



注意: この日本語版文書は参考資料としてご利用ください。
最新情報は必ずオリジナルの英語版をご参照願います。

AN3664

AVR® DAの低消費電力機能とスリープモード

はじめに

著者: Ioan Pop, Microchip Technology Inc.

本書ではAVR® DAマイクロコントローラ ファミリの低消費電力モードと機能の概要を紹介します。各種スリープモードにおける消費電流をPower Debugger ([ATPOWERDEBUGGER](#))を使って比較します。

さらに、Curiosity Nanoボードを改変して電力を計測する方法、Power Debuggerの使い方、利用可能なスリープモードとその他の省電力機能についても説明します。



テストに使ったコードをGitHubで見る

[クリックしてリポジトリを閲覧](#)

目次

はじめに	1
1. スリープモードとスリープ コントローラ	3
1.1. アイドル スリープモード	3
1.2. スタンバイ スリープモード	3
1.3. パワーダウン スリープモード	4
1.4. avr/sleep.hライブラリ	4
1.5. スリープへの移行	4
1.6. スリープモードの終了	4
2. Curiosity Nanoボードの改変	5
3. Power Debuggerを使った電力の計測	6
4. マイクロコントローラの電力モードのテスト	9
4.1. MCCの設定	9
5. 消費電力低減のためのヒント	16
6. まとめ	17
7. 参考文献	18
8. 改訂履歴	19
Microchip社のウェブサイト	20
製品変更通知サービス	20
お客様サポート	20
Microchip社のデバイスコード保護機能	20
法律上の注意点	21
商標	21
品質管理システム	22
各国の営業所とサービス	23

1. スリープモードとスリープコントローラ

AVR DAマイクロコントローラは、アクティブ、アイドル、スタンバイ、パワーダウンの4通りのモードで動作できます。アクティブモードはコードを実行可能なモードです。その他3つのモードはアプリケーションの全体的な消費電力を低減するスリープモードです。

これらのモードは、スリープコントローラの制御A (SMODE.CTRLA)レジスタのスリープモード(SMODE)ビットフィールドで設定します。スリープモードの1つを有効にするには同レジスタのスリープイネーブル(SEN)ビットをセットする必要があります。

70°Cを超える温度レンジでは、SLPCTRL.VREGCTRLレジスタのHTLLENビットを使って消費電力を低減できます(高温対応低リークイネーブル)。この機能を有効にした場合、アドレス一致とCCL(構成可能なカスタムロジック)の復帰要因が使えなくなくなるためユーザによって無効化する必要があります。

図1-1. スリープコントローラの制御Aレジスタ

Name:	CTRLA
Offset:	0x00
Reset:	0x00
Property:	-

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
					SMODE[2:0]			SEN
Access					R/W	R/W	R/W	R/W
Reset					0	0	0	0

Bit 3:1 - SMODE[2:0] スリープモード

これらのビットに書き込む事で、目的とするスリープモードを選択します。そのスリープモードへの移行は、スリープイネーブル(SEN)ビットに「1」が書き込まれた状態でSLEEP命令が実行された時に発生します。

値	名称	説明
0x0	IDLE	アイドルモードが有効
0x1	STANDBY	スタンバイモードが有効
0x2	PDOWN	パワーダウンモードが有効
Other	-	予約済み

Bit 0 - SEN スリープイネーブル

SLEEP命令を実行してマイクロコントローラを選択したスリープモードに移行させる前に、このビットに「1」を書き込んでおく必要があります。

1.1. アイドルスリープモード

アイドルスリープモードでは、コードの実行は停止し、全ての周辺モジュールが動作中で、全ての割り込み要因によりデバイスを復帰させる事ができます。

1.2. スタンバイスリープモード

スタンバイスリープモードでは、有効になっている周辺モジュールによって消費電力が変わります。ほとんどの周辺モジュールは、スリープモード中にその周辺モジュールを動作させるよう設定できるランインスタンバイ(RUNSTBY)ビットを備えています。

1.3. パワーダウン スリープモード

パワーダウン スリープモードでは、WDT(ウォッチドッグ タイマ)とPIT(周期割り込みタイマ)を除く全ての周辺モジュールが停止します。復帰要因として使えるのはピン状態変化割り込み、TWIアドレス一致、フィルタ処理とエッジ検出を無効にしたCCLのみです。

このモードでは、OSCHF(高周波数オシレータ)は停止され、32.768 kHzオシレータのみが動作します。

1.4. avr/sleep.hライブラリ

マイクロコントローラにスリープに移行するように指示するアセンブリ命令はSLEEP命令です。Cコードとの統合を簡単にするため、スリープ移行を容易にする関数を提供するavr/sleep.hライブラリが作成されました。

Cライブラリ avr/sleep.h は関数 `sleep_enable()`、`sleep_disable()`、`set_sleep_mode(<mode>)`、`sleep_cpu()`、`sleep_mode()` を提供します。

関数 `set_sleep_mode(<mode>)` はマクロ `SLEEP_MODE_IDLE`、`SLEEP_MODE_STANDBY`、`SLEEP_MODE_PWR_DOWN` のどちらかを引数として受け取ります。この関数をこれらのマクロのどちらかと組み合わせて使う事で、対応するスリープモードが設定されます。

関数 `sleep_enable()` はSENビットをセットし、関数 `sleep_disable()` は同ビットをクリアします。

関数 `sleep_cpu()` はSLEEP命令を呼び出します。

関数 `sleep_mode()` は以上の関数を組み合わせたものです。 `sleep_enable()` を呼び出し、続けて `sleep_cpu()` を呼び出します。デバイスが復帰すると、関数 `sleep_disable()` が呼び出された後、プログラムが通常通り続行されます。

1.5. スリープへの移行

スリープモードに移行するには、先に関数 `set_sleep_mode(<mode>)` で必要なスリープモードを設定してから `sleep_mode()` を呼び出します。マイクロコントローラがスリープ状態になり、適切な割り込みを受信すると復帰します。

1.6. スリープモードの終了

マイクロコントローラは割り込みを受信するとスリープから復帰します。つまり、スリープから復帰するためにはグローバル割り込みを有効にしておく必要があります。スリープモードによっては、デバイスを復帰させる要因が限定されます。

