

---

---

## AVR®低電力技法

---

---

### 序説

著者: Per Andreas Gulbrandsen, Microchip Technology Inc.

この応用記述はAVRマイクロコントローラの電力消費を制限するのに役立つ利用可能ないくつかの技法を検討します。これは休止動作、発振器と動作周波数の選択、事象システムの使用、休止歩行、BODの使用、未使用ピンで何を行うかのような技法と概念を網羅します。

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、Microchip社とは無関係であることを御承知ください。しおりの[はじめに]での内容にご注意ください。

## 目次

序説	1
1. 関連デバイス	3
1.1. tinyAVR® 0系統	3
1.2. tinyAVR® 1系統	3
1.3. megaAVR® 0系統	3
2. 概念応用	4
3. 活性な周辺機能	4
4. 動作形態	4
4.1. 概要	4
4.2. 活動形態動作	4
4.3. 休止動作	5
4.4. 概念応用への動作形態適用	5
4.5. 休止命令の実行と、ISRと主間で共用する変数	6
5. 事象システム	7
5.1. 概要	7
5.2. 概念応用への事象適用	7
6. 休止歩行	7
6.1. 例応用への休止歩行適用	7
7. 発振器の選択	7
7.1. 概念応用への発振器選択適用	7
8. BOD	8
8.1. BOD休止動作形態	8
8.2. 概念応用へのBOD適用	8
9. 未使用ピン	8
10. 改訂履歴	8
Microchipウェブサイト	9
お客様への変更通知サービス	9
お客様支援	9
Microchipデバイスコード保護機能	9
法的通知	9
商標	10
DNVによって認証された品質管理システム	10
世界的な販売とサービス	11

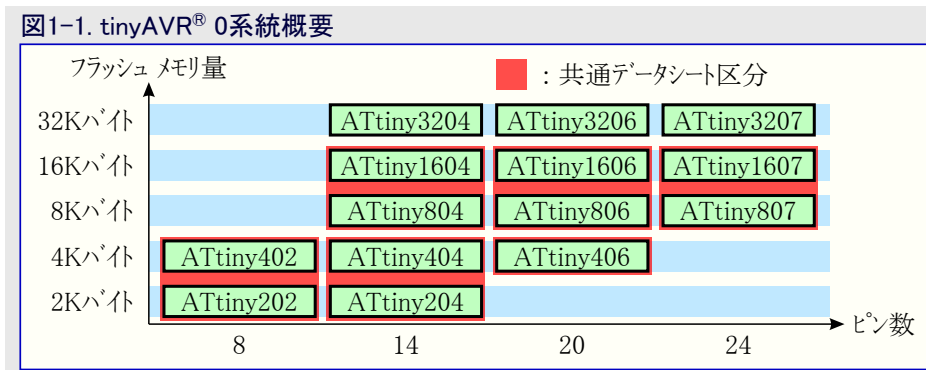
## 1. 関連デバイス

本章はこの資料に関連するデバイスを一覧にします。

### 1.1. tinyAVR<sup>®</sup> 0系統

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してtinyAVR<sup>®</sup> 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

