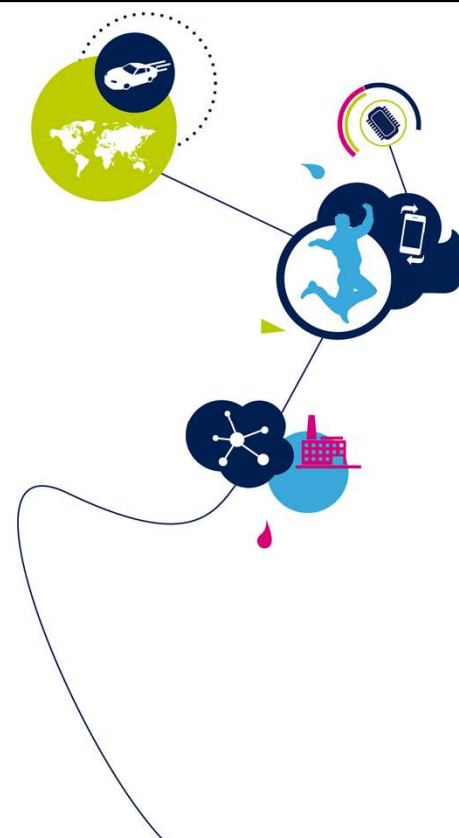
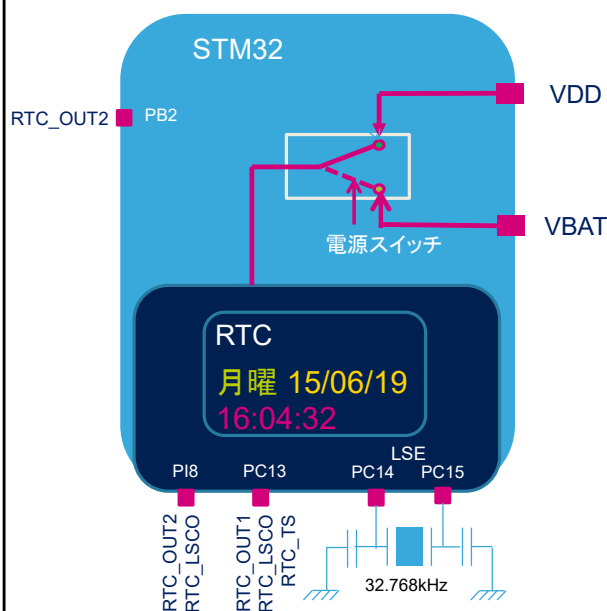


STM32MP1 – RTC

リアルタイム・クロック
1.0 版



STM32 リアルタイム・クロックのプレゼンテーションによろこそ。ここでは、非常に正確なタイムベースを供給するために使用される、このペリフェラルの主な機能について説明します。



- RTC は、すべての低電力モードで使用できるサブセカンド単位の精度とアラームを搭載した超低電力ハードウェアカレンダーを備えています。
- バッテリバックアップドメインに属しているため、主電源がオフのときでも動作します。
- TrustZone サポートがあります。

アプリケーション側の利点

- 超低電力:3V で 1.5 μ A (TAMP および LSE あり)
- ソフトウェアの負荷を軽減するハードウェア BCD カレンダー
- 各機能のセキュリティ隔離



life.augmented

RTC ペリフェラルは、すべての低電力モードで実行するサブセカンド単位の精度とアラームを搭載した超低電力カレンダーを備えています。

さらに、ロースピード外部オシレータ(LSE)で 32.768kHz でクロック供給されているときに、主電源がオフになり、VBAT ドメインがバックアップバッテリーによって供給されている場合でも、RTC は機能します。