アイドル スリープモードでは、有効な全ての割り込み要因でデバイスが復帰します。

スタンバイ スリープモードでは、スタンバイ スリープモードで動作するように設定されている周辺モジュールのみが割り込みを生成できます。

パワーダウン スリープモードでは、PIT、ウォッチドッグ、ピン変更、TWIアドレス一致、フィルタ処理とエッジ検出を無効にしたCCLのみがデバイスを復帰させる事ができます。

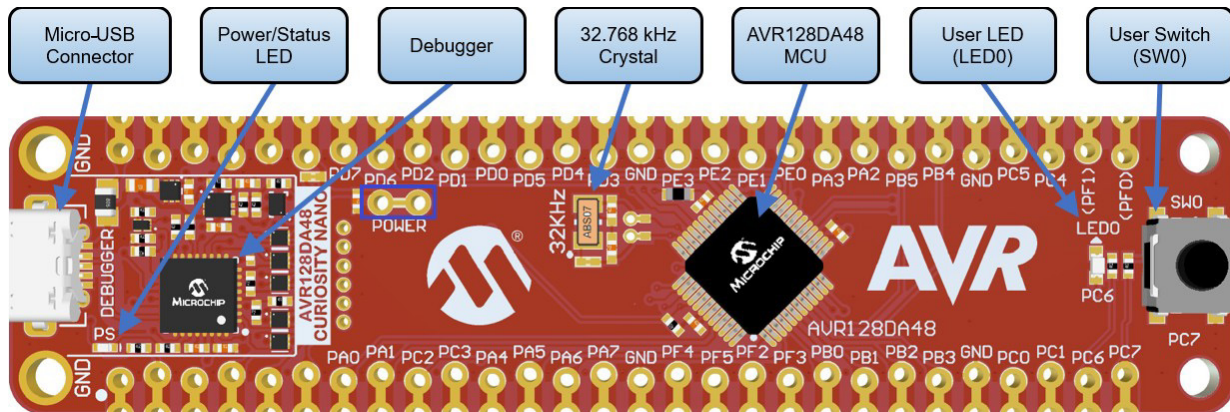
スリープから復帰するには、6クロックサイクルに加え、メインオシレータとレギュレータがスタンバイ スリープモードまたはパワーダウン スリープモードから復帰するのにかかる時間が必要です。

2. Curiosity Nanoボードの改変

AVR128DA48 Curiosity Nanoボードには上述のマイクロコントローラ、レギュレータ、Nano Embedded Debuggerが実装されています。これらのデバイスはUSBポートを介して素早くプログラムするには便利ですが、電力を消費するため、正確な電力計測ができなくなります。

幸い、Curiosity Nanoボードにはピンを差し込むためのホールが2つ用意されています。これらのホールはPOWERというラベルが付いた部品面側の銅箔トレースによってつながっています。このトレースを切断し、2つのホールにピンをはんだ付けすれば、デバイスの正確な消費電力を測定可能な電流計をこれらのポイントに接続できるようになります。

図2-1. Curiosity Nanoボード



USBコネクタに近いホールからAVR128DA48に近いホールに向かって電流が流れます。

トレースを切断した場合、通常使用時やUSBからプログラムするにはピンをジャンパで接続して使います。

図2-2. 改変後のCuriosity Nanoボード

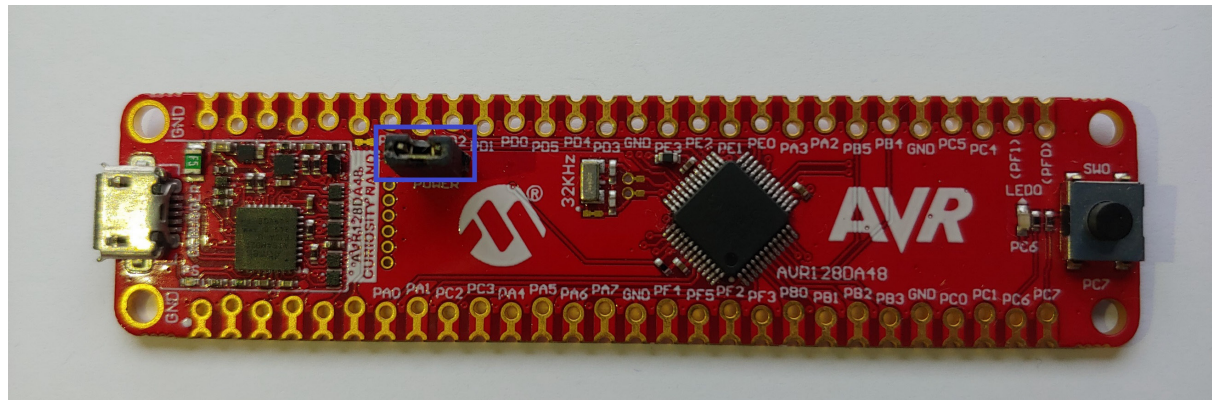


図2-2は2本のピンをジャンパで接続してプログラミングできるようにした改変後のボードを示しています。

3. Power Debuggerを使った電力の計測



Info: これらの電力計測は Curiosity Nano ボードの 2 本のはんだ付けされたピンに接続した電流計モードのマルチメータで行えます。

図3-1. マルチメータ セットアップによる電流計測



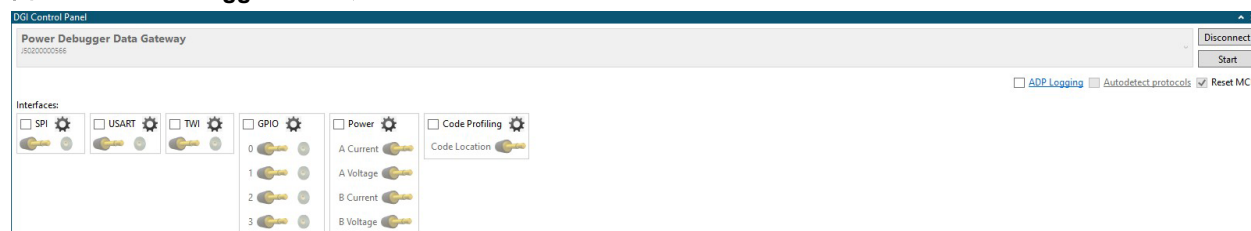
Power Debuggerを使うには、Atmel StudioのData Visualizerを利用する必要があります。Atmel Studioを開き、[\[Tools\] → \[Data Visualizer\]](#)を選択します。[\[DGI Control Panel\]](#)タブを展開し、[\[Power Debugger Data Gateway\]](#)を選択します。