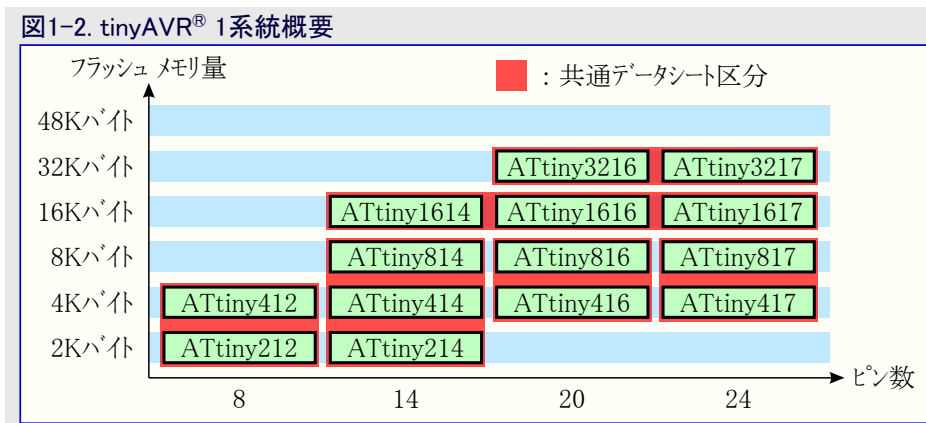


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

### 1.2. tinyAVR<sup>®</sup> 1系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してtinyAVR<sup>®</sup> 1系統デバイスを示します。

- これらのデバイスがピン互換で同じまたはより多くの機能を提供するため、垂直上方向移植はコード変更なしに可能です。下方向移植はより少ない利用可能ないくつかの周辺機能の実体のためにコード変更が必要かもしれません。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

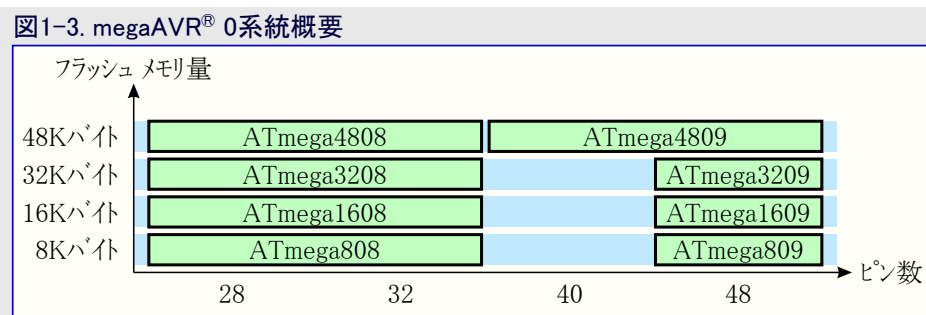


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

### 1.3. megaAVR<sup>®</sup> 0系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してmegaAVR<sup>®</sup> 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。



異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

## 2. 概念応用

この応用記述は電力消費の制限を手助けするのに利用可能ないくつかの技法を検討します。これを説明するために概念応用が導入され、技法がこの応用に適用されます。

概念応用はピンに接続された外部温度感知器を監視する非常に簡単な応用です。その基本形式では、応用が1秒間多忙回転してその後A/D変換器(ADC)を用いて感知器の値を測定してその値を予め定義された2つの閾値と比較します。2つの閾値は絶えず続く切り替えを避けるために窓を作成するのに使われます。この比較に基づいていくつかの活動が取られ、換言すると、温度が上側閾値以上の場合に電熱器をOFFに切り替え、または温度が下側閾値以下の場合に電熱器をONに切り替えます。温度が窓の内側である限り、調節は行われません。簡単化のため、この応用ではこれらの活動はピンをONまたはOFFに切り替えます。

## 3. 活性的な周辺機能

周辺機能が許可されると、例えばそれらが活性でなくてもそれらは電力消費に強い影響を与えます。従って、開発者は使う周辺機能だけが許可されること確実にすべきです。「[関連デバイス](#)」では全ての周辺機能が既定で禁止されるため、これは直観的に行えます。

初期のAVR®デバイスでは周辺機能を許可または禁止するのに一般的に電力削減レジスタ(PRR)が使われています。「[関連デバイス](#)」ではこのレジスタが存在しません。代わりに、各周辺機能のレジスタ インターフェースに許可ビットがあります。これと未使用クロック経路でより少ないゲートがクロック駆動されることを意味する、より良いクロック開閉を持つもっと進んだクロック システムが機能的にPRRを置き換えます。許可機能が当該周辺機能内に置かれるため、これはまたより直観的で使い易いです。

