
アナログ比較器(AC)での開始に際して

序説

著者: Cristian Pop, Microchip Technology Inc.

Microchip tinyAVR® 0及び1系、megaAVR® 0系、AVR® Dxデバイスには柔軟な入力選択、選択可能なヒステリシス、構成設定可能な出力(上昇/下降または両端での割り込み、事象生成、出力反転)が特徴です。

この技術概説はACの概念と以下の使用事例と共にtinyAVR® 0及び1系、megaAVR® 0系、AVR® Dxデバイスでのそれの実装を説明します。

- **基準交差検出器:**

この例は重要なアナログ信号の値に達する時(例えば、電池の量)を検出するためにACをどう使うかを示します。

- **誤った尖頭雑音検出防止:**

この例は雑音の多い環境で誤った遷移数を最小にするためにヒステリシス機能をどう使うかを実演します。

- **アナログ信号パルス持続時間/周波数測定:**

例は最小のAVRコアの介在でアナログ信号のパルス持続時間や周期を測定するのに計時器と共にACをどう使うかを記述します。

注: この文書で記述される各使用事例に対して2つのコード例があります。1つはATmega4809で素の状態が開発され、1つはAVR128DA48が開発されたMPLAB®コード構成部(MCC)で生成されました。



GitHubでATmega4809コード例を見てください。

貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。



GitHubでAVR128DA48コード例を見てください。

貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

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	4
1.2. tinyAVR® 1系統	4
1.3. megaAVR® 0系統	4
1.4. AVR® DA系概要	4
2. 概要	5
3. 基準交差検出器	5
4. 誤った尖頭雑音検出防止	8
5. アナログ信号パルス持続時間/周波数測定	9
6. 参照文献	10
7. 改訂履歴	10
8. 追補	11
Microchipウェブサイト	15
製品変更通知サービス	15
お客様支援	15
Microchipデバイスコード保護機能	15
法的通知	15
商標	16
品質管理システム	16
世界的な販売とサービス	17

1. 関連デバイス

本章はこの文書に関連するデバイスを一覧にします。以下の図はピン数の変種とメモリ量を展開して各種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で可能です。tinyAVR[®] 1系統デバイスでの下方向移植はいくつかの周辺機能のより少ない利用可能な実体のため、コード変更を必要とするかもしれません。
- 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また一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