図3-2. [DGI Control Panel]タブ



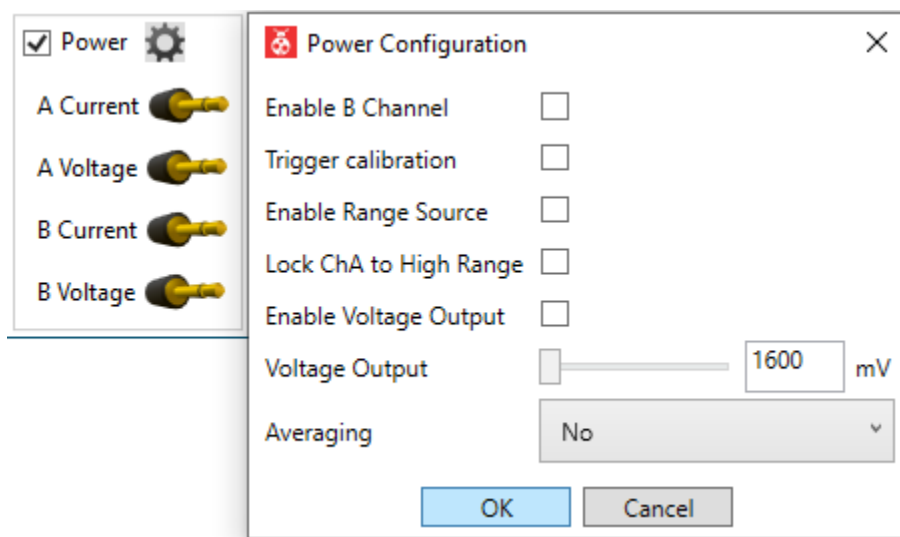
[Connect]をクリックすると複数のインターフェイスが表示されます。

図3-3. Power Debuggerのインターフェイス



Powerインターフェイスの左上にある空のボックスをクリックして、[Settings]メニューを開きます。

図3-4. Power Configuration

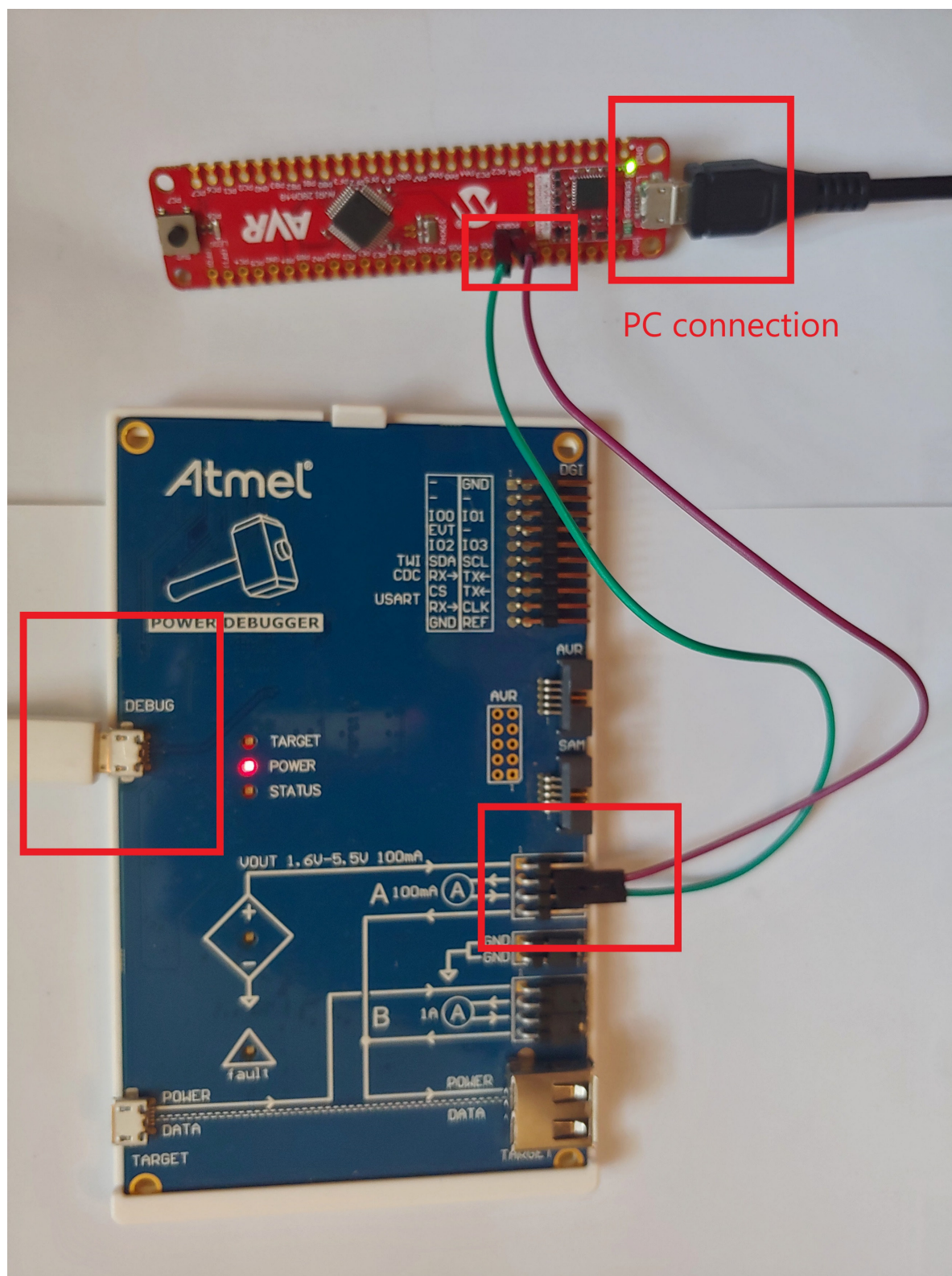


[Settings]タブでBチャンネルを無効にします。出力電圧を有効にし、必要な値に設定する事でPower Debuggerからもデバイスに給電できます。

このアプリケーションでは、Power Debuggerの電流計機能のみが必要です。Aの電流計に入るラインをCuriosity Nanoボード上のNano Embedded Debuggerに近いピンを接続し、電流計から出るラインをCuriosity Nanoボード上のAVR128DA48に近いピンに接続します。