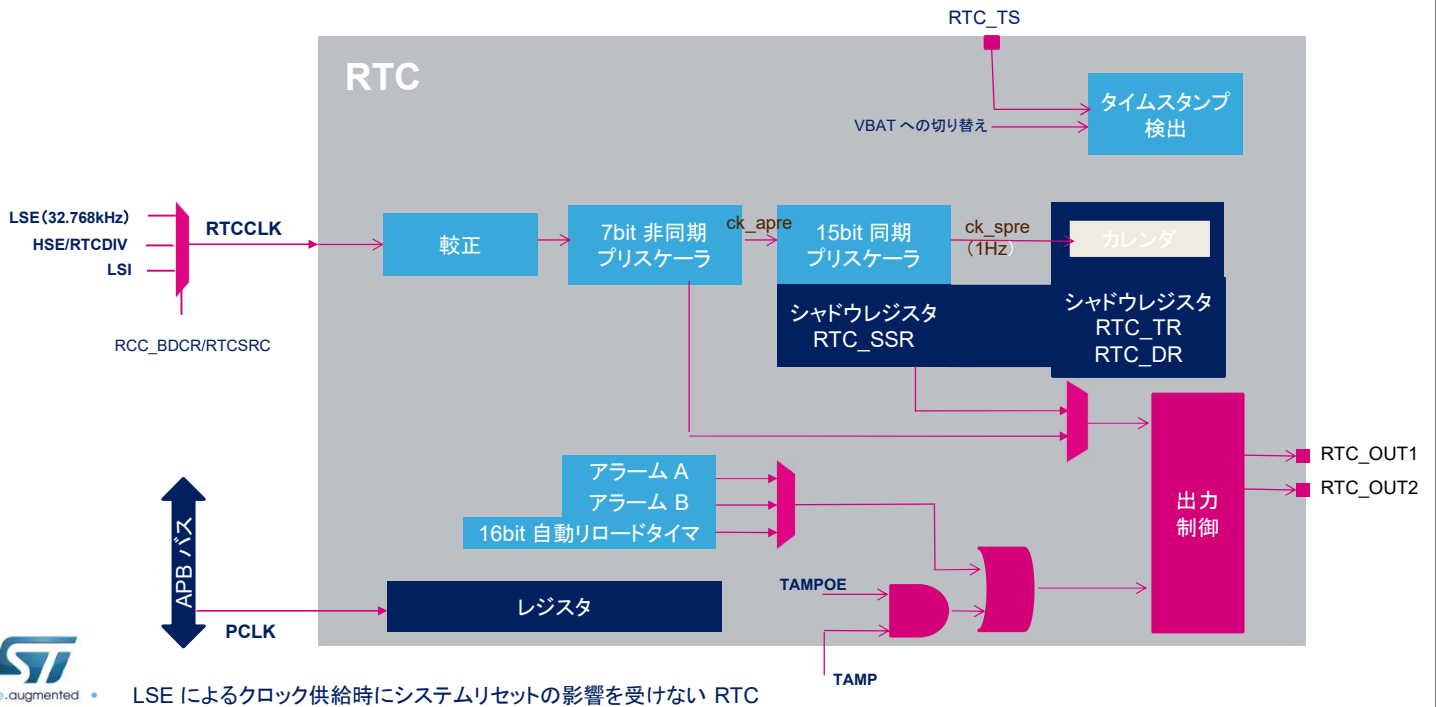
RTC は、タンパ検出がアクティブな TAMP ペリフェラルと LSE の消費電力を含め、3V で 1.5 μ A を消費します。ハードウェアカレンダーは、特に日付と時刻を表示する必要がある場合にソフトウェアの負荷を軽減するために 2 進化 10 進数 (BCD) 形式で利用できます。RTC の各機能は個別にセキュアに設定でき、他の非セキュアファームウェアのアクセスから保護されている場合に、さまざまなプロセスでペリフェラルを共有できます。

