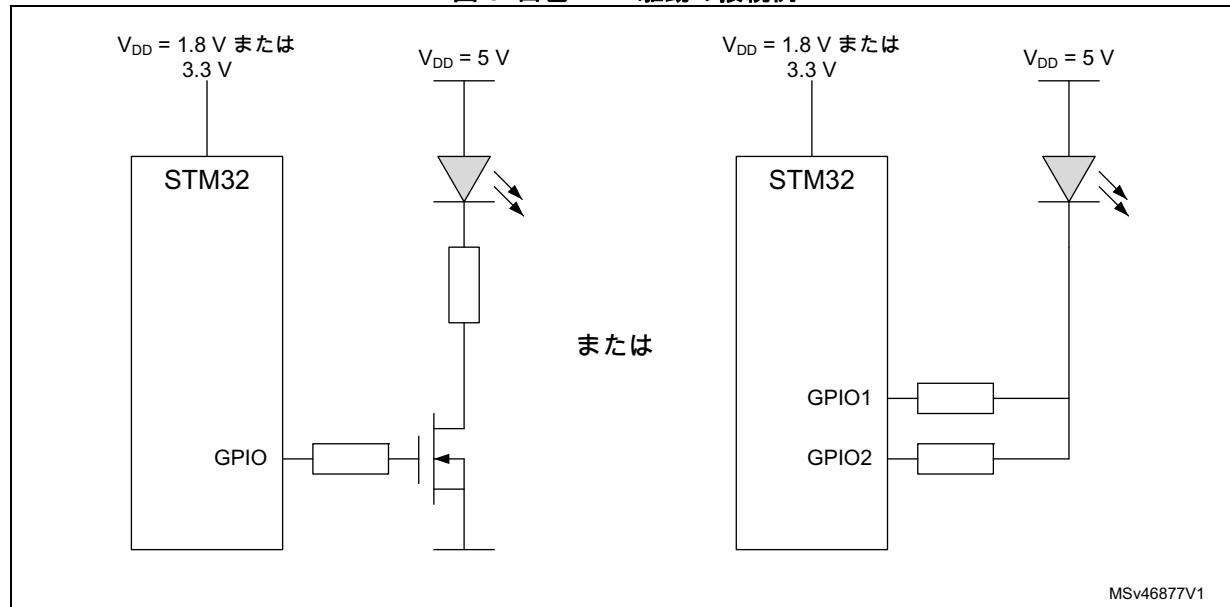
次の図に、5 V トレラント GPIO のみを使用するアプリケーションの例を示します。

5.3.1 白色 LED 駆動

白色 LED は、標準の 3.5 V 電源（最大 4 V）において、標準で約 20 mA の電流を必要とします。

STM32 デバイスの最大シンク電流は 25 mA であるため、LED を直接駆動するだけの十分なマージンがありません。図 6 には、外部 MOSFET（または BJT）を使用する方法、または 2 つの GPIO によって駆動する方法の 2 つのオプションが示されています。

図 6. 白色 LED 駆動の接続例

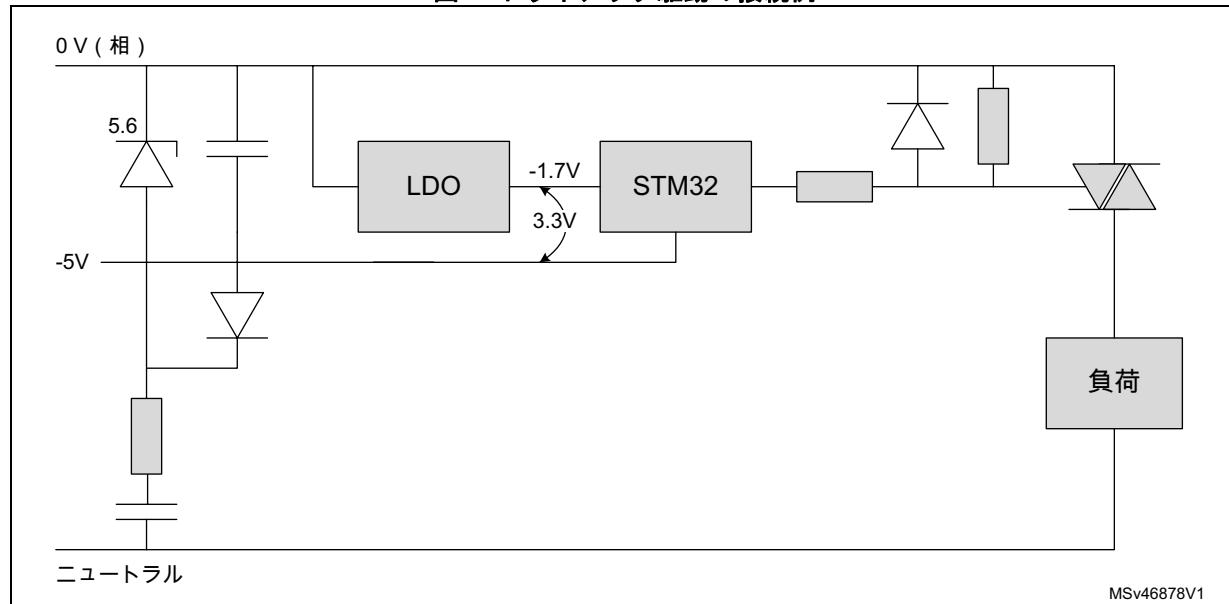


GPIO 並列駆動オプションの場合、オープンドレインモードを使用し、内部プルアップを無効にする必要があります。グラウンド電流はマイクロコントローラの消費量に比べて大きいので、グラウンドのレイアウトには注意して設計する必要があります。

