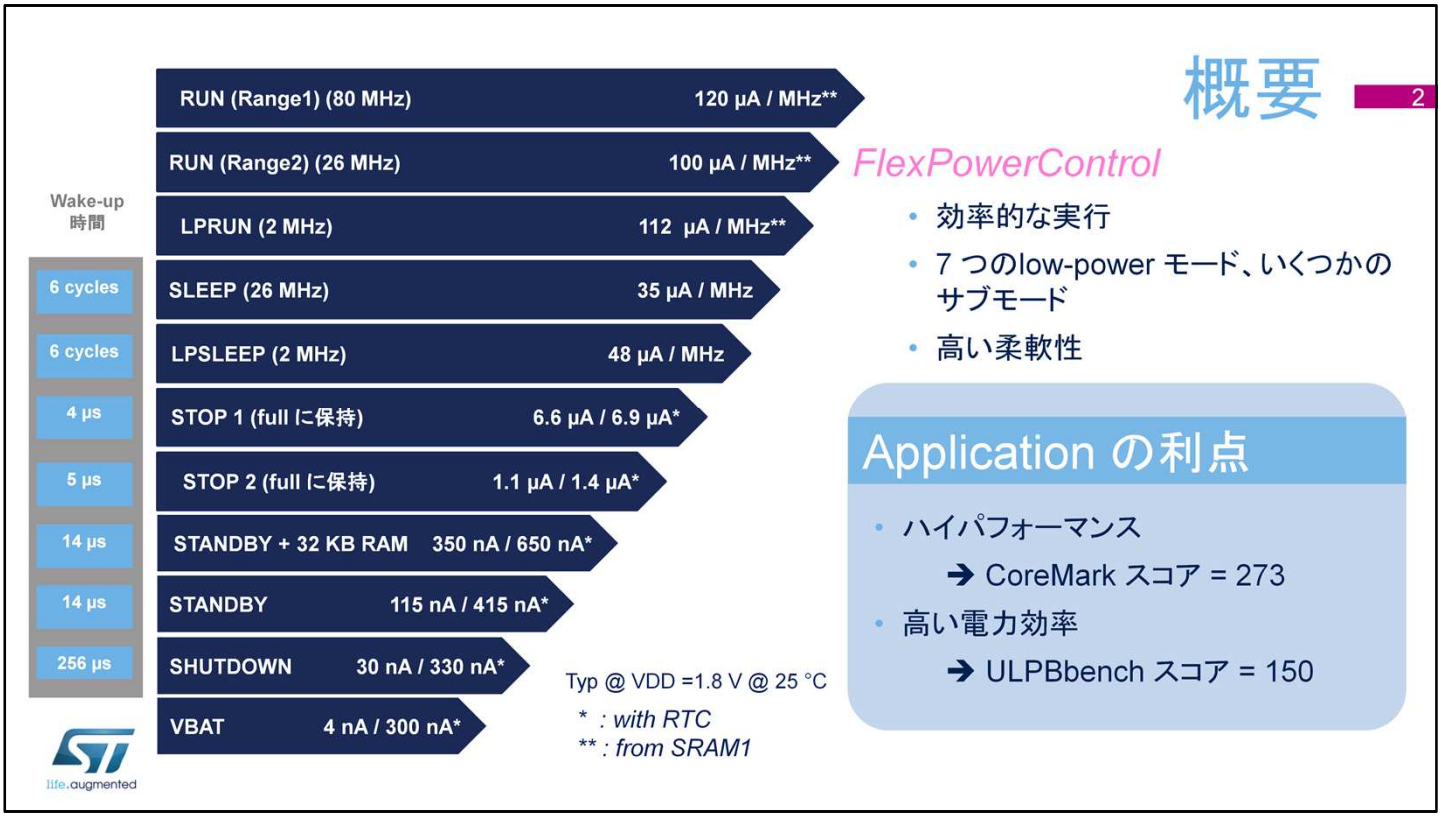
Hello, and welcome to this presentation of the STM32L4 power controller. The STM32L4's power management functions and all power modes will also be covered in this presentation.



STM32L4デバイスのFlexPowerControl機能は、電力モード管理における柔軟性が向上し、さらに全体的なアプリケーションの消費を削減を備えている。Run モードでは、わずか120µA/ MHzで、最大80 MHzで動作しているシステムクロックを、サポートすることができる。26 MHzで、消費がさらに低く:100µA/ MHzになる。
STM32L4デバイスは7つの低消費電力モード:Low-power run、Sleep、Low-power sleep、Stop 1、Stop 2、StandbyおよびShutodownモードをサポートする。どのモードも多くの方法で構成することができ、いくつかの追加のサブモードを提供する。
追加でSTM32L4はVBATと呼ばれるバッテリーバックアップドメインもサポートする。
電源管理における高い柔軟性はハイパフォーマンス(CoreMarkスコア=273)と共に優れた電力効率(ULPBenchスコア=150)を提供する。

主な機能

3

- 高速ウエイクアップをサポートした7つのlow-power モード
  - I/Oからのウエイクアップ時 30 nA 以下
  - 32 KB RAM 保持時 350 nA 以下
  - 多数のペリフェラルからウエイクアップ
- Runモードで 100 µA/ MHz 以下
- バッテリーバックアップモード(RTC含む)およびバックアップレジスタサポート
- 独立した電源

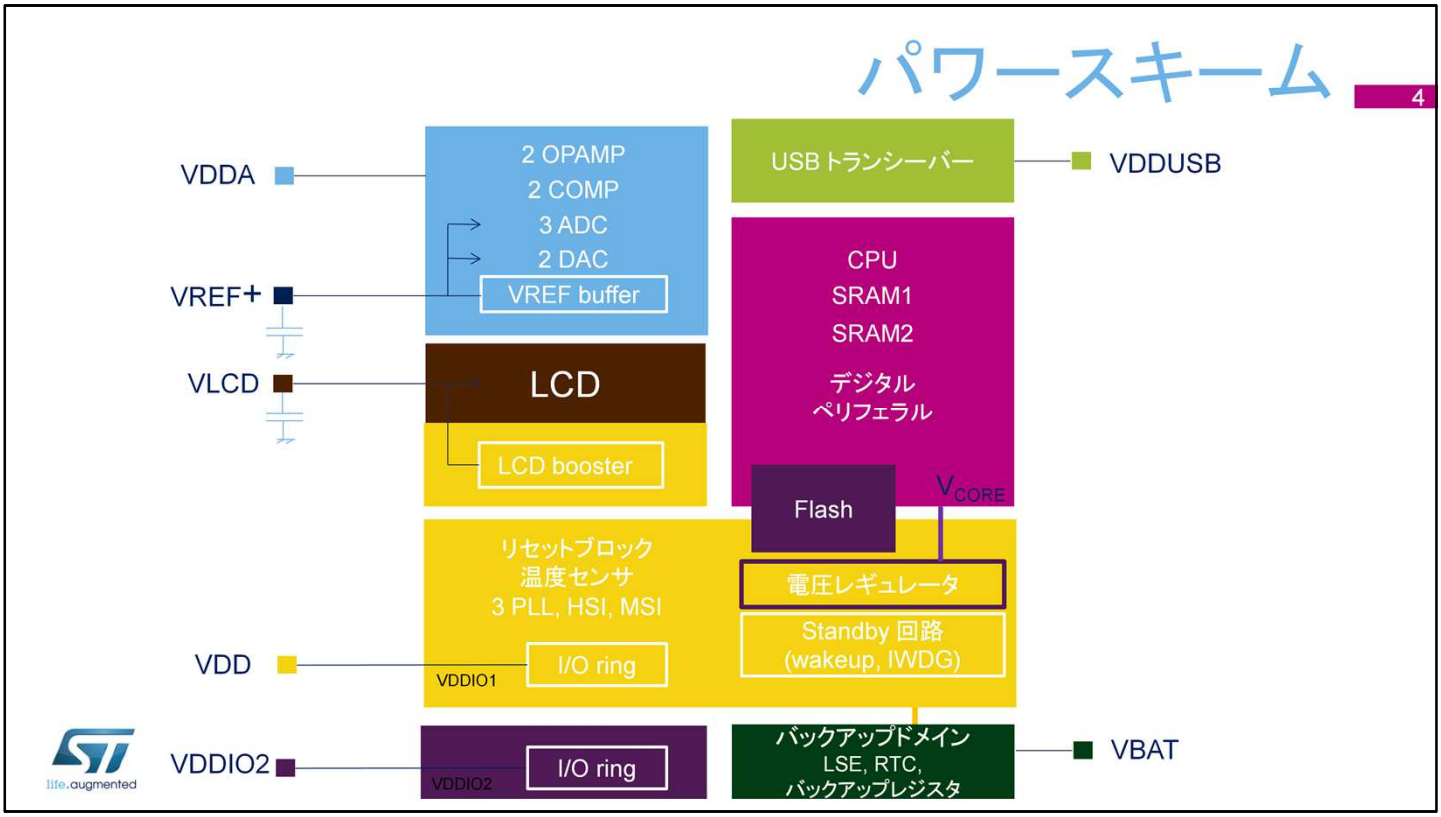
life.augmented

Application の利点

- アクティブなペリフェラル、必要なパフォーマンスと必要なウェイクアップソースに応じて、低消費電力化への高い柔軟性
- バッテリー寿命の増加
- 外部シフターを除去することによって、BOMコストの節約

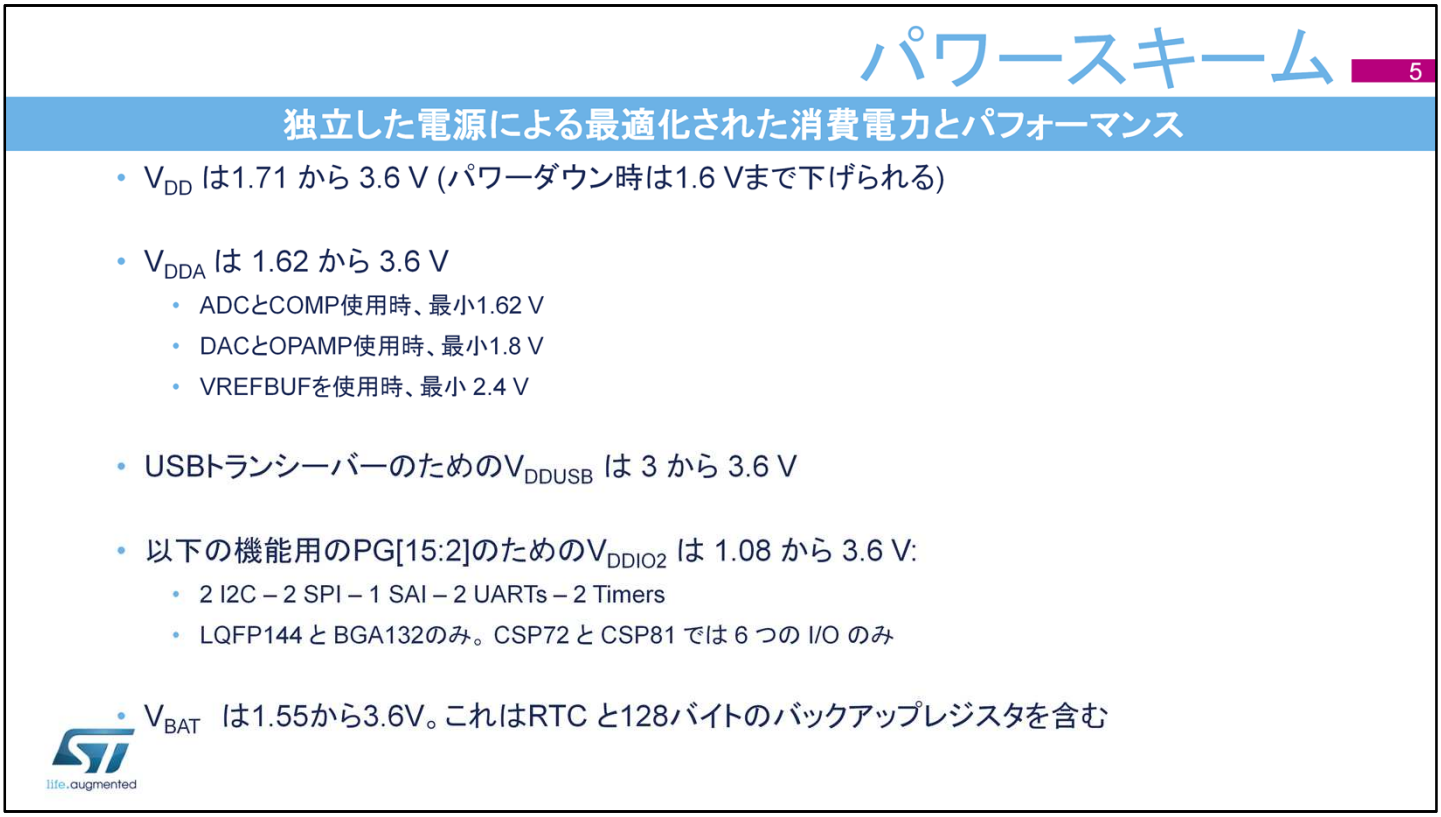
STM32L4はパワーマネージメントに関連したいくつかの機能がある:
いくつかの低消費電力モードでは、I/Oのイベントで MCUを起動する場合30nA以下が可能。SRAMの32キロバイトを保持する場合でもたった350 nA。多くのペリフェラルから、さまざまな低消費電力モードからウェイクアップすることができる。
ダイナミック消費電力は、フラッシュメモリから実行時、100uA/MHzまでです。
VBATと呼ばれるバッテリバックアップドメインはRTCおよび特定のバックアップレジスタを含む。
いくつかの電源は独立していて、MCUの消費電力を低減するために、いくつかのペリフェラルだけをより高い電圧で供給する。