図1-1. tinyAVR[®] 0系統概要

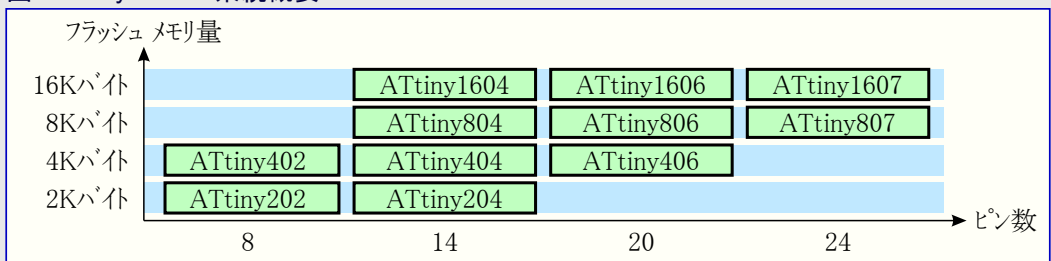


図1-2. tinyAVR[®] 1系統概要

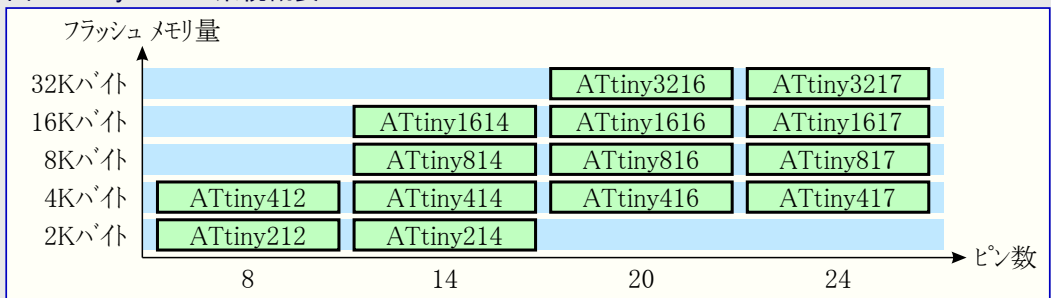


図1-3. megaAVR[®] 0系統概要

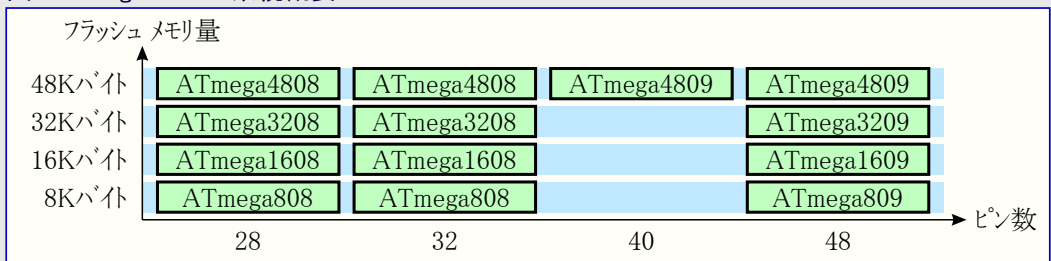
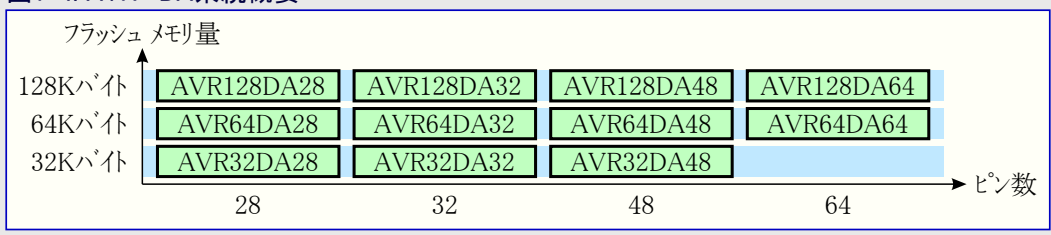


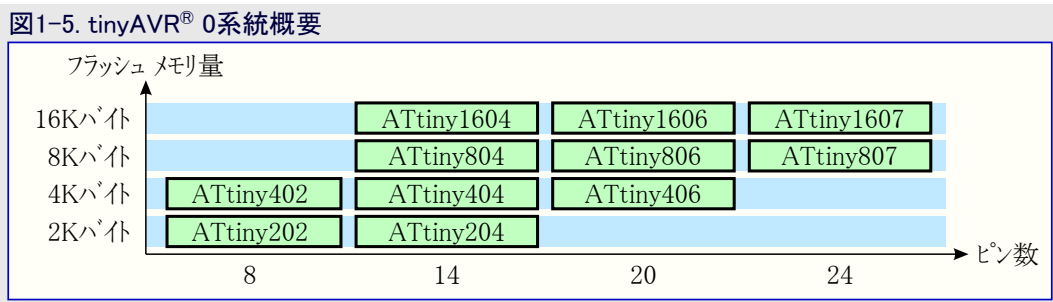
図1-4. AVR[®] DA系統概要



1.1. tinyAVR® 0系統

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してtinyAVR® 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。

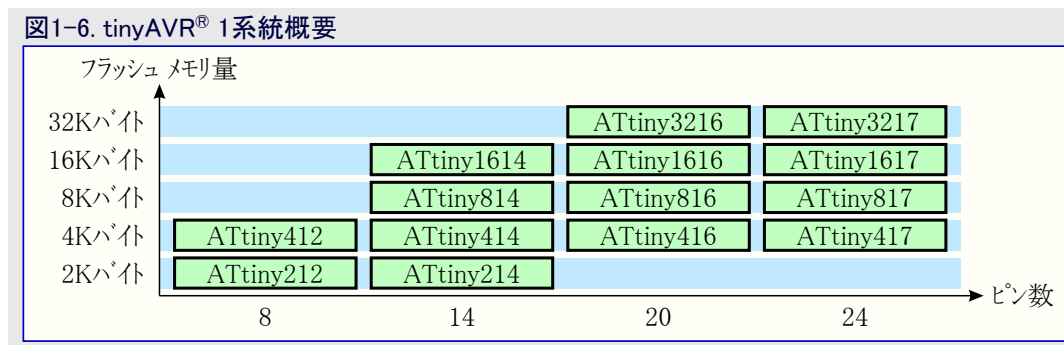


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.2. tinyAVR® 1系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してtinyAVR® 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。

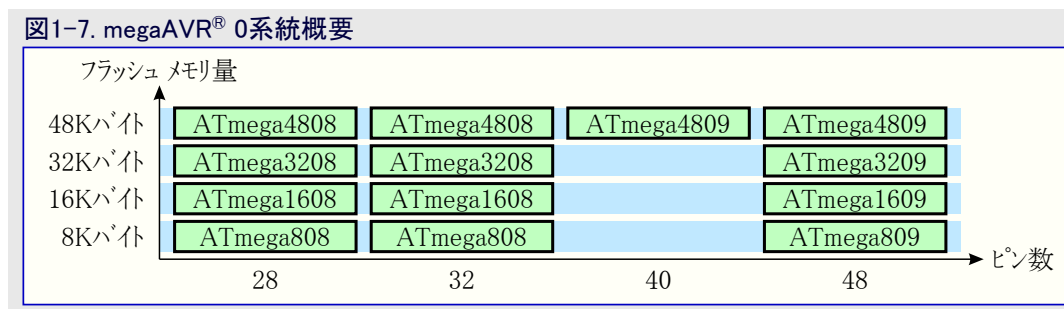


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.3. megaAVR® 0系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してmegaAVR® 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。