- BCD 形式でのサブセカンド、秒、分、時、曜日、日、月、年
- 「動作中」にプログラム可能なサマータイム補正
- ウェイクアップ割込み機能を備えた 2 個のプログラム可能なアラーム
- ウェイクアップ割込みをトリガする、分解能がプログラム可能な周期的フラグ
- リファレンスクロックソース (50 または 60Hz) はカレンダー更新に使用可能
- 0.95ppm の精度を実現するデジタル較正回路
- サブセカンドの精度でイベントを保存するタイムスタンプ機能 (1 イベント)
- TrustZone サポート:
 - RTC の完全なセキュリティ
 - アラーム A、アラーム B、ウェイクアップタイマおよびタイムスタンプの個別のセキュア / 非セキュア設定



RTC の主な機能は次の通りです。

- 秒、分、時、曜日、日、月、年が 2 進化 10 進数形式で利用できます。サブセカンドもバイナリ形式で利用できます。
- サマータイムを管理するために、動作中にカレンダーに 1 時間追加または削除します。
- 2 つのプログラム可能なアラームがあり、マイクロプロセッサをすべての低電力モードからウェイクアップさせることができます。
- 自動リロードタイマが組み込まれており、ウェイクアップ機能で周期的フラグや割込みを生成するために使用できます。このタイマの分解能はプログラム可能です。
- カレンダーは、50 または 60Hz での商用電源であるリファレンスクロックソースによって較正できます。
- デジタル較正回路は、0.95ppm の分解能でクリスタルの精度を補正できます。
- タイムスタンプ機能は、外部イベントに応じてタイムスタンプレジスタにカレンダーの内容を保存します。
- Trustzone サポートで、非セキュアアクセスからレジスタを保護するために各機能を個別に保護できます。RTC は、全体的にセキュアとして設定することもできます。



LSE によるクロック供給時にシステムリセットの影響を受けない RTC

これは、RTC ブロック図です。RTC には 2 つのクロックソースがあり、RTC クロック(RTCCLK)は RTC タイマカウンタに使用され、APB クロックは RTC レジスタの読出しアクセスと書込みアクセスに使用されます。RTC クロックでは、1~64 のプログラム可能な係数で分周したハイスピード外部オシレータ(HSE)、ロースピード外部オシレータ(LSE)、ロースピード内部オシレータ(LSI)のいずれかを使用できます。STOP モードや STANDBY モードで機能させるには、RTC クロックで LSE か LSI を使用する必要があります。VBAT モードで機能させるには、RTC クロックで LSE を使用する必要があります。

RTC クロックは、まず 7bit のプログラム可能な非同期プリスケラで分周され、ck_apre clock を供給します。ほとんどの RTC は ck_apre 周波数でクロック供給されるため、消費電力を削減するために、高い非同期分周値を設定することをお勧めします。デフォルト値は 128 です。

その後、15bit のプログラム可能な同期プリスケラが ck_spre clock を供給します。ck_spre は、1 秒インクリメントで時刻と日付の BCD レジスタを更新するために 1Hz にする必要があります。サブセカンドレジスタの分解能は、ck_apre 周波数によって定義されます。デフォルトでは、256Hz です。SSR レジスタの分解能は、非同期プリスケラ値を下げることで上がります。非同期プリスケラはバイパスも可能です。この場合、サブセカンドレジスタの分解能は、RTC クロック周波数によって定義されます。

セキュアと非セキュアのファームウェアを隔離する高度な設定

- RTC は、RTC_SMCR レジスタの DECPROT ビットをクリアすることで非セキュア書込みアクセスから全体的に保護できます。RTC レジスタの読出しはセキュアアクセスや非セキュアアクセスで可能です。
- 各機能は、個別に非セキュア書込みアクセスから保護できます。
 - INITDPROT = 0 では、RTC カレンダーレジスタとプリスケアラの初期化にリンクされたすべてのレジスタを保護します。
 - CALDPROT = 0 では、RTC の較正、リファレンスクロックの自動較正、サマータイム機能にリンクされたすべてのレジスタを保護します。
 - ALRADPROT = 0 および ALBDPROT = 0 では、それぞれアラーム A と B にリンクされたすべてのレジスタを保護します。
 - WUTDPROT = 0 では、ウェイクアップタイマにリンクされたすべてのレジスタを保護します。
 - TSDPROT = 0 では、タイムスタンプにリンクされたすべてのレジスタを保護します。