周辺機能動作は休止動作によっても影響を及ぼされます。これは「[4. 動作形態](#)」で検討されます。

## 4. 動作形態

殆ど応用はCPUを始動後に継続的に走らせることを必要としません。このような応用に対しては電力消費をより低くするために休止動作を使うことができます。

### 4.1. 概要

休止動作は節電するためにデバイス内で周辺機能とクロック領域を閉鎖するのに使われます。休止制御器(SLPCTRL)が活動と休止の動作間の遷移を制御して処理します。

利用可能な以下の合計4つの動作形態があります。

- ・ ソフトウェアが実行される1つの活動動作
- ・ 以下の3つの休止動作
  - アイドル
  - スタンバイ
  - パワーダウン

全ての休止動作が利用可能で、活動動作から移行することができます。活動動作ではCPUが応用コードを実行しています。デバイスが休止動作へ移行すると、プログラム実行が停止され、デバイスを再び起こすのに割り込みやリセットが使われます。応用コードは何時、どの休止動作へ移行するかを決めます。

休止からデバイスを起こすのに割り込みが使われます。利用可能な割り込み起こし元は構成設定した休止動作に依存します。割り込みが起こると、デバイスが起き上がり、SLEEP命令の後の最初の命令から通常のプログラム実行を続ける前に割り込み処理ルーチンを実行します。どのリセットもデバイスを休止動作の外に連れ出します。

レジスタ ファイル、SRAM、レジスタの内容は休止中に維持されます。休止中にリセットが起こる場合、デバイスはリセット、始動、そしてリセット ベクタから実行します。

### 4.2. 活動形態動作

活動動作では全てのクロックが活性で、CPUが走行します。活動動作での電力消費はシステム クロックの動作周波数に比例します。高い周波数での動作を要求しない応用はシステム クロックを下げることから恩恵を受けることができます。

経験則がより低い周波数はより低い電力と等しいこととは言え、いくつかの場合で逆が真です。より高いクロック周波数での走行はCPUがその作業をより速く終わり、より素早く休止へ戻って返り、より低い総電力消費に帰着します。周期的にスタンバイ休止動作から起きていくつかの計算を実行する応用を想像してください。これらの計算がより高い周波数で行われたなら、システムは活動でより少ない時間とスタンバイ休止動作でのより多くの時間、故により低い総電力消費を費やすでしょう。逆の例はUSART通信がCPUを休止から妨げるような動作の場合で有り得ます。この状況ではUSART処理のタイミングが制限要素で、より高いCPU周波数は活動動作で費やされる時間を減らす手助けになりません。

1つの静的な周波数でシステムを走行することは多くの応用に対して充分で有り得ます。いくつかの応用に関して、動的な周波数調整を使う利点があります。デバイスの動作周波数は実行中に変更することができるため、応用のいくつかの部分はより低い周波数で実行することができ、一方で他の部分はより高い周波数で実行することができます。これは例えば、短い期間で計算上非常に重い応用に於いて有用で有り得ます。この例は主に休止である一方でデータを収集してその採取したデータで周期的に重い計算を実行する応用で有り得ます。計算を実行するのにより高いクロック周波数を使うことは、例え計算が実行されている時の消費が高くても、計算期間のより短い持続時間のため、総電力消費を減らすことができます。

この技法が二律背反を持つことに注意してください。周波数を変更するのに必要とされる命令を実行することに関連する損失があるため、より高い周波数で実行されるコードはこのために補償されなければなりません、即ち、より速いコード実行からの節約が周波数変更のためのコード追加の損失よりも勝らなければなりません。また、高い周波数での実行間に選ばれた応用の部分に出入りする時の両方できつと周波数を変更されなければならないことにも注意してください。

動的な周波数調整を行う便利な方法は主クロック前置分周器を使うことです。この前置分周器はCPUと周辺機能へ行く前に調整されることをクロックに許します。この前置分周器がCPUと周辺機能の両方に対するクロックに影響を及ぼすため、或るクロック速度に構成設定されたどの周辺機能も正常に動かなくなり得ることに注意してください。この例は周辺機能クロック変更時にADCの最大クロック速度違反やUSARTのポーレート変更になり得ます。詳細については対応するデータシートのクロック制御器の章を参照してください。

低電力応用を開発する時に電力割り当て量を作成することが有用な行動で有り得ます。これは少しの簡単な段階で行うことができます。最初に、各動作形態に対する電力消費を計算してください。その後、各動作でどの位の時間が費やされるかを計算してください。最後に、前の2つの段階からの数値を用いて平均と最大の消費を計算してください。これは例えば、その応用に対する電池寿命を計算することを開発者に許します。これは応用を概要分析して最適化することで役立つ道具でも有り得ます。