5.3.2 トライアック駆動

図 7 に、-5 V 供給システム用のトライアック駆動の例を示します。

図 7. トライアック駆動の接続例

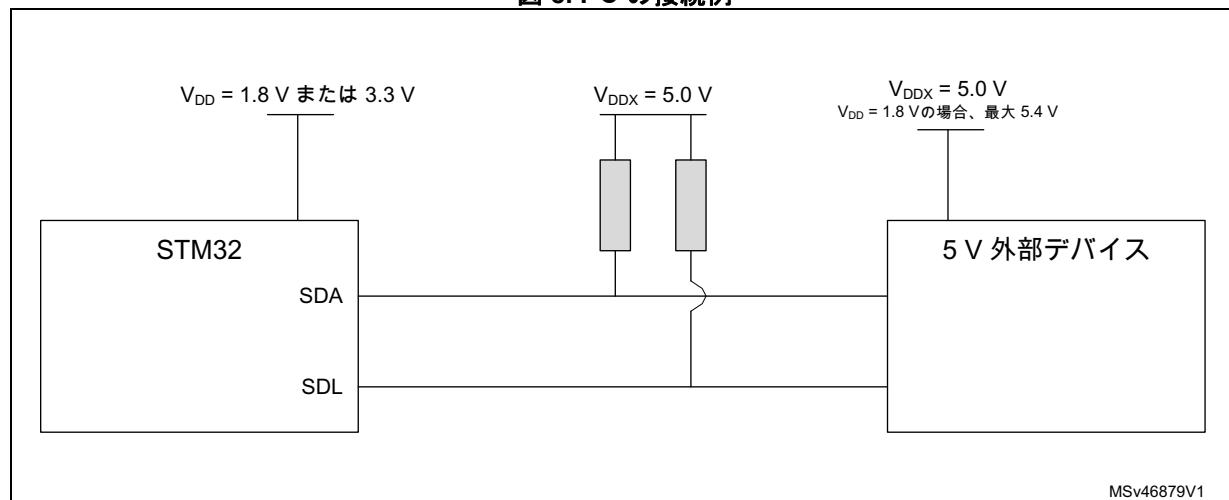


この設定では、STM32 の電流は出力電圧レベルに依存します。STM32 GPIO は、オープンドレインモードに設定する必要があります。I/O 駆動電流が十分でない場合は、並列に結合された GPIO を使用できます。

5.3.3 I²C アプリケーション

1.8 V または 3.3 V によって給電される STM32 デバイスは、図 8 に示すように、5 V I²C バスと直接通信できます。

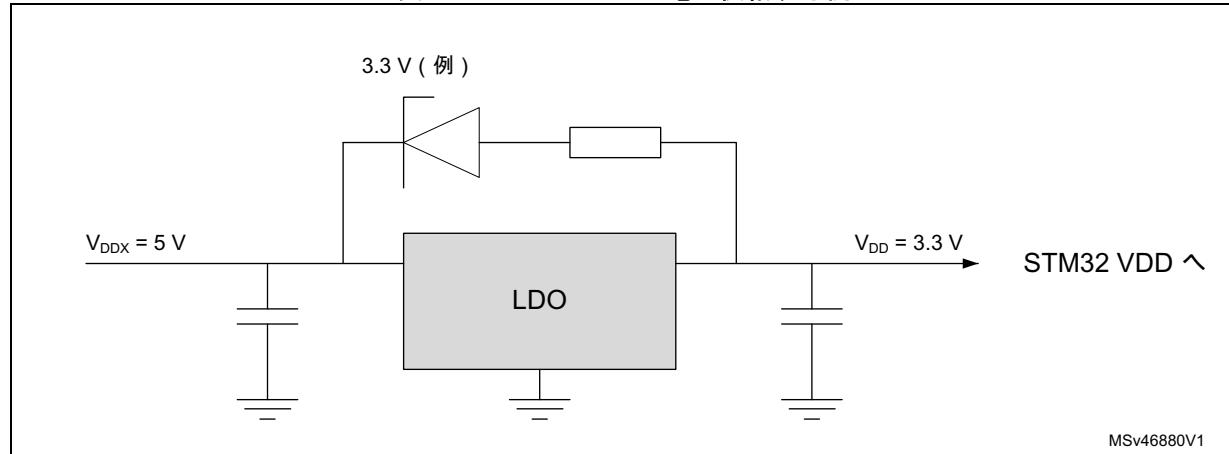
図 8. I²C の接続例



$V_{DDX} = 5 \text{ V}$ のときに $V_{DD} = 0 \text{ V}$ が発生する場合（過渡的でも）、VDD と VDDX の間にツェナーダイオード（たとえば 3.3 V など）を配置することを推奨します。