life.augmented

RTC は、非セキュア書込みアクセスからの TrustZone 保護をサポートしています。この保護は、RTC セキュアモード制御レジスタで DECPROT ビットをクリアすることで、RTC すべてに対してセットできます。また、各 RTC 機能を個別にセキュアまたは非セキュアに設定することもできます。これによって、たとえばアラーム A をセキュアファームウェアに割り当て、アラーム B を別の非セキュアファームウェアに割り当てることができます。セキュアまたは非セキュアに設定できる機能は、アラーム A、アラーム B、自動リロードウェイクアップタイマ、タイムスタンプです。さらに、カレンダーとプリスケアラの初期化は、専用ビットと較正機能で保護できます。RTC_SMCR レジスタの関連する DECPROT ビットをクリアすることで、RTC 全体または一部の機能が保護されている場合、セキュアおよび非セキュアの読出しモードでレジスタにアクセスできる状態です。

- バックアップドメインのパワーオン・リセット後、セキュアアクセスのみで書込み可能な RTC セキュアモード制御レジスタ(RTC_SMCR)を除いて、すべての RTC レジスタがセキュアアクセスおよび非セキュアアクセスで読出しまたは書込みできます。RTC 保護設定は、システムリセットの影響を受けません。
- 非セキュアアクセスによる安全に保護されたレジスタへのアクセスは、SILENT モードで実行されます。保護されたビットは通知なしで書き込まれません。
- 1 つ以上の機能がセキュアに設定されると、RTC リセットおよびクロック制御も RCC でセキュアになります。



life.augmented

バックアップドメインのパワーオン・リセット後、セキュアアクセスのみで書込み可能な RTC セキュアモード制御レジスタを除いて、すべての RTC レジスタがセキュアアクセスおよび非セキュアアクセスで読出しまたは書込みできます。RTC 保護設定は、システムリセットの影響を受けません。

非セキュアアクセスによる安全に保護されたレジスタへのアクセスは、SILENT モードで実行されます。保護されたレジスタは通知なしで書き込まれません。

1 つ以上の機能がセキュアに設定されると、RTC リセットおよびクロック制御も RCC でセキュアになります。

安全な RTC 初期化

- RTC レジスタは不正な書込みアクセスを回避するために書込み保護されています。
 - RTC 書込みアクセスを有効にするには、電力コントローラ制御レジスタ 1 (PWR_CR1) でバックアップドメインの無効化 (DBP) ビットをセットする必要があります。
 - キーは、RTC 書込み保護レジスタ (RTC_WPR) レジスタに書き込む必要があります。
- 固有のソフトウェアシーケンスで、RTC 初期化モードに移行します。
 - カレンダーレジスタおよびプリスケアラの初期化に使用されます。



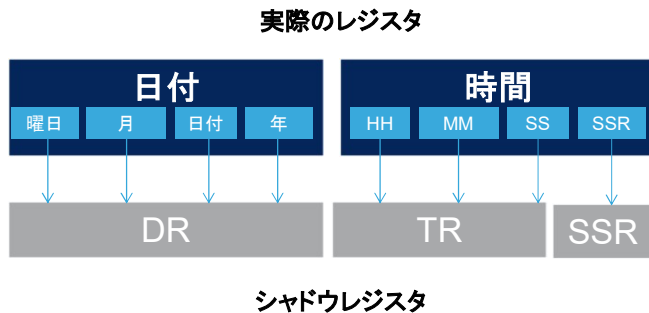
RTC レジスタはあらゆる不正な書込みアクセスを回避するために書込み保護されています。まず、RTC 書込みアクセスを有効にするには、電力コントローラ制御レジスタでバックアップドメイン保護の無効化ビットをセットする必要があります。そして、固有のシーケンスを、RTC 書込み保護レジスタに書き込む必要があります。