### 4.3. 休止動作

活動動作に加えて、電力消費と機能を減らした3つの異なる休止動作形態があります。

**アイドル** CPUはコード実行を停止し、禁止される周辺機能はありません。全ての割り込み元はデバイスを起こすことができます。

**スタンバイ** 使用者は各々のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットを使って許可されるべき、またはされないべき周辺機能を構成設定することができます。これは電力消費が何の機能が許可されるかに高く依存し、故にアイドルとパワーダウンの水準の間で変わるかもしれません。

A/D変換器(ADC)単位部に対して休止歩行が利用可能です。

起き上がり供給元はピン割り込み、TWIアドレス一致、(USARTがスタンバイでの走行を許可された場合)USARTフレーム開始割り込み、(RTCがスタンバイでの走行を許可された場合)RTC割り込み、TCB割り込みです。

**パワーダウン** WDTと(RTC構成部分の)PITだけが活性です。起こし元はピン変化割り込みとTWIアドレス一致だけです。

表4-1. 休止動作活動概要

群	周辺機能	休止動作で活動		
		アイドル	スタンバイ	パワーダウン
発振器	主クロック元	○	①	
	RTCクロック元	○	①	
	WDT発振器	○	○	○
起き上がり供給元	INTnとピン変化	○	○	○
	TWIアドレス一致	○	○	○
	周期的割り込み計時器	○	○	○
	USARTフレーム開始	○	①	
	ADC/PTC窓	○	①	
	RTC割り込み	○	①	
	他の全ての割り込み	○		

注: ○は活動を意味します。①は活性状態に入るのに対応する周辺機能のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)されなければなりません。

### 4.4. 概念応用への動作形態適用

「2. 概念応用」は変換されるべき別の採取を待っている間不活性なため、待っている間を休止することによって大量の電力を節約することができます。これを行うため、応用は起こし元が必要です。これはRTCを割り込みに構成設定して秒毎に一度システムを起こすことによって簡単に行えます。起き上がりが起こると、CPUはADC変換を始めることができ、結果を比較し、もしあるならば適切な活動を取り、そして休止へ戻ります。

システムが各採取に対する1秒毎に1ms間起きている(システムクロックとCPUを開始してADC変換を開始し、ADC割り込みを待つ結果を読み取り、それを比較して多分ピンを反転切り替えし、そして休止に戻る)ことを大まかに推定する場合、活動動作での予測時間は0.1%です。これは休止動作を使わずにCPUを継続的に起きている状態に留めることと比較されます。予想した電力消費は休止動作での電力消費も考慮に入れられなければならないため、0.1%を僅かに上回るでしょう。

動的クロック調節は概念応用に適用することもできます。CPUがADCの完了を待つ間、高いCPU周波数の必要がありません。出力値に基づき、応用は活動を取ることが必要かを決めます。これがその場合なら、システムはそれらの活動をより速く完了することができるようにより高いクロック周波数に切り替えることができ、故に活動動作で費やす時間を減らします。けれども、比較操作後に少しの命令しか実行されないため、概念応用でのこの技法の使用には恩恵がありません。

#### 4.5. 休止命令の実行と、ISRと主間で共有する変数

休止命令での潜在的な問題は休止命令の実効直前にISRが実行され得ることです。その後主繰り返しで処理されることが必要なフラグにISRが書いた場合、それは次の割り込みが起きてデバイスを引き上げらせるまで処理されません。以下のコードはこれが起き得る例を示します。

```
volatile uint8_t shared_flag;
ISR(perip_vector) {
    uint8_t i_flags = PERIP_INTFLAGS;
    shared_flag = 0x01;
    PERIP_INTFLAGS = i_flags;
}

main() {
    while(1) {
        cli();
        if(shared_flag == 0x01) {
            shared_flag &= ~0x01;
            sei();
            handle_event_etc();
        }
        sei();
        sleep();
    }
}
```