多数の電力モードのおかげで、STM32L4デバイスは、電力消費を最小化し、アクティブなペリフェラル、要求される性能、必要なウェイクアップソースに応じてそれを調整するための高い柔軟性を提供します。



STM32L4デバイスはいくつかの独立した電源を持っている。これは一緒の電圧で接続するか、異なる電圧で設定できる。主電源VDDは、ほとんどのI/Oポート(ポートGの14 I/Oを除く)に電源を供給する。またVDDはリセットブロック、温度センサ、すべての内部クロック・ソースに電源を供給する。さらに、ウェイクアップロジックと独立したウオッチドッグを含むスタンバイ回路に供給する。
VDDはVCOREへの電圧レギュレータを提供している。VCOREは、ほとんどのデジタルペリフェラルおよび2つのSRAMへを電源を提供する。フラッシュメモリは、VCOREとVDDからの両方から供給される。
STM32L4のMCUはペリフェラルのためのいくつかの独立した電源を備えている:VDDAはアナログペリフェラルのため、Vddusbは USBトランシーバのため。VDDIO2はポートGの14ピンI/Oのため。
VLCDピンはLCDのコモンとセグメント信号線の基準電圧を供給する。VREF+端子は、アナログ - デジタルおよびデジタル - アナログ変換器の基準電圧を提供し、アプリケーションの外部バッファ基準として使用することができる。
バックアップバッテリはバックアップドメインに電源を供給するた

めにVBAT端子に接続することができる。



主電源のVDDは外部1.8 Vレギュレータによって供給することができるように、3.6 Vまでの1.71からすべての電源モードでフル機能の動作が保証される。デバイスの機能は、1.6 V、ブラウンアウトリセットが発生した後、最小電圧まで保証されている。他の独立した電源はペリフェラルが異なる電圧で動作できるようにするために設けられている。
アナログ電源VDDAはVDD以外の電圧に接続することができる。アナログ - デジタル変換器又はコンパレータが使用される場合、1.62 V.より大きくなければならない。デジタル - アナログ変換器またはオペアンプを使用する場合1.8Vより大きい必要がある。電圧リファレンス・バッファ使用するとき、VDDAは2.4 V.より大きくなければならない
USB電源VDDUSBはVDD以外の電圧に接続することができる。USBを使用する場合は、VDDUSBは3 Vより大きくなければならない。
ポートGの14本のI/O、PG15からPG2、はVDDから独立してVDDIO2によって供給されています。これらのI/Oを使用する場合、VDDIO2は1.08Vまで低く設定できる。いくつかの機能がこれらの

I/Oで使用できる: I2C、SPI、シリアルオーディオインタフェース、USARTおよびタイマー。これらの14本のI/Oは、LQFP144とBGA132で利用可能です。CSP72とCSP81のパッケージでは6本のI/Oが利用できる。
VBATによって供給されている、バックアップドメインは、1.55 Vより大きくなければならない。バックアップドメインは、RTC、32.768 kHzのLSE外部発振器と128バイトのバックアップレジスタを内蔵している。

LCDコントラストとアナログのパフォーマンスのため 独立したリファレンス電源

- LCDのためのリファレンス電源 V_{LCD} は2.5 から 3.6 V:
  - これは、独立したVDDの電圧を、外部電源電圧によって、または内蔵された昇圧コンバータのいずれかによって提供することができる。
  - VLCDは、LCDを使用しない場合GPIOとして使用することができるPC3と多重化されています。
- ADCとDACのためのリファレンス電源 VREF+:
  - これは、外部リファレンス電圧、または内部リファレンス電圧バッファのいずれかを提供することができる。
  - VREF+ピン、および内部電圧リファレンスは、64ピンパッケージでは使用できない。このパッケージでは、このピンはVDDAが外部リファレンスと接続している。64ピンでは内部電圧リファレンスバッファが使用できないため、無効にしなければならない。

life.augmented

LCDのリファレンス電圧は、外部電源電圧、または内蔵された昇圧コンバータのいずれかによって提供することができる。この参照はVDD電圧から独立し、VDDの値に影響しないLCDのコントラストを確保する。VLCDは、LCDを使用しない場合GPIOとして使用することができるPC3端子と多重化される。
ADCとDACの電圧リファレンスは、外部電源電圧または内部リファレンス・バッファのいずれかから提供することができる。これは、単離された独立したリファレンス電圧を提供することにより、コンバータの性能を改善するため。VREF+ピンおよび内部リファレンス電圧は、64ピン・パッケージでは使用できない。このパッケージでは、VREF+はVDDAに接続されていて、内部電圧バッファは無効にしなければならない。リファレンス電圧はこのパッケージのVDDAピンを介して提供することができる。

ペリフェラル電圧モニター

7

- VDDA, VDDUSB, VDDIO2 のためのペリフェラル電圧モニターは選択された電源がスレッショルドを下回ったときにStopモードからウエイクアップさせる機能をもつ

PVM	Power supply	PVM threshold
PVM1	V_{DDUSB}	VPVM1: 1.22 V
PVM2	V_{DDIO2}	VPVM2: 0.96 V
PVM3	V_{DDA}	VPVM3: 1.65 V
PVM4	V_{DDA}	VPVM4: 1.82 V

- リセット時は、それぞれの独立した電源は、電気的にopenになっていて、ペリフェラルとI/Oは電源が供給されていない。PVMにより電源が供給されているのを確認してから、ソフトウェアによってopenを解除し、ペリフェラルに電源を供給する。

life.augmented

STM32L4 MCUは独立した電源が存在するか否かを検出する4つの周辺電圧モニタを内蔵する。これらのコンパレータは、ストップモード機能からのウェイクアップ機能を持っている。PVM1は1.22 V閾値とVDDUSB電圧を比較する。PVM2は0.96 V閾値とVDDIO2電圧を比較する。PVM3コンパレータとアナログ - デジタル変換器のために意図された1.65 V閾値とVDDA電圧を比較する。
PVM4は、オペアンプとデジタル - アナログ変換器のために意図された1.82 V閾値とVDDA電圧を比較する。
アプリケーションの電源投入シーケンスを保証するために、電源アイソレーション(内部で電源をopen/closeする機能)が実装され、デフォルトではopenになっている。これは、ソフトウェアの役割で、電源closeすることにより、必要な供給を可能にする。

電源監視

8

安全で超低消費電力なリセット管理

- Brown-out reset はShutdownモードを除き、常に有効
  - MCUはVDDスロープにかかわらず、選択されたしきい値を下回るとすぐにリセットする。
  - 5つのスレッショルドがオプションバイトで選択できる。**BOR_LEV[2:0],** V_{BOR0} = 1.7 V から V_{BOR4} = 2.95 V まで。
- 電源電圧検出器はStandbyとShutdownモードを除き、有効
  - 7つのスレッショルド + 外部ピン。これはソフトウェアで選択可能
- BOR0 の消費電力はデータシートに記載

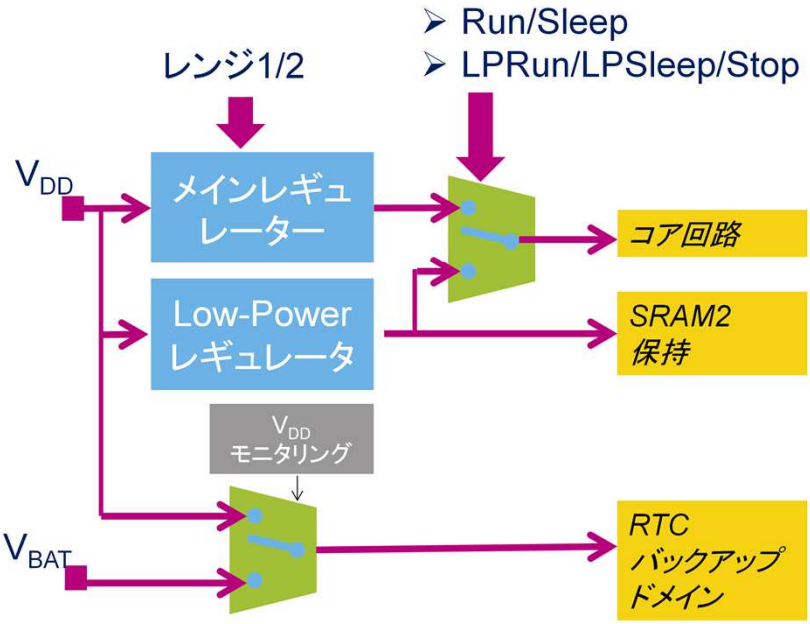
life.augmented

電源監視は、安全かつ超低消費電力のリセット管理を保証する。
STM32L4デバイスは常にシャットダウンモードを除くすべての電力モードで有効になっている超低消費電力ブラウンアウトリセットを内蔵する。MCUはVDDスロープにかかわらず、選択されたしきい値を下回ったと時に、BORはすぐにリセットをする。1.7Vから2.95V1の五つのしきい値は、フラッシュメモリにプログラムされたオプション・バイトで選択されています。
VDDが選択されたしきい値を超えたときは、電源電圧検出器は、割り込みを生成することができる。PVDは、スタンバイおよびシャットダウンモードを除くすべてのモードで有効にすることができる。7つの閾値は、ソフトウェアによって選択することができる。加えて、比較は、外部ピンを用いて行うことができる。
1.7 Vの閾値のときのBORの消費電力は、データシートに記載されている。

電圧レギュレーター

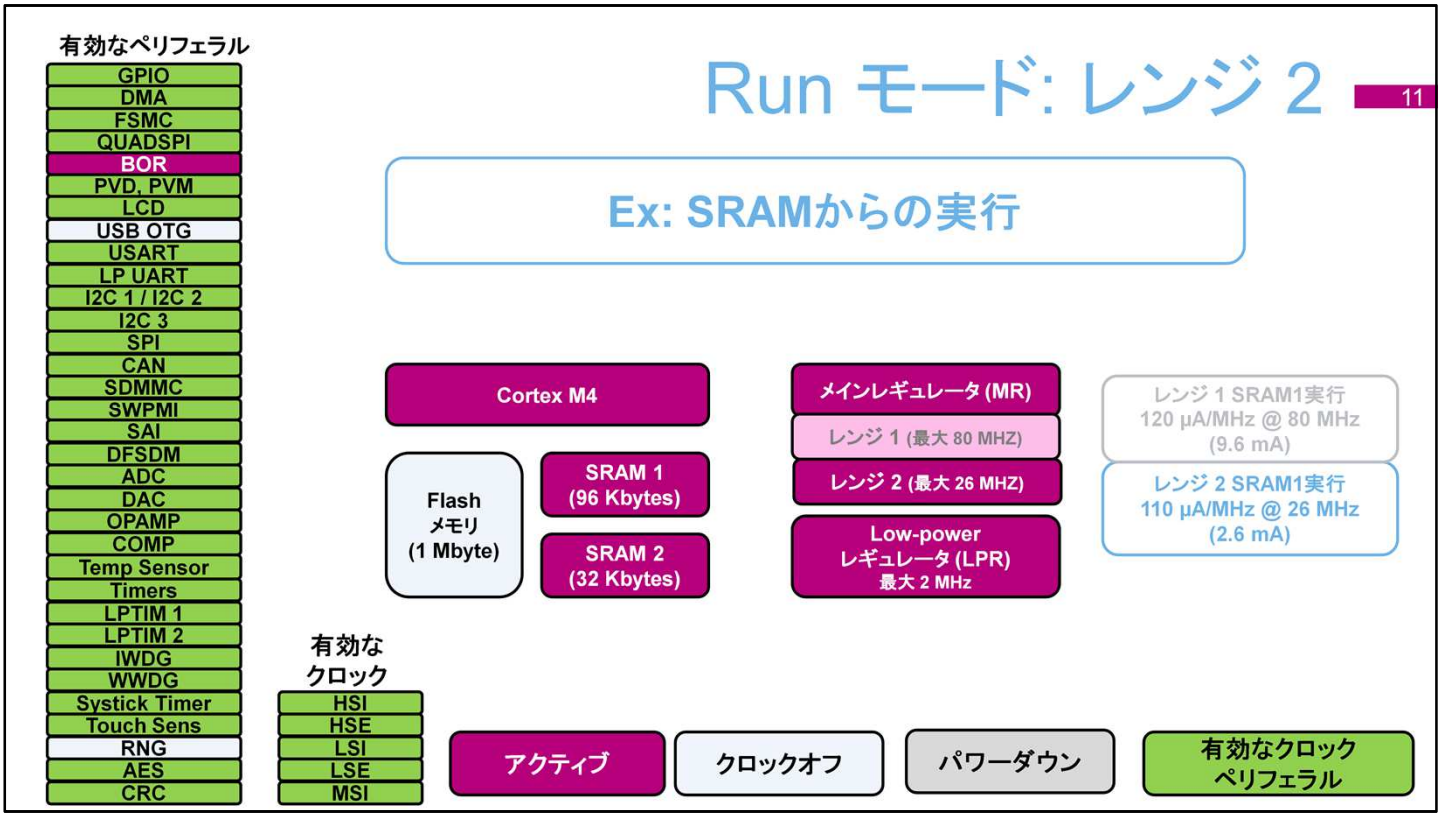
9

- 2つの電圧レギュレーター
- メインレギュレーターはダイナミック電圧スケーリングするための2つの電圧レンジを持つ; それらはRunとSleepモードで使用される
- Low-power レギュレーターは Low-power run, Low-power sleep, Stop 1, Stop 2 モード用で、Standby時のRAMの保持にも使われる