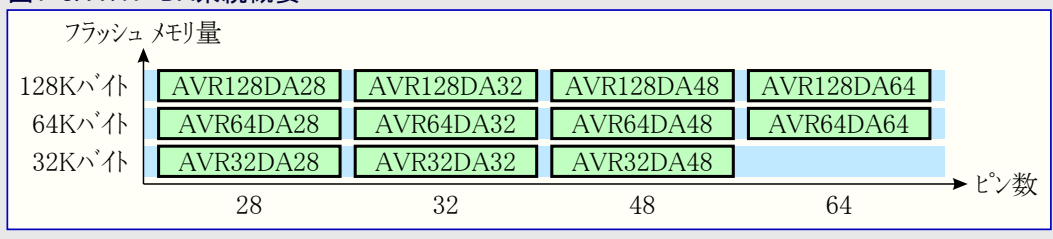


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.4. AVR® DA系概要

次図はピン配置変種とメモリ量を展開してAVR® DA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。

図1-8. AVR[®] DAシステム概要

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量を持ちます。

2. 概要

アナログ比較器(AC)周辺機能は2つの入力の電圧水準を比較して入力の一方が他方よりも高い時を示す信号基準を出力します。ACは基本的に帰還なしの増幅器で、従って非常に高い利得を持ちます。

図2-1. アナログ比較器構成図

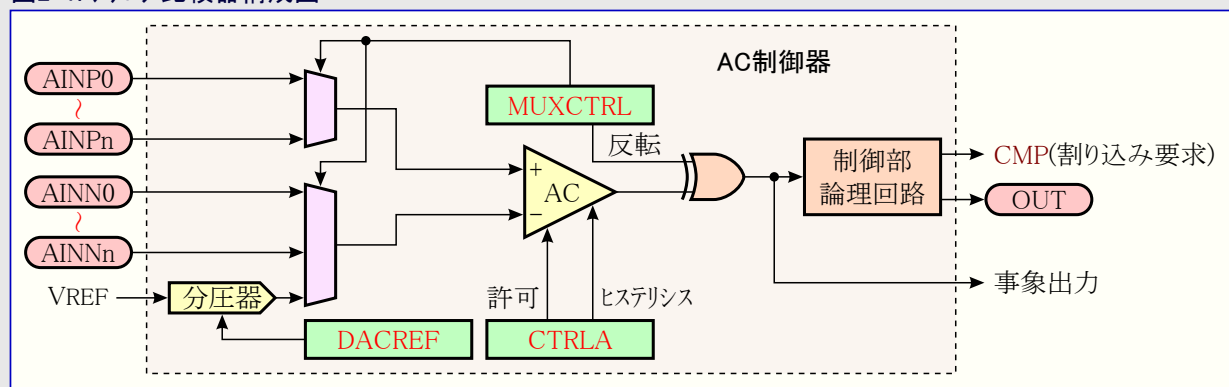


図2-1.はtinyAVR[®] 0及び1系、megaAVR[®] 0系、AVR[®] Dxデバイスに於けるアナログ比較器の構成図を示します。これは2つの入力の電圧水準を比較してこの比較に基づくデジタル出力を与えます。

ACの動的な動きはヒステリシス機能によって調節することができます。ヒステリシスは各応用に対する動作を最適化するために独自設定することができます。入力選択はアナログポートピンと内部的に生成された入力を含みます。

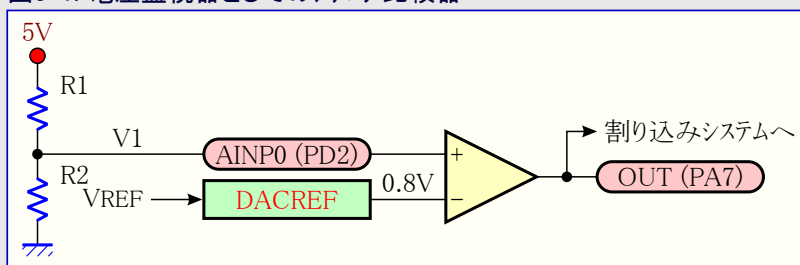
ACは1つの正入力と1つの負入力を持ちます。正入力はアナログ入力ピンの選択から選ぶことができます。負入力はアナログ入力ピン、またはバンドギャップ参照基準電圧(DACREF)のような内部入力から選ぶことができます。比較器からのデジタル出力は正と負の入力電圧間の差が正の時に'1'で、さもなければ'0'です。

ACは様々な異なる入力変化の組み合わせで割り込み要求や事象を生成するように構成設定することができます。AC出力は外部デバイスによって使われるピン上に配給することができます。

3. 基準交差検出器

この例はAC周辺機能に対する基本的な初期化と準備を示します。この応用はアナログ入力信号を監視し、それを固定電圧と比較し、入力信号がその固定電圧基準を横切る時毎に割り込みと出力ピン経由で使用者に通知します。比較器は電池電圧(または何れかの他のDC水準)を監視するのに使うことができます。

図3-1. 電圧監視器としてのアナログ比較器



外部電圧を監視するにはACが入出力ピンを使ってこの電圧に接続されなければなりません。可能な最高の入力インピーダンスを持つために、このピンは禁止されたデジタル入力緩衝部とプルアップ抵抗を持つ必要があります。ATmega4809についてはAC正入力としてポートDの2番(PD2/AINP0)ピンが使われます。