クロックプリスケアラ値やカレンダー値を変更するには、初期化モードに移行する必要があります。

** WB の S5 **

すべての低電力モード、VBAT、リセットでアクティブ

- 初期化はシャドウレジスタの時刻と日付のレジスタで実行します。



- カレンダーの読出し:

- BYP SHAD = 0: シャドウレジスタを読み出します。
 - STOP/STANDBY モードを終了するときにシャドウレジスタを更新するには、最大 2RTCCLK サイクルの遅延が発生します。
 - DR の更新は TR の読出し後に停止し、DR が読み出されると停止を解除します。
 - TR および DR の更新は SSR の読出し後に停止し、DR が読み出されると停止を解除します。
- BYP SHAD = 1: シャドウレジスタをバイパスします。
 - カレンダー読出しで直接カレンダーカウンタにアクセスします。
 - ソフトウェアはすべてのカレンダーレジスタを 2 回読み出し、その結果を比較してデータに整合性があり正しいことを確認する必要があります。

RTC カレンダーは、LSE によってクロック供給されている場合、すべての低電力モード、VBAT モードおよびリセット中でも機能し続けます。

時刻と日付のレジスタは、APB クロックドメインにあるシャドウレジスタで初期化されます。サブセカンドレジスタは初期化できません。

カレンダーのサブセカンド、時刻、日付のレジスタの内容は 2 つの異なるモードで読み出すことができます。

シャドウレジスタのバイパス制御ビットがクリアされていると、シャドウレジスタは読み出されます。このモードには、3 つすべてのレジスタが一貫していることを保証するメリットがあります。時刻のレジスタが読み出される時、日付のレジスタは読み出されるまで停止します。サブセカンドレジスタが読み出される時、時刻と日付のレジスタは日付レジスタが読み出されるまで停止します。このモードには、STOP モードや STANDBY モードを終了したときに、シャドウレジスタが最後のカレンダーレジスタ値で更新されたことを確認するために、ソフトウェアは同期遅延を待つ必要があるというデメリットもあります。この同期遅延は最大 2RTC クロック周期となります。

シャドウレジスタのバイパス制御ビットがセットされていると、実際のカレンダーレジスタは直接読み出されます。このモードには、同期遅延を待つ必要がないというメリットがあります。デメリットとしては、同期の問題によって読出し値が誤っていたり、一致していなかったりする場合があるため、正しく整合性があることを確認するために、2 回読み出して前の読出し値と比較する必要があります。

- 「サマータイム」は、自動的な 1 時間の加算および減算によって管理されます。
- サブセカンドの分解能でオフセットを追加／差し引きすることによる最大 1 秒のカレンダー同期 => リモートクロックでの同期が可能です。
- リファレンスクロック検出: 正確な秒のクロックソース (50 または 60Hz の商用電源での RTC_REFIN) を使用すると、カレンダーの長期にわたる精度を向上させることができます。
 - リファレンスクロックは自動的に検出され、カレンダー更新に使用されます。
 - リファレンスクロックが使用できなくなった場合、LSE クロックが自動的にカレンダー更新に使用されます。



このスライドには、主なカレンダー機能が示されています。

サマータイムは、ソフトウェアが自動的に 1 時間追加または差し引きすることで管理できます。

ck_apre クロックの分解能により、動作中にサブセカンドレジスタにオフセットを追加または差し引きすることで、RTC クロックをリモートクロックと同期させることができます。この機能は、一般的に RF アプリケーションに使用されます。

リファレンスクロック (50 または 60Hz の商用電源) は、長期にわたるカレンダー精度を向上させるために使用できます。リファレンスクロック RTC_REFIN は自動的に検出され、供給されている場合はカレンダー更新に使用されます。リファレンスクロックが使用できない場合、LSE クロックが自動的にカレンダー更新に使用されます。この機能は、STANDBY モードと VBAT モードでは使用できません。