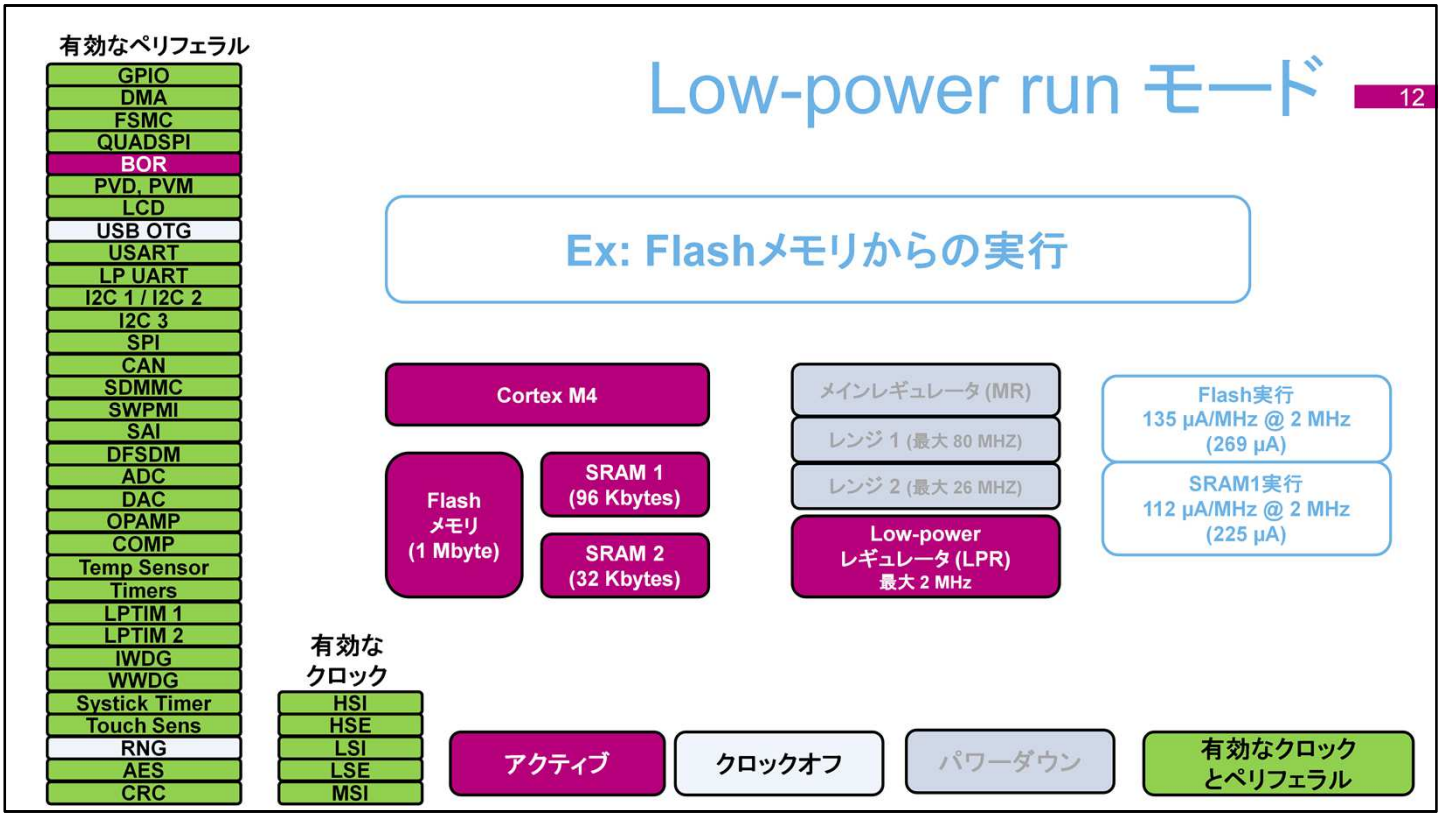


二つの内蔵されたリニア電圧レギュレータはスタンバイ回路およびバックアップドメイン以外のすべてのデジタル回路網を電源を供給する。レギュレータ出力電圧（VCORE）は、パフォーマンスと電力消費の要件に応じて2つの異なる値にソフトウェアでプログラムすることができる。これを、ダイナミック電圧スケーリングと呼んでいる。
アプリケーションモードに応じて、VCOREには、Runモードと Sleepモードのためのメイン電圧レギュレータによって、または Low-power run、Low-power sleep、Stop 1、Stop 2のための Low powerレギュレータのいずれかによって提供される。レギュレーターは、StandbyおよびShutdownモードではオフする。SRAM2がStandbyモードで保持した場合、Low-powerレギュレータはONのままで、SRAM2に供給をおこなう。

ランモードでの、電圧スケーリングレンジ1は80 MHzにシステムクロックをアップできる、ハイパフォーマンスレンジである。
全てのペリフェラルはアクティブで、全てのクロックも有効
ランモードレンジ1での消費電力は80 MHz動作時131 µA/MHz。このとき、FlashメモリのARTアクセラレータは有効



Run モードでは、電圧スケーリングレンジ2は、26 MHzのシステムクロックまで動作する、中程度の性能レンジである。
SRAMから実行する時、フラッシュをパワーダウンモードを設定することによって、そのクロックをオフにすることによって消費電力をセーブすることができる。
USB OTGと乱数生成器を除いて、ペリフェラルはアクティブ。全てのクロックは有効。
Run モードレンジ 2 の消費電力はSRAMから実行時 110 µA/MHz @ 26 MHz。



Low-power run モードではメインレギュレータは OFF、low-powerレギュレータでシステムクロック2MHzまで対応。SRAMから実行するとき、フラッシュをパワーダウンモードにして、そのクロックをオフにすることによって消費電力を減少させることができる。
USB OTG、および乱数ジェネレータを除いた、すべてのペリフェラルは、アクティブにできる。また、すべてのクロックを有効にすることができる。2 MHzで、アクティブすることができるペリフェラルの数に関する制限はない。
ARTアクセラレータを有効にしてフラッシュメモリから実行するときに、Low-power runモードの消費電力は2MHzで135µA/MHz。SRAM1から実行するときには2MHzで112µA/MHz。
I2C, USART, LPUART, SWPMI のクロックは16MHzの内部ハイスピード(HSI)クロックに基づくことができる。

Run と Low-power run モード

要求されるパフォーマンスと消費電力の間での柔軟性

電圧レンジ	SYSCLK	MSI	HSI	HSE	PLL
レンジ 1	最大80 MHz	48 MHz レンジ	16 MHz	48 MHz	80 MHz 最大VCO = 344 MHz
レンジ 2	最大26 MHz	24 MHz レンジ	16 MHz	26 MHz	26 MHz 最大VCO = 128 MHz
Low-power run	最大2 MHz	2 MHz レンジ	許される	分周つきで 許される	禁止

life.augmented

Runモードでは電圧スケーリングのおかげで、かつLow-power runモードは、必要な性能と消費の柔軟性を提供する。Runモードのレンジ1において、システムクロックは80MHzまでで、内部と外部の発振器およびPLLを使用することができる。Runモードレンジ2では、システムクロックが26 MHzに制限されており、内部および外部発振器と同様にPLLを使用することができるが、26 MHzに制限されなければならない。Low-power runモードでは、システムクロックは2 MHzに制限されなければならない。

Run と Low-power run モード

- それぞれのペリフェラルクロックはON/OFFの設定可能
  - リセット後、FLASHクロックを除き、全てのペリフェラルのクロックはOFF
  - Runモードのとき、SRAM1とSRAM2のクロックは常にON
- SRAM1、SRAM2から実行している時 (Run または Low-power run):
  - Flash はパワーダウンモードにできる
  - Flash クロックはOFFにできる
  - 割り込みベクタテーブルは必ずSRAMにリマップする！

life.augmented

各ペリフェラルクロックがRun及びLow-power runモードでONまたはOFFになるように構成することができる。デフォルトでは、すべてのペリフェラル・クロックはフラッシュメモリインタフェースのクロックを除いて、オフ。SRAM1とSRAM2クロックがRunモードで常にオンです。
SRAM1またはSRAM2から（RunまたはLow power runモードで）実行している場合、フラッシュメモリは、ソフトウェアのパワーダウンモードにすることができ、Flashクロックはオフにすることができる。スイッチオフされたときに、フラッシュメモリにアクセスすることはできない。それはの結果的に、Cortex-M4ベクタテーブルオフセットレジスタを使用して、割り込みがSRAMにマッピングされている必要がある。

RunとLow-power runモード

- Run モードでの消費電力はいくつかのパラメータに依存する:
  - 実行バイナリコード（プログラム自体+コンパイラの影響）
  - メモリ内のプログラムの位置 (実行コードのアドレスに依存)
  - デバイスのソフトウェア設定 (アプリケーション依存)
  - I/Oピン負荷およびスイッチング頻度
  - 温度
  - FlashからかSRAMからの実行
    - Flashからの実行時: ART アクセラレータの設定 (キャッシュ, プリフェッチ)

    => エネルギー効率は ART ONがいい
    - SRAMからの実行時: SRAM1 または SRAM2

    => エネルギー効率はSRAM2がいい

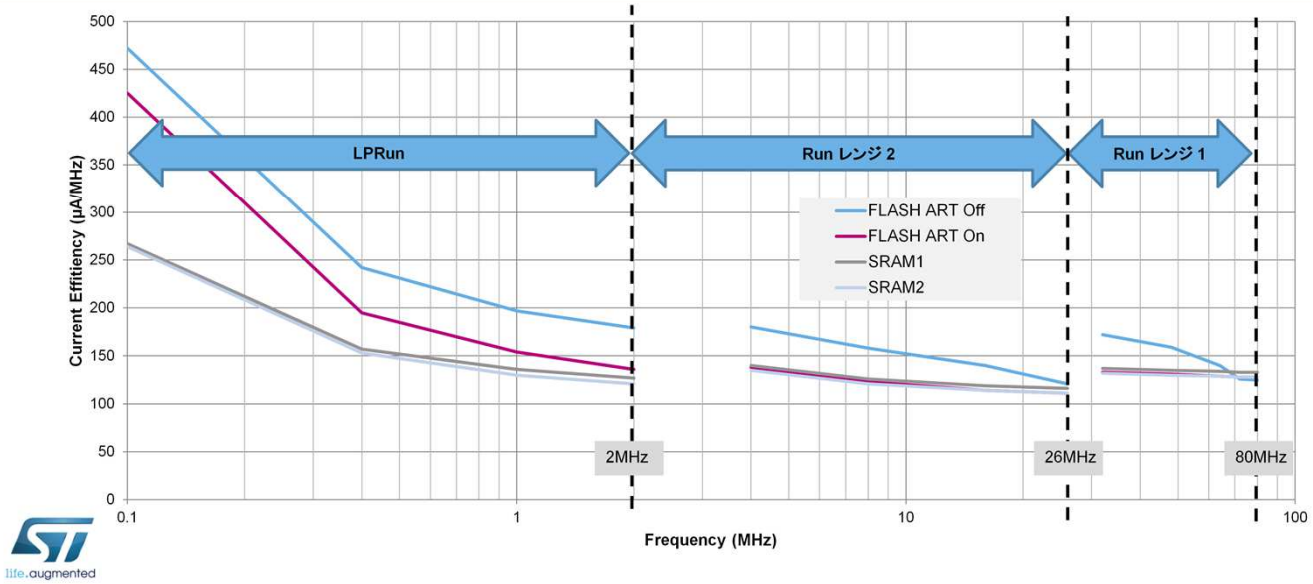
life.augmented

RunまたはLow-power runモードでの消費電流は、いくつかのパラメータに依存する。最初に実行バイナリコード、これはプログラム自体に加えて、コンパイラの影響を意味する。さらに、メモリ内のプログラムの場所、デバイスソフトウェアの設定、I/Oピンの負荷とスイッチング速度、温度などに依存する。
消費電力は、コードがフラッシュメモリからやSRAMから実行された場合にも依存する。コードがフラッシュから実行されると、フラッシュアクセラレータが有効である場合に、エネルギー効率が良好です。コードは、SRAMから実行するとSRAM2から実行するときに、エネルギー効率が良いです。