全て正しく設定されている事を確認したら、Atmel Studioの[DGI Control Panel]で[Start]をクリックし、デバイスの消費電流をリアルタイムで観察します。

図3-5. Power Debuggerの接続



4. マイクロコントローラの電力モードのテスト

ここでは、USARTで制御されるプログラムを使って、各種モードの消費電力を示します。このプログラムは起動時にメニューを表示します。ユーザは対応するキーを押す事で利用可能な機能のいずれかを選択できます。

6つの機能が利用可能です。最初の4つの機能は静的消費をテストするモードを設定します。後の2つの機能はもう少し複雑です。1つは、使用可能な各モードを4秒ずつ順番に繰り返します。もう1つはバッテリー駆動のセンサ アプリケーションの長いディープスリープと短い復帰動作をシミュレートします。

アプリケーションはMPLAB® XのMCCで構成され、この[GitHubリポジトリ](#)で公開されています。



テストに使ったコードをGitHubで見る

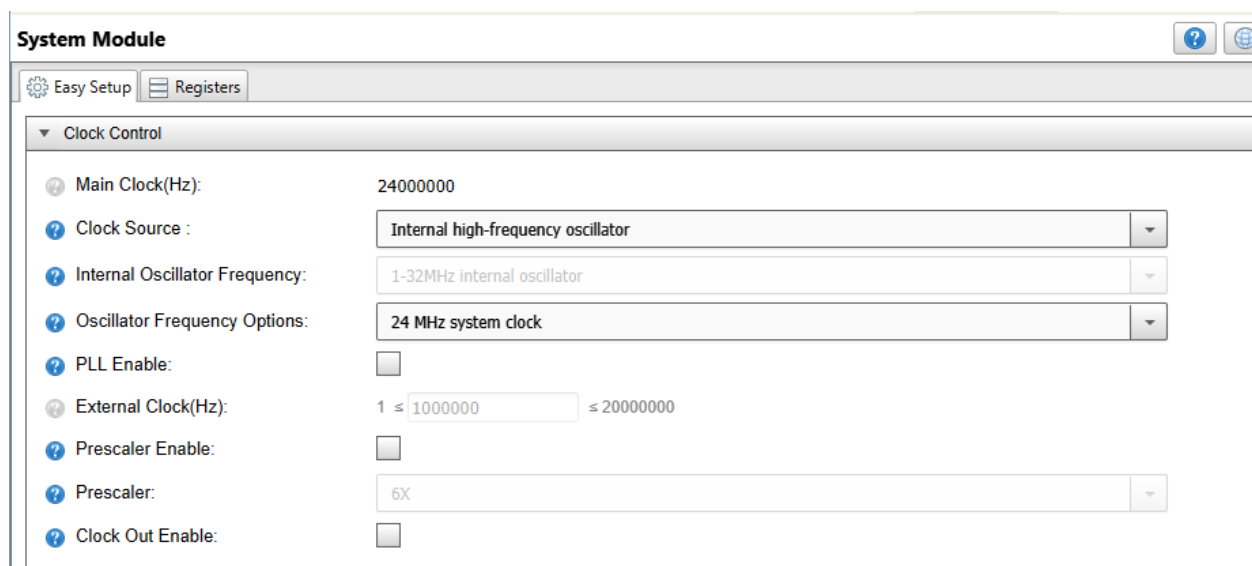
クリックしてリポジトリを閲覧

4.1. MCCの設定

システム モジュール

- Clock Source: Internal high-frequency oscillator
- Oscillator Frequency Options: 24 MHz system clock
- Prescaler Enable: 無効

図4-1. システム モジュールの設定



RTC

- RTC Clock Source Selection: Internal 1.024 kHz oscillator
- PIT: Periodic Interrupt Enable: チェックを入れる

図4-2. RTCとPITの設定

RTC

Easy Setup | Registers

▼ Software Settings

API Prefix: RTC

▼ Hardware Settings

Enable RTC: ☐

RTC Clock(Hz): 1024

RTC Clock Source Selection: Internal 1.024 kHz oscillator

External Clock(Hz): 1 ≤ 32000 ≤ 32000

Prescaling Factor: RTC Clock / 1

Compare: 1 s ≤ 0 s ≤ 64 s

Actual Compare: 0 s

Period: 1 s ≤ 0 s ≤ 64 s

Actual Period: 0 s

▼ Periodic Interrupt Timer

PIT Enable: ☐

Period Selection: RTC Clock Cycles 4096

Periodic interrupt Enable: ☒

USART

- API Prefix: Terminal
- Interrupt Driven: チェックを入れる
- Printf support: チェックを入れる
- Baud Rate: 115200
- Transmit Interrupt Enable: チェックを入れる
- Receive Interrupt Enable: チェックを入れる

図4-3. USARTの設定

USART1

Easy Setup | Registers

▼ Software Settings

API Prefix: Terminal

Interrupt Driven: ☒

RX Buffer Size (Bytes): 8

TX Buffer Size (Bytes): 8

Printf support: ☒

▼ Hardware Settings

Mode: Async Mode

Baud Rate: 1 ≤ 115200 ≤ 1000000

Error Percent: -0.040%

Enable USART Receiver: ☒

Enable USART Transmitter: ☒

Parity Mode: No Parity

Stop Bit Mode: 1 stop bit

Character Size: Character size: 8 bit

▼ Interrupt Settings

Transmit Interrupt Enable: ☒

Receive Interrupt Enable: ☒

Pin ModuleとPin Manager

- PC0を出力TXDにする
- PC1を入力RXDにする
- PC6を出力、初期値Highに設定する
- PC7に「Button」という名前を付け、プルアップを有効にし、割り込みは両方のエッジで検出する

