
TCDでの開始に際して

序説

AVR[®]マイクロコントローラは信号測定から事象同期までと波形生成と、広い範囲の応用を網羅するように設計された強力な計時器が装備されます。

タイマ/カウンタD型(TCD)はtinyAVR[®] 1系デバイスで利用可能な12ビット計時器です。TCDは電動機制御やスイッチング電源のような一般的組み込み応用で複数の波形生成能力を持つ高速計時器の要求を網羅するように設計されています。TCDの鍵となる特徴の1つは主クロックから走行することに加え、内部20MHz発振器(OSC20M)から直接走行するように、または外部クロック元と共に使われるように構成設定することができることです。更に、複数の構成設定可能な波形生成動作を持ちます。

この資料はこの計時器の特殊性を強調して初期化コード断片を提供し、TCD動作形態のいくつかを記述します。機能のより深い理解のため、tinyAVR[®] 1系データシートを参照してください。この資料の構成は以下の2つの特定使用事例から成ります。

- **補完駆動信号生成:**

50kHzの周波数と100nsの沈黙時間を持つ2つの補完信号を生成するように計時器を初期化します。

- **入力事象を使う同期信号制御:**

対で同期した10kHzの周波数と50%のデューティサイクルを持つ4つのPWM信号を生成するように計時器を初期化します。

注: コード例はATtiny817 Xplained Mini (ATTINY817-XMINI)を使って開発されました。

目次

序説	1
1. 関連デバイス	3
1.1. tinyAVR® 1系統	3
2. 概要	3
3. 補完駆動信号生成	4
4. 入力事象を使う同期信号制御	6
5. 参照	9
6. 追補	10
Microchipウェブ サイト	13
お客様への変更通知サービス	13
お客様支援	13
Microchipデバイスコード保護機能	13
法的通知	13
商標	14
DNVによって認証された品質管理システム	14
世界的な販売とサービス	15

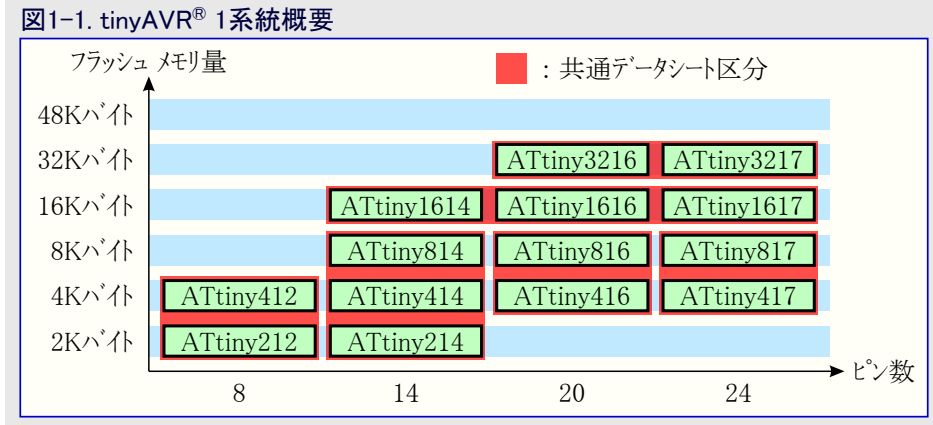
1. 関連デバイス

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[®] 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。