図3-2. AC正入力

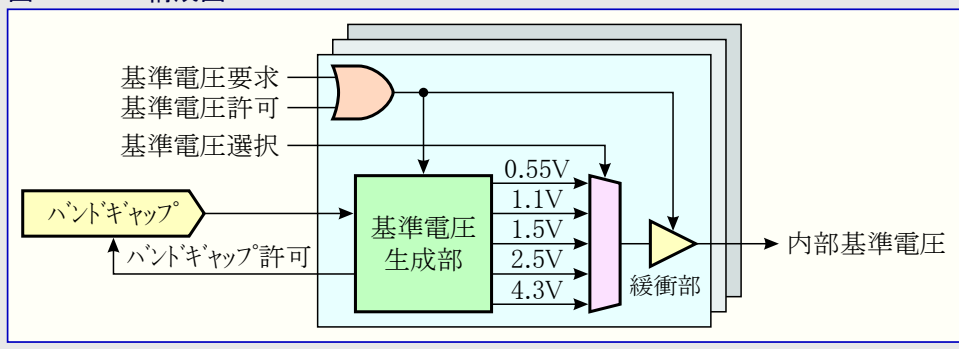
QFN48/ TQFP48	ピン名(注1,2)	特殊	ADC0	AC0
20	PD0		AIN0	
21	PD1		AIN1	AINP3
22	PD2		AIN2	AINP0
23	PD3		AIN3	AINN0

これは以下のコードになります。

```
PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
```

選んだ応用ではACが正入力としてアナログピン、負入力として内部参照基準を使います。基準電圧(VREF)周辺機能は負入力での内部電圧参照基準を使うのに先立って構成設定されなければなりません。

図3-3. VREF構成図



VREFは複数の内部参照基準を選ぶための制御レジスタを提供します。この内部参照基準は内部ハンドキャップから生成されます。

図3-4. VREF.CTRLA – AC電圧参照基準選択

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADCFSEL2~0				AC0REFSEL2~0			
アクセス種別	R	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット2~0 – AC0REFSEL2~0 : AC0基準選択 (AC0 Reference Select)

これらのビットはアナログ比較器(AC0)用の基準電圧を選びます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	0V55	1V1	2V5	4V3	1V5	-	-	AVDD
説明	0.55V	1.1V	2.5V	4.3V	1.5V	(予約)	(予約)	AVDD

参照基準電圧として1.5Vの値が選ばれます。

```
VREF.CTRLA = VREF_AC0REFSEL_1V5_gc;
```

VREF生成を許可するため、参照基準電圧の選択後に出力緩衝部が許可されなければなりません。VREF制御レジスタからAC0REFENビットを設定(1)することによってこれを行ってください。

図3-5. VREF.CTRLB – AC0REFENビット許可

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							ADCFSEL2~0	AC0REFEN
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット0 – AC0REFEN : AC0基準電圧強制許可 (AC0 Reference Force Enable)

このビットへの'1'書き込みは、例えそれが要求されなくても、アナログ比較器(AC0)用の基準電圧の許可を強制します。

このビットへの'0'書き込みは周辺機能による基準源の自動許可/禁止を許します。

これは以下のコードになります。

```
VREF.CTRLB = VREF_ADC0REFEN_bm;
```

ACによって必要とされる周辺機能と単位部の構成設定後、次のようにMUXCTRLAレジスタを使って入力の選択が行われます。

図3-6. AC入力選択

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INVERT		MUXPOS1,0				MUXNEG1,0	
アクセス種別	R/W	R	R	R/W	R/W	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット4,3 – MUXPOS1,0 : 正入力多重器選択 (Positive Input Mux Selection)

このビット領域を書くことはACの正入力への入力信号を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	AINP0	AINP1	AINP2	AINP3
説明	正入力ピン0	正入力ピン1	正入力ピン2	正入力ピン3

● ビット1,0 – MUXNEG1,0 : 負入力多重器選択 (Negative Input Mux Selection)

このビット領域を書くことはACの負入力への入力信号を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	AINN0	AINN1	AINN2	DACREF
説明	負入力ピン0	負入力ピン1	負入力ピン2	内部基準電圧

AC入力として正入力0(AINP0)ピンと内部DAC参照基準が使われます。

```
ACO.MUXCTRLA = AC_MUXPOS_PIN0_gc | AC_MUXNEG_DACREF_gc;
```

ACによって使われるアナログ値(VDACREF)はDACREFレジスタを使って内部参照基準から派生され、その出力電圧は以下によって定義されます。

$$VDACREF = DACREF / 256 \times VREF$$

DACREF値は以下のマクロを使って計算することができます。

```
#define DACREF_VALUE (VDACREF * 256 / VREF)
```