図 9 の例では、 V_{DD} は V_{DDX} によって給電される LDO の出力です。

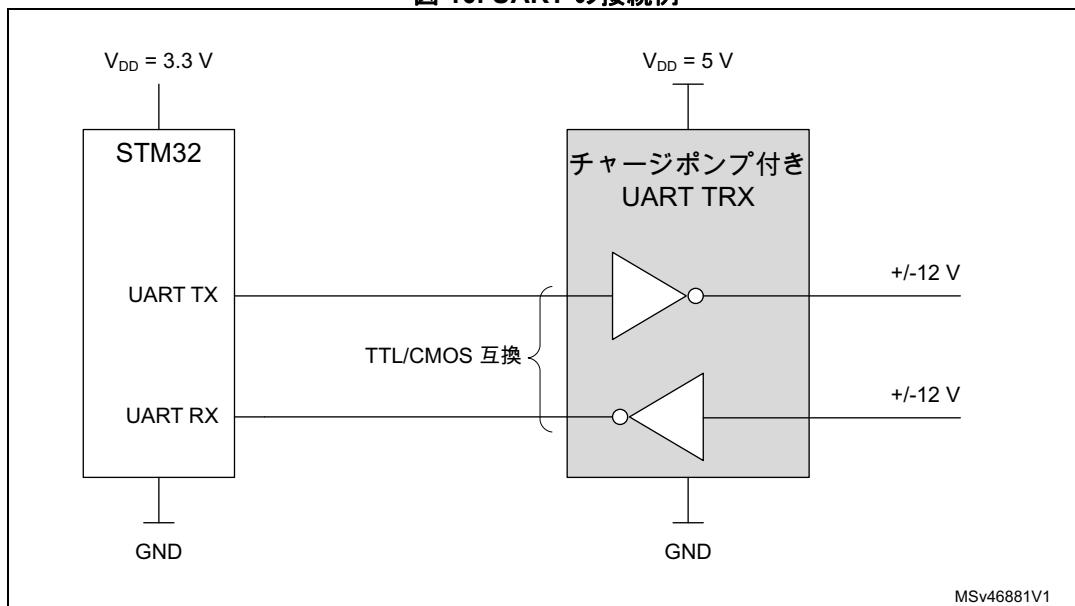
図 9. 5 V から 3.3 V へ電力供給する例



5.3.4 UART アプリケーション

通信する UART トランシーバに TTL 互換の 5V を供給する場合、STM32 デバイスは図 10 のように直接通信できます。

図 10. UART の接続例

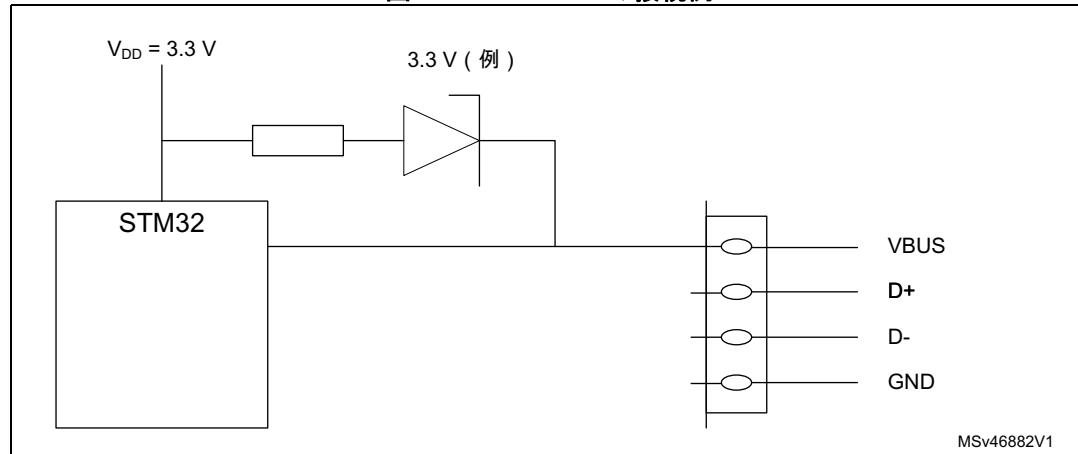


5 V UART インタフェース入力が TTL 互換の場合、 $V_{OL} < 0.8\text{ V}$ および $V_{OH} > 2.0\text{ V}$ となります。これは、3.3 V CMOS 出力で問題なく駆動できることを意味します。STM32 FT パッドは、 $V_{DD} = 3.3\text{ V}$ のとき、 $0\text{ V} \sim 5\text{ V}$ の CMOS レベル入力を受け入れられます。

5.3.5 USB VBUS の例

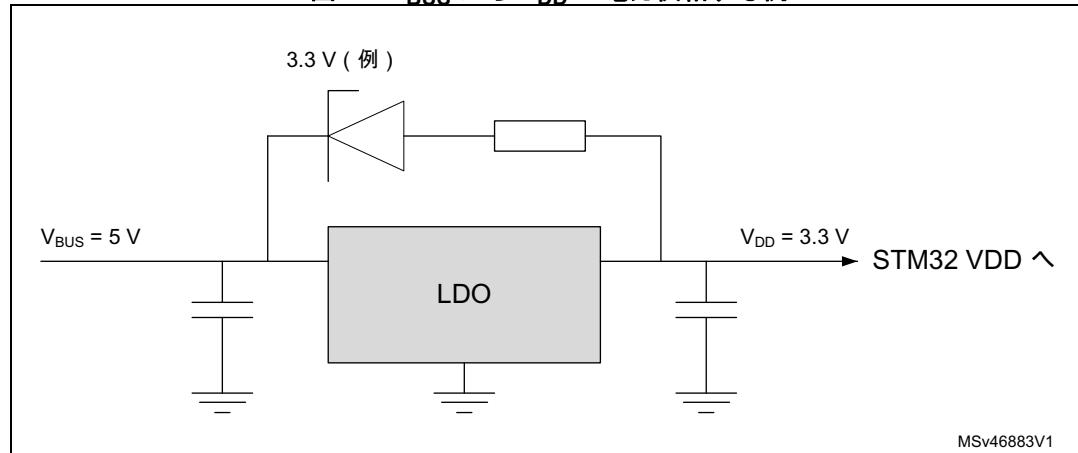
STM32 デバイスの VBUS パッドは 5 V トランジistorですが、 V_{DD} 最大定格に準拠する必要があります。STM32 が独立電源から給電される場合、STM32 に電源が供給されていない限り、VBUS に接続することはできません。別の解決方法は、図 11 に示すようにツェナーダイオード（例：3.3 V）を VBUS と V_{DD} の間に配置することです。

図 11. USB VBUS の接続例



STM32 の電源が、VBUS から給電される LDO によって供給される場合、図 12 に示すようにツェナーダイオード（例：3.3 V）を使用することを推奨します。