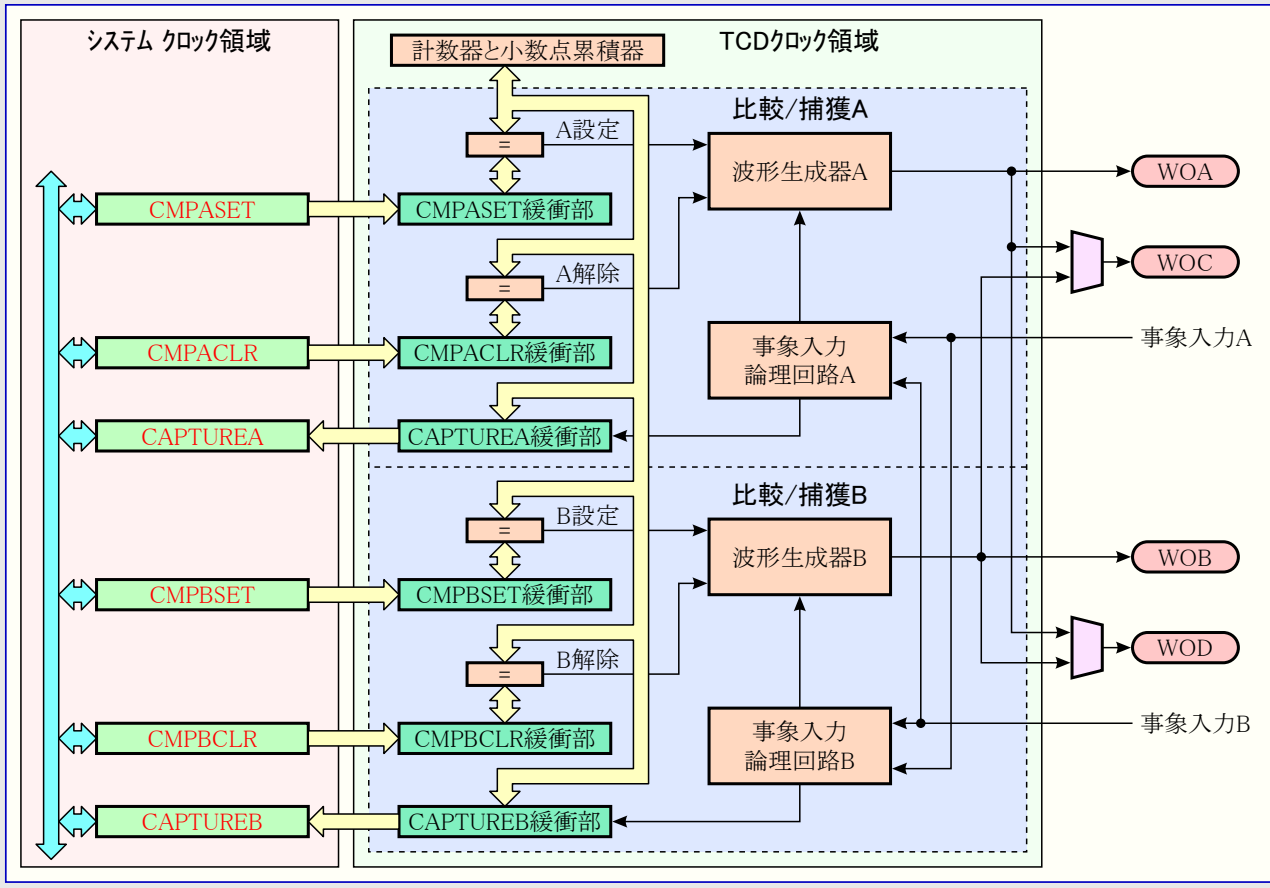


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

2. 概要

TCDは非同期計数器、前置分周器、比較論理回路、捕獲論理回路、制御論理回路から成る高性能波形制御器です。TCDはシステムクロックと非同期のクロックで動くことができる計数器を含みます。任意選択の沈黙時間を持つ2つの独立した出力を生成することができる比較論理回路を含みます。捕獲と決定論的障害制御のために事象システムに接続されます。タイマ/カウンタは比較一致と溢れで割り込みと事象を生成することができます。

図2-1. TCD構成図



TCDコアはシステムクロックに対して非同期です。タイマ/カウンタは各々独立した波形出力を持つ2つの比較/捕獲単位部から成ります。加えてこの単位部の1つからの出力に等しくすることができる2つの追加波形出力があります。比較x設定(CMPxSET)と比較x解除(CMPxCLR)の比較値は各々のレジスタ(TCD.CMPxSETとTCD.CMPxCLR)に格納され、これは上位と下位の両バイトから成ります。レジスタはレジスタへの書き込み後にTCD領域に同期化されます。標準動作中、計数器値は継続して比較レジスタと比較されます。これは割り込みと事象の両方を生成するのに使われます。