ここでVDACREFはアナログ入力で望む値を表し、VREFは内部参照基準として選んだ値(1.5V)を表します。

重要: この応用を実装するために負入力で0.8Vを選ぶようにDACREFレジスタを構成設定してください。使用者は電池電圧低下閾値(VBAT)に達する時にV1の電圧が以下のように0.8Vになるような方法でR1とR2の抵抗器の正しい組み合わせを選ばなければなりません(図3-1をご覧ください)。

$$V1 = 0.8V = VBAT \times R2 / (R1 + R2)$$

VBAT=3V、R2=10kΩと仮定してR1の値は27.5kΩでなければなりません。

比較器の出力が外部ピンで提供され、重要な水準に達した時を応用に通知するために負端で割り込みが許可されます。それはCTRLAレジスタを使って行われます。

図3-7. AC0.CTRLA – AC設定、割り込みと出力を許可

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY	OUTEN	INTMODE1,0		LPMODE	HYSMODE1,0		ENABLE
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット6 – OUTEN : アナログ比較器出力パッド許可 (Analog Comparator Output Pad Enable)

このビットに'1'を書くことはOUT信号をピンで利用可能にします。

● ビット5,4 – INTMODE1,0 : 割り込み動作 (Interrupt Modes)

これらのビットへの書き込みはAC出力のどの端が割り込み要求を起動するかを選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	BOTHEDGE	-	NEGEDGE	POSEDGE
説明	正負両端	(予約)	負端	正端

● ビット0 – ENABLE : AC許可 (Enable AC)

このビットに'1'を書くことがACを許可します。

これらの設定は以下のコードになります。

```
ACO. CTRLA = AC_ENABLE_bm | AC_INTMODE_NEGEDGE_gc | AC_OUTEN_bm;
```

AC周辺機能割り込みは準備を完了して選んだ割り込みを応用に対して利用可能にするように許可されなければなりません。INTCTLレジスタでCMPビットを使うことによってこれを行ってください。

図3-8. AC0.INTCTRL - AC割り込み許可

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								CMP
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット0 - CMP : アナログ比較器割り込み許可 (Analog Comparator Interrupt Enable)

このビットに'1'を書くことがアナログ比較器割り込みを許可します。



助言: 完全なコード例は「[追補](#)」章でも利用可能です。



GitHubでATmega4809コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

本章で記述されたのと同じ機能を持つAVR128DA48用のMCC生成されたコード例は以下のここで見つけることができます。

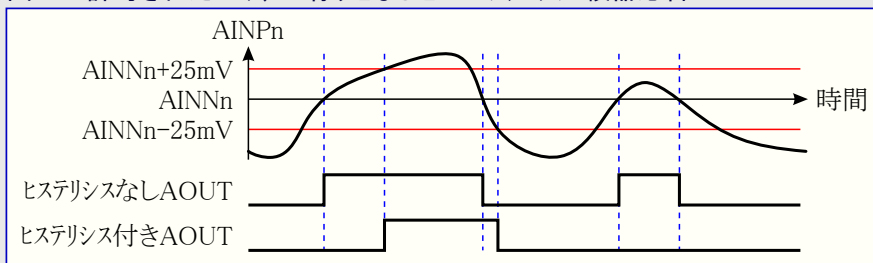


GitHubでAVR128DA48コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

4. 誤った尖頭雑音検出防止

この例は正入力が入力水準の非常に近くを振動する時にACの頻繁な切り替わり回避を助けるAC周辺機能のヒステリシス機能を実演します。この応用は(前の)電圧水準検出器応用と殆ど同じですが、加えて、許可されたヒステリシス動作を持ちます。

図4-1. 許可されたヒステリシス有りとなしとのアナログ比較器応答



制御レジスタでヒステリシス動作選択(HYSMODE1,0)ビット領域に書くことによってヒステリシスを構成設定してください。

図4-2. AC0.CTRLA - ヒステリシス動作形態構成設定

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY	OUTEN	INTMODE1,0		LPMODE	HYSMODE1,0		ENABLE
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0


- ビット2,1 - HYSMODE1,0 : ヒステリシス動作選択 (Hysteresys Mode Select)

これらのビットを書くことはAC入力に対するヒステリシスを選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	SMALL	MEDIUM	LARGE
説明	ヒステリシスなし	ヒステリシス小	ヒステリシス中	ヒステリシス大