図 12. V_{BUS} から V_{DD} へ電力供給する例

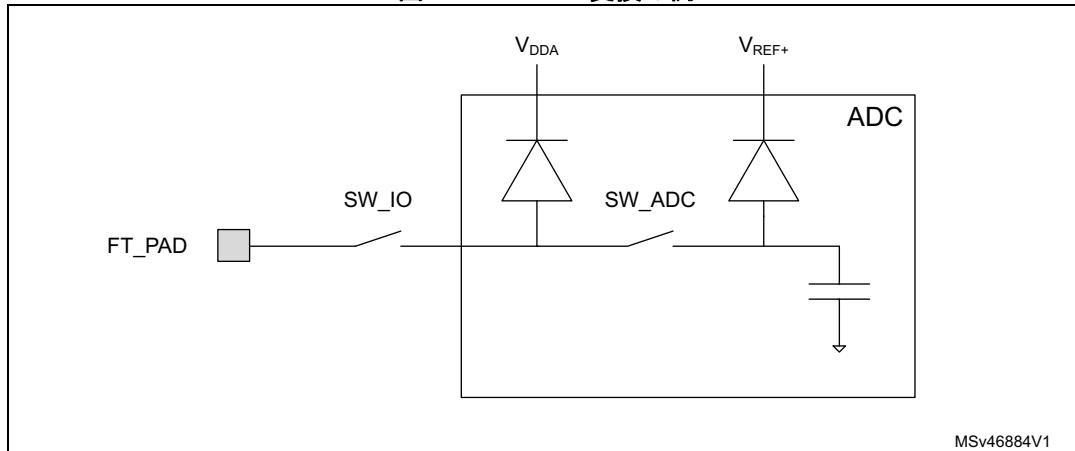


5.3.6 5 V ADC 変換用の I/O の使用

STM32 デバイスには、ADC 入力に接続される FT パッドがあります。ADC が接続されていないとき（I/O のアナログスイッチが閉じられていないとき）、I/O は $V_{DD} + 3.6$ V を受け入れることができます。この状況では、FT パッドに 5 V の印加が許されます。

しかし、I/O 入力が ADC に接続されると、サンプリングフェーズ中に V_{DDA} や V_{REF+} への寄生ダイオードが図 13 に示すように順方向にバイアスされます。

図 13. 5 V ADC 変換の例



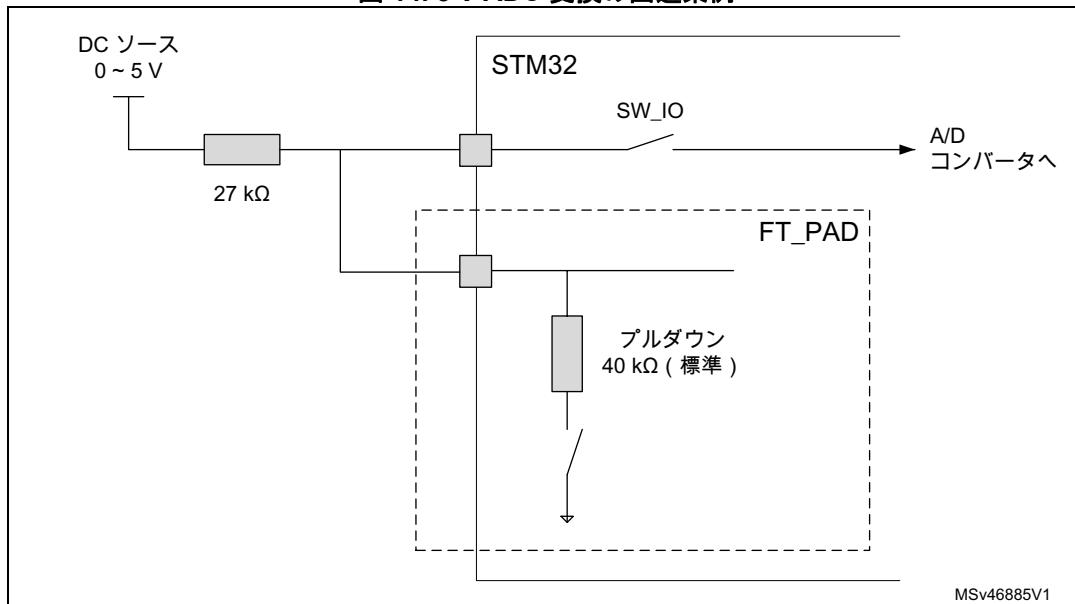
外部クランプ（たとえば、一連の抵抗とショットキーダイオードを VREF+ に接続する）によって入力電圧をクランプすることを推奨します。

寄生ダイオードは、信頼性に関して特性評価されていません。STマイクロエレクトロニクスは、これらのダイオードの許容電流レベルを保証していません。

回避策の提案

STM32 デバイスに未使用の FT パッドがある場合は、それを図 14 に示すように並列構成で ADC 入力パッドに接続してください。

図 14. 5 V ADC 変換の回避策例



1. ADC は、他方の FT_PAD のプルダウンを有効にして変換を行います。
2. 最初の ADC 変換結果が 2 V 未満である場合（これは DC ソースが ADC の入力範囲内にあることを示す）、ADC はプルダウンを無効にして、変換を再実行します。

上記の方法により、寄生ダイオードの順方向バイアスを回避できます。

6 GPIO ハードウェアガイドライン

この章では、STM32 GPIO を使用してアプリケーションを開発する際に確認すべき最も重要なルールのいくつかを要約します。

6.1 未使用ピンをフローティングさせない

未使用ピンをフローティングのままにしないでください。PCB 上でグラウンドまたは電源に接続するか、PU/PD を使用します。接続されていない入力ピンのノイズによって入力バッファがランダムに切り替わることになり、余分な消費の発生源となります。

アプリケーションが ESD に敏感である場合は、グラウンドに接続するか、またはピンを PP 出力として定義してローに駆動します。

6.2 クロス電圧ドメインのリーク

複数の異なる電圧（たとえば、3.3 V と 1.8 V、または 5 V と 3.3 V）を持つアプリケーションでは、PU を備えたすべての GPIO が、 V_{DD} を超える入力電圧にさらされていないことを確認してください。これは、オプションの外部回路（デバッガプローブとシステムなど）が接続された場合に特に有効です。