この場合、`shared_flag`はそれが調べられて解除される間、ISRによって変えられることからあ防がれます。けれども、`if`文内側の最初の`sei()`後にISRがフラグを書いた場合、休止命令は`shared_flag`が再び検査されることなく実行されます。このように、`main()`で発生することが必要な事象は次回に割り込みが起きてデバイスを休止から起こすまで発生しません。

主繰り返しの内側で全てのフラグを処理するには以下のコードを使ってください。

```
main() {
    while(1) {
        cli();
        if(shared_flag == 0) {
            sei();
            sleep();
        }
        sei();
        // shared_flags処理と応用走行
    }
}
```

このコードはISRと主繰り返しの間で共有されるフラグが休止へ行く前に未処理にさらないことを保証します。これは`sei()`命令後に実行するどの命令も保留中の割り込みへ飛ぶ前に実行することが許されるためです。`shared_flag`変数は複数のISR間で共有することができます。主繰り返しの内側での`shared_flag`のどの読み-変更-書きも下のコードで示されるように`cli()`と`sei()`によって保護されなければなりません。

```
cli();
shared_flag &= ~0x01;
sei();
```

これは読み-変更-書きを非分断活動にし、即ち、どのISRによっても割り込むことができません。けれども、これはISR間から共有される変数として汎用入出力レジスタ(GPIOR)を用いることによって避けることができます。GPIOR0~GPIOR3のレジスタは単一CPU周期で実行するアセンブリコードの1行に対してどの単一ビット変くもコンパイルすることをコンパイラに許します。比較に於いて、`uint8_t`変数の読み-変更-書きの使用は3周期、`cli()`と`sei()`の命令を考慮に入れると5周期かかります。

## 5. 事象システム

### 5.1. 概要

事象システム(EVSY)は周辺機能から周辺機能への直接的な合図を許します。それはCPUを使うことなく、事象チャンネルを通して或る周辺機能(事象生成部)での変化で別の周辺機能(事象使用部)での活動を起動することを許します。それは自律の周辺機能制御と相互作用、そして多数の周辺機能単位部での活動の同期タイミングをも許す、周辺機能間の短くて予測可能な応答時間を提供するように設計されます。故にそれはソフトウェアの複雑さ、大きさ、実行時間を減らすための強力な道具です。

事象生成部の状態の変化は事象として参照され、通常、周辺機能の割り込み条件の1つに対応します。事象は専用の事象経路網を用いて他の周辺機能へ直接送ることができます。各チャンネルの配線は事象生成と使用を含め、ソフトウェアで構成設定されます。

各チャンネルでは事象生成部の周辺機能からの1つの起動だけを配線することができますが、同じ生成部の供給元を複数のチャンネルで使うことができます。複数の周辺機能が同じチャンネルからの事象を使うことができます。

チャンネル経路は主クロックに対して非同期または同期のどちらかにすることができます。この動作形態は応用の必要条件に基づいて選ばれなければなりません。

事象システムはA/D変換器、アナログ比較器、入出力ポートピン、実時間計数器、タイマ/カウンタ、構成設定可能な注文論理回路周辺機能を直接的に接続することができます。事象はソフトウェアと周辺クロックから生成することもできます。

### 5.2. 概念応用への事象適用

「2. 概念応用」は事象を使うことから恩恵を受けることができます。操作の時間を定めるRTCは変換を開始するためにCPUを起こす代わりに、変換が行われなければならないADCへ合図をするのに事象を使うことができます。これはADCが変換中の間に今やCPUを休止することができるため、休止動作で費やす時間に僅かに延長を与えます。ADC変換が非常に素早く(13 ADCクロック、52 CPUクロック)、活動動作で費やされる時間の削減が同じように短いため、電力消費での削減は小さくなります。事象使用での利益は「6. 休止歩行」で説明される休止歩行機能を追加する時にもっと目に見えるでしょう。