パワーの最適化 vs 周波数

16

Run の消費電力は低い周波数におとすと最適化できる
Small Flash の動的消費電力: FWが限られたキャッシュを使用する場合に利点



life.augmented

Runモードでの消費電力は、Low-power runモードのおかげで、低い周波数に落とすと最適化できる。ARTアクセラレータを有効にすると、パフォーマンスを向上させるだけでなく、動的消費電力を低減します。ベストの消費電力が最も頻繁に達成できるのは、命令キャッシュがON、データキャッシュがON、プリフェッチバッファはOFF。この設定は、フラッシュメモリのアクセス数が減少する。

Small Flash動的消費電力は、ファームウェアがフラッシュメモリにアクセスする必要があるたびに小さい消費電力にできる。SRAM1とSRAM2からの消費は非常に似ていますが、アドレス0に再マッピングしない場合に0ウェイトステートアクセスのおかげで、SRAM2がSRAM1よりも電力効率が高い。

Sleep と Low-power sleep モード

全てのペリフェラルは利用可能そしてwakeup時間は最速

- コアは停止。各ペリフェラルクロックはON/OFFできる。
- **WFI** (Wait For Interrupt) または **WFE** (Wait For Event)の実行によりこのモードになる
- このモードになるのに2つのメカニズムがある:
  - **Sleep Now**: MCUは、WFI/WFE命令が実行されると、すぐにSleepモードに入る
  - **Sleep on Exit**:最も低い優先度のISRを出るときに、MCUはすぐにSleepモードに入る
    - スタックは、スリープモードに入る前に、ポップされない。それは次の割り込みが発生したときに、実行時間を節約するためにプッシュしないことでつじつまを合わせる。
  - **制御はCortex-M4の System Control Register [SLEEPONEXIT]で行う**

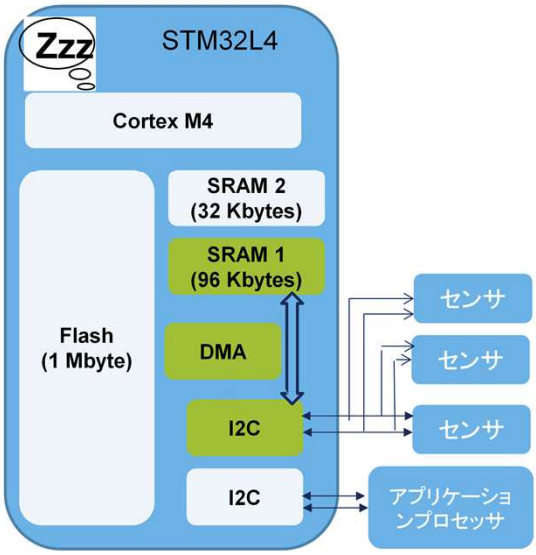
life.augmented

SleepとLow-power sleepモードは、すべてのペリフェラルで使用可能、また最速のウェイクアップ時間を提供する。
これらのモードでは、CPUは停止し、各ペリフェラルクロックはSleep及びLow-power sleepモードの間ON/OFFできるように、ソフトウェアで構成できる。これらのモードは、アセンブラ命令WFIまたはWFEを実行することによりなる。Low-power runモードで実行すると、デバイスは、Low-power sleepモードに入る。
CortexM4のシステム制御レジスタのSLEEPONEXITビットの設定によって、MCUは命令が実行されるとすぐにスリープモードに入るか、最も低い優先度の割り込みサブルーチンを出るときに実行するかが選べる。割り込みを出るときに実行の場合、スタックをポップしないことで、時間と消費電力を節約することができる。

バッチ アクイジション(取得)モード (BAM)

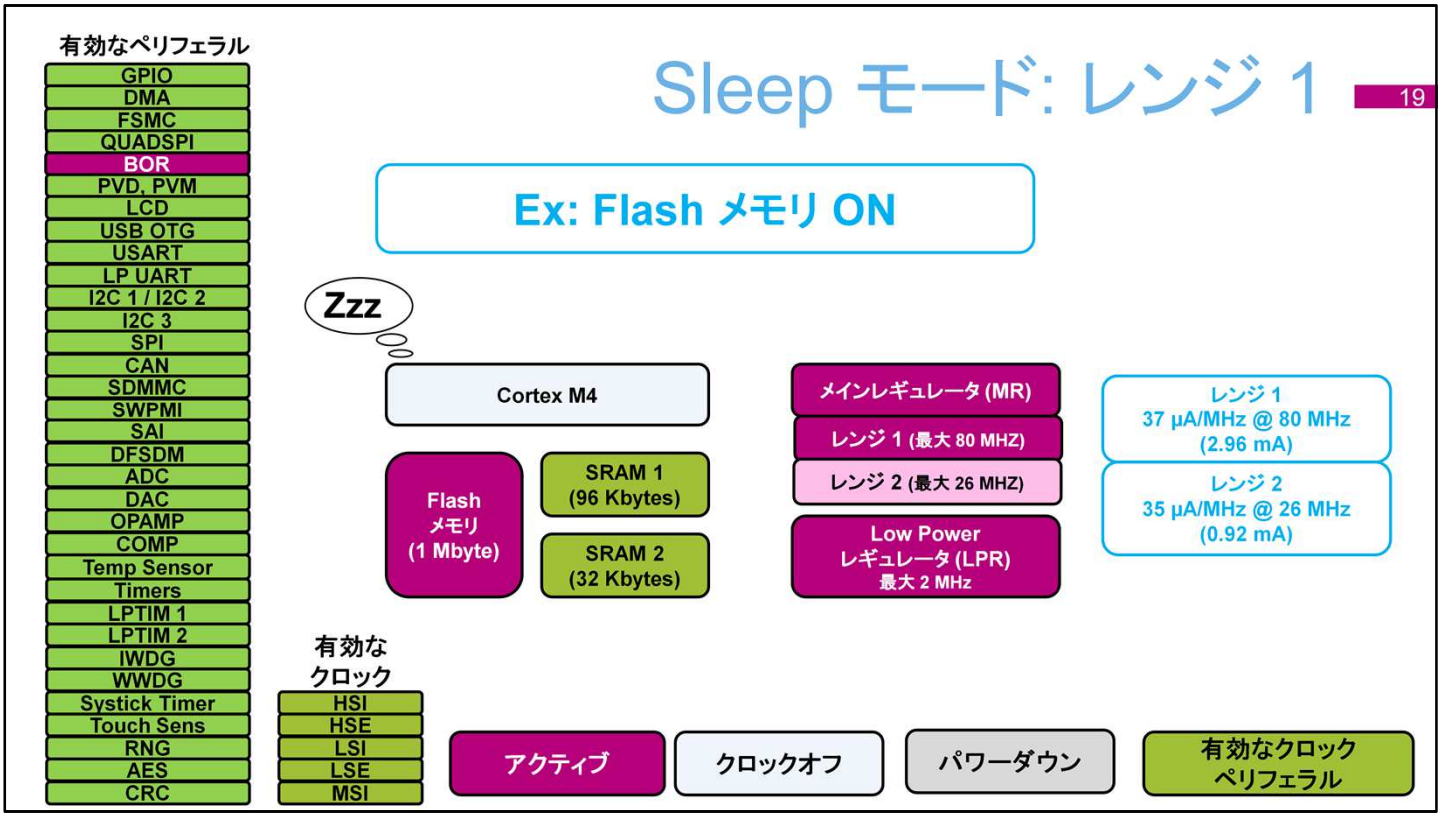
通信するペリフェラルとの間でデータを転送するモードを最適化し、その間、デバイスをLow-powerモードにする

1. 必要なものは、通信ペリフェラル、DMA、SRAMのみ。これらはSleepモードでクロックが有効
2. Flashメモリは、パワーダウンモードにされ、Flashクロックは、Sleepモード時にOFF
3. Sleep または Low-power sleep モードのどちらかになる
   - 注意：I2Cクロックは、Low-power sleepモードで1MHzの高速モードプラスのサポートするため、16MHzを使える。U(S)ART/ LPUARTクロックもHSIが使える。

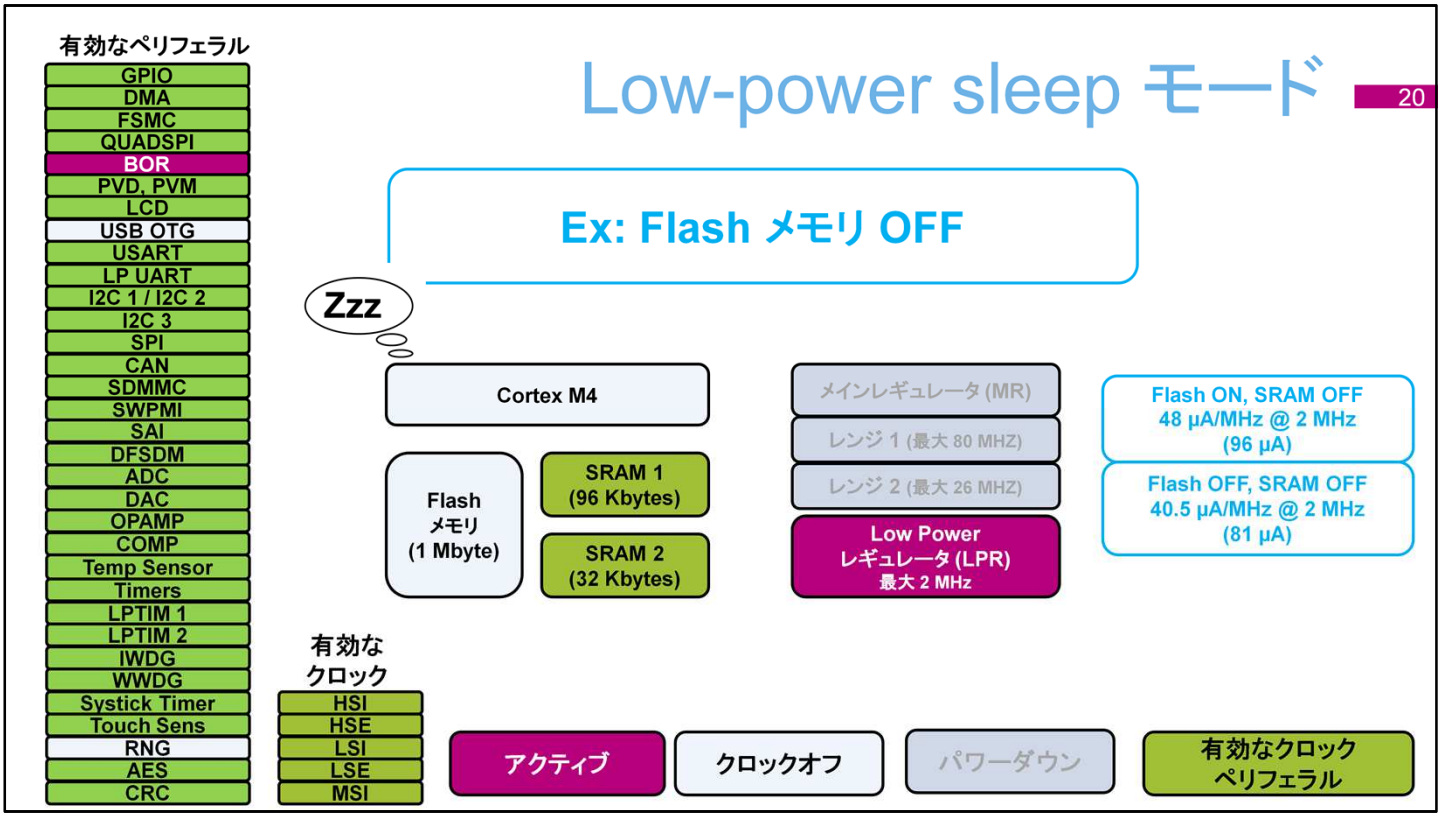


life.augmented

バッチアクイジション(取得)モードは、データを転送するための最適化されたモード。
必要なものは、通信ペリフェラル、1つのDMA、SRAM1またはSRAM2。これらは、Sleepモードでクロックを有効にする。
フラッシュメモリは、パワーダウンモードにされ、フラッシュメモリクロックはSleepモード時にOFF。
その後、SleepまたはLow-power sleepモードのいずれかになることができる。I2Cクロックは、1MHzの高速モードプラスのサポートのために、Low-power sleepモードで16 MHzであることが許される。USARTとLPUARTクロックもまた、HSIを使うことが可能。代表的なアプリケーションには、センサハブ。