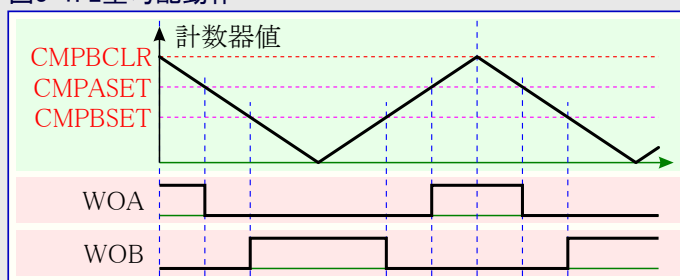
TCDは2つの入力事象から独立して選んだ10種の入力動作で入力事象を使うことができます(図4-6をご覧ください)。入力動作は入力事象が出力にどう影響を及ぼすかを定義します。

3. 補完駆動信号生成 (訳注:図3-1.と本文はデータシートに合致するように修正しました。)

8ビット マイクロ コントローラは一般的にスイッチング電源に使われます。この使用事例は電力MOSFETトランジスタ用に補間波形を生成するのにTCDがどう構成設定され得るかを示します。この例ではTCDの実体が50kHzの周波数と100nsの沈黙時間で2つの補完信号を生成するように構成設定されます

- 最大計数値はCMPBCLRレジスタに格納されます(図3-1をご覧ください)。
- WOA出力はTCD計数器が下降計数してCMPASETレジスタ値と一致する時に解除(0)されます。
- WOAはTCD計数器が上昇計数してCMPASETレジスタ値と一致する時に設定(1)されます。
- WOB出力はTCD計数器が下降計数してCMPBSETレジスタ値と一致する時に設定(1)されます。
- WOBはTCD計数器が上昇計数してCMPBSETレジスタ値と一致する時に解除(0)されます。

図3-1. 2重勾配動作



- CTRLBレジスタを使って波形生成動作が2重勾配に設定されます。

```
TCD0.CTRLB = TCD_WGMODE_DS_gc;
```

図3-2. CTRLBレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							WGMODE1,0	
アクセス	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1,0 – WGMODE1,0: 波形生成動作 (Waveform Generation Mode)

これらのビットは波形生成を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	ONERAMP	TWORAMP	FOURRAMP	DS
説明	1傾斜動作	2傾斜動作	4傾斜動作	2重勾配動作

- 信号の周期は次式から推定されてCMPBCLRレジスタに書かれなければなりません。

$$f_{\text{signal}} = \frac{f_{\text{CLK}}}{\text{Prescaler}_{\text{CNT}} \times 2 \times (\text{CMPBCLR} + 1)}$$

周辺機能クロックは20MHz内部発振器として設定され、計数器の前置分周器は'1'に設定されます。

$$\text{CMPBCLR} = \frac{f_{\text{CLK}}}{\text{Prescaler}_{\text{CNT}} \times 2 \times f_{\text{signal}}} - 1 = \frac{20 \times 10^6}{1 \times 2 \times 50 \times 10^3} - 1 \approx 200 = 0xC8$$

```
TCD0.CMPBCLR = 0xC8;
```

- 沈黙時間を設定するには計数周期だけでなく、沈黙時間に合致する計数周期数も決められなければなりません。

$$\text{CNT}_{\text{period}}(\text{計数周期}) = \frac{1}{f_{\text{CNT}}(\text{計数周波数})} = \frac{\text{Prescaler}_{\text{CNT}}}{f_{\text{CLK}}} = \frac{1}{20 \times 10^6} = 50\text{ns}$$

$$\text{Dead time}(\text{沈黙時間}) = 2 \times \text{CNT}_{\text{period}}(\text{計数周期}) = 2 \times 50 = 100\text{ns}$$

使用者が同じデューティサイクルを持つ両信号を望むと仮定すると、

$$CMPBSET = \frac{CMPBCLR}{2} + \frac{Dead\ time(沈黙時間)}{2} = 0x65$$

$$CMPASET = \frac{CMPBCLR}{2} - \frac{Dead\ time(沈黙時間)}{2} = 0x63$$

TCD0.CMPBSET = 0x65;
TCD0.CMPASET = 0x63;

4. 計時器を許可する前に、**STATUS**レジスタの**ENRDY**ビットが'1'の値を持つことを確認されなければなりません。計時器を開始することが安全な時にハードウェアがこのビットを設定(1)します。この機構はTCD時間領域とシステム時間領域間の同期問題を防ぎます。

```
while(!(TCD0.STATUS & TCD_ENRDY_bm))
{
    ;
}
```

図3-3. STATUSレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PWMACTB	PWMACTA					CMRDY	ENRDY
アクセス	R/W	R/W	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

5. **ENRDY**ビットが設定(1)された後、計時器は**CTRLA**レジスタから許可することができます。同じレジスタからクロック元と前置分周器を設定することもできます。**ENABLE**ビットを除く**CTRLA**の全てのビットは許可保護され、それらは書き込み操作の前に**ENABLE**が'0'に設定される時にだけ書くことができます。

TCD0.CTRLA = TCD_CLKSEL_20MHZ_gc | TCD_CNTPRES_DIV1_gc | TCD_ENABLE_bm;

図3-4. CTRLAレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		CLKSEL1,0		CNTPRES1,0		SYNCPRES1,0		ENABLE
アクセス	R	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6,5 – CLKSEL1,0 : クロック選択 (Clock Select)

クロック選択ビットはTCDクロックのクロック元を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
説明	OSC20M	(予約)	外部クロック	システムクロック

● ビット4,3 – CNTPRES1,0 : 計数器前置分周器 (Counter Prescaler)

計数器前置分周器ビットはTCD計数器クロックの分周係数を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
説明	1分周(分周なし)	4分周	32分周	(予約)

6. 出力チャンネルを許可するには**FAULTCTRL**レジスタで正しいビットが設定されるべきです。このレジスタは構成設定変更保護(CCP)下です。従って、**FAULTCTRL**レジスタに書く前にCPUの**CCP**レジスタに鍵が書かれなければなりません。この場合はチャンネルAとBだけが許可されます。

```
void TCD0_enableOutputChannels(void)
{
    CPU_CCP = CCP_IOREG_gc;

    TCD0.FAULTCTRL = TCD_CMPAEN_bm | TCD_CMPBEN_bm;
}
```

図3-5. FAULTCTRLレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMPDEN	CMPDEN	CMPDEN	CMPDEN	CMPDEN	CMPDEN	CMPDEN	CMPDEN
アクセス	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x

- ビット4,5,6,7 – CMPAEN,CMPBEN,CMPDEN,CMPDEN : 比較x許可 (Compare x Enable)

これらのビットはピンでの出力として比較を許可します。リセットでこの内容は維持され、リセット手順中にTCD構成設定(FUSE.TC D0CFG)ヒューズから複写/設定されます。

情報: リセット後、FAULTCTRLレジスタはヒューズからその値を設定します。

7. 目的対象マイクロ コントローラではTCD出力チャネルAとBがPA4とPA5に繋がられます。これらのピンは出力として構成設定されなければなりません。

```
PORTA.DIR = PIN4_bm | PIN5_bm;
```

この応用はTCD実体を50kHzの周波数と100nsの沈黙時間を持つ2つの補完信号を生成するように構成設定します。



GitHubで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。



助言: 完全なコード例は「[追補](#)」章でも利用可能です。

4. 入力事象を使う同期信号制御

電動機制御応用では完璧に同期した信号を使うことが度々必要です。また、駆動目的に対し、ピンが供給することができるよりも僅かにだけ多くの電流を必要とする狭い種類の応用があります。これらの場合、複数ピンに同じ信号を割り当てることの可能性が部品を減らすことができます。

殆どの組み込み応用では全てのものが正しく動くのを保証する、各種の帰還閉路と障害制御の部品があります。信頼性の理由に関してMCUコアを使うことなく、これらの帰還構造を設計することはより良いことです。TCDは他の周辺機能と構成部品の活動を監視し、それによって出力を変えるのに使うことができる2つの事象入力を持ちます。

この例では、同期された対で10kHzの周波数と概ね50%のデューティサイクルを持つ4つのPWM信号を生成するようにTCD実体が構成設定されます。入力チャネルでの障害信号の場合、計時器は停止して信号が'安全'状態(障害検出なし)に変わるまで待ちます。

1. 計時器は(前の使用事例でのように)CTRLBレジスタで構成設定されますが、[4傾斜動作](#)での今回は次のとおりです。

```
TCD0.CTRLB = TCD_WGMODE_FOURRAMP_gc;
```

図4-1. CTRLBレジスタ

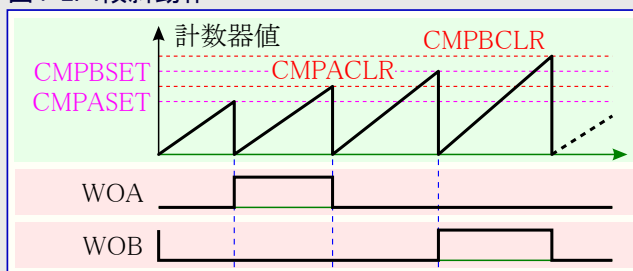
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							WGMODE1,0	
アクセス	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット1,0 – WGMODE1,0 : 波形生成動作 (Waveform Generation Mode)

これらのビットは波形生成を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	ONERAMP	TWORAMP	FOURRAMP	DS
説明	1傾斜動作	2傾斜動作	4傾斜動作	2重勾配動作

図4-2. 4傾斜動作



2. 既定でチャンネルCとDはチャンネルAに繋がられます。対で同期される信号のため、チャンネルDがチャンネルBに繋がるようにCTRLCレジスタのCMPDSELビットが設定(1)されなければなりません(図4-4をご覧ください)。

```
TCD0. CTRLC = TCD_CMPDSEL_bm;
```

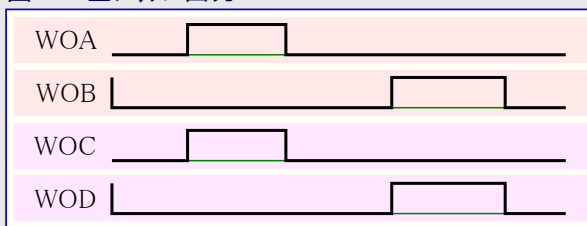
図4-3. CTRLCレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMPDSEL	CMPCSEL			FIFTY		AUPDATE	CMPOVR
アクセス	R/W	R/W	R	R	R/W	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット7 - CMPDSEL : 比較D出力選択 (Compare D Output Select)

値	0	1
名称	PWMA	PWMB
説明	波形A	波形B

図4-4. 全ブリッジ出力



3. 周波数は次式を使って計算することができます。

$$f_{PWM} = \frac{f_{CLK}}{\text{Prescaler}_{CNT} \times (\text{CMPASET} + \text{CMPACL R} + \text{CMPBSET} + \text{CMPBCLR} + 4)}$$

$$\text{CMPASET} + \text{CMPACL R} + \text{CMPBSET} + \text{CMPBCLR} = \frac{f_{CLK}}{f_{\text{Prescaler}} \times f_{PWM}} - 4 = \frac{20000000}{4 \times 1000} - 4 = 496 = 0x1F0$$

目標デューティサイクルは概ね50%で、故にCMPACL R=CMPBCLRです。殆どの応用に対して整定時間があります。従って使用者は小さな沈黙時間を含めるように、それを考慮に入れて手動で周辺機能を構成設定しなければなりません。故に0.4μsの整定時間に対してCMPASET=CMPBSET=2です。

$$\text{CMPACL R} = \text{CMPBCLR} = \frac{0x1F0 - \text{CMPASET} - \text{CMPBSET}}{2} = \frac{0x1F0 - 2 - 2}{2} = 0xF6$$

```
TCD0. CMPASET = 0x02;
```

```
TCD0. CMPACL R = 0xF6;
```

```
TCD0. CMPBSET = 0x02;
```

```
TCD0. CMPBCLR = 0xF6;
```

4. 障害検出目的のため、計時器の入力チャンネルAはLow活性に構成設定され、潜在的な尖頭雑音を濾波するためにチャンネルのデジタル濾波器が許可されます(図4-5をご覧ください)。

この使用事例の目的に対して、障害信号はPC5ピンに接続された釦の押下によって外部的に起動されます。

```
TCD0. EVCTRLA = TCD_CFG_FILTER_gc | TCD_EDGE_FALL_LOW_gc | TCD_TRIGE I_bm;
```

図4-5. EVCTRLレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CFG1,0			EDGE		ACTION		TRIGE1
アクセス	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット7,6 – CFG1,0 : 事象構成設定 (Event Configuration)

捕獲入力雑音消去器が活性化(FILTERON)されると、事象入力が増波されます。この増波機能はその出力の変更のために再起動ピンの連続する4つの等しい値の採取が必要です。従って雑音消去器が許可される時に捕獲は4クロック周期遅らされます。

非同期事象が許可(ASYNCON)されると、事象入力は出力を直接修飾します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NEITHER	FILTERON	ASYNCON	-
説明	濾波器と非同期事象どちらもなし	捕獲入力雑音消去濾波器許可	非同期事象出力修飾許可	(予約)

●ビット4 – EDGE : エッジ(端)選択 (Edge Selection)

このビットは事象入力の活性端またはレベルを選ぶのに使われます。

値	0	1
名称	FALL_LOW	RISE_HIGH
説明	事象入力の下降端またはLowレベルが再起動または障害活動を生成します。	事象入力の上昇端またはHighレベルが再起動または障害活動を生成します。

●ビット0 – TRIGE1 : 事象入力起動許可 (Trigger Event Input Enable)

このビットに'1'を書くことは入力x(x=A/B)に対する起動元としての事象を許可します。

5. 計時器はINPUTCTRLAレジスタを使うことによって様々な方法で入力信号にตอบสนองするように構成設定することができます。この場合はチャネルAで下降端が検出される時に計時器が停止されてリセットされます。計数器は入力信号の次の上昇端で再始動します。

図4-6. INPUTCTRLAレジスタ

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					INPUTMODE3~0			
アクセス	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット3~0 – INPUTMODE3~0 : 入力動作 (Input Mode)

値	名称	説明
0 0 0 0	NONE	入力は活動なし
0 0 0 1	JMPWAIT	出力停止、逆の比較周回へ飛んで待機
0 0 1 0	EXECWAIT	出力停止、逆の比較周回を実行して待機
0 0 1 1	EXECFAULT	出力停止、障害が活性の間、逆の比較周期を実行
0 1 0 0	FREQ	全出力停止、周波数維持
0 1 0 1	EXECDT	全出力停止、障害が活性の間、沈黙時間を実行
0 1 1 0	WAIT	全出力停止、次の比較周回へ飛んで待機
0 1 1 1	WAITSW	全出力停止、ソフトウェア活動待ち
1 0 0 0	EDGETRIG	エッジ(端)で出力停止、次の比較周回へ飛ぶ
1 0 0 1	EDGETRIGFREQ	エッジ(端)で出力停止、周波数維持
1 0 1 0	LVLTRIGFREQ	レベルで出力停止、周波数維持

6. STATUSレジスタのENRDYビットはCTRLAレジスタで計時器を開始する前に'1'であるべきです。

また、CTRLAで4の前置分周器と共に20MHzクロックが選ばれます。

```
while(!(TCD0.STATUS & TCD_ENRDY_bm))
{
    ;
}

TCD0.CTRLA = TCD_CLKSEL_20MHZ_gc | TCD_CNTPRES_DIV4_gc | TCD_ENABLE_bm;
```

この例では4つ全ての出力チャンネルが使われます。手順は前の使用事例で詳述されます。

```
void TCD0_enableOutputChannels(void)
{
    CPU_CCP = CCP_IOREG_gc;

    TCD0.FAULTCTRL = TCD_CMPAEN_bm | TCD_CMPBEN_bm | TCD_CMPDEN_bm | TCD_CMPDEN_bm;
}
```

7. 事象システムは事象生成部をTCD実体に繋ぐように構成設定されるべきです。

この場合はPC5に接続される釦を押すことによって障害信号が模倣されます。初期化コードが下で提供されますが、事象システムの構成設定詳細はこの資料の範囲外です。

```
void EVENT_SYSTEM_init(void)
{
    EVSYS.ASYNCCH2 = EVSYS_ASYNCCH2_PORTC_PIN5_gc;

    EVSYS.ASYNCUSER6 = EVSYS_ASYNCUSER6_ASYNCCH2_gc;
}
```

8. チャンネルAとBはPA4とPA5のピンに繋がれ、チャンネルCとDはPC0とPC1のピンに繋がれます。これらのピンは出力として構成設定されなければなりません。

入力として構成設定されるPC5はATtiny817 Xplained Miniの使用者釦に接続され、許可された内部プルアップ抵抗を持ちます。プルアップ抵抗はピンに対して'1'の既定状態を提供します。従って、この釦はそれが押された時にピンをLow(論理'0')へ駆動するのに使われます。

```
PORTA.DIR |= PIN4_bm | PIN5_bm;

PORTC.DIR |= PIN0_bm | PIN1_bm;

PORTC.DIR &= ~PIN5_bm;

PORTC.PIN5CTRL = PORT_PULLUPEN_bm;
```

この応用は対で同期した概ね50%のデューティサイクルでの10kHzの周波数で4つのPWM信号を生成するようにTCD実体を構成設定します。

更に、入力チャンネルに障害信号が現れると、計時器は停止してその信号が'安全'状態に変わるまで待ちます。



GitHubで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。



助言: 完全なコード例は「[追補](#)」章でも利用可能です。

5. 参照

1. ATtiny817ウェブページ: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATTINY817>
2. ATtiny417/817 - コアから独立した周辺機能とpicoPower®技術を持つAVR®マイクロコントローラ (DS40001901)
3. ATtiny817 Xplained Miniウェブページ: <https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/ATTINY817-XMINI>

6. 追補

例6-1. 補完駆動生成見本ソースコード

```

#define SIGNAL_PERIOD_EXAMPLE_VALUE      (0xC8)
#define SIGNAL_DUTY_CYCLE_EXAMPLE_VALUE  (0x64)

#include <avr/io.h>
/* 既定クロックの3.3MHzを使用 */

void TCD0_init(void);
void TCD0_enableOutputChannels(void);
void PORT_init(void);

void TCD0_init(void)
{
    /* 波形動作設定 */
    TCD0.CTRLB = TCD_WGMODE_DS_gc;

    /* 信号周期設定 */
    TCD0.CMPBCLR = SIGNAL_PERIOD_EXAMPLE_VALUE;

    /* 信号は交互に活性、小さな対称沈黙時間が必要とされます。 */
    TCD0.CMPBSET = SIGNAL_DUTY_CYCLE_EXAMPLE_VALUE + 1;
    TCD0.CMPASET = SIGNAL_DUTY_CYCLE_EXAMPLE_VALUE - 1;

    /* ENRDYビットが設定(1)されるのを保証 */
    while (!(TCD0.STATUS & TCD_ENRDY_bm))
    {
        ;
    }

    TCD0.CTRLA = TCD_CLKSEL_20MHZ_gc          /* 計時器のクロック選択 */
                | TCD_CNTPRES_DIV1_gc        /* 前置分周器選択 */
                | TCD_ENABLE_bm;           /* 計時器許可 */
}

void TCD0_enableOutputChannels(void)
{
    /* 書き込み保護されたレジスタを許可 */
    CPU_CCP = CCP_IOREG_gc;

    TCD0.FAULTCTRL = TCD_CMPAEN_bm          /* チャンnelA許可 */
                    | TCD_CMPBEN_bm;       /* チャンnelB許可 */
}

void PORT_init(void)
{
    PORTA.DIR |= PIN4_bm                    /* PA4ピンを出力として設定 */
                | PIN5_bm;                 /* PA5ピンを出力として設定 */
}

int main(void)
{
    PORT_init();

    TCD0_enableOutputChannels();

    TCD0_init();

    /* あなたの応用コードで置き換えてください。 */
    while (1)
    {
        ;
    }
}

```

例6-2. 入力事象を使う同期信号制御ソースコード

```

#define SETTLING_TIME_EXAMPLE_VALUE          (0x02)
#define DUTY_CYCLE_EXAMPLE_VALUE           (0xF6)

#include <avr/io.h>
/*U 既定クロックの3.3MHzを使用 */

void TCD0_init(void);
void TCD0_enableOutputChannels(void);
void EVENT_SYSTEM_init(void);
void PORT_init(void);

void TCD0_init(void)
{
    /* 波形動作設定 */
    TCD0.CTRLB = TCD_WGMODE_FOURRAMP_gc;

    /* チャンネルBと合致するようにチャンネルDを設定 */
    TCD0.CTRLC = TCD_CMPDSEL_bm;

    /* 信号に対する整定時間とデューティサイクルを設定 */
    TCD0.CMPASET = SETTLING_TIME_EXAMPLE_VALUE;
    TCD0.CMPACLR = DUTY_CYCLE_EXAMPLE_VALUE;
    TCD0.CMPBSET = SETTLING_TIME_EXAMPLE_VALUE;
    TCD0.CMPBCLR = DUTY_CYCLE_EXAMPLE_VALUE;

    TCD0.EVCTRLA = TCD_CFG_FILTER_gc          /* 尖頭雑音濾波器設定 */
                  | TCD_EDGE_FALL_LOW_gc     /* '障害'状態設定 */
                  | TCD_TRIGE1_bm;          /* 入力チャンネルA許可 */

    /* 入力動作形態を設定 */
    TCD0.INPUTCTRLA = TCD_INPUTMODE_WAIT_gc;

    /* ENRDYビットが設定(1)されるのを保証 */
    while (!(TCD0.STATUS & TCD_ENRDY_bm))
    {
        ;
    }

    TCD0.CTRLA = TCD_CLKSEL_20MHZ_gc         /* 計時器のクロック選択 */
                  | TCD_CNTPRES_DIV4_gc     /* 前置分周器選択 */
                  | TCD_ENABLE_bm;         /* 計時器許可 */
}

void TCD0_enableOutputChannels(void)
{
    /* 書き込み保護されたレジスタを許可 */
    CPU_CCP = CCP_IOREG_gc;

    TCD0.FAULTCTRL = TCD_CMPAEN_bm          /* チャンネルA許可 */
                    | TCD_CMPBEN_bm       /* チャンネルB許可 */
                    | TCD_CMPCEN_bm       /* チャンネルC許可 */
                    | TCD_CMPDEN_bm;      /* チャンネルD許可 */
}

void EVENT_SYSTEM_init(void)
{
    EVSYS.ASYNCCH2 = EVSYS_ASYNCCH2_PORTC_PIN5_gc;

    EVSYS.ASYNCUSER6 = EVSYS_ASYNCUSER6_ASYNCCH2_gc;
}

```

例6-2 (続き). 入力事象を使う同期信号制御ソースコード

```
void PORT_init(void)
{
    /* ポートAのPA4ピンとPA5ピンを出力として設定 */
    PORTA.DIR |= PIN4_bm
               | PIN5_bm;

    /* ポートCのPC0ピンとPC1ピンを出力として設定 */
    PORTC.DIR |= PIN0_bm
               | PIN1_bm;

    /* ポートCのPC5ピンを入力として設定 */
    PORTC.DIR &= ~PIN5_bm;

    /* ポートCのPC5ピンに対してプルアップ抵抗を許可 */
    PORTC.PIN5CTRL = PORT_PULLUPEN_bm;
}

int main(void)
{
    PORT_init();

    EVENT_SYSTEM_init();

    TCD0_enableOutputChannels();

    TCD0_init();

    /* あなたの応用コードで置き換えてください。 */
    while (1)
    {
        ;
    }
}
```

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。

© 2019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[®] MCUとdsPIC[®] 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.

本技術概説はMicrochipのTB3212技術概説(DS90003212A-2019年1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。



MICROCHIP

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: http://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 ホストン 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 - 香港特别行政区 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	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4450-2828 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 - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-67-3636 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 - ハドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルネン 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