

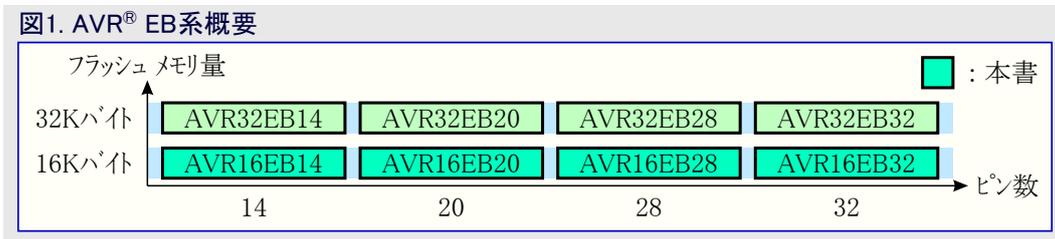
### 序説

AVR® EB系統のAVR16EB14/20/28/32マイクロコントローラは14、20、28、32ピン外周器で16Kバイトのフラッシュメモリ、2KバイトのSRAM、512バイトのEEPROMと20MHzまでのクロック速度で動くハードウェア乗算器を持つAVR® CPUを使っています。このマイクロコントローラは利用可能です。AVR® EB系統は事象システム、正確なアナログ部分系、進化したデジタル周辺機能を含む柔軟で低電力な基本設計を持つMicrochipの最新技術を使います。

### 系統概要

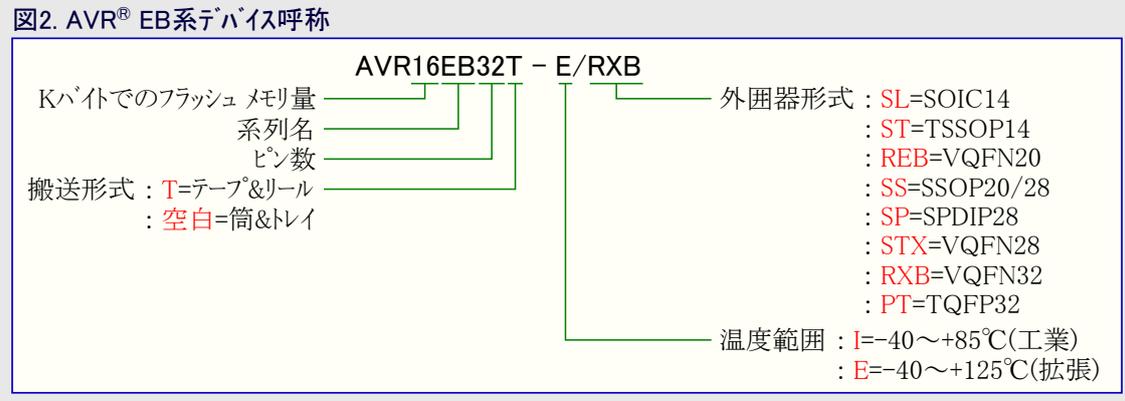
下図はピン数変種とメモリ量で並べてAVR® EBデバイスを示します。

- これらのデバイスが完全なピンと機能の互換のため、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の量も持ちます。

AVR® EB系のデバイスの名前は次のように復号されます。



(訳注) ・ 本書はAVR16EB14/20/28/32シリコン障害とデータシート説明(DS80001107A)の内容を含みます。

- 原書に対して断りなく最新情報に更新している場合があります。

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

## メモリ概要

表1. メモリ概要

メモリ形式	AVR16EB14/20/28/32
フラッシュメモリ	16Kバイト
SRAM	2Kバイト
EEPROM	512バイト
使用者列	64バイト
ブート列	64バイト

## 周辺機能概要

表2. 周辺機能概要

機能項目	型番	AVR16DD14	AVR16DD20	AVR16DD28	AVR16DD32
ピン数		14	20	28	32
最大動作周波数 (MHz)		20			
16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)		2			
16ビット タイマ/カウンタE型 (TCE)		1			
波形拡張 (WEX)		1			
12ビット タイマ/カウンタF型 (TCF)		1			
実時間計数器 (RTC)		1			
USART/SPI主装置		1			
SPI主装置/従装置		1			
TWI/I <sup>2</sup> C	(注1)	1			
12ビット差動ADC (チャンネル数)		1 (8)	1 (14)	1 (20)	1 (24)
アナログ比較器 (AC)		2			
注文論理回路参照表 (CCL LUT)		4			
ウォッチドッグ タイマ (WDT)		1			
事象システム チャンネル数		6			
汎用入出力 (GPIO) (入力数/出力数)	(注2)	12/11	18/17	24/23	28/27
ポート		PA1,0 PC3~0 PD7~4 PF7,6	PA7~0 PC3~0 PD7~4 PF7,6	PA7~0 PC3~0 PD7~0 PF7,6,1,0	PA7~0 PC3~0 PD7~0 PF7~0
外部割り込み		12	18	24	28
CRC走査 (CRCSCAN)		1			
統一プログラム/デバッグ インターフェース (UPDI)		1			

注1: TWI/I<sup>2</sup>Cは異なるピンで主装置と従装置として同時に動かすことができます。

注2: PF6/RESETピンは入力専用です。

## 特徴

- AVR<sup>®</sup> CPU
  - 最大20MHzで走行
  - 単一周期I/Oレジスタ アクセス
  - 2段階の割り込み制御器
  - 2周期ハードウェア乗算器
  - 供給電圧範囲：1.8～5.5V
- メモリ
  - 真の書き込み中の読み込み動作を持つ実装書き換え可能な16Kバイト(8K語)のフラッシュ メモリ
  - 2KバイトのSRAM
  - 512バイトのEEPROM
  - チップ消去間もデータを保持してデバイスが施錠中でも書くことができる不揮発性メモリ内の64バイトの使用者列
  - 書き込み/消去耐久性
    - フラッシュ：メモリ 1,000回
    - EEPROM：100,000回
  - データ保持力：55°Cで40年
- システム
  - 電源ONリセット(POR)回路
  - 使用者設定可能な基準を持つ低電圧検出器 (BOD)
  - BOD基準越えで設定可能な基準での割り込みを持ち使用者設定可能な基準を持つ電圧水準監視部 (VLM)
  - クロック任意選択
    - 20MHzまで選択可能な周波数を持つ高精度内部高周波数発振器 (OSCHF)
      - 内部発振器精度を改善する自動調整
    - タイマ/カウンタE/F型の高周波数動作用の80MHzまでの内部PLL
    - 内部超低電力32.768kHz発振器 (OSC32K)
    - 外部32.768kHz水晶用発振器 (XOSC32K)
    - 外部クロック入力
  - 単一ピンの統一プログラム/デバッグ インターフェース (UPDI)
  - 3つの休止動作形態
    - 即時起き上がりのために全ての周辺機能が走行しているアイドル
    - 選んだ周辺機能の構成設定可能な動作を持つスタンバイ
    - 完全なデータ保持力を持つパワーダウン
- 周辺機能
  - 捕獲と信号測定用に捕獲入力を持つ2つの16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)
  - PWM生成と波形拡張(WEX)用に4つの比較チャネルを持つ1つの16ビット タイマ/カウンタE型 (TCE)
  - 周波数生成用の1つの24ビット タイマ/カウンタF型 (TCF)
  - 外部水晶または内部発振器で走行することができる1つの16ビット実時間計数器 (RTC)
  - 分数ポーレート生成器、自動ポーレート、フレーム開始検出を持つ1つのUSART
  - 1つの主装置/従装置直列周辺インターフェース (SPI)
  - 2重アドレス一致を持つ1つの2線インターフェース (TWI)
    - 独立した主装置と従装置の動作 (2元動作)
    - Philips I<sup>2</sup>C互換
    - 標準動作 (Sm, 100kHz)
    - 高速動作 (Fm, 400kHz)
    - 高速動作プラス (Fm+, 1MHz)
  - CPUから独立して予測可能な周辺機能相互合図用の事象システム
  - 最大4つの設定可能な参照表(LUT)を持つ構成設定可能な注文論理回路 (CCL)
  - 設定可能な利得増幅器(PGA)を持つ12ビット、300kspsの1つの差動A/D変換器 (ADC)
  - 窓比較機能を持つ2つのアナログ比較器 (AC)
  - 多数の電圧参照基準
    - 1.024V
    - 2.048V
    - 2.500V
    - 4.096V
    - VREFA
    - VDD
  - 自動化された巡回冗長検査(CRC)フラッシュ プログラム メモリ走査
  - 窓動作と独立したチップ上発振器を持つウォッチドッグ タイム (WDT)
  - 全ての汎用ピンでの外部割り込み

- I/Oと外圍器
  - 最大28/27本の設定可能なI/Oピン
  - 14リードのSOIC、14リードのTSSOP
  - 20リードのSSOP、20パッドのVQFN
  - 28ピンのSPDIP、28リードのSSOP、28パッドのVQFN
  - 32パッドのVQFN、32リードのTQFP
- 温度範囲
  - 工業：周囲 -40～85°C
  - 拡張：周囲 -40～125°C

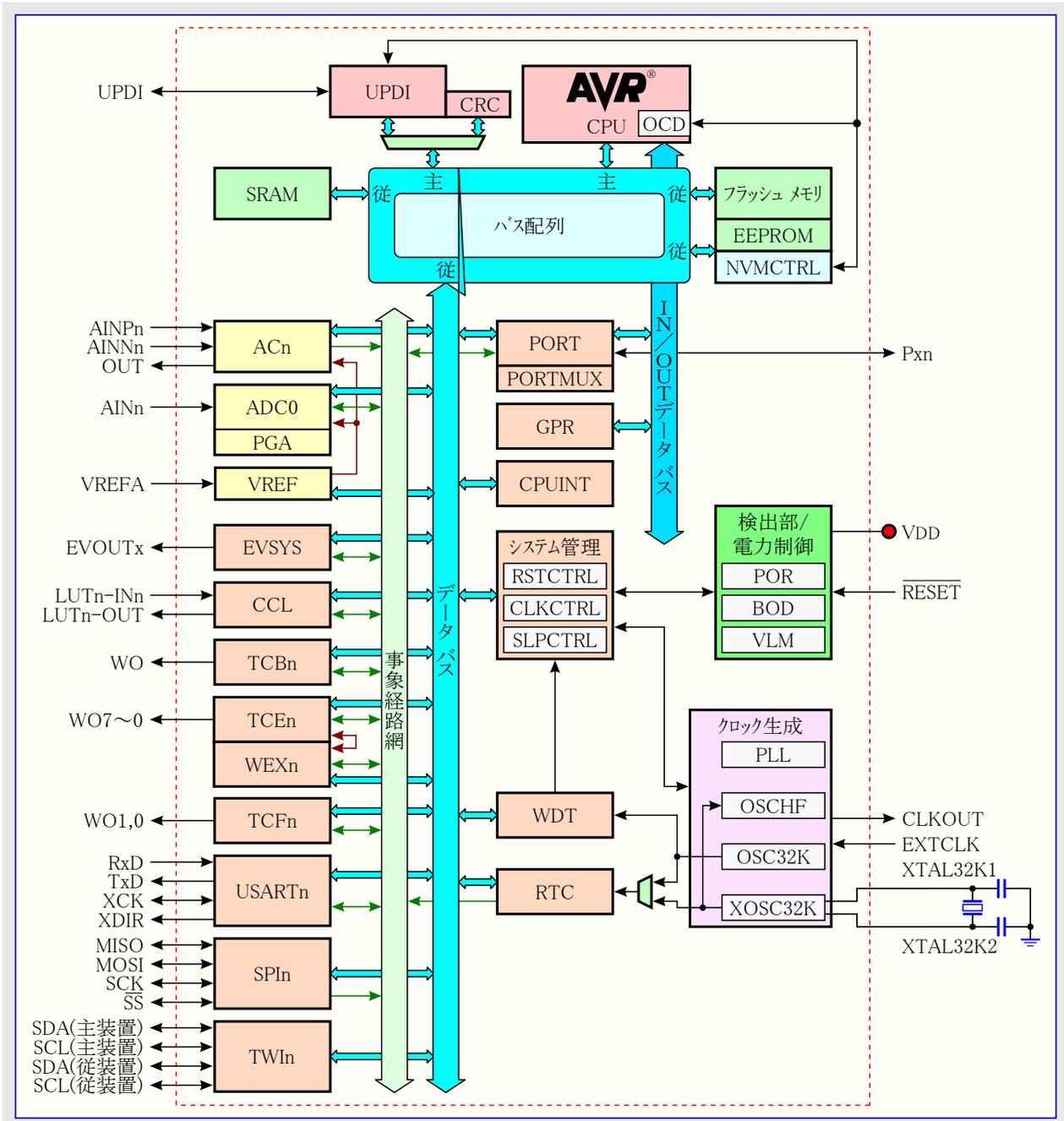
## 目次

序説	1	11. NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器	47
系統概要	1	11.1. 特徴	47
メモリ概要	2	11.2. 概要	47
周辺機能概要	2	11.3. 機能的な説明	47
特徴	3	11.4. レジスタ要約	54
1. 構成図	8	11.5. レジスタ説明	55
2. ピン配置	9	12. CLKCTRL – クロック制御器	59
2.1. 14リード <sup>®</sup> SOIC・14リード <sup>®</sup> TSSOP	9	12.1. 特徴	59
2.2. 20リード <sup>®</sup> SSOP	9	12.2. 概要	59
2.3. 20パッド <sup>®</sup> VQFN	9	12.3. 機能的な説明	60
2.4. 28ピンSPDIP・28リード <sup>®</sup> SSOP	10	12.4. レジスタ要約	63
2.5. 28パッド <sup>®</sup> VQFN	10	12.5. レジスタ説明	64
2.6. 32パッド <sup>®</sup> VQFN・32リード <sup>®</sup> TQFP	11	13. SLPCTRL – 休止制御器	70
3. 入出力多重化と考察	12	13.1. 特徴	70
3.1. 入出力多重化	12	13.2. 概要	70
4. ハードウェアの指針	13	13.3. 機能的な説明	70
4.1. 一般的な指針	13	13.4. レジスタ要約	73
4.2. 電源用接続	13	13.5. レジスタ説明	74
4.3. RESET用接続	14	14. RSTCTRL – リセット制御器	75
4.4. UPDIプログラミング用接続	14	14.1. 特徴	75
4.5. 外部クリスタル発振子接続	15	14.2. 概要	75
4.6. 外部基準電圧接続	16	14.3. 機能的な説明	75
5. 電力区域	17	14.4. レジスタ要約	78
6. 規定	18	14.5. レジスタ説明	79
6.1. 数字表記法	18	15. CPUINT – CPU割り込み制御器	80
6.2. メモリの大きさや形式	18	15.1. 特徴	80
6.3. 周波数と時間	18	15.2. 概要	80
6.4. レジスタとビット	19	15.3. 機能的な説明	80
6.5. ADCパラメータ定義	20	15.4. レジスタ要約	84
7. AVR <sup>®</sup> CPU	21	15.5. レジスタ説明	85
7.1. 特徴	21	16. EVSYS – 事象システム	87
7.2. 概要	21	16.1. 特徴	87
7.3. 基本構成	21	16.2. 概要	87
7.4. 機能的な説明	22	16.3. 機能的な説明	88
7.5. レジスタ要約	25	16.4. レジスタ要約	92
7.6. レジスタ説明	26	16.5. レジスタ説明	93
8. メモリ	28	17. PORTMUX – ホット多重化器	96
8.1. 概要	28	17.1. 概要	96
8.2. メモリ配置	28	17.2. レジスタ要約	97
8.3. 実装書き換え可能なフラッシュプログラムメモリ	28	17.3. レジスタ説明	98
8.4. プログラム/テック <sup>®</sup> インターフェース禁止 (PDID)	29	18. PORT – I/Oピン構成設定	102
8.5. SRAMデータメモリ	29	18.1. 特徴	102
8.6. EEPROMデータメモリ	29	18.2. 概要	102
8.7. SIGROW – 識票列	29	18.3. 機能的な説明	103
8.8. USERROW – 使用者列	32	18.4. レジスタ要約 – PORTx	106
8.9. BOOTROW – ブート列	32	18.5. レジスタ説明 – PORTx	107
8.10. FUSE – 構成設定と使用者のヒューズ <sup>®</sup>	32	18.6. レジスタ要約 – VPORTx	114
8.11. LOCK – メモリ領域アクセス保護	38	18.7. レジスタ説明 – VPORTx	115
8.12. I/Oメモリ	40	19. BOD – 低電圧検出器	117
9. GPR – 汎用レジスタ	41	19.1. 特徴	117
9.1. レジスタ要約	42	19.2. 概要	117
9.2. レジスタ説明	43	19.3. 機能的な説明	117
10. 周辺機能と基本構造	44	19.4. レジスタ要約	119
10.1. 周辺機能アドレス配置	44	19.5. レジスタ説明	120
10.2. 割り込みベクタ配置	45	20. VREF – 基準電圧	123
10.3. SYSCFG – システム構成設定	46	20.1. 特徴	123
		20.2. 概要	123

20.3.	機能的な説明	123	29.	TWI – 2線インターフェース	236
20.4.	レジスタ要約	124	29.1.	特徴	236
20.5.	レジスタ説明	125	29.2.	概要	236
21.	WDT – ウォッチドッグ タイマ	126	29.3.	機能的な説明	237
21.1.	特徴	126	29.4.	レジスタ要約	245
21.2.	概要	126	29.5.	レジスタ説明	246
21.3.	機能的な説明	126	30.	CRSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査	256
21.4.	レジスタ要約	129	30.1.	特徴	256
21.5.	レジスタ説明	130	30.2.	概要	256
22.	TCB – 16ビット タイマ/カウンタB型	131	30.3.	機能的な説明	256
22.1.	特徴	131	30.4.	レジスタ要約	259
22.2.	概要	131	30.5.	レジスタ説明	260
22.3.	機能的な説明	132	31.	CCL – 構成設定可能な注文論理回路	262
22.4.	レジスタ要約	137	31.1.	特徴	262
22.5.	レジスタ説明	138	31.2.	概要	262
23.	TCE – 16ビット タイマ/カウンタE型	143	31.3.	機能的な説明	263
23.1.	特徴	143	31.4.	レジスタ要約	268
23.2.	概要	143	31.5.	レジスタ説明	269
23.3.	機能的な説明	144	32.	AC – アナログ比較器	273
23.4.	レジスタ要約	152	32.1.	特徴	273
23.5.	レジスタ説明	153	32.2.	概要	273
24.	WEX – 16ビット タイマ/カウンタE型用波形拡張	163	32.3.	機能的な説明	274
24.1.	特徴	163	32.4.	レジスタ要約	276
24.2.	概要	163	32.5.	レジスタ説明	277
24.3.	機能的な説明	164	33.	ADC – A/D変換器	280
24.4.	レジスタ要約	169	33.1.	特徴	280
24.5.	レジスタ説明	170	33.2.	概要	280
25.	TCF – 24ビット タイマ/カウンタF型	180	33.3.	機能的な説明	281
25.1.	特徴	180	33.4.	レジスタ要約	291
25.2.	概要	180	33.5.	レジスタ説明	292
25.3.	機能的な説明	181	34.	UPDI – 統一プログラム/デバッグ インターフェース	302
25.4.	レジスタ要約	186	34.1.	特徴	302
25.5.	レジスタ説明	187	34.2.	概要	302
26.	RTC – 実時間計数器	192	34.3.	機能的な説明	304
26.1.	特徴	192	34.4.	レジスタ要約	318
26.2.	概要	192	34.5.	レジスタ説明	319
26.3.	クロック	192	35.	命令一式要約	323
26.4.	RTCの機能的な説明	193	36.	電気的特性	324
26.5.	PITの機能的な説明	193	36.1.	お断り	324
26.6.	クリスタル誤差修正	194	36.2.	絶対最大定格	324
26.7.	事象	194	36.3.	標準動作条件	324
26.8.	割り込み	195	36.4.	供給電圧	325
26.9.	休止形態動作	195	36.5.	消費電力	326
26.10.	同期	195	36.6.	周辺機能消費電力	327
26.11.	デバッグ操作	195	36.7.	入出力ピン	328
26.12.	レジスタ要約	196	36.8.	メモリプログラミング仕様	329
26.13.	レジスタ説明	197	36.9.	温度仕様	329
27.	USART – 万能同期非同期送受信器	204	36.10.	CLKCTRL	330
27.1.	特徴	204	36.11.	RSTCTRLとBOD	332
27.2.	概要	204	36.12.	VREF	332
27.3.	機能的な説明	205	36.13.	USART	333
27.4.	レジスタ要約	214	36.14.	SPI	333
27.5.	レジスタ説明	215	36.15.	TWI	335
28.	SPI – 直列周辺インターフェース	224	36.16.	ADC	336
28.1.	特徴	224	36.17.	AC	337
28.2.	概要	224	36.18.	UPDI	337
28.3.	機能的な説明	225	37.	特性図	339
28.4.	レジスタ要約	231	38.	注文情報	340
28.5.	レジスタ説明	232	39.	外圍器情報	342

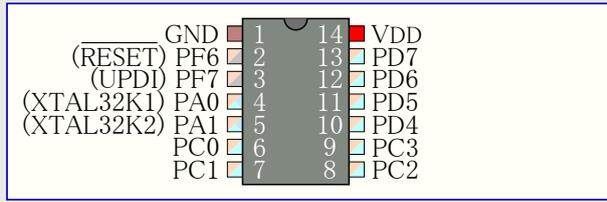
39.1.	オンライン外圍器図	342
39.2.	外圍器表示情報	342
39.3.	外圍器図	345
40.	障害情報	354
41.	データシート改訂履歴	357
41.1.	改訂履歴	357
	Microchip情報	358
	Microchipウェブ サイト	358
	製品変更通知サービス	358
	お客様支援	358
	製品識別システム	358
	Microchipデバイス コード保護機能	358
	法的通知	359
	商標	359
	品質管理システム	359
	世界的な販売とサービス	360

1. 構成図



## 2. ピン配置

### 2.1. 14ピンソリットSOIC・14ピンソリットTSSOP



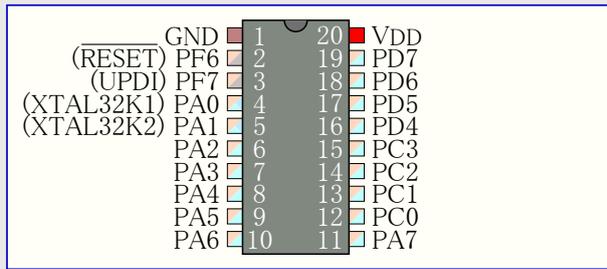
#### 電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン

#### 機能

- プログラミング、デバッグ
- クロック、クリスタル
- GPIO (デジタル機能専用)
- GPIO、アナログ機能

### 2.2. 20ピンソリットSSOP



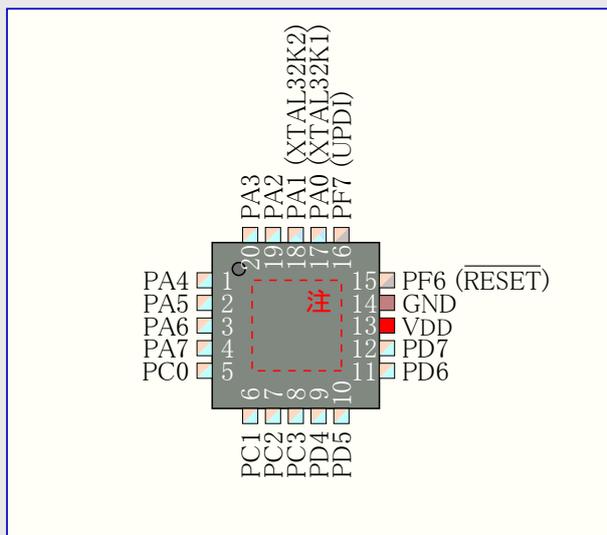
#### 電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン

#### 機能

- プログラミング、デバッグ
- クロック、クリスタル
- GPIO (デジタル機能専用)
- GPIO、アナログ機能

### 2.3. 20ピンパッドVQFN



#### 電力

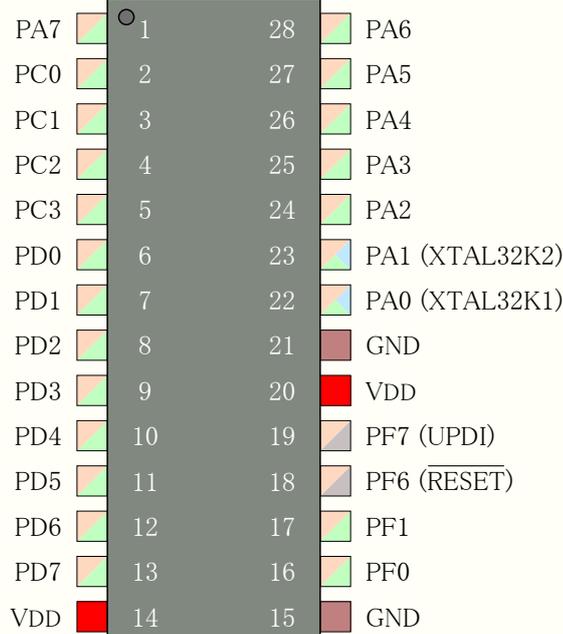
- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン

#### 機能

- プログラミング、デバッグ
- クロック、クリスタル
- GPIO (デジタル機能専用)
- GPIO、アナログ機能

**注:** 機械的な安定性のために大きな中央パッドを接地に半田付けすることが推奨されます。

## 2.4. 28ピンSPDIP・28リードSSOP



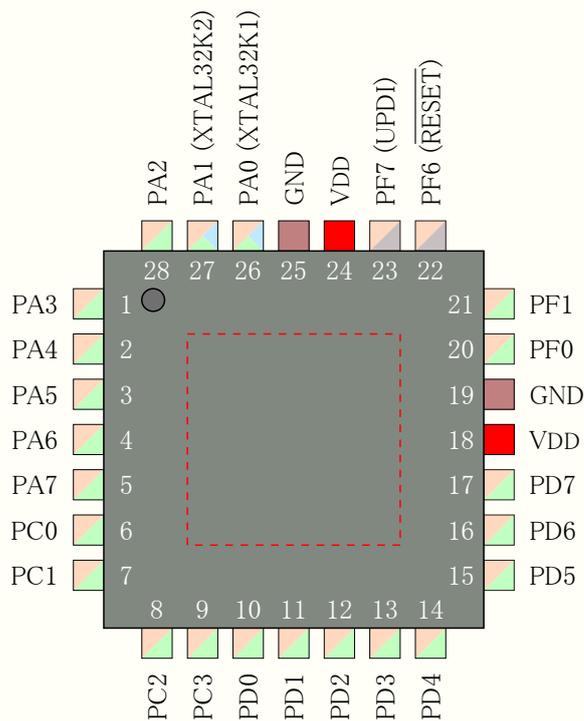
## 電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン

## 機能

- プログラミング、デバッグ
- クロック、クリスタル
- GPIO (デジタル機能専用)
- GPIO、アナログ機能

## 2.5. 28ピンVQFN



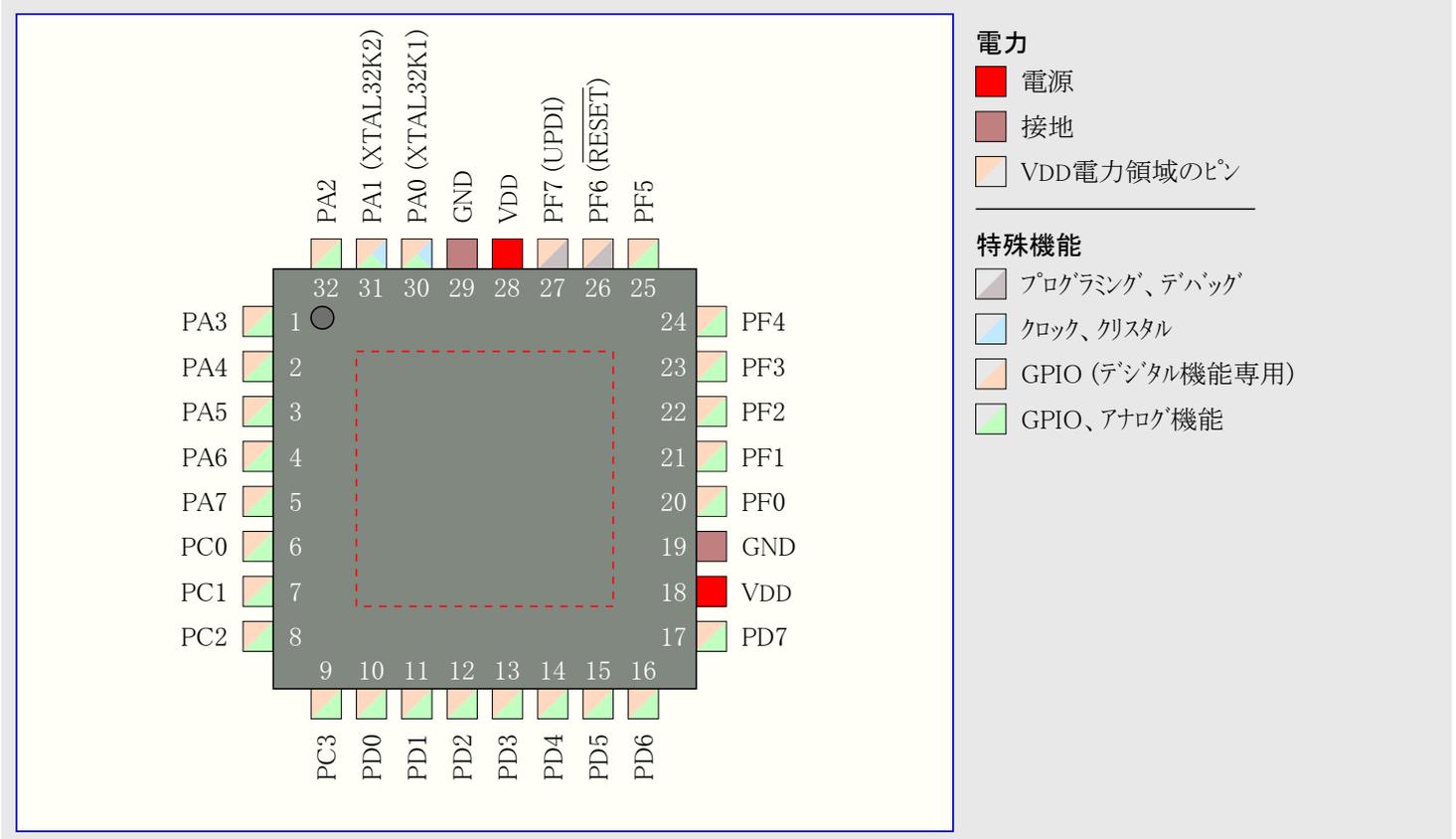
## 電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン

## 機能

- プログラミング、デバッグ
- クロック、クリスタル
- GPIO (デジタル機能専用)
- GPIO、アナログ機能

2.6. 32ピンVQFN・32リードTQFP



### 3. 入出力多重化と考察

#### 3.1. 入出力多重化

VQFN32/ TQFP32	VQFN28	SOP28/ SSOP28	VQFN20	SSOP20	SOIC14/ TSSOP14	ピン名 (注1,2)	特殊	ADC0	ACn	UART0	SPI0	TWI0 (注4)	TCBn	TCE0·WEX0	TCF0	EVSYS	CCL- LUTn
30	26	22	17	4	4	PA0	XTAL32K1 EXTCLK			TxD	MOSI	SDA(M)		WO0·WO0	WO0		0,IN0·0,IN0
31	27	23	18	5	5	PA1	XTAL32K2			RxD	MISO	SCL(M)		WO1·WO1	WO1		0,IN1·0,IN1
32	28	24	19	6	-	PA2	TWI FM+	AIN22		XCK·TxD		SDA(M)	0,WO	WO2·WO0		EVOUTA	0,IN2·0,IN2
1	1	25	20	7	-	PA3	TWI FM+	AIN23		XDIR·RxD		SCL(M)	1,WO	WO3·WO1			0,OUT
2	2	26	1	8	-	PA4		AIN24		TxD	MOSI			WO4·WO2			
3	3	27	2	9	-	PA5		AIN25		RxD	MISO			WO5·WO3			
4	4	28	3	10	-	PA6		AIN26	1,AINP5	XCK	SCK			WO6·WO4	WO0		0,OUT
5	5	1	4	11	-	PA7	CLKOUT	AIN27	0,OUT 1,AINP6 1,OUT	XDIR	$\overline{SS}$			WO7·WO5	WO1	EVOUTA	
6	6	2	5	12	6	PC0		AIN28			SCK·MOSI			WO0·WO2			1,IN0
7	7	3	6	13	7	PC1		AIN29		TxD	$\overline{SS}$ ·MISO·MOSI			WO1·WO3			1,IN1
8	8	4	7	14	8	PC2	TWI FM+	AIN30	0,AINN3 1,AINN3	RxD	SCK·MISO	SDA(S)·SDA(MS)		WO2·WO4		EVOUTC	1,IN2
9	9	5	8	15	9	PC3	TWI FM+	AIN31	0,AINP4 1,AINP4	XCK	$\overline{SS}$ ·SCK	SCL(S)·SCL(MS)		WO3·WO5			1,OUT
10	10	6	-	-	-	PD0		AIN0	0,AINN1 1,AINN1					WO0			2,IN0·2,IN0
11	11	7	-	-	-	PD1		AIN1						WO1			2,IN1·2,IN1
12	12	8	-	-	-	PD2		AIN2	0,AINP0 1,AINP0					WO2		EVOUTD	2,IN2·2,IN2
13	13	9	-	-	-	PD3		AIN3	0,AINN0 1,AINP1					WO3			2,OUT
14	14	10	9	16	10	PD4		AIN4	0,AINP5 1,AINP2	TxD	MOSI			WO4			
15	15	11	10	17	11	PD5		AIN5	0,AINP6 1,AINN0	RxD	MISO			WO5			
16	16	12	11	18	12	PD6		AIN6	0,AINP3 1,AINP3	XCK	SCK			WO6			2,OUT
17	17	13	12	19	13	PD7	VREFA	AIN7	0,AINN2 1,AINN2	XDIR	$\overline{SS}$			WO7		EVOUTD	
18	18	14	13	20	14	VDD											
19	19	15	14	1	1	GND											
20	20	16	-	-	-	PF0		AIN16						WO0			3,IN0
21	21	17	-	-	-	PF1		AIN17						WO1			3,IN1
22	-	-	-	-	-	PF2		AIN18						WO2		EVOUTF	3,IN2
23	-	-	-	-	-	PF3		AIN19						WO3			3,OUT
24	-	-	-	-	-	PF4		AIN20					0,WO	WO4	WO0		
25	-	-	-	-	-	PF5		AIN21					1,WO	WO5	WO1		
26	22	18	15	2	2	PF6 (注5)	RESET			RxD							
27	23	19	16	3	3	PF7	UPDI			TxD	$\overline{SS}$					EVOUTF	
28	24	20	-	-	-	VDD											
29	25	21	-	-	-	GND											

注1: ピン名はポートの実体(A,B,C,~)となるxとピン番号のnを持つPxn形式です。信号の表記法はPORTx\_PINnです。全てのピンを事象入力として使うことができます。

注2: 全てのピンは外部割り込みに使うことができます。

注3: 赤字は代替ピン位置。代替位置選択については「PORTMUX - ポート多重器」章を参照してください。

注4: 主装置または従装置として使えるTWIピンはMで記されます。従装置専用ピンはSで記されます。

注5: 入力専用

## 4. ハードウェアの指針

本章はAVR 8ビット マイクロ コントローラを使って電気的な回路図を設計して再検討するための指針を含みます。ここで提示される情報は最も一般的な話題の簡単な概要です。より詳細な情報は本章の該当箇所を一覧にされる応用記述で見つけることができます。

本章は以下の話題を網羅します。

- 一般的な指針
- [電源用接続](#)
- [RESET用接続](#)
- [UPDI \(統一プログラム/デバッグ インターフェース\)用接続](#)
- [外部クリスタル発振子接続](#)
- [VREF\(外部基準電圧\)接続](#)

### 4.1. 一般的な指針

未使用ピンはそれら各々に半田付けパッドに半田付けされなければなりません。半田付けパッドは回路に接続されてはなりません。

ポートピンはリセット後にそれらの既定状態です。消費電力を減らすには「[PORT - I/Oピン構成設定](#)」章の推奨に従ってください。

全ての値は代表値で、回路設定に対する開始点としてだけ扱います。

更なる情報については以下の応用記述を参照してください。

- [AVR040 - 電磁適合性\(EMC\)設計の考察](#)
- [AVR042 - ハードウェア設計の考察](#)

#### 4.1.1. 中央パッド付き外周器に対する特別な考慮

平板外周器はしばしば裏に配置された露出パッドを備え、しばしば中央パッドまたは放熱パッドとして参照されます。このパッドは電氣的にチップの内部回路に接続されませんが、機械的に内部基材に接合されます。それは放熱材として扱うだけでなく、機械的な安定性の追加も提供します。このパッドは接地面が印刷回路基板(PCB)の最良の放熱基材(最大の銅箔領域)のため、GNDに接続されなければなりません。

### 4.2. 電源用接続

電源設計の基本と詳細はこれらの指針の範囲の向こう側にあります。この題目についてより多くの詳細な情報に関してはこの章の始めで言及した応用記述をご覧ください。

雑音分離(デカップ)コンデンサは各供給ピン対(VDDまたは他の電力供給ピンとそれに対応するGNDピン)に対してマイクロ コントローラの近くに配置されなければなりません。雑音分離コンデンサがマイクロ コントローラから遠すぎる場所に配置される場合、雑音の増加と放射妨害波の増加に帰着する高電流閉路を形成するかもしれません。

各供給ピン対(電力入力ピンと接地ピン)は独立した雑音分離コンデンサを持たなければなりません。

雑音分離コンデンサをマイクロ コントローラと同じPCBの側に配置することが推奨されます。空間がそれを許さない場合、ビアを通して他の側に雑音分離コンデンサを配置することができますが、供給ピンとの距離が可能な限り短く保つことを確実にしてください。

基板が(数10MHz以上の)高周波数雑音を経験している場合、上で記述した雑音分離コンデンサと並列に第2のセラミック型コンデンサを追加してください。この第2のコンデンサを主雑音分離コンデンサの傍らに配置してください。

電源回路からの基板配置で、最初に雑音分離コンデンサへの電力と戻りの布線を、その後にデバイスのピンへ走らせ、雑音分離コンデンサが電力連鎖で最初になることを保証してください。同様にコンデンサと電力ピン間の布線長を最短に保ち、それによってPCB布線インダクタンスを減らすことが重要です。

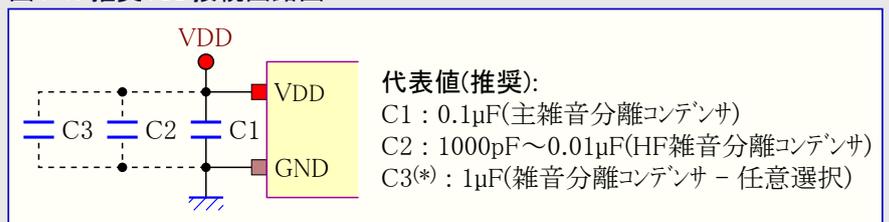
本章の始めで言及したように、例で使われる全ての値は代表値です。実際の設計は他の値を必要とするかもしれません。

#### 4.2.1. デジタル電源

より多ピン数の外周器型についてはいくつかのVDDピンと対応するGNDピンがあります。マイクロ コントローラの全てのVDDピンは内部的に接続されています。VDDピンの各々に同じ電圧が印加されなければなりません。

右図はデバイスのVDDピンへの推奨電源接続を示します。

図4-1. 推奨VDD接続回路図



**重要:** 頻繁にVDDをON/OFFする、または高速なVDD過渡応答を経験する系については電源のスルーレート(上昇/下降速度)がスルーレート限度を超える場合、雑音分離コンデンサ(C3)の追加が推奨されます。電源のスルーレート限度については「電気的特性」で[供給電圧部分](#)を参照してください。

### 4.3. RESET用接続

デバイスのRESETピンは内部プルアップ抵抗付きLow活性で、ピンの外部的なLow引き込みはデバイスのリセットになります。外部プルアップ抵抗は通常必要とされません。

右図はデバイスへの外部リセット切替器接続の推奨を示します。

濾波コンデンサ短絡は系を害し得る尖頭雑音を発生するかもしれません。これを防ぐための切替器と直列の抵抗は濾波コンデンサを安全に放電することができ、サージ(瞬間大)電流を防ぎます。

図4-2. 推奨外部リセット回路の回路図



#### 高電圧指定変更でのUPDI許可

RESETピンに高電圧を印加することによって禁止されたUPDIを許可することが可能です。このような高電圧パルスが印加されるかもしれない場合、リセット回路設計とRESETピンに接続されるどの部品にも注意してください。

より多くの詳細については「UPDIプログラミング用接続」項と「UPDI」章をご覧ください。

### 4.4. UPDIプログラミング用接続

統一プログラム/デバッグ インターフェース(UPDI)接続は外部プログラミングとチップ上デバッグ(OCD)用の単線インターフェースを提供します。本項は信号規約の詳細やUPDI周辺機能の機能ではなく、物理的な接続それ自身に関連します。これらの詳細は「UPDI」章で記述されます。

推奨UPDI接続はその最初の紹介から変更されました。この理由のため、両接続が以降で記述され、UPDI接続v1と名付けられた初期のUPDI接続配置図と同時に新しいUPDI接続配置図はUPDI接続v2と名付けられます。2つの接続間の違いはv2用接続でのRESET信号の内包です。

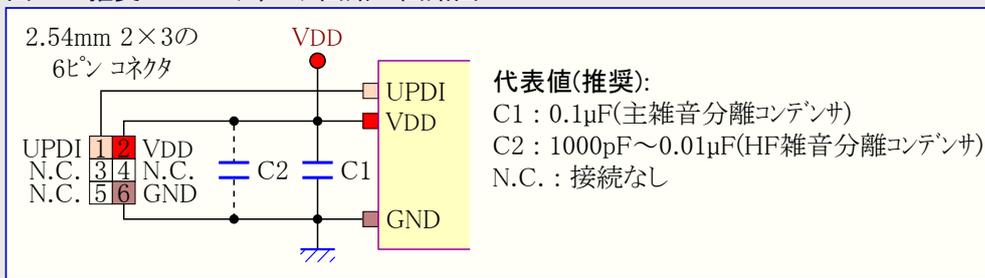
#### 4.4.1. UPDI接続v1

これは(Atmel ICEのような古いプログラミング ツールによって使われるUPDI接続用の初期配置図でした。

UPDI接続v1は100mil(2.54mm)2×3の6ピン ヘッドです。例えプログラミングに3つのピンだけを使うとしても、このコネクタを使う殆どのツールが100mil(2.54mm)2×3の6ピン コネクタで配給されるため、2×3ヘッドを使うことが推奨されます。

次図はUPDI接続v1を使うデバイスへのUPDI接続の推奨を示します。

図4-3. 推奨UPDIプログラミング回路の回路図



VDDとGND間の雑音分離コンデンサは可能な限りピン対の近くに配置されなければなりません。例えUPDIコネクタが回路内に含まれなくても、雑音分離コンデンサを含めてください。

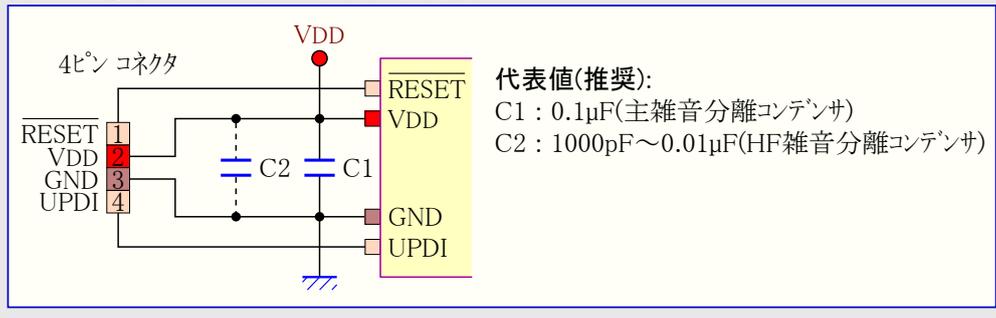
#### 4.4.2. UPDI接続v2

この接続はどのAVRデバイスにも対応しますが、100mil(2.54mm)2×3ヘッドを持つAtmel-ICEやAtmel Powerデバッグのような古い書き込み器/デバッグを持つ使用者に関して調整ケーブルを必要とします。この接続プログラミング ツールのPICkit 4™インサーキット デバッグに直接対応します。

UPDI接続v2は100mil(2.54mm)1×4の4ピン ヘッドです。例え多くのAVRデバイスをプログラミングするのに3つのピンで充分でも、含まれるべきRESET信号を許す100mil 1列4ピン ヘッドを使うことが推奨されます。これはPICkit 4書き込み器にも対応します。

次図はデバイスへUPDIコネクタを接続するための推奨を示します。

図4-4. 推奨UPDIプログラミング回路の回路図



VDDとGND間の雑音分離コンデンサは可能な限りピン対の近くに配置されなければなりません。例えUPDIコネクタが回路内に含まれなくても、雑音分離コンデンサを含めてください。

#### RESETを使うUPDI許可

設計や誤りにより、適切なヒューズを書くことによってUPDIを禁止することが有り得ます。UPDI禁止の詳細については「メモリ」章の「FUSE」項をご覧ください。一部のデバイスについて、UPDIを禁止することができないことに注意してください。

UPDIを許可するにはRESETピンに高電圧パルスが印加されなければなりません。RESETピンへの高電圧パルス印加法の詳細については「UPDI」章をご覧ください。

RESETピンが他の部品に接続されている場合、回路の設計で追加の注意をしてください。RESETピンに高電圧パルスが印加される場合、この線に接続された他の部品が損傷するかもしれません。この場合、設計は高電圧パルスが印加される前に回路からそれらの部品の切断を許さなければなりません。これの一例は取り外し可能なジャンパで有り得ます。

**注:** プログラム/デバッグ インターフェース禁止(PDID)を特徴とするデバイスでは、PDID機能が有効にされた後にRESETピンを使ってUPDIを再許可することはできません。

### 4.5. 外部クリスタル発振子接続

外部発振子の使用と発振器回路の設計はVDD、動作温度範囲、クリスタル型式と製造業者、負荷容量、回路配置とPCB材料のような多くの変数があるため重要です。基本的な発振器回路設計を手助けするいくつかの代表的な指針が本項で提示されます。

- 例え最良の性能の発振器回路と高品質のクリスタルでも、組立の間に使われる配置と材料が注意深く考慮されなければ、上手く行きません。
- クリスタル回路はデバイスと同じ基板の側に配置されなければなりません。クリスタル回路を可能な限り各々の発振器ピン近くに配置し、長い布線を避けてください。これは寄生容量を減らして雑音と漏話に対する耐性を増します。負荷容量を基板の同じ側でクリスタルの隣に配置してください。ソケットを使わないでください。
- 周辺回路から絶縁するためにクリスタル回路の周りに接地した銅箔領域を配置してください。回路基板が両面を持つなら、裏面層の銅箔領域はクリスタル回路を網羅するベタ領域でなければなりません。表面層の銅箔領域はクリスタル回路周辺でビアの使用によって裏面層に接続されなければなりません。
- 接地した銅箔領域の内側にどんな信号布線や電力布線も走らせないでください。クリスタル線の近くでのデジタル線、特にクロック線の配線を避けてください。
- 両面PCBを使う場合、クリスタルの下のどの配線も避けてください。多層PCBについてはクリスタル線の下の信号配線を避けてください。
- 塵や湿度は寄生容量を増やして信号絶縁を減らします。保護皮膜が推奨されます。
- 望まれるような発振器性能を保証するため、成功する発振器設計は良い動作条件の仕様、初期試験での部品選択段階、実際の動作条件での試験が必要とされます。

発振器と発振器回路設計についてより多くの詳細情報に関しては以下の応用記述をご覧ください。

- AN2648 - AVR<sup>®</sup>マイクロ コントローラ用32kHzクリスタルの選択と試験
- AN949 - 発振器を動かす

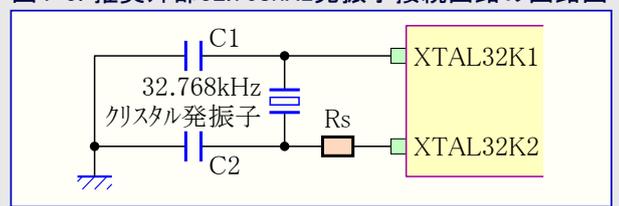
#### 4.5.1. XTAL32K(外部32.768kHzクリスタル発振子)接続

超低電力32.768kHz発振器は一般的に1 $\mu$ Wを大幅に下回って消費し、従って回路を流れる電流は極端に小さいです。クリスタル周波数は容量性負荷に大きく依存します。

発振器の過駆動を防ぐために直列抵抗( $R_s$ )が必要とされるかもしれません。発振器駆動部での利得は低周波数発振子に対して時々高すぎるかもしれませんが、 $R_s$ でのインピーダンス追加で利得を下げるすることができます。過駆動は信号が飽和(切り取りまたは押し潰)されるため、発振器を正しくない振幅にさせます。クリスタルの過駆動は回路を高調波へ飛ばせることも有り得ます。

右図は外部32.768kHzクリスタル発振子を接続する方法を示します。

図4-5. 推奨外部32.768kHz発振子接続回路の回路図

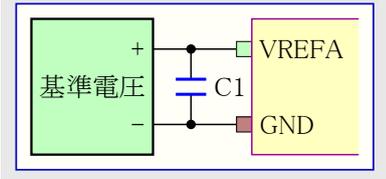


#### 4.6. 外部基準電圧接続

設計が外部基準電圧の使用を含む場合、一般的な推奨は参照基準と並列に接続される適切なコンデンサを使うことです。参照基準の本質と濾波されるのが必要な電氣的雑音の形式がコンデンサの値を与えます。

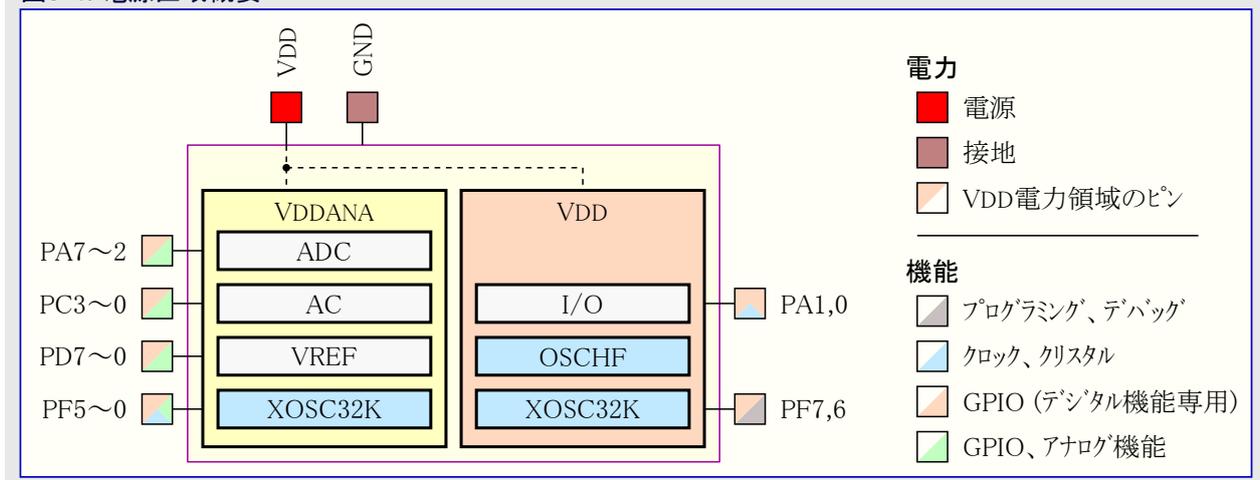
使われる外部参照基準電圧の形式に依存して追加の濾波部品が必要とされるかもしれません。

図4-6. 推奨外部基準電圧接続



## 5. 電力区域

図5-1. 電源区域概要



AVR® EB系統のデバイスには以下の電源ピンでいくつかの電力区域を持ちます。

区域	ピン	説明
VDD	VDD	入出力線、内部発振器、内部電圧調整器に給電
VDDANA		入出力線、XOSC32K(外部32.768kHzクリスタル用発振器)、アナログ周辺機能に給電

全てのVDDピンに同じ電圧が印加されなければなりません。この共有電圧はデータシートでVDDとして参照されます。

接地(GND)ピンは同じ接地面に接続されなければなりません。

配置と雑音分離の推奨については「[ハードウェアの指針](#)」章を参照してください。

## 6. 規定

### 6.1. 数字表記法

表6-1. 数字表記法

シンボル	説明
165	10進数値
0b0101	2進数値 (訳注:本書ではCコード例内以外では不使用)
'0101'	明白な場合に接頭辞で与えられる2進数値 (訳注:本書では基本的に赤文字で表現)
0x3B24	16進数値 (訳注:本書ではCコード例内以外では不使用、代わりに\$接頭辞で「\$3B24」形式で表記)
x	未知またはどうしてもよい値を表す。
Z	信号またはバスのどちらかに対して高インピーダンス(浮き)状態を表す。(訳注:本書では「Hi-Z」と表記)

### 6.2. メモリの大きさと形式

表6-2. メモリの大きさとビット速度

シンボル	説明
Kバイト	キロバイト ( $2^{10}=1024$ バイト)
Mバイト	メガバイト ( $2^{20}=1024$ Kバイト)
Gバイト	ギガバイト ( $2^{30}=1024$ Mバイト)
b	ビット (2進数値の'0'または'1') (訳注:本書では基本的に不使用、直接「ビット」と表記)
B	バイト (8ビット) (訳注:本書では基本的に不使用、直接「バイト」と表記)
1kビット/s	1,000ビット/s速度 (1,024ビット/sではない)
1Mビット/s	1,000,000ビット/s速度
1Gビット/s	1,000,000,000ビット/s速度
word	16ビット (訳注:本書では「語」と表記)

### 6.3. 周波数と時間

表6-3. 周波数と時間

シンボル	説明
kHz	1kHz= $10^3$ Hz=1,000Hz
MHz	1MHz= $10^6$ Hz=1,000,000Hz
GHz	1GHz= $10^9$ Hz=1,000,000,000Hz
ms	1ms= $10^{-3}$ s=0.001秒
μs	1μs= $10^{-6}$ s=0.000001秒
ns	1ns= $10^{-9}$ s=0.000000001秒

## 6.4. レジスタとビット

表6-4. レジスタとビットの簡略記法

シンボル	説明
R/W	読み書きアクセス可能なレジスタビット。このビットに対して読み書きすることができます。
R	読み込み専用アクセス可能なレジスタビット。このビットを読むことだけできます。書き込みは無視されます。
W	書き込み専用アクセス可能なレジスタビット。このビットを書くことだけできます。このビットの読み込みは未定義の値を返します。
ビット領域	ビット名は大文字で支援されます(例:INTMODE)。
ビット領域[n:m]	ビットn~m(n>m)のビットの組。(訳注:本書では不使用、「FIELDn~m」形式で表記) (例:PINA[3:0](不使用)=PINA3~0(本書表記)=(PINA3,PINA2,PINA1,PINA0)
予約	予約されたビット、ビット領域、ビット領域値は使われず、将来に使うために予約されます。将来のデバイスとの互換性のため、そのレジスタが書かれ時に予約ビットに常に'0'を書いてください。予約ビットは読む時に常に'0'を返します。
周辺機能n	少数の周辺機能の実体が存在する場合、周辺機能名は1つの実体を識別するために単一番号によって後続されます。例:USARTnはUSART単位部の全実体の集合で、一方でUSART3はUSART単位部の1つの特定実体を指定します。
周辺機能x	少数の周辺機能の実体が存在する場合、周辺機能名は1つの実体を識別するために単一大文字(A~Z)によって後続されます。例:PORTxはPORT単位部の全実体の集合で、一方でPORTBはOIRT単位部の1つの特定実体を指定します。
リセット	電源ONリセット後のレジスタの値。これはデバッグ制御レジスタを除き、周辺機能のソフトウェアリセットを実行した後の周辺機能のレジスタの値でもあります。
SET/CLR/TGL	SET/CLR/TGL接尾辞を持つレジスタは「読み-変更-書き」操作を行うことなく、レジスタ内のビットの設定(1)と解除(0)を使用者に許します。各SET/CLR/TGLレジスタはそれが影響を及ぼすレジスタと対にされます。レジスタ対の両レジスタは読む時に同じ値を返します。 例: PORT周辺機能に於いて、OUTとOUTSETのレジスタがこのようなレジスタ対を形成します。OUTの内容はOUTSETへの書き込みによって変更されます。OUTとOUTSETの読み込みは同じ値を返します。 CLRレジスタ内のビットへの'1'書き込みは両レジスタで対応するビットを解除(0)します。 SETレジスタ内のビットへの'1'書き込みは両レジスタで対応するビットを設定(1)します。 TGLレジスタ内のビットへの'1'書き込みは両レジスタで対応するビットを反転します。

## 6.4.1. ヘッド ファイルからのレジスタ アクセス

供給されるCヘッダ ファイルでレジスタをアドレス指定するには以下の規則が適用されます。

1. レジスタは<周辺機能実体名>.<レジスタ名>、例えば、CPU.SREG、USART2.CTRLA、PORTB.DIRによって識別されます。
2. 周辺機能名は「周辺機能と基本構造」章の「周辺機能アドレス配置」で与えられます。
3. <周辺機能実体名>は周辺機能名の何れかのnまたはxを正しい実体識別子で置き換えることによって得られます。
4. 周辺機能レジスタに予め定義された値を割り当てる時に、その値は次のような規則に従って構築されます。  
<周辺機能名>.<ビット領域名>.<ビット領域値>\_gc

<周辺機能名>は<周辺機能実体名>ですが、どの実体識別子も取り去られます。

<ビット領域値>は周辺機能レジスタのビット領域を記述する「レジスタ説明」章内の表の「名称」列で見つけることができます。

## 例6-1. レジスタ割り当て

```
// EVSYSチャンネル0はTCB3のOVF事象によって駆動されます。
EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_TCB3_OVF_gc;

// USART0のRXMODEは2倍速伝送を使います。
USART0.CTRLB = USART_RXMODE_CLK2X_gc;
```

注: 違う動作形態に於いて異なるレジスタ一式を持つ周辺機能に対して、<周辺機能実体名>と<周辺機能名>は動作形態名が後続されなければならない、例えば以下です。

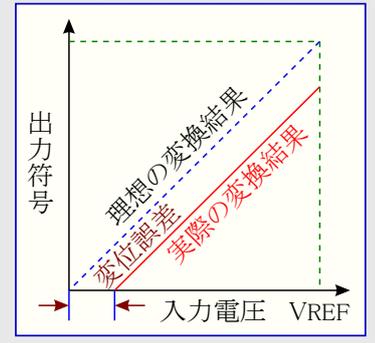
```
// 標準(SINGLE)動作のTCA0は周波数動作で波形生成器を使います。
TCA0.SINGLE.CTRL=TCA_SINGLE_WGMODE_FRQ_gc;
```

## 6.5. ADCパラメータ定義

理想nビットシングルエンドA/D変換はGNDとVREF間を $2^n$ 段階(LSB)で電圧を直線的に変換します。最低値符号は'0'として読まれ、最高値符号は $2^n-1$ として読まれます。いくつかの項目は理想的な動きからの偏差を記述します。

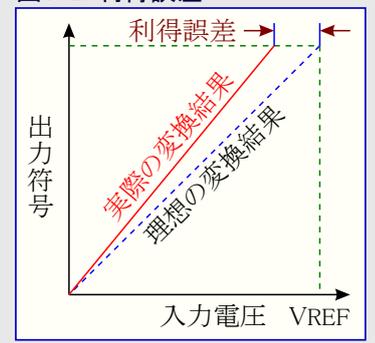
**変位(オフセット)誤差** 理想遷移点(差0.5 LSB)と比べた最初の遷移(\$000から\$001)の偏差です。理想値: 0 LSB

図6-1. 変位(オフセット)誤差



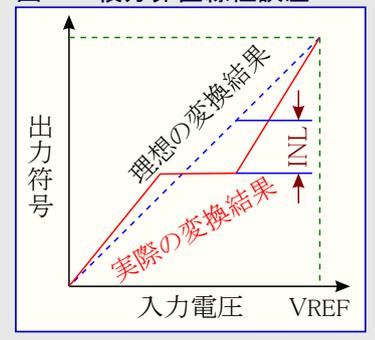
**利得誤差** 変位(オフセット)誤差補正後、利得誤差は理想遷移(最大1.5 LSB以下)と比べた最後の遷移(例えば、10ビットADCについては\$3FEから\$3FF)の偏差として見出されます。理想値: 0 LSB

図6-2. 利得誤差



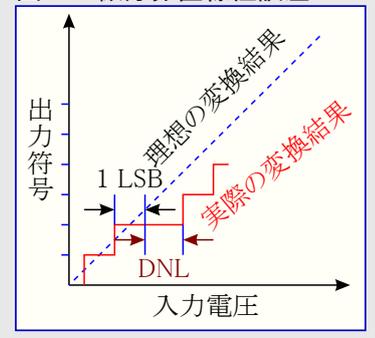
**積分非直線性誤差 (INL)** 変位(オフセット)誤差と利得誤差の補正後、INLは何れかの符号に対する理想遷移と比べた実際の遷移の最大偏差です。理想値: 0 LSB

図6-3. 積分非直線性誤差



**微分非直線性誤差 (DNL)** 理想符号幅(1 LSB)から実際の符号幅(隣接する2つの遷移間の間隔)の最大偏差です。理想値: 0 LSB

図6-4. 微分非直線性誤差



**量子化誤差** 有限数の符号への入力電圧の量子化のため、入力電圧範囲(1 LSB幅)は同じ値に符号化します。常に $\pm 0.5$  LSB

**絶対精度** 何れかの符号に対して理想遷移点と比べた(非補正の)実際の遷移の最大偏差です。これは全ての前述の誤差の複合作用です。理想値:  $\pm 0.5$  LSB

## 7. AVR® CPU

### 7.1. 特徴

- 8ビット、高性能AVR RISC CPU
  - 135個の命令
  - ハードウェア乗算器
- ALUに直接続される32個の8ビットレジスタ
- RAM内のスタック
- I/Oメモリ空間でアクセス可能なスタック ポインタ
- 64Kバイトまでの統一されたメモリの直接アドレス指定
- 8,16,32ビット演算に対する効率的な支援
- システムの危険に対する構成設定変更保護機能
- 生来のチップ上デバッグ(OCD:On Chip Debugger)支援
  - 2つのハードウェア中断点(ブレイクポイント)
  - 流れ変更、割り込みとソフトウェア中断点
  - スタック ポインタ(SP)レジスタ、プログラム カウンタ(PC)、ステータス レジスタ(SREG)の走行時読み出し
  - 停止動作でレジスタ ファイル読み書き可能

### 7.2. 概要

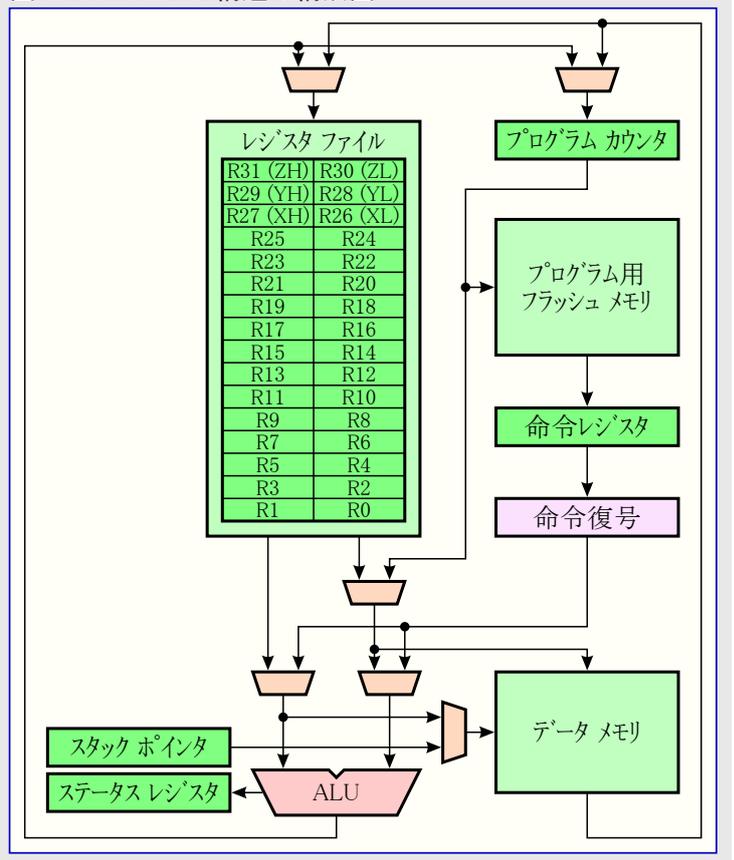
AVR CPUはメモリをアクセスし、計算を実行し、周辺機能を制御し、そしてプログラム メモリから命令を実行し割り込みを処理することができます。

### 7.3. 基本構成

性能と並列処理を最大化するため、AVR CPUはプログラムとデータに対して独立したバスを持つハード基本設計を使います。プログラム メモリ内の命令は単一段のパイプラインで実行されます。1つの命令が実行されつつあるのと同時に、次の命令がプログラム メモリから取得されます。これはクロック周期毎に実行されることを命令に許します。

全てのAVR命令の要約については「[命令一式要約](#)」章を参照してください。

図7-1. AVR® CPU構造の構成図



#### 7.3.1. 算術論理演算部 (ALU)

算術論理演算部(ALU)は作業レジスタ間または定数と作業レジスタ間の演算と論理の操作を支援します。また、単一レジスタ操作を実行することができます。

ALUはレジスタ ファイル内の32個全ての汎用作業レジスタと直結で動きます。作業レジスタ間または、作業レジスタと即値被演算子間の算術操作が単一クロック周期で実行され、結果がレジスタ ファイルに格納されます。算術または論理の操作後、ステータス レジスタ(CPU.SREG)は操作の結果についての情報を反映するように更新されます。

ALU操作は算術、論理、ビット操作の3つの主な分野に分けられます。8ビットと16ビットの両方の算術演算が支援され、命令一式は効率的な32ビット算術演算の実装を許します。ハードウェア乗算器は符号付きと符号なしの乗算そして固定小数点形式を支援します。

### 7.3.1.1. ハードウェア乗算器

乗算器は2つの8ビット数値を16ビットの結果に乗算する能力です。ハードウェア乗算器は符号付きと符号なしの整数と固定小数点数の種々の変種を支援します。

- ・ 符号付き/符号なし整数の乗算
- ・ 符号付き/符号なし固定小数点数の乗算
- ・ 符号付きと符号なしの整数乗算
- ・ 符号付きと符号なしの固定小数点数乗算

乗算は2 CPUクロック周期かかります。

## 7.4. 機能的な説明

### 7.4.1. プログラムの流れ

リセット後、CPUはフラッシュ プログラム メモリ内の最下位アドレスの\$0000から命令を実行します。プログラム カウンタ(PC)は取得されるべき次の命令をアドレス指定します。

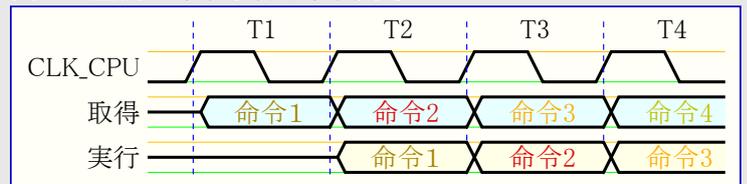
CPUは条件付きと条件なしでプログラムの流れを変更することができ、アドレス空間全体を直接位置指定できる命令を支援します。殆どのAVR命令は16ビット語形式を使い、限定数(の命令)は32ビット形式を使います。

割り込みとサブルーチン呼び出しの間、復帰アドレスのPC (値)が語ポイントとしてスタックに格納されます。スタックは一般的なデータSRAMに置かれ、必然的にスタック量は総SRAM量とSRAMの使い方によってのみ制限されます。スタック ポインタ(SP)がリセットされた後は内部SRAMの最上位アドレスを指し示します。SPはI/Oメモリ空間で読み書きアクセス可能で、多数のスタックまたはスタック領域の容易な実装を許します。データSRAMはAVR CPUで支援される5つの異なるアドレス指定形式を通して容易にアクセスすることができます。詳細については「[命令一式概要](#)」章をご覧ください。

### 7.4.2. 命令実行タイミング

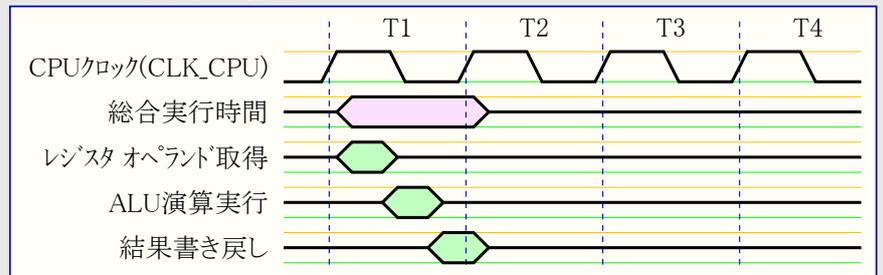
AVR CPUはCPUクロック(CLK\_CPU)によってクロック駆動されます。内部クロック分周は全く適用されません。右図はハード基本構造と高速アクセスレジスタ ファイルの概念によって許される、並列での命令の取得と実行を示します。これは高い効率を持つ最大1 MIPS/MHzの性能を許す基本的なパイプラインの概念です。

図7-2. 並列の命令取得と命令実行



右図はレジスタ ファイルに対する内部タイミングの概念を示します。単一クロック周期で、2つのレジスタ オペランドを使うALU操作が実行され、その結果が転送先レジスタに格納されます。

図7-3. 単一周期ALU操作



### 7.4.3. ステータス レジスタ

ステータス レジスタ(CPU.SREG)は最も直前に実行した算術または論理の命令の結果についての情報を含みます。この情報は条件付き操作を実行するためプログラムの流れを変えるのに使うことができます。

CPU.SREGは「[命令一式要約](#)」章で詳述されるように、全てのALU操作後に更新され、多くの場合で専用比較命令を使う必要を取り去り、高速でもっと簡潔なコードに帰着します。CPU.SREGは割り込み処理ルーチン(ISR)への移行や復帰の時に自動的に保存や回復が行われません。従って、CPU(流れ)状態切り替え間でのステータスレジスタ維持は使用者定義ソフトウェアによって処理されなければなりません。CPU.SREGはI/Oメモリ空間でアクセス可能です。

### 7.4.4. スタックとスタック ポインタ

スタックは割り込みとサブルーチン呼び出し後の復帰アドレスの格納に使われます。一時データを格納するのにも使うことができます。スタック ポインタ(SP)は常にスタックの先頭(訳注:次に使われるべき位置)を指し示します。SPによって指定されるアドレスはスタック ポインタ(CPU.SP)レジスタに格納されます。CPU.SPはI/Oメモリ空間でアクセス可能な2つの8ビットレジスタとして実装されます。

データは表7-1.で与えられる命令を使って、または割り込みを実行することによってスタックに対して押し込みと取り出しが行われます。スタックは上位から下位のメモリ位置へ伸びます。これはスタックへのデータ押し込み時にSPが減り、スタックからのデータ取り出し時にSPが増すことを意味します。SPはリセット後に内部SRAMの最上位アドレスへ自動的に設定されます。スタックが変更される場合、SRAM開始アドレス以上を指し示すように設定されなければならない、何れかのサブルーチン呼び出しが実行される前と割り込みが許可される前に定義されなければならない( SRAM開始アドレスについてはメモリ章のSRAMデータメモリ部分をご覧ください)。SPの詳細については下表をご覧ください。

表7-1. スタック ポインタ命令

命令	スタック ポインタ	内容
PUSH	-1	データがスタック上に押し込まれます。
CALL,ICALL,RCALL	-2	サブルーチン呼び出しまたは割り込みでの戻りアドレスがスタック上に押し込まれます。
POP	+1	データがスタックから引き出されます。
RET,RETI	+2	サブルーチンまたは割り込みからの復帰での戻りアドレスがスタックから引き出されます。

割り込みまたはサブルーチン呼び出しの間、復帰アドレスが語として自動的にスタックへ格納され、SPは2減少されます。復帰アドレスは2バイトから成り、下位バイト(LSB)がスタック(の上位側番地)で最初に押し込まれます。例として、\$0006のバイト ポインタ復帰アドレスはスタック上に(1ビット右移動した)\$0003として保存され、プログラムメモリ内の4番目の16ビット命令を指し示します。復帰アドレスは(割り込みからの復帰時に)RETIと(サブルーチン呼び出しからの復帰時に)RETの命令でスタックから取り出され、SPは2増やされます。

データがPUSH命令でスタックに押し込まれる時にSPは1減らされ、POP命令を使ってスタックからデータが取り出される時に1増やされます。ソフトウェアからSPを更新する時の破損を防ぐため、SPL書き込みは最大4命令間または次のI/Oメモリ書き込みまでのどちらか速い方で自動的に割り込みを禁止します。

### 7.4.5. レジスタ ファイル

レジスタ ファイルはCPUによって使われる32個の8ビット汎用作業レジスタから成ります。レジスタ ファイルはデータメモリから独立したアドレス空間に置かれます。

作業レジスタで動く全てのCPU命令はレジスタ ファイルに対して直接且つ単一のアクセスを持ちます。定数の算術と論理の演算命令(SBCI, SUBI, CPI, ANDI, ORI, LDI)のような命令によってアクセスすることができる作業レジスタにいくつかの制限が適用されます。これらの命令はレジスタ ファイルの後半の作業レジスタ(R16~R31)に適用します。更なる詳細についてはAVR命令一式手引書をご覧ください。

図7-4. AVR® CPU 汎用作業レジスタ

		7	0	アドレス		
汎用 作業 レジスタ ファイル		R0		\$00		
		R1		\$01		
		R2		\$02		
		⋮				
		R13		\$0D		
		R14		\$0E		
		R15		\$0F		
		R16		\$10		
		R17		\$11		
		⋮				
		R26		\$1A	Xレジスタ	下位バイト
		R27		\$1B		上位バイト
		R28		\$1C	Yレジスタ	下位バイト
		R29		\$1D		上位バイト
		R30		\$1E	Zレジスタ	下位バイト
		R31		\$1F		上位バイト

#### 7.4.5.1. X,Y,Z レジスタ

R26~R31の作業レジスタはそれらの汎用の使い方に属する付加機能を持ちます。

これらのレジスタはデータメモリの間接アドレス指定用の16ビットアドレスポインタ形式にすることができます。これら3つのアドレスレジスタはXレジスタ、Yレジスタ、Zレジスタと呼ばれます。Zレジスタはプログラムメモリ用アドレスポインタとして使うこともできます。

下位側レジスタのアドレスは最下位バイト(LSB)を保持し、上位側レジスタのアドレスは最上位バイト(MSB)を保持します。各種LD/ST系命令で、これらのアドレスレジスタは固定変位、自動増加、自動減少として機能することができます。詳細については「命令一式要約」章をご覧ください。

図7-5. X,Y,Zレジスタ

ビット(個別)	7	R27	0	7	R26	0
Xレジスタ	XH(上位)		XL(下位)			
ビット(Xレジスタ)	15		8		7	0
ビット(個別)	7	R29	0	7	R28	0
Yレジスタ	YH(上位)		YL(下位)			
ビット(Xレジスタ)	15		8		7	0
ビット(個別)	7	R31	0	7	R30	0
Zレジスタ	ZH(上位)		ZL(下位)			
ビット(Xレジスタ)	15		8		7	0

## 7.4.6. 構成設定変更保護 (CCP) (Configuration Change Protection)

システムの重要なI/Oレジスタ設定は予期せぬ変更から保護されます。フラッシュ自己プログラミングが予期せぬ実行から保護されます。これは構成設定変更保護(CCP)レジスタによって全体的に処理されます。

保護されたI/Oレジスタまたはビットへの変更や、保護された命令の実行は、CPUがCCPレジスタへ識票を書いた後でだけ可能です。各種識票はCCP(CPU.CCP)レジスタの説明で一覧にされます。

I/Oレジスタ保護に関する1つと自己プログラミング保護に関する1つで2つの動作形態があります。

### 7.4.6.1. 構成設定保護されたI/Oレジスタへの書き込み操作手順

CCPによって保護されたI/Oレジスタへ書くには以下の手順が必要とされます。

1. ソフトウェアはCPU.CCPレジスタのCCPビット領域に保護されたI/Oレジスタの変更を許可する識票を書きます。
2. 4命令内で、ソフトウェアは保護されたレジスタに適切なデータを書かなければなりません。

**注:** 殆どの保護されたレジスタは書き込み許可/変更許可/施錠のビットも含みます。このビットはデータが書かれるのと同じ操作内で1を書かれなければなりません。

保護された変更はCPUがI/Oレジスタまたはデータメモリに書き込み操作を実行する場合、フラッシュメモリ、NVM制御器(NVMCTRL)、EEPROMに対する取得または格納のアクセスが行われる場合、またはSLEEP命令が実行される場合、直ちに禁止されます。

### 7.4.6.2. 自己プログラミングの実行手順

自己プログラミングを実行する(NVM制御器の指令レジスタへの書き込みの実行)には以下の手順が必要とされます。

1. ソフトウェアはCCP(CPU.CCP)レジスタにSPM識票を書くことによって自己プログラミングを一時的に許可します。
2. 4命令内で、ソフトウェアは適切な命令を実行しなければなりません。保護された変更はCPUがフラッシュメモリ、NVMCTRL、EEPROMへのアクセスを実行する場合、またはSLEEP命令が実行される場合、直ちに禁止されます。

CPUによって一旦正しい識票が書かれると、割り込みは構成設定変更許可期間の間無視されます。CCP期間の間の(遮蔽不可割り込みを含む)どの割り込み要求も通常様に対応する割り込み要求フラグを設定(1)し、その要求は保留に保たれます。CCP期間完了後、どの保留割り込みもそれらのレベルと優先権に従って実行されます。

## 7.4.7. チップ上デバッグ能力

AVR CPUは生来のチップ上デバッグ(OCD)支援を含みます。これはCPU状態についての特性分析と詳細な情報を許すためのいくつかの強力なデバッグ能力を含みます。CPU状態を変えてコード実行を再開することが可能です。また、ハードウェアプログラムカウンタ中断点、命令の流れ変更での中断点、割り込みでの中断点、ソフトウェア中断点(BREAK命令)のような通常のデバッグ能力が存在します。OCDについての詳細に関しては「UPDI - 統一プログラム/デバッグインターフェース」章を参照してください。

## 7.5. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00 ~ +\$03	予約									
+\$04	CCP	7~0	CCP7~0							
+\$05 ~ +\$0C	予約									
+\$0D	SP	7~0	SP7~0							
+\$0E		15~8	SP15~8							
+\$0F	SREG	7~0	I	T	H	S	V	N	Z	C

## 7.6. レジスタ説明

### 7.6.1. CCP – 構成設定変更保護レジスタ (Configuration Change Protection register)

名称 : CCP  
変位 : +\$04  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CCP7~0							
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 – CCP7~0 : 構成設定変更保護 (Configuration Change Protection)

このビット領域への正しい識票書き込みは後続する4 CPU命令実行内での保護されたI/Oレジスタの変更または保護された命令の実行を許します。

これらの周期の間は全ての割り込みが無視されます。これらの周期完了後、割り込みはCPUによって自動的に処理されます。どの保留割り込みもそれらのレベルと優先権に従って実行されます。

保護されたI/Oレジスタの識票が書かれると、CCP0は保護機能が許可されている限り'1'を読みます。

保護された自己プログラミング識票が書かれると、CCP1は保護機能が許可されている限り'1'を読みます。

CCP7~2は常に'0'を読みます。

値	名称	説明
\$9D	SPM	自己プログラミング許可
\$D8	IOREG	保護されたI/Oレジスタ解錠

### 7.6.2. SP – スタック ポインタ (Stack Pointer)

名称 : SP (SPH,SPL)  
変位 : +\$0D  
リセット : \$7FFF  
特質 : -

CPU.SPLレジスタはスタックの先頭を指示するスタック ポインタを保持します。リセット後、SPは内部SRAM最高アドレスを指示します。

各デバイスに対して利用可能なSRAMをアドレス指定するのに必要とされるビット数だけが実装されます。未使用ビットはスタック ポインタが常にSRAMを指示するように設定されます。

CPU.SPHとCPU.SPLのレジスタ対は16ビット値のCPU.SPを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセス可能です。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

ソフトウェアからSPを更新する時の破損を防ぐため、CPU.SPLへの書き込みは後続する4命令間、または次のI/Oメモリ書き込みまでのどちらか速い方で割り込みを自動的に禁止します。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	SP14~8							
アクセス種別	R	R/W						
リセット値	0	1	1	1	1	1	1	1
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SP7~0							
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	1	1	1	1	1	1	1	1

#### ● ビット14~8 – SP14~8 : スタック ポインタ上位バイト (Stack Pointer high byte)

これらのビットは16ビット レジスタの上位バイトを保持します。

#### ● ビット7~0 – SP7~0 : スタック ポインタ下位バイト (Stack Pointer low byte)

これらのビットは16ビット レジスタの下位バイトを保持します。

### 7.6.3. SREG – ステータスレジスタ (Status Register)

名称 : SREG  
変位 : \$0F  
リセット : \$00  
特質 : -

ステータスレジスタは最も直前に実行した算術または論理の命令の結果についての情報を含みます。このレジスタ内のビットとそれらが各種命令によってどう影響されるかについての詳細に関しては「[命令一式要約](#)」章をご覧ください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	I	T	H	S	V	N	Z	C
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット7 – I : 全体割り込み許可 (Global Interrupt Enable Bit)**

このビットへの'1'書き込みはデバイスでの割り込みを許可します。

このビットへの'0'書き込みは周辺機能の個別割り込み許可設定に関わらず、デバイスでの割り込みを禁止します。

このビットは割り込み処理ルーチン(ISR)移行中にハードウェアによって解除(0)されず、**RETI**命令が実行される時に設定(1)されません。

このビットは**SEI**と**CLI**の命令でソフトウェアによって設定(1)と解除(0)を行うことができます。

I/Oレジスタを通したビットの変更はそのアクセスでの1周期の待ち状態に帰着します。

- **ビット6 – T : 転送ビット (Transfer Bit)**

ビット複写命令のビット取得(**BLD**)とビット格納(**BST**)は操作するための転送元または転送先としてTビットを使います。

- **ビット5 – H : ハーフキャリーフラグ (Half Carry Flag)**

このフラグはこれを支援する算術操作でハーフキャリーがある時に設定(1)されます。ハーフキャリーはBCD演算に有用です。

- **ビット4 – S : 符号フラグ (Sign Flag)**

このフラグは常に負(N)フラグと2の補数溢れ(V)フラグ間の排他的論理和(XOR)です。

- **ビット3 – V : 2の補数溢れフラグ (2's Complement Overflow Flag)**

このフラグはこれを支援する算術操作で溢れがある時に設定(1)され、さもなければ解除(0)されます。

- **ビット2 – N : 負フラグ (Negative Flag)**

このフラグは算術及び論理の操作で負の結果の時に設定(1)され、さもなければ解除(0)されます。

- **ビット1 – Z : ゼロフラグ (Zero Flag)**

このフラグは算術及び論理の操作でゼロ(0)の結果の時に設定(1)され、さもなければ解除(0)されます。

- **ビット0 – C : キャリーフラグ (Carry Flag)**

このフラグは算術及び論理の操作でキャリー(またはホロー)がある時に設定(1)され、さもなければ解除(0)されます。

## 8. メモリ

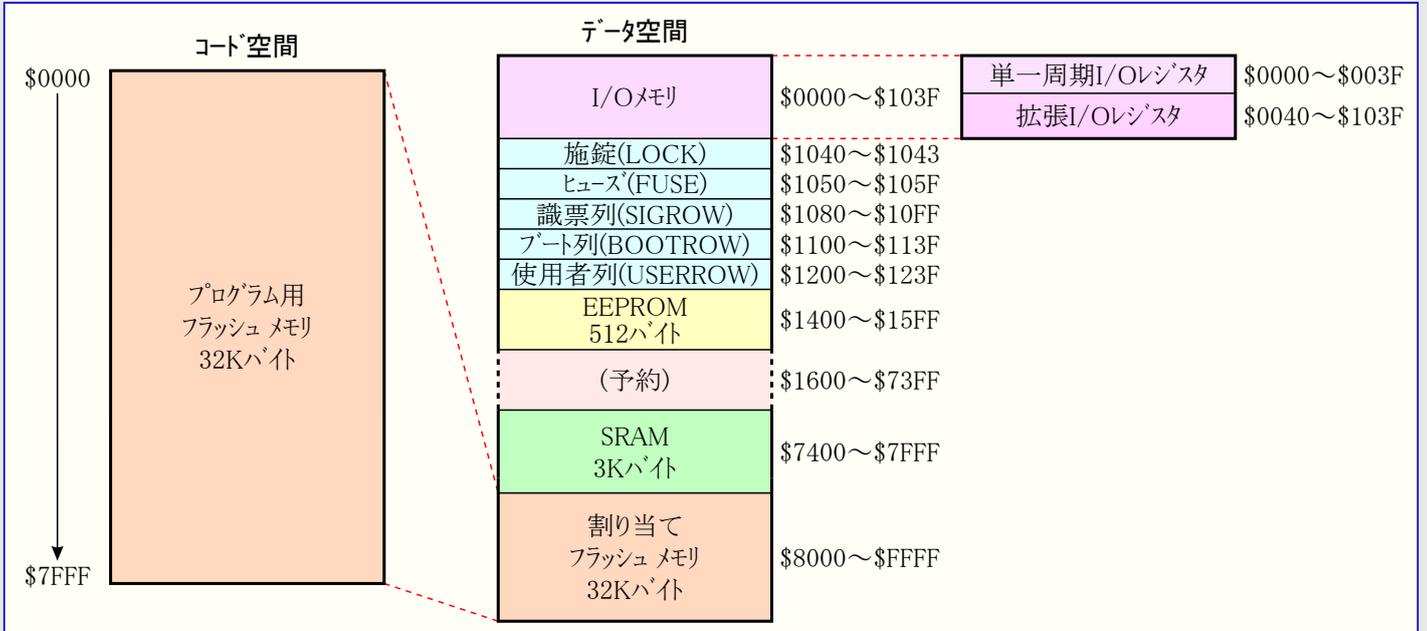
### 8.1. 概要

AVR16EB14/20/28/32デバイスの主なメモリはSRAMデータメモリ、EEPROMデータメモリ、フラッシュプログラムメモリです。また、周辺機能レジスタがI/Oメモリ空間に置かれます。

### 8.2. メモリ配置

下図はAVR® EBシステムの最大メモリに対するメモリ配置を示します。更なる詳細については後続する項と[周辺機能アドレス割り当て表](#)を参照してください。

図8-1. メモリ配置: フラッシュメモリ 32Kバイト、内部SRAM 3Kバイト、EEPROM 512バイト



### 8.3. 実装書き換え可能なフラッシュプログラムメモリ

AVR16EB14/20/28/32はプログラム記憶用に実装書き換え可能なチップ上の16Kバイトのフラッシュメモリを含みます。全てのAVR命令が16または32のビット幅のため、このフラッシュメモリは16ビットデータ幅で構成されます。書き込み保護のため、フラッシュプログラムメモリ空間はブートコード領域、応用コード領域、応用データ領域の3つの領域に分けることができます。1つの領域に置かれたコードは別の領域のアドレスへの書き込みを制限されるかもしれませんが、より多くの詳細については「[NVMCTRL - 不揮発性メモリ制御器](#)」章をご覧ください。

プログラムカウンタ(PC)はプログラムメモリ全体をアドレス指定することができます。フラッシュメモリを書くための手順はNVMCTRL章で詳細に記述されます。

フラッシュメモリはデータ空間に割り当てられ、通常のLD/ST系命令でアクセス可能です。どのフラッシュメモリ部分がこのデータ空間に割り当てられるかの詳細についてはNVMCTRL章をご覧ください。LD/ST系命令について、フラッシュメモリはアドレス\$8000から割り当てられます。また、LPM命令でフラッシュメモリを読みます。LPM命令について、フラッシュメモリ開始アドレスは\$0000です。

AVR16EB14/20/28/32はデータバスでのCRC単位部主権者を持ちます。

右図は物理的と論理的なメモリ領域の割り当てを示します。

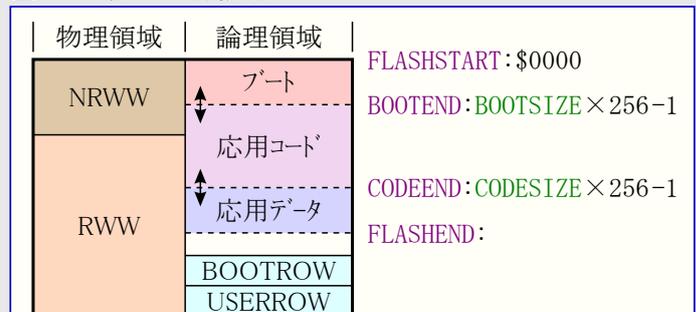
- NRWW = 書き込み中読み出し不可
- RWW = 書き込み中読み出し可

物理的と論理的なメモリ領域の違いとそれらの構成設定についてのより多くの詳細に関してはNVMCTRL章をご覧ください。

表8-1. フラッシュメモリの物理的な特性

特性	AVR16EB14/20/28/32
量	16Kバイト
ページ容量	64バイト
ページ数	256
データ空間での開始アドレス	\$8000
コード空間での開始アドレス	\$0000

図8-2. フラッシュメモリ領域



(訳補) BOOTSIZEヒューズ × 256が応用コード領域先頭を、CODESIZEヒューズ × 256が応用データ領域先頭を示します。

## 8.4. プログラム/デバッグ インターフェース禁止 (PDID)

プログラム/デバッグ インターフェース禁止(PDID)有効化後、再書き込み可能なフラッシュメモリ(不揮発性メモリ-NVM)へ書く方法はNVMのブートコード領域からだけです。UPDIを通すチップ消去(CHIPERASE)や他の再書き込みの試みは失敗します。また、どのNVMの内容を読み出す試みも失敗します。

(NVMへのアクセスを制限する)PDID機能を許可するには以下の手順を使ってください。

1. PDI構成設定(PDICFG)ヒューズに\$B452を書いてください。
  - PDICFG15~4(KEY)ビットに\$B45を書くことによってNVM保護有効(NVMACT)鍵を提供してください。
  - PDICFG3,2ビットは未使用です。- それらが0であることを確実にしてください。
  - PDICFG1,0(LEVEL)ビットに\$2を書くことによって保護基準NVMアクセス禁止(NVMACCDIS)を選んでください。
2. LOCK.KEYヒューズの施錠鍵ビットにLOCKEDを書いてください。
3. デバイスをリセットしてください。

一旦NVMACCDIS保護基準が実施されると、以下のアクセス規則が適用されます。

- UPDIを通すNVMアクセスは禁止されます。
- 応用ソフトウェアに対する更新はブートコード領域(ブートローダ)に置かれたコードによってだけ実行することができます。
- チップ消去は禁止されます。
- 使用者列書き込みアクセスは禁止されます。
- CRC状態は利用可能です。

**重要:** 施錠されたデバイスと異なり、一旦PDID機能が有効化されたUPDIインターフェースを通したCHIPERASEの実行は不可能です。PDID有効後にNVM内容を変える方法はブートコード領域(ブートローダ)からNVM書き込みを実行することによってだけです。応用ソフトウェアはブートローダ実行が安全性の要件を満たすことを確実にしなければなりません。

**注:** PDID有効後、NVMへのアクセスは外部検査に対して非常に制限されます。いくつかの検査は可能ですが、高度な障害解析は不可能です。

## 8.5. SRAMデータメモリ

SRAMメモリの主な仕事は応用データを格納することです。SRAMからコードを実行することは不可能です。

リセット後、プログラムスタックはSRAMの最後に置かれます。

表8-2. SRAMの物理的な特性

特性	AVR16EB14/20/28/32
量	2Kバイト
開始アドレス	\$7800
終了アドレス	\$7FFF

## 8.6. EEPROMデータメモリ

EEPROMメモリの仕事は不揮発性応用データを格納することです。EEPROMメモリは単一と複数のバイト読み書きを支援します。EEPROMは不揮発性メモリ制御器(NVMCTRL)によって制御されます。

表8-3. EEPROMの物理的な特性

特性	AVR16EB14/20/28/32
量	512バイト
開始アドレス	\$1400

## 8.7. SIGROW – 識票列

識票列(SIGROW)ヒューズの内容は予め書かれていて変更することができません。SIGROWはデバイスID、通番、校正值のような情報を保持します。

全てのAVR16EB14/20/28/32デバイスはデバイスを識別する3バイトのデバイスIDを持ちます。このデバイスIDは例えデバイスが施錠されている場合でも、UPDIインターフェースを使って読むことができます。この3バイトは識票列に属します。識票バイトは右表で与えられます。

表8-4. デバイスID

デバイス名	識票バイトアドレス		
	\$0000	\$0001	\$0002
AVR16EB14	\$1E	\$94	\$49
AVR16EB20	\$1E	\$94	\$40
AVR16EB28	\$1E	\$94	\$3F
AVR16EB32	\$1E	\$94	\$3E

## 8.7.1. 識票列要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0	
+\$00	DEVICEID0	7~0	DEVICEID7~0								
+\$01	DEVICEID1	7~0	DEVICEID7~0								
+\$02	DEVICEID2	7~0	DEVICEID7~0								
+\$03	予約										
+\$04	TEMPSENSE0	7~0	TEMPSENSE7~0								
+\$05		15~8	TEMPSENSE15~8								
+\$06	TEMPSENSE1	7~0	TEMPSENSE7~0								
+\$07		15~8	TEMPSENSE15~8								
+\$08 ~ +\$0F	予約										
+\$10	SERNUM0	7~0	SERNUM7~0								
~											
+\$1F	SERNUM15	7~0	SERNUM7~0								

## 8.7.2. 識別列説明

### 8.7.2.1. DEVICEIDn – デバイスIDn (Device ID n)

名称 : DEVICEID0 : DEVICEID1 : DEICEVID2

変位 : +\$00 : +\$01 : +\$02

リセット : [デバイスID]

特質 : -

各デバイスはデバイスとメモリ量、ピン数、ダイ改訂を含むその特性を識別するIDを持ちます。デバイスと利用可能な機能を識別するのにこのIDを使ってください。デバイスIDはSIGROW.DEVICEID2~0の3バイトから成ります。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DEVICEID7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x

#### ● ビット7~0 – DEVICEID7~0 : デバイスIDのバイトn (Byte n of the Device ID)

### 8.7.2.2. TEMPESENSEn – 温度感知器校正n (Temperature Sensor Calibration n)

名称 : TEMPESENSE0L : TEMPESENSE0H : TEMPESENSE1L : TEMPESENSE1H

変位 : +\$04 : +\$05 : +\$06 : +\$07

リセット : [温度感知器校正値]

特質 : -

温度感知器校正レジスタはチップ上温度感知器での温度測定に対する修正係数を含みます。SIGROW.TEMPESENSE0は利得/傾斜に対する(符号付き)修正係数で、SIGROW.TEMPESENSE1は変位(オフセット)に対する(符号付き)修正係数です。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	TEMPESENSE15~8							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TEMPESENSE7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x

#### ● ビット15~0 – TEMPESENSE15~0 : 温度感知器校正 (Temperature Sensor Calibration)

これらのレジスタの使い方については「[ADC – A/D変換器](#)」章を参照してください。

### 8.7.2.3. SERNUMn – 通番バイトn (Serial Number Byte n)

名称 : SERNUM0 ~ SERNUM15

変位 : +\$10 ~ +\$1F

リセット : [デバイス通番のバイトn]

特質 : -

各デバイスは固有のIDを表す個別の通番を持ち、これは在野で特定デバイスを識別するのに使うことができます。通番はSIGROW.SERNUM15~0の16バイトから成ります。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SERNUM7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x

#### ● ビット7~0 – SERNUM7~0 : 通番のバイトn (Serial Number Byte n)

## 8.8. USERROW – 使用者列

AVR16EB14/20/28/32デバイスには使用者列(USERROW)と呼ばれる特別な64バイトメモリ領域を持ちます。USERROWは最終製品データ用に使うことができ、チップ消去によって影響を及ぼされません。例えデバイスが施錠されていても、統一プログラミング/デバッグインターフェース(UPDI)によって書くことができ、これは他のどのメモリへのアクセスもなしに最終構成設定の記憶を許します。UPDIはデバイスが施錠されている時にUSERROWの内容を読むことが許されません。

CPUは通常のフラッシュメモリとしてこれを読み書きすることができます。更なる詳細については「システムメモリアドレス配置」表を参照してください。

## 8.9. BOOTROW – ブート列

AVR16EB14/20/28/32デバイスはブート列(BOOTROW)と呼ばれる特別な64バイトのメモリ領域を持ちます。BOOTROWはブートローダデータ用に使うことができ、チップ消去によって消去されます。

施錠されたデバイスではBOOT領域から実行する時にだけアクセスすることができ、この領域をブートローダによって見られるためのデバイス固有情報を格納するのに理想的にします。更なる詳細については「システムメモリアドレス配置」表を参照してください。

## 8.10. FUSE – 構成設定と使用者のヒューズ

ヒューズは不揮発性メモリの一部で、デバイス構成設定を保持します。ヒューズはCPUとUPDIの両方によって読むことができますが、UPDIによってのみ設定または解除されます。ヒューズに格納された構成設定値は始動手順の最後でそれらの目的対象レジスタに書かれます。

周辺機能構成設定用のヒューズは予め書かれています。ユーザーによって変えることができます。構成設定ヒューズで変えられた値はリセット後にだけ有効です。

**注:** ヒューズを書く時に全ての予約ビットは'1'を書かれなければなりません。

### 8.10.1. ヒューズ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	WDTCFG	7~0	WINDOW3~0			PERIOD3~0				
+\$01	BODCFG	7~0	LVL2~0		SAMPFREQ	ACTIVE1,0		SLEEP1,0		
+\$02	OSCCFG	7~0				OSCHFFRQ				
+\$03	予約									
+\$04	予約									
+\$05	SYSCFG0	7~0	CRCSRC1,0		CRCSEL	UPDIPINCFG	RSTPINCFG	BROWSAVE		EESAVE
+\$06	SYSCFG1	7~0				SUT2~0				
+\$07	CODESIZE	7~0	CODESIZE7~0							
+\$08	BOOTSIZE	7~0	BOOTSIZE7~0							
+\$09	予約									
+\$0A	PDICFG	7~0	KEY3~0						LEVEL1,0	
+\$0B		15~8	KEY11~4							

## 8.10.2. ヒューズ説明

### 8.10.2.1. WDTCFG – ウォッチドッグ タイマ構成設定 (Watchdog Timer Configuration)

名称 : WDTCFG

変位 : +\$00

既定 : \$00

特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	WINDOW3~0				PERIOD3~0			
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット7~4 – WINDOW3~0 : ウォッチドッグ窓制限時間周期 (Watchdog Window Timeout Period)

この値は電源ONまたはリセット後の始動手順の最後でウォッチドッグ制御A(WDT.CTRLA)レジスタの窓期間(WINDOW)ビット領域に設定されます。

- ビット3~0 – PERIOD3~0 : ウォッチドッグ制限時間周期 (Watchdog Timeout Period)

この値は電源ONまたはリセット後の始動手順の最後でウォッチドッグ制御A(WDT.CTRLA)レジスタの制限期間(PERIOD)ビット領域に設定されます。

### 8.10.2.2. BODCFG – 低電圧検出器構成設定 (Brown-out Detector Configuration)

名称 : BODCFG

変位 : +\$01

既定 : \$00

特質 : -

このヒューズレジスタのビット値は始動で対応するBOD構成設定レジスタに書かれます。

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	LVL2~0			SAMPFREQ	ACTIVE1,0		SLEEP1,0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット7~5 – LVL2~0 : BOD基準 (BOD Level)

この値はリセット中にBOD制御B(BOD.CTRLB)レジスタのBOD基準(LVL)ビット領域に設定されます。

**注:** 説明行の値は代表値です。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

**注:** BODLEVEL0はチップ消去中にだけ許可されます。通常動作では、このビット領域への'000'書き込みはBOD禁止と同じです。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	その他
名称	BODLEVEL0	BODLEVEL1	BODLEVEL2	BODLEVEL3	-
説明	1.75V (チップ消去中だけ許可されるBOD、「電気的特性」章をご覧ください。)	1.90V	2.60V	4.30V	(予約)

- ビット4 – SAMPFREQ : BOD採取周波数 (BOD Sample Frequency)

この値はリセット中にBOD制御A(BOD.CTRLA)レジスタの採取周波数(SAMPFREQ)ビットに設定されます。更なる詳細については「BOD – 低電圧検出器」章を参照してください。

値	0	1
名称	128HZ	32HZ
説明	採取周波数は128Hzです。	採取周波数は32Hzです。

- ビット3,2 – ACTIVE1,0 : 活動とアイドルでのBOD動作形態 (BOD Operation Mode in Active and Idle)

この値はリセット中にBOD制御A(BOD.CTRLA)レジスタの活動/アイドル時動作(ACTIVE)ビット領域に設定されます。更なる詳細については「BOD – 低電圧検出器」章を参照してください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	ENABLE	SAMPLE	ENABLEWAIT
説明	BOD禁止	継続動作でBOD許可	採取動作でBOD許可	継続動作でBOD許可。実行は起き上がりでBODの準備が整うまで停止されます。

●ビット1,0 – SLEEP1,0 : 休止でのBOD動作形態 (BOD Operation Mode in Sleep)

この値はリセット中にBOD制御A(BOD.CTRLA)レジスタのスタンバイ/パワーダウン時動作(SLEEP)ビット領域に設定されます。更なる詳細については「BOD – 低電圧検出器」章を参照してください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	ENABLE	SAMPLE	-
説明	BOD禁止	継続動作でBOD許可	採取動作でBOD許可	(予約)

8.10.2.3. OSCCFG – 発振器構成設定 (Oscillator Configuration)

名称 : OSCCFG

変位 : +\$02

既定 : \$00

特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OSCHFFRQ							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット3~0 – OSCHFFRQ : 内部高周波数発振器周波数 (Internal High-frequency Oscillator Frequency)

このヒューズビットは内部高周波数発振器(OSCHF)の走行周波数を制御します。

値	0	1
説明	20MHzで走行するOSCHF	16MHzで走行するOSCHF

8.10.2.4. SYSCFG0 – システム構成設定0 (System Configuration 0)

名称 : SYSCFG0

変位 : +\$05

既定 : \$D0

特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CRCSRC1,0		CRCSEL	UPDIPINCFG	RSTPINCFG		BROWSAVE	EESAVE
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R/W	R
既定値	1	1	0	1	0	0	0	0

●ビット7,6 – CRCSRC1,0 : CRC供給元 (CRC Source)

このビット領域はリセット初期化中にフラッシュメモリのどの領域がCRCSCAN周辺機能によって検査されるかを制御します。機能についてのより多くの情報に関しては「CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査」章をご覧ください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	FLASH	BOOT	BOOTAPP	NOCRC
説明	全フラッシュメモリ (ブート、応用コード、応用データ)のCRC	ブート領域のCRC	応用コードと ブートの領域のCRC	CRCなし

●ビット5 – CRCSEL : CRC多項式選択 (CRC Polynomial Selection)

このビットはCRCSCAN周辺機能によって実行されるCRCの形式を制御します。機能についてのより多くの情報に関しては「CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査」章をご覧ください。

(訳注) CRCSCAN章によると、このデバイスではCRC-32 (IEEE 802.3)は存在せず、CRC-16-CCITTだけのようです。

値	0	1
名称	CRC16	CRC32
説明	CRC-16-CCITT	CRC-32 (IEEE 802.3)

#### ● ビット4 – UPDIPINCFG : UPDIピン構成設定 (Configuration of UDPI Pin at Start-Up)

このビットは始動でのUPDIピン構成設定を選びます。

値	0	1
名称	GPIO	UPDI
説明	GPIOとして構成設定	PF7で許可されるプルアップ付きUPDIとして構成設定

#### ● ビット3 – RSTPINCFG : リセットピン構成設定 (Configuration of Reset Pin at Start-Up)

このビットは始動でのリセットピンに対する構成設定を選びます。

値	0	1
名称	INPUT	RESET
説明	外部入力ピンとしてPF6構成設定	PF6で許可されるプルアップ付き外部リセット

#### ● ビット1 – BROWSAVE : チップ消去中ブート列保存 (Boot Row Save During Chip Erase)

このビットはチップ消去中にブート列が消去されるか否かを制御します。デバイスが施錠されている場合、ブート列はこのビットに関わらずチップ消去によって消去されます。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	ブート列はチップ消去によって消去されます。	ブート列はチップ消去によって消去されません。

#### ● ビット0 – EESAVE : チップ消去中EEPROM保存 (EEPROM Saved During Chip Erase)

このビットはチップ消去中にEEPROMが消去されるか保存されるかのどちらかを制御します。許可されたなら、チップ消去はフラッシュメモリだけを消去します。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	チップ消去中にEEPROMが消去されます。	デバイスが施錠されているか否かに関わらず、チップ消去中にEEPROMは保存されます。

### 8.10.2.5. SYSCFG1 – システム構成設定1 (System Configuration 1)

名称 : SYSCFG1

変位 : +\$06

既定 : \$07

特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							SUT2~0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	0	1	1	1

#### ● ビット2~0 – SUT2~0 : 始動時間 (Start Up Time)

このビット領域は電源ONとコード実行開始間の時間を意味する始動時間を制御します。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	0MS	1MS	2MS	4MS	8MS	16MS	32MS	64MS
説明	0ms	1ms	2ms	4ms	8ms	16ms	32ms	64ms

### 8.10.2.6. CODESIZE – コードの大きさ (Code Size)

名称 : CODESIZE  
 変位 : +\$07  
 既定 : \$00  
 特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CODESIZE7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7~0 – CODESIZE7~0 : コード領域の大きさ (Code Section Size)

このビット領域は256バイトの塊でブートコード領域と応用コード領域を合わせた大きさを定義します。より多くの詳細については「NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器」章を参照してください。

**注:** FUSE.BOOTSIZEが\$00の場合、FUSE.CODESIZE値を使うことなく、フラッシュメモリ全体がブートコード領域として設定されます。

### 8.10.2.7. BOOTSIZE – ブートの大きさ (Boot Size)

名称 : BOOTSIZE  
 変位 : +\$08  
 既定 : \$00  
 特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BOOTEND7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
既定値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7~0 – BOOTSIZE7~0 : ブート領域の大きさ (Boot Section Size)

このビット領域は256バイトの塊でブート領域の大きさを制御します。\$00の値はブートコード領域としてフラッシュメモリ全体を制御します。より多くの詳細については「NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器」章を参照してください。

### 8.10.2.8. PDICFG – UPDI保護 (UPDI Protection)

名称 : PDICFG  
 変位 : +\$0A  
 既定 : \$0003  
 特質 : -

このヒューズ記述で与えられる既定値は工場書き込み値で、リセット値と間違えてはいけません。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	KEY11~4							
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
既定値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	KEY3~0						LEVEL1,0	
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W
既定値	0	0	0	0	0	0	1	1

#### ● ビット15~4 – KEY11~0 : UPDI保護活性化鍵 (UPDI Protection Activate Key)

このビット領域はUPDI保護用12ビット許可鍵を含みます。この保護はデバイスがコード保護(LOCK.KEYがLOCKED状態に設定)される限り無効です。

値	\$B45	その他
名称	LOCK	UNLOCK
説明	保護許可	保護禁止

#### ● ビット1,0 – LEVEL1,0 : UPDI保護基準 (UPDI Protection Level)

このビット領域はUPDI保護の基準を設定するのに使われます。

値	0 x	1 0	1 1
名称	-	NVMACCDIS	UNPROT
説明	(予約)	UPDIを通ずNVMアクセス禁止。 チップ消去とUSERROW書き込みも禁止。	UPDIインターフェースとUPDIピンは通常動作

### 8.11. LOCK – メリ領域アクセス保護

デバイスは施錠することができ、メモリは統一プログラミング/デバッグ インターフェース(UPDI)を用いて読むことができません。この施錠はFUSE データを含み、フラッシュメモリ(ブートコード、応用コード、応用データの全領域)、SRAM、EEPROMを保護し、デバッグ インターフェースを用いた応用のデータやコードの読み込みを防ぎます。応用内からの通常のメモリアクセスは未だ許されます。

デバイスは**施錠鍵(LOCK.KEY)レジスタ**に無効な鍵を書くことによって施錠されます。

表8-5. 解錠動作/施錠動作でのメモリアクセス (~/~は解錠時/施錠時、**注1**)

メモリ領域	CPUアクセス		UPDIアクセス	
	読み	書き	読み	書き
フラッシュメモリ	○/○	○/○	○/×	○/×
SRAM	○/○	○/○	○/×	○/×
EEPROM	○/○	○/○	○/×	○/×
識別列 (SIGROW)	○/○	×/×	○/×	×/×
ブート列 (BOOTROW)	<b>(注2)</b> ○/○ <b>(注2)</b>	<b>(注2)</b> ○/○ <b>(注2)</b>	○/×	○/×
使用者列 (USERROW)	○/○	○/○	○/×	○/○ <b>(注3)</b>
ヒューズ (FUSE)	○/○	×/×	○/×	○/×
施錠 (LOCK)	○/○	×/×	○/×	○/×
レジスタ	○/○	○/○	○/×	○/×

**注1:** 表で×と記された読み込み操作が成功に見えるかもしれませんが、データは有効ではありません。故に、UPDIを通すどのコード確認の試みもこれらのメモリ領域で失敗します。

**注2:** 読み書きはブートコード領域からだけ可能です。

**注3:** 施錠動作でUSERROWはヒューズ書き込み指令を用いて書くことはできますが、現在のUSERROW値を読み出すことができません。

**(訳注)** 視認性から原書の表8-5.と表8-6.は表8-5.として纏めました。



**重要:** デバイスを解錠する唯一の方法はCHIPERASEです。応用データは保持されません。

## 8.11.1. 施錠要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	KEY	7~0								
+\$01		15~8								
+\$02		23~16								
+\$03		31~24								

## 8.11.2. 施錠説明

## 8.11.2.1. KEY - 施錠鍵 (Lock Key)

名称 : KEY

変位 : +\$00

リセット : 初期工場値=\$5CC5C55C

特質 : -

ビット	31	30	29	28	27	26	25	24	
	KEY31~24								
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R	
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x	
ビット	23	22	21	20	19	18	17	16	
	KEY23~16								
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R	
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x	
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
	KEY15~8								
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R	
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x	
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
	KEY7~0								
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R	
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x	

## ● ビット31~0 - KEY31~0 : 施錠鍵 (Lock Key)

このビット領域はデバイスが施錠されるかどうかを制御します。

値	\$5CC5C55C	その他
名称	UNLOCKED	LOCKED
説明	デバイスは解錠されています。	デバイスは施錠されています。

## 8.12. I/Oメモリ

AVR16EB14/20/28/32デバイスの全てのI/Oと周辺機能はI/Oメモリ空間に配置されます。更なる詳細については「[周辺機能アドレス配置](#)」表を参照してください。

予約ビットを含むレジスタが書かれる場合、予約されたビットは将来のデバイスとの互換性のため'0'を書かれなければなりません。予約されたI/Oメモリアドレスに決して書いてはなりません。

### 単一周期I/Oレジスタ

\$00～\$3Fに及ぶI/OメモリはINまたはOUTの命令を使って単一周期CPU命令によってアクセスすることができます。

単一周期I/Oレジスタで利用可能な周辺機能は次のとおりです。

- VPORTx (仮想ポート)
  - 更なる詳細については「[I/Oピン構成設定](#)」章を参照してください。
- GPR (汎用レジスタ)
  - 更なる詳細については「[汎用レジスタ](#)」章を参照してください。
- CPU
  - 更なる詳細については「[AVR® CPU](#)」章を参照してください。

\$00～\$1Fに及ぶ単一周期I/Oレジスタ(VPORTxとGPR)はSBIまたはCBIの命令を用いて直接ビットアクセスも可能です。これらの単一周期I/Oレジスタでは、SBISまたはSBICの命令を用いることによって単一位ビットを調べることができます。

更なる詳細については「[命令一式要約](#)」章を参照してください。

### 8.12.1. 16ビットレジスタのアクセス

AVR16EB14/20/28/32デバイス用のレジスタの殆どは8ビットレジスタですが、このデバイスは少数の16ビットレジスタも特徴です。AVRデータバスが8ビットの幅を持つため、16ビットのアクセスは2つの読みまたは書きの操作を必要とします。AVR16EB14/20/28/32デバイスの全ての16ビットレジスタは一時(TEMP)レジスタを通して8ビットバスに接続されます。

16ビット書き込み操作については、16ビットレジスタの下位バイトレジスタ(例えば、DATAH)が上位バイトレジスタ(例えば、DATAH)に先立って書かれなければなりません。下位バイトレジスタ書き込みは図8-3の左側で示されるように、下位バイトレジスタの代わりに一時(TEMP)レジスタへの書き込みに帰着します。16ビットレジスタの上位バイトレジスタが書かれると、図8-3の右側で示されるように、同じクロック周期でTEMPが16ビットレジスタの下位バイトに複写されます。

16ビット読み込み操作については、16ビットレジスタの下位バイトレジスタ(例えば、DATAH)が上位バイトレジスタ(例えば、DATAH)に先立って読まれなければなりません。下位バイトレジスタが読まれると、図8-4の左側で示されるように、同じクロック周期で16ビットレジスタの上位バイトレジスタが一時(TEMP)に複写されます。上位バイトレジスタ読み込みは図8-4の右側で示されるように、上位バイトレジスタの代わりにTEMPレジスタからの読み込みになります。

記述された機構はレジスタが読みまたは書きされた時に16ビットレジスタの上位と下位のバイトが常に同時にアクセスされることを保証します。

16ビット読み書き操作の間に割り込みが起動され、割り込み処理ルーチンで同じ周辺機能内の16ビットレジスタがアクセスされる場合、割り込みは時限手順を不正にし得ます。これを防ぐため、16ビットレジスタを読みまたは書きする前に割り込みを禁止することが推奨されます。代わりに、割り込み処理ルーチンで一時レジスタを先に読み、16ビットアクセス後に復元することができます。

図8-3. 16ビットレジスタ書き込み動作

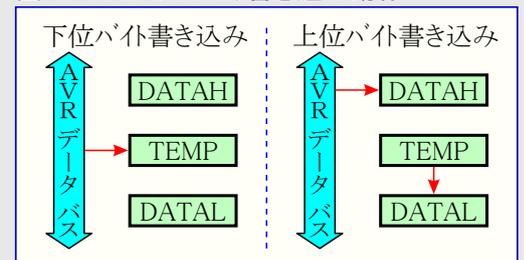
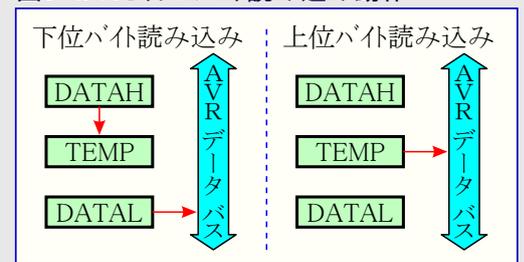


図8-4. 16ビットレジスタ読み込み動作



### 8.12.2. 24ビットと32ビットのレジスタのアクセス

24ビットと32ビットのレジスタについては、24ビットレジスタ用に2つの一時レジスタと32ビットレジスタ用に3つの一時レジスタがあることを除き、16ビットレジスタに対して記述されたのと同じ方法で行われます。レジスタに書く時は最上位バイトが最後に書かれなければならない、レジスタを読む時は最下位バイトが先に読まれなければなりません。

## 9. GPR – 汎用レジスタ

AVR16EB14/20/28/32デバイスは4つの汎用レジスタを提供します。これらのレジスタはどんな情報を格納するのにも使うことができ、それらは特に全域変数と割り込みフラグを格納するのに有用です。汎用レジスタのビットに暗黙的または明示的な意味は適用されません。ビット値の意味は完全にソフトウェアによって決められます。

アドレス範囲\$0C～\$1Fに属す汎用レジスタは**SBI**、**CBI**、**SBIS**、**SBIC**の命令を用いて直接ビットアクセス可能です。

## 9.1. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	GPR0	7~0					GPR7~0			
+\$01	GPR1	7~0					GPR7~0			
+\$02	GPR2	7~0					GPR7~0			
+\$03	GPR3	7~0					GPR7~0			

## 9.2. レジスタ説明

### 9.2.1. GPRn – 汎用レジスタn (General Purpose Register n)

名称 : GPR0 : GPR1 : GPR2 : GPR3

変位 : +\$00 : +\$01 : +\$02 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

これらの汎用レジスタはビットアクセス可能なI/Oメモリ空間で全域変数やフラグのようなデータを格納するのに使われます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	GPR7~0							
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 – GPR7~0 : 汎用レジスタn バイト (General Purpose Register Byte)

## 10. 周辺機能と基本構造

### 10.1. 周辺機能アドレス配置

アドレス配置は各周辺機能に対する基準アドレスを示します。各周辺機能に対する完全なレジスタ記述と要約については各々の周辺機能章を参照してください。

表10-1. 周辺機能アドレス配置

基準アドレス	名称	説明	14ピン	20ピン	28ピン	32ピン
\$0000	VPORTA	仮想ポートA	○	○	○	○
\$0008	VPORTC	仮想ポートC	○	○	○	○
\$000C	VPORTD	仮想ポートD	○	○	○	○
\$0014	VPORTF	仮想ポートF	○	○	○	○
\$001C	GPR	汎用レジスタ	○	○	○	○
\$0030	CPU	CPU	○	○	○	○
\$0040	RSTCTRL	リセット制御器	○	○	○	○
\$0050	SLPCTRL	休止制御器	○	○	○	○
\$0060	CLKCTRL	クロック制御器	○	○	○	○
\$00A0	BOD	低電圧検出器	○	○	○	○
\$00B0	VREF	基準電圧	○	○	○	○
\$0100	WDT	ウォッチドッグ タイマ	○	○	○	○
\$0110	CPUINT	割り込み制御器	○	○	○	○
\$0120	CRCSCAN	巡回冗長検査メモリ走査	○	○	○	○
\$0140	RTC	実時間計数器	○	○	○	○
\$01C0	CCL	構成設定可能な注文論理回路	○	○	○	○
\$0200	EVSYS	事象システム	○	○	○	○
\$0400	PORTA	ポートA構成設定	○	○	○	○
\$0440	PORTC	ポートC構成設定	○	○	○	○
\$0460	PORTD	ポートD構成設定	○	○	○	○
\$04A0	PORTF	ポートF構成設定	○	○	○	○
\$05E0	PORTMUX	ポート多重器	○	○	○	○
\$0600	ADC0	A/D変換器0	○	○	○	○
\$0680	AC0	アナログ比較器0	○	○	○	○
\$0688	AC1	アナログ比較器1	○	○	○	○
\$0800	USART0	万能同期非同期送受信器0	○	○	○	○
\$0900	TWI0	2線インターフェース0	○	○	○	○
\$0940	SPI0	直列周辺インターフェース0	○	○	○	○
\$0A00	TCE0	タイマ/カウンタE型0	○	○	○	○
\$0B00	TCB0	タイマ/カウンタB型0	△	○	○	○
\$0B10	TCB1	タイマ/カウンタB型1	△	○	○	○
\$0C00	TCF0	タイマ/カウンタF型0	○	○	○	○
\$0C80	WEX0	波形拡張実体0	○	○	○	○
\$0F00	SYSCFG	システム構成設定	○	○	○	○
\$0F80	OCD	チップ上デバッグ	○	○	○	○
\$1000	NVMCTRL	不揮発性メモリ制御器	○	○	○	○

表10-2. システムメモリアドレス配置

基準アドレス	名称	説明	14ピン	20ピン	28ピン	32ピン
\$1040	LOCK	施錠ビット	○	○	○	○
\$1050	FUSE	使用者構成設定	○	○	○	○
\$1080	SIGROW	識票列	○	○	○	○
\$1100	BOOTROW	ブート列	○	○	○	○
\$1200	USERROW	使用者列	○	○	○	○

## 10.2. 割り込みベクタ配置

各々の割り込みベクタは下表で示されるように1つの周辺機能実体に接続されます。周辺機能は1つ以上の割り込み元を持ち得ます。利用可能な割り込み元のより多くの詳細については各々の周辺機能の「機能的な説明」の「割り込み」項をご覧ください。

割り込み条件が起こると、例え割り込みが許可されていない場合でも、周辺機能の割り込み要求フラグ(周辺機能名.INTFLAGS)レジスタで割り込み要求フラグが設定(1)されます。

周辺機能の割り込み制御(周辺機能名.INTCTRL)レジスタで対応する割り込み許可ビットを書くことにより、割り込みは許可または禁止にされます。

割り込み要求は対応する割り込みが許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求はその割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除(0)する方法の詳細については周辺機能の割り込み要求フラグ(周辺機能名.INTFLAGS)レジスタをご覧ください。

**注:** 割り込みが生成されるには割り込み要求に対して割り込みが**全体的に許可**されなければなりません。

表10-3. 割り込みベクタ配置

ベクタ番号	ベクタアドレス (語)	周辺機能 (名称)	説明	14ピン	20ピン	28ピン	32ピン
0	\$0000	RESET	リセット	○	○	○	○
1	\$0002	NMI	CRCSCANに対して利用可能な遮蔽不可割り込み	○	○	○	○
2	\$0004	BOD_VLM	電圧水準監視器割り込み	○	○	○	○
3	\$0006	RTC_CNT	実時間計数器の溢れまたは比較一致の割り込み	○	○	○	○
4	\$0008	RTC_PIT	実時間計数器の周期割り込み (PIT)	○	○	○	○
5	\$000A	CCL_CCL	構成設定可能な注文論理回路割り込み	○	○	○	○
6	\$000C	PORTA_PORT	ポートA外部割り込み	○	○	○	○
7	\$000E	WEX0	障害検出	○	○	○	○
8	\$0010	TCE0_OVF	タイマ/カウンタE型溢れ割り込み	○	○	○	○
9	\$0012	TCE0_CMP0	タイマ/カウンタE型比較チャンネル0割り込み	○	○	○	○
10	\$0014	TCE0_CMP1	タイマ/カウンタE型比較チャンネル1割り込み	○	○	○	○
11	\$0016	TCE0_CMP2	タイマ/カウンタE型比較チャンネル2割り込み	○	○	○	○
12	\$0018	TCE0_CMP3	タイマ/カウンタE型比較チャンネル3割り込み	○	○	○	○
13	\$001A	TCB0_INT	タイマ/カウンタB型捕獲/溢れ割り込み	○	○	○	○
14	\$001C	TCB1_INT	タイマ/カウンタB型捕獲/溢れ割り込み	○	○	○	○
15	\$001E	TWI1_TWIC	2線インターフェース従装置割り込み	○	○	○	○
16	\$0020	TWI1_TWIH	2線インターフェース主装置割り込み	○	○	○	○
17	\$0022	SPI0_INT	直列周辺インターフェース割り込み	○	○	○	○
18	\$0024	USART0_RXC	万能同期非同期送受信器受信完了割り込み	○	○	○	○
19	\$0026	USART0_DRE	万能同期非同期送受信器データレジスタ空割り込み	○	○	○	○
20	\$0028	USART0_TXC	万能同期非同期送受信器送信完了割り込み	○	○	○	○
21	\$002A	PORTD_PORT	ポートD外部割り込み	○	○	○	○
22	\$002C	TCF0_INT	タイマ/カウンタF型比較/溢れ割り込み	○	○	○	○
23	\$002E	AC0_AC	アナログ比較器割り込み	○	○	○	○
24	\$0030	ADC0_ERROR	A/D変換器誤り割り込み	○	○	○	○
25	\$0032	ADC0_RESRDY	A/D変換器結果準備可割り込み	○	○	○	○
26	\$0034	ADC0_SAMPDY	A/D変換器試料準備可割り込み	○	○	○	○
27	\$0036	AC1_AC	アナログ比較器割り込み	○	○	○	○
28	\$0038	PORTC_PORT	ポートC外部割り込み	○	○	○	○
29	\$003A	PORTF_PORT	ポートF外部割り込み	○	○	○	○
30	\$003C	NVMCTRL_NVMREADY	NVM制御器 EEPROM/フラッシュメモリ準備可	○	○	○	○

### 10.3. SYSCFG – システム構成設定

システム構成設定は部品の改訂IDを含みます。この改訂IDはCPUから読め、部品の改訂間での応用変更の実装に対してそれを有用にします。

#### 10.3.1. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	予約									
+\$01	REVID	7~0	MAJOR3~0				MINOR3~0			

#### 10.3.2. レジスタ説明

##### 10.3.2.1. REVID – デバイス改訂IDレジスタ (Device Revision ID Register)

名称 : REVID

変位 : +\$01

リセット : [改訂ID]

特質 : -

このレジスタは読み込み専用でデバイス改訂IDを示します。改訂=A0, A1, ~B0, B1, ~以下同様です。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	MAJOR3~0				MINOR3~0			
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	x	x	x	x	x	x	x	x