図 15. 多電圧リークの例

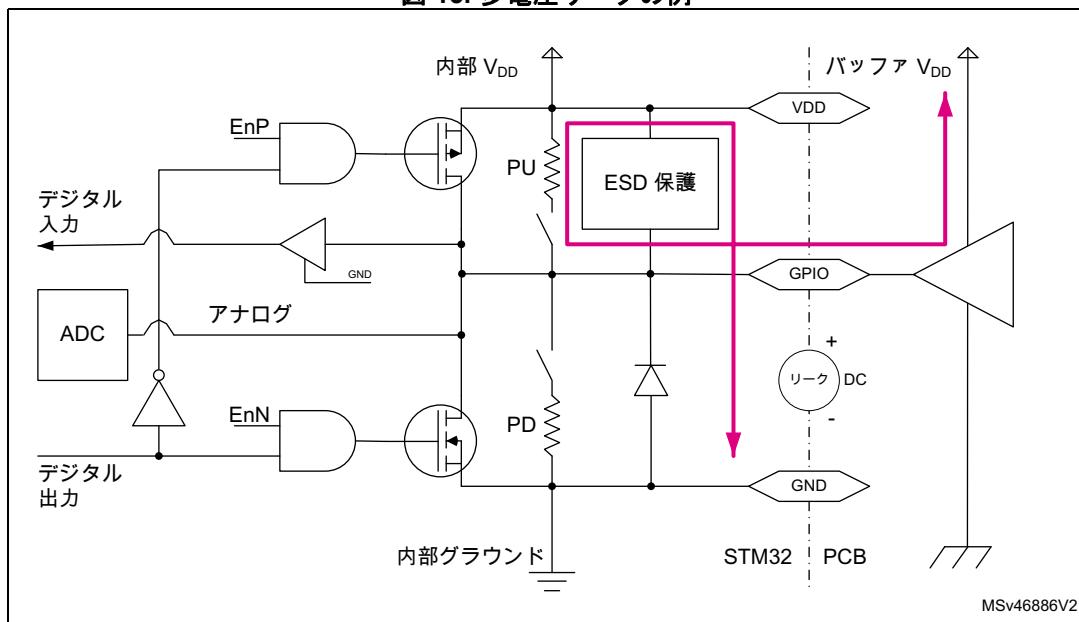


図 15 に示す例は、STM32 と駆動バッファに同じ V_{DD} ソースが供給されていない場合に、内部プルアップ抵抗によって誘導されるリーク電流を示したものです。ピンクの矢印はリーク電流の経路を示します。

6.3 V_{DD} が供給されない場合の電圧保護

電圧保護（たとえば、入力の 5 V 耐圧）は、STM32 が給電されている場合にのみ保証されます。

5 V の耐圧は、 V_{DD} が動作に必要な最小値を超えている場合にのみ得られます。

V_{DD} が存在しない場合、たとえば接地されている場合などでは、最大電圧は 3.6 V を超えてはなりません（正確な制限値は STM32 のデータシートに記載されています）。

警告 : 外部電圧が最大電圧値を超えると、STM32 デバイスが損傷することがあります。

図 16. V_{DD} が供給されない場合の電圧保護

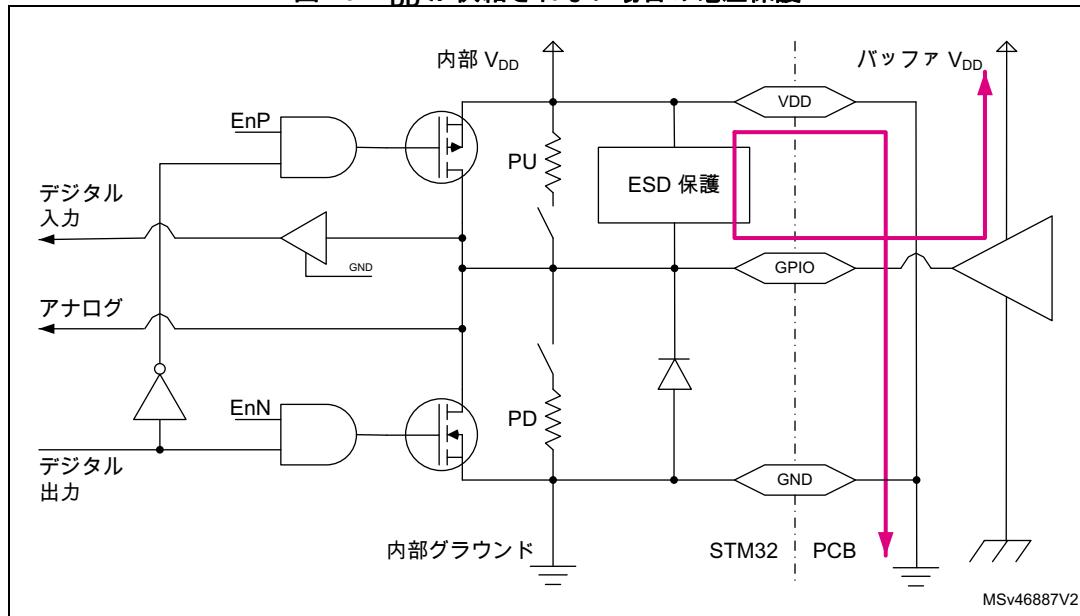
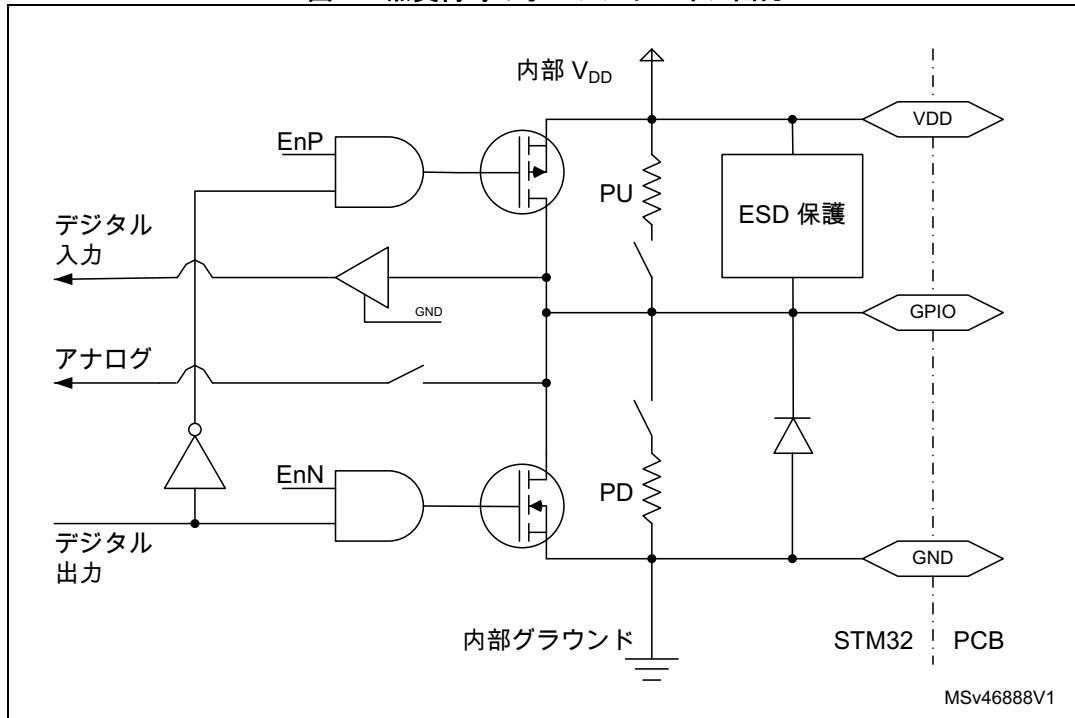