中間のヒステリシスがが使われ、これは以下のコードになります。

```
ACO. CTRLA |= AC_HYSMODE_25mV_gc;
```

 助言: 完全なコード例は「[追補](#)」章でも利用可能です。



GitHubでATmega4809コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

本章で記述されたのと同じ機能を持つAVR128DA48用のMCC生成されたコード例は以下のここで見つけることができます。

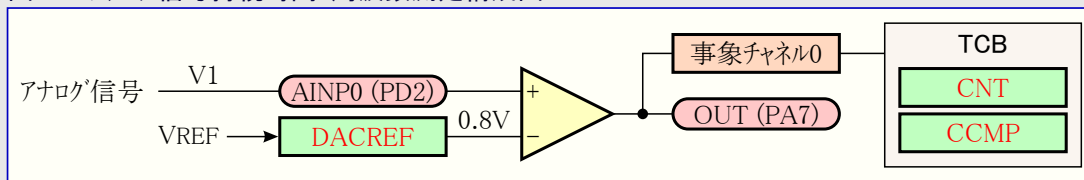


GitHubでAVR128DA48コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

5. アナログ信号パルス持続時間/周波数測定

tinyAVR[®] 0及び1系、megaAVR[®] 0系、AVR[®] Dxデバイスではどんな割り込み、CPU、またはDMA資源の使用もなしに周辺機能の自律的な制御を許す簡単だけれども強力なシステムの事象システム(EVSYS:Eevent System)が特徴です。これは或る周辺機能(事象生成部)での変化に事象チャンネルを通して他の周辺機能(事象使用部)での活動を起動することを許します。これは周辺機能間に短くて予測可能な応答時間を提供し、複雑さ、大きさ、それと節電のためにソフトウェアの実行時間を減らすことができます。

図5-1. アナログ信号持続時間/周波数測定構成図



この部分の応用例はマイクロコントローラ電力の最小使用でアナログ入力信号に対する持続時間/周波数測定の実装を示します。事象チャンネルを通してAC出力からの信号をタイマ/カウンタB(TCB)事象入力へ配線するのに事象システムを使います。これを行うために事象システムを正しく構成設定してください。

事象システム構成設定の最初の段階はチャンネル0に対して事象生成部としてAC出力を設定することです。

図5-2. EVSYS.CHANNEL - チャンネル0に対して事象生成部としてAC出力を設定

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	GENERATOR7~0							
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット7~0 - GENERATOR7~0: チャンネル生成部選択 (Channel Generator Selection)

生成部 [2進(16進)]	入力	同期/非同期	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7
~										
0001_00xx (\$10~\$13)	CCL_LUTn	非同期					LUTn			
0010_0000 (\$20)	AC0	非同期					OUT			
0010_0100 (\$24)	ADC0	同期					COMP			
~										

EVSYSのチャンネル0に対してチャンネル生成部選択レジスタは事象生成部としてアナログ比較器を許可するために0x20が設定されなければなりません。

```
EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_GENERATOR_AC0_OUT_gc;
```

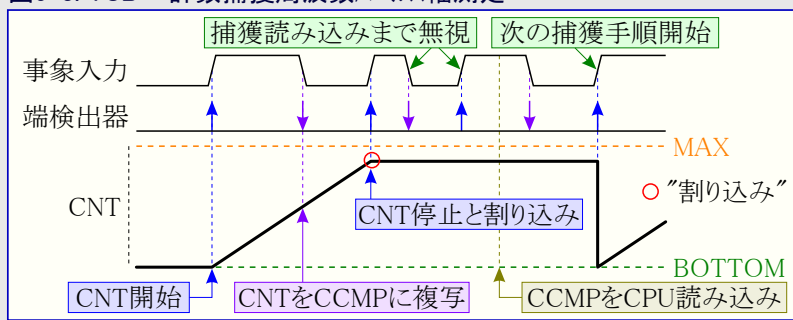
TCB入力での事象を起動するため、TCB事象使用部はチャンネル0に接続されなければなりません。

```
EVSYS.USERTCB0 = EVSYS_CHANNEL_CHANNEL0_gc;
```

パルスと周期の測定を許すために、TCBは入力として事象システムを持つパルス幅測定動作で構成設定されます。事象システムは事象チャンネル0を通してAC出力をTCB事象入力へ配線するのに使われます。

パルス幅測定動作では事象入力信号で正端が検出される時にTCBが計数を開始します。次の下降端で、計数値が捕獲されます。事象入力信号の2つ目の上昇端が検出される時に計数器が停止し、これは割り込み要求フラグを設定(1)します。捕獲を読むことが割り込み要求フラグを解除(0)します。捕獲レジスタが読まれる、または割り込み要求フラグが解除(0)されると、TCBは新しい捕獲の流れに対して準備可になります。従って、次の正端で計数レジスタが0にリセットされるため、捕獲レジスタの前の計数器レジスタを読むことが推奨されます。


図5-3. TCB - 計数捕獲周波数/パルス幅測定



以下のコードは入力としての事象システムを持つパルス幅測定動作でのTCBに対する基本的な初期化を提供します。

```
int8_t TIMER0_init()
{
    TCB0. CTRLB = TCB_CNTMODE_FRQPW_gc;
    TCB0. EVCTRL = TCB_CAPTEI_bm;

    TCB0. INTCTRL = TCB_CAPT_bm;
    TCB0. CTRLA = TCB_CLKSEL_CLKDIV2_gc | TCB_ENABLE_bm | TCB_RUNSTDBY_bm;
}
```

 助言: 完全なコード例は「[追補](#)」章でも利用可能です。



GitHubでATmega4809コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

本章で記述されたのと同じ機能を持つAVR128DA48用のMCC生成されたコード例は以下のここで見つけることができます。



GitHubでAVR128DA48コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

6. 参考文献

1. AVR128DA48製品頁 : www.microchip.com/wwwproducts/en/AVR128DA28
2. AVR128DA48 Curiosity Nano評価キット製品頁 : <https://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails/DM164151>
3. AVR128DA28/32/48/64データシート
4. AVR® DA系での開始に際して
5. ATmega4809製品頁 : www.microchip.com/wwwproducts/en/ATMEGA4809
6. megaAVR® 0系データシート
7. ATmega809/1609/3209/4809 - 48ピン megaAVR® 0系データシート
8. AN2451 - AVR®マイクロコンピュータのコアから独立した周辺機能での開始に際して (DS00002451)

7. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2019年5月	初版文書公開
B	2021年2月	GitHub貯蔵庫リンクと「参考文献」更新。「AVR® DA系概要」と「改訂履歴」章追加。各使用事例に対してAVR128DA48で動くMCC版を追加。その他些細な編集上の修正。

8. 追補

例8-1. 基準交差検出器ソースコード

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

/* VREF=1.5VのためにDACREFを0.8Vに設定 */
#define DACREF_VALUE      (0.8 * 256 / 1.5)

void PORT0_init (void);
void ACO_init(void);

ISR(ACO_AC_vect)
{
    /* ここにAC割り込み処理コードを挿入してください。 */

    /* 割り込み要求フラグは手動で解除(0)されなければなりません。 */
    ACO.STATUS = AC_CMP_bm;
}

void PORT0_init (void)
{
    /* 正入力 - デジタル入力緩衝部禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
    /* PA7で出力緩衝部許可 */
    PORTA |= PIN7_bm;
}

void ACO_init(void)
{
    /* 負入力は内部参照基準を使用 - 電圧参照基準が許可されるべきです。 */
    VREF.CTRLA = VREF_ACOREFSEL_1V5_gc;      /* 1.5Vの電圧参照基準 */
    VREF.CTRLB = VREF_ACOREFEN_bm;          /* ACO DACREF参照基準許可:許可 */

    ACO.DACREF = DACREF_VALUE;              /* DAC電圧参照基準設定 */

    /* 比較器に対して正しい入力を選択 */
    ACO.MUXCTRLA = AC_MUXPOS_PIN0_gc        /* 正入力 - アナログ正入力ピン0 */
                  | AC_MUXNEG_DACREF_gc;    /* 負入力 - DAC電圧参照基準 */

    ACO.CTRLA = AC_ENABLE_bm                /* アナログ比較器許可 */
                  | AC_OUTEN_bm;           /* 出力緩衝部許可:許可 */

    ACO.INTCTRL = AC_CMP_bm;                /* アナログ比較器0割り込み許可 */
}

int main(void)
{
    PORT0_init();
    ACO_init();
    sei();                                    /* 全体割り込み許可 */

    while (1)
    {
        ;
    }
}

```

例8-2. 誤った尖頭雑音検出防止ソースコード

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

/* VREF=1.5VのためにDACREFを0.8Vに設定 */
#define DACREF_VALUE      (0.8 * 256 / 1.5)

void PORT0_init (void);
void ACO_init (void);

ISR(ACO_AC_vect)
{
    /* ここにAC割り込み処理コードを挿入してください。 */

    /* 割り込み要求フラグは手動で解除(0)されなければなりません。 */
    ACO.STATUS = AC_CMP_bm;
}

void PORT0_init (void)
{
    /* 正入力 - デジタル入力緩衝部禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
    /* PA7で出力緩衝部許可 */
    PORTA |= PIN7_bm;
}

void ACO_init (void)
{
    /* 負入力は内部参照基準を使用 - 電圧参照基準が許可されるべきです。 */
    VREF.CTRLA = VREF_ACOREFSEL_1V5_gc;      /* 1.5Vの電圧参照基準 */
    VREF.CTRLB = VREF_ACOREFEN_bm;          /* ACO DACREF参照基準許可:許可 */

    ACO.DACREF = DACREF_VALUE;              /* DAC電圧参照基準設定 */

    /* 比較器に対して正しい入力を選択 */
    ACO.MUXCTRLA = AC_MUXPOS_PIN0_gc        /* 正入力 - アナログ正入力ピン0 */
                  | AC_MUXNEG_DACREF_gc;    /* 負入力 - DAC電圧参照基準 */

    ACO.CTRLA = AC_ENABLE_bm                /* アナログ比較器許可 */
                | AC_HYSMODE_25mV_gc       /* 25mVヒステリシス許可 */
                | AC_OUTEN_bm;              /* 出力緩衝部許可:許可 */

    ACO.INTCTRL = AC_CMP_bm;                /* アナログ比較器0割り込み許可 */
}

int main(void)
{
    PORT0_init();
    ACO_init();
    sei(); /* 全体割り込み許可 */

    while (1)
    {
        ;
    }
}