- カレンダー値

- サブセカンド用 RTC_SSR レジスタ
- 時刻用 RTC_TR レジスタ
- 日付用 RTC_DR レジスタ

これらは、外部の I/O RTC_TS イベントそれぞれのタイムスタンプレジスタに保存されます。

- VBAT への切り替え発生時に、内部タイムスタンプを検出します。
- TAMP ペリフェラルのタンパイイベント時にタイムスタンプを検出します。



タイムスタンプ機能が使用できます。I/O RTC_TS イベントが発生すると、RTC_SSR サブセカンドレジスタ、RTC_TR 時刻レジスタ、RTC_DR 日付レジスタのカレンダー値がタイムスタンプレジスタに保存されます。VBAT への切り替え発生時にもタイムスタンプイベントが発生します。さらに、内部または外部タンパイイベント発生時には、RTC カウンタのタイムスタンプを取得できます。TAMP ペリフェラルのトレーニングを参照してください。

高精度デジタル較正

11

クリスタルの精度補正

- 設定可能なウィンドウでうまく分散される N 個 (設定可能) の 32kHz クロックパルスのマスク/追加で構成されます。
- 較正值は動作中に変更できます。
- 1Hz 出力 (LSE によってクロック供給される RTC) がクリスタル周波数と較正結果を測定するために供給されます。

LSE での較正ウィンドウ	精度	全体範囲
8 秒	$\pm 1.91\text{ppm}$	$[0 \pm 480\text{ppm}]$
16 秒	$\pm 0.95\text{ppm}$	$[0 \pm 480\text{ppm}]$
32 秒	$\pm 0.48\text{ppm}$	$[0 \pm 480\text{ppm}]$



デジタル較正は、温度や経年劣化によるクリスタルの精度のばらつきを補正するために使用されます。この較正は、デジタル較正の全体範囲が狭すぎて内部オシレータの精度を補正できないため、内部オシレータには適していません。

デジタル較正は、設定可能なウィンドウでうまく分散されるプログラム可能な RTC クロックサイクル数のマスクや追加で構成されます。較正值は、検出された温度変化などに応じて動作中に変更できます。32.678kHz での LSE が RTC クロックとして使用される場合、較正值を適用する前後でクリスタル周波数を測定するために 1Hz の較正出力信号が供給されます。

ここに示されている精度は、デジタル較正の分解能です。較正ウィンドウサイズは、8 秒、16 秒、32 秒で設定可能です。32 秒の較正ウィンドウでは、精度が $\pm 0.48\text{ppm}$ となります。全体の補正範囲は、 $-480\sim 480\text{ppm}$ です。精度の分解能は較正ウィンドウサイズで測定されます。アプリケーションの最終的な精度は、クリスタルパラメータ精度、温度検出精度、ソフトウェア較正手順が起動される頻度などの影響を受けます。

較正ウィンドウの精度に達するためには、測定ウィンドウを較正ウィンドウの倍数にする必要があります。

RTC のプログラム可能なアラーム

12

カレンダー値に基づいた2つの柔軟性の高いアラーム

- カレンダーのサブセカンド、秒、分、時、日付がアラームレジスタにプログラムされた値と一致する場合、アラームフラグがセットされます。
- 2つのアラームは、デバイスのすべての低電力モードを終了させます。
- アラームイベントは、設定可能な極性を持つ特定の出カピン RTC_OUT1 または RTC_OUT2 にもルーティングできます。
- カレンダーのサブセカンド、秒、分、時、日付のフィールドは個別に選択できます(マスクありまたはマスクなし)。
 - マスクによって、周期的アラーム割込みを設定できます。