図 16 に示す例は、 V_{DD} が供給されない場合に誘導されるリーク電流を示しています。ピンクの矢印はリーク電流の経路を示します。

6.4 無負荷時のオープンドレイン出力

GPIO が外部プルアップ負荷または内部プルアップのないオープンドレイン出力として設定されている場合、ピンでの入力信号が確定するように、GPIO を強制的にローに駆動する必要があります。これにより、フローティング入力が回避されます。この設定を図 17 に示します。

図 17. 無負荷時のオープンドレイン出力



6.5 MCO クロック出力の使用

クロック信号は、高消費電流の主な要因となります。マイクロコントローラまたは基板上のその他のコンポーネントに関連するすべての入出力クロックには、特に注意を払う必要があります。設計者は、出力ピン (MCO^(a) などの) を介して MCU クロックで基板上の他のコンポーネントにクロックを供給すると、I/O スイッチング周波数により、消費電流が増加することを考慮する必要があります。

このため、MCO^(a) ピンから他のクロック入力コンポーネントへ PCB のワイヤをどのように配線するか、または基板上でのクロック要件のフルセット (クロック入力の数とクロック周波数) に応じて外部オシレータを使用するか、を選択するのはハードウェア設計者の責任です。

6.6 デバッグピンにはデフォルトで PU または PD がある

一部のピンは、デフォルトで PU または PD 付きの入力としてプログラムされています（関連する GPIO については、STM32 のデータシートを参照）。これらのピンを他の目的に使用する場合、余分な電力消費の原因となるので、PU 時に 0 または PD 時に 1 に強制することは避ける必要があります。

a. MCO : マイクロコントローラクロック出力オルタネート機能

6.7 NRST ピンはイネーブルとして使用できない

消費電力を最小にするため、NRST ピンをイネーブルピンとして使用することはできません。これを永続的に接地すると、デバイスは起動フェーズに維持されます。可能であれば、NRST ピンをリリースして、低電力モード (STANDBY または SHUTDOWN) のいずれかに移行することを推奨します。

注： NRST ピンにはすでにウイーク PU (約 40 kΩ) が内蔵されています。

6.8 VBAT GPIO の電流強度は制限されている

VBAT GPIO ピンを使用すると、外部電圧ソース (バッテリまたはコンデンサ) から STM32 バックアップドメインに電力を供給できます。STM32 マイクロコントローラが V_{BAT} モードになっているとき、ほとんどの GPIO はシャットダウンされます。 V_{DD} が存在しないとき、バックアップドメインの一部である GPIO にのみ、 V_{BAT} 電圧で電力が供給されます。バックアップ GPIO は、駆動力が制限された内蔵スイッチによって給電されます (3 mA を超えることはできません)。これらの I/O は、 V_{DD} が有効なときでも、大電流の駆動には使用してはならず、また、速度は制限されています。

この機能をオーバードライブすると、不特定のレベルに達し、システムで余分な電力消費が発生する可能性があります。

6.9 BOOT0 ピン

V_{DD} 電圧を BOOT0 へ永続的に印加すると、余分な消費電力が発生します。

7 電力最適化のための GPIO ソフトウェアガイドライン

7.1 未使用的 GPIO 入力をアナログ入力として設定

GPIO には常にデジタルまたはアナログの入力チャネルがあります。

GPIO データを読み出す必要がない場合は、アナログ入力としての設定を優先してください。これにより、入カシュミットリガの電力消費を節約できます。

7.2 GPIO 速度の調整

立ち上がり時間、立ち下がり時間、および最大周波数は、GPIOx_OSPEEDR 設定レジスタを使用して設定できます。このような調整は、ピークスイッチング電流がかなり大きいので、EMI（電磁干渉）と SSO（同時スイッチング出力）に影響力を持ちます。GPIO の性能とノイズの間で妥協する必要があります。各 GPIO 信号の立ち上がり時間と立ち下がり時間は、関連する信号周波数と基板の容量性負荷と両立できる最小値に調整する必要があります。