```

例8-3. アナログ信号パルス持続時間/周波数測定ソースコード

```

#include <avr/io.h>

/* VREF=1.5VのためにDACREFを0.8Vに設定 */
#define DACREF_VALUE      (0.8 * 256 / 1.5)

void PORT0_init (void);
void EVENT_SYSTEM_init (void);
void ACO_init (void);
void TIMERO_init (void);

void PORT0_init (void)
{
    /* 正入力 - デジタル入力緩衝部禁止 */
    PORTD.PIN2CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
    /* PA7で出力緩衝部許可 */
    PORTA |= PIN7_bm;
}

void ACO_init (void)
{
    /* 負入力は内部参照基準を使用 - 電圧参照基準が許可されるべきです。 */
    VREF.CTRLA = VREF_ACOREFSEL_1V5_gc;          /* 1.5Vの電圧参照基準 */
    VREF.CTRLB = VREF_ACOREFEN_bm;              /* AC0 DACREF参照基準許可:許可 */

    AC0.DACREF = DACREF_VALUE;                  /* DAC電圧参照基準設定 */

    /* 比較器に対して正しい入力を選択 */
    AC0.MUXCTRLA = AC_MUXPOS_PIN0_gc           /* 正入力 - アナログ正入力ピン0 */
                  | AC_MUXNEG_DACREF_gc;      /* 負入力 - DAC電圧参照基準 */

    AC0.CTRLA = AC_ENABLE_bm                   /* アナログ比較器許可 */
                | AC_OUTEN_bm;                /* 出力緩衝部許可:許可 */

    AC0.INTCTRL = 0;                            /* アナログ比較器0割り込み禁止 */
}

/* 事象システムを通すアナログ比較器からの入力でのパルス幅/周波数測定動作でTCBを初期化 */
void TIMERO_init (void)
{
    TCB0.CTRLB = TCB_CNTMODE_FRQPW_gc;          /* 捕獲入力周波数とパルス幅測定 */
    TCB0.EVCTRL = TCB_CAPTEI_bm;                /* 事象入力許可:許可 */

    TCB0.INTCTRL = TCB_CAPT_bm;                 /* 捕獲または時間超過:許可 */

    TCB0.CTRLA = TCB_CLKSEL_CLKDIV2_gc         /* CLK_PER/2 (前置分周器から) */
                | TCB_ENABLE_bm                /* 許可:許可 */
                | TCB_RUNSTDBY_bm;             /* スタンバイで走行:許可 */
}

/* アナログ比較器からTCBへの事象生成を許可 */
void EVENT_SYSTEM_init (void)
{
    EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_GENERATOR_ACO_OUT_gc; /* 事象チャンネル0に繋がれたアナログ比較器0出力 */
    EVSYS.USERTCB0 = EVSYS_CHANNEL_CHANNEL0_gc; /* TCBは事象チャンネル0を使用 */
}

int main(void)
{
    uint16_t signal_pulse = 0, signal_period = 0;
}

```

例8-3 (続き). アナログ信号パルス持続時間/周波数測定ソースコード

```
PORTO_init();
ACO_init();
EVENT_SYSTEM_init();
TIMERO_init();

while(1)
{
    if (TCB0.INTFLAGS)
    {
        /**
         * 先にCNTレジスタ読み込み
         * 割り込み要求フラグはそれへ1を書くことによって、または捕獲動作で捕獲レジスタが読まれる時に解除(0)され
         * ます。
         */
        signal_period = TCB0.CNT;
        signal_pulse  = TCB0.CCMP;
    }
}
```

Microchipウェブ サイト

Microchipは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のに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- **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設計協力課程会員一覧
- **Microship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

製品変更通知サービス

Microchipの製品変更通知サービスは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www.microchip.com/pcnへ行っ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
- 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions 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ESE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、その製品系統が安全であると考えます。
- Microchipデバイスのコード保護機能を破ろうとする試みに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社はこれらの方法が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とされると確信しています。これらのコード保護機能を破ろうとする試みは、おそらく、Microchipの知的財産権に違反することなく達成することはできません。
- Microchipはそのコードの完全性について心配されている何れのお客様とも共に働きたいと思えます。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそのコードの安全を保証することはできません。コード保護は製品が”破ることができない”ことを当社が保証すると言う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

この刊行物に含まれる情報はMicrochip製品を使って設計する唯一の目的のために提供されます。デバイス応用などに関す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。

この情報はMicrochipによって「現状そのまま」で提供されます。Microchipは非侵害、商品性、特定目的に対する適合性の何れの黙示的保証やその条件、品質、性能に関する保証を含め、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。

如何なる場合においても、Microchipは情報またはその使用に関連するあらゆる種類の間接的、特別的、懲罰的、偶発的または結果的な損失、損害、費用または経費に対して責任を負わないものとします。法律で認められている最大限の範囲で、情報またはその使用に関連する全ての請求に対するMicrochipの全責任は、もしあれば、情報のためにMicrochipへ直接支払った料金を超えないものとします。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、Mmicrochipロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、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は米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、Hyper Light Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、ZL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、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICKtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchronPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、and 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。

Adaptecロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom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。

© 2021年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

品質管理システム

Microchipの品質管理システムに関する情報についてはwww.microchip.com/qualityを訪ねてください。

日本語© HERO 2021.

本技術概説はMicrochipのTB3211技術概説(DS90003211B-2021年2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
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン 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 サンホセ 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 - 香港特別行政区 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 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - フネー 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 - ウェルス 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 - ガルヒング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン 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 - パドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルフト Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 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 - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ 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 - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820