## 6. 休止歩行

いくつかの周辺機能はCPUを起こすことなくやって来るデータを処理する能力を持ちます。やって来るデータに応じて周辺機能はCPUが起こされるべきか、または更に取り活動がないかを決めることができます。「1. 関連デバイス」にはそのような2つの周辺機能があります。TWIはやって来るデータフレームの開始を調査してやって来るフレームのアドレスが自身のアドレスと一致する場合にだけCPUを起こすアドレス一致での起き上がりを支援します。ADCは各採取が窓を表す2つの値と比較される窓動作を支援します。構成設定に基づき、ADCは窓の下、上、内側、外側の場合にCPUを起こすことができます。

### 6.1. 例応用への休止歩行適用

例応用へのADC窓動作装束は潜在的にスタンバイ休止の拡張をCPUに許します。ADCそれ自身は変換された値を比較してそれが窓以下(電熱器OFF)か、または窓以上(電熱器ON)かを調べることができます。CPUは電熱器がONまたはOFFに切り替えることが必要な時にだけ起き上がります。完璧に安定な環境ではCPUが決して起き上がらず、総電力消費を休止動作消費と等しくさせます。採取毎(即ち、秒毎)に対して温度が上下の閾値間を変わる定常的に変動する環境での電力消費は、毎回の変換されたADC採取に対して比較を行うためにCPUが起き上がる時と同じです。

## 7. 発振器の選択

既に言及したように、システムクロックはシステムの電力消費に大きく影響を与えます。加えて、発振器の選択も電力消費に影響を与えます。一般的な指針として、これは精度と消費の間の二律背反です。例えば、32kHzクロック選択時、内部32kHz低電力(ULP)発振器は外部クリスタルよりも劇的な低電力消費を提供しますが、精度もより一層悪くなります。応用が高精度に依存しないなら、ULP発振器を選ぶことはより低い電力割り当てに役立つでしょう。

休止動作中に禁止されるクロック元を許すことは発振器の電力消費をより低めます。けれども、大きな影響を与える起き上がり時間を持つ発振器に対して、対応するスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビット(例えば、外部32kHz発振器用のXOSC32KCTRLA.RUNSTDBY)を書くことによってスタンバイで走行するように発振器を許可することは、始動時間を無くし、故にタイミングを改善します。詳細については対応するデータシートを参照してください。

32kHz ULPの精度を改善するのに使うことができる技法があります。高精度外部クリスタルを用いて周期的に走行時校正を行うことにより、内部32kHz ULP発振器の精度は大いに改善することができます。ULP内部発振器の再校正のために32.768kHz外部クリスタル用発振器の周期的な許可を用いる超低電力タイミングの詳細な応用記述を参照してください。

### 7.1. 概念応用への発振器選択適用

「2. 概念応用」は高い精度を必要とせずでき、従って休止中の時間の経緯を保つのにRTCのクロック元として32kHz ULP発振器を使います。

## 8. BOD

BODは供給電圧が動作閾値以下に下がる時にデバイスをリセットすることによってマイクロコントローラを保護します。これはVCCが動作閾値以下の時に定義された状態でマイクロコントローラを維持します。BODはマイクロコントローラが休止動作の間、マイクロコントローラに対して重要ではありませんが、それが起き上がる時に極めて重要です。従って、規則として、殆どのマイクロコントローラは休止動作中にBOD活性を保ち、それは休止動作電力消費に対してしっかりとその一因になります。

この問題に対する解決策は休止動作へ入る時にBODを停止して休止動作を抜け出す直前に再びそれを開始するマイクロコントローラを持つことです。この手法は休止動作中のどんな電力消費の損失もなくそれが必要とされる時にBODが機能することを保証します。けれども、この手法はBODが追加の始動時間を必要とするため、デバイスの始動時間にこれを追加します。

### 8.1. BOD休止動作形態

BODは活動操作に関して、禁止、許可、採取、BODの準備が整うまで起き上がり停止で許可の4つの方法で構成設定することができます。

- ・ 禁止：BODは禁止されます。
- ・ 許可：BODは継続的に供給電圧を採取して選んだ閾値と比較します。
- ・ 採取：供給電圧は125Hzまたは1kHzのどちらかで採取されて閾値と比較されます。
- ・ BODの準備が整うまで起き上がり停止で許可：BODは起き上がり発生時に供給電圧を採取し、供給電圧が選んだ閾値以上のBOD信号になるまで起き上がりが停止されます。これは起き上がり時間に追加します。活動動作ではBODが継続的に供給電圧を採取してそれを選んだ閾値と比較します。