Sleepモードでは、CPUクロックはOFFです。レンジ1において、システムクロックは80MHzまで、レンジ2において、26 MHzまで。デフォルトでは、SRAM1とSRAM2クロックが有効になっている。これらは、ソフトウェアにより、Sleepモード時にOFFすることができる。
すべてのペリフェラルをレンジ1で活性化することができ。レンジ2では、USB OTG、および乱数ジェネレータを除いたペリフェラルは、活性化させることができる。
Sleepモードの消費電力は、レンジ1、80 MHz、フラッシュメモリのオンで、37µA/MHz。



Low-power sleepモードでは、CPUクロックはオフ、ロジックは、Low-powerレギュレータにより供給される。システムクロックは2 MHzまで。フラッシュメモリは、パワーダウンおよびクロックオフの設定ができる。SRAM1とSRAM2はOFFすることができる。

USB OTG、および乱数ジェネレータを除いたペリフェラルは、活性化させることができる。

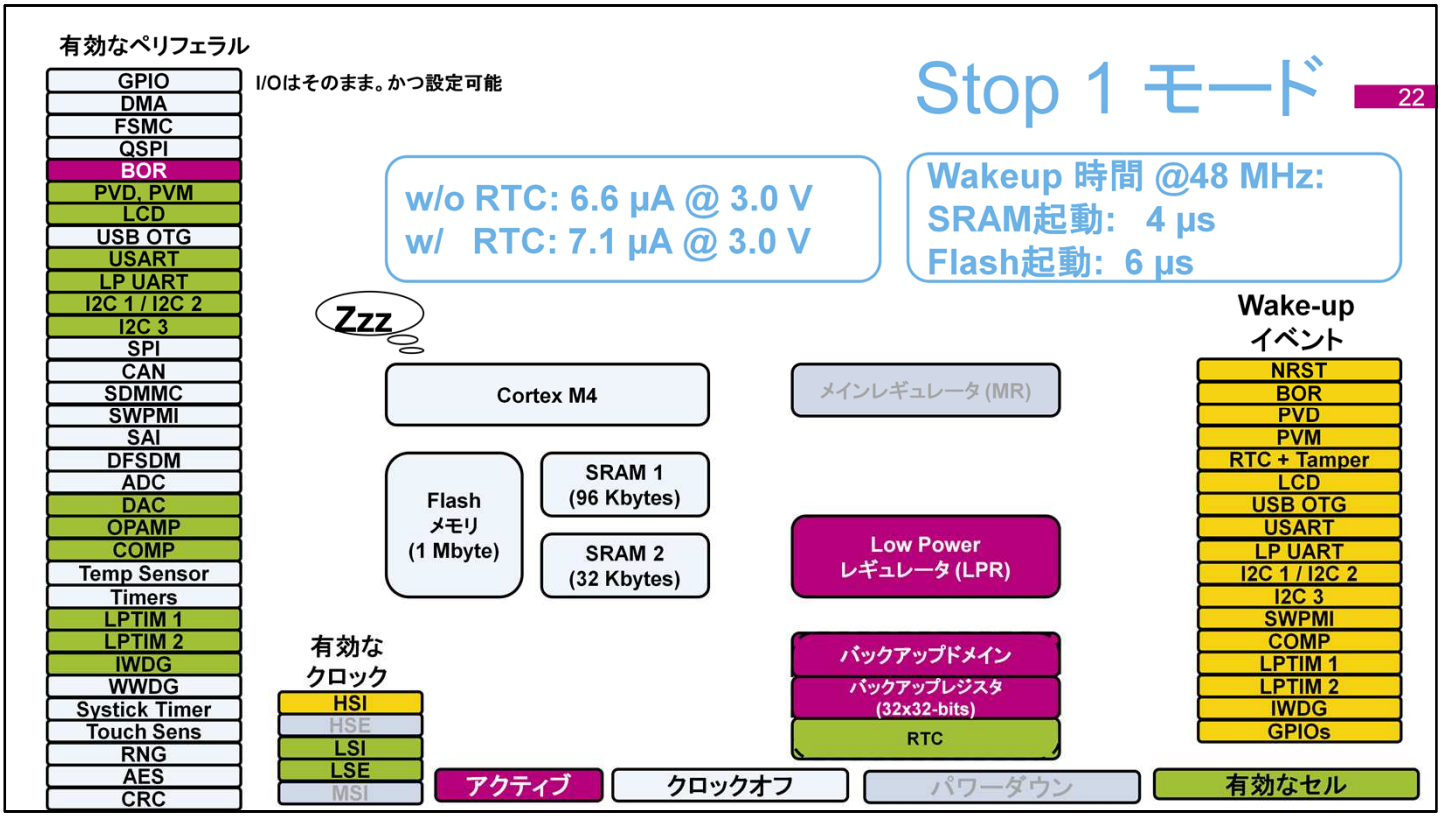
Low-power sleepモードの消費電力は、フラッシュメモリとSRAM OFF、2 MHzのクロックで、40µA/MHz。

Stop 1 と Stop 2 モード

全体を保持するモードで最も低消費電力なモード。4 µs wakeup @ 48 MHz

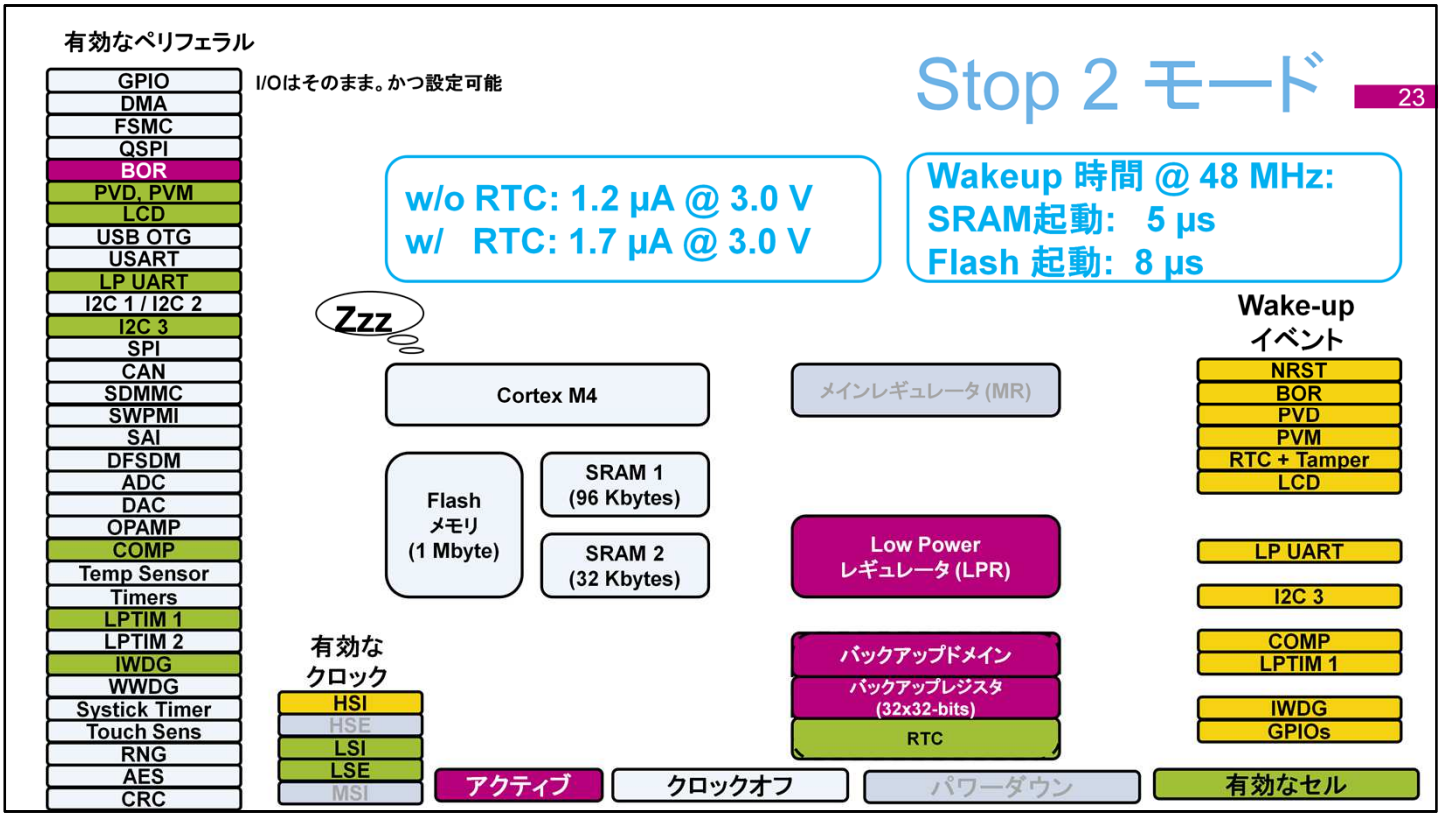
- SRAM1, SRAM2 および全てのペリフェラルレジスタは保持される
- 全ての高速クロックは停止する
- LSE (32.768 kHz 外部発信子) and LSI (32 kHz 内部発信子) は有効にできる。
- いくつかのペリフェラルはアクティブにできて、またStopモードからのWakeupも可能
- Wakeup時のシステムクロックは **HSI** または **MSI** で**最大48 MHz** (**4 µs wakeup 時間**)
- Stop 2 の消費電力のほうが低い、Stop 1 は少しサポートしてるペリフェラルが多い

STM32L4デバイスは、2つの停止モードを備えている：Stop 1、Stop 2、最小の消費電力モードで完全な保持力を持ち、48 MHzのとき、たったの4usでRunモードにウェイクアップする。
SRAM1、SRAM2の内容とすべてのペリフェラルレジスタは、Stopモードで保存されます。
全てのハイースピードクロックは停止する。
32.768kHzの外部発信器と32kHzの内部発信子は両方有効。
いくつかのペリフェラルはstopモードからウエイクアップでアクティブ。
ウェイクアップ時にシステムクロックは、ハイスピード内部発振子と最大48MHzのマルチスピード発振子を使うと、4usでウエイクアップする。
Stop 2 の消費電力のほうが低い、Stop 1 は少しサポートしてるペリフェラルが多い



ストップ1モードでは、システムクロックが停止され、すべての高速クロックがパワーダウンされている。RTCはLSIまたはLSEによってクロックが供給され、活性化することができる。ブラウンアウトリセットは常に有効。ペリフェラルクロックのほとんどがOFFされている。いくつかのペリフェラルがStop 1モードで機能することができる：電源電圧検出器(PVD)、ペリフェラルの電圧モニタ(PVM)、LCDコントローラ、デジタルアナログコンバータ、オペアンプ、コンパレータ、インディペンデントウォッチドッグ、LPタイマ、I2C、UARTおよびLPUART。すべてのI/Oからのイベントは、Stop 1モードから復帰させる。それに加え、アクティブなペリフェラルによって割り込みを生成することができる。また、SWPMIとUSBがStop 1モードからウェイクアップすることができます。I2CとUARTまたはLPUARTは、そのウェイクアップ状態を認識するために、Stopモード時にHSIをONにすることができます。(HSIはOFFでもいい)
Stop 1モードの消費電力は、RTCなし、3Vで、6.6µA。ウェイクアップ時のシステムクロックにMSI48MHz、およびコードを