RTC には、カレンダー値の比較に基づく2つの柔軟性の高いアラームが組み込まれています。カレンダーのサブセカンド、秒、分、時、日付がアラームレジスタにプログラムされた値と一致する場合、アラームフラグがセットされます。

アラームイベントは、デバイスをすべての低電力モードからウェイクアップさせることができます。

アラームイベントは、設定可能な極性を持つ特定の出カピン RTC_OUT1 または RTC_OUT2 にもルーティングできます。

カレンダーアラームのサブセカンド、秒、分、時、日付のフィールドは、比較のために個別にマスクありまたはマスクなしに設定できます。マスクが使用されている場合、周期的アラームが生成されます。

周期的自動ウェイクアップ

柔軟性の高い周期的ウェイクアップ割込み

- 周期的ウェイクアップフラグは、16bit のプログラム可能なバイナリ自動リロードダウンカウンタによって生成されます(17bit に拡張可能)。
- デバイスの STOP/STANDBY モードを終了させることができます。

ウェイクアップタイム(WUT) クロック	ウェイクアップ周期	分解能
2、4、8、16 で分周される RTCCLK	122 μ s から 32 秒(RTCCLK = 32.768kHz の場合)	最小 61 μ s
ck_spre	1 秒から 36 時間(ck_spre = 1Hz の場合)	1 秒



別の 16bit 自動リロードカウンタは、カレンダーおよびアラームに加えて、低電力モードからのウェイクアップ機能で周期的イベントを生成できます。このカウンタを読み出すことはできません。ソフトウェア設定に応じて、ウェイクアップタイムクロックが 2、4、8、16 で分周された RTC クロックか、同期プリスケアラの出力になります。分周された RTC クロックでは、RTC クロックの周波数が 32.768kHz の場合、ウェイクアップ周期が 122 マイクロ秒から 32 秒になります。この場合、分解能は最小 61 マイクロ秒です。ck_spre クロックでは、ck_spre クロックが 1Hz の場合、ウェイクアップ周期が 1 秒から 36 時間になります。

RTC ピン機能

14

- RTC_OUT1 および RTC_OUT2 は次のいずれかを出力できます。
 - すべてのタンパフラグの結果となる TAMPALRM 信号 (TAMP ペリフェラルから)、アラーム A、B、ウェイクアップタイマ (WUT) フラグ
 - 較正信号 (LSE 32.768kHz、デフォルト値に設定されたプリスケアラで 512Hz または 1Hz)
- TAMPALRM では、極性、オープンドレイン / プッシュプルモード、内部 / 外部プルアップを設定できます。
- LSCO 出力によって LSE に供給されます。

機能	STANDBY を除くすべての低電力モード	STANDBY	VBAT
RTC_TS	可能	可能	可能
RTC_REFIN	可能	不可	不可
RTC_OUT1	可能	可能	可能
RTC_OUT2	可能	可能	PB2: 不可 PI8: 可能
LSCO	可能	可能	可能



RTC には、RTC_OUT1 と RTC_OUT2 の 2 個の出力があります。選択した設定に応じて、これらの出力はアラーム A フラグ、アラーム B フラグ、ウェイクアップタイマフラグを生成できます。この出力は、TAMP ペリフェラルのすべての内部および外部タンパ検出フラグの論理和となる TAMP 信号に組み合わせることができます。出力される信号は、TAMPALRM という名前です。TAMPALRM の極性や、出力モード (プッシュプルまたはオープンドレイン) を設定できます。内部プルアップをこの出力に適用することもできます。

RTC_OUT1 と RTC_OUT2 の出力では、TAMPALRM 信号に加えて、プリスケアラから抽出された較正出力信号も供給できます。プリスケアラがデフォルト値で設定され、RTC が 32.768kHz での LSE によってクロック供給されている場合、この信号の周波数は 512Hz または 1Hz になります。

RTC では外部タイムスタンプに RTC_TS ピン、リファレンスクロックでの自動較正に RTC_REFIN ピンを使用します。さらに、LSCO という別の信号は LSE クロックを出力します。