図4-4. ピンモジュールの設定

Pin Module

Easy Setup | Registers

Selected Package: QFN48

Pin Name	Module	Function	Custom Name	OUTPUT	START HIGH	INVEN	PULLUPEN	ISC
PC0	USART1	TXD		☒	☐	☐	☐	Interru... ▼
PC1	USART1	RXD		☐	☐	☐	☐	Interru... ▼
PC6	Pin Module	GPIO	IO_PC6	☒	☒	☐	☐	Interru... ▼
PC7	Pin Module	GPIO	Button	☐	☐	☐	☒	Sense B... ▼

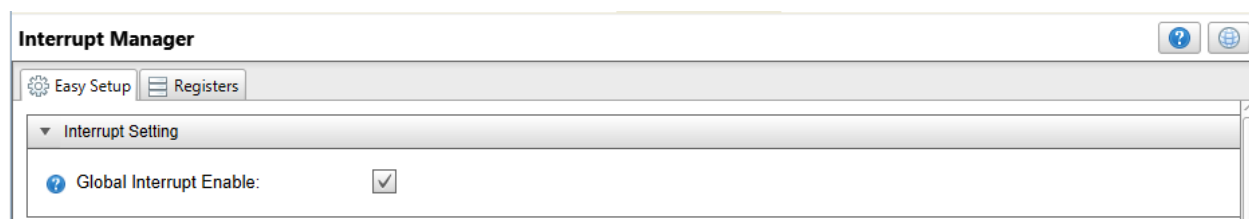
図4-5. Pin Manager: Grid View

Output		Notifications [MCC]		Pin Manager: Grid View ×																																												
Package:	QFN48		Pin No:	44	45	46	47	48	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40				
				Port A ▼								Port B ▼								Port C ▼								Port D ▼								Port E ▼				Port F ▼								
Module	Function	Direction		0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	6		
Pin Module ▼	GPIO	input																																														
	GPIO	output																																														
RSTCTRL	RESET	input																																														
USART1 ▼	RXD	in/out																																														
	TXD	output																																														

Interrupt Manager

- Global Interrupt Enable: チェックを入れる

図4-6. 割り込みマネージャの設定



電力読み値が乱れないように、生成されたpin_manager.cファイルで以下の行を編集し、未使用のピンを全て出力に設定します。

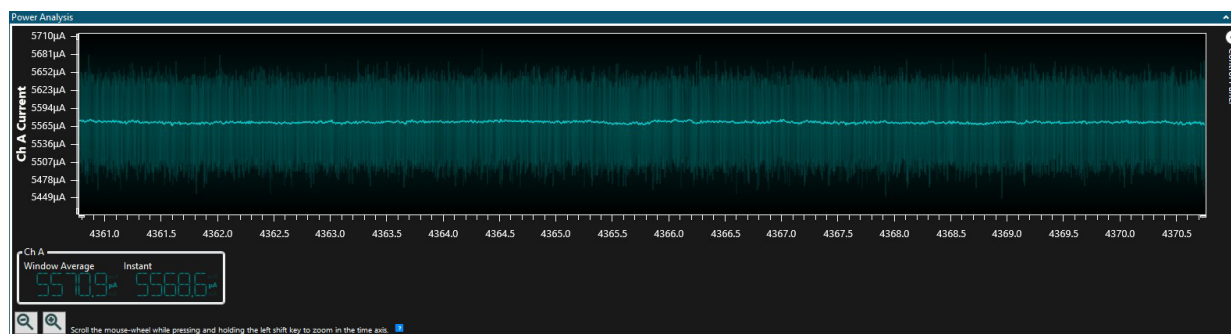
```
/* DIR Registers Initialization */
PORTA.DIR = 0xFF;
PORTB.DIR = 0xFF;
PORTC.DIR = 0x7D;
PORTD.DIR = 0xFF;
PORTE.DIR = 0xFF;
PORTF.DIR = 0xFF;
```

main.cファイルにUSARTから呼び出す事ができる各種命令のコードが含まれています。

アクティブモード

このモードにアクセスするにはUSARTで文字「a」または「A」を送信します。このモードはマイクロコントローラをアクティブに保ち、新しい文字を送信する事によって解除できます。

図4-7. アクティブモード中の消費電力

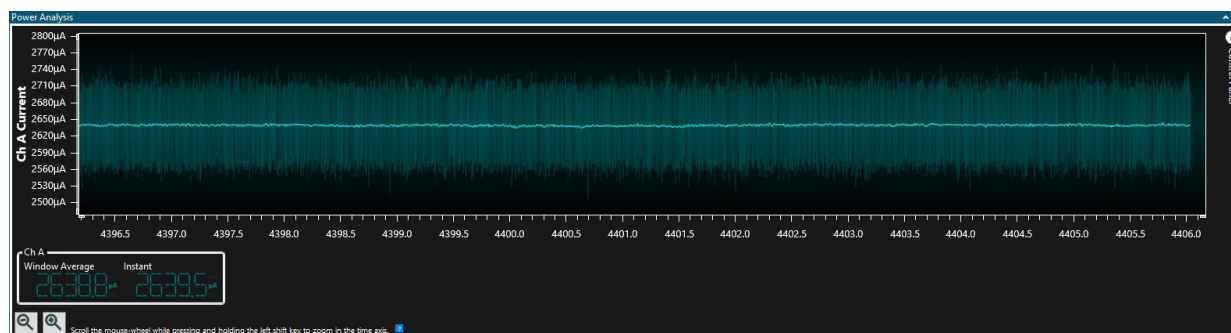


高周波数オシレータがフルパワーで動作している時の平均消費電力です。

アイドル スリープモード

このモードにアクセスするにはUSARTで文字「i」または「I」を送信します。このモードはマイクロコントローラをアイドル スリープモードに移行させます。この時、高周波数オシレータは低消費電力モードで動作を継続し、マイクロコントローラがスリープモードを終了するとすぐに動作できます。このモードを終了するには、USARTで新しい文字を送信します。