SRAMから実行したときのウェイクアップ時間は4μsです。



Stop 2モードでは、システムクロックが停止され、すべての高速クロックがパワーダウンされている。RTCはLSIまたはLSEによってクロックされ、活性化することができる。
ブラウンアウトリセットは常に有効になっている。ペリフェラルクロックのほとんどがOFFされている。いくつかのペリフェラルがStop 2モードで機能することができる：電源電圧検出器(PVD)、ペリフェラル電圧モニタ(PVM)、LCDコントローラ、コンパレータ、インディペンデントウォッチドッグ、LPTIM1、I2C3、およびLPUART。
すべてのI/Oからのイベントは、Stop 2モードからwakeupでき。それに加え、アクティブなペリフェラルによって割り込みを生成できる。I2C3とLPUARTは、そのウェイクアップ状態を認識するために、Stopモード時にHSIをONに切り替えることができます。(しないこともできる)
Stop 2モードでの消費電力は、RTCなし、3 Vで1.2µA。ウェイクアップ時間は、ウェイクアップ時のシステムクロックがMSI48MHzであるとき、かつコードは、SRAMから実行されると

きに5μs。

Stop 1 と Stop 2 の比較

	Stop 1 モード	Stop 2 モード
消費電力	25 °C, 3 V	25 °C, 3 V
	6.6 µA w/o RTC	1.2 µA w/o RTC
Wakeup 時間 @ 48 MHz	Flash起動: 6 µs SRAM起動: 4 µs	Flash起動: 8 µs SRAM起動: 5 µs
Wakeup クロック	**MSI 最大 48 MHz または HSI @ 16 MHz**	
レギュレータ	メインレギュレータ (+100 µA, 1 µs wakeup time) または Low power レギュレータ	Low power レギュレータ
Peripherals	LCD, RTC, I/O, BOR, PVD, PVM, COMP, IWDG	
	USB (suspend, 挿入検出) 2 LP TIMER 1 LP UART (スタート、アドレスマッチ、バイト受信) 5 UARTx (スタート、アドレスマッチ、バイト受信) 3 I2C (アドレスマッチ) SWPMI (suspendからのresume)	1 LP TIMER (**LPTIM1**) 1 LP UART (スタート、アドレスマッチ、バイト受信) 1 I2C (**I2C3**) (アドレスマッチ)

life.augmented

Stop 1およびStop 2モードを比較すると:
Stop 1モードの消費電力はStop 2モードのよりも高いが、ウェイクアップ時間が短くなり、アクティブなペリフェラルの数がより多い。
Stop 1モードでは、メインレギュレータを維持することが可能。Stop 2モードでは不可能。メインレギュレータをONにすると、消費電力が100µA大きいが、ウェイクアップ時間は約1マイクロ秒と非常に高速になる。
メインレギュレータをONにすることはUSBがサスペンドからレジュームイベントを、または挿入検出でStop 1モードからウェイクアップすることが可能である。それはStop 2モードではサポートしない。同様にSWPMIもサスペンドからレジュームイベントを受けて、Stop 1モードからウェイクアップすることが可能である。これもStop 2ではサポートしない。
I2Cアドレス識別は、両方のストップモードで機能的であり、アドレスが一致した場合にウェイクアップイベントを生成することができる。Stop 2では1つのI2Cのみ、Stop 1で3 つのI2Cが

サポートされている。
UARTのバイト受信は両方のストップモードで機能的であり、スタート検出またはバイト受信またはアドレス一致イベントの場合にウェイクアップイベントを生成することができる。Stop 2モードでは1つのLPUARTのみサポートされている。Stop 1モードでは、すべての5個のUARTとLPUARTは、ウェイクアップイベントを生成することができる。
LSIまたはLSEによってクロック駆動する場合、または外部ピンによってクロックされた場合、LPTIMは、そのすべてのイベントでMCUを起動することができる。唯一LPTIM1がStop 2モードでサポートされているのに対し、Stop 1モードでは、両方のLPTIMがサポートされている。

Standby モード

25

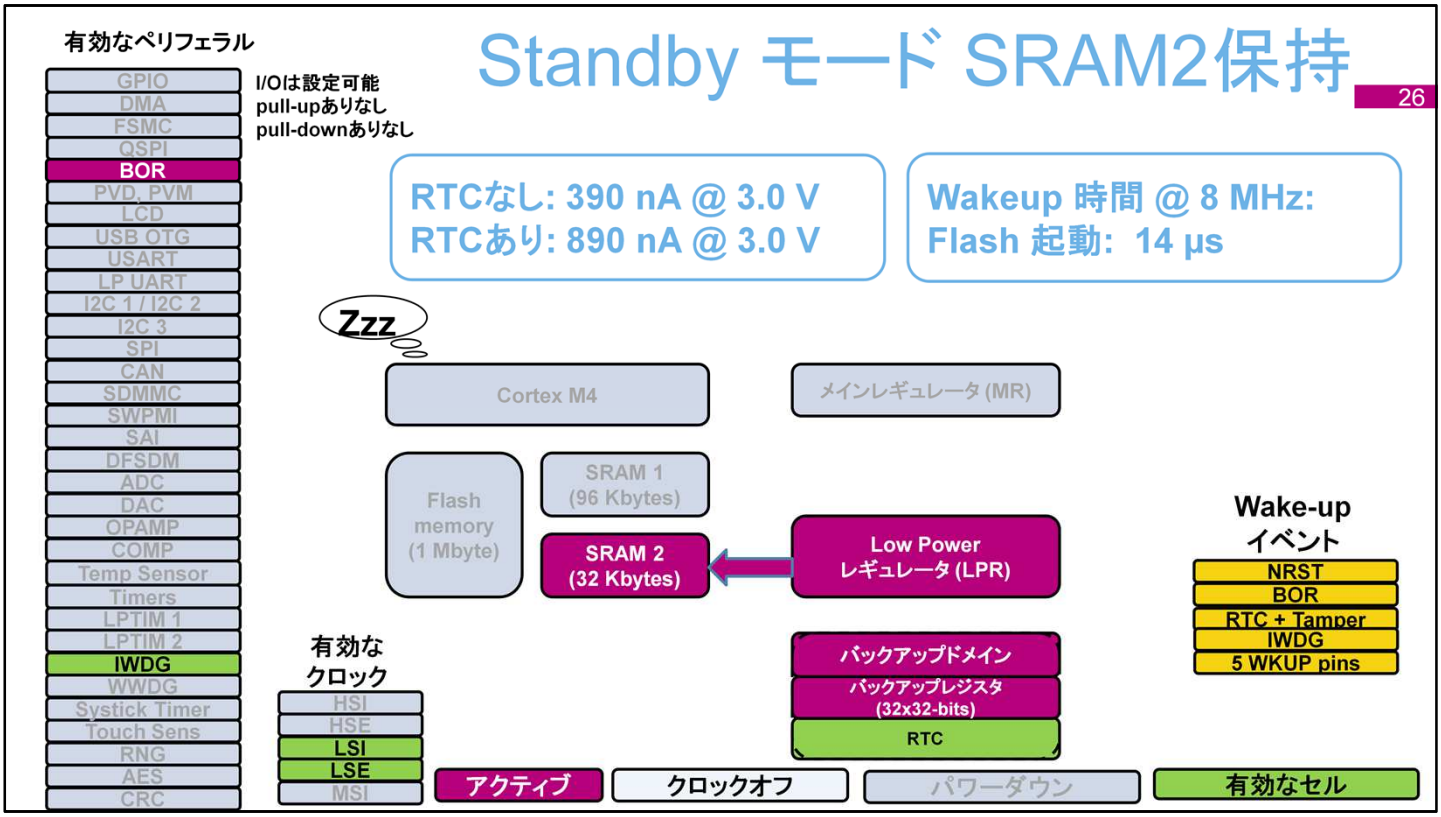
最小の電力モード。SRAM2の保持とVBATへのスイッチとI/O制御

- デフォルト：SRAMやレジスタの保持は無し（パワーダウンでの電圧レギュレータ）。**128バイトのバックアップレジスタ**は常に保持。
- **32 KのSRAM2は保持可能**
- 超低消費電力 **BOR** は常に ON: VDDスロープにかかわらず安全なリセット
- **pull-up または pull-down　または無し**をそれぞれの I/O に設定可能
  PWR_CR3レジスタに**APC**がセットされているとき、PWR_PUCRx / PWR_PDCRx registers (x = A,B,…H)が適応
  =>外部コンポーネント入力状態を制御することができる
- **5 つのwakeupピン**: それぞれの5つのwakeupピンについて極性を設定可能
- Wakeup クロックは **MSI で1 から 8 MHzで設定可能**

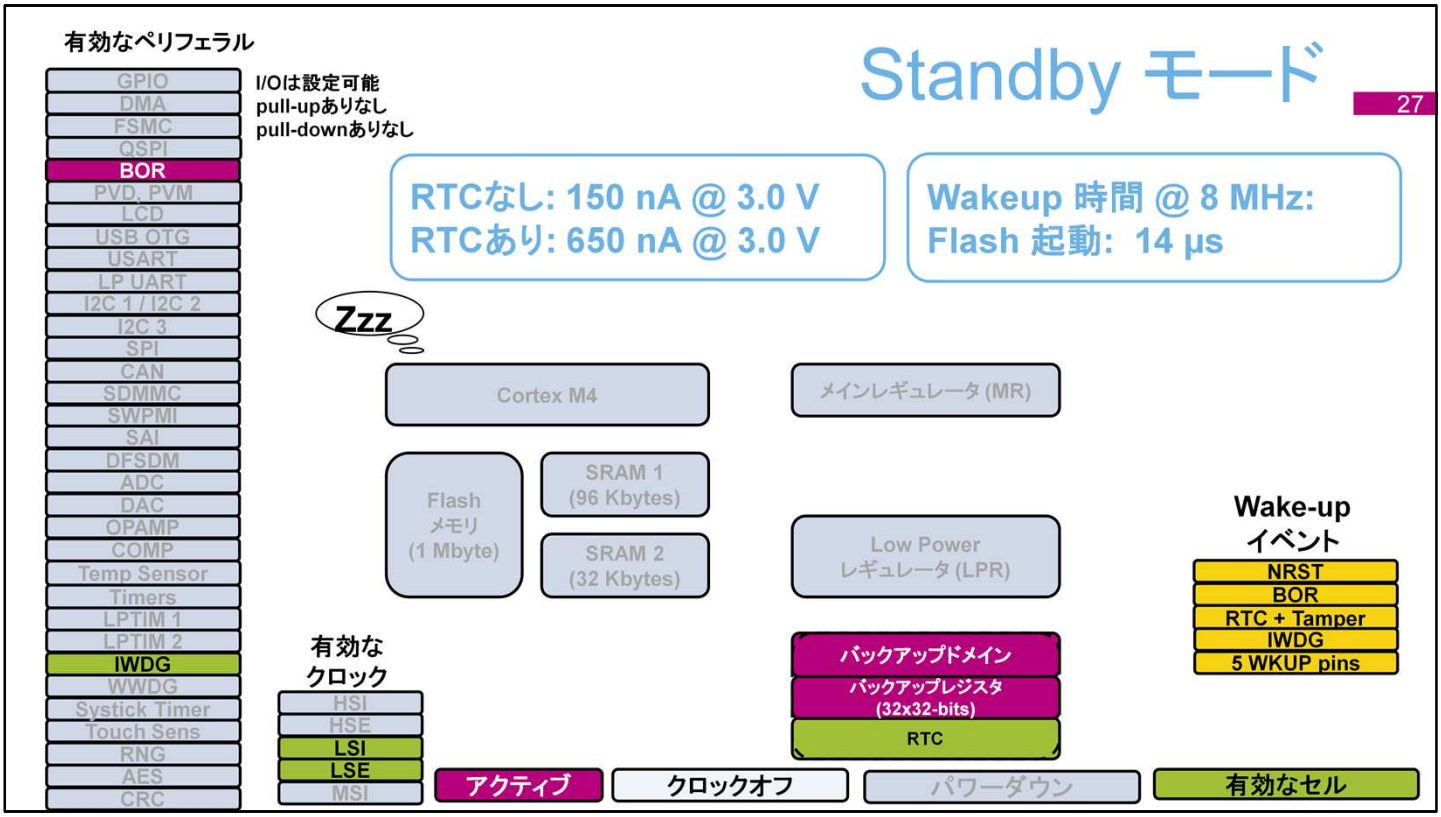
life.augmented

スタンバイモードは、SRAM2の32Kバイトを保持することができる最も低い電力モードで、VBATにVDDから自動的にスイッチがサポートされており、I / Oのレベルは独立したプルアップおよびプルダウン回路で構成することができる。
デフォルトでは、電圧レギュレータは、パワーダウンモードにあり、SRAMとペリフェラルレジスタは失われる。128バイトのバックアップレジスタは常に保持される。
ソフトウェアの設定で、SRAM2の32Kバイトを保持することができる。
超低消費電力ブラウンアウトリセットはVDDのスロープにかかわらず安全なリセットを確保するために、常にオンになっています。
各I/Oは、プルアッププルダウンまたは無しを、APC制御ビットで構成することができる。これによって、スタンバイモード時に外部コンポーネントの入力状態を制御することができる。
5つのウェイクアップピンは、スタンバイモードからデバイスをウェイクアップするために利用可能。5つのウェイクアップピン