STANDBY モードと VBAT モードで使用できない RTC_REFIN 入力と、VBAT モードで使用できない PB2 の RTC_OUT 出力を除き、すべての RTC ピンが VBAT を含むすべての低電力モードで使用できます。

項目 (割込みの略称)	割込みイベント	説明
RTC_WKUP_ALARM	アラーム A	カレンダー値がアラーム A の値と一致して、アラーム A が非セキュアである場合にセットされます。
	アラーム B	カレンダー値がアラーム B の値と一致して、アラーム B が非セキュアである場合にセットされます。
	ウェイクアップタイマ	ウェイクアップ自動リロードタイマが 0 に達し、ウェイクアップタイマが非セキュアである場合にセットされます。
RTC_TS	タイムスタンプ	タイムスタンプイベントが発生して、タイムスタンプが非セキュアである場合にセットされます。
RTC_WKUP_ALARM_S	アラーム A	カレンダー値がアラーム A の値と一致して、アラーム A がセキュアである場合にセットされます。
	アラーム B	カレンダー値がアラーム B の値と一致して、アラーム B がセキュアである場合にセットされます。
	ウェイクアップタイマ	ウェイクアップ自動リロードタイマが 0 に達し、ウェイクアップタイマがセキュアである場合にセットされます。
RTC_TS_S	タイムスタンプ	タイムスタンプイベントが発生して、タイムスタンプがセキュアである場合にセットされます。



複数の RTC イベントによって、割込みが生成されます。すべての割込みで、マイクロプロセッサをすべての低電力モードからウェイクアップさせることができます。

アラーム A 割込みは、カレンダー値がアラーム A の値と一致している場合にセットされます。

同様に、アラーム B 割込みは、カレンダー値がアラーム B の値と一致している場合にセットされます。

ウェイクアップタイマ割込みは、ウェイクアップ自動リロードタイマが 0 に達した場合にセットされます。

タイムスタンプ割込みは、タイムスタンプイベントが発生した場合にセットされます。

これらの各イベントは、関連機能が非セキュアに設定されている場合や、セキュア割込みがセキュアに設定されている場合に、非セキュア割込みを生成します。

低電力および VBAT モード

モード	説明
RUN	アクティブです。
SLEEP	アクティブです。
STOP + LP-STOP	クロックが LSE または LSI によって供給される場合、アクティブです。RTC 割込みによって、デバイスは STOP モードを終了します。
LPLV-STOP	クロックが LSE または LSI によって供給される場合、アクティブです。RTC 割込みによって、デバイスは STOP モードを終了します。
STANDBY	クロックが LSE または LSI によって供給される場合、アクティブです。RTC 割込みによって、デバイスは STANDBY モードを終了します。
VBAT	クロックが LSE によって供給される場合、アクティブです。



RTC ペリフェラルはすべての低電力モードおよび VBAT モードでアクティブであり、トリガされると、RTC 割込みによってデバイスは低電力モードを終了します。STOP モードおよび STANDBY モードでは、RTC のクロック供給に LSE または LSI クロックのみ使用できます。VBAT モードでは、LSE クロックだけが機能することに注意してください。

- デバッグレジスタの RTC ビット: コア停止時に RTC カウンタは停止します。

デバッグでコア停止時に RTC カウンタを停止するために、デバッグインタフェースでビットが使用できます。

- RTC に関するペリフェラルのトレーニングを参照してください。
 - リセットおよびクロック制御(RCC)
 - 電源制御(PWR)
 - タンパおよびバックアップレジスタ(TAMP)
 - デバッグサポート(DBG)



これは、リアルタイム・クロックに関連するペリフェラルの一覧です。詳細については、必要に応じてこれらのペリフェラルのトレーニングを参照してください。

- リセットおよびクロック制御
- 電源制御
- タンパおよびバックアップレジスタ
- デバッグサポート