図4-8. アイドル スリープモード中の消費電力

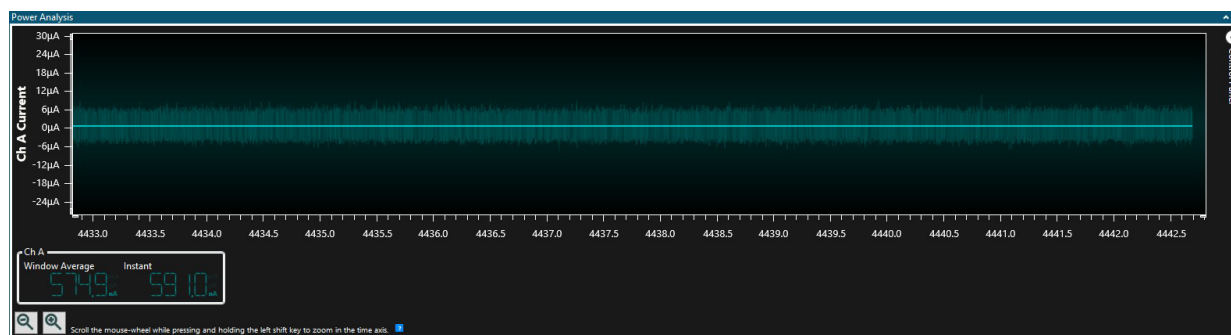


アイドル スリープモード中に高周波数オシレータが消費する電力はアクティブモードの場合の約半分です。アクティブモードで動作している周辺モジュールが多い場合、消費電力は増加します。

スタンバイ スリープモード

このモードにアクセスするにはUSARTで文字「s」または「S」を送信します。このモードはマイクロコントローラをスタンバイ スリープモードに移行させます。このプログラムでは、スタンバイ スリープモードで動作している周辺モジュールはありません。そのため、消費電力はオシレータによるもののみです。このモードを終了するにはボード上のボタンを押してから、新しい文字を送信する必要があります。

図4-9. スタンバイ スリープモード中の消費電力

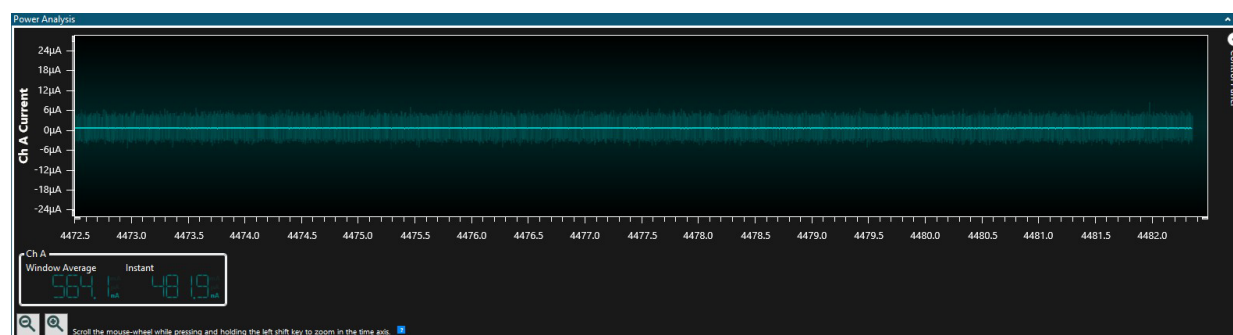


このモード中の消費電力は動作している周辺モジュールの数に大きく依存します。この例では動作している周辺モジュールがないため、消費電力はパワーダウン スリープモードと同様です。

パワーダウン スリープモード

このモードにアクセスするにはUSARTで文字「p」または「P」を送信します。このモードはマイクロコントローラをパワーダウン スリープモードに移行させます。高周波数オシレータはOFFになり、32.768 kHzの内部オシレータのみが動作します。このモードを終了するにはボード上のボタンを押してから、新しい文字を送信する必要があります。

図4-10. パワーダウン スリープモード中の消費電力



このモードの消費電力は、アクティブな周辺モジュールが存在しない場合のスタンバイ スリープモードの消費電力と同じです。

サイクル命令

この命令はUSARTで文字「c」または「C」を送信する事で開始されます。この命令では、PITでタイミング制御された4秒のインターバルで上記の全てのモードを順番に繰り返します。この命令は完了するまで実行され、途中で停止できません。実行終了後、新しい文字を送信できます。

図4-11. 各モードの消費電力の相対的な比較

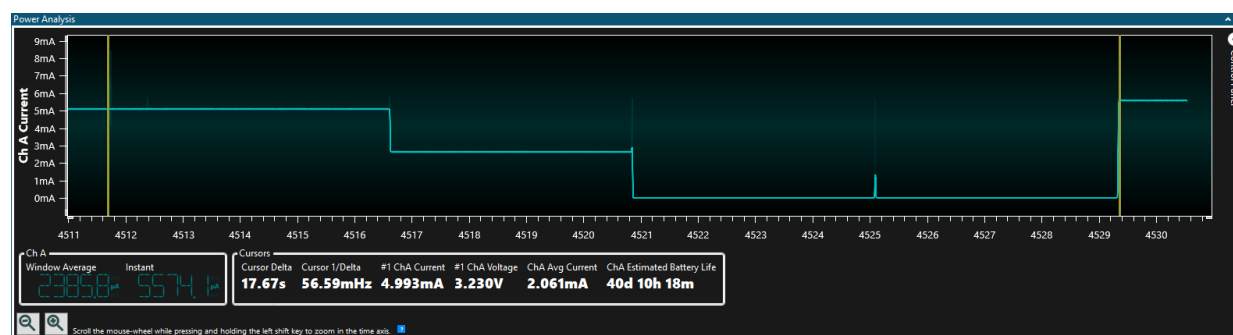
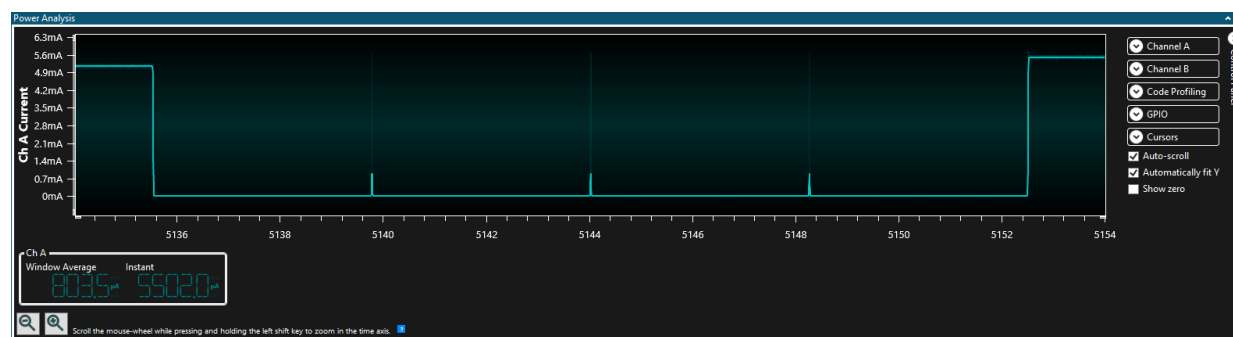