のそれぞれの極性は設定可能。
ウェイクアップクロックは、MSIで1から8 MHzまで設定可能。



SRAM2を使用したスタンバイ・モードでは、メインレギュレータがパワーダウンされ、低消費電力のレギュレータは、その内容を保存するSRAM2に電圧を提供する。LSIまたはLSEによってRTCのクロックは、活性化することができる。
ブラウンアウトリセットは常に有効になっている。インディペンデントウォッチドッグはスタンバイモードで有効にすることができる。
リセット、ブラウンアウトリセット、RTCおよび改ざん検出、インディペンデントウォッチドッグと5ウェイクアップ・ピン上の任意のイベントは、スタンバイモードからMCUを終了することができる。
スタンバイモードSRAM2ありRTCなしの消費電力は3 Vで390 nA。ウェイクアップ時間は約14µs。



SRAM2のないスタンバイモードでは、メインレギュレータとLow-powerのレギュレータがパワーダウンする。RTCはLSIまたはLSEによってクロックされ、活性化することができる。
ブラウンアウトリセットは常に有効になっている。インディペンデントウォッチドッグは、スタンバイモードで有効にすることができる。
ウェイクアップイベントはスタンバイモード+SRAM2に記載されたものと同じ。
RTCのないスタンバイモードの消費電力は3 Vで150 nA。ウェイクアップ時間は約14µs。

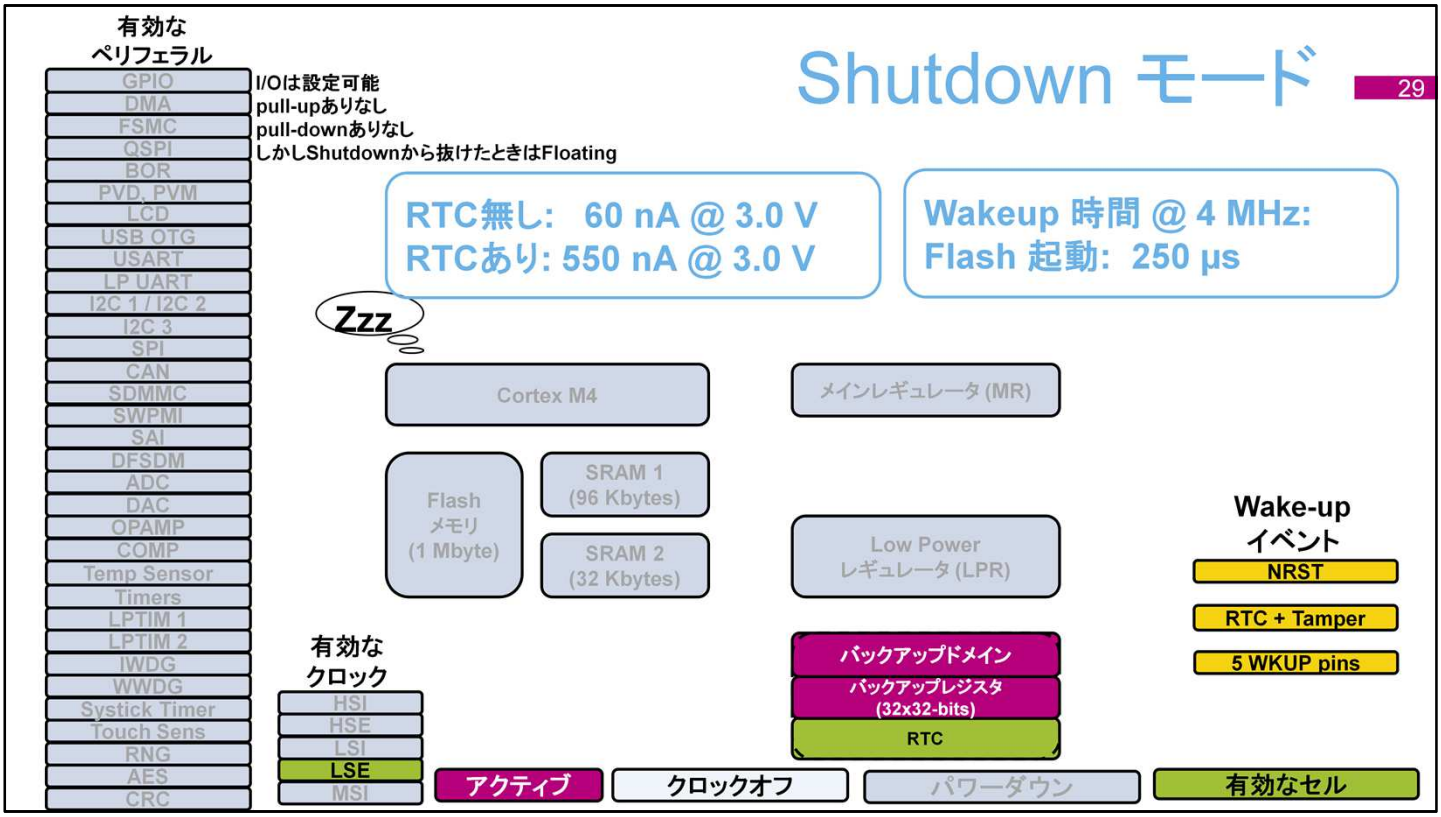
Shutdown モード

最小のパワーモード: 30 nA !!

- Standby に似ているが
  - **NO パワーモニタリング:** BOR無し, VBATへのスイッチ無し
  - **NO LSI**, IWDG無し
  - **BOR reset** がShutdownモードから抜けるときに発生
    - ⇒ バックアップドメインを除く全てのレジスタがリセット
    - ⇒ PADにリセット信号生成
- 128バイトの **バックアップレジスタ**
- Wakeup ソース: **5つの wakeup ピン**, **RTC**
- Wakeup クロックは MSI 4 MHz.

life.augmented

シャットダウンモードは、STM32L4の最低消費電力モードで、1.8 Vでわずか30 nA。
このモードは、スタンバイモードに似ているが、パワーモニタリングがなく、ブラウンアウトリセットは無効となり、VBATにスイッチする機能がシャットダウン・モードではサポートされていない。LSIは利用できず、結果的にインディペンデントウォッチドッグも使用できない。すべてのレジスタは、バックアップドメイン内のものを除いてリセットされ、リセット信号がパッドの上に生成される。デバイスがシャットダウン・モードを終了するとブラウンアウトリセットが発生する。
128バイトのバックアップレジスタはShutdownモードでも保持される。
Wakeupソースは5つのwakeupピンとRTC。
Shutdownモードを抜けたとき、wakeupクロックはMSI 4MHz。



シャットダウン・モードでは、メインレギュレータとLow-powerのレギュレータがパワーダウンする。LSEによってクロックが作られ、RTCは活性化することができる。
ブラウンアウトリセットは無効になる。LSEだけが有効になる。
WakeupイベントはRTCとTamperイベント、リセット、5つのwakeupピン。
Shutdownの消費電力はRTCなしのとき、3Vで約60nA。
Wakeup時間はおよそ250us。

低消費電力モード一覧

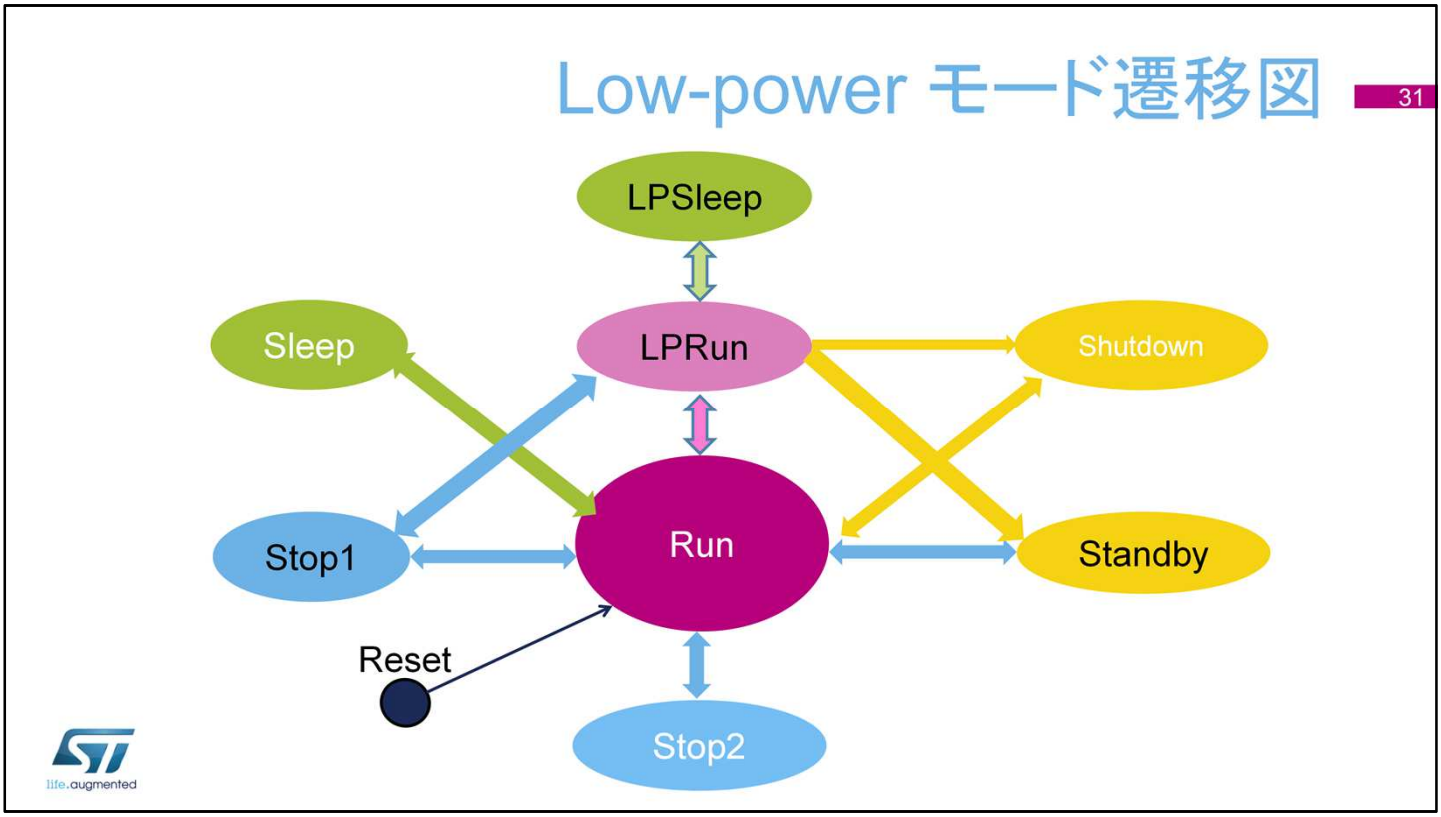
30

モード	レギュレータ	CPU	Flash	SRAM	クロック	ペリフェラル	消費電力 @ 1.8V	Wakeup 時間
Run	R1	**Yes**	**ON**(1)	**ON**	何でも	すべて	127 µA/MHz	N/A
	R2					OTG, RNG以外	111 µA/MHz	
LPRun	LPR	**Yes**	**ON**(1)	**ON**	PLL以外 何でも	OTG, RNG以外	136 µA/MHz	
Sleep	R1	No	**ON**(1)	**ON**(2)	何でも	すべて 全てのIT または event	37 µA/MHz	6 サイクル
	R2						35 µA/MHz	
LPSleep	LPR	No	**ON**(1)	**ON**(2)	PLL以外 何でも	OTG, RNG以外 全てのIT または event	40 µA/MHz	6 サイクル
Stop 1	LPR (or MR)	No	OFF	**ON**	LSE/LSI	Reset ピン, 全てのI/O BOR,PVD,PVM,RTC,LCD,IWDG, COMPx,DACx,OPAMPx,USARTx, LPUART,I2Cx,LPTIMx,OTG_FS,SWPMI	6.6 µA RTCなし 6.9 µA RTCあり	4 µA RAM 6 µA Flash メモリ
Stop 2	LPR	No	OFF	**ON**	LSE/LSI	Reset ピン, 全てのI/O BOR,PVD,PVM,RTC,LCD,IWDG, COMPx,LPUART,I2C3,LPTIM1	1.1 µA RTCなし 1.4 µA RTCあり	5 µA RAM 7 µA Flash メモリ
Standby	LPR	DOWN	OFF	**SRAM2 ON**	LSE/LSI	Reset ピン, 5つのWKUPxピン BOR, RTC, IWDG	+ 235 nA	14 µs
	OFF			DOWN			115 nA RTCなし 415 nA RTCあり	
Shutdown	OFF	DOWN	OFF	DOWN	LSE	Reset ピン, 5つのWKUPxピン RTC	30 nA RTCなし 330 nA RTCあり	250 µs

life.augmented

1. パワーダウン、クロックOFF可能
2. SRAM1 と SRAM2 それぞれクロックOFF可能

STM32L4のパワーモードの一覧。



Runモードでは、Low power sleepモードを除くすべての低電力モードにアクセスすることが可能。Low power sleepモードに移行するためには、Low power runモードに最初に移動し、WFIかWFEを実行し、レギュレータを低消費電力のレギュレータにする必要がある。Low power sleepモードを終了するとき、STM32L4はLow power runモードになる。
デバイスがLow power runモードにある場合、それはスリープとStop 2以外のすべての低電力モードに入ることができる。
Stop 2モードは、Runモードから遷移することができる。
もしデバイスがLow power runモードからStop1モードになると、復帰したときにLow powe runモードに戻る。
もしデバイスがLow power runモードからStandbyまたはShutdownになると、復帰したときにRunモードになる。