休止操作に関して、禁止、許可、採取の3つの構成設定があります。

活動操作はヒューズ<sup>®</sup>を使ってのみ構成設定することができ、一方で休止操作はヒューズ<sup>®</sup>とレジスタの両方を用いて構成設定することができます。詳細については対応するデータシートを参照してください。

### 8.2. 概念応用へのBOD適用

「概念応用」は休止でのBODを必要としません。休止でBODを禁止することは電力消費を減らします。

活動動作では概念応用が起き上がり停止での許可動作を使うことができます。この構成設定は必要とされる(活動動作の)時にBODが供給電圧を監視しますが、休止動作で活動しません。通常動作が安全なように、供給電圧は起き上がり発生時に検査されます。追加された起き上がり時間の小さな損失がありますが、例応用は時間が重要ではないため、これは許容されます。

## 9. 未使用ピン

全てのデジタル入出力ピンはハードウェアの衝突を避けるために既定によって浮き状態です。けれども、ピンがデジタル入力緩衝部を持つため、散発的な内部切り替えと漏れを避けるために入出力ピンのレベルが上手く定義されるのを確実にすることが重要です。浮き入出力によって引き起こされる漏れは相対的に小さく、主に休止で観測できますが、内部プルアップを許可することによって最小化することができます。外部プルアップを使うのも任意選択です。

加えて、未使用ピンのデジタル入力緩衝部を禁止することは電力消費を更に低めます。これはアナログ周辺機能、例えばADCに接続されるピンに対しても真実です。デジタル入力緩衝部の禁止と内部プルアップの許可の両方は個別ポートに対するピン制御(PINnCTRL)レジスタで行うことができます。詳細については対応するデータシートを参照してください。

## 10. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
A	2017年7月	初版資料公開
B	2018年1月	いくつかの新しい項を追加 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ tinyAVR 0系統</li> <li>・ megaAVR 0系統</li> <li>・ 休止命令の実行と、ISRと主間で共用する変数</li> </ul>
C	2018年10月	tinyAVRとmegaAVRの関連デバイスの一覧を更新



---

## Microchipウェブ サイト

---

Microchipは<http://www.microchip.com/>で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にする手段として使われます。お気に入りのインターネット ブラウザを用いてアクセスすることができ、ウェブ サイトは以下の情報を含みます。

- **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- **一般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip相談役プログラム員一覧
- **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

---

## お客様への変更通知サービス

---

Microchipのお客様通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するには<http://www.microchip.com/>でMicrochipのウェブ サイトをアクセスしてください。”Support”下で”Customer Change Notification”をクリックして登録指示に従ってください。

---

## お客様支援

---

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- 代理店または販売会社
- 最寄りの営業所
- 現場応用技術者(FAE:Field Application Engineer)
- 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、または現場応用技術者(FAE)に連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援は<http://www.microchip.com/support>でのウェブ サイトを通して利用できます。

---

## Microchipデバイスコード保護機能

---

Microchipデバイスでの以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- Microchipは意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- コード保護機能を破るのに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全てはMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と共に働きたいと思います。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそれらのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を”破ることができない”として保証すると言ったことを意味しません。

コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

---

## 法的通知

---

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれる情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責にすることに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

## 商標

Microchipの名前とロゴ、Mcirochipロゴ、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoqロゴ、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-Wireは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、WiperLock、Wireless DNA、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

Silicon Storage Technologyは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

GestICは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の子会社であるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KGの登録商標です。

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2018年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

## DNVによって認証された品質管理システム

### ISO/TS 16949

Microchipはその世界的な本社、アリゾナ州のチャンドラーとテンペ、オレゴン州グラシャムの設計とウェハー製造設備とカリフォルニアとインドの設計センターに対してISO/TS-16949:2009認証を取得しました。当社の品質システムの処理と手続きはPIC<sup>®</sup> MCUとdsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ符号飛び回りデバイス、直列EEPROM、マイクロ周辺機能、不揮発性メモリ、アナログ製品用です。加えて、開発システムの設計と製造のためのMicrochipの品質システムはISO 9001:2000認証取得です。

日本語© HERO 2020.