図4-11は各種モードの消費電力の違いを示しています。アイドル スリープモードの消費電力はアクティブモードの約半分で、スタンバイ スリープモードとパワーダウン スリープモードは他のスリープモードと比べてほとんど電力を消費しません。

ディープスリープおよび短時間復帰命令

この命令はUSARTで文字「w」または「W」を送信する事で開始されます。バッテリー駆動の一般的なセンサ アプリケーションをシミュレートします。4秒間のパワーダウン スリープモードの後、短時間のセンサ読み取りをシミュレートするメッセージを送信します。このサイクルは4回繰り返され、PITによりタイミング制御されます。この命令は完了するまで実行され、途中で停止できません。実行終了後、新しい文字を送信できます。

図4-12. センサ読み取りのための復帰時の消費電力



短い電流スパイクは、マイクロコントローラが復帰してセンサを読み出すタイミングを表しています。

既定のコマンド

上記に記載した以外の文字を送信すると、マイクロコントローラは利用可能なコマンドを含むメニューを再表示します。

5. 消費電力低減のためのヒント

消費電力を低くする一番の方法は、コードを実行する必要がない時は常にマイクロコントローラをスリープさせる事です。コードのダウタイムを特定し、可能な場合は常にマイコンをスリープさせます。

コードの実行はマイクロコントローラがアクティブである事を示すため、その時間を最小限に抑える事ができればより多くの電力を節減できます。これには複数の周辺モジュールと、その他の周辺モジュールのための一部のハードウェア機能が役に立ちます。

1. イベントシステム

省電力に最も役立つ周辺モジュールの1つにイベントシステムがあります。この周辺モジュールはコードを使わずに周辺モジュール間の信号を接続する方法を提供します。

周辺モジュールは割り込み条件に似たイベントを発生させる事ができますが、デバイスを復帰させる事はありません。これらのイベントはイベントシステム経由で接続して他の周辺モジュールの機能をアクティブ化できます。

例えば、タイマのオーバーフローはADCにルーティング可能なイベントを生成し、条件に達するたびに変換が開始されるようにします。

イベントシステムの詳細についてはAVR DAのデータシートに記載されています。

2. ハードウェア機能

多くの周辺モジュールは通常ソフトウェアで実行する機能をハードウェアで実装しています。ここではハードウェアから実行できる便利な機能の例を紹介します。

- ADCは最大128サンプルまで可能なハードウェア積算機能を搭載しています。また、ADCは1つの変換が終了するたびに次の変換を開始するフリーランニングモードに設定できます。
- 2つのタイマBインスタンスをカスケード接続して32ビットタイマにできます。
- USARTは誤り検出機能と誤り訂正機能を備えています。
- TWIは全てのスリープモードでアドレス一致機能を提供しています。

さらに、アナログ コンパレータ(AC)はスイッチング速度を低下させる代わりに消費電力を低減する省電力モードを備えています。この機能はACの制御A (CTRLA)レジスタにあります。

図5-1. アナログ コンパレータの消費電力プロファイル

Bit 4:3 - POWER[1:0] 消費電力プロファイル

この設定は、コンパレータを流れる電流を制御し、ACが応答時間と消費電力のトレードオフを可能にします。消費電力と応答時間については、「電気的特性」を参照してください。

値	名称	説明
0x0	PROFILE0	消費電力プロファイル 0。応答時間が最短で、消費電力が最大。
0x1	PROFILE1	消費電力プロファイル 1
0x2	PROFILE2	消費電力プロファイル 2
0x3	-	予約済み

3. CCL(構成可能なカスタムロジック) モジュール

このモジュールを使うと、カスタムロジック関数をハードウェア内で直接作成できます。通常ソフトウェアで実行するタスクをこの周辺モジュールに割り当てる事で、マイクロコントローラのコアをスリープさせられます。

例えば、SOS信号を送信するアプリケーションは、遅延やピン状態変化を使ってソフトウェア的に実装する事も、CCLを使ってSOS信号を生成するカスタム回路を作成する事もできます。詳細は『[Core Independent Solution Using AVR DA Peripherals Lab Training Manual](#)』を参照してください。

6. まとめ

消費電力を最小限に抑える必要があるアプリケーションを設計する場合、考慮すべき設計上の注意事項が複数あります。

マイクロコントローラはCPUの動作時間を可能な限り短くする必要があります。アプリケーションはスリープモードの時間をできるだけ長くし、素早く復帰してタスクを実行し、再びスリープ状態に戻る必要があります。

AVR DAマイクロコントローラにはアイドル、スタンバイ、パワーダウンの3つのスリープモードがあり、低消費電力アプリケーションの設計に最適な優れた柔軟性を備えています。また、周辺モジュール間の通信を可能にするイベントシステムにより、CPUを介さずに周辺モジュール間でアクションをトリガできます。そのため、CPUは消費電力ゼロでスリープ状態を維持するか、または他のタスクを実行し続ける事ができます。