VBAT バックアップドメイン

VDDの損失の場合に、RTCは継続して実行しバックアップレジスタは保存

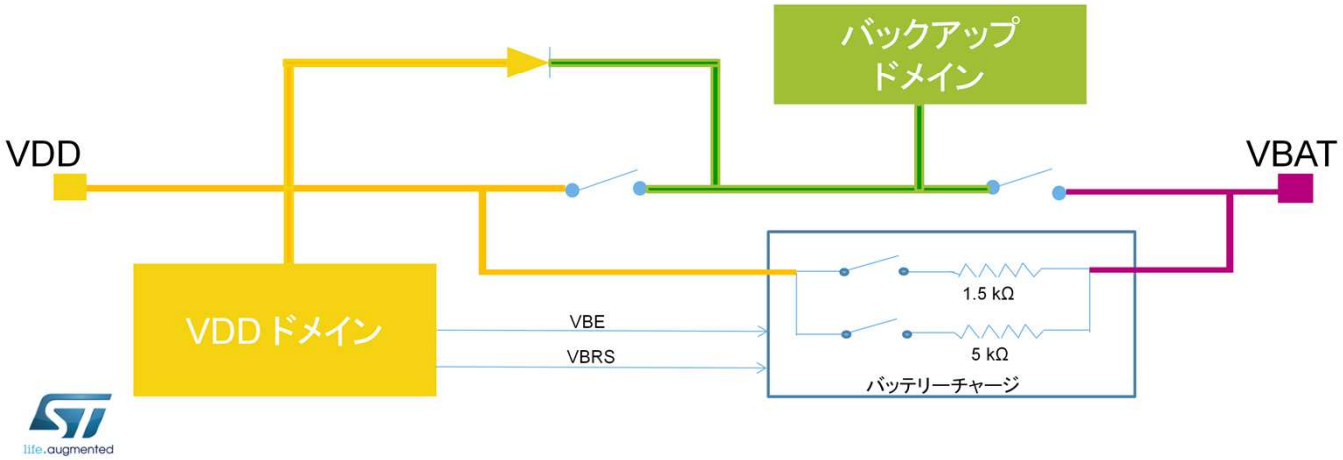
- バックアップドメインは以下を含む:
  - LSE 32.768 kHz でクロックされるRTC、**3つの tamper ピン**を含む
  - **128 バイトのバックアップレジスタ**
  - RCC_BDCR レジスタ
- VDDがパワーダウンまたはパワーオンしたときに、自動的にVBATとVDDを内部でスイッチする
- 電圧モニタリング(VBAT/3)のための、ADCへの内部接続
- VBAT 充電機能

life.augmented

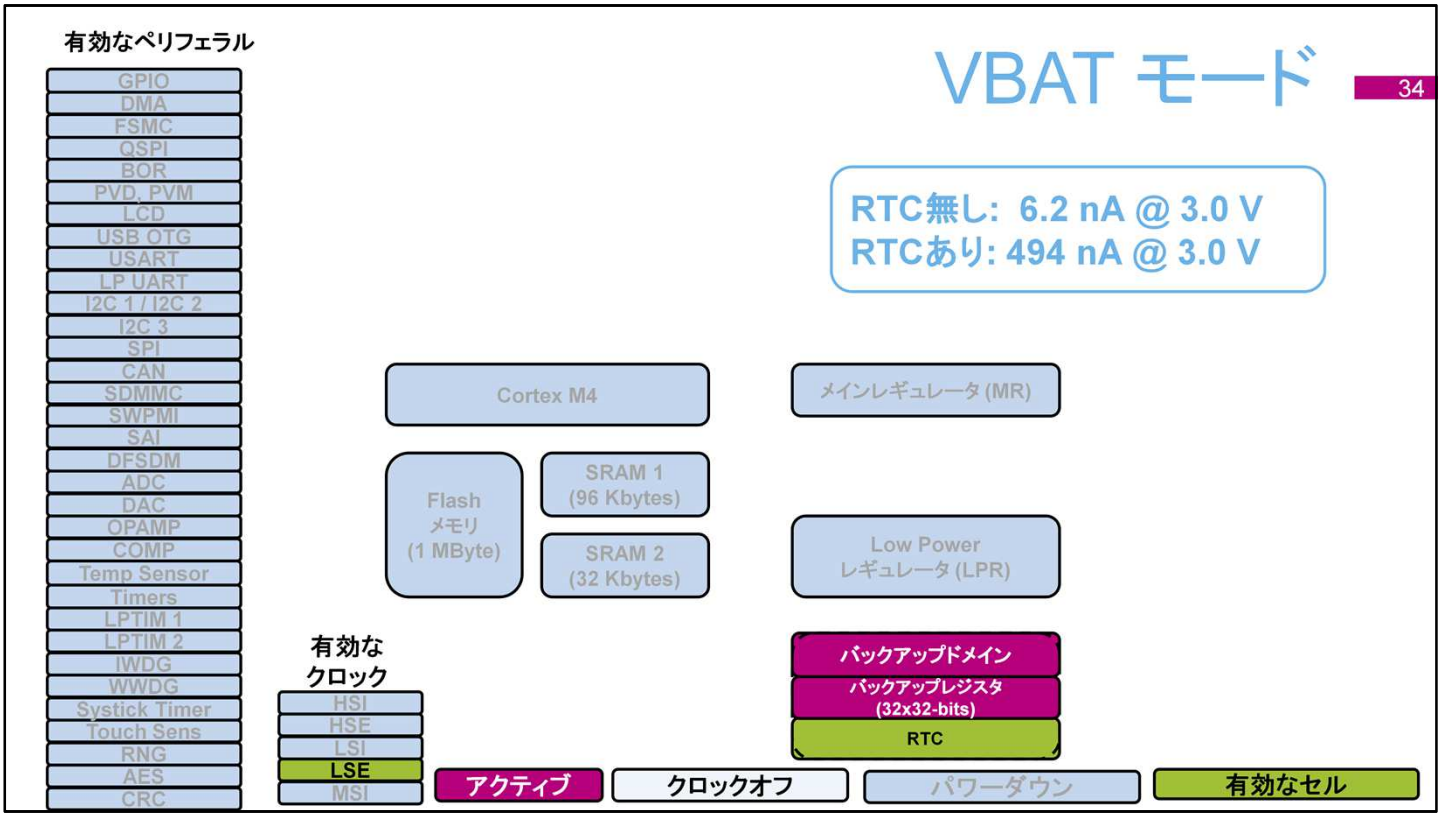
バックアップドメインは、VDDの供給が停止している場合に、VBATピンに接続されたバックアップ用バッテリのおかげで、RTC機能を維持し、バックアップレジスタを維持する。
バックアップドメインは、32.768 kHzのLSEによってクロック駆動されているRTCを含む。3つのタンパーピンがVBATモードで機能しており、侵入検知の場合に、VBATドメインに含まれる128バイトのバックアップレジスタを消去する。
バックアップドメインはRTCのクロック制御機能も含む。
VDDが一定のしきい値を下回るケースでは、バックアップドメイン電源が自動的にVBATに切り替わる。VDDが正常に戻っている場合には、バックアップドメインの電源が自動的にVDDに戻る。
VBATの電圧は、バックアップ電池レベルをモニタするために、内部でADCの入力チャネルに接続されている。
VDDが存在する場合、VBATに接続されたバッテリは、VDD電源から充電することができる。

VBAT バックアップドメイン

- VBAT 充電機能: VDDが存在する場合に、内部抵抗を介してVBATのスーパーキャパシタンスを充電することができる



バッテリー充電機能は、VDD電源が存在する場合、内部抵抗を介してVBATピンに接続されたスーパーキャパシタンスを充電することができる。充電はソフトウェアで有効にでき、ソフトウェアによっては5kWか、1.5kWののどちらかの抵抗を介して行われる。バッテリーの充電は自動的にVBATモードでは無効になっている。



VBATモードでは、MCU全体で、128バイトのバックアップレジスタ、RTCおよびLSEクロックを含むバックアップ・ドメインを除いて、パワーダウンモードになっている。
VBATピンからの消費電力はは、3 VでRTCのない場合約6 nA、及びRTCありで500 nA。

オプションバイト

- フラッシュオプションバイトの3つのオプションビットでは、low powerモードの禁止を設定することができる:
  - nRST_SHDWN: クリアのとき、シャットダウンモードに入ると、リセットが生成される
  - nRST_STDBY: クリアのとき、スタンバイモードに入ると、リセットが生成される
  - nRST_STOP:クリアのとき、ストップ1またはストップ2モードに入ると、リセットが生成される

life.augmented

フラッシュオプションバイトに、指定されたLow powerモードを禁止する3ビットが用意されている。あるビットをクリアするとシャットダウンモードに入るとき、リセットを発生をする。別のビットは、スタンバイモードに入るとき、リセットを発生をする。最後のビットは、ストップ1またはストップ2のモードに入るとき、リセットを発生をする。

デバッグ情報

- DBGMCU_CR レジスタの3ビットの設定で Sleep, Stop, Standby, Shutdown モード中のデバッグが可能になる:
  - DBG_STANDBY:セットのとき、デジタル部は、スタンバイおよびシャットダウンモードでは電源OFFにならず、HCLKとFCLKは内部RCが提供してオンのまま。また、スタンバイ/シャットダウン時にMCUはシステムリセットされている。
  - DBG_STOP:セットのとき、Stop 1とStop 2のモードでHCLKとFCLKは内部RCが提供してオンのまま。
  - DBG_SLEEP:セットのとき、SleepとLow power sleepモードでHCLKとFCLKはオンのまま。
- これらのビットが設定されると、デバッガとの接続は、低電力モード中でも維持される。ウェイクアップ後、デバッグは可能。

life.augmented

デバッグ制御レジスタで3ビットが用意されていて、スリープ、ストップ、スタンバイおよびシャットダウンモードでのデバッグを可能にする。関連ビットがセットされている場合、レギュレータはスタンバイおよびシャットダウンモードでONに保持され、HCLKとFCLKのクロックはアクティブデバッガを維持するために、ONのまま。これは、低電力モード時にデバッガとの接続を維持し、ウェイクアップ後にデバッグを継続する。MCUは、デバッグ中でないときに、これらのビットをクリアすることを忘れないこと。なぜなら、クロックやレギュレータが有効になったままなので、消費電力が高くなるから。

関連するペリフェラル

- 電力モードとその依存関係の詳細については、ペリフェラルのトレーニングの次のリストを参照のこと：
  - Reset and clock control (RCC)
  - Interrupts (NVIC-EXTI)
  - Digital-to-analog converter (DAC)
  - Comparator (COMP)
  - Liquid crystal display controller (LCD)
  - Low-power timer (LPTIM)
  - Independent watchdog (IWDG)
  - Real-time clock (RTC)
  - Inter-integrated circuit (I2C) interface
  - Universal synchronous asynchronous receiver transmitter (USART)
  - Low-power universal asynchronous receiver transmitter (LPUART)
  - Single Wire Protocol Master Interface (SWPMI)
  - USB On-The-Go Full-Speed (OTG_FS)

life.augmented

この研修に加えて、あなたはリセットとクロック制御、割り込みのトレーニングを参照することができ、および、すべてのペリフェラルについてStopからのwakeupを参照できる。

参考資料

- 詳細については、以下を参照のこと。
  - AN4621: STM32L4xx ultra-low-power features overview

life.augmented

詳細については、アプリケーションノートを参照。*STM32L4 ultra-low-power features overview*.