- ビット7~4 – MAJOR3~0 : 主改訂 (Major Revision)

このビット領域は主デバイス改訂を含みます。\$1=A、\$2=B、以下同様です。

- ビット3~0 – MINOR3~0 : 副改訂 (Minor Revision)

このビット領域は\$0から始まる副デバイス改訂を含みます。

## 11. NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器

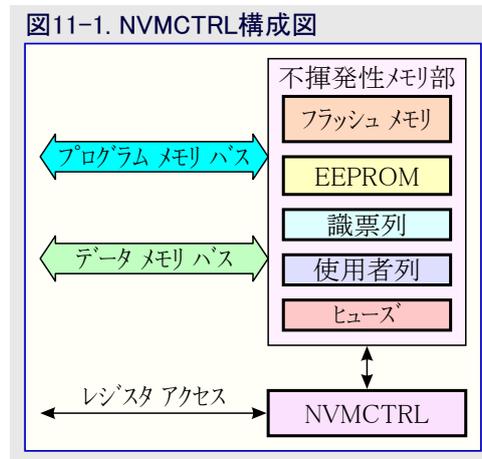
### 11.1. 特徴

- 実装プログラミング可能
- 自己プログラミングとブートローダ支援
- 真の書き込み中読み込み支援
- 構成設定可能なメモリ領域:
  - ブートコード領域
  - 応用コード領域
  - 応用データ領域
- 工場書き込みされたデータ用の識別列
  - 各デバイス型式用のID
  - 各デバイス用の通番
  - 工場校正された周辺機能用の校正バイト
- 応用データ用の使用者列
  - ソフトウェアから読み書き可能
  - 施錠されたデバイスでUPDIから書き込み可能
  - チップ消去後も保持される内容
- ブートデータ用のブート列
  - デバイス固有データの保管用
  - ブートコード領域からだけアクセス可能

### 11.2. 概要

NVM制御器(NVMCTRL)はCPUと不揮発性メモリ(フラッシュメモリ、EEPROM、識別列、使用者列、ヒューズ)間のインターフェースです。これらは給電されない時にそれらの値を保持する再書き込み可能なメモリ部です。フラッシュメモリは主にプログラム記憶に使われますが、データ記録に使うこともできます。EEPROM、識別列、使用者列、ヒューズはもっぱらデータ記憶に使われます。

#### 11.2.1. 構成図



### 11.3. 機能的な説明

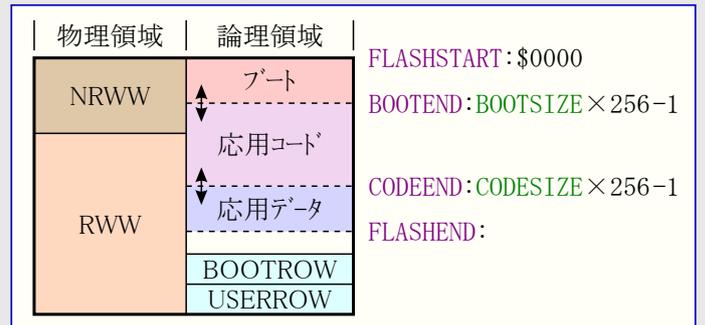
#### 11.3.1. メモリ構成

##### 11.3.1.1. フラッシュメモリ

フラッシュメモリはページの組に分けられます。ページはフラッシュメモリを消去する時にアドレス指定可能な最小単位です。それは一度にページ全体を書くまたは消去することだけが可能です。1ページは64バイトから成ります。

ページの大きさと無関係に、フラッシュメモリは領域で構成されます。フラッシュメモリはブートローダ応用に対する構造を最適化するために書き込み中読み込み可(RWW:Read-While-Write)と書き込み中読み込み不可(NRWW:Non Read-While-Write)の2つの物理的な領域に分けられます。これら2つの領域をブートローダコード(BOOT)、応用コード(APPCODE)、応用データ(APPDATA)の3つの論理的な領域に分けることが可能です。

図11-2. AVR EA系フラッシュメモリ領域



### 11.3.1.1.1. 物理的な領域

フラッシュメモリは物理的に2つの固定された領域、書き込み中読み込み可(RWW:Read-While-Write)と書き込み中読み込み不可(NRWW:Non Read-While-Write)に分けられます。

2つの領域間の主な違いは次のとおりです。

- RWWフラッシュメモリ内に位置するページの消去または書き込み時、NRWWフラッシュメモリはその操作中に読むことができます。
- NRWWフラッシュメモリ内に位置するページの消去または書き込み時、CPUはその操作全体の間停止されます。

「書き込み中読み込み可領域」の記法はプログラム(消去または書き込み)することで読めない領域を指します。RWWフラッシュメモリが書かれ、または消去されつつある間にNRWWフラッシュメモリ内に位置するコードだけがCPU命令を実行する、またはデータを読むのどちらかによってアクセスすることができます。

**注:** RWW領域内の割り込みコードはRWW領域が消去または書き込まれる間に関連する割り込みが起動された場合にCPUを停止するかもしれません。これを避けるには割り込みを禁止するか、または割り込みコードをブートコード(BOOT)領域に置いてください。

下の図と表はこれら2つの物理的なフラッシュメモリ領域を詳細に説明します。

図11-3. 書き込み中読み込みの筋書き

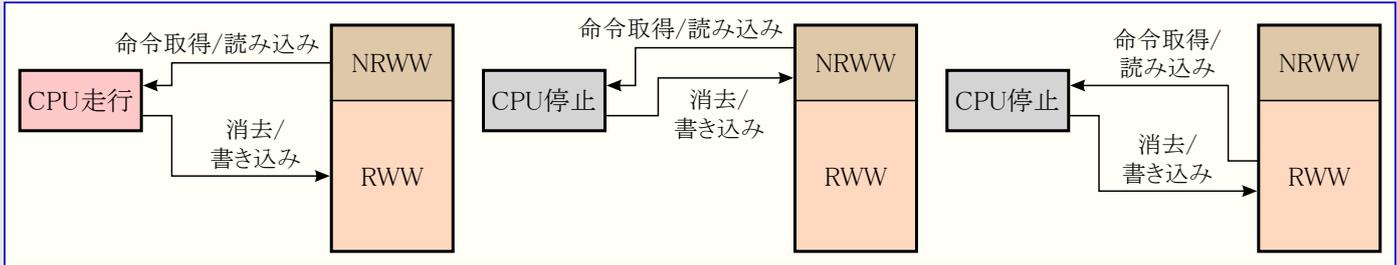


表11-1. 書き込み中読み込みの筋書き

フラッシュメモリ領域消去/書き込み	フラッシュメモリ領域アクセス	CPU
RWW領域	NRWW領域	走行
NRWW領域	NRWW領域	停止
RWW領域	RWW領域	停止

**注:** 使用者列はRWWフラッシュメモリに置かれます。使用者列内のページを消去または書き込む時はこの操作の間にNRWWフラッシュメモリを読むことができます。

**注:** ブート列はRWWフラッシュメモリに置かれます。ブート列内のページが消去または書き込む時はこの操作の間にNRWWフラッシュメモリを読むことができます。

**注:** 物理的な領域の大きさはデバイス依存です。更なる詳細については「メモリ概要」項を参照してください。

### 11.3.1.1.2. 論理的な領域

フラッシュメモリは各々が可変ページ数から成る3つの論理的な領域に分けることができます。これらの領域は次のとおりです。

- **ブートコード (BOOT)** – BOOT領域から実行されるコードは他の全てのフラッシュメモリ領域に対する完全な書き込みアクセスを持ちます。ブートローダーソフトウェアが使われるなら、この領域に置かれなければなりません。
- **応用コード (APPCODE)** – APPCODE領域から実行されるコードは他のフラッシュメモリ領域に対して限定された書き込みアクセスを持ちます。実行可能な応用コードは通常、この領域に置かれます。
- **応用データ (APPDATA)** – 書き込みアクセスを持たないフラッシュメモリ領域。定数は通常、この領域に置かれます。

**注:** 領域相互読み書きアクセスの詳細については「フラッシュメモリアクセス保護」項を参照してください。

#### 領域容量

ブートの大きさ(FUSE.BOOTSIZ)ヒューズとコードの大きさ(FUSE.CODESIZ)ヒューズはこれらの領域の大きさを設定します。ヒューズは256バイトの塊単位で領域容量を選びます。BOOT領域はFLASHSTARTからBOOTENDに達し、APPCODE領域はBOOTEND直後からCODEENDまで広がります。残りの領域がAPPDATA領域です。

FUSE.BOOTSIZが'0'を書かれた場合、フラッシュメモリ全体がBOOT領域と見做されます。FUSE.CODESIZが'0'を書かれ、FUSE.BOOTSIZが>0の場合、APPCODE領域はBOOTENDからフラッシュメモリの最後までを走ります(APPCODE領域なし)。

FUSE.CODESIZ ≤ FUSE.BOOTSIZだと、APPCODE領域は取り去られ、APPDATAがBOOTENDからフラッシュメモリの最後までを走ります。

表11-2. フラッシュメモリ領域の構成設定

BOOTSIZ	CODESIZ	BOOT領域	APPCODE領域	APPDATA領域
0	0	0~FLASHEND	-	-
>0	0	0~BOOTEND	BOOTEND~FLASHEND	-
>0	≤BOOTEND	0~BOOTEND	-	BOOTEND~FLASHEND
>0	>BOOTEND	0~BOOTEND	BOOTEND~CODEEND	CODEEND~FLASHEND

ブートローダソフトウェアがない場合、応用コード用にBOOT領域を使うことが推奨されます。

- 注: 1. リセット後、既定ベクタ表位置はAPPCODE領域の始めです。BOOT領域の始めに割り込みベクタ表を再配置することによってBOOT領域で走っているコードで周辺機能割り込みを使うことができます。それは制御A(CPUINT.CTRLA)レジスタの割り込みベクタ選択(IVSEL)ビットを設定(1)することによって行われます。詳細については「CPUINT」章を参照してください。
2. BOOTSIZ/CODESIZのヒューズ設定によって決定されるBOOTEND/CODEENDがデバイスのFLASHENDを超える場合、対応するヒューズ設定は無視され、既定値が使われます。既定値については「メモリ」章の「FUSE」項を参照してください。

例11-1. フラッシュメモリ領域の大きさの例

FUSE.BOOTSIZが\$04を書かれ、FUSE.CODESIZが\$08を書かれた場合、最初の4×256バイトがBOOTで、次の4×256バイトがAPPCODE、そして残りのフラッシュメモリがAPPDATAです。

### 11.3.1.1.3. フラッシュメモリアクセス保護

#### 交差書き込み保護

安全性のため、コードが現在実行しているフラッシュメモリの領域へ書くことは不可能です。APPCODE領域へ書くコードはBOOT領域から実行されなければならない、APPDATAに書くコードはBOOT領域またはAPPDATA領域のどちらかから実行されなければなりません。

表11-3. 自己プログラミングに対する書き込み保護 (プログラミング可)

プログラム実行領域 \ 処理されつつある領域	BOOT	APPCODE	APPDATA	EEPROM	USERROW	BOOTROW
BOOT	×	○	○	○	○	○
APPCODE	×	×	○	○	○	×
APPDATA	×	×	×	×	×	×

#### フラッシュメモリ保護

交差書き込み保護に加えて、NVMCTRLはフラッシュメモリ領域への望まれないアクセスを避けるための安全機構を提供します。例えばCPUが決してBOOT領域に書くことできないにしても、制御B(NVMCTRL.CTRLB)レジスタのブート領域読み込み保護(BOOTRP)ビットはBOOT領域からのコードの読み込みと実行の防止を提供します。このビットはBOOT領域で実行されるコードからだけ設定(1)することができ、BOOT領域を去る時にだけ有効になります。

制御B(NVMCTRL.CTRLB)レジスタの3つの書き込み保護ビット(EEPROM書き込み保護(EERP)、応用データ領域書き込み保護(APPDATAWP)と応用コード領域書き込み保護(APPCODEWP))は各々、EEPROM、APPDATA、APPCODEの領域に対して書き込み保護を設定することができます。

### 11.3.1.2. EEPROM

EEPROMは1ページが多数のバイトからなるページの組に分けられる512バイトの不揮発性メモリ領域です。EEPROMは消去/書き込みでバイトの粒度を持ちます。各書き込み/消去はページ内で1つ以上のバイトを含むことができます。ページ緩衝部へのデータ書き込み時、そのデータに対するアドレスが次の消去/書き込み実行時に更新されるように記されます。ページの残りのバイトは消去/書き込みされません。1操作で1バイトの消去と書き込みを実行することもできます。

### 11.3.1.3. 使用者列

使用者列は書き込み中読み込み可(RWW)フラッシュメモリの64バイトです。校正/構成設定のデータや通番のような様々なデータを格納するのにこの領域を使ってください。この領域はチップ消去によって消去されません。

使用者列領域はCPUから読み書きすることができます。使用者列消去時、列全体が同時に消去されます。

この領域は解錠されたデバイスでUPDIを通して書くことができます。

### 11.3.1.4. ブート列

ブート列は書き込み中読み込み可(RWW)フラッシュメモリの64バイトです。この領域は鍵のように、ブートローダに対してだけアクセス可能な情報を格納します。この領域はヒューズ(FUSE)設定で制御されるチップ消去によって任意で消去されます。

ブート列領域はCPUから読み書きすることができます。ブート列消去時、この列全体が一度に消去されます。

ブート列領域は応用領域からアクセスすることができません。

### 11.3.1.5. ヒューズ

ヒューズはデバイス構成設定値を含み、始動手順最後でそれらの目的対象レジスタに複写されます。ヒューズはCPUまたはUPDIによって読むことができますが、UPDIによってだけ、書くまたは解除することができます。

### 11.3.1.6. 識票列

識票列は各マイクロコントローラデバイス型式と製造された各デバイスに対する通番を識別するデバイスIDを含みます。通番は製造ロット番号、ウェハ番号、デバイスのウェハ座標から成ります。識票列はCPUまたはUPDIインターフェースによって読むことができますが、書き込みや消去ができません。

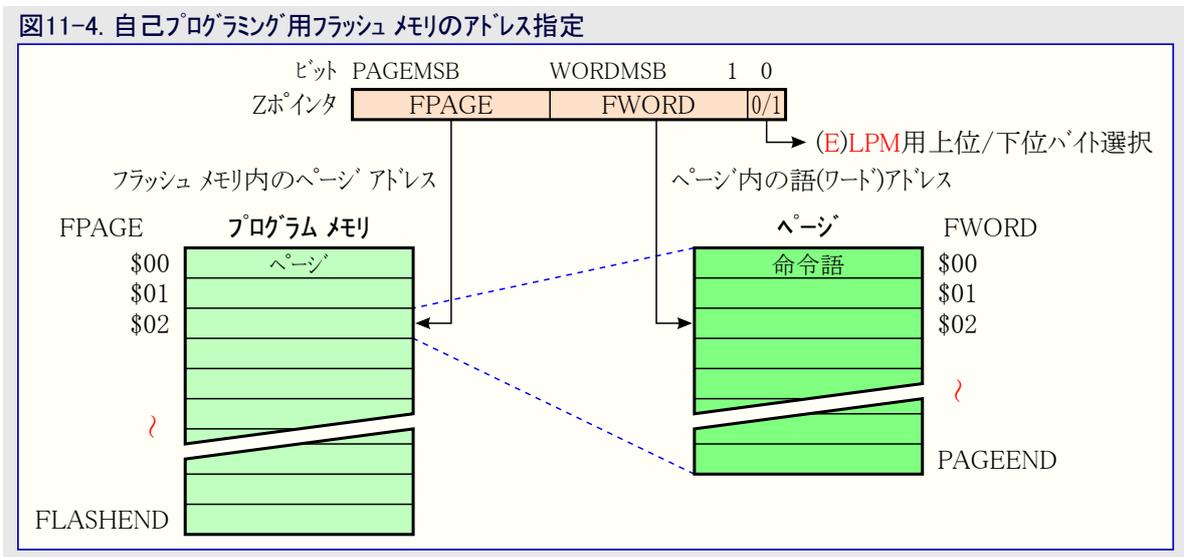
## 11.3.2. メモリ アクセス

フラッシュメモリは読み/書き操作に対してコード空間またはCPUデータ空間のどちらかでアクセスすることができます。コード空間使用時、フラッシュメモリはLPMとSPM系命令を通してアクセス可能です。

加えて、フラッシュメモリはCPUデータ空間を通してバイトアクセス可能で、SRAM、EEPROM、I/Oレジスタと同じアドレス空間と命令を共用することを意味し、アセンブリ言語でLD/ST系命令を使ってアクセス可能です。

### コード空間でのフラッシュメモリアドレス指定

コード空間でのフラッシュメモリへの読み書きアクセスには、LPM/SPMアクセス用のZポインタを使ってください。



フラッシュメモリがページで構成され、語(ワード)でアクセスされるため、上図で示されるように、アドレスポインタは2つの領域を持つように扱うことができます。ページ内の語アドレス(FWORD)はアドレスポインタの下位側ビット(LSb)によって保持され、同時にアドレスポインタの上位側ビット(MSb)がフラッシュページアドレス(FPAGE)を保持します。FPAGEとFWORDはフラッシュメモリ内の語への絶対アドレスを保持します。

フラッシュメモリ読み込み操作については1度に1バイトが読まれます。このため、語アドレス内の上位バイトと下位バイトを選ぶのにアドレスポインタの最下位ビット(ビット0)を使ってください。このビットが'0'ならば下位バイトが読まれ、このビットが'1'ならば上位バイトが読まれます。

一旦プログラミング操作を始めると、アドレスはラッチされ、アドレスポインタは更新して他の作業に使うことができます。

### CPUデータ空間でのフラッシュメモリアドレス指定

データ空間でのフラッシュメモリ領域は32Kバイトだけを持ちます。32Kバイトよりも大きなフラッシュメモリ量を持つデバイスについては、フラッシュメモリが32Kバイトの塊に分割されます。これらの塊は制御B(NVMCTRL.CTRLB)レジスタのデータ空間に割り当てられるフラッシュメモリ領域(FLMAP)ビット領域を使ってデータ空間に割り当てられます。

CPUデータ空間でのフラッシュメモリへの読み書きアクセスに対しては、1度に1バイトをアクセスするのにLD/ST系命令を使ってください。

#### 11.3.2.1. 読み込み

フラッシュメモリ読み込みはメモリ割り当てに従ったアドレスを持つプログラムメモリ取得(LPM)系命令または取得型(LD\*)系命令を用いて行われます。EEPROMと識票列の読み込みはLD\*系命令を用いて行われます。書き込みまたは消去が進行中の間の読み込み操作実行は進行中の操作が完了するまで保留にされます。

#### 11.3.2.2. ページ緩衝部設定

ページ緩衝部はメモリ割り当てで定義されるように直接メモリに書くことによって設定されます。EEPROMが独立したページ緩衝部を持つ一方でフラッシュメモリと使用者列は同じページ緩衝部を共用し、故に同時に1つの領域だけをプログラミングすることができます。ページ緩衝部にデータを書く場所を選ぶのにアドレスの下位側ビットを使ってください。結果のデータはページ緩衝部の以前の内容と新規値間の2進AND操作になります。ページ緩衝部は以下の後で自動的に消去(全ビット設定(1))にされます。

- ・ デバイスリセット
- ・ 何れかのページ書き込みまたは消去の操作

- ・ ページ緩衝部解消指令
- ・ 何れかの休止形態からのデバイス起き上がり

**注:** ページ緩衝部でのどの操作も直前のNVMCTRL操作(指令)が完了されるまでCPUを停止します。

### 11.3.2.3. プログラミング (書き込み)

ページプログラミングについてはページ緩衝部を満たすのと、ページ緩衝部をフラッシュメモリ、使用者列、EEPROMに書く、2つに分かれた操作です。

ページ緩衝部内のデータでフラッシュメモリのページをプログラミングする前に、フラッシュメモリページのコンテンツは消去(\$FF読み戻し)されなければなりません。未消去フラッシュメモリページのプログラミングはその内容を不正にします。

フラッシュメモリのページコンテンツが正しくプログラミングされるのを確実に以下の2つの任意選択が利用可能です。

**任意選択1:** フラッシュメモリは消去と書き込みの両方を処理する1つの指令を使ってプログラミングされます。

1. 状態(NVMCTRL.STATUS)レジスタのフラッシュメモリ多忙(FLBUSY)フラグを読むことによってフラッシュメモリの準備が整っているのを確実にしてください。
2. ページ緩衝部を満たしてください。
3. フラッシュメモリページ消去/ページ書き込み(FLPERW)指令でページ緩衝部をフラッシュメモリに書き込んでください。

**任意選択2:** フラッシュメモリはページ消去とページ書き込み用の独立した指令を使ってプログラミングされます。

1. 状態(NVMCTRL.STATUS)レジスタのフラッシュメモリ多忙(FLBUSY)フラグを読むことによってフラッシュメモリの準備が整っているのを確実にしてください。
2. アドレスを設定するためにページ上の位置に書いてください。
3. フラッシュメモリページ消去(FLPER)指令を実行してください。
4. ページ緩衝部を満たしてください。
5. フラッシュメモリページ書き込み(FLPW)指令を実行してください。

NVM指令一式はフラッシュメモリとEEPROMの両方に対して単一の消去/書き込み(FLPERW/EEPERW)操作と分離したページ消去(FLPER/EEPER)指令とページ書き込み(FLPW/EEPW)指令の両方を支援します。これらの分離した指令は書く指令に対してより短いプログラミング時間を許し、消去操作は時間が重要でないプログラミング実行の間に行うことができます。

EEPROMプログラミングはフラッシュメモリプログラミングと似ていますが、ページ緩衝部で更新されたバイトだけがEEPROMで書かれるか、または消去されます。

表11-4. プログラミング粒度

メモリ領域	消去粒度	書き込み粒度
フラッシュメモリ配列	ページ	ページ
EEPROM配列	バイト	バイト
使用者列	ページ (注)	ページ (注)
ブート列	ページ (注)	ページ (注)

**注:** 使用者列とブート列のページは64バイトです。

### 11.3.2.4. 指令動作

メモリ配列の読み込みはLD/LPM系命令(注)を用いて処理されます。

EEPROM消去(EECHER)指令は制御A(NVMCTRL.CTRLA)レジスタに指令を書くことによって開始されます。他の書き込み/消去操作は単にNVMCTRL.CTRLAレジスタに指令を書くことによって許可され、ST/SPM系命令(注)を用いてメモリ配列に書くことが後続されなければなりません。

**注:** LPM/SPM系命令はEEPROMに使えません。

NVMCTRL.CTRLAレジスタに指令を書くには以下の手順の実行が必要です。

1. 状態(NVMCTRL.STATUS)レジスタの多忙(EEBUSYとFLBUSY)フラグを読むことによって直前のどの操作も完了されていることを確認してください。
2. NVM制御A(NVMCTRL.CTRLA)レジスタを解錠するために構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタに適切な鍵を書いてください。
3. 後続する4命令内で制御A(NVMCTRL.CTRLA)レジスタの指令(CMD)ビット領域に望む指令値を書いてください。

#### 11.3.2.4.1. ページ書き込み指令

ページ書き込み(FLPW/EEPW)指令はページ緩衝部のコンテンツをフラッシュメモリまたはEEPROMに書きます。

書き込みがフラッシュメモリへの場合、CPUは「11.3.1.1.1. 物理的な領域」で説明されたようにコードを実行します。

書き込みがEEPROMへの場合、CPUはその操作が進行中の間にコードを実行します。書き込みを実行する前にページ/バイトを消去してください。

使ったページ緩衝部はその操作の終了後、自動的に消去されます。

#### 11.3.2.4.2. ページ消去指令

ページ消去(FLPER/EEPER)指令は現在のページを消去します。ページ消去指令を実施するにはページ緩衝部に1バイトを書いてください。

フラッシュメモリ消去については、初めに望むページ内の1つのアドレスへの偽装書き込みが必要とされ、その後に指令実行が続きます。そしてフラッシュメモリのページ全体が消去されます。CPUはページ書き込み指令と同じ条件に基づいて停止または継続します。

EEPROMに対する指令実行時、ページ緩衝部に書かれたバイトだけが消去されます。特定のバイトを消去するには指令を実行する前にそれに対応するアドレスに書いてください。ページ全体を消去するには指令を書く前にページ緩衝部の全バイトを更新してください。CPUはその操作が進行中の間、コードの実行を続けます。

使ったページ緩衝部はその操作の終了後、自動的に消去されます。

#### 11.3.2.4.3. フラッシュ複数ページ消去動作

フラッシュ複数ページ消去(**FLMPERn**)動作は複数ページを消去するためのメモリ配列への各書き込みを許します。**FLMPERn**使用時、2、4、8、16、32ページの消去から選ぶことが可能です。

どの複数フラッシュページが消去されるかを定義している時に、ページアドレスの下位ビットが無視されます。例として**FLMPER4**を使うと、\$08～\$0B範囲内のどのページの消去も、範囲内の全てのページの消去を引き起こします。

表11-5. フラッシュ複数ページ消去

CMD	消去ページ数	説明
FLMPER2	2	FPAGE <sub>n</sub> ～1に合致するページが消去されます。FPAGE <sub>0</sub> の値は無視されます。
FLMPER4	4	FPAGE <sub>n</sub> ～2に合致するページが消去されます。FPAGE <sub>1</sub> ～0の値は無視されます。
FLMPER8	8	FPAGE <sub>n</sub> ～3に合致するページが消去されます。FPAGE <sub>2</sub> ～0の値は無視されます。
FLMPER16	16	FPAGE <sub>n</sub> ～4に合致するページが消去されます。FPAGE <sub>3</sub> ～0の値は無視されます。
FLMPER32	32	FPAGE <sub>n</sub> ～5に合致するページが消去されます。FPAGE <sub>4</sub> ～0の値は無視されます。

注: FPAGEはフラッシュメモリ消去を行う時のページ番号です。詳細については「11.3.2. メモリアクセス」を参照してください。

#### 11.3.2.4.4. ページ消去/書き込み操作

ページ消去/書き込み(**FLPERW/EEPERW**)指令はページ消去とページ書き込みの指令を組み合わせますが、ページ消去指令後のページ緩衝部解除なしです。消去/書き込み操作は初めに選んだページを消去し、その後と同じページにページ緩衝部の内容を書き込みます。

フラッシュメモリで実行されると、CPUはページ書き込み指令と同じ条件に基づいて停止または継続します。EEPROMで行われると、CPUはコードの実行を続けます。

使ったページ緩衝部はその操作の終了後、自動的に消去されます。

#### 11.3.2.4.5. ページ緩衝部消去指令

ページ緩衝部解除(**FLBCLR/EEBCLR**)指令は対応するページ緩衝部を消去します。ページ緩衝部の内容はこの操作後に全て'1'です。CPUはこの操作実行の間、(7 CPU周期)停止されます。

#### 11.3.2.4.6. EEPROM消去指令

EEPROM消去(**EECHER**)指令はEEPROMを消去します。全てのEEPROMは操作後に\$FFを読み戻します。CPUはEEPROM消去の間、停止されます。

### 11.3.3. フラッシュメモリ/EEPROM化け防止

CPUとフラッシュメモリ/EEPROMの正しい動作に対して供給電圧が低すぎる場合、フラッシュメモリとEEPROMの書き込みや消去はメモリ化けを起こし得ます。これらの問題はフラッシュメモリ/EEPROMを使う基板層の系と同じです。動作電圧が充分高いことを保証するために内部または外部の低電圧検出器(BOD:Brown-Out Detector)が推奨されます。

電圧が低すぎると、次のような2つの状況がフラッシュメモリ/EEPROM化けを引き起こすかもしれません。

1. フラッシュメモリへの通常の書き込み手順は正しく動くための最低電圧を必要とします。
2. 供給電圧が低すぎると、CPU自身が命令を間違えて実行し得ます。

チップ消去はヒューズを消しません。チップ消去指令を開始する前にBODがヒューズによって許可されている場合、チップ消去中、自動的にそれが以前に構成設定されていた基準で許可されます。

最大周波数対VDDについては「電気的特性」章を参照してください。

**注意:** 以下の対策を取ると、フラッシュメモリ/EEPROM化けを避けるかもしれません。

- 不十分な電力供給電圧の期間中、デバイスをリセットに保ってください。内部低電圧検出器(BOD)を許可することによってこれを行ってください。
- BOD基準近くでEEPROMへの書き込み開始を防ぐのにBODでの電圧水準監視部(VLM)を使うことができます。
- 内部BODの検出基準が必要とする検出基準と一致しない場合、外部VDDリセット保護回路を使うことができます。書き込み操作が進行中の間にリセットが起こる場合、その書き込み操作は中止されます。

### 11.3.4. 割り込み

表11-6. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
EEREADY	NVM	新規の書き込み/消去の操作に対してEEPROMが準備可
FLREADY		新規の書き込み/消去の操作に対してフラッシュメモリが準備可

割り込み条件が起こると、**割り込み要求フラグ(NVMCTRL.INTFLAGS)レジスタ**で**フラッシュメモリ準備可(FLREADY)**または**EEPROM準備可(EEREADY)**の割り込み要求フラグが設定(1)されます。

割り込み元は**割り込み許可(NVMCTRL.INTCTRL)レジスタ**で**フラッシュメモリ準備可割り込み許可(FLREADY)**または**EEPROM準備可割り込み許可(EEREADY)**のビットに書くことによって許可または禁止にされます。

割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細についてはNVMCTRL.INTFLAGSレジスタを参照してください。

### 11.3.5. 休止形態動作

進行中のNVM書き込み/消去操作が全くなければ、NVMCTRLはシステムが休止動作形態へ移行する時に休止動作形態へ移行します。

システムが休止動作形態へ移行する時に書き込み操作が進行中の場合、NVM部、NVM制御器、システムクロックは書き込みが終了されるまでONに留まり、これは**パワーダウン休止動作**を含む全ての休止動作形態に対して有効です。

EEPROM準備可とフラッシュメモリ準備可の割り込みは**アイドル休止動作**からだけデバイスを起き上がらせません。

### 11.3.6. 構成設定変更保護

この周辺機能は**構成設定変更保護(CCP)**下にあるレジスタを持ちます。これらへ書くには最初に**構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタ**へ与えられた鍵が書かれ、4 CPU命令以内に保護されたビットへの書き込みアクセスが後続しなければなりません。

適切なCCP解錠手順に従わずに保護されたレジスタへ書こうとすると、それを無変化のままにします。

右のレジスタがCCP下です。

表11-7. NVMCTRL – 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
NVMCTRL.CTRLA	SPM
NVMCTRL.CTRLB	IOREG
NVMCTRL.CTRLC	IOREG

11.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0					CMD6~0			
+\$01	CTRLB	7~0	FLMAPLOCK		FLMAP1,0		EEWP	APPDATAWP	BOOTRP	APPCODEWP
+\$02	CTRLC	7~0							BOOTROWWP	UROWWP
+\$03	予約									
+\$04	INTCTRL	7~0							FLREADY	EEREADY
+\$05	INTFLAGS	7~0							FLREADY	EEREADY
+\$06	STATUS	7~0		ERROR2~0					FLBUSY	EEBUSY
+\$07	予約									
+\$08	DATA	7~0	DATA7~0							
+\$09		15~8	DATA15~8							
+\$0A ~ +\$0B	予約									
+\$0C	ADDR	7~0	ADDR7~0							
+\$0D		15~8	ADDR15~8							
+\$0E		23~16	ADDR23~16							
+\$0F		31~24								

## 11.5. レジスタ説明

### 11.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
 変位 : +\$00  
 リセット : \$00  
 特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMD2~0							
アクセス種別	R	R/W						
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット6~0 – CMD6~0 : 指令 (Command)

指令を許可または発行するにはこのビット領域に書いてください。チップ消去とEEPROM消去の指令はこのビット領域にどちらかの指令を書く時に開始します。他の指令は消去または書き込みの操作を許可します。これらの操作は消去または書き込みをされているフラッシュメモリのアドレスに格納を行う時に開始します。

(状態(NVMCTRL.STATUS)レジスタの異常符号(ERROR)ビット領域での)指令衝突異常を防ぐため、1つの指令から次へ行く時に無指令(NOCMD)または無操作(NOOP)の指令を含むことが推奨されます。

自己プログラミング(SPM)用の構成設定変更保護鍵がこれらのビットを保護します。

値	名称	説明
000 0000 (\$00)	NOCMD	無指令
000 0001 (\$01)	NOOP	無操作
000 0100 (\$04)	FLPW	フラッシュメモリページ書き込み許可
000 0101 (\$05)	FLPERW	フラッシュメモリページ消去/ページ書き込み許可
000 1000 (\$08)	FLPER	フラッシュメモリページ消去許可
000 1001 (\$09)	FLMPER2	フラッシュメモリ2ページ消去許可
000 1010 (\$0A)	FLMPER4	フラッシュメモリ4ページ消去許可
000 1011 (\$0B)	FLMPER8	フラッシュメモリ8ページ消去許可
000 1100 (\$0C)	FLMPER16	フラッシュメモリ16ページ消去許可
000 1101 (\$0D)	FLMPER32	フラッシュメモリ32ページ消去許可
000 1111 (\$0F)	FLPBCLR	フラッシュメモリページ緩衝部解消許可
001 0100 (\$14)	EEPW	EEPROMページ書き込み許可
001 0101 (\$15)	EEPERW	EEPROMページ消去/ページ書き込み許可
001 0111 (\$17)	EEPER	EEPROMページ消去許可
001 1111 (\$1F)	EEPBCLR	EEPROMページ緩衝部解消許可
010 0000 (\$20)	CHER	フラッシュメモリとEEPROMを消去。 EEPROMはEESAVEヒューズが設定(1)の場合に飛ばされます(UPDIアクセスのみ)。
011 0000 (\$30)	EECHER	EEPROM消去
その他	-	(予約)

### 11.5.2. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB  
 変位 : +\$01  
 リセット : \$30  
 特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FLMAPLOCK	FLMAP1,0		EEWP	APPDATAWP	BOOTRP	APPCODEWP	
アクセス種別	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	1	1	0	0	0	0

#### ● ビット7 – FLMAPLOCK : フラッシュメモリ割り当て施錠 (Flash Mapping Lock)

このビットへの'1'設定はデータ空間に割り当ててるフラッシュメモリ領域(FLMAP1,0)の更なる更新を防ぎます。リセットだけがこのビットを解除(0)できます。

● **ビット5,4 – FLMAP1,0 : データ空間に割り当てるフラッシュメモリ領域 (Flash Section Mapped into Data Space)**

フラッシュメモリ(32Kバイトの塊で)どの部分がCPUデータ空間の一部として割り当てられてLD/ST系命令を通してアクセス可能かを選びます。32Kバイト以下のフラッシュメモリ量を持つデバイスではフラッシュメモリ全体がCPUデータ空間に割り当てられるため、このビット領域値変更の影響を受けません。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	SECTION0	SECTION1	SECTION2	SECTION3
割り当てられるフラッシュメモリ部分 (16KB)	0~16	0~16	0~16	0~16

注: AVR® EB系(フラッシュメモリ量 ≤ 32Kバイト)については、例えどの値がFLMAPビット領域に設定されても、フラッシュメモリ全体がデータ空間に割り当てられます。

● **ビット3 – EEPW : EEPROM書き込み保護 (EEPROM Write Protection)**

このビットへの'1'書き込みは更なる書き込みからEEPROMを守ります。このビットは'1'に書くことができます。リセットだけがこれを解除(0)します。

● **ビット2 – APPDATAWP : 応用データ領域書き込み保護 (Application Data Section Write Protection)**

このビットへの'1'書き込みは更なる書き込みから応用データ領域を守ります。このビットは'1'に書くことができます。リセットだけがこれを解除(0)します。

● **ビット1 – BOOTRP : ブート領域読み込み保護 (Boot Section Read Protection)**

このビットへの'1'書き込みは読み込みと命令取得からブート領域を守ります。応用領域から読み込みが発行された場合、'0'を返します。BOOT領域からの命令取得はNOP命令を返します。このビットはBOOT領域からだけ書くことができ、リセットだけがこれを解除(0)します。このビットはこのビットが(1)を書かれた後初めてBOOT領域を去る時にだけ有効です。

ブート列(BOOTROW)も応用領域からのアクセスに対して施錠されます。

● **ビット0 – APPCODEWP : 応用コード領域書き込み保護 (Application Code Section Write Protection)**

このビットへの'1'書き込みは更なる書き込みから応用コード領域を守ります。このビットは'1'に書くことができます。リセットだけがこれを解除(0)します。

**11.5.3. CTRLC – 制御C (Control C)**

名称 : CTRLC

変位 : +\$02

リセット : \$00

特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							BOOTROWWP	UROWWP
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1 – BOOTROWWP : ブート列書き込み保護 (Boot Row Write Protection)**

このビットへの'1'書き込みはブート列への更なる更新を防ぎます。リセットだけがこのビットを解除(0)できます。

● **ビット0 – UROWWP : 使用者列書き込み保護 (User Row Write Protection)**

このビットへの'1'書き込みは使用者列への更なる更新を防ぎます。リセットだけがこのビットを解除(0)できます。

**11.5.4. INTCTRL – 割り込み制御 (Interrupt Control)**

名称 : INTCTRL

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							FLREADY	EEREADY
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1 – FLREADY : フラッシュメモリ準備可割り込み許可 (Flash Ready Interrupt Enable)**

このビットへの'1'書き込みはフラッシュメモリが新しい書き込み/消去の操作の準備が整ったことを示す割り込みを許可します。

これは割り込み要求フラグ(INTFLAGS)レジスタのフラッシュメモリ準備可割り込み要求(FLREADY)フラグが'1'に設定されている時にだけ起動されるレベル割り込みです。従って、NVM指令が発行される前にFLREADYフラグが解除(0)されないため、この割り込みはNVM指令を起動する前に許可されてはなりません。この割り込みは割り込み処理部で禁止されなければなりません。

● ビット0 – EEREADY : EEPROM準備可割り込み許可 (EEPROM Ready Interrupt Enable)

このビットへの'1'書き込みはEEPROMが新しい書き込み/消去の操作の準備が整ったことを示す割り込みを許可します。

これは割り込み要求フラグ(INTFLAGS)レジスタのEEPROM準備可割り込み要求(EEREADY)フラグが'1'に設定されている時にだけ起動されるレベル割り込みです。従って、NVM指令が発行される前にEEREADYフラグが解除(0)されないため、この割り込みはNVM指令を起動する前に許可されてはなりません。この割り込みは割り込み処理部で禁止されなければなりません。

11.5.5. INTFLAGS – 割り込み要求フラグ (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							FLREADY	EEREADY
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1 – FLREADY : フラッシュメモリ準備可割り込み要求フラグ (Flash Ready Interrupt Flag)

このフラグはフラッシュメモリが多忙でない限り継続して設定(1)されます。このフラグはこれに'1'を書くことによって解除(0)されます。

● ビット0 – EEREADY : EEPROM準備可割り込み要求フラグ (EEPROM Ready Interrupt Flag)

このフラグはEEPROMが多忙でない限り継続して設定(1)されます。このフラグはこれに'1'を書くことによって解除(0)されます。

11.5.6. STATUS – 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
			ERROR2~0					FLBUSY	EEBUSY
アクセス種別	R	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R	
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット6~4 – ERROR2~0 : 異常符号 (Error Code)

このビット領域は最後に発生した異常を示します。この異常符号はこのビット領域に'0'を書くことによって解除することができます。

値	000	010	011	100	その他
名称	NONE	WRITEPROTECT	CMDCOLLISION	WRONGSECTION	-
説明	異常なし	書き込み保護された領域を書く試み	既に書き込み指令が選ばれている間に新しい書き込み指令を選択	使ったアドレスに対する書き込み指令が不正	(予約)

● ビット1 – FLBUSY : フラッシュメモリ多忙 (Flash Busy)

このビットはフラッシュメモリプログラミング操作が進行中の時に'1'を読みます。

● ビット0 – EEBUSY : EEPROM多忙 (EEPROM Busy)

このビットはEEPROMプログラミング操作が進行中の時に'1'を読みます。

### 11.5.7. DATA – データ (Data)

名称 : DATA (DATAH,DATAL)  
 変位 : +\$08  
 リセット : \$0000  
 特質 : -

NVNCTRL.DATAHとNVMCTRL.DATALのレジスタ対は16ビット値のNVMCTRL.DATAを表します。

下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセス可能です。

上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
DATA15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
DATA7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット15~0 – DATA15~0 : データ値 (Data Register)

データレジスタはフラッシュメモリ、EEPROM、またはNVMCTRLからの最後の読み込み値を含みます。EEPROMアクセスにはDATA7~0だけが使われます。

### 11.5.8. ADDR – アドレス (Address)

名称 : ADDR (ADDR2,ADDR1,ADDR0)  
 変位 : +\$0C  
 リセット : \$000000  
 特質 : -

NVNCTRL.ADDR0、NVMCTRL.ADDR1、NVMCTRL.ADDR2、NVMCTRL.ADDR3は32ビット値のNVMCTRL.ADDRを表します。

下位バイト[7~0](接尾辞0)は変位原点でアクセス可能です。

上位バイト[15~8](接尾辞1)は変位+1でアクセスすることができます。

拡張バイト[23~16](接尾辞2)は変位+2でアクセスすることができます。

バイト[31~24](接尾辞3)は変位+3でアクセスすることができますが、どんな値も決して含みません。

ビット	31	30	29	28	27	26	25	24
アクセス種別	-	-	-	-	-	-	-	-
リセット値	-	-	-	-	-	-	-	-
ビット	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR23~16								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット23~0 – ADDR23~0 : アドレス値 (Address)

アドレスレジスタは最後にアクセスされたメモリ位置のアドレスを含みます。メモリをアクセスするのに必要とされるビット数だけが使われます。

## 12. CLKCTRL – クロック制御器

### 12.1. 特徴

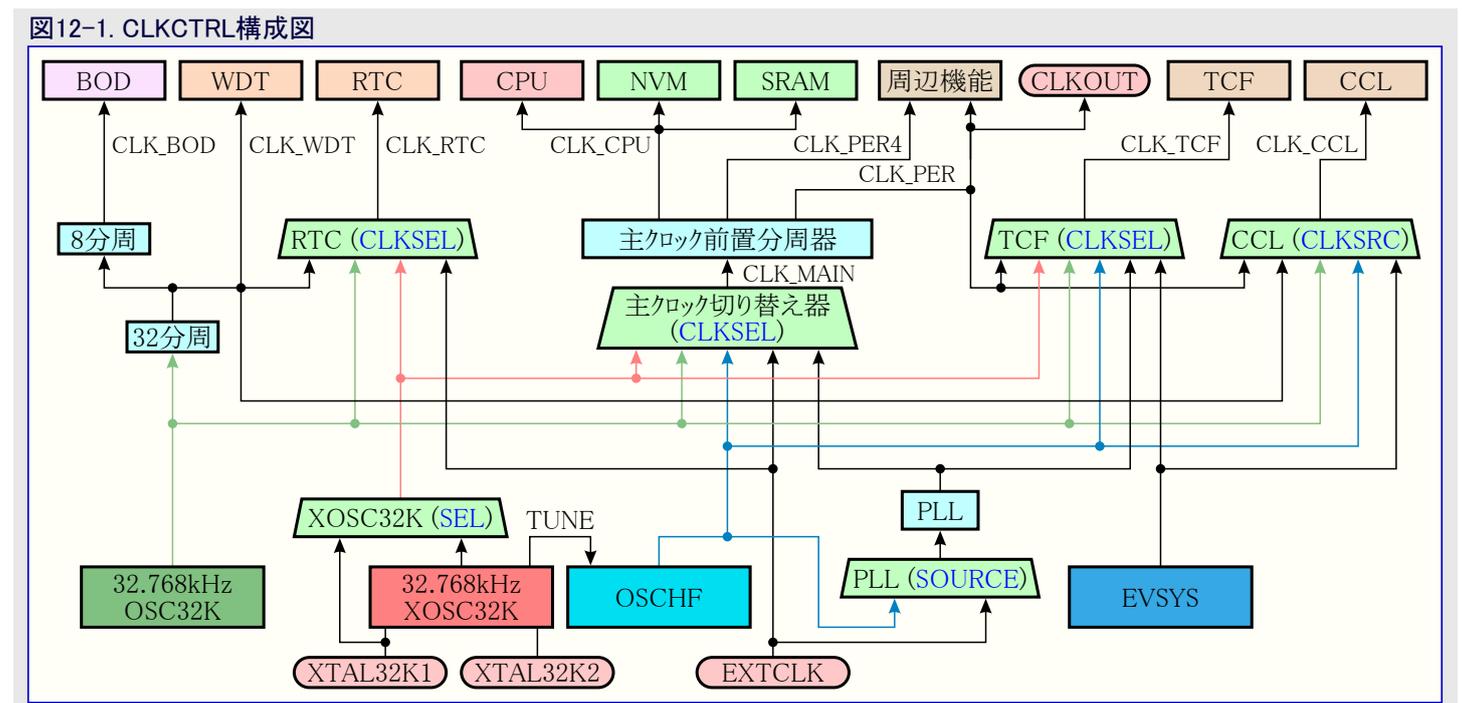
- ・ 周辺機能によって要求される時に自動的に許可される全てのクロックとクロック元
- ・ 内部発振器
  - 20MHzまでの内部高周波数発振器(OSCHF)
  - 32.768kHz超低電力発振器(OSC32K)
  - 80MHzまでのPLL: 8倍または16倍のクロック通倍
- ・ 内部発振器精度を改善するための自動調整
- ・ 外部クロック任意選択
  - 32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)
  - 外部クロック
- ・ 主なクロック機能
  - 安全な走行時切り替え
  - 1~(PBDIVとで)256の範囲の分周係数を持つ前置分周器

### 12.2. 概要

クロック制御器(CLKCTRL)は利用可能な発振器からのクロック信号を制御、分配、前置分周し、内部と外部のクロック元を支援します。CLKCTRLはデバイス上の全ての周辺機能に実装された自動クロック要求システムに基づきます。周辺機能は必要とされるクロックを自動的に要求します。多数のクロック元が利用可能な場合、その要求は正しいクロック元に配線されます。

主クロック(CLK\_MAIN)はCPU、SRAM、それとI/Oバスに接続される全ての周辺機能によって使われます。主クロック元を選んで前置分周することができます。いくつかの周辺機能は主クロックと同じクロック元を共用し、または主クロック領域と非同期に動きます。

#### 12.2.1. 構成図



クロックシステムは主クロックと主クロックから派生したクロック、更にいくつかの非同期クロックから成ります。

- ・ 主クロック(CLK\_MAIN)は常に活動動作とアイドル休止動作で動きます。必要とされる場合はスタンバイ休止動作でも動きます。
- ・ CLK\_MAINはクロック制御器によって前置分周されて分配されます。
  - CLK\_CPUはCPU、SRAM、不揮発性メモリ制御器(NVMCTRL)によって使われます。
  - CLK\_PERは非同期クロック下で一覽にされない全ての周辺機能によって使われ、CLKOUTピンに配線することもできます。
  - 全てのクロック元を主クロックとして使うことができます。
- ・ 主クロック領域に対して非同期に動くクロック
  - CLK\_RTCは実時間計数器(RTC)と周期的割り込み計数器(PIT)に使われ、RTC/PITが許可される時に要求されます。CLK\_RTC用のクロック元はこの周辺機能が禁止されている場合にだけ変更することができます。
  - CLK\_WDTはウォッチドッグ タイマ(WDT)によって使われます。WDTが許可される時に要求されます。
  - CLK\_BODは低電圧検出器(BOD)によって使われます。BODが採取動作で許可される時に要求されます。ヒューズが代替クロック元を制御します。

主クロック領域用のクロック元は主クロック制御A(CLKCTRL.MCLKCTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域に書くことによって構成設定されます。このレジスタは構成設定変更保護(CCP)を持ちます。CLKSELビット領域に書くのに先立って構成設定変更保護(CCP)レジスタに適切な鍵を書いてください。非同期クロック元は各々の周辺機能内のレジスタによって構成設定されます。

## 12.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
CLKOUT	デジタル出力	CLK_PER出力
EXTCLK	アナログ入力	外部クロック元(EXTCLK)用の入力
XTALHF2	アナログ出力	高周波数クリスタルの1つのピン用の出力
XTAL32K1	アナログ入力	外部クロック元(EXTCLK)または32.768kHzクリスタルの1つのピン用の入力
XTAL32K2	アナログ出力	32.768kHzクリスタルの1つのピン用の出力

より多くの詳細については「入出力多重化」項を参照してください。

## 12.3. 機能的な説明

### 12.3.1. 初期化

クロック元を主クロックとして初期化するには以下のこれらの手順に従ってください。

- 任意選択: 各々のクロック元のCTRLAレジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットに'1'を書くことによって常に動くことをクロックに強制してください。
- 対応するクロック元のCTRLAレジスタで必要とされるようにクロック元を構成設定し、当て嵌まるなら、許可ビットに'1'を書くことによってクロック元を許可してください。
- 任意選択: RUNSTDBYビットが'1'の場合、CLKCTRL.MCLKSTATUSで当該状態ビットをポーリングすることによってクロック元が安定するのを待ってください。
- 以下の補助手順は主クロック周波数が許された最大クロック周波数を決して超えないような順番で実行されることが必要です。
  - 必要とされるなら、主クロック制御B(CLKCTRL.MCLKCTRLB)レジスタで前置分周器分周値(PDIV)ビット領域に書いて前置分周器許可(PEN)ビットに'1'を書くことによってクロック元周波数を構成設定してください。
  - 主クロック制御A(CLKCTRL.MCLKCTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域で主クロックとして構成設定したクロック元を選んでください。
- 主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタの主クロック発振器変更(SOSC)ビットをポーリングすることによって主クロック変更を待ってください。
- 任意選択: クロック元のCTRLAレジスタのRUNSTDBYビットを解除(0)してください。

### 12.3.2. 主クロック選択と前置分周器

利用可能な全ての発振器と外部クロック(EXTCLK)は主クロック(CLK\_MAIN)用の主クロック元として使うことができます。主クロック元はソフトウェアから選択可能で、通常の動作の間に安全に変更することができます。

構成設定変更保護機構は安全でないクロック切り替えを防ぎます。より多くの詳細については「構成設定変更保護」項を参照してください。

外部クロック元選択時、選んだクロック元への切り替えはその外部クロックで十分な数の端(エッジ)が検出される場合だけに起こります。十分なクロック端数が検出されない場合、クロック元は無変化に留まり、リセットを実行することなく別のクロック元へ変更することは不可能です。

主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタの主クロック発振器変更(SOSC)フラグは進行中のクロック元切り替えを示します。外部クロック元の安定性はCLKCTRL.MCLKSTATUSの各々の状態(外部クロック状態(EXTS)と32.768kHzクリスタル用発振器状態(XOSC32KS))のビットによって示されます。

**注意** 外部クロック元がCLK\_MAIN供給元として使われている間に機能しなくなった場合、ウォッチドッグ タイマ(WDT)だけがシステムリセットを提供することができます。

CLK\_MAINはデバイスの周辺機能(CLK\_PER)によって使われるのに先立って前置分周器へ供給されます。前置分周器は1段だけを持ち、1~(PB DIVとで)256の係数でCLK\_MAINを分周します。

図12-2. 主クロックと前置分周器



(訳注) 原図が不正確なため、本図は本文記述に基づいて修正していますが、基本的に概念だけを示します。

### 12.3.3. リセット後の主クロック

どのリセット後も、主クロック(CLK\_MAIN)は分周係数6の前置分周器での20MHz発振器(OSCHF)によって提供されます。

実際のOSCNF周波数は発振器構成設定(FUSE.OSCCFG)ヒューズの内部高周波数発振器周波数(OSCHFRRQ)選択ビットによって決められます。リセット後に可能な周波数の詳細についてはFUSE.OSCCFGヒューズの記述を参照してください。

### 12.3.4. クロック元

全ての内部クロック元はそれらが周辺機能によって要求される時に自動的に許可されます。外部クリスタルに基づくクリスタル用発振器はこれらがクロック元として扱うことができるのに先立って許可されなければなりません。

- XOSC32K発振器は32.768kHzクリスタル用発振器制御A(CLKCTRL.XOSC32CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって許可されます。

リセット後、デバイスは内部の高周波数発振器または32.768kHz発振器から走行を始めます。

主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタの各々の状態ビットはクロック元が走行していて安定かを示します。

#### 12.3.4.1. 内部発振器

内部発振器は走行するのにどんな外部部品も必要としません。精度と電気的特性については「電気的特性」章を参照してください。

##### 12.3.4.1.1. 内部高周波数発振器 (OSCHF)

OSCHFは20MHzまでの出力周波数を支援します。これは主クロック(CLK\_MAIN)と実時間計数器(CLK\_RTC)用クロック元として使うことができます。OSCHFの出力周波数は手動または外部発振器に対する自動のどちらかで調整することができます。

調整範囲と発振器仕様については「電気的特性」章を参照してください。

##### 12.3.4.1.2. 32.768kHz発振器 (OSC32K)

32.768kHz発振器は超低電力(ULP)動作に最適化されています。外部クリスタル用発振器に比べて下げられた精度を犠牲にして消費電力が減らされています。

この発振器は実時間計数器(RTC)、ウォッチドッグ タイマ(WDT)、低電圧検出器(BOD)のために1.024kHzまたは32.768kHzのクロックを提供します。また、この発振器は主クロック(CLK\_MAIN)へ32.768kHzクロックを提供することができます。

この発振器の始動時間については「電気的特性」章を参照してください。

#### 12.3.4.2. 外部クロック元

これらの外部クロック元が利用可能です。

- XTAL32K1とXTAL32K2のピンは32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)を駆動するための専用に使われます。
- クリスタル用発振器の代わりに、XTAL32K1は外部クロック元を受け入れるように構成設定することができます。

##### 12.3.4.2.1. 32.768kHzクリスタル用発振器 (XOSC32K)

この発振器は以下の2つの入力任意選択を支援します。

- クリスタルはXTAL32K1とXTAL32K2のピンに接続されます。
- XTAL32K1に接続された32.768kHzで走行する外部クロック

XOSC32K制御A(CLKCTRL.XOSC32CTRLA)レジスタの供給元選択(SEL)ビットを書くことによって入力任意選択を構成設定してください。

XOSC32KはCLKCTRL.XOSC32CTRLAの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって許可されます。許可されると、XOSC32Kによって使われる汎用入出力(GPIO)ピンの構成設定はXTAL32K1とXTAL32K2のピンから無効にされます。発振器は要求された時に走行を開始するように許可されることが必要です。

与えられたクリスタル用発振器の始動時間はXOSC32CTRLAのクリスタル始動時間(CSUT)ビット領域への書き込みによって調節することができます。

XOSC32KがXTAL32K1で外部クロックを使うように構成設定されると、始動時間は2周期に固定されます。

### 12.3.5. 位相固定化閉路 (PLL)

PLLはPLL制御A(CLKCTRL.PLLCTRLA)レジスタの供給元(SOURCE)ビット領域によって定義されるクロック元周波数を増すことができます。PLLは8倍または16倍のクロック逡倍を提供し、クロック元の公称周波数が2.5~5.5MHzの間の時にだけ使うことができます。

PLLは活動動作とアイドルとスタンバイの休止動作で動くことができ、タイマ/カウンタE型(TCE)の入力クロックとして扱うことができます。

PLLを使って生成した最大周波数は80MHzまでです。

初期化:

1. 入力として使われるクロック元を許可してください(注)。
2. PLL制御A(CLKCTRL.PLLCTRLA)レジスタの供給元(SOURCE)ビット領域を望むクロック元に構成設定してください。
3. 選んだクロック元の公称周波数が2.5~5.5MHzの範囲でない場合、CLKCTRL.PLLCTRLAレジスタの供給元分周選択(SOURCEDIV)ビット領域を構成設定してください。

- PLL制御A(CLKCTRL.PLLCTRLA)レジスタの通倍係数(MULFAC)ビット領域に望む通倍係数を書くことによってPLLを許可してください。
- PLLが望んだ周波数で固定化されたことを示す主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタのPLL状態(PLLS)ビットが'1'になるのを待ってください。

利用可能な接続については「CLKCTRL – クロック制御器」章の「構成図」の図を参照してください。

**注:** 代わりに、CLKCTRL.PLLCTRLAレジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットを設定(1)し、PLLが安定になった(CLKCTRL.MCLKSTATUSのPLLSビットが'1'になった)後に入力クロック元を許可すると、PLLがONにされる期間に渡る制御を保証します。

### 12.3.6. 時間基準

時間基準は1μs以上のタイミング周期を生成するの使われ、ADC始動時間のような内部遅延のタイミングに使われます。これは時間基準(CLKCTRL.MCLKTIMEBASE)レジスタの時間基準(TIMEBASE)ビット領域を1μs以上になるCLK\_PER周期数に設定することによって行われます。この時間基準は最も近い整数に丸められなければなりません。

### 12.3.7. 手動調整と自動調整

OSCHFの出力周波数は手動または外部発振器に対する自動のどちらかで調節することができます。

#### 手動調整

OSCHFの出力周波数は内部高周波数発振器調節(OSCHFCTUNE)レジスタの使用者周波数調節(TUNE)ビット領域を書くことによって上下に調節することができます。内部高周波数発振器制御A(OSCHFCTRLA)レジスタの自動調整許可(AUTOTUNE)ビットは'0'に留まらなければなりません。

#### 外部クリアル発振器に対する自動調整

OSCHF出力周波数は外部クリアル用発振器に対して自動的に調節することによって安定化することができます。OSCHFCTRLAレジスタのAUTOTUNEビットで外部発振器(= '1')を選ぶことによって自動調整を許可してください。これはOSCHFCTUNEレジスタを施錠して手動調整を阻止します。OSCHFCTUNEレジスタはAUTOTUNEが禁止される時に最新のTUNE値で更新されます。

詳細については「電気的特性」章も参照してください。

図12-3. OSCHF自動調整構成図



### 12.3.8. 休止形態動作

クロック元が使用または要求されないと、それは止まります。各々の発振器の制御A(CLKCTRL.[発振器種別名]CTRLA)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットに'1'を書くことによって直接クロック元を要求することが可能です。これはパワーダウン休止動作を除き、その発振器を絶えず走行させます。更に、このビットが'1'を書かれると、クロック元が周辺機能によって要求される時に、発振器の始動時間が取り去られます。

主クロックは活動動作とアイドル休止動作で常に動きます。スタンバイ休止動作では、どれかの周辺機能がこれを要求する、または各々の発振器の制御A(CLKCTRL.[発振器種別名]CTRLA)レジスタのRUNSTDBYビットが'1'を書かれる場合にだけ主クロックが動きます。

パワーダウン休止動作では全ての不揮発性メモリ(NVM)操作が完了された後に主クロックが停止します。休止動作形態のより多くの詳細については「SLPCTRL – 休止制御器」章を参照してください。

### 12.3.9. 構成設定変更保護

この周辺機能は構成設定変更保護(CCP)下にあるレジスタを持ちます。これらへ書くには最初に構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタへ与えられた鍵が書かれ、4 CPU命令以内に保護されたビットへの書き込みアクセスが後続しなければなりません。

適切なCCP解錠手順に従わずに保護されたレジスタへ書こうとすると、それを無変化のままにします。

右のレジスタがCCP下です。

表12-1. CLKCTRL – 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
CLKCTRL.MCLKCTRLA	
CLKCTRL.MCLKCTRLB	
CLKCTRL.OSCHFCTRLA	IOREG
CLKCTRL.PLLCTRLA	
CLKCTRL.PLLCTRLB	
CLKCTRL.OSC32KCTRLA	
CLKCTRL.XOSC32KCTRLA	

## 12.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	MCLKCTRLA	7~0	CLKOUT				CLKSEL3~0			
+\$01	MCLKCTRLB	7~0			PBDIV	PDIV3~0				PEN
+\$02 ~ +\$04	予約									
+\$05	MCLKSTATUS	7~0			PLLS	EXTS	XOSC32KS	OSC32KS	OSCHFS	SOSC
+\$06	MCLKTIMEBASE	7~0				TIMEBASE4~0				
+\$07	予約									
+\$08	OSCHFCTRLA	7~0	RUNSTDBY							AUTOTUNE
+\$09	OSCHFTUNE	7~0	TUNE7~0							
+\$0A ~ +\$0F	予約									
+\$10	PLLCTRLA	7~0	RUNSTDBY	SOURCE1,0		SOURCEDIV1,0			MULFAC1,0	
+\$11	PLLCTRLB	7~0								CLKDIV
+\$12 ~ +\$17	予約									
+\$18	OSC32KCTRLA	7~0	RUNSTDBY							
+\$19 ~ +\$1B	予約									
+\$1C	XOSC32KCTRLA	7~0	RUNSTDBY		CSUT1,0			SEL	LPMODE	ENABLE

## 12.5. レジスタ説明

### 12.5.1. MCLKCTRLA – 主クロック制御A (Main Clock Control A)

名称 : MCLKCTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CLKOUT				CLKSEL3~0			
アクセス種別	R/W	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7 – CLKOUT : 主クロック出力 (Main Clock Out)

このビットは主クロックが動いている時に主クロックが主クロック出力(CLKOUT)ピンで利用可能かどうかを制御します。

値	0	1
説明	主クロックはCLKOUTピンで利用不能です。	主クロックはCLKOUTピンで利用可能です。

#### ● ビット3~0 – CLKSEL3~0 : クロック選択 (Clock Select)

このビット領域は主クロック(CLK\_MAIN)用の供給元を選びます。

値	0000	0001	0010	0011	0100	その他
名称	OSCHF	OSC32K	XOSC32K	EXTCLK	PLL	-
説明	内部高周波数発振器	32.768kHz内部発振器	XOSC32CTRLAのSELビットに応じて32.768kHz外部クロックまたは32.768kHz外部クリスタル用発振器	外部クロック	PLL発振器	(予約)

### 12.5.2. MCLKCTRLB – 主クロック制御B (Main Clock Control B)

名称 : MCLKCTRLB  
変位 : +\$01  
リセット : \$11  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
			PBDIV	PDIV3~0			PEN	
アクセス種別	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	1	0	0	0	1

#### ● ビット5 – PBDIV : 前分周器B分周 (Prescaler B Division)

このビットが'1'の場合、CLK\_PERとCLK\_CPUに対するクロック周波数はCLK\_PER4クロックに呼応して設定されます。前置分周器B分周(PBDIV)ビットと前置分周器許可(PEN)ビットが'1'の時はPDIVに対して2<sup>n</sup>に一致する前置分周設定だけが利用可能です。

値	0	1
名称	NONE	DIV4
説明	CLK_PERとCLK_CPUに対して分周なし	CLK_PERとCLK_CPUに対して4分周

#### ● ビット4~1 – PDIV3~0 : 前置分周器分周値 (Prescaler Division)

このビット領域は前置分周器許可(PEN)ビットが'1'の時に主クロック(CLK\_MAIN)前置分周器の分周比を制御します。

値	0000	0001	0010	0011	0100	0101	1000	1001	1010	1011	1100	その他
名称	DIV2	DIV4	DIV8	DIV16	DIV32	DIV64	DIV6	DIV10	DIV12	DIV24	DIV48	-
説明 (CLK_MAIN分周数)	2	4	8	16	32	64	6	10	12	24	48	(予約)
PBDIV=1時の分周数	2	4	8	16	32	64	2	4	8	16	32	(予約)

注: 入力周波数(CLK\_MAIN)の構成設定と前置分周器設定は許された最大周波数の周辺機能クロック(CLK\_PER)やCPUクロック(CLK\_CPU)を超えてはなりません。更なる情報については「電気的特性」章を参照してください。

● ビット0 – PEN : 前置分周器許可 (Prescaler Enable)

このビットは主クロック(CLK\_MAIN)前置分周器が許可されるかを制御します。

値	0	1
説明	CLK_MAIN前置分周器禁止	CLK_MAIN前置分周器許可、分周比は前置分周器分周値(PDIV)ビット領域によって制御されます。

注: 前置分周器B分周(PBDIV)ビットが設定(1)される場合、2<sup>n</sup>に一致する前置分周器設定だけが利用可能で、分周はPDIV3=0として変わります。

12.5.3. MCLKSTATUS – 主クロック状態 (Main Clock Status)

名称 : MCLKSTATUS

変位 : +\$05

リセット : \$00

特質 : -

主クロック発振器変更(SOSC)を除く全ての状態ビットは各々の供給元が主クロックとしてまたは周辺機能によって要求される場合にだけ利用可能です。発振器のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)され、その発振器が使用されない/要求されない場合、これらのビットは'0'です。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
			PLLS	EXTS	XOSC32KS	OSC32KS	OSCHFS	SOSC
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット5 – PLLS : PLL状態 (PLL Status)

値	0	1
説明	PLLは安定ではありません。	PLLは安定です。

● ビット4 – EXTS : 外部クロック状態 (External Clock Status)

値	0	1
説明	EXTCLKは安定ではありません。	EXTCLKは安定です。

● ビット3 – XOSC32KS : 32.768kHz外部クリスタル用発振器状態 (32.768kHz External Crystal Oscillator Status)

値	0	1
説明	XOSC32Kは安定ではありません。	XOSC32Kは安定です。

● ビット2 – OSC32KS : 内部32.768kHz超低電力発振器状態 (32.768kHz Ultra Low-Power Internal Oscillator Status)

値	0	1
説明	OSC32Kは安定ではありません。	OSC32Kは安定です。

● ビット1 – OSCHFS : 内部高周波数発振器状態 (Internal High-Frequency Oscillator Status)

値	0	1
説明	OSCHFは安定ではありません。	OSCHFは安定です。

● ビット0 – SOSC : 主クロック発振器変更 (Main Clock Oscillator Changing)

値	0	1
説明	CLK_MAIN用クロック元は切り替えを体験していません。	CLK_MAIN用クロック元は切り替えを体験し、新供給元が安定すると直ぐに変更します。

### 12.5.4. MCLKTIMEBASE – 時間基準 (Timebase)

名称 : MCLKTIMEBASE  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TIMEBASE4~0							
アクセス種別	R	R	R	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4~0 – TIMEBASE4~0 : 時間基準 (Timebase)

このビット領域は1μs以上になるCLK\_PER周期数を指定します。これはADC始動時間のような内部遅延のタイミングに使われます。この値は最も近い整数に丸められなければなりません。以下のコード断片はceil関数を使ってこれを行う方法を示します。

```
#include <math.h>
#define CLK_PER 3333333uL // 20MHz/6 = 3.333333MHz
#define TIMEBASE_VALUE ((uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001))
```

### 12.5.5. OSCHFCTRLA – 内部高周波数発振器制御A (Internal High-Frequency Oscillator Control A)

名称 : OSCHFCTRLA  
変位 : +\$08  
リセット : \$0C  
特質 : 構成設定変更保護

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

#### ● ビット7 – RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)

このビットは内部高周波数発振器(OSCHF)が常に動くかどうかを制御します。

値	0	1
説明	OSCHF発振器は周辺機能または主クロックによって要求される時にだけ動きます。(注1)	OSCHF発振器は常に活動動作及びアイドルとスタンバイの休止動作で動きます。(注2)

注1: 要求する周辺機能や主クロックは発振器始動時間を考慮しなければなりません。

注2: 発振器信号は要求された場合にだけ利用可能で、2 OSCHF周期後に利用可能です。

#### ● ビット0 – AUTOTUNE : 自動調整許可 (Auto-Tune Enable)

このビットは内部高周波数発振器(OSCHF)の32.768kHzクリスタルでの自動調整機能が許可されるかどうかを制御します。

値	0	1
名称	OFF	XOSC32K
説明	OSCHF発振器の自動調整機能が禁止されます。	OSCHF発振器の自動調整機能が許可されます。

### 12.5.6. OSCHFTUNE – 内部高周波数発振器調節 (Internal High-Frequency Oscillator Tune)

名称 : OSCHFTUNE  
変位 : +\$09  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TUNE7~0							
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 – TUNE7~0 : 使用者周波数調節 (User Frequency Tuning)

このビット領域は内部高周波数発振器(OSCHF)の出力周波数の手動調節を制御します。周波数は発振器の目標周波数から32段階下または31段階上へ調節することができます。従って、レジスタの受け入れ可能な入力値範囲は-32~+31です。

このビット領域の6ビット値が符号付き(2の補数)形式で表され、ビット5がビット6と7に反映されるため、ビット6と7への書き込みは無効です。

**注:** 内部高周波数発振器制御A(OSCHFCTRLA)レジスタの自動調整許可(AUTOTUNE)ビットが許可される場合、TUNE値は施錠されます。AUTOTUNEが禁止されると、自動調整動作からの最新調整値がこのビット領域を更新するまでに最大0.75 $\mu$ sと3主クロック周期かかります。

12.5.7. PLLCTRLA – PLL制御A (PLL Control A)

名称 : PLLCTRLA

変位 : +\$10

リセット : \$00

特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY	SOURCE1,0		SOURCEDIV1,0			MULFAC1,0	
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	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7 – RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)

このビットは位相固定化閉路(PLL)が常に動くか否かを制御します。

値	0	1
説明	PLLは周辺機能によって要求される時にだけ動きます。(注1)	PLLは常に活動動作及びアイドルとスタンバイの休止動作で動きます。(注2)

**注1:** 要求する周辺機能はPLL始動時間とPLL供給元始動時間を考慮しなければなりません。

**注2:** 発振器信号は要求された場合にだけ利用可能で、PLL供給元始動時間が既に終わった場合、2 PLL周期後に利用可能です。

● ビット6,5 – SOURCE1,0 : PLL用供給元選択 (Select Source for PLL)

このビット領域は位相固定化閉路(PLL)クロック元を制御します。

値	00	01	10	11
名称	OSCHF	EXTCLK	-	-
説明	PLL供給元として内部高周波数発振器	PLL供給元として外部クロック	(予約)	(予約)

● ビット4,3 – SOURCEDIV1,0 : PLL用供給元分周選択 (Select Source Division for PLL)

このビット領域は供給元選択(SELHF)ビットが'0'の時に外部高周波数発振器(XOSCHF)の始動時間を制御します。

値	00	01	10	11
名称	NONE	DIV2	DIV4	DIV6
説明	分周なし、公称供給元 周波数: 2.5~5.5MHz	2分周、公称供給元 周波数: 5~11MHz	4分周、公称供給元 周波数: 10~22MHz	6分周、公称供給元 周波数: 15~33MHz

● ビット1,0 – MULFAC1,0 : 逡倍係数 (Multiplication Factor)

このビット領域は位相固定化閉路用逡倍係数を制御します。

値	00	01	10	11
名称	DISABLE	-	8X	16X
説明	PLL禁止	(予約)	8逡倍	16逡倍

### 12.5.8. PLLCTRLB – PLL制御B (PLL Control B)

名称 : PLLCTRLB  
変位 : +\$11  
リセット : \$00  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								CLKDIV
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 – CLKDIV : PLL出力クロック分周器 (PLL Output Clock Divider)**

このビットは非同期の周辺機能によって使われるクロック用のPLL出力クロック分周を制御します。

値	0	1
名称	NONE	DIV2
説明	分周なしPLLクロックを使用	PLLクロックを2分周

**注:** DIV2使用はPLLからのドデューティ サイクル誤差も取り去ります。このビットはPLLが動いている間に変更することができます。

### 12.5.9. OSC32KCTRLA – 内部32.768kHz発振器制御A (Internal 32.768kHz Oscillator Control A)

名称 : OSC32KCTRLA  
変位 : +\$18  
リセット : \$00  
特質 : 構成設定変更保護

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

● **ビット1 – RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)**

このビットは内部32.768kHz発振器(OSC32K)が常に動くかどうかを制御します。

値	0	1
説明	OSC32K発振器は周辺機能または主クロックによって要求される時にだけ動きます。(注1)	OSC32K発振器は常に活動動作及びアイドル、スタンバイ、パワーダウンの休止動作で動きます。(注2)

**注1:** 要求する周辺機能や主クロックは発振器始動時間を考慮しなければなりません。

**注2:** 発振器信号は要求された場合にだけ利用可能で、4 OSC32K周期後に利用可能です。

### 12.5.10. XOSC32KCTRLA – 外部32.768kHzクリスタル用発振器制御A (External 32.768kHz Crystal Oscillator Control A)

名称 : XOSC32KCTRLA  
変位 : +\$1C  
リセット : \$00  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY	CSUT1,0		SEL		LPMODE	ENABLE	
アクセス種別	R/W	R	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7 – RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)**

このビットは許可(ENABLE)ビットが'1'の時に32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)がどの動作で常に動くかどうかを制御します。

値	0	1
説明	XOSC32K発振器は活動動作とアイドル休止動作で周辺機能または主クロックによって要求される時にだけ動きます。(注1)	XOSC32K発振器は常に活動動作及びアイドル、スタンバイ、パワーダウンの休止動作で動きます。(注2)

**注1:** 要求する周辺機能や主クロックは発振器始動時間を考慮しなければなりません。

**注2:** 発振器信号は要求された場合にだけ利用可能で、初期クリスタル始動時間が既に終わった場合、最大3 XOSC32K周期後に利用可能です。

● ビット5,4 – CSUT1,0 : クリスタル始動時間 (Crystal Start-Up Time)

このビット領域は供給元選択(SEL)ビットが'0'の時に32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)始動時間を制御します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	1K	16K	32K	64K
説明	1K周期	16K周期	32K周期	64K周期

**注:** このビット領域は許可(ENABLE)ビットまたは主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタのXOSC32K状態(XOSC32KS)ビットが'1'の時に読み込み専用です。

● ビット2 – SEL : 供給元選択 (Source Select)

このビットは32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)の供給元を制御します。

値	0	1
説明	XTAL32K1とXTAL32K2のピンに接続した外部クリスタル	XTAL32K1ピンでの外部クロック

**注:** このビットは許可(ENABLE)ビットまたは主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタのXOSC32K状態(XOSC32KS)ビットが'1'の時に読み込み専用です。

● ビット1 – LPMODE : 低電力動作 (Low-Power Mode)

このビットは32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)が低電力動作かどうかを制御します。

**注:** 低電力動作許可はクリスタルの始動時間を増し得ます。直列抵抗と全体容量を減らすためにクリスタル実装を変えるか、または低電力動作を禁止することによってこれを軽減してください。

値	0	1
説明	低電力動作禁止	低電力動作許可

● ビット0 – ENABLE : 許可 (Enable)

このビットは32.768kHzクリスタル用発振器(XOSC32K)が許可されるかどうかを制御します。

値	0	1
説明	XOSC32K発振器禁止	XOSC32K発振器許可、各々の発振器ピンに対する通常のピン操作を無効にします。

## 13. SLPCTRL – 休止制御器

### 13.1. 特徴

- 消費電力と機能を調節するための電力管理
- 3つの休止動作形態
  - アイドル
  - スタンバイ
  - パワーダウン
- 周辺機能をONまたはOFFとして構成設定できる、構成設定可能なスタンバイ動作形態

### 13.2. 概要

休止動作は節電のためにデバイス内の周辺機能とクロック領域を停止するのに使われます。休止制御器(SLPCTRL)は活動動作と休止動作間の移行を制御して処理します。

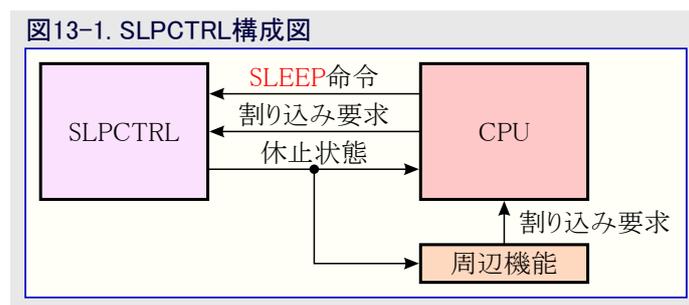
ソフトウェアが実行される1つの活動動作と3つの休止動作で利用可能な4つの動作形態があります。利用可能な休止動作形態はアイドル、スタンバイ、パワーダウンです。

全ての動作形態が利用可能で活動動作から移行することができます。活動動作ではCPUが応用コードを実行しています。デバイスが休止動作形態へ移行すると、プログラム実行が停止されます。応用コードは移行する休止動作形態と時を決めます。

休止からデバイスを起こすのに割り込みが使われます。利用可能な割り込み起動元は構成設定された休止動作形態に依存します。割り込みが起こると、デバイスが起き上がり、**SLEEP**命令の後の最初の命令から通常のプログラム実行を続けるのに先立って、割り込み処理ルーチンを実行します。どのリセットもデバイスを休止動作形態の外へ連れ出します。

レジスタファイル、SRAM、レジスタの内容は休止の間、保持されます。休止中にリセットが起きた場合、デバイスはリセットして開始し、リセットベクタから実行します。

#### 13.2.1. 構成図



### 13.3. 機能的な説明

#### 13.3.1. 初期化

デバイスを休止動作形態に置くには以下のこれらの手順に従ってください。

- 休止からデバイスを起こすことができる割り込みを構成設定して許可してください。全体割り込みも許可してください。



警告 休止へ行く時に許可された割り込みが全くない場合、デバイスは再び起き上がることができません。リセットだけがデバイスに動作の継続を許します。

- 制御A(SLPCTRL.CTRLA)レジスタの休止動作形態(SMODE)ビット領域と休止許可(SEN)ビットを書くことにより、移行する休止動作を選んで休止制御器を許可してください。

デバイスを休止にするには**SLEEP**命令が実行されなければなりません。

### 13.3.2. 動作

#### 13.3.2.1. 休止動作

消費電力を減らすために3つの異なる休止動作形態を許可することができます。

- アイドル** CPUはコード実行を停止し、消費電力減少になります。  
全ての周辺機能が動いて全ての割り込み元はデバイスを起こすことができます。
- スタンバイ** スタンバイ休止動作で走行が許可されているどの周辺機能やクロックも除いて全ての高周波数クロックが停止されます。これは対応するスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットに'1'を書くことによって許可されます。消費電力は許可される機能に依存します。  
一部の割り込み元がデバイスを起こすことができます(注)。
- パワーダウン** 全ての高周波数クロックが停止され、アイドル休止動作よりも低い消費電力になります。  
一部の周辺機能が動いていて、一部の割り込み元がデバイスを起こすことができます(注)。



**重要:** 予測不能な動きを避けるため、高温低漏れ許可が有効にされる時にTWIアドレス一致とCCLの起き上がり元は禁止されなければなりません。

注: 更なる情報については以下の休止動作活動表を参照してください。

起き上がり時間が各種休止動作によってどう影響を及ぼされるかについては「[起き上がり時間](#)」項を参照してください。

表13-1. 周辺機能に対する休止動作活動概要

周辺機能	クロック	休止動作で活動		
		アイドル	スタンバイ	パワーダウン
CPU	CLK_CPU	×	×	×
RTC	CLK_RTC	○	○ (注1,2)	○ (注2)
WDT	CLK_WDT	○	○	○
BOD	CLK_BOD (注3)	○	○	○
CCL、TCF	(注4)	○	○ (注1)	×
ADC、TCBn、TCE	CLK_PER	○	○ (注1)	×
他の全ての周辺機能		○	×	×

注1: 活動状態に入るには対応する周辺機能のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)されなければなりません。

注2: スタンバイ休止動作で活動状態に入るにはRTC機能だけ、RUNSTDBYビットの設定(1)が必要とされます。パワーダウン休止動作ではPIT機能だけが利用可能です。

注3: 採取動作のみ。

注4: クロック領域はCCL用に選ばれたクロック元に依存します。

表13-2. クロック元に対する休止動作活動概要

クロック元	休止動作で活動		
	アイドル	スタンバイ	パワーダウン
主クロック元	○	○ (注1)	×
RTCクロック元	○	○ (注1,2)	○ (注2)
WDT発振器、BOD発振器(注3)	○	○	○
CCLクロック元、TCFクロック元	○	○ (注1)	×

注1: 活動状態に入るには対応する周辺機能のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)されなければなりません。

注2: スタンバイ休止動作で活動状態に入るにはRTC機能だけ、RUNSTDBYビットの設定(1)が必要とされます。パワーダウン休止動作ではPIT機能だけが利用可能です。

注3: BOD発振器はBOD採取動作時のみ

表13-3. 休止動作起こし元

起こし元	休止動作で活動		
	アイドル	スタンバイ	パワーダウン
PORTピン割り込み	○	○	○ (注1)
TWIアドレス一致割り込み、BOD VLM割り込み	○	○	○
CCL割り込み	○	○ (注2)	○ (注3)
RTC割り込み	○	○ (注2,4)	○ (注4)
TCBn割り込み、TCE割り込み、TCF割り込み、ADCn割り込み、ACn割り込み	○	○ (注2)	×
USARTフレーム開始割り込み	×	○	×
他の全ての割り込み	○	×	×

注1: 入出力ピンは「PORT」章の「非同期感知ピン特性」に従って構成設定されなければなりません。

注2: 活動状態に入るには対応する周辺機能のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)されなければなりません。

注3: CCLはLUTnを通す経路が非同期(LUTn制御A(LUTnCTRLA)レジスタで濾波器選択(FILTSEL)='00'且つ端検出(EDGEDET)='0')の場合にだけデバイスを起き上がらせることができます。

注4: スタンバイ休止動作で活動状態に入るにはRTC機能だけ、RUNSTDBYビットの設定(1)が必要とされます。パワーダウン休止動作ではPIT機能だけが利用可能です。

### 13.3.2.2. 起き上がり時間

デバイスに対する標準起き上がり時間は6主クロック周期(CLK\_PER)と加えて主クロック元が開始するのにかかる時間、それと調整器がOFFに切り替えられていた場合、調整器が開始するのにかかる時間です。

- ・ アイドル休止動作では追加の起き上がり時間をなくすために主クロック元が走行を維持します。
- ・ スタンバイ休止動作では周辺機能の構成設定に依存して主クロックが走行するかもしれません。
- ・ パワーダウン休止動作では内部32.768kHz発振器と実時間計数器(RTC)クロック元だけが動くかもしれません。これらは低電圧検出器(BOD)、ウォッチドッグ タイマ(WDT)、周期的割り込み計時器(PIT)によって使われます。他の全てのクロック元はOFFです。

各種クロック元に対する始動時間は「CLKCTRL - クロック制御器」章で記述されます。

標準起き上がり時間に加えて、コードを実行するのに先立ってBODが準備を整えるまでデバイスを待たせることが可能です。これはBOD構成設定(FUSE.BODCFG)ヒューズの活動とアイドルでのBOD動作形態(ACTIVE)ビット領域に'11'を書くことによって行われます。標準起き上がり時間の前にBODが準備を整える場合、総起き上がり時間は同じです。BODが標準起き上がり時間よりも長くかかる場合、起き上がり時間はBODが準備を整えるまで延長されます。これは何時コードが実行されようと正しい供給電圧を保証します。

表13-4. 休止動作と始動時間

休止動作	始動時間
アイドル	6クロック周期
スタンバイ	6クロック周期 + OSC始動時間
パワーダウン	6クロック周期 + OSC始動時間

### 13.3.3. デバッグ操作

走行時のデバッグ間、この周辺機能は標準動作を続けます。SLPCTRLはデバッグ操作の中断によってのみ影響を及ぼされます。中断が起きた時にSLPCTRLが休止動作形態の場合、例えば保留割り込み要求が全くなくても、デバイスは起き上がってSLPCTRLは活動動作になります。

周辺機能が割り込みまたは同様のものを通してCPUによる定期的な助けを必要とするように構成設定された場合、停止したデバッグの間に不適切な動作やデータ損失の可能性があります。

## 13.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0						SMODE1,0		SEN

## 13.5. レジスタ説明

### 13.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA

変位 : +\$00

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						SMODE1,0		SEN
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット2,1 – SMODE1,0 : 休止動作形態 (Sleep Mode)

これらのビット書き込みは休止許可(SEN)ビットが'1'を書かれ、SLEEP命令が実行される時にどの休止動作形態へ移行するかを選びます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1
名称	IDLE	STANDBY	PDOWN	-
説明	アイドル休止動作許可	スタンバイ休止動作許可	パワーダウン休止動作許可	(予約)

#### ● ビット0 – SEN : 休止許可 (Sleep Enable)

選んだ休止動作にMCUを移行させるためにSLEEP命令が実行される前に、このビットは'1'を書かれなければなりません。

## 14. RSTCTRL – リセット制御器

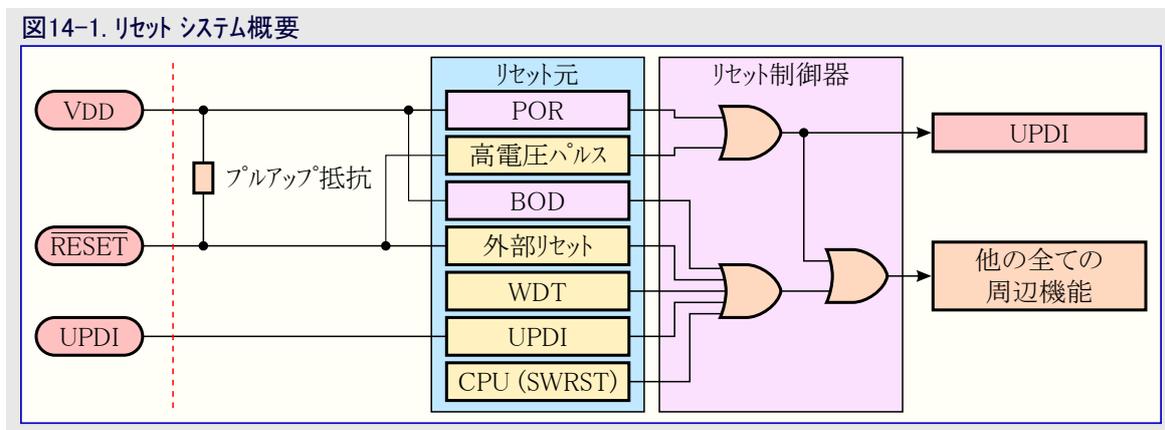
### 14.1. 特徴

- デバイスをリセット後の初期状態に復帰
- 直前のリセット元を識別
- 電源リセット元:
  - 電源ONリセット(POR)
  - 低電圧検出器(BOD) リセット
- 使用者リセット元
  - 外部リセット(RESET)
  - ウォッチドッグ タイマ(WDT) リセット
  - ソフトウェア リセット(SWRST)
  - 統一プログラム/デバッグ インターフェース(UPDI) リセット

### 14.2. 概要

リセット制御器(RSTCTRL)はデバイスのリセットを管理します。デバイスリセットの発行は、デバイスを初期状態に設定し、そしてソフトウェアにリセット元識別を許します。

#### 14.2.1. 構成図



#### 14.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
RESET	デジタル入力	外部リセット (Low活性)
UPDI	デジタル入出力	統一プログラム/デバッグ インターフェース

### 14.3. 機能的な説明

#### 14.3.1. 初期化

RSTCTRLは常に許可されますが、リセット元のいくつかはそれらがリセットを要求し得る前に(ヒューズまたはソフトウェアのどちらかによって)許可されなければなりません。

ヒューズまたは識票列から自動的に設定されるデバイスのレジスタが更新されます。どの供給元からのリセット後も、プログラム カウンタは\$0000に設定されます。

#### 14.3.2. 動作

##### 14.3.2.1. リセット元

どれかのリセット後、リセットを起こした供給元はリセット フラグ(RSTCTRL.RSTFR)レジスタで見つかります。ソフトウェア応用でこのレジスタを読むことによって直前のリセット元を識別することができます。

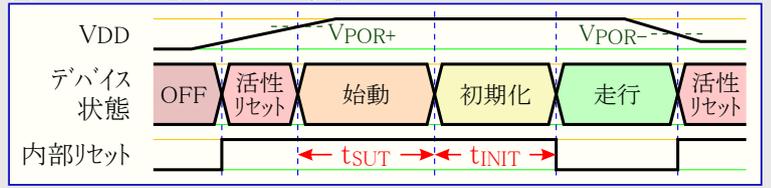
供給元に基づいて次のように2つのリセット形式があります。

- 電源リセット元:
  - 電源ONリセット (POR)
  - 低電圧検出器 (BOD) リセット
- 使用者リセット元:
  - 外部リセット (RESET)
  - ウォッチドッグ タイマ (WDT) リセット
  - ソフトウェア リセット (SWRST)
  - 統一プログラム/デバッグ インターフェース (UPDI) リセット

### 14.3.2.1.1. 電源ONリセット (POR)

電源ONリセット(POR)は論理回路とメモリの安全な始動を保証することが狙いです。チップ上の検出回路が常に許可され、これを生成します。PORはVDDが上昇する時に活性にされ、VDDが**POR閾値電圧(VPOR+)**未満である限り活性リセットを与えます。このリセットは始動してリセット初期化手順が終了されるまで持続されます。ヒューズが**始動時間(SUT)**を決めます。VDDが検出基準(VPOR-)未満に落ちる時にリセットは遅延もなしに再び活性にされます。

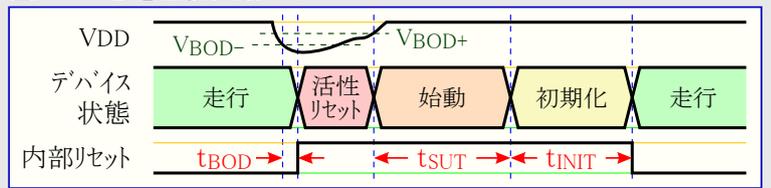
図14-2. MCU始動 (VDDに接続されたRESET)



### 14.3.2.1.2. 低電圧検出器 (BOD) リセット

チップ上の**低電圧検出器(BOD)**回路は一定の起動基準と比べることによって動作中にVDD水準を監視します。BODの起動基準は**ヒューズ**によって選ぶことができます。応用でBODが使われない場合、内部リセットとチップ消去の間で安全な動作を保証するため、最小基準を強制されます。

図14-3. 低電圧検出器リセット

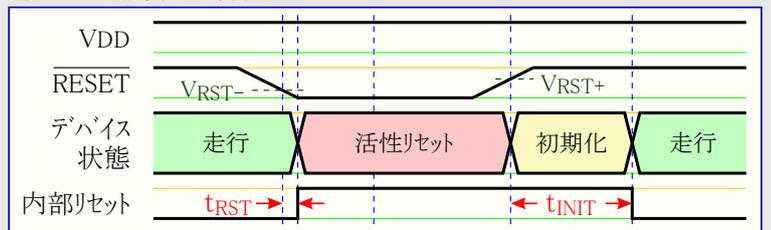


### 14.3.2.1.3. 外部リセット (RESET)

外部リセットはヒューズによって許可されます。**構成設定0(FUSE.SYSCFG0)ヒューズのリセットピン構成設定(RSTPINCFG)ビット領域**をご覧ください。また、外部リセットが許可されると、リセットピンの内部プルアップ抵抗が許可されます。

許可されると、外部リセットはRESETピンがLowである限り、リセットを要求します。デバイスはRESETが再びHighになるまでリセットに留まります。

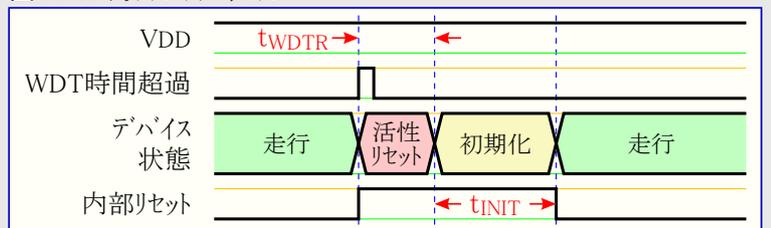
図14-4. 外部リセット特性



### 14.3.2.1.4. ウォッチドッグ タイマ (WDT) リセット

ウォッチドッグ タイマ(WDT)はプログラムの動作を監視するシステム機能です。ソフトウェアが設定された制限時間期間に従ってWDTを処理しなければ、ウォッチドッグ リセットが発行されます。「**WDT - ウォッチドッグ タイマ**」章でより多くの詳細を見つけください。

図14-5. ウォッチドッグ リセット



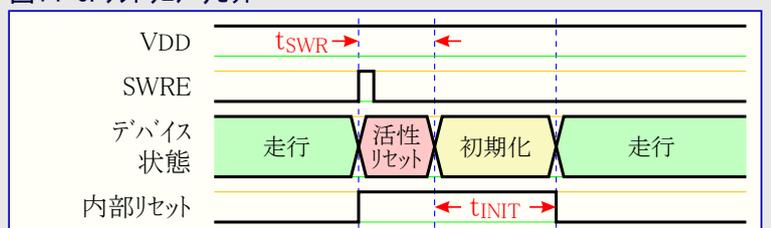
注: tWDTR時間は概ね150nsです。

### 14.3.2.1.5. ソフトウェア リセット

ソフトウェア リセットはソフトウェアからシステム リセットを発行することを可能にします。**ソフトウェア リセットレジスタ(RSTCTRL.SWRR)のソフトウェア リセット許可(SWRE)ビットへの'1'書き込み**がリセットを生成します。

リセット手順はビットが書かれた直後に始まります。

図14-6. ソフトウェア リセット



注: tSWR時間は概ね150nsです。

### 14.3.2.1.6. 統一プログラム/デバッグ インターフェース (UPDI) リセット

統一プログラム/デバッグ インターフェース(UPDI)は外部的なプログラミングとデバッグを行う間にデバイスをリセットするのに使われる独立したリセット元を含みます。このリセット元は外部のデバッグと書き込み器からだけアクセス可能です。より多くの詳細は「**UPDI - 統一プログラム/デバッグ インターフェース**」章で見つけることができます。

#### 14.3.2.1.7. 高電圧 (HV) リセット

高電圧がRESETピンに印加されるかまたは取り去られる場合にデバイスリセットが発行されます。UPDIを許可するのにHVパルスが使われると、それはデバイスリセットを引き起こします。HVパルスのより多くの情報については「UPDI – プログラム/デバッグ インターフェース」章を参照してください。

#### 14.3.2.1.8. リセットによって影響を及ぼされる領域

以下の論理回路領域は様々なリセットによって影響を及ぼされます。

表14-1. 様々なリセットによって影響を及ぼされる論理回路領域

リセット形式	POR	BOD	ソフトウェア リセット	外部リセット	WDTリセット	UPDIリセット	高電圧(HV)パルス (注)
ヒューズ再設定	○	○	○	○	○	○	○
UPDIのリセット	○	×	×	×	×	×	○
他の揮発性論理回路のリセット	○	○	○	○	○	○	○

注: HVパルスはリセットを発生することができますが、リセット元として意図的に使われるべきではありません。

#### 14.3.2.2. リセット時間

リセット時間は2つの部分に分けることができます。

最初の部分はリセット元のどれかが活性の時です。この部分はリセット元の入力に依存します。外部リセットはRESETピンがLowの時に活性です。電源ONリセット(POR)と低電圧リセット(BOD)は供給電圧がリセット元閾値未満の時に活性です。

2つ目の部分は全てのリセット元が解放される時で、デバイスの内部リセット初期化が行われます。電源リセット元がリセットを引き起こした場合、この時間はシステム構成設定1(FUSE.SYSCFG1)ヒューズの始動時間(SUT)ビット領域設定によって与えられる始動時間で増されます。内部リセット初期化時間は巡回冗長検査メモリ走査(CRCSCAN)が始動で動くように構成設定される場合にも増やされます。この構成設定はシステム構成設定0(FUSE.SYSCFG0)ヒューズのCRC元(CRCSRC)ビット領域で変更することができます。

#### 14.3.3. 休止形態動作

RSTCTRLは活動動作と全ての休止動作で動作します。

#### 14.3.4. 構成設定変更保護

この周辺機能は構成設定変更保護(CCP)下にあるレジスタを持ちます。これらへ書くには最初に構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタへ与えられた鍵が書かれ、4 CPU命令以内に保護されたビットへの書き込みアクセスが後続しなければなりません。

適切なCCP解錠手順に従わずに保護されたレジスタへ書こうとすると、それを無変化のままにします。

右のレジスタがCCP下です。

表14-2. RSTCTRL – 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
RSTCTRL.SWRR	IOREG

## 14.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	RSTFR	7~0			UPDIRF	SWRF	WDRF	EXTRF	BORF	PORF
+\$01	SWRR	7~0								SWRE

## 14.5. レジスタ説明

### 14.5.1. RSTFR – リセット フラグ レジスタ (Reset Flag Register)

名称 : RSTFR  
変位 : +\$00  
リセット : '00xx xxxx'  
特質 : -

リセット フラグは各々のフラグに'1'を書くことによって解除(0)することができます。全てのフラグは電源ONリセット フラグ(PORF)と低電圧検出リセット フラグ(BORF)を除き、電源ONリセット(POR)と低電圧検出リセット(BOR)によって解除(0)されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
			UPDIRF	SWRF	WDRF	EXTRF	BORF	PORF
アクセス種別	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	x	x	x	x	x	x

- **ビット5 – UPDIRF : UPDIリセット フラグ (UPDI Reset Flag)**

このビットはUPDIリセットが起きたか、またはHVパルス発生によって起こったリセットのどちらかの場合に設定(1)されます。

- **ビット4 – SWRF : ソフトウェア リセット フラグ (Software Reset Flag)**

このビットはソフトウェア リセットが起きた場合に設定(1)されます。

- **ビット3 – WDRF : ウォッチドッグ リセット フラグ (Watchdog Reset Flag)**

このビットはウォッチドッグ リセットが起きた場合に設定(1)されます。

- **ビット2 – EXTRF : 外部リセット フラグ (External Reset Flag)**

このビットは外部リセットが起きた場合に設定(1)されます。

- **ビット1 – BORF : 低電圧検出リセット フラグ (Brownout Reset Flag)**

このビットは低電圧検出リセットが起きた場合に設定(1)されます。

- **ビット0 – PORF : 電源ONリセット フラグ (Power-On Reset Flag)**

このビットは電源ONリセット(POR)が起きた場合に設定(1)されます。

POR後、PORフラグだけが設定(1)され、他の全てのフラグは解除(0)されます。POR後に完全なシステム ブートが走行する前に他のフラグが設定(1)されることは有り得ません。

### 14.5.2. SWRR – ソフトウェア リセット レジスタ (Software Reset Register)

名称 : SWRR  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								SWRE
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 – SWRE : ソフトウェア リセット許可 (Software Reset Enable)**

このビットが'1'を書かかれると、ソフトウェア リセットが起こります。

このビットは常に'0'として読みます。

## 15. CPUINT – CPU割り込み制御器

### 15.1. 特徴

- 短くて予測可能な割り込み応答時間
- 各割り込みに対する独立した構成設定とベクタアドレス
- 段位とベクタアドレスによる割り込み優先順位付け
- 2つの割り込み優先段位：0(標準)と1(高)
  - 割り込み要求の1つを優先段位割り込みとして割り当て可能
  - 優先段位0割り込みに対する任意選択のラウンドロビン優先機構
- 重要な機能用の遮蔽不可割り込み(NMI:Non-Maskable Interrupt)
- 応用領域またはブートローダ領域に任意選択で配置される割り込みベクタ
- 選択可能な簡潔ベクタ表(CVT)

### 15.2. 概要

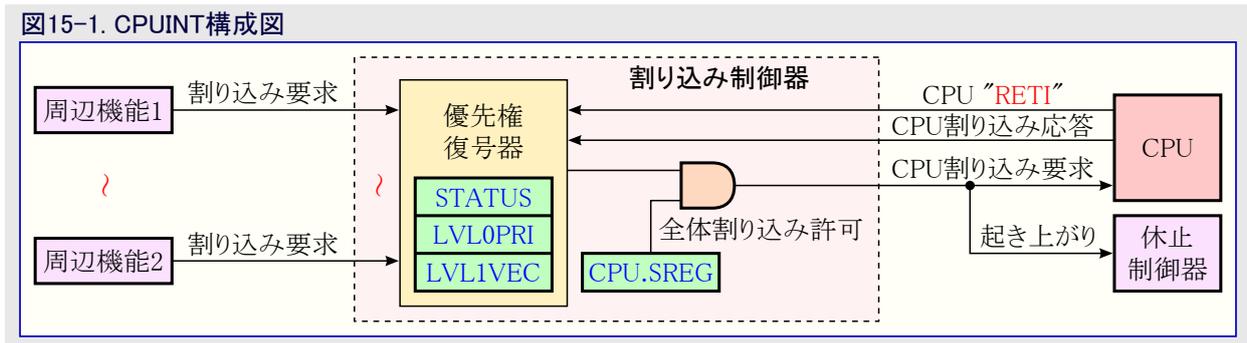
割り込み要求は周辺機能内側の状態変化を合図し、プログラム実行を変えるのに使うことができます。周辺機能は1つ以上の割り込みを持ちます。全てが個別に許可されて構成設定されます。

割り込みが許可されて構成設定されると、割り込み条件が発生する時に割り込み要求を生成します。

CPU割り込み制御器(CPUINT)は割り込み要求を優先順位付けして処理します。割り込みが許可されて割り込み条件が起こると、CPUINTはその割り込み要求を受け取ります。その割り込みの優先段位と何れかの進行中の割り込みの優先段位に基づいて、割り込み要求は応答されるか、またはそれが優先権を持つまで保留を保持されるかのどちらかです。割り込み処理部から戻った後、プログラム実行は割り込みが起きた前の場所から続け、どの保留割り込みも1命令実行後に扱われます。

CPUINTは重要な機能に対するNMI、1つの選択可能な高優先権割り込み、標準優先権割り込みに対する任意選択のラウンドロビン計画機構を提供します。ラウンドロビン計画は一定時間内で全ての割り込みを処理することを保証します。

#### 15.2.1. 構成図



### 15.3. 機能的な説明

#### 15.3.1. 初期化

以下の順で割り込みを初期化してください。

1. 任意選択: **制御A(CPUINT.CTRLA)レジスタの割り込みベクタ選択(IVSEL)ビット**を使って望む割り込みベクタの位置を構成設定してください。
2. 任意選択: CPUINT.CTRLAレジスタの**簡潔ベクタ表(CVT)ビット**に'1'を書くことによって簡潔ベクタ表を許可してください。
3. 任意選択: CPUINT.CTRLAレジスタの**ラウンドロビン優先権許可(LVL0RR)ビット**に'1'を書くことによってラウンドロビンによるベクタの優先順位付けを許可してください。
4. 任意選択: **段位1優先権保持割り込みベクタ(CPUINT.LVLIVEC)レジスタ**での割り込みベクタに割り込みベクタ番号を書くことによって優先段位1のベクタを選んでください。
5. 任意選択: **割り込み優先段位0(LVL0PRI)レジスタ**を構成設定することによってLVL0割り込みの優先順位を変更してください。
6. 各周辺機能内で割り込み条件を構成設定し、周辺機能の割り込みを許可してください。
7. **CPUステータスレジスタ(CPU.SREG)の全体割り込み許可(I)ビット**に'1'を書くことによって全体的に割り込みを許可してください。

#### 15.3.2. 動作

##### 15.3.2.1. 許可、禁止とリセット

割り込みの全体許可はCPUステータスレジスタ(CPU.SREG)の全体割り込み許可(I)ビットに'1'を書くことによって行われます。割り込みを全体的に禁止するには、CPU.SREGのIビットに'0'を書いてください。

望む割り込み線は周辺機能の割り込み制御([周辺機能名].INTCTRL)レジスタに書くことによって各々の周辺機能でも許可されなければなりません。

割り込み要求フラグは割り込みが実行された後で自動的に解除(0)されません。各々の割り込み要求フラグ(INTFLAGS)レジスタ記述が特定のフラグをどう解除(0)するかの情報を提供します。

### 15.3.2.2. 割り込みベクタ位置

望む割り込みベクタの位置は制御A(CPUINT.CTRLA)レジスタの割り込みベクタ選択(IVSEL)ビットに依存します。可能な位置についてはCPUINT.CTRLAのIVSEL記述を参照してください。

プログラムが決して割り込み元を許可しなければ、割り込みベクタは使われず、それらの場所に通常のプログラムコードを置くことができます。

### 15.3.2.3. 割り込み応答時間

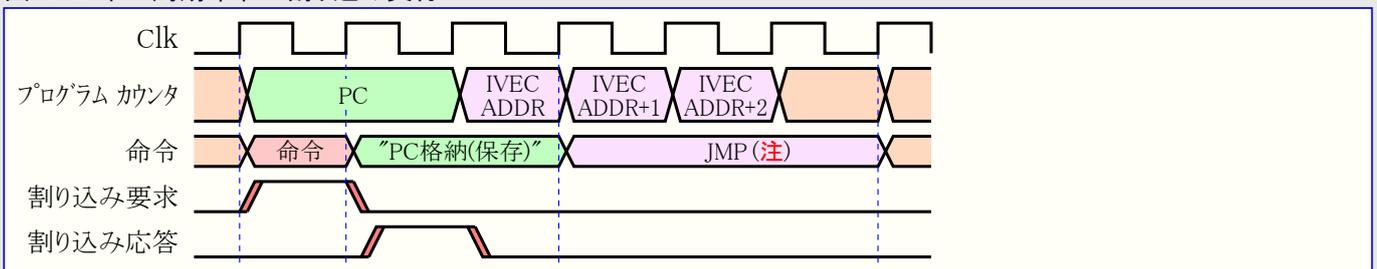
最小割り込み応答時間は右表で表されます。

表15-1. 最小割り込み応答時間

進行処理内容	フラッシュメモリ量 > 8Kバイト	フラッシュメモリ量 ≤ 8Kバイト
進行中の命令終了	1周期	1周期
PCをスタックに格納	2周期	2周期
割り込み処理部へ飛ぶ	3周期 (JMP)	2周期 (RJMP)

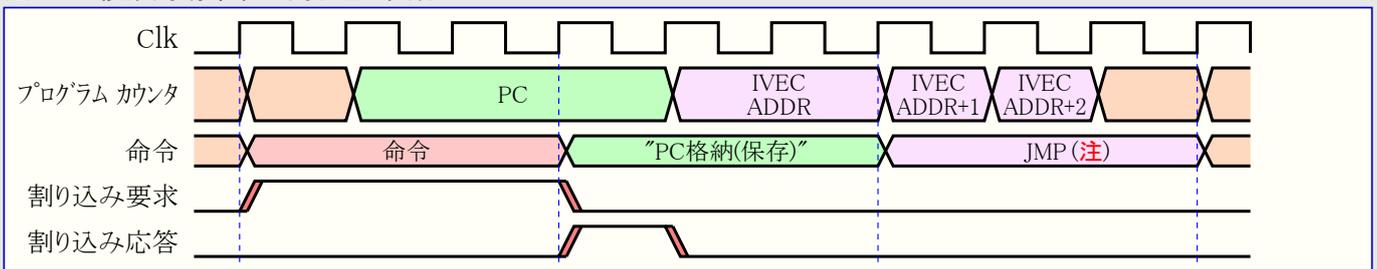
スタックにプログラムカウンタが押し込まれた後、割り込み用のプログラムベクタが実行されます。以下の図をご覧ください。

図15-2. 単一周期命令の割り込み実行



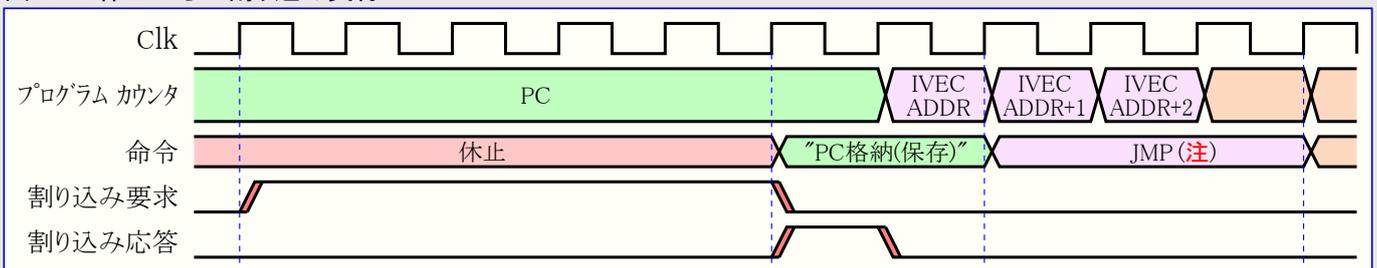
複数周期命令の実行中に割り込みが起きる場合、次図で示されるように、割り込みが処理される前にこの命令が完了されます。

図15-3. 複数周期命令の割り込み実行



デバイスが休止動作形態の時に割り込みが起こる場合、次図で示されるように、割り込み実行応答時間は5クロック周期増やされます。また、応答時間は選んだ休止動作からの始動時間によっても増やされます。

図15-4. 休止からの割り込み実行



プログラムカウンタの大きさに依存して、割り込み処理ルーチンからの復帰は4~5クロック周期かかります。これらのクロック周期の間、プログラムカウンタがスタックから取り出され、スタックポインタが増やされます。

**注:** 8Kバイト以下のフラッシュメモリを持つデバイスはJMPの代わりにRJMPを使い、2クロック周期だけかかります。

### 15.3.2.4. 割り込み優先権

全ての割り込みベクタは次表で示されるように、3つの可能な優先段位の1つに割り当てられます。高優先元からの割り込み要求は標準優先元からのどの進行中の割り込み処理部にも割り込みます。高優先割り込み処理部から戻ると、標準優先割り込み処理部の実行が再開します。

表15-2. 割り込み優先段位

優先権	段位	供給元
最高	遮蔽不可割り込み (NMI)	デバイス依存で静的割り当て
～	段位1 (高優先権)	1つのベクタが段位1として任意選択で使用者選択可能
最低	段位0 (標準優先権)	残りの割り込みベクタ

#### 15.3.2.4.1. NMI – 遮蔽不可割り込み

NMIはCPUステータスレジスタ(CPU.SREG)の全体割り込み許可(I)ビット設定に関わらず実行されます。NMIは決してビットを変えません。他の割り込みがNMI処理部に割り込むことはできません。複数のNMIが同時に要求された場合、優先権は最下位アドレスが最高優先権を持つ割り込みベクタアドレスに従った静的優先権です。

どの割り込みが遮蔽不可かはデバイス依存で、構成設定の対象ではありません。遮蔽不可割り込みはそれらが使われ得る前に許可されなければなりません。利用可能なNMI元についてはデバイスの割り込みベクタ配置表を参照してください。

#### 15.3.2.4.2. 高優先割り込み

優先段位1保持割り込みベクタ(CPUINT.LVL1VEC)レジスタに割り込みベクタ番号を書くことによって1つの割り込み要求を段位1(高優先)に割り当てることが可能です。この割り込み要求は他の(標準優先)割り込み要求よりも高い優先権を持ちます。優先段位1割り込みは段位0割り込み処理部に割り込みます。

#### 15.3.2.4.3. 標準優先割り込み

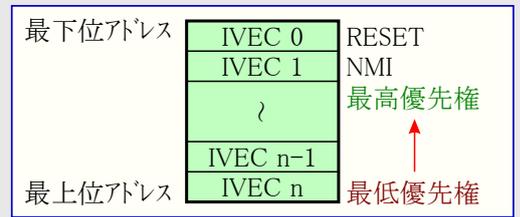
NMI以外の全ての割り込みベクタは既定で優先段位0(標準)に割り当てられます。これらのベクタの1つを高優先ベクタとして割り当てることによってこれを覆すかもしれません。デバイスは多くの標準優先ベクタを持ち、それらのいくつかが同時に保留中かもしれません。どの保留中標準優先割り込みを先に処理するかを選ぶために静的とラウンドロビンの異なる2つの計画機構が利用可能です。

IVECは「周辺機能と基本構造」章で一覧にされるような割り込みベクタ割り当てです。以下の項は計画機構を説明するのにIVECを使います。IVEC0はリセットベクタ、IVEC1はNMIベクタ、以下同様です。n+1要素を持つベクタ表では最高ベクタ番号を持つベクタがIVECnと示されます。リセット、遮蔽不可割り込み、それと高段位割り込みはIVEC割り当てに含まれますが、常に標準優先割り込みを超えて優先されます。

##### 15.3.2.4.3.1. 静的計画

いくつかの段位0割り込み要求が同時に保留中の場合、最高優先権を持つ1つが先行する実行のために計画されます。右図は最低アドレスを持つ割り込みベクタが最高優先権を持つ既定構成設定を説明します。

図15-5. 既定静的計画



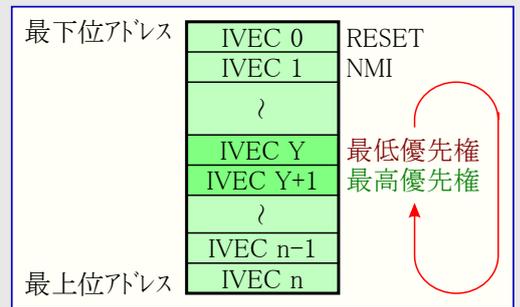
##### 15.3.2.4.3.2. 変更した静的計画

既定優先権は割り込み優先段位0(CPUINT.LVL0PRI)レジスタにベクタ番号を書くことによって変更することができます。右図で示されるように、次の割り込みベクタがLVL0割り込み内で最高優先権を持ちます。

ここで、値YはY+1の割り込みベクタが最高優先権を持つようにCPUINT.LVL0PRIへ書かれています。この場合、優先権はもはや最低アドレスが最高優先権を持たないように丸め、常に最高優先権を持つRESETとNMIを含めないことに注意してください。

利用可能な割り込み要求とそれらの割り込みベクタ番号についてはデバイスの「割り込みベクタ配置」を参照してください。

図15-6. CPUINT.LVL0PRI≠0時静的計画

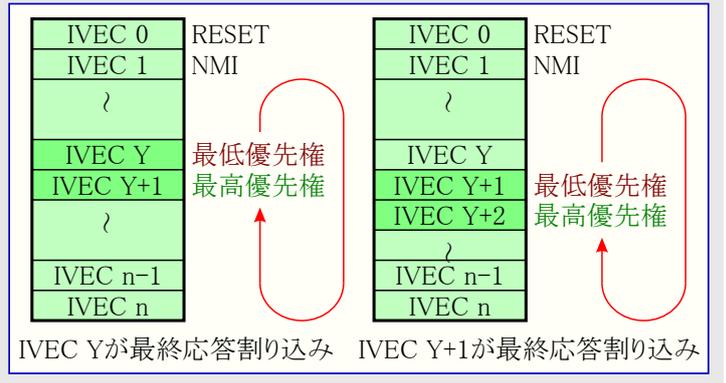


### 15.3.2.4.3.3. ラウンドロビン計画

静的計画は処理されることからいくつかの割り込み要求を妨げるかもしれません。これを避けるため、CPUINTは標準優先(LVL0)割り込みに対してラウンドロビン計画を提供します。ラウンドロビン計画ではCPUINT.LVL0PRIレジスタが最後に応答した割り込みベクタ番号を格納します。このレジスタは最後に応答した割り込みベクタが最低優先権を持ち、ハードウェアによって自動的に更新されます。以下の図はIVEC Y応答後とIVEC Y+1応答後の優先順を説明します。

LVL0割り込み要求に対するラウンドロビン計画は**制御A(CPUINT.CTRLA)レジスタのラウンドロビン優先権許可(LVL0RR)ビット**に'1'を書くことによって許可されます。

図15-7. ラウンドロビン計画



### 15.3.2.5. 簡潔ベクタ表

簡潔ベクタ表(CVT)は全ての段位0割り込みが同じベクタ番号を共用することによって簡潔なコード書きを許すための機能です。従って、割り込みは同じ割り込み処理ルーチン(ISR)を共用します。これは割り込み処理部を減らし、それによって応用コードに使うことができるメモリを開放します。

**制御A(CPUINT.CTRLA)レジスタの簡潔ベクタ表(CVT)ビット**に'1'を書くことによってCVTが許可されると、ベクタ表は以下のこれら3つの割り込みベクタを含みます。

1. ベクタ アドレス1の遮蔽不可割り込み(NMI)
2. ベクタ アドレス2の優先段位1(LVL1)割り込み
3. ベクタ アドレス3の全ての優先段位0(LVL0)割り込み

この機能は限定されたメモリを持つデバイスと少数の割り込み生成部を使う応用に最適です。

### 15.3.3. デバッグ操作

段位1割り込み使用時、段位1優先権を持つ割り込みの繰り返しで応用を立往生させるかもしれないため、割り込み処理ルーチンが正しく構成設定される事を確実にすることが重要です。

**CPUINT状態(CPUINT.STATUS)レジスタ**を読むことにより、応用が正しい**RETI**(割り込み復帰)命令を実行されているか知ることが可能です。CPUINT.STATUSレジスタは割り込み処理部の最後で**RETI**命令が実行される時にCPUINTが正しい割り込み段位に戻ることを保証する状態情報を含みます。割り込みからの復帰はCPUINTを割り込みに入る前に持っていた状態に戻します。

### 15.3.4. 構成設定変更保護

この周辺機能は**構成設定変更保護(CCP)**下にあるレジスタを持ちます。これらへ書くには最初に**構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタ**へ与えられた鍵が書かれ、4 CPU命令以内に保護されたビットへの書き込みアクセスが後続しなければなりません。

適切なCCP解錠手順に従わずに保護されたレジスタへ書こうとすると、それを無変化のままにします。

右のレジスタがCCP下です。

表15-3. CPUINT – 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
CPUINT.CTRLAのIVSELとCVT	IOREG

#### 15.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0		IVSEL	CVT					LVLORR
+\$01	STATUS	7~0	NMIEX						LVL1EX	LVL0EX
+\$02	LVL0PRI	7~0	LVL0PRI7~0							
+\$03	LVL1VEC	7~0	LVL1VEC7~0							

## 15.5. レジスタ説明

### 15.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		IVSEL	CVT					LVL0RR
アクセス種別	R	R/W	R/W	R	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット6 – IVSEL : 割り込みベクタ選択 (Interrupt Vector Select)

フラッシュメモリ全体がブート領域として構成設定されると、このビットは無視されます。

値	0	1
説明	望む割り込みベクタの位置はブート領域の直後(注)	望む割り込みベクタの位置はブート領域の先頭

注: システムリセットはIVSELビット値に関わらず、プログラムカウンタを\$0000にリセットさせます。

#### ● ビット5 – CVT : 簡潔ベクタ表 (Compact Vector Table)

値	0	1
説明	簡潔ベクタ表機能禁止	簡潔ベクタ表機能許可

#### ● ビット0 – LVL0RR : ラウンドロビン優先権許可 (Round-Robin Priority Enable)

このビットは構成設定変更保護機構によって保護されません。

値	0	1
説明	優先権は優先段位0割り込みに対して固定、最下位割り込み要求アドレスが最高優先権を持ちます。	優先段位0割り込み要求に対してラウンドロビン優先機構が許可されます。

### 15.5.2. STATUS – 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	NMIEX						LVL1EX	LVL0EX
アクセス種別	R/W	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7 – NMIEX : 遮蔽不可割り込み実行中 (Non-Maskable Interrupt Executing)

このフラグは遮蔽不可割り込みが実行中の場合に設定(1)されます。このフラグは割り込み処理部から(RET<sub>I</sub>)で戻る時に解除(0)されます。

#### ● ビット1 – LVL1EX : 段位1割り込み実行中 (Level 1 Interrupt Executing)

このフラグは優先段位1割り込みが実行中の時か、またはその割り込み処理部がNMIによって割り込まれている時に設定(1)されます。このフラグは割り込み処理部から(RET<sub>I</sub>)で戻る時に解除(0)されます。

#### ● ビット0 – LVL0EX : 段位0割り込み実行中 (Level 0 Interrupt Executing)

このフラグは優先段位0割り込みが実行中の時か、またはその割り込み処理部が優先段位1割り込みかNMIによって割り込まれている時に設定(1)されます。このフラグは割り込み処理部から(RET<sub>I</sub>)で戻る時に解除(0)されます。

### 15.5.3. LVL0PRI – 割り込み優先段位0 (Interrupt Priority Level 0)

名称 : LVL0PRI  
 変位 : +\$02  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	LVL0PRI7~0							
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 – LVL0PRI7~0 : 割り込み優先段位0 (Interrupt Priority Level 0)**

このレジスタはLVL0割り込みの優先権を変更するのに使われます。より多くの情報については「[標準優先割り込み](#)」項をご覧ください。

### 15.5.4. LVL1VEC – 優先段位1保持割り込みベクタ (Interrupt Vector with Priority Level 1)

名称 : LVL1VEC  
 変位 : +\$03  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	LVL1VEC7~0							
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 – LVL1VEC7~0 : 優先段位1保持割り込みベクタ (Interrupt Vector with Priority Level 1)**

このビット領域は高められた優先段位1(LVL1)を持つ単一ベクタの番号を含みます。このビット領域が\$00の値を持つ場合、ベクタはLVL1を持ちません。その結果として、LVL1割り込みは禁止されます。

## 16. EVSYS - 事象システム

### 16.1. 特徴

- ・ 周辺機能から周辺機能への直接的な合図のためのシステム
- ・ 周辺機能は周辺機能事象への直接的な生成、使用、反応が可能
- ・ 短くて予測可能な応答時間
- ・ 最大6つの平行事象チャネルを利用可能
- ・ 各チャネルは1つの事象生成部によって駆動され、複数の事象使用部を持つことが可能
- ・ 事象は殆どの周辺機能とソフトウェアによって送ることや受け取ることが可能
- ・ 事象システムは活動動作、アイドルとスタンバイの休止動作で動作

### 16.2. 概要

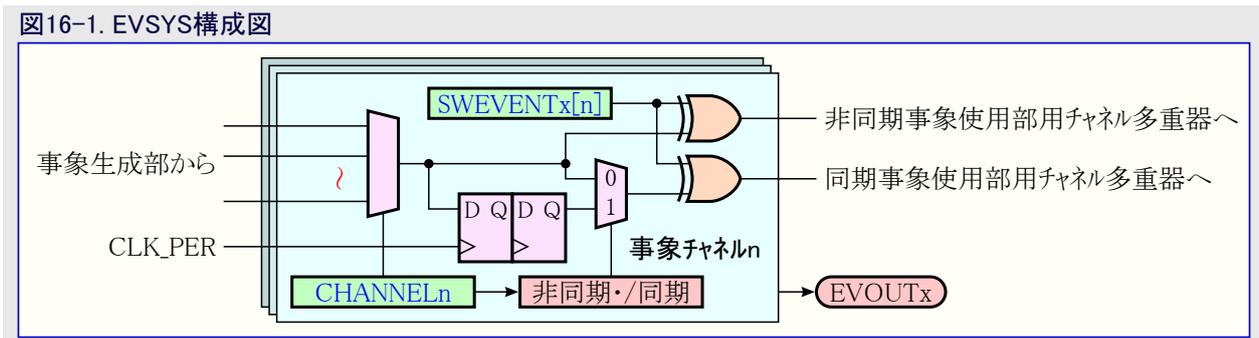
事象システム(EVSYS)は周辺機能から周辺機能への直接的な合図を許します。それはCPUを使うことなく、事象チャネルを通して或る周辺機能(事象生成部)での変化で別の周辺機能(事象使用部)での活動を起動することを許します。それは自律の周辺機能制御と相互作用、そして多数の周辺機能単位部での活動の同期タイミングをも許す、周辺機能間の短くて予測可能な応答時間を提供するように設計されます。従って、EVSYS周辺機能はコアから独立した周辺機能(CIPs:Core Independent Peripherals)の実装を可能にします。また、それはソフトウェアの複雑さ、大きさ、実行時間を減らすための強力な道具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

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

各チャネルでは1つの事象だけを配線することができます。複数の周辺機能が同じチャネルからの事象を使うことができます。

EVSYSはA/D変換器、アナログ比較器、入出力ポートピン、実時間計数器、タイマ/カウンタ、構成設定可能な注文論理回路のような周辺機能を直接的に接続することができます。事象はソフトウェアから生成することもできます。

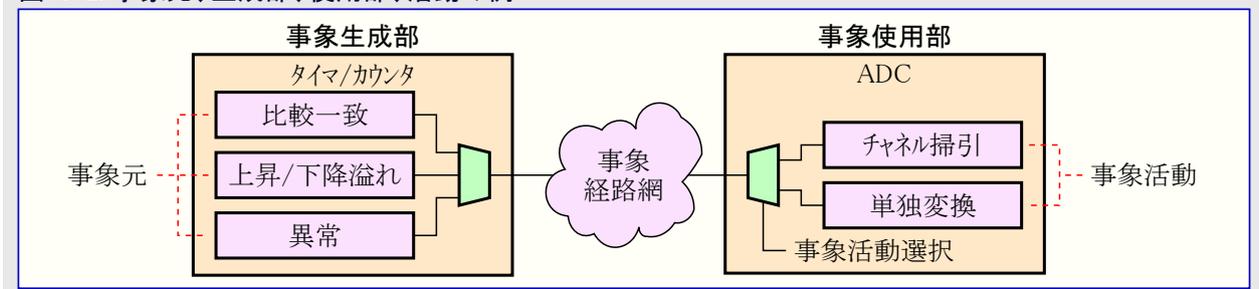
#### 16.2.1. 構成図



構成図は事象チャネルの動作を示します。入力でチャネルn生成部選択(EVSYS.CHANNELn)によって制御される多重器はどの事象元を事象チャネルに配線するかを選びます。各事象チャネルは2つの副チャネル、1つの非同期副チャネルと1つの同期副チャネルを持ちます。同期使用部は同期副チャネルを聴取し、非同期使用部は非同期副チャネルを聴取します。

非同期元からの事象信号は同期副チャネルに配線される前に事象システムによって同期化されます。同期使用部によって使われる非同期事象信号は同期部を通る伝搬を保證するために最低1周辺機能クロック周期間持続しなければなりません。同期部は事象発生時に依存してそのような事象を2~3クロック周期遅らせます。