スリープ コントローラの機能とCPUスリープ中の周辺モジュール間通信機能を活用する事で、低消費電力設計が可能になります。

7. 参考文献

1. [AVR128DA28/32/48/64データシート](#)
2. [Getting Started with CCL](#)
3. [AVR® DA Training Manuals](#):
 - [Low-Power Modes Using Curiosity Nano](#)
 - [Differential ADC Using the AVR128DA48 Curiosity Nano](#)
 - [Core Independent Solution Using AVR DA Peripherals Lab](#)
4. [AVR® DAのサンプルコード](#)

8. 改訂履歴

文書リビジョン	日付	改訂内容
A	2020 年 10 月	初版

Microchip社のウェブサイト

Microchip社はウェブサイト(www.microchip.com)を通してオンライン サポートを提供しています。当ウェブサイトでは、お客様に役立つ情報やファイルを提供しています。以下を含む各種の情報をご覧になれます。

- **製品サポート** - データシートとエラッタ、アプリケーション ノートとサンプル プログラム、設計リソース、ユーザガイドとハードウェア サポート文書、最新のソフトウェアと過去のソフトウェア
- **技術サポート** - FAQ(よく寄せられる質問)、技術サポートのご依頼、オンライン ディスカッション グループ、Microchip社のデザイン パートナー プログラムおよびメンバーリスト
- **ご注文とお問い合わせ** - 製品セレクトと注文ガイド、最新プレスリリース、セミナー/イベントの一覧、お問い合わせ先(営業所/正規代理店)の一覧

製品変更通知サービス

Microchip社の製品変更通知サービスは、お客様にMicrochip社製品の最新情報をお届けする配信サービスです。ご興味のある製品ファミリまたは開発ツールに関する変更、更新、リビジョン、エラッタ情報をいち早くメールにてお知らせします。

<http://www.microchip.com/pcn>にアクセスし、登録手続きをしてください。

お客様サポート

Microchip社製品をお使いのお客様は、以下のチャンネルからサポートをご利用頂けます。

- 正規代理店
- 技術サポート

サポートは正規代理店にお問い合わせください。本書の最後のページに各国の営業所の一覧を記載しています。

技術サポートは以下のウェブページからもご利用頂けます。

www.microchip.com/support

Microchip社のデバイスコード保護機能

Microchip 社製品のコード保護機能について以下の点にご注意ください。

- Microchip社製品は、該当するMicrochip 社データシートに記載の仕様を満たしています。
- Microchip社では、通常の条件ならびに動作仕様書の仕様に従って使った場合、Microchip 社製品のセキュリティレベルは、現在市場に流通している同種製品の中でも最も高度であると考えています。
- Microchip社はその知的財産権を重視し、積極的に保護しています。Microchip 社製品のコード保護機能の侵害は固く禁じられており、デジタル ミレニアム著作権法に違反します。
- Microchip社を含む全ての半導体メーカーで、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、Microchip 社が製品を「解読不能」として保証するものではありません。コード保護機能は常に進化しています。Microchip 社では、常に製品のコード保護機能の改善に取り組んでいます。

法律上の注意点

本書および本書に記載されている情報は、Microchip 社製品を設計、テスト、お客様のアプリケーションと統合する目的を含め、Microchip 社製品に対してのみ使う事ができます。それ以外の方法でこの情報を使う事はこれらの条項に違反します。デバイス アプリケーションの情報は、ユーザの便宜のためにのみ提供されるものであり、更新によって変更となる事があります。お客様のアプリケーションが仕様を満たす事を保証する責任は、お客様にあります。その他のサポートは Microchip 社正規代理店にお問い合わせ頂くか、<https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services>をご覧ください。

Microchip 社は本書の情報を「現状のまま」で提供しています。Microchip 社は明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、非侵害性、商品性、特定目的への適合性の暗黙的保証、または状態、品質、性能に関する保証をはじめとするいかなる類の表明も保証も行いません。

いかなる場合も Microchip 社は、本情報またはその使用に関連する間接的、特殊的、懲罰的、偶発的または必然的損失、損害、費用、経費のいかににかかわらず、また Microchip 社がそのような損害が生じる可能性について報告を受けていた場合あるいは損害が予測可能であった場合でも、一切の責任を負いません。法律で認められる最大限の範囲を適用しようとも、本情報またはその使用に関連する一切の申し立てに対する Microchip 社の責任限度額は、使用者が当該情報に関連して Microchip 社に直接支払った額を超えません。

Microchip 社の明示的な書面による承認なしに、生命維持装置あるいは生命安全用途に Microchip 社の製品を使う事は全て購入者のリスクとし、また購入者はこれによって発生したあらゆる損害、クレーム、訴訟、費用に関して、Microchip 社は擁護され、免責され、損害をうけない事に同意するものとします。特に明記しない場合、暗黙的あるいは明示的を問わず、Microchip 社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip 社の名称とロゴ、Microchip ロゴ、Adapttec、AVR、AVR ロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi ロゴ、MOST、MOST ロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST ロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGA は米国とその他の国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLightLoad、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus ロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、ZL は米国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、KoD、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified ロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、RippleBlocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、TotalEndurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、ZENA は米国とその他の国における Microchip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は米国におけるMicrochip Technology Incorporated のサービスマークです。

Adaptec ロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom はその他の国におけるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

GestIC は、その他の国におけるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KG (Microchip Technology Incorporated の子会社) の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2023, Microchip Technology Incorporated and its subsidiaries.

All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-6683-2432-5

品質管理システム

Microchip社の品質管理システムについてはwww.microchip.com/qualityをご覧ください。

各国の営業所とサービス

南北アメリカ	アジア/太平洋	アジア/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術サポート: http://www.microchip.com/support URL: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースティン、TX Tel: 512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン、TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー、NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク、NY Tel: 631-435-6000 サンノゼ、CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港SAR Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 厦門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - バンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネ Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストリア - ヴェルス Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガーヒンク Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーゲン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイルブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドヴァ Tel: 39-049-7625286 オランダ - ドリューネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-7288-4388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリード Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - ヨーテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820