ユーザがアプリケーションでシグナルインテグリティを制御しやすいように、選択した STM32 GPIO ピンの IBIS モデルが用意されており、STマイクロエレクトロニクスの Web サイト (www.st.com) からダウンロードできます。

7.3 使用しないときの GPIO レジスタクロックの無効化

GPIO バンクを長期間使用する必要がない場合は、HAL_RCC_GPIOx_CLK_DISABLE() 関数を使用してクロックを無効にしてください。

7.4 低電力モードに入るときに GPIO を設定する

低電力モードに入るとき、すべてのピン信号を V_{DD} またはグラウンドに接続する必要があります。

GPIO が外部レシーバ（外部コンポーネントの入力）に接続されている場合、PP または PU/PD を使用して、GPIO 信号の値を強制的に設定する必要があります。

GPIO がドライバ（外部コンポーネントの出力またはバス）に接続されている場合、ドライバからは有効なレベル（V_{DD} またはグラウンド）が提供されなければなりません。ドライバのレベルが未定義の場合、GPIO 上の信号は、PU/PD を使用して強制的に生成する必要があります。

実用的な理由で、RUN モードで GPIO が入力（アナログまたはデジタル）である場合、低電力モードで入力 PU/PD を使用する方が簡単な場合があります。GPIO が RUN モードで出力の場合は、出力 PP を同様に使用します。これにより、STOP モードへの移行時または終了時に変更の管理をしなくて済みます。

7.5 シャットダウン終了モード

注：このセクションは、STM32L4 シリーズ、STM32L4+ シリーズ、STM32L5 シリーズ、および STM32U5 シリーズのマイクロコントローラにのみ適用されます。

SHUTDOWN モードを終了すると、GPIO はパワーオン・リセット時のデフォルト値に再設定されます。これにより、正しい値に再プログラムされる前に、余分なシステム電力消費が発生する可能性があります。これがアプリケーションにとって問題である場合、SHUTDOWN モードではなく STANDBY モードを使用する必要があります。

8 GPIO の選択ガイドと設定

図 18 および図 19 に示すフローチャートでは、ユーザがアプリケーションに合わせて GPIO のモードと設定を選択するためのクイックヘルプを提供しています。

図 18. GPIO 設定フローチャート (1/2)

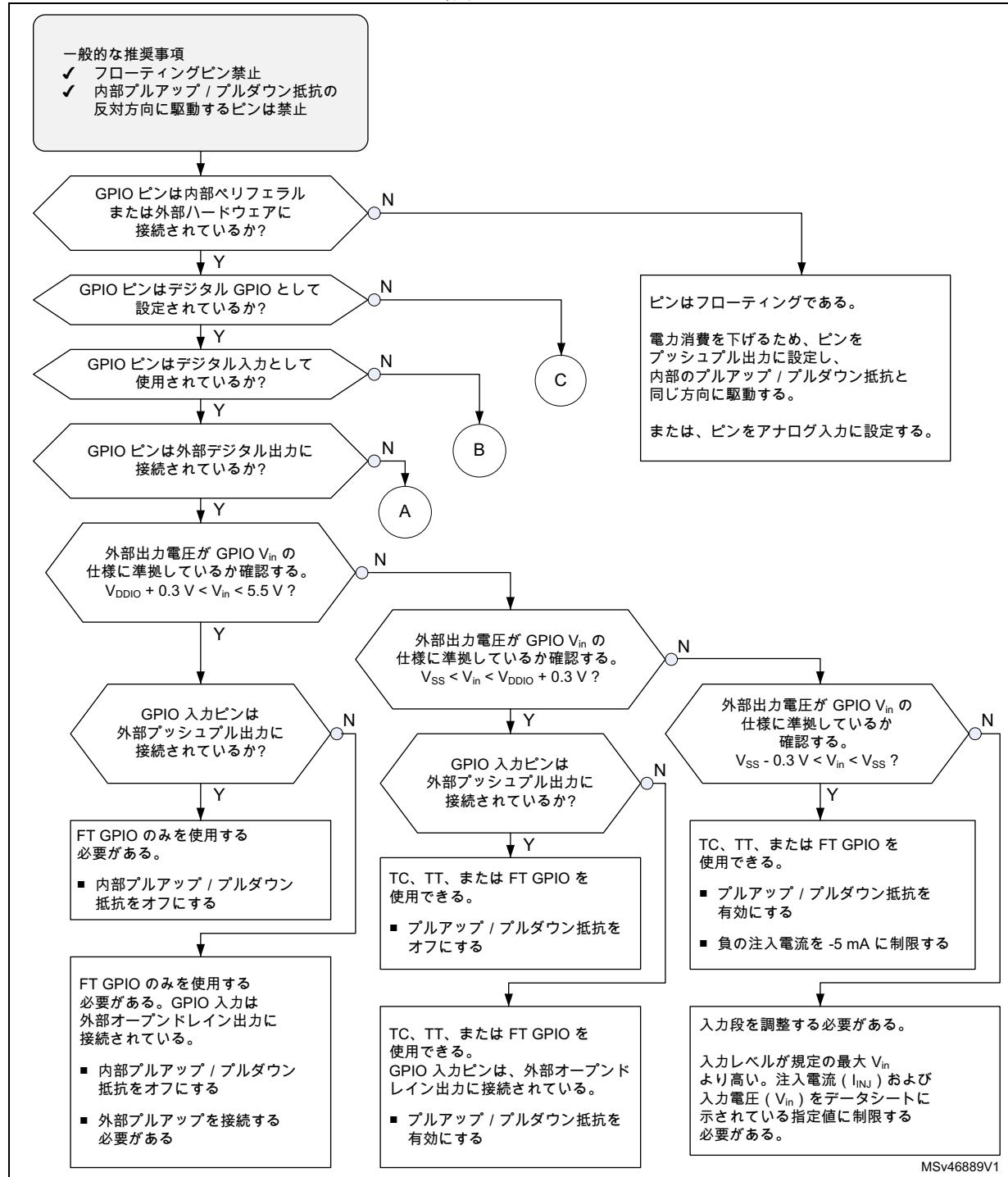
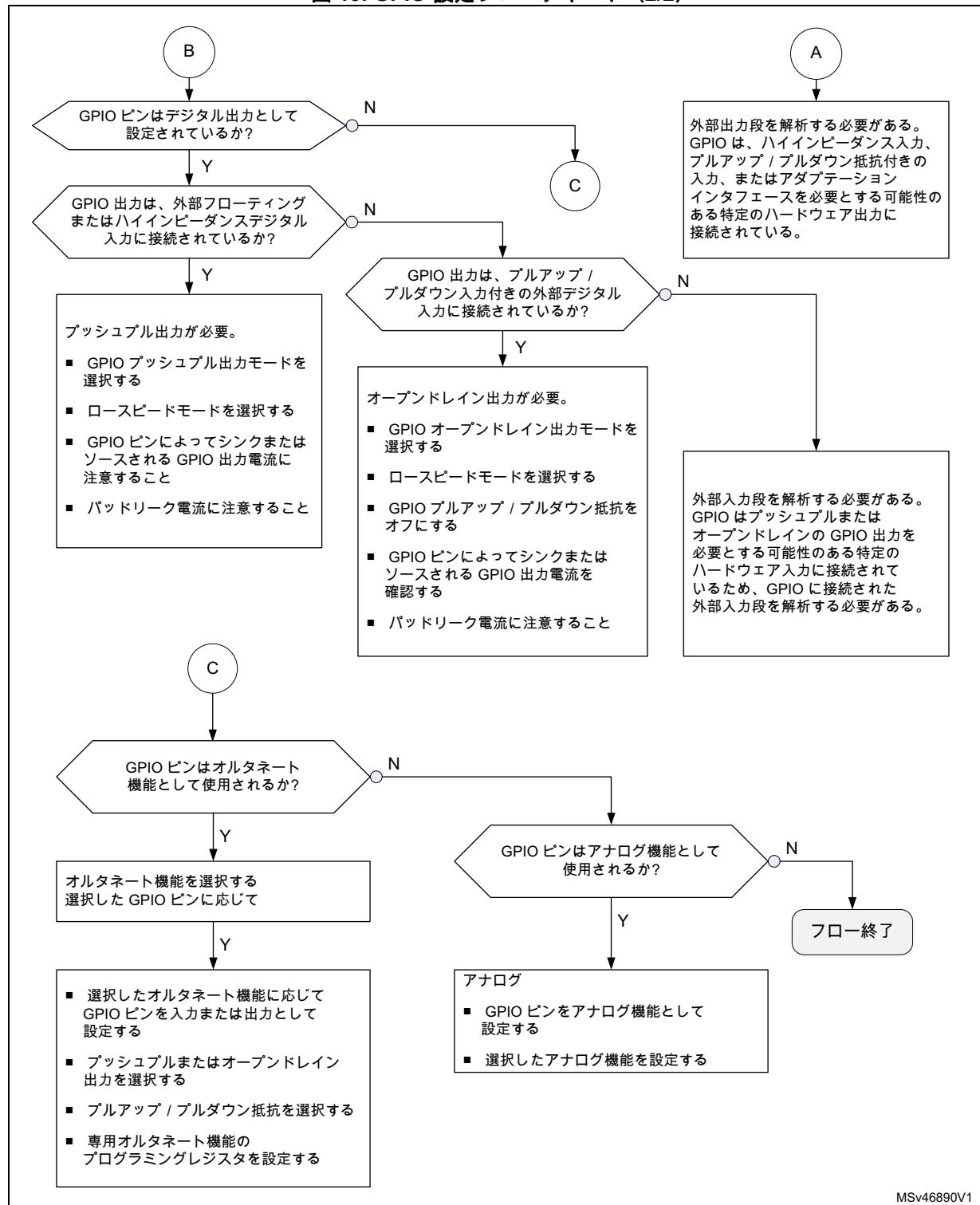


図 19. GPIO 設定フローチャート (2/2)



9**改版履歴****表 2. 文書改版履歴**

日付	版	変更内容
2017年9月21日	1	初版発行
2021年8月12日	2	ドキュメントタイトルを更新。 セクション 5.2.1: 3 V トレント GPIO (TT) および セクション 5.2.2: 5 V トレント GPIO (FT) に、アナログ入力機能が有効なときの最大動作電圧について注を追加。 セクション 4.2: GPIO の等価回路図 および セクション 4.3.4: アナログ設定 にアナログスイッチに関するコメントを追加。
2022年3月29日	3	ドキュメントタイトルを更新。 セクション 7.5: シャットダウン終了モード の適用性を更新。

表 3. 日本語版文書改版履歴

日付	版	変更内容
2023年5月	1	日本語版 初版発行

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の有効な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STMicroelectronics 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。

この資料は、STMicroelectronics NV 並びにその子会社(以下ST)が英文で記述した資料（以下、「正規英語版資料」）を、皆様のご理解の一助として頂くためにSTマイクロエレクトロニクス㈱が英文から和文へ翻訳して作成したものです。この資料は現行の正規英語版資料の近時の更新に対応していない場合があります。この資料は、あくまでも正規英語版資料をご理解頂くための補助的参考資料のみにご利用下さい。この資料で説明される製品のご検討及びご採用にあたりましては、必ず最新の正規英語版資料を事前にご確認下さい。ST及びSTマイクロエレクトロニクス㈱は、現行の正規英語版資料の更新により製品に関する最新の情報を提供しているにも関わらず、当該英語版資料に対応した更新がなされていないこの資料の情報に基づいて発生した問題や障害などにつきましては如何なる責任も負いません。

© 2023 STMicroelectronics - All rights reserved