本応用記述はMicrochipのAN2515応用記述(DS00002515C-2018年10月)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には( )内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。

## 世界的な販売とサービス

米国	亜細亜/太平洋	亜細亜/太平洋	欧州
<b>本社</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: <a href="http://www.microchip.com/support">http://www.microchip.com/support</a> ウェブアドレス: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a> <b>アトランタ</b> Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 <b>オースチン TX</b> Tel: 512-257-3370 <b>ホストン</b> Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 <b>シカゴ</b> Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 <b>ダラス</b> Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 <b>デトロイト</b> Novi, MI Tel: 248-848-4000 <b>ヒューストン TX</b> Tel: 281-894-5983 <b>インディアナポリス</b> Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 <b>ロサンゼルス</b> Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 <b>ローリー NC</b> Tel: 919-844-7510 <b>ニューヨーク NY</b> Tel: 631-435-6000 <b>サンホセ CA</b> Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 <b>カナダ - トロント</b> Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	<b>オーストラリア - シドニー</b> Tel: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> Tel: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> Tel: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重慶</b> Tel: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 東莞</b> Tel: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 広州</b> Tel: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> Tel: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特別行政区</b> Tel: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> Tel: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青島</b> Tel: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> Tel: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 瀋陽</b> Tel: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> Tel: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 蘇州</b> Tel: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武漢</b> Tel: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> Tel: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 廈門</b> Tel: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> Tel: 86-756-3210040	<b>インド - ハンガロール</b> Tel: 91-80-3090-4444 <b>インド - ニューデリー</b> Tel: 91-11-4160-8631 <b>インド - フネー</b> Tel: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> Tel: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 東京</b> Tel: 81-3-6880-3770 <b>韓国 - 大邱</b> Tel: 82-53-744-4301 <b>韓国 - ソウル</b> Tel: 82-2-554-7200 <b>マレーシア - クアラルンプール</b> Tel: 60-3-7651-7906 <b>マレーシア - ペナン</b> Tel: 60-4-227-8870 <b>フィリピン - マニラ</b> Tel: 63-2-634-9065 <b>シンガポール</b> Tel: 65-6334-8870 <b>台湾 - 新竹</b> Tel: 886-3-577-8366 <b>台湾 - 高雄</b> Tel: 886-7-213-7830 <b>台湾 - 台北</b> Tel: 886-2-2508-8600 <b>タイ - バンコク</b> Tel: 66-2-694-1351 <b>ベトナム - ホーチミン</b> Tel: 84-28-5448-2100	<b>オーストラリア - ウェルズ</b> Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 <b>デンマーク - コペンハーゲン</b> Tel: 45-4450-2828 Fax: 45-4485-2829 <b>フィンランド - エスポー</b> Tel: 358-9-4520-820 <b>フランス - パリ</b> Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 <b>ドイツ - ガルピング</b> Tel: 49-8931-9700 <b>ドイツ - ハーン</b> Tel: 49-2129-3766400 <b>ドイツ - ハイムブロン</b> Tel: 49-7131-67-3636 <b>ドイツ - カールスルーエ</b> Tel: 49-721-625370 <b>ドイツ - ミュンヘン</b> Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 <b>ドイツ - ローゼンハイム</b> Tel: 49-8031-354-560 <b>イスラエル - ラーナナ</b> Tel: 972-9-744-7705 <b>イタリア - ミラノ</b> Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 <b>イタリア - ハドバ</b> Tel: 39-049-7625286 <b>オランダ - デルフト</b> Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 <b>ノルウェー - トロンハイム</b> Tel: 47-72884388 <b>ポーランド - ワルシャワ</b> Tel: 48-22-3325737 <b>ルーマニア - ブカレスト</b> Tel: 40-21-407-87-50 <b>スペイン - マドリード</b> Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 <b>スウェーデン - イェテボリ</b> Tel: 46-31-704-60-40 <b>スウェーデン - ストックホルム</b> Tel: 46-8-5090-4654 <b>イギリス - ウォーキングム</b> Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820