図16-2. 事象元、生成部、使用部、活動の例



#### 16.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
EVOUTx	デジタル出力	事象出力、入出力ポート毎に1出力

## 16.3. 機能的な説明

### 16.3.1. 初期化

事象を使うには、事象システム、生成する周辺機能とその事象を使う周辺機能が適切に構成設定されなければなりません。

1. 生成する周辺機能を適切に構成設定してください。例えば、生成する周辺機能が計時器の場合、望む事象が生成されるように前置分周、比較レジスタなどを設定してください。
2. 事象使用部周辺機能を適切に構成設定してください。例えば、ADCが事象使用部の場合、ADCの前置分周器、分解能、変換時間などを設定し、事象の受け取りで開始するようにADC変換を構成設定してください。
3. 事象システムを望む供給元に構成設定してください。この例では計時器比較一致を望む事象チャンネルへです。これは例えば、[チャンネル0生成部選択\(EVSYS.CHANNEL0\)レジスタ](#)へ書くことによって達成されるチャンネル0かもしれません。
4. 対応する[使用部nチャンネル多重器\(EVSYS.USERn\)レジスタ](#)へ書くことによってこのチャンネルを聴取するようにADCを構成設定してください。

### 16.3.2. 動作

#### 16.3.2.1. 事象使用部多重器構成設定

各事象使用部はどの事象チャンネルを聴取するかを選ぶ1つの専用事象使用部多重器を持ちます。応用は対応する[使用部nチャンネル入力選択\(EVSYS.USERn\)レジスタ](#)を書くことによってこれらの多重器を構成設定します。

#### 16.3.2.2. 事象システム チャンネル

事象チャンネルは事象生成部の1つに接続することができます。

各事象チャンネルの供給元は各々の[チャンネルn生成部選択\(EVSYS.CHANNELn\)レジスタ](#)を書くことによって構成設定されます。

#### 16.3.2.3. 事象生成部

各事象チャンネルは同時にどれか1つだけを選ぶことができるいくつかの可能な事象生成部を持ちます。チャンネルに対する事象生成部は各々の[チャンネルn生成部選択\(EVSYS.CHANNELn\)レジスタ](#)を書くことによって選ばれます。既定では、チャンネルがどの事象生成部にも接続されません。事象生成の詳細については対応する周辺機能の記述を参照してください。

生成される事象はデバイスの周辺機能クロック(CLK\_PER)に対して同期または非同期のどちらかです。非同期事象は周辺機能クロックの標準端外で生成することができ、システムが選ばれたクロック周波数よりも速く応答することを示唆します。非同期事象はクロックが動いていない時のデバイスが休止動作の間に生成することもできます。

生成されたどの事象も、パルス事象またはレベル事象のどちらかとして分類されます。両方の場合で、事象は下表に従う特性で同期または非同期のどちらかにすることができます。

表16-1. 生成された事象の特性

事象型	同期/非同期	説明
パルス	同期	1クロック周期持続するCLK_PERから生成された事象
	非同期	1クロック周期持続するCLK_PER以外のクロックから生成された事象
レベル	同期	複数クロック周期持続するCLK_PERから生成された事象
	非同期	クロックなし(例えば、ピンまたは比較器)で生成された事象、または複数クロック周期持続するCLK_PER以外のクロックから生成された事象

信頼性がある予測可能な動作を保証するため、生成された事象と意図する事象使用部の両方の特性が考慮されなければなりません。

[次表](#)はこのデバイスシステムに対して利用可能な事象生成部を示します。

表16-2. 事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成 クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
UPDI	SYNCH	同期(SYNCH)文字	非同期、レベル	CLK_UPDI	CLK_UPDIに同期した UPDI受信入力でのSYNCH文字
RTC	OVF	計数器溢れ	非同期、パルス	CLK_RTC	1 CLK_RTC周期
	CMP	比較一致			
	EVGEN0	選択可能な前置分周した	非同期、レベル		前置分周したRTC周期
	EVGEN1	RTC事象			
CCL	LUTn	LUT出力レベル	非同期		CCL構成設定に依存 AC出力レベルで与えられる
ACn	OUT	比較器出力レベル			
ADCn	RES	結果準備可	同期、パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	SAMP	採取(試料)準備可			
	WCMP	窓比較一致			
PORTx	EVGEN0	ピンレベル	非同期、レベル	非同期	ピンレベルで与えられる
	EVGEN1				
USARTn	XCK	SPI主装置動作と同期USART 動作でのクロック信号	同期、レベル	TXCLK	最小2 CLK_PER周期
SPI0	SCK	SPI主装置クロック			
TCEn	OVF	溢れ/下位バイト計時器下溢れ	同期、パルス		1 CLK_PER周期
	CMP0	比較チャンネル0一致/下位バイト 計時器比較チャンネル0一致	同期、パルス/レベル	CLK_PER	1 CLK_PER周期またはWO
	CMP1	比較チャンネル1一致/下位バイト 計時器比較チャンネル1一致			
	CMP2	比較チャンネル2一致/下位バイト 計時器比較チャンネル2一致			
	CMP3	比較チャンネル3一致/下位バイト 計時器比較チャンネル3一致			
TCBn	CAPT	CAPTフラグ設定(1)			
	OVF	計数器溢れ	同期、パルス		1 CLK_PER周期
TCFn	OVF	計数器溢れ	非同期、パルス	CLK_TCF	1 CLK_PER周期またはWO
	CMP0	比較チャンネル0一致	非同期、パルス/レベル		
	CMP1	比較チャンネル1一致			

## 16.3.2.4. 事象使用部

聴取する事象チャンネルは事象使用部を構成設定することによって選ばれます。事象使用部は周辺機能クロックに対して同期または非同期のどちらかの事象信号を必要とするかもしれません。非同期事象使用部はクロックが動いていない時の休止動作で事象に応答することができます。このような事象は周辺機能クロックの標準端外で応答することができ、事象使用部がクロック周波数よりも速く応答することを示唆します。各周辺機能の必要条件の詳細については対応する周辺機能の記述を参照してください。

殆どの事象使用部はやって来る事象信号に基づいて対応する周辺機能で活動を起動するための端またはレベルの検出を実装します。両方の場合で、やって来る事象が周辺機能クロック(CLK\_PER)から生成されることを必要とする同期、またはそうでない非同期のどちらかにすることができます。いくつかの非同期事象使用部は事象入力検出が適用されず、事象信号を直接使います。各種事象使用部特性が次表で一般的に記述されます。

表16-3. 事象使用部の特性

入力検出	同期/非同期	説明
端	同期	事象使用部は事象端で起動され、やって来る事象がCLK_PERから生成されることを必要とします。
	非同期	事象使用部は事象端で起動され、非同期検出または内部同期部を持ちます。
レベル	同期	事象使用部は事象レベルで起動され、やって来る事象がCLK_PERから生成されることを必要とします。
	非同期	事象使用部は事象レベルで起動され、非同期検出または内部同期部を持ちます。
検出なし	非同期	事象使用部は事象信号を直接使います。

下表はこのデバイスシステムに対して利用可能な事象使用部を示します。

表16-4. 事象使用部

使用部名		説明	入力検出	同期/非同期	
周辺機能	入力				
CCL	LUTnx	LUTnx事象入力x	レベル		
ADCn	START	事象でのADC開始	端	非同期	
EVSYS	EVOUTx	EVSYSピン出力x	検出なし		
USARTn	IRDA	USARTn IrDA事象入力	レベル		
TCEn	CNTA	正事象端で計数	端		
		両事象端で計数			
		事象信号がHighの間計数			
	CNTB	事象レベルが計数方向を制御 (Low時上昇、High時下降)	レベル		
		事象レベルが計数方向を制御 (Low時上昇、High時下降)			
		正事象端で計数器再始動			
CNTB	両事象端で計数器再始動	端	同期		
	事象信号がHighの間再始動				
	制限時間検査			レベル	
事象で計数捕獲					
計数捕獲周波数測定					
TCBn	CAPT	計数捕獲パルス幅測定	端		
		計数捕獲周波数/パルス幅測定			
		単発			両方
		COUNT			
	TCFn	COUNT	事象で計数	端/レベル	
ACTION		事象で活動			
WEXn	FAULTA	障害入力A	レベル	非同期	
	FAULTB	障害入力B			
	FAULTC	障害入力C			

### 16.3.2.5. 同期化

事象は周辺機能クロックに対して同期または非同期のどちらかにすることができます。各事象システムチャンネルは2つの副チャンネル、1つの非同期副チャンネルと1つの同期副チャンネルを持ちます。

非同期副チャンネルは生成部からの事象出力と同じです。事象生成部が周辺機能クロックに対して非同期な信号を生成する場合、非同期副チャンネル上の信号は非同期です。事象生成部が周辺機能クロックに対して同期する信号を生成する場合、非同期副チャンネル上の信号も同期になります。

事象生成部が周辺機能クロックに対して同期する信号を生成する場合、同期副チャンネルは生成部からの事象出力と同じです。事象生成部が周辺機能クロックに対して非同期な信号を生成する場合、この信号は同期副チャンネルに配線される前に先立って同期化されます。それが起きる時に依存して、同期化は2または3クロック周期によって事象を遅らせます。事象システムは事象チャンネルに対して非同期生成部が選ばれる場合にこの同期化を自動的に実行します。

### 16.3.2.6. ソフトウェア事象

応用はソフトウェア事象を生成することができます。チャンネルn上のソフトウェア事象はソフトウェア事象(EVSYS.SWEVENTx)レジスタのソフトウェア事象チャンネル選択(SWEVENTxn)ビットに'1'を書くことによって発行されます。ソフトウェア事象は事象システムチャンネルでパルスとして現れ、1クロック周期間、現在の事象システム値を反転します。

事象使用部は事象を生成する周辺機能によって引き起こされるそれらと変わらないものとしてソフトウェア事象を見ます。

### 16.3.3. 休止形態動作

構成設定されると、事象システムは全ての休止動作形態で動作します。それが周辺機能クロックを必要とするため、ソフトウェア事象は1つの例外を示します。

非同期事象使用部はスタンバイ休止動作でそれらのクロック走行なしで事象に応答することができます。同期事象使用部は事象に反応できるよう、動いているそれらのクロックを必要とします。このような使用部はアイドル休止動作と、適切なレジスタでスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットを設定(1)することによってスタンバイ動作で動くように構成設定された場合のスタンバイ休止動作でだけ動きます。

非同期事象生成部はそれらのクロック走行なし、即ち、スタンバイ休止動作で事象を生成することができます。同期事象生成部は事象を生成できるよう、動いているそれらのクロックを必要とします。このような生成部はアイドル休止動作と、適切なレジスタでスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットを設定(1)することによってスタンバイ動作で動くように構成設定された場合のスタンバイ休止動作でだけ動きます。

#### 16.3.4. デバッグ動作

この周辺機能はデバッグ動作へ移行することによって影響を及ぼされません。

## 16.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	SWEVENTA	7~0	SWEVENTA7~0							
+\$01 ~ +\$0F	予約									
+\$10	CHANNEL0	7~0	CHANNEL7~0							
+\$11	CHANNEL1	7~0	CHANNEL7~0							
+\$12	CHANNEL2	7~0	CHANNEL7~0							
+\$13	CHANNEL3	7~0	CHANNEL7~0							
+\$14	CHANNEL4	7~0	CHANNEL7~0							
+\$15	CHANNEL5	7~0	CHANNEL7~0							
+\$16 ~ +\$1F	予約									
+\$20	USER0	7~0	USER7~0							
~	~	~	~							
+\$38	USER24	7~0	USER7~0							

## 16.5. レジスタ説明

### 16.5.1. SWEVENTx - ソフトウェア事象 (Software Events)

名称 : SWEVENTA

変位 : +\$00

リセット : \$00

特質 : -

対応する事象チャンネルでソフトウェア事象を生成するにはこのレジスタのビットに'1'を書いてください。EVSYS.SWEVENTAレジスタのビット7~0は事象チャンネル7~0(訳補:本デバイスは5~0)に対応します。利用可能な事象チャンネルの番号が8~15(訳補:本デバイスはなし)の場合、それらはビットnが事象チャンネル8+nであるEVSYS.SWEVENTBレジスタで利用可能です。

利用可能な事象システム チャンネル数については「[周辺機能概要](#)」項を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SWEVENTx7~0							
アクセス種別	W	W	W	W	W	W	W	W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7~0 - SWEVENTx7~0 : ソフトウェア事象チャンネル選択 (Software Event Channel Select)

このビット群のビットへの'1'書き込みは1周辺機能クロック周期間、事象チャンネル上の信号を反転することによって対応する事象チャンネルで単一パルス事象を生成します。

### 16.5.2. CHANNELn - チャンネルn生成部選択 (Channel n Generator Selection)

名称 : CHANNELn

変位 : +\$10+n [n=0~5]

リセット : \$00

特質 : -

各チャンネルは1つの事象生成部に接続することができます。全ての生成部が全てのチャンネルに接続できる訳ではありません。どの生成部供給元が各チャンネルに配線することができ、この配線を達成するのにEVSYS.CHANNELnに書かれるべき生成部値を知るには下表を参照してください。EVSYS.CHANNELnへの値\$00書き込みはそのチャンネルをOFFにします。

利用可能な事象システム チャンネル数については「[周辺機能概要](#)」項を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CHANNEL7~0							
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 - CHANNEL7~0 : チャンネル生成部選択 (Channel Generator Selection)

各ビット群構成設定に対応する指定生成部名は次表からの周辺機能と出力を「[周辺機能\\_出力](#)」のように結合することによって与えられます。

値	生成部		同期/ 非同期	説明	チャンネル可用性	
	周辺機能	出力				
\$01	UPDI	SYNCH		同期(SYNCH)文字検出の上昇端		
\$06		OVF		計数器溢れ		
\$07	RTC	CMP		比較一致		
\$08		EVGEN0		選択可能な前置分周したRTC事象		
\$09		EVGEN1				
\$10	CCL	LUT0	非同期	LUT出力レベル	全チャンネル	
\$11		LUT1				
\$12		LUT2				
\$13		LUT3				
\$20	AC0	OUT		比較器出力レベル		
\$21	AC1					
\$24		RES		結果準備可		
\$25	ADC0	SAMP	同期	採取(試料)準備可	全チャンネル(注1)	
\$26		WCMP		窓比較一致		
\$40	PORTA	EVGEN0		ピンレベル(注2)		
\$41		EVGEN1				
\$44	PORTC	EVGEN0	非同期			
\$45		EVGEN1				
\$46	PORTD	EVGEN0				
\$47		EVGEN1				
\$4A	PORTF	EVGEN0				
\$4B		EVGEN1				
\$60	USART0	XCK			SPI主装置動作と同期USART主装置動作でのクロック信号	
\$68	SPI0	SCK			SPI主装置クロック信号	
\$80		OVF		溢れ/下位バイト計時器下溢れ	全チャンネル	
\$84	TCE0	CMP0		比較チャンネル0一致		
\$85		CMP1		比較チャンネル1一致		
\$86		CMP2		比較チャンネル2一致		
\$87		CMP3	同期	比較チャンネル3一致		
\$A0	TCB0	CAPT		CAPT割り込み要求フラグ設定(1)(注3)		
\$A1		OVF		計数器溢れ		
\$A2	TCB1	CAPT		CAPT割り込み要求フラグ設定(1)(注3)		
\$A3		OVF		計数器溢れ		
\$B8	TCF0	OVF		計数器溢れ		
\$B9		CMP0		比較チャンネル0一致		
\$BA		CMP1		比較チャンネル1一致		

注1: 全ての周辺機能の実体が全てのピン数で利用可能な訳ではありません。詳細については「周辺機能と基本構造」章を参照してください。

注2: ポートピンからの事象は入力駆動部が禁止されている場合に'0'です。

注3: 計時器の動作形態がCAPTフラグを掲げる時を決めます。詳細については「TCB」章を参照してください。

## 16.5.3. USERn - 使用部nチャンネル多重器 (User Channel Mux)

名称 : USERn

変位 : +\$20+n [n=0~24]

リセット : \$00

特質 : -

各事象使用部は1つの事象チャンネルに接続することができ、いくつかの使用部を同じチャンネルに接続することができます。次表はそれらの対応する使用部ID番号と名称と共に全ての事象システム使用部を一覧にします。使用部名称は次表からの周辺機能と入力と共にUSERを「USER周辺機能入力」のように結合することによって与えられます。

使用部番号	使用部名称		同期/非同期	説明
	周辺機能	入力		
0 (\$0)	CCL	LUT0A	非同期	CCL LUT0事象入力A
1 (\$1)		LUT0B		CCL LUT0事象入力B
2 (\$2)		LUT1A		CCL LUT1事象入力A
3 (\$3)		LUT1B		CCL LUT1事象入力B
4 (\$4)		LUT2A		CCL LUT2事象入力A
5 (\$5)		LUT2B		CCL LUT2事象入力B
6 (\$6)	ADC0	LUT3A (注1)	-	CCL LUT3事象入力A
7 (\$7)		LUT3B (注1)		CCL LUT3事象入力B
8 (\$8)	EVSYS	START	-	事象でADC開始
9 (\$9)		EVOUTA		事象出力(ピン出力)A
10 (\$A)		EVOUTC		事象出力(ピン出力)C
11 (\$B)		EVOUTD		事象出力(ピン出力)D
12 (\$C)	USART0	EVOUTF (注1)	-	事象出力(ピン出力)F
13 (\$D)		IRDA		USART0 IrDA事象入力
14 (\$E)	TCE0	CNTA	同期	事象の正端/両端/Highでの計数または事象レベルが計数方向制御
15 (\$F)		CNTB		事象の両端/Highでの再始動または事象レベルが計数方向制御
16 (\$10)	TCB0	CAPT	両方	単発動作
17 (\$11)		COUNT	同期	単発動作以外の動作 事象で計数
18 (\$12)		TCB1	CAPT	両方
19 (\$13)	COUNT		同期	単発動作以外の動作 事象で計数
20 (\$14)	TCF0	COUNT	-	クロック元として事象
21 (\$15)		ACTION		事象活動
22 (\$16)	WEX0	FAULTA	非同期	障害入力A
23 (\$17)		FAULTB		障害入力B
24 (\$18)		FAULTC		障害入力C

注1: 全ての周辺機能実体が全てのピン数に対して利用可能な訳ではありません。詳細については「周辺機能と基本構造」章を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	USER7~0							
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 - CHANNEL7~0: 使用部チャンネル選択 (User Channel Selection)

使用部がどの事象システムチャンネルに接続するかを構成設定します。

値	0	1~6 (= n)	その他
説明	OFF、チャンネルはこの事象システム使用部に未接続	事象使用部はチャンネルn-1に接続されます。	(予約)

## 17. PORTMUX – ポート多重器

### 17.1. 概要

ポート多重器(PORTMUX)はピンの機能を許可または禁止、または既定と代替のピン位置の変更のどちらも行うことができます。利用可能な任意選択はPORTMUXレジスタ配置で詳細に記述され、実際のピンと特性に依存します。

利用可能なピンと機能については「[入出力多重化と考察](#)」章を参照してください。

## 17.2. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	EVSYROUTEA	7~0			EVOUTF		EVOUTD	EVOUTC		EVOUTA
+\$01	CCLROUTEA	7~0						LUT2		LUT0
+\$02	USARROUTEA	7~0						USART02~0		
+\$03 ~ +\$04	予約									
+\$05	SPIROUTEA	7~0						SPI02~0		
+\$06	TWIRROUTEA	7~0						TWI01,0		
+\$07	TCERROUTEA	7~0					TCE03~0			
+\$08	TCBROUTEA	7~0						TCB1	TCB0	
+\$09 ~ +\$0B	予約									
+\$0C	TCFRROUTEA	7~0						TCF01,0		

### 17.3. レジスタ説明 (訳注:本項の各表などは可能な限り各々の共通部分を纏めました。)

#### 17.3.1. EVSYSROUTEA - 事象システムピン位置 (Event System Pin Position)

名称 : EVSYSROUTEA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

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

#### ●ビット5,3,2,0 - EVOUT<sub>x</sub> : 事象出力<sub>x</sub> (Event Output <sub>x</sub>)

これらのビットは事象出力<sub>x</sub>用ピン位置を制御します。(訳補:事象出力<sub>x</sub>の既定はポート<sub>x</sub>の2番ピン、代替はポート<sub>x</sub>の7番ピン)

値	0	1
名称	DEFAULT	ALT1
説明	F:PF2, D:PD2, C:PC2, A:PA2	F:PF7, D:PD7, C:PC7, A:PA7

#### 17.3.2. CCLROUTEA - CCL LUT<sub>n</sub>ピン位置 (CCL LUT<sub>n</sub> Pin Position)

名称 : CCLROUTEA  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						LUT2		LUT0
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ●ビット2,0 - LUT<sub>n</sub> : CCL LUT<sub>n</sub>信号 (CCL LUT<sub>n</sub> Signals) (訳補:LUT2,LUT0は各々ポートD,ポートAに対応)

これらのビットはCCL LUT<sub>n</sub>信号用ピン位置を制御します。

値	0	1
名称	DEFAULT	ALT1
説明	IN2	2:PD2, 0:PA2
	IN1	2:PD1, 0:PA1
	IN0	2:PD0, 0:PA0
	OUT	2:PD3, 0:PA3
	2:PD6, 0:PA6	

#### 17.3.3. USARTROUTEA - USART<sub>n</sub>ピン位置 (USART<sub>n</sub> Pin Position)

名称 : USARTROUTEA  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
USARTROUTEA						USART02~0		
アクセス種別	R	R	R	R	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 - USART<sub>n</sub>2~0 : USART<sub>n</sub>信号 (USART<sub>n</sub> Signals) (訳補:USART0の基本はポートF,C,Aに対応)

これらのビット領域はUSART<sub>n</sub>信号用ピン位置を制御します。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	その他
名称	DEFAULT	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	-	ALT6	NONE
説明	TxD	0:PA0	0:PA4	0:PA2	0:PD4	0:PC1	(予約)	0:PF7
	RxD	0:PA1	0:PA5	0:PA3	0:PD5	0:PC2		0:PF6
	XCK	0:PA2	0:PA6	0:なし	0:PD6	0:PC3		0:なし
	XDIR	0:PA3	0:PA7	0:なし	0:PD7	0:なし		0:なし

### 17.3.4. SPIROUTEA - SPInピン位置 (SPIn Pin Position)

名称 : SPIROUTEA  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							SPI02~0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット3~0 - SPI01,0 : SPI0信号 (SPI 0 Signals)

これらのビット領域はSPI0用ピン位置を制御します。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	DEFAULT	-	-	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	NONE
説明	MOSI	PA4	(予約)	PA0	PD4	PC0	PC1	ピン接続なし
	MISO	PA5		PA1	PD5	PC1	PC2	
	SCK	PA6		PC0	PD6	PC2	PC3	
	$\overline{SS}$	PA7		PC1	PD7	PC3	PF7	

### 17.3.5. TWIRUTEA - TWInピン位置 (TWIn Pin Position)

名称 : TWIRUTEA  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							TWI01,0	
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3~0 - TWI01,0 : TWI0信号 (TWI 0 Signals)

これらのビット領域はTWI0用ピン位置を制御します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DEFAULT	-	ALT2	ALT3
説明	SDA	(予約)	PC2/-	PA0/PC2
	SCL		PC3/-	PA1/PC3

(**訳注**) 各ピン名の記載は(標準動作の主/従装置または2元動作の主装置のピン)/(2元動作の従装置のピン)です。

### 17.3.6. TCEROUTEA - TCEnピン位置 (TCEn Pin Position)

名称 : TCEROUTEA  
変位 : +\$07  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TCE03~0								
アクセス種別	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 - TCE03~0 : TCE0信号 (TCE0 Signals)

これらのビット領域はTCE0用ピン位置を制御します。

値	名称	説明							
		WO0	WO1	WO2	WO3	WO4	WO5	WO6	WO7
0 0 0 0	PORTA	PA0	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7
0 0 1 0	PORTC	PC0	PC1	PC2	PC3	-	-	-	-
0 0 1 1	PORTD	PD0	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7
0 1 0 1	PORTF	PF0	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	-	-
1 0 0 0	PORTC2	PA0	PA1	PC0	PC1	PC2	PC3	-	-
1 0 0 1	PORTA2	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7	-	-
その他	-	(予約)							

### 17.3.7. TCBROUTEA - TCBnピン位置 (TCBn Pin Position)

名称 : TCBROUTEA  
変位 : +\$08  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							TCB1	TCB0
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4~0 - TCBn : TCBn出力 (TCBn Output)

これらのビットはTCBn出力用ピン位置を制御します。

値	0	1
名称	DEFAULT	ALT1
説明	1:PA3, 0:PA2	1:PF5, 0:PF4

### 17.3.8. TCFROUTEA - TCFnピン位置 (TCFn Pin Position)

名称 : TCFROUTEA  
変位 : +\$0C  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							TCF01,0	
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1,0 - TCF01,0 : TCF0信号 (TCF0 Signals)

このビット領域はTCF0信号用ピン位置を制御します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DEFAULT	ALT1	ALT2	-
説明	WO0:PA0, WO1:PA1	WO0:PA6, WO1:PA7	WO0:PF4, WO1:PF5	(予約)

## 18. PORT – I/Oピン構成設定

### 18.1. 特徴

- 個別構成設定を持つ汎用入出力ピン
  - プルアップ
  - 反転I/O
  - 入力電圧閾値
- 割り込みと事象を持つ入力
  - 両端感知
  - 上昇端感知
  - 下降端感知
  - Lowレベル感知
- ポート毎の任意選択スレーブ制御
- 全休止動作形態からデバイスを起き上がらせることができる非同期ピン変化感知
- ポートピンへの効率的で安全なアクセス
  - 専用の切り換え、解除(0)、設定(1)用レジスタ通したハードウェア読み-変更-書き(RMW)
  - ビットアクセス可能なI/Oメモリ空間への度々使われるポートレジスタ割り当て(仮想ポート)

### 18.2. 概要

デバイスの入出力ピンはPORT周辺機能レジスタの実体によって制御されます。各PORT実体は最大8つの入出力ピンを持ちます。PORTはPORTA、PORTB、PORTCなどと名付けられます。どのピンが何のPORTの実体によって制御されるかを見るには「[入出力多重化と考察](#)」章を参照してください。PORT実体と対応する仮想PORT実体の基準アドレスは「[周辺機能と基本構造](#)」章で一覧にされます。

各ポートピンは出力としてそのピンを許可して出力状態を定義するためにデータ方向(PORTx.DIR)とデータ出力値(PORTx.OUT)のレジスタで対応するビットを持ちます。例えば、PORTA実体のDIR3とOUT3はPA3ピンを制御します。

PORTピンの入力値は周辺機能クロック(CLK\_PER)に同期され、その後にデータ入力値(PORTx.IN)としてアクセス可能にされます。ピンが入力または出力のどちらとして構成設定されても、このピン値は常に読むことができます。

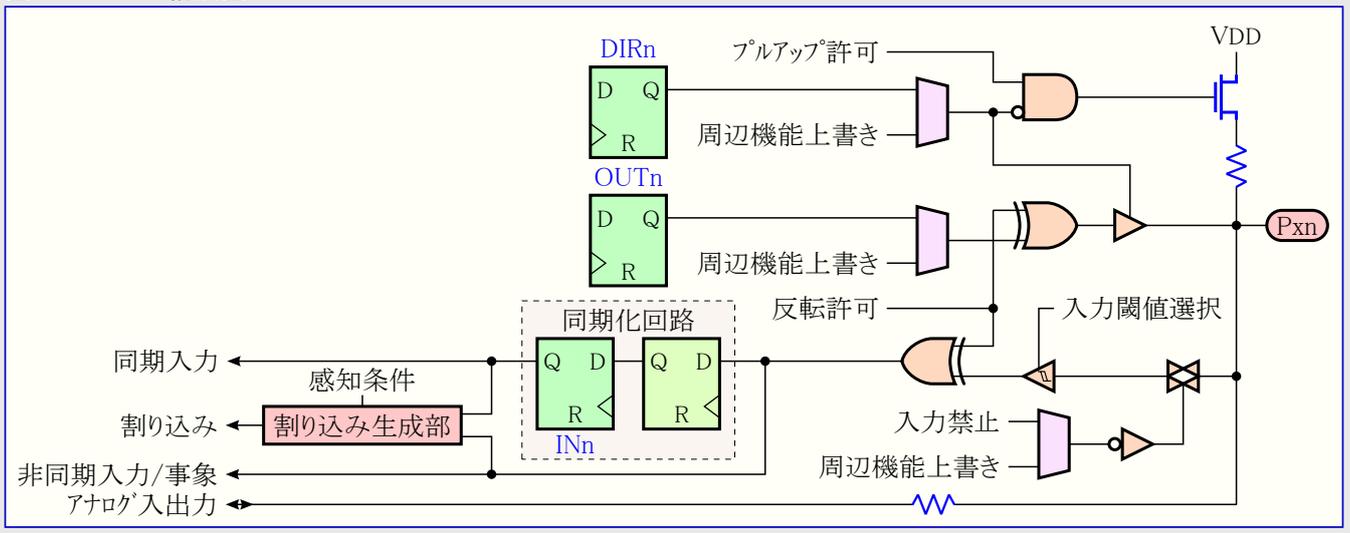
PORTは選択可能なピン変化条件に対して割り込みと事象と共に非同期の入力感知も支援します。非同期ピン変化感知はCLK\_PERが停止される休止動作を含み、割り込みを起動して休止からデバイスを起き上がらせることができることを意味します。

全てのピン機能はピン毎に個別に構成設定可能です。ピンは駆動値や入力と感知の構成設定の安全で正しい変更のためにハードウェア読み-変更-書き(RMW:Read-Modify-Write)機能を持ちます。

PORTピン構成設定は他のデバイス機能の入力と出力の選択も制御します。

#### 18.2.1. 構成図

図18-1. PORT構成図



#### 18.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
Pxn	入出力	PORTxのn入出力ピン

## 18.3. 機能的な説明

### 18.3.1. 初期化

リセット後、例えクロック走行がなくても、全ての出力がトライステート(Hi-Z)にされ、デジタル入力緩衝部が許可されます。

ポート動作を初期化する時に以下の手順は全て任意選択です。

- データ方向設定(PORTx.DIRSET)またはデータ方向解除(PORTx.DIRCLR)のレジスタのビットに各々'1'を書くことによってPxnピンに対して出力駆動部を許可または禁止にしてください。
- 出力値設定(PORTx.OUTSET)または出力値解除(PORTx.OUTCLR)のレジスタのビットに'1'を書くことによってPxnピンに対する出力駆動部を各々HighまたはLowの水準に設定してください。
- 入力値(PORTx.IN)レジスタのビットnを読むことによってPxnピンの入力を読んでください。
- ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタでPxnピンに対して個別ピン構成設定と割り込み制御を構成設定してください。

 **重要:** 最低消費電力のため、未使用ピンとアナログ入力または出力として使われるピンのデジタル入力緩衝部を禁止してください。許可されたデジタル入力緩衝部を持つピンについては可能な限り素早いHighとLowの電圧閾値間遷移が推奨されます。

デバッグに接続するのに使われるそれらのような特定ピンは、それらの特殊機能によって必要とされるため、違う様に構成設定されるでしょう。

### 18.3.2. 動作

#### 18.3.2.1. 基本機能

各ピン群(x)はそれ自身のPORTレジスタ一式を持ちます。入出力(Pxn)ピンはPORTx内のレジスタによって制御することができます。

出力としてピン番号nを使うには、データ方向(PORTx.DIR)レジスタのビットnに'1'を書いてください。これはデータ方向設定(PORTx.DIRSET)レジスタのビットnに'1'を書くことによっても行うことができ、これはその群内の他のピンの構成設定の妨害を避けます。出力値(PORTx.OUT)レジスタのビットnは望む出力値が書かれなければなりません。

同様に、出力値設定(PORTx.OUTSET)レジスタのビットへの'1'書き込みはPORTx.OUTレジスタの対応するビットを'1'に設定します。出力値解除(PORTx.OUTCLR)レジスタのビットへの'1'書き込みはPORTx.OUTレジスタのそのビットを'0'に解除します。出力値切り替え(PORTx.OUTTGL)または入力値(PORTx.IN)のレジスタのビットへの'1'書き込みはPORTx.OUTレジスタ内のそのビットを論理反転します。

ピンを入力として使うには出力駆動部を禁止するためにPORTx.DIRレジスタのビットnが'0'を書かれなければなりません。これはデータ方向解除(PORTx.DIRCLR)レジスタのビットnに'1'を書くことによっても行うことができ、これはその群内の他のピンの構成設定の妨害を避けます。入力値はピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの入力/感知構成設定(ISC)ビット領域が入力禁止(INPUT\_DISABLE)に設定されない限り、PORTx.INレジスタのビットnから読むことができます。

データ方向切り替え(PORTx.DIRTGL)での'1'書き込みはPORTx.DIRでそのビットを切り替え、対応するピンの方向を切り替えます。

#### 18.3.2.2. ポート構成設定

ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタは全てのPORTxピンに対するスレーブ制限を制御します。

スレーブ制限はPORTx.CTRLのスレーブ制限許可(SRL)ビットに'1'を書くことによって許可されます。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

#### 18.3.2.3. ピン構成設定

ピンの反転/I/O、プルアップ、入力感知を構成設定するのにピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタを使ってください。ピン用の制御レジスタはバイトアドレスのPORTx+\$10+nです。

各々のn番ピンの全ての入力と出力はPORTx.PINnCTRLの反転/I/O許可(INVEN)ビットに'1'を書くことによって反転することができます。INVENが'1'の時は、このピンに対してPORTx.IN/OUT/OUTSET/OUTCLRレジスタが反転操作になります。

INVENビットの交互切り替えは、このピンを使う全ての周辺機能によって検出することができるピンでの変化端(エッジ)を引き起こし、許可されていれば割り込みまたは事象によって見られます。

PORTx.PINnCTRLの入力基準選択(INLVL)ビットはピンnに対する入力電圧閾値を制御します。供給電圧から導き出したシュミットトリガ閾値またはTTL基準の選択が利用可能です。

入力閾値はPORTx.INレジスタのビットnの値を決めると、機能が許可されていれば割り込み状態を起こす基準でも重要です。

ピンnの入力プルアップはPORTx.PINnCTRLのプルアップ許可(PULLUPEN)ビットに'1'を書くことによって許可されます。プルアップは例えPULLUPENビットが'1'でも、ピンが出力として構成設定されると、切断されます。

ピン割り込みはPORTx.PINnCTRLの入力/感知構成設定(ISC)ビット領域に書くことによってピンnに対して許可されます。更なる詳細については「18.3.3. 割り込み」を参照してください。

ピン用のデジタル入力緩衝部はISCビット領域にINPUT\_DISABLE設定を書くことによって禁止することができます。これは消費電力を減らしてピンがアナログ入力として使われる場合に雑音を減らすでしょう。INPUT\_DISABLEに構成設定されている間、PORTx.INのビットnは入力同期部が禁止されるため変わりません。

### 18.3.2.4. 複数ピン構成設定

複数ピン構成設定機能は1操作で複数のポートピンを構成設定できます。先に望むピンの構成設定が**複数ピン構成設定(PORTx.PINCONFIG)レジスタ**に書かれ、選んだ変更するピンでの**複数ピン制御系(PORTx.PINCTRLUPD/SET/CLR)レジスタ**書き込みが後続し、1度の書き込みで8つまでのピンに対する構成設定(PORTx.PINnCTRL)変更を許します。



**助言:** PORTx.PINCONFIGレジスタは全てのポートに反映され、複数ポートに渡る単一設定の使用を許します。PORTx.PINCTRLUPD/SET/CLRレジスタは反映されず、構成設定は各ポートに対して書かれなければなりません。

複数ピン構成設定に対して、ポートピンは以下のレジスタへの書き込みによって構成設定して変更することができます。

表18-1. 複数ピン構成設定レジスタ

レジスタ	説明
PORTx.PINCONFIG	複数のPINCTRLレジスタへ同時構成設定準備のためPINnCTRL(ISC,PULLUPEN,INLVL,INVEN)設定
PORTx.PINCTRLUPD	PINCTRLUPDレジスタビットへの'1'書き込みがPINCONFIGレジスタ内容をPINnCTRLレジスタに複写。
PORTx.PINCTRLSET (注1)	PINCTRLSETレジスタのビットへの'1'書き込みはPINCONFIGレジスタで'1'に設定されたビットに従ってPINnCTRLレジスタの個別ビットを設定(1)します。
PORTx.PINCTRLCLR (注2)	PINCTRLCLRレジスタのビットへの'1'書き込みはPINCONFIGレジスタで'1'に設定されたビットに従ってPINnCTRLレジスタの個別ビットを解除(0)します。

**注1:** 0でないISCビット領域の構成設定にPINCTRLSETを使うと、PINCONFIGとPINnCTRLのレジスタでのビット単位論理和(OR)になります。これは予期せぬ設定を与えるかもしれません。

**注2:** 0でないISCビット領域の構成設定にPINCTRLCLRを使うと、PINCONFIGとPINnCTRLのレジスタでのビット単位反転論理積(AND)になります。これは予期せぬ設定を与えるかもしれません。

以下のコード断片は数個のポートの複数PINnCTRLレジスタ構成設定法を実演します。PINCONFIGレジスタが全てのポートに渡って反映されるため、この例ではポートAに1度書くだけで十分なことに注意してください。

```
PORTA.PINCONFIG = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc; /* PINnCTRLレジスタへ設定するための設定 */
PORTA.PINCTRLUPD = 0xff;
PORTB.PINCTRLUPD = 0xff;
PORTC.PINCTRLUPD = 0xff;
PORTD.PINCTRLUPD = 0xff;
PORTE.PINCTRLUPD = 0xff;
```

### 18.3.2.5. 仮想ポート

仮想ポートレジスタは最も頻繁に使われる通常のポートレジスタを単一周期ビットアクセスを持つI/Oレジスタ空間に割り当てます。仮想ポートレジスタへのアクセスは普通のレジスタへのアクセスと同じ結果を持ち、通常のポートレジスタが属す拡張I/Oレジスタ空間で使うことができないビット操作命令のようなメモリ特定命令を許します。右表はPORTとVPORTのレジスタ間の割り当てを示します。

**注:** 通常のPORTレジスタのアクセス直後に単一周期I/O命令を使って割り当てられたVPORTレジスタをアクセスするのを避けてください。これは単一周期I/O命令アクセスが通常のPORTレジスタアクセスよりも速いためメモリ衝突を起こすかもしれません。

表18-2. 仮想ポート割り当て

通常ポートレジスタ	割り当てられる仮想ポートレジスタ
PORTx.DIR	VPORTx.DIR
PORTx.OUT	VPORTx.OUT
PORTx.IN	VPORTx.IN
PORTx.INTFLAGS	VPORTx.INTFLAGS

### 18.3.2.6. 周辺機能優先

USART、ADC、計時器のような周辺機能は入出力ピンに接続されるでしょう。このような周辺機能は通常、ポート多重器(PORTMUX)またはその周辺機能内の多重器によって選択可能な基本と任意選択の1つ以上の代替入出力ピン接続を持ちます。このような周辺機能を構成設定して許可することにより、I/Oピン構成設定(PORT)によって制御される通常の汎用入出力ピンの動きは周辺機能に依存する方法で覆されます。いくつかの周辺機能はPORTレジスタの全てを覆さないかもしれず、入出力ピン操作のいくつかの面の制御をPORT単位部に残します。

周辺機能優先の情報については各周辺機能の記述を参照してください。周辺機能によって覆されないポートのどのピンも汎用入出力ピンとしての動作を続けます。

### 18.3.3. 割り込み

表18-3. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
PORTx	PORT割り込み	PORTx.INTFLAGSのINTnはPORTx.PINnCTRLの入力/感知構成設定(ISC)ビットによって構成設定されるとおりに掲げられます。

各PORTピンnは割り込み元として構成設定することができます。各割り込みは**ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの入力/感知構成設定(ISC)**へ書くことによって個別に許可または禁止することができます。

割り込み条件が起これると、周辺機能の**割り込み要求フラグ**(PORTx.INTFLAGS)レジスタで対応する**割り込み要求(INTn)フラグ**が設定(1)されます。

割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については周辺機能のINTFLAGSレジスタをご覧ください。

割り込み設定の設定または変更時、次のこれらの点を考慮してください。

- **入力/感知構成設定(ISC)**が変更されると同じ周期で**反転I/O許可(INVEN)ビット**が切り替えられる場合、反転切り替えによって引き起こされる端は割り込み要求を引き起こさないかもしれません。
- ピンに対する**入力基準選択(INLVL)**の変更は関連する割り込みと周辺機能単位部が禁止されている間に実行されなければなりません。単位部が活動中の閾値変更はそのピンでの実際の電圧値と無関係に、入力での一時的な状態遷移を生成するかもしれません。
- 割り込み同期中にISCへ書くことによって入力が禁止される場合、例えそれが違う割り込み設定で再許可されても、その特定割り込みが再許可で要求されるかもしれません。
- 割り込み同期中にISCへ書くことによって割り込み設定が変更される場合、その割り込みが要求されないかもしれません。

### 18.3.3.1. 非同期感知ピン特性

全てのポートピンは選択可能なピン変化条件に対する割り込みを持つ完全な非同期入力感知を支援します。完全な非同期ピン変化感知は割り込みを起動して、周辺機能クロック(CLK\_PER)が停止される動作形態を含めて全ての休止動作からデバイスを起き上がらせることができます。割り込みを起動するのに必要とされるパルス幅はCLK\_PER周期未満です。

### 18.3.4. 事象

PORTは以下の事象を生成することができます。

表18-4. PORTxの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成するクロック領域	事象の長さ
周辺機能	事象				
PORTx	EVGEN0SEL	ピン入力レベル	レベル	非同期	ピンレベルによって与えられます。
	EVGEN1SEL				

全てのポートピンは非同期事象システム生成部として構成設定することができます。各ポートに対して2つの事象生成部が利用可能です。ポートからの事象システムへの出力はデジタル入力駆動部が許可される場合に対応するピンに存在する値です。ピン入力駆動部が禁止される場合、事象システムの対応する出力は'0'です。

ポートは事象入力を持ちません。事象型と事象システム構成設定に関するより多くの詳細については「[EVSYS – 事象システム](#)」章を参照してください。

### 18.3.5. 休止形態動作

割り込みと入力の同期化の例外を除き、全てのピン構成設定は休止動作と無関係です。全てのピンはデバイスを休止から起き上がらせることができます。更なる詳細については**ポート割り込み部分**をご覧ください。

ポートに接続された周辺機能は各々の周辺機能のデータシート部分で記述される休止動作によって影響を及ぼされ得ます。

 **重要:** ポートは常に周辺機能クロック(CLK\_PER)を使います。このクロックが止まる時に入力同期化は停止します。

### 18.3.6. デバッグ操作

ポートはデバッグ動作でのCPU停止時に通常動作を続けます。ポートが割り込みまたは同様のものを通してCPUによって定期的に処理されるのを必要とするように構成設定する場合、デバッグ中に不正な動作やデータ損失が起こるかもしれません。

## 18.4. レジスタ要約 – PORTx

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	DIR	7~0	DIR7~0							
+\$01	DIRSET	7~0	DIRSET7~0							
+\$02	DIRCLR	7~0	DIRCLR7~0							
+\$03	DIRTGL	7~0	DIRTGL7~0							
+\$04	OUT	7~0	OUT7~0							
+\$05	OUTSET	7~0	OUTSET7~0							
+\$06	OUTCLR	7~0	OUTCLR7~0							
+\$07	OUTTGL	7~0	OUTTGL7~0							
+\$08	IN	7~0	IN7~0							
+\$09	INTFLAGS	7~0	INT7~0							
+\$0A	PORTCTRL	7~0								SRL
+\$0B	PINCONFIG	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$0C	PINCTRLUPD	7~0	PINCTRLUPD7~0							
+\$0D	PINCTRLSET	7~0	PINCTRLSET7~0							
+\$0E	PINCTRLCLR	7~0	PINCTRLCLR7~0							
+\$0F	予約									
+\$10	PIN0CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$11	PIN1CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$12	PIN2CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$13	PIN3CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$14	PIN4CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$15	PIN5CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$16	PIN6CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$17	PIN7CTRL	7~0	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
+\$18	EVGENCTRLA	7~0		EVGEN1SEL2~0				EVGEN0SEL2~0		

## 18.5. レジスタ説明 – PORTx

### 18.5.1. DIR – データ方向 (Data Direction)

名称 : DIR  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIR7~0							
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 – DIR7~0 : データ方向 (Data Direction)

このビット領域は各PORTxピンに対する出力駆動部を制御します。

このビット領域はデジタル入力緩衝部を制御しません。ピン(Pxn)用のデジタル入力緩衝部はピン制御(PORTx.PINnCTRL)の割り込み/感知構成設定(ISC)ビット領域で構成設定することができます。

下表はこのビット領域で各ビットnに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	Pxnは入力専用ピンとして構成、出力駆動部は禁止	Pxnは出力ピンとして構成、出力駆動部は許可

### 18.5.2. DIRSET – データ方向設定 (Data Direction Set)

名称 : DIRSET  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIRSET7~0							
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 – DIRSET7~0 : データ方向設定 (Data Direction Set)

このビット領域は読み-変更-書き操作を使わず、各PORTxピンに対する出力駆動部を制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みはデータ方向(PORTx.DIR)の対応するビットを設定(1)し、ピン(Pxn)を出力ピンとして構成設定して出力駆動部を許可します。

このビット領域の読み込みはPORTx.DIRの値を返します。

### 18.5.3. DIRCLR – データ方向解除 (Data Direction Clear)

名称 : DIRCLR  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIRCLR7~0							
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 – DIRCLR7~0 : データ方向解除 (Data Direction Clear)

このビット領域は読み-変更-書き操作を使わず、各PORTxピンに対する出力駆動部を制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みはデータ方向(PORTx.DIR)の対応するビットを解除(0)し、ピン(Pxn)を入力専用ピンとして構成設定して出力駆動部を禁止します。

このビット領域の読み込みはPORTx.DIRの値を返します。

#### 18.5.4. DIRTGL – データ方向切り替え (Data Direction Toggle)

名称 : DIRTGL  
変位 : +\$03  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIRTGL7~0							
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 – DIRTGL7~0 : データ方向切り替え (Data Direction Toggle)

このビット領域は読み-変更-書き操作を使わず、各PORTxピンに対する出力駆動部を制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みはデータ方向(PORTx.DIR)の対応するビットを反転切り替えます。

このビット領域の読み込みはPORTx.DIRの値を返します。

#### 18.5.5. OUT – 出力値 (Output Value)

名称 : OUT  
変位 : +\$04  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OUT7~0							
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 – OUT7~0 : 出力値 (Output Value)

このビット領域は各PORTxピンに対する出力駆動部レベルを制御します。

この構成設定は対応するピンに対して駆動部(PORTx.DIR)が許可される時にだけ出力に影響を及ぼします。

下表はこのビット領域の各ビットnに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(Pxn)出力はLowに駆動されます。	Pxn出力はHighに駆動されます。

#### 18.5.6. OUTSET – 出力値設定 (Output Value Set)

名称 : OUTSET  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OUTSET7~0							
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 – OUTSET7~0 : 出力値設定 (Output Value Set)

このビット領域は読み-変更-書き操作を使わず、各PORTxピンに対する出力駆動部レベルを制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは出力値(PORTx.OUT)の対応するビットを設定(1)し、ピン(Pxn)に対する出力をHighに駆動するように構成設定します。

このビット領域の読み込みはPORTx.OUTの値を返します。

### 18.5.7. OUTCLR – 出力値解除 (Output Value Clear)

名称 : OUTCLR  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OUTCLR7~0							
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 – OUTCLR7~0 : 出力値解除 (Output Value Clear)

このビット領域は読み-変更-書き操作を使わず、各PORTxピンに対する出力駆動部レベルを制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは出力値(PORTx.OUT)の対応するビットを解除(0)し、ピン(Pxn)に対する出力をLowに駆動するように構成設定します。

このビット領域の読み込みはPORTx.OUTの値を返します。

### 18.5.8. OUTTGL – 出力値切り替え (Output Value Toggle)

名称 : OUTTGL  
変位 : +\$07  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OUTTGL7~0							
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 – OUTTGL7~0 : 出力値切り替え (Output Value)

このビット領域は読み-変更-書き操作を使わず、各PORTxピンに対する出力駆動部レベルを制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは出力値(PORTx.OUT)の対応するビットを反転切り替えます。

このビット領域の読み込みはPORTx.OUTの値を返します。

### 18.5.9. IN – 入力値 (Input Value)

名称 : IN  
変位 : +\$08  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	IN7~0							
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 – IN7~0 : 入力値 (Input Value)

このビット領域はデジタル入力緩衝部が許可される時にPORTxピンの状態を示します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは出力値(PORTx.OUT)の対応するビットを反転切り替えます。

デジタル入力緩衝部が禁止される場合、入力は採取されず、ビット値は変わりません。ピン(Pxn)用のデジタル入力緩衝部はピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの入力/感知構成設定(ISC)ビット領域で構成設定することができます。

下表はこのビット領域の各ビットnで利用可能な状態を示します。

値	0	1
説明	Pxnでの電圧水準はLowです。	Pxnでの電圧水準はHighです。

### 18.5.10. INTFLAGS – 割り込み要求フラグ (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$09  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INT7~0							
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 – INT7~0 : ピン割り込み要求フラグ (Interrupt Pin Flag)

ピン割り込み要求フラグはそれに '1' を書くことによって解除(0)されます。

ピン割り込み要求フラグはピンn(Pxn)の変化または状態がピン制御(PORTx.PINnCTRL)のそのピンの入力/感知構成設定(ISC)に一致する時に設定(1)されます。

このビット領域のビットnへの '0' 書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの '1' 書き込みはピン割り込み要求フラグを解除(0)します。

### 18.5.11. PORTCTRL – ポート制御 (Port Control)

名称 : PORTCTRL  
変位 : +\$0A  
リセット : \$00  
特質 : -

このレジスタはこのポートに対するスローレート制限許可ビットを含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								SRL
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 – SRL : スローレート制限許可 (Slew Rate Limit Enable)

このビットはPORTxの全てのピンに対してスローレート制限を制御します。

値	0	1
説明	PORTxの全ピンに対してスローレート制限が禁止	PORTxの全ピンに対してスローレート制限が許可

### 18.5.12. PINCONFIG – 複数ピン構成設定 (Multi-Pin Configuration)

名称 : PINCONFIG  
変位 : +\$0B  
リセット : \$00  
特質 : -

ポート単位部のより速い構成設定のため、複数構成設定書き込みは単一周期でポートのいくつかのピンの構成設定を許します。特に多ピン数のデバイスで、この機能はPORTピン構成設定操作をかなり速めることができます。

このレジスタへの書き込みはPORTxに対するピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタを更新するため、複数ピン制御系(PORTx.PINCTRL)UPD/SET/CLRレジスタのどれかへの書き込みが後続されるでしょう。

このレジスタは全てのPORTx単位部に渡って反映されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
アクセス種別	R/W	R/W	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7 – INVEN : 反転I/O許可 (Inverted I/O Enable)

このビットはピンnに対する入力と出力が反転されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	入出力値は反転されません。	入出力値は反転されます。

● ビット6 – INLVL : 入力基準選択 (Input Level Select)

このビットはポート入力読み込みと割り込み条件に使われるピンに対する入力電圧閾値を制御します。

値	0	1
名称	ST	TTL
説明	供給水準から導き出されたシュミットトリガ	TTL基準

● ビット3 – PULLUPEN : プルアップ許可 (Pullup Enable)

このビットはピンが入力専用として構成設定される時にピンの内部プルアップが許可される否かを制御します。

値	0	1
説明	プルアップ禁止	プルアップ許可

● ビット2~0 – ISC2~0 : 入力/感知構成設定 (Input/Sense Configuration)

このビット領域はピンの入力と感知の構成設定を制御します。感知構成設定はポート割り込みを起動するピン条件を決めます。

値	名称	説明
000	INTDISABLE	割り込み禁止、けれどもデジタル入力緩衝部許可
001	BOTHEDGES	両端感知で割り込み許可
010	RISING	上昇端感知で割り込み許可
011	FALLING	下降端感知で割り込み許可
100	INPUT_DISABLE	割り込みとデジタル入力緩衝部を禁止 (注1)
101	LEVEL	Lowレベル感知で割り込み許可 (注2)
11x	-	(予約)

注1: ピンのデジタル入力緩衝部が禁止される場合、入力値(PORTx.IN)レジスタのビットnは更新されません。

注2: LEVEL割り込みはピンがLowに留まる限り継続的に起動し続けます。

### 18.5.13. PINCTRLUPD – 複数ピン制御更新許可 (Multi-Pin Control Update Mask)

名称 : PINCTRLUPD

変位 : +\$0C

リセット : \$00

特質 : -

ポート単位部のより速い構成設定のため、複数構成設定書き込みは単一周期でいくつかのポートピンの構成設定を許します。特に多ピン数のデバイスで、この機能はPORTピン構成設定操作をかなり速めることができます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PINCTRLUPD7~0							
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 – PINCTRLUPD7~0 : 複数ピン制御更新許可 (Multi-Pin Control Update Mask)

このビット領域は各レジスタに対する個別書き込みを使わず、個別ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタに複数ピン構成設定(PORTx.PINCONFIG)レジスタ内容の複写を制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みはPORTx.PINCONFIGレジスタ内容を対応するPORTx.PINnCTRLレジスタに複写します。

このビット領域の読み込みは常に0を返します。

### 18.5.14. PINCTRLSET – 複数ピン制御設定許可 (Multi-Pin Control Set Mask)

名称 : PINCTRLSET

変位 : +\$0D

リセット : \$00

特質 : -

ポート単位部のより速い構成設定のため、複数構成設定書き込みは単一周期でいくつかのポートピンの構成設定を許します。特に多ピン数のデバイスで、この機能はPORTピン構成設定操作をかなり速めることができます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PINCTRLSET7~0							
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 – PINCTRLSET7~0 : 複数ピン制御設定許可 (Multi-Pin Control Set Mask)**

このビット領域は各レジスタに対する個別読み-変更-書きし操作を使わず、個別ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタでの複数ビット設定を制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは複数ピン構成設定(PORTx.PINCONFIG)レジスタで'1'に設定されているビットに従ってPORTx.PINnCTRLレジスタの個別ビットを設定します。

このビット領域の読み込みは常に0を返します。

**18.5.15. PINCTRLCLR – 複数ピン制御解除許可 (Multi-Pin Control Clear Mask)**

名称 : PINCTRLCLR

変位 : +\$0E

リセット : \$00

特質 : -

ポート単位部のより速い構成設定のため、複数構成設定書き込みは単一周期でいくつかのポートピンの構成設定を許します。特に多ピン数のデバイスで、この機能はPORTピン構成設定操作をかなり速めることができます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PINCTRLCLR7~0							
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 – PINCTRLCLR7~0 : 複数ピン制御解除許可 (Multi-Pin Control Clear Mask)**

このビット領域は各レジスタに対する個別読み-変更-書きし操作を使わず、個別ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタでの複数ビット解除を制御します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは複数ピン構成設定(PORTx.PINCONFIG)レジスタで'1'に設定されているビットに従ってPORTx.PINnCTRLレジスタの個別ビットを解除します。

このビット領域の読み込みは常に0を返します。

**18.5.16. PINnCTRL – ピン制御 (Pin n Control)**

名称 : PIN0CTRL : PIN1CTRL : PIN2CTRL : PIN3CTRL : PIN4CTRL : PIN5CTRL : PIN6CTRL : PIN7CTRL

変位 : +\$10 : +\$11 : +\$12 : +\$13 : +\$14 : +\$15 : +\$16 : +\$17

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INVEN	INLVL			PULLUPEN		ISC2~0	
アクセス種別	R/W	R/W	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7 – INVEN : 反転I/O許可 (Inverted I/O Enable)**

このビットはピンnに対する入力と出力が反転されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	入出力値は反転されません。	入出力値は反転されます。

● **ビット6 – INLVL : 入力基準選択 (Input Level Select)**

このビットはポート入力読み込みと割り込み条件に使われるピンnに対する入力電圧閾値を制御します。

値	0	1
名称	ST	TTL
説明	供給水準から導き出されたシュミットトリガ	TTL基準

● ビット3 – PULLUPEN : プルアップ許可 (Pullup Enable)

このビットはピンが入力専用として構成設定される時にピンの内部プルアップが許可される否かを制御します。

値	0	1
説明	プルアップ禁止	プルアップ許可

● ビット2~0 – ISC2~0 : 入力/感知構成設定 (Input/Sense Configuration)

このビット領域はピンの入力と感知の構成設定を制御します。感知構成設定はポート割り込みを起動する方法を決めます。

値	名称	説明
000	INTDISABLE	割り込み禁止、けれどもデジタル入力緩衝部許可
001	BOTHEDGES	両端感知で割り込み許可
010	RISING	上昇端感知で割り込み許可
011	FALLING	下降端感知で割り込み許可
100	INPUT_DISABLE	割り込みとデジタル入力緩衝部を禁止 (注1)
101	LEVEL	Lowレベル感知で割り込み許可 (注2)
11x	-	(予約)

注1: ピン<sub>n</sub>のデジタル入力緩衝部が禁止される場合、入力値(PORTx.IN)レジスタのビット<sub>n</sub>は更新されません。

注2: LEVEL割り込みはピンがLowに留まる限り継続的に起動し続けます。

18.5.17. EVGENCTRLA – 事象生成部制御A (Event Generator Control A)

名称 : EVGENCTRLA

変位 : +\$18

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	EVGEN1SEL2~0				EVGEN0SEL2~0			
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6~4,2~0 – EVGENnSEL2~0 : 事象生成部<sub>n</sub>選択 (Event Generator n Select)

このビット領域はどのピンが事象生成部<sub>n</sub>に接続されるかを制御します。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	PIN0	PIN1	PIN2	PIN3	PIN4	PIN5	PIN6	PIN7
説明	P <sub>x</sub> 0	P <sub>x</sub> 1	P <sub>x</sub> 2	P <sub>x</sub> 3	P <sub>x</sub> 4	P <sub>x</sub> 5	P <sub>x</sub> 6	P <sub>x</sub> 7

## 18.6. レジスタ要約 – VPORTx

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	DIR	7~0					DIR7~0			
+\$01	OUT	7~0					OUT7~0			
+\$02	IN	7~0					IN7~0			
+\$03	INTFLAGS	7~0					INT7~0			

## 18.7. レジスタ説明 – VPORTx

### 18.7.1. DIR – データ方向 (Data Direction)

名称 : DIR  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

仮想ポートレジスタへのアクセスは普通のレジスタへのアクセスと同じ結果を持ち、通常のポートレジスタが属す拡張I/Oレジスタ空間で使うことができないビット操作命令のようなメモリ特定命令を許します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIR7~0							
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 – DIR7~0 : データ方向 (Data Direction)

このビット領域は各PORTxピンに対する出力駆動部を制御します。

このビット領域はデジタル入力緩衝部を制御しません。ピン(Pxn)用のデジタル入力緩衝部はピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの割り込み/感知構成設定(ISC)ビット領域で構成設定することができます。

下表はこのビット領域で各ビットnに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	Pxnは入力専用ピンとして構成、出力駆動部は禁止	Pxnは出力ピンとして構成、出力駆動部は許可

### 18.7.2. OUT – 出力値 (Output Value)

名称 : OUT  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

仮想ポートレジスタへのアクセスは普通のレジスタへのアクセスと同じ結果を持ち、通常のポートレジスタが属す拡張I/Oレジスタ空間で使うことができないビット操作命令のようなメモリ特定命令を許します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OUT7~0							
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 – OUT7~0 : 出力値 (Output Value)

このビット領域は各PORTxピンに対する出力駆動部レベルを制御します。

この構成設定は対応するピンに対して駆動部(PORTx.DIR)が許可される時にだけ出力に影響を及ぼします。

下表はこのビット領域の各ビットnに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(Pxn)出力はLowに駆動されます。	Pxn出力はHighに駆動されます。

### 18.7.3. IN – 入力値 (Input Value)

名称 : IN  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

仮想ポートレジスタへのアクセスは普通のレジスタへのアクセスと同じ結果を持ち、通常のポートレジスタが属す拡張I/Oレジスタ空間で使うことができないビット操作命令のようなメモリ特定命令を許します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	IN7~0							
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 – IN7~0 : 入力値 (Input Value)

このビット領域はデジタル入力緩衝部が許可される時にPORTxピンの状態を示します。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みは出力値(PORTx.OUT)の対応するビットを反転切り替えます。

デジタル入力緩衝部が禁止される場合、入力は採取されず、ビット値は変わりません。ピンn(Pxn)用のデジタル入力緩衝部はピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの入力/感知構成設定(ISC)ビット領域で構成設定することができます。

下表はこのビット領域の各ビットnに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	Pxnでの電圧水準はLowです。	Pxnでの電圧水準はHighです。

18.7.4. INTFLAGS – 割り込み要求フラグ (Interrupt Flag)

名称 : INTFLAGS

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

仮想ポートレジスタへのアクセスは普通のレジスタへのアクセスと同じ結果を持ち、通常のポートレジスタが属す拡張I/Oレジスタ空間で使うことができないビット操作命令のようなメモリ特定命令を許します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INT7~0							
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 – INT7~0 : ピン割り込み要求フラグ (Interrupt Pin Flag)

ピン割り込み要求フラグはそれに'1'を書くことによって解除(0)されます。

ピン割り込み要求フラグはピンn(Pxn)の変化または状態がピン制御(PORTx.PINnCTRL)のそのピンの入力/感知構成設定(ISC)に一致する時に設定(1)されます。

このビット領域のビットnへの'0'書き込みは無効です。

このビット領域のビットnへの'1'書き込みはピン割り込み要求フラグを解除(0)します。

## 19. BOD - 低電圧検出器 (BOD:Brownout Detector)

### 19.1. 特徴

- 低電圧検出は設定可能な基準未満での動作を避けるために電源を監視します。
- 利用可能な3つの動作形態
  - 継続動作で許可
  - 採取動作で許可
  - 禁止
- 活動動作と休止動作に対して独立した動作形態を選択
- 割り込みを持つ電圧水準監視部(VLM)
- BOD基準に比例した設定可能なVLM基準

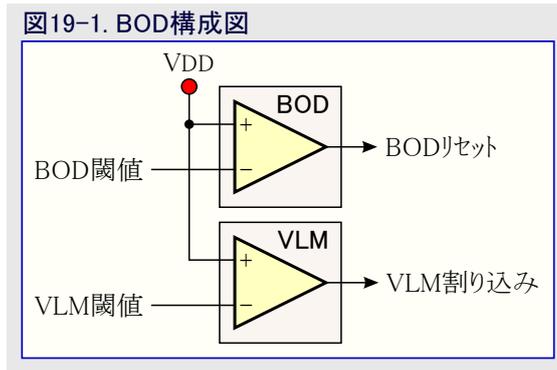
### 19.2. 概要

低電圧検出器(BOD)は電源を監視して供給電圧を設定可能な低電圧閾値基準と比べます。低電圧閾値基準はシステムリセットを生成する時を定義します。電圧水準監視部(VLM)も電源を監視してそれをBOD閾値よりも高い閾値と比べます。そしてVLMは供給電圧がBOD閾値に近づいている時に”早期警告”として割り込み要求を生成することができます。VLM閾値基準はBOD閾値基準の%超えとして表現されます。

BODは主にヒューズによって制御され、使用者によって許可されなければなりません。スタンバイ休止動作とパワーダウン休止動作で使われる動作形態は標準プログラム実行で変更することができます。VLMは更にI/Oレジスタによっても制御されます。

有効にされると、BODはBODが継続的に活動する許可動作形態で、またはBODが供給電圧水準を検査するのに与えられた周期で一時的に活動にされる採取動作形態で動作することができます。

#### 19.2.1. 構成図



### 19.3. 機能的な説明

#### 19.3.1. 初期化

BOD設定はリセットの間にヒューズから設定されます。活動動作とアイドル休止動作でのBOD基準と動作形態はヒューズによって設定され、ソフトウェアによって変更することができません。スタンバイ休止動作とパワーダウン休止動作での動作形態はヒューズによって設定され、ソフトウェアによって変更することができます。

電圧水準監視部機能は割り込み制御(BOD.INTCTRL)レジスタのVLM割り込み許可(VLMIE)ビットに'1'を書くことによって許可することができます。VLM割り込みはBOD.INTCTRLレジスタのVLM構成設定(VLMCFG)ビットを書くことによって構成設定されます。割り込みは供給電圧が上または下のどちらかからVLM閾値を横切る時に要求されます。

VLM機能はBOD動作に従います。BODが禁止された場合、VLMは例えVLMIEが'1'でも許可されません。BODが採取動作を使う場合、VLMも採取にされます。VLM割り込み許可時、割り込み要求フラグはVLMCFGが\$2と等しい場合に常に設定(1)され、VLMCFGが\$0または\$1に構成設定される場合に設定(1)されるかもしれません。

VLM閾値はVLM制御A(BOD.VLMCTRLA)レジスタのVLM基準(VLMLVL)ビットを書くことによって定義されます。

#### 19.3.2. 割り込み

名称	ベクタ説明	条件
VLM	電圧水準監視部	割り込み制御(BOD.INTCTRL)レジスタのVLM構成設定(VLMCFG)ビットによって構成されるように供給電圧がVLM閾値を横断

VLM割り込みはCPUがデバッグ動作で停止されている場合に実行されません。

割り込み条件が起ると、周辺機能の割り込み要求フラグ(BOD.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。

割り込み元は周辺機能の割り込み制御(BOD.INTCTRL)レジスタで対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。

割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については周辺機能のINTFLAGSレジスタをご覧ください。

### 19.3.3. 休止形態動作

各種休止動作でのBOD構成設定はヒューズによって定義されます。活動動作とアイドル休止動作で使われる動作形態はBOD構成設定(FUSE.BODCFG)の活動とアイドルでのBOD動作形態(ACTIVE)ヒューズによって定義され、これは制御A(BOD.CTRLA)レジスタの活動/アイドル時動作(ACTIVE)ビット領域に設定されます。スタンバイ休止動作とパワーダウン休止動作で使われる動作形態はFUSE.BODCFGの休止でのBOD動作形態(SLEEP)ヒューズによって定義され、これは制御A(BOD.CTRLA)レジスタのスタンバイ/パワーダウン時動作(SLEEP)ビット領域に設定されます。

活動動作とアイドル休止動作(即ち、BOD.CTRLAのACTIVE)での動作形態はソフトウェアによって変更することができません。スタンバイ休止動作とパワーダウン休止動作での動作形態は制御A(BOD.CTRLA)レジスタの休止(SLEEP)ビット領域への書き込みによって変更することができます。

デバイスがスタンバイ休止動作またはパワーダウン休止動作へ行く時に、BODはBOD.CTRLAのSLEEPによって定義されるように動作形態を変更します。デバイスがスタンバイまたはパワーダウンの休止動作から起き上がる時に、BODは制御A(BOD.CTRLA)レジスタのACTIVEビット領域によって定義される動作形態で動きます。

### 19.3.4. 構成設定変更保護

この周辺機能は構成設定変更保護(CCP)下にあるレジスタを持ちます。これらへ書くには最初に構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタへ与えられた鍵が書かれ、4 CPU命令以内に保護されたビットへの書き込みアクセスが後続しなければなりません。

適切なCCP解錠手順に従わずに保護されたレジスタへ書こうとすると、それを無変化のままにします。

右のレジスタがCCP下です。

表19-2. BOD - 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
BOD.CTRLAのSLEEPビット	IOREG

## 19.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0				SAMPFREQ	ACTIVE1,0		SLEEP1,0	
+\$01	CTRLB	7~0							LVL2~0	
+\$02 ~ +\$07	予約									
+\$08	VLMCTRLA	7~0							VLMLVL1,0	
+\$09	INTCTRL	7~0						VLMCFG1,0		VLMIE
+\$0A	INTFLAGS	7~0								VLMIF
+\$0B	STATUS	7~0								VLMS

## 19.5. レジスタ説明

### 19.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA

変位 : +\$00

リセット : FUSE.BODCFGヒューズから設定

特質 : 構成設定変更保護 (SLEEPビットのみ)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				SAMPFREQ	ACTIVE1,0		SLEEP1,0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	x	x	x	x	x

#### ● ビット4 - SAMPFREQ : 採取周波数 (Sample Frequency)

このビットはBOD採取周波数を制御します。

リセット値はFUSE.BODCFGのBOD採取周波数(SAMPFREQ)ビットから取得/設定されます。

値	0	1
説明	採取周波数は128Hzです。	採取周波数は32Hzです。

#### ● ビット3,2 - ACTIVE1,0 : 活動/アイドル時動作 (Active)

これらのビットはデバイスが活動動作とアイドル休止動作の時のBOD動作形態を選びます。

リセット値はFUSE.BODCFGの活動とアイドルでのBOD動作形態(ACTIVE)ビットから取得/設定されます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	ENABLED	SAMPLE	ENABLEWAIT
説明	禁止	継続動作で許可	採取動作で許可	継続動作で許可。実行は起き上がりでBODが動くまで停止

#### ● ビット1,0 - SLEEP1,0 : スタンバイ/パワーダウン時動作 (Sleep)

これらのビットはデバイスがスタンバイとパワーダウンの休止動作の時のBOD動作形態を選びます。

リセット値はFUSE.BODCFGの休止でのBOD動作形態(SLEEP)ビットから取得/設定されます。

このビットは構成設定変更保護(CCP)下です。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	ENABLED	SAMPLED	-
説明	禁止	継続動作で許可	採取動作で許可	(予約)

### 19.5.2. CTRLB - 制御B (Control B)

名称 : CTRLB

変位 : +\$01

リセット : FUSE.BODCFGヒューズから設定

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							LVL2~0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	x	x	x

#### ● ビット2~0 - LVL2~0 : BOD基準 (BOD Level)

このビット領域はBOD閾値基準を制御します。

リセット値はBOD構成設定(FUSE.BODCFG)ヒューズのBOD基準(LVL)ビットから取得/設定されます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	その他
名称	BODLEVEL0	BODLEVEL1	BODLEVEL2	BODLEVEL3	-
代表値	1.75V	1.90V	2.60V	4.30V	(予約)

注: ・ BODLEVEL0はチップ消去中だけ許可されます。通常動作中のこのビット領域への'0'書き込みはBOD禁止と同じです。

・ BOD基準特性と更なる詳細については表36-14を参照してください。

### 19.5.3. VLMCTRLA - VLM制御A (VLM Control A)

名称 : VLMCTRLA  
 変位 : +\$08  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							VLMLVL1,0	
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1,0 - VLMLVL1,0 : VLMレベル (VLM Level)

これらのビットはBOD閾値(BOD.CTRLBのLVL)に相対する電圧水準監視部(VLM)閾値を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	OFF	5ABOVE	15ABOVE	25ABOVE
説明	VLM禁止	BOD閾値+5%がVLM閾値	BOD閾値+15%がVLM閾値	BOD閾値+25%がVLM閾値

### 19.5.4. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
 変位 : +\$09  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							VLMCFG1,0	VLMIE
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット2,1 - VLMCFG1,0 : VLM構成設定 (VLM Configuration)

これらのビットはどの出来事がVLM割り込みを起動するかを選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	FALLING	RISING	BOTH	-
説明	VDDがVLM閾値未満へ下降	VDDがVLM閾値越えへ上昇	VDDがVLM閾値を横切る	(予約)

#### ● ビット0 - VLMIE : VLM割り込み許可 (VLM Interrupt Enable)

このビットへの'1'書き込みは電圧水準監視部(VLM)割り込みを許可します。

### 19.5.5. INTFLAGS - VLM割り込み要求フラグ (VLM Interrupt Flag)

名称 : INTFLAGS  
 変位 : +\$0A  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								VLMIF
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 - VLMIF : VLM割り込み要求フラグ (VLM Interrupt Flag)

このフラグは割り込み制御(BOD.INTCTRL)レジスタのVLM構成設定(VLMCFG)ビットによって構成設定されるように、VLMからの起動が与えられる時に設定(1)されます。このフラグはBODが許可されている時にだけ更新されます。

## 19.5.6. STATUS - VLM状態 (VLM Status)

名称 : STATUS

変位 : +\$0B

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								VLMS
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 - VLMS : VLM状態 (VLM Status)

このビットはBODが許可されている時にだけ有効です。

値	0	1
名称	ABOVE	BELOW
説明	電圧はVLM閾値基準越えです。	電圧はVLM閾値基準未満です。

## 20. VREF - 基準電圧

### 20.1. 特徴

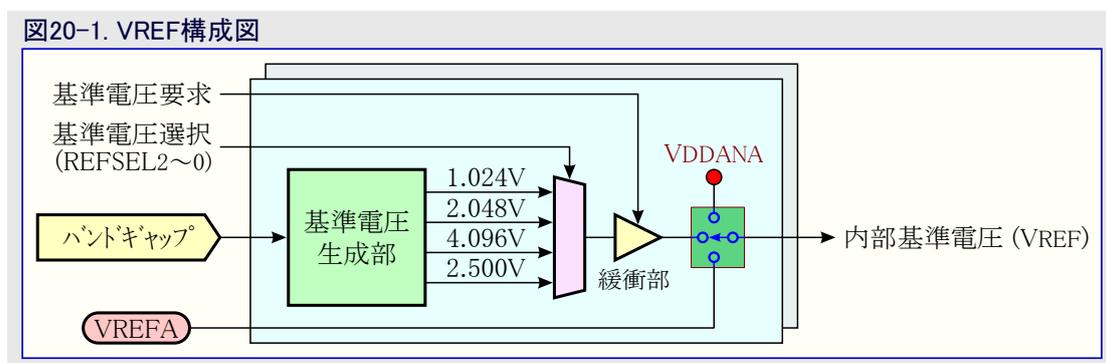
- 設定可能な基準電圧源
  - 全てのアナログ比較器(AC0)間で共用される1つの参照基準
- 各参照基準元は以下の電圧を支援
  - 1.024V
  - 2.048V
  - 4.096V
  - 2.500V
  - VDD
  - VREFA

### 20.2. 概要

基準電圧(VREF)周辺機能はいくつかの周辺機能によって使われる基準電圧源用の制御レジスタを提供します。VREF周辺機能の適切なレジスタを書くことによってAC0に対する基準電圧を選ぶことができます。

基準電圧源は周辺機能によって要求される時に自動的に許可されます。使用者は基準電圧源を許可することができ、[アナログ比較器参照基準\(VREF.ACREF\)](#)で[参照基準常時ON\(ALWAYSON\)](#)ビットに'1'を書くことによって未使用供給元の自動禁止を無効にすることができ、増される消費電力を犠牲にして始動時間を減らします。

#### 20.2.1. 構成図



### 20.3. 機能的な説明

#### 20.3.1. 初期化

既定構成設定はAC0が基準電圧を要求する時に供給元を許可します。既定の基準電圧は1.024Vですが、[アナログ比較器参照基準\(ACREF\)](#)レジスタで[参照基準選択\(REFSEL\)](#)ビット領域を書くことによって構成設定することができます。

## 20.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00 ~ +\$03	予約									
+\$04	ACREF	7~0	ALWAYSON						REFSEL2~0	

## 20.5. レジスタ説明

### 20.5.1. ACREF - アナログ比較器参照基準 (Analog Comparator Reference)

名称 : ACREF

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ALWAYSON					REFSEL2~0		
アクセス種別	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット7 - ALWAYSON : 参照基準常時ON (Reference Always ON)

このビットはACnの参照基準が常時ONか否かを制御します。

値	0	1
説明	参照基準は必要とされる時に自動的に許可されます。	参照基準は常にONです。

● ビット2~0 - REFSEL2~0 : 参照基準選択 (Reference Select)

このビット領域はアナログ比較器(ACn)用の基準電圧水準を制御します。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	1V024	2V048	4V096	2V500	-	VDD	VREFA	-
説明	内部1.024V 参照基準(注)	内部2.048V 参照基準(注)	内部4.096V 参照基準(注)	内部2.500V 参照基準(注)	(予約)	参照基準 としてVDD	VREFAピンからの 外部参照基準	(予約)

注: 内部参照基準に対して与えられる値は代表値だけです。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

## 21. WDT - ウォッチドッグ タイマ

### 21.1. 特徴

- ・ 時間超過前にウォッチドッグ タイマが解消されない場合にシステム リセットを発行
- ・ 独立した発振器を用いる周辺機能クロックからの非同期動作
- ・ 32.768kHz超低電力発振器(OSC32K)の1.024kHz出力を使用
- ・ 8msから8sまで11種の選択可能な時限期間
- ・ 2つの動作形態
  - 標準動作
  - 窓動作
- ・ 望まれない変更を防ぐための構成設定施錠

### 21.2. 概要

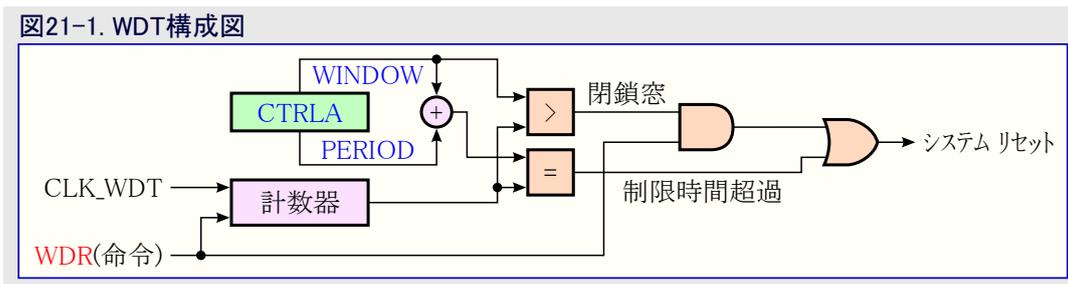
ウォッチドッグ タイマ(WDT)は正しいプログラム動作を監視するためのシステム機能です。許可されると、WDTは構成設定可能な時限期間で継続的に計時器を動かします。WDTが制限期間内にリセットされなければ、システム リセットを発行し、これは暴走や停滞されたコードのような状況からの回復をシステムに許します。WDTはソフトウェアからWDR(Watchdog Timer Reset)命令を実行することによってリセットされます。

上で記述されたような標準動作に加えて、WDTは窓動作を持ちます。窓動作はWDTがリセットされなければならない間の制限時間内側の時間幅または”窓”を定義します。WDTが速すぎまたは遅すぎでこの窓の外側でリセットされた場合、システム リセットが発行されます。標準動作に比べ、窓動作はコード異常が一定のWDR実行を引き起こす状況を捕らえることができます。

許可されると、WDTは活動動作と全ての休止動作で動きます。これが非同期の(CPUから独立したクロック元から動く)ため、例え主クロックが動かなくても、動作を継続してシステム リセットを発行することができます。

WDTは構成設定変更保護(CCP)機構と施錠機能を持ち、WDT設定が事故によって変更され得ないことを保証します。

#### 21.2.1. 構成図



### 21.3. 機能的な説明

#### 21.3.1. 初期化

1. WDTは制御A(WDT.CTRLA)レジスタの制限期間(PERIOD)ビット領域に0以外の値が書かれる時に許可されます。
2. 任意選択: 窓形態動作を許可するにはWDT.CTRLAレジスタの窓(WINDOW)ビット領域に0以外の値を書いてください。

制御A(WDT.CTRLA)レジスタの全ビットと状態(WDT.STATUS)レジスタの施錠(LOCK)ビットは構成設定変更保護機構によって書き込み保護されます。

ウォッチドッグ構成設定(FUSE.WDTCFG)ヒューズはWDT.CTRLAレジスタのリセット値を定義します。FUSE.WDTCFGのウォッチドッグ制限時間周期(PERIOD)ビット領域が0以外なら、起動時にWDTが許可されてWDT.STATUSレジスタのLOCKビットが設定(1)されます。

#### 21.3.2. クロック

1.024kHzクロック(CLK\_WDT)は内部超低電力発振器(OSC32K)から供給されます。超低電力設計のため、この発振器はデバイスで特徴とされる他の発振器よりもかなり不正確で、従って正確な時限期間はデバイス毎に変わるかもしれません。全てのデバイスに対して使われる時限期間が有効なことを保証するため、WDTを使うソフトウェア設計時にこの変化が考慮されなければなりません。

WDTクロック(CLK\_WDT)は周辺機能クロックに対して非同期です。この非同期性のため、WDT制御A(WDT.CTRLA)レジスタへの書き込みはクロック領域間の同期が必要とされます。更なる詳細については「21.3.6. 同期」を参照してください。

## 21.3.3. 動作

### 21.3.3.1. 標準動作

標準動作操作では、WDTに単一制限期間が設定されます。WDTが定義された時限期間中にWDR命令を用いてソフトウェアからリセットされない場合、WDTはシステムリセットを発行します。

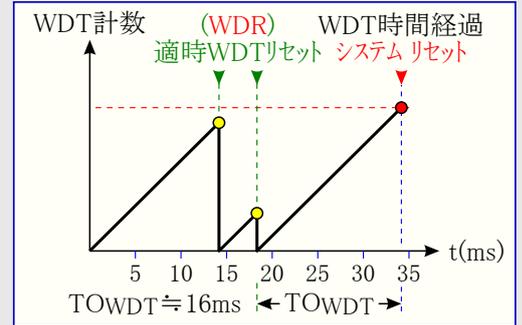
WDTがWDR命令を用いてソフトウェアによってリセットされる時毎に新しいWDT時限期間が開始されます。

制御A(WDT.CTRLA)レジスタの制限期間(PERIOD)ビット領域に書くことによって8msから8sまで選択可能な11個の可能なWDT時限期間(TOWDT)があります。

右図は標準動作でのWDT操作に対する代表的なタイミング体系を示します。

標準動作は制御A(WDT.CTRLA)レジスタの窓期間(WINDOW)ビット領域が'0000'である限り許可されます。

図21-2. 標準動作操作



### 21.3.3.2. 窓動作

窓動作操作では、WDTが次のような2つの異なる制限期間、閉鎖窓制限期間(TOWDTW)と開放窓制限期間(TOWDT)を使います。

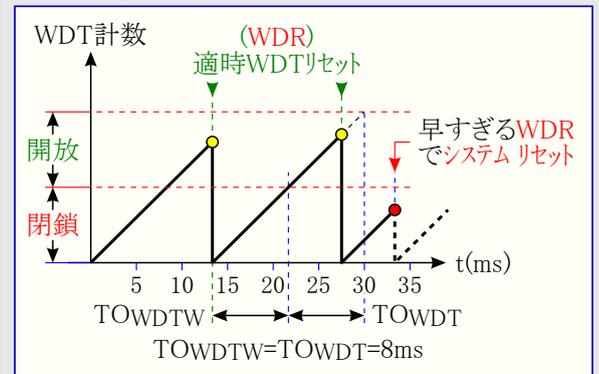
- TOWDTWはWDTをリセットされるべきではない8msから8sまでの持続期間を定義します。この期間の間にWDTがリセットされた場合、WDTはシステムリセットを発行します。
- TOWDTも8msから8sで、WDTをリセットすることができる(すべき)間の開放持続期間を定義します。開放期間は常に閉鎖期間に続き、故に時限期間の総持続期間は閉鎖窓と開放窓の時限期間の合計です。

窓動作許可時、またはデバッグ動作の外に出る時に、窓は最初のWDR命令後に活性(有効)にされます。

右図は窓動作でのWDT操作に対する代表的なタイミング体系を示します。

窓動作は制御A(WDT.CTRLA)レジスタの窓期間(WINDOW)ビット領域に0以外の値を書くことで許可され、'0000'を書くことで禁止されます。

図21-3. 窓動作操作



### 21.3.3.3. 意図しない変更の防止

WDTはWDT設定に対して意図しない変更を避けるために次のような2つの安全機構を提供します。

- WDT制御レジスタ変更のために時限書き込み手順を使う構成設定変更保護(CCP)機構。更なる詳細については「21.3.7. 構成設定変更保護」を参照してください。
- 状態(WDT.STATUS)レジスタの施錠(LOCK)ビットに'1'を書くことによる構成設定の施錠。このビットが'1'の時に制御A(WDT.CTRLA)レジスタは変更することができません。LOCKビットはソフトウェアで'1'を書くことだけができるのに対し、デバイスがそれに'0'を書くことができるにはデバッグ動作が必要です。結果としてWDTはソフトウェアから禁止することができません。

**注:** WDT構成設定はリセット後にヒューズから設定されます。制限期間(PERIOD)ビット領域が0以外に設定される場合、WDT.STATUSレジスタで自動的にLOCKビットが設定(1)されます。

### 21.3.4. 休止形態動作

WDTは供給元クロックが活性であるどの休止動作形態でも動作を続けます。

### 21.3.5. デバッグ操作

走行時のデバッグ時、この周辺機能は標準動作を続けます。デバッグ動作形態でのCPU停止はこの周辺機能の標準動作を停止します。

デバッグ動作形態でのCPU停止時、WDT計数器はリセットされます。

WDTが窓動作で動いていてCPUを開始すると、最初の閉鎖窓制限時間は禁止され、標準動作制限時間が実行されます。

### 21.3.6. 同期

WDTクロック領域と周辺機能クロック領域間が非同期なため、**制御A(WDT.CTRLA)レジスタ**は書かれた時に同期されます。**状態(WDT.STATUS)レジスタの同期化多忙(SYNCBUSY)フラグ**は進行中の同期化があるかを示します。

SYNCBUSY=1の間のWDT.CTRLAレジスタ書き込みは許されません。

以下のビット領域は書かれた時に同期化されます。

- ・ 制御A(WDT.CTRLA)レジスタの**制限期間(PERIOD)ビット**
- ・ WDT.CTRLAレジスタの**窓期間(WINDOW)ビット**

WDR命令は同期するのに2~3周期のWDTクロックが必要です。

### 21.3.7. 構成設定変更保護

この周辺機能は**構成設定変更保護(CCP)**下にあるレジスタを持ちます。これらへ書くには最初に**構成設定変更保護(CPU.CCP)レジスタ**へ与えられた鍵が書かれ、4 CPU命令以内に保護されたビットへの書き込みアクセスが後続しなければなりません。

適切なCCP解錠手順に従わずに保護されたレジスタへ書こうとすると、それを無変化のままにします。

右のレジスタがCCP下です。

CCPによって保護されるビット/レジスタの一覧は以下です。

- ・ 制御A(WDT.CTRLA)レジスタの**制限期間(PERIOD)ビット**
- ・ 制御A(WDT.CTRLA)レジスタの**窓期間(WINDOW)ビット**
- ・ 状態(WDT.STATUS)レジスタの**施錠(LOCK)ビット**

表21-1. WDT - 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
WDT.CTRLA	IOREG
WDT.STATUSのLOCKビット	

## 21.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	WINDOW3~0				PERIOD3~0			
+\$01	STATUS	7~0	LOCK							SYNCBUSY

## 21.5. レジスタ説明

### 21.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : FUSE.WDTCFGからの値  
特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	WINDOW3~0				PERIOD3~0			
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	x	x	x	x	x	x	x	x

#### ● ビット7~4 - WINDOW3~0 : 窓期間 (Window)

これらのビットへの0以外の値の書き込みが窓動作を許可し、それに応じて閉鎖期間の持続期間を選びます。このビットは以下のように任意選択で施錠保護されます。

- 状態(WDT.STATUS)レジスタの施錠(LOCK)ビットが'1'の場合、全ビットが変更保護されます(アクセス=R)。
- WDT.STATUSレジスタのLOCKビットが'0'の場合、全ビットを変更することができます(アクセス=R/W)。

値	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	その他
名称	OFF	8CLK	16CLK	32CLK	64CLK	128CLK	256CLK	512CLK	1KCLK	2KCLK	4KCLK	8KCLK	-
説明	-	7.8125ms	15.625ms	31.25ms	62.5ms	0.125s	0.250s	0.500s	1.0s	2.0s	4.0s	8.0s	(予約)

注: 32.768kHz超低電力発振器(OSC32K)精度に関する特定情報については「電気的特性」章を参照してください。

#### ● ビット3~0 - PERIOD3~0 : 制限期間 (Period)

これらのビットへの0以外の値の書き込みがWDTを許可し、それに応じて標準動作での制限期間を選びます。窓動作でのこれらのビットは開放窓の持続期間を選びます。

このビットは以下のように任意選択で施錠保護されます。

- 状態(WDT.STATUS)レジスタの施錠(LOCK)ビットが'1'の場合、全ビットが変更保護されます(アクセス=R)。
- WDT.STATUSレジスタのLOCKビットが'0'の場合、全ビットを変更することができます(アクセス=R/W)。

値	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	その他
名称	OFF	8CLK	16CLK	32CLK	64CLK	128CLK	256CLK	512CLK	1KCLK	2KCLK	4KCLK	8KCLK	-
説明	-	7.8125ms	15.625ms	31.25ms	62.5ms	0.125s	0.250s	0.500s	1.0s	2.0s	4.0s	8.0s	(予約)

注: 32.768kHz超低電力発振器(OSC32K)精度に関する特定情報については「電気的特性」章を参照してください。

### 21.5.2. STATUS - 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : LOCKビットは構成設定変更保護

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

#### ● ビット7 - LOCK : 施錠 (Lock)

このビットの'1'書き込みは制御A(WDT.CTRLA)レジスタを書き込み保護にします。

このビットに'1'を書くことだけが可能です。このビットはデバッグ動作でだけ解除(0)することができます。

ウォッチドッグ タイマ構成設定(WDTCFG)ヒューズのウォッチドッグ制限時間周期(PERIOD)値が0と違う場合、自動的に施錠が設定されます。

このビットは構成設定変更保護(CCP)下です。

#### ● ビット0 - SYNCBUSY : 同期化多忙 (Synchronization Busy)

このビットはWDT.CTRLAレジスタを書いた後にデータが周辺機能クロック領域からWDTクロック領域へ同期化されつつある間、設定(1)されます。

このビットは同期化終了後に解除(0)されます

このビットは構成設定変更保護(CCP)下ではありません。

## 22. TCB - 16ビット タイマ/カウンタ型

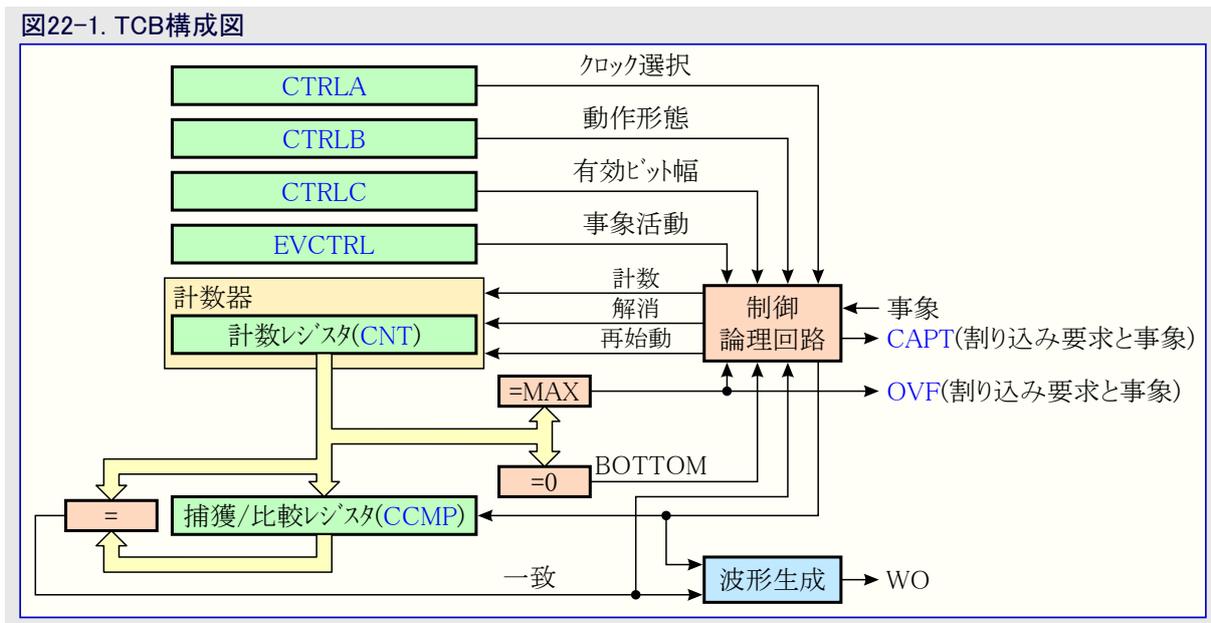
### 22.1. 特徴

- 16ビット計数器動作形態
  - 周期的割り込み
  - 制限時間検査
  - 計数捕獲
    - 事象での捕獲
    - 周波数測定
    - パルス幅測定
    - 周波数とパルス幅の測定
    - 32ビット捕獲
- 単発
- 8ビット パルス幅変調(PWM)
- 事象入力での雑音消去器
- TCE0との同期動作

### 22.2. 概要

16ビット タイマ/カウンタ型(TCB)の能力は周波数と波形の生成、デジタル信号の時間と周波数の測定を持つ事象での計数捕獲を含みます。TCBは基本計数器と各動作形態が独特な機能を提供する8つの異なる動作形態の1つに設定することができる制御論理回路から成ります。基本計数器は任意選択の前置分周を持つ周辺機能クロックによってクロック駆動されます。

#### 22.2.1. 構成図



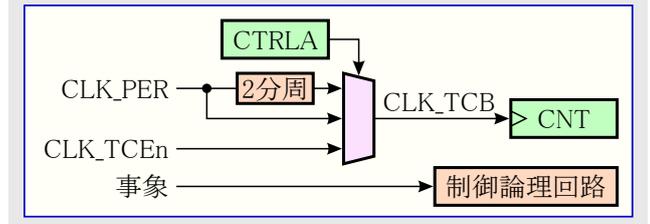
このタイマ/カウンタは周辺機能クロック(CLK\_PER)、16ビット タイマ/カウンタ型(CLK\_TCEn)、事象システム(EVSYs)からクロック駆動することができます。

制御A(TCBn.CTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域はクロック入力(CLK\_TCB)として前置分周器出力の1つを直接、または事象チャネルを選びます。

TCEnからのクロックを使うタイマ/カウンタ設定はそのTCEnと同期して動くことをタイマ/カウンタに許します。

EVSYsを使って、何れかの入出力ピンでの外部クロック信号のような外部事象供給元も計数器クロック入力または制御論理回路入力として使うことができます。事象活動で制御される動作使用時、クロック選択は計数器入力として事象チャネルを使うように設定してください。

図22-2. タイマ/カウンタ型クロック論理回路



#### 22.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
WO	デジタル非同期出力	波形出力

## 22.3. 機能的な説明

### 22.3.1. 定義

右の定義は文書全体を通して使われます。

**注:** 一般的に用語の'計時器'はタイマ/カウンタが周期的クロック刻みを計数する時に使われます。用語の'計数器'は入力信号が散発的または不規則なクロック刻みを持つ時に使われます。

表22-1. タイマ/カウンタ定義

名称	説明
BOTTOM	計数器は\$0000になる時にBOTTOMに到達します。
MAX	計数器は\$FFFFになる時に最大に到達します。
TOP	計数器が計数の流れで最高値と等しくなる時にTOPに達します。
CNT	計数器(TCBn.CNT)レジスタ値
CCMP	捕獲/比較(TCBn.CCMP)レジスタ値

### 22.3.2. 初期化

既定でTCBは周期的割り込み動作です。これの使用を開始するには以下のようにこれらの手順に従ってください。

- 比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタにTOP値を書いてください。
- 任意選択: 制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの比較/捕獲出力許可(CCMPEN)ビットに'1'を書いてください。これは対応するPORT出力レジスタの値を無効にして対応するピンでの波形出力を利用可能にします。
- 制御A(TCBn.CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって計数器を許可してください。計数器はTCBn.CTRLAレジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域で設定した前置分周器に従ったクロック刻みの計数を開始します。
- 計数値は計数(TCBn.CNT)レジスタから読むことができます。周辺機能はCNT値がTOPに達する時に捕獲(CAPT)割り込みと事象を生成します。
  - 比較/捕獲レジスタが現在のCNTよりも低い値に変更される場合、周辺機能はMAXまで計数して丸めを行います。
  - MAXで溢れ(OVF)割り込みと事象が生成されます。

### 22.3.3. 動作

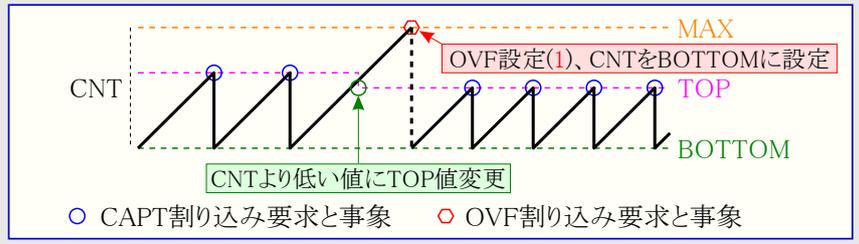
#### 22.3.3.1. 動作形態

計時器は以降の部分で記述される8つの異なる動作形態の1つで動くように構成設定することができます。端検出を保証するために事象パルスは1システムクロック周期より長い必要があります。

##### 22.3.3.1.1. 周期的割り込み動作

周期的割り込み動作では計数器が捕獲(TOP)値まで計数してBOTTOMから再開します。CAPT割り込みと事象はCNTがTOPと等しい時に生成されます。TOPがCNTよりも低い値に更新された場合、MAX到達でOVFの割り込みと事象が生成され、計数器はBOTTOMから再開します。

図22-3. 周期的割り込み動作



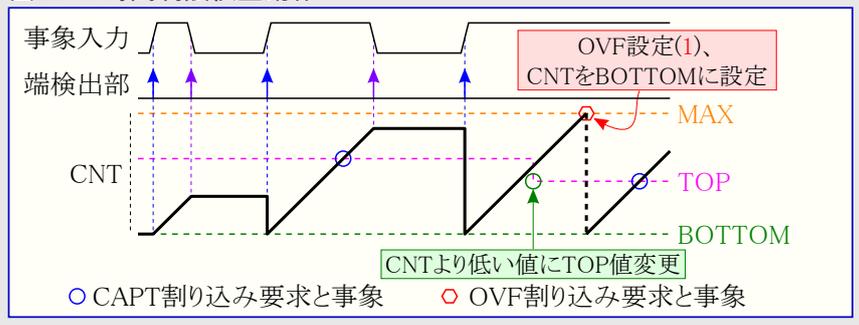
##### 22.3.3.1.2. 制限時間検査動作

制限時間検査動作では事象入力チャネルで検出した最初の信号端で計数器が計数を開始し、次の信号端で停止します。CNTは停止端後静止(凍結状態)に留まり、計数器は新しい開始端で再開します。

この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

開始と停止の端は事象制御(TCBn.EVCTRL)レジスタの事象端(EDGE)ビットによって決められます。第2端前にCNTがTOPに到達する場合、CAPT割り込みと事象が生成されます。TOPがCNTよりも低い値に更新された場合、MAX到達でOVF割り込みと同時に事象が生成され、計数器はBOTTOMから再開します。凍結状態での計数(TCBn.CNT)レジスタまたは比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタの読み込み、または状態(TCBn.STATUS)レジスタの走行(RUN)ビット書き込みは無効です。

図22-4. 時間制限検査動作



### 22.3.3.1.3. 事象での捕獲動作

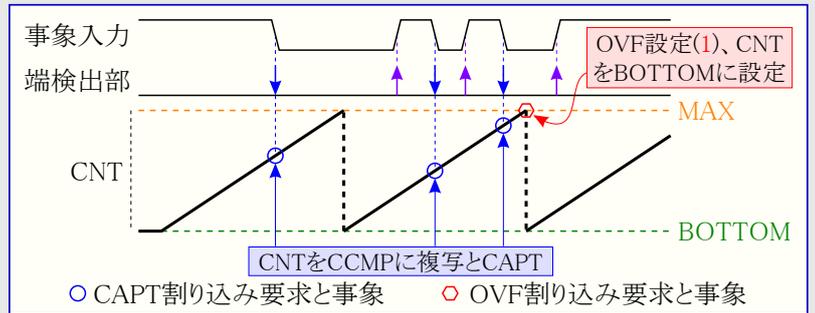
事象での捕獲動作では計数器がBOTTOMからMAXへ計数します。事象検出時、計数(TCBn.CNT)レジスタ値は比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタに転送され、CAPT割り込みと事象が生成されます。事象端検出部は上昇端または下降端のどちらかで捕獲を起動するように構成設定することができます。

この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

右図は事象入力信号の下降端で計数捕獲するように構成設定した捕獲部を示します。CAPT割り込み要求フラグは比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタの下位バイト読み込み後、自動的に解除(0)されます。CNTがMAXの時にOVF割り込みと事象が生成されます。

**重要:** 他のどれかの動作からこの動作へ移行する時に計数器(TCBn.CNT)レジスタに\$0000を書くことが推奨されます。

図22-5. 事象での計数捕獲



### 22.3.3.1.4. 計数捕獲周波数測定動作

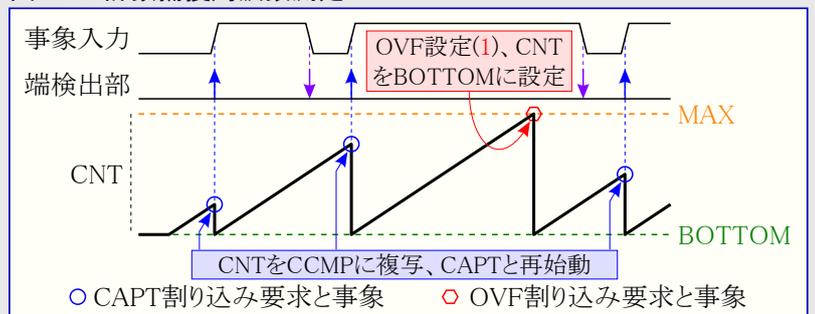
計数捕獲周波数動作ではTCBが事象入力信号の正端または負端のどちらかで計数器値を捕獲して再始動します。

この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

CAPT割り込み要求フラグは比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタの下位バイト読み込み後、自動的に解除(0)されます。CNTがMAXの時にOVF割り込みと事象が生成されます。

右図は上昇端で働くように構成設定された時のこの動作を図解します。

図22-6. 計数捕獲周波数測定

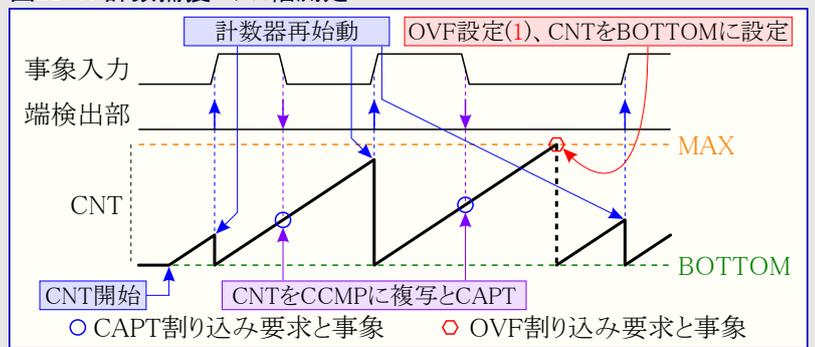


### 22.3.3.1.5. 計数捕獲パルス幅測定動作

計数捕獲パルス幅測定動作では計数捕獲パルス幅測定が正端で計数器を再始動し、割り込み要求が生成されるのに先立って次の下降端で捕獲します。CAPT割り込み要求フラグは比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタの下位バイト読み込み後、自動的に解除(0)されます。CNTがMAXの時にOVF割り込みと事象が生成されます。計数器は自動的に上昇端と下降端の方向を切り替えますが、正しい動きのために2クロック周期の最小端間分離が必要とされます。

この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

図22-7. 計数捕獲パルス幅測定



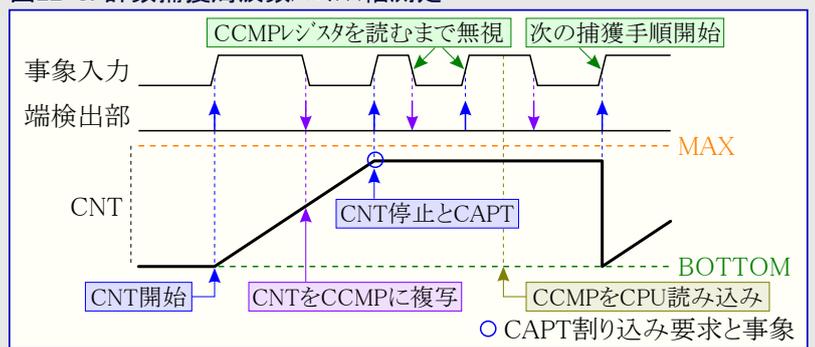
### 22.3.3.1.6. 計数捕獲周波数/パルス幅測定動作

計数捕獲周波数/パルス幅測定動作では事象入力信号で正端が検出された時に計数器が計数を開始します。後続する下降端で計数値が捕獲されます。計数器は事象入力信号の2つ目の上昇端が検出された時に停止してCAPT割り込み要求フラグを設定(1)します。

この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタの下位バイト読み込み後、CAPT割り込み要求フラグが自動的に解除(0)され、新しい捕獲手順の準備が整います。従って、計数(TCBn.CNT)レジスタは事象入力信号の次の正端でBOTTOMにリセットされるため、比較/捕獲レジスタの前に読んでください。CNTがMAXの時にOVF割り込みと事象が生成されます。

図22-8. 計数捕獲周波数/パルス幅測定



### 22.3.3.1.7. 単発動作

接続された事象チャンネルで上昇端または下降端が観測される毎に比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタによって定義される持続時間を持つパルスを生成するのに単発動作を使ってください。

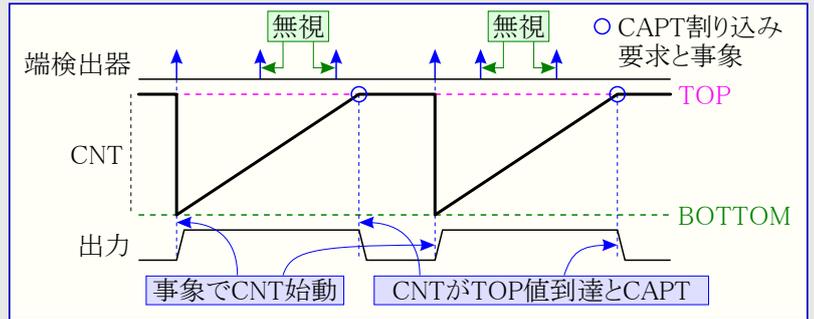
この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

計数器が止まると、出力ピンがLowに設定されます。接続した事象チャンネルで事象が検出された場合、計数器はリセットしてBOTTOMからTOPまでの計数を開始し、同時にその出力をHighに駆動します。計数器が計数しているかを見るのに状態(TCBn.STATUS)レジスタの走行(Run)ビットを読んでください。一旦CNTの値がCCMPレジスタに達すると、計数器は計数を止めます。同時に出力ピンが最小1計数器クロック(CLK\_TCB)周期間Low状態に移ります。この期間中に起きる新しいどの事象も無視されます。これに続き、新しい事象を受けてから出力がHighに設定されるまでに2周辺機能クロック(CLK\_PER)周期の遅延があります。事象制御(TCBn.EVCTRL)レジスタの事象端(EDGE)ビットが'1'を書かれると、どの端も計数器の開始を起動できます。EDGEビットが'0'なら、正端だけが開始を起動します。

計数器は例えば事象による起動がなくてもこの周辺機能が許可されると、またこの周辺機能が許可されている間に事象制御(TCBn.EVCTRL)レジスタ内の事象端(EDGE)ビットが変更された場合、直ぐに計数を開始し、これは計数(TCBn.CNT)レジスタにTOP値を書くことによって防がれます。同様の動きはTCBn.EVCTRLレジスタ内のEDGEビットが'1'と同時にこの単位部が許可される場合にも見られます。計数レジスタへのTOP値書き込みはこれも防ぎます。

制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの非同期許可(ASYNC)ビットが'1'を書かれた場合、計数器は到着事象に対して非同期に反応します。事象端は出力信号を直ちに設定(1)させます。計数器は未だ事象が受け取られた後の完全な2クロック周期で計数を開始し、結果として2~3クロック周期の遅延が観測されます。

図22-9. 単発動作

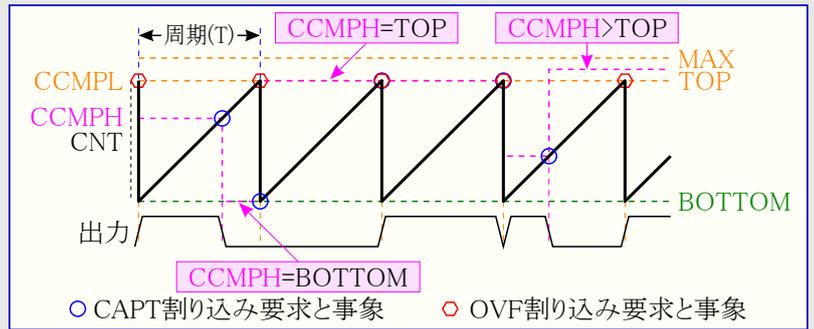


### 22.3.3.1.8. 8ビットPWM動作

TCBは各16ビット比較/捕獲(TCBn.CCMPHとTCBn.CCMPL)レジスタ対が個別の比較レジスタとして使われる8ビットPWM動作で動くように構成設定することができます。CCMPLは周期(T)を制御し、同時にCCMPHは波形のデューティサイクルを制御します。計数器はBOTTOMからCCMPLまで継続的に計数し、出力はBOTTOMで設定(1)され、計数器がCCMPHに達する時に解除(0)されます。

CCMPHは出力がHighに駆動される間のクロック数です。CCMPL+1が出力パルス周期で、この+1の結果として1クロック周期の遅延が観測されます。

図22-10. 8ビットPWM動作



### 22.3.3.2. 出力

計数器同期と出力論理レベルは選んだ制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの計数器動作(CNTMODE)ビット領域に依存します。単発動作では信号生成が到着事象に対して非同期に起こるようにタイマ/カウンタを構成設定(TCBn.CTRLBの非同期許可(ASYNC)ビット=1)にすることができます。

その後、出力信号はTCBクロックに同期化される代わりに到着事象で直ちに設定(1)されます。計数器の同期遅延のため、波形出力はTOP値によって定義されたよりも3~4 CLK\_TCB周期長くHighに設定されます。

TCBn.CTRLBの比較/捕獲出力許可(CCMPEN)ビットの'1'書き込みが波形出力を許可します。これは対応するポート出力レジスタでの値を無効にして対応するピンで波形出力を利用可能にします。

下表は各種構成設定と出力でのそれらの影響を一覧にします。

表22-2. 出力構成設定

CCMPEN	CNTMODE	ASYNC	出力
1	単発動作	0	出力は計数器開始時にHigh、計数器停止時にLowです。
		1	出力は事象到着時にHigh、計数器停止時にLowです。
	8ビットPWM動作	非適用	8ビットPWM動作
	その他の動作	非適用	TCBn.CTRLBレジスタの比較/捕獲ピン初期値(CCMPINT)ビットが初期出力レベルを選択
0	非適用	非適用	出力なし

周辺機能が許可されている間の動作変更は予期せぬ出力を生成し得るため推奨されません。計時器構成設定中に割り込み要求フラグが設定(1)される可能性があります。周辺機能構成設定後に**タイマ/カウンタ割り込み要求フラグ(TCBn.INTFLAGS)レジスタ**を解除(=0)することが推奨されます。

### 22.3.3.3. 32ビット計数捕獲

真の32ビット計数捕獲として動くように2つの16ビット タイマ/カウンタB型(TCBn)を結合することができます。

1つのTCBは下位2バイトを計数します。一旦この計数器がMAXに達すると、溢れ(OVF)事象が生成され、計数器は丸められます。2つ目のTCBはこれらのOVF事象を計数するように構成設定され、従って上位2バイトを提供します。32ビット計数器値は2つの計数器値から連結されます。

32ビット計数器として機能するには、以下の項で記述されるように2つのTCBとシステムを設定してください。

#### システム構成設定

- ・ 応用の必要条件に従って下位側TCB用計数入力のために供給元(TCE、事象、CLK\_PER)を構成設定してください。
- ・ 下位側TCB(事象生成部)からのOVF事象を上位側TCB(事象使用部)に配線するように事象システムを構成設定してください。
- ・ 同じ捕獲事象(CAPT)生成部を両TCBに配線するように事象システムを構成設定してください。

#### 下位側計数器の構成設定

- ・ **制御A(CTRLA)レジスタ**の**クロック選択(CLKSEL)**ビット領域に書くことによって構成設定した計数入力を選んでください。
- ・ 計数捕獲動作の1つを選ぶように**制御B(CTRLB)レジスタ**の**計時器動作(CNTMODE)**ビット領域を書いてください。
- ・ CTRLAの2つの**タイマ/カウンタ連結(CASCADE)**ビットは'0'でなければなりません。

#### 上位側計数器の構成設定

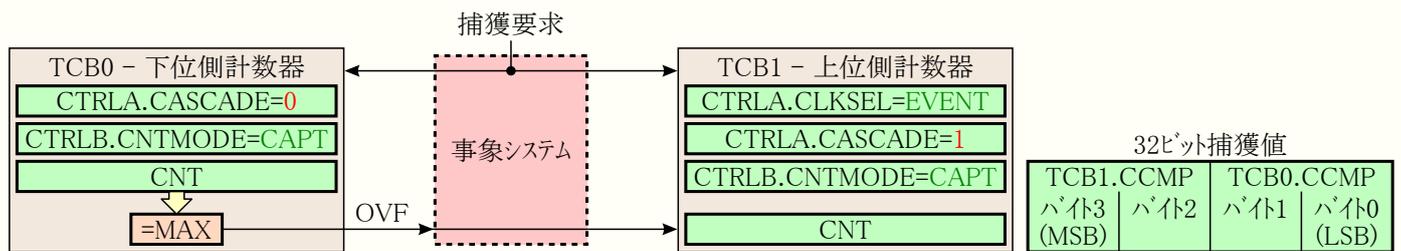
- ・ CTRLAの2つの**タイマ/カウンタ連結(CASCADE)**ビットに'1'を書くことによって32ビット動作を許可してください。
- ・ CTRLAレジスタの**クロック選択(CLKSEL)**ビット領域を書くことによってクロック入力として事象を選んでください。
- ・ 下位側TCBと同じ計数捕獲動作を選ぶように**制御B(CTRLB)レジスタ**の**計時器動作(CNTMODE)**ビット領域を書いてください。

#### 32ビット計数器値捕獲

32ビット計数器値を取得するには両TCBにCAPT事象を送ってください。両TCBは同じ捕獲動作で動いており、故に各々が各々の比較/捕獲(CCMP)レジスタで現在の計数器値(CNT)を捕獲します。32ビット捕獲値は2つのCCMPレジスタの連結によって形成されます。

#### 例22-1. 下位側計数器としてTCB0、上位側計数器としてTCB1の使い方

TCB0は計数入力を数え、TCB1はTCB0からのOVF事象を数えます。両TCBは事象での計数捕獲動作です。CAPT事象が生成され、それらの現在のCNT値をそれら各々のCCMPレジスタに複写させます。2つの異なるCASCADEビット値が正しいCAPT事象タイミングを許します。捕獲した32ビット値はTCB1.CCMP(上位側)とTCB0.CCMP(下位側)で連結されます。



### 22.3.3.4. 雑音消去器

雑音消去器は簡単なデジタル濾波器の仕組みを用いることによって雑音耐性を改善します。**事象制御(TCBn.EVCTRL)レジスタ**の**雑音濾波器(FILTER)ビット**が許可されると、周辺機能は事象チャネルを監視して最後の4つの観測試料の記録を維持します。4つの連続する試料が等しければ、その入力は安定と見做され、その信号は端検出器に供給されます。

許可されると、雑音消去器は入力に印加された変化と入力比較レジスタの更新の間に4システム クロック周期の付加遅延をもたらします。

雑音消去器は周辺機能クロックを使い、従って、前置分周器によって影響を及ぼされません。

### 22.3.3.5. タイマ/カウンタE型との同期

TCBは**制御A(TCBn.CTRLA)レジスタ**の**クロック選択(CLKSEL)**ビット領域に'10'を書くことによってタイマ/カウンタE型(TCEn)のクロック(CLK\_TCE)を使うように構成設定することができます。この設定でTCBはTCEnで選んだ同じクロック元で計数します。

制御A(TCBn.CTRLA)レジスタの**同期更新(SYNCUPD)ビット**が'1'を書かれると、TCB計数器はTCEn計数器が再始動する時に再始動します。

### 22.3.3.6. ポート無効化

制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの比較/捕獲出力許可(CCOMPEN)ビットに'1'を書くことが波形出力を許可し、対応するPORT出力レジスタでの値を無効にして対応するピンで波形出力を利用可能にします。

### 22.3.4. 事象

TCBは以下の表で記述される事象を生成することができます。

表22-3. TCBでの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
TCBn	CAPT	CAPTフラグ設定(1)	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	OVF	OVFフラグ設定(1)			

CAPTとOVFの事象を生成するための条件はタイマ/カウンタ割り込み要求フラグ(TCBn.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグを掲げるそれと同じです。事象使用部と事象システム構成設定に関するより多くの詳細については「EVSYS - 事象システム」章を参照してください。

TCBは下表で記述される事象を受け取ることができます。

表22-4. TCBでの事象使用部と利用可能な事象活動

使用部名		説明	入力検出	同期/非同期
周辺機能	入力			
TCBn	CAPT	制限時間検査	端	同期
		事象で計数捕獲		
		計数捕獲周波数測定		
		計数捕獲パルス幅測定		
	COUNT	計数捕獲周波数/パルス幅測定	両方	
		単発		
COUNT	事象で計数	同期		

CAPTとCOUNTは入力事象で検出して働くTCB事象使用部です。

COUNT事象使用部は制御A(TCBn.CTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域をEVENTに変更することによってこの周辺機能で許可され、それによって事象システムを設定します。

事象制御(TCBn.EVCTRL)レジスタの捕獲事象入力許可(CAPTEI)ビットが'1'を書かれた場合、やって来る事象は制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの計時器動作(CNTMODE)ビット領域とTCBn.EVCTRLレジスタの事象端選択(EDGE)ビットによって定義されたような事象活動になります。事象は認知されるために最低1 CLK\_PER周期間留まらなければなりません。

単発動作に対して非同期動作が許可された場合、事象は端起動され、1周辺機能クロック周期よりも短い事象入力に変更を捕獲します。

### 22.3.5. 割り込み

表22-5. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
CAPT	TCB割り込み	動作形態に依存。TCBn.INTFLAGSレジスタのCAPTの記述をご覧ください。
OVF		タイマ/カウンタがMAXからBOTTOMへ溢れ。

割り込み条件が起こると、周辺機能の割り込み要求フラグ(TCBn.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。割り込み元は周辺機能の割り込み制御(TCBn.INTCTRL)レジスタで対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については周辺機能のINTFLAGSレジスタをご覧ください。

### 22.3.6. 休止形態動作

TCBは既定でスタンバイ休止動作に於いて禁止されます。休止動作へ移行すると直ぐに停止されます。

制御A(TCBn.CTRLA)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが'1'を書かれた場合、この単位部は完全な動作をすることができます。

全ての動作はパワーダウン休止動作で停止されます。

## 22.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0		RUNSTDBY	CASCADE	SYNCUPD		CLKSEL2~0		ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0	EVGEN	ASYNC	CCMPINIT	CCMPEN			CNTMODE2~0	
+\$02	CTRLC	7~0							CNTSIZE2~0	
+\$03	予約									
+\$04	EVCTRL	7~0		FILTER		EDGE				CAPTEI
+\$05	INTCTRL	7~0							OVF	CAPT
+\$06	INTFLAGS	7~0							OVF	CAPT
+\$07	STATUS	7~0								RUN
+\$08	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$09	TEMP	7~0					TEMP7~0			
+\$0A	CNT	7~0					CNT7~0			
+\$0B		15~8					CNT15~8			
+\$0C	CCMP	7~0					CCMP7~0			
+\$0D		15~8					CCMP15~8			

## 22.5. レジスタ説明

### 22.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		RUNSTDBY	CASCADE	SYNCUPD		CLKSEL2~0		ENABLE
アクセス種別	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 - RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)**

このビットへの'1'書き込みはこの周辺機能に**スタンバイ休止動作**での走行を許します。

● **ビット5 - CASCADE : 2つのタイマ/カウンタ連結 (Cascade Two Timer/Counters)**

このビットに'1'を書くと、事象システムを使う32ビット動作に2つの16ビットタイマ/カウンタB型(TCBn)の連結を許可します。このビットは上位2バイト(MSB)に使われるタイマ/カウンタに対して'1'でなければなりません。このビットが'1'の時は捕獲(CAPT)用に選ばれた事象元が1周辺機能クロック周期遅らされ、事象システム経由で2つの計数器を連結する時の繰り上げ伝搬遅延を補償します。

● **ビット4 - SYNCUPD : 同期更新 (Synchronize Update)**

このビットが'1'を書かれると、TCBはTCEnが再始動または溢れる時に必ず再始動し、これはPWM周期での捕獲を同期化できます。クロック元としてTCEnが選ばれた場合、TCBはそのTCEnが再始動した時に再始動します。他のクロック選択に対してはTCE0と共に再始動します。

● **ビット3~1 - CLKSEL2~0 : クロック選択 (Clock Select)**

これらビットの書き込みはこの周辺機能用のクロック元を選びます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	DIV1	DIV2	TCE0	-	-	-	-	EVENT
説明	CLK_PER	CLK_PER/2	TCE0からのCLK_TCE	(予約)	(予約)	(予約)	(予約)	事象入力 の正端

● **ビット0 - ENABLE : 許可 (Enable)**

このビットに'1'を書くことがタイマ/カウンタB型周辺機能を許可します。

### 22.5.2. CTRLB - 制御B (Control B)

名称 : CTRLB  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	EVGEN	ASYNC	CCMPINIT	CCMPEN		CNTMODE2~0		
アクセス種別	R/W	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7 - EVGEN : 事象生成 (Event Generation)**

このビットに'1'を書くことが比較一致の代わりに事象線で波形出力を出力します。比較/捕獲出力許可(CCMPEN)ビットは事象出力に関して無視されます。

値	0	1
名称	PULSE	WAVEFORM
説明	比較一致または捕獲時に事象パルスを生成	波形出力ありの動作ではその波形と同じ事象出力

● **ビット6 - ASYNC : 非同期許可 (Asynchronous Enable)**

このビットに'1'を書くことが単発動作でTCB出力信号の非同期更新を許します。

値	0	1
説明	出力は計数器の同期後開始時にHighになります。	出力は事象到着時にHighになります。

● ビット5 - CCMPINIT : 比較/捕獲ピン初期値 (Compare/Capture Pin Initial Value)

このビットはピン出力が使われる時にピンの初期出力値を設定するのに使われます。このビットは8ビットPWM動作と単発動作で無効です。

値	0	1
説明	初期のピン状態はLowです。	初期のピン状態はHighです。

● ビット4 - CCMPEN : 比較/捕獲出力許可 (Compare/Capture Output Enable)

このビットはWOに対応するピンでの波形出力を許可するか否かを制御します。

値	0	1
説明	対応ピンで波形出力は許可されません。	波形出力が許可され、WOに対応するピンで利用可能で、I/O構成(PORT)周辺機能での構成設定を無効にし、対応するピンの方向を自動的に出力に設定します。

● ビット2~0 - CNTMODE2~0 : 計時器動作 (Timer Mode)

このビット領域への書き込みは計時器動作を選びます。

値	000	001	010	011
名称	INT	TIMEOUT	CAPT	FRQ
説明	周期的割り込み動作	制限時間検査動作	事象での計数捕獲動作	計数捕獲周波数測定動作
値	100	101	110	111
名称	PW	FRQPW	SINGLE	PWM8
説明	計数捕獲パルス幅測定動作	計数捕獲周波数/パルス幅測定動作	単発動作	8ビットPWM動作

22.5.3. CTRLC - 制御C (Control C)

名称 : CTRLC  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							CNTSIZE2~0	
アクセス種別	R	R	R	R	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 - CNTSIZE2~0 : 計数器規模 (Counter Mode)

このビット領域はタイマ/カウンタの規模を制御します。選んだ大きさを超える計数器(TCBn.CNT)レジスタと比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタのビットは'0'のように扱われます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	16BITS	15BITS	14BITS	13BITS	12BITS	11BITS	10BITS	9BITS
説明	有効ビット数 16ビット	15ビット	14ビット	13ビット	12ビット	11ビット	10ビット	9ビット
最大値	\$FFFF	\$7FFF	\$3FFF	\$1FFF	\$0FFF	\$07FF	\$03FF	\$01FF

22.5.4. EVCTRL - 事象制御 (Event Control)

名称 : EVCTRL  
変位 : +\$04  
リセット : \$00  
特質 : -

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

● ビット6 - FILTER : 捕獲入力雑音消去濾波器許可 (Input Capture Noise Cancellation Filter)

このビットに'1'を書くことが捕獲入力雑音消去部を許可します。

●ビット4 - EDGE : 事象端選択 (Event Edge)

このビットは事象端を選ぶのに使われます。このビットの影響は制御B(TCBn.CTRLB)レジスタで選んだ計数動作(CNTMODE)に依存します。“-”は事象や端がこの動作で無効なことを意味します。

計数動作	EDGE	正(上昇)端	負(下降)端
周期的割り込み動作	0	-	-
	1	-	-
制限時間検査動作	0	計数開始	計数停止
	1	計数停止	計数開始
事象での計数捕獲動作	0	計数値を捕獲、割り込み	-
	1	-	計数値を捕獲、割り込み
計数捕獲周波数測定動作	0	計数値を捕獲/解消/再開、割り込み	-
	1	-	計数値を捕獲/解消/再開、割り込み
計数捕獲パルス幅測定動作	0	計数値を解消/再開	計数値を捕獲、割り込み
	1	計数値を捕獲、割り込み	計数値を解消/再開
計数捕獲周波数/パルス幅測定動作	0	第1正端で計数値を解消/再開、後続する負端で捕獲、第2正端で停止と割り込み	
	1	第1負端で計数値を解消/再開、後続する正端で捕獲、第2負端で停止と割り込み	
単発動作	0	計数開始	-
	1	計数開始	計数開始
8ビットPWM動作	0	-	-
	1	-	-

●ビット0 - CAPTEI : 捕獲事象入力許可 (Capture Event Input Enable)

このビットに'1'を書くことがTCBに対する事象入力捕獲を許可します。

22.5.5. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							OVF	CAPT
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1 - OVF : 溢れ割り込み許可 (Overflow Interrupt Enable)

このビットに'1'を書くことが溢れでの割り込みを許可します。

●ビット0 - CAPT : 捕獲割り込み許可 (Capture Interrupt Enable)

このビットに'1'を書くことが捕獲での割り込みを許可します。

22.5.6. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							OVF	CAPT
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1 - OVF : 溢れ割り込み要求フラグ (Overflow Interrupt Flag)

このビットは溢れ割り込み発生時に設定(1)されます。このフラグはタイマ/カウンタがMAXからBOTTOMに丸められる時に必ず設定(1)されます。

このビットはこのビット位置に'1'を書くことによって解除(0)されます。

●ビット0 - CAPT : 捕獲割り込み要求フラグ (Capture Interrupt Flag)

このビットは捕獲割り込み発生時に設定(1)されます。割り込み条件は制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの計数動作(CNTMODE)ビット領域に依存します。

このビットはこれに'1'を書くことによって、または捕獲動作で比較/捕獲(CCMP)レジスタが読まれた時に解除(0)されます。

計数器動作	割り込み設定条件	TOP値	CAPT
周期的割り込み動作			
制限時間検査動作	計数器がTOPに達した時に設定(1)	CCMP	CNT=TOP
単発動作			
計数捕獲周波数測定動作	捕獲レジスタを設定して計数器再始動時端で設定(1)、フラグは捕獲読み込み時に解除(0)		事象でCNTをCCMPに複写、計数再開(CNT=BOTTOM)
事象での計数捕獲動作	事象が起きて捕獲レジスタが設定される時に設定(1)、フラグは捕獲読み込み時に解除(0)		
計数捕獲パルス幅測定動作	捕獲レジスタを設定して計数器再始動時端で設定(1)、直前端で計数器初期化、フラグは捕獲読み込み時に解除(0)		事象でCNTをCCMPに複写、計数継続
計数捕獲周波数/パルス幅測定動作	計数器停止時の第2(正/負)端で設定(1)、フラグは捕獲読み込み時に解除(0)		
8ビットPWM動作	計数器がCCMPLに達した時に設定(1)	CCMPL	CNT=CCMPL

22.5.7. STATUS - 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$07  
リセット : \$00  
特質 : -

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

●ビット0 - RUN : 走行 (Run)

計数器が走行している時にこのビットが'1'に設定されます。計数器が停止されると、このビットが'0'に解除されます。

このビットは読み込み専用でUPDIによって設定することはできません。

22.5.8. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control)

名称 : DBGCTRL  
変位 : +\$08  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行 (Debug Run)

値	0	1
説明	中断デバッグ動作で停止され事象を無視	中断デバッグ動作でCPU停止時に走行継続

22.5.9. TEMP - 一時レジスタ (Temporary Value)

名称 : TEMP  
変位 : +\$09  
リセット : \$00  
特質 : -

一時レジスタはこの周辺機能の16ビットレジスタへの16ビット単一周期アクセスのためにCPUによって使われます。このレジスタはこの周辺機能の全ての16ビットレジスタに対して共通で、ソフトウェアによって読み書きすることができます。16ビットレジスタ読み書きのより多くの詳細については「メモリ」章の「16ビットレジスタのアクセス」を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TEMP7~0							
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 - TEMP7~0 : 一時値 (Temporary Value)

### 22.5.10. CNT - 計数 (Count)

名称 : CNT (CNTH,CNTL)

変位 : +\$0A

リセット : \$0000

特質 : -

TCBn.CNTHとTCBn.CNTLのレジスタ対は16ビット値のTCBn.CNTを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

CPUとUPDIの書き込みアクセスはレジスタの内部更新を超える優先権を持ちます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	CNT15~8							
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	6	5	4	3	2	1	0
	CNT7~0							
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15~8 - CNT15~8 : 計数值上位バイト (Count Value high)

これらのビットは16ビット計数レジスタの上位バイトを保持します。

- ビット7~0 - CNT7~0 : 計数值下位バイト (Count Value low)

これらのビットは16ビット計数レジスタの下位バイトを保持します。

### 22.5.11. CCMP - 比較/捕獲 (Compare/Capture)

名称 : CCMP (CCMPH,CCMPL)

変位 : +\$28

リセット : \$0000

特質 : -

TCBn.CCMPHとTCBn.CCMPLのレジスタ対は16ビット値のTCBn.CCMPを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

このレジスタは動作形態に依存して異なる機能を持ちます。

- ・ 捕獲動作に対して、これらのレジスタは捕獲発生時に捕獲された計数値の値を含みます。
- ・ 周期的割り込み、制限時間検査、単発の動作でこのレジスタはTOP値として働きます。
- ・ 8ビットPWM動作ではTCBn.CCMPHとTCBn.CCMPLは2つの独立した比較レジスタとして働きます。波形の周期がCCMPLによって制御される一方で、CCMPHがデューティサイクルを制御します。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	CCMP15~8							
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	6	5	4	3	2	1	0
	CCMP7~0							
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15~8 - CCMP15~8 : 比較/捕獲値上位バイト (Compare/Capture Value high byte)

これらのビットは16ビットの比較/捕獲/TOP値の上位バイトを保持します。

- ビット7~0 - CCMP7~0 : 比較/捕獲値下位バイト (Compare/Capture Value low byte)

これらのビットは16ビットの比較/捕獲/TOP値の下位バイトを保持します。

## 23. TCE - 16ビット タイマ/カウンタ型

### 23.1. 特徴

- 16ビット タイマ/カウンタ
- 4つの比較チャンネル
- 2重緩衝されたタイマ定期間設定
- 2重緩衝された比較チャンネル
- 波形生成:
  - 周波数生成
  - 単一傾斜PWM(パルス幅変調)
  - 2傾斜PWM
- 事象での計数
- 計時器溢れ割り込み/事象
- 比較チャンネル当たり1つの比較一致
- 波形生成器分解能を8倍(3ビット)まで増加

### 23.2. 概要

柔軟な16ビット タイマ/カウンタ型(TCE)は正確なプログラム実行タイミング、周波数と波形の生成、指令実行を提供します。

このタイマ/カウンタは基本計数器と比較チャンネルから成ります。基本計数器はクロック周期または事象を計数するのに使うことができ、またクロック周期をどう計数するかを事象に制御させます。方向制御と周期設定制御は正確なタイミングに使われます。比較チャンネルは基本計数器と共に、比較一致制御、周波数生成、パルス幅波形変調に使うことができます。

動作形態に依存して、計数器は各タイマ/カウンタ クロックまたは事象入力で解消、再設定、増加、減少されます。

タイマ/カウンタは任意選択の前置分周を持つ周辺機能クロックから、または事象システムからクロック駆動と計時をすることができます。事象システムは方向制御または動作の同期にも使うことができます。

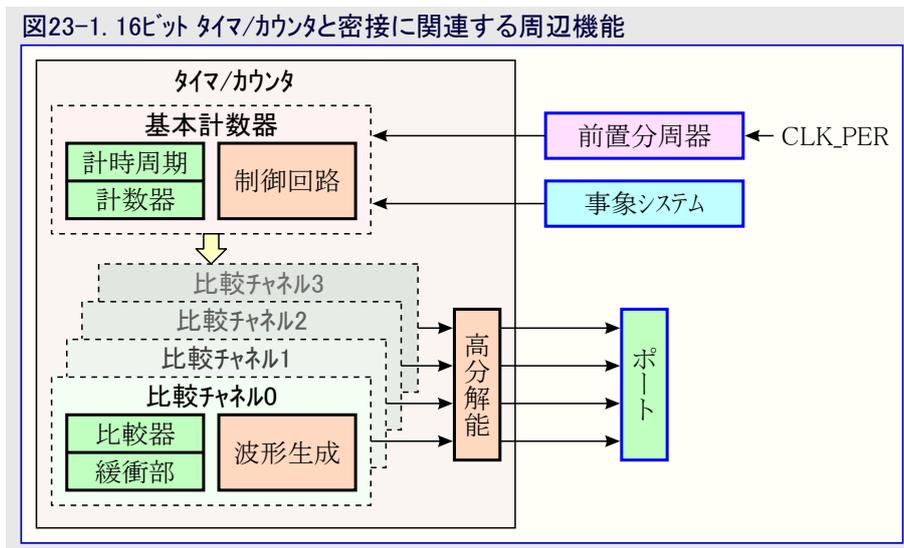
計数器(TCEn.CNT)レジスタ、緩衝(TCEn.PERBUF)レジスタを持つ定期(TCEn.PER)レジスタ、緩衝(TCEn.CMPBUFn)レジスタを持つ比較(TCEn.CMPn)レジスタは16ビット レジスタです。全ての緩衝レジスタは緩衝部が新しい値を含む時を示す緩衝有効(BV)フラグを持ちます。

通常動作の間、計数器の値は計数器がBOTTOMまたはTOPに達したかどうかを判断するために0と定期(PER)と継続的に比較されます。

この計数器はデューティ サイクル分解能を入力クロックの8倍まで増すことができる高分解能任意選択を含みます。

計数器値はTCEn.CMPnレジスタとも比較されます。これらの比較は割り込み要求を生成するのに使うことができます。波形生成器の各動作は波形周期やパルス幅を設定するのにこれらの比較を使います。

計数器を制御するには前置分周された周辺機能クロックと事象システムからの事象を使ってください。



## 23.3. 機能的な説明

### 23.3.1. 定義

以下の定義は文書全体を通して使われます。

表23-1. タイマ/カウンタ定義

名称	説明
BOTTOM	計数器が底(BOTTOM)に到達し、それが全て0になる時
MAX	計数器が最大(MAXimum)に到達し、それが全て1になる時
TOP	計数器が頂上(TOP)に到達し、それが計数の流れで最高値と等しくなる時
UPDATE	更新条件一致、波形生成動作に依存してタイマ/カウンタがBOTTOMまたはTOPに到達する時。有効な緩衝値を持つ緩衝されるレジスタは制御E(TCEn.CTRLE)レジスタの更新施錠(LUPD)ビットが設定(1)されていない限り更新されます。
CNT	計数器レジスタ値
CMP	比較レジスタ値
PER	定期(周期)レジスタ値

一般的に用語の計時器はタイマ/カウンタが周期的クロック刻みを計数する時に使われます。用語の計数器は入力信号が散発的または不規則なクロック刻みを持つ時に使われます。後者は事象計数時の場合に有り得ます。

### 23.3.2. 初期化

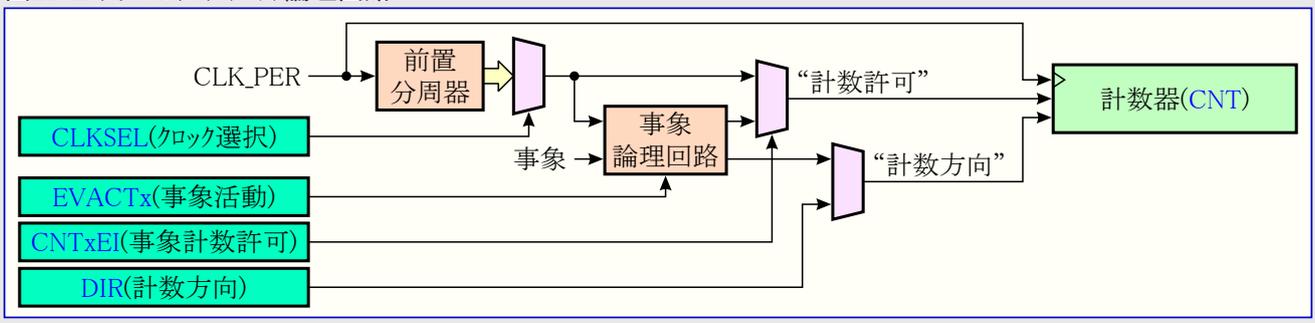
基本動作でタイマ/カウンタの使用を開始するには以下のようにこれらの手順に従ってください。

1. 定期(TCEn.PER)レジスタにTOP値を書いてください。
2. 制御A(TCEn.CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって周辺機能を許可してください。計数器はTCEn.CTRLAレジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域で設定した前置分周器に従ったクロック刻みの計数を開始します。
3. 任意選択: 事象制御(TCEn.EVCTRL)レジスタの事象入力での計数器事象入力A許可(CNTAIE)ビットに'1'を書くことにより、クロック刻みに代わって事象が計数されます。
4. 計数値は計数(TCEn.CNT)レジスタの計数(CNT)ビット領域から読むことができます。

### 23.3.3. クロック生成

下図で示されるように、CLK\_TCEは前置分周された周辺機能クロックか、または事象システムからの事象のどちらかです。

図23-2. タイマ/カウンタ クロック論理回路



### 23.3.4. 動作

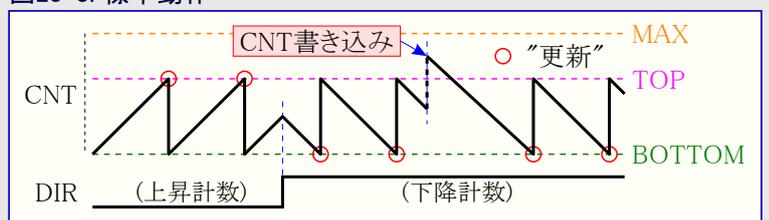
#### 23.3.4.1. 標準動作

通常動作では計数器がTOPまたはBOTTOMに達するまで、制御E(TCEn.CTRLE)レジスタの方向(DIR)ビットによって選ばれる方向でクロック刻みを計数します。クロック刻みは制御A(TCEn.CTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域に従って前置分周した周辺機能クロック(CLK\_PER)によって与えられます。代わりに、タイマ/カウンタは事象入力でも計数することもできます。

計数器が上昇計数中のTOP到着時、計数器は次のクロック刻みで'0'に丸められます。下降計数時、計数器はBOTTOMに達した時に定期(TCEn.PER)レジスタ値で再設定されます。

計数(TCEn.CNT)レジスタの計数値は計数器が走行している間に変更することができます。TCEn.CNTレジスタへの書き込みアクセスは計数、解消、再設定よりも高い優先権を持ち、直ちに行われます。計数器の方向はTCEn.CTRLEレジスタのDIRビットに書くことによって通常動作の間でも変更することができます。

図23-3. 標準動作



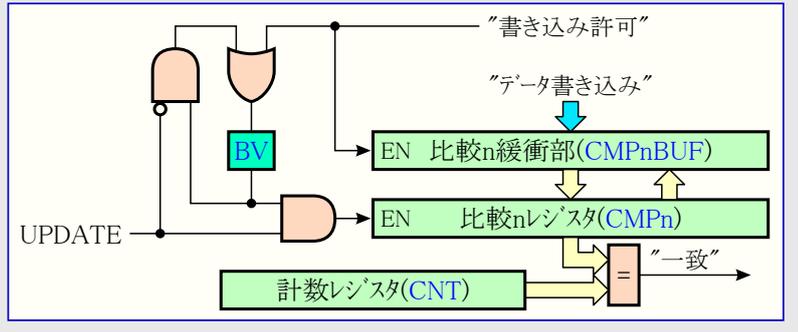
### 23.3.4.2. 2重緩衝

定期(TCEn.PER)と比較n(TCEn.CMPn)のレジスタは全て2重緩衝(TCEn.PERBUFとTCEn.CMPnBUF)されます。

各々の緩衝レジスタは緩衝レジスタが対応する定期または比較のレジスタ内に複写することができる有効な(新しい)値を含むことを示す、制御F(TCEn.CTRLF)レジスタ内の緩衝有効(BV)フラグ(PERBVとCMPnBV)を持ちます。比較動作にTCEn.PERとTCEn.CMPnのレジスタ使用時、BVフラグはデータが緩衝レジスタに書かれる時に自動的に設定(1)され、UPDATE条件で解除(0)されます。右図は2重緩衝を使って比較(CMPn)レジスタに書く時の過程を示します。

TCEn.CMPnとTCEn.CMPnBUFのレジスタはI/Oレジスタとして利用可能で、緩衝レジスタの初期化と迂回、2重緩衝機能を許します。

図23-4. 定期と比較の2重緩衝



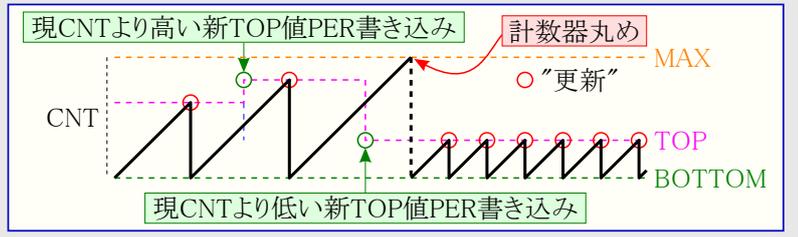
### 23.3.4.3. 周期変更

カウンタの周期は新しいTOP値を定期(TCEn.PER)レジスタへ書くことによって変更されます。

#### 緩衝なしでの周期変更

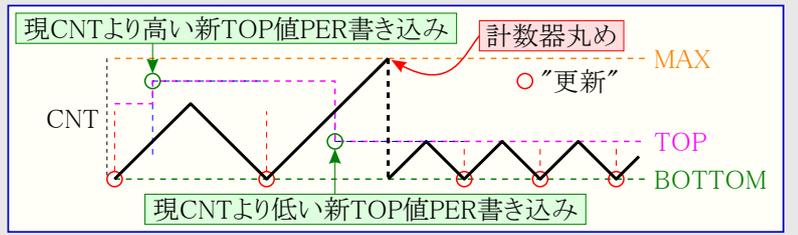
2重緩衝を使わない時はどの周期変更も直ちに行われます。

図23-5. 緩衝なし周期変更



カウンタ丸めは緩衝なしでの上昇計数時にどの動作形態でも起こり得ます。これは計数(TCEn.CNT)と定期(TCEn.PER)のレジスタが継続的に比較されるからです。TCEn.PERに書かれる新しい値が現在のTCEn.CNTよりも小さい場合、カウンタは比較一致が起こるのに先立って先に丸めを行うでしょう。

図23-6. 緩衝なし2傾斜動作

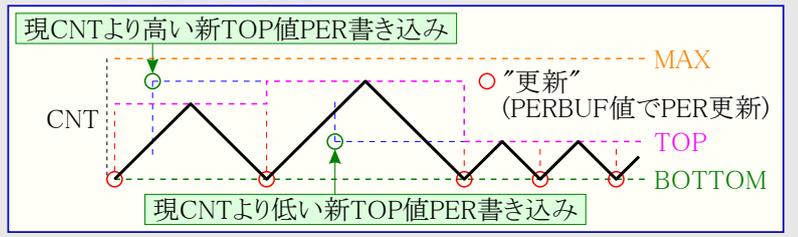


#### 緩衝を使う周期変更

2重緩衝使用時、緩衝部は何時でも書いて、正しい動作を維持します。右図の2傾斜動作に対して示されるように、定期(TCEn.PER)レジスタは常に"更新"(UPDATE)条件で更新され、丸めと奇数波形の生成を防ぎます。

注: 他に指定されない場合、TCE動作を示す図では緩衝が使われます。

図23-7. 緩衝使用周期変更



### 23.3.4.4. 比較チャネル

各比較nチャネルは計数器(TCEn.CNT)レジスタを比較n(TCEn.CMPn)レジスタと継続的に比較します。TCEn.CNTとTCEn.CMPnが等しい場合、比較器は一致を合図します。この一致は次の計時器クロック周期で比較チャネルの割り込み要求フラグ(INTFLAGS.CMPn)を設定(1)し、任意選択の割り込みを生成します。

比較n緩衝(TCEn.CMPnBUF)レジスタは定期緩衝(TCEn.PERBUF)レジスタのそれと等価な能力を持つ2重緩衝を提供します。2重緩衝はUPDATE条件に従って、計数の流れのTOPまたはBOTTOMのどちらかに対して緩衝値でのTCEn.CMPnレジスタの更新を同期化します。同期化は不具合なしの出力のために奇数長の発生、非対称パルスを防ぎます。

CMPnBUFの値はUPDATE条件でCMPnに移され、次の計数から計数器(TCEn.CNT)レジスタと比較されます。CMPnBUFがTCEn.CNTと同じ値を含む場合は一致事象が起こりません。

### 23.3.4.4.1. 波形生成

比較チャンネルは対応するポートピンでの波形生成に使うことができます。接続されたポートピンで波形を見ることができるようには、以下の必要条件が必須です。

1. 制御B(TCEn.CTRLB)レジスタの波形生成動作(WGMODE)ビット領域を書くことによって波形設定動作形態を選んでください。
2. 使った比較チャンネルを許可(TCEn.CTRLBレジスタの比較n許可(CMPnEN)=1)にし、従って対応するピンに対する出力値を指定変更します。代替ピンはポート多重器(PORTMUX)を構成設定することによって選ぶことができます。詳細については「PORTMUX - ポート多重器」章を参照してください。
3. 任意選択: 連携するポートピンに反転波形出力を許可してください。詳細については「PORT - I/Oピン構成設定」章を参照してください。

表23-2. 計時器波形生成動作形態

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	NORMAL	FRQ	-	SINGLESLOPE	-	DSTOP	DSBOTH	DSBOTTOM
説明	動作	標準	周波数 (予約)	1傾斜PWM (予約)	2傾斜PWM	2傾斜PWM	2傾斜PWM	2傾斜PWM
	TOP	PER	CMP0	-	PER	-	PER	PER
	更新	TOP/ (注) BOTTOM	TOP/ (注) BOTTOM	-	BOTTOM	-	BOTTOM	BOTTOM
	OVF	TOP/ (注) BOTTOM	TOP/ (注) BOTTOM	-	BOTTOM	-	TOP BOTTOM	BOTTOM

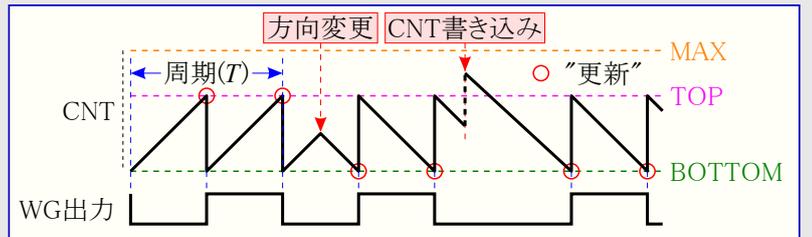
注: 上昇計数に対してTOP、下降計数に対してBOTTOM

### 23.3.4.4.2. 周波数波形生成 (FRQ)

周波数生成動作では定期(TCEn.PER)レジスタに代わって比較0(TCEn.CMP0)レジスタが周期(T)を制御します。対応する波形生成(WG)出力はTCEn.CNTとTCEn.CMPnのレジスタ間の各比較一致で交互切り替えされます。次式は波形周波数( $f_{FRQ}$ )を定義します。

$$f_{FRQ} = \frac{f_{CLK\_PER}}{2N(CMPn+1)}$$

図23-8. 周波数波形生成



ここでNは使われる前置分周数(制御A(TCEn.CTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域参照)を表し、 $f_{CLK\_PER}$ は周辺機能クロック周波数です。

生成される波形の最大周波数はTCEn.CMP0レジスタが0(\$0000)を書かれて前置分周が全く使われない(TCEn.CTRLAのCLKSEL=0、N=1)の時に周辺機能クロック周波数( $f_{CLK\_PER}$ )の半分です。

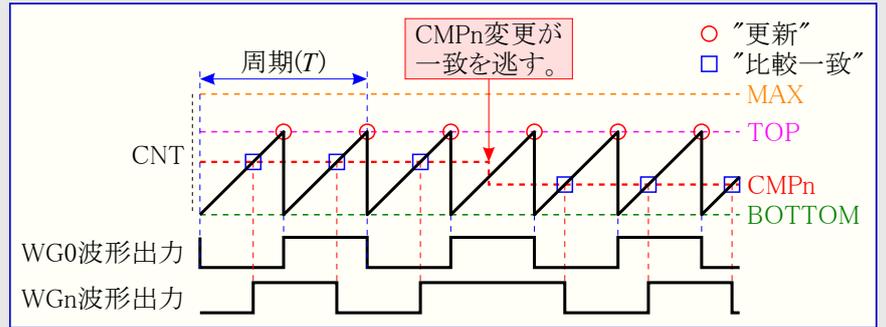
追加の波形出力WOnを得るにはTCEn.CMP1とTCEn.CMP2のレジスタを使ってください。波形WOnは同一またはWO0に対する変位のどちらかで有り得ます。この変位はTCEn.CMPn、TCEn.CNT、計数方向によって動かすことができます。秒での変位( $t_{Offset}$ )を計算するには下表で示される式を使ってください。この式はCMPn < CMP0の時にだけ有効です。

表23-3. 変位式概要

式	計数方向	CMPn対CNTの状態	変位
$t_{Offset} = \left( \frac{CMP0 - CMPn}{CMP0+1} \right) \left( \frac{T}{2} \right)$	上昇	CMPn ≥ CNT	WO0に先行するWOn
	下降	CMP0 ≤ CNT CMP0 > CNTでCMPn > CNT	WO0に後行するWOn
$t_{Offset} = \left( \frac{CMPn+1}{CMP0+1} \right) \left( \frac{T}{2} \right)$	上昇	CMP0 < CNT	WO0に後行するWOn
	下降	CMP0 ≤ CNT	WO0に先行するWOn

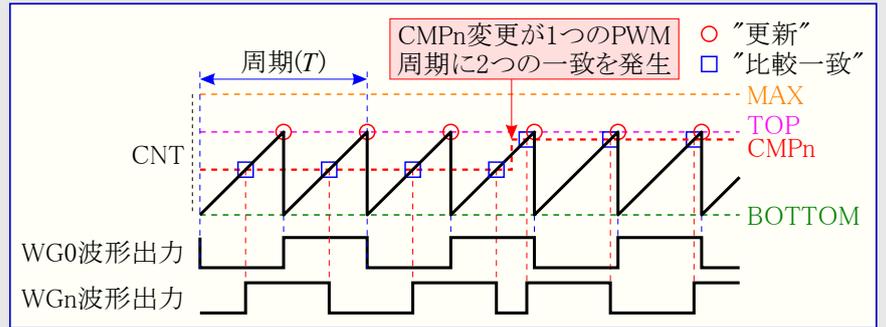
右図は両式を使うことができるWOn用の先行と後行の変位を示します。正しい式は計数方向と計時器が許可される、またはCMPnが変更される時のCMPn対CNTの状態によって決められます。

図23-9. 上昇計数時の変位



右図は走行時中のCMPn変更によって波形がどう反転され得るかを示します。

図23-10. 波形出力反転



### 23.3.4.4.3. 単一傾斜PWM生成

単一傾斜PWM生成に関して、周期(T)がTCEn.PERレジスタによって制御される一方で、TCEn.CMPnレジスタの値は生成する波形のデューティサイクルを制御します。下図は計数器がどうBOTTOMからTOPへ計数し、その後にBOTTOMから再開するかを示します。波形生成器出力はBOTTOMで設定(1)され、TCEn.CNTとTCEn.CMPnのレジスタ間の比較一致で解除(0)されます。

CMPn=BOTTOMはWOnで静的なLow信号を生じ、一方でCMPn>TOPはWOnで静的なHigh信号を生成します。

定期(TCEn.PER)レジスタはPWM分解能を定義します。最小分解能は2ビット(TCEn.PER=\$0002)で、最大分解能は16ビット(TCEn.PER=MAX-1)です。

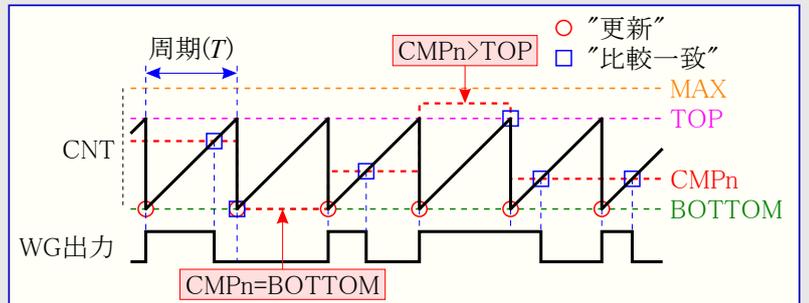
次式は単一傾斜PWMに対するビットでの正確な分解能(RPWM\_SS)を計算します。

$$RPWM\_SS = \frac{\log(PER+1)}{\log(2)}$$

単一傾斜PWM周波数( $f_{PWM\_SS}$ )は周期設定(TCEn.PER)、周辺機能クロック周波数( $f_{CLK\_PER}$ )、TCE前置分周器(TCEn.CTRLレジスタのCLKSELビット領域)に依存します。それは使う前置分周数をNが表す右式によって計算されます。

$$f_{PWM\_SS} = \frac{f_{CLK\_PER}}{N(PER+1)}$$

図23-11. 単一傾斜パルス幅変調



注: ・ 上図表現はCMPnがCMPnBUFを使い更新される時に有効です。  
・ 単一傾斜PWM生成に対して下降計数は支援されません。

### 23.3.4.4.4. 2傾斜PWM生成

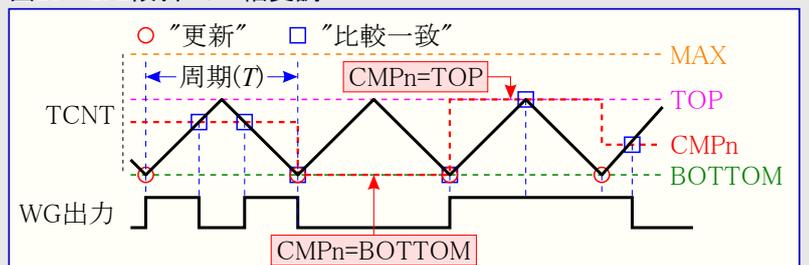
2傾斜PWM生成に関して、周期(T)は定期(TCEn.PER)レジスタによって制御される一方で、比較n(TCEn.CMPn)レジスタの値は波形生成(WG)出力のデューティサイクルを制御します。

下図は2傾斜PWMに対して計数器がBOTTOMからTOPへそしてその後にTOPからBOTTOMへどう繰り返し計数するかを示します。波形生成器出力はBOTTOMで設定(1)され、上昇計数時の比較一致で解除(0)され、下降計数時の比較一致で設定(1)されます。

CMPn=BOTTOMはWOnで静的なLow信号を生じ、一方でCMPn=TOPはWOnで静的なHigh信号を生じます。

定期(TCEn.PER)レジスタはPWM分解能を定義します。最小分解能は2ビット(TCEn.PER=\$0003)で、最大分解能は16ビット(TCEn.PER=MAX)です。

図23-12. 2傾斜パルス幅変調



注: 上図表現はCMPnがCMPnBUFを使って更新される時に有効です。

次式は2傾斜PWMに対する正確な分解能( $R_{PWM\_DS}$ )を計算します。

$$R_{PWM\_DS} = \frac{\log(PER+1)}{\log(2)}$$

PWM周波数( $f_{PWM\_DS}$ )はTCEn.PERレジスタでの周期設定、周辺機能クロック周波数( $f_{CLK\_PER}$ )、TCEn.CTRLAレジスタのCLKSELビット領域で選ばれる前置分周器に依存します。それは右式によって計算することができます。

$$f_{PWM\_DS} = \frac{f_{CLK\_PER}}{2N \times PER}$$

ここでNは使う前置分周数を表します。

2傾斜PWMの使用は単一傾斜PWM動作と比較して周期毎に倍の計時器増加数のため、概ね半分の最大動作周波数になります。

#### 23.3.4.4.5. 波形生成に関するポート無効化

TCEnは比較チャンネルが許可(制御B(TCEn.CTRLB)レジスタの比較n許可(CMPnEN)=1)にされ、波形生成動作が選ばれる時にポートピン値を覆します。

タイマ/カウンタ比較チャンネルは対応するポートピンでのポートピン出力値(PORTx.OUTレジスタのOUTn)を無効にします。ポートピンでの反転I/O許可(PORTx.PINnCTRLレジスタのINVEN=1)は対応するWG出力を反転します。

#### 23.3.4.5. タイマ/カウンタ指令

ソフトウェアは周辺機能の状態を直ちに変更するために1組の指令を発行することができます。これらの指令は更新、再始動、リセットの信号の直接制御を与えます。指令は制御E設定(TCEn.CTRLESET)レジスタの指令(CMD)ビット領域に各々の値を書くことによって発行されます。

更新(UPDATE)指令はUPDATE指令が制御E(TCEn.CTRLESET/CLR)レジスタの更新施錠(LUPD)ビットの状態によって影響を及ぼされないことを除き、更新条件が起こる時と同じ効果を持ちます。

ソフトウェアは再始動(RESTART)指令を発行することによって現在の波形周期の再始動を強制することができます。この場合は計数器と全ての波形出力が'0'に設定されます。

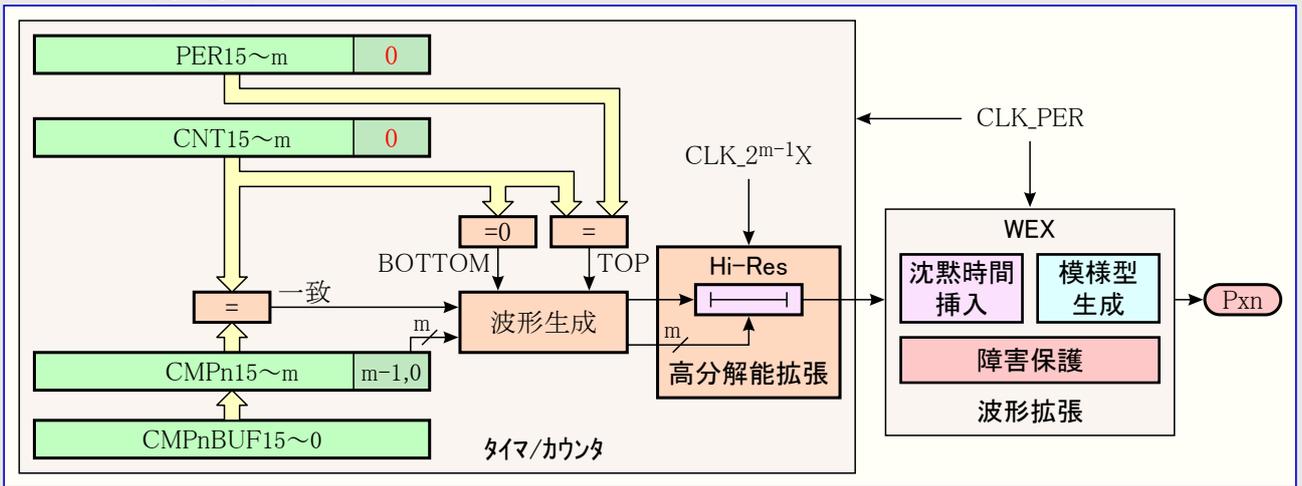
リセット(RESET)指令は全てのタイマ/カウンタレジスタをそれらの初期値に設定します。RESET指令はタイマ/カウンタが走行していない(TCEn.CTRLAレジスタの許可(ENABLE)=0)の時にだけ発行することができます。

#### 23.3.4.6. 高分解能

高分解能はタイマ/カウンタからの波形生成出力の分解能を4倍または8倍に増すのに使うことができます。これは周波数、1傾斜PWM、2傾斜PWMの生成を行うタイマ/カウンタに対して使うことができます。同じタイマ/カウンタに対して使われる場合にWEXでも使うことができます。

高分解能拡張は4倍のクロック元を使い、4倍動作では上昇端が計数され、8倍を得るには両端が計数されます。

図23-13. 高分解能拡張でのタイマ/カウンタ

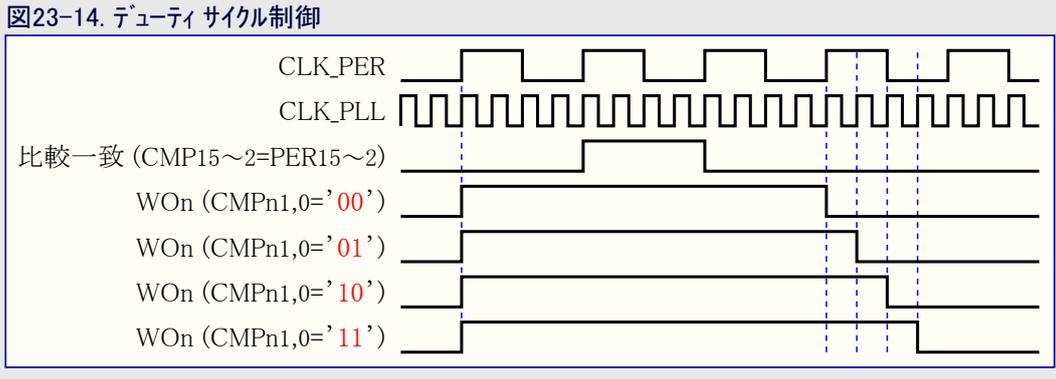


高分解能拡張が許可される時にタイマ/カウンタは前置分周されない周辺機能クロックで走行しなければなりません。

高分解能の完全利用のため、望むCPU速度の4倍で動くクロックが利用可能でなければなりません。望むシステム速度が20MHzの場合、位相固定化閉路(PLL)がシステム用に許可され(PLLは主クロック制御A(MCLKCTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)で80MHz供給元を得るように選ばなければなりません)、主クロック制御B(MCLKCTRLB)レジスタの前置分周器B分周(PBDIV)で前置分周器B(PRESCB)を許可しなければなりません。

タイマ/カウンタは制御D(TCEn.CTRLD)レジスタの高分解能許可(HREN1,0)ビット領域の選択に従い、計数器の下位側ビット(LSb)を無効にします。上位側ビット(MSb)の溢れ/下溢れと比較一致はこのタイマ/カウンタで行われます。LSbの計数と比較はシステムクロックの4倍または8倍で動いているクロックで走行する高分解能拡張で扱われて比較されます。

図23-14.は高分解能が許可された時にPWMの1つの端だけが影響を及ぼされ、それがCLK\_PERの分数を定義する比較レジスタのLSbであることを示します。



周期に対してLSbが使われないので、PWM周波数は高分解能が許可される時に変わります。表23-4.を御覧ください。

表23-4. 計数器と波形での高分解能の影響

HREN	高分解能で使われるLSb	計数器増加/減少	$f_{FRQ}$	$f_{SS}$ (1傾斜)	$f_{DS}$ (2傾斜)
OFF	0	$\pm 1$	$\frac{f_{CLK\_PER}}{2N(CMP0+1)}$	$\frac{f_{CLK\_PER}}{N(PER+1)}$	$\frac{f_{CLK\_PER}}{2N(PER)}$
4X	2	$\pm 4$	$\frac{4f_{CLK\_PER}}{2N(CMP0+4)}$	$\frac{4f_{CLK\_PER}}{N(PER+4)}$	$\frac{4f_{CLK\_PER}}{2N(PER)}$
8X	3	$\pm 8$	$\frac{8f_{CLK\_PER}}{2N(CMP0+8)}$	$\frac{8f_{CLK\_PER}}{N(PER+8)}$	$\frac{8f_{CLK\_PER}}{2N(PER)}$

タイマ/カウンタ定期(PER)レジスタのLSbは正しい動作を保証するために0に設定されなければなりません。応用コードから計数(CNT)レジスタが読まれる場合、タイマ/カウンタが周辺機能クロックで動いているため、LSbは常に0として読まれます。LSbは事象生成時にも無視されません。

高分解能動作でのTCEは1周辺機能クロック周期よりも短いどんなパルスも出力せず、即ち、4未満の比較値は目に見える出力がありません。

### 23.3.4.7. 振幅、変位と分数比較値

比較レジスタ(TCEn.CMPn、TCEn.CMPnBUF、TCEn.AMP)へ絶対値を書く代わりに、0~2間で分数値としてそれらに書くことが可能です。この分数値は0~2<sup>-15</sup>の範囲のUQ1.15形式です。実際の比較値は定期(TCEn.PER)、振幅(TCEn.AMP)、変位(TCEn.OFFSET)のレジスタに基づいて計算されます。

UQ1.15形式は高い周期や振幅の値(>\$8000)に対する精度で最大1ビットの損失を引き起こしますが、1傾斜に対してCMPn>PERの時に100%のデューティサイクルが達成されるのに必要とされる1を超える乗算を許します。

振幅と変位のレジスタは比較レジスタに対して範囲を設定するのに使われます。振幅は尺度(制御D(TCEn.CTRLD)の尺度許可(SCALE))が許可される場合にTCEn.PERレジスタから自動的に計算されます。この計算はAMPレジスタが書かれた時に起こります。

AMPレジスタが書かれると、その値は存在するPER値によって乗算され、その後AMPLレジスタに格納されます。この乗算は上位バイト(TCEn.AMPH)が書かれる時に起動されます。

AMPレジスタから読むデータは乗算後の値です。変位は後続するクロック周期間で選んだ尺度動作形態(SCALEMODE)に基づいて計算されます。

周期(定期)を変更する場合、2つの間で同じ関係性を保証するためにTCEn.AMPレジスタを再書き込みしてください。

図23-15. 振幅と変位のレジスタへの書き込み

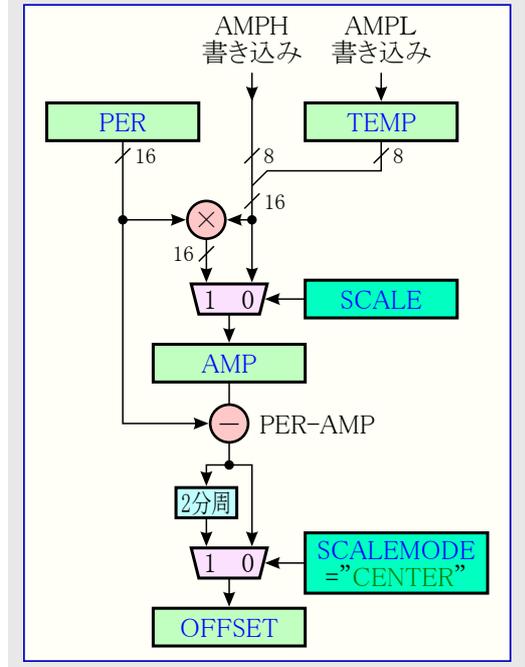


表23-5. 尺度動作での実際の振幅と変位

SCALEMODE	振幅 (注1,2)	変位 (注3)
CENTER	AMPfrac × PER	(PER-AMP)/2
BOTTOM		0
TOP		(PER-AMP)
TOPBOTTOM		(PER-AMP)

注1: 乗算が\$FFFFを超える結果を与える場合、AMPは\$FFFFに設定されます。

注2: AMPfracは尺度許可時にAMPレジスタに書かれる値です。

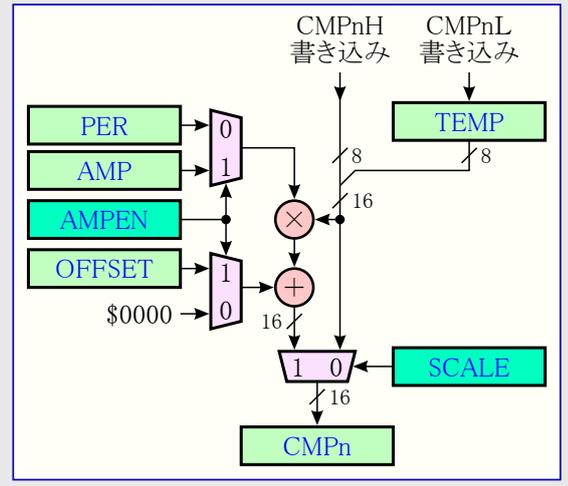
注3: 例えAMP>PERでも変位は決して負になりません。

比較n(TCEn.CMPn)または比較n緩衝(TCEn.CMPnBUF)のレジスタへの分数値書き込み時、それらは最初に振幅(TCEn.AMP)レジスタを乗算され、その後に変位(TCEn.OFFSET)が加算されます。この乗算は上位バイト(TCEn.CMPnHまたはTCEn.CMPnBUFH)が書かれる時に起動され、データが書かれる時に完了します。右図はCMPnレジスタに対する機能性を示し、CMPnBUFレジスタに対しても同様に働きます。

比較と比較緩衝のレジスタから読んだデータは乗算後の値です。

定期と振幅のレジスタ変更時、定期(周期)と振幅に対して同じ関係性を保証するためにTCEn.CMPnまたはTCEn.CMPnBUFのレジスタは再書き込みされなければなりません。

図23-16. 比較レジスタへの分数値書き込み



実際に格納されるCMPn値が下表で示されます。

表23-6. 尺度動作での実際の比較値 (注1,2)

SCALEMODE	尺度調整されたCMPn値 (AMPEN=0)	尺度調整されたCMPn値 (AMPEN=1)
CENTER	CMPfrac × PER	CMPfrac × AMP + OFFSET
BOTTOM		CMPfrac × AMP
TOP		CMPfrac × AMP + OFFSET
TOPBOTTOM		CMPfrac = \$0000 : BOTTOM CMPfrac ≥ \$8000 : PER CMPfrac ≥ \$4000 : CMPfrac × AMP CMPfrac < \$4000 : CMPfrac × AMP + OFFSET

注1: 乗算が\$FFFFを超える結果を与える場合、CMPnは\$FFFFに設定されます。

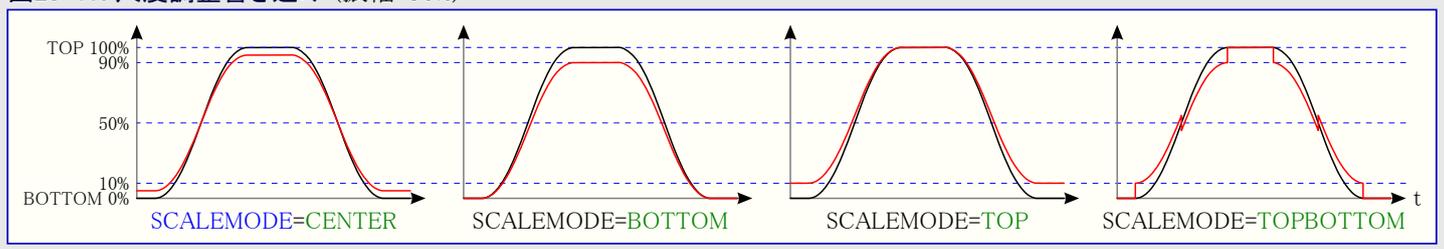
注2: CMPfracは尺度許可時にCMPnレジスタに書かれる値です。

### 尺度許可での波形範囲

尺度調整される書き込みが許可されると、TCEn.CMPnとTCEn.CMPnBUFに書かれた値は0~1の間で、PWM周期の0~100%間でデューティサイクル範囲を与えます。振幅低減使用時、比較レジスタは分数値に対する範囲として振幅(TCEn.AMP)レジスタと乗算され、生成された比較値は変位(TCEn.OFFSET)レジスタで調整されます。

下の例は振幅が周期の90%に設定された各種尺度動作に対する周期の%での実際の比較値を示します。変位は表23-6.に従って計算されます。黒線は全ての場合で同じで書かれた比較値を示し、赤線は定期(PER)の%としての実際の比較値を示します。

図23-17. 尺度調整書き込み (振幅=90%)



### 23.3.4.8. 波形拡張との連結

TCEnは波形生成動作でタイマ/カウンタに追加機能を提供する波形拡張(WEX)周辺機能と結合することができます。

**注:** WEX機能が許可されると、TCEn波形出力はWEX周辺機能に入力してWEX単位部によってWOn出力が覆されます。より多くの詳細については「WEX - 波形拡張」章を参照してください。

### 23.3.5. 事象

TCEは下表で記述される事象を生成することができます。

表23-7. TCEでの事象生成部

生成部名		CMPnEV	説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象					
TCEn	OVF		溢れ	パルス		
	CMP0	PULSE	比較チャンネル0一致			
		WAVEFORM	波形出力0	レベル		
	CMP1	PULSE	比較チャンネル1一致	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
		WAVEFORM	波形出力1			
	CMP2	PULSE	比較チャンネル2一致	パルス		
		WAVEFORM	波形出力2			
	CMP3	PULSE	比較チャンネル3一致	パルス		
		WAVEFORM	波形出力3			

表23-8. TCEでの事象使用部

使用部名		説明	入力検出	同期/非同期
周辺機能	入力			
TCEn	CNTA	正事象端で計数	端	同期
		両事象端で計数		
		事象信号がHighの間CLKSEL設定で計数		
		CLKSEL設定で計数、事象が方向を制御	レベル	
	CNTB	CNTAまたはCLKSEL設定で計数、事象が方向を制御		
		正事象端で计数器再始動	端	
		両事象端で计数器再始動		
		事象信号がHighの間计数器再始動	レベル	

### 23.3.6. 割り込み

表23-9. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
OVF	溢れ割り込み	计数器がTOPまたはBOTTOMに到達
CMP0	比較チャンネル0割り込み	计数器値と比較0レジスタ間の一致
CMP1	比較チャンネル1割り込み	计数器値と比較1レジスタ間の一致
CMP2	比較チャンネル2割り込み	计数器値と比較2レジスタ間の一致
CMP3	比較チャンネル3割り込み	计数器値と比較3レジスタ間の一致

割り込み条件が起こると、周辺機能の割り込み要求フラグ(TCEn.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。割り込み元は周辺機能の割り込み制御(TCEn.INTCTRL)レジスタで対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。

### 23.3.7. 休止形態動作

既定でTCEはスタンバイ休止動作で禁止され、休止動作に入ると停止します。

この単位部は制御(TCEn.CTRL A)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが'1'を書かれる場合にスタンバイ休止動作で完全な動作に留まることができます。

全ての動作はパワーダウン休止動作で停止されます。

23.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	RUNSTDBY					CLKSEL2~0		ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0	CMP3EN	CMP2EN	CMP1EN	CMP0EN	ALUPD		WGMODE2~0	
+\$02	CTRLC	7~0	CMP3POL	CMP2POL	CMP1POL	CMP0POL	CMP3OV	CMP2OV	CMP1OV	CMP0OV
+\$03	CTRLD	7~0		HREN1,0		SCALEMODE1,0	AMPEN	SCALE		
+\$04	CTRLECLR	7~0					CMD1,0		LUPD	DIR
+\$05	CTRLESET	7~0					CMD1,0		LUPD	DIR
+\$06	CTRLFCLR	7~0				CMP3BV	CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
+\$07	CTRLFSET	7~0				CMP3BV	CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
+\$08	EVGENCTRL	7~0	CMP3EV	CMP2EV	CMP1EV	CMP0EV				
+\$09	EVCTRL	7~0		EVACTB2~0		CNTBEI		EVACTA2~0		CNTAEI
+\$0A	INTCTRL	7~0	CMP3	CMP2	CMP1	CMP0				OVF
+\$0B	INTFLAGS	7~0	CMP3	CMP2	CMP1	CMP0				OVF
+\$0C ~ +\$0D	予約									
+\$0E	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$0F	TEMP	7~0					TEMP7~0			
+\$10 ~ +\$1F	予約									
+\$20	CNT	7~0					CNT7~0			
+\$21		15~8					CNT15~8			
+\$22	AMP	7~0					AMP7~0			
+\$23		15~8					AMP15~8			
+\$24	OFFSET	7~0					OFFSET7~0			
+\$25		15~8					OFFSET15~8			
+\$26	PER	7~0					PER7~0			
+\$27		15~8					PER15~8			
+\$28	CMP0	7~0					CMP7~0			
+\$29		15~8					CMP15~8			
+\$2A	CMP1	7~0					CMP7~0			
+\$2B		15~8					CMP15~8			
+\$2C	CMP2	7~0					CMP7~0			
+\$2D		15~8					CMP15~8			
+\$2E	CMP3	7~0					CMP7~0			
+\$2F		15~8					CMP15~8			
+\$30 ~ +\$35	予約									
+\$36	PERBUF	7~0					PERBUF7~0			
+\$37		15~8					PERBUF15~8			
+\$38	CMP0BUF	7~0					CMPBUF7~0			
+\$39		15~8					CMPBUF15~8			
+\$3A	CMP1BUF	7~0					CMPBUF7~0			
+\$3B		15~8					CMPBUF15~8			
+\$3C	CMP2BUF	7~0					CMPBUF7~0			
+\$3D		15~8					CMPBUF15~8			
+\$3E	CMP3BUF	7~0					CMPBUF7~0			
+\$3F		15~8					CMPBUF15~8			

## 23.5. レジスタ説明

### 23.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY					CLKSEL2~0		ENABLE
アクセス種別	R/W	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7 - RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)

このビットへの'1'書き込みはこの周辺機能にスタンバイ休止動作での走行を許します。

- ビット3~1 - CLKSEL2~0 : クロック選択 (Clock Select)

これらのビットはタイマ/カウンタに対するクロック周波数を選びます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	DIV1	DIV2	DIV4	DIV8	DIV16	DIV64	DIV256	DIV1024
説明 ( $f_{TCE} =$ )	$f_{CLK\_PER}$	$f_{CLK\_PER}/2$	$f_{CLK\_PER}/4$	$f_{CLK\_PER}/8$	$f_{CLK\_PER}/16$	$f_{CLK\_PER}/64$	$f_{CLK\_PER}/256$	$f_{CLK\_PER}/1024$

- ビット0 - ENABLE : 許可 (Enable)

値	0	1
名称	DISABLED	ENABLED
説明	周辺機能は禁止されます。	周辺機能は許可されます。

### 23.5.2. CTRLB - 制御B (Control B)

名称 : CTRLB  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP3EN	CMP2EN	CMP1EN	CMP0EN	ALUPD	WGMODE2~0		
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7~4 - CMPnEN : 比較n許可 (Compare n Enable)

FRQ(周波数)とPWMの波形生成動作で比較n許可(CMPnEN)ビットは対応するポート出力レジスタでの値を無効にしてWOnに対応するピンでのTCEn波形出力を利用可能にします。

**注:** 波形拡張(WEX)が許可される場合、WEX出力がTCEn波形出力に優先します。

値	0	1
説明	波形出力WOnは対応するピンで利用できません。	波形出力WOnはFRQとPWMの波形生成動作で対応するピンの出力値に優先します。

- ビット3 - ALUPD : 更新自動施錠 (Auto Lock Update)

更新自動施錠ビットは制御E(TCEn.CTRLB)レジスタの更新施錠(LUPD)ビットを制御します。ALUPDに'1'を書くと、全ての許可された比較チャンネルの緩衝部有効(CMPnBV)ビットが'1'になるまでLUPDが'1'に設定されます。(前行の)この条件がLUPDを解除(0)します。

これは比較n緩衝(CMPnBUF)レジスタが比較n(CMPn)レジスタに転送され、LUPDが再び'1'に設定される後続するUPDATE条件まで解除(0)に留まり、許可された全ての比較緩衝部が書かれるまでCMPnBUFレジスタ値がCMPnレジスタに転送されないことを保証します。

値	0	1
説明	TCEn.CTRLBレジスタのLUPDビットは自動的に変更されません。	TCEn.CTRLBレジスタのLUPDビットは自動的に設定(1)/解除(0)されます。

●ビット2~0 - WGMODE2~0: 波形生成動作 (Waveform Generation Mode)

このビット領域は波形生成動作を選び、計数器の計数進行、TOP値、UPDATE条件、割り込み条件、生成される波形の形式を制御します。標準形態の動作では波形生成が全く実行されません。他の全ての動作形態に対して対応する比較n許可(CMPnEN)ビットを設定(1)する場合、波形生成部出力がポートピンに直結されるだけです。ポートピンの方向は出力として設定されなければなりません。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	NORMAL	FRQ	-	SINGLESLOPE	-	DSTOP	DSBOTH	DSBOTTOM
説明 (動作形態)	標準	周波数	(予約)	1傾斜PWM	(予約)	TOPでの溢れでの 2傾斜PWM	TOPとBOTTOMでの溢れでの 2傾斜PWM	BOTTOMでの溢れでの 2傾斜PWM

23.5.3. CTRLC - 制御C (Control C)

名称 : CTRLC  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP3POL	CMP2POL	CMP1POL	CMP0POL	CMP3OV	CMP2OV	CMP1OV	CMP0OV
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7,6,5,4 - CMPnPOL: 比較n極性 (Compare n Polarity)

これらのビットの設定(1)は波形出力の極性を反転します。

●ビット3,2,1,0 - CMPnOV: 比較n出力値 (Compare n Output Value)

CMPnOVビットはタイマ/カウンタが許可されない時に波形生成部の出力値への直接アクセスを許します。これはタイマ/カウンタが走行していない時に波形生成部出力値を設定(1)または解除(0)するのに使われます。

23.5.4. CTRLD - 制御D (Control D)

名称 : CTRLD  
変位 : +\$03  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	HREN1,0		SCALEMODE1,0		AMPEN	SCALE		
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット7,6 - HREN1,0: 高分解能許可 (High Resolution Enable)

このビット領域は高分解能を許可します。高分解能はデューティサイクル分解能を増します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	OFF	4X	8X	-
説明	高分解能禁止	4倍(2ビット)増加分解能	8倍(3ビット)増加分解能	(予約)

●ビット5,4 - SCALEMODE1,0: 尺度動作形態 (Scale mode)

このビット領域は変位(OFFSET)がどう生成されるかを定義し、尺度調整が許可された時の比較レジスタ書き込み時に使われます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	CENTER	BOTTOM	TOP	TOPBOTTOM
説明	書かれた比較値が50%デューティサイクルで中央になるように尺度調整される変位を生成	書かれる比較値が0%デューティサイクルでBOTTOMになるように尺度調整される変位を生成	書かれる比較値が100%デューティサイクルでTOPになるように尺度調整される変位を生成	50%>の書かれる比較値はTOPに、50%<の書かれる比較値はBOTTOMになるように尺度調整され、0%値は比較値0を、100%値はTOP値に等しい比較値を与えます。

● ビット3 - AMPEN : 振幅制御許可 (Amplitude Control Enable)

このビットの設定(1)は振幅(AMP)と変位(OFFSET)のレジスタの使用を許可します。このビットの設定(1)は尺度許可(SCALE)ビットが'1'を書かれた場合にだけ機能します。

● ビット2 - SCALE : 尺度許可 (Scale Enable)

このビットの設定(1)は比較、比較緩衝、振幅のレジスタへの分数値書き込みを許します。尺度調整が許可された場合、比較(TCEn.CMPn)と比較緩衝(TCEn.CMPnBUF)のレジスタは振幅(TCEn.AMP)または定期(TCEn.PER)のレジスタで乗算されます。振幅(TCEn.AMP)レジスタへの書き込みは定期(TCEn.PER)レジスタで乗算されます。書かれる値は0~2-2<sup>-15</sup>間の範囲を提供するUQ1.15形式でなければなりません。

値	0	1
名称	NORMAL	FRACTIONAL
説明	AMPとCMPnのレジスタ書き込みに絶対値を使用	AMPとCMPnのレジスタ書き込みに分数値を使用

23.5.5. CTRLCLR - 制御E解除 (Control Register E Clear)

名称 : CTRLCLR  
変位 : +\$04  
リセット : \$00  
特質 : -

注: そのビット位置に'1'を書くことで個別ビットを解除(0)するのに、読み-変更-書き(RMW)の代わりにこのレジスタを使ってください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMD1,0		LUPD	DIR
アクセス種別	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3,2 - CMD1,0 : 指令 (Command)

このビット領域はタイマ/カウンタの更新、再始動、リセットのソフトウェア制御に使われます。指令ビット領域は常に'0'として読みます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	UPDATE	RESTART	RESET
説明	指令なし	強制更新	強制再始動	強制ハード リセット (TCEが許可の場合は無効)

● ビット1 - LUPD : 更新施錠 (Lock Update)

更新を実行するのに先立って全ての緩衝部が有効であることを保証するために更新施錠を使ってください。このビットへの'1'書き込みは更新施錠を解除します。

値	0	1
説明	緩衝されるレジスタはUPDATE条件が起これると直ぐに更新されます。	例えUPDATE条件が起きても、緩衝されるレジスタの更新は実行されません。この設定は指令ビット領域によって発行される更新を妨げません。

● ビット0 - DIR : 計数方向 (Counter Direction)

通常、このビットは波形生成動作または事象活動によってハードウェアで制御されますが、ソフトウェアからも変更することができます。このビットへの'1'書き込みはDIRビットを解除(0)し、計数器は上昇計数します。

値	0	1
説明	計数器は上昇計数 (増加)	計数器は下降計数 (減少)

23.5.6. CTRLSET - 制御E設定 (Control Register E Set)

名称 : CTRLSET  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMD1,0		LUPD	DIR
アクセス種別	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3,2 - CMD1,0 : 指令 (Command)

このビット領域はTCEnにソフトウェア指令を送るのに使われます。指令ビットは指令実行後、ハードウェアによって自動的に解除(0)され、常に'0'として読みます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	UPDATE	RESTART	RESET
説明	指令なし	強制更新	強制再始動	強制ハード リセット (TCEが許可の場合は無効)

● ビット1 - LUPD : 更新施錠 (Lock Update)

更新施錠は更新を実行するのに先立って全ての緩衝部が有効であることを保証します。このビットへの'1'書き込みはLUPDを設定(1)させ、更新が施錠されます。

値	0	1
説明	緩衝されるレジスタはUPDATE条件が起こると直ぐに更新されます。	例えUPDATE条件が起きても、緩衝されるレジスタの更新は実行されません。この設定は指令ビット領域によって発行される更新を妨げません。

● ビット0 - DIR : 計数方向 (Counter Direction)

通常、このビットは波形生成動作または事象活動によってハードウェアで制御されますが、ソフトウェアからも変更することができます。このビットへの'1'書き込みはDIRビットを設定(1)し、計数器は下降計数します。

値	0	1
説明	計数器は上昇計数 (増加)	計数器は下降計数 (減少)

23.5.7. CTRLFCLR - 制御F解除 (Control Register F Clear)

名称 : CTRLFCLR  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				CMP3BV	CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
アクセス種別	R	R	R	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4,3,2,1 - CMPnBV : 比較n緩衝有効 (Compare n Buffer Valid)

CMPnBVビットは新しい値が対応する比較n緩衝(TCEn.CMPnBUF)レジスタに書かれた時に設定(1)されます。これらのビットはUPDATE条件で自動的に解除(0)します。

● ビット0 - PERBV : 定期緩衝有効 (Period Buffer Valid)

このビットは新しい値が定期緩衝(TCEn.PERBUF)レジスタに書かれた時に設定(1)されます。このビットはUPDATE条件で自動的に解除(0)します。

23.5.8. CTRLFSET - 制御F設定 (Control Register F Set)

名称 : CTRLFSET  
変位 : +\$07  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				CMP3BV	CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
アクセス種別	R	R	R	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4,3,2,1 - CMPnBV : 比較n緩衝有効 (Compare n Buffer Valid)

CMPnBVビットは新しい値が対応する比較n緩衝(TCEn.CMPnBUF)レジスタに書かれた時に設定(1)されます。これらのビットはUPDATE条件で自動的に解除(0)します。

● ビット0 - PERBV : 定期緩衝有効 (Period Buffer Valid)

このビットは新しい値が定期緩衝(TCEn.PERBUF)レジスタに書かれた時に設定(1)されます。このビットはUPDATE条件で自動的に解除(0)します。

### 23.5.9. EVGENCTRL - 事象生成制御 (Event Generation Control)

名称 : EVGENCTRL  
変位 : +\$08  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP3EV	CMP2EV	CMP1EV	CMP0EV				
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7,6,5,4 - CMPnEV : 比較n事象生成 (Compare n Event Generation)

これらのビットは事象出力で利用可能な波形を選びます。

注: 事象を生成するのに制御B(TCEn.CTRLB)の比較n許可(CMPnEN)を設定(1)する必要はありません。

値	0	1
名称	PULSE	WAVEFORM
説明	各比較一致で生成される事象パルス	事象出力は波形出力信号

注: 生成された事象は出力許可前、但し比較n極性(CMPnPOL)選択後の波形出力と等価です。

### 23.5.10. EVCTRL - 事象制御 (Event Control)

名称 : EVCTRL  
変位 : +\$09  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	EVACTB2~0			CNTBEI	EVACTA2~0			CNTAEI
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7~5 - EVACTB2~0 : 事象活動B (Event Action B)

これらのビットは或る事象条件で計数器が取る活動を定義します。

値	名称	説明
0 0 0	NONE	活動なし
0 1 1	UPDOWN	前置分周したクロック周期または事象入力A用設定に従って計数。事象は計数方向を制御します。 ・ 事象線が0の時に上昇計数 ・ 事象線が1の時に下降計数
1 0 0	RESTART_POSEDGE	正事象端で計数器再始動
1 0 1	RESTART_ANYEDGE	両事象端で計数器再始動
1 1 0	RESTART_HIGHLVL	事象信号がHighの間、計数器再始動
その他	-	(予約)

#### ● ビット4 - CNTBEI : 計数器事象入力B許可 (Enable Counter Event Input B)

値	0	1
説明	計数器事象入力Bは禁止	計数器事象入力BはEVACTBビット領域に従って許可

#### ● ビット3~1 - EVACTA2~0 : 事象活動A (Event Action A)

これらのビットは或る事象条件で計数器が取る活動を定義します。

値	名称	説明
000	CNT_POSEDGE	正事象端で計数
001	CNT_ANYEDGE	両事象端で計数
010	CNT_HIGHLVL	事象信号がHighの間、前置分周されたクロック周期を計数
011	UPDOWN	前置分周されたクロックを計数。事象は計数方向を制御します。 ・事象線が0の時に上昇計数 ・事象線が1の時に下降計数
その他	-	(予約)

●ビット0 - CNTAEI : 計数器事象入力A許可 (Enable Counter Event Input A)

値	0	1
説明	計数器事象入力Aは禁止	計数器事象入力AはEVACTAビット領域に従って許可

23.5.11. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
変位 : +\$0A  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP3	CMP2	CMP1	CMP0				OVF
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット7,6,5,4 - CMPn : 比較チャネルn割り込み許可 (Compare Channel n Interrupt Enable)

CMPnビットへの'1'書き込みはチャネルからの比較割り込みを許可します。

●ビット0 - OVF : 上下溢れ割り込み許可 (Timer Overflow/Underflow Interrupt Enable)

OVFビットへの'1'書き込みは上下溢れ割り込みを許可します。

23.5.12. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flag Register)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$0B  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP3	CMP2	CMP1	CMP0				OVF
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット7,6,5,4 - CMPn : 比較チャネルn割り込み要求フラグ (Compare Channel n Interrupt Flag)

比較割り込み要求(CMPn)フラグは対応する比較チャネルでの比較一致で設定(1)されます。全ての動作形態に対して、CMPnフラグは計数(TCEn.CNT)レジスタと対応する比較(TCEn.CMPn)レジスタ間で比較一致が起こる時に設定(1)されます。CMPnフラグは自動的に解除(0)されず、そのビット位置に'1'を書くことによってだけ解除(0)されます。

●ビット0 - OVF : 上下溢れ割り込み要求フラグ (Timer Overflow/Underflow Interrupt Flag)

このフラグは波形生成動作(WGMODE)設定に依存して、TOP(上溢れ)またはBOTTOM(下溢れ)のどちらかで設定(1)されます。OVFフラグは自動的に解除(0)しません。このビット位置に'1'を書くことによってだけ解除(0)されます。

注: どの個別ビットもそのビット位置に'1'を書くことによって解除(0)することができ、単一レジスタでの読み-変更-書き(RMW)操作を使うことなく、各ビットの解除(0)を許します。

### 23.5.13. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control)

名称 : DBGCTRL  
変位 : +\$0E  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行 (Run in Debug)

値	0	1
名称	DISABLED	ENABLED
説明	TCEはデバッグ動作中断で停止し、事象を無視	TCEはCPU停止中のデバッグ動作中断で走行継続

### 23.5.14. TEMP - 一時レジスタ (Temporary bits for 16-bit Access)

名称 : TEMP  
変位 : +\$0F  
リセット : \$00  
特質 : -

一時レジスタはこの周辺機能の16ビットレジスタへの16ビット単一周期アクセスのためにCPUによって使われます。このレジスタはこの周辺機能の全ての16ビットレジスタに対して共通でソフトウェアによって読み書きすることができます。16ビットレジスタの読み書きのより多くの詳細については「メモリ」章の「16ビットレジスタのアクセス」を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TEMP7~0							
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 - TEMP7~0 : 一時値 (Temporary Bits for 16-bit Access)

### 23.5.15. CNT - 計数 (Counter Register)

名称 : CNT (CNTH,CNTL)  
変位 : +\$20  
リセット : \$0000  
特質 : -

TCEn.CNTHとTCEn.CNTLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.CNTを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。CPUとUPDIの書き込みアクセスはレジスタの内部更新を超える優先権を持ちます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	CNT15~8							
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	6	5	4	3	2	1	0
	CNT7~0							
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15~8 - CNT15~8 : 計数值上位バイト (Counter high byte)

このビット領域は16ビット計数レジスタの上位バイトを保持します。

#### ● ビット7~0 - CNT7~0 : 計数值下位バイト (Counter low byte)

このビット領域は16ビット計数レジスタの下位バイトを保持します。

### 23.5.16. AMP - 振幅 (Amplitude Register)

名称 : AMP (AMPH,AMPL)  
変位 : +\$22  
リセット : \$0000  
特質 : -

TCEn.AMPHとTCEn.AMPLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.AMPを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。CPUとUPDIの書き込みアクセスはレジスタの内部更新を超える優先権を持ちます。

TCEn.AMPレジスタは比較レジスタに対して範囲と最小/最大PWMデューティサイクルを設定するのに使われる16ビット値を保持します。制御D(TCEn.CTRLD)の尺度許可(SCALE)と振幅制御許可(AMPEN)が許可されると、最小/最大PWMデューティサイクルはAMPと変位(OFFSET)のレジスタによって定義された範囲に制限されます。AMPレジスタはAMPEN='0'の場合に使われません。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
AMP15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
AMP7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット15~8 - AMP15~8 : 尺度調整振幅値上位バイト (Scale Amplitude High Byte)**

このビット領域は16ビット振幅レジスタの上位バイトを保持します。

- **ビット7~0 - AMP7~0 : 尺度調整振幅値下位バイト (Scale Amplitude Low Byte)**

このビット領域は16ビット振幅レジスタの下位バイトを保持します。

### 23.5.17. OFFSET - 変位 (Offset Register)

名称 : OFFSET (OFFSETH,OFFSETL)  
変位 : +\$24  
リセット : \$0000  
特質 : -

TCEn.OFFSETHとTCEn.OFFSETLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.OFFSETを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。CPUとUPDIの書き込みアクセスはレジスタの内部更新を超える優先権を持ちます。

TCEn.OFFSETレジスタは比較レジスタに対して変位調整を設定するための16ビット値を保持します。制御D(TCEn.CTRLD)の尺度許可(SCALE)と振幅制御許可(AMPEN)が許可されると、OFFSETレジスタは振幅(AMP)レジスタに書いた後でTCEn.CTRLDの尺度動作形態(SCALEMODE)ビット領域での構成設定に基づいて自動的に更新されます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
OFFSET15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
OFFSET7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット15~8 - OFFSET15~8 : 尺度調整変位値上位バイト (Scale Offset High Byte)**

このビット領域は16ビット変位レジスタの上位バイトを保持します。

- **ビット7~0 - OFFSET7~0 : 尺度調整変位値下位バイト (Scale Offset Low Byte)**

このビット領域は16ビット変位レジスタの下位バイトを保持します。

### 23.5.18. PER - 定期 (Period Register)

名称 : PER (PERH,PERL)  
変位 : +\$26  
リセット : \$FFFF  
特質 : -

TCEn.PERHとTCEn.PERLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.PERを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

TCEn.PERレジスタはタイマ/カウンタの16ビットTOP値を含みます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
PER15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	1	1	1	1	1	1	1	1
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
PER7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	1	1	1	1	1	1	1	1

#### ● ビット15~8 - PER15~8 : 定期値上位バイト (Period high byte)

このビット領域は16ビット定期レジスタの上位バイトを保持します。

#### ● ビット7~0 - PER7~0 : 定期値下位バイト (Period low byte)

このビット領域は16ビット定期レジスタの下位バイトを保持します。

### 23.5.19. CMPn - 比較n (Compare n Register)

名称 : CMP0 (CMP0H,CMP0L) : CMP1 (CMP1H,CMP1L) : CMP2 (CMP2H,CMP2L) : CMP3 (CMP3H,CMP3L)  
変位 : +\$28 : +\$2A : +\$2C : +\$2E  
リセット : \$0000  
特質 : -

CMPnレジスタは継続的に計数値と比較されます。通常、比較器からの出力はその後に波形を生成するのに使われます。TCEn.CMPnレジスタはUPDATE条件発生時にそれらの対応する比較緩衝(TCEn.CMPnBUF)レジスタからの緩衝値で更新されます。

TCEn.CMPnHとTCEn.CMPnLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.CMPnを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

制御D(TCEn.CTRLD)の尺度許可(SCALE)ビットが'1'を書かれると、CMPnレジスタに書かれたデータは $0 \sim 2^{-2-15}$ の範囲のUQ1.15固定小数点表記になることが期待されます。この場合にTCEn.CTRLDの振幅制御許可(AMPEN)ビットが'0'なら、TCEn.CMPnHレジスタへの書き込みが周期(TCEn.PER)レジスタとの乗算を起動し、結果のデータがCMPnレジスタに格納されます。AMPEN='1'時は書かれた値が振幅(TCEn.AMP)レジスタで乗算され、変位(TCEn.OFFSET)レジスタが加算されます。

注: TCEn.CMPnレジスタから読むデータは乗算と加算の操作後の結果の値です。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
CMP15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
CMP7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット15~8 - CMP15~8 : 比較値上位バイト (Compare High Byte)

このビット領域は16ビット比較レジスタの上位バイトを保持します。

#### ● ビット7~0 - CMP7~0 : 比較値下位バイト (Compare Low Byte)

このビット領域は16ビット比較レジスタの下位バイトを保持します。

● ビット15~8 - CMP15~8 : 比較値上位バイト (Compare high byte)

このビット領域は16ビット比較レジスタの上位バイトを保持します。

● ビット7~0 - CMP7~0 : 比較値下位バイト (Compare low byte)

このビット領域は16ビット比較レジスタの下位バイトを保持します。

23.5.20. PERBUF - 定期緩衝 (Period Buffer Register) - 標準動作

名称 : PERBUF (PERHBUF,PERBUFL)

変位 : +\$36

リセット : \$FFFF

特質 : -

このレジスタは定期(TCEn.PER)レジスタの緩衝部として扱います。CPUまたはUPDIを使うこのレジスタのアクセスは制御F(TCEn.CTRLF)レジスタの定期緩衝有効(PERBV)フラグに影響を及ぼします。

TCEn.PERBUFHとTCEn.PERBUFLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.PERBUFを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
PERBUF15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	1	1	1	1	1	1	1	1
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
PERBUF7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	1	1	1	1	1	1	1	1

● ビット15~8 - PERBUF15~8 : 定期緩衝値上位バイト (Period Buffer high byte)

このビット領域は16ビット定期緩衝レジスタの上位バイトを保持します。

● ビット7~0 - PERBUF7~0 : 定期緩衝値下位バイト (Period Buffer low byte)

このビット領域は16ビット定期緩衝レジスタの下位バイトを保持します。

23.5.21. CMPnBUF - 比較n緩衝 (Compare n Buffer Register) - 標準動作

名称 : CMP0BUF (CMP0BUFH,CMP0BUFL) : CMP1BUF (CMP1BUFH,CMP1BUFL) : CMP2BUF (CMP2BUFH,CMP2BUFL) : CMPnBUF (CMPnBUFH,CMPnBUFL)

変位 : +\$38 : +\$3A : +\$3C : +\$3E

リセット : \$0000

特質 : -

TCEn.CMPnBUFHとTCEn.CMPnBUFLのレジスタ対は16ビット値のTCEn.CMPnBUFを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

このレジスタは連携する比較(TCEn.CMPn)レジスタに対する緩衝部として扱います。CPUまたはUPDIを使うこれらのレジスタのアクセスは制御F(TCEn.CTRLF)レジスタの対応する比較緩衝有効(CMPnBV)状態ビットに影響を及ぼします。

制御D(TCEn.CTRLD)の尺度許可(SCALE)ビットが'1'を書かれると、CMPnBUFレジスタに書かれたデータは0~2-2<sup>-15</sup>の範囲のUQ1.15固定小数点表記になることが期待されます。この場合にTCEn.CTRLDの振幅制御許可(AMPEN)ビットが'0'なら、TCEn.CMPnBUFHレジスタへの書き込みが周期(TCEn.PER)レジスタとの乗算を起動し、結果のデータがCMPnBUFレジスタに格納されます。AMPEN='1'時は書かれた値が振幅(TCEn.AMP)レジスタで乗算され、変位(TCEn.OFFSET)レジスタが加算されます。

注: TCEn.CMPnBUFレジスタから読むデータは乗算と加算の操作後の結果の値です。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
CMPBUF15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
CMPBUF7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット15~8 - CMPBUF15~8 : 比較緩衝値上位バイト (Compare Buffer High Byte)

これらのビットは16ビット比較緩衝レジスタの上位バイトを保持します。

● ビット7~0 - CMPBUF7~0 : 比較緩衝値下位バイト (Compare Buffer Low Byte)

これらのビットは16ビット比較緩衝レジスタの下位バイトを保持します。

## 24. WEX - 16ビット タイマ/カウンタ型用波形拡張

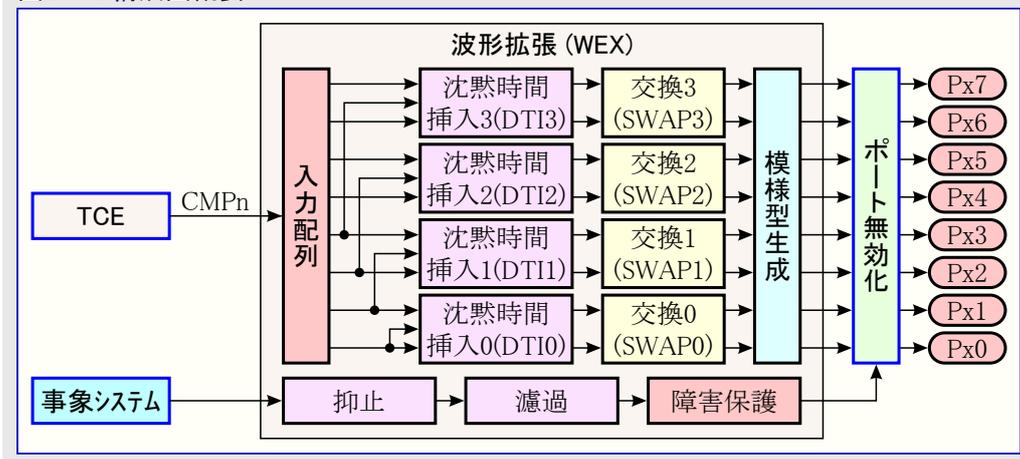
### 24.1. 特徴

- ・各比較チャンネルからの補完出力を持つ波形出力
- ・4つの沈黙時間挿入(DTI)部
  - 独立したHigh側とLow側の沈黙時間設定
  - 2重緩衝された沈黙時間レジスタ
  - 8ビット分解能
- ・タイマ/カウンタ比較チャンネル分配用の入力配列
- ・ポートピンに渡って同期したビット様式を生成する模様型生成部
  - 2重緩衝された模様型生成
  - ポートピンに渡って比較チャンネル出力の1つを分配する任意選択
- ・即時且つ予測可能な障害起動用の事象制御障害保護
- ・4つの交換(SWAP)部
  - 独立したポート対またはHigh/Low側駆動部の交換

### 24.2. 概要

波形拡張(WEX)は波形生成(WG)動作でのタイマ/カウンタに追加の機能を提供します。これは主に各種形式の電動機制御と他の電力制御応用での使用が意図されます。WEXは独立して連続する5つの単位部から成ります。

図24-1. 構成図概要



入力配列(INMX)は各種応用形式用に各々最適化され、各種構成設定でポートピンに渡って接続されたタイマ/カウンタからの波形出力を分配して引き出すことができます。

沈黙時間挿入(DTI:Dead Time Insertion)部は4つの下位側INMX出力を、Low側(LS)とHigh側(HS)切り換え間の任意選択沈黙時間挿入を持つ波形出力の非反転LSと反転HSの2つの非重複信号に分けます。DTI部が禁止されると、INMXからの信号は交換(SWAP)部へ行きます。

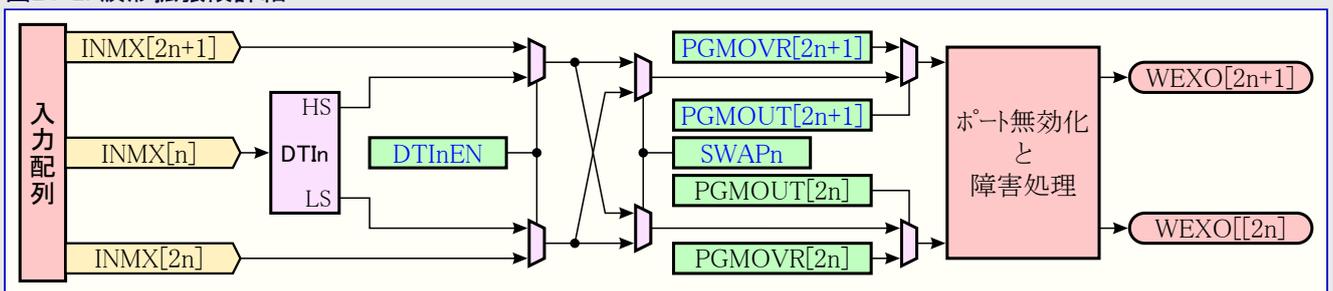
交換(SWAP)部は高速減衰電動機制御に対してLSとHSのピン位置を交換することができます。SWAPは例えばDTI部が許可されなくても動き、接続されたINMX信号を交換します。

模様型生成部は一定の論理レベルで同期した出力波形を生成し、簡単なステップング電動機と全ブリッジ制御に使うことができます。

障害保護部は事象システムに接続され、WEX出力を定義された状態に設定するために障害条件を起動することを事象に許します。事象システムは予測可能で即時の障害反応を確実にして柔軟な障害起動選択を与えます。

ポート無効化禁止部はそれらがINMX構成設定によって選ぶことができるため、応用が全てのポートピンに渡って波形出力を展開する必要がない時に、使い方を最適化するために選択可能なポートピンでの波形出力を禁止することや、他の機能が使うためにピンを空けることができます。

図24-2. 波形拡張段詳細



## 24.3. 機能的な説明

### 24.3.1. 初期化

- ・制御A(WEXn.CTRLA)レジスタで波形拡張動作を許可してください。
  - 沈黙時間挿入CMPn許可(DTInEN)ビットに'1'を書くことによって沈黙時間部を許可してください。模様型生成動作(PGM)ビットに'1'を書くことによって模様型生成を許可してください。入力配列(INMX2~0)をWEX周辺機能に対して望む入力動作形態に構成設定してください。
- ・任意選択: 沈黙時間を許可してください。
  - 沈黙時間Low側(WEXn.DTLS)/沈黙時間High側(WEXn.DTHS)または沈黙時間Low側緩衝(WEXn.DTLSEBUF)/沈黙時間High側緩衝(WEXn.DTHSEBUF)のレジスタに沈黙時間設定を書いてください。
- ・任意選択: DTI交換(WEXn.SWAP)やDTI交換緩衝(WEXn.SWAPSEBUF)のレジスタに書くことによって出力交換を許可してください。
- ・任意選択: 模様型生成動作上書き(WEXn.PGMOVR)と模様型生成動作出力(WEXn.PGMOUT)、それら各々の緩衝部(WEXn.PGMOVRSEBUFとWEXn.PRMOUTSEBUF)のレジスタで模様型生成を構成設定してください。
- ・抑止制御(WEXn.BLANKCTRL)と抑止時間(WEXn.BLANKTIME)のレジスタで抑止を構成設定してください。
- ・任意選択: 障害制御を許可してください。
  - 障害制御(WEXn.FAULTCTRL)レジスタで障害検出再開動作形態(FDMODE)ビットを変更することによって障害動作形態を設定してください。
  - WEXn.FAULTCTRLレジスタで障害検出活動(FDACT1,0)ビット領域を変更することによって障害活動を設定してください。
  - 障害駆動(WEXn.FAULTDRV)と障害出力(WEXn.FAULTOUT)のレジスタでピン駆動と障害出力の値を構成設定してください。
  - ピンが障害状態であることを確実にするために制御C(WEXn.CTRLC)レジスタにFAULTSET指令を書いてください。
- ・出力上書き許可(WEXn.OUTOVEN)レジスタで出力ピンの上書きを許可してください。ピンは今や障害が検出される場合に障害状態になるでしょう。

波形拡張は入力波形が接続されて動く時に動作を開始します。

障害が検出された場合、

- ・障害生成部と事象システムを構成設定してください。
- ・事象制御A/B/C(WEXn.EVCTRLA/EVCTRLB/EVCTRLC)レジスタで障害入力を許可してください。

### 24.3.2. 動作

#### 24.3.2.1. 入力配列

入力配列(INMX)部は表24-1.で示されるように選択可能な構成設定に従ってWEX内部接続を渡ってタイマ/カウンタ波形出力を分配して配線します。

入力配列は入力が沈黙時間生成部へどう行くかを決めます。沈黙時間生成部が許可される場合、各入力を2つに分けます。全ての信号は最低1つの沈黙時間生成部が許可される場合に分けられます。下表はDTIとINMXの設定に基く沈黙時間生成部からの出力を示します。

交換(SWAP)はどの波形出力がどこへ行くかを変更せず、LS/HS対だけを変更します。DTIが禁止され、SWAPが既定状態なら、WEX単位部機能を迂回してタイマ/カウンタ(T/C)WO信号をポートピンで見ることが可能で、これは使用者が構成設定できるWEXに対する透過動作として考慮することができます。

表24-1. 入力配列構成設定

INMX2~0	名称	DTInEN	Px7	Px6	Px5	Px4	Px3	Px2	Px1	Px0
0 0 0	DIRECT	0	-	-	-	-	WO3*	WO2*	WO1*	WO0*
		1	WO3-HS	WO3-LS	WO2-HS	WO2-LS	WO1-HS	WO1-LS	WO0-HS	WO0-LS
0 0 1	-	x	(予約)							
0 1 0	CWCMA	0	WO0							
		1	WO0-HS	WO0-LS	WO0-HS	WO0-LS	WO0-HS	WO0-LS	WO0-HS	WO0-LS
0 1 1	CWCMB	0	WO1	WO0	WO1	WO0	WO1	WO0	WO1	WO0
		1	WO1-HS	WO1-LS	WO0-HS	WO0-LS	WO1-HS	WO1-LS	WO0-HS	WO0-LS
1 x x	-	x	(予約)							

注: \* - WOnの1つが許可された沈黙時間部を持つなら、禁止された沈黙時間部を持つWOnはそれらのWOnピンの代わりにそれら各々のWOn-LSピンで利用可能です。

例えば、INMXがDIRECT動作でDTI2ENビットが'1'に設定され、他のDTInENビットが'0'に設定されると、

- WO0信号はPx0で利用可能です。
- WO1信号はPx2で利用可能です。
- WO2信号はPx4とPx5に分けられます。
- WO3信号はPx6で利用可能です。

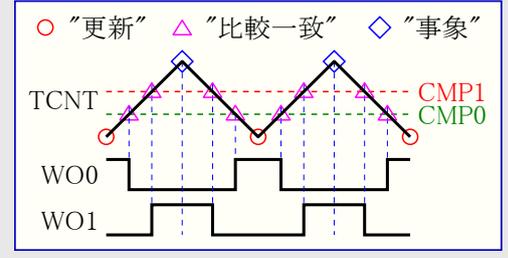
高分解能動作でタイマ/カウンタを使う時に追加の信号の組は波形を選びます。それらは波形に従うように信号を調整することが必要です。例えば、入力配列(INMX1.0)=CWCMA時、WO0に対する高分解能信号はWEX周辺機能からの出力に対して全てのチャンネルで分配されることが必要です。DIRECT動作については入力方向の第2位置で受け取ったWO2に対する高分解値は出力方向で第4と5の位置で出力されなければなりません。

DIRECT動作については各波形出力が独立した沈黙時間部に対する入力として使われます。DTI部が禁止される時にWEXを迂回して入出力ピンでT/C出力を見るにはこの動作形態を使ってください。

共通波形動作A(CWCMA)は全ての沈黙時間生成部への入力としてWO0を使います。他の波形は無視されます。DTIが許可されると、WEXはWO0を出力し、全ての出力は追加された沈黙時間を持つ補完出力です。

共通波形動作B(CWCMB)は右で描かれるように、沈黙時間がタイマ/カウンタで扱われる場合に比較0と比較1(TCEn.CMP0とTCEn.CMP1)のレジスタの値を注意深く選ぶことによって使うことができます。WEX単位部は入出力に対して正しい波形遅延を保證するだけで、ここでのWO0は全ての偶数ピン、一方でWO1は全ての奇数ピンの出力です。

図24-3. CWCMBに対するPWM生成



### 24.3.2.2. 沈黙時間挿入

沈黙時間挿入(DTI)部は波形出力(WO)の非反転Low側(LS)と反転High側(HS)が両方LowのOFF時間を生成します。このOFF時間は沈黙時間と呼ばれ、沈黙時間挿入部はLSとHSが決して同時に切り換えないことを保証します。

DTI部は最大4つの同じ沈黙時間生成器から成ります。図24-4.は1つのDTI生成器の構成図を示します。全てのチャンネルは沈黙時間を制御する共通のレジスタを持ちます。High側とLow側は独立した沈黙時間設定を持ち、沈黙時間レジスタは2重緩衝されます。

模様型生成動作(PGM)では沈黙時間緩衝部は利用できません。沈黙時間はデータ(DTHSとDTLS)のレジスタだけを使って未だ実行することができ、これはいくつかの出力でだけPGMが許可され、沈黙時間を持つ補完PWMが他の出力で必要とされる時の場合です。

図24-4. 沈黙時間生成器構成図

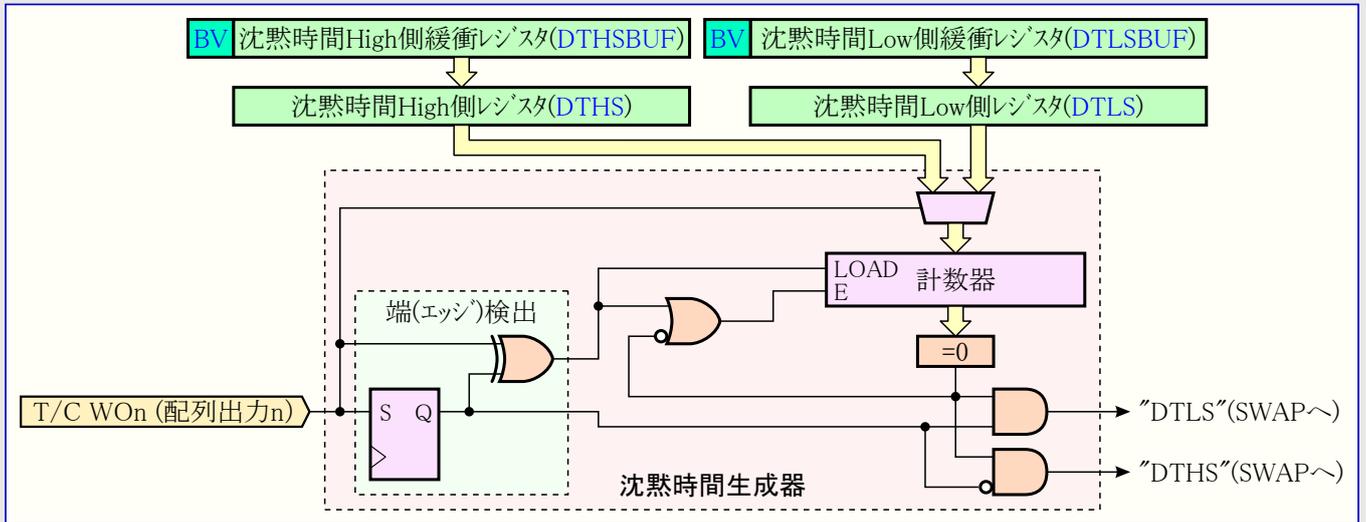
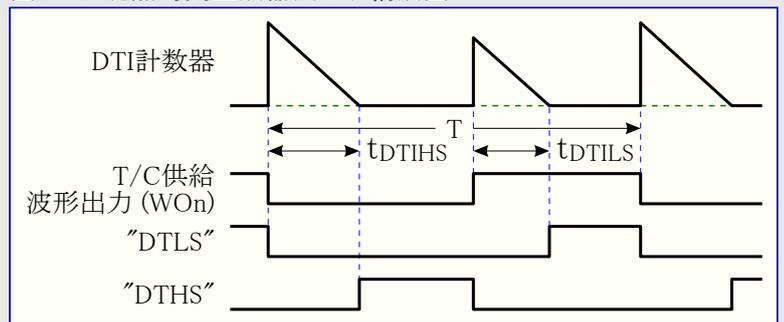


図24-5.は8ビットの沈黙時間計数器が0に達するまで各周辺機能クロック周期で1つずつ減少されるのを示します。0以外の計数器値はLow側とHigh側の出力をそれらのOFF状態に強制します。

波形出力(WOn)での変化検出時、沈黙時間計数器は入力端(エッジ)に従って再設定します。正端は沈黙時間Low側(DTLS)レジスタの計数器再設定を起動します。負端は沈黙時間High側(DTHS)レジスタの計数器再設定を起動します。

図24-5. 沈黙時間生成器タイミング構成図

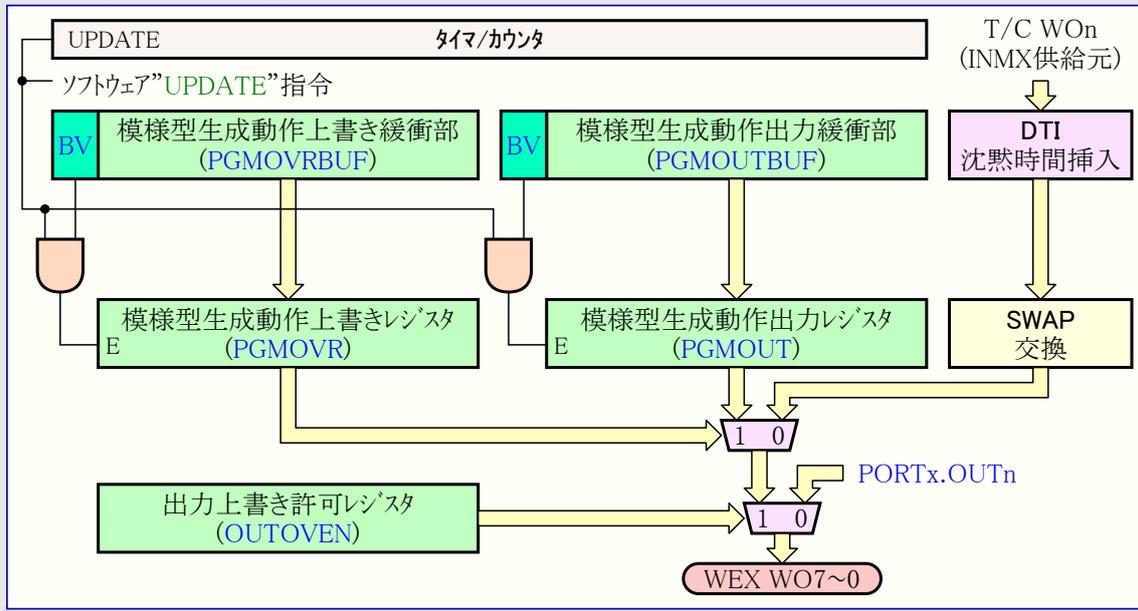


### 24.3.3. 模様型生成

模様型生成器動作はWEXが繋がるピンを渡って同期したビット模様型を生成するのに使うことができます。(制御A(WEXn.CTRLA)レジスタの入力配列(INMX)ビット領域で)入力配列をCWCMA動作に構成設定した場合、全てのチャンネルで同じ波形が出力されます。沈黙時間許可は全てのHigh側を等しく、そして全てのLow側を等しくします。

これらの機能は主にブラシレスDC電動機(BLDC)とステップング電動機での整流(転流)手順の扱いを意図されます。図24-6は模様型生成器の構成図を示します。対応する模様型生成上書き(WEXn.PGMOVR)ビットが設定(1)された各ポートピンについては模様型生成出力(WEXn.PGMOUT)レジスタによって構成設定されるように固定レベルが生成されます。

図24-6. 模様型生成器構成図



他の2重緩衝されたタイマ/カウンタのレジスタでのように、レジスタ更新は波形生成動作形態によって設定されたUPDATE条件に同期化されます。この提供された同期化が応用によって必要とされないなら、応用コードは単に模様型生成動作上書き(WEXn.PGMOVR)と模様型生成動作出力(PGMOUT)のレジスタを直接アクセスすることができます。

ソフトウェアUPDATE指令を使うことにより、WEXは模様型生成動作時にタイマ/カウンタから独立して動くことができます。

### 24.3.4. ポート乗り換え

全てのタイマ/カウンタ拡張に対してポート乗り換え論理回路は共通です。出力上書き許可(WEXn.OUTOVEN)レジスタのビットが設定(1)された場合、対応するピンの制御を取り、その前に生成したどの供給元からの出力も上書きします。設定(1)されない時にどの代替ピン機能も対応する入出力ピンを使うことができます。詳細については出力上書き許可(WEXn.OUTOVEN)レジスタを参照してください。

### 24.3.5. 障害

障害保護部は障害が検出された時に高速で決定的な活動を許します。障害起動元は事象システムからの事象か、またはソフトウェアから生成されます。複数の障害元を同時に許すため、濾過後に全ての障害元でOR操作が実行されます。

#### 障害活動

障害が検出されると、障害制御(WEXn.FAULTCTRL)レジスタの障害検出活動(FDACT1,0)ビット領域に基づく活動が取られます。これは許可された全てのピンを障害駆動(WEXn.FAULTDRV)と障害出力(WEXn.FAULTOUT)のレジスタによって制御されるLowまたは独自設定のどちらかに駆動します。

障害検出(FAULTDET)フラグが設定(1)され、任意選択の割り込みが生成されます。障害検出フラグは障害活動設定の許可と無関係に障害で設定(1)されます。

障害保護はCPUから独立しています。

障害動作が許可され、WEX用の供給元として使われるT/Cが停止される場合、WEXは障害状態に移行し、これはWEXまたはデバイスがクロックが停止される休止動作に移行する前にT/Cが停止される場合に起きます。

#### 障害抑止

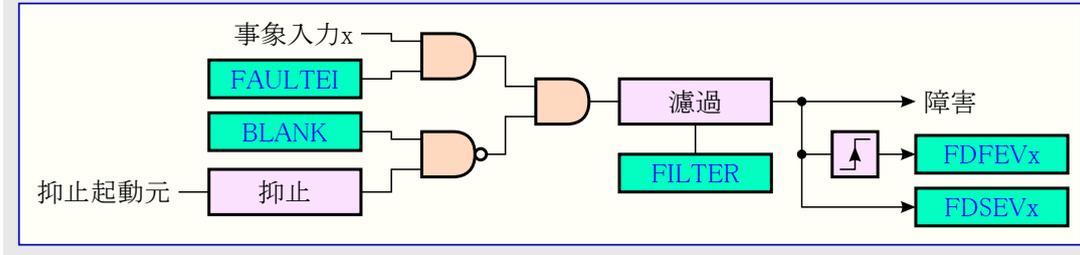
障害抑止(BLANK)は波形出力の有効時間の始めの間で障害入力を抑制する方法を提供します。障害は構成設定された時間後だけに起動することができ、この方法で使う整流(転流)間で偽の障害起動を防ぎます。障害抑止時間は抑止制御(WEXn.BLANKCTRL)レジスタの抑止前置分周器(BLANKPRESC1,0)ビット領域と共に抑止時間(WEXn.BLANKTIME)レジスタで設定されます。このビット領域は障害入力を抑制する周辺機能クロック周期前置分周数を定義します。抑止の開始時間は選択可能です。より長い抑止について、この機能は制御C(WEXn.CTRLC)レジスタの指令(CMD2~0)ビット領域を通してソフトウェアによって制御することができます。ハードウェアで支援されるものを超える抑止時間について、BLANKSET/BLANKCLR指令を使うことができます。ソフトウェア抑止はハードウェア抑止と並行して動き、許可された抑止が優先権を持ちます。

## 障害濾過

WEXは障害状態を起動するのに、各々の事象制御(WEXn.EVCTRLA、WEXn.EVCTRLB、WEXn.EVCTRLC)レジスタによって制御される事象入力A,B,Cの3つの事象入力を持ちます。

障害起動元を許可するには**事象制御(WEXn.EVCTRLx)レジスタの障害事象入力(FAULTI)ビット**に'1'を書いてください。障害は非同期で直ちに波形出力に影響します。外部事象の誤った障害検出(例えば、入出力ポートでの突発的誤信号)を避けるために障害入力にデジタル濾過を許可してください。この場合では事象検出と経路選択は周辺機能クロックに同期します。事象活動は概ね2~3周辺機能クロック周期+選んだデジタル濾過係数分遅らされます。

図24-7. 濾過と抑止



## 障害検出再開動作

障害後に障害状態から通常動作に戻るには**障害制御(WEXn.FAULTCTRL)レジスタの障害検出再開動作(FDMODE)ビット**によって2つの異なる動作で行うことができます。

- ラッチ動作では、障害条件がもはや活性でなく、障害状態がソフトウェアによって解消されてしまうまで、波形出力が障害状態に留まります。両方の条件に合致すると、波形出力は後続するUPDATE条件で通常動作に戻ります。
- 周期毎動作では、障害条件がもはや活性でなくなるまで、波形出力が障害状態に留まります。この条件に合致すると、波形出力は後続するUPDATE条件で通常動作に戻ります。

通常動作に回復するのに使われる**UPDATE条件**はタイマ/カウンタと同じです。(制御C(WEXn.CTRL)レジスタの指令(CMD2~0)ビット領域での)ソフトウェアUPDATE指令は障害回復に影響を及ぼしません。

図24-8. ラッチ動作障害処理

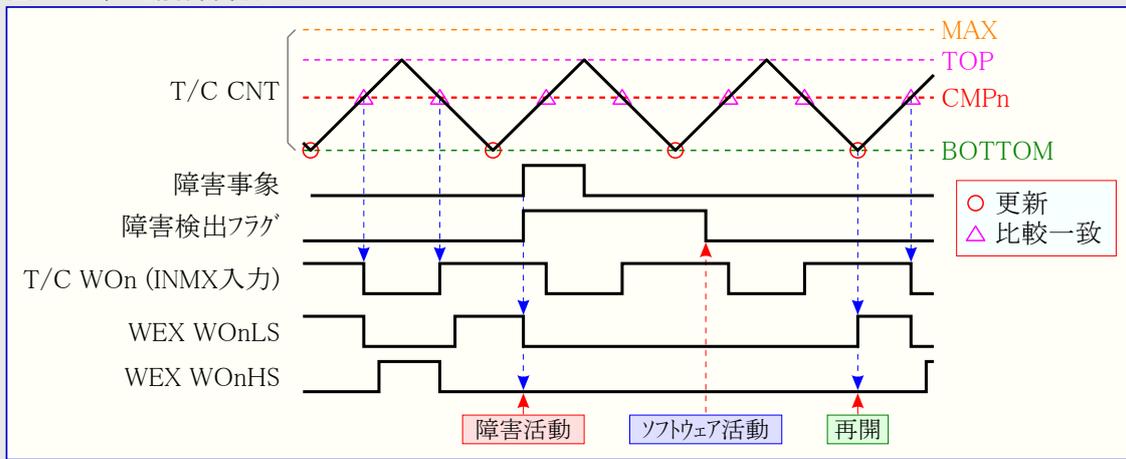
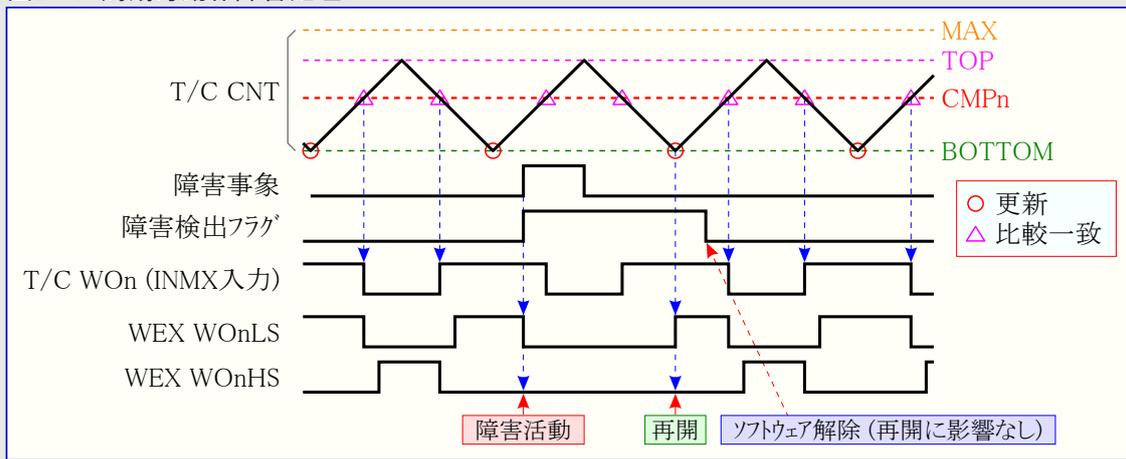


図24-9. 周期毎動作障害処理



### 24.3.6. 休止形態動作

既定でWEXはスタンバイ休止動作で禁止され、休止動作へ移行すると直ぐに停止します。この単位部は接続したタイマ/カウンタがスタンバイ休止動作で動いている場合にスタンバイ休止動作で完全に使用できません。

これはスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)される場合にスタンバイ休止動作で動きます。WEXはRUNSTDBYビットを持ちませんが、入力波形を駆動するために接続したタイマ/カウンタの動きに従います。

クロックが停止される休止動作にWEXが移行する場合、障害が起動されます。

全ての動作はパワーダウン休止動作で停止します。

### 24.3.7. 構成設定変更保護

この周辺機能は構成設定変更保護(CCP)下のレジスタを持ちません。

## 24.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	PGM	INMX2~0			DTI3EN	DTI2EN	DTI1EN	DTI0EN
+\$01	CTRLB	7~0							UPDSRC1,0	
+\$02	CTRLC	7~0						CMD2~0		
+\$03	予約									
+\$04	EVCTRLA	7~0					FILTER2~0		BLANK	FAULTEI
+\$05	EVCTRLB	7~0					FILTER2~0		BLANK	FAULTEI
+\$06	EVCTRLC	7~0					FILTER2~0		BLANK	FAULTEI
+\$07	BUFCTRL	7~0				PGMOUTBV	PGMOVRBV	SWAPBV	DTHSBV	DTLSBV
+\$08	BLANKCTRL	7~0		BLANKPRESC1,0			BLANKTRIG4~0			
+\$09	BLANKTIME	7~0	BLANKTIME7~0							
+\$0A	FAULTCTRL	7~0	FDDDBD					FDMODE	FDACT1,0	
+\$0B	FAULTDRV	7~0	FAULTDRV7	FAULTDRV6	FAULTDRV5	FAULTDRV4	FAULTDRV3	FAULTDRV2	FAULTDRV1	FAULTDRV0
+\$0C	FAULTOUT	7~0	FAULTOUT7	FAULTOUT6	FAULTOUT5	FAULTOUT4	FAULTOUT3	FAULTOUT2	FAULTOUT1	FAULTOUT0
+\$0D	INTCTRL	7~0								FAULTDET
+\$0E	INTFLAGS	7~0				FDFEVC	FDFEVB	FDFEVA		FAULTDET
+\$0F	STATUS	7~0	BLANKSTATE			FDSEVC	FDSEVB	FDSEVA		FDSTATE
+\$10	DTLS	7~0	DTLS7~0							
+\$11	DTHS	7~0	DTHS7~0							
+\$12	DTBOTH	7~0	DTBOTH7~0							
+\$13	SWAP	7~0					SWAP3	SWAP2	SWAP1	SWAP0
+\$14	PGMOVR	7~0	PGMOVR7	PGMOVR6	PGMOVR5	PGMOVR4	PGMOVR3	PGMOVR2	PGMOVR1	PGMOVR0
+\$15	PGMOUT	7~0	PGMOUT7	PGMOUT6	PGMOUT5	PGMOUT4	PGMOUT3	PGMOUT2	PGMOUT1	PGMOUT0
+\$16	予約									
+\$17	OUTOVEN	7~0	OUTOVEN7	OUTOVEN6	OUTOVEN5	OUTOVEN4	OUTOVEN3	OUTOVEN2	OUTOVEN1	OUTOVEN0
+\$18	DTLSBUF	7~0	DTLSBUF7~0							
+\$19	DTHSBUF	7~0	DTHSBUF7~0							
+\$1A	DTBOTHBUF	7~0	DTBOTHBUF7~0							
+\$1B	SWAPBUF	7~0					SWAPBUF3	SWAPBUF2	SWAPBUF1	SWAPBUF0
+\$1C	PGMOVRBUF	7~0	PGMOVRBUF7	PGMOVRBUF6	PGMOVRBUF5	PGMOVRBUF4	PGMOVRBUF3	PGMOVRBUF2	PGMOVRBUF1	PGMOVRBUF0
+\$1D	PGMOUTBUF	7~0	PGMOUTBUF7	PGMOUTBUF6	PGMOUTBUF5	PGMOUTBUF4	PGMOUTBUF3	PGMOUTBUF2	PGMOUTBUF1	PGMOUTBUF0

## 24.5. レジスタ説明

### 24.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA

変位 : +\$00

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PGM	INMX2~0			DTI3EN	DTI2EN	DTI1EN	DTI0EN
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 - PGM : 模様型生成動作 (Pattern Generation Mode)

このビットへの'1'書き込みは模様型生成動作を許可します。模様型生成動作では模様型を格納するのに沈黙時間緩衝レジスタが使われます。故にこの動作でこれらの緩衝部は利用できません。

#### ● ビット6~4 - INMX2~0 : 入力配列 (Input Matrix)

このビット領域はWEX内部単位部に対するタイマ/カウンタ波形生成入力の配列配線を定義します。より多くの情報については表24-1を参照してください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DIRECT	-	CWCMA	CWCMB
説明	TCE0から直接	(予約)	共通波形チャネル動作A、単一パルス幅変調(PWM)チャネルでの波形出力(WO)	共通波形チャネル動作B、2つのPWMチャネルでの波形出力(WO)

#### ● ビット3,2,1,0 - DTInEN : 沈黙時間挿入CMPn許可 (Dead-Time Insertion CMPn Enable)

値	0	1
名称	DISABLED	ENABLED
説明	沈黙時間が挿入されません。	沈黙時間が挿入されます。

### 24.5.2. CTRLB - 制御B (Control B)

名称 : CTRLB

変位 : +\$01

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							UPDSRC1,0	
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1,0 - UPDSRC1,0 : 更新供給元 (Update Source)

このビット領域は緩衝部からそれらのレジスタ内容を更新するために沈黙時間、交換、模様型生成部によって使われる更新条件用起動元を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	TCE0	-	-	SW
説明	PWM更新条件のためにタイマ/カウンタ型	(予約)	(予約)	更新条件を得るのにソフトウェアUPDATE指令だけを使えます。

### 24.5.3. CTRLC - 制御C (Control C)

名称 : CTRLC  
 変位 : +\$02  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							CMD2~0	
アクセス種別	R	R	R	R	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 - CMD2~0 : 指令 (Command)

このビット領域はソフトウェア指令を与えるのに使われます。

**注:** 全ての指令はソフトウェアがそれらを継続的に起動する限り単一周期間継続します。このレジスタは常に0として読みます。

FAULTCLRは障害条件が存在しない場合に状態(WEXn.STATUS)レジスタの障害検出状態(FDSTATE)ビットを解除(0)します。

BLANKCLRはハードウェア抑止が有効でない場合にWEXn.STATUSレジスタの抑止状態(BLANKSTATE)ビットを解除(0)します。

値	000	001	010	011	100	101	11x
名称	NONE	UPDATE	FAULTSET	FAULTCLR	BLANKSET	BLANKCLR	-
説明	指令なし	沈黙時間、交換、模様型生成用緩衝部レジスタ強制更新	障害検出設定	障害検出解除	ソフトウェア抑止設定	ソフトウェア抑止解除	(予約)

### 24.5.4. EVCTRLx - 事象制御x (Control x) (訳注: 原書のEVCTRLA/B/CはEVCTRLxとして纏めました。)

名称 : EVCTRLA : EVCTRLB : EVCTRLC (訳注: EVCTRLA/B/Cは各々事象入力A/B/Cを制御します。)  
 変位 : +\$04 : +\$05 : +\$06  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				FILTER2~0			BLANK	FAULTEI
アクセス種別	R	R	R	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4~2 - FILTER2~0 : 障害事象濾過許可 (Fault Event Filter Enable)

このビット領域はデジタル濾過器の採取を制御します。事象は事象元が活性(有効)で、FILTER2~0ビット領域によって定義される周辺機能クロック数の間同じレベルで採取される時にだけ通されます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	ZERO	SAMPLE1	SAMPLE2	SAMPLE3	SAMPLE4	SAMPLE5	SAMPLE6	SAMPLE7
説明	濾過なし	1採取	2採取	3採取	4採取	5採取	6採取	7採取

#### ● ビット1 - BLANK : 障害事象抑止許可 (Fault Event Blanking Enable)

このビットへの'1'書き込みは事象入力A/B/Cでの抑止を許可します。

#### ● ビット0 - FAULTEI : 障害事象入力許可 (Fault Event Input Enable)

このビットへの'1'書き込みは障害条件用の起動元として事象入力A/B/Cを許可します。

**注:** 障害事象入力は波形を駆動するタイマ/カウンタが許可される前は考慮されません。

### 24.5.5. BUFCTRL - 緩衝有効制御 (Buffer Valid Control)

名称 : BUFCTRL  
 変位 : +\$07  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				PGMOUTBV	PGMOVRBV	SWAPBV	DTHSBV	DTLSBV
アクセス種別	R	R	R	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4 - PGMOUTBV : 模様型生成動作(PGM)出力値緩衝有効** (Pattern Generation Mode (PGM) Output Value Buffer Valid)

このビットが設定(1)なら、PGM出力値緩衝部が書かれ、後続する更新条件で**模様型生成動作出力(WEXn.PGMOUT)レジスタ**に複写される有効なデータを含みます。このビットが0なら、取られる活動はありません。接続されたタイマ/カウンタの更新施錠(LUPD)ビットもPGM緩衝部に対する更新に影響を及ぼします。このビットはPGM動作でだけ設定されます。

● **ビット3 - PGMOVRBV : 模様型生成動作(PGM)上書き緩衝有効** (Pattern Generation Mode (PGM) Override Buffer Valid)

このビットが設定(1)なら、PGM上書き緩衝部が書かれ、後続する更新条件で**模様型生成動作上書き(WEXn.PGMOVR)レジスタ**に複写される有効なデータを含みます。このビットが0なら、取られる活動はありません。接続されたタイマ/カウンタの更新施錠(LUPD)ビットもPGM緩衝部に対する更新に影響を及ぼします。このビットはPGM動作でだけ設定されます。

● **ビット2 - SWAPBV : 交換緩衝有効** (Swap Buffer Valid)

このビットが設定(1)なら、交換緩衝部が書かれ、後続する更新条件で**DTI交換(WEXn.SWAP)レジスタ**に複写される有効なデータを含みます。このビットが0なら、取られる活動はありません。接続されたタイマ/カウンタの更新施錠(LUPD)ビットも交換緩衝部に対する更新に影響を及ぼします。

● **ビット1 - DTHSBV : 沈黙時間High側緩衝有効** (Dead-Time High Side Buffer Valid)

このビットが設定(1)なら、沈黙時間High側緩衝部が書かれ、後続する更新条件で**沈黙時間High側(WEXn.DTHS)レジスタ**に複写される有効なデータを含みます。このビットが0なら、取られる活動はありません。接続されたタイマ/カウンタの更新施錠(LUPD)ビットも沈黙時間緩衝部に対する更新に影響を及ぼします。このビットはPGM動作で常に0として読みます。

● **ビット0 - DTLSBV : 沈黙時間Low側緩衝有効** (Dead-Time Low Side Buffer Valid)

このビットが設定(1)なら、沈黙時間Low側緩衝部が書かれ、後続する更新条件で**沈黙時間Low側(WEXn.DTLS)レジスタ**に複写される有効なデータを含みます。このビットが0なら、取られる活動はありません。接続されたタイマ/カウンタの更新施錠(LUPD)ビットも沈黙時間緩衝部に対する更新に影響を及ぼします。このビットはPGM動作で常に0として読みます。

#### 24.5.6. BLANKCTRL - 抑止制御 (Blanking Control)

名称 : BLANKCTRL

変位 : +\$08

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BLANKPRESC1,0			BLANKTRIG4~0				
アクセス種別	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 - BLANKPRESC1,0 : 抑止前置分周器 (Blanking Prescaler)**

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DIV1	DIV4	DIV16	DIV64
説明	前置分周なし	CLK_PERの4分周	CLK_PERの16分周	CLK_PERの64分周

● **ビット4~0 - BLANKTRIG4~0 : 抑止起動元 (Blanking Trigger)**

値	0 0 0 0	0 0 1 0 0	0 1 0 0 0	0 1 1 0 0	1 0 0 0 0	1 0 1 0 0	その他
名称	NONE	TCE0UPD	TCE0CMP0	TCE0CMP1	TCE0CMP2	TCE0CMP3	-
説明	ハードウェア抑止起動元なし、ソフトウェア抑止のみ	TCE0更新条件	TCE0比較0	TCE0比較1	TCE0比較2	TCE0比較3	(予約)

注: 抑止制御(WEXn.BLANKCTRL)レジスタへのどの書き込みも抑止計数器を解消します。抑止はその後、次の起動元で再始動します。

### 24.5.7. BLANKTIME - 抑止時間 (Blanking Time)

名称 : BLANKTIME  
 変位 : +\$09  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BLANKTIME7~0							
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 - BLANKTIME7~0 : 抑止時間 (Blanking Time)

このビット領域は様々なクロック周期として抑止時間を制御します。このクロックは抑止制御(WEXn.BLANKCTRL)レジスタの抑止前置分周器(BLANKPRESC1,0)ビット領域によって前置分周されたCLK\_PERです。

### 24.5.8. FAULTCTRL - 障害制御 (Fault Control)

名称 : FAULTCTRL  
 変位 : +\$0A  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FDDBD					FDMODE	FDACT1,0	
アクセス種別	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7 - FDDBD : デバッグ中断検出での障害検出 (Fault Detection on Debug Break Detection)

値	0	1
名称	FAULT	IGNORE
説明	チップ上デバッグ中断要求は障害保護が許可された場合に障害として扱われます。	チップ上デバッグ中断要求は障害を起動しません。

#### ● ビット2 - FDMODE : 障害検出再開動作 (Fault Detection Restart Mode)

値	0	1
名称	LATCHED	CBC
説明	ラッチ動作。出力は障害条件がもはや有効でなく、事象入力x障害検出フラグ(INTFLAGSレジスタのFDDEVx)がソフトウェアによって解除(0)されるまで障害状態に留まります。	周期毎動作。波形出力は障害条件がもはや有効でない時まで障害状態に留まります。

#### ● ビット1,0 - FDACT1,0 : 障害検出活動 (Fault Detection Action)

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	LOW	-	CUSTOM
説明	なし、障害保護禁止	全ピンをLowに駆動	(予約)	全ピンを障害駆動(WEXn.FAULTDRV)と障害出力(WEXn.FAULTOUT)のレジスタによって定義された設定に駆動

### 24.5.9. FAULTDRV - 障害駆動 (Fault Drive)

名称 : FAULTDRV  
 変位 : +\$0B  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FAULTDRV7	FAULTDRV6	FAULTDRV5	FAULTDRV4	FAULTDRV3	FAULTDRV2	FAULTDRV1	FAULTDRV0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

## ● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 – FAULDRVn : 障害駆動 (Fault Drive)

このビット領域は障害発生時に駆動するピンを定義します。各ビットは波形出力と1対1の関係を持ちます。ビットが'0'の場合、そのピンはHi-Zです。ビットが'1'の場合、駆動レベルは**障害出力(WEXn.FAULTOUT)レジスタ**での設定に従います。

このレジスタは障害保護が許可された(**障害制御(FaultCTRL)レジスタの障害検出活動(FDACT)ビット領域がNONE以外の**)場合に変更することができません。

値	0	1
説明	ピン(Pxn)出力パットはHi-Z	ピン(Pxn)出力パットはFAULTOUTレジスタ値で上書き

## 24.5.10. FAULTOUT – 障害出力 (Fault Output)

名称 : FAULTOUT

変位 : +\$0C

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FAULTOUT7	FAULTOUT6	FAULTOUT5	FAULTOUT4	FAULTOUT3	FAULTOUT2	FAULTOUT1	FAULTOUT0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

## ● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 – FAULOUTn : 障害出力値 (Fault Output Value)

このビット領域は障害駆動(FAULDRV)レジスタでの対応ビットが'1'に設定される場合の障害発生時の出力値を定義します。各ビットは波形出力と1対1の関係を持ちます。このレジスタは障害保護が許可された(**障害制御(FaultCTRL)レジスタの障害検出活動(FDACT)ビット領域がNONE以外の**)場合に変更することができません。

下表はこのビット領域の各ビットnに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(Pxn)用波形出力値はLowに駆動されます。	ピン(Pxn)用波形出力値はHighに駆動されます。

## 24.5.11. INTCTRL – 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL

変位 : +\$0D

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								FAULTDET
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 – FAULDET : 障害検出割り込み許可 (Fault Detection Interrupt Enable)

このビットへの'1'書き込みは障害検出割り込みを許可します。TCE0割り込みとの存性はありません。

## 24.5.12. INTFALGS – 割り込み要求フラグ (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS

変位 : +\$0E

リセット : \$00

特質 : -

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

## ● ビット4 – FDFEVC : 事象入力C障害検出フラグ (Fault Detection Flag Event input C)

このビットは事象入力Cでの障害検出で設定(1)されます。このビットはこの位置に'1'を書くことによって解除(0)されます。

## ● ビット3 – FDFEVB : 事象入力B障害検出フラグ (Fault Detection Flag Event input B)

このビットは事象入力Bでの障害検出で設定(1)されます。このビットはこの位置に'1'を書くことによって解除(0)されます。

- **ビット2 - FDFEVA : 事象入力A障害検出フラグ** (Fault Detection Flag Event input A)

このビットは事象入力Aでの障害検出で設定(1)されます。このビットはこの位置に'1'を書くことによって解除(0)されます。

- **ビット0 - FAULTDET : 障害検出割り込み要求フラグ** (Fault Detection interrupt Flag)

このビットは障害検出の正端で設定(1)されます。このビットはこの位置に'1'を書くことによって解除(0)されます。

### 24.5.13. STATUS - 状態 (Status)

名称 : STATUS

変位 : +\$0F

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BLANKSTATE			FDFSVC	FDFSVB	FDFSVA		FDSTATE
アクセス種別	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット7 - BLANKSTATE : 抑止状態** (Blanking State)

このビットは抑止条件が有効な場合に設定(1)されます。抑止はソフトウェアまたはハードウェアのどちらかによって起動されます。

値	0	1
名称	OFF	ON
説明	抑止OFF	抑止有効

- **ビット4 - FDFSVC : 事象入力C障害状態フラグ** (Fault Detection State Event C)

この状態ビットは事象入力Cに対する現在の障害検出状態を含みます。

- **ビット3 - FDFSVB : 事象入力B障害状態フラグ** (Fault Detection State Event B)

この状態ビットは事象入力Bに対する現在の障害検出状態を含みます。

- **ビット2 - FDFSVA : 事象入力A障害状態フラグ** (Fault Detection State Event A)

この状態ビットは事象入力Aに対する現在の障害検出状態を含みます。

- **ビット0 - FDSTATE : 障害検出状態** (Fault Detection State)

この状態ビットは何れかの障害検出条件が検出される、即ち、事象チャネルの1つで事象が検出された時、ソフトウェア起動の障害、または中断での障害の時に設定(1)されます。このフラグは制御C(WEXn.CTRLc)レジスタの指令(CMD2~0)ビット領域にFAULTCLR指令を書くことによって解除(0)されます。周期毎障害検出動作での動作時、この状態は障害条件がもはや存在しない後の最初の更新で解除(0)されます。

値	0	1
名称	NORMAL	FAULT
説明	通常状態	障害状態

### 24.5.14. DTLS - 沈黙時間Low側 (Dead-Time Low Side)

名称 : DTLS

変位 : +\$10

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DTLS7~0							
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 - DTLS7~0 : 沈黙時間Low側** (Dead-Time Low Side)

このレジスタは沈黙時間Low側用の周辺機能クロック周期数を保持します。

**24.5.15. DTHS - 沈黙時間High側 (Dead-Time High Side)**

名称 : DTHS  
 変位 : +\$11  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DTHS7~0							
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 - DTHS7~0 : 沈黙時間Lw側 (Dead-Time High Side)**

このレジスタは沈黙時間High側用の周辺機能クロック周期数を保持します。

**24.5.16. DTBOTH - 沈黙時間両側 (Dead-Time Both Sides)**

名称 : DTBOTH  
 変位 : +\$12  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DTBOTH7~0							
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 - DTBOTH7~0 : 沈黙時間両側 (Dead-Time Both Sides)**

このレジスタへの書き込みは沈黙時間High側(DTHS)と沈黙時間Low側(DTLS)のレジスタを同時に更新します。

**24.5.17. SWAP - DTI交換 (DTI Swap)**

名称 : SWAP  
 変位 : +\$13  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					SWAP3	SWAP2	SWAP1	SWAP0
アクセス種別	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3,2,1,0 - SWAPn : DTI出力対交換 (Swap DTI Output Pairs)**

このビット領域のビット設定(1)はDTI出力の2nと2n+1の出力交換を許可します。沈黙時間挿入CMPn許可(DTInEN)設定は交換操作に影響を及ぼしません。

下表は各SWAPnビットに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	交換なし - 波形出力は無変化に留まります。	波形出力ピン対nに対してHighとLowを交換

**24.5.18. PGMOVR - 模様型生成動作上書き (Pattern Generation Mode Override)**

名称 : PGMOVR  
 変位 : +\$14  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PGMOVR7	PGMOVR6	PGMOVR5	PGMOVR4	PGMOVR3	PGMOVR2	PGMOVR1	PGMOVR0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 - PGMOVRn : 模様型生成動作上書き (Pattern Generation Mode Override)

このレジスタは模様型生成動作(PGM)を許可します。ビットが'1'に設定された場合、**模様型生成動作出力(PGMOUT)**レジスタの対応するビットがSWAP部からの出力を上書きする値を指定します。

下表はこのビット領域の各ビットに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(Pxn)出力は上書きされません。	ピン(Pxn)出力はPGMOUTレジスタの値で上書きされます。

#### 24.5.19. PGMOUT - 模様型生成動作出力 (Pattern Generation Mode Output)

名称 : PGMOUT  
 変位 : +\$15  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PGMOUT7	PGMOUT6	PGMOUT5	PGMOUT4	PGMOUT3	PGMOUT2	PGMOUT1	PGMOUT0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 - PGMOUTn : 模様型生成動作出力 (Pattern Generation Mode Output)

このレジスタはWEXが模様型生成動作の時に実施する上書き値を保持します。

下表はこのビット領域の各ビットに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(Pxn)の波形出力値はLowに駆動されます。	ピン(Pxn)の波形出力値はHighに駆動されます。

#### 24.5.20. OUTOVEN - 出力上書き許可 (Output Override Enable)

名称 : OUTOVEN  
 変位 : +\$17  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	OUTOVEN7	OUTOVEN6	OUTOVEN5	OUTOVEN4	OUTOVEN3	OUTOVEN2	OUTOVEN1	OUTOVEN0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 - OUTOVENn : 出力上書き許可 (Output Override Enable)

このビット領域は対応するポート出力レジスタ(即ち、波形出力と1対1の関係)の上書きを許可します。

このレジスタは障害保護が許可された(**障害制御(WEXn.FAULTCTRL)**レジスタの**障害検出活動(FDACT)**ビット領域がNONE以外の)場合に解除(0)することができません。

#### 24.5.21. DTLSEBUF - 沈黙時間Low側緩衝 (Dead-Time Low Side Buffer)

名称 : DTLSEBUF  
 変位 : +\$18  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DTLSEBUF7~0							
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 - DTLSEBUF7~0 : 沈黙時間Low側緩衝 (Dead-Time Low Side Buffer)

このレジスタは**沈黙時間Low側(WEXn.DTSL)**レジスタ用の緩衝部です。2重緩衝を使う場合、このレジスタの有効な内容が**更新条件**でWEXn.DTSLレジスタに複写されます。

このレジスタは模様型生成動作が許可された(**制御A(WEXn.CTRLA)**レジスタの**模様型生成動作(PGM)**= '1' )の場合、未使用です。

**24.5.22. DTHSBUF - 沈黙時間High側緩衝 (Dead-Time High Side Buffer)**

名称 : DTHSBUF  
 変位 : +\$19  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DTHSBUF7~0							
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 - DTHSBUF7~0 : 沈黙時間High側緩衝 (Dead-Time High Side Buffer)**

このレジスタは沈黙時間High側(WEXn.DTHS)レジスタ用の緩衝部です。2重緩衝を使う場合、このレジスタの有効な内容が更新条件でWEXn.DTHSレジスタに複写されます。

このレジスタは模様型生成動作が許可された(制御A(WEXn.CTRLA)レジスタの模様型生成動作(PGM)='1')の場合、未使用です。

**24.5.23. DTBOTHBUF - 沈黙時間両側緩衝 (Dead-Time Both Sides Buffer)**

名称 : DTBOTHBUF  
 変位 : +\$1A  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DTBOTHBUF7~0							
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 - DTBOTHBUF7~0 : 沈黙時間両側緩衝 (Dead-Time Both Sides Buffer)**

このレジスタへの書き込みは沈黙時間High側緩衝(DTHSBUF)と沈黙時間Low側緩衝(DTLSBUF)のレジスタを同時に更新します。

このレジスタは模様型生成動作が許可された(制御A(WEXn.CTRLA)レジスタの模様型生成動作(PGM)='1')の場合、未使用です。

**24.5.24. SWAPBUF - DTI交換緩衝 (DTI Swap Buffer)**

名称 : SWAPBUF  
 変位 : +\$1B  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					SWAPBUF3	SWAPBUF2	SWAPBUF1	SWAPBUF0
アクセス種別	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3,2,1,0 - SWAPBUFn : DTI出力対交換緩衝 (Swap DTI Output Pairs Buffer)**

このビット領域はDTI出力対交換(SWAPn)ビット用の緩衝値です。2重緩衝を使う場合、このレジスタの有効な内容が更新条件でDTI交換(WEXn.SWAP)レジスタに複写されます。

下表は各SWAPBUFnビットに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	交換なし - 波形出力は無変化に留まります。	波形出力ピン対nに対してHighとLowを交換

**24.5.25. PGMOVRBUF - 模様型生成動作上書き緩衝 (Pattern Generation Mode Override Buffer)**

名称 : PGMOVRBUF  
 変位 : +\$1C  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PGMOVRBUF7	PGMOVRBUF6	PGMOVRBUF5	PGMOVRBUF4	PGMOVRBUF3	PGMOVRBUF2	PGMOVRBUF1	PGMOVRBUF0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 – PGMOVRBUF<sub>n</sub> : 模様型生成動作上書き緩衝 (Pattern Generation Mode Override Buffer)

このレジスタは模様型生成動作上書き(WEX<sub>n</sub>.PGMOVR)レジスタ用緩衝部です。2重緩衝を使う場合、このレジスタの有効な内容が更新条件でWEX<sub>n</sub>.PGMOVRレジスタに複写されます。

このレジスタは模様型生成動作許可(制御A(WEX<sub>n</sub>.CTRLA)レジスタの模様型生成動作(PGM)='1')時にだけ使われます。

下表はこのビット領域の各ビットに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(P <sub>xn</sub> )出力は上書きされません。	ピン(P <sub>xn</sub> )出力はPGMOUTBUFレジスタの値で上書きされます。

#### 24.5.26. PGMOUTBUF – 模様型生成動作出力緩衝 (Pattern Generation Mode Output Buffer)

名称 : PGMOUTBUF

変位 : +\$1D

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PGMOUTBUF7	PGMOUTBUF6	PGMOUTBUF5	PGMOUTBUF4	PGMOUTBUF3	PGMOUTBUF2	PGMOUTBUF1	PGMOUTBUF0
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット7,6,5,4,3,2,1,0 – PGMOUTBUF<sub>n</sub> : 模様型生成動作出力緩衝 (Pattern Generation Mode Output Buffer)

このレジスタは模様型生成動作出力(WEX<sub>n</sub>.PGMOUT)レジスタ用緩衝部です。2重緩衝を使う場合、このレジスタの有効な内容が更新条件でWEX<sub>n</sub>.PGMOUTレジスタに複写されます。

このレジスタは模様型生成動作許可(制御A(WEX<sub>n</sub>.CTRLA)レジスタの模様型生成動作(PGM)='1')時にだけ使われます。

下表はこのビット領域の各ビットに対して利用可能な構成設定を示します。

値	0	1
説明	ピン(P <sub>xn</sub> )の波形出力値はLowに駆動されます。	ピン(P <sub>xn</sub> )の波形出力値はHighに駆動されます。

## 25. TCF - 24ビット タイマ/カウンタ型

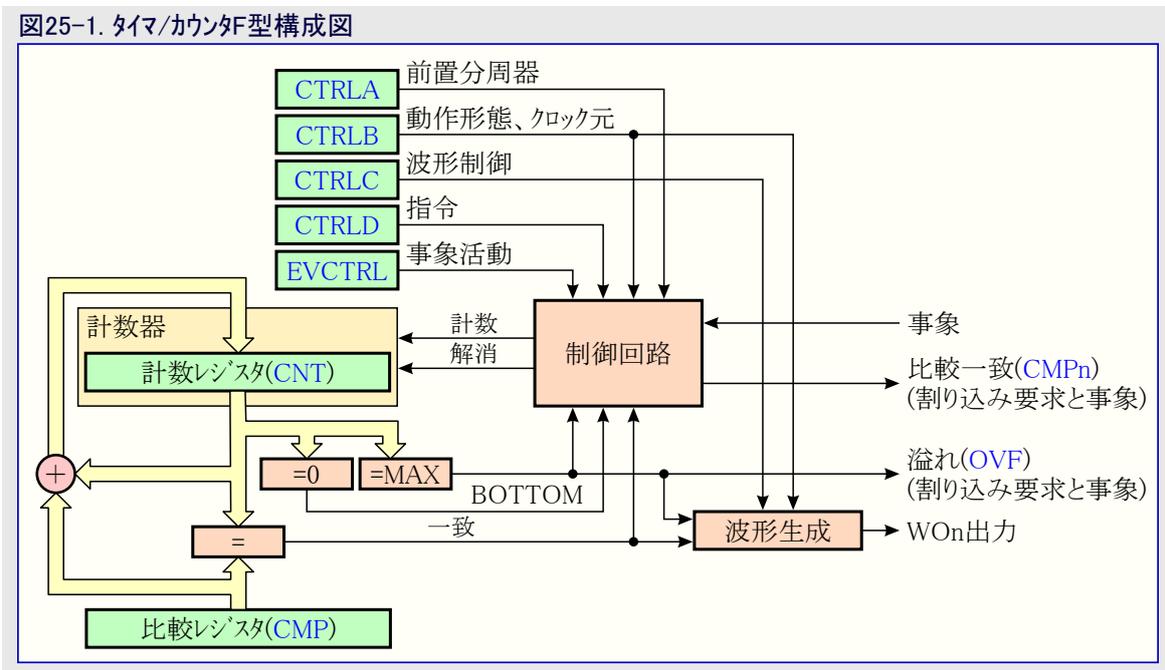
### 25.1. 特徴

- 24ビットまでのタイマ/カウンタ
- 動作形態:
  - 周波数生成
  - 数値制御発振器(NCO: Numerical Controller Oscillator)
  - 8ビットパルス幅変調(PWM)
- 7ビット前置分周器
- 計時器溢れと比較一致の事象/割り込み
- パルスまたは波形出力としての事象生成
- 複数のクロック元

### 25.2. 概要

タイマ/カウンタ型(TCF)には周波数と波形の生成を含む能力があります。TCFは基本計数器と各々固有の機能を提供する各種動作形態に設定することができる制御論理回路から成ります。基本計数器は任意選択の前置分周と共に選択可能なクロック元によってクロック駆動されます。

#### 25.2.1. 構成図

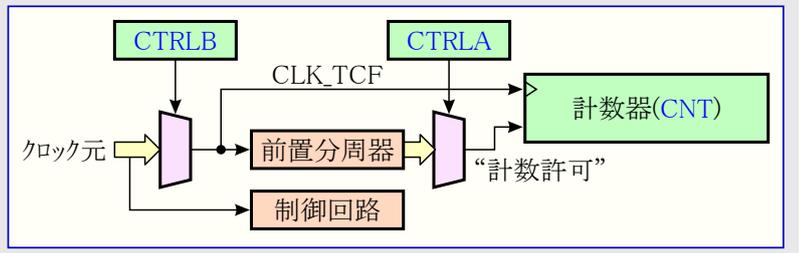


タイマ/カウンタは周辺機能クロック(CLK\_PER)、内部発振器、事象システム(EVSYS)を含む複数のクロック元からクロック駆動することができます。

制御B(TCFn.CTRLB)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域は前置分周器用入力として使われるクロック元の1つを選びます。

事象システム(EVSYS)を使うことにより、何れかの入出力ピンでの外部クロック信号のような何れかの事象元は計数器クロック入力として使われるかもしれません。加えて、タイマ/カウンタは事象システム経由で制御することもできます。

図25-2. タイマ/カウンタ クロック論理回路



#### 25.2.2. 信号説明

表25-1. 信号説明

信号	形式	説明
WOn	デジタル非同期出力	波形出力n

## 25.3. 機能的な説明

### 25.3.1. 定義

以下の定義は文書全体を通して使われます。

表25-2. タイマ/カウンタ定義

名称	説明
BOTTOM	計数器が底(BOTTOM)に到達し、それが\$0000になる時
MAX	計数器が最大(MAXimum)に到達し、それが全て1になる時
TOP	計数器が頂上(TOP)に到達し、それが計数の流れで最高値と等しくなる時
CNT	計数器レジスタ値
CMP	比較レジスタ値

一般的に用語の”計時器”はタイマ/カウンタが周期的クロック刻みを計数する時に使われる一方で、”計数器”は入力信号が散発的または不規則なクロック刻みを持つ時に使われます。後者は事象計数時の場合に有り得ます。

### 25.3.2. 初期化

周波数生成動作でタイマ/カウンタの使用を開始するには以下のこれらの手順に従ってください。

- 比較(TCFn.CMP)レジスタにTOP値を書いてください。制御A(TCFn.CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってこの周辺機能を許可してください。
- 計数器はTCFn.CTRLAのクロック選択(CLKSEL)ビット領域での前置分周器設定に従ってクロック刻みの計数を始めます。
- 計数器値は計数(TCFn.CNT)レジスタから読むことができます。TCFは割り込みが許可された場合にCNT値がTOPに達した時に割り込みを生成します。

### 25.3.3. 動作

#### 25.3.3.1. レジスタ同期区分

TCFの核部分は周辺機能クロックと非同期に動作します。従って制御とデータのレジスタへのどのアクセスも核領域に対して同期されることが必要です。これは異なるレジスタ区分に対して違うように行われます。

いくつかのレジスタはタイマ/カウンタが走行している間に変更することが許されません(許可保護)。

表25-3. レジスタの区分

2重緩衝されたレジスタ	許可保護されたレジスタ	標準I/Oレジスタ
CTRLA	CTRLB	INTCTRL
CTRLC	EVCTRL	INTFLAGS
CTRLD		STATUS
CNT (CNT/PER)		DBGCTRL
CMP (CMP0/CMP1)		

注: CNTレジスタは実際の非同期計数器値の同期された複製です。CNTレジスタは同期中に凍結され、全てのCLK\_PER周期で更新されません。同期処理は最大1 CLK\_TCF周期+3 CLK\_PER周期かかります。

#### 2重緩衝されたレジスタ

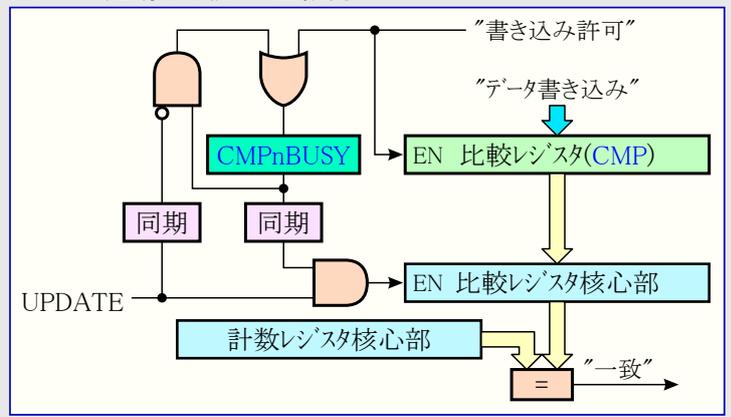
2重緩衝されたレジスタは状態(TCFn.STATUS)レジスタで分離されたそれらの多忙フラグを持ちます。このレジスタが書かれると、これは核心領域に対して同期化を起動し、対応する多忙フラグを設定(1)します。多忙ビットは同期完了時に解除(0)されます。レジスタは同期化進行中に書き込み保護されます。

8ビットよりも大きな計数(TCFn.CNT)と比較(TCFn.CMP)のレジスタについて、同期化はMSB書き込み時に始まります。TCFが8ビットPWM動作で動作する時にCNTとCMPのレジスタの個別バイトは個々に同期化されます。

制御とCNTのレジスタ同期化はレジスタが書かれると直ぐに行われます。比較レジスタは溢れ(更新(UPDATE))で更新されます。多忙フラグは更新条件が起きるまで設定(1)されます。右図を御覧ください。即時の同期が望まれるなら、これは制御D(TCFn.CTRLD)レジスタの指令(CMD)ビット領域を通してUPDATEを発行することによって強制することができます。

CNTレジスタが書かれない限り、このレジスタは核心領域から継続的に更新されます。休止からの起き上がり後、計数器同期多忙(CNT BUSY)ビットはCNT値が核心領域での最新値で更新されるまで設定(1)に留まります。

図25-3. 定期と比較の2重緩衝



## 許可保護されたレジスタ

許可保護されたレジスタは制御A(TCFn.CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットが'0'を書かれた時にだけ書くことができます。

### 25.3.3.2. 波形生成動作

TCFは制御B(TCFn.CTRLB)レジスタの波形生成動作(WGMODE)ビット領域によって制御される4つの波形生成動作を提供します。波形生成動作は次のとおりです。

- ・ 周波数生成
- ・ NCOパルス周波数
- ・ NCO固定デューティサイクル
- ・ 8ビットPWM

レジスタの機能は核動作に対して違つかもれず、次のように下表で要約されます。

表25-4. レジスタ - 動作での違い

動作形態	CNT2	CNT1	CNT0	CMP2	CMP1	CMP0	CMP1フラグ*	CMP0フラグ*	OVFフラグ*
周波数生成	計数器			比較/TOP			比較一致 (注)	比較一致 (注)	TOP
NCOパルス周波数	計数器/累積器			増加			WOパルス終了	WOパルス開始	MAX
NCO固定デューティサイクル	計数器/累積器			増加			MAX (注)	MAX (注)	MAX
8ビットPWM	-	周期	計数器	-	比較1	比較0	比較1一致	比較0一致	TOP

注: CMP0とCMP1の割り込みと事象は一方が波形の上昇端で他方が下降端である交互の溢れで生成されます。溢れ割り込み/事象は全ての溢れで生成されます。

#### 25.3.3.2.1. 周波数波形生成

周波数波形生成動作では比較(TCFn.CMP)レジスタが周期時間(T)を制御します。対応する波形生成部出力は計数(TCFn.CNT)とTCFn.CMPのレジスタ間での各比較一致で交互切り替えされます。

以下の式は波形周波数( $f_{FRQ}$ )を定義します。

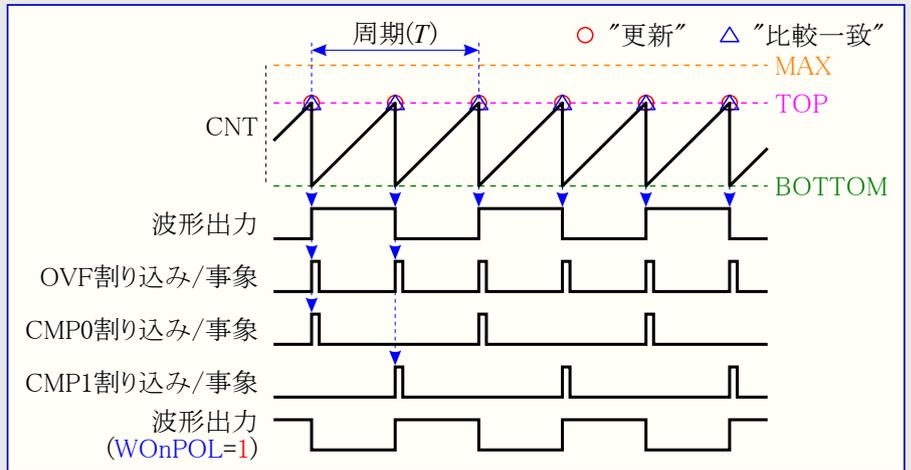
$$f_{FRQ} = \frac{f_{CLK\_TCF}}{2N(CMP+1)}$$

ここでNは使われる前置分周数(制御A(TCFn.CTRLA)レジスタの前置分周器選択(PERESC)ビット領域参照)を表し、 $f_{CLK\_TCF}$ はTCFクロック周波数です。

生成される波形の最大周波数はTCFn.CMPレジスタが0(000000)に設定されて前置分周が使われない(TCFn.CTRLAのPRESC=0、N=1)の時にTCFクロック周波数の半分( $f_{CLK\_TCF}/2$ )です。

溢れ(OVF)割り込み/事象は毎回の溢れで生成されます。比較0(CMP0)と比較1(CMP1)の割り込み/事象は交互の溢れで生成され、各々はその間が周期の半分で毎回のPWM周期に1回発生します。

図25-4. 周波数波形生成



#### 25.3.3.2.2. NCOパルス周波数波形生成

NCO(数値制御発振器)パルス周波数波形生成動作ではTCFが比較(TCFn.CMP)レジスタによって定義された固定値を繰り返し累積器(TCFn.CNT)に加算することによって動作します。加算は入力クロックの頻度で起きます。累積器は生の波形出力の周期的なキャリーで溢れ、最大累積器値に加算される割合によって入力クロックを効率的に減らします。

波形周波数( $f_{FRQ}$ )は以下の式で定義されます。

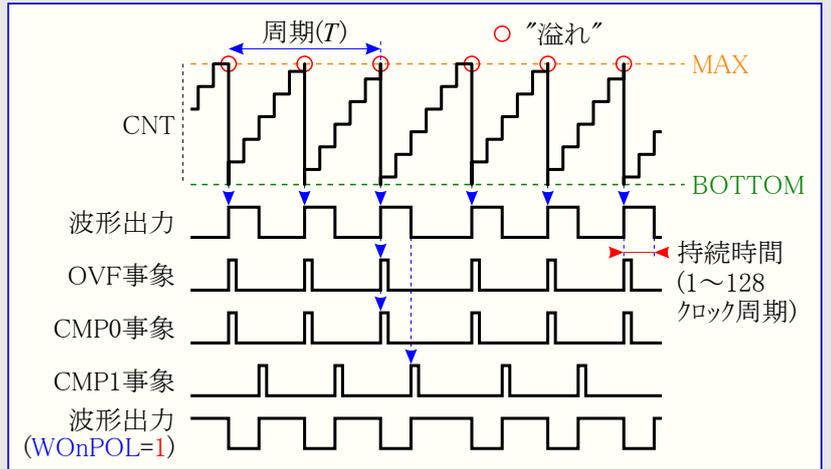
$$f_{FRQ} = \frac{f_{CLK\_TCF} \times \text{Increment}}{2^{\text{SIZE\_CNT}}}$$

これは加算値(Increment)と波形周波数間を線形関係にします。n分周計時器を超えるこの線形の優位性は出力揺らぎの犠牲を伴います。けれども、周期的に起こるこの揺らぎは剰余に応じて常に±1クロック周期です。例えば、剰余なしの時には揺らぎはなく、一方で0.5の剰余は溢れ周波数の1/2の揺らぎ周波数になります。

NCOパルス周波数(NCOPF)動作では出力が溢れ事象直後のクロック上昇端で活性になります。それは1~128クロック周期後に不活性になり、制御C(TCFn.CTRLC)レジスタの波形生成パルス長(WGPULSE)ビット領域によって決められます。この動作では前置分周器が禁止され、f<sub>FRQ</sub>周波数でパルスにされた波形出力を与えます。

各波形パルスの開始は比較0(CMP0)事象を生成し、各波形パルスの終了は比較1(CMP1)事象を生成します。割り込みフラグはパルス事象が生成されると同時に設定(1)されます。

図25-5. NCOパルス周波数波形生成

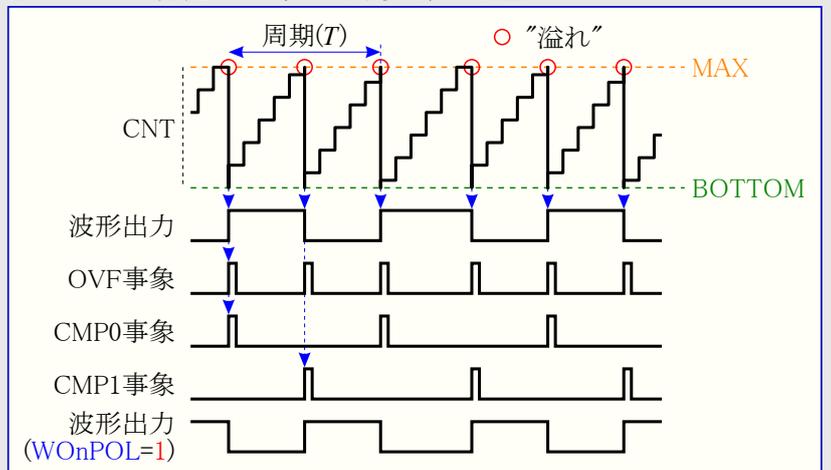


### 25.3.3.2.3. NCO固定デューティ サイクル周波数波形生成

NCO(数値制御発振器)固定デューティ サイクル周波数波形生成動作ではTCFがNCOパルス周波数生成動作のように動作しますが、出力が毎回の累積器溢れで交互切り替えされます。増加値が一定に留まるとすれば、これはパルス周波数動作に対してf<sub>FRQ</sub>周波数の半分で50%デューティ サイクルを提供します。

比較0(CMP0)と比較1(CMP1)の事象は溢れで交互に生成されます。割り込みフラグはパルス事象が生成されると同時に設定(1)されます。

図25-6. NCO固定デューティ サイクル周波数波形生成

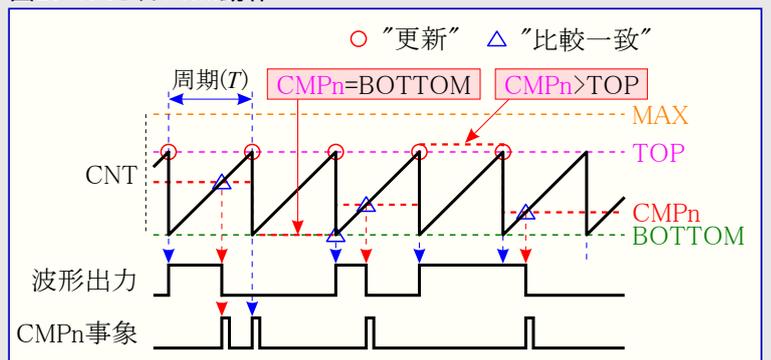


### 25.3.3.2.4. 8ビットPWM動作

TCFは個別の比較レジスタとして下位側16ビットの比較レジスタ(TCFn.CMP0とTCFn.CMP1)のレジスタ対を使って8ビットPWM動作で動くように構成設定することができます。計数器としてTCFn.CNT0が使われ、TCFn.CNT(PER)が波形周期(T)を制御し、CMP0/1は波形のデューティ サイクルを制御します。右図は計数器がBOTTOMからTOPへどう計数してその後にBOTTOMから再始動するかを示します。波形生成部出力はBOTTOMで設定(1)され、TCFn.CNT0とTCFn.CMPnのレジスタ間での比較一致で解除(0)されます。

**注:** TCFn.CMPn=BOTTOMはWOnで固定されたLow信号を生成する一方で、TCFn.CMPn>TOPはWOnで固定されたHigh信号を生成します。

図25-7. 8ビットPWM動作



周期(TCFn.PER)レジスタはPWM分解能を定義します。最小分解能は2ビット(TCFn.PER=\$03)で、最大分解能は8ビット(TCFn.PER=MAX)です。

右の式は単一傾斜PWMのビットでの正確な分解能(R<sub>PWM</sub>)を計算します。

単一傾斜PWM周波数(f<sub>PWM</sub>)は周期(TCFn.PER)設定、TCFクロック周波数(f<sub>CLK\_TCF</sub>)とTCF前置分周器(制御A(TCFn.CTRLA)レジスタの前置分周器選択(PRESC)ビット領域)に依存します。

それは右の式によって計算され、ここでNは使われる前置分周数を表します。

$$R_{PWM} = \frac{\log(PER+1)}{\log(2)}$$

$$f_{PWM} = \frac{f_{CLK\_TCF}}{N(PER+1)}$$

### 25.3.3.3. 出力

計時器同期と出力論理レベルは選んだ制御B(TCFn.CTRLB)レジスタの波形生成動作(WGMODE)ビット領域に依存します。

制御C(TCFn.CTRL C)レジスタの波形出力n許可(WOnEN)ビットへの'1'書き込みが波形出力を許可し、対応するポート出力(OUT)と方向(DIR)のレジスタの値を無効にして対応ピンで波形出力を利用可能にします。

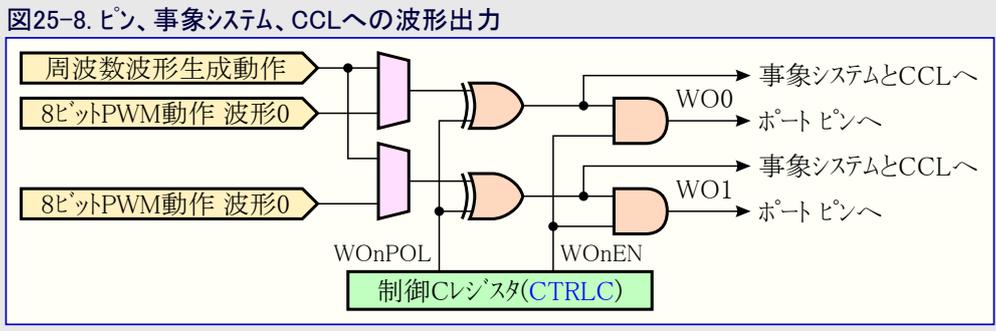
下表は各種構成設定と出力でのそれらの影響を一覧にします。

表25-5. 出力構成設定

WOnEN	WGMODE	波形出力
1	8ビットPWM動作	出力はPWM波形に従います。
	周波数またはNCO(数値制御発振器)動作	出力は周波数波形に従います。
0	非適用	出力なし

**重要:** この周辺機能が許可されている間に動作形態を変更することは不可能です。計時器構成設定中に割り込み要求フラグが設定(1)される可能性があります。周辺機能の構成設定後にタイマ/カウンタ割り込み要求フラグ(TCFn.INTFLAGS)レジスタを解除(0)することが推奨されます。

事象システムとCCLへの波形出力は出力許可を迂回しています。下図はTCF用波形出力論理回路を示します。



### 25.3.3.4. 雑音抑止部

雑音抑止部は簡単なデジタル濾過の仕組みを使うことによって雑音耐性を改善します。事象制御(TCFn.EVCTRL)レジスタの雑音濾過A(FILTERA)ビットが許可(1)されると、この周辺機能は事象チャンネルを監視し、最後に観測された4つの採取を保持します。4つの連続する採取が等しければ、その入力に安定と見做され、その信号は端(エッジ)検出器へ供給されます。

許可されると、雑音抑止部は入力に適用される変更とその事象活動間に5クロック周期の追加遅延をもたらします。

雑音抑止部はタイマ/カウンタクロックを使い、前置分周器によって影響を及ぼされません。

### 25.3.4. 操作上の考慮

TCF使用時にいくつかの考慮をしてください。

- 制御A(CTRLA)、制御C(CTRLC)、制御D(CTRLD)、計数(CNT)、比較(CMP)のレジスタの1つへの書き込み時、そのレジスタの内容がその行き先に転送されてしまう前に新しい値を書くことは許されません。言及したレジスタの各々は個別の同期化を持ち、これは例えば、CTRLAへの書き込みは進行中のCTRLC書き込みを妨げないことを意味します。行き先レジスタへの転送が終了されたことを検知するのに状態(TCFn.STATUS)レジスタを使ってください。
- CNT、CMP、CTRLA/C/Dのレジスタはクロック元切り替え時に不正にされるかもしれませんが、クロック元切り替えの安全な手順は次のとおりです。
  - CTRLAレジスタの許可(ENABLE)ビットを解除(0)してTCFを禁止してください。
  - 割り込み制御(TCFn.INTCTRL)レジスタの溢れ(OVF)と比較n(CMPn)のビット領域を解除(0)することによってTCF割り込みを禁止してください。
  - 制御B(TCFn.CTRLB)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域を適切に設定することによってクロック元を選んでください。
  - TCFn.CNT、TCFn.CMP、TCFn.CTRLA/C/Dのレジスタに新しい値を書いてください。
  - STATUSレジスタで各多忙(~BUSY)フラグが解除(0)されるのを待ってください。
  - 割り込み要求フラグ(TCFn.INTFLAGS)レジスタで各割り込み要求フラグを解除(0)してください。
  - 任意選択: INTCTRLレジスタで必要な割り込みを許可してください。
  - CTRLAレジスタのENABLEビットを設定(1)してTCFを許可してください。
- CNTとCTRLA/C/Dのレジスタは書き込み操作直後に更新される一方で、CMPは溢れ条件で更新されます。CMPレジスタの即時同期が必要とされる場合、CTRLDレジスタの指令(CMD)ビット領域を使ってUPDATE指令を通してこれを起こせるでしょう。
- CNT、CMP、CTRLA/C/D、事象制御(EVCTRL)のレジスタ書き込み後のスタンバイ休止動作移行時、クロック要求はレジスタが更新されるまで保持されます。

- TCF動作がスタンバイ休止動作で割り込み条件に合致すると、TCFクロックの後続する周期で起き上がり処理を開始し、プロセッサが計数器値を読めるのに先だって常に計時器が最低1つ進められることを意味します。
- TCF割り込み要求フラグの同期化は3周辺機能クロック+1計時器クロックかかります。従ってプロセッサが割り込み要求フラグを設定(1)させた計時器値を読めるのに先だって計時器は最低1つ進められます。
- **スタンバイ休止動作**からの起き上がり直後のCNTレジスタ読み込みは不正な結果を与えるかもしれません。CNTが非同期領域でクロック駆動されるため、CNT読み込みは内部入出力クロック領域に同期したレジスタを通して行われます。同期化は新しい計数器値があり、進行中の書き込み同期化がない時に必ず起こります。スタンバイ休止動作からの起き上がり時、CNTは非同期クロックの次の上昇端まで(休止移行前の)直前の値として読めます。スタンバイ休止動作からの起き上がり後のクロックの位相はそれが起き上がりに依存するため基本的に予測不能です。推奨されるCNT読み込み手順は従って次のとおりです。
  - 状態(TCFn.STATUS)レジスタの計数器同期多忙(CNTBUSY)ビットが解除(0)されるのを待ってください。
  - TCFn.CNTレジスタを読んでください。
- 波形出力(WOn)ピンは計時器クロックで変更され、プロセッサクロックに同期化されません。

### 25.3.5. 事象

TCFは以下の表で記述される事象を生成することができます。

表25-6. TCFでの事象生成部

生成部名		説明	CMPnEV	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象					
TCFn	OVF	OVFフラグ設定(1)	0	パルス	CLK_TCF	1 CLK_TCF周期
	CMPn	CMPn比較一致				
		波形出力n (WO0/WO1)	1	レベル		波形出力

TCFは事象生成部です。割り込み要求フラグ(TCFn.INTFLAGS)レジスタの溢れ割り込み要求フラグ(OVF)を設定(1)させるまたは比較一致のどの条件も事象を生成します。

この周辺機能は1つの事象入力を持ちます。やって来る事象はは事象制御(TCFn.EVCTRL)レジスタの計数器事象A入力許可(CNTAED)ビットが'1'に設定された場合にTCFn.EVCTRLレジスタの事象活動A(EVACTA)ビット領域によって定義されるような事象活動を与えます。

### 25.3.6. 割り込み

表25-7. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
OVF	溢れ割り込み	タイマ/カウンタがTOPまたはMAXに到達
CMP0	比較チャンネル0割り込み	計数器値と比較または比較0のレジスタ間での一致
CMP1	比較チャンネル1割り込み	計数器値と比較1レジスタ間での一致

割り込み条件が起こると、周辺機能の割り込み要求フラグ(TCFn.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。割り込み元は周辺機能の割り込み制御(TCFn.INTCTRL)レジスタで対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については周辺機能のINTFLAGSレジスタをご覧ください。

### 25.3.7. 休止形態動作

スタンバイ休止動作時、TCFは既定で禁止されます。休止動作へ移行すると直ぐに停止されます。

制御A(TCFn.CTRLA)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが'1'を書かれた場合、この単位部はスタンバイ休止動作で完全な動作に留まることができます。

全ての動作はパワーダウン休止動作で停止されます。

25.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	RUNSTDBY					PRESC2~0		ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0	CMP1EV	CMP0EV		CLKSEL2~0			WGMODE2~0	
+\$02	CTRLC	7~0			WGPULSE2~0		WO1POL	WO0POL	WO1EN	WO0EN
+\$03	CTRLD	7~0							CMD1,0	
+\$04	EVCTRL	7~0					FILTERA	EVACTA1,0		CNTAEI
+\$05	INTCTRL	7~0						CMP1	CMP0	OVF
+\$06	INTFLAGS	7~0						CMP1	CMP0	OVF
+\$07	STATUS	7~0	CMP1BUSY	CMP0BUSY	PERBUSY	CNTBUSY	CTRLDBUSY	CTRLCBUSY	CTRLABUSY	
+\$08 ~ +\$0C	予約									
+\$0D	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$0E ~ +\$0F	予約									
+\$10		7~0					CNT7~0			
+\$11	CNT	15~8					CNT15~8			
+\$12		23~16					CNT23~16			
+\$13		31~24								
+\$14		7~0					CMP7~0			
+\$15	CMP	15~8					CMP15~8			
+\$16		23~16					CMP23~16			
+\$17		31~24								

## 25.5. レジスタ説明

### 25.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : 2重緩衝

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY				PRESC2~0		ENABLE	
アクセス種別	R/W	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7 - RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)

このビットへの'1'書き込みはこの周辺機能にスタンバイ休止動作での走行を許可します。

- ビット3~1 - PRESC2~0 : 前置分周器選択 (Prescaler Select)

このビット領域はクロック前肢分周器を選びます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	DIV1	DIV2	DIV4	DIV8	DIV16	DIV32	DIV64	DIV128
説明 ( $f_{TCF}$ )	クロック元直接	クロック元/2	クロック元/4	クロック元/8	クロック元/16	クロック元/32	クロック元/64	クロック元/128

- ビット0 - ENABLE : 許可 (Enable)

このビットへの'1'書き込みはタイマ/カウンタ型(TCF)周辺機能を許可します。

### 25.5.2. CTRLB - 制御B (Control B)

名称 : CTRLB  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : 許可保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP1EV	CMP0EV	CLKSEL2~0		WGMODE2~0			
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7,6 - CMPnEV : 比較n事象生成 (Compare n Event Generation) (訳注: CMP1EVとCMP0EVはCMPnEVとして纏めました。)

このビットは事象出力線での波形動作を制御します。このビットへの'1'書き込みは比較一致または溢れのパルスの代わりに事象線での波形出力を出力します。WOnENビットは事象出力に対して無効にされます。

値	0	1
名称	PULSE	WAVEFORM
説明	比較一致または溢れの時に事象パルスが生成されます。	事象出力はWOnENビットが何であれWOn波形出力と同じです。

- ビット5~3 - CLKSEL2~0 : クロック選択 (Clock Select)

このビット領域はタイマ/カウンタ クロック元を制御し、タイマ/カウンタが許可されている間変更することができません。

値	000	001	010	011	101	その他
名称	CLKPER	EVENT	OSCHF	OSC32K	PLL	-
説明	周辺機能クロック	事象端	内部高周波数発振器	内部32.768KHz発振器	位相固定化閉路	(予約)

- ビット2~0 - WGMODE2~0 : 波形生成動作 (Waveform Generation Mode)

このビット領域は波形生成動作を選びます。

値	000	001	010	111	その他
名称	FREQ	NCOFP	NCOFDC	PWM8	-
説明	周波数	数値制御発振器パルス周波数	数値制御発振器固定デューティサイクル	8ビットPWM	(予約)

### 25.5.3. CTRLC - 制御C (Control C)

名称 : CTRLC  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : 2重緩衝

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	WGPULSE2~0			WO1POL	WO0POL	WO1EN	WO0EN	
アクセス種別	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6~4 - WGPULSE2~0 : 波形生成パルス長 (Waveform Generation Pulse Length)

このビット領域はパルス周波数動作で生成された波形のHigh時間を制御します。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	CLK1	CLK2	CLK4	CLK8	CLK16	CLK32	CLK64	CLK128
説明 (CLK_TCF周期数)	1	2	4	8	16	32	64	128

#### ●ビット3,2 - WOnPOL : 波形出力n極性 (Waveform Output n Polarity) (訳注: WO1POLとWO0POLはWOnPOLとして纏めました。)

このビットは波形出力nの極性を制御します。

値	0	1
説明	波形出力WOnは溢れで設定(1)され、比較一致で解除(0)されます。	波形出力WOnは溢れで解除(0)され、比較一致で設定(1)されます。

#### ●ビット1,0 - WOnEN : 波形出力n許可 (Waveform Output n Enable) (訳注: WO1ENとWO0ENはWOnENとして纏めました。)

このビットは比較/溢れ出力の出力値を設定するのに使われます。周波数生成動作については同じ波形が両出力で利用可能です。

値	0	1
説明	波形出力WOnは切断されます。	波形出力WOnは対応するピンで利用可能です。

### 25.5.4. CTRLD - 制御D (Control D)

名称 : CTRLD  
変位 : +\$03  
リセット : \$00  
特質 : 2重緩衝

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							CMD1,0	
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1,0 - CMD1,0 : 指令 (Command)

このビット領域はタイマ/カウンタの更新、再始動、リセットのソフトウェア制御に使われます。指令ビット領域はその指令が計数器領域に同期されるまで設定(1)に留まります。この間に新しい指令は受け入れられません。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	UPDATE	RESTART	-
説明	指令なし	強制更新	強制再始動	(予約)

### 25.5.5. EVCTRL - 事象制御 (Event Control)

名称 : EVCTRL  
変位 : +\$04  
リセット : \$00  
特質 : 許可保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					FILTERA	EVACTA1,0		CNTAEI
アクセス種別	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 - FILTERA : 事象A濾過 (Event Filter A)**  
このビットへの'1'書き込みは事象Aでの入力濾過を許可します。
- **ビット2,1 - EVACTA1,0 : 事象A活動 (Event Action A)**  
このビット領域は事象条件で計数器取る活動を選びます。

値	0	1
名称	RESTART	BLANK
説明	計数器を再始動	波形出力を'0'に遮蔽

- **ビット0 - CNTAEI : 計数器事象A入力許可 (Counter Event A Input Enable)**  
このビットへの'1'書き込みは入力事象Aを許可します。

### 25.5.6. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						CMP1	CMP0	OVF
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット2,1 - CMPn : 比較n割り込み許可 (Compare n Interrupt Enable) (訳注: CMP1とCMP0はCMPnとして纏めました。)**  
このビットへの'1'書き込みは比較n割り込みを許可します。
- **ビット0 - OVF : 溢れ割り込み許可 (Overflow Interrupt Enable)**  
このビットへの'1'書き込みは溢れでの割り込みを許可します。

### 25.5.7. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						CMP1	CMP0	OVF
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット2,1 - CMPn : 比較n割り込み要求フラグ (Compare n Interrupt Flag) (訳注: CMP1とCMP0はCMPnとして纏めました。)**  
このビットはCMPn割り込み発生時に設定(1)されます。割り込み条件は制御B(TCFn.CTRLB)レジスタの波形生成動作(WGMODE)ビット領域に依存します。  
このビットは'1'書き込みまたは比較レジスタ書き込みによって解除(0)されます。
- **ビット0 - OVF : 溢れ割り込み要求フラグ (Overflow Interrupt Flag)**  
このビットは溢れ割り込み発生時に設定(1)されます。このフラグはタイマ/カウンタがMAXからBOTTOMへ折り返す時に必ず設定(1)されます。  
このビット位置への'1'書き込みがこのビットを解除(0)します。

### 25.5.8. STATUS - 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$07  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMP1BUSY	CMP0BUSY	PERBUSY	CNTBUSY	CTRLDBUSY	CTRLCBUSY	CTRLABUSY	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット7 - CMP1BUSY : 比較1同期多忙 (Compare 1 Synchronization Busy)**

このビットが'1'の時にTCFnは非同期領域で比較1(TCFn.CMP1)レジスタを同期化多忙中です。このビットは8ビットPWM(PWM8)動作でだけ有効で、このビットはCMP0BUSYと同じです。

● **ビット6 - CMP0BUSY : 比較0同期多忙 (Compare 0 Synchronization Busy)**

このビットが'1'の時にTCFnは非同期領域で比較(TCFn.CMP)レジスタを同期化多忙中です。

● **ビット5 - PERBUSY : 周期同期多忙 (Period Synchronization Busy)**

このビットが'1'の時にTCFnは非同期領域で周期(TCFn.PERまたはTCFn.CNT1)レジスタを同期化多忙中です。このビットは8ビットPWM(PWM8)動作でだけ有効で、このビットはCNTBUSYと同じです。

● **ビット4 - CNTBUSY : 計数器同期多忙 (Counter Synchronization Busy)**

このビットが'1'の時にTCFnは非同期領域で計数(TCFn.CNT)レジスタを同期化多忙中です。周辺機能クロックが禁止される休止動作からの起き上がり後、このビットは同期化が完了するまで設定(1)されます。

● **ビット3,2,1 - CNTLxBUSY : 制御x同期多忙 (Control x Synchronization Busy)**

(**訳注:** CTRLDBUSY、CTRLCBUSY、CTRLABUSYはCTRLxBUSYとして纏めました。)

このビットが'1'の時にTCFnは非同期領域で制御x(TCFn.CTRLx)レジスタを同期化多忙中です。

### 25.5.9. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control)

名称 : DBGCTRL  
変位 : +\$0D  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行 (Run in Debug)**

値	0	1
説明	TCFはデバッグ動作中断で停止し、事象を無視	TCFはCPU停止中のデバッグ動作中断で走行継続

### 25.5.10. CNT - 計数 (Counter Register)

名称 : CNT (CNT3/CNT2/CNT1(PER)/CNT0(CNT))  
変位 : +\$010  
リセット : \$00000000  
特質 : 2重緩衝

TCFn.CNT3、TCFn.CNT2、TCFn.CNT1、TCFn.CNT0のレジスタは32ビット値のTCFn.CNTを表します。バイト0[7~0]は変位原点でアクセスできます。バイト1[15~8]は変位+1でアクセスすることができます。バイト2[23~16]は変位+2でアクセスすることができます。バイト1[31~24]は変位+3でアクセスすることができますが、どのデータも決して含みません。

バイト2(変位+3)の読み書きが新しい同期化を起動します。

8ビットPWM動作ではTCFn.CNT0とTCFn.CNT1だけが使われ、独立したレジスタとしてアクセスされます。この動作形態でTCFn.CNT2とTCFn.CNT3は何の機能も持ちません。(訳補:この動作でCNT0はCNT、CNT1はPERの別名でも使われます。)

ビット	31	30	29	28	27	26	25	24
	CNT31~24							
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	23	22	21	20	19	18	17	16
	CNT23~16							
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	15	14	13	12	11	10	9	8
	CNT15~8							
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	6	5	4	3	2	1	0
	CNT7~0							
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23~0 - CNT23~0 : 計数器 (Counter)**

このビット領域は計数器レジスタ値を保持します。

**25.5.11. CMP - 比較 (Compare Register)**

名称 : CMP (CMP3/CMP2/CMP1/CMP0)

変位 : +\$014

リセット : \$00000000

特質 : 2重緩衝

TCFn.CMP3、TCFn.CMP2、TCFn.CMP1、TCFn.CMP0のレジスタは32ビット値のTCFn.CMPを表します。バイト0[7~0]は変位原点でアクセスできます。バイト1[15~8]は変位+1でアクセスすることができます。バイト2[23~16]は変位+2でアクセスすることができます。バイト3[31~24]は変位+3でアクセスすることができますが、どのデータも決して含みません。

バイト2(変位+3)の読み書きが新しい同期化を起動します。

8ビットPWM動作ではTCFn.CMP0とTCFn.CMP1だけが使われ、独立したレジスタとしてアクセスされます。この動作形態でTCFn.CMP2とTCFn.CMP3は何の機能も持ちません。

ビット	31	30	29	28	27	26	25	24
	CMP31~24							
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	23	22	21	20	19	18	17	16
	CMP23~16							
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	15	14	13	12	11	10	9	8
	CMP15~8							
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	6	5	4	3	2	1	0
	CMP7~0							
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23~0 - CMP23~0 : 比較値 (Compare Value)**

このビット領域は比較、頂上、または増加の値を保持します。

## 26. RTC – 実時間計数器

### 26.1. 特徴

- 16ビット分解能
- 選択可能なクロック元
- 設定可能な15ビット クロック前置分周
- 1つの比較レジスタ
- 1つの定期レジスタ
- 定期上昇溢れでの計数器解消
- 任意選択の上昇溢れと比較一致での割り込み/事象
- 周期的な割り込みと事象
- クリスタル誤差修正

### 26.2. 概要

RTC周辺機能は実時間計数器(RTC:Real-Time Counter)と周期的割り込み計時器(PIT:Prionic Interrupt Timer)の2つのタイミング機能を提供します。

PIT機能はRTC機能から独立して許可することができます。

#### RTC – 実時間計数器

RTCは計数レジスタで(前置分周された)クロック周期を計数し、計数レジスタの内容を定期レジスタ及び比較レジスタと比較します。

RTCは比較一致または溢れで割り込みと事象の両方を生成することができます。計数器値が比較レジスタ値と等しい後の最初の計数で比較割り込みや事象を、計数器値が定期レジスタ値と等しい後の最初の計数で溢れ割り込みや事象を生成します。溢れは計数器値を0にリセットします。

RTC周辺機能は時間の経緯を保つよう、一般的に低電力休止動作形態を含み継続して動きます。これは規則的な間隔で休止動作形態からデバイスを起き上げさせたり、デバイスに割り込むことができます。

基準クロックは代表的に外部クリスタルからの32.768kHz出力です。RTCは外部クロック信号、32.768kHz内部超低電力発振器(OSC32K)、または32分周されたOSC32Kからもクロック駆動することができます。

RTC周辺機能は計数器へ至る前に基準クロックを下げる可以降低ことができる設定可能な15ビットの前置分周器を含みます。RTCに対して広範囲の分解能と時間限度を構成設定することができます。32.768kHzのクロック元とで、最大分解能は30.5 $\mu$ sで、時間限度期間は2sまでにすることができます。1sの分解能とで、最大時間限度期間は18時間よりも多くなります(65536s)。

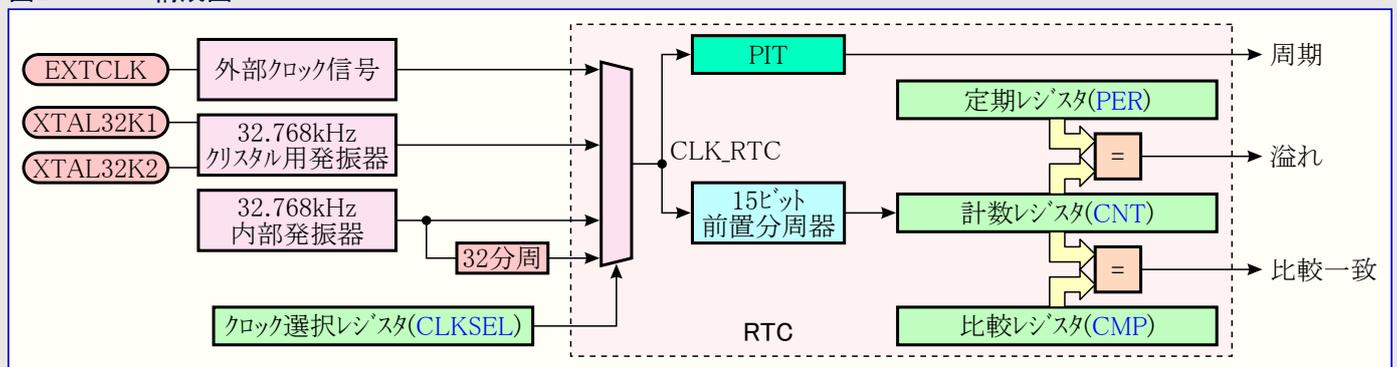
RTCは外部クリスタル選択を用いる動作時のクリスタル誤差修正を支援します。修正のために外部的に校正された値が使われます。ソフトウェアはRTCを $\pm 1$ ppmで調整することができます、最大調整は $\pm 127$ ppmです。RTC修正動作はクリスタル誤差を考慮するために前置分周器を(計数を飛ばすことによる)加速または(余分な計数を追加することによる)減速のどちらかを行います。

#### PIT – 周期的割り込み計時器

PITはRTC機能と同じクロック元を使い、毎回の第nクロック周期で割り込み要求やレベル事象を生成することができます。nは割り込みに対して4,8,16,~32768、事象に対して64,128,256,~8192から選ぶことができます。

### 26.2.1. 構成図

図26-1. RTC構成図



### 26.3. クロック

周辺機能クロック(CLK\_PER)は前置分周器設定と無関係に計数器値を読むためにRTCクロック(CLK\_RTC)よりも最低4倍速いことが必要とされます。

32.768kHzクリスタルは必要とされる何れかの負荷容量と共にXTAL32K1とXTAL32K2のピンに接続することができます。代わりに、外部デジタルクロックをXTAL32K1ピンに接続することができます。

## 26.4. RTCの機能的な説明

RTC周辺機能は実時間計数器(RTC)と周期的割り込み計時器(PIT)の2つのタイミング機能を提供します。

### 26.4.1. 初期化

RTC周辺機能と望む活動(割り込み要求、出力事象)を許可する前に、RTCを動かすためにRTC計数器用の供給元クロックが構成設定されなければなりません。

#### 26.4.1.1. CLK\_RTCクロック構成設定

CLK\_RTCを構成設定するには以下のこれらの手順に従ってください。

1. クロック制御器(CLKCTRL)周辺機能で望む発振器を必要とされる動作に構成設定してください。
2. それに応じて**クロック選択(RTC.CLKSEL)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域**を書いてください。

CLK\_RTCクロック構成設定はRTCとPITの両機能によって使われます。

#### 26.4.1.2. RTC構成設定

RTCを動かすには以下のこれらの手順に従ってください。

1. **比較(RTC.CMP)レジスタに比較値、定期(RTC.PER)レジスタに溢れ値を設定**してください。
2. **割り込み制御(RTC.INTCTRL)レジスタで各々の割り込み許可(CMP,OVF)ビットに'1'を書くこと**によって望む割り込みを許可してください。
3. **制御A(RTC.CTRLA)レジスタで前置分周器(PRESCALER)ビット領域に望む値を書くこと**によってRTC内部前置分周器を構成設定してください。
4. RTC.CTRLAレジスタで**RTC周辺機能許可(RTCEN)ビットに'1'を書くこと**によってRTCを許可してください。

### 26.4.2. 操作 – RTC

#### 26.4.2.1. 許可と禁止

RTCは**制御Aレジスタ(RTC.CTRLA)レジスタのRTC周辺機能許可(RTCEN)ビットに'1'を書くこと**によって許可されます。RTCはRTC.CTRLAのRTCENビットに**'0'を書くこと**によって禁止されます。

## 26.5. PITの機能的な説明

RTC周辺機能は実時間計数器(RTC)と周期割り込み計時器(PIT)の2つのタイミング機能を提供します。

### 26.5.1. 初期化

PITを動かすには以下のこれらの手順に従ってください。

1. 「**26.4.1.1. CLK\_RTCクロック構成設定**」項で記述されるようにRTCクロック(CLK\_RTC)を構成設定してください。
2. **周期割り込み計時器割り込み制御(RTC.PITINTCTRL)レジスタの周期割り込み許可(PI)ビットに'1'を書くこと**によって割り込みを許可してください。
3. **周期割り込み計時器制御A(RTC.PITCTRLA)レジスタで周期(PERIOD)ビット領域に望む値と周期割り込み計時器許可(PITEN)ビットに'1'を書くこと**によって割り込み周期を選んでPITを許可してください。

### 26.5.2. 操作 – PIT

#### 26.5.2.1. 許可と禁止

PITは**周期割り込み計時器制御A(RTC.PITCTRLA)レジスタの周期割り込み計時器許可(PITEN)ビットに'1'を書くこと**によって許可されます。PITはRTC.PITCTRLAのPITENビットに**'0'を書くこと**によって禁止されます。

#### 26.5.2.2. PIT割り込みタイミング

##### 初回割り込みのタイミング

PITとRTCの両機能は前置分周器内側の同じ計数器で動き、下で記述されるように構成設定することができます。

- RTC割り込み周期は**定期(RTC.PER)レジスタ**を書くことによって構成設定されます。
- PIT割り込み周期は**周期割り込み計時器制御A(RTC.PITCTRLA)レジスタの周期(PERIOD)ビット領域**を書くことによって構成設定されます。

前置分周器は両機能がOFF(RTC.CTRLAの**RTC周辺機能許可(RTCEN)ビット**とRTC.PITCTRLAの**周期割り込み計時器許可(PITEN)ビットが0**)の時にOFFですが、どちらかの機能が許可されると動きます(即ち、内部計数器が計数します)。この理由のため、最初のPIT割り込みとRTC計数刻みのタイミングは未知(許可と完全な周期間の何時か)です。

継続動作

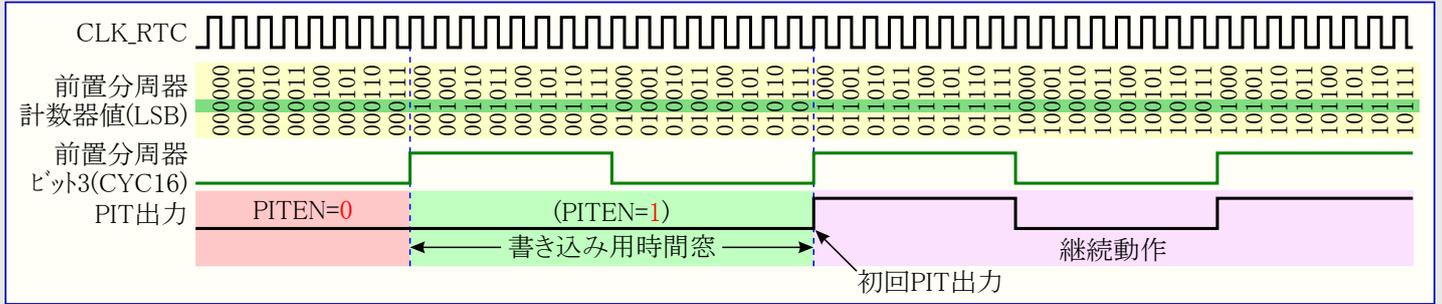
初回割り込み後、PITは完全なPIT周期信号に帰着する1/2 PIT周期毎の交互切り替えを続けます。

例26-1. PERIOD=CYC16に対するPITタイミング図

RTC.PITCTRLAでのPERIOD=CYC16に対して、PITは事実上前置分周器計数器ビット3の状態に従い、故に結果の割り込み出力は16 CLK\_RTC周回の周期を持ちます。

初回PIT割り込みとPITENへの'1'書き込み間の時間は実質的に0と(n CLK\_RTC周期の)PIT周期間で変わり得ます。PIT許可とその初回出力間の正確な遅延は前置分周器の計数段階に依存し、下で示される初回割り込みは先行する時間窓内側の何処かでPITENへ'1'を書くことによってもたらされます。

図26-2. PIT許可と初回割り込み間のタイミング



26.6. クリスタル誤差修正

RTCとPIT用の前置分周器は制御A(RTC.CTRLA)レジスタの周波数修正許可(CORREN)ビットが'1'の時にクリスタル周波数校正(CALIB)レジスタからのppm誤差値を使うことによってクリスタルクロックの内部周波数修正を行うことができます。

CALIBレジスタは周波数誤差についての情報に基づき、使用者によって書かれなければなりません。100万周期間隔を通して分散してRTC.CALIBレジスタ内の誤差修正値(ERROR)ビット領域で与えられる値に等しいいくつかの周期を追加または削除することによって修正操作を実行してください。

計数(RTC.CNT)レジスタを通して利用可能なRTC計数値またはPIT間隔はこのクロック修正を反映します。

修正機能を禁止した場合、進行中の修正周回はこの機能が禁止されるのに先立って完了されます。

注: 負の修正でこの機能を使う場合、最小前置分周構成設定は2分周(DIV2)です。

26.7. 事象

RTCは次表で記述される事象を生成することができます。

表26-1. RTC事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
RTC	OVF	溢れ	パルス		1 CLK_RTC周期
	CMP	比較一致			
	PIT_DIV8192	8196前置分周したRTCクロック			8196前置分周したRTCクロックで与えられる
	PIT_DIV4096	4096前置分周したRTCクロック			4096前置分周したRTCクロックで与えられる
	PIT_DIV2048	2048前置分周したRTCクロック		CLK_RTC	2048前置分周したRTCクロックで与えられる
	PIT_DIV1024	1024前置分周したRTCクロック	レベル		1024前置分周したRTCクロックで与えられる
	PIT_DIV512	512前置分周したRTCクロック			512前置分周したRTCクロックで与えられる
	PIT_DIV256	256前置分周したRTCクロック			256前置分周したRTCクロックで与えられる
	PIT_DIV128	128前置分周したRTCクロック			128前置分周したRTCクロックで与えられる
PIT_DIV64	64前置分周したRTCクロック	64前置分周したRTCクロックで与えられる			

OVFとCMPの事象を生成するための条件は割り込み要求フラグ(RTC.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグを掲げるそれらと同じです。

事象使用部と事象システム構成設定に関するより多くの詳細については「EVSYS - 事象システム」章を参照してください。

## 26.8. 割り込み

表26-2. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
RTC	実時間計数器溢れと 比較一致割り込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>溢れ(OVF) : 計数器が定期(RTC.PER)レジスタからの値に達して0に丸められる</li> <li>比較一致(CMP) : 計数器(RTC.CNT)レジスタからの値と比較(RTC.CMP)レジスタからの値間で一致</li> </ul>
PIT	周期割り込み計時器割り込み	RTC.PITCTRLAのPERIODビット領域で構成設定したように時間周期通過

割り込み条件が起こると、周辺機能の割り込み要求フラグ(RTC.INTFLAGS, RTC.PITINTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。

割り込み元は周辺機能の割り込み制御(RTC.INTCTRL, RTC.PITINTCTRL)レジスタで対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。

割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については周辺機能の(PIT)INTFLAGSレジスタをご覧ください。

**注:** ・ RTCはRTC用のRTC.INTFLAGSとPIT用のRTC.PITINTFLAGSの2つのINTFLAGSレジスタを持ちます。

・ RTCはRTC用のRTC.INTCTRLとPIT用のRTC.PITINTCTRLの2つのINTCTRLレジスタを持ちます。

## 26.9. 休止形態動作

RTCはアイドル休止動作で動作を続けます。制御レジスタ(RTC.CTRLA)のスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)なら、スタンバイ休止動作で走行します。

PITはどの休止動作形態でも動作を続けます。

## 26.10. 同期

RTCとPITは共に非同期で、周辺機能クロック(CLK\_PER)から独立した違うクロック元(CLK\_RTC)で動きます。制御と計数レジスタ更新に関して、更新されたレジスタ値がレジスタで利用可能になる前、または構成設定変更が各々RTCやPITに影響を及ぼすまで、RTCクロックや周辺機能クロックで多少の周期数がかかります。この同期時間はレジスタ説明項で各レジスタに対して記述されます。

いくつかのRTCレジスタに関して、状態(RTC.STATUS)レジスタで同期多忙(CMPBUSY, PERBUSY, CNTBUSY, CTRLABUSY)フラグが利用可能です。

周期割り込み計時器制御A(RTC.PITCTRLA)レジスタについては、周期割り込み計時器状態(RTC.PITSTATUS)レジスタでPIT制御A同期多忙(CTRLBUSY)フラグが利用可能です。

言及したレジスタへ書く前にこれらのフラグを調べてください。

## 26.11. デバッグ操作

デバッグ制御(DBGCTRL)レジスタのデバッグ時走行(DBGRUN)ビットが'1'の場合、RTCは標準動作を続けます。DBGRUNが'0'でCPUが停止された場合、RTCは動作を停止してどの到着事象も無視します。

周期割り込み計時器デバッグ制御(PITDBGCTRL)レジスタのデバッグ時走行(DBGRUN)ビットが'1'の場合、PITは標準動作を続けます。デバッグ動作に於いてDBGRUNが'0'でCPUが停止された場合、PIT出力はLowです。その時にPIT出力がHighだったなら、中断から再始動する時に割り込み要求フラグを設定(1)するために新しい正端が起きます。結果は標準動作中に起こらない追加のPIT割り込みです。中断でPIT出力がLowだったなら、PITは追加の割り込みなしでLowを再開します。

## 26.12. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	RUNSTDBY	PRESCALER3~0				CORREN		RTCEN
+\$01	STATUS	7~0					CMPBUSY	PERBUSY	CNTBUSY	CTRLABUSY
+\$02	INTCTRL	7~0							CMP	OVF
+\$03	INTFLAGS	7~0							CMP	OVF
+\$04	TEMP	7~0	TEMP7~0							
+\$05	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$06	CALIB	7~0	SIGN	ERROR6~0						
+\$07	CLKSEL	7~0							CLKSEL1,0	
+\$08	CNT	7~0	CNT7~0							
+\$09		15~8	CNT15~8							
+\$0A	PER	7~0	PER7~0							
+\$0B		15~8	PER15~8							
+\$0C	CMP	7~0	CMP7~0							
+\$0D		15~8	CMP15~8							
+\$0E ~ +\$0F	予約									
+\$10	PITCTRLA	7~0		PERIOD3~0						PITEN
+\$11	PITSTATUS	7~0								CTRLBUSY
+\$12	PITINTCTRL	7~0								PI
+\$13	PITINTFLAGS	7~0								PI
+\$14	予約									
+\$15	PITDBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$16	PITVGENCTRLA	7~0	EVGEN1SEL3~0				EVGEN0SEL3~0			

## 26.13. レジスタ説明

### 26.13.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY	PRESCALER3~0				CORREN		RTCEN
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7 - RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run Standby)

値	0	1
説明	スタンバイ休止動作でRTC禁止	スタンバイ休止動作でRTC許可

#### ● ビット6~3 - PRESCALER3~0 : 前置分周器 (Prescaler)

これらのビットはCLK\_RTCクロック信号の前置分周を定義します。

値	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
名称	DIV1	DIV2	DIV4	DIV8	DIV16	DIV32	DIV64	DIV128
説明	CLK_RTC/1	CLK_RTC/2	CLK_RTC/4	CLK_RTC/8	CLK_RTC/16	CLK_RTC/32	CLK_RTC/64	CLK_RTC/128
値	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
名称	DIV256	DIV512	DIV1024	DIV2048	DIV4096	DIV8192	DIV16384	DIV32768
説明	CLK_RTC/256	CLK_RTC/512	CLK_RTC/1024	CLK_RTC/2048	CLK_RTC/4096	CLK_RTC/8192	CLK_RTC/16384	CLK_RTC/32768

#### ● ビット2 - CORREN : 周波数修正許可 (Frequency Correction Enable)

値	0	1
説明	周波数修正禁止	周波数修正許可

#### ● ビット0 - RTCEN : RTC周辺機能許可 (RTC Peripheral Enable)

値	0	1
説明	RTC周辺機能禁止	RTC周辺機能許可

 **重要:** RTCクロックと主クロック領域間同期のため、レジスタ更新からそれが効果を持つまでに2 RTCクロック周期の遅れがあります。応用ソフトウェアはこのレジスタを書く前に状態(RTC.STATUS)レジスタの**制御A同期多忙(CTRLABUSY)フラグ**が解除(0)されているのを確認しなければなりません。

### 26.13.2. STATUS - 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMPBUSY	PERBUSY	CNTBUSY	CTRLABUSY
アクセス種別	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 - CMPBUSY : 比較同期多忙 (Compare Synchronization Busy)

このビットはRTCがRTCクロック領域で**比較(RTC.CMP)レジスタ**を同期中多忙の時に'1'です。

#### ● ビット2 - PERBUSY : 定期同期多忙 (Period Synchronization Busy)

このビットはRTCがRTCクロック領域で**定期(RTC.PER)レジスタ**を同期中多忙の時に'1'です。

#### ● ビット1 - CNTBUSY : 計数器同期多忙 (Counter Synchronization Busy)

このビットはRTCがRTCクロック領域で**計数(RTC.CNT)レジスタ**を同期中多忙の時に'1'です。

● **ビット0 - CTRLABUSY** : 制御A同期多忙 (Control A Synchronization Busy)

このビットはRTCがRTCクロック領域で**制御A(RTC.CTRLA)レジスタ**を同期中多忙の時に'1'です。

### 26.13.3. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL

変位 : +\$02

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							CMP	OVF
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1 - CMP** : 比較一致割り込み許可 (Compare Match Interrupt Enable)

比較一致での(即ち、計数(RTC.CNT)レジスタ値が**比較(RTC.CMP)レジスタ**値と一致した時の)割り込みを許可します。

値	0	1
説明	比較一致割り込みは禁止されます。	比較一致割り込みは許可されます。

● **ビット0 - OVF** : 溢れ割り込み許可 (Overflow Interrupt Enable)

計数器溢れでの(即ち、**計数(RTC.CNT)レジスタ**値が**定期(RTC.PER)レジスタ**値と一致して0に丸められる時の)割り込みを許可します。

値	0	1
説明	溢れ割り込みは禁止されます。	溢れ割り込みは許可されます。

### 26.13.4. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flag)

名称 : INTFLAGS

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							CMP	OVF
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1 - CMP** : 比較一致割り込み要求フラグ (Compare Match Interrupt Flag)

このフラグは計数(RTC.CNT)レジスタ値が**比較(RTC.CMP)レジスタ**値と一致した時に設定(1)されます。

このビットへの'1'書き込みがこのフラグを解除(0)します。

● **ビット0 - OVF** : 溢れ割り込み要求フラグ (Overflow Interrupt Flag)

このフラグは**計数(RTC.CNT)レジスタ**値が**定期(RTC.PER)レジスタ**値と一致して0に丸められる時に設定(1)されます。

このビットへの'1'書き込みがこのフラグを解除(0)します。

### 26.13.5. TEMP - 一時レジスタ (Temporary)

名称 : TEMP

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

一時レジスタはこの周辺機能の16ビットレジスタへの16ビット単一周期アクセスのためにCPUによって使われます。このレジスタはこの周辺機能の全ての16ビットレジスタに対して共通でソフトウェアによって読み書きすることができます。「メモリ」章の「[16ビットレジスタのアクセス](#)」を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TEMP7~0							
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 - TEMP7~0** : 一時値 (Temporary)

16ビットレジスタでの読み書き操作一時レジスタ

**26.13.6. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control)**

名称 : DBGCTRL  
 変位 : +\$05  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行 (Debug Run)**

値	0	1
説明	RTCはデバッグ動作中断で停止し、事象を無視	RTCはCPU停止中のデバッグ動作中断で走行継続

**26.13.7. CALIB - クリスタル周波数校正 (Crystal Frequency Calibration)**

名称 : CALIB  
 変位 : +\$06  
 リセット : \$00  
 特質 : -

このレジスタは行う修正形式と誤差値を格納します。このレジスタは外部校正や温度校正に基づく誤差値でソフトウェアによって書かれます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SIGN	ERROR6~0						
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 - SIGN : 誤差修正符号ビット (Error Correction Sign Bit)**

このビットは修正の方向を示すのに使われます。

値	0	1
説明	前置分周器により遅く計数させる正修正	前置分周器により速く計数させる負修正。 これは最小前置分周器構成設定がDIV2であることが必要

● **ビット6~0 - ERROR6~0 : 誤差修正値 (Error Correction Value)**

各100万RTCクロック周期間隔に対する修正クロック数(ppm)

**26.13.8. CLKSEL - クロック選択 (Clock Selection)**

名称 : CLKSEL  
 変位 : +\$07  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								CLKSEL1,0
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1,0 - CLKSEL1,0 : クロック選択 (Clock Select)**

これらのビット書き込みはRTCクロック(CLK\_RTC)用の供給元を選びます。

RTCをXOSC32KまたはXTAL32K1での外部クロックのどちらかで使うように構成設定すると、XOSC32Kは許可されることが必要で、クロック制御器のXOSC32K制御A(CLKCTRL.XOSC32KCTRLA)レジスタの供給元選択(SEL)ビットとスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットはそれに応じて構成設定されなければなりません。

値	00	01	10	11
名称	OSC32K	OSC1K	XTAL32K	EXTCLK
説明	OSC32Kからの32.768kHz	OSC32Kからの1.024kHz	XOSC32Kからの32.768kHzまたはXTAL32K1ピンからの外部クロック	EXTCLKピンからの外部クロック

### 26.13.9. CNT - 計数 (Count)

名称 : CNT (CNTH,CNTL)  
 変位 : +\$08  
 リセット : \$0000  
 特質 : -

RTC.CNTHとRTC.CNTLのレジスタ対は16ビット値のRTC.CNTを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
CNT15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
CNT7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット15~8 - CNT15~8 : 計数值上位バイト (Counter high byte)

これらのビットは16ビット計数レジスタの上位バイトを保持します。

- ビット7~0 - CNT7~0 : 計数值下位バイト (Counter low byte)

これらのビットは16ビット計数レジスタの下位バイトを保持します。

 **重要:** RTCクロックと主クロック領域間同期のため、レジスタ更新からそれが効果を持つまでに2 RTCクロック周期の遅れがあります。応用ソフトウェアはこのレジスタを書く前に**状態(RTC.STATUS)レジスタの計数器同期多忙(CNTBUSY)フラグ**が解除(0)されているのを確認しなければなりません。

### 26.13.10. PER - 定期 (Period)

名称 : PER (PERH,PERL)  
 変位 : +\$0A  
 リセット : \$FFFF  
 特質 : -

RTC.PERHとRTC.PERLのレジスタ対は16ビット値のRTC.PERを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
PER15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	1	1	1	1	1	1	1	1
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
PER7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	1	1	1	1	1	1	1	1

- ビット15~8 - PER15~8 : 定期値上位バイト (Periodic high byte)

これらのビットは16ビット定期レジスタの上位バイトを保持します。

- ビット7~0 - PER7~0 : 定期値下位バイト (Periodic low byte)

これらのビットは16ビット定期レジスタの下位バイトを保持します。

 **重要:** RTCクロックと主クロック領域間同期のため、レジスタ更新からそれが効果を持つまでに2 RTCクロック周期の遅れがあります。応用ソフトウェアはこのレジスタを書く前に**状態(RTC.STATUS)レジスタの定期同期多忙(PERBUSY)フラグ**が解除(0)されているのを確認しなければなりません。

### 26.13.11. CMP - 比較 (Compare)

名称 : CMP (CMPH, CMPL)

変位 : +\$0C

リセット : \$0000

特質 : -

RTC.CMPHとRTC.CMPLのレジスタ対は16ビット値のRTC.CMPを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	CMP15~8							
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	6	5	4	3	2	1	0
	CMP7~0							
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15~8 - CMP15~8 : 比較値上位バイト (Compare high byte)

これらのビットは16ビット比較レジスタの上位バイトを保持します。

#### ● ビット7~0 - CMP7~0 : 比較値下位バイト (Compare low byte)

これらのビットは16ビット比較レジスタの下位バイトを保持します。

 **重要:** RTCクロックと主クロック領域間同期のため、レジスタ更新からそれが効果を持つまでに2 RTCクロック周期の遅れがあります。応用ソフトウェアはこのレジスタを書く前に**状態(RTC.STATUS)レジスタの比較同期多忙(CMPBUSY)フラグ**が解除(0)されているのを確認しなければなりません。

### 26.13.12. PITCTRLA - 周期割り込み計時器制御A (Periodic Interrupt Timer Control A)

名称 : ;PITCTRLA

変位 : +\$10

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PERIOD3~0						PITEN	
アクセス種別	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット6~3 - PERIOD3~0 : 周期 (Period)

このビット領域は各割り込み間のRTCクロック周期数を選びます。

値	0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 0	0 0 1 1	0 1 0 0	0 1 0 1	0 1 1 0	0 1 1 1
名称	OFF	CYC4	CYC8	CYC16	CYC32	CYC64	CYC128	CYC256
説明	割り込みなし	4周期	8周期	16周期	32周期	64周期	128周期	256周期
値	1 0 0 0	1 0 0 1	1 0 1 0	1 0 1 1	1 1 0 0	1 1 0 1	1 1 1 0	1 1 1 1
名称	CYC512	CYC1024	CYC2048	DIV4096	CYC8192	CYC16384	CYC32768	-
説明	512周期	1024周期	2048周期	4096周期	8192周期	16384周期	32768周期	(予約)

#### ● ビット0 - PITEN : 周期割り込み計時器許可 (Periodic Interrupt Timer Enable)

このビットへの'1'書き込みがPITを許可します。

値	0	1
説明	周期割り込み計時器禁止	周期割り込み計時器許可

 **重要:** RTCクロックと主クロック領域間同期のため、レジスタ更新からそれが効果を持つまでに2 RTCクロック周期の遅れがあります。応用ソフトウェアはこのレジスタを書く前に**PIT状態(RTC.PITSTATUS)レジスタのPIT制御A同期多忙(CTRLBUSY)フラグ**が解除(0)されているのを確認しなければなりません。

**26.13.13. PITSTATUS - 周期割り込み計時器状態 (Periodic Interrupt Timer Status)**

名称 : PITSTATUS  
 変位 : +\$11  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								CTRLBUSY
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 - CTRLBUSY : PIT制御A同期多忙 (PITCTRLA Synchronization Busy)**

このビットはRTCがRTCクロック領域で**周期割り込み計時器制御A(RTC.PITCTRLA)レジスタ**を同期中多忙の時に'1'です。

**26.13.14. PITINTCTRL - PIT割り込み制御 (PIT Interrupt Control)**

名称 : PITINTCTRL  
 変位 : +\$12  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								PI
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 - PI : 周期割り込み許可 (Periodic Interrupt)**

値	0	1
説明	周期割り込み禁止	周期割り込み許可

**26.13.15. PITINTFLAGS - PIT割り込み要求フラグ (PIT Interrupt Flag)**

名称 : PITINTFLAGS  
 変位 : +\$13  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								PI
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 - PI : 周期割り込み要求フラグ (Periodic Interrupt Flag)**

このフラグは周期割り込みが発行される時に設定(1)されます。

'1'書き込みがこのフラグを解除(0)します。

**26.13.16. PITDBGCTRL - 周期割り込み計時器デバッグ制御 (Periodic Interrupt Timer Debug Control)**

名称 : PITDBGCTRL  
 変位 : +\$15  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行 (Debug Run)**

値	0	1
説明	デバッグ動作中断で周辺機能は停止して事象を無視	CPU停止時のデバッグ動作中断で走行を継続

## 26.13.17. PITEVGENCTRLA - 周期計時器事象生成制御A (Periodic Timer Event Generation Control A)

名称 : PITEVGENCTRLA

変位 : +\$16

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	EVGEN <sub>3</sub> SEL3~0				EVGEN <sub>0</sub> SEL3~0			
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7~4,3~0 - EVGEN<sub>n</sub>SEL3~0 : 事象生成<sub>n</sub>選択 (Event Generation n Select)

値	0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 0	0 0 1 1	0 1 0 0	0 1 0 1	0 1 1 0	0 1 1 1
名称	OFF	DIV4	DIV8	DIV16	DIV32	DIV64	DIV128	DIV256
説明	事象生成なし	CLK_RTC/4	CLK_RTC/8	CLK_RTC/16	CLK_RTC/32	CLK_RTC/64	CLK_RTC/128	CLK_RTC/256
値	1 0 0 0	1 0 0 1	1 0 1 0	1 0 1 1	1 1 0 0	1 1 0 1	1 1 1 0	1 1 1 1
名称	DIV512	DIV1024	DIV2048	DIV4096	DIV8192	DIV16384	DIV32768	-
説明	CLK_RTC/512	CLK_RTC/1024	CLK_RTC/2048	CLK_RTC/4096	CLK_RTC/8192	CLK_RTC/16384	CLK_RTC/32768	(予約)

## 27. USART – 万能同期/非同期送受信器

### 27.1. 特徴

- 全二重操作
- 半二重操作
  - 単線動作
  - RS-485動作
- 非同期と同期の操作
- 5,6,7,8,9のデータビットと1または2の停止ビットを持つ直列フレーム支援
- 分数ボーレート発生器
  - どの周辺機能クロック周波数からも望むボーレートを生成可
  - 外部発振器不要
- 組み込みの誤り検出と修正の仕組み
  - 奇数/偶数パリティ生成器とパリティ検査
  - 緩衝部オーバーランとフレーム異常検出
  - 不正開始ビット検出とデジタル低域通過濾波器を含む雑音濾波
- 以下の独立した割り込み
  - 送信完了
  - 送信データレジスタ空
  - 受信完了
- 主装置SPI動作
- 複数プロセッサ通信動作
- フレーム開始検出
- IrDA®適合パルス変調/復調赤外線通信(IRCOM)単位部
- LIN従装置支援

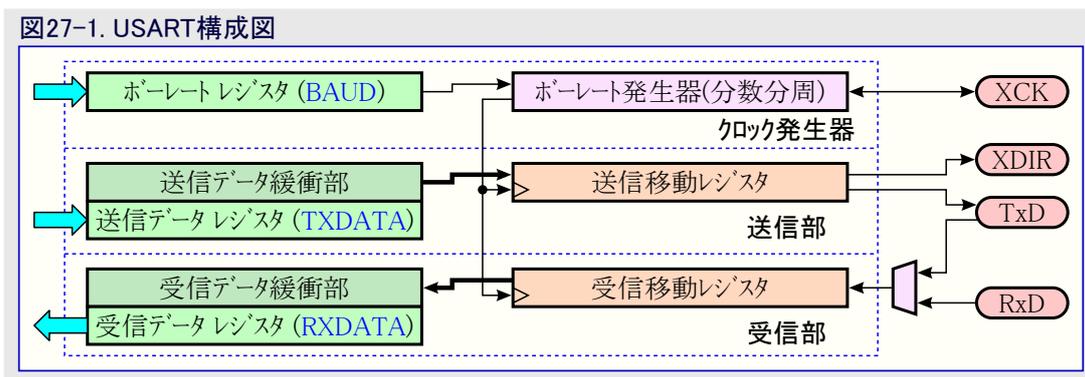
### 27.2. 概要

万能同期/非同期直列送受信器(USART:Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter)は高速で柔軟な直列通信周辺機能です。USARTは複数の形式の応用と通信装置に対応することができるいくつかの異なる動作形態を支援します。例えば、単線半二重動作は少ピン数応用が望まれる時に有用です。通信はフレームに基づき、フレーム形式は広範囲の規格を支援するように直すことができます。

USARTは両方向で緩衝され、フレーム間でのどんな遅延もなしに継続するデータ転送を許します。受信と送信の完了に対する独立した割り込みは完全な割り込み駆動通信を許します。

送信部は2段の書き込み緩衝部、移動レジスタ、それと各種フレーム形式用の制御論理回路から成ります。受信部は2段の受信緩衝部と移動レジスタから成ります。受信したデータの状態情報は異常検査に対して利用可能です。データとクロックの再生部は非同期データ受信中の頑強な同期と雑音濾波を保証します。

#### 27.2.1. 構成図



#### 27.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
XCK	入出力	同期動作クロック
XDIR	出力	RS485用送信許可
TxD	入出力	送信線(と単線動作での受信線)
RxD	入力	受信線

## 27.3. 機能的な説明

### 27.3.1. 初期化

全二重動作:

1. ボーレート(USARTn.BAUD)を設定してください。
2. フレーム構成と動作形態(USARTn.CTRLC)を設定してください。
3. TxDピンを出力として構成設定してください。
4. 送信部と受信部を許可してください(USARTn.CTRLB)。

注: ・ 割り込み駆動USART操作について、初期化の間は**全体割り込み**が禁止されなければなりません。

- ・ ボーレートまたはフレーム構成の変更を伴う再初期化を行う前に、そのレジスタが変更される間に進行中の送信がないことを確実にしてください。

単線半二重動作:

1. 内部的にTxDをUSART受信部に接続してください(制御A(USARTn.CTRLA)レジスタの折り返し動作許可(LBME)ビット)。
2. RxD/TxDピン用の内部プルアップを許可してください(ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタのプルアップ許可(PULLUPEN)ビット)。
3. オープンドレイン動作を許可してください(制御B(USARTn.CTRLB)レジスタのオープンドレイン動作許可(ODME)ビット)。
4. ボーレート(USARTn.BAUD)を設定してください。
5. フレーム構成と動作形態(USARTn.CTRLC)を設定してください。
6. 送信部と受信部を許可してください(USARTn.CTRLB)。

注: ・ オープンドレイン動作が許可されると、TxDピンはハードウェアによって自動的に出力に設定されます。

- ・ 割り込み駆動USART操作について、初期化の間は**全体割り込み**が禁止されなければなりません。
- ・ ボーレートまたはフレーム構成の変更を伴う再初期化を行う前に、そのレジスタが変更される間に進行中の送信がないことを確実にしてください。

### 27.3.2. 動作

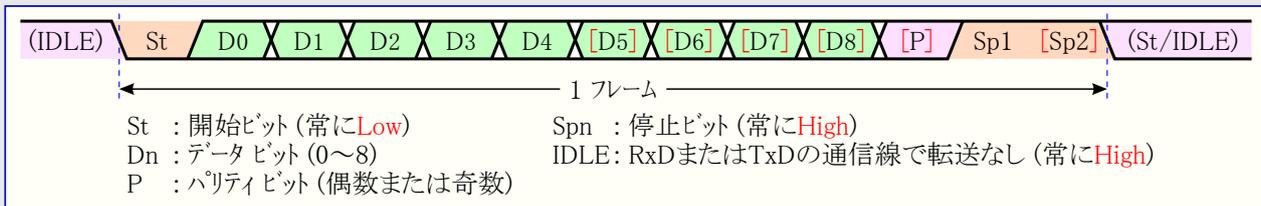
#### 27.3.2.1. フレーム形式

USARTデータ転送はフレームに基づきます。フレームは開始ビットで始まり、データビットの1文字が後続します。許可されたなら、データビット後で最初の停止ビットの前にパリティビットが挿入されます。フレームの停止ビット後、直ちに次のフレームを後続するか、または通信線をアイドル(High)状態に戻すかのどちらかにすることができます。USARTは有効なフレーム形式として以下の組み合わせ全てを受け入れます。

- ・ 1つの開始ビット
- ・ 5, 6, 7, 8, 9ビットデータ
- ・ 奇数または偶数パリティビット、またはなし
- ・ 1つまたは2つの停止ビット

下図は可能なフレーム形式の組み合わせを図解します。[ ]付きビットは任意選択です。

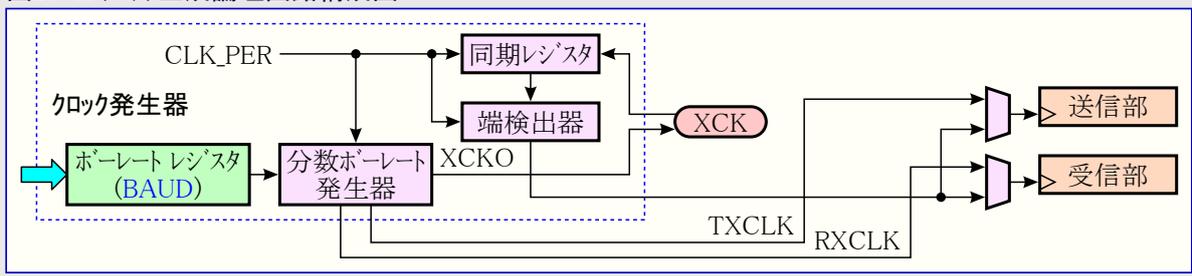
図27-2. フレーム構成



#### 27.3.2.2. クロック生成

データビットの移動と採取に使われるクロックは内部的な分数ボーレート発生器または外部的な転送クロック(XCK)ピンから生成されます。

図27-3. クロック生成論理回路構成図



### 27.3.2.2.1. 分数ボーレート発生器

USARTがクロック元としてXCK入力を使わない動作ではクロックを生成するのに分数ボーレート生成器が使われます。ボーレートは秒毎のビット数(bps)の言葉で与えられ、**ボーレート(USARTn.BAUD)レジスタ**を書くことによって構成設定されます。ボーレート( $f_{BAUD}$ )は周辺機能クロック( $f_{CLK\_PER}$ )をBAUDレジスタによって決められる分割係数で分割することによって生成されます。

分数ボーレート発生器は $f_{BAUD}$ で割り切れない場合に対応するハードウェアが特徴です。通常、この状況は丸め誤差をもたらします。分数ボーレート発生器は表27-1.の式で実行されるように、6ビット左移動した望む分割係数を含むBAUDレジスタを期待します。そして下位6ビットは望む除数の小数部を保持します。望むボーレートにより近い近似を達成するため動的に $f_{BAUD}$ を調節するのにBAUDレジスタの小数部を使ってください。

ボーレートを $f_{CLK\_PER}$ よりも高くすることができないため、BAUDレジスタの整数部は最低1であることが必要です。結果は6ビット左移動されるため、対応するBAUDレジスタの最小値は64です。有効な範囲は64~65535です。

同期動作では、BAUDレジスタの10ビット整数部(BAUD15~6)だけがボーレートを決め、従って、小数部(BAUD5~0)は0を書かれなければなりません。

下表はボーレートをBAUDレジスタ用の入力値に変換するための式を一覧にします。式は分数解釈を考慮し、故にこれらの式で計算されたBAUD値はどんな追加の尺度調整もなしに直接USARTn.BAUDに書くことができます。

動作形態	条件	ボーレート (ビット/秒:bps)	USARTn.BAUDレジスタ値計算
非同期	$f_{BAUD} \leq \frac{f_{CLK\_PER}}{S}$ 、USARTn.BAUD $\geq 64$	$f_{BAUD} = \frac{64 \times f_{CLK\_PER}}{S \times BAUD}$	$BAUD = \frac{64 \times f_{CLK\_PER}}{S \times f_{BAUD}}$
同期主装置	$f_{BAUD} < \frac{f_{CLK\_PER}}{S}$ 、USARTn.BAUD $\geq 64$	$f_{BAUD} = \frac{f_{CLK\_PER}}{S \times BAUD[15\sim6]}$	$BAUD[15\sim6] = \frac{f_{CLK\_PER}}{S \times f_{BAUD}}$

Sはビット当たりの採取数です。

- ・ 非同期標準動作 : S=16
- ・ 非同期倍速動作 : S=8
- ・ 同期動作 : S=2

### 27.3.2.3. データ送信

USART送信部は周期的に送信線をLowに駆動することによってデータを送ります。データ送信は送るデータを送信データ(USARTn.TXD ATALとUSARTn.TXDATAH)レジスタに設定することによって始められます。送信データレジスタのデータは送信緩衝部が一旦空になるとそれに移され、移動レジスタが一旦空になるとそれに進み、新しいフレームを送る準備が整います。移動レジスタがデータを設定された後、データフレームが送信されます。

移動レジスタのフレーム全体が移動出力されてしまい、送信データや送信緩衝部に存在する新しいデータがないと、**状態(USARTn.STATUS)レジスタの送信完了割り込み要求フラグ(TXCIF)ビット**が設定(1)され、それが許可されていれば割り込みが生成されます。

送信データレジスタはそれらが空で新しいデータの準備が整っていることを示すUSARTn.STATUSレジスタの**データレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)ビット**が設定(1)される時にだけ書くことができます。

8ビットよりも少ないフレームの使用時、送信データレジスタに書かれる上位側ビットは無視されます。**制御C(USARTn.CTRL C)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域**が9ビット(下位バイト先行)に構成設定されると、送信データ上位バイト(TXDATAH)レジスタの前に送信データ下位バイト(TXDATAL)レジスタが書かれなければなりません。CHSIZEが9ビット(上位バイト先行)に構成設定されると、TXDATALの前にTXDATAHが書かれなければなりません。

#### 27.3.2.3.1. 送信部禁止

送信部を禁止すると、その操作は進行中と保留中の送信が完了される、即ち、送信移動レジスタ、送信データ(USARTn.TXDATALとUSARTn.TXDATAH)レジスタ、送信緩衝レジスタが送信されるべきデータを含まない時まで有効になりません。送信部が禁止されると、もはやTxDPinを指定変更せず、PORT単位部がピン制御を取り戻します。ピンはそれの直前の設定に関わらず、ハードウェアによって自動的に入力として構成設定されます。ピンは今やUSARTからのポート指定変更なしに標準入出力ピンとして使うことができます。

### 27.3.2.4. データ受信

USART受信部は検出して受信したデータを解釈するために受信線を採用します。従って、ピンの方向はデータ方向(PORTx.DIR)レジスタの対応するビットに'0'を書くことによって入力として構成設定されなければなりません。

受信部は有効な開始ビットが検出されると、データを受け入れます。開始ビットに後続する各ビットはボーレートまたはXCKクロックで採取され、フレームの最初の停止ビットが受信されるまで受信移動レジスタに移されます。第2停止ビットは受信部によって無視されます。最初の停止ビットが受信され、完全な直列フレームが受信移動レジスタに存在すると、移動レジスタの内容が受信緩衝部に移されます。**状態(USARTn.STATUS)レジスタの受信完了割り込み要求フラグ(RXCIF)**が設定(1)され、許可されていれば割り込みが生成されます。

RXDATAレジスタはRXCIFが設定(1)される時に応用ソフトウェアによって読むことができる2重緩衝される受信緩衝部の一部です。1フレームだけが受信されたなら、そのフレームに対するデータと状態のビットはRXDATAレジスタに直接押し込まれます。RX緩衝部に2つのフレームが存在する場合、RXDATAレジスタは最も古いフレームを含みます。

緩衝部は構成設定に応じてRXDATALまたはRXDARAHが読まれる時のどちらかでデータを移動します。移動前に両バイトを読むことができるようにデータ移動を引き起こさないレジスタが先に読まれなければなりません。制御C(USARTn.CTRLc)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域が9ビット(下位バイト先行)に構成設定される時に、RXDATAHの読み込みが受信緩衝部を移動します。さもなければ、RXDATALが緩衝部を移動します。

#### 27.3.2.4.1. 受信異常フラグ

USART受信部は送信化けを暴く異常検出機構が特徴です。これらの機構は以下を含みます。

- ・ フレーム異常検出 – 受信したフレームが有効かどうかを管理します。
- ・ 緩衝部溢れ検出 – 受信緩衝部が満杯で新しいデータによって上書きされたためのデータ損失を示します。
- ・ パリティ誤り検出 – 到着フレームのパリティを計算してパリティビットと比べることによって到着フレームの有効性を調べます。

各異常検出機構は受信データ上位バイト(USARTn.RXDATAH)レジスタで読むことができる各々1つの異常フラグを制御します。

- ・ フレーム異常(FERR)
- ・ 緩衝部溢れ(BUFOVF)
- ・ パリティ誤り(PERR)

異常フラグはそれらが対応するフレームと共に受信緩衝部に置かれます。RXDATALレジスタ読み込みがRX緩衝部のRXDATAバイト移動を起動するため、異常フラグを含むRXDATAHレジスタはRXDATALレジスタに先立って読まれなければなりません。

**注:** 制御C(USARTn.CTRLc)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域が9ビット下位バイト先行(9BITL)に設定される場合、RXDATALレジスタに代わってRXDATAHレジスタがRXDATAバイト移動を起動します。その場合、RXDATALレジスタがRXDATAHレジスタに先立って読まれなければなりません。

#### 27.3.2.4.2. 受信部禁止

受信部を禁止すると、その操作は即時です。受信緩衝部が破棄され、進行中の受信からのデータは失われます。

#### 27.3.2.4.3. 受信緩衝部破棄

通常動作の間に受信緩衝部が破棄されなければならない場合、USARTn.RXDATAHレジスタの受信完了割り込み要求フラグ(RXCIF)が解除(0)されるまでDATA位置(USARTn.RXDATAHとUSARTn.RXDATALのレジスタ)を繰り返し読んでください。

### 27.3.3. 通信動作形態

USARTは複数の異なる通信規約を支援する柔軟な周辺機能です。利用可能な動作形態は、同期と非同期の通信の2つの群に分けることができます。

同期通信はXCKピンを通してクロック信号を残りの装置に供給する主権があるバス上の1つの主装置に依存します。全ての装置は追加の同期機構を必要とせず、送受信両方にこの共通クロック信号を使います。

装置は同期バスで主装置または従装置のどちらかで動くように構成設定することができます。

非同期通信は共通クロック信号を使いません。代わりに、通信する装置に於いて同じポーレートで構成設定されることに頼ります。やって来る伝送の受信時、受信する装置の周辺機能クロックでやって来る伝送を整列するのにハードウェア同期機構が使われます。

非同期に通信する時に4つの違う動作形態が利用可能です。それらの動作の1つは標準速度の倍で伝送を受信することができ、通常の16の代わりにビット毎に8回だけ採取します。他の3つの動作形態は同期論理回路の変種を使い、全て標準速度で受信します。

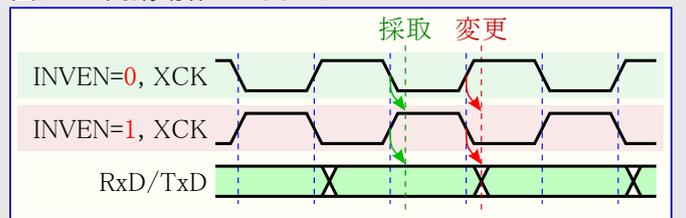
#### 27.3.3.1. 同期動作

##### 27.3.3.1.1. クロック動作

XCKピン方向は転送クロックが入力(従装置動作)か、または出力(主装置動作)かを制御します。対応するポートピン(PORTx.DIRレジスタのDIRn)方向は主装置動作作用に出力または従装置動作作用に出力に設定されなければなりません。下図で示されるように(RxDでの)データ入力はデータが(TxDで)送信される場所の逆端のXCKクロック端で採取されます。

I/Oピンはポート周辺機能のピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの反転I/O許可(INVEN)ビットに'1'を書くことによって反転することができます。対応するXCKポートピンに反転I/O設定を使うと、RxD採取とTxD送信に使われるXCKクロック端を選ぶことができます。反転I/Oが禁止(INVEN=0)される場合、XCKクロック上昇端が新しいデータビットの開始を表し、受信データはXCKクロック下降端で採取されます。反転I/Oが許可(INVEN=1)された場合、XCKクロック下降端が新しいデータビットの開始を表し、受信データはXCKクロック上昇端で採取されます。

図27-4. 同期動作XCKタイミング\*



##### 27.3.3.1.2. 外部クロック制限

USARTが同期従装置動作に構成設定されると、XCK信号は主装置によって外部的に提供されなければなりません。このクロックが外部的に提供されるため、BAUDレジスタ構成設定は転送速度に何の影響も持ちません。クロック再生成功には各上昇端と下降端に対して最低2回採取するクロック信号を必要とします。従って、同期動作形態での最大XCK速度( $f_{\text{Slave\_SCK}}$ )は右式によって制限されます。

$$f_{\text{Slave\_SCK}} < \frac{f_{\text{CLK\_PER}}}{4}$$

XCKクロックに細動(ジッタ)がある場合、またはHigh/Low区間のデューティサイクルが50%/50%でない場合、XCKが各端に対して最低2回採取することを保証するために、それに応じて最大XCKクロック速度が低減されなければなりません。

### 27.3.3.1.3. 主装置SPI動作でのUSART

USARTは複数の異なる通信インターフェースを持つ機能に構成設定されるかもしれませんが、それらの1つが主装置として動くことができる直列周辺インターフェース(SPI)です。SPIは主装置に1つ以上の従装置との通信を許す4線インターフェースです。

#### フレーム形式

主装置SPI動作でのUSARTに対する直列フレームは常に8つのデータビットを含みます。データビットは制御C(USARTn.CTRLC)レジスタのデータ順(UDORD)ビットに書くことによってLSB先行またはMSB先行のどちらかで送信されるように構成設定することができます。

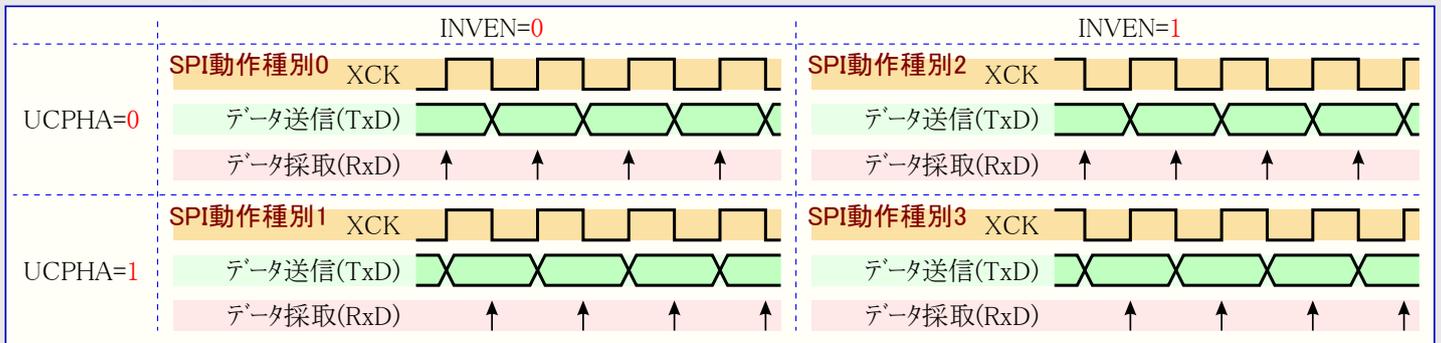
SPIは開始、停止、パリティのビットを使わず、故に伝送フレームはデータビットだけで成り得ます。

#### クロック生成

同期インターフェースでの主装置になる主装置SPI動作は従装置と共有されるインターフェースクロックを生成しなければなりません。このインターフェースクロックは「27.3.2.2.1. 分数ホーレト発生器」で記述される分数ホーレト発生器を使って生成されます。

各データビットは1つの完全なクロック周期に対してデータ線をHighまたはLowに引くことによって送信されます。受信部は下図で示されるように送信部保持期間の中央でビットを採取します。これはピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタの反転I/O許可(INVEN)ビットと制御C(USARTn.CTRLC)レジスタのUSARTクロック位相(UCPHA)ビットを使ってタイミングの仕組みをどう構成設定することができるかも示します。

図27-5. データ転送タイミング構成図



右表は上図を更に説明します。

表27-2. INVENビットとUCPHAビットの機能

SPI動作形態	INVEN	UCPHA	先行端 (注)	後行端 (注)
0	0	0	上昇端、採取	下降端、送信
1	0	1	上昇端、送信	下降端、採取
2	1	0	下降端、採取	上昇端、送信
3	1	1	下降端、送信	上昇端、採取

注: 先行端はクロック周期の最初のクロック端です。後行端はクロック周期の最後のクロック端です。

#### データ送信

主装置SPI動作でのデータ送信は「動作」項で記述されるような全般的なUSART動作と機能的に同じです。送信部割り込み要求フラグと対応するUSART割り込みも同じです。更なる記述については「27.3.2.3. データ送信」をご覧ください。

#### データ受信

主装置SPI動作でのデータ受信は「動作」項で記述されるような全般的なUSART動作と機能的に同じです。使われずに常に'0'として読む受信異常フラグを除き、受信部割り込み要求フラグと対応するUSART割り込みも同じです。更なる記述については「27.3.2.4. データ受信」をご覧ください。

#### 主装置SPI動作でのUSART対SPI

主装置SPI動作でのUSARTは独立型SPI周辺機能と完全な互換性があります。それらのデータフレームとタイミング構成設定は同じです。けれども、以下のようないくつかのSPI特有特殊機能は主装置SPI動作でのUSARTで支援されません。

- 書き込み衝突(WRCOL)フラグ保護
- 倍速動作
- 複数主装置支援

主装置SPI動作でのUSARTとSPIで使われるピンの比較が右表で示されます。

表27-3. 主装置SPI動作でのUSARTとSPIのピン比較

USART	SPI	注釈
TxD	MOSI	主装置出力
RxD	MISO	主装置入力
XCK	SCK	機能的に同一
該当なし	SS	主装置SPI動作でのUSARTで不支援 (注)

注: 独立型SPI周辺機能について、このピンは複数主装置機能で、または専用従装置選択として使われます。複数主装置機能は主装置SPI動作でのUSARTで利用不可で、専用従装置選択ピンは利用不可です。



### 27.3.3.2.3. 許容誤差

内部的に生成したボーレートの速度と外部的に受信したデータ速度は理想的に同じでなければなりません、本来のクロック元誤差のため、これは通常、その状況ではありません。USARTはこのような誤差を許容し、この許容の限度が時に動作範囲として知られるものを構成します。

以下の表は許容することができる最大受信部ボーレート誤差であるUSARTの動作範囲を一覧にします。標準速動作が倍速動作よりも高いボーレート変化の許容誤差を持つことに注意してください。

表27-4. 標準速と倍速での受信部ボーレート推奨最大許容誤差 (訳注:原書の表27-4と表27-5は表27-4として纏めました。)

D	標準速動作 (RXMODE=00(NORMAL))				倍速動作 (RXMODE=01(CLK2X))			
	Rslow(%)	Rfast(%)	総合許容誤差(%)	推奨許容誤差(%)	Rslow(%)	Rfast(%)	総合許容誤差(%)	推奨許容誤差(%)
5	93.20	106.67	-6.80~+6.67	±3.0	94.12	105.66	-5.88~+5.66	±2.5
6	94.12	105.79	-5.88~+5.79	±2.5	94.92	104.92	-5.08~+4.92	±2.0
7	94.81	105.11	-5.19~+5.11	±2.0	95.52	104.35	-4.48~+4.35	±1.5
8	95.36	104.58	-4.54~+4.58	±2.0	96.00	103.90	-4.00~+3.90	±1.5
9	95.81	104.14	-4.19~+4.14	±1.5	96.39	103.53	-3.61~+3.53	±1.5
10	96.17	103.78	-3.83~+3.78	±1.5	96.70	103.23	-3.30~+3.23	±1.0

注: D: 文字(データ)ビット数とパリティビットの合計(D=5~10)

- Rslow: 受信部ボーレートに関連して受け入れすることができる最低到着データ速度の比率
- Rfast: 受信部ボーレートに関連して受け入れすることができる最高到着データ速度の比率

最大受信部ボーレート誤差の推奨は受信側と送信側が最大総許容誤差を等しく分けるとの仮定の元で作られました。

以下の式は到着データ速度と内部受信部ボーレートの最大比率計算に使われます。

$$R_{slow} = \frac{S(D+1)}{S(D+1)+S_F-1}$$

$$R_{fast} = \frac{S(D+2)}{S(D+1)+S_M}$$

- D : 文字(データ)ビット数とパリティビットの合計(D=5~10)
- S : ビット当たりの採取数。標準速動作はS=16、倍速動作はS=8
- S<sub>F</sub> : 多数決に使う最初の採取番号。標準速動作はS<sub>F</sub>=8、倍速動作はS<sub>F</sub>=4
- S<sub>M</sub> : 多数決に使う中心の採取番号。標準速動作はS<sub>M</sub>=9、倍速動作はS<sub>M</sub>=5
- R<sub>slow</sub> : 受信側ボーレートに対して許容できる最低到着データ速度の比率
- R<sub>fast</sub> : 受信側ボーレートに対して許容できる最高到着データ速度の比率

### 27.3.3.2.4. 倍速動作

倍速動作はより低い周辺機能クロック周波数での非同期動作下でより高いボーレートを許します。この動作は制御B(USARTn.CTRLB)レジスタの受信部動作(RXMODE)ビット領域に'01'を書くことによって許可されます。

許可されると、「27.3.2.2.1. 分数ボーレート発生器」での式で示されるように、与えられた非同期ボーレート設定に対するボーレートが倍にされます。この動作では、受信部がデータ採取とクロック再生に対して(16から8に減らされた)半分の採取数を使います。これはもっと正確なボーレート設定と周辺機能クロックを必要とします。より多くの詳細については「27.3.3.2.3. 許容誤差」をご覧ください。

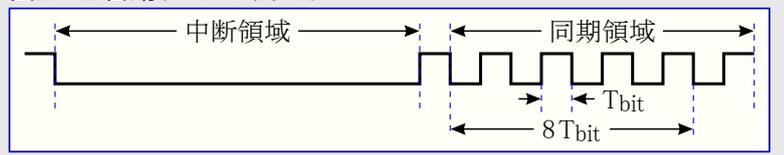
### 27.3.3.2.5. 自動ボーレート

自動ボーレート機能は通信装置からの入力に基づいてボーレート(USARTn.BAUD)レジスタの構成設定をUSARTにさせ、これは異なるボーレートで通信する複数装置と自動的に通信することを装置に許します。USART周辺機能は標準自動ボーレート動作とLIN制限自動ボーレート動作の2つの自動ボーレート動作が特徴です。

どちらの自動ボーレート動作も下図で見られるように自動ボーレート フレームを受け取らなければなりません。

中断領域は12以上の連続Low周期が採取される時に検出され、これから同期領域を受信しようとすることをUSARTに通知します。中断領域後、同期領域の開始ビットが検出されると、周辺機能クロック速度で動く計数器が開始されます。計数器はその後に同期領域の次の8Tbit間増やされます。全8ビットが採取されると、計数器が停止されます。結果の計数器値が事実上の新しいBAUDレジスタ値です。

図27-9. 自動ボーレート タイミング



USART受信動作が(制御B(USARTn.CTRLB)レジスタの受信部動作(RXMODE)ビット領域)でGENAUTOに設定されると、標準自動ボーレート動作が許可されます。この動作では、どの長さ(即ち、12周期よりも短くても)中断領域の検出を許すために状態(USARTn.STATUS)レジスタの中断待機(WFB)ビットを設定(1)することができます。これは現在のボーレートを知ることなく、任意の新しいボーレート設定を可能にします。測定された同期領域が有効なBAUD値(\$0064~\$FFFF)になるなら、BAUDレジスタが更新されます。

USART受信動作が(USARTn.CTRLBレジスタのRXMODEビット領域)でLINAUTO動作に設定されると、LIN形式に従います。標準自動ボーレート動作でのWFB機能はLIN制限自動ボーレートと非互換で、これは有効な中断領域のために受信した信号が12周辺機能クロック周期以上の間Lowでなければならないことを意味します。中断領域が検出されると、USARTは\$55である後続する同期領域文字を期待します。2つの同期装置間のボーレートの違いに対する許容は制御D(USARTn.CTRLD)レジスタの自動ボーレート窓幅(ABW)ビットを使って構成設定することができます。受信した同期領域文字が\$55でない場合、矛盾同期領域異常フラグ(USARTn.STATUSレジスタのISFIFビット)が設定(1)され、ボーレートは無変化です。

### 27.3.3.2.6. 半二重動作

半二重は2つ以上の装置が互いに通信できますが、同時に1つだけである通信の形式です。USARTは以下の半二重動作で動くように構成設定することができます。

- ・ 単線動作
- ・ RS-485動作

#### 単線動作

単線動作は**制御A(USARTn.CTRLA)レジスタの折り返し動作許可(LBME)**を設定(1)することによって許可されます。これはTxDピンを結合TxD/RxD線にするTxDピンとUSART受信部間の内部接続を許します。RxDピンはUSART受信部から切り離され、違う周辺機能によって制御されるかもしれません。

単線動作では複数装置が同時にTxD/RxD線を操作することができます。1つの装置がピンを論理Highレベル(VDD)に駆動し、別の装置がこの線をLow(GND)に引く場合、短絡が起きます。これに対応するため、USARTは送信部にピンを論理Highレベルに駆動させないようにするオープントレイン動作(**制御B(USARTn.CTRLB)レジスタのオープントレイン動作許可(ODME)ビット**)が特徴で、それにより、ピンをLowに引くことだけできるように制限します。内部プルアップ機能(**ピン制御(PORTx.PINnCTRL)レジスタのプルアップ許可(PULLUPEN)ビット**)とこの機能の組み合わせは線にプルアップ抵抗を通してHighを保持させ、どの装置にもLowへ引くことを許します。線がLowに引かれると、VDDからGNDへの電流はプルアップ抵抗によって制限されます。TxDピンはオープントレイン動作が許可される時にハードウェアによって自動的に出力に設定されます。

USARTがTxD/RxDピンへ送信している時はその送信も受け取ります。これは受信したデータが送信したデータと同じであるかを調べることによって重なっている送信の検出に使うことができます。

#### RS-485動作

RS-485はUSART周辺機能によって支援される通信規格です。これは通信回路の構成を定義する物理的インターフェースです。データは通信を雑音に対して頑強にする差動信号を使って伝送されます。RS-485は**制御A(USARTn.CTRLA)レジスタのRS-485動作(RS485)ビットに'1'**を書くことによって許可されます。

RS-485動作は単一USART送信を対応する差動対信号に変換する外部線駆動部デバイスを支援します。これは線駆動部デバイスに対して送信または受信を許可するのに使うことができるXDIRピンの自動制御を許可します。USARTは送信している間、自動的にXDIRピンをHighに駆動し、送信完了時にLowへ引きます。このような回路の例が下図で示されます。

XDIRピンは外部線駆動部を許可するための若干の保護時間を許すため、データが移動出力される1ボーレートクロック周期前にHighになります。XDIRピンは停止ビットを含む完全なフレーム間Highに留まります。

図27-10. RS-485バス接続

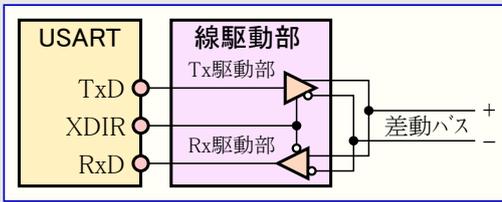
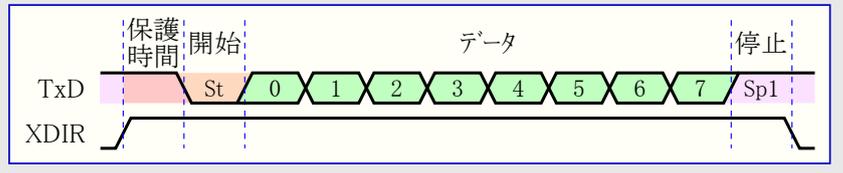
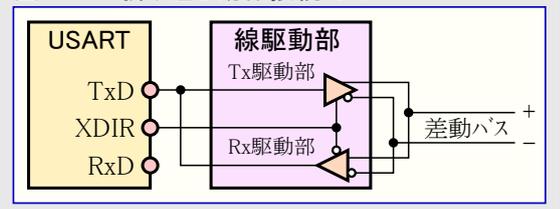


図27-11. XDIR駆動タイミング



RS-485動作は単線動作と互換性があります。単線動作はTxDピンを結合したTxD/RxD線にするTxDピンとUSART受信部間の内部接続を許します。RxDピンはUSART受信部から切り離され、違う周辺機能によって制御されるかもしれません。このような回路の例が右図で示されます。

図27-12. 折り返し動作接続でのRS-485

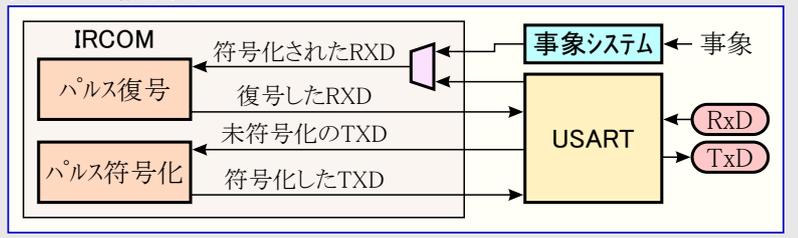


### 27.3.3.2.7. IRCOM動作形態

USART周辺機能は115.2kbpsまでのボーレートに適合するIrDA® 1.4である赤外線通信動作(IRCOM:Infrared Communication mode)に構成設定することができます。許可されると、IRCOM動作はUSARTに対して赤外線パルスの符号化/復号を許します。

USARTは**制御C(USARTn.CTRLC)レジスタの通信動作(CMODE)ビット領域に'10'**を書くことによってIRCOM動作に設定されます。TxD/RxDピン上のデータは送受信される赤外線パルスの反転値です。これはIRCOM受信部に対する入力として事象システムからの事象チャネルを選ぶことも可能です。これは入出力ピンまたは対応するRxDピン以外の供給元からの入力の受信をIRCOMに許し、これはUSARTピンからのRxD入力を禁止します。

図27-13. 構成図



送信については以下のような3つのパルス変調方式が利用可能です。

- 3/16ボーレート周期
- 周辺機能クロック周波数に基いた設定可能な固定パルス時間
- パルス変調禁止

受信については論理'0'として復号されるべきパルスに対して定められた選択可能な最小Highレベルパルス幅が使われます。より短いパルスは破棄され、そのビットはパルスが全く受信されなかった場合に論理'1'に復号されます。

倍速動作はIRCOM動作が許可される時にUSARTに対して使うことができません。

## 27.3.4. 付加機能

### 27.3.4.1. パリティ

パリティビットはデータフレームの有効性検査のため、USARTによって使うことができます。パリティビットは送信に於いて'1'の値を持つビット数に基づいて送信部によって設定され、受信に於いて受信部によって管理されます。パリティビットが送信フレームと矛盾する場合、受信部はデータフレームが不正にされたと推測することができます。

偶数または奇数のパリティは制御C(USARTn.CTRLC)レジスタのパリティ動作(PMODE)ビット領域を書くことによって誤り検査用に選ぶことができます。偶数パリティが選ばれた場合、パリティビットは'1'値を持つデータビット数が奇数の場合に'1'に設定されます('1'値を持つ総ビット数を偶数にします)。奇数パリティが選ばれた場合、パリティビットは'1'値を持つデータビット数が偶数の場合に'1'を設定します('1'を持つ総ビット数を奇数にします)。

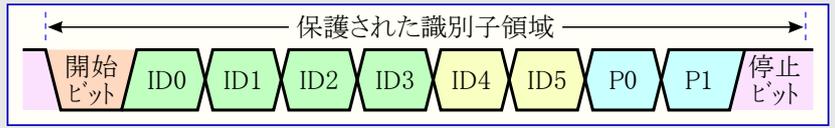
許可されると、パリティ検査部は到着フレーム内のデータビットのパリティを計算し、その結果を対応するフレームのパリティビットと比べます。パリティ誤りが検出された場合、受信データ上位バイト(USARTn.RXDATAH)レジスタのパリティ誤り(PERR)フラグが設定(1)されます。

LIN制限自動ボーレート動作が許可(制御B(USARTn.CTRLB)レジスタの受信動作(RXMODE)ビット='11')された場合、パリティ検査は保護された識別子領域でだけ実行されます。下の式の1つが真でなければパリティ誤りが検出され、それがパリティ誤り(PERR)フラグを設定(1)します。

$$P0 = ID0 \text{ XOR } ID1 \text{ XOR } ID2 \text{ XOR } ID4$$

$$P1 = \text{NOT} ( ID1 \text{ XOR } ID3 \text{ XOR } ID4 \text{ XOR } ID5 )$$

図27-14. 保護された識別子領域と識別子とパリティビットの配置



### 27.3.4.2. フレーム開始検出

フレーム開始検出機能はデータ受信でスタンバイ休止動作から起き上がることをUSARTに許します。

RxDピンでHighからLowへの遷移が検出されると、発振器が給電されてUART周辺機能クロックが許可されます。始動後、ボーレートが発振器始動時間に関して充分遅ければ、データフレームの残りを受信することができます。発振器の始動時間は供給電圧と温度で変わります。発振器始動時間特性の詳細については「電気的特性」章を参照してください。

誤った開始ビットが検出された場合で別の供給元が起動してしまっていなければ、スタンバイ休止動作に戻ります。

フレーム開始検出は非同期動作でだけ動きます。これは制御B(USARTn.CTRLB)レジスタのフレーム開始検出許可(SFDEN)ビットを(1)に書くことによって許可されます。デバイスがスタンバイ休止動作の間に開始ビットが検出された場合、UART開始割り込み要求フラグ(RXSIF)ビットが設定(1)されます。

UART受信完了フラグ(RXCIF)ビットとUART開始割り込み要求フラグ(RXSIF)ビットは同じ割り込み線を共用しますが、各々は専用の割り込み設定を持ちます。下表は割り込み設定に依存するUSARTフレーム開始検出動作を示します。

表27-6. USARTフレーム開始検出動作

SFDEN	RXSIF割り込み	RXCIF割り込み	注釈
0	x	x	標準動作
1	禁止	禁止	発振器はフレーム受信中にだけ給電されます。割り込みが禁止されて緩衝部溢れが無視された場合、全ての到着データが失われます。
1	禁止	許可	システム/全てのクロックが受信完了割り込みで起き上がり(起動)します。
1	許可	x	システム/全てのクロックが開始ビット検出時に起き上がり(起動)します。

注: SLEEP命令は進行中の通信がある場合に発振器を停止しません。

### 27.3.4.3. 複数プロセッサ通信

複数プロセッサ通信動作(MPCM)は同じ直列バス経由で複数のマイクロ コントローラ通信を持つシステムで、受信部によって処理されなければならない到着フレーム数を効果的に減らします。この動作は**制御B(USARTn.CTRLB)レジスタの複数プロセッサ通信動作(MPCM)ビットに'1'**を書くことによって許可されます。この動作ではフレームがアドレスかデータのどちらのフレーム形式かを示すのにフレーム内の専用ビットが使われます。

受信部が5~8データビットを含むフレームを受信するように構成設定されたなら、最初の停止ビットはフレーム形式を示すのに使われます。受信部が9データビットのフレームに構成設定されたなら、フレーム形式を示すのに第9ビットが使われます。フレーム形式(最初の停止または第9)ビットが'1'の時にそのフレームはアドレスを含みます。フレーム形式ビットが'0'の時にそのフレームはデータフレームです。5~8ビット文字(データ)フレームが使われる場合、最初の停止ビットがフレーム形式を示すのに使われるため、送信部は**2停止ビット使用に設定**されなければなりません。

特定の従装置MCUがアドレス指定されたなら、そのMCUは後続するデータフレームを通常のように受信し、一方他の従装置MCUは別のアドレスフレームが受信されるまでフレームを無視します。

#### 27.3.4.3.1. 複数プロセッサ通信動作の使い方

複数プロセッサ通信動作(MPCM)でデータを交換するには次の手順を使ってください。

1. 全ての従装置MCUは複数プロセッサ通信動作です。
2. 主装置MCUはアドレスフレームを送り、全ての従装置がこのフレームを受け取って読みます。
3. 各従装置MCUは選択されたかを判定します。
4. アドレス指定されたMCUはMPCMを禁止して全てのデータフレームを受信します。他の従装置MCUはデータフレームを無視します。
5. アドレス指定されたMCUが最後のデータフレームを受信してしまうと、再びMPCMを許可して主装置からの新しいアドレスフレームを待たなければなりません。

その後、手順は2.からを繰り返します。

### 27.3.5. 事象

USARTは下表で記述される事象を生成することができます。

表27-7. USARTでの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
USARTn	XCK	SPI主装置動作と同期USART主装置動作でのクロック信号	パルス	CLK_PER	1 XCK周期

下表は事象使用部とその関連機能を記述します。

表27-8. USARTでの事象使用部

使用部名		説明	入力検出	同期/非同期
周辺機能	入力			
USARTn	IREI	USARTn IrDA事象入力	パルス	同期

### 27.3.6. 割り込み

表27-9. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
RXC	受信完了割り込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>受信緩衝部に未読データ有 (RXCIE)</li> <li>検出されたフレーム開始の受信 (RXSIE)</li> <li>自動ポーレート異常/矛盾同期領域割り込み要求フラグ(ISFIF)設定(1) (ABEIE)</li> </ul>
DRE	データレジスタ空割り込み	送信緩衝部が空/新しいデータを受け取る準備可 (DREIE)
TXC	送信完了割り込み	送信移動レジスタのフレーム全体が出力され、送信緩衝部に新データ無し (TXCIE)

割り込み条件が起こると、**状態(USARTn.STATUS)レジスタ**で対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。

割り込み元は**制御A(USARTn.CTRLA)レジスタ**で対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。

割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細についてはUSARTn.STATUSレジスタをご覧ください。

## 27.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	RXDATAL	7~0	DATA7~0							
+\$01	RXDATAH	7~0	RXCIF	BUFOVF				FERR	PERR	DATA8
+\$02	TXDATAL	7~0	DATA7~0							
+\$03	TXDATAH	7~0								DATA8
+\$04	STATUS	7~0	RXCIF	TXCIF	DREIF	RXSIF	ISFIF		BDF	WFB
+\$05	CTRLA	7~0	RXCIE	TXCIE	DREIE	RXSIE	LBME	ABEIE		RS485
+\$06	CTRLB	7~0	RXEN	TXEN		SFDEN	ODME	RXMODE1,0		MPCM
+\$07	CTRLC	7~0	CMODE1,0		PMODE1,0		SBMODE	CHSIZE2~0		
							UDORD	UCPHA		
+\$08	BAUD	7~0	BAUD7~0							
+\$09		15~8	BAUD15~8							
+\$0A	CTRLD	7~0	ABW1,0							
+\$0B	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$0C	EVCTRL	7~0								IREI
+\$0D	TXPLCTRL	7~0	TXPL7~0							
+\$0E	RXPLCTRL	7~0	RXPL7~0							

## 27.5. レジスタ説明

### 27.5.1. RXDATAL – 受信データ下位バイト (Receiver Data Register Low Byte)

名称 : RXDATAL  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

このレジスタはUSART受信部によって受信されたデータの下位側8ビットを含みます。USART受信部は2重緩衝され、このレジスタは常に最も古くに受信したフレームに対するデータを示します。受信緩衝部に1フレームに対するデータだけが存在する場合、このレジスタはそのデータを含みます。

緩衝部は構成設定に依存してRXDATALまたはRXDATAHのどちらかが読まれる時にデータを移動します。移動前に両バイトを読むことができるようにデータ移動を引き起こさないレジスタが先に読まれなければなりません。

制御C(USARTn.CTRLC)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域が9ビット(下位バイト先行)に構成設定される場合、RXDATAHの読み込みが受信緩衝部を移動します。さもなければ、RXDATALが緩衝部を移動します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DATA7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット7~0 – DATA7~0 : 受信データ (Receiver Data Register)

### 27.5.2. RXDATAH – 受信データ上位バイト (Receiver Data Register High Byte)

名称 : RXDATAH  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

このレジスタはUSART受信部によって受信されたデータの上位側ビットだけでなく、受信したデータフレームの状態を反映する状態ビットも含みます。USART受信部は2重緩衝され、このレジスタは常に最も古くに受信したフレームに対するデータと状態ビットを示します。受信緩衝部に1フレームに対するデータと状態ビットだけが存在する場合、このレジスタはそのデータと状態ビットを含みます。

緩衝部は構成設定に依存してRXDATALまたはRXDATAHのどちらかが読まれる時にデータを移動します。移動前に両バイトを読むことができるようにデータ移動を引き起こさないレジスタが先に読まれなければなりません。

制御C(USARTn.CTRLC)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域が9ビット(下位バイト先行)に構成設定される場合、RXDATAHの読み込みが受信緩衝部を移動します。さもなければ、RXDATALが緩衝部を移動します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXCIF	BUFOVF				FERR	PERR	DATA8
アクセス種別	R/W	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット7 – RXCIF : 受信完了割り込み要求フラグ (Receive Complete Interrupt Flag)

このフラグは受信緩衝部内に未読データがある時に設定(1)され、受信緩衝部が空の時に解除(0)されます。

● ビット6 – BUFOVF : 緩衝部溢れフラグ (Buffer Overflow)

このフラグは緩衝部溢れが検出された場合に設定(1)されます。緩衝部溢れは受信緩衝部が満杯で、新しいフレームが受信移動レジスタで待っていて、新しい開始ビットが検出された時に起こります。このフラグは受信データ(USARTn.RXDATALとUSARTn.RXDATAH)レジスタが読まれる時に解除(0)されます。

このフラグは主装置SPI動作形態で使われません。

● ビット2 – FERR : フレーム異常フラグ (Frame Error)

このフラグは最初の最初の停止ビットが'0'の場合に設定(1)され、それが'1'として正しく読めた時に解除(0)されます。

このフラグは主装置SPI動作形態で使われません。

● ビット1 – PERR : パリティ誤りフラグ (Parity Error)

このフラグはパリティ検査が許可され、受信したデータがパリティ誤りを持つ場合に設定(1)され、さもなければ、このフラグは解除(0)されます。パリティ計算の詳細については「27.3.4.1. パリティ」を参照してください。

このフラグは主装置SPI動作形態で使われません。

### ● ビット0 – DATA8 : 受信データビット8 (Receiver Data Register)

9ビットの大きさのフレーム使用時、このビットは受信データの第9(最上位)ビットを保持します。

制御B(USARTn.CTRLB)レジスタの受信動作(RXMODE)ビット領域がLIN制限自動ポーレート(LINAUTO)動作に構成設定されると、このビットは受信データがLINフレームの応答空間内かを示します。受信データが保護された識別子領域なら、このビットは解除(0)され、さもなければ、設定(1)されます。

### 27.5.3. TXDATAL – 送信データ下位バイト (Transmit Data Register Low Byte)

名称 : TXDATAL

変位 : +\$02

リセット : \$00

特質 : -

このレジスタに書かれたデータは自動的にTX緩衝部を通して専用の移動レジスタに設定されます。移動レジスタはビットの各々を直列にTxDピンに出力します。

9ビットの大きさのフレーム使用時、第9(最上位)ビットは送信データ上位バイト(USARTn.TXDATAH)レジスタに書かれなければなりません。その場合、緩衝部は構成設定に応じて送信データ下位バイト(USARTn.TXDATAL)レジスタまたは送信データ上位バイト(USARTn.TXDATAH)レジスタのどちらかが書かれた時にデータを移動します。移動前に両バイトを書くことができるようにデータ移動を引き起こさないレジスタが先に書かれなければなりません。

制御C(USARTn.CTRLC)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域が9ビット(下位バイト先行)に構成設定されると、送信データ上位バイトレジスタの書き込みが送信緩衝部を移動します。さもなければ、送信データ下位バイトレジスタが緩衝部を移動します。

このレジスタは状態(USARTn.STATUS)レジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)が設定(1)されている時にだけ書くことができます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DATA7~0							
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 – DATA7~0 : 送信データ (Transmit Data Register Low Byte)

### 27.5.4. TXDATAH – 送信データ上位バイト (Transmit Data Register High Byte)

名称 : TXDATAH

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

このレジスタに書かれたデータは自動的にTX緩衝部を通して専用の移動レジスタに設定されます。移動レジスタはビットの各々を直列にTxDピンに出力します。

9ビットの大きさのフレーム使用時、第9(最上位)ビットは送信データ上位バイト(USARTn.TXDATAH)レジスタに書かれなければなりません。その場合、緩衝部は構成設定に応じて送信データ下位バイト(USARTn.TXDATAL)レジスタまたは送信データ上位バイト(USARTn.TXDATAH)レジスタのどちらかが書かれた時にデータを移動します。移動前に両バイトを書くことができるようにデータ移動を引き起こさないレジスタが先に書かれなければなりません。

制御C(USARTn.CTRLC)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)ビット領域が9ビット(下位バイト先行)に構成設定されると、送信データ上位バイトレジスタの書き込みが送信緩衝部を移動します。さもなければ、送信データ下位バイトレジスタが緩衝部を移動します。

このレジスタは状態(USARTn.STATUS)レジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)が設定(1)されている時にだけ書くことができます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DATA8
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7 – DATA8 : 送信データビット8 (Transmit Data Register High Byte)

このビットは制御C(USARTn.CTRLC)レジスタの文字ビット数(CHSIZE)=9BITLまたは9BITHの時に使われます。

### 27.5.5. STATUS – 状態 (USART Status Register)

名称 : STATUS  
変位 : +\$04  
リセット : \$20  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXCIF	TXCIF	DREIF	RXSIF	ISFIF		BDF	WFB
アクセス種別	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R	R/W	W
リセット値	0	0	1	0	0	0	0	0

- **ビット7 – RXCIF : 受信完了割り込み要求フラグ** (Receive Complete Interrupt Flag)  
このフラグは受信緩衝部内に未読データがある時に設定(1)され、受信緩衝部が空の時に解除(0)されます。
- **ビット6 – TXCIF : 送信完了割り込み要求フラグ** (USART Transmit Complete Interrupt Flag)  
このフラグは送信移動レジスタのフレーム全体が移動出力されてしまい、送信緩衝部と送信データ(TXDATALとTXDATAH)レジスタ内に新しいデータがない時に設定(1)されます。これに‘1’を書くことによって解除(0)されます。
- **ビット5 – DREIF : データレジスタ空割り込み要求フラグ** (USART Data Register Empty Flag)  
このフラグは送信データ(USARTn.TXDATALとUSARTn.TXDATAH)レジスタが空の時に設定(1)され、それらが送信移動レジスタ内へ未だ移されないデータを含む時に解除(0)されます。
- **ビット4 – RXSIF : 受信開始割り込み要求フラグ** (USART Receive Start Interrupt Flag)  
このフラグはフレーム開始検出が許可され、デバイスがスタンバイ休止動作で、有効な開始ビットが検出された時に設定(1)されます。これに‘1’を書くことによって解除(0)されます。  
このフラグは主装置SPI動作形態で使われません。
- **ビット3 – ISFIF : 矛盾同期領域割り込み要求フラグ** (Inconsistent Sync Field Interrupt Flag)  
このフラグは自動ポーレートが許可されて、同期領域が与えられた有効なポーレート設定に対して速すぎる、または遅すぎる場合に設定(1)されます。USARTがLINAUTO動作に設定され、同期(SYNC)文字が\$55のデータ値と違う時にも設定(1)されます。このフラグはこれに‘1’を書くことによって解除(0)されます。より多くの情報については「自動ポーレート」項をご覧ください。
- **ビット1 – BDF : 中断検出フラグ** (Break Detected Flag)  
このフラグは自動ポーレート動作が許可され、有効な中断(BREAK)と同期(SYNC)の文字が検出された場合に設定(1)され、次のデータが受信された時に解除(0)されます。これに‘1’を書くことによって解除(0)することができます。より多くの情報については「自動ポーレート」項をご覧ください。
- **ビット0 – WFB : 中断待機** (Wait For Break)  
このビットの設定(1)は後続する到着フレームに対する**中断(BREAK)機能用待機**を許可します。このフレーム後、この機能は自動的に禁止されます。

### 27.5.6. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXCIE	TXCIE	DREIE	RXSIE	LBME	ABEIE		RS485
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット7 – RXCIE : 受信完了割り込み許可** (Receive Complete Interrupt Enable)  
このビットは受信完了割り込みが許可されるか否かを制御します。許可されると、割り込みは**状態(USARTn.STATUS)レジスタの受信完了割り込み要求フラグ(RXCIF)ビット**が設定(1)される時に起動されます。

値	0	1
説明	受信完了割り込みが禁止されます。	受信完了割り込みが許可されます。

● **ビット6 – TXCIE : 送信完了割り込み許可 (Transmit Complete Interrupt Enable)**

このビットは送信完了割り込みが許可されるか否かを制御します。許可されると、割り込みは状態(USARTn.STATUS)レジスタの**送信完了割り込み要求フラグ(TXCIF)ビット**が設定(1)される時に起動されます。

値	0	1
説明	送信完了割り込みが禁止されます。	送信完了割り込みが許可されます。

● **ビット5 – DREIE : データレジスタ空割り込み許可 (Data Register Empty Interrupt Enable)**

このビットはデータレジスタ空割り込み許可されるか否かを制御します。許可されると、割り込みは状態(USARTn.STATUS)レジスタの**データレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)ビット**が設定(1)される時に起動されます。

値	0	1
説明	データレジスタ空割り込みが禁止されます。	データレジスタ空割り込みが許可されます。

● **ビット4 – RXSIE : 受信開始割り込み許可 (Receiver Start Frame Interrupt Enable)**

このビットは受信開始割り込みが許可されるか否かを制御します。許可されると、割り込みは状態(USARTn.STATUS)レジスタの**受信開始割り込み要求フラグ(RXSIF)ビット**が設定(1)される時に起動されます。

値	0	1
説明	受信開始割り込みが禁止されます。	受信開始割り込みが許可されます。

● **ビット3 – LBME : 折り返し動作許可 (Loop-back Mode Enable)**

このビットは折り返し動作が許可されるか否かを制御します。許可されると、TxDPINとUSART受信部間の内部接続が作成され、RxDピンからUSART受信部への入力が切断されます。

値	0	1
説明	折り返し動作が禁止されます。	折り返し動作が許可されます。

● **ビット2 – ABEIE : 自動ボーレート異常割り込み許可 (Auto-baud Error Interrupt Enable)**

このビットは自動ボーレート異常割り込みが許可されるか否かを制御します。許可されると、割り込みは状態(USARTn.STATUS)レジスタの**矛盾同期領域割り込み要求フラグ(ISFIF)ビット**が設定(1)される時に起動されます。

値	0	1
説明	自動ボーレート異常割り込みが禁止されます。	自動ボーレート異常割り込みが許可されます。

● **ビット0 – RS485 : RS-485動作 (RS-485 Mode)**

このビットはRS-485動作が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[RS-485動作](#)」項を参照してください。

値	0	1
説明	RS-485動作が禁止されます。	RS-485動作が許可されます。

**27.5.7. CTRLB – 制御B (Control B)**

名称 : CTRLB  
変位 : +\$06  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXEN	TXEN		SFDEN	ODME	RXMODE1,0		MPCM
アクセス種別	R/W	R/W	R	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 – RXEN : 受信許可 (Receiver Enable)**

このビットはUSART受信部が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[27.3.2.4.2. 受信部禁止](#)」項を参照してください。

値	0	1
説明	RUSART受信部が禁止されます。	USART受信部が許可されます。

● **ビット6 – TXEN : 送信許可 (Transmitter Enable)**

このビットはUSART送信部が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[27.3.2.3.1. 送信部禁止](#)」項を参照してください。

値	0	1
説明	RUSART送信部が禁止されます。	USART送信部が許可されます。

● **ビット4 – SFDEN : フレーム開始検出許可 (Start of Frame Detection Enable)**

このビットはUSARTフレーム開始検出動作が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[27.3.4.2. フレーム開始検出](#)」項を参照してください。

値	0	1
説明	RUSART送信部が禁止されます。	USART送信部が許可されます。

● **ビット3 – ODME : オープンドレイン動作許可 (Open Drain Mode Enable)**

このビットはオープンドレイン動作が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[単線動作](#)」項を参照してください。

値	0	1
説明	オープンドレイン動作が禁止されます。	オープンドレイン動作が許可されます。

● **ビット2,1 – RXMODE1,0 : 受信動作 (Receiver Mode)**

このビット領域書き込みはUSARTの受信部動作を選びます。

- これらのビットへの‘00’書き込みは標準速(NORMAL)動作を許可します。制御C(USARTn.CTRLC)レジスタのUSART通信動作(CMODE)ビット領域が非同期USART(ASYNCHRONOUS)または赤外通信(IRCOM)に構成設定される時は常にRXMODEビット領域へ‘00’を書いてください。
- これらのビットへの‘01’書き込みは倍速(CLK2X)動作を許可します。より多くの情報については「[27.3.3.2.4. 倍速動作](#)」項を参照してください。
- これらのビットへの‘10’書き込みは標準自動ホールド(GENAUTO)動作を許可します。より多くの情報については「[自動ホールド](#)」項を参照してください。
- これらのビットへの‘11’書き込みはLIN制限自動ホールド(LINAUTO)動作を許可します。より多くの情報については「[自動ホールド](#)」項を参照してください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NORMAL	CLK2X	GENAUTO	LINAUTO
説明	標準速動作	倍速動作	標準自動ホールド動作	LIN制限自動ホールド動作

● **ビット0 – MPCM : 複数プロセッサ通信動作 (Multi-processor Communication Mode)**

このビットは複数プロセッサ通信動作が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[27.3.4.3. 複数プロセッサ通信](#)」をご覧ください。

値	0	1
説明	複数プロセッサ通信動作が禁止されます。	複数プロセッサ通信動作が許可されます。

**27.5.8. CTRLC – 制御C – 標準動作 (Control C – Normal Mode)**

名称 : CTRLC  
変位 : +\$07  
リセット : \$03  
特質 : -

このレジスタ記述は主装置SPI動作を除く全動作に対して有効です。このレジスタのUSART通信動作(CMODE)ビット領域が‘MSPI’を書かれた時の正確な記述については「[制御C\(CTRLC\) – 主装置SPI動作](#)」レジスタをご覧ください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMODE1,0		PMODE1,0		SBMODE	CHSIZE2~0		
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	1	1

● **ビット7,6 – CMODE1,0 : 通信動作 (USART Communication Mode)**

このビット領域はUSARTの通信動作を選びます。

これらのビットへの'11'書き込みはこのレジスタでの利用可能なビット領域が変わります。「[制御C\(CTRLC\) – 主装置SPI動作](#)」レジスタをご覧ください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	ASYNCHRONOUS	SYNCHRONOUS	IRCOM	MSPI
説明	非同期USART	同期USART	赤外線通信	主装置SPI

● **ビット5,4 – PMODE1,0 : パリティ動作 (Parity Mode)**

このビット領域はパリティ生成の形式を選びます。より多くの情報については「[27.3.4.1. パリティ](#)」をご覧ください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLED	-	EVEN	ODD
説明	禁止	(予約)	許可、偶数パリティ	許可、奇数パリティ

● **ビット3 – SBMODE : 停止ビット動作 (Stop Bit Mode)**

このビットは送信部によって挿入される停止ビット数を選びます。受信部はこの設定を無視します。

値	0	1
説明	1停止ビット	2停止ビット

● **ビット2~0 – CHSIZE2~0 : 文字ビット数 (Character Size)**

このビット領域はフレーム内のデータビット数を選びます。受信部と送信部は同じ設定を使います。9ビット文字に対しては、[受信データ\(RXD ATA\)](#)または[送信データ\(TXDATA\)](#)の下位または上位で先に読み書きするバイト順を構成設定することができます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	5BIT	6BIT	7BIT	8BIT	-	-	9BITL	9BITH
説明	5ビット	6ビット	7ビット	8ビット	(予約)	(予約)	9ビット(下位バイト先行)	9ビット(上位バイト先行)

**27.5.9. CTRLC – 制御C – 主装置SPI動作 (Control C – Master SPI Mode)**

名称 : CTRLC

変位 : +\$07

リセット : \$02

特質 : -

このレジスタ記述はUSARTが(通信動作(CMODE)がMSPIを書かれる)主装置SPI動作の時にだけ有効です。他のCMODE値についての正確な記述に関しては「[制御C\(CTRLC\) – 標準動作](#)」レジスタをご覧ください。

主装置SPI動作の完全な記述については「[27.3.3.1.3. 主装置SPI動作でのUSART](#)」をご覧ください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CMODE1,0					UDORD	UCPHA	
アクセス種別	R/W	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	1	0

● **ビット7,6 – CMODE1,0 : 通信動作 (USART Communication Mode)**

このビット領域はUSARTの通信動作を選びます。

これらのビットへの'11'以外の書き込みはこのレジスタでの利用可能なビット領域が変わります。「[制御C\(CTRLC\) – 標準動作](#)」レジスタをご覧ください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	ASYNCHRONOUS	SYNCHRONOUS	IRCOM	MSPI
説明	非同期USART	同期USART	赤外線通信	主装置SPI

● **ビット2 – UDORD : USARTデータ順 (USART Data Order)**

このビットはフレーム形式を選びます。

受信部と送信部は同じ設定を使います。UDORDビットの設定変更は送受信部両方に対して進行中の全ての通信を不正にします。

値	0	1
説明	データ語のMSBが先に送信されます。	データ語のLSBが先に送信されます。

#### ● ビット1 – UCPHA : USARTクロック位相 (USART Clock Phase)

このビットはインターフェースクロックの位相を制御します。より多くの情報については「[クロック生成](#)」項を参照してください。

値	0	1
説明	データが先行(先頭)端で採取されます。	データが後行(最終)端で採取されます。

### 27.5.10. BAUD – ホーレート (Baud Register)

名称 : BAUD (BAUDH,BAUDL)

変位 : +\$08

リセット : \$0000

特質 : -

USARTn.BAUDHとUSARTn.BAUDLのレジスタ対は16ビット値のUSARTn.BAUDを表します。下位バイト[7~0](接尾辞L)は変位原点でアクセス可能です。上位バイト[15~8](接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

送信部と受信部の進行中の転送はホーレートが変更される場合に不正にされます。このレジスタへの書き込みはホーレート前置分周器の即時更新を起動します。ホーレートの設定方法のより多くの情報については[表27-1](#)をご覧ください。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
BAUD15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
BAUD7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット15~8 – BAUD15~8 : ホーレート上位バイト (USART Baud Rate high byte)

このビット領域は16ビットホーレートレジスタの上位バイトを保持します。

#### ● ビット7~0 – BAUD7~0 : ホーレート下位バイト (USART Baud Rate low byte)

このビット領域は16ビットホーレートレジスタの下位バイトを保持します。

### 27.5.11. CTRLD – 制御D (Control D)

名称 : CTRLD

変位 : +\$0A

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
ABW1,0								
アクセス種別	R/W	R/W	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7,6 – ABW1,0 : 自動ホーレート窓幅 (Auto-baud Window Size)

これらのビットはLIN制限自動ホーレート動作使用時に2つの同期する装置間のホーレートの違いに対する許容値を制御します。許容値は毎回の2ビット間のホーレート採取数に基づきます。ホーレートが同じ時は各ビットが16回採取されるため、各ビット対間は32ホーレート採取でなければなりません。

値	00	01	10	11
名称	WDW0	WDW1	WDW2	WDW3
説明	32±6 (18%許容)	32±5 (15%許容)	32±7 (21%許容)	32±8 (25%許容)

### 27.5.12. DBGCTRL – デバッグ制御 (Debug Control)

名称 : DBGCTRL  
変位 : +\$0B  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 – DBGRUN : デバッグ時走行 (Debug Run)

値	0	1
説明	中断デバッグ動作で停止され事象を無視	中断デバッグ動作でCPU停止時に走行継続

### 27.5.13. EVCTRL – 事象制御 (IrDA Control Register)

名称 : EVCTRL  
変位 : +\$0C  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								IREI
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 – IREI : IrDA事象入力許可 (IrDA Event Input Enable)

このビットはIrDA事象入力が許可されるか否かを制御します。より多くの情報については「[27.3.3.2.7. IRCOM動作形態](#)」項をご覧ください。

値	0	1
説明	IrDA事象入力が禁止されます。	IrDA事象入力が許可されます。

### 27.5.14. TXPLCTRL – IRCOM送信パルス長制御 (IRCOM Transmitter Pulse Length Control Register)

名称 : TXPLCTRL  
変位 : +\$0D  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TXPL7~0							
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 – TXPL7~0 : 送信パルス長 (Transmitter Pulse Length)

この8ビット値は送信部に対するパルス変調方式を設定します。このレジスタの設定はUSARTによってIRCOM動作が選択される場合にだけ有効で、USART送信部が許可(TXEN)される前に構成設定されなければなりません。

値	説明
\$00	3/16ボーレート周期パルス変調が使われます。
\$01~\$FE	固定パルス長符号化が使われます。この8ビット値はパルスに対する周辺機能クロック周期数を設定します。パルスの始めはボーレートクロックの上昇端で同期されます。
\$FF	パルス符号化禁止。送受信の信号はIRCOM単位部を無変化で通過します。これは半二重USART、折り返し検査、事象チャネルからのUSART受信入力のような、IRCOM単位部を通す他の機能を許します。

## 27.5.15. RXPLCTRL – IRCOM受信パルス長制御 (IRCOM Receiver Pulse Length Control Register)

名称 : RXPLCTRL

変位 : +\$0E

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXPL6~0							
アクセス種別	R	R/W						
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

## ● ビット6~0 – RXPL7~0 : 受信パルス長 (Receiver Pulse Length)

この7ビット値はIRCOM送受信部に対する濾波係数を設定します。このレジスタの設定はUSARTによってIRCOM動作が選択される場合にだけ有効で、USART受信部が許可(RXEN)される前に構成設定されなければなりません。

値	説明
\$00	濾波が禁止されます。
\$01~\$7F	濾波が許可されます。RXPL+1の値は受け入れるべき受信したパルスに必要なとされる採取数を表します。

## 28. SPI – 直列周辺インターフェース

### 28.1. 特徴

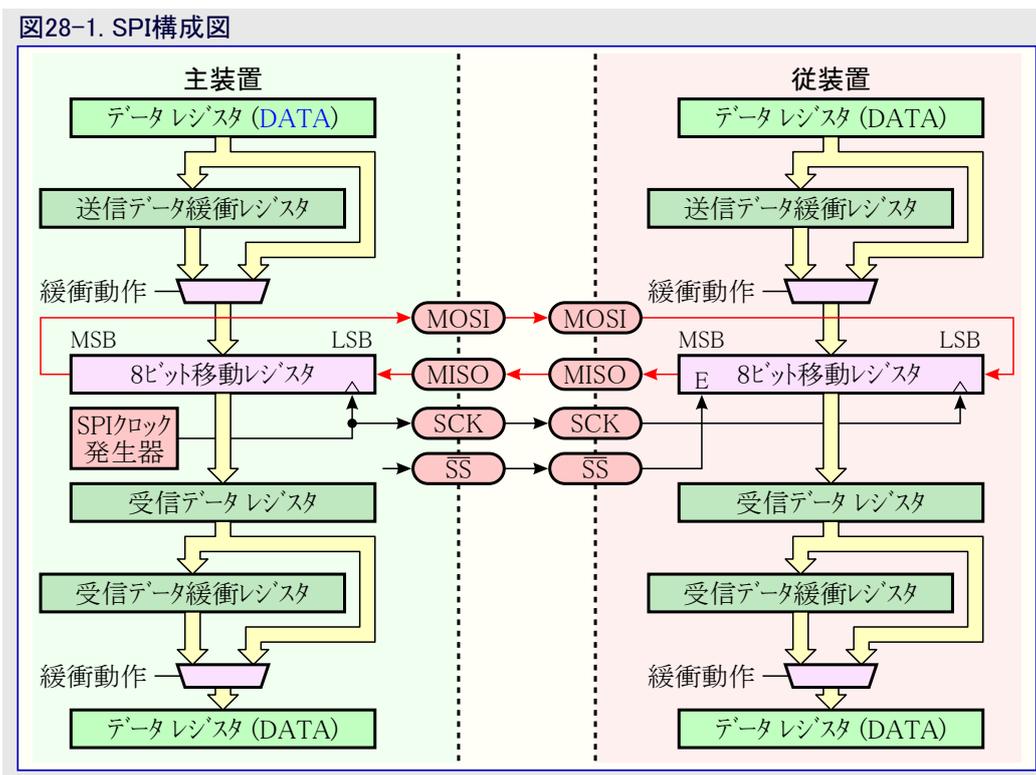
- 全二重、3線同期データ転送
- 主装置または従装置の動作
- LSB先行またはMSB先行のデータ転送
- 設定可能な7つのビット速度
- 転送の最後での割り込み要求フラグ
- 書き込み衝突フラグ保護
- アイドル休止動作からの起き上がり
- 倍速(CK/2)主装置SPI動作

### 28.2. 概要

直列周辺インターフェース(SPI)は3または4つのピンを用いる高速同期データ転送インターフェースです。それはAVR<sup>®</sup>デバイスと周辺装置間、または様々なマイクロコントローラ間での全二重通信を許します。SPI周辺機能は主装置または従装置のどちらかとして構成設定することができます。主装置が全てのデータ転送処理を始めて制御します。

SPIを持つ主装置と従装置のデバイス間の相互接続が下の構成図で示されます。このシステムは2つの移動レジスタと主装置クロック発生器から成ります。SPI主装置は望む従装置の従装置選択(SS)信号をLowに引くことによって通信周回を始めます。主装置と従装置は送るべきデータをそれらの各々の移動レジスタに用意して、主装置はデータを交換するためにSCK線上に必要とするクロックパルスを生成します。データは常に主装置出力従装置入力(MOSI)線で主装置から従装置へ、主装置入力従装置出力(MISO)線で従装置から主装置へ移動されます。

#### 28.2.1. 構成図



SPIは同時にデータの移動出力と入力を行う8ビット移動レジスタ周辺を構築します。データ(DATA)レジスタは物理的なレジスタではありませんが、読み書きされる時に他のレジスタに割り当てられます。送信時のデータ(SPIIn.DATA)レジスタは標準動作で移動レジスタに、緩衝動作で送信緩衝レジスタに書きます。受信時のデータ(SPIIn.DATA)レジスタ読み込みは標準動作で受信データレジスタを、緩衝動作で受信データ緩衝レジスタを読みます。

主装置動作ではSPIがSCKクロックを生成するクロック生成器を持ちます。従装置では受け取ったSCKクロックが同期化されて移動レジスタでデータの移動を起動するように採取されます。

## 28.2.2. 信号説明

表28-1. 主装置動作と従装置動作での信号

信号	形式		説明
	主装置動作	従装置動作	
MOSI	使用者定義 (注1)	入力	主装置出力従装置入力
MISO	入力	使用者定義 (注1,2)	主装置入力従装置出力
SCK	使用者定義 (注1)	入力	従装置クロック
$\overline{SS}$	使用者定義 (注1)	入力	従装置選択

注1: ピンのデータ方向が出力として構成設定される場合、ピンのレベルはSPIによって制御されます。

注2: SPIが従装置動作でMISOピンのデータ方向が出力として構成設定される場合、以下のように $\overline{SS}$ ピンがMISOピンを制御します。

- $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動されるなら、MISOピンはSPIによって制御されます。
- $\overline{SS}$ ピンがHighに駆動されるなら、MISOピンはHi-Zにされます。

SPI単位部が許可されると、MOSI、MISO、SCK、 $\overline{SS}$ ピンのデータ方向は表28-1.に従って上書きされます。

## 28.3. 機能的な説明

### 28.3.1. 初期化

以下のこれらの手順によってSPIを基本機能状態に初期化してください。

1. ポート周辺機能で $\overline{SS}$ ピンを構成設定してください。
2. 制御A(SPIIn.CTRLA)レジスタの主/従装置選択(MASTER)ビットを書くことによってSPI主装置/従装置動作を選んでください。
3. 主装置動作では、SPIIn.CTRLAレジスタで前置分周器(PRESC)ビットとクロック倍速(CLK2X)ビットを書くことによってクロック速度を選んでください。
4. 任意選択: 制御B(SPIIn.CTRLB)レジスタの動作形態(MODE)ビットを書くことによって転送動作形態を選んでください。
5. 任意選択: SPIIn.CTRLAレジスタのデータ順(DORD)ビットを書いてください。
6. 任意選択: 制御B(SPIIn.CTRLB)レジスタで緩衝動作許可(BUFEN)と緩衝動作受信待機(BUFWR)のビットを書くことによって緩衝動作を構成設定してください。
7. 任意選択: 主装置動作での複数主装置支援を禁止するにはSPIIn.CTRLBレジスタの従装置選択禁止(SSD)ビットに'1'を書いてください。
8. SPIIn.CTRLAレジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってSPIを許可してください。

### 29.3.2. 動作

#### 28.3.2.1. 主装置動作

SPIが主装置動作に構成設定されると、データ(SPIIn.DATA)レジスタへの書き込みが新しい転送を開始します。SPI主装置は下で説明されるように2つの動作形態、標準と緩衝で動作することができます。

##### 28.3.2.1.1. 標準動作

標準動作で、システムは送信方向で単一緩衝され、受信方向で2重緩衝されます。これは次のようにデータ処理に影響します。

1. 送られるべき次のバイトは転送全体が完了される前にデータ(SPIIn.DATA)レジスタに書くことができません。早すぎる書き込みは送出されるデータの不正を引き起こし、割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタの書き込み衝突(WRCOL)フラグが設定(1)されます。
2. 受信したバイトは伝送が完了した後、直ちに受信データレジスタに書かれます。
3. 受信データレジスタは次の伝送が緩衝される、またはデータが失われる前に読まれなければなりません。このレジスタはSPIIn.DATAを読むことによって読めます。
4. 送信緩衝レジスタと受信データ緩衝レジスタは標準動作で使われません。

転送完了後、割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタで割り込み要求フラグ(IF)が設定(1)されます。これはこの割り込みと全体割り込みが許可されている場合に実行されるべき対応する割り込みを引き起こします。割り込み制御(SPIIn.INTCTRL)レジスタの割り込み許可(IE)ビットが割り込みを許可します。

### 28.3.2.1.2. 緩衝動作

緩衝動作は制御B(SPIIn.CTRLB)レジスタの緩衝動作許可(BUFEN)ビットに'1'を書くことによって許可されます。SPIIn.CTRLBの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットは主装置動作に影響を及ぼしません。緩衝動作のシステムは送信方向で2重緩衝、受信方向で3重緩衝されます。これは次のようにデータ処理に影響します。

1. 新しいバイトは割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)が設定(1)されている限り、データ(SPIIn.DATA)レジスタに書くことができます。最初の書き込みは直ちに送信され、後続する書き込みは送信データ緩衝レジスタへ行きます。
2. 受信したバイトは伝送が完了した後、直ちに受信データレジスタと受信データ緩衝レジスタで構成される2つの記録の受信先入れ先出し(RX FIFO)待ち行列に置かれます。
3. RX FIFOから読むのにデータ(SPIIn.DATA)レジスタが使われます。どのデータ損失も避けるため、RX FIFOは最低毎回の第2転送毎に読まなければならないなりません。

移動レジスタと送信データ緩衝レジスタの両方が空になる場合、割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタの転送完了割り込み要求フラグ(TXCIF)が設定(1)されます。これはこの割り込みと全体割り込みが許可されている場合に実行されるべき対応する割り込みを引き起こします。割り込み制御(SPIIn.INTCTRL)レジスタの割り込み許可(IE)ビットが転送完了割り込みを許可します。

### 28.3.2.1.3. 主装置動作での $\overline{SS}$ ピンの機能 – 複数主装置支援

主装置動作ではSPIが $\overline{SS}$ ピンをどう使うのかを制御B(SPIIn.CTRLB)レジスタの従装置選択禁止(SSD)ビットが制御します。

- SPIIn.CTRLBnのSSDが'0'なら、SPIは主装置動作から従装置動作への遷移に $\overline{SS}$ ピンを使うことができます。これは同じSPIバスで複数SPI主装置を許します。
- SPIIn.CTRLBnのSSDが'0'で $\overline{SS}$ ピンが出力ピンとして構成設定される場合、そのピンは通常の入出力として、または他の周辺機能単位部によって使うことができ、SPIシステムに影響を及ぼしません。
- SPIIn.CTRLBnのSSDが'1'なら、SPIは $\overline{SS}$ ピンを使いません。通常の入出力として、または他の周辺機能単位部によって使うことができます。

SPIIn.CTRLBnのSSDビットが'0'で $\overline{SS}$ が入力ピンとして構成設定される場合、 $\overline{SS}$ ピンは主装置SPI動作を保証するためにHighを保たなければならないなりません。Lowレベルは別の主装置がバスの制御を取ることを試みていると解釈されます。これはSPIを従装置に切り替えてSPIのハードウェアが以下の活動を実行します。

1. 制御A(SPIIn.CTRLA)レジスタの主/従装置選択(MASTER)ビットが解除(0)され、SPIシステムは従装置になります。SPIピンの方向は表28-2の条件を満たす時に切り替えられます。
2. 割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタの割り込み要求フラグ(IF)ビットが設定(1)されます。割り込みが許可されて全体割り込みが許可されているなら、その割り込みルーチンが実行されます。

表28-2. SPIIn.CTRLBのSSDが'0'の時の $\overline{SS}$ ピン機能の概要

SS構成設定	$\overline{SS}$ ピンレベル	説明
入力	High	主装置有効(選択)
	Low	主装置無効、従装置動作へ切り替え
出力	High	主装置有効(選択)
	Low	

注: デバイスが主装置動作で、2つの送信の間に $\overline{SS}$ ピンがHighに留まることを保証できない場合、新しいバイトが書かれる前にSPIIn.CTRLAレジスタの主/従装置選択(MASTER)ビットが調べられなければならないなりません。SS線のLowレベルによってMASTERビットが解除(0)された後、SPI主装置動作を再許可するには応用によって設定(1)されなければならないなりません。

### 28.3.2.2. 従装置動作

従装置動作で、SPI周辺機能は主装置からSPIクロックと従装置選択を受け取ります。従装置動作は3つの動作形態、1つの標準動作と緩衝動作の2つの構成設定を支援します。従装置動作で、制御論理回路はSCKピンでやって来る信号を採取します。

#### 28.3.2.2.1. 標準動作

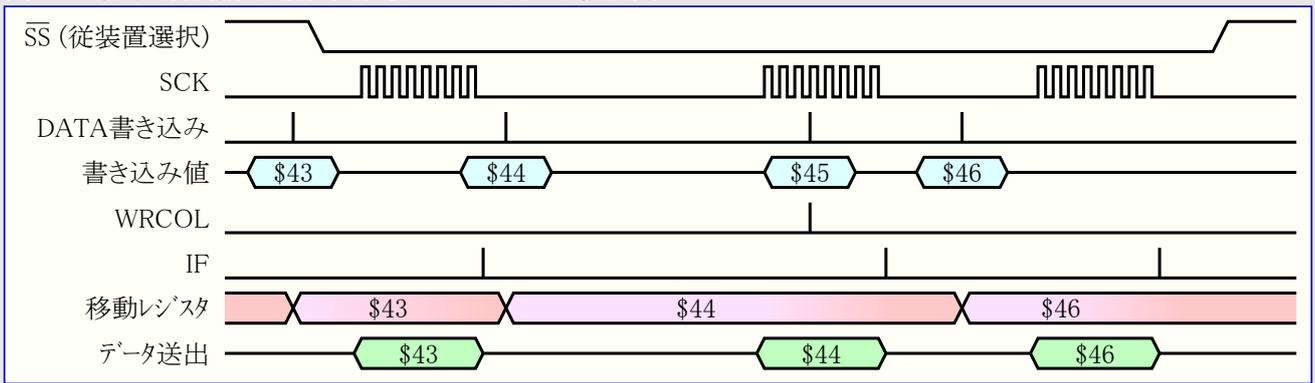
標準動作で、SPI周辺機能は $\overline{SS}$ ピンがHighに駆動される限りアイドルに留まります。この状態ではソフトウェアがデータ(SPIIn.DATA)レジスタの内容を更新するかもしれませんが、 $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動されるまで、データはSCKピンでやって来るクロックパルスによって移動されません。 $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動された場合、従装置は最初のSCKクロックパルスでデータの移動を開始します。1バイトが完全に移動されると、割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタのSPI割り込み要求フラグ(IF)が設定(1)されます。

使用者応用は到着データを読む前にDATAレジスタに送る新しいデータの配置を続けるかもしれませんが。送るべき新しいバイトは(直前の)転送全体が完了されるのに先立ってDATAに書くことができません。早すぎる書き込みは無視され、ハードウェアがSPIIn.INTFLAGSレジスタの書き込み衝突(WRCOL)フラグを設定(1)します。

$\overline{SS}$ ピンがHighに駆動されると、SPI論理回路は停止され、SPI従装置は新しいどのデータも受け取りません。移動レジスタ内のどの部分的に受信したパケットも失われます。

図28-2は標準動作での送信手順を示します。値\$45がDATAレジスタに書かれますが、何故決して送信されないかに注目してください。

図28-2. 標準動作(緩衝動作不許可)でのSPIタイミング構成図



上図は3つの転送と、SPIが転送で多忙の間でのDATAレジスタへの1つの書き込みを示します。この書き込みは無視され、SPIn.INTFLAGSLレジスタの書き込み衝突(WRCOL)フラグが設定(1)されます。

### 28.3.2.2.2. 緩衝動作

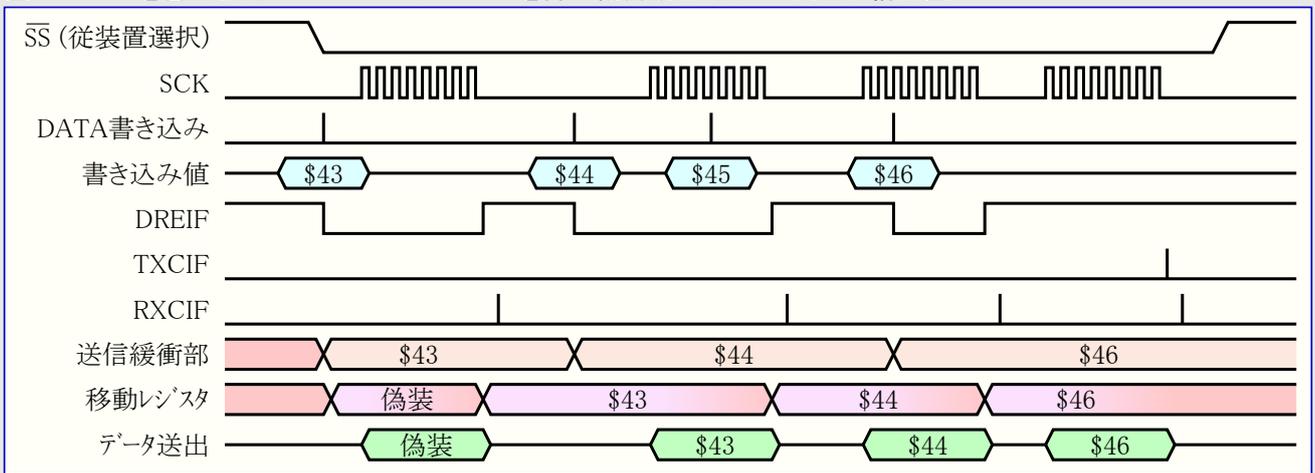
データ衝突を避けるため、SPI周辺機能は制御B(SPIn.CTRLB)レジスタの緩衝動作許可(BUFEN)ビットに'1'を書くことによって緩衝動作に構成設定することができます。この動作では2つの受信緩衝部と1つの送信緩衝部を持ちます。双方は独立した割り込み要求フラグの送信完了と受信完了を持ちます。図28-1は追加の緩衝部を示します。緩衝動作が許可される時に2つの異なる方法で動くことができます。制御B(SPIn.CTRLB)レジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットは緩衝動作がどう動くかを制御します。タイミング構成図を含みそれらがどう動くかの詳細が下で記述されます。

**注:** 緩衝動作で従装置として動作し、SPIクロックが最大周波数に近いと、従装置は連続転送間の最初の採取端に対して時間内にデータを準備できないかもしれません。詳細については「電気的特性」の「SPI」項を参照してください。

#### 緩衝動作受信待機(BUFWR)=0での従装置緩衝動作

従装置動作で、SPIn.CTRLBレジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットが'0'を書かれると、使用者データの送信を開始する前に偽装パケットが送られます。図28-3はこの構成設定での送信手順を示します。値\$45がデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれますが、何故決して送信されないかに注目してください。

図28-3. '0'を書かれたSPIn.CTRLBのBUFWRを持つ緩衝動作でのSPIタイミング構成図



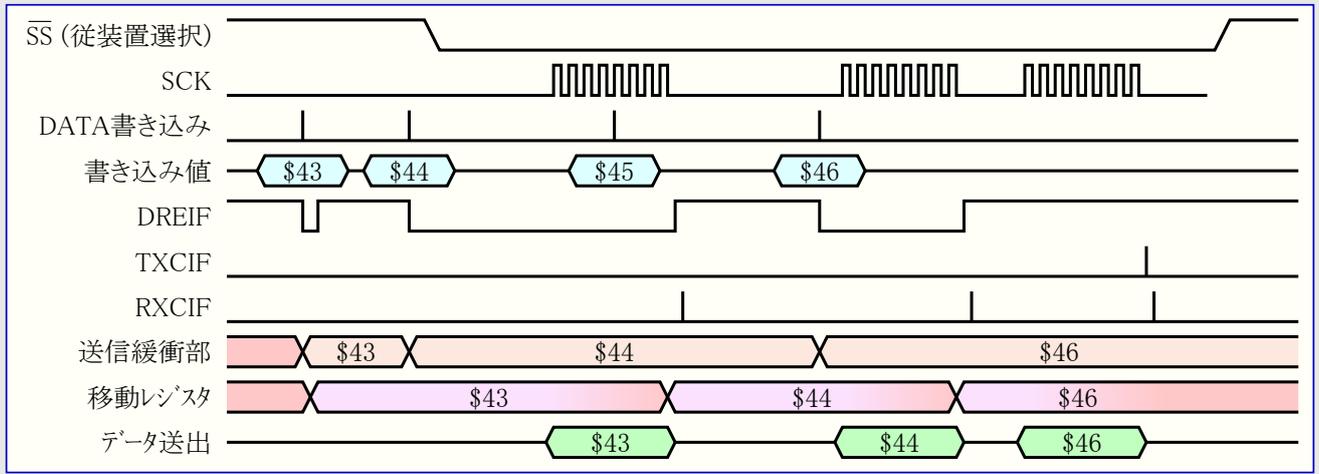
SPIn.CTRLBレジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットが'0'を書かれると、データ(SPIn.DATA)レジスタへの全ての書き込みが送信データ緩衝レジスタへ行きます。上の図は\$43が直ちに移動レジスタへ送られずにデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれ、故に最初に送られるパケットが偽装パケットであることを示します。偽装パケットの値はその時の移動レジスタにあった値に等しい値です。最初の偽装転送が完了された後、移動レジスタに値\$43が転送されます。その後\$44がデータ(SPIn.DATA)レジスタへ書かれて送信データ緩衝レジスタへ行きます。新しい転送が開始され、\$43が送られます。値\$45がデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれますが、送信データ緩衝レジスタが\$44を含み既に満杯で、SPIn.INTFLAGSLレジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)が'0'のため、送信データ緩衝レジスタは更新されません。値\$45は失われます。転送(完了)後、値\$44が移動レジスタに移動されます。次の転送の間、\$46転送がデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれ、\$44が送られます。転送完了後、\$46が移動レジスタに複写されて次の転送で送り出されます。

SPIn.INTFLAGSLレジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)は送信データ緩衝レジスタが書かれる毎に'0'になり、送信データ緩衝レジスタ内の直前の値が移動レジスタに複写される時の転送後に'1'になります。SPIn.INTFLAGSLレジスタの受信完了割り込み要求フラグ(RXCIF)はDREIFフラグが'1'になった1周期後に設定(1)されます。転送完了割り込み要求フラグ(TXCIF)は移動レジスタと送信データ緩衝レジスタで両方の値が送られてしまった時に受信完了割り込み要求フラグ(RXCIF)が設定(1)された1周期後に設定(1)されます。

### 緩衝動作受信待機(BUFWR)=1での従装置緩衝動作

従装置動作で、SPIn.CTRLBレジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットが'1'を書かれると、使用者データの送信は $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動されると直ぐに開始します。図28-4はこの構成設定での送信手順を示します。値\$45がデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれますが、何故決して送信されないかに注目してください。

図28-4. '1'を書かれたSPIn.CTRLBのBUFWRを持つ緩衝動作でのSPIタイミング構成図



データ(SPIn.DATA)レジスタへの全ての書き込みは送信データ緩衝レジスタへ行きます。上の図は値\$43がデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれ、 $\overline{SS}$ ピンがHighのためにそれが次の周回で移動レジスタに複写されることを示します。次の書き込み(\$44)は送信データ緩衝部に行きます。最初の転送の間に値\$43が移動出力されます。上図で値\$45がデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれますが、SPIn.INTFLAGSレジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)が'0'のため、送信データ緩衝レジスタは更新されません。転送完了後、送信データ緩衝レジスタから値\$44が移動レジスタに複写されます。値\$46が送信データ緩衝レジスタに書かれます。次の2つの転送の間に\$44と\$46が移動出力されます。フラグの動きは'0'に設定されたSPIn.CTRLBレジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットと同じです。

#### 28.3.2.2.3. 従装置動作での $\overline{SS}$ ピンの機能

従装置選択( $\overline{SS}$ )ピンはSPIの操作で中心的な役割を演じます。SPI動作形態とこのピンの構成設定に応じて、これは装置を有効または無効にするのに使うことができます。 $\overline{SS}$ ピンはチップ選択ピンとして使われます。

従装置動作で、 $\overline{SS}$ ,MOSI,SCKは常に入力です。MISOピンの動きはポート周辺機能でのピンのデータ方向構成設定と $\overline{SS}$ の値に依存します。 $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動されると、SPIは有効にされ、使用者がMISOピンのデータ方向を出力として構成設定した場合にMISOでデータ出力をクロック駆動するためのSCKパルスを受け取る責任があります。 $\overline{SS}$ ピンがHighに駆動されると、SPIは無効にされ、やって来るデータを受け取らないことを意味します。MISOピンのデータ方向が出力として構成設定される場合、MISOピンはHi-Zにされます。表28-3は $\overline{SS}$ ピン機能の上書きを示します。

表28-3.  $\overline{SS}$ ピン機能の概要

SS構成設定	SSピンレベル	説明	MISOピン動作	
			ポート方向=出力	ポート方向=入力
常に入力	High	従装置無効 (非選択)	Hi-Z	入力
	Low	従装置有効 (選択)	出力	入力

**注:** 従装置動作で、SPI状態機構は $\overline{SS}$ ピンがHighに駆動される時にリセットされます。伝送中に $\overline{SS}$ ピンがHighに駆動される場合、SPIは直ちにデータの送受信を停止し、受信と送信の両データが失われたと見做されなければなりません。 $\overline{SS}$ ピンが転送の開始と終わりを合図するのに使われるため、パケット/バイト同期を達成すると主装置クロック発生器で同期された従装置ビット計数器を維持するのに有用です。

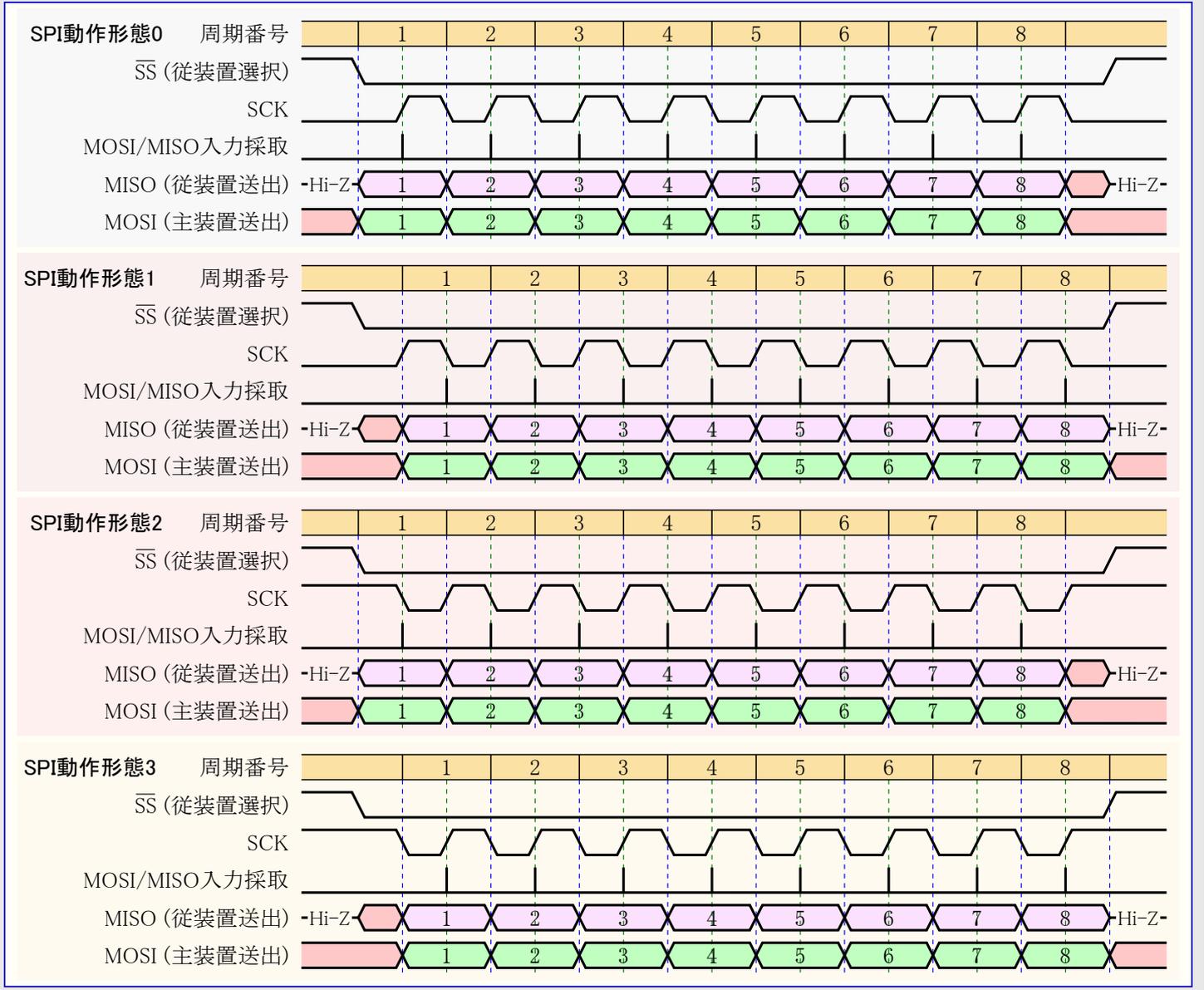
### 28.3.2.3. データ転送形態

直列データに関してSCKの位相と極性の4つの組み合わせがあります。望む組み合わせは**制御B(SPIIn.CTRLB)レジスタの動作形態(MODE)ビット**に書くことによって選ばれます。

SPIデータ転送形式は以下で示されます。データビットはSCK信号の逆端で移動出力されてラッチされ、データ信号を安定にするための十分な時間を保証します。

先行端はクロック周期の最初のクロック端です。後行端はクロック周期の最終クロック端です。

図28-5. SPIデータ転送形態



### 28.3.2.4. 事象

SPIは以下の事象を生成することができます。

表28-4. SPIでの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
SPIIn	SCK	SPI主装置クロック	レベル	CLK_PER	最小2 CLK_PER周期

SPIは事象使用部を持ちません。

事象型と事象システム構成設定に関するより多くの詳細については「[EVSYS - 事象システム](#)」章を参照してください。

28.3.2.5. 割り込み

表28-5. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件	
		標準動作	緩衝動作
SPI	SPI割り込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>IF : 割り込み要求割り込み</li> <li>WRCOL : 書き込み衝突割り込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SSI : 従装置選択起動割り込み</li> <li>DRE : データレジスタ空割り込み</li> <li>TXC : 転送完了割り込み</li> <li>RXC : 受信完了割り込み</li> </ul>

割り込み条件が起こると、周辺機能の**割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタ**で対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。割り込み元は周辺機能の**割り込み制御(SPIIn.INTCTRL)レジスタ**で対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細についてはSPIIn.INTFLAGSレジスタをご覧ください。

## 28.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0		DORD	MASTER	CLK2X		PRESC1,0		ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0	BUFEN	BUFWR				SSD		MODE1,0
+\$02	INTCTRL	7~0	RXCIE	TXCIE	DREIE	SSIE				IE
+\$03	INTFLAGS	7~0	IF	WRCOL						
			RXCIF	TXCIF	DREIF	SSIF				BUFOVF
+\$04	DATA	7~0	DATA7~0							

## 28.5. レジスタ説明

### 28.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		DORD	MASTER	CLK2X		PRESC1,0		ENABLE
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6 – DORD : データ順 (Data Order)

値	0	1
説明	語のMSBが先に送信されます。	語のLSBが先に送信されます。

#### ● ビット5 – MASTER : 主/従装置選択 (Master/Slave Select)

このビットは望む動作形態を選びます。

$\overline{SS}$ が入力として構成設定され、このビットが'1'の間にLowへ駆動される場合、このビットが解除(0)され、**割り込み要求フラグ(SPI<sub>IN</sub>.INTFLAGS)レジスタの割り込み要求フラグ(IF)**が設定(1)されます。使用者はSPI主装置動作を再び許可するためにMASTER='1'を再び書かなければなりません。

この動きは**制御B(SPI<sub>IN</sub>.CTRLB)レジスタの従装置選択禁止(SSD)ビット**によって制御されます。

値	0	1
説明	SPI従装置動作選択	SPI主装置動作選択

#### ● ビット4 – CLK2X : クロック倍速 (Clock Double)

このビットが'1'を書かれると、SPI速度(内部前置分周された後のSCK周波数)が主装置動作で2倍にされます。

値	0	1
説明	SPI速度(SCK周波数)は2倍にされません。	SPI速度(SCK周波数)は主装置動作で倍にされます。

#### ● ビット2,1 – PRESC1,0 : 前置分周器 (Prescaler)

このビット領域は主装置動作で構成設定されるSCK速度を制御します。これらのビットは従装置動作で無効です。SCKと周辺機能クロック周波数( $f_{CLK\_PER}$ )間の関連は下で示されます。

SPI前置分周器の出力は**クロック倍速(CLK2X)ビット**に'1'を書くことによって2倍にすることができます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DIV4	DIV16	DIV64	DIV128
説明	CLK_PER/4	CLK_PER/16	CLK_PER/64	CLK_PER/128

#### ● ビット0 – ENABLE : SPI許可 (SPI Enable)

値	0	1
説明	SPI禁止	SPI許可

### 28.5.2. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BUFEN	BUFWR				SSD	MODE1,0	
アクセス種別	R/W	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット7 – BUFEN : 緩衝動作許可 (Buffer Mode Enable)**

このビットに'1'を書くことが緩衝動作を許可します。これは2つの受信緩衝部と1つの送信緩衝部を許可します。両方とも送信完了と受信完了の独立した割り込み要求フラグを持ちます。

● **ビット6 – BUFWR : 緩衝動作受信待機 (Buffer Mode Wait for Receive)**

このビットに'0'を書くと、最初に転送されるデータは偽装採取です。

値	0	1
説明	データが移動レジスタに複製される前に1つのSPI転送が完了されなければなりません。	SPIが許可され、 $\overline{SS}$ がHighの時にデータレジスタへ書かれると、最初の書き込みは移動レジスタへ直接行きます。

● **ビット2 – SSD : 従装置選択禁止 (Slave Select Disable)**

SPI主装置(制御A(SPIIn.CTRLA)レジスタの主/従装置選択(MASTER)=1)として動く時にこのビットが設定(1)される場合、 $\overline{SS}$ (のLow)は主装置動作を禁止しません。

値	0	1
説明	SPI主装置としての動作時、従装置選択線を許可	SPI主装置としての動作時、従装置選択線を禁止

● **ビット1,0 – MODE1,0 : 動作形態 (Mode)**

これらのビットは**転送動作形態**を選びます。直列データに関してSCKの位相と極性の4つの組み合わせが下で示されます。これらのビットはクロック周期の先頭端(先行端)が上昇または下降のどちらか、データの設定と採取が先行端または後行端のどちらで起こるかを決めます。先行端が上昇の時のSCK信号はアイドル時にLowで、先行端が下降の時のSCK信号はアイドル時にHighです。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	0	1	2	3
説明	先行端：上昇、入力採取 後行端：下降、出力設定	先行端：上昇、出力設定 後行端：下降、入力採取	先行端：下降、入力採取 後行端：上昇、出力設定	先行端：下降、出力設定 後行端：上昇、入力採取

### 28.5.3. INTCTRL – 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXCIE	TXCIE	DREIE	SSIE				IE
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット7 – RXCIE : 受信完了割り込み許可 (Receive Complete Interrupt Enable)**

緩衝動作ではこのビット(=1)が受信完了割り込みを許可します。許可した割り込みは割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタの**受信完了割り込み要求フラグ(RXCIF)**が設定(1)される時に起動されます。非緩衝動作ではこのビットが'0'です。

● **ビット6 – TXCIE : 転送完了割り込み許可 (Transfer Complete Interrupt Enable)**

緩衝動作ではこのビット(=1)が転送完了割り込みを許可します。許可した割り込みは割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタの**転送完了割り込み要求フラグ(TXCIF)**が設定(1)される時に起動されます。非緩衝動作ではこのビットが'0'です。

● **ビット5 – DREIE : データレジスタ空割り込み許可 (Data Register Empty Interrupt Enable)**

緩衝動作ではこのビット(=1)がデータレジスタ空割り込みを許可します。許可した割り込みは**割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタのデータレジスタ空割り込み要求フラグ(DREIF)**が設定(1)される時に起動されます。非緩衝動作ではこのビットが'0'です。

● **ビット4 – SSIE : 従装置選択割り込み許可** (Slave Select trigger Interrupt Enable)

緩衝動作ではこのビット(=1)が従装置選択割り込みを許可します。許可した割り込みは割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタの**従装置選択割り込み要求フラグ(SSIF)**が設定(1)される時に起動されます。非緩衝動作ではこのビットが'0'です。

● **ビット0 – IE : 割り込み許可** (Interrupt Enable)

このビット(=1)はSPIが緩衝動作でない時のSPI割り込みを許可します。許可した割り込みは**割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタ**でRXCIF/IFが設定(1)される時に起動されます。

**28.5.4. INTFLAGS – 割り込み要求フラグ – 標準動作** (Interrupt Flags – Normal Mode)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$03  
リセット : \$00  
特質 : -

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

● **ビット7 – IF : 割り込み要求フラグ** (Interrupt Flag)

このフラグは直列転送が完了して1バイトがデータ(SPIIn.DATA)レジスタで完全に移動入出力された時に設定(1)されます。SPIが主装置動作の時にSSが入力として構成設定されてLowに駆動される場合、これもこのフラグを設定(1)します。IFはそれに'1'を書くことによって解除(0)されます。代わりに、IFはIFが設定(1)の時に最初にSPIIn.INTFLAGSレジスタを読み、その後にSPIIn. DATAレジスタをアクセスすることによって解除(0)することができます。

● **ビット6 – WRCOL : 書き込み衝突フラグ** (Write Collision Flag)

WRCOLフラグはバイトが完全に送り出される前に**データ(SPIIn.DATA)レジスタ**が書かれた場合に設定(1)されます。このフラグはWRCOLが設定(1)の時に最初に**SPIIn.INTFLAGSレジスタ**を読み、SPIIn.DATAレジスタをアクセスすることによって解除(0)されます。

**28.5.5. INTFLAGS – 割り込み要求フラグ – 緩衝動作** (Interrupt Flags – Buffer Mode)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$03  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXCIF	TXCIF	DREIF	SSIF				BUFOVF
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット7 – RXCIF : 受信完了割り込み要求フラグ** (Receive Complete Interrupt Flag)

このフラグは受信データ緩衝レジスタに未読データがある時に設定(1)され、受信データ緩衝レジスタが空(即ち、どの未読データも含まない)時に解除(0)されます。

割り込み駆動データ受信が使われると、受信完了割り込みルーチンはRXCIFを解除(0)するためにデータ(SPIIn.DATA)レジスタから受信したデータを読まなければなりません。そうしなければ、現在の割り込みから戻った直後に新しい割り込みが起きます。このフラグはこのビット位置へ'1'を書くことによって解除(0)することができます。

● **ビット6 – TXCIF : 転送完了割り込み要求フラグ** (Transfer Complete Interrupt Flag)

このフラグは送信移動レジスタ内の全データが移動出力されてしまい、送信緩衝(SPIIn.DATA)レジスタに新しいデータがない時に設定(1)されます。このフラグはこのビット位置へ'1'を書くことによって解除(0)されます。

● **ビット5 – DREIF : データレジスタ空割り込み要求フラグ** (Data Register Empty Interrupt Flag)

このフラグは送信データ緩衝レジスタが新しいデータを受け取る準備が整っているかどうかを示します。このフラグは送信緩衝部が空の時に'1'で、送信緩衝部が未だ移動レジスタに移動されてしまっていない送信されるべきデータを含む時に'0'です。DREIFは送信部が準備可能なことを示すためにリセット後に解除(0)されます。

DREIFはDATAレジスタ書き込みによって解除(0)されます。割り込み駆動データ送信が使われると、データレジスタ空割り込みルーチンはDREIFを解除(0)するためにDATAレジスタに新しいデータを書か、または**データレジスタ空割り込みを禁止**するかのどちらかを行わなければなりません。そうしなければ、現在の割り込みから戻った直後に新しい割り込みが起きます。

● **ビット4 – SSIF : 従装置選択割り込み要求フラグ** (Slave Select Trigger Interrupt Flag)

このフラグはSPIが主装置動作でSSピンが外部的にLowへ引かれ、故にSPIが今や従装置動作で動くことを示します。このフラグは**従装置選択禁止(SSD)**が'1'でない場合にだけ設定(1)されます。このフラグはこのビット位置へ'1'を書くことによって解除(0)されます。

● ビット0 – BUFOVF : 緩衝部溢れフラグ (Buffer Overflow)

このフラグは受信データ緩衝部満杯状態のためのデータ消失を示します。このフラグは緩衝部溢れ状態が検出された場合に設定(1)されます。緩衝部溢れは受信緩衝部が満杯(2バイト)で移動レジスタで3つ目のバイトが受信される時に起きます。送信データがなければ、緩衝部溢れは新しい直列転送の開始前に設定(1)されません。このフラグはDATAレジスタが読まれる時か、またはこのビット位置に'1'を書くことによって解除(0)されます。

28.5.6. DATA – データ (Data)

名称 : DATA  
変位 : +\$04  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DATA7~0							
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 – DATA7~0 : データ (SPI Data)

DATAレジスタはデータの送受信に使われます。このレジスタへの書き込みは主装置動作の時にデータ送信を開始し、従装置動作では送るデータを準備します。このレジスタに書かれたバイトは処理が開始された時にSPI出力線へ移動出力されます。

SPIn.DATAレジスタは物理的なレジスタではありません。構成設定された動作形態に応じて、下で記述されるように他のレジスタに割り当てられます。

- ・ 標準動作:
  - DATAレジスタ書き込みは移動レジスタを書きます。
  - DATAレジスタからの読み込みは受信データレジスタから読みます。
- ・ 緩衝動作:
  - DATAレジスタ書き込みは送信データ緩衝レジスタを書きます。
  - DATAレジスタからの読み込みは受信データ緩衝レジスタから読みます。その後受信データレジスタの内容が受信データ緩衝レジスタに移動されます。

## 29. TWI - 2線インターフェース

### 29.1. 特徴

- 2線通信インターフェース
- Phillips社I<sup>2</sup>C適合
  - 標準動作
  - 高速動作
  - 高速動作+
- システム管理バス(SMBus)2.0適合
  - 開始条件/再送開始条件とデータビット間での調停を支援
  - ソフトウェアでのアドレス解決規約(ARP)に対する支援を許す従装置調停
  - 構成設定可能なハードウェアでのSMBus階層1制限時間
  - 二元動作に対して独立した制限時間
- 独立した主装置と従装置の動作
  - 結合(同一ピン)と二元動作(分離ピン)
  - 完全な調停支援での単一または複数の主装置バス動作
- 従装置アドレス一致に対するハードウェア支援
  - 全ての休止動作での動作
  - 7ビットアドレス認識
  - 一斉呼び出しアドレス認識
  - アドレス範囲遮蔽または第2アドレス一致に対する支援
- バス雑音消去用入力濾波器
- 簡便動作支援

### 29.2. 概要

2線インターフェース(TWI)は直列データ(SDA)線と直列クロック(SCL)線を持つ双方向2線通信インターフェース(バス)です。

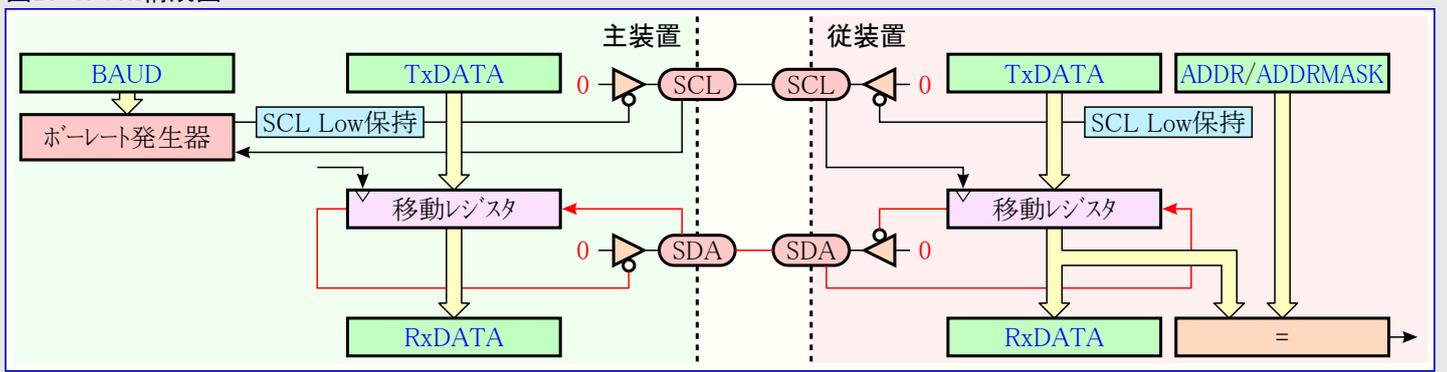
TWIバスは1つまたは複数の従装置を1つまたは複数の主装置に接続します。バスに接続されたどの装置も主装置、従装置、または両方として働くことができます。主装置はポーレート発生器(BRG)を使ってSCLを生成し、1つの従装置をアドレス指定してデータを送るまたは受け取るのどちらかを望むかを告げることによってデータ処理を始めます。BRGは100kHzから1MHzまでの標準動作(Sm)と高速動作(Fm、Fm+)バス周波数を生成することができます。

TWIは**開始条件**、**停止条件**、バス衝突、バス異常を検出します。協調損失、異常、衝突、クロック保持も検出され、主装置動作と従装置動作で利用可能な独立した状態フラグで示されます。

TWIは複数主装置のバス動作と調停を支援します。調停の仕組みは複数の主装置が同時にデータを送信しようとする場合を処理します。TWIは自動起動操作ができ、故にソフトウェアの複雑さを減らすことができる**簡便動作**も支援します。TWIは独立した許可と構成設定を持つ独立単位部として実装された主装置と従装置の同時動作を持つ2元動作を支援します。TWIはデータ交換なしに主装置が従装置をアドレス指定することができる**迅速指令動作**を支援します。

#### 29.2.1. 構成図

図29-1. TWI構成図



#### 29.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
SCL	デジタル入出力	直列クロック線
SDA	デジタル入出力	直列データ線

## 29.3. 機能的な説明

### 29.3.1. 一般的なTWIバスの概念

TWIは以下から成る簡素な双方向2線通信バスを提供します。

- ・パケット転送用の直列データ(SDA)線
- ・バスクロック用の直列クロック(SCL)線

2つの線は開放コレクタ(ドレイン)線(ワイヤードAND)です。

TWIバス形態は直列バスで複数装置を接続する簡単で効率的な方法です。バスに接続された装置は主装置または従装置にできます。主装置だけがバスとバス通信を制御できます。

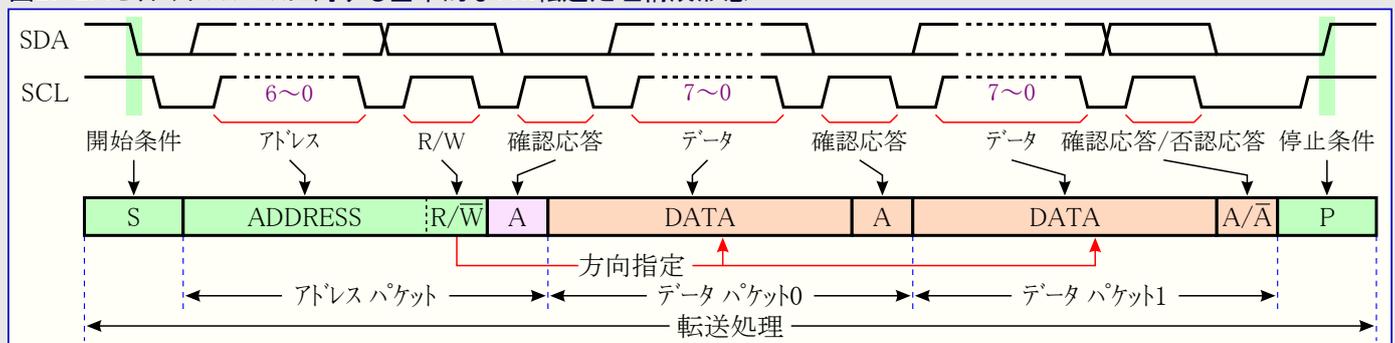
バスに接続した各従装置に固有のアドレスが割り当てられ、主装置は従装置を制御して処理を始めるのにこれを使います。複数の主装置を同じバスに接続することができ、複数主装置環境と呼ばれます。何時でも1つの主装置だけがバスを自身のものにできるので、主装置間でバス所有権を解決するために調停機構が提供されます。

主装置はバス上に**開始条件(S)**を発行することによって転送処理の開始を指示します。主装置は転送処理用のクロック信号を提供します。7ビット従装置アドレス(ADDRESS)と、主装置がデータを読みまたは書きどちらをしたのかを表す方向(R/W)ビットを持つアドレスパケットがその後送られます。

アドレス指定されたI<sup>2</sup>C従装置はその後にアドレスを**確認応答(ACK)**し、データパケット転送処理を始めることができます。毎回の9ビットデータパケットは8つのデータビットとそれに続き、受信側によってデータが受け取られたか否かのどちらかを示す1ビット応答から成ります。

全てのデータパケット(DATA)転送後、主装置は転送処理を終わるためにバス上で**停止条件(P)**を発行します。

図29-2. 7ビットアドレスバスに対する基本的なTWI転送処理構成形態



#### バス駆動部

- 主装置がバスを駆動
- 従装置がバスを駆動
- 主装置か従装置のどちらかがバスを駆動

#### 特殊バス条件

- S 開始条件
- Sr 再送開始条件
- P 停止条件

#### データパケット方向

- R '1': 主装置読み込み
- W '0': 主装置書き込み

#### 応答

- A '0': 確認応答(ACK)
- A '1': 否認応答(NACK)

### 29.3.2. TWI基本動作

#### 29.3.2.1. 初期化

使われるなら、TWI周辺機能を許可する前に以下のビットを構成設定してください。

- ・制御A(TWIn.CTRLA)レジスタのSDA保持時間(SDAHOLD)ビット領域
- ・制御A(TWIn.CTRLA)レジスタの高速動作+(FMPEN)ビット

##### 29.3.2.1.1. 主装置初期化

有効なTWIバスクロック周波数になる値を**主装置ボーレート(TWIn.MBAUD)レジスタ**に書いてください。**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタ**のTWI主装置許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことがTWI主装置を開始します。バス状態をアイドル(IDLE)に強制するために**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**のバス状態(BUSSTATE)ビット領域が'01'に設定されなければなりません。

##### 29.3.2.1.2. 従装置初期化

従装置を初期化するには以下のこれらに従ってください。

1. TWI従装置を許可する前に**制御A(TWIn.CTRLA)レジスタ**のSDA準備時間(SDASETUP)ビットを構成設定してください。
2. 従装置アドレスを**従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタ**に書いてください。
3. TWI従装置を許可するため、**従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタ**の**従装置許可(ENABLE)ビット**に'1'を書いてください。

TWI従装置は主装置が**開始条件**を発行して従装置アドレスと一致するのを待ちます。

### 29.3.2.2. TWI主装置動作

TWI主装置は各バスの任意選択の割り込みを持つバスの志向です。主装置の書き込みと読み込みの操作に対して独立した割り込み要求フラグがあります。割り込み要求フラグはポーリング操作にも使うことができます。専用の状態フラグが受信した(ACK)確認応答/(NA CK)否認応答(RXACK)、バス異常(BUSERR)、調停敗退(ARBLOST)、クロック保持(CLKHOLD)、バス状態(BUSSTATE)を示します。

割り込み要求フラグが'1'に設定されると、SCLはLowを強制され、応答または何れかのデータを扱う時間を主装置に与え、殆どの場合でソフトウェアの介入を必要とするでしょう。割り込み要求フラグの解除(0)がSCLを開放します。生成された割り込み数は殆どの条件を自動的に処理することによって最小に留められます。

#### 29.3.2.2.1. クロック生成

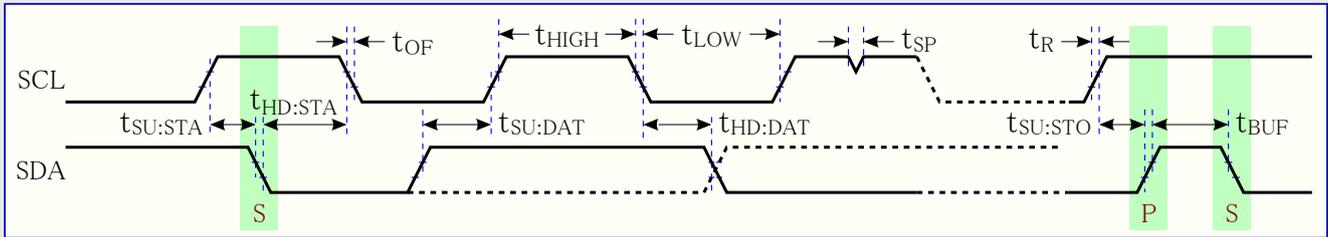
TWIは次のような異なる周波数制限を持ついくつかの送信動作形態を支援します。

- 100kHzまでの標準動作(Sm)
- 400kHzまでの高速動作(Fm)
- 1MHzまでの高速動作+(Fm+)

主装置ホーレート(TWIn.MBAUD)レジスタは送信動作形態に応じてそれらの周波数制限以下のTWIバスクロック周波数になる値を書かなくてはなりません。

Low( $t_{LOW}$ )とHigh( $t_{HIGH}$ )の時間は主装置ホーレート(TWIn.MBAUD)レジスタによって決められる一方で、上昇( $t_R$ )と下降( $t_{OF}$ )の時間はバス形態によって決められます。

図29-3. SCLタイミング



- $t_{LOW}$ はSCLクロックのLow期間です。
- $t_{HIGH}$ はSCLクロックのHigh期間です。
- $t_R$ は内部プルアップに対するバスインピーダンスによって決められます。詳細については「電気的特性」を参照してください。
- $t_{OF}$ はオープンドレイン電流制限とバスインピーダンスによって決められます。詳細については「電気的特性」を参照してください。

#### SCLクロックの特性

SCL周波数は右式によって与えられます。

SCLクロックは50/50のデューティサイクルを持つように設計され、デューティサイクルのLow部分は $t_{OF}$ と $t_{LOW}$ から成ります。 $t_{HIGH}$ はSCLのHigh状態が検出されるまで始まりません。TWIn.MBAUDレジスタのホーレート(BAUD)ビット領域とSCL周波数は右式(式1)によって関連付けられます。

$$f_{SCL} = \frac{1}{t_{LOW} + t_{HIGH} + t_{OF} + t_R} \text{ [Hz]}$$

$$f_{SCL} = \frac{f_{CLK\_PER}}{10 + 2 \times BAUD + f_{CLK\_PER} \times t_R} \quad (1)$$

式1はBAUDを表すように変形(式2)することができます。

$$BAUD = \frac{f_{CLK\_PER}}{2 \times f_{SCL}} - \left( 5 + \frac{f_{CLK\_PER} \times t_R}{2} \right) \quad (2)$$

#### BAUD値の計算

望む速度動作(Sm, Fm, Fm+)の仕様内での動作を保証するため、これらの手順に従ってください。

1. 式2を使ってBAUDビット領域用の値を計算してください。
2. 手順1.からのBAUD値を使って $t_{LOW}$ を計算してください。

$$t_{LOW\_Fm} = t_{LOW\_Fm+} = \frac{BAUD + 6 + \min(SCLDUTY, BAUD)}{f_{CLK\_PER}} - t_{OF} \quad (3.1)$$

$$t_{LOW\_Sm} = \frac{BAUD + 6}{f_{CLK\_PER}} - t_{OF} \quad (3.2)$$

3. 式3.からの $t_{LOW}$ が望む動作形態で指定された最小( $t_{LOW\_Sm}=4700\text{ns}$ ,  $t_{LOW\_Fm}=1300\text{ns}$ ,  $t_{LOW\_Fm+}=500\text{ns}$ )を超えるか調べてください。
  - 計算された $t_{LOW}$ が限度を超える場合、式2からのBAUDを使ってください。
  - 限度に合わない場合、右の式4を使って新しいBAUD値を計算してください。ここでの $t_{LOW\_mode}$ は動作仕様からの $t_{LOW\_Sm}$ ,  $t_{LOW\_Fm}$ ,  $t_{LOW\_Fm+}$ のどれかです。

$$BAUD = f_{CLK\_PER} \times (T_{LOW\_mode} + t_{OF}) - 3 \quad (4)$$

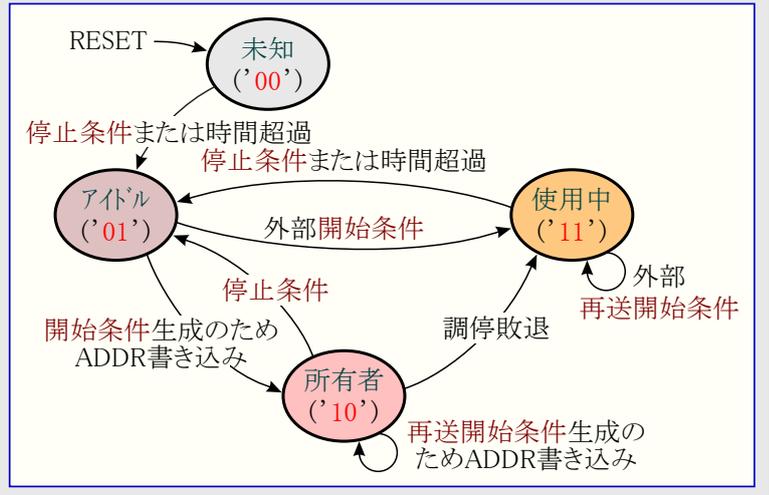
### 29.3.2.2.2. TWIバス状態論理

バス状態論理回路は主装置動作が許可された時にTWIバス上の動きを継続的に監視します。それはパワーダウンを含む全ての**休止動作形態**で動作を続けます。

バス状態論理回路は**開始条件**と**停止条件**の検出器、衝突検出、不活性バス時間超過検出、ビットカウンタを含みます。これらはバス状態を決めるのに使われます。ソフトウェアは**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタのバス状態(BUSSTATE)ビット領域**を読むことによって現在のバス状態を得ることができます。

バス状態は未知、アイドル、使用中、所有者になることができ、右で示される状態遷移図に従って決められます。

図29-4. バス状態遷移図



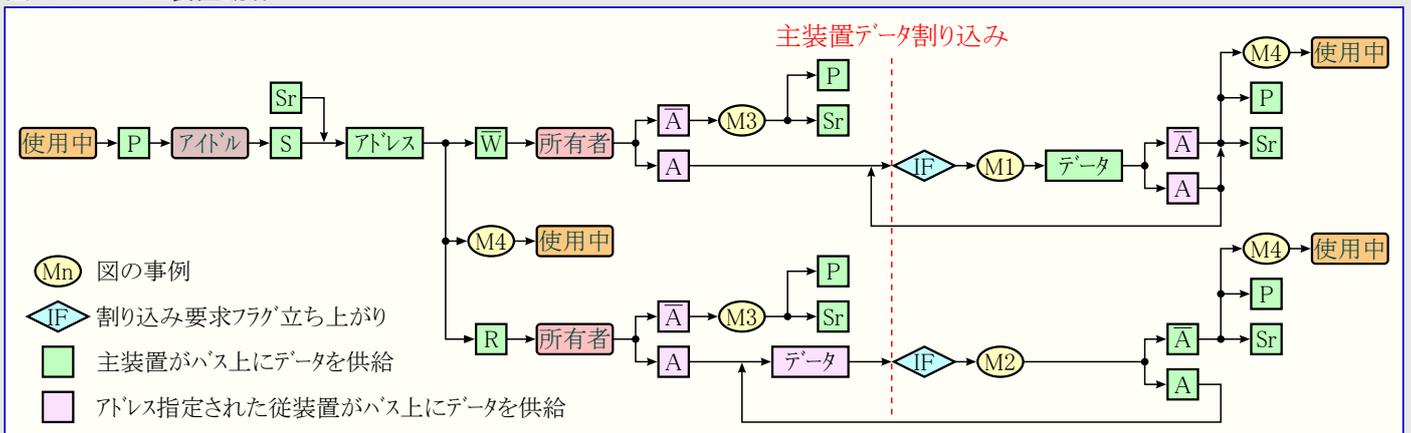
- 1. 未知:** バス状態機構はTWI主装置が許可される時に有効です。TWI主装置許可、システムリセット実行、またはTWI主装置禁止後、バス状態は未知です。
- 2. アイドル:** **バス状態(BUSSTATE)ビット領域**に'01'を書くことによってバス状態機構をアイドル状態に入ることを強制することができます。バス状態論理回路を他のどの状態にも強制することはできません。最初の**停止条件**が検出される時に**アプリケーションソフトウェア**によって状態が設定されなければ、バス状態はアイドルになります。**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの主装置不活性バス時間制限(TIMEOUT)ビット領域**が0以外の値に構成設定される場合、バス状態は時間超過の発生でアイドルに変わります。
- 3. 使用中:** バスがアイドルの時に外部的に生成された**開始条件**が検出された場合、バス状態が使用中になります。バス状態は**停止条件**が検出されるか、または構成設定されている場合に制限時間超過が設定される時にアイドルへ変わります。
- 4. 所有者:** バスがアイドルの時に内部的に**開始条件**が生成される場合、バス状態が所有者になります。妨害なしで完全な転送処理が実行された場合、主装置は**停止条件**を発行し、バス状態がアイドルに戻ります。衝突が検出されて調停に敗れた場合、バス状態は**停止条件**が検出されるまで使用中になります。

### 29.3.2.2.3. アドレス パケット送信

主装置は7ビット従装置アドレスとR/W方向ビットと共に**主装置アドレス(TWIn.MADDR)レジスタ**が書かれる時にバス転送処理の実行を開始します。MADDRレジスタの値がその後**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**へ複写されます。バス状態が使用中の場合、TWI主装置は**開始条件**を発行する前にバス状態がアイドルになるまで待ちます。TWIは**開始条件**を発行し、移動レジスタがバス上でパケット送信動作を実行します。

調停とR/W方向ビットに依存して、アドレスパケットの送信後に4つの事例(M1~M4)の1つが起きます。

図29-5. TWI主装置動作



#### 29.3.2.2.3.1. 事例M1: アドレスパケット送信完了 - 方向ビット=0

従装置がアドレスパケットに対して**確認応答(ACK)**で応答する場合、TWIn.MSTATUSレジスタで**書き込み割り込み要求フラグ(WIF)**が'1'に設定され、**受信応答(RXACK)フラグ**が'0'に設定され、**クロック保持(CLKHOLD)フラグ**が'1'に設定されます。WIF、RXACK、CLKHOLDのフラグは**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**に配置されます。

この時点でクロック保持が有効で、SCLにLowを強制し、クロック周波数全体を低下するようにクロックのLow期間を引き延ばし、データを処理するのに必要とされる遅延を強制してバスでの更なる活動を防ぎます。

ソフトウェアは以下の準備をすることができます。

- ・ 従装置へデータ パケット送信

#### 29.3.2.2.3.2. 事例M2：アドレス パケット送信完了 - 方向ビット=1

従装置がアドレス パケットに対して**確認応答(ACK)**で応答する場合、受信応答(RXACK)フラグが'0'に設定され、この時点で従装置がバスを所有するため、従装置はどんな遅延もなしに主装置へのデータ送出を開始することができます。この時点でクロック保持が有効で、SCLにLowを強制します。

ソフトウェアは以下の準備をすることができます。

- ・ 従装置から受け取ったデータ パケットの読み込み

#### 29.3.2.2.3.3. 事例M3：アドレス パケット送信完了 - 従装置によるアドレス否認応答

従装置がアドレス パケットに**応答しない**場合、書き込み割り込み要求フラグ(WIF)と**受信応答(RXACK)フラグ**が'1'に設定されます。この時点でクロック保持が有効で、SCLにLowを強制します。

**確認応答(ACK)欠落**はI<sup>2</sup>C従装置が他の作業で多忙か、または休止動作で応答できないことを示し得ます。

ソフトウェアは以下の活動の1つを取るための準備をすることができます。

- ・ アドレス パケットの再送信
- ・ **主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**で**停止条件**を発行することによって転送処理を完了、これが推奨される活動です。

#### 29.3.2.2.3.4. 事例M4：調停敗退またはバス異常

調停で敗れた場合、**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**で**書き込み割り込み要求フラグ(WIF)**と**調停敗退(ARBLOST)**のフラグが'1'に設定されます。SDAは禁止されてSCLが開放されます。バス状態が使用中に変わり、主装置はバス状態がアイドルに戻るまで、もはやバスでどの操作も実行することを許されません。

バス異常は調停敗退状態と同じように振舞います。この場合、WIFとARBLOSTのフラグに加えて、TWIn.MSTATUSレジスタで**バス異常(BUSERR)フラグ**が'1'に設定されます。

ソフトウェアは以下の準備をすることができます。

- ・ TWIn.MSTATUSレジスタの**バス状態(BUSSTATE)ビット領域**を読むことによってバス状態がアイドルに変わるまで操作を中止して待機

#### 29.3.2.2.4. データ パケット送信

上の**事例M1**と仮定し、TWI主装置は**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**へ書くことによってデータ送信を開始することができます、それは**書き込み割り込み要求フラグ(WIF)**も解除(0)します。データ転送の間、主装置は衝突と異常に関してバスを継続的に監視します。データ パケット転送完了後、WIFフラグが'1'に設定されます。

送信が成功して主装置が従装置からACKビットを受け取る場合、受信応答(RXACK)フラグが'1'に設定され、従装置が新しいデータ パケットを受け取る準備が整っていることを意味します。

ソフトウェアは以下の活動の1つを取るための準備をすることができます。

- ・ 新しいデータ パケットの送信
- ・ 新しいアドレス パケットの送信
- ・ **主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**で**停止条件**を発行することによって転送処理を完了

送信が成功して主装置が従装置から**否認応答(NACK)ビット**を受け取る場合、RXACKフラグが'1'に設定され、従装置がもっとデータを受け取ることができないか、または必要でないことを意味します。

ソフトウェアは以下の活動の1つを取るための準備をすることができます。

- ・ 新しいアドレス パケットの送信
- ・ **主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**で**停止条件**を発行することによって転送処理を完了

**受信応答(RXACK)フラグ**の状態はWIFフラグが'1'に設定され場合にだけ有効で、**調停敗退(ARBLOST)**と**バス異常(BUSERR)**のフラグは'0'に設定されます。

送信は衝突が検出される場合、不成功になり得ます。その後、主装置は調停に敗れ、**調停敗退(ARBLOST)フラグ**が'1'に設定されバス状態が使用中に変わります。データ パケット転送中の調停敗退は上の**事例M4**と同じように扱われます。

WIF、ARBLOST、BUSERR、RXACKのフラグは全て**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**に配置されます。

#### 29.3.2.2.5. データ パケット受信

上の**事例M2**と仮定し、クロックが1バイト間開放され、従装置がバス上に1バイトのデータを出すのを許します。主装置は従装置から1バイトのデータを受け取り、**クロック保持(CLK HOLD)フラグ**と共に**読み込み割り込み要求フラグ(RIF)**が'1'に設定されます。指令が**主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**に書かれる時に、TWIn.MCTRLBレジスタの**応答動作(ACKACT)ビット**によって選ばれた活動が自動的にバス上で送られます。

ソフトウェアは以下の活動の1つを取るための準備をすることができます。

- 主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの応答動作(ACKACT)ビットに'0'を書くことによって確認応答(ACK)で応答し、新しいデータパケットを受け取る準備
- ACKACTビットに'1'を書くことによって否認応答(NACK)で応答し、その後に新しいアドレスパケットを送信
- ACKACTビットに'1'を書くことによってNACKで応答し、その後にTWIn.MCTRLBレジスタの指令(MCMD)ビット領域で停止条件を発生することによって転送処理を完了

NACK応答はその送信中に調停が失われ得るため、成功裏に実行しないかもしれません。衝突が検出される場合、主装置は調停を失い、調停敗退(ARBLOST)フラグが'1'に設定され、バス状態が使用中に変わります。NACK送出時に調停が失われた場合、またはこの手順中にバス異常が起きた場合に主装置書き込み割り込み要求フラグ(WIF)が設定(1)されます。データパケット転送中の調停敗退は前の事例M4のように扱われます。

RIF、CLKHOLD、ARBLOST、WIFのフラグは全て主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタに配置されます。

注: RIFとWIFのフラグは相互排他で、同時に設定(1)され得ません。

### 29.3.2.3. TWI従装置動作

TWI従装置は各バイト後の任意選択の割り込みを持つバイト志向です。従装置データ用とアドレス/停止認識用に独立した割り込みフラグがあります。割り込みフラグはポーリング操作に使うこともできます。専用の状態フラグが受信した確認応答(ACK)/否認応答(NACK)、クロック保持、衝突、バス異常、R/W方向を示します。

割り込み要求フラグが'1'に設定されると、SCLはLowを強制され、応答または何かのデータを扱う時間を従装置に与え、殆どの場合でソフトウェアの介入を必要とするでしょう。生成された割り込み数は殆どの条件の自動処理によって最小に留められます。

従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタのアドレス認識動作(PMEN)ビットは受信した全てのアドレスに応答することを従装置に許すように構成設定することができます。

#### 29.3.2.3.1. アドレスパケット受信

TWIが従装置として構成設定されると、検出されるべき開始条件を待ちます。これが起こると、継続してアドレスパケットが受信されてアドレス一致論理回路によって調べられます。従装置は正しいアドレスに確認応答(ACK)し、従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタにアドレスを保存します。受信したアドレスが一致しなければ、従装置は応答やアドレスの保存をせず、新しい開始条件を待ちます。

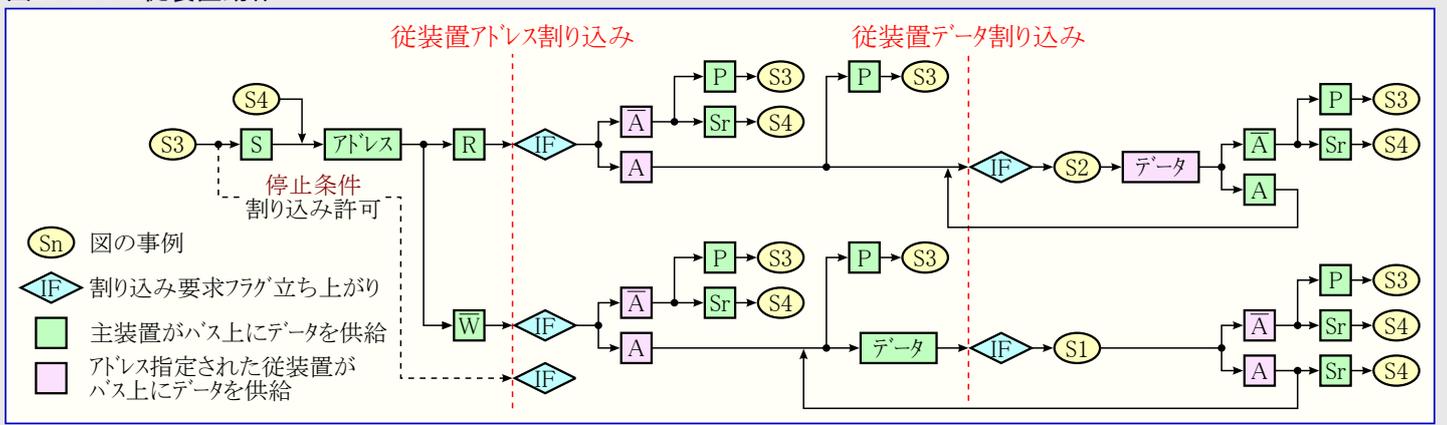
開始条件が以下によって後続されると、従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの従装置アドレス/停止割り込み要求フラグ(APIF)が'1'に設定されます。

- 有効なアドレスが従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタのアドレス(ADDR7~1)ビット領域に格納されたアドレスと一致
- 一斉呼び出しアドレス(\$00)で従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタのアドレス(ADDR0)ビットが'1'に設定
- 従装置アドレス遮蔽(TWIn.SADDRMASK)レジスタでアドレス許可(ADDREN)ビットが'1'に設定され、有効なアドレスがアドレス遮蔽(ADDRMASK)ビット領域に格納されたアドレスと一致
- 従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタのアドレス認識動作(PMEN)ビットが'1'に設定された場合の全てのアドレス

開始条件直後の停止条件は不正操作で、従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタのバス異常(BUSERR)フラグが設定(1)されます。

従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの読み/書き方向(DIR)ビットとバス状況に応じて、アドレスパケットの受信後に続いて4つの事例(S1~S4)の1つが起きます。

図29-6. TWI従装置動作



#### 29.3.2.3.1.1. 事例S1: アドレスパケット受け入れ - 方向ビット=0

アドレスパケット受信後に従装置によって確認応答(ACK)が送られ、従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの読み/書き方向(DIR)ビットが'0'に設定される場合、主装置が書き込み操作を指示します。

この時点でクロック保持が有効で、SCLにLowを強制し、クロック周波数全体を低下するようにクロックのLow期間を引き延ばし、データを処理するのに必要とされる遅延を強制してバスでの更なる活動を防ぎます。

ソフトウェアは以下の準備をすることができます。

- ・ 主装置から受け取ったデータパケットの読み込み

#### 29.3.2.3.1.2. 事例S2：アドレスパケット受け入れ - 方向ビット=1

アドレスパケット受信後に従装置によって**確認応答(ACK)**が送られ、**従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタ**で**読み/書き方向(DIR)ビット**が'1'に設定される場合、主装置が読み込み操作を指示し、**データ割り込み要求フラグ(DIF)**が'1'に設定されます。

この時点でクロック保持が有効で、SCLにLowを強制します。

ソフトウェアは以下の準備をすることができます。

- ・ 主装置へデータパケット送信

#### 29.3.2.3.1.3. 事例S3：停止条件受信

**停止条件**が受信されると、**アドレス/停止条件フラグ(AP)**が'0'に設定され、アドレス一致ではなく**停止条件**を示し、**アドレス/停止割り込み要求フラグ(APIF)**が有効(1)にされます。

APとAPIFのフラグは**従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタ**に配置されます。

ソフトウェアは以下の準備をすることができます。

- ・ 新しいアドレスパケットがアドレス指定するまで待機

#### 29.3.2.3.1.4. 事例S4：衝突

従装置がHighレベルのデータビットまたは**否認応答(NACK)**を送ることができない場合、従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの**衝突(COLL)フラグ**が'1'に設定されます。従装置はSDAでLow値が移動出力されないことを除き、通常動作を始めます。従装置論理回路からのデータと応答の出力が禁止されます。クロック保持は開放されます。**開始条件**と**再送開始条件**は受け入れられます。

COLLビットはアドレス解決規約(ARP)が使われるシステムに対して意図されています。非ARP状況で検出した衝突は規約違反があつてバス異常として扱われなければならないことを示します。

#### 29.3.2.3.2. データパケット受信

前の**事例S1**と仮定し、従装置はデータを受信する準備を整えなければなりません。データパケットが受信されると、従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの**データ割り込み要求フラグ(DIF)**が'1'に設定されます。指令が**従装置制御B(TWIn.SCTRLB)レジスタ**の**指令(SCMD)ビット領域**に書かれる時に、TWIn.SCTRLBレジスタの**応答動作(ACKACT)ビット**によって選ばれた活動が自動的にバス上で送られます。

ソフトウェアは以下の活動の1つを取るための準備をすることができます。

- ・ TWIn.SCTRLBレジスタのACKACTビットに'0'を書くことによって**確認応答(ACK)**で応答、従装置がもっとデータを受け取る準備が整っていることを示します。
- ・ ACKACTビットに'1'を書くことによって**否認応答(NACK)**で応答、従装置がこれ以上データを受け取ることができず、主装置が**停止条件**または**再送開始条件**を発行しなければならないことを示します。

#### 29.3.2.3.3. データパケット送信

上の**事例S2**と仮定し、従装置は**従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタ**へ書くことによってデータ送信を開始することができます。データパケット送信が完了されると、**従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタ**の**データ割り込み要求フラグ(DIF)**が'1'に設定されます。

ソフトウェアは以下の活動の1つを取るための準備をすることができます。

- ・ TWIn.SSTATUSレジスタの**受信応答(RXACK)ビット**を読むことによって主装置が**確認応答(ACK)**で応答したかを調べ、新しいデータパケット送信を開始
- ・ RXACKを読むことによって主装置が**否認応答(NACK)**で応答したかを調べ、データパケット送信を停止。主装置はNACK後に**停止条件**または**再送開始条件**を送らなければなりません。

### 29.3.3. 付加機能

#### 29.3.3.1. SMBus

TWIをSMBus環境で使う場合、**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタ**の**不活性バス制限時間(TIMEOUT)ビット領域**が構成設定されなければなりません。これはSMBus規格に適合するように**時間基準(CLKCTRL.MCLKTIMEBASE)レジスタ**の**時間基準(TIMEBASE)ビット領域**を構成設定する必要があります。より多くの情報については「**CLKCTRL - クロック制御器**」章を参照してください。

SMBus環境に対して100kHzの周波数を使うことができます。標準動作(Sm)と高速動作(Fm)に対して動作周波数はスレーブ制限された出力を持つ一方で、高速動作+(Fm+)に対しては10倍の出力駆動能力を持ちます。

TWIは**制御A(TWIn.CTRLA)レジスタ**の**SDA保持時間(SDAHOLD)ビット領域**で構成設定されるSMBus互換SDA保持時間も許します。

#### 29.3.3.1.1. SMBus仕様への適合性

##### ハードウェア仕様制限

SMBus 2.0仕様の第2章は電力断の装置は接地への漏れ経路を提供してはならないと述べられています。このデバイスに於いてSCLとSDAに使われるパッドとVDD間に置かれたESDダイオードがあります。電力断の時にVDDが接地と等価と仮定すると、それらのESDダイオードが接地への経路を提供します。

## ソフトウェアでの実装

SMBus 2.0仕様の以下の要素はハードウェアで実装されません。

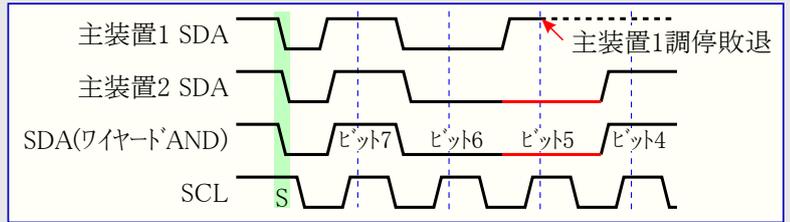
- SMBus 2.0仕様の表1は25〜35msの最大クロックLow制限時間(Timeout)を与え、これは事象システムを使ってSCLピンをTCB周辺機能に繋げることによって実装することができます。望む制限時間値と共に**制限時間検査動作**でTCBを構成設定してください。
- 第3層(網(Network)層)はパケット誤り検査(PEC:Packet Error Check)、アドレス解決規約(ARP:Address Resolution Protocol)などが特徴です。これらは必要とされる場合にソフトウェアで実装することができます。

### 29.3.3.2. 複数主装置

主装置はバスがアイドルなことを検出した場合にだけバス転送処理を開始することができます。複数の主装置がバス上にある場合、他の装置が同時に転送処理を始めようとするかもしれない、結果的に複数の主装置がバスを所有することになります。TWIはSDAでHighレベルのデータビットを送信することができず、**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタのバス状態(BUSSTATE)ビット領域**が使用中に変わる場合に主装置がバスの制御を失うような調停の仕組みを使うことによってこの問題を解決します。調停で敗れた主装置はバス所有権の再取得を試みる前にバスがアイドルになるまで待たなければなりません。

(図で)両装置は**開始条件**を発行することができますが、主装置1は主装置2がLowレベルを送信している間にHighレベル(ビット5)の送信を試みる時、調停に敗れます。

図29-7. TWI調停



### 29.3.3.3. 簡便動作

TWIインターフェースは応用コードを単純化してI<sup>2</sup>C規約を守るのに必要とされる使用者関係処理を最小にする簡便動作を持ちます。

TWI主装置に対し、簡便動作は**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**が読まれると直ぐに**確認応答(ACK)活動**を自動的に送ります。この機能は**主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの応答動作(ACKACT)ビット**が**確認応答(ACK)**に設定(=0)される時にだけ有効です。TWI主装置はACKACTが**否認応答(NACK)**に設定(=1)される場合にデータレジスタ読み込み後に**否認応答(NACK)ビット**を生成しません。この機能は**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの簡便動作許可(SMEN)ビット**が'1'に設定される時に許可されます。

TWI従装置に対し、簡便動作は**従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタ**が読まれると直ぐに**確認応答(ACK)活動**を自動的に送ります。簡便動作はTWInSDATAレジスタが読み書きされた場合に**従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタのデータ割り込み要求フラグ(DIF)**を自動的に'0'に設定します。この機能は**従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタの簡便動作許可(SMEN)ビット**が'1'に設定される時に許可されます。

### 29.3.3.4. 二元動作

TWIは主装置と従装置が同時に独立して動作する二元動作操作を支援します。この場合、**制御A(TWIn.CTRLA)レジスタ**がTWI主装置を構成設定し、**二元動作制御構成設定(TWIn.DUALCTRL)レジスタ**がTWI従装置を構成設定します。主装置構成設定についてのより多くの詳細に関しては「29.3.2.1. 初期化」項をご覧ください。

使われる場合、TWI二元動作を許可する前に以下のビットが構成設定されなければなりません。

- DUALCTRLレジスタの**SDA保持時間(SDAHOLD)ビット領域**
- DUALCTRLレジスタの**高速動作+許可(FMPEN)ビット**

二元動作はDUALCTRLレジスタの**二元制御許可(ENABLE)ビット**に'1'を書くことによって許可することができます。

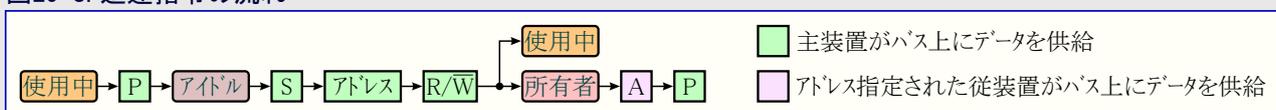
### 29.3.3.5. 迅速指令動作

迅速動作でのアドレスパケットのR/Wビットが指令を示します。この動作は**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの迅速指令許可(QCEN)ビット**に'1'を書くことによって許可されます。データの送受信はありません。

迅速指令はSMBus仕様で、R/Wビットを装置機能のON/OFF切り替え、または低電力待機動作の許可/禁止に使います。この動作は自動起動操作を許してソフトウェアの複雑さ減らすことができます。

主装置が従装置から**確認応答(ACK)**を受け取った後、R/Wビットの値に応じて**主装置読み割り込み要求フラグ(RIF)**または**主装置書き割り込み要求フラグ(WIF)**のどちらかが設定(1)されます。迅速指令発行後にRIFまたはWIFのフラグが設定(1)されると、TWIは**主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**を書くことによって停止(**停止条件**)指令を受け入れます。最後の**受信応答(RXACK)フラグ**と共にRIFとWIFのフラグは全て**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**に配置されます。

図29-8. 迅速指令の流れ



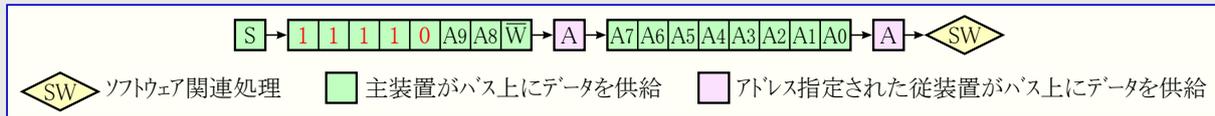
### 29.3.3.6. 10ビット アドレス

転送処理が読みか書きかに関わらず、主装置はR/W方向ビットを'0'に設定して10ビット アドレスを送ることによって開始されなければなりません。

従装置アドレス一致論理回路は7ビット アドレスと一斉呼び出しアドレスの認識を支援するだけです。主装置がTWI従装置をアドレス指定したかを決めるため、従装置アドレス一致論理回路によって**従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタ**が使われます。

TWI従装置アドレス一致論理回路は10ビット アドレスの最初のバイトの認識を支援するだけで、第2バイトはソフトウェアで処理されなければなりません。10ビット アドレスの最初のバイトは従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタの上位5ビットが'11110'の場合に認識されます。従って、最初のバイトは5つの指示ビット、10ビット アドレスの上位2ビット(MSb)、R/W方向ビットから成ります。それに続く主装置からの下位側バイト(LSB)はデータ パケットの形式で来ます。

図29-9. 10ビット アドレス転送処理



### 29.3.4. 割り込み

表29-1. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
Slave	TWI従装置割り込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIF : TWIn.SSTATUSの<b>データ割り込み要求フラグ</b>を'1'に設定</li> <li>• APIF : TWIn.SSTATUSの<b>アドレス/停止割り込み要求フラグ</b>を'1'に設定</li> </ul>
Master	TWI主装置割り込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RIF : TWIn.MSTATUSの<b>読み込み割り込み要求フラグ</b>を'1'に設定</li> <li>• WIF : TWIn.MSTATUSの<b>書き込み割り込み要求フラグ</b>を'1'に設定</li> </ul>

割り込み条件が起ると、**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**または**従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタ**で対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。

いくつかの割り込み要求条件が割り込みベクタによって支援される時に、割り込み要求は割り込み制御器に対して1つの結合された割り込み要求へ共に論理和(OR)されます。使用者はどの割り込み条件が存在するかを決めるのにTWIn.MSTATUSまたはTWIn.SSTATUSのレジスタから割り込み要求フラグを読まなければなりません。

### 29.3.5. 休止形態動作

バス状態論理回路とアドレス認識ハードウェアは全ての休止動作形態で動作を続けます。TWI従装置が休止動作で**開始条件**に続いて従装置アドレスが検出された場合、主クロックが利用可能になるまでの起き上がり期間の間、クロック伸長が有効です。TWI主装置は全ての休止動作で動作を停止します。二元動作が有効な時は、**開始条件**がTWI従装置によって受信された時にだけTWI周辺機能が起き上がります。

### 29.3.6. デバッグ操作

走行時デバッグの間、TWIはその通常動作を続けます。デバッグ動作でのCPU停止はTWIの通常動作を停止します。TWIは**デバッグ制御(TWIn.DBGCTRL)レジスタのデバッグ時走行(DBGRUN)ビット**に'1'を書くことによって停止されたCPUでの動作を強制することができます。デバッグ動作でCPUが停止され、DBGRUNビットが'1'の時に、**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**と**従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタ**の読み書きは決してバス操作を起動したり、送信を引き起こしてフラグを解除(0)しません。TWIが割り込みや同様のものを通してCPUによって定期的な処理を必要とするように構成設定される場合、停止されたデバッグの間に不正な動作やデータ損失になるかもしれません。

## 29.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0		INPUTLVL		SDASETUP	SDAHOLD1,0	FMPEN		
+\$01	DUALCTRL	7~0		INPUTLVL			SDAHOLD1,0	FMPEN	ENABLE	
+\$02	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$03	MCTRLA	7~0	RIEN	WIEN		QCEN	TIMEOUT1,0	SMEN	ENABLE	
+\$04	MCTRLB	7~0					FLUSH	ACKACT	MCMD1,0	
+\$05	MSTATUS	7~0	RIF	WIF	CLKHOLD	RXACK	ARBLOST	BUSERR	BUSSTATE1,0	
+\$06	MBAUD	7~0					BAUD7~0			
+\$07	MADDR	7~0					ADDR7~0			
+\$08	MDATA	7~0					DATA7~0			
+\$09	SCTRLA	7~0	DIEN	APIEN	PIEN			PMEN	SMEN	ENABLE
+\$0A	SCTRLB	7~0						ACKACT	SCMD1,0	
+\$0B	SSTATUS	7~0	DIF	APIF	CLKHOLD	RXACK	COLL	BUSERR	DIR	AP
+\$0C	SADDR	7~0					ADDR7~0			
+\$0D	SDATA	7~0					DATA7~0			
+\$0E	SADDRMASK	7~0					ADDRMASK6~0			ADDREN

## 29.5. レジスタ説明

### 29.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA

変位 : +\$00

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		INPUTLVL		SDASETUP	SDAHOLD1,0		FMPEN	
アクセス種別	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット6 - INPUTLVL : 入力電圧遷移基準 (Input Voltage Transition Level)

このビットはI<sup>2</sup>CまたはSMBusを選びます。

値	0	1
名称	I <sup>2</sup> C	SMBUS
説明	I <sup>2</sup> C入力電圧遷移基準	SMBus 3.0入力電圧遷移基準

#### ● ビット4 - SDASETUP : SDA準備時間 (SDA Setup Time)

このビットはSDA出力信号での十分な準備時間を保証するためにSCLが伸長されるクロック数を制御します。このビットは従装置動作で動作する時に使われます。

値	0	1
名称	4CYC	8CYC
説明	SDA準備時間は4クロック周期です。	SDA準備時間は8クロック周期です。

#### ● ビット3,2 - SDAHOLD1,0 : SDA保持時間 (SDA Hold Time)

このビット領域はTWIに対するSDA保持時間を選びます。詳細については「電気的特性」章をご覧ください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	OFF	50NS	300NS	500NS
説明	保持時間OFF	短保持時間	代表的条件下のSMBus 2.0仕様に合致	全方面に渡ってSMBus仕様に合致

#### ● ビット1 - FMPEN : 高速動作+許可 (Fast Mode Plus Enable)

このビットへの'1'書き込みはTWI既定構成設定または二元動作構成設定でのTWI主装置に対して1MHzバス速度を選びます。

値	0	1
名称	OFF	ON
説明	標準動作または高速動作で動作	高速動作+で動作

### 29.5.2. DUALCTRL - 二元動作制御構成設定 (Dual Mode Control Configuration)

名称 : DUALCTRL

変位 : +\$01

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		INPUTLVL			SDAHOLD1,0		FMPEN	ENABLE
アクセス種別	R	R/W	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6 - INPUTLVL : 入力電圧遷移基準 (Input Voltage Transition Level)

このビットはI<sup>2</sup>CまたはSMBusを選びます。このビットは2元動作が許可されない場合に無視されます。

値	0	1
名称	I <sup>2</sup> C	SMBUS
説明	I <sup>2</sup> C入力電圧遷移基準	SMBus 3.0入力電圧遷移基準

## ● ビット3,2 - SDAHOLD1,0 : SDA保持時間 (SDA Hold Time)

このビット領域はTWI従装置に対するSDA保持時間を選びます。「電気的特性」章もご覧ください。このビットは2元動作が許可されない場合に無視されます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	OFF	50NS	300NS	500NS
説明	保持時間OFF	短保持時間	代表的条件下のSMBus 2.0仕様に合致	全方面に渡ってSMBus仕様に合致

## ● ビット1 - FMPEN : 高速動作+許可 (FM Plus Enable)

このビットへの'1'書き込みはTWI従装置に対して1MHzバス速度を選びます。このビットは2元動作が許可されない場合に無視されます。

値	0	1
名称	OFF	ON
説明	標準動作または高速動作で動作	高速動作+で動作

## ● ビット0 - ENABLE : 二元制御許可 (Dual Control Enable)

このビットへの'1'書き込みがTWI二元動作構成を許可します。

## 29.5.3. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control)

名称 : DBGCTRL

変位 : +\$02

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行 (Debug Run)

詳細については「デバッグ操作」項を参照してください。

値	0	1
説明	TWIはデバッグ動作中断で停止し、事象を無視	TWIはCPU停止中のデバッグ動作中断で走行継続

## 29.5.4. MCTRLA - 主装置制御A (Host Control A)

名称 : MCTRLA

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RIEN	WIEN		QCEN	TIMEOUT1,0		SMEN	ENABLE
アクセス種別	R/W	R/W	R	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 - RIEN : 読み込み割り込み許可 (Read Interrupt Enable)

TWI主装置読み込み割り込みはこのビットとステータスレジスタ(CPU.SREG)の全体割り込み許可(I)ビットが'1'に設定される場合にだけ生成されます。

このビットへの'1'書き込みは主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタの主装置読み込み割り込み要求フラグ(RIF)での割り込みを許可します。RIFフラグは主装置読み込み割り込みが起きた時に'1'に設定されます。

## ● ビット6 - WIEN : 書き込み割り込み許可 (Write Interrupt Enable)

TWI主装置書き込み割り込みはこのビットとステータスレジスタ(CPU.SREG)の全体割り込み許可(I)ビットが'1'に設定される場合にだけ生成されます。

このビットへの'1'書き込みは主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタの主装置書き込み割り込み要求フラグ(WIF)での割り込みを許可します。WIFフラグは主装置書き込み割り込みが起きた時に'1'に設定されます。

#### ● ビット4 - QCEN : 迅速指令許可 (Quick Command Enable)

このビットへの'1'書き込みが**迅速指令動作**を許可します。迅速指令が許可されて従装置がアドレスに応答する場合、R/Wビットの値に応じて対応する**読み込み割り込み要求フラグ(RIF)**または**書き込み割り込み要求フラグ(WIF)**が設定(1)されます。

ソフトウェアは**主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**に(STOP)を書くことによって**停止条件**を発行しなければなりません。

#### ● ビット3,2 - TIMEOUT1,0 : 不活性バス制限時間 (Inactive Bus Timeout)

このビット領域に0以外の値を設定することが不活性バス制限時間監視を許可します。バスがTIMEOUT設定よりも長い間不活性の場合、バス状態論理回路は**アイドル状態**に移行します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLED	50US	100US	200US
説明	バス制限時間禁止 : I <sup>2</sup> C	50μs : SMBus	100μs	200μs

#### ● ビット1 - SMEN : 簡便動作許可 (Smart Mode Enable)

このビットへの'1'書き込みが**主装置簡便動作**を許可します。簡便動作が許可されると、**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**読み込み直後に主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの**応答動作(ACKACT)ビット**に存在する値が送られます。

#### ● ビット0 - ENABLE : 主装置許可 (Enable TWI Host)

このビットへの'1'書き込みがTWIを主装置として許可します。

### 29.5.5. MCTRLB - 主装置制御B (Host Control B)

名称 : MCTRLB

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					FLUSH	ACKACT	MCMD1,0	
アクセス種別	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 - FLUSH : 解消 (Flush)

このビットは主装置の内部状態を解消してバス状態を**アイドル**に変えます。TWIは**主装置アドレス(TWIn.MADDR)レジスタ**に先立って**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**が書かれる場合に無効なデータを送信します。解消後の主装置アドレス(TWIn.MADDR)と主装置データ(TWIn.MDATA)への書き込みはハードウェアがSCLバス空きを検出すると直ぐに処理を開始させます。

このビットへの'1'書き込みは主装置を禁止する1クロック周期間の瞬発(スロープ)信号を生成し、その後に主装置を再許可します。このビットへの'0'書き込みは無効です。

#### ● ビット2 - ACKACT : 応答動作 (Acknowledge Action)

ACKACT(注)ビットはバス状態とソフトウェア相互作用によって定義された或る条件下の主装置での動きを表します。**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの簡便動作許可(SMEN)ビット**が(1)に設定される場合、応答動作は**主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ**が読まれる時に実行されます。さもなければ指令が**主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビット領域**に書かれなければなりません。

主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタが書かれる時は主装置がデータを送っているため、応答動作は実行されません。

値	0	1
名称	ACK	NACK
説明	確認応答(ACK)送出	否認応答(NACK)送出

#### ● ビット1,0 - MCMD1,0 : 指令 (Command)

MCMD(注)ビット領域は瞬発(スロープ)信号です。このビット領域は常に'0'として読みます。

このビット領域への書き込みは下表によって定義されるような主装置動作を起動します。

注: ACKACTビットとMCMDビット領域は同時に書くことができます。

表29-2. 指令設定

MCMD1.0	群構成設定	データ方向	説明
0 0	NOACT	×	(予約)
0 1	REPSTART	×	再送開始条件が後続する応答動作を実行
1 0	RECVTRANS	$\bar{W}$	バイト書き込み操作が後続する応答動作(活動なし)を実行 (注)
		R	バイト読み込み操作が後続する応答動作を実行
1 1	STOP	×	停止条件発行が後続する応答動作を実行

注: 主装置書き込み操作に対して、TWIは主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタに書かれる新しいデータを待ちます。

注: ACKACTビットとMCMDビット領域は同時に書くことができます。

### 29.5.6. MSTATUS - 主装置状態 (Host Status)

名称 : MSTATUS

変位 : +\$05

リセット : \$00

特質 : -

正常なTWI操作はこのレジスタが純粋に読み込み専用レジスタと見做されることが必要とされます。状態フラグの何れかの解除(0)は主装置送信アドレス(TWIn.MADDR)レジスタ、主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタ、主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビットをアクセスすることによって間接的に行われます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RIF	WIF	CLKHOLD	RXACK	ARBLST	BUSERR	BUSSTATE1,0	
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 - RIF : 読み込み割り込み要求フラグ (Read Interrupt Flag)

このフラグは主装置バイト読み込み動作が完了された時に'1'に設定されます。

RIFフラグは主装置読み込み割り込みを生成することができます。主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの読み込み割り込み許可(RIEN)ビットの記述でより多くの情報を見つけてください。

このフラグは他のいくつかのTWIレジスタがアクセスされる時に自動的に解除(0)します。RIFフラグを解除(0)するのに以下の方法のどれをも使うことができます。

- これへの'1'書き込み
- 主装置アドレス(TWIn.MADDR)レジスタへの書き込み
- 主装置データ(TWIn.MDATA)レジスタの読み書き
- 主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの指令(MCMD)ビットへの書き込み

#### ● ビット6 - WIF : 書き込み割り込み要求フラグ (Write Interrupt Flag)

このフラグはどのバス異常の発生や調停敗退状況とも無関係に主装置のアドレス送信またはバイトの書き込みが完了された時に'1'に設定されます。

WIFフラグは主装置書き込み割り込みを生成することができます。主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの書き込み割り込み許可(WIEN)ビットの記述でより多くの情報を見つけてください。

このフラグはRIFフラグに対して上で記述された方法のどれかを使って解除(0)することができます。

#### ● ビット5 - CLKHOLD : クロック保持 (Clock Hold)

このビットが'1'として読まれると、それは主装置がTWIクロック(SCL)を現在Lowに保持してTWIクロック周期を引き延ばしていることを示します。

このフラグはRIFフラグに対して上で記述された方法のどれかを使って解除(0)することができます。

#### ● ビット4 - RXACK : 受信応答 (Received Acknowledge)

このビットが'0'として読まれると、それは従装置からの最新応答ビットが確認応答(ACK)で従装置がより多くのデータの準備が整っていることを示します。

このビットが'1'として読まれると、それは従装置からの最新応答ビットが否認応答(NACK)で従装置がより多くのデータの受信ができないかまたは必要でないことを示します。

### ● ビット3 - ARBLOST : 調停敗退 (Arbitration Lost)

このビットが'1'として読まれると、それは主装置が調停で敗れたことを示します。これは以下の場合の1つで起き得ます。

- Highデータ ビットを送信している間
- 否認応答(NACK)を送信している間
- 開始条件(S)を発行している間
- 再送開始条件(Sr)を発行している間

このフラグはRIFフラグに対して記述される方法の1つを選ぶことによって解除(0)することができます。

### ● ビット2 - BUSERR : バス異常 (Bus Error)

BUSERRフラグは不正なバス状態が起きたことを示します。不正なバス操作はTWIバス線で規約違反の開始条件(S)、再送開始条件(Sr)、停止条件(P)が検出された場合に検知されます。開始条件直後に続く停止条件が規約違反の一例です。

BUSERRフラグは以下の方法の1つを選ぶことによって解除(0)することができます。

- これへの'1'書き込み
- 主装置アドレス(TWIn.MADDR)レジスタへの書き込み

TWIバス異常検出部はTWI主装置回路の一部です。バス異常が検出されるには、TWI主装置が許可(主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタのTWI主装置許可(ENABLE)ビットが'1'に)されて、主クロック周波数がSCL周波数の最低4倍でなければなりません。

### ● ビット1,0 - BUSSTATE1,0 : バス状態フラグ (Bus State)

このビット領域は現在のTWIバス状態を示します。このビット領域への'01'書き込みはバス状態をアイドルに強制します。他の全ての値は無視されます。

値	00	01	10	11
名称	UNKNOWN	IDLE	OWNER	BUSY
説明	未知のバス状態 (未知)	アイドルのバス状態 (アイドル)	このTWIがバスを制御 (所有者)	多忙なバス状態 (使用中)

## 29.5.7. MBAUD - 主装置ホーレート (Host Baud Rate)

名称 : MBAUD

変位 : +\$06

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BAUD7~0							
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 - BAUD7~0 : ホーレート (Baud Rate)

このビット領域はSCLのHighとLowの時間を得るのに使われます。主装置が禁止されている間に書かれなければなりません。主装置は主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタのTWI主装置許可(ENABLE)ビットに'0'を書くことによって禁止されます。

SCLの周波数を計算する方法のより多くの情報については「クロック生成」項を参照してください。

## 29.5.8. MADDR - 主装置アドレス (Host Address)

名称 : MADDR

変位 : +\$07

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADDR7~0							
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 - ADDR7~0 : アドレス (Address)

このレジスタは外部従装置のアドレスを含みます。このビット領域が書かれると、TWIは開始条件を発行し、移動レジスタがバス状態に応じてバス上でバイト送信動作を実行します。

このレジスタは、読み込みアクセスがバス規約に関連するどれかの操作を実行するために主装置論理回路を起動しないため、進行中のバス活動での妨害を除いて何時でも読むことができます。

主装置制御論理回路は読み書き(R/W)方向ビットとしてこのレジスタのビット0を使います。

### 29.5.9. MDATA - 主装置データ (Host Data)

名称 : MDATA  
 変位 : +\$08  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DATA7~0							
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 - DATA7~0 : データ (Data)

このビット領域はバスでのデータ移動出力(送信)とバスから受け取るデータの移動入力(受信)に使われる主装置の物理的な移動レジスタへの直接アクセスを提供します。直接アクセスはバイト送信中にMDATAレジスタをアクセスすることができないことを意味します。

有効なデータの読み込みまたは送信されるべきデータの書き込みは**クロック保持(CLKHOLD)ビット**が'1'として読まれる時、または割り込み発生時にだけ成功することができます。

MDATAレジスタへの書き込みは主装置にバスでのバイト送信動作の実行を命じ、直後に従装置からの応答ビットを受け取ります。これは**主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの応答動作(ACKACT)ビット**と無関係です。書き込み操作は**主装置書き込み割り込み要求フラグ(WIF)**が'1'に設定されるのに先立って調停に勝つか負けるかに関わらず実行されます。

**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの簡便動作許可(SMEN)ビット**が'1'に設定され場合、MDATAレジスタへの読み込みアクセスは主装置に**応答動作の実行を命じます**。これは主装置制御B(TWIn.MCTRLB)レジスタの**応答動作(ACKACT)ビット**の設定に依存します。

**注:** ・ WIFとRIFのフラグはACKACTが'1'に設定されている間にMDATAレジスタが読まれる場合、自動的に解除(0)されます。

- ・ **調停敗退(ARBLOST)**と**バス異常(BUSERR)**のフラグは無変化のままです。
- ・ WIF、RIF、ARBLOST、BUSERRのフラグはCLKHOLDビットと共に全て**主装置状態(TWIn.MSTATUS)レジスタ**に配置されます。

### 29.5.10. SCTRLA - 従装置制御A (Client Control A)

名称 : SCTRLA  
 変位 : +\$09  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIEN	APIEN	PIEN			PMEN	SMEN	ENABLE
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7 - DIEN : データ割り込み許可 (Data Interrupt Enable)

このビットに'1'を書くことは従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの**データ割り込み要求フラグ(DIF)**での割り込みを許可します。

TWI従装置データ割り込みは、このビット、DIFフラグ、ステータスレジスタ(CPU.SREG)の**全体割り込み許可(I)ビット**が全て'1'の場合にだけ生成されます。

#### ● ビット6 - APIEN : アドレス/停止条件割り込み許可 (Address or Stop Interrupt Enable)

このビットに'1'を書くことは従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの**アドレス/停止条件割り込み要求フラグ(APIF)**での割り込みを許可します。

TWI従装置アドレス/停止条件割り込みは、このビット、APIFフラグ、**ステータスレジスタ(CPU.SREG)の全体割り込み許可(I)ビット**が全て'1'の場合にだけ生成されます。

**注:** ・ 従装置停止条件割り込みは割り込みフラグとベクタを従装置アドレス割り込みと共有します。

- ・ 従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタの**停止条件割り込み許可(PIEN)ビット**は停止条件でAPIFが設定されるために'1'を書かれなければなりません。
- ・ 割り込み発生時、TWI従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタの**アドレス/停止条件(AP)ビット**はアドレス一致か停止条件かのどちらかが割り込みを起こしたかを決めます。

#### ● ビット5 - PIEN : 停止条件割り込み許可 (Stop Interrupt Enable)

このビットに'1'を書くことは**停止条件発生時にTWI従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタのアドレス/停止条件割り込み要求フラグ(APIF)**が設定(1)されることを許します。主クロック周波数はこの機能を使うためにSCL周波数の最低4倍でなければなりません。

### ● ビット2 - PMEN : アドレス認識動作 (Address Recognition Mode)

このビットが'1'を書かれるなら、従装置アドレス一致論理回路は全ての受信アドレスに応答します。

このビットが'0'を書かれるなら、アドレス一致論理回路はどのアドレスを従装置のアドレスとして認識するかを決めるのに**従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタ**を使います。

### ● ビット1 - SMEN : 簡便動作許可 (Smart Mode Enable)

このビットに'1'を書くことが従装置**簡便動作**を許可します。簡便動作が許可されると、**従装置制御B(TWIn.SCTRLB)レジスタの指令(SCMD)ビット領域**への書き込みによる指令発行または**従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタ**のアクセスは割り込みをリセットして動作を続けます。簡便動作が禁止される場合、従装置は続けるのに先立って常に新しい従装置指令を待ちます。

### ● ビット0 - ENABLE : 従装置許可 (Enable TWI Client)

このビットに'1'を書くことがTWI従装置を許可します。

## 29.5.11. SCTRLB - 従装置制御B (Client Control B)

名称 : SCTRLB

変位 : +\$0A

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						ACKACT	SCMD1,0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

### ● ビット2 - ACKACT : 応答動作 (Acknowledge Action)

ACKACT(注)ビットはバス規約状態とソフトウェア相互作用によって定義される或る条件下でのTWI従装置の動きを示します。従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタの**簡便動作許可(SMEN)ビット**が'1'に設定される場合、応答動作は**従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタ**が読まれる時に実行されます、さもなければ従装置制御B(TWIn.SCTRLB)レジスタの指令(SCMD)ビット領域に指令が書かれなければなりません。

従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタが書かれる時は従装置がデータを送っているため、応答動作は実行されません。

値	0	1
名称	ACK	NACK
説明	確認応答(ACK)送出	否認応答(NACK)送出

### ● ビット1,0 - SCMD1,0 : 指令 (Command)

SCMD(注)ビット領域は瞬発(スロープ)信号です。このビット領域は常に'0'として読みます。

このビット領域への書き込みは次表によって定義されるような従装置動作を起動します。

表29-3. 指令設定

SCMD1,0	群構成設定	DIR(方向)	説明	
0 0	NOACT	×	活動なし	
0 1	-	×	(予約)	
1 0	COMPTRANS	$\bar{W}$	何れかの <b>開始条件/再送開始条件(S/Sr)待機</b> に先行する応答動作を実行	転送処理完了に使用
		R	何れかの <b>開始条件/再送開始条件(S/Sr)待機</b>	
1 1	RESPONSE	$\bar{W}$	次バートの受信に先行する応答動作を実行	
		R	アドレス割り込み要求フラグ(APIF)に対する応答で使用: 従装置データ割り込み(DIF)に先行する応答動作を実行	データ割り込み要求フラグ(DIF)に対する応答で使用: 応答動作が後続するバート読み取り操作を実行

注: ACKACTビットとSCMDビット領域は同時に書くことができます。ACKACTは指令が起動されるのに先立って更新されます。

### 29.5.12. SSTATUS - 従装置状態 (Client Status)

名称 : SSTATUS  
 変位 : +\$0B  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIF	APIF	CLKHOLD	RXACK	COLL	BUSERR	DIR	AP
アクセス種別	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ● ビット7 - DIF : データ割り込み要求フラグ (Data Interrupt Flag)

このフラグはバス異常なしで従装置のバイト送信またはバイト受信の操作が完了された時に'1'に設定されます。このフラグは衝突検出の場合での不成功転送処理で'1'に設定され得ます。衝突(COLL)ビットの記述でより多くの情報を見つけてください。

DIFフラグは従装置データ割り込みを生成することができます。従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタのデータ割り込み許可(DIEN)ビットの記述でより多くの情報を見つけてください。

このフラグは他のいくつかのTWIレジスタがアクセスされる時に自動的に解除(0)します。以下の方法のどれもDIFフラグを解除(0)することができます。

- ・ 従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタへの読み書き
- ・ 従装置制御B(TWIn.SCTRLB)レジスタの指令(SCMD)ビット領域への書き込み

#### ● ビット6 - APIF : アドレス/停止条件割り込み要求フラグ (Address or Stop Interrupt Flag)

このフラグは従装置アドレスが受信された時、または停止条件によって'1'に設定されます。

APIFフラグは従装置アドレス/停止条件割り込みを生成することができます。従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタのアドレス/停止条件割り込み許可(APIEN)ビットの記述でより多くの情報を見つけてください。

このフラグはDIFフラグに対して記述される方法のどれを使っても解除(0)することができます。

#### ● ビット5 - CLKHOLD : クロック保持 (Clock Hold)

このビットが'1'として読まれると、それは従装置がTWIクロック(SCL)を現在Lowに保持してTWIクロック周期を引き延ばしていることを示します。

このビットはアドレス(APIF)またはデータ(DIF)の割り込みが起こる時に'1'に設定されます。対応する割り込みのリセットが間接的にこのビットを'0'に設定します。

#### ● ビット4 - RXACK : 受信応答 (Received Acknowledge)

このビットが'0'として読まれると、それは主装置からの最新応答ビットが確認応答(ACK)だったことを示します。

このビットが'1'として読まれると、それは主装置からの最新応答ビットが否認応答(NACK)だったことを示します。

#### ● ビット3 - COLL : 衝突 (Collision)

このビットが'1'として読まれると、それは従装置が以下の1つを行うことができなかったことを示します。

- ・ SDAでのHighビット送信。不成功転送処理の内部完了のため、その最後でデータ割り込み要求フラグ(DIF)が'1'に設定されます。
- ・ 否認応答(NACK)ビット送信。従装置アドレス一致が既に起こされたために衝突が起き、結果としてアドレス/停止条件割り込み要求フラグ(APIF)が'1'に設定されます。

このビットへの'1'書き込みはCOLLフラグを解除(0)します。このフラグは何れかの開始条件(S)または再送開始条件(Sr)が検出される場合に自動的に解除(0)されます。

**注:** APIFとDIFのフラグは衝突を調べるのに使われ得る処理部の割り込みしか生成することができません。

#### ● ビット2 - BUSERR : バス異常 (Bus Error)

BUSERRフラグは不正なバス操作が起きたことを示します。不正なバス操作はTWIバス線で規約違反の開始条件(S)、再送開始条件(Sr)、停止条件(P)が検出された場合に検知されます。開始条件直後に続く停止条件が規約違反の1つの例です。

このビットへの'1'書き込みはBUSERRフラグを解除(0)します。

TWIバス異常検出部はTWI主装置回路の一部です。従装置によってバス異常が検出されるには、TWI二元動作またはTWI主装置が許可され、主クロック周波数がSCL周波数の最低4倍でなければなりません。TWI二元動作は二元動作制御構成設定(TWIn.DUALCTRL)レジスタの二元制御許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって許可することができます。TWI主装置は主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタのTWI主装置許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって許可することができます。

### ● ビット1 - DIR : 読み/書き方向 (Rw/Write Direction)

このビットは現在のTWIバス方向を示します。DIRビットはTWI主装置から受信した最後のアドレスパケットからの方向ビット値を反映します。

このビットが'1'として読まれると、それは主装置読み込み操作が進行中です。

このビットが'0'として読まれると、それは主装置書き込み操作が進行中です。

### ● ビット0 - AP : アドレス/停止条件 (Address or Stop)

TWI従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタのTWI従装置アドレス/停止条件割り込み要求フラグ(APIF)が'1'に設定されると、このビットは割り込みがアドレス検出のためかそれとも停止条件のためかを決めます。

値	0	1
名称	STOP	ADR
説明	停止条件がAPIFフラグでの割り込みを生成	アドレス検出がAPIFフラグでの割り込みを生成

### 29.5.13. SADDR - 従装置アドレス (Client Address)

名称 : SADDR

変位 : +\$0C

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADDR7~0							
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 - ADDR7~0 : アドレス (Address)

従装置アドレス(TWIn.ADDR)レジスタはTWI主装置がTWI従装置をアドレス指定したかを判断する従装置アドレス一致論理回路によって使われます。アドレスパケットが受信された場合、従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタのアドレス/停止条件割り込み要求フラグ(APIF)とアドレス/停止条件(AP)ビットが'1'に設定されます。

TWIn.SADDRレジスタの上位7ビット(ADDR7~1)は基本従装置アドレスを表します。

TWIn.SADDRレジスタの最下位ビット(ADDR0)はI<sup>2</sup>C規約の一斉呼び出しアドレス(\$00)の認識に使われます。この機能はこのビットが'1'に設定される時に許可されます。

### 29.5.14. SDATA - 従装置データ (Client Data)

名称 : SDATA

変位 : +\$0D

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DATA7~0							
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 - DATA7~0 : データ (Data)

このビット領域は従装置データレジスタへのアクセスを提供します。

有効なデータの読み込みまたは送信されるべきデータの書き込みは従装置によってSCLがLowに保持される時(即ち、CLKHOLDビットが'1'に設定される時)にだけ達成することができます。割り込みの使用または割り込み要求フラグの監視によってソフトウェアが現在の規約状態の経緯を保つ場合、SDATAレジスタをアクセスするのに先だって、ソフトウェアで従装置状態(TWIn.SSTATUS)レジスタのクロック保持(CLKHOLD)ビットを調べることは不要です。

従装置制御A(TWIn.SCTRLA)レジスタの簡便動作許可(SMEN)ビットが'1'に設定される場合、クロック保持が有効の時のSDATAレジスタ読み込みは従装置にバス操作を自動起動して応答動作を実行することを命じます。これは従装置制御B(TWIn.SCTRLB)レジスタの応答動作(ACKACT)ビットの設定に依存します。

### 29.5.15. SADDRMASK - 従装置アドレス遮蔽 (Client Address Mask)

名称 : SADDRMASK  
 変位 : +\$0E  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADDRMASK6~0							ADDREN
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7~1 - ADDRMASK6~0 : アドレス遮蔽 (Address Mask)

ADDRMASKビット領域はアドレス許可(ADDREN)ビットに依存して第2アドレス一致またはアドレス遮蔽のレジスタとして働きます。

ADDRENビットが'0'を書かれる場合、ADDRMASKビット領域は7ビット従装置アドレス遮蔽値を設定することができます。従装置アドレス遮蔽(TWIn.SADDRMASK)レジスタ内の各ビットはTWI従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタ内の対応するアドレスビットを遮蔽(禁止)することができます。この遮蔽のビットが'1'を書かれるなら、アドレス一致論理回路は着信アドレスビットと従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタ内の対応するビット間の比較を無視します。換言すると、遮蔽されたビットは常に一致し、アドレスの範囲の認識を可能にします。

ADDRENが'1'を書かれる場合、従装置アドレス遮蔽(TWIn.SADDRMASK)レジスタは従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタに加えて第2従装置アドレスを設定することができます。この動作では従装置が2つの独自のアドレス、従装置アドレス(TWIn.SADDR)レジスタでの1つと従装置アドレス遮蔽(TWIn.SADDRMASK)レジスタでの別の1つを持ちます。

#### ● ビット0 - ADDREN : アドレス許可 (Address Mask Enable)

このビットが'0'を書かれる場合、TWIn.SADDRMASKレジスタはTWIn.SADDRレジスタに対する遮蔽として働きます。

このビットが'1'を書かれる場合、従装置アドレス一致論理回路は従装置のTWIn.SADDRとTWIn.SADDRMASKのレジスタでの2つの独自のアドレスに応答します。

## 30. CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査

### 30.1. 特徴

- CRC-16-CCITTまたはCRC-32(IEEE 802.3)
- 全フラッシュメモリ領域、応用コード領域と/またはブート領域の検査
- 選択可能な不成功でのNMI起動
- 使用者構成設定可能な内部リセット初期化中の検査

### 30.2. 概要

巡回冗長検査(CRC)は重要な安全機能です。不揮発性メモリ(NVM)を走査してコードが正しいことを保証します。

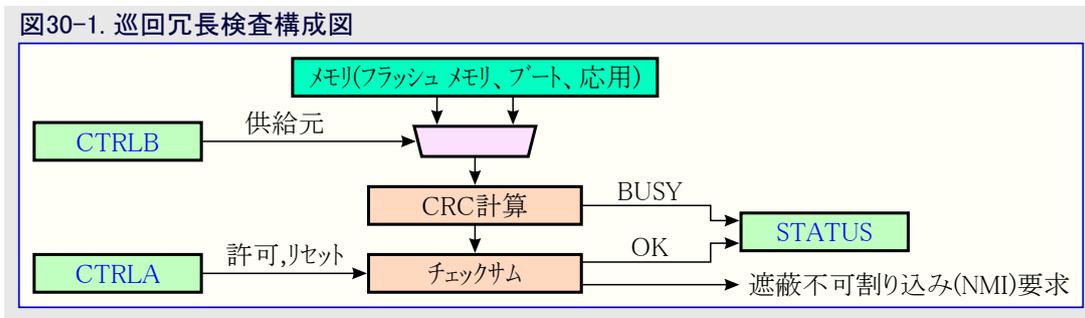
デバイスはフラッシュメモリ誤りが起きた場合、コードを実行しません。コード化けが起きていないことを保証することにより、危険な状況を起こし得る応用での潜在的な意図しない動きを避けることができます。CRC走査はフラッシュメモリ全体、ブート領域だけ、ブートと応用コードの両領域を走査するように設定することができます。

CRCは予め計算されたチェックサムと比較されるチェックサムを生成します。2つのチェックサムが一致する場合、フラッシュメモリはOKで、応用コードは走行を開始することができます。

状態(CRCSCAN.STATUS)レジスタの多忙(BUSY)ビットはCRC走査が進行中か否かを示す一方で、状態(CRCSCAN.STATUS)レジスタのCRC OK(OK)ビットはチェックサム比較が一致か否かを示します。

CRCSCANはチェックサムが一致しない場合に遮蔽不可割り込み(NMI)を生成させるように設定することができます。

#### 30.2.1. 構成図



### 30.3. 機能的な説明

#### 30.3.1. 初期化

ソフトウェア(またはデバッグ経由)でCRCを許可するには、

1. 望む供給元設定を選ぶために制御B(CRCSCAN.CTRLB)レジスタの供給元(SRC)ビット領域を書いてください。
2. 制御A(CRCSCAN.CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってCRCSCANを許可してください。
3. CRCは3周期後に開始します。CPUはこれらの3周期の間も実行を続けます。

CRC32とCRC16の選択はヒューズ設定を通して行われます。CRCSCANはデバイスがリセットを出る前にコードメモリ走査を実行するように構成設定することができます。この検査が失敗の場合、CPUは通常のコード実行の開始を許されません。この機能はシステム構成設定0(FUSE.SYSCFG0)ヒューズのCRC供給元(CRCSRC)領域によって許可されて制御されます(より多くの情報については「ヒューズ」項をご覧ください)。

CRCSCANが許可された場合、成功したCRC検査は以下の結果を持ちます。

- 通常コード実行開始
- CRCSCAN.CTRLAレジスタのENABLEビットが'1'です。
- CRCSCAN.CTRLBレジスタのCRC供給元(SRC)ビット領域は検査した領域を反映します。
- 状態(CRCSCAN.STATUS)レジスタのCRC OK(OK)フラグが'1'です。

CRCSCANが許可された場合、不成功のCRC検査は以下の結果を持ちます。

- 通常コード実行は開始せず、CPUはコード実行を停止します。
- CRCSCAN.CTRLAレジスタのENABLEビットが'1'です。
- CRCSCAN.CTRLBレジスタのSRCビット領域は検査した領域を反映します。
- CRCSCAN.STATUSレジスタのOKフラグが'0'です。
- この状況はデバッグインターフェースを用いて観察することができます。

### 30.3.2. 動作

動作時、CRCSCANはフラッシュメモリへのアクセス優先権を持ち、完了されるまでCPUを停止します。

CRCは各16ビット取得に対して3クロック周期使います。CRCSCANは始動から走査を行うように構成設定することができます。

任意長のデータ塊に適用されるnビットCRCは長さでnビットまでのどんな単一変更(連続誤り)も検出します。より長い連続誤りについては $1-2^{-n}$ 分の1が検出されます。

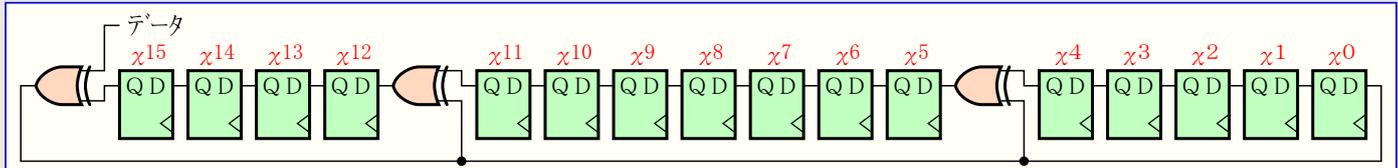
CRC生成部はCRC-16-CCITTとCRC-32(IEEE 802.3)を支援します。

多項式任意選択は次のとおりです。

- CRC-16-CCITT :  $X^{16}+X^{12}+X^5+1$
- CRC-32 :  $X^{32}+X^{26}+X^{23}+X^{22}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^8+X^7+X^5+X^4+X^2+X+1$

CRCは検査に対して設定された領域の内容をバイト0で始めてバイト単位で読み、バイト毎に新しいチェックサムを生成します。バイトは最上位ビットから始めて下で描かれるような移動レジスタを通して送られます。領域の最後のバイトが正しいチェックサムを含む場合、CRCは(検査に)合格します。チェックサムがどう配置されるかについては「30.3.2.1. チェックサム」をご覧ください。チェックサムレジスタの初期値は\$FFFFです。

図30-2. CRC-16実装説明



#### 30.3.2.1. チェックサム

検査される領域の最後の位置に予め計算されたチェックサムが存在しなければなりません。ブート(BOOT)領域が検査されるべきなら、チェックサムはブート領域の最後の(2または4)バイトに保存されなければなりません。応用(APPLICATION)とフラッシュ全体に対しても同様です。表30-1と表30-2は各種領域に対してチェックサムがどう格納されなければならないかを明確に示します。どの領域を検査するかを構成設定する方法については制御B(CRCSCAN.CTRLB)レジスタ記述を参照してください。

表30-1. フラッシュメモリでの予め計算されたCRC16用チェックサムの配置

検査する領域	チェックサム(ビット15~8)	チェックサム(ビット7~0)
ブート領域 (BOOT)	BOOTEND-1	BOOTEND
ブート領域(BOOT)と 応用領域(APPLICATION)	CODEEND-1	CODEEND
全フラッシュメモリ	FLASHEND-1	FLASHEND

表30-2. フラッシュメモリでの予め計算されたCRC32用チェックサムの配置

検査する領域	チェックサム(ビット31~24)	チェックサム(ビット23~16)	チェックサム(ビット15~8)	チェックサム(ビット7~0)
ブート領域 (BOOT)	BOOTEND	BOOTEND-1	BOOTEND-2	BOOTEND-3
ブート領域(BOOT)と 応用領域(APPLICATION)	CODEEND	CODEEND-1	CODEEND-2	CODEEND-3
全フラッシュメモリ	FLASHEND	FLASHEND-1	FLASHEND-2	FLASHEND-3

### 30.3.3. 割り込み

表30-3. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
NMI	遮蔽不可割り込み	CRC誤り

割り込み条件が起こると、状態(CRCSCAN.STATUS)レジスタのCRC OK(OK)フラグが'0'に解除されます。

遮蔽不可割り込み(NMI)は制御A(CRCSCAN.CTRLA)レジスタの対応する許可(NMIEN)ビットに'1'を書くことによって許可されますが、システムリセットでだけ禁止することができます。NMIはCRCSCAN.STATUSレジスタのOKフラグが解除(0)され、NMIENビットが'1'の時に生成されます。NMI要求はシステムリセットまで活性に留まり、禁止することができません。

NMIは例え割り込みが全体的に許可されなくても起動することができます。

### 30.3.4. 休止形態動作

全てのCPU休止動作でCRCSCANは停止され、CPUが起き上がる時に動作を再開します。

CRCSCANは**制御A(CRCSCAN.CTRLA)レジスタのCRCSCAN許可(ENABLE)ビット**書き込み後3周期で動作を開始します。これらの3周期の間に休止動作へ移行することが可能です。この場合、

1. CRCSCANはCPUが起き上がるまで開始しません。
2. CRCSCANが終了された後に何れかの割り込み処理部を実行します。

### 30.3.5. デバッグ操作

デバッグが周辺機能やメモリ位置を読み書きする時は必ずCRCSCANが禁止されます。

デバッグがデバイスをアクセスする時にCRCSCANが多忙の場合、CRCSCANはデバッグが内部レジスタをアクセスする時、またはデバッグが切断時に進行中の動作を再始動します。

**状態(CRCSCAN.STATUS)レジスタの多忙(BUSY)ビット**はデバッグがこれを禁止にさせた時にCRCSCANが多忙だった場合に'1'を読みますが、デバッグがこれを禁止を保つ限り、どの領域も積極的に検査しません。CRCSCANを禁止することなくデバッグによって読むことができる同期したCRC状態ビットがデバッグの内部レジスタ空間にあります。デバッグの内部CRC状態ビット読み込みはCRCSCANが許可されることを確実にします。

デバッグから直接CRCSCAN.STATUSレジスタ書き込みが可能なら、

- CRCSCAN.STATUSレジスタ内のBUSYビット
  - BUSYビットに'0'を書くことは(デバッグがそれを許す時にその動作を再始動しないように)進行中のCRC動作を止めます。
  - BUSYビットに'1'を書くことは**制御B(CRCSCAN.CTRLB)レジスタ**の設定で単一検査をCRCに始めさせますが、デバッグがそれを許すまで動きません。

CRCSCAN.STATUSレジスタのBUSYビットが'1'である限り、**制御A(CRCSCAN.CTRLA)レジスタの遮蔽不可割り込み許可(NMIEN)ビット**とCRCSCAN.CTRLBレジスタは変えることができません。

- CRCSCAN.STATUSレジスタ内のOKビット
  - OKビットに'0'を書くことはCRCSCAN.CTRLAレジスタのNMIENビットが'1'の場合に遮蔽不可割り込み(NMI)を起動することができます。NMIが起動された場合、CRCSCANへの書き込みが許されません。
  - OKビットに'1'を書くことはCRCSCAN.STATUSレジスタのBUSYビットが'0'の時にOKビットを'1'として読ませます。

デバッグからCRCSCAN.CTRLAとCRCSCAN.CTRLBのレジスタ書き込みはCPUからの書き込みと同様に扱われます。

### 30.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	RESET						NMIEN	ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0							SRC1,0	
+\$02	STATUS	7~0							OK	BUSY

## 30.5. レジスタ説明

### 30.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

NMIが起動されてしまった場合、このレジスタは書き込み不可です。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RESET						NMIEN	ENABLE
アクセス種別	R/W	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7 – RESET : CRCSCANリセット (Reset CRCSCAN)

このビットに'1'を書くことはCRCSCANをリセットします。CRCSCANの制御と状態(CRCSCAN.CTRLA、CRCSCAN.CTRLB、CRCSCAN.STATUS)レジスタはRESETビットが'1'を書かれた後の1クロック周期で解消されます。

NMI起動許可(NMIEN)が'0'なら、このビットはCRCSCANが多忙(CRCSCAN.STATUSレジスタの多忙(BUSY)ビットが'1')と多忙でない(BUSYビットが'0')の両方の時に書き込み可能で、直ちに有効になります。

NMIENが'1'なら、このビットはCRCSCANが多忙でない(CRCSCAN.STATUSレジスタの多忙(BUSY)ビットが'0')の時にだけ書き込み可能です。

RESETビットは瞬発(ストロブ)ビットです。

#### ● ビット1 – NMIEN : NMI起動許可 (Enable NMI Trigger)

このビットが'1'を書かれると、どのCRC不成功もNMIを起動します。

これはシステムリセットによってのみ解除(0)することができ、それはリセット(RESET)ビットへの書き込みによって解除(0)されません。

このビットはCRCSCANが多忙でない(CRCSCAN.STATUSレジスタの多忙(BUSY)ビットが'0')の時に'1'へ書くことができます。

#### ● ビット0 – ENABLE : CRCSCAN許可 (Enable CRCSCAN)

このビットに'1'を書くことが現在の設定でCRCSCANを許可します。これはCRC検査が完了した後でも'1'に留まりますが、再びこれに'1'を書くことが新しい検査を開始します。

このビットに'0'を書くことは無効です。

CRCSCANはCPUに通常のコード実行を始めさせる前にフラッシュメモリ領域を確認するため、マイクロコントローラ(MCU)始動手順中に走査を動かすように構成設定することができます(「30.3.1. 初期化」項をご覧ください)。この機能が許可された場合、通常のコード実行が始まると、ENABLEビットは'1'として読みます。

CRCSCANが進行中の検査で多忙かどうかを知るには、状態(CRCSCAN.STATUS)レジスタの多忙(BUSY)ビットをポーリングしてください。

### 30.5.2. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

制御レジスタはCRCに対する供給元設定を含みます。これはCRCSCANが多忙の時、またはNMIが起動されてしまった時に書き込み不可です。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							SRC1,0	
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1,0 – SRC1,0 : CRC供給元 (CRC Source)

SRCビット領域はCRCSCANによって検査されるべきフラッシュメモリの領域を選びます。領域の大きさを構成設定するには「ヒューズ」項を参照してください。

CPUを開始させる前にフラッシュメモリ領域を確認するために、内部リセット初期化中にCRCSCANを許可することができます(「ヒューズ」項をご覧ください)。CRCSCANが内部リセット初期化中に許可された場合、通常のコード実行が始まると、(構成設定に依存して)FLASH、BOOTAPP、BOOTとして読み出されます。

値	00	01	10	11
名称	FLASH	BOOTAPP	BOOT	-
説明	CRCはフラッシュメモリ全体(ブート、応用コード、応用データの領域)で実行されます。	CRCはフラッシュのブートと応用コードの領域で実行されます。	CRCはフラッシュのブート領域で実行されます。	(予約)

### 30.5.3. STATUS – 状態 (Status)

名称 : STATUS  
変位 : +\$02  
リセット : \$02  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							OK	BUSY
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	1	0

#### ● ビット1 – OK : CRC OK (CRC OK)

このビットが'1'として読まれると、直前のCRCは成功裏に完了しました。このビットはCRC走査が走る前に既定で'1'に設定されます。このビットは多忙(BUSY)が'0'でなければ無効です。

#### ● ビット0 – BUSY : CRC多忙 (CRC Busy)

このビットが'1'として読まれると、CRCSCANは多忙です。単位部が多忙である限り、制御レジスタへのアクセスは制限されます。

## 31. CCL – 構成設定可能な注文論理回路

### 31.1. 特徴

- 汎用PCB設計用接続用論理回路(glue logic)
- 4つの設定可能な参照表(LUT)
- 組み合わせ論理回路機能：3入力までの機能の全ての論理式
- 逐次制御器論理回路機能
  - 門付きDフリップフロップ
  - JKフリップフロップ
  - 門付きDラッチ
  - RSラッチ
- 柔軟な参照表(LUT)入力選択
  - 入出力
  - 事象
  - 後続LUT出力
  - 内部周辺機能
    - アナログ比較器
    - タイマ/カウンタ
    - USART
    - SPI
- システムクロックまたは他の周辺機能によるクロック駆動
- 入出力ピンまたは事象システムへ接続可能な出力
- 各LUT出力で利用可能な任意選択の同期化器、濾波器、端検出器
- 各LUT出力からの任意選択割り込み生成
  - 上昇端
  - 下降端
  - 両端

### 31.2. 概要

構成設定可能な注文論理回路(CCL:Configurable Custom Logic)はデバイスのピン、事象、他の内部周辺機能に接続することができる設定可能な論理回路周辺機能です。CCLはデバイスの周辺機能と外部デバイス間の'接続用論理回路(glue logic)'として扱うことができます。CCLは外部の論理回路部品の必要を無くすことができ、CPUと無関係に応用の最も時間が重要な部分を処理するためにコアから独立した周辺機能と組み合わせることによって実時間制限を克服することで設計者を手助けすることもできます。

CCL周辺機能はいくつかの参照表(LUT:LookUp Table)を提供します。各LUTは3つの入力、真理値表、同期部/濾波器、端検出器から成ります。各LUTは3つの入力を持つユーザー設定可能な論理式として出力を生成することができます。出力は組み合わせ的な論理回路を用いて入力から生成され、スパイクを取り除くために濾波することができます。CCLはLUT出力での変化で割り込み要求を生成するように構成設定することができます。

隣接LUTは特定動作を実行するように結合することができます。逐次制御器は複雑な波形を生成するのに使うことができます。

#### 31.2.1. 構成図

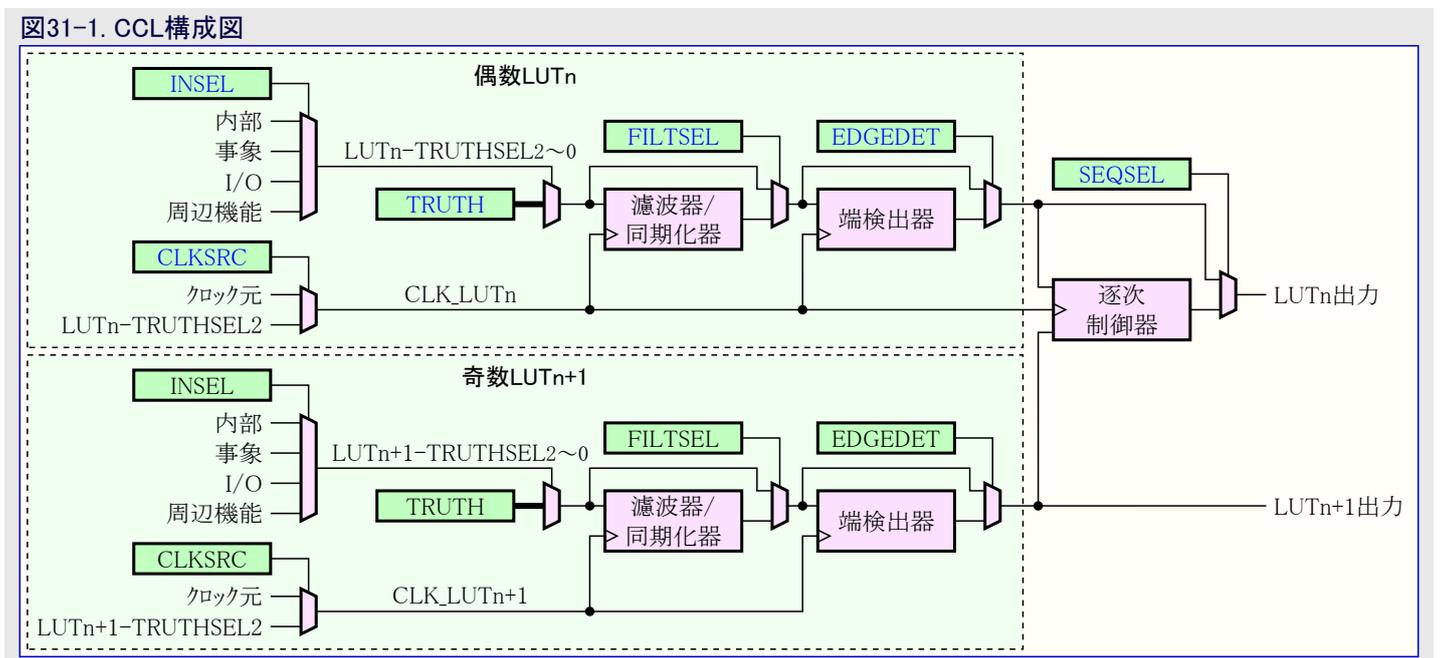


表31-1. 逐次制御器とLUTの接続

逐次制御器	偶数と奇数のLUT
SEQ0	LUT0とLUT1
SEQ1	LUT2とLUT3

### 31.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
LUTn-OUT	デジタル出力	参照表からの出力
LUTn-IN2~0	デジタル入力	参照表への入力。LUTn-IN2はCLK_LUTnとして取り扱うことができます。

この周辺機能に対するピン割り当ての詳細については「入出力多重化と考察」章を参照してください。1つの信号を様々なピンに割り当てることができます。

#### 31.2.2.1. CCL入力選択多重器

CCL LUTへの入力として以下の周辺機能出力が利用可能です。

値	入力元	INSEL03~0	INSEL13~0	INSEL23~0
0 0 0 0 (\$0)	MASK	なし (遮蔽した入力)		
0 0 0 1 (\$1)	FEEDBACK	LUTn (帰還入力)		
0 0 1 0 (\$2)	LINK	LUTn+1 (連結)		
0 0 1 1 (\$3)	EVENTA	EVENTA (事象入力元A)		
0 1 0 0 (\$4)	EVENTB	EVENTB (事象入力元B)		
0 1 0 1 (\$5)	INn	LUTn-IN0	LUTn-IN1	LUTn-IN2
0 1 1 0 (\$6)	AC	AC0のOUT	AC1のOUT	
0 1 1 1 (\$7)	USARTn (注1)	USART0のTXD		
1 0 0 0 (\$8)	SPI0 (注2)	SPI0のMOSI		SPI0のSCK
1 0 0 1 (\$9)	TCE0	TCE0のWO0	TCE0のWO1	TCE0のWO2
1 0 1 0 (\$A)	TCBn	TCB0のWO	TCB1のWO	
1 0 1 1 (\$B)	TCF0	TCF0のWO0	TCF0のWO1	TCF0のWO2
1 1 0 0 (\$C)	WEX0	BLANK		
その他	-	(予約)		

注1: CCLへのUSART接続は非同期/同期USART主装置動作でだけ動きます。

注2: CCLへのSPI接続は主装置SPI動作でだけ動きます。

### 31.3. 機能的な説明

#### 31.3.1. 動作

##### 31.3.1.1. 許可保護される構成設定

LUTと逐次制御器の構成設定は許可保護され、対応する偶数LUTが禁止(LUTn制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタのLUT許可(ENABLE)=0、n=0,2)される時にだけそれらを構成設定することができることを意味します。これは(再)構成設定下でCCLからの望まれない出力を抑えるための機構です。

以下のビットとレジスタが許可保護されます。

- 逐次制御器制御n(CCL.SEQCTRLn)レジスタの逐次制御器選択(SEQSELn)
- CCL.LUTnCTRLAレジスタのENABLEビットを除くLUTn制御x(CCL.LUTnCTRLx)レジスタ
- 真理値表n(CCL.TRUTHn)レジスタ

CCL.LUTnCTRLxレジスタの許可保護されたビットはCCL.LUTnCTRLAレジスタのENABLEが'1'を書かれるのと同じ時に書くことができますが、ENABLEが'0'を書かれるのと同じ時ではありません。

許可保護はレジスタ説明で許可保護された特質によって示されます。

### 31.3.1.2. 許可、禁止、リセット

CCLは制御A(CCL.CTRLA)レジスタの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって許可されます。CCLはそのENABLEビットに'0'を書くことによって禁止されます。

各LUTはLUT制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタのLUT許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによって許可されます。各LUTはCCL.LUTnCTRLAレジスタのENABLEビットに'0'を書くことによって禁止されます。

### 31.3.1.3. 真理値表論理回路

各LUTの真理値表は3つの入力(LUTn-TRUTHSEL2~0)までの関数として組み合わせ論理出力を生成することができます。1つのLUTを使ってどの3入力ブール論理関数の実現も可能です。

以下のようなLUT制御レジスタの入力供給元選択ビット領域を書くことによって真理値表入力(LUTn-TRUTHSEL2~0)を構成設定してください。

- LUTn制御B(CCL.LUTnCTRLB)レジスタの入力0供給元選択(INSEL0)
- CCL.LUTnCTRLBレジスタの入力1供給元選択(INSEL1)
- LUTn制御C(CCL.LUTnCTRLC)レジスタの入力2供給元選択(INSEL2)

入力(LUTn-TRUTHSEL2~0)ビットの各組み合わせは下表で示されるように、真理値表(CCL.TRUTHn)レジスタ内の1ビットに対応します。

図31-2. LUTの真理値表出力値選択

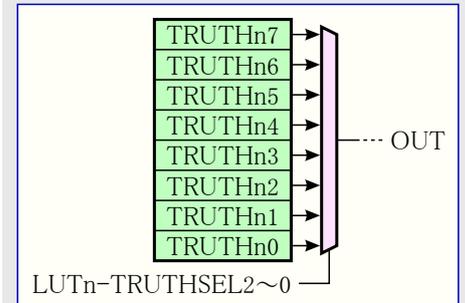


表31-2. LUTの真理値表

LUTn-TRUTHSEL2	0	0	0	0	1	1	1	1
LUTn-TRUTHSEL1	0	0	1	1	0	0	1	1
LUTn-TRUTHSEL0	0	1	0	1	0	1	0	1
OUT	TRUTHn0	TRUTHn1	TRUTHn2	TRUTHn3	TRUTHn4	TRUTHn5	TRUTHn6	TRUTHn7



**重要:** 論理関数が作成される時にOFFに (Lowに結合)される未使用入力を考慮してください。

### 例31-1. CCL.TRUTHn=\$42に対するLUT出力

CCL.TRUTHnが\$42に構成設定される場合、LUT出力は入力が'001'または'110'の時に'1'で、他のどの組み合わせの入力に対しても'0'です。

### 31.3.1.4. 真理値表入力選択

#### 入力概要

入力は個別に以下のようにすることができます。

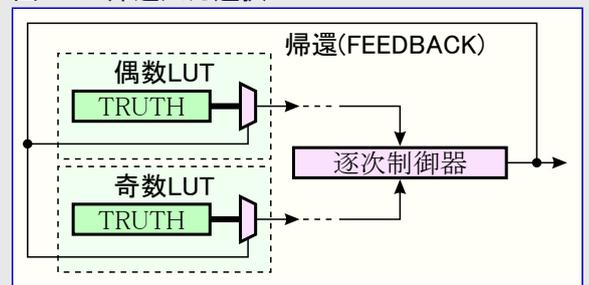
- OFF
- 周辺機能による駆動
- 事象システムからの内部事象による駆動
- 入出力ピン入力による駆動
- 他のLUTによる駆動

#### 内部帰還入力 (FEEDBACK)

逐次制御器からの出力はそれが接続される2つのLUTに対する入力元として使うことができます。

選択(LUTnCTRLxレジスタのINSELy='0001'(FEEDBACK))されると、逐次制御器(SEQ)出力が対応するLUTに対する入力として使われます。

図31-3. 帰還入力選択



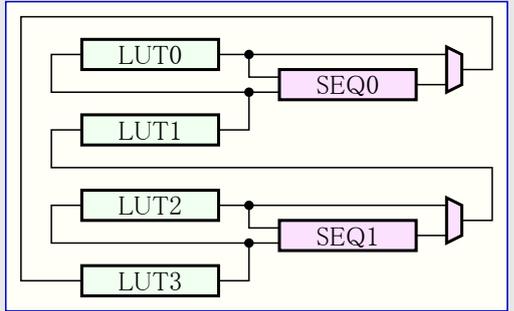
## 連結LUT (LINK)

LINK入力任意選択(INSELY='0010')選択時、次のLUTの直接出力がLUTの入力として使われます。一般的に、LUT[n+1]がLUT[n]の入力に連結されます。LUT0は最後のLUTの入力に連結されます。

### 例31-2. 4つのLUTを持つデバイスでの全LUT連結

- LUT1はLUT0用入力です。
- LUT2はLUT1用入力です。
- LUT3はLUT2用入力です。
- LUT0はLUT3用入力です(回り込み丸め)。

図31-4. 連結LUT入力選択



## 事象入力選択 (EVENTx)

事象システムからの事象はLUTn制御B/C(CCL.LUTnCTRLBとCCL.LUTnCTRLC)レジスタのINSELYビット群へ書くことによってLUTへの入力として使うことができます。

## I/Oピン入力 (IO)

IO(INSELY='0101')任意選択選択時、LUT入力是对应するI/Oピンに接続されます。LUTn-INyピンが配置される場所についてのより多くの詳細に関しては「入出力多重化と考察」章を参照してください。

## 周辺機能

各LUTの3つの入力線での各種周辺機能はLUTn制御B/C(CCL.LUTnCTRLBとCCL.LUTnCTRLC)レジスタの入力選択y(INSELY)ビットへ書くことによって選ばれます。

### 31.3.1.5. 濾波器

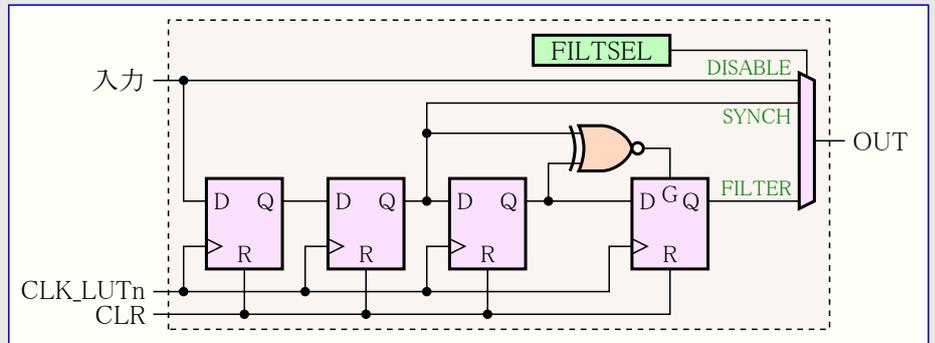
既定によって、LUT出力はLUT入力の組み合わせ関数です。これは入力が値を変える時にいくつかの短い不具合を起し得ます。これらの不具合は応用の要求によって求められた場合に濾波器を通してクロック駆動することで取り除くことができます。

LUTn制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタの濾波器選択(FILTSEL)ビットはデジタル濾波器任意選択を定義します。

FILTSEL='10'(FILTER)時、2つを超えるCLK\_LUTn正端間を持続する入力だけが門付きフリップフロップを通して出力へ渡されます。この出力は4 CLK\_LUTn正端によって遅らされます。

対応するLUTが禁止された後の1クロック周期後に全ての内部濾波器論理回路が解消されます。

図31-5. 濾波器



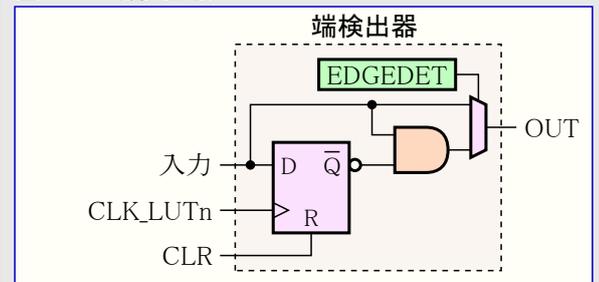
### 31.3.1.6. 端検出器

端検出器はそれの入力で上昇端を検出する時にパルスを生ずるのに使うことができます。下降端を検出するため、反転する出力を提供するように真理値表(CCL.TRUTHnレジスタ)を設定することができます。

端検出器はLUTn制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタの端検出(EDGEDET)ビットに'1'を書くことによって許可されます。予測不能な動きを避けるため、更に有効な濾波器任意選択が許可されなければなりません。

端検出はCCL.LUTnCTRLAレジスタのEDGEDETに'0'を書くことによって禁止されます。LUT禁止後、対応する内部端検出器論理回路は1クロック周期後に解消されます。

図31-6. 端検出器



### 31.3.1.7. 逐次制御器論理回路

各LUT対は逐次制御器に接続することができます。逐次制御器はDフリップフロップ、JKフリップフロップ、門付きDラッチ、RSラッチのどれかとして機能することができます。この機能は**逐次制御器制御n(CCL.SEQCTRLn)レジスタの逐次制御器選択(SEQSELn)ビット群**を書くことによって選ばれます。

逐次制御器は構成設定に依存して、LUT、濾波器、端検出器のどれかから入力を受け取ります。

逐次制御器は対応する偶数LUTと同じクロック元によってクロック駆動されます。このクロック元は**LUTn制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタのクロック元選択(CLKSRC)ビット群**によって選ばれます。

フリップフロップ出力(OUT)はクロックの上昇端で更新されます。偶数LUTが禁止されると、ラッチは非同期に解消されます。フリップフロップリセット信号(R)は1クロック周期間許可され続けます。

#### 門付きDフリップフロップ (DFF)

D入力は偶数LUT出力によって駆動され、G入力は奇数LUT出力によって駆動されます。

図31-7. Dフリップフロップ

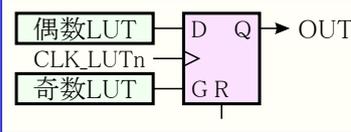


表31-3. DFF特性

R	G	D	OUT
1	x	x	解除(0)
0	1	1	設定(1)
0	1	0	解除(0)
0	0	x	状態保持(無変化)

#### JKDフリップフロップ (JK)

J入力は偶数LUT出力によって駆動され、K入力は奇数LUT出力によって駆動されます。

図31-8. JKフリップフロップ

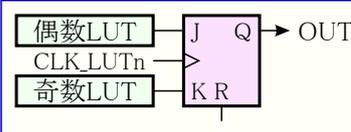


表31-4. JK特性

R	J	K	OUT
1	x	x	解除(0)
0	0	0	状態保持(無変化)
0	0	1	解除(0)
0	1	0	設定(1)
0	1	1	逆へ切り替え

#### 門付きDラッチ (DLATCH)

D入力は偶数LUT出力によって駆動され、G入力は奇数LUT出力によって駆動されます。

図31-9. Dラッチ

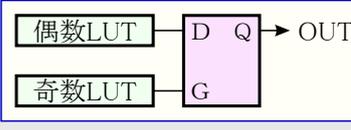


表31-5. Dラッチ特性

G	D	OUT
0	x	状態保持(無変化)
1	0	解除(0)
1	1	設定(1)

#### RSラッチ (RS)

S入力は偶数LUT出力によって駆動され、R入力は奇数LUT出力によって駆動されます。

図31-10. RSラッチ

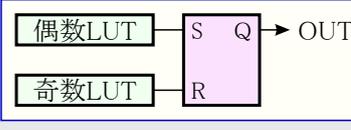


表31-6. RSラッチ特性

S	R	OUT
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

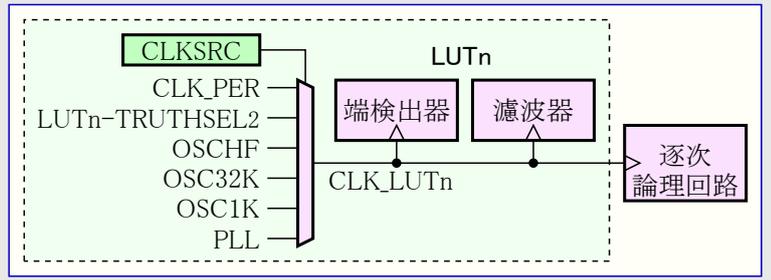
### 31.3.1.8. クロック元設定

濾波器、端検出器、逐次制御器は既定で周辺機能クロック(CLK\_PER)によってクロック駆動されます。それらの区部をクロック(下図のCLK\_LUTn)駆動するのに他のクロック入力を使うことも可能です。これはLUTn制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタのクロック元選択(CLKSRC)ビットを書くことによって構成設定されます。

クロック元選択(CLKSRC)ビットが'001'を書かれると、対応する濾波器と端検出器をクロック(CLK\_LUTn)駆動するのにLUTn-TRUTHSEL2が使われます。逐次制御器は対の偶数LUTのCLK\_LUTnによってクロック駆動されます。CLKSRCビットが'001'を書かれると、真理値(TRUTH)表でLUTn-TRUTHSEL2はOFF(='0')として扱われます。

CCL周辺機能は周辺機能からの未定義出力を避けるためにクロック元を変更する間は禁止されなければなりません。

図31-11. クロック元設定



### 31.3.2. 割り込み

表31-7. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
CCL	CCL割り込み	CCL.INTCTRLnレジスタの割り込み動作形態(INTMODEn)ビットによって構成設定されたようにINTFLAGSのINTnが掲げられる。

割り込み条件が起ると、周辺機能の割り込み要求フラグ(CCL.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。割り込み元は周辺機能の割り込み制御(CCL.INTCTRL0)レジスタで対応する許可ビットを書くことによって許可または禁止にされます。割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については周辺機能のINTFLAGSレジスタをご覧ください。

いくつかの割り込み要求条件が割り込みベクタによって支援される時に、割り込み要求は割り込み制御器に対して1つの結合された割り込み要求へ共に論理和(OR)されます。使用者はどの割り込み条件が存在するかを決めるために周辺機能のINTFLAGSレジスタを読まなければなりません。

### 31.3.3. 事象

CCLは下表で示される事象を生成することができます。

表31-8. CCLでの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
CCL	LUTn	LUT出力レベル	レベル	非同期	CCL構成設定に依存

CCLは入力事象での検出と活動のために下の事象使用部を持ちます。

表31-9. CCLでの事象使用部

使用部名		説明	入力検出	同期/非同期
周辺機能	入力			
CCL	LUTn	LUT入力xまたはクロック信号	検出なし	非同期

事象信号は同期化または入力検出の論理回路なしに直接LUTに渡されます。

各LUTに対して2つの事象使用部が利用可能です。それらはLUTnの制御Bと制御C(CCL.LUTnCTRLBまたはCCL.LUTnCTRLC)レジスタのINSELnビット群を書くことによってLUTn入力として選ぶことができます。

事象型とEVSYS構成設定に関するより多くの詳細については「EVSYS – 事象システム」章を参照してください。

### 31.3.4. 休止形態動作

制御A(CCL.CTRLA)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットに'1'を書くことは選んだクロック元にスタンバイ休止動作で許可されることを許します。

RUNSTDBYビットが'0'の場合、周辺機能クロックはスタンバイ休止動作で禁止されます。濾波器、端検出器、または逐次制御器が許可される場合、スタンバイ休止動作でLUT出力は'0'を強制されます。アイドル休止動作では、RUNSTDBYビットと関係なく、真理値(TRUTH)表復号部は動作を続け、それによってLUT出力が更新されます。

LUTn制御A(CCL.LUTnCTRLA)レジスタのクロック元選択(CLKSRC)が'001'を書かれる場合、LUTn-TRUTHSEL2が常に濾波器、端検出器、逐次制御器をクロック駆動します。休止動作形態でのLUTn-TRUTHSEL2クロックの有効性は使う周辺機能の休止設定に依存します。

## 31.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0		RUNSTDBY						ENABLE
+\$01	SEQCTRL0	7~0						SEQSEL03~0		
+\$02	SEQCTRL1	7~0						SEQSEL13~0		
+\$03 ~ +\$04	予約									
+\$05	INTCTRL0	7~0	INTMODE31,0		INTMODE21,0		INTMODE11,0		INTMODE01,0	
+\$06	予約									
+\$07	INTFLAGS	7~0					INT3	INT2	INT1	INT0
+\$08	LUT0CTRLA	7~0	EDGEDET	OUTEN	FILTSEL1,0			CLKSRC2~0		ENABLE
+\$09	LUT0CTRLB	7~0						INSEL03~0		
+\$0A	LUT0CTRLC	7~0						INSEL23~0		
+\$0B	TRUTH0	7~0						TRUTH07~0		
+\$0C	LUT1CTRLA	7~0	EDGEDET	OUTEN	FILTSEL1,0			CLKSRC2~0		ENABLE
+\$0D	LUT1CTRLB	7~0						INSEL03~0		
+\$0E	LUT1CTRLC	7~0						INSEL23~0		
+\$0F	TRUTH1	7~0						TRUTH17~0		
+\$10	LUT2CTRLA	7~0	EDGEDET	OUTEN	FILTSEL1,0			CLKSRC2~0		ENABLE
+\$11	LUT2CTRLB	7~0						INSEL03~0		
+\$12	LUT2CTRLC	7~0						INSEL23~0		
+\$13	TRUTH2	7~0						TRUTH27~0		
+\$14	LUT3CTRLA	7~0	EDGEDET	OUTEN	FILTSEL1,0			CLKSRC2~0		ENABLE
+\$15	LUT3CTRLB	7~0						INSEL03~0		
+\$16	LUT3CTRLC	7~0						INSEL23~0		
+\$17	TRUTH3	7~0						TRUTH37~0		

## 31.5. レジスタ説明

### 31.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$00  
リセット : \$00  
特質 : -

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

- ビット6 – RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run in Standby)

このビットに '1' を書くことがこの周辺機能にスタンバイ休止動作での走行を許可します。

値	0	1
説明	CCLはスタンバイ休止動作で動きません。	CCLはスタンバイ休止動作で動きます。

- ビット0 – ENABLE : 許可 (Enable)

値	0	1
説明	周辺機能禁止	周辺機能許可

### 31.5.2. SEQCTRLn – 逐次制御器制御n (Sequencer Control n)

名称 : SEQCTRL0 : SEQCTRL1  
変位 : +\$01 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : 許可保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					SEQSELn3~0			
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7~4,3~0 – SEQSELn3~0 : 逐次制御器選択 (Sequencer Selection)

このビット群はLUT2nとLUT2n+1(SEQCTRL0がLUT0/1、SEQCTRL1がLUT2/3)に対する逐次制御器構成を選びます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	DISABLE	DFF	JK	DLATCH	RS	-		
説明	逐次制御器禁止	Dフリップフロップ	JKフリップフロップ	Dラッチ	RSラッチ	(予約)		

### 31.5.3. INTCTRL0 – 割り込み制御0 (Interrupt Control 0)

名称 : INTCTRL0  
変位 : +\$05  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INTMODE31,0		INTMODE21,0		INTMODE11,0		INTMODE01,0	
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7,6、5,4、3,2、1,0 – INTMODEn1,0 : 割り込み動作形態 (Interrupt Mode)

INTMODEnのビットはLUTn-OUTに対する割り込み感知構成設定を選びます。次頁の表参照。

(訳注) 原書での31.5.2. SEQCTRL0と31.5.3. SEQCTRL1は31.5.2. SEQCTRLnとして纏めました。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	INTDISABLE	RISING	FALLING	BOTH
説明	割り込み禁止	上昇端感知	下降端感知	両端感知

### 31.5.4. INTFLAGS – 割り込み要求フラグ\* (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS  
変位 : +\$07  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					INT3	INT2	INT1	INT0
アクセス種別	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3,2,1,0 – INTn : 割り込みn要求フラグ\* (Interrupt Flag)

INTnフラグはLUTnの出力が割り込み制御n(CCL.INTCTRL0)レジスタで定義されるような割り込み感知動作形態と一致する時に設定(1)されます。このフラグのビット位置への'1'書き込みがこのフラグを解除(0)します。

### 31.5.5. LUTnCTRLA – LUTn制御A (LUT n Control A)

名称 : LUT0CTRLA : LUT1CTRLA : LUT2CTRLA : LUT3CTRLA  
変位 : +\$08 : +\$0C : +\$10 : +\$14  
リセット : \$00  
特質 : 許可保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	EDGEDET	OUTEN	FILTSEL1,0			CLKSRC2~0		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7 – EDGEDET : 端検出 (Edge Detection)

値	0	1
説明	端検出器禁止	端検出器許可

#### ● ビット6 – OUTEN : 出力許可 (Output Enable)

このビットはLUTnOUTピンへのLUT出力を許可します。'1'を書かれると、ポート制御器のピン構成設定が無効にされます。

値	0	1
説明	ピンへの出力禁止	ピンへの出力許可

#### ● ビット5,4 – FILTSEL1,0 : 濾波器選択 (Filter Selection)

これらのビットはLUT出力濾波器任意選択を選びます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	SYNCH	FILTER	-
説明	濾波器禁止	同期化器許可	濾波器許可	(予約)

#### ● ビット3~1 – CLKSRC2~0 : クロック元選択 (Clock Source Selection)

これらのビットはLUT用のクロック(CLK\_LUTn)として使われる様々なクロック元を選びます。

偶数LUTのCLK\_LUTnはLUT対の逐次制御器をクロック駆動するのに使われます。

値	0 0 0	0 0 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1	その他
入力元	CLKPER	IN2	OSCHF	OSC32K	OSC1K	-	-
説明 (LUT駆動クロック)	CLK_PER (周辺機能クロック)	LUTn-TRUTHSEL[2] (UTn入力2)	前置分周前の 内部高周波数 発振器	内部32.768kHz 発振器 (OSC32K)	OSC32Kの DIV32後 (1.024kHz)	PLL	(予約)

## ● ビット0 - ENABLE : LUT許可 (LUT Enable)

値	0	1
説明	LUT禁止	LUT許可

## 31.5.6. LUTnCTRLB - LUTn制御B (LUT n Control B)

名称 : LUT0CTRLB : LUT1CTRLB : LUT2CTRLB : LUT3CTRLB

変位 : +\$09 : +\$0D : +\$11 : +\$15

リセット : \$00

特質 : 許可保護

- 注:
- CCLへのSPI接続は主装置SPI動作でだけ動きます。
  - CCLへのUSART接続は以下の動作の1つの時にだけ動きます。
    - 非同期USART
    - 同期USART主装置

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INSEL13~0				INSEL03~0			
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7~4 - INSEL13~0 : LUTn入力1供給元選択 (LUT n Input 1 Selection)

これらのビットはLUTnの入力1(IN1)に対する供給元を選びます。

値	名称	説明	値	名称	説明
0000 (\$0)	MASK	なし(入力遮蔽)	0111 (\$7)	USART0	USART0のTXD
0001 (\$1)	FEEDBACK	LUTn出力(帰還入力)	1000 (\$8)	SPI0	SPI0のMOSI
0010 (\$2)	LINK	LUTn+1出力(連結)	1001 (\$9)	TCE0	TCE0のWO1
0011 (\$3)	EVENTA	入力元として事象A	1010 (\$A)	TCB1	TCB1のWO
0100 (\$4)	EVENTB	入力元として事象B	1011 (\$B)	TCF0	TCF0のWO1
0101 (\$5)	IN1	LUTn-IN1	1100 (\$C)	WEX0	WEX障害抑止入力
0110 (\$6)	AC1	AC1のOUT	その他	-	(予約)

## ● ビット3~0 - INSEL03~0 : LUTn入力0供給元選択 (LUT n Input 0 Selection)

これらのビットはLUTnの入力0(IN0)に対する供給元を選びます。

値	名称	説明	値	名称	説明
0000 (\$0)	MASK	なし(入力遮蔽)	0111 (\$7)	USART0	USART0のTXD
0001 (\$1)	FEEDBACK	LUTn出力(帰還入力)	1000 (\$8)	SPI0	SPI0のMOSI
0010 (\$2)	LINK	LUTn+1出力(連結)	1001 (\$9)	TCE0	TCE0のWO0
0011 (\$3)	EVENTA	入力元として事象A	1010 (\$A)	TCB0	TCB0のWO
0100 (\$4)	EVENTB	入力元として事象B	1011 (\$B)	TCF0	TCF0のWO0
0101 (\$5)	IN0	LUTn-IN0	1100 (\$C)	WEX0	WEX障害抑止入力
0110 (\$6)	AC0	AC0のOUT	その他	-	(予約)

### 31.5.7. LUTnCTRLC – LUTn制御C (LUT n Control C)

名称 : LUT0CTRLC : LUT1CTRLC : LUT2CTRLC : LUT3CTRLC  
 変位 : +\$0A : +\$0E : +\$12 : +\$16  
 リセット : \$00  
 特質 : 許可保護

- 注: ・ CCLへのSPI接続は主装置SPI動作でだけ動きます。  
 ・ CCLへのUSART接続は以下の動作の1つの時にだけ動きます。  
 - 非同期USART  
 - 同期USART主装置

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INSEL23~0							
アクセス種別	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 – INSEL23~0 : LUTn入力2供給元選択 (LUT n Input 2 Selection)

これらのビットはLUTnの入力2(IN2)に対する供給元を選びます。

値	名称	説明	値	名称	説明
0000 (\$0)	MASK	なし(入力遮蔽)	0111 (\$7)	USART0	USART0のTXD
0001 (\$1)	FEEDBACK	LUTn出力(帰還入力)	1000 (\$8)	SPI0	SPI0のMOSI
0010 (\$2)	LINK	LUTn+1出力(連結)	1001 (\$9)	TCE0	TCE0のWO2
0011 (\$3)	EVENTA	入力元として事象A	1010 (\$A)	TCB0	TCB0のWO
0100 (\$4)	EVENTB	入力元として事象B	1011 (\$B)	TCF0	TCF0のWO0
0101 (\$5)	IN2	LUTn-IN2	1100 (\$C)	WEX0	WEX障害抑止入力
0110 (\$6)	AC1	AC1のOUT	その他	-	(予約)

### 31.5.8. TRUTHn – 真理値表n (TRUTHn)

名称 : TRUTH0 : TRUTH1 : TRUTH2 : TRUTH3  
 変位 : +\$0B : +\$0F : +\$13 : +\$17  
 リセット : \$00  
 特質 : 許可保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TRUTHn7~0							
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 – TRUTHn7~0 : 真理値表 (Truth n Table)

これらのビットはLUTn-TRUTHSEL2~0入力に従ってLUTnの出力を決めます。

ビット名	TRUTHn7	TRUTHn6	TRUTHn5	TRUTHn4	TRUTHn3	TRUTHn2	TRUTHn1	TRUTHn0
値	0   1	0   1	0   1	0   1	0   1	0   1	0   1	0   1
説明(注)	1 1 1	1 1 0	1 0 1	1 0 0	0 1 1	0 1 0	0 0 1	0 0 0

注: 入力説明行の値の時にLUTnの出力が設定した値(値行の値(0または1))になります。

## 32. AC – アナログ比較器

### 32.1. 特徴

- 選択可能な応答時間
- 選択可能なヒステリシス
- ピンで利用可能なアナログ比較器出力
- 比較器出力反転利用可能
- 柔軟な入力選択
  - 5つの正入力ピン
  - 4つの負入力ピン
  - 内部基準電圧生成部(DACREF)
- 以下での割り込み生成
  - 上昇端
  - 下降端
  - 両端
- 以下での窓機能割り込み生成
  - 窓を超える信号
  - 窓内の信号
  - 窓未満の信号
  - 窓外の信号
- 事象生成
  - 比較器出力
  - 窓機能

### 32.2. 概要

アナログ比較器(AC)は2つの入力の電圧水準を比較してその比較に基いたデジタル出力を与えます。ACは様々な異なる入力変化の組み合わせに基づいて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。

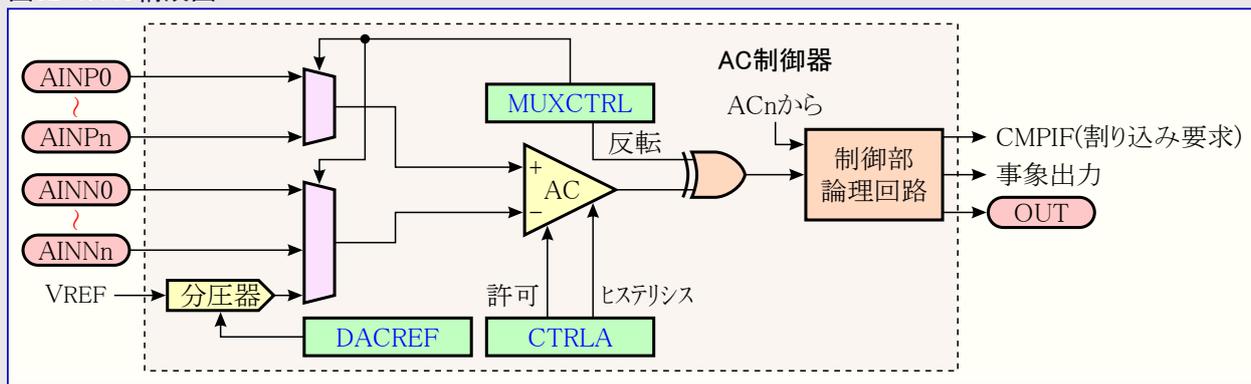
入力選択はアナログポートピンと内部的に生成された入力を含みます。ACデジタル出力は制御部論理回路を通って行き、事象システムとで内部的に、またはピンで外部的に使うために信号の独自化を許します。

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。

個別の比較器は独立して(標準動作)または窓比較形式のために対にして(窓動作)使うことができます。

#### 32.2.1. 構成図

図32-1. AC構成図



#### 32.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
AINNn	アナログ入力	負入力n
AINPn	アナログ入力	正入力n
OUT	デジタル出力	ACの比較器出力

## 32.3. 機能的な説明

### 32.3.1. 初期化

基本的な操作については以下のこれらの手順に従ってください。

1. PORT周辺機能で望む入力ピンをアナログ入力として構成設定してください。
2. 多重器制御(ACn.MUXCTRL)レジスタで正と負の入力多重器選択(MUXPOSとMUXNEG)ビット領域を書くことによって正と負の入力元を選んでください。
3. 任意選択: 制御A(ACn.CTRLA)レジスタの出力パッド許可(OUTEN)ビットに'1'を書くことによって出力を許可してください。
4. ACn.CTRLAレジスタのAC許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってACを許可してください。

AC許可後の始動時間の間、ACの準備が整う前にAC出力を設定するのにACn.MUXCTRLレジスタのAC出力初期値(INITVAL)ビットを使うことができます。VREFが参照基準元として使われる場合、各々の参照基準元の始動時間が加算されなければなりません。ACとVREFの周辺機能の始動時間についての詳細に関しては「電気的特性」章を参照してください。

ACが禁止される時にピンがHi-Zにされて行くのを避けるため、OUTピンは出力として構成設定されなければなりません。

### 32.3.2. 動作

#### 32.3.2.1. 入力ヒステリシ

入力ヒステリシの適用は雑音に悩んでいる入力信号がお互いに近い時に出力の定常的な切り替わりを防ぐのを助けます。

入力ヒステリシは禁止されるか、または3つのレベルの1つを持つかのどれかにすることができます。ヒステリシは制御A(ACn.CTRLA)レジスタのヒステリシ動作選択(HYSMODE)ビット領域に書くことによって構成設定することができます。ヒステリシ基準の代表値についての詳細に関しては「電気的特性」章を参照してください。

#### 32.3.2.2. 入力と参照基準の選択

ACnに対する入力選択は多重器制御(ACn.MUXCTRL)レジスタで正と負の入力多重器選択(MUXPOSとMUXNEG)ビット領域によって制御されます。ACnの正入力についてアナログピンを選ぶことができる一方で、負入力についてはアナログピンと内部DAC参照基準電圧(DACREF)で選択を行うことができます。可能な選択についての詳細に関しては多重器制御(ACn.MUXCTRL)レジスタ記述を参照してください。

生成される電圧はDAC基準電圧(DACREF)レジスタ値とVREF単位部で選ばれる基準電圧に依存し、次のように計算されます。

$$VDACREF = \frac{DACREF}{256} \times VREF$$

VREFとVDDを除く内部基準電圧(VREF)は内部バンドギャップ参照基準から生成されます。

入出力ピンへの入力切替または新しい基準電圧設定後、ACnは安定のための時間を必要とします。より多くの詳細については「電気的特性」章を参照してください。

#### 32.3.2.3. 標準動作

ACは1つの正入力と1つの負入力を持ちます。比較器の出力は正と負の入力電圧間の差が正の時に'1'、さもなければ'0'です。この出力は論理XORを通して出力(OUT)ピンで利用可能です。これは多重器制御(ACn.MUXCTRL)レジスタのAC出力反転(INVERT)ビットが'1'の時にOUTピンの反転を許します。

ACn初期化中の乱雑な出力を避けてOUTピンで特定基準を設定するのに同じレジスタのAC出力初期値(INITVAL)ビットが使われます。

#### 32.3.2.4. 電力動作

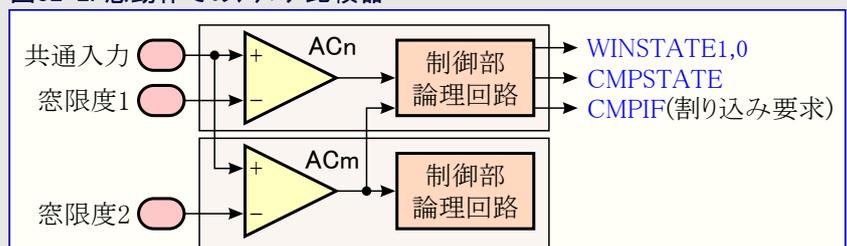
電力を気にする応用に対して、ACは消費電力と応答時間の釣り合いを持つ複数の電力動作を提供します。動作形態は制御A(ACn.CTRLA)レジスタの電力特性(POWER)ビット領域に書くことによって選ばれます。

#### 32.3.2.5. 窓動作

各AC(即ち、ACn)は窓動作で別の比較器(即ち、ACm)と共に動くように構成設定することができます。この動作では電圧範囲(窓)が定義され、選んだ比較器はこの範囲内か否かを示します。

制御B(ACn.CTRLB)レジスタの窓選択形態(WINSEL)ビット領域は窓比較器を作成するためにどのACm実体が現在の比較器(ACn)に接続されるかを選びます。使用者はACnとACmに対して多重器制御(MUXCTRL)レジスタの正入力多重器選択(MUXPOS)と負入力多重器選択(MUXNEG)のビット領域を構成設定する責任があり、故にそれらは右図での設定に一致します。両ACのMUXCTRLレジスタのMUXPOSビット領域が同じピンに構成設定されなければならないことに注意してください。

図32-2. 窓動作でのアナログ比較器



入力信号の状態は**状態(ACn.STATUS)レジスタの窓状態(WINSTATE)フラグ**によって報告されます。この状態は以下が有り得ます。

- ・窓越え - 入力信号は上限超えです。
- ・窓内側 - 入力信号は上限と下限の間です。
- ・窓未満 - 入力信号は下限未満です。

**割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタの割り込み動作(INTMODE)ビット領域**は事象の起動または割り込みの要求に対してこれらの窓動作の1つを選びます。

- ・窓越え - 入力信号は上限超えの時に割り込み/事象が発行されます。
- ・窓内側 - 入力信号は上限と下限の間の時に割り込み/事象が発行されます。
- ・窓未満 - 入力信号は下限未満の時に割り込み/事象が発行されます。
- ・窓外側 - 入力信号は上限と下限の間でない時に割り込み/事象が発行されます。

**アナログ比較器状態(CMPSTATE)ビット**は窓状態が選んだ割り込み動作(INTMODE)ビット領域と一致する時に'1'です。

窓割り込みは割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタの**アナログ比較器割り込み許可(CMP)ビット**に'1'を書くことによって許可されます。

### 32.3.3. 事象

ACは以下の事象を生成することができます。

表32-1. ACでの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
ACn	OUT	比較器出力レベル	レベル	非同期	AC出力レベルで与えられる

ACは事象入力を持ちません。

事象型と事象システム構成設定に関するより多くの詳細については「**EVSYS - 事象システム**」章を参照してください。

### 32.3.4. 割り込み

表32-2. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名称	ベクタ説明	条件
CMP	アナログ比較器割り込み	AC出力は割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタの割り込み動作(INTMODE)によって構成設定されるように切り替わります。

割り込み条件が起こると、**状態(ACn.STATUS)レジスタ**で対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。

割り込み元は周辺機能の**割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタ**で対応するビットを書くことによって許可または禁止にされます。

ACは比較器割り込み(CMP)を生成することができ、比較器出力切り替わりの上昇端、下降端、両端のどれかでこの割り込みを要求することができます。これは割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタの**割り込み動作(INTMODE)ビット領域**に書くことによって構成設定されます。この割り込みは割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタの**アナログ比較器割り込み許可(CMP)ビット**に'1'を書くことによって許可されます。割り込み要求は**割り込み要求フラグ(CMPIF)**が解除(0)されるまで活性(1)に留まります。割り込み要求フラグを解除する方法の詳細については**状態(ACn.STATUS)レジスタ記述**を参照してください。

### 32.3.5. 休止形態動作

アイドル休止動作でACは通常のように動作を続けます。

**スタンバイ休止動作**では、既定でACが禁止されます。**制御A(ACn.CTRLA)レジスタのスタンバイ休止動作時走行(RUNSTDBY)ビット**が'1'を書かれる場合、例えスタンバイ休止動作でCLK\_PERが動いていなくても、ACは事象、割り込み、それとピンでのAC出力で通常のように動作を続けます。

**パワーダウン休止動作**ではACとそのパッドへの出力が禁止されます。

## 32.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	RUNSTDBY	OUTEN		POWER1,0		HYSMODE1,0		ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0							WINSEL1,0	
+\$02	MUXCTRL	7~0	INVERT	INITVAL	MUXPOS2~0			MUXNEG2~0		
+\$03 ~ +\$04	予約									
+\$05	DACREF	7~0	DACREF7~0							
+\$06	INTCTRL	7~0			INTMODE1,0					CMP
+\$07	STATUS	7~0	WINSTATE1,0			CMPSTATE				CMPIF

## 32.5. レジスタ説明

### 32.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA

変位 : +\$00

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RUNSTDBY	OUTEN		POWER1,0		HYSMODE1,0		ENABLE
アクセス種別	R/W	R/W	R	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 – RUNSTDBY : スタンバイ動作時走行 (Run in Standby Mode)

このビットに'1'を書くことがスタンバイ休止動作でACに動作を続けることを許します。クロックが停止されるため、[割り込みと状態のフラグ](#)は更新されません。

値	0	1
説明	スタンバイ休止動作でACは停止されます。	スタンバイ休止動作でACは動作を続けます。

- ビット6 – OUTEN : 出力パッド許可 (Output Pad Enable)

このビットに'1'を書くことがOUT信号をピンで利用可能にします。

- ビット4,3 – POWER1,0 : 電力特性 (Power Profile)

この設定は比較器を通る電流を制御し、ACに応答時間と消費電力の交換を許します。消費電力と応答時間については「[電氣的特性](#)」章を参照してください。

値	00	01	10	11
名称	PROFILE0	PROFILE1	-	-
説明	電力特性0 (最短伝搬遅延と最高消費)	電力特性1	(予約)	(予約)

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

このビット領域への書き込みはAC入力に対してヒステリシスを選びます。ヒステリシス基準の代表値についての詳細に関しては「[電氣的特性](#)」章を参照してください。

値	00	01	10	11
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

- 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。

### 32.5.2. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB

変位 : +\$01

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							WINSEL1,0	
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1,0 – WINSEL1,0 : 窓選択動作 (Window Selection Mode)

このビット領域は窓動作で現在の比較器に接続されるACを選びます。

値	00	01	10	11
名称	DISABLED	UPSEL1	-	-
説明	窓機能禁止	AC <sub>n+1</sub> 接続で窓機能許可	(予約)	(予約)

### 32.5.3. MUXCTRL – 多重器制御 (Mux Control)

名称 : MUXCTRL  
 変位 : +\$02  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INVERT		INITVAL	MUXPOS2~0			MUXNEG2~0	
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 – INVERT : AC出力反転 (Invert AC Output)

このビットに'1'を書くことがACの出力の反転を許可します。この反転は他の周辺機能またはシステムの一部に入力信号としてAC出力信号を使う時に考慮されなければなりません。

#### ● ビット6 – INITVAL : AC出力初期値 (AC Output Initial Value)

比較器の準備が整う前にAC出力が切り替わるのを避けるため、INITVALは比較器出力の初期状態を設定するのに使うことができます。

値	0	1
名称	LOW	HIGH
説明	'0'に初期化された出力	'1'に初期化された出力

#### ● ビット5~3 – MUXPOS2~0 : 正入力多重器選択 (Positive Input Mux Selection)

このビット領域への書き込みがACの正入力への入力信号を選びます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	AINP0	AINP1	AINP2	AINP3	AINP4	AINP5	AINP6	-
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	正入力ピン4	正入力ピン5	正入力ピン6	(予約)

#### ● ビット2~0 – MUXNEG2~0 : 正入力多重器選択 (Negative Input Mux Selection)

このビット領域への書き込みがACの負入力への入力信号を選びます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	その他
名称	AINN0	AINN1	AINN2	AINN3	DACREF	-
説明	負入力ピン0	負入力ピン1	負入力ピン2	負入力ピン3	DAC参照基準電圧	(予約)

### 32.5.4. DACREF – DAC基準電圧 (DAC Voltage Reference)

名称 : DACREF  
 変位 : +\$05  
 リセット : \$FF  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DACREF7~0							
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	1	1	1	1	1	1	1	1

#### ● ビット7~0 – DACREF7~0 : DACREFデータ値 (DACREF Data Value)

このビット領域は内部分圧器からの出力電圧を定義します。DAC基準電圧はDACREF値とVREF単位部で選ばれた基準電圧に依存し、次のように計算されます。

$$V_{DACREF} = \frac{DACREF}{256} \times V_{REF}$$

### 32.5.5. INTCTRL – 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
 変位 : +\$06  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	INTMODE1,0						CMP	
アクセス種別	R	R	R/W	R/W	R	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

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

このビット領域への書き込みはAC出力のどの端か、または窓状態移行が割り込み要求を起動する時を選びます。

表32-3. 窓動作での割り込み生成

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	ABOVE	INSIDE	BELOW	OUTSIDE
説明	越え窓動作割り込み許可	内側窓動作割り込み許可	未満窓動作割り込み許可	外側窓動作割り込み許可

表32-4. 単独比較器での割り込み生成

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	BOTHEDGE	-	NEGEDGE	POSEDGE
説明	正と負の入力交差	(予約)	正入力を負入力未満へ	正入力を負入力越えへ

#### ● ビット0 – CMP : AC割り込み許可 (AC Interrupt Enable)

このビット(='1')はAC割り込みを許可します。許可された割り込みは状態(ACn.STATUS)レジスタのAC割り込み要求フラグ(CMPIF)ビットが設定(1)される時に起動されます。

### 32.5.6. STATUS – 状態 (Status)

名称 : STATUS  
 変位 : +\$07  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	WINSTATE1,0		CMPSTATE				CMPIF	
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7,6 – WINSTATE1,0 : 窓状態 (Window State)

窓機能が許可されると、これらのフラグは窓に対する現在の入力信号の状態を示します。

窓動作が禁止される時は無効です。

表32-5. 窓状態設定

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	AVOBE	INSIDE	BELOW	-
説明	窓越え	窓内	窓未満	(予約)

#### ● ビット4 – CMPSTATE : AC状態 (AC State)

このビットが'1'の場合、OUT信号はHighです。このビットが'0'の場合、OUT信号はLowです。窓動作では、このビットが'1'の場合、窓状態は選んだ割り込み動作(INTMODE)ビット領域と一致します。INTMODEが'OUTSIDE(外側)'の場合、'ABOVE(越え)'と'BELOW(未満)'の両方が有効な一致です。I/Oレジスタで更新されるのに(3周期の)同期化遅延を持ちます。

#### ● ビット0 – CMPIF : AC割り込み要求フラグ (AC Interrupt Flag)

このビットはOUT信号が割り込み制御(ACn.INTCTRL)レジスタの割り込み動作(INTMODE)ビット領域での定義と一致する時に'1'です。このフラグビット位置への'1'書き込みがこのフラグを解除(0)します。

## 33. ADC - A/D変換器

### 33.1. 特徴

- 12ビット分解能
  - 過採取で最大17ビット
- 12ビット分解能で最大300kspsの変換速度
- 20/24個までの入力
- 差動とシングルエンドの変換
- 1倍~16倍の設定可能な利得増幅器(PGA:Programmable Gain Amplifier)
- -100mV~VDD+100mVの入力電圧範囲
- 複数の内部ADC参照基準電圧
  - VDD
  - 1.024V
  - 2.048V
  - 2.500V
  - 4.096V
- 外部参照基準入力
- 単独と自由走行の変換
- 継続と集中の累積動作
- 1024変換までの累積
- 左または右に揃えられた結果
- 変換完了での割り込み
- 任意選択の事象起動変換
- 構成設定可能な窓比較器

### 33.2. 概要

A/D変換器(ADC)は12ビット分解能で最大300kspsの変換速度で設定可能な利得増幅器(PGA)を持つ12ビットの差動とシングルエンドのADCです。ADCは多数のシングルエンドと差動の入力間の選択用アナログ入力多重器に接続されます。シングルエンド変換ではADCが選んだ入力と0V(GND)間の電圧を測定します。差動変換ではADCが選んだ2つの入力間の電圧を測定します。ADC入力は内部(例えば、基準電圧)または外部アナログ入力ピンのどれかにすることができます。

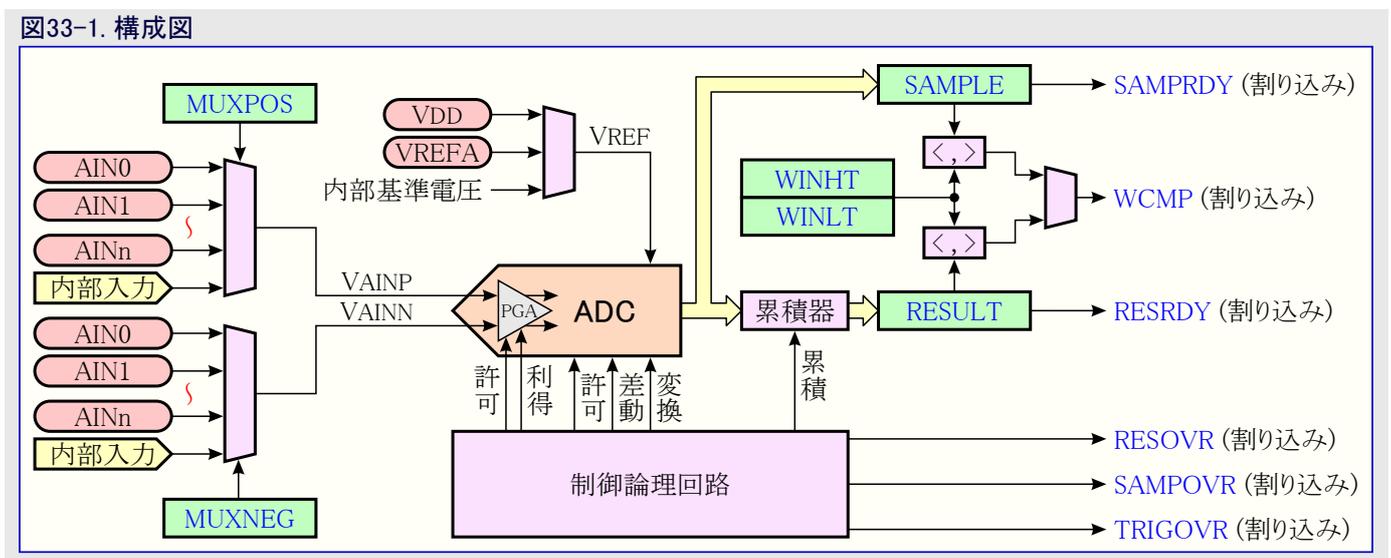
ADC変換はソフトウェアによって、または他の周辺機能から事象を配線するのに事象システム(EVSY)を使うことによって開始することができます。入力信号の周期的な採取、特別な条件でのADC変換の起動、スタンバイ休止動作でのADC変換の起動も可能にします。デジタル窓比較機能は入力信号を監視するのに利用可能で、必要とされる最小のソフトウェア介在で、採取が使用者定義された閾値未満または越え、または使用者定義された窓の内側または外側の場合にだけ割り込みを起動するように構成設定することができます。

ADC入力信号は変換中にADCへの入力電圧が一定水準で保たれることを保証する採取/保持(S/H)回路を通して供給されます。

ADCは構成設定可能な変換結果数が単一ADC結果内に累積される集中での採取(採取累積)を支援します。

ADC電圧参照基準は内部または外部アナログ参照基準(VREFA)ピンからの供給のどちらにすることができます。

#### 33.2.1. 構成図



### 33.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
AINn~0	アナログ入力	アナログ入力ピン
VREFA	アナログ入力	外部参照基準電圧ピン

### 33.3. 機能的な説明

#### 33.3.1. 定義

- 変換: 選んだADC入力上のアナログ値がデジタル表現に変換される動作
- 採取(試料): 採取(ADCn.SAMPLE)レジスタに置かれた値、即ち、変換動作の結果 (訳補:一部で採取/保持(S/H)部の採取部分)
- 結果: 結果(ADCn.RES)レジスタに置かれた値。ADC構成設定に応じてこの値は単一採取または複数累積した採取の合計です。

#### 33.3.2. 基本操作

基本動作でADC初期化して動かすには以下の手順が推奨されます。

- クロック制御器の時間基準(CLKCTRL.MCLKTIMEBASE)レジスタの時間基準(TIMEBASE)ビット領域に書くことによって時間基準を構成設定してください。
- 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタのADC許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってADCを許可してください。
- 制御B(ADCn.CTRLB)レジスタの前置分周器(PRESC)ビット領域を構成設定してください。
- 制御C(ADCn.CTRLC)レジスタの参照基準選択(REFSEL)ビット領域を構成設定してください。
- 制御E(ADCn.CTRLE)レジスタの採取持続時間(SAMPDUR)ビット領域を構成設定してください。
- 任意選択: 制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取累積数選択(SAMPNUM)ビット領域を書くことによって累積される採取数を構成設定してください。
- 任意選択: 制御Fレジスタの自由走行(FREERUN)ビットに'1'を書くことによって自由走行動作を許可してください。
- 正入力多重器(ADCn.MUXPOS)レジスタの正入力多重器(MUXPOS)ビット領域に書くことによって正入力を構成設定してください。
- 任意選択: 負入力多重器(ADCn.MUXNEG)レジスタの負入力多重器(MUXNEG)ビット領域に書くことによって負入力を構成設定してください。
- 任意選択: 指令(ADCn.COMMAND)レジスタの差動(DIFF)ビットに'1'を書くことによって差動ADC変換を選んでください。
- 指令レジスタの動作形態(MODE)ビット領域に書くことによってADCに対する動作形態を構成設定してください。
- 指令レジスタの変換開始(START)ビット領域を書くことによってADC変換がどう始まるかを構成設定してください。IMMEDIATE指令が書かれた場合、直ちに変換が開始します。
- 更新された結果(RESULT)レジスタを読む前に、割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタの結果準備可(RESRDY)ビットが'1'になるまで待ってください。

#### 33.3.3. 動作

##### 33.3.3.1. 動作形態

ADCは6つの異なる動作形態を支援すると共に各動作に対して差動とシングル エント'の変換が可能です。これは指令(ADCn.COMMAND)レジスタで構成設定されます。

動作形態は次のように3つの群に分けることができます。

- 単独動作 - 8または12ビット変換出力で起動毎に単一変換
- 継続累積動作 - n採取の累積で起動毎に1変換
- 集中累積動作 - 単一起動後に可能な限り速く累積したn採取での集中

継続と集中の動作は12ビット変換を利用し、累積結果尺度調整有りまたはなしで構成設定することができます。制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取累積数選択(SAMPNUM)ビット領域は累積する採取数を制御します。累積器は常に新しい継続または集中の累積が開始される時に0へリセットされます。

右表は利用可能な動作形態の概要を示します。

表33-1. 動作形態

動作形態	指令 - MODE	起動毎の変換数	累積形式	結果更新
単独8ビット	0 (0 0 0)	1	利用不可	変換毎
単独12ビット	1 (0 0 1)			
継続累積	2 (0 1 0)	SAMPNUM	全体	SAMPNUM数変換後
尺度調整付き継続累積	3 (0 1 1)		尺度調整	
集中累積	4 (1 0 0)		全体	
尺度調整付き集中累積	5 (1 0 1)		尺度調整	

### 33.3.3.2. 変換起動

変換は指令(ADCn.COMMAND)レジスタの変換開始(START)ビット領域の構成設定に応じて以下の起動の1つによって開始されます。

- ・ 指令レジスタのSTARTビット領域へのIMMEDIATE値書き込み
- ・ 事象入力受け取り
- ・ 入力多重器(正入力多重器(ADCn.MUXPOS)または負入力多重器(ADCn.MUXNEG))レジスタの1つへの書き込み

最初の変換を開始する前に制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの自由走行(FREERUN)ビットに'1'を書くことによって単独変換や集中累積を継続的に繰り返すことができます。このビットは継続累積に対して影響を及ぼしません。

進行中の変換は指令レジスタのSTARTビット領域にSTOP値を書くことによって中断され、新しい変換を直ちに開始することができます。進行中の変換が終わる前に新しい変換の起動を試みると、割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタの起動超過割り込み要求(TRIGOVFR)フラグが設定(1)され、その試みた起動は無視されます。

割り込み要求フラグレジスタの結果準備可(RESRDY)と採取(試料)準備可(SAMPRDY)の割り込み要求フラグは変換または累積が終了したかを示します。これらのフラグは割り込み制御(ADCn.INTCTRL)レジスタで許可されていれば対応する割り込みも起動します。

#### 変換中断

以下のこれらの活動は進行中の変換を中断します。

- ・ 指令(ADCn.COMMAND)レジスタの変換開始(START)ビット領域へのSTOP書き込み。
- ・ 変換中の制御C(ADCn.CTRLC)レジスタの参照基準選択(REFSEL)ビット領域への書き込み。
- ・ 正または負の入力多重器(ADCn.MUXPOSまたはADCn.MUXNEG)のレジスタでのDACREF、TEMPSENSE、VDDの選択。

これは結果(RESULT)と採取(SAMPLE)のレジスタでの不定値に帰着します。(中断後の)新規変換起動時、最初に、変えられた要素に関連する安定時間が過ぎるのを待ち、その後に変換を開始します。

### 33.3.3.3. 出力形式

次式はADC変換からの出力を与えます。

$$\text{シングル エント} 12\text{ビット変換} = \frac{V_{INP}}{V_{REF}} \times 4096 \in [0, 4095]$$

$$\text{シングル エント} 8\text{ビット変換} = \frac{V_{INP}}{V_{REF}} \times 256 \in [0, 255]$$

$$\text{差動} 12\text{ビット変換} = \frac{(V_{INP} - V_{INN}) \times \text{利得}}{V_{REF}} \times 2048 \in [-2048, 2047]$$

$$\text{差動} 8\text{ビット変換} = \frac{(V_{INP} - V_{INN}) \times \text{利得}}{V_{REF}} \times 128 \in [-128, 127]$$

ここでのVINPとVINNはADCへの正と負の入力で、VREFは選んだ電圧参照基準です。利得はPGAで構成設定されるように1倍から64倍の間で、PGAが使われない場合は1倍です。

ADCは2つのレジスタを持ちます。採取(ADCn.SAMPLE)と結果(ADCn.RESULT)。16ビット採取レジスタは常に最新のADC変換出力(1採取)で更新されます。全ての累積動作は制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取累積数選択(SAMPNUM)ビット領域によって構成設定される内部採取累積器で採取を累積します。採取累積器は支援される累積構成設定に対して溢れを避けるのに十分な幅です。累積された結果は集中動作または継続動作の累積の最後で自動的に32ビット結果レジスタに転送します。単独変換動作では、結果レジスタが最新の採取で更新され、採取レジスタと同じです。

尺度調整を持つ動作形態は1累積された結果を16ビット分解能に制限するように選ぶことができます。尺度調整は集中動作と継続動作で最後の採取を累積した後、常に適用され、累積された結果をSAMPNUM-4ビット右移動することによって実行されます。

制御Fレジスタの左揃え(LEFTADJ)ビットはこれが支援される動作に於いて出力データの左移動を許可します。許可される場合、これは結果と採取の両レジスタの出力を左移動します。

シングル エント動作での採取に対するデータ形式は\$0000が0を表し、\$0FFFが最大数(全尺)を表す符号なし数です。アナログ入力がADCの参照基準よりも高い場合、12ビットADC出力は\$0FFFの最大値に等しくなります。同様に、入力が0V未満の場合、ADC出力は\$0000です。差動動作について、データ形式は符号拡張を持つ2の補数です。

以降の表は動作形態と左揃えによるシングル エントと差動の変換に対する結果レジスタ出力形式を示します。

表33-2. RESULTレジスタ - シングル エント動作

MODE	LEFTADJ	RESULT31~24	RESULT23~16	RESULT15~12	RESULT11~8	RESULT7~0	
0 0 0	x (注1)	\$00				変換7~0	
0 0 1	0	\$00			変換11~0		
	1	\$00		変換11~0 << 4			
0 1 0, 1 0 0	x (注1)	\$00	累積23~0				
0 1 1, 1 0 1	x	\$00		尺度調整した累積15~0 (注2)			

注1: 左揃えは8ビット動作や尺度調整なし累積動作で利用できません。

注2: SAMPNUM<4の場合、ビット15が最上位ビットになるように結果が4-SAMPNUMビット左移動されます。

表33-3. RESULTレジスタ - 差動動作

MODE	LEFTADJ	RESULT31~24	RESULT23~16	RESULT15~12	RESULT11~8	RESULT7~0	
000	x (注1)	符号拡張				符号付き変換7~0	
001	0	符号拡張			符号付き変換11~0		
	1	符号拡張		符号付き変換11~0 << 4			
010, 100	x (注1)	符号拡張	符号付き累積23~0				
011, 101	x	符号拡張		尺度調整した符号付き累積15~0 (注2)			

注1: 左揃えは8ビット動作や尺度調整なし累積動作で利用できません。

注2: SAMPNUM<4の場合、ビット15が最上位ビットになるように結果が4-SAMPNUMビット左移動されます。

下表は動作形態、左揃え、差動またはシングル エントの変換による採取レジスタ出力形式を示します。

表33-4. SAMPLEレジスタ

MODE	LEFTADJ	DIFF	SAMPLE15~12	SAMPLE11~8	SAMPLE7~0
000	x	0	\$00		変換7~0
		1	符号拡張		符号付き変換7~0
その他	0	0	\$00	変換11~0	
		1	符号拡張	符号付き変換11~0	
	1	0	変換11~0 << 4		
		1	符号付き変換11~0 << 4		

### 33.3.3.4. ADCクロック

ADCクロック(CLK\_ADC)は周辺機能クロック(CLK\_PER)から下げられます。増減量は制御B(ADCn.CTRLB)レジスタの前置分周器(PRESC)ビット領域によって構成設定することができます。PGA制御(ADCn.PGACTRL)レジスタのPGAバイアス選択(PGABIASSEL)ビット領域はADCクロック周波数に応じてPGA消費電力を減らすように構成設定することができます。

ADCとPGAの内部タイミングのいくつかはCLK\_ADCと無関係です。ADCクロック周波数に関わらずに正しい内部タイミングを保证するため、クロック制御器(CLKCTRL)周辺機能の時間基準(CLKCTRL.MCLKTIMEBASE)レジスタに(CLK\_PER周期で与えられる)1μs時間基準が書かれなければなりません。詳細についてはCLKCTRL章でMCLKTIMEBASEレジスタの説明を参照してください。

### 33.3.3.5. 入力と参照基準の選択

ADCへの入力選択は正と負の入力多重器(ADCn.MUXPOSとADCn.MUXNEG)のレジスタによって制御されます。ADCがシングル エント変換を走行している場合、MUXPOSだけが使われる一方で、差動変換では両方が使われます。

ADC用の参照基準電圧(VREF)はADCの変換範囲を制御します。VREFは制御C(ADCn.CTRLC)レジスタの参照基準選択(REFSEL)ビット領域に書くことによって選ぶことができます。VDDを除き、内部参照基準電圧は内部ハントギャップ参照基準から生成されます。VDDは選んだハントギャップ参照基準電圧よりも最低0.5V高くなければなりません。

入力と参照基準の選択は緩衝されません。変換進行中のそれらのどの変更も出力を不正にします。自由走行動作使用時の安全な入力または参照基準の変更のため、何れかの変更を行うのに先立って、自由走行動作を禁止して変換完了を待ってください。次の変換を始める前に再び自由走行動作を許可してください。

入力または参照基準の切り替え後、ADCは安定時間を必要とします。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

#### 33.3.3.5.1. 設定可能な利得増幅器

設定可能な利得増幅器(PGA:Programmable Gain Amplifier)はADCへの入力信号を増幅するのに使うことができます。利用可能な範囲は1~16倍利得です。PGAは全ての動作形態で使うことができます。

既定構成設定ではPGAが禁止され、入力信号は変換段で直接、即ち、内部増幅器なしで採取されます。入力信号特性に応じて、信号を増幅するように内部PGA段を構成設定するのが望ましい場合があります。

内部PGAは特に外部増幅器との比較に於いて次のようないくつかの望まれる特性を持ちます。

- 少ない部品
- 必要とされる少ないピン数
- 入力多重化と共にファームウェア選択可能な利得が柔軟で機能豊富な応用を許可
- 応用がON/OFFされるPGAでの動作を必要とする時に非反転増幅がファームウェアでの符号/論理構造を保持

変換段への直接入力に代わるPGA使用は考慮すべき次の影響を持ちます。

- 入力信号は追加の増幅段の当然の有害反応(入力雑音、変位、利得誤差)と飽和の可能性を伴い増幅されます。
- ADCがPGA採取を必要とするため、最大変換速度がより低くなります。
- 消費電力が僅かに増されます。
- 採取動作形態に応じて、変換の相対的なタイミングが変えられます。

PGAはPGA制御(ADCn.PGACTRL)レジスタでPGA許可(PGAEN)ビットに'1'を書いて利得(GAIN)ビット領域を構成設定することによって許可されます。

正と負の入力多重器(ADCn.MUXPOSとADCn.MUXNEG)のレジスタの経由(VIA)ビット領域は入力信号がPGA経由で接続されるかどうかを決めます。VIAビットは共有され、故にMUXPOSとMUXNEGのVIAビット領域に書かれた値は両レジスタで更新されます。従って、1つの入力にPGAを使って他方にPGAを使わないことはできません。

### 33.3.3.5.2. 符号刻みによる変位(オフセット)削減

変換結果での変位は符号刻みを使って減らすことができます。符号刻みはPGAが許可されているか否かに関わらず、シングルエンドと差動の両変換に於いて累積動作(即ち、単独動作以外)でだけ使うことができます。

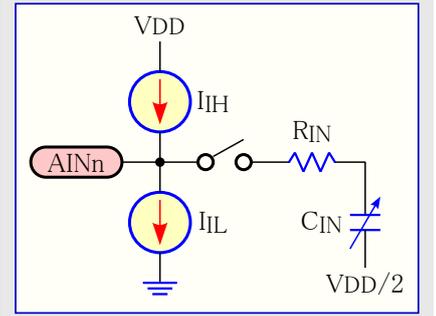
符号刻みは制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの符号刻み(CHOPPING)ビットに'1'を書くことによって許可されます。

### 33.3.3.5.3. アナログ入力回路

右図はアナログ入力回路を図解します。アナログ入力(AINn)に接続されたアナログ源はピン容量と(IHとILで表現される)そのピン入力漏れに依存します。入力を選ばれると、その供給元は入力経路のRINによって表される結合抵抗を通して採取/保持コンデンサ(CIN)も駆動しなければなりません。ADCの入力特性の詳細については「電気的特性」章を参照してください。

高インピーダンスを持つ供給元が使われる場合、採取時間を増すことが必要かもしれません。必要とされる採取時間はCINコンデンサを充電するのに供給元がどれ位の長さが必要かに依存し、制御E(ADCn.CTRLE)レジスタの採取持続時間(SAMPDUR)ビット領域を使って構成設定することができます。

図33-2. アナログ入力回路



### 33.3.3.6. 変換タイミング

ADCのアナログ単位部のいくつかは変換間に禁止され、変換開始前に初期化する時間を必要とします。現在のADC構成設定によって使われる単位部だけが許可され、初期化が並列で動くため、制限する要素は最も遅い初期化時間を持つ単位部です。右表はアナログ単位部によって必要とされる各種初期化時間を示します。

表33-5. ADC初期化時間

アナログ単位部	初期化時間 (μs)
ADC	10 (注1)
PGA	20
内部参照基準の安定	60 (注2)
内部温度感知器入力	35
内部DAC入力	35

注1: CLK\_PER < 2MHzの場合、ADC初期化時間は20 CLK\_PER周期です。

注2: 低遅延(LOWLAT)ビットが'1'の場合、内部参照基準間を切り替える時の安定時間は2μsに減らされます。

例: 入力として温度感知を選び、参照基準としてVDDを使うと、35μsの初期化時間を与えます。1.024V内部参照基準での温度感知の使用は60μsの初期化時間になります。

ADCは制御A(ADCn.CTRLA)レジスタの低遅延(LOWLAT)ビットに'1'を書くことによって低遅延動作に置くことができ、これは構成設定された単位部を継続的に許可し続け、変換開始での全ての初期化時間を効果的に取り去ります。初回にADCを許可したり、初期化を必要とする入力または参照基準の使用のためにADCを再構成設定する時に、初期化時間は未だ上の表で示されるように必要とされます。状態(ADCn.STATUS)レジスタのADC多忙(ADCBUSY)ビットは初期化が進行中かを調べるのに使うことができます。

PGAなしでのADCへの入力の採取期間は制御E(ADCn.CTRLE)レジスタの採取持続時間(SAMPDUR)ビット領域を通して(SAMPDUR + ½)CLK\_ADC周期として構成設定されます。入力信号特性は採取期間がどの位長くなければならないかに影響を及ぼします。

PGAなしで内部参照基準が使われると、参照基準緩衝部の自動0が採取の始めで走行し、値  $\geq 4\mu s \times f_{CLK\_ADC}$  に設定されるSAMPDURを必要とします。

PGAが使われると、ADCがPGA出力を採取する間で保持状態になるのを除き、継続的に入力を採取します。このADC PGA採取持続時間(ADCPGASAMPDUR)は右表で見られるように、PGA制御(ADCn.PGACTRL)レジスタのPGAバイアス選択(PGABIASSEL)ビット領域に依存します。採取持続時間(SAMPDUR)は未だPGAへの入力の最小採取期間を(SAMPDUR + 1)CLK\_ADC周期として構成設定します。集中動作ではSAMPDURが  $\geq 12$  でなければならず、変換状態の長さによって制限されます。

表33-6. ADCPGASAMPDUR

PGABIASSEL	ADCPGASAMPDUR (μs)
0 0 (100PCT)	3 (または4 (注))
0 1 (75PCT)	5
1 0 (50PCT)	6
1 1 (25PCT)	12

注: 内部参照基準を使う場合、最小PGA採取持続時間は4μsです。

継続と集中の累積動作は適切な入力信号と採取周波数を与えられると、5ビットまでのより高い分解能を達成するための過採取に使うことができます。nビットによる分解能増加は4<sup>n</sup>採取の累積と2<sup>n</sup>による累積結果除算によって達成することができます。制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取累積数(SAMPNUM)ビット領域は4<sup>5</sup>=1024採取までに構成設定することができ、最大17ビット分解能になります。

次の2つの表はfCLK\_ADCと採取持続時間の可能な組み合わせの一部に対して計算された変換速度(f\_conv)を示します。より多くの詳細については以降の頁の関連タイミング図をご覧ください。

表33-7.  $f_{CLK\_ADC}=5\text{MHz}$ と $\text{PGABIASSEL}=100\text{PCT}$ に対する変換速度( $f_{conv}$ )例

SAMPDUR	PGA	$f_{conv}$ (注)単一8ビット (sps)	$f_{conv}$ (注)単一12ビット (sps)	$f_{conv}$ 集中累積 (sps)
20	OFF	161290	142857	147059
64		66667	63291	64103
128		35971	34965	35211
255		18797	18519	18587
15	ON	120482	109890	156250
20		107527	99010	135135
64		55249	52910	61728
255		17762	17513	18382

表33-8.  $f_{CLK\_ADC}=312.5\text{kHz}$ と $\text{PGABIASSEL}=25\text{PCT}$ に対する変換速度( $f_{conv}$ )例

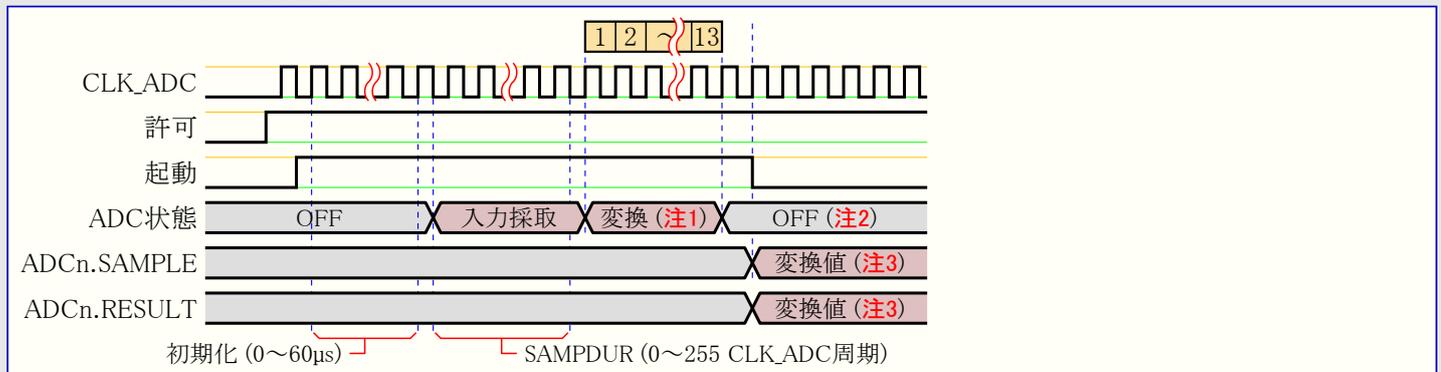
SAMPDUR	PGA	$f_{conv}$ (注)単一8ビット (sps)	$f_{conv}$ (注)単一12ビット (sps)	$f_{conv}$ 集中累積 (sps)
2	OFF	24038	18382	19531
11		14205	12019	12500
64		4167	3956	4006
255		1175	1157	1162
2	ON	18116	14706	利用不可
11		11905	10331	18657
64		3943	3754	4480
255		1156	1139	1198

注: 制御F(ADCn.CTRLF)レジスタで'1'に設定された自由走行(FREERUN)ビットでの変換速度、新しい変換は結果がADCで利用可能になった後直ちに開始します。

### 33.3.3.6.1. 単独変換

下図はPGAを使わずに単独の8または12ビット動作で動く時のADCに対するタイミング図を示します。

図33-3. タイミング図 - 単独変換



注1: 単独8ビット動作では変換状態の長さが9 CLK\_ADC周期です。他の全ての動作では13周期です。

注2: 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタで低遅延(LOWLAT)ビットが'1'に設定される場合、ADC内のアナログ単位部は変換の最後でOFFに切り替わらず、次の変換の起動時の初期化時間をなくします。

注3: 変換が終わってから出力がレジスタで利用可能になる時間は0.5 CLK\_ADC周期と後続する1 CLK\_MAIN周期です。最小前置分周で、これは合計で1 CLK\_ADC周期になります。

単独結果に対する総変換時間( $t_{conv}$ )は次によって $\mu\text{s}$ で計算されます。

$$t_{conv} (12\text{ビット}) = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 15}{f_{CLK\_ADC}}$$

$$t_{conv} (8\text{ビット}) = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 11}{f_{CLK\_ADC}}$$

制御F(ADCn.CTRLF)レジスタで自由走行(FREERUN)ビットが'1'に設定される場合、新しい変換は結果(ADCn.RESULT)レジスタで結果が利用可能になる直後に開始されます。自由走行変換速度( $f_{conv}$ )は次によって計算されます。

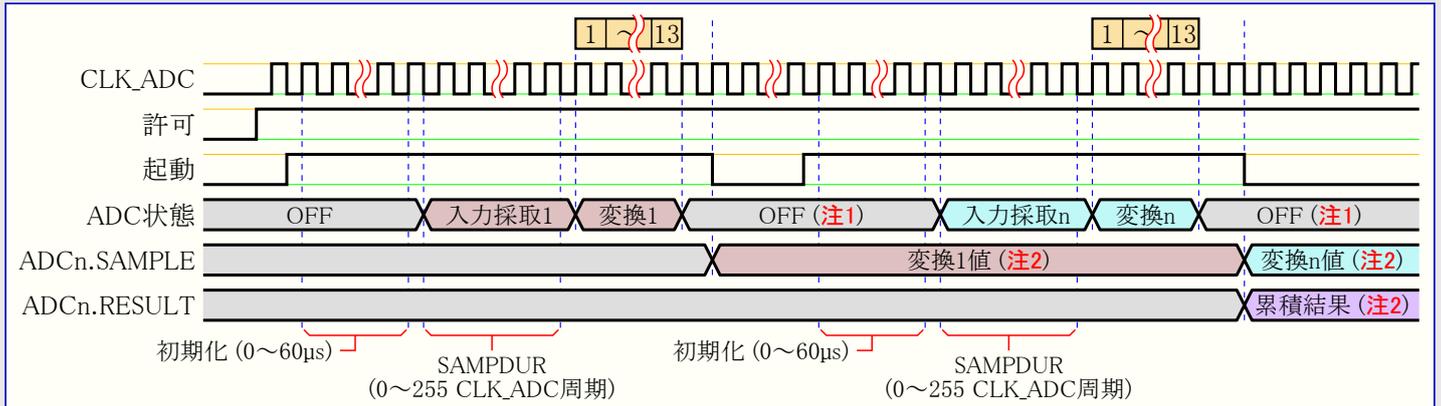
$$f_{conv} (12\text{ビット}) = \frac{f_{CLK\_ADC}}{\text{SAMPDUR} + 15}$$

$$f_{conv} (8\text{ビット}) = \frac{f_{CLK\_ADC}}{\text{SAMPDUR} + 11}$$

### 33.3.3.6.2. 継続累積

下図はPGAを使わずに継続累積動作で動く時のADCに対するタイミング図を示します。

図33-4. タイミング図 - 継続累積 (訳補:2回累積(n=2)の例)



**注1:** 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタで低遅延(LOWLAT)ビットが'1'に設定される場合、ADC内のアナログ単位部は変換の最後でOFFに切り替わらず、次の変換の起動時の初期化時間をなくします。

**注2:** 変換が終わってから出力がレジスタで利用可能になる時間は0.5 CLK\_ADC周期と後続する1 CLK\_MAIN周期です。最後の変換と累積は追加のCLK\_MAIN周期を必要とします。最小前置分周で、これは最終出力が利用可能になる前に合計で1.5 CLK\_ADC周期になります。

累積する採取数は制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取数(SAMPNUM)ビット領域によって設定されます。

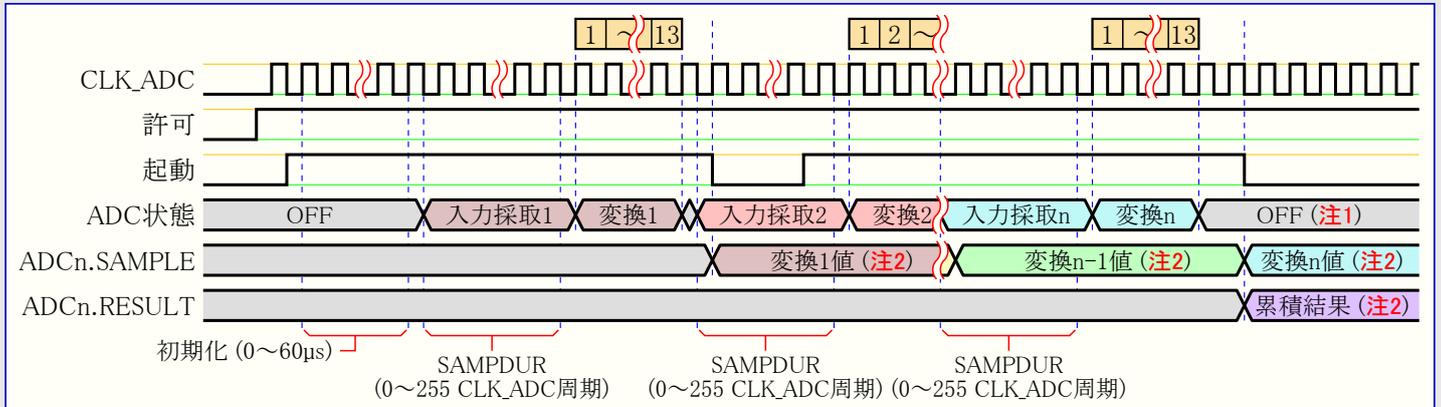
各独立した採取に対する総変換時間( $t_{conv}$ )は右によって $\mu s$ で計算されます。

$$t_{conv} = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 15}{f_{CLK\_ADC}}$$

### 33.3.3.6.3. 集中累積

下図はPGAを使わずに集中累積動作で動く時のADCに対するタイミング図を示します。

図33-5. タイミング図 - 集中累積



**注1:** 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタで低遅延(LOWLAT)ビットが'1'に設定される場合、ADC内のアナログ単位部は変換の最後でOFFに切り替わらず、次の変換の起動時の初期化時間をなくします。

**注2:** 変換が終わってから出力がレジスタで利用可能になる時間は0.5 CLK\_ADC周期と後続する1 CLK\_MAIN周期です。最後の変換と累積は追加のCLK\_MAIN周期を必要とします。最小前置分周で、これは最終出力が利用可能になる前に合計で1.5 CLK\_ADC周期になります。

累積する採取数は制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取数(SAMPNUM)ビット領域によって設定されます。

集中累積に対する総変換時間( $t_{conv}$ )は次によって $\mu s$ で計算されます。

$$t_{conv} = \text{初期化時間} + \frac{(\text{SAMPDUR} + 14) \times \text{SAMPNUM} + 1.5}{f_{CLK\_ADC}}$$

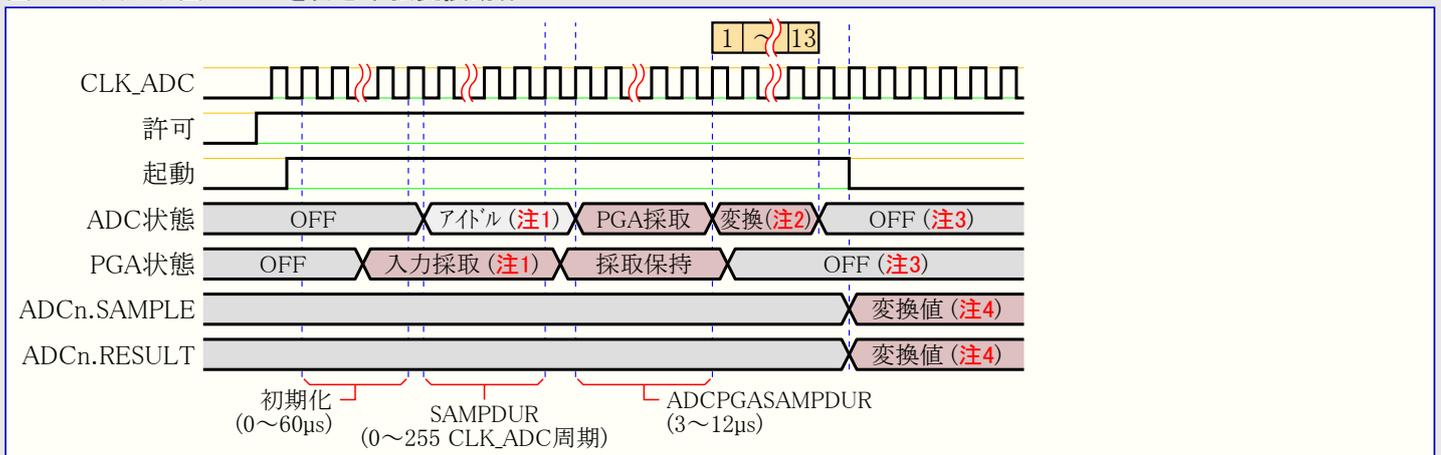
集中累積変換速度( $f_{conv}$ )は次によって計算されます。

$$f_{conv} = \frac{f_{CLK\_ADC}}{\text{SAMPDUR} + 14}$$

### 33.3.3.6.4. PGAを含む単独累積

下図はPGAと共に単独8または12ビット動作で動く時のADCに対するタイミング図を示します。

図33-6. タイミング図 - PGAを含む単独変換動作



- 注1:** PGAは一旦PGA初期化が終わると、例えばADC初期化が未だ進行中でも入力の採取を始めます。この場合、最初の採取時間は採取持続時間(SAMPDUR)によって構成設定されるよりも長くなります。
- 注2:** 単独8ビット動作では変換状態の長さが9 CLK\_ADC周期です。他の全ての動作では13周期です。
- 注3:** 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタで低遅延(LOWLAT)ビットが'1'に設定される場合、ADC内のアナログ単位部は変換の最後でOFFに切り替わらず、次の変換の起動時の初期化時間をなくします。PGAは新しいPGA採取が起きるまで入力採取状態に留まります。
- 注4:** 変換が終わってから出力がレジスタで利用可能になる時間は0.5 CLK\_ADC周期と後続する1 CLK\_MAIN周期です。最小前置分周で、これは合計で1 CLK\_ADC周期になります。

単独結果に対する総変換時間( $t_{conv}$ )は次によって $\mu s$ で計算されます。

$$t_{conv} (12\text{ビット}) = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 15.5}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR}$$

$$t_{conv} (8\text{ビット}) = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 11.5}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR}$$

制御F(ADCn.CTRLF)レジスタで自由走行(FREERUN)ビットが'1'に設定される場合、新しい変換は結果(ADCn.RESULT)レジスタで結果が利用可能になる直後に開始されます。自由走行変換速度( $f_{conv}$ )は次によって計算されます。

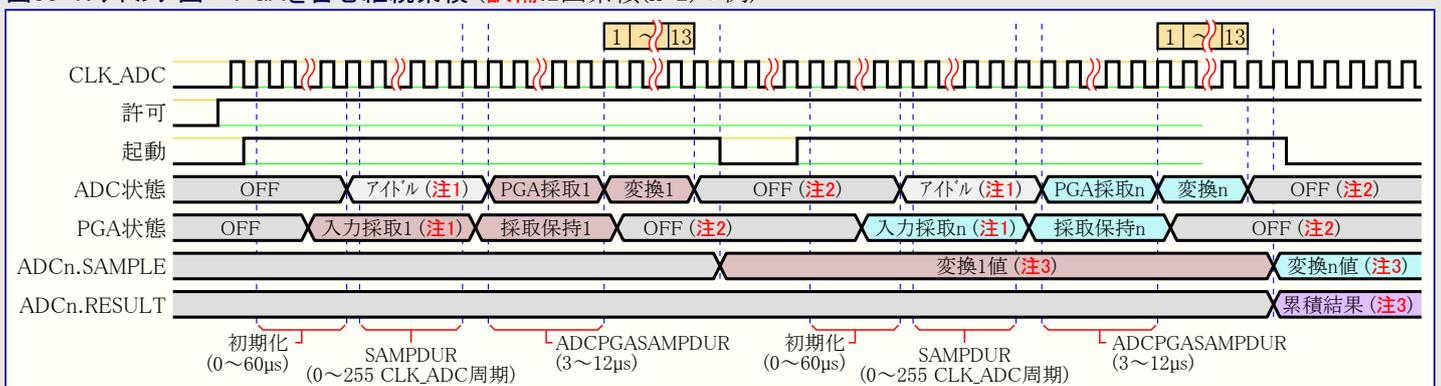
$$f_{conv} (12\text{ビット}) = \frac{1}{\frac{\text{SAMPDUR} + 15.5}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR}}$$

$$f_{conv} (8\text{ビット}) = \frac{1}{\frac{\text{SAMPDUR} + 11.5}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR}}$$

### 33.3.3.6.5. PGAを含む継続累積

下図はPGAと共に継続累積動作で動く時のADCに対するタイミング図を示します。

図33-7. タイミング図 - PGAを含む継続累積 (訳補:2回累積(n=2)の例)



- 注1:** PGAは一旦PGA初期化が終わると、例えばADC初期化が未だ進行中でも入力の採取を始めます。この場合、最初の採取時間は採取持続時間(SAMPDUR)によって構成設定されるよりも長くなります。
- 注2と注3は次頁へ**

**注2:** 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタで低遅延(LOWLAT)ビットが'1'に設定される場合、ADC内のアナログ単位部は変換の最後でOFFに切り替わらず、次の変換の起動時の初期化時間をなくします。PGAは新しいPGA採取が起きるまで入力採取状態に留まります。

**注3:** 変換が終わってから出力がレジスタで利用可能になる時間は0.5 CLK\_ADC周期と後続する1 CLK\_MAIN周期です。最後の交換と累積は追加のCLK\_MAIN周期を必要とします。最小前置分周で、これは最終出力が利用可能になる前に合計で1.5 CLK\_ADC周期になります。

累積する採取数は制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取数(SAMPNUM)ビット領域によって設定されます。

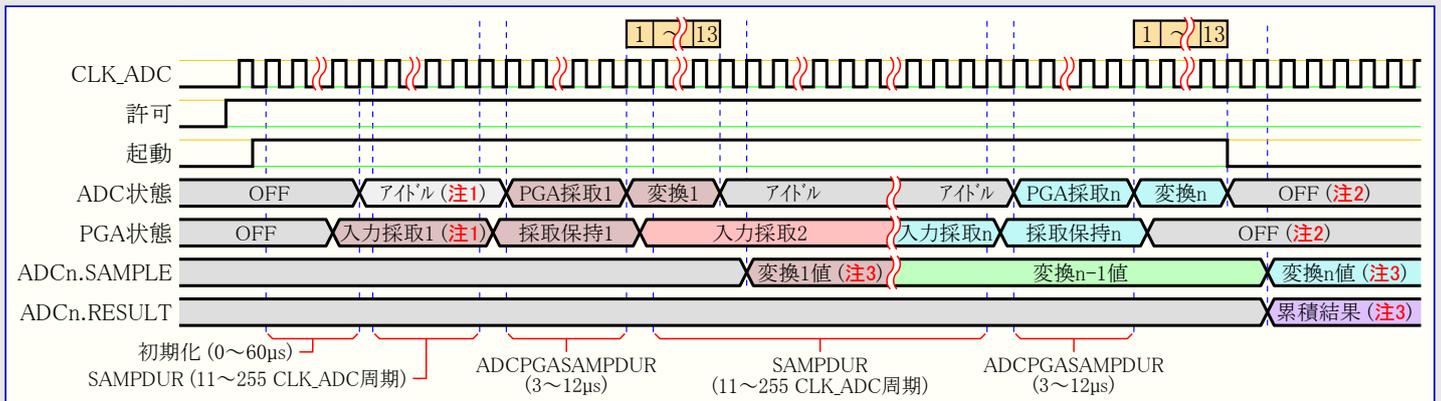
各独立した採取に対する $\mu\text{s}$ での総変換時間( $t_{\text{conv}}$ )は次によって計算されます。

$$t_{\text{conv}} = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 15.5}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR}$$

### 33.3.3.6.6. PGAを含む集中累積

下図はPGAと共に集中累積動作で動く時のADCに対するタイミング図を示します。

図33-8. タイミング図 - PGAを含む集中累積



**注1:** PGAは一旦PGA初期化が終わると、例えばADC初期化が未だ進行中でも入力の採取を始めます。この場合、最初の採取時間は採取持続時間(SAMPDUR)によって構成設定されるよりも長くなります。

**注2:** 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタで低遅延(LOWLAT)ビットが'1'に設定される場合、ADC内のアナログ単位部は変換の最後でOFFに切り替わらず、次の変換の起動時の初期化時間をなくします。PGAは新しいPGA採取が起きるまで入力採取状態に留まります。

**注3:** 変換が終わってから出力がレジスタで利用可能になる時間は0.5 CLK\_ADC周期と後続する1 CLK\_MAIN周期です。最後の交換と累積は追加のCLK\_MAIN周期を必要とします。最小前置分周で、これは最終出力が利用可能になる前に合計で1.5 CLK\_ADC周期になります。

累積する採取数は制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの採取数(SAMPNUM)ビット領域によって設定されます。

PGAを含む集中累積についてはSAMPDURが $\geq 11$ でなければなりません。総変換時間( $t_{\text{conv}}$ )は次によって $\mu\text{s}$ で計算されます。

$$t_{\text{conv}} = \text{初期化時間} + \frac{(\text{SAMPDUR} + 2) \times \text{SAMPNUM} + 14}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR} \times \text{SAMPNUM}$$

集中変換速度( $f_{\text{conv}}$ )は次によって計算されます。

$$f_{\text{conv}} = \frac{1}{\frac{\text{SAMPDUR} + 2}{f_{\text{CLK\_ADC}}} + \text{ADCPGASAMPDUR}}$$

### 33.3.3.7. 温度測定

チップ上の温度感知器が利用可能です。温度測定を行うには以下のこれらの手順に従ってください。

1. 制御C(ADCn.CTRLC)レジスタの参照基準選択(REFSEL)ビット領域を書くことによって参照基準電圧を内部1.024Vに構成設定してください。
2. 正入力多重器(ADCn.MUXPOS)レジスタで入力として温度感知器を選んでください。
3. 制御E(ADCn.CTRLE)レジスタの採取持続時間(SAMPDUR)ビット領域に $32\mu\text{s} \times f_{\text{CLK\_ADC}}$ 以上(訳補:脚注参照)の値を書くことによってADC採取持続時間を構成設定してください。
4. 12ビットシングルエント変換を走らせて温度感知器出力電圧を採取してください。
5. 次に記述されるように測定結果を処理してください。

(訳補) SAMPDURがCLK\_ADC周期数で設定するため、 $32\mu\text{s}$ 以上になるCLK\_ADC周期数の意味です。

測定した電圧は温度に対して直線的関係を持ちます。製法変化のため、温度感知器出力電圧は同じ温度に於いて個別デバイス間で変わります。製造検査の間に測定された個別補償係数は識別列で次のように格納されます。

- SIGROW.TEMPSENSE0は温度感知器の利得/傾斜補正です。
- SIGROW.TEMPSENSE1は温度感知器の変位(オフセット)補正です。

もっと正確な結果を達成するため、温度感知器測定の結果はデバイス製造または使用者校正からの補償値を用いて応用ソフトウェアで処理されなければなりません。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

次式は(ケルビンでの)温度を計算するのに使われます。

$$T = \frac{(\text{ADC結果} - \text{変位補正}) \times \text{傾斜補正}}{4096}$$

識別列からの補償値を使う時は応用コードで以下のこれらの手順に従うことが推奨されます。

```
#define SCALING_FACTOR 4096 // 尺度調整値

int16_t sigrow_offset = (int16_t) SIGROW.TEMPSENSE1; // 識別列から符号付き変位読み込み
int16_t sigrow_slope = (int16_t) SIGROW.TEMPSENSE0; // 識別列から符号付き傾斜読み込み
uint16_t adc_reading = ADC0.RESULT; // ADC変換結果

int32_t temp = ((int32_t) adc_reading) + sigrow_offset;
temp *= sigrow_slope; // 結果が16ビット変数を溢れ得ます。
temp += SCALING_FACTOR / 2; // 次の除算での正しい丸めを保証
temp /= SCALING_FACTOR; // ケルビンでの最も近い整数へ丸め
uint16_t temperature_in_K = (uint16_t) temp;
int16_t temperature_in_C = temp - 273;
```

### 33.3.3.8. 窓比較器

ADCは変換または累積の出力が或る閾値越えと/または未満の時に**割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタの窓比較器割り込み要求(WCMP)フラグ**を立てることができます。利用可能な動作形態は次のとおりです。

- 結果が閾値超え
- 結果が閾値未満
- 結果が窓の内側(下側閾値以上で上側閾値以下)
- 結果が窓の外側(下側閾値未満または上側閾値越えのどちらか)

閾値は窓比較器下側/上側閾値(ADCn.WINLTとADCn.WINHT)レジスタを書くことによって設定されます。使う窓動作は**制御D(ADCn.CTRLD)レジスタの窓比較器動作(WINCM)ビット領域**によって選ばれます。

制御D(ADCn.CTRLD)レジスタの**窓動作元(WINSRC)ビット**は比較が**結果(ADCn.RESULT)レジスタ**の下位16ビットまたは**採取(ADCn.SAMPLE)レジスタ**のどちらで実行されるかを選びます。WCMPフラグに対して割り込み要求が許可される場合、WINSRCはRESRDYまたはSAMPRDYのどちらの割り込みベクタを要求するかを選びます。

複数採取累積時、窓比較元が結果レジスタの場合、結果と閾値間の比較は最後の変換完了後に起きます。供給元が採取レジスタの場合、比較は毎回の変換後に起きます。

ADCが既に動くように構成設定されるとの仮定で、窓比較器を使うには以下のこれらの手順に従ってください。

1. 窓比較器下側/上側閾値(ADCn.WINLTとADCn.WINHT)レジスタを書くことによって必要とされる閾値を設定してください。
2. 任意選択: **割り込み制御(ADCn.INTCTRL)レジスタの窓比較器割り込み許可(WCMP)ビット**に'1'を書くことによって割り込み要求を許可してください。
3. 制御D(ADCn.CTRLD)レジスタでWINSRCビットへとWINCMビット領域に0以外の値を書くことによって窓比較器を許可してください。

累積採取時、窓比較器閾値は各採取ではなく累積された値に対して適用されます。結果の左揃えを使うことが採取数と無関係な比較値にします。

### 33.3.4. 事象

ADCは以下の事象を生成することができます。

表33-9. ADC事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
ADCn	RESRDY	結果準備可	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	SAMPRDY	採取準備可			
	WCMP	窓比較一致			

事象を生成する条件は**割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタ**で対応するフラグを掲げるそれらと同じです。

ADCは入力事象を検出して働くための1つの事象使用部を持ちます。下表は事象使用部と関連する機能を記述します。

表33-10. ADC事象使用部と利用可能な事象活動

使用部名		説明	入力検出	同期/非同期
周辺機能	入力			
ADCn	START	事象でADC開始	端	非同期

START事象活動は指令(ADCn.COMMAND)レジスタの変換開始(START)ビット領域にEVENT\_TRIGGER設定が書かれる場合に起動することができます。

### 33.3.5. 割り込み

表33-11. 利用可能な割り込みベクタと供給元

名前	ベクタ説明	割り込み要求フラグ	条件
ERROR	異常割り込み	TRIGOVR	別のものが進行中に新しい変換が起動される。
		SAMPOVR	新しい変換がADCn.SAMPLEで未読試料を上書き
		RESOVR	新しい変換または累積がADCn.RESULTで未読結果を上書き
SAMPRDY	採取準備可割り込み	SAMPRDY	ADCn.SAMPLEで試料が利用可能
		WCMP	ADCn.CTRLDのWINSRCとWINCMによって定義されたとおりの時
RESRDY	結果準備可割り込み	RESRDY	ADCn.RESULTで結果が利用可能
		WCMP	ADCn.CTRLDのWINSRCとWINCMによって定義されたとおりの時

割り込み条件が起こると、割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタで対応する割り込み要求フラグが設定(1)されます。

割り込み元は割り込み制御(ADCn.INTCTRL)レジスタで対応する許可ビットに書くことによって許可または禁止されます。

割り込み要求は対応する割り込み元が許可され、割り込み要求フラグが設定(1)される時に生成されます。割り込み要求は割り込み要求フラグが解除(0)されるまで活性(1)に留まります。割り込み要求フラグを解除(0)する方法の詳細についてはADCn.INTFLAGSレジスタをご覧ください。

### 33.3.6. 休止形態動作

ADCはアイドル/スタンバイの休止動作へ行く前に変換を終えます。ADCは指令(ADCn.COMMAND)レジスタの変換開始(START)ビット領域が事象起動での変換開始に構成設定されていれば、アイドル休止動作で変換を開始することができます。これは制御A(ADCn.CTRLA)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが設定(1)される場合にスタンバイ休止動作でも可能です。

制御Aレジスタで低遅延(LOWLAT)とRUNSTDBYの両ビットが設定(1)される場合、休止中の消費電力増加を犠牲にして、より速く変換を開始するためにスタンバイ休止動作中に必要とされる全ての単位部をONに保ちます。

システムがパワーダウン休止動作に入ると、ADCは進行中の変換を中断して直ちに休止動作に入ります。パワーダウン休止動作に移行するのに先立って変換が完了しているのを確実にしてください。

### 33.3.7. デバッグ操作

デバッグ制御(ADCn.DBGCTRL)レジスタのデバッグ時走行(DBGRUN)ビットが'1'を書かれる場合、ADCはCPUがデバッグ動作で停止される時に動作を続けます。

CPUが停止する時にDBGRUNが'0'の場合、ADCが停止するまでに進行中の変換が終わります。

## 33.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$00	CTRLA	7~0	RUNSTDBY		LOWLAT					ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0						PRESC3~0		
+\$02	CTRLC	7~0							REFSEL2~0	
+\$03	CTRLD	7~0					WINSRC		WINCM2~0	
+\$04	INTCTRL	7~0			TRIGOVR	SAMPOVR	RESOVR	WCMP	SAMPREDY	RESRDY
+\$05	INTFLAGS	7~0			TRIGOVR	SAMPOVR	RESOVR	WCMP	SAMPREDY	RESRDY
+\$06	STATUS	7~0								ADCBUSY
+\$07	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$08	CTRLF	7~0						SAMPDUR7~0		
+\$09	CTRLF	7~0		CHOPPING	FREERUN	LEFTADJ		SAMPNUM3~0		
+\$0A	COMMAND	7~0	DIFF		MODE2~0				START2~0	
+\$0B	PGACTRL	7~0		GAIN2~0		PGABISASEL1,0				PGAEN
+\$0C	MUXPOS	7~0	VIA1,0				MUXPOS5~0			
+\$0D	MUXNEG	7~0	VIA1,0				MUXNEG5~0			
+\$0E ~ +\$0F	予約									
+\$10		7~0					RESULT7~0			
+\$11	RESULT	15~8					RESULT15~8			
+\$12		23~16					RESULT23~16			
+\$13		31~24					RESULT31~24			
+\$14	SAMPLE	7~0					SAMPLE7~0			
+\$15		15~8					SAMPLE15~8			
+\$16 ~ +\$17	予約									
+\$18	TEMP0	7~0					TEMP7~0			
+\$19	TEMP1	7~0					TEMP7~0			
+\$1A	TEMP2	7~0					TEMP7~0			
+\$1B	予約									
+\$1C	WINLT	7~0					WINLT7~0			
+\$1D		15~8					WINLT15~8			
+\$1E	WINHT	7~0					WINHT7~0			
+\$1F		15~8					WINHT15~8			

### 33.5. レジスタ説明

#### 33.5.1. CTRLA - 制御A (Control A)

名称 : CTRLA

変位 : +\$00

リセット : \$00

特質 : -

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

##### ● ビット7 - RUNSTDBY : スタンバイ時走行 (Run in Standby)

このビットはスタンバイ休止動作でADCが動くか否かを制御します。

値	0	1
説明	ADCはスタンバイ休止動作で動きません。進行中の変換はADCが休止動作に入る前に終わります。	ADCはスタンバイ休止動作で動きます。ADCが変換実行を起動されると、主クロックが要求されます。

##### ● ビット5 - LOWLAT : 低遅延 (Low Latency)

このビットはADCによって必要とされるアナログ単位部が継続的に許可されるかそれとも必要とされる時にだけかを制御します。

値	0	1
説明	ADCは変換を開始する時にだけ必要とされるアナログ単位部を許可し、これはADCの消費電力全体を減らし、ADC変換開始時の初期化時間を増します。	アナログ単位部はそれらがADCへの入力として選ばれる時に許可に留まります。この選択の使用はADCの初期化時間を最小にします。 <b>注:</b> LOWLATはADCが変換していない時に許可されたクロック元を維持せず、故にLOWLATが設定(1)されても、クロック始動遅延を経験するかもしれません。遅延を避けるため、クロック元が常に許可されるのを確実にしてください。

##### ● ビット0 - ENABLE : ADC許可 (ADC Enable)

このビットはADCが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	ADCは禁止されます。	ADCは許可されます。

#### 33.5.2. CTRLB - 制御B (Control B)

名称 : CTRLB

変位 : +\$01

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					PRESC3~0			
アクセス種別	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 - PRESC3~0 : 前置分周器 (Prescaler)

このビット領域は周辺機能クロック(CLK\_PER)からADCクロック(CLK\_ADC)への分周係数を制御します。

値	0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 0	0 0 1 1	0 1 0 0	0 1 0 1	0 1 1 0	0 1 1 1
名称	DIV2	DIV4	DIV6	DIV8	DIV10	DIV12	DIV14	DIV16
説明	CLK_PER/2	CLK_PER/4	CLK_PER/6	CLK_PER/8	CLK_PER/10	CLK_PER/12	CLK_PER/14	CLK_PER/16
値	1 0 0 0	1 0 0 1	1 0 1 0	1 0 1 1	1 1 0 0	1 1 0 1	1 1 1 0	1 1 1 1
名称	DIV20	DIV24	DIV28	DIV32	DIV40	DIV48	DIV56	DIV64
説明	CLK_PER/20	CLK_PER/24	CLK_PER/28	CLK_PER/32	CLK_PER/40	CLK_PER/48	CLK_PER/56	CLK_PER/64

### 33.5.3. CTRLC - 制御C (Control C)

名称 : CTRLC  
 変位 : +\$02  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							REFSEL2~0	
アクセス種別	R/W	R/W						
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

#### ●ビット2~0 - REFSEL2~0 : 参照基準選択 (Reference Selection)

このビット領域はADCに対する参照基準電圧を制御します。内部参照基準の1つへの変更は60 $\mu$ s初期化時間を必要とします。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	VDD	-	VREFA	-	1V024	2V048	4V096	2V500
説明	VDD	(予約)	外部VREFA参照基準	(予約)	内部1.024V参照基準	内部2.048V参照基準	内部4.096V参照基準	内部2.500V参照基準

注: 内部参照基準はVDD-0.5Vよりも低い場合にだけ使うことができます。

### 33.5.4. CTRLD - 制御D (Control D)

名称 : CTRLD  
 変位 : +\$03  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					WINSRC	WINCM2~0		
アクセス種別	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 - WINSRC : 窓動作供給元 (Window Mode Source)

このビットは窓比較器によってどの供給元が使われるかを制御します。

値	0	1
名称	RESULT	SAMPLE
説明	窓比較器供給元としてADCn.RESULT15~0が使われます。	窓比較器供給元としてADCn.SAMPLE15~0が使われます。

#### ●ビット2~0 - WINCM2~0 : 窓比較器動作 (Window Comparator Mode)

このビット領域は窓比較器を許可するかどうかとどの閾値が**割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタの窓比較器割り込み要求(WCMP)フラグ**を設定(1)するかを制御します。

下表に於いて”出力”は**窓動作供給元(WINSRC)**によって選ばれた結果または採取です。WINLTとWINHTは各々、16ビット下側閾値と16ビット上側閾値です。

値	000	001	010	011	100	その他
名称	NONE	BELOW	ABOVE	INSIDE	OUTSIDE	-
説明	窓比較器禁止	出力<WINLT	出力>WINHT	WINLT ≤ 出力 ≤ WINHT	出力<WINLTまたは出力>WINHT	(予約)

### 33.5.5. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control)

名称 : INTCTRL  
 変位 : +\$04  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
			TRIGOVR	SAMPOVR	RESOVR	WCMP	SAMPRDY	RESRDY
アクセス種別	R	R	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5 - TRIGOVR : 起動超過割り込み許可 (Tigger Overrun Interrupt Enable)**

このビットは起動超過に対する割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	起動超過割り込みが禁止されます。	起動超過割り込みが許可されます。

● **ビット4 - SAMPOVR : 採取上書き割り込み許可 (Sample Overwrite Interrupt Enable)**

このビットは採取上書きに対する割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	採取上書き割り込みが禁止されます。	採取上書き割り込みが許可されます。

● **ビット3 - RESOVR : 結果上書き割り込み許可 (Result Overwrite Interrupt Enable)**

このビットは結果上書きに対する割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	結果上書き割り込みが禁止されます。	結果上書き割り込みが許可されます。

● **ビット2 - WCMP : 窓比較器割り込み許可 (Window Comparator Interrupt Enable)**

このビットは窓比較器に対する割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	窓比較器割り込みが禁止されます。	窓比較器割り込みが許可されます。

● **ビット1 - SAMPRDY : 採取準備可割り込み許可 (Sample Ready Interrupt Enable)**

このビットは採取準備可割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	採取準備可割り込みが禁止されます。	採取準備可割り込みが許可されます。

● **ビット0 - RESRDY : 結果準備可割り込み許可 (Result Ready Interrupt Enable)**

このビットは結果準備可割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	結果準備可割り込みが禁止されます。	結果準備可割り込みが許可されます。

### 33.5.6. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flags)

名称 : INTFLAGS

変位 : +\$05

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
			TRIGOVR	SAMPOVR	RESOVR	WCMP	SAMPRDY	RESRDY
アクセス種別	R	R	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5 - TRIGOVR : 起動超過割り込み要求フラグ (Tigger Overrun Interrupt Flag)**

これに'1'を書くことによってこのフラグを解除(0)してください。このフラグは変換が進行中に開始起動を受け取った時に設定(1)されます。このビットへの'0'書き込みは無効です。このビットへの'1'書き込みは起動超過割り込み要求フラグを解除(0)します。

● **ビット4 - SAMPOVR : 採取上書き割り込み要求フラグ (Sample Overwrite Interrupt Flag)**

これに'1'を書くことによってこのフラグを解除(0)してください。このフラグは採取(ADCn.SAMPLE)レジスタで未読採取(試料)が上書きされる時に設定(1)されます。このビットへの'0'書き込みは無効です。このビットへの'1'書き込みは採取上書き割り込み要求フラグを解除(0)します。

● **ビット3 - RESOVR : 結果上書き割り込み要求フラグ (Result Overwrite Interrupt Flag)**

これに'1'を書くことによってこのフラグを解除(0)してください。このフラグは結果(ADCn.RESULT)レジスタで未読採取(試料)が上書きされる時に設定(1)されます。このビットへの'0'書き込みは無効です。このビットへの'1'書き込みは結果上書き割り込み要求フラグを解除(0)します。

- **ビット2 - WCMP : 窓比較器割り込み要求フラグ** (Window Comparator Interrupt Flag)

これに'1'を書くことによってこのフラグを解除(0)してください。このフラグは変換または累積が完了し、閾値が**制御D(ADCn.CTRLD)レジスタの窓動作供給元(WINSRC)**と**窓比較器動作(WINCM)**によって設定される、選んだ窓比較器の供給元と動作に一致する時に設定(1)されます。このビットへの'0'書き込みは無効です。このビットへの'1'書き込みは窓比較器割り込み要求フラグを解除(0)します。

- **ビット1 - SAMPRDY : 採取準備可割り込み要求フラグ** (Sample Ready Interrupt Flag)

これに'1'を書くこと、または**採取(ADCn.SAMPLE)レジスタ**を読むことによってこのフラグを解除(0)してください。このフラグは変換が完了して新しい採取(試料)の準備が整った時に設定(1)されます。このビットへの'0'書き込みは無効です。このビットへの'1'書き込みは採取準備可割り込み要求フラグを解除(0)します。

- **ビット0 - RESRDY : 結果準備可割り込み要求フラグ** (Result Ready Interrupt Flag)

これに'1'を書くこと、または**結果(ADCn.RESULT)レジスタ**を読むことによってこのフラグを解除(0)してください。このフラグは変換または累積が完了して新しい結果の準備が整った時に設定(1)されます。このビットへの'0'書き込みは無効です。このビットへの'1'書き込みは結果準備可割り込み要求フラグを解除(0)します。

### 33.5.7. STATUS - 状態 (Status)

名称 : STATUS

変位 : +\$06

リセット : \$00

特質 : -

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

- **ビット0 - ADCBUSY : ADC多忙** (ADC Busy)

このビットはADC変換が完了し、構成設定変更に関連する安定時間が終えられた時に解除(0)します。このビットはADCが変換を行っている、または構成設定変更に関連する安定時間を待っている時に設定(1)されます。

### 33.5.8. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control)

名称 : DBGCTRL

変位 : +\$07

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								DBGRUN
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 - DBGRUN : デバッグ時走行** (Debug Run)

このビットはデバッグ動作でCPUが停止される時にADCが動作を続けるか否かを制御します。

値	0	1
説明	ADCはCPUが停止される時のデバッグ動作で動作を続けません。進行中の変換や集中累積はADCが止まる前に終わります。	ADCはCPUが停止される時のデバッグ動作で動作を続けます。

### 33.5.9. CTRL E - 制御E (Control E)

名称 : CTRL E

変位 : +\$08

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SAMPDUR7~0							
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 - SAMPDUR7~0 : 採取持続時間** (Sample Duration)

このビット領域はADCクロック(CLK\_ADC)周期数で入力採取持続時間を制御します。PGAなしでの採取持続時間は(SAMPDUR+½)CLK\_ADC周期です。

PGAを使う場合、入力採取持続時間は(SAMPDUR+1)CLK\_ADC周期で、同時にADC PGA採取持続時間(ADCPGASAMPDUR)はADCがどの位の長さPGAを採取するかを制御します。

PGAなしで内部参照基準を使う場合、SAMPDURは値 $\geq 4\mu\text{s} \times f_{\text{CLK\_ADC}}$ に設定されなければなりません。

### 33.5.10. CTRLF - 制御F (Control F)

名称 : CTRLF

変位 : +\$09

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		CHOPPING	FREERUN	LEFTADJ	SAMPNUM3~0			
アクセス種別	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 - CHOPPING : 符号刻み (Sign Shopping)

このビットは変位(オフセット)を減らすために符号刻みが許可されるかどうかを制御します。

単独動作は符号刻みを支援しません。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	符号刻み禁止	符号刻み許可

#### ● ビット5 - FREERUN : 自由走行 (Free Running)

このビットはADC自由走行動作が許可されるか否かを制御します。

継続累積動作は自由走行動作を支援しません。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	ADC自由走行動作が禁止されます。	ADC自由走行動作が許可されます。直前の変換または累積が完了すると直ぐに新しい変換が開始します。

#### ● ビット4 - LEFTADJ : 左揃え (Left Adjust)

このビットはADC出力が左揃えされるか否かを制御します。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	ADC出力左揃えが禁止されます。	ADC出力左揃えが許可されます。

#### ● ビット3~0 - SAMPNUM3~0 : 採取累積数選択 (Sample Accumulation Number Select)

このビット領域は自動的に結果(ADCn.RESULT)レジスタに累積される連続するADC採取数を制御します。ADC採取(ADCn.SAMPLE)レジスタで最新の採取が利用可能です。

値	0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 0	0 0 1 1	0 1 0 0		
名称	NONE	ACC2	ACC4	ACC8	ACC16		
説明	累積なし、変換結果毎に単一採取	2採取累積	4採取累積	8採取累積	16採取累積		
値	0 1 0 1	0 1 1 0	0 1 1 1	1 0 0 0	1 0 0 1	1 0 1 0	その他
名称	ACC32	ACC64	ACC128	ACC256	ACC512	ACC1024	-
説明	32採取累積	64採取累積	128採取累積	256採取累積	512採取累積	1024採取累積	(予約)

### 33.5.11. COMMAND - 指令 (Command)

名称 : COMMAND  
 変位 : +\$0A  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DIFF		MODE2~0			START2~0		
アクセス種別	R/W	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7 - DIFF : 差動 (Differential)

このビットはADC変換がシングル エントまたは差動のどちらかを制御します。

値	0	1
説明	符号なしシングル エント変換。正入力多重器(ADCn.MUXPOS)レジスタだけが使われます。	符号付き差動変換。正入力多重器(ADCn.MUXPOS)と負入力多重器(ADCn.MUXNEG)の両レジスタが使われます。

#### ● ビット6~4 - MODE2~0 : 動作形態 (Mode)

このビット領域はADCに対する変換動作を制御します。累積動作の1つから単独動作への切り替えは累積器をリセットします。

値	名称	説明
0 0 0	SINGLE_8BIT	8ビット分解能での単独変換
0 0 1	SINGLE_12BIT	12ビット分解能での単独変換
0 1 0	SERIES	継続累積、毎回の12ビット変換に対して独立した起動
0 1 1	SERIES_SCALING	継続累積と尺度調整、毎回の12ビット変換に対して独立した起動
1 0 0	BURST	集中累積。1回の起動が一続きで採取数(SAMPNUM)回の12ビット変換を実行
1 0 1	BURST_SCALING	集中累積と尺度調整。1回の起動が一続きで採取数(SAMPNUM)回の12ビット変換を実行
その他	-	(予約)

#### ● ビット2~0 - START2~0 : 変換開始 (Start Conversion)

このビット領域はADC変換を開始または停止するか、またはADC変換をどう開始するかを制御します。

値	名称	説明
0 0 0	STOP	進行中の変換を停止
0 0 1	IMMEDIATE	直ちに変換開始。これは自由走行動作が許可されていない限り、変換終了時にSTOPに戻します。
0 1 0	MUXPOS_WRITE	正入力多重器(MUXPOS)レジスタ書き込み終了時に開始
0 1 1	MUXNEG_WRITE	負入力多重器(MUXNEG)レジスタ書き込み終了時に開始
1 0 0	EVENT_TRIGGER	事象がADCによって受け取られる時に開始
その他	-	(予約)

**注:** 制御A(ADCn.CTRLA)レジスタのADC許可(ENABLE)ビットが'0'なら、STARTビット領域にIMMEDIATEを書くと、自動的にSTOPを設定します。

### 33.5.12. PGACTRL - PGA制御 (PGA Control)

名称 : PGACTRL  
 変位 : +\$0B  
 リセット : \$04  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	GAIN2~0			PGABIASSEL1,0				PGAEN
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	1	0	0

#### ● ビット7~5 - GAIN2~0 : 利得 (Gain)

このビット領域はPGA利得設定を制御します。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
名称	1X	2X	4X	8X	16X	-	-	-
説明	1倍利得	2倍利得	4倍利得	8倍利得	16倍利得	(予約)	(予約)	(予約)

#### ● ビット4,3 - PGABIASEL1,0 : PGAバイアス選択 (PGA Bias Select)

このビット領域はPGAへ供給されるバイアス電流を制御します。

値	00	01	10	11
名称	100PCT	75PCT	50PCT	25PCT
説明	100%バイアス電流 $f_{CLK\_ADC} \leq 6\text{MHz}$ で使用可	75%バイアス電流 $f_{CLK\_ADC} \leq 4.5\text{MHz}$ で使用可	50%バイアス電流 $f_{CLK\_ADC} \leq 3\text{MHz}$ で使用可	25%バイアス電流 $f_{CLK\_ADC} \leq 1.5\text{MHz}$ で使用可

#### ● ビット0 - PGAEN : PGA許可 (PGA Enable)

このビットは窓比較器によってどの供給元が使われるかを制御します。入力多重器(ADCn.MUXPOSまたはADCn.MUXNEG)レジスタの経由(VIA)ビット領域によって選ばれた時にPGAが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	PGAが禁止されます。	PGAが許可されます。

注: 例えVIAビット領域によって選ばれていなくても、制御A(ADCn.CTRLA)レジスタの低遅延(LOWLAT)とPGAENの両方が'1'の場合、PGAは継続的にONです。これはADCがPGAを使うように構成設定する場合に初期化時間をなくします。

### 33.5.13. MUXPOS - 正入力多重器 (Positive Input Multiplexer)

名称 : MUXPOS

変位 : +\$0C

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	VIA1,0		MUXPOS5~0					
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7,6 - VIA1,0 : 経由 (Via PGA)

このビット領域はアナログ入力はどうADCに接続されるかを制御します。

値	00	01	その他
名称	DIRECT	PGA	-
説明	ADCへ直接接続される入力	PGA経由でADCへ接続される入力	(予約)

注: MUXPOSとMUXNEGのVIAビット領域は共有され、故に2つのレジスタの1つのVIAビット領域に書かれた値は両方で更新されます。従って、PGAを使う一方の入力とPGAを使わない他方を持つことはできません。

#### ● ビット5~0 - MUXPOS5~0 : 正入力多重器 (Positive Input Multiplexer)

このビット領域はどのアナログ入力があるADC/PGAの正入力に接続されるかを制御します。この設定の変更は幾らかの安定時間を必要とします。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

値	\$00~\$07	\$10~\$1F	\$30	\$31	\$32	その他
名称	AIN0~AIN7	AIN16~AIN31	GND	VDDDIV10	TEMPSENSE	-
説明	ADC入力0~7ピン	ADC入力16~31ピン	接地	VDD/10	温度感知器	(予約)

## 33.5.14. MUXNEG - 負入力多重器 (Negative Input Multiplexer)

名称 : MUXNEG  
 変位 : +\$0D  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	VIA1,0		MUXNEG5~0					
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7,6 - VIA1,0 : 経由 (Via PGA)

このビット領域はアナログ入力はどうADCに接続されるかを制御します。

値	0 0	0 1	その他
名称	DIRECT	PGA	-
説明	ADCへ直接接続される入力	PGA経由でADCへ接続される入力	(予約)

注: MUXPOSとMUXNEGのVIAビット領域は共有され、故に2つのレジスタの1つのVIAビット領域に書かれた値は両方で更新されます。従って、PGAを使う一方の入力とPGAを使わない他方を持つことはできません。

## ● ビット5~0 - MUXNEG5~0 : 負入力多重器 (Negative Input Multiplexer)

このビット領域はどのアナログ入力があるADC/PGAの負入力に接続されるかを制御します。この設定の変更は幾らかの安定時間を必要とします。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

値	\$00~\$07	\$10~\$1F	\$30	\$39	\$3A	その他
名称	AIN0~AIN7	AIN16~AIN31	GND	DACREF0	DACREF1	-
説明	ADC入力0~7ピン	ADC入力16~31ピン	接地	AC0からのDACREF	AC1からのDACREF	(予約)

## 33.5.15. RESULT - 結果 (Result)

名称 : RESULT (RESULT3,RESULT2,RESULT1,RESULT0)  
 変位 : +\$10  
 リセット : \$00000000  
 特質 : -

ADCn.RESULT0~ADCn.RESULT3のレジスタは32ビット値のADCn.RESULTを表します。最下位バイト(ビット7~0、接尾辞0)は変位原点でアクセスできます。n高いバイト(ビット31~8)は変位+nでアクセスすることができます。

このレジスタからの出力の詳細については「出力形式」項を参照してください。

ビット	31	30	29	28	27	26	25	24
	RESULT31~24							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	23	22	21	20	19	18	17	16
	RESULT23~16							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	RESULT15~8							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RESULT7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

## ● ビット31~24 - RESULT31~24 : 結果バイト3 (Result byte 3)

このビット領域はADCn.RESULTレジスタの最上位バイトを構成します。

- ビット23~16 - RESULT23~16 : 結果バイト2 (Result byte 2)

このビット領域はADCn.RESULTレジスタの第3バイトを構成します。

- ビット15~8 - RESULT15~8 : 結果バイト1 (Result byte 1)

このビット領域はADCn.RESULTレジスタの第2バイトを構成します。

- ビット7~0 - RESULT7~0 : 結果バイト0 (Result byte 0)

このビット領域はADCn.RESULTレジスタの最下位バイトを構成します。

### 33.5.16. SAMPLE - 採取 (Sample)

名称 : SAMPLE (SAMPLEH,SAMPLEL)

変位 : +\$14

リセット : \$0000

特質 : -

ADCn.SAMPLEHとADCn.SAMPLELのレジスタ対は16ビット値のADCn.SAMPLEを表します。下位バイト(ビット7~0、接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト(ビット15~8、接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

このレジスタからの出力の詳細については「出力形式」項を参照してください。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	SAMPLE15~8							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SAMPLE7~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット15~8 - SAMPLE15~8 : 採取上位バイト (Sample high byte)

このビット領域はこの16ビットレジスタの上位バイトを構成します。

- ビット7~0 - SAMPLE7~0 : 採取下位バイト (Sample low byte)

このビット領域はこの16ビットレジスタの下位バイトを構成します。

### 33.5.17. TEMPn - 一時n (Temporary n)

名称 : TEMP0 : TEMP1 : TEMP2

変位 : +\$18 : +\$19 : +\$1A

リセット : \$00

特質 : -

一時レジスタはこの周辺機能の16ビットと32ビットのレジスタへの単一周期アクセスのためにCPUによって使われます。このレジスタはこの周辺機能の全ての16ビットと32ビットのレジスタに対して共通で、ソフトウェアによって読み書きすることができます。16ビットと32ビットのレジスタの読み書きのより多くの詳細については「メモリ」章の「24ビットと32ビットのレジスタのアクセス」を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TEMP7~0							
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 - TEMP7~0 : 一時値 (Temporary)

16ビットと32ビットのレジスタに対する読み書き用の一時的なビット領域。

**33.5.18. WINLT - 窓比較器下側閾値 (Window Comparator Low Threshold)**

名称 : WINLT (WINLTH,WINLTL)

変位 : +\$1C

リセット : \$0000

特質 : -

このレジスタはADCの結果または採取(ADCn.RESULTまたはADCn.SAMPLE)のレジスタを監視するデジタル比較器用の16ビット下側閾値です。データ形式は変換動作形態と左揃え設定に従わなければなりません。

ADCn.WINLTHとADCn.WINLTLのレジスタ対は16ビット値のADCn.WINLTを表します。下位バイト(ビット7~0、接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト(ビット15~8、接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

累積動作でADC結果レジスタ監視時、窓比較器閾値は全ての累積と任意選択の尺度調整が済んだ後の結果に対して適用されます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
WINLT15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
WINLT7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット15~8 - WINLT15~8 : 窓比較器下側閾値上位バイト (Window Comparator Low Threshold high byte)**

このビット領域は16ビットレジスタの上位バイトを保持します。

● **ビット7~0 - WINLT7~0 : 窓比較器下側閾値下位バイト (Window Comparator Low Threshold low byte)**

このビット領域は16ビットレジスタの下位バイトを保持します。

**33.5.19. WINHT - 窓比較器上側閾値 (Window Comparator High Threshold)**

名称 : WINHT (WINHTH,WINHTL)

変位 : +\$14

リセット : \$0000

特質 : -

このレジスタはADCの結果または採取(ADCn.RESULTまたはADCn.SAMPLE)のレジスタを監視するデジタル比較器用の16ビット上側閾値です。データ形式は変換動作形態と左揃え設定に従わなければなりません。

ADCn.WINHTHとADCn.WINHTLのレジスタ対は16ビット値のADCn.WINHTを表します。下位バイト(ビット7~0、接尾辞L)は変位原点でアクセスできます。上位バイト(ビット15~8、接尾辞H)は変位+1でアクセスすることができます。

累積動作でADC結果レジスタ監視時、窓比較器閾値は全ての累積と任意選択の尺度調整が済んだ後の結果に対して適用されます。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
WINHT15~8								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
WINHT7~0								
アクセス種別	R/W							
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット15~8 - WINHT15~8 : 窓比較器上側閾値上位バイト (Window Comparator High Threshold high byte)**

このビット領域は16ビットレジスタの上位バイトを保持します。

● **ビット7~0 - WINHT7~0 : 窓比較器上側閾値下位バイト (Window Comparator High Threshold low byte)**

このビット領域は16ビットレジスタの下位バイトを保持します。

## 34. UPDI – 統一プログラム/デバッグ インターフェース

### 34.1. 特徴

- 外部プログラミングとチップ上デバッグ(OCD)用UPDI単線インターフェース
  - 高電圧またはヒューズによるプログラミング許可
  - UPDI機能の許可にRESETピンとプログラミング用にデバイスの1つのUPDIピンを使用
  - 書き込み器に対する非同期半二重UART規約
- プログラミング
  - 組み込み誤り検出と誤り認識票生成
  - より速いプログラミングのための応答生成無効
- デバッグ
  - デバイスのアドレス空間(NVM, RAM, I/O)に対するメモリ割り当てアクセス
  - デバイスのクロック周波数での制限なし
  - 制限なしの使用者プログラム中断点(ブレイクポイント)
  - 2つのハードウェア中断点
  - 高度なOCD機能に対する支援
    - コード鑑定のためのCPUプログラムカウンタ(PC)、スタックポインタ(SP)、ステータスレジスタ(SREG)の走行時読み出し
    - CRCでの中断/停止状況の検出と合図
    - 実行、停止、リセットのデバッグ命令用プログラムの流れ制御
  - システムレジスタのアクセスなしでの非干渉走行時チップ監視
  - 施錠されたデバイスでのフラッシュメモリのCRC検査結果を読むためのインターフェース
- プログラム/デバッグ インターフェース禁止(PDID)安全機能
  - UPDI保護(PDICFG)と施錠(LOCK)のヒューズによって制限できるUPDIアクセス
  - ブートローダは未だファームウェア更新を調停

### 34.2. 概要

統一プログラム/デバッグ インターフェース(UPDI)は外部書き込み器とデバイスのOCD用の専用インターフェースです。

UPDIは不揮発性メモリ(NVM)空間のフラッシュメモリ、EEPROM、ヒューズ、施錠ビット、そして使用者列のプログラミングを支援します。いくつかのメモリ割り当てレジスタは許可された正しいアクセス特権(鍵、施錠ビット)でだけ、そしてOCD停止動作または特定のプログラミング動作でだけアクセス可能です。これらの動作はUPDIに正しい鍵を送ることによって解錠されます。NVM制御器経由のプログラミングとNVM制御器指令の実行については「[NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器](#)」章をご覧ください。

UPDIは3つの分離された規約層、UPDI物理(PHY)層、UPDIデータリンク(DL)層、UPDIアクセス(ACC)層に分割されます。既定PHY層は接続された書き込み器/デバッグに対してUPDIピン線を渡る双方向UART通信を扱い、単線通信動作で到着データフレームでのデータ再生とクロック再生を提供します。受け取った命令と対応するデータはDL層によって処理され、復号された命令に基づいてACC層との通信の準備をします。システムバスとメモリ割り当てレジスタへのアクセスはACC層を通して許されます。

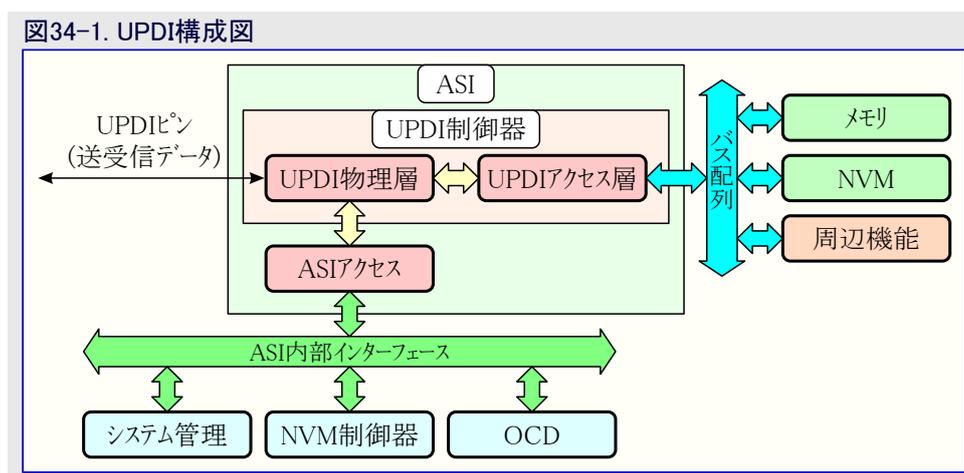
プログラミングとデバッグはデータの受信と送信に対して専用のUPDIピンを使う半二重インターフェースに基づく単線UARTのPHY層を通して行われます。PHY層のクロック駆動は専用内部発振器によって行われます。

ACC層はUPDIと接続されたバス配列間のインターフェースです。この層はメモリ、NVM、周辺機能のようなシステム部へのメモリ割り当てアクセスを持つバス配列に対してUPDI経由でのアクセスを許します。

非同期システム インターフェース(ASI:Asynchronous System Interface)はOCD、NVM、システム管理系で機能を選ぶための直接インターフェースアクセスを提供し、これはバスアクセスを要求することなく、システム情報への直接アクセスをデバッグに与えます。

UPDIアクセスはUPDI保護(PDICFG)と施錠(LOCK)のヒューズによって制限することができ、一方でブートローダは未だファームウェア更新を調停します。

#### 34.2.1. 構成図



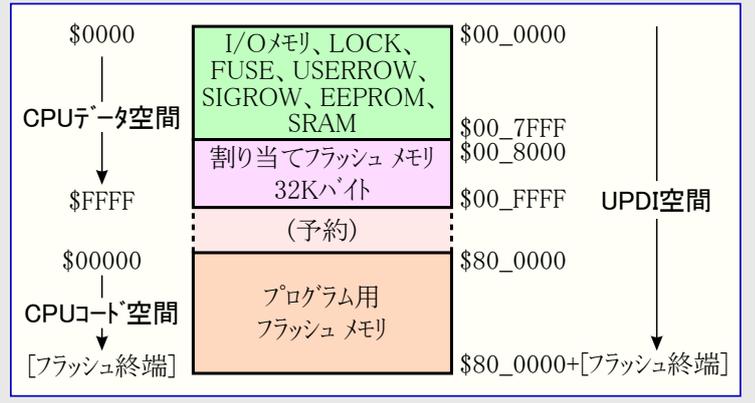
### 34.2.2. プログラム メリ空間のアドレス指定

CPUデータ空間で、I/Oメモリ、LOCK、EEPROM、SRAMは\$0000～\$7FFFのアドレスに置かれます。加えて、(32Kバイトまでの)フラッシュメモリの部分は\$8000～\$FFFFのアドレスに割り当てることができます。これらのアドレス(\$0000～\$FFFF)はUPDI周辺機能によるアクセスに対しても有効です。

CPUコード空間、即ち、フラッシュメモリ全体は相対アドレス\$0000から始まるLPM/SPM命令を使ってCPUによってアクセスすることができます。UPDIによるアクセスについてはCPUデータ空間とCPUコード空間が仮想的に1つの続いたアドレス空間で、コード空間は常に\$80\_0000の変位アドレスで始まります。

与えられたデバイスでのメモリ空間の正確なアドレスとより多くの詳細については「メモリ」章をご覧ください。

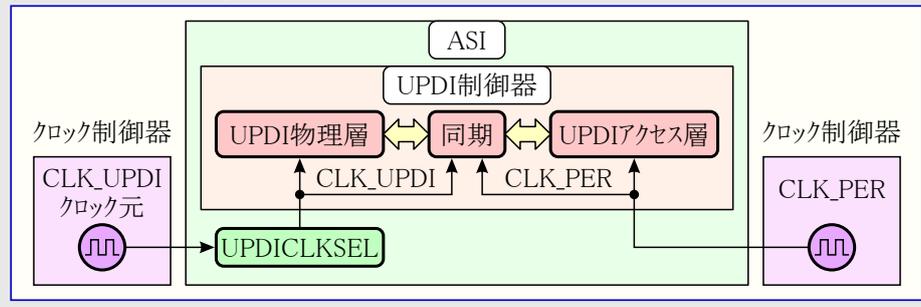
図34-2. UPDIから見たメモリ割り当て



### 34.2.3. クロック

PHY層とACC層は違うクロック領域で動くことができます。PHY層クロックは専用内部発振器から得られ、ACC層クロックは周辺機能クロックと同じです。PHY層とACC層間にはクロック領域間の正しい動作を保証する同期境界があります。UPDIクロック出力周波数はASIを通して選ばれ、UPDI許可またはリセット後の既定UPDIクロック始動周波数は4MHzです。UPDIクロック周波数はASI制御A(UPDI,ASI\_CTRLA)レジスタのUPDIクロック分周器選択(UPDICLKSEL)ビット領域を書くことによって変更することができます。

図34-3. UPDIクロック領域



### 34.2.4. 物理層

PHY層は接続された書き込み器/デバッガとデバイス間の通信インターフェースです。PHY層の主な機能は次のように要約することができます。

- UPDIピンで半二重UART通信を使い、UPDI単線非同期動作を支援
- 内部ポーレート検出、UARTフレームでのクロックとデータの再生
- 異常検出(パリティ、クロック再生、フレーム、システム異常)
- 送信応答生成(ACK)
- 動作中の異常識票の生成
- 保護時間制御

### 34.2.5. 入出力線と接続

UPDIは半二重UART通信にUPDIピンを使います。

RESETピンはUPDI動作を発動して維持するのに使うことができます。

RESETピンはシステム構成設定0(SYSCFG0)ヒューズのリセットピン構成設定(RSTPINCFG)ビットの構成設定に応じて、RESETまたは入力として使うことができます。UPDIピンはSYSCFG0ヒューズのUPDIピン構成設定(UPDIPINCFG)ビットの構成設定に応じて、GPIOとしてまたはUPDI機能用に使うことができます。RESETピンへ印加された高電圧はUPDI動作を発動して維持するのに使うことができ、従ってSYSCFG0ヒューズの両ピンの構成設定を無効にします。

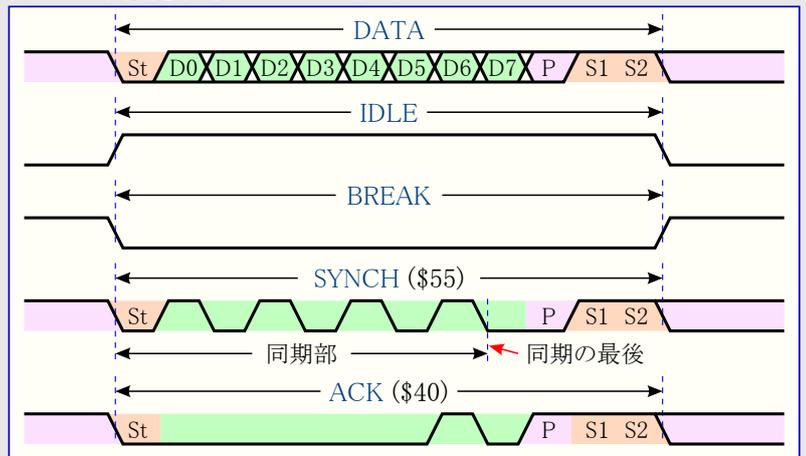
必須と任意選択のピン構成設定についての詳細に関しては「34.3.2.1. UPDI許可」項を参照してください。

### 34.3. 機能的な説明

#### 34.3.1. 動作の原理

UPDIを通す通信は固定フレーム形式、クロックとデータの再生に対する自動ボーレート検出を用いる標準USART通信に基づきます。データフレームに加えて、通信のためにいくつかの制御フレーム(DATA、IDLE、BREAK、SYNCH、ACK)が重要です。

図34-4. 支援されるUPDIフレーム形式



フレーム	説明
DATA	DATAフレームは常にLowの1開始(St)ビット、8データビット、偶数パリティ用の1パリティ(P)ビット、常にHighの2停止(S1とS2)ビットから成ります。パリティビットまたは停止ビットが不正な値を持つ場合、誤りが検出されてUPDIによって合図されます。UPDIでのパリティビット検査は制御A(UPDI.CTRLA)レジスタのパリティ禁止(PARD)ビットに('1')を書くことによって禁止することができます、その場合、デバッグからのパリティ生成は無視されます。
IDLE	IDLEは最低12個のHighビットから成る特別なフレームで、送信線をアイドル(IDLE)状態で維持するのと同じです。
BREAK	BREAKは最低12個のLowビットから成る特別なフレームです。UPDIを既定状態に戻してリセットするのに使われ、代表的に異常回復に使われます。
SYNCH	ボーレート生成部は到着する伝送に対してボーレートを設定するためにSYNCHフレームを使います。SYNCH文字は毎回の新しい命令の前とBREAKが成功裏に送信された後でUPDIによって常に期待されます。
ACK	ACKフレームはSTまたはSTSの命令が成功裏に同期境界を渡ってバスアクセスを得られた時に必ずUPDIから送信されます。デバッグによってACKが受信されると、次の送信を開始することができます。

##### 34.3.1.1. UPDI UART

通信はデバッグ/書き込み器側から開始されます。毎回の送信はSYNCH文字で開始しなければならず、これはUPDIが送信ボーレートを再生して到着データ用にこの設定を格納するのに使うことができます。SYNCH文字によって設定されるボーレートは後続する命令とデータのバイトの受信と送信の両方に使われます。次のSYNCH文字が命令の流れで予期される時の詳細については「UPDI命令一式」項をご覧ください。

UPDIには書き込み可能なボーレートレジスタがなく、故にデータバイトを採取する時のデータ再生にSYNCH文字から採取されたボーレートが使われます。

PHY層の送信ボーレートは選んだUPDIクロックに関連付けられ、ASI制御A(UPDI.ASI\_CTRLA)レジスタのUPDIクロック分周器選択(UPDICKSEL)ビット領域を書くことによって調整することができます。送受信のボーレートは自動ボーレートの精度内で常に同じです。このクロックは望むボーレートに必要な周波数よりも速く走行しないことが推奨されます。リセット、許可後の既定UPDICKSEL設定は4MHzです。他のどのクロック出力選択もBODが最高基準の時にだけ推奨されます。他の全てのBOD設定に対し、既定の4MHz選択が推奨されます。

UPDIボーレート生成部は送信誤差を最小にするために分数ボーレート計数を利用します。UPDIによって使われる固定フレーム形式での最大と推奨される受信部転送誤差限度は表34-2.で見ることができます。

表34-1. UPDICKSEL設定に基づく推奨UARTボーレート

UPDICKSEL1,0	最大推奨ボーレート	最小推奨ボーレート
0 0 (32MHz)	1.8Mbps	600bps
0 1 (16MHz)	0.9Mbps	300bps
1 0 (8MHz)	450kbps	150bps
1 1 (4MHz) - 既定	225kbps	75bps

表34-2. 受信部ボーレート誤差

データ+パリティビット	Rslow(%)	Rfast(%)	最大総合許容誤差(%)	推奨最大受信許容誤差(%)
9	96.39	104.76	-3.61~+4.76	±1.5

### 34.3.1.2. BREAK文字

中断(BREAK)文字はUPDIの内部状態を既定設定にリセットするのに用いられます。これは通信異常のためにUPDIが異常状態に入った場合、またはデバッグとUPDI間の同期が失われた時に有用です。

全ての場合でBREAKがUPDIによって成功裏に受信されるのを保証するため、デバッグは2つの連続するBREAK文字を送らなければなりません。最初のBREAKはUPDIがアイドル状態の場合に検出され、(非常に低いボーレートで)UPDIが受信または送信している間にそれが送られた場合に検出されません。けれども、これは受信(RX)に対するフレーム異常または送信(TX)に対する衝突異常を引き起こし、進行中の操作を中止します。その後、UPDIは次のBREAKを成功裏に検出します。

BREAK受信で、**ASI制御A(UPDI.ASI\_CTRLA)レジスタ**のUPDI発振器設定が4MHzの既定UPDIクロック選択にリセットされ、これは上の「**UPDI\_CLOCKSEL設定に基づく推奨UARTボーレート**」表に従ってUPDIのボーレート範囲を変更します。

#### 34.3.1.2.1. 単線動作でのBREAK

単線動作で、書き込み器/デバッグとUPDIは完全に同期が外れることがあり、UPDIがそれを検出できることを保証するためにBREAK文字の最悪長を必要とします。4MHz(250ns)の最低UPDIクロック速度と仮定し、16ビットに含まれ得る8ビットSYNCH様式値の最大長は、 $65535 \times 250\text{ns} = 16.4\text{ms}$ /バイト =  $16.4\text{ms}/8\text{ビット} = 2.05\text{ms}/\text{ビット}$ です。

これは最低の前置分周器設定に対して $2.05\text{ms} \times 12\text{ビット} = 24.6\text{ms}$ の最悪BREAKフレーム持続時間を与えます。前置分周器設定が既知なら、BREAKフレームの時間は表34-3からの値に従って緩和されます。

表34-3. 推奨中断(BREAK)文字持続時間

UPDI_CLOCKSEL1,0	推奨BREAK文字持続時間
0 0 (32MHz)	3.075ms
0 1 (16MHz)	6.15ms
1 0 (8MHz)	12.30ms
1 1 (4MHz)	24.60ms

### 34.3.1.3. SYNCH文字

同期(SYNCH)文字は8ビットを持ち、通常のUPDIフレーム形式に従います。これは'\$55'の値を持ちます。SYNCH文字は以下の2つの主な目的を持ちます。

1. 禁止後にUPDIに対する許可文字として働きます。
2. 後続する伝送用にボーレートを設定するため、ボーレート生成部によって使われます。無効なSYNCH文字が送られた場合、次の伝送は正しく採取されません。

#### 34.3.1.3.1. 単線動作でのSYNCH

SYNCH文字は各新規命令の前に使われます。REPEAT命令を使う時に、SYNCH文字はREPEAT後の最初の命令の前でだけ期待されます。

SYNCHは既知の文字で、各ビットに対する交互切り替わりの特性を通して、8ビットSYNCH様式を採取するのにどの位のUPDIクロック周期が必要とされるかの測定をUPDIに許します。この採取を通して得られた情報は受信での非同期クロック再生と非同期データ再生を提供するのと送信動作を行う時に接続された書き込み器のボーレートを保つのに使われます。

## 34.3.2. 操作

UPDIはUART通信が開始され得るのに先立って許可されなければなりません。

けれども、UPDI保護(PDICFG)と施錠(LOCK)のヒューズはUPDIアクセスを制限でき、一方でブートローダは未だファームウェア更新を調停します。

### 34.3.2.1. UPDI許可

応用がUPDIピンをどう構成設定したかに応じて、UPDIを許可するのに以下の2つの方法の1つを使うことができます。

- **単線許可** – この方法はシステム構成設定0(SYS\_CFG0)ヒューズのUPDIピン構成設定(UPDI\_PIN\_CFG)ビットを'1'に設定することによってUPDI機能動作で構成設定されるUPDIピンを必要とします。
- **UPDIピンのHV指定変更** – この方法はUPDIピンがGPIO動作(SYS\_CFG0ヒューズのUPDI\_PIN\_CFG)ビットの'0'設定)に構成設定される場合に使われます。RESETでのHV(高電圧)パルス印加はUPDIピンをUPDI機能動作に再構成設定し、従ってSYS\_CFG0ヒューズでの構成設定を無効にします。

#### 34.3.2.1.1. 単線許可

UPDIピンは許可時に一定のプルアップを持ち、200nsを超える間UPDIピンをLowに駆動することにより、接続された書き込み器/デバッグが始動手順を始めます。事前要件として、UPDIピンはSYS\_CFG0ヒューズのUPDI\_PIN\_CFGを'1'に設定するか、またはRESETピンにHVパルスを印加し、結果としてUPDI\_PIN\_CFGの構成設定を無効にするかのどちらかによってUPDI機能動作に構成設定されなければなりません。

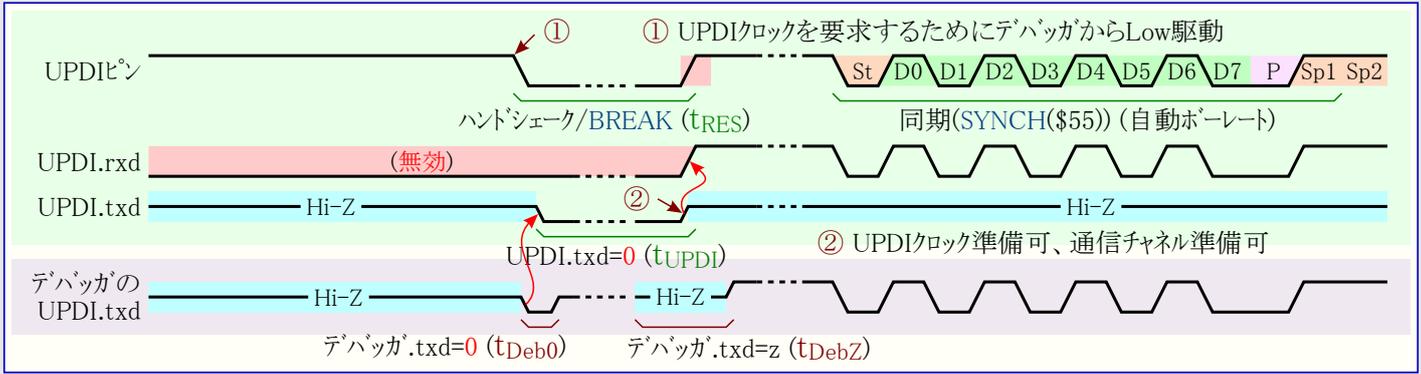
UPDIを許可するには次のこの手順に従ってください。

1. UPDIピンを200nsを超える間Lowに駆動してそれを開放してください。UPDIピンは内部プルアップ抵抗を持ち、200nsを超える間UPDIピンをLowに駆動することにより、接続された書き込み器が始動手順を始めます。
  - 端検出器はUPDIピンのLow駆動を始め、故に書き込み器が線を開放した時にLowに留まります。
  - UPDIクロックが開始されます。UPDIはクロックが安定し、UPDIが使う準備が整うまで線をLowに駆動します。クロックに対して期待される到来時間は精度、行き過ぎ、発振器校正の読み出しに関する発振器実装に依存します。
  - データ線はUPDIによって解放され、発振器の準備が整って安定な時にHighに引かれます。

- ピンが再びHighに遷移する時を検出するためにUPDIピンをポーリングしてください。この遷移は端検出器がピン(プルアップ)を開放し、UPDIがSYNCH文字を受信することができることを示します。
- SYNCH文字(\$55)を送ってください。SYNCH文字送信成功後、最初の命令フレームを送信することができます。
- KEY命令を使ってNVMPROG鍵を送ってください。この鍵の送りが施錠ビットを解除し、ASIシステム状態(ASL\_SYS\_STATUS)レジスタのNVMプログラミング開始(PROGSTART)ビットが設定(1)されます。デバイスは今やプログラミング用に準備されています。
- プログラミング完了後、STCS命令を使って制御B(UPDI.CTRLB)レジスタのUPDI禁止(UPDIDIS)ビットに'1'を書くことによってUPDIをリセットしてください。UPDI、従って付随するクロック要求の禁止は消費電力を減らします。

許可手順のタイミングが図34-5.で示され、ここでは書き込み器と端検出器に対する駆動活動期間が含まれます。'UPDIピン'波形は常にピン値を示します。

図34-5. UPDI許可手順



端検出器駆動活動期間に対して与えられる遅延は代表的に32MHz発振器での256周期間の始動時間待ち+校正読み出しです。予測される始動時間の詳細については「電気的特性」章を参照してください。

**注:** 許可手順のSYNCHが最初の命令に対してポーレート生成部を準備するため、最初の許可SYNCH後に発行される最初の命令は余分なSYNCHが不要です。

線がHighなことをデバッガが検出すると、UPDI通信データ速度を同期するために最初のSYNCH文字(\$55)が送られなければなりません。SYNCH文字の開始ビットが最大 $t_{DebZ}$ 内に送られない場合、UPDIは自身を禁止し、UPDI許可手順は再び始められなければなりません。タイミング違反の場合、UPDIの意図せぬ許可を避けるためにUPDIは禁止されます。より多くの詳細については「34.3.2.2.1. 始動中の禁止」をご覧ください。

**注:**  $t_{RES}$ 、 $t_{UPDI}$ 、 $t_{Deb0}$ 、 $t_{DebZ}$ に対する実際の値は「電気的特性」章で見つけることができます。

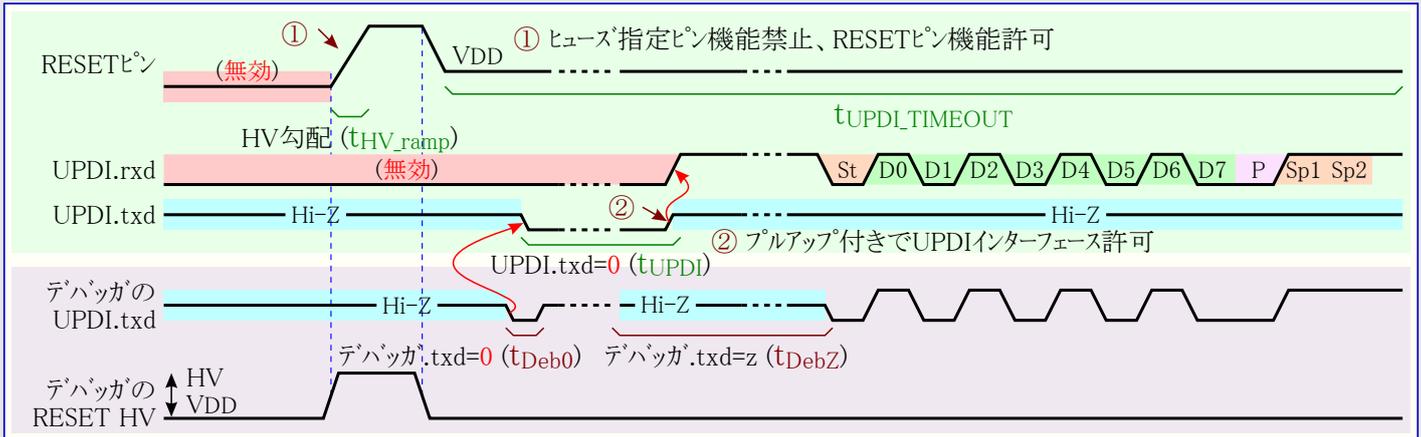
### 34.3.2.1.2. UPDIピンの高電圧無効化でのUPDI許可

応用はUPDIピンを入出力ピンとして構成設定することができます。この場合、通常の単線許可手順を使うことができません。

RESETピンへ印加したHV(高電圧)パルスがUPDIピンのピン機能をUPDI機能に切り換えます。

- 図34-6.と「電気的特性」章で記述されるようにHV信号を印加してください。HVはPORが解放されてしまった後に印加されなければなりません。これはUPDIピンのピン構成設定を無効にします。HV検出回路はデバイスリセットを起動します。CPUは有効なUPDI鍵の受信または $t_{UPDI\_TIMEOUT}$ の経過まで停止に留まります。このような鍵が受信されない場合、デバイスはリセットし、UPDIピンはヒューズによって指定される構成設定を持ちます。
- 「34.3.2.1.1. 単線許可」で記述されるような通常の単線許可手順に従ってください。 $t_{UPDI\_TIMEOUT}$ (経過)の前に有効なUPDI鍵が送られなければなりません。
- HVパルスによってUPDIが許可されると、PORだけがUPDIピンの無効化を禁止して設定をヒューズによって構成設定されるように回復します。

図34-6. 高電圧(HV)プログラミングによるUPDI許可手順



- 注:**
- UPDIピンに不十分な外部保護しか追加されない場合、デバイスによってESDパルスが高電圧無効化とUPDI許可として解釈される可能性があります。
  - UPDI HV活性化の実際の閾値電圧はVDDに依存します。より多くの詳細については「電気的特性」章をご覧ください。
  - t<sub>UPDI\_TIMEOUT</sub>の値については「電気的特性」章をご覧ください。

### 34.3.2.2. UPDI禁止

#### 34.3.2.2.1. 始動中の禁止

許可手順中、UPDIは無効な許可手順の場合に自身を禁止することができます。UPDIが電源管理に与えたとの要求もリセットしてUPDIを禁止状態に設定するために実装された2つの機構があります。新しい許可手順はその後にUPDIを許可することから始めなければなりません。

#### 制限時間超過禁止

UPDIがそのクロックを受け取った後に始動負端検出器がピンを開放する時、または複数電圧システムで調整器が安定でシステムが電力を持つ時、既定プルアップはPUDIピンをHighに駆動します。ピンがHighであることを書き込み器が検出せず、UPDIがピンを開放した後の4MHz UPDIクロックでの164ms内にSYNCH文字の送信を始めない場合、UPDIは自身を禁止します。

**注:** 始動発振周波数はデバイス依存です。UPDIは制限時間超過を発行するのに先立ってUPDIクロックで65536周期間計数します。

#### 不正なSYNCH様式

不正なSYNCH様式は、SYNCH文字長がUPDIポーレートレジスタが含むことができる採取数よりも長い(溢れ)、または各ビットの採取長に対して扱うことができる最小分数計数よりも短い場合に検出されます。それらのどんな異常が検出された場合も、UPDIは自身を禁止します。

#### 34.3.2.2.2. UPDI正常禁止

書き込み器切断後にUPDIからのどの特定操作も必要としないどのプログラミングまたはデバッグの作業も制御B(UPDI.CTRLB)レジスタのUPDI禁止(UPDIDIS)ビットに('1')を書くことによって終了されなければならない、そこでUPDIはシステムリセットを発行して自身を禁止します。このリセットは直前の状態と無関係にCPUを走行状態に戻します。システムに対するUPDIクロック要求も下げて全てのUPDI鍵と設定もリセットします。

禁止操作が実行されない場合、UPDIと発振器の要求は許可に留まり、これは応用に対して消費電力増加を引き起こします。

#### 34.3.2.3. UPDI通信異常処理

UPDIは異常の筋書きから回復する時にデバッグへ情報を提供する包括的な異常検出システムを含みます。この異常検出はパリティ誤り、衝突異常、フレーム異常のような物理転送異常から、アクセス制限時間超過異常のようなもっと上位の異常に至る検出から成ります。利用可能な異常識票の概要については状態B(UPDI.STATUSB)レジスタのUPDI異常識票(PESIG)ビット領域をご覧ください。

望まれないシステム通信を避けるため、UPDIは異常を検出する度、直ちに内部異常状態へ移行します。異常状態でUPDIはBREAK文字が受信される時を除き、全ての着信データ要求を無視します。異常状態から回復する時は常に以下の手続きが適用されなければなりません。

- BREAK文字を送ってください。推奨されるBREAK文字の扱いについては「BREAK文字」をご覧ください。
- 次のデータ転送に対して望むポーレートでSYNCH文字を送ってください。
- 状態B(UPDI.STATUSB)レジスタのUPDI異常識票(PESIG)ビット領域を読んで発生した異常についての情報を得るために制御/状態取得(LDCS)命令を実行してください。
- UPDIは今や異常状態から回復され、次のSYNCH文字と命令を受け取る準備が整います。

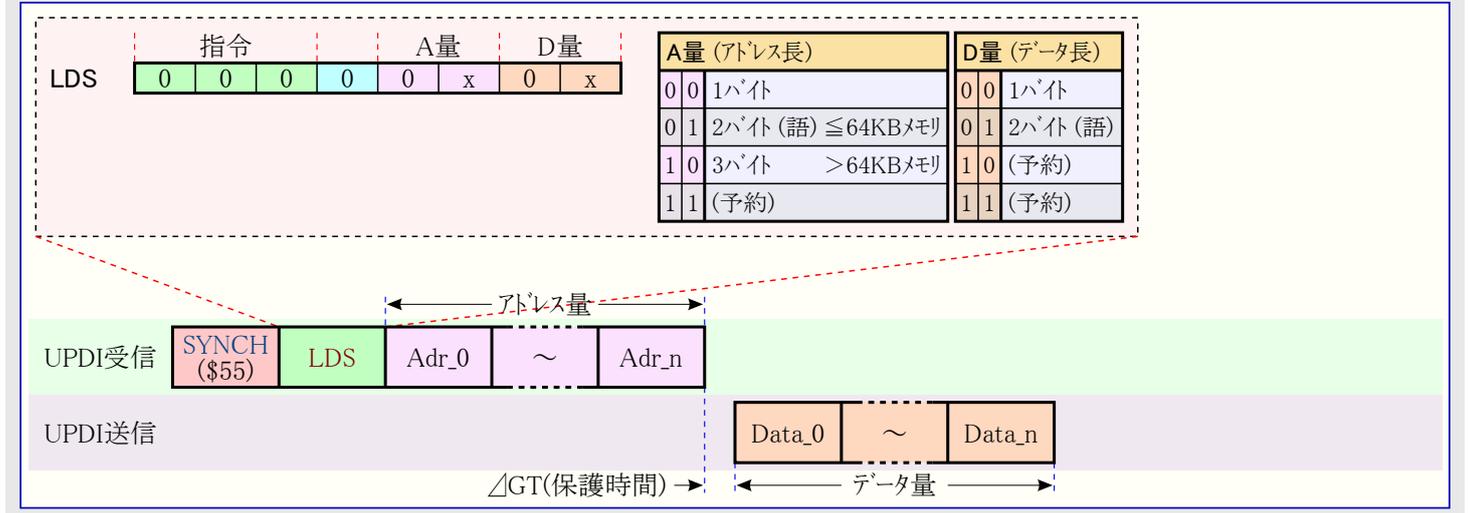


### 34.3.3.1. LDS – 直接アドレス指定を使うデータ空間からのデータ取得

LDS命令は直列読み出しのためにシステムバスからPHY層移動レジスタ内へデータを取得するのに使われます。LDS命令は直接アドレス指定に基づき、アドレスはデータ転送を開始するために命令の引数として与えられなければなりません。アドレスとデータに対して支援される最大の大きさは32ビットです。LDS命令はREPERT命令と組み合わせた時に繰り返しメモリアクセスを支援します。

LDS命令発行後、A量領域によって示されるような望むアドレスバイト数、続いてD量領域によって選ばれる出力データの大きさが送信されなければなりません。出力データは指定された保護時間(GT)後に発行されます。REPERT命令と組み合わせると、繰り返しの反復毎にアドレスが送られなければならない、毎回の出力データ採取後に行われることを意味します。LDSでのREPERT使用時、直接アドレス指定の規約を使うため、自動アドレス進行はありません。

図34-9. LDS命令操作



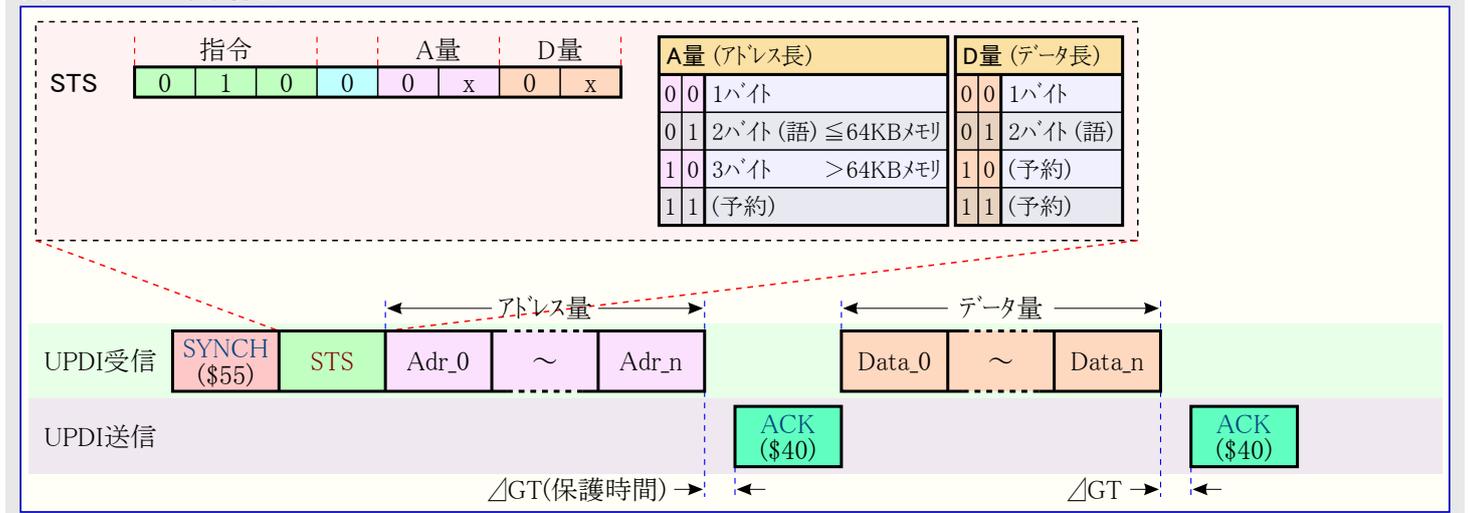
命令が復号され、復号された命令によって指示されるようにアドレスバイトが受信されると、DL層は要求された全情報をACC層に同期します。これはバス要求を処理してバスから緩衝されたデータをDL層に戻して同期し、これはUPDIからのデータ受信で考慮されなければならない同期化遅延を引き起こします。

### 34.3.3.2. STS – 直接アドレス指定を使うデータ空間へのデータ格納

STS命令はPHY層へ直列に移動されたデータをシステムバスアドレス空間へ格納するのに使われます。STS命令は直接アドレス指定に基づき、アドレスはデータ転送を開始するための命令に対する被演算子として与えられなければなりません。アドレスは被演算子の最初の組でデータが次の組です。アドレスとデータの被演算子の大きさは図34-10.で提示される大きさ(量)領域で与えられます。アドレスとデータの両方の最大の大きさは32ビットです。

STS命令はREPERT命令と組み合わせた時に繰り返しメモリアクセスを支援します。

図34-10. STS命令操作



STS命令に関する転送規約は図34-10.で描かれ、以下のこの手順に従ってください。

1. アドレスを送られます。
2. 転送が成功した場合にUPDIから応答(ACK)が送り返されます。
3. STS命令で指定されるバイト数が送られます。
4. データが成功裏に送信されてしまった後に応答(ACK)が受信されます。

### 34.3.3.3. LD - 間接アドレス指定を使うデータ空間からのデータ取得

LD命令は直列読み出しのためにデータ空間からPHY層移動レジスタ内へデータを取得するのに使われます。LD命令は間接アドレス指定に基づき、UPDIのアドレスポインタがデータ空間読み込みアクセスに先立って書かれる必要があることを意味します。自動ポインタ事後増加動作が支援され、LD命令がREPERT命令と共に使われる時に有用です。それはUPDIポインタレジスタからLDを行うことも可能です。アドレスとデータの取得に対して支援される最大の大きさは32ビットです。

図34-11. LD命令操作

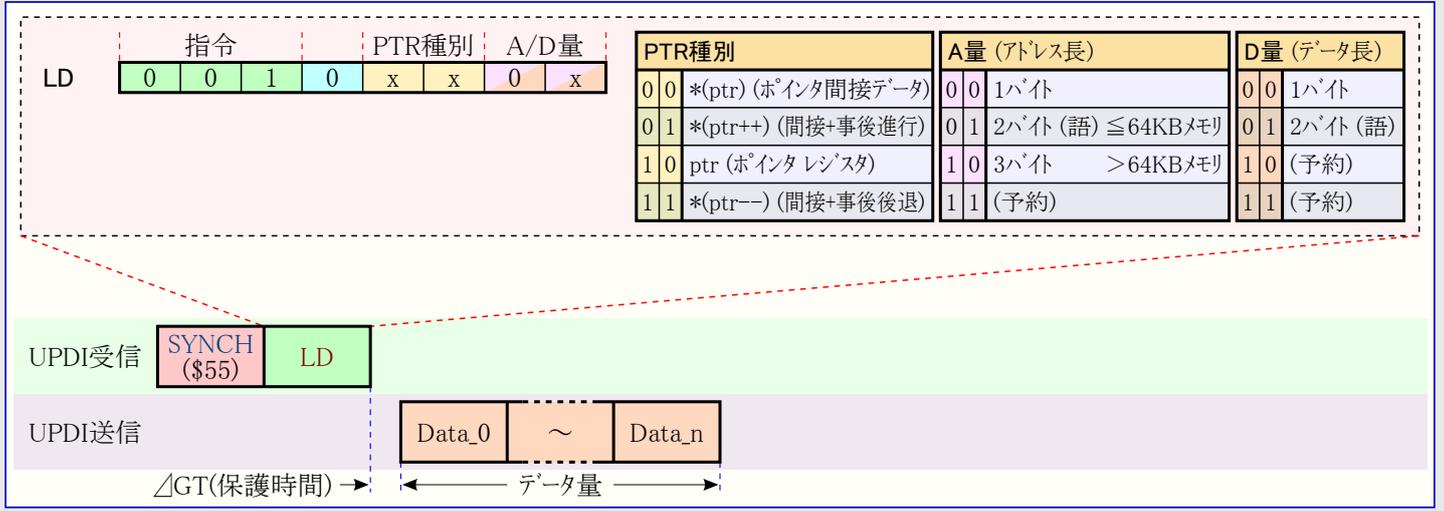


図34-11.は保護時間区間後にデータが受信される代表的なLD手順の例を示します。UPDIポインタレジスタからのデータ取得は同じ転送処理規約に従います。

データ空間からのLD命令に対し、ポインタレジスタはUPDIポインタレジスタに対してST命令を使うことによって設定されなければなりません。ポインタレジスタ書き込み成功でACKが受信された後、LD命令は望むデータ量被演算子で設定されなければなりません。UPDIポインタレジスタに対するLDはLD命令で直接行われます。

### 34.3.3.4. ST - 間接アドレス指定を使うデータ空間へのデータ格納

ST命令はUPDI PHY移動レジスタからのデータをデータ空間へ格納するのに使われます。ST命令はPHY層へ直列に移動されるデータを格納するのに使われます。ST命令は間接アドレス指定に基づき、UPDIのアドレスポインタがデータ空間に先立って書かれる必要があることを意味します。自動ポインタ事後増加動作が支援され、ST命令がREPERT命令と共に使われる時に有用です。ST命令はポインタレジスタにUPDIアドレスポインタを格納するのに使われます。アドレスとデータを格納することに対して支援される最大の大きさは32ビットです。

図34-12. ST命令操作

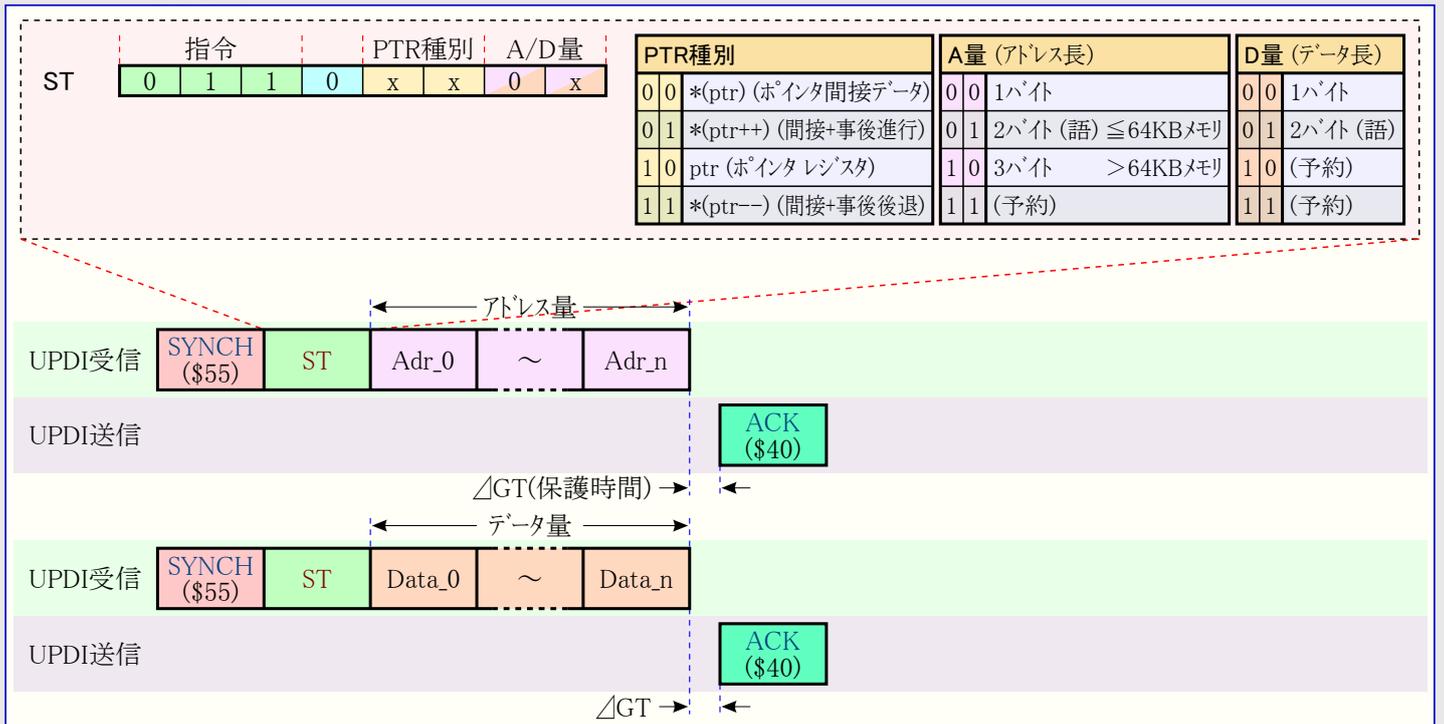


図34-12.はUPDIポインタレジスタへのST命令と通常のデータの格納の例を与えます。各命令の前に同期(SYNCH)文字が送られます。両方の場合でST命令が成功した場合にUPDIによって応答(ACK)が送り返されます。

UPDIポインタレジスタを書くには、次の手順に従わなければなりません。

1. ST命令内のPTR種別領域を識別符'10'に設定してください。
2. アドレス量(A量)領域を望むアドレス量(長)に設定してください。
3. ST命令発行後、A量のバイト数のアドレスデータを送ってください。
4. アドレスレジスタへの書き込み成功を意味するACK文字を待ってください。

アドレスレジスタが書かれた後、データ送出が同様に行われます。

1. UPDIポインタレジスタによって指定されるアドレスに書くために、ST命令内のPTR種別領域を定義'00'に設定してください。PTR種別領域が'01'に設定されるなら、PUDIポインタは書き込みが実行された後で命令のデータ量(D量)領域に従って次のアドレスへ自動的に更新されます。
2. 命令内のデータ量(D量)領域を望むデータ量(長)に設定してください。
3. ST命令送出後、D量のバイト数のデータを送ってください。
4. バス配列への書き込み成功を意味するACK文字を待ってください。

REPERT命令と共に使われる時は、アドレスレジスタを書かれるべき塊の開始アドレスで設定して、各繰り返し周回に対してアドレスを自動的に増加するためにポインタ事後増加レジスタを使うことが推奨されます。REPERT命令使用時、各ACK受信後にデータ量(D量)バイトのデータフレームを送ることができます。

#### 34.3.3.5. LDCS – 制御/状態レジスタ空間からのデータ取得

LDCS命令はDL層に置かれたUPDI制御/状態(CS)レジスタ空間からの直列読み出しデータをPHY層移動レジスタに取得するのに使われます。LDCS命令はアドレスが命令被演算子の一部である直接アドレス指定に基づきます。LDCS命令はUPDI CSレジスタ空間だけをアクセスすることができます。この命令はバイトアクセスだけを支援し、データ量(長)は構成設定不可です。

図34-13. LDCS命令操作

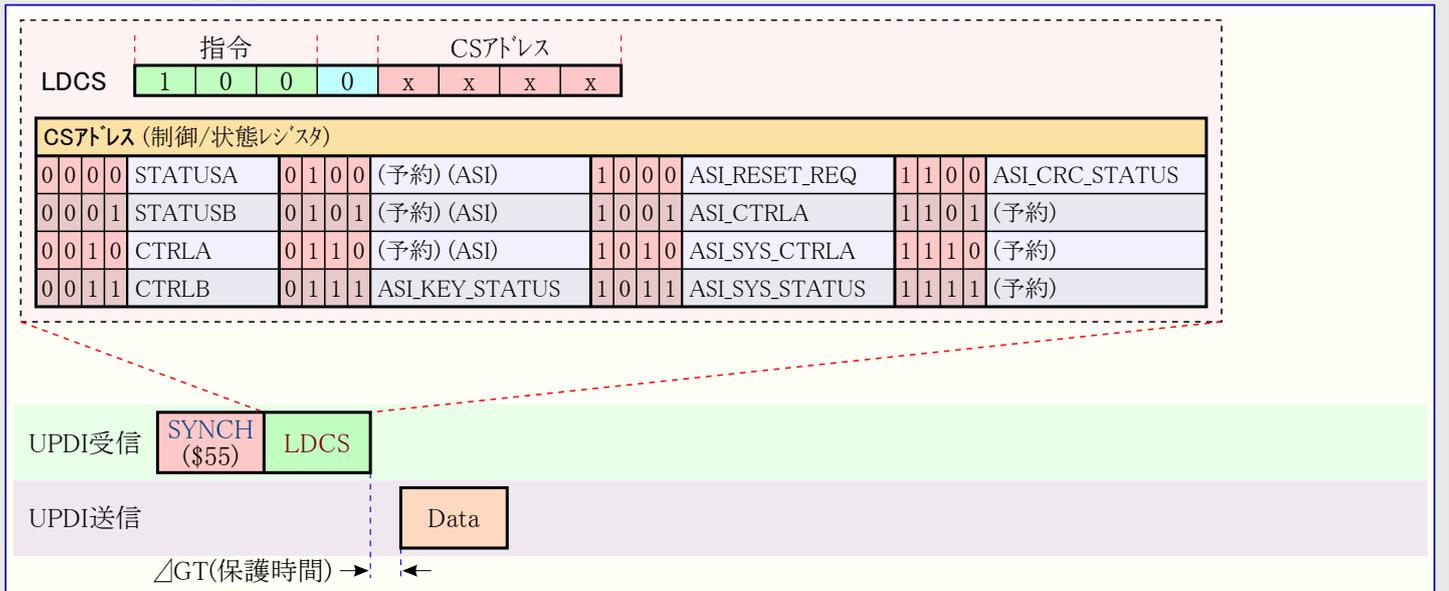


図34-13はLDCSデータ送信の代表的な例を示します。CS空間からのデータバイトは保護時間が完了した後にUPDIから送信されます。

#### 34.3.3.6. STCS – 制御/状態レジスタ空間へのデータ格納

STCS命令はUPDI制御/状態(CS)レジスタ空間へデータを格納するのに使われます。データはPHY層移動レジスタに直列で移動され、選んだCSレジスタに完全なバイトとして書かれます。STCS命令はアドレスが命令被演算子の一部である直接アドレス指定に基づきます。STCS命令は内部UPDIレジスタ空間だけをアクセスすることができます。この命令はバイトアクセスだけを支援し、データ量(長)は構成設定不可です。

図34-14. STCS命令操作

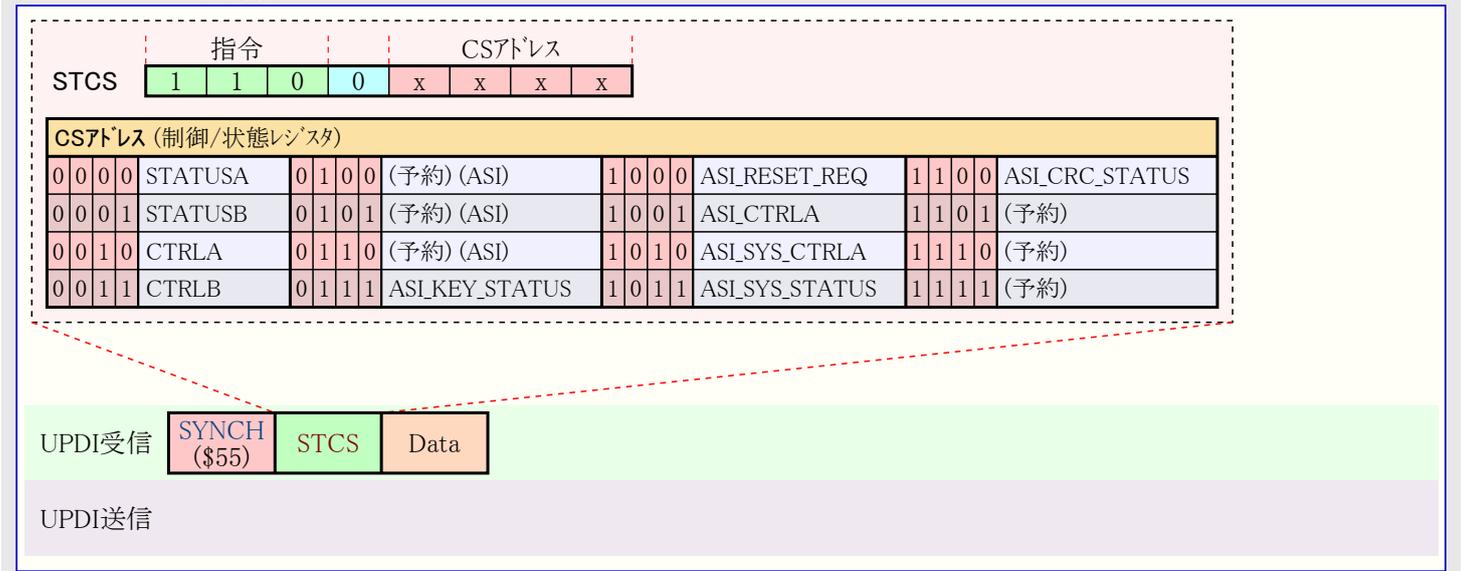


図34-14はSYNCH文字と命令フレーム後に送信されるデータフレームを示します。STCS命令は直ちにデータバイトを続けることができます。CS空間からのデータバイトは保護時間が完了した後にUPDIから送信されます。STとSTSと同様に、STCS命令から生成される応答はありません。

### 34.3.3.7. REPEAT - 命令繰り返し计数器設定

REPEAT命令はDL層でUPDI繰り返し计数器レジスタに繰り返し计数値を格納するのに使われます。命令がREPEATと共に使われると、REPEATが発行された後の最初の命令を除いて全ての命令でSYNCHと命令のフレームに対する規約付随作業を省略することができます。REPEATはメモリ命令(LD,ST,LDS,STS)に対して最も有用で、REPEAT命令自身を除き、全ての命令を繰り返すことができます。

データ量(D量)被演算子領域は繰り返し値の大きさを示します。256までの繰り返しだけが支援されます。REPEAT命令直後に設定される命令はRPT\_0(の値)+1回発行されます。繰り返し计数器レジスタが'0'の場合、命令は1度だけ動きます。進行中の繰り返しはBREAK文字を送ることによってのみ中止することができます。

図34-15. REPEAT命令操作

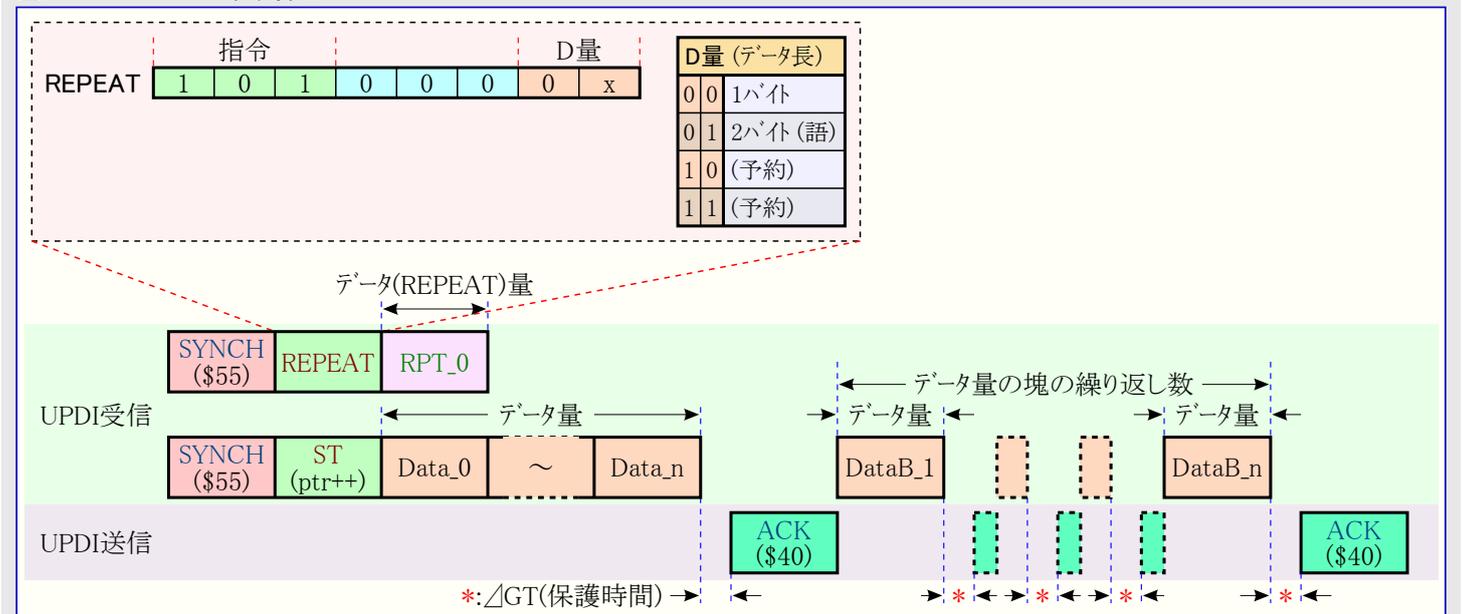
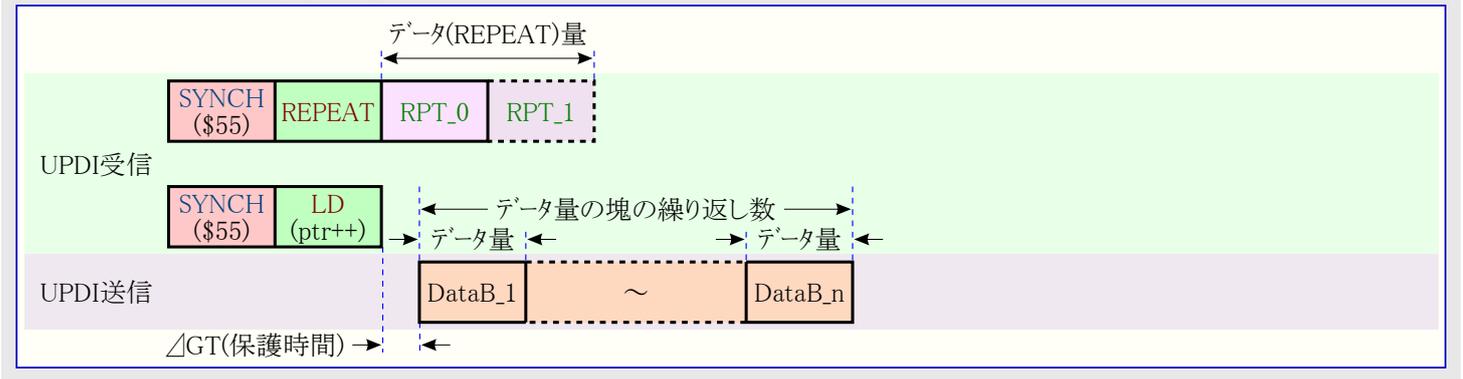


図34-15はポイント事後増加操作を用いるST命令での繰り返し操作の例を与えます。REPEAT命令がRPT\_0=nで送られた後、最初のST命令はSYNCHと命令のフレームで発行されます。次からのn回のST命令はST被演算子のデータ量に従ってデータバイトだけを送って応答(ACK)ハンドシェイク規約を維持することによって実行されます。

図34-16. LD命令と共に使われるREPEAT



LDに対して、データはLD命令後、継続的に出て来ます。最初のデータ塊での保護時間に注意してください。

間接アドレス指定(LD/ST)命令を使う場合、REPEATと組み合わせられる時は常にポインタ事後増加任意選択を使うことが推奨されます。LD/ST命令は最初の(データ量によって決められるデータバイト数)データ塊の前にだけ必要です。さもなければ、繰り返される全てのアクセス操作で同じアドレスがアクセスされます。直接アドレス指定(LDS/STS)命令については、データが受け取られ(LDS)または送られ(STS)得るのに先立って、命令規約で指定されるようにアドレスが常に送信されなければなりません。

### 34.3.3.8. KEY – 活性化鍵設定またはシステム情報部送出

KEY命令はデバイスで保護された機能を実行するために開くUPDIへの鍵(KEY)バイト通信、またはシステム情報部(SIB: System Information Block)を書き込み器に提供するのに使われます。鍵(KEY)によって有効にされる機能の概要について「鍵保護されたインターフェースの許可」項の「鍵認証概要」表をご覧ください。KEY命令に対しては64ビット鍵(KEY)の大きさだけが支援されます。SIBに対して支援される最大量は128ビットです。

図34-17. KEY命令操作

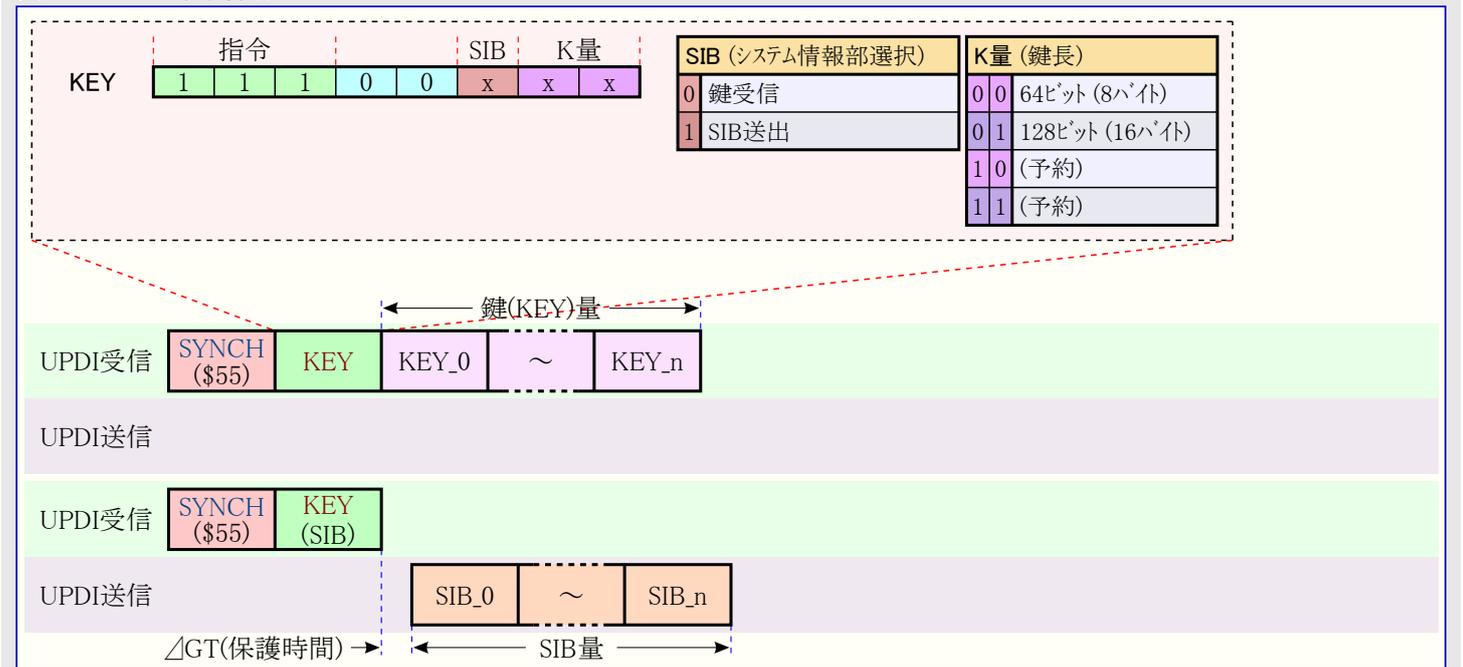


図34-17.は鍵(KEY)の送信とSIBの受信を示します。両方の場合で、被演算子のK量領域は送受信されるフレーム数を決めます。UPDIへの鍵(KEY)送出後に応答(ACK)は有りません。SIB要求時、現在の保護時間設定に従ってデータがUPDIから送信されます。

### 34.3.4. ブート間でのフラッシュメモリのCRC検査

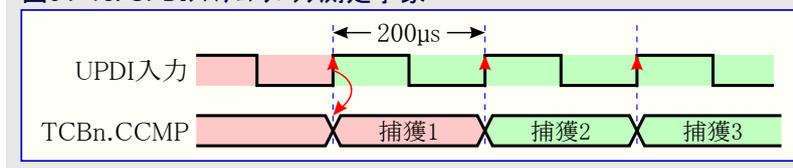
いくつかのデバイスはブート処理の一部としてフラッシュメモリ内容のCRC検査走行を支援します。この検査は例えデバイスが施錠されていても実行することができます。このCRC検査の結果はASI\_CRC状態(ASI\_CRC\_STATUS)レジスタで読むことができます。この機能のより多くの情報については「CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査」章を参照してください。

### 34.3.5. UPDIでのシステム クロック測定

入力捕獲機能を持つTCBへ接続されたUPDI事象を利用することにより、システム クロック周波数の正確な測定を得るのにUPDIを使うことが可能です。この機能のための推奨される構成の流れは以下の手順によって与えられます。

- 計時器動作(CNTMODE)='011'(計数捕獲周波数測定動作)設定でTCB制御B(TCBn.CTRLB)レジスタを構成設定してください。
- 事象割り込みを許可するためにTCB事象制御(TCBn.EVCTRL)レジスタで捕獲事象入力許可(CAPTEI)='1'を書いてください。TCBn.EVCTRLレジスタの事象端選択(EDGE)='0'を保ってください。
- UPDI SYNCH事象(生成部)をTCB(使用部)に配線するように事象システムを構成設定してください。
- UPDI事象を生成するのに使われる同期(SYNCH)文字については、各UPDI事象間で計時器によって捕獲される値でのもっと正確な測定を得るために10~50kbpsの範囲の低いボーレートを使うことが推奨されます。1つの特別なことは、捕獲が割り込みを起動するように構成設定される場合、最初の捕獲値は無視されなければなりません。入力事象に基づいて次に捕獲された値が測定に使われなければなりません。計時器に対して200 $\mu$ sの捕獲窓を与える10kbpsのUPDI同期(SYNCH)文字を使う例については図34-18をご覧ください。
- TCB比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタを読むことによって同期(SYNCH)文字直後の捕獲値を読み出すことが可能で、また、値は一旦捕獲が行われると、CPUによってメモリに書くこともできます。より多くの詳細については「TCB - 16ビット タイマ/カウンタB型」章を参照してください。

図34-18. UPDIシステム クロック測定事象



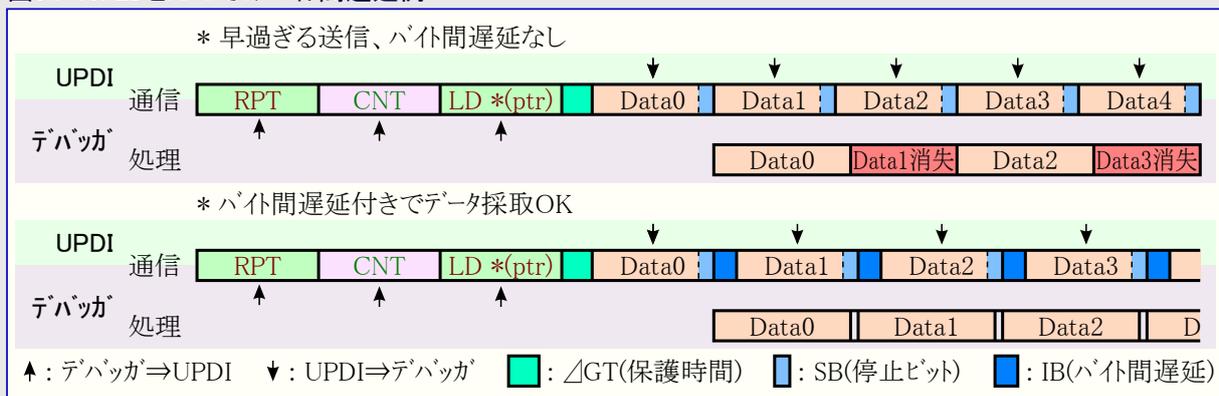
### 34.3.6. バイト間遅延

複数バイト転送(REPEATと組み合わせたLD)実行またはシステム情報部(SIB)読み出し時、出力データは継続的な流れで出て来ます。応用に依存して、受信側でデータが早過ぎで送り出されるかもしれず、次の開始ビット到着の前に処理されるべきデータに対して十分な時間がないかもしれません。

バイト間遅延は複数バイト転送間に固定数のアイドルビットを挿入することによって動きます。バイト間遅延を追加する理由は全てのデータが同じ方向で進んでいる時に挿入される保護時間がないからです。

バイト間遅延機能は制御A(UPDI.CTRLA)レジスタのバイト間遅延許可(IBDLY)ビットに'1'を書くことによって許可することができます。結果として、デバッグに対して採取時間を緩和するために各バイト間で2つの余分なアイドルビットが挿入されます。

図34-19. LDとRPTでのバイト間遅延例



- 注: 1.  $\Delta$ GTは保護時間挿入を表します。  
 2. SBは停止ビット用です。  
 3. IBは挿入されたバイト間遅延です。  
 4. フレームの残りは命令とデータです。

### 34.3.7. システム情報部

システム情報部(SIB: System Information Block)は「KEY – 活性化鍵設定またはシステム情報部送出」からKEY命令に従ってSIBビットを設定(1)することによって何時でも読み出すことができます。SIBは施錠ビット設定に関わらず、常にデバッグのためにアクセス可能で、デバイスとデバッグ用のシステム要素についての情報提供の簡潔な形式を提供します。この情報はデバイスとの正しい通信チャネルを認識して準備することに於いて重要です。SIBの出力はASCII符号として解釈されます。K量領域は完全なSIBを読み出す時に16バイトに設定されなければならないが、8バイトの大きさはシステムIDだけを読み出すのに使うことができます。SIB形式記述とどのデータが異なる読み出し量で利用可能かについては図34-20をご覧ください。

図34-20. システム情報部形式

K量 (バイト)		バイト	ビット	領域名
16	8			
○	○	6~0	55~0	システムID
○	○	7	7~0	(予約)
○	×	10~8	23~0	NVM版番号
○	×	13~11	23~0	OCD版番号
○	×	14	7~0	(予約)
○	×	15	7~0	デバッグ発振周波数

### 34.3.8. 鍵保護されたインターフェースの許可

いくつかの内部インターフェースと機能へのアクセスはUPDI鍵機構によって保護されます。鍵を認証するには、「34.3.3.8. KEY – 活性化鍵設定またはシステム情報部送出」で記述されるように、KEY命令を用いることによって正しい鍵データが送信されなければなりません。表34-4は利用可能な鍵と鍵が読み込まれた後に操作を開始するのに必要とされる条件を記述します。

表34-4. 鍵認証概要

鍵名	説明	動作の必要条件	リセット
チップ消去	NVMチップ消去開始。 施錠ビット解除	なし	UPDI禁止/UPDIリセット
NVMPROG	NVMプログラミング活性化	施錠ビット解除。ASIシステム状態(ASL_SYS_STATUS)レジスタのNVMプログラミング開始(PROGSTART)を設定(1)。	プログラミング終了/ UPDIリセット
使用者列書き込み	施錠されたデバイスで 使用者列書き込み	施錠ビット設定。ASIシステム状態(ASL_SYS_STATUS)レジスタの使用者列プログラミング開始(UROWSTART)を設定(1)。	鍵状態ビット書き込み/ UPDIリセット

表34-5はインターフェースを活性にするために移動入力されなければならない利用可能な鍵符号の概要を与えます。

表34-5. 鍵認証符号

鍵名	鍵符号 (LSB先行で書かれています。)	大きさ
チップ消去	\$4E564D4572617365	64ビット
NVMPROG	\$4E564D50726F6720	
使用者列書き込み	\$4E564D5573267465	

#### 34.3.8.1. チップ消去

チップ消去を発行するには次の手順に従わなければなりません。

- KEY命令を使うことによってチップ消去鍵を入力してください。チップ消去符号については「鍵認証符号」表をご覧ください。
- KEY命令を使うことによってNVMプログラミング鍵を入力してください。NVMPROG識票については「鍵認証符号」表を御覧ください。これは新たに消去されたデバイス(有効にされている場合)CRC失敗から守ります。
- チップ消去鍵状態(ChER)ビットとNVMプログラミング鍵状態(NVMPROG)ビットの両方が設定(1)されているのを確認するためにASI鍵状態(UPDI.ASI\_KEY\_STATUS)レジスタを読んでください。
- ASIリセット要求(UPDI.ASI\_RESET\_REQ)レジスタのリセット要求(RESREQ)ビット領域に識票を書いてください。これはシステムリセットを発行します。
- システムリセットを解除するためにUPDI/ASI\_RESET\_REQレジスタに\$00を書いてください。
- ASIシステム状態(UPDI.ASI\_SYS\_STATUS)レジスタのNVM施錠状態(LOCKSTATUS)ビットを読んでください。
- チップ消去はUPDI.ASI\_SYS\_STATUSレジスタのLOCKSTATUSビットが'0'の時に終わります。LOCKSTATUSビットが'1'なら、手順5に戻ってください。
- チップ消去が成功したかを確認するためにUPDI.ASI\_SYS\_STATUSレジスタのチップ消去鍵失敗(ERASEFAIL)ビットを調べてください。
- ERASEFAILビットが'0'なら、チップ消去は成功しました。

チップ消去成功後、施錠ビットが解除され、UPDIはシステムに対して完全なアクセス(権)を持ちます。施錠ビットが解除されるまで、UPDIはシステムバスにアクセスすることができず、制御/状態(CS)空間操作だけを実行することができます。

**注意** チップ消去中、BODは制御A(BOD.CTRLA)レジスタの活動/アイドル時動作(ACTIVE)ビット領域に書くことによってONを強制され、BOD構成設定(FUSE.BODCFG)ヒューズのBOD基準(LVL)ビット領域と制御B(BOD.CTRLB)レジスタのBOD基準(LVL)ビット領域を使います。供給電圧(VDD)がその閾値基準未満の場合、デバイスはVDDが十分に増されるまで使用不能です。より多くの詳細については「BOD – 低電圧検出器」章をご覧ください。

### 34.3.8.2. NVMプログラミング

デバイスが解錠されているなら、UPDIを用いてNVM制御器またはフラッシュメモリに直接書くことが可能です。これはNVMプログラミング中にCPUが活性の場合に予測不能なコード実行になるでしょう。これを避けるため、以下のNVMプログラミング手順が実行されなければなりません。

1. 「34.3.8.1. チップ消去」で記述されるようにチップ消去手順に従ってください。デバイスが既に解錠されているなら、この点(1.)を飛ばすことができます。
2. KEY命令を使うことによってNVMPROG鍵を入力してください。NVMPROG符号については表34-5をご覧ください。
3. 任意選択: 鍵が認証されたかを知るためにASI鍵状態(UPDI.ASI\_KEY\_STATUS)レジスタのNVMプログラミング鍵状態(NVMPROG)ビットを読んでください。
4. ASIリセット要求(UPDI.ASI\_RESET\_REQ)レジスタのリセット要求(RESREQ)ビット領域に識票を書いてください。これはシステムリセットを発行します。
5. システムリセットを解除するためにUPDI.ASI\_RESET\_REQレジスタに\$00を書いてください。
6. ASIシステム状態(UPDI.ASI\_SYS\_STATUS)レジスタのNVMプログラミング開始(PROGSTART)ビットを読んでください。
7. NVMプログラミングはPROGSTARTが'1'の時に開始することができます。PROGSTARTが'0'なら、手順6.に戻ってください。
8. UPDIを通してNVMにデータを書いてください。
9. UPDI.ASI\_RESET\_REQレジスタのRESREQビット領域に識票を書いてください。これはシステムリセットを発行します。
10. システムリセットを解除するためにUPDI.ASI\_RESET\_REQレジスタに\$00を書いてください。
11. プログラミングは完了です。

### 34.3.8.3. 使用者列プログラミング

使用者列プログラミング機能は施錠されたデバイスで使用者列(USERROW)に新しい値を書くことを許します。許可されたこの機能で書き込むには、次の手順に従わなければなりません。

1. KEY命令を使うことによって表34-5.で示される使用者列書き込み(UROWWRITE)鍵を入力してください。UROWWRITE符号については表34-5.をご覧ください。
2. 任意選択: 鍵が認証されたかを知るためにASI鍵状態(UPDI.ASI\_KEY\_STATUS)レジスタの使用者列書き込み鍵状態(UROWWR)ビットを読んでください。
3. ASIリセット要求(UPDI.ASI\_RESET\_REQ)レジスタのリセット要求(RESREQ)ビット領域に識票を書いてください。これはシステムリセットを発行します。
4. システムリセットを解除するためにUPDI.ASI\_RESET\_REQレジスタに\$00を書いてください。
5. ASIシステム状態(UPDI.ASI\_SYS\_STATUS)レジスタの使用者列プログラミング開始(UROWSTART)ビットを読んでください。
6. 使用者列プログラミングはUROWSTARTが'1'の時に開始することができます。UROWSTARTが'0'なら、手順5.に戻ってください。
7. 使用者列に書かれるデータは最初にRAM内の緩衝部に書かれなければなりません。RAMの書き込み可能な領域は64バイトで、SRAMの最初の64バイトのアドレスにだけ使用者列データを書くことが可能です。このメモリ範囲外のアドレス指定は実行されない書き込みに終わります。書き込み手順の完了でデータが使用者列データに複写される時に、このデータが使用者列空間と1対1で割り当てられます。
8. 全ての使用者列データがSRAMに書かれると、ASIシステム制御A(UPDI.ASI\_SYS\_CTRLA)レジスタの使用者列書き込み終了(UROWDONE)ビットに('1')を書いてください。
9. UPDI.ASI\_SYS\_STATUSレジスタのUROWSTARTビットを読んでください。
10. 使用者列プログラミングはUROWSTARTが'0'の時に完了されます。UROWSTARTが'1'なら、手順9.に戻ってください。
11. ASI鍵状態(UPDI.ASI\_KEY\_STATUS)レジスタの使用者列書き込み鍵状態(UROWWR)ビットを書いてください。
12. ASIリセット要求(UPDI.ASI\_RESET\_REQ)レジスタのリセット要求(RESREQ)ビット領域に識票を書いてください。これはシステムリセットを発行します。
13. システムリセットを解除するためにUPDI.ASI\_RESET\_REQレジスタに\$00を書いてください。
14. 使用者列プログラミングは完了です。

この動作形態でSRAMからデータを読み戻すことはできません。SRAMの最初の64バイトへの書き込みだけが許されます。

### 34.3.9. 事象

UPDIは以下の事象を生成することができます。

表34-6. UPDIでの事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
UPDI	SYNCH	同期(SYNC)文字	レベル	CLK_UPDI	CLK_UPDIに同期したUPDIピン入力でのSYNC文字

この事象はSYNCH文字で検出される各正端に対してUPDIクロックで設定され、UPDIからこの事象を禁止することはできません。

UPDIに事象使用部はありません。

事象型と事象システム構成設定に関するより多くの詳細については「EVSYS – 事象システム」章を参照してください。

### 34.3.10. 休止形態動作

UPDI PHY層は全ての休止動作と無関係に動き、UPDIはデバイスの休止状態と無関係に接続したデバッグに対して常にアクセス可能です。システムがシステムクロックをOFFにする休止動作へ入る場合、UPDIはシステムバスのアクセス及びメモリと周辺機能の読み込みができません。許可されると、UPDIはUPDIが常にデバイスの残りとの接触を持つようにシステムクロックを要求します。従って、UPDI PHY層クロックは休止動作の設定によって影響を及ぼされません。ASIシステム状態(UPDI.ASI\_SYS\_STATUS)レジスタのシステム領域休止中(INSLEEP)ビットを読むことにより、システム領域が休止動作かを監視することが可能です。

ASIシステム制御A(UPDI.ASI\_SYS\_CTRLA)レジスタのシステムクロック要求(CLKREQ)ビットを書くことにより、休止動作へ行く時に停止することからシステムクロックを守ることが可能です。このビットが設定(1)される場合、システムの休止動作状態が模倣され、例え最も深い休止動作でも、UPDIはシステムバスをアクセスして周辺機能レジスタを読むことができます。

CLKREQビットはUPDIが許可される時に既定で'1'で、これは既定操作が休止動作中にシステムクロックをON状態に保つことを意味します。

## 34.4. レジスタ要約

変位	略称	ビット位置	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0	
+\$00	STATUSA	7~0	UPDIREV3~0								
+\$01	STATUSB	7~0							PESIG2~0		
+\$02	CTRLA	7~0	IBDLY		PARD	DTD	RSD		GTVAL2~0		
+\$03	CTRLB	7~0				NACKDIS	CCDETDIS	UPDIDIS			
+\$04 ~ +\$06	予約										
+\$07	ASL_KEY_STATUS	7~0			UROWWR	NVMPROG	CHER				
+\$08	ASL_RESET_REQ	7~0	RSTREQ7~0								
+\$09	ASL_CTRLA	7~0							UPDICKSEL1,0		
+\$0A	ASL_SYS_CTRLA	7~0							UROWDONE	CLKREQ	
+\$0B	ASL_SYS_STATUS	7~0	BDEF	ERASEFAIL	SYSRST	INSLEEP	PROGSTART	UROWSTART	BOOTDONE	LOCKSTATUS	
+\$0C	ASL_CRC_STATUS	7~0						CRC_STATUS2~0			

### 34.5. レジスタ説明

これらのレジスタは特別な命令でUPDIを通してだけ読み込み可能で、CPUを通して読み込み可能ではありません。

#### 34.5.1. STATUSA – 状態A (Status A)

名称 : STATUSA  
変位 : +\$00  
リセット : \$30  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	UPDIREV3~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	1	1	0	0	0	0

##### ● ビット7~4 – UPDIREV3~0 : UPDI改訂 (UPDI Revision)

このビット領域は現在のUPDI実装の改訂(番号)を含みます。

#### 34.5.2. STATUSB – 状態B (Status B)

名称 : STATUSB  
変位 : +\$01  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	PESIG2~0							
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

##### ● ビット2~0 – PESIG2~0 : UPDI異常識票 (UPDI Error Signature)

このビット領域はUPDI異常識票を記述し、内部UPDI異常状態発生時に設定されます。PESIGビット領域はデバッグからの読み込みで解消されます。

表34-7. 有効な異常識票

PESIG2~0	異常形式	異常説明
0 0 0	異常なし	検出された異常なし(既定)
0 0 1	パリティ誤り	パリティビットの不正な採取
0 1 0	フレーム異常	停止ビットの不正な採取
0 1 1	アクセス層制限時間超過異常	UPDIはアクセス層からデータや応答を得られないことが有り得ます。
1 0 0	クロック再生異常	開始ビットの不正な採取
1 0 1	-	(予約)
1 1 0	バス異常	アドレス異常またはアクセス優先権異常
1 1 1	競合異常	UPDIピンでの駆動競合を示します。

#### 34.5.3. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA  
変位 : +\$02  
リセット : \$00  
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	IBDLY		PARD	DTD	RSD	GTVAL2~0		
アクセス種別	R/W	R	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 – IBDLY : バイト間遅延許可 (Inter-Byte Delay Enable)

このビットへの'1'書き込みが複数バイトLD(S)命令を行う時にUPDIから送信される各データバイト間に固定長のバイト間遅延を許可します。固定長は2つのアイドルビットです。

- ビット5 – PARD : パリティ禁止 (Parity Disable)

このビットに'1'を書くことがパリティビットを無視することによってUPDIでのパリティ検出を禁止します。この機能は試験中にだけ使うことが推奨されます。

- ビット4 – DTD : 制限時間検出禁止 (Disable Time-Out Detection)

このビットに'1'を書くことがPHY層での制限時間検出を禁止し、これは指定された時間(65536 UPDIクロック周期)内にACC層からの応答を要求します。

- ビット3 – RSD : 応答符号禁止 (Response Signature Disable)

このビットに'1'を書くことがUPDIによって生成されるどの応答符号も禁止し、NVM空間に大きな塊のデータを書く時に規約の付随処理を最小に減らします。システムバスをアクセスする時にUPDIは遅れを経験するかもしれません。遅れが予測可能な場合、応答符号を禁止することができます。さもないければデータの消失が起こるかもしれません。

- ビット2~0 – GTVAL2~0 : 保護時間値 (Guard Time Value)

このビット領域は転送方向が受信から送信に切り替わる時にUPDIによって使われる保護時間値を選びます。

値	000	001	010	011	100	101	110	111
説明 (保護時間:追加ビット周期数)	128(既定)	64	32	16	8	4	2	(予約)

### 34.5.4. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

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

- ビット4 – NACKDIS : NACK応答禁止 (Disable NACK Response)

このビットに'1'を書くことがLD(S)またはST(S)操作進行中にシステムリセットが発行される時にUPDIによって送られるNACK符号を禁止します。

- ビット3 – CCDETDIS : 衝突/競合検出禁止 (Collision and Contention Detection Disable)

このビットに'1'を書くことが競合検出を禁止します。このビットへ'0'を書くことが競合検出を許可します。

- ビット2 – UPDIDIS : UPDI禁止 (UPDI Disable)

このビットに'1'を書くことがUPDI PHYインターフェースを禁止します。UPDIからのクロック要求は下げられ、UPDIはリセットされます。UPDIが禁止されると、全てのUPDI PHY層構成設定と鍵がリセットされます。

### 34.5.5. ASI\_KEY\_STATUS – ASI鍵状態 (ASI Key Status)

名称 : ASI\_KEY\_STATUS

変位 : +\$07

リセット : \$00

特質 : -

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

- ビット5 – UROWWR : 使用者列書き込み鍵状態 (User Row Write Key Status)

このビットは使用者列書き込み(UROWWRITE)鍵が成功裏に復号された場合に'1'に設定されます。このビットはプログラミング作業を正しくリセットするために使用者列書き込み手順の最後の部分として書かれなければなりません。

- ビット4 – NVMPROG : NVMプログラミング鍵状態 (NVM Programming Key Status)

このビットはNVMPROG鍵が成功裏に復号された場合に'1'に設定されます。このビットはNVMプログラミング手順が開始される時に解除(0)され、ASIシステム状態(ASI\_SYS\_STATUS)レジスタのNVMプログラミング開始(PROGSTART)ビットが設定(1)されます。

- ビット3 – CHER : チップ消去鍵状態 (Chip Erase Key Status)

このビットはチップ消去(CHIPERASE)鍵が成功裏に復号された場合に'1'に設定されます。このビットは「34.3.8.1. チップ消去」項で記述されるチップ消去手順の一部として発行されるリセット要求によって解除(0)されます。

### 34.5.6. ASI\_RESET\_REQ – ASIリセット要求 (ASI Reset Request)

名称 : ASI\_RESET\_REQ  
 変位 : +\$08  
 リセット : \$00  
 特質 : -

このアドレスにリセット識票を書く時にシステムへリセットが合図されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RSTREQ7~0							
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 – RSTREQ7~0 : リセット要求 (Reset Request)

UPDIはこのレジスタからシステムリセットを発行する時にリセットされません。

値	\$00	\$59	その他
名称	RUN	RESET	-
説明	リセット条件解除	標準リセット	(予約)

### 34.5.7. ASI\_CTRLA – ASI制御A (ASI Control A)

名称 : ASI\_CTRLA  
 変位 : +\$09  
 リセット : \$03  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
								UPDICKSEL1,0	
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	1	1	

#### ● ビット1,0 – UPDICKSEL1,0 : UPDIクロック分周器選択 (UPDI Clock Divider Select)

これらのビットの書き込みがUPDIクロック出力周波数を選びます。リセットと許可後の既定設定は4MHzです。可能なUPDI発振器周波数のより多くの情報については「電気的特性」章をご覧ください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
説明	32MHz UPDIクロック	16MHz UPDIクロック	8MHz UPDIクロック	4MHz UPDIクロック (既定)

### 34.5.8. ASI\_SYS\_CTRLA – ASIシステム制御A (ASI System Control A)

名称 : ASI\_SYS\_CTRLA  
 変位 : +\$0A  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							UROWDONE	CLKREQ
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1 – UROWDONE : 使用者列書き込み終了 (User Row Programming Done)

このビットは使用者列データがSRAMに書かれた時にこのビットを書いてください。このビットへの'1'書き込みはフラッシュメモリへの使用者列データ書き込みの処理を開始します。

UPDIによって使用者列データがSRAMに書かれる前にこのビットが('1')書かれた場合、CPUは書かれるデータなしで進行します。

このビットは**使用者列書き込み鍵**が成功裏に復号された場合にだけ書き込み可能です。

#### ● ビット0 – CLKREQ : システムクロック要求 (Request System Clock)

このビットが'1'を書かれた場合、ASIはシステムの休