

---

## TCAとTCBと共にCCLを用いる直交符号器のインターフェース

---

### 序説

著者: Kristian Saxrud Bekken, Microchip Technology Inc.

増加型直交符号器はそれらが移動部を持つシステムで動きを測定する安価な方法を提供するため、多くの分野に渡って多数の応用で使われます。いくつかの代表的な例は物理的な操縦輪の位置の測定や電氣的な電動機での回転子角と速度の測定を含みます。

AVR XMEGA®-E5のようないくつかのAVR®マイクロ コントローラは専用の直交復号機能を含みますが、復号はより小さくて機能が豊富でないマイクロ コントローラで利用可能なコアから独立した周辺機能のいくつかを利用することによって達成することもできます。この応用記述は構成設定可能な注文論理回路(CCL:Configurable Custom Logic)、事象システム(EVSYS)、16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)、16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)のようなコアから独立した周辺機能(CIP:Core Independent Peripherals)を組み合わせることによってAVRを用いて増加型位置感知器から直交符号化された信号を復号して経緯を保つ方法を記述します。

記述した構成設定は8つの入出力ピンを使います。この応用記述で提供されたコードを用いてATtiny1617で実装した場合、デバイスは2.5MHzまでの周波数を持つ直交パルスを復号することができます。

### 要点

- CIPの使用で直交符号化された増加型位置データを復号するための構成設定
  - 構成設定可能な注文論理回路(CCL:Configurable Custom Logic)
  - 事象システム(EVSYS)
  - 16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)
  - 16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)
- 16ビットまでの分解能
- デバイスから独立
- 最小RAM使用量
- 最小コア使用量

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
要点	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. 増加型位置感知器からの信号の直交符号化	4
3. 必要とされるデバイス資源	4
4. 実装概要	4
5. CPUの流れと位置復号	5
6. 構成設定可能な注文論理回路(CCL)構成設定	6
7. タイマ/カウンタの構成設定	8
8. 事象システム構成設定	9
9. ポート構成設定とデバイスの具体的詳細	9
10. 性能と制限	10
11. 更なる開発	10
12. Atmel   STARTからのソースコード取得	11
13. 用語と略語	11
14. 改訂履歴	11
Microchipウェブ サイト	12
お客様への変更通知サービス	12
お客様支援	12
Microchipデバイスコード保護機能	12
法的通知	12
商標	13
DNVによって認証された品質管理システム	13
世界的な販売とサービス	14

## 1. 関連デバイス

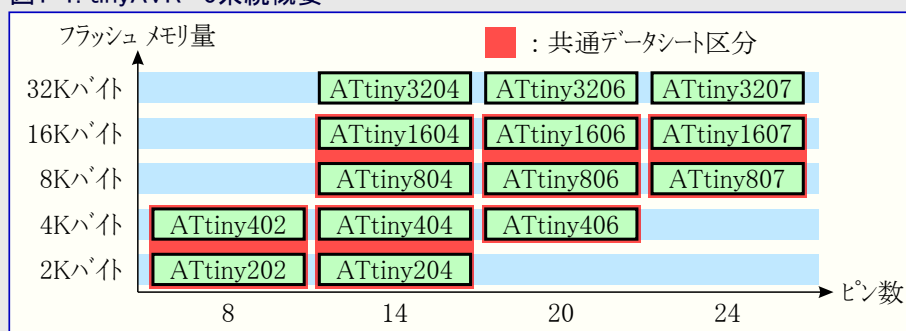
本章はこの資料に関連するデバイスを一覧にします。

### 1.1. tinyAVR® 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。

図1-1. tinyAVR® 0系統概要



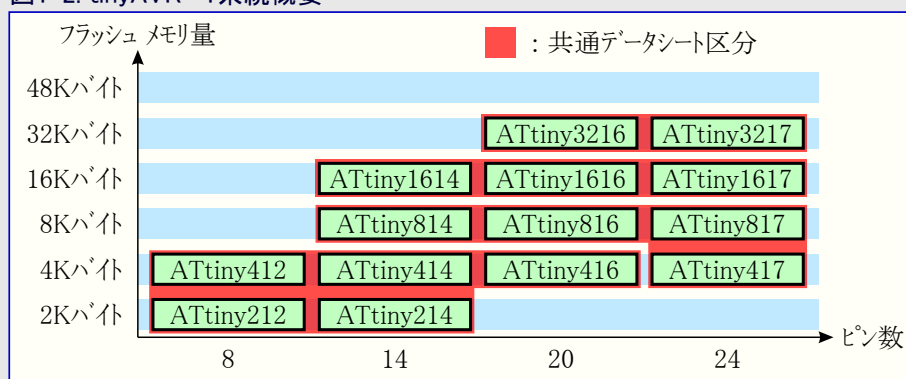
異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

### 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。

図1-2. tinyAVR® 1系統概要



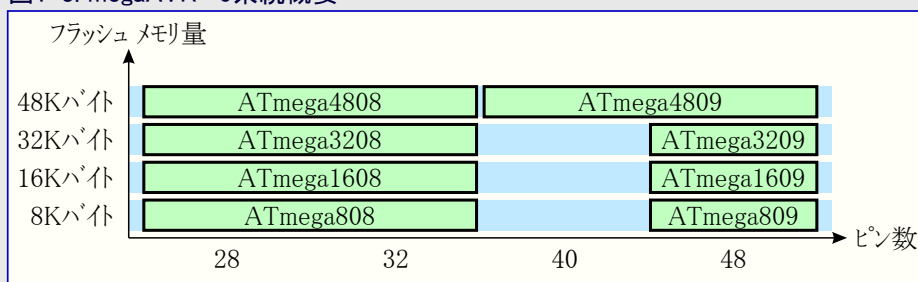
異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

### 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。

図1-3. megaAVR® 0系統概要



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とEEPROMの量を持ちます。

## 2. 増加型位置感知器からの信号の直交符号化

一般的に増加型符号器として知られる増加型位置感知器は直線または角度の変位の個別的な段階を検出することによって動きを測定します。実際の位置または角度についての情報は検出せず、既知の個別的な段階に対応する動きが行われたとことの実事だけです。段階は感知器の物理的な動きの包絡線内で等間隔で配置されます。マイクロコントローラまたは他の外部回路は実際の位置と速度についての情報を得るために検出した増加の経緯を保つことを必要とされます。これが動きを必要とせずに始動後に直接正しい位置データを提供することができる絶対型符号器と増加型符号器を主に区別するものです。他方で増加型符号器は正しい位置データを提供するために電力を入れ直す時に既知の位置に置かれる必要があります。

これが安価なため、増加型回転符号器は多くの産業と応用で広く使われ、回転当たり数計数から数千計数の範囲の分解能で利用可能です。直線増加型符号器も利用可能です。

増加型符号器の最も簡単な形式は各々の位置増加を示すために信号が交互切り替えする単一出力線を持ちます。この信号は移動の方向についての情報を提供しません。方向感知が必要とされる時は二重チャネル直交符号化した出力が一般的に使われます。

増加型直交符号器の2つの出力チャネルは代表的に90°位相が外れたAとBの2つの方形波信号を伝えます。信号レベルは別な方法で各々の増加段階に対して一度交互切り替えされます。信号を2ビット値に組み合わせると、1つの符号器周囲内の4つの連続する段階は、下の表と2つの図で示されるように、動きの位置増加と方向の両方を含む交番二進符号(グレイコード)化された信号を提供します。1つの符号器周囲は4つの符号器計数から成ります。信号が交番二進符号化されるため、信号ビットが各増加に対して交互切り替えされます。これは信号誤り検出とものと頑強な復号を容易にし得ます。

表2-1. 直交信号符号化

正方向		負方向	
A	B	A	B
0	0	0	0
1	0	0	1
1	1	1	1
0	1	1	0

図2-1. 正方向波形

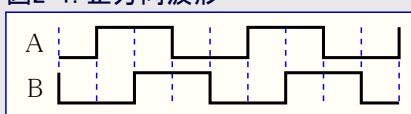
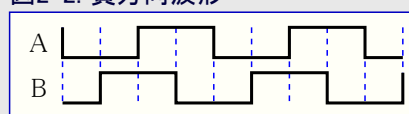


図2-2. 負方向波形



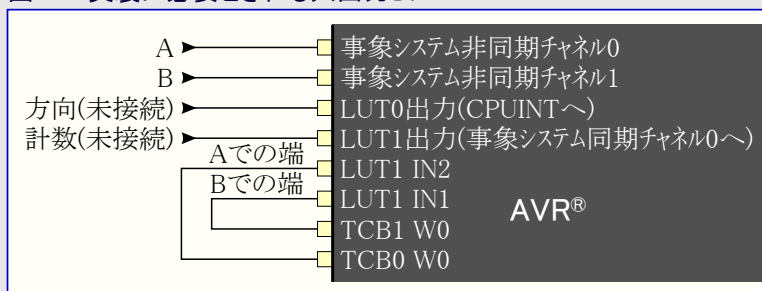
多くの増加型符号器は指標(Index)パルスまたはZパルスと呼ばれる第三の追加信号も提供します。この信号は感知部の動き包絡線の1つの特別な位置でHighになるだけで、これは回転符号器に対して機械的な回転毎に一度を意味します。これは位置校正用の正確な参照基準位置として使うことができます。

## 3. 必要とされるデバイス資源

記述される構成設定の実装に必要なとされる資源は次のとおりです。

- 1つの16ビット タイマ/カウンタA型 (TCA)
- 1つの16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)
- 利用可能な2つのLUTを持つ1つの構成設定可能な注文論理回路 (CCL)
- 4つの事象チャネル(3つの非同期と1つの同期)
- 右図で描かれるように構成設定することができる8つの入出力ピン

図3-1. 実装に必要なとされる入出力ピン



## 4. 実装概要

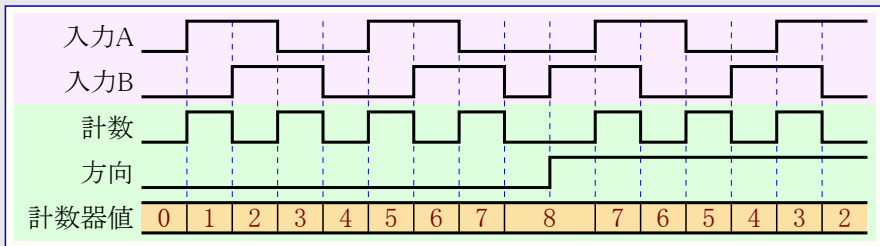
この応用記述は増加型符号器によって作成された直交パルスからの2つの2進信号生成に集中します。増加パルスを計数する1つの信号と方向計数の経緯を保つための1つです。操作の多くは構成設定可能な注文論理回路(CCL)、事象システム(EVSYN)、それとタイマ/カウンタのようなコアから独立した周辺機能を用いてCPUの負荷を軽減することができます。計数信号と方向信号の両方が直交信号を入力として取る論理式から生成することができるため、考え方は構成設定可能な注文論理回路(CCL)を用いてこれらの式を解決することです。2つの信号はその後に事象システム経由で事象を計数する能力を持つ16ビット タイマ/カウンタA型に渡されます。計数器値は計数信号と構成設定した方向に従って増加または減少します。タイマ/カウンタのレジスタは物理的位置を割り当てられる計数機値と計数方向を保持します。

計数信号は2つの直交入力信号のどちらが先行端を含むのかを示さなければなりません。それは先行端がAだった場合にLow、Bだった場合にHighになります。これは計数信号の各端で計数値の単一増加または減少を与えます。同じチャネルでのどの連続端も方向変更を示し、計数信号での端を生成してはなりません。端検出は事象システム経由で各入力を許可された二重事象端検出を持つ16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)に渡すことによってCPUの介在なしに実行されます。

方向信号は2つの直交入力信号のどちらかでの最終端によって示されるような動きの物理的な方向を表します。

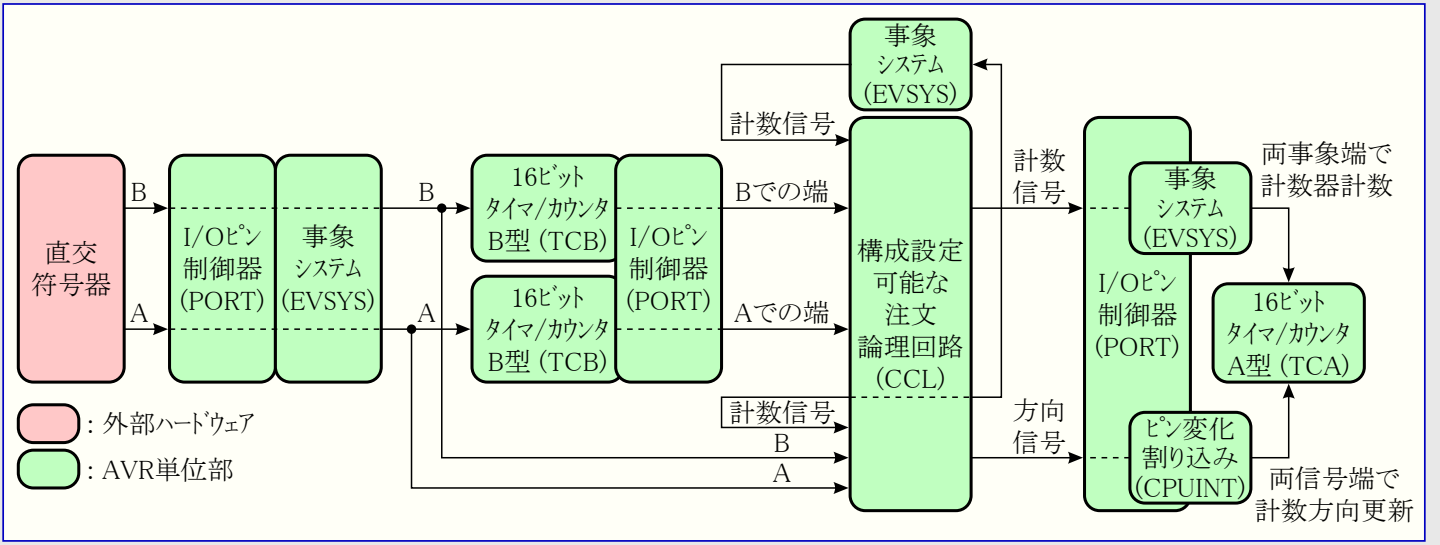
以下の最初の図は入力信号と共に望む計数信号、方向信号、計数器値を描きます。

図4-1. 復号の仕組みに関する望む波形と計数値



CPUでそれらを実行する代わりに可能な限り多くの操作を周辺機能に移すことにより、利用可能なフラッシュメモリ、EEPROM、SRAM、そしてCPU期間が増加され、追加の機能を実装するためのより多くの余力を残します。下図は周辺機能とそれらの間の信号の流れがどう構成設定されるかを描きます。

図4-2. 単位部と信号の応用概要



16ビットタイマ/カウンタA型(TCA)用の信号事象入力が増加パルスの計数に使われるため、計時器計数方向を更新するのにピン変化割り込みが使われます。

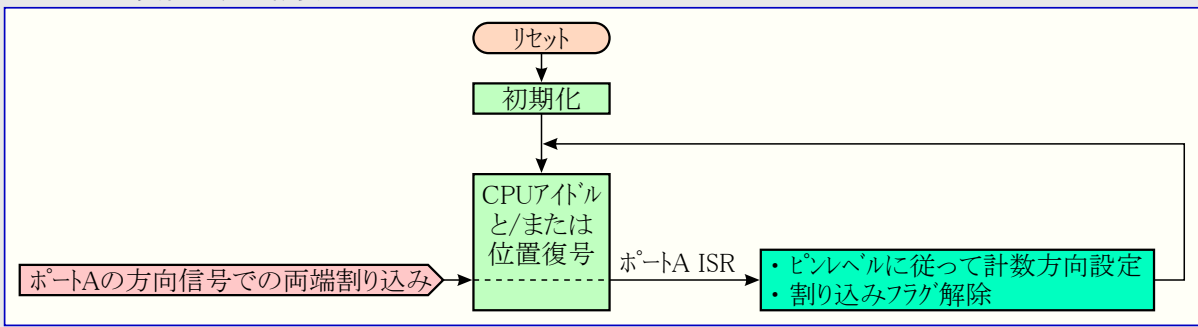
各種単位部がどう構成設定されるかの記述は以下の項で提供されます。

## 5. CPUの流れと位置復号

この応用記述に伴うコードでは方向変更でTCAの方向設定を更新するのに加えて、TCAデータを実際の位置の値に割り当てるためにだけCPUが利用されます。位置割り当ては主繰返しから基本的なポーリング方式で行われ、一方で方向更新はピン変化割り込みによって実行されます。もっと洗練された位置値割り当て方法を含まない理由は実際の直交復号構成設定に集中した例を保つためです。加えて、速度とこの割り当て方式は最終的な応用に対して非常に特殊と考察され、故にコードのこの部分は多分変更されることが必要です。

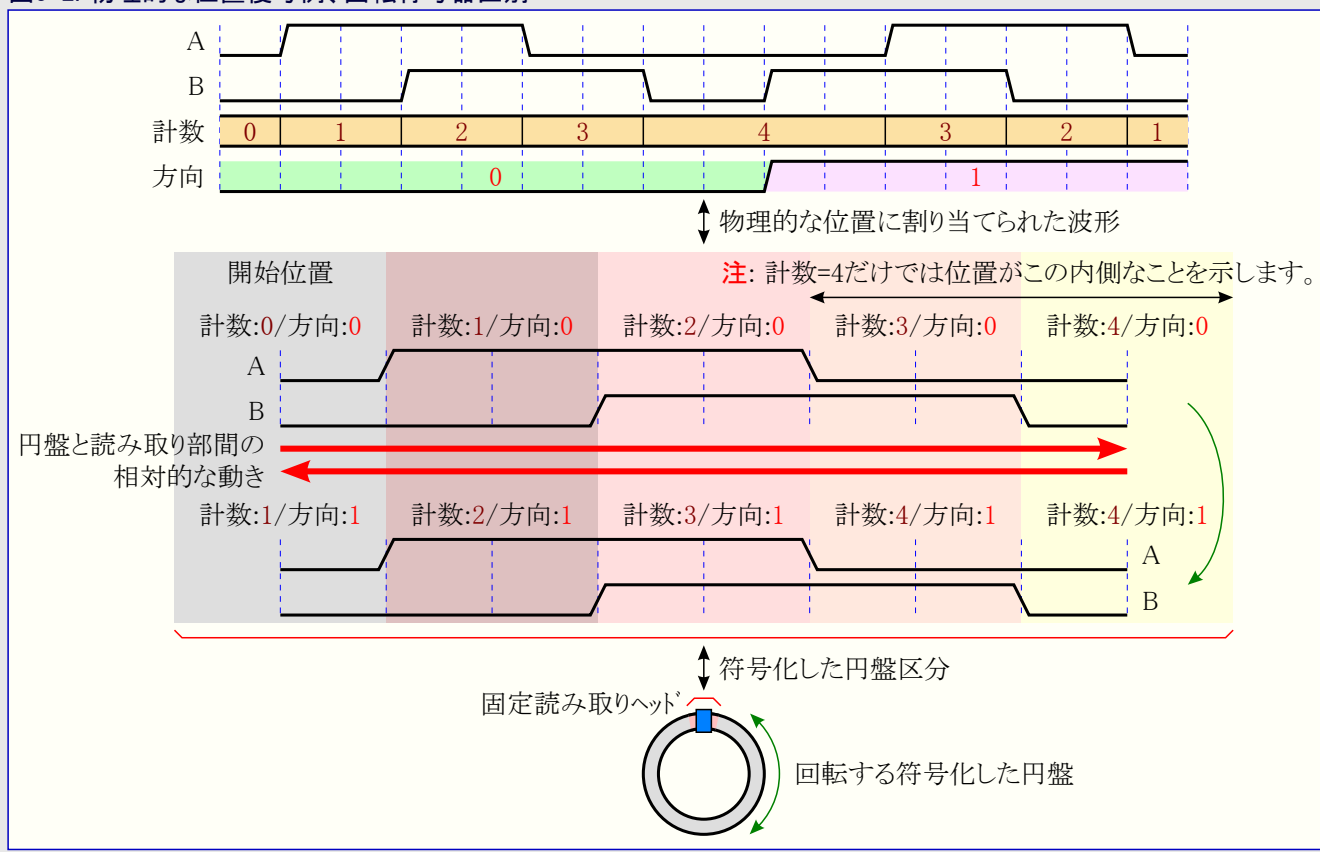
下図はCPUがどう利用されるかを図解します。

図5-1. CPU実行の流れ概要



この復号の仕組みは方向変更に対応しない直交パルスで計数値を増加または減少するだけにに基づきます。この理由のため、計数値だけでは物理的な位置が[計数値-1、計数値+1]に対応する間隔であることだけを示します。これは2つの隣接する符号器パルス間の距離の2倍の不確実性または精度を与えます。方向値も調べることで、実際の位置が属する2つの間隔[計数値-1、計数値]または[計数値、計数値+1]のどちらかで識別するため不確実性は半分に減らされます。次図は直交波形間割り当てでの復号原理と回転符号器の読み取り部と符号器円盤間の相対的な動きを描きます。

図5-2. 物理的な位置復号例、回転符号器区別



コード例では計数値と方向ビットの更新が物理方向の変更毎に方向ビットだけが更新されるという意味で独立を保たれます。これは方向変更割り込みが起動される時に必要とされるCPU期間を最小にします。従って、方向ビットの値は計数値が対応する物理的な位置に割り当てられる前に計数値からそれを減じることによって考慮されます。

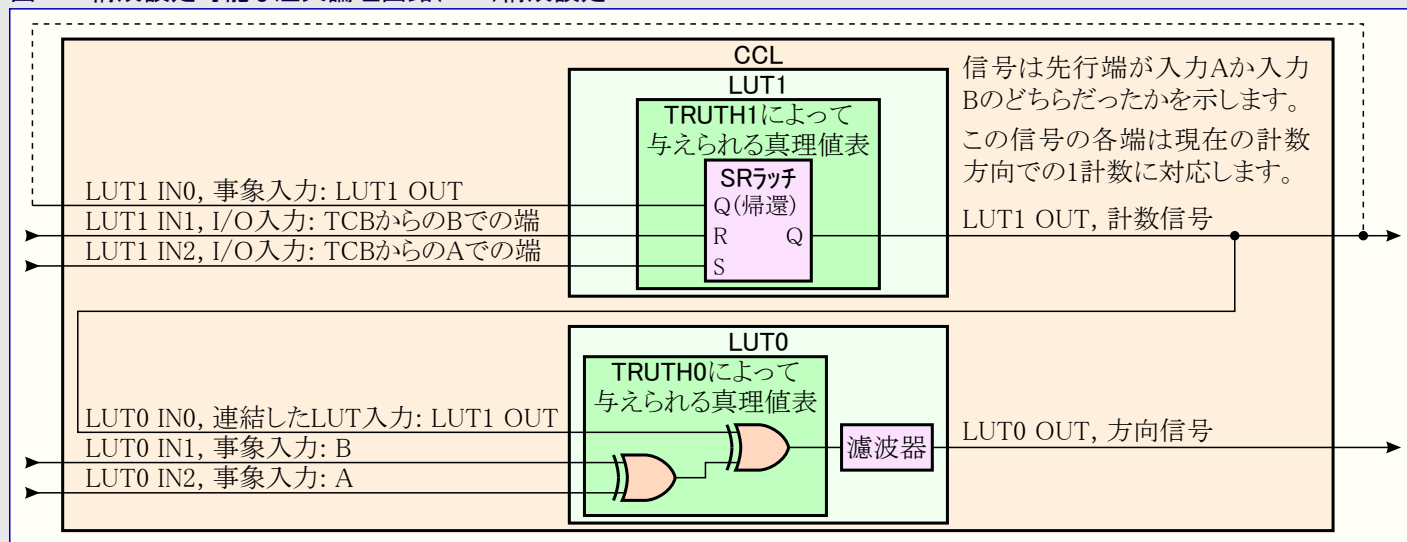
## 6. 構成設定可能な注文論理回路(CCL)構成設定

構成設定可能な注文論理回路(CCL)単位部は接続論理回路として働くことによって計数信号と方向信号を作成します。この単位部は各々がそれぞれの3つの入力に基づいて論理操作を実行することができるいくつかの参照表(LUT:Look-Up Table)を含みます。入力は割り込みと外部信号の多数から選択可能です。

この応用記述に対しては生成する信号の各々に対して1つで2つのLUTが使われます。各LUTの基本的な動きはその真理値表(Truth Table)レジスタによって与えられます。Truth Tableレジスタは真(High)または偽(Low)の出力に対して3つの入力の各々の論理的な組み合わせを割り当てるLUTのための真理値表を定義します。Truth Tableレジスタの各ビットが8つの入力値の組み合わせの1つを表し、ビットの値はその組み合わせに対するLUT出力値を表します。

下図はこの応用のための構成設定可能な注文論理回路(CCL)の構成設定を示します。

図6-1. 構成設定可能な注文論理回路(CCL)構成設定





## LUT1構成設定

LUT1はどちらの直交入力チャネルが最後に検出した端を含むかを示す信号を生成するのに使われます。この信号の各端は直交計数に対応します。この機能は入力として各直交信号に接続された端検出器の出力を取るSRラッチと等価です。一般的なHigh活性のSRラッチ用真理値表が右で含まれます。

この構成設定を成し遂げるにはこのLUT用の以下の3つの入力を持つことに基づきます。

- LUTの現在の出力
- Bでの端を示す信号ストロブ
- Aでの端を示す信号ストロブ

LUT出力は事象システムを経由してIN0に帰還されます。

上で記述したSRラッチ機能の実装は下表で示されるように、“Aでの端”が設定として働き、“Bでの端”が解除として働く、**TRUTH1**レジスタを構成設定することによって行われます。出力列での**TRUTH7~0**によって与えられる16進値の\$32に相当するビットの組み合わせの'**00110010**'が**TRUTH1**レジスタに書くべき結果の8ビット値です。

表6-1. SRラッチ真理値表

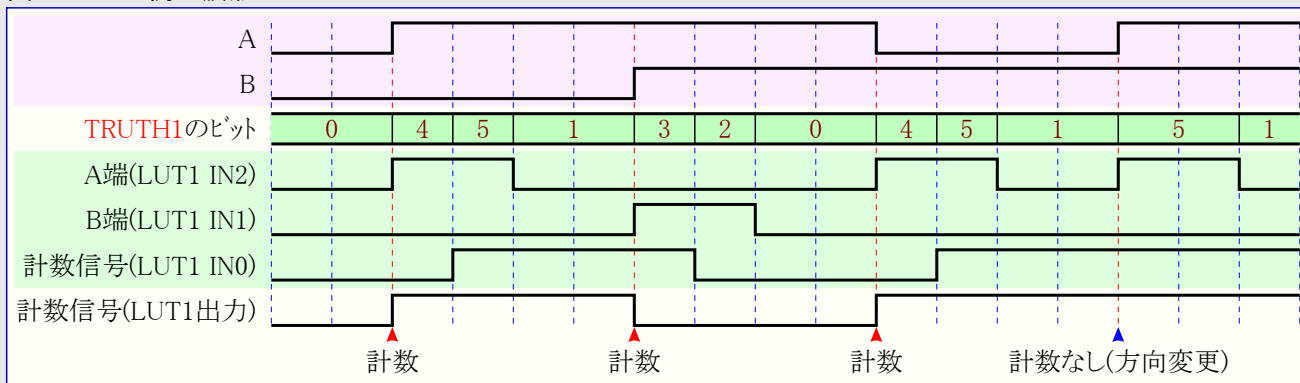
S	R	出力
0	0	状態保持(無変化)
0	1	解除(0)
1	0	設定(1)
1	1	禁止状態

表6-2. LUT1用真理値表

IN2 (Aでの端)	IN1 (Bでの端)	IN0 (計数信号帰還)	出力( <b>TRUTH1</b> ) (計数信号出力)	対応するSRラッチ出力
0	0	0	0 ( <b>TRUTH0</b> )	状態保持(無変化)
0	0	1	1 ( <b>TRUTH1</b> )	状態保持(無変化)
0	1	0	0 ( <b>TRUTH2</b> )	解除(0)
0	1	1	0 ( <b>TRUTH3</b> )	解除(0)
1	0	0	1 ( <b>TRUTH4</b> )	設定(1)
1	0	1	1 ( <b>TRUTH5</b> )	設定(1)
1	1	0	0 ( <b>TRUTH6</b> )	禁止状態
1	1	1	0 ( <b>TRUTH7</b> )	禁止状態

下の波形は入力信号の流れの例に対する出力信号だけでなく各入力値の組み合わせに対するLUT1真理値表での対応する列も示します。加えて、実際のAとBの入力信号が含まれます。この図の主な目的はLUTの入力と出力間の割り当てを示すことです。従ってLUT1のIN0とIN1でのパルス長だけでなくLUT1出力からLUT1のIN0への遅延も明確化のために誇張されています。

図6-2. LUT1例の波形



## LUT0構成設定

LUT0はいつでも直交パルスの方向を示す信号を生成するのに使われ、総パルス計数が各計数に対して増加か減少のどちらかを示します。これを成し遂げるには構成設定がLUT0用の以下の3つの入力を持つことに基づきます。

- 先行端を含むチャネル(AまたはB)を示すLUT1からの出力
- B
- A

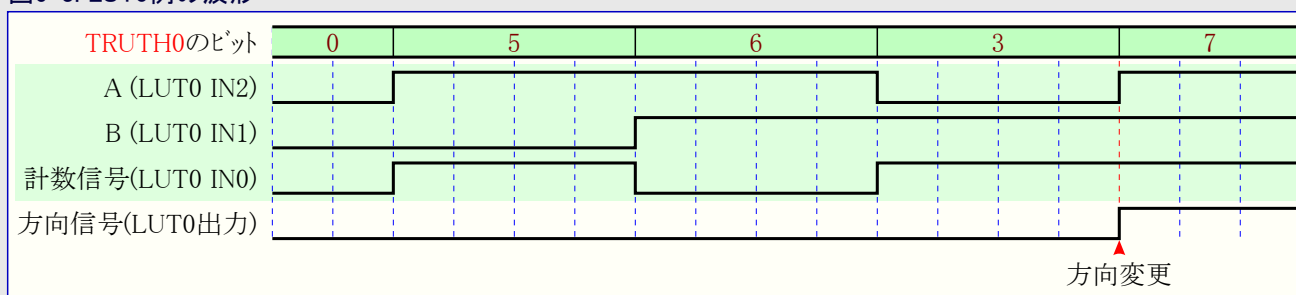
初めに含まれた図でLUT0に対して図解されるように、方向信号は2つのXORの直列動作を実行することによって作成されます。最初は入力としてAとBを取り、一方で2つ目は入力として計数信号と最初のXORからの出力を取ります。記述されるようにLUTを構成設定するには**TRUTH0**レジスタが下表に従って構成設定されることが必要です。出力列での**TRUTH7~0**によって与えられる16進値の\$96に相当するビットの組み合わせの'**10010110**'が**TRUTH0**レジスタに書くべき結果の8ビット値です。

表6-3. LUT0用真理値表

IN2 (A)	IN1 (B)	IN0 (LUT1からの計数信号)	出力(Truth0) (方向信号出力)
0	0	0	0 (Truth0)
0	0	1	1 (Truth1)
0	1	0	1 (Truth2)
0	1	1	0 (Truth3)
1	0	0	1 (Truth4)
1	0	1	0 (Truth5)
1	1	0	0 (Truth6)
1	1	1	1 (Truth7)

下の波形は方向変更を含む入力信号の流れの例に対する出力信号だけでなく各入力値の組み合わせに対するLUT0真理値表での対応する列も示します。

図6-3. LUT0例の波形



AとBの入力信号から出力信号への伝搬遅延があります。その結果、変更された計数信号に帰着する直交パルスを受け取る時に、その変更はLUT0のIN1またはIN2での対応する変更後のLUT0のIN0で届きます。LUT出力が濾波されない場合、不必要な方向変更割り込みを呼び出すLUT0出力での瞬間異常を引き起こします。この問題を緩和するためにLUT0の濾波器が許可されます。

## 7. タイマ/カウンタの構成設定

本章はこの応用記述で使われる2つの異なる計時器単位部の16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)と16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)の構成設定を記述します。

### 16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)の構成設定

16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)はAとBでの直交パルスによって示されるような累積した増加型の動きの経緯を保つのに使われます。

16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)は1つの事象入力を持ち、事象信号の両端を計数するように構成設定されます。事象入力として生成された計数信号を設定して生成された方向信号に従って計数器の方向を更新することにより、タイマ/カウンタは計数方向の更新にCPUを必要とするだけで増加型符号器パルスの経緯を保つことができます。

更に、計数器の期間は計数器値が0にリセットされる前に計数されるべき符号器の総増加数に応じて構成設定されます。与えられた角度間隔が常に存在する制御の回転目盛り盤や軸の位置を追跡するような応用に対して、符号器計数で与えられた測定窓の大きさは16ビット以下にすることができます。これらの場合、計数器の期間は計数器の下溢れや上溢れを避けるための十分な緩衝部を含み、0と測定窓の最終点を表す期間値のように構成設定されるべきです。

測定窓が制限されない、または16ビットよりも大きな回転応用では、計数器の期間は符号器分解能-1に設定されるべきです。1による減算は唯一の位置の総数が符号器分解能と等しくなるように0位置を考慮するように行われなければなりません。これらの応用に対して位置は各符号器分機能内で追跡されるだけで、故に複数回転に渡っての位置追跡が必要とされる場合、累積した回転数も計数されなければなりません。

16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)はどの比較チャネルや波形出力もなしに標準動作で使われます。

### 16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)の構成設定

16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)の2つの実体は直交入力信号のAとBの端を検出するのに使われます。両方共同様に構成設定されます。

16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)は1つの事象入力と事象両端で活動を起動する能力を持ちます。この活動は構成設定されたTCB動作形態によって与えられます。単発動作では入力事象での端検出で単一計数手順を始めることができます。TCB波形出力が許可される場合、計数器が比較値に達するまでHighを保たれます。

TCBは事象入力での上昇と下降の両端の検出で構成設定可能な長さの瞬発信号を出力する端検出器として構成設定されます。これは以下の機能を許可することによって成し遂げられます。

- ・ 単発動作

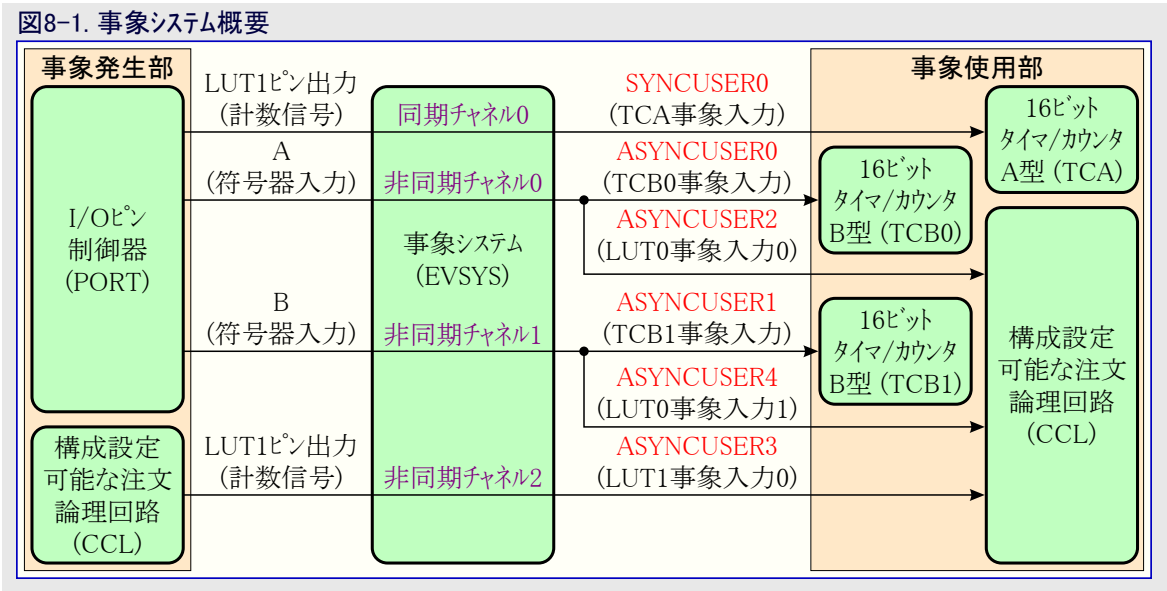


- ・ 両端検出を持つ事象入力
- ・ 非同期波形出力

この構成設定は16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)の2つの実体の事象入力に入出力ピン制御器(PORT)単位部と事象システム(EVSY)を経由して直交信号を配線することによって利用されます。非同期波形出力はその後にそれらの出力ピン経由で構成設定可能な注文論理回路(CCL)に配線されます。

## 8. 事象システム構成設定

事象システムはデバイス上の単位部間で内部的に信号配線するのに使われます。この応用記述に使われ事象システムの構成設定が下図で示されます。



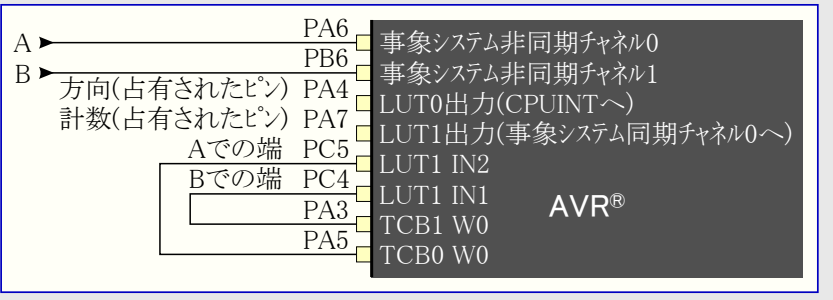
2つの符号器入力が入出力ピン制御器(PORT)から非同期事象チャンネルに各々配線されます。それらは正しい事象チャンネルへ事象使用部レジスタを構成設定することによってその後に構成設定可能な注文論理回路(CCL)と2つの16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)の単位部に渡されます。

LUT1からの出力は直接的に非同期チャンネル2に対する事象発生部として、ピン経由で間接的に同期チャンネル0に対する発生部として両方で使われます。これは前の図で一番上と一番下の矢印線で表されます。この理由は16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)単位部が同期事象しか受け入れず、一方で構成設定可能な注文論理回路(CCL)が非同期事象を生成するためです。従って同期事象を生成するために入出力ピン制御器(PORT)経由で非同期事象を渡すことがこの応用に対して必要とされます。

## 9. ホート構成設定とデバイスの具体的詳細

記述した構成設定を実現するには8つのデバイスピンが必要とされます。4つのピンは入力として、他の4つは出力として構成設定されます。右図はATtiny1617デバイスに应用を実装する時のピン割り当て指定の例とそれらの使い方を示します。これに伴うコードはATtiny1617用に使われていますが、小さな努力で必要な周辺機能を持つ他のデバイスに移植することができます。

**図9-1. ATtiny1617での実装用ピン接続概要**



2つの符号器入力は最小入力遅延のために完全な非同期ピンのPA6とPB6に接続されます。デバイス上のLUT1によって使われる他の2つの構成設定されたピン入力のPC4とPC5は物理的にTCB単位部の出力ピンのPA3とPA5に接続されます。これはTCBの非同期ピン出力を利用することによってTCB単位部からLUT1への遅延を最小にするためです。

利用される最後の2つのピンは2つのLUTの出力ピンのPA4とPA7です。16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)の計数方向を更新するため、ピン上の信号の両端を感知して実際の方角更新を処理するPORTA割り込み処理ルーチン(ISR)の実行を始めるようにも構成設定されます。16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)へ計数信号を配線する必要性のため、事象システムの同期チャンネル0用の事象発生部としてPA7が使われます。

## 10. 性能と制限

本章はいくつかの実験に基づく復号性能数値だけでなく記述した構成設定に対して確認されている制限と考慮の一式を記述します。これはこの構成設定が物理的な応用で利用される場合に考慮されるべきです。

### 実験に基づく性能数値

模倣した直交パルスでデバイスを突き動かすことにより、受け入れ可能な最大直交周波数の点で復号の仕組みの性能は20MHzのクロック周波数で走行するATtiny1617を用いて実験によって調査されました。これらの数値はあまり雑音量がない机上設定で試験したデバイスに対する最大水準と見做されるべきです。

単方向直交信号に対して、デバイスは概ね最大2.5MHzで到着する着信パルスを成功裏に計数することができます。これは回転当たり2000計数を提供する回転符号器に対して分当たり75000回転に相当します。

端毎での方向の変更に対応する、入力信号の1つがそのレベルを継続的に交互切り替えするように符号器が発振する状況では、計数方向を更新するための割り込みルーチンがそれらの端の各々によって始められます。割り込みを開始して実行することに伴う遅延は得られる復号周波数を減じます。連続方向変更の受け入れ可能な最大周波数は概ね500kHzであることが分かりました。

比較のために、純粋な割り込みに基づく復号の仕組みも試験しました。このルーチンは復号が方向変更によって影響を及ぼされないように各直交パルスに対して上昇または下降のどちらかの計数を決めます。割り込みに基づく解決策に対する最大復号周波数は概ね220kHzであることが分かりました。

コアから独立した手法に比べてCPUに基づく解決策の2つの利点は雑音耐性を増すためにソフトウェア濾波器を実装することができるのと、信号処理に関して柔軟性を追加することです。そしてこれはより低い最大復号周波数の犠牲で手に入るでしょう。

### 考慮と制限

確認された主な制限は雑音耐性の低い程度とタイマ/カウンタの計数方向更新に対する割り込みの使用に基づきます。

### 雑音消去

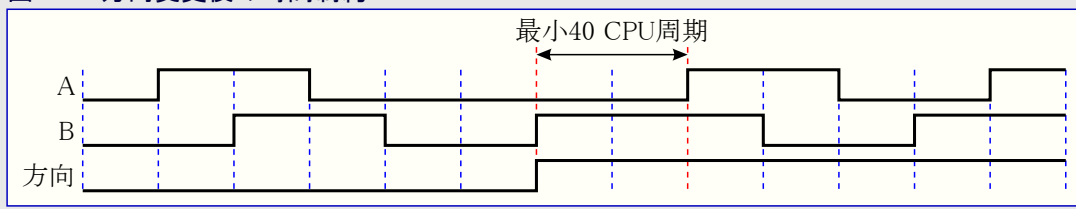
入力信号の端検出に加えてこの応用では低い程度の内部信号濾波が使われます。このため、復号の仕組みは入力線での雑音と偽のスパイクに敏感です。具体的に、1 CPUクロック周期よりも長く留まる偽パルスが直交計数または方向変更として検出し得ます。雑音耐性はCPUクロック周波数を減らすことによって増され、それによって復号帯域も減らします。別の任意選択は必要ならば外部の濾波や信号調整の段階を追加することです。この機能を含む直交符号器からの指標パルス信号を利用することは偽パルスの検出を除去することができない場合に機能的な影響を減らします。

### 割り込み駆動計数方向更新

16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)の計数方向を更新するための割り込み使用はいくつかの機能的な含みを持ちます。方向変更が検出された時に割り込みルーチンを実行するのにCPUが必要なため、直交復号を完全にコアから独立にさせません。割り込みを処理するのに必要とされるCPU周期は単方向の動きからの直交パルスの最大周波数よりも低い方向変更の最大周波数にします。

方向変更割り込みを処理するのに必要とされる命令を調査することにより、対応する割り込み要求フラグが上げられてから割り込み処理ルーチンが完了されるまで概ね40 CPU周期がかかることが分かりました。これは20MHzのCPU周波数で連続する方向変更の最大周波数が概ね500kHzであると分かった性能数値に関する前の項での記述に良く対応します。主な結果は正しいままにするため、方向変更と後続する直交パルス間の時間が方向に関して40 CPU周期以上であるべきことです。これは下図で図解されます。

図10-1. 方向変更後の時間制約



## 11. 更なる開発

この応用記述に付随するコードは直交復号の仕組みに従ってデバイスを構成設定します。ポーリング様式で物理的な符号器角度に対する計数と方向の値の変換も示します。以下の記述は必要とされる場合に追加することができる追加機能に対するいくつかの提案です。

更なる改良のための提案:

- 応用の求めに従って実行されるRTC割り込みに対する物理的な位置または角度の動き変換
- CPUが必要とされない時に電力消費を減らすための休止歩行の追加
- 符号器速度の予測を追加。これは既知の時間間隔、例えば、RTCからの周期的な割り込みに基づき、符号器の計数での差を調べることによって行うことができます。
- パルスが検出された時に計数器を既知の値に設定することによって頑強さを増すために指標パルス検出に対する支援を追加。正確な参照基準点として指標パルスを用いることによって精度を増すこともできます。

12. Atmel | STARTからのソースコード取得

コード例は画像使用者インターフェース(GUI)を通して応用コードの構成設定を許すウェブに基づくAtmel | STARTを通して利用可能です。コードは下の直接コード例リンクまたはAtmel | START先頭頁のBROWSE EXAMPLES(例検索)鉤經由Atmel Studio 7.0とIAR Embedded Workbench®の両方に対してダウンロードすることができます。

Atmel | STARTウェブ ページ : [start.atmel.com/](http://start.atmel.com/)

コード例

- Interfacing Quadrature Encoder using CCL with TCA and TCB (TCAとTCBと共にCCLを用いる直交符号器インターフェース):
  - [http://start.atmel.com/#example/Atmel:quadrature\\_decoding\\_using\\_ccl\\_with\\_tca\\_and\\_tcb:1.0.0::Application:Quadrature\\_Decoding\\_using\\_CCL\\_with\\_TCA\\_and\\_TCB:](http://start.atmel.com/#example/Atmel:quadrature_decoding_using_ccl_with_tca_and_tcb:1.0.0::Application:Quadrature_Decoding_using_CCL_with_TCA_and_TCB:)

例プロジェクトについての詳細と情報に関してはAtmel | STARTでUser guide(使用者の手引き)を押下してください。User guide鉤はAtmel | STARTプロジェクト構成設定部内の一覧画面でプロジェクト名をクリックすることにより、例閲覧部で見つけることができます。

Atmel Studio

DOWNLOAD SELECTED EXAMPLE(選んだ例をダウンロード)をクリックすることにより、Atmel | STARTで例閲覧部からAtmel Studio用.atzipファイルとしてコードをダウンロードしてください。Atmel | START内からファイルをダウンロードするには、EXPORT PROJECT(プロジェクトをエクスポート)に続いてDOWNLOAD PACK(一括ダウンロード)をクリックしてください。

ダウンロードした.atzipファイルをダブル クリックしてください。プロジェクトがAtmel Studio 7.0に導入されます。

IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbenchでプロジェクトをインポートする方法の情報についてはAtmel | START使用者の手引きを開き、Using Atmel Start Output in External Tools(外部ツールでAtmel START出力を使用)とIAR Embedded Workbenchを選んでください。Atmel | START使用者の手引きへのリンクは共に頁の右上隅に置かれたAtmel | START先頭頁からAbout(これについて)またはプロジェクト構成設定部内のHelp And Support(手助けと支援)をクリックすることによって見つけることができます。

13. 用語と略語

表13-1. 用語と略語

成句/略語	説明
CPU	中央処理部。一般的にマイクロ コントローラのコアに対して使われます。
ISR	割り込み処理ルーチン
瞬発信号(ストロブ)	短いパルスまたは信号
CCL LUT	構成設定可能な注文論理回路の参照表。AVRのCCL単位部がLUTを含みます。
測定窓	符号器が測定する位置の一群
事象	事象システムによって周辺機能間に直接的に配線することができるデバイス上の内部信号
RTC	実時間計数器

14. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
A	2017年8月	初版資料公開
B	2018年2月	tinyAVR 0系統とmegaAVR 0系統も含むように「関連デバイス」章を更新
C	2018年10月	8/16KバイトmegaAVR 0系デバイスも含むように「関連デバイス」章を更新

---

## 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
- ・ **全般的な技術支援** – 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
- ・ **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

---

## 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

---

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 2021.

本応用記述はMicrochipのAN2434応用記述(DS00002434C-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>ボストン</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 - 香港特别行政区</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 - プネー</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 - ハーネ</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 - ハットバ</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 - ウォーキンガム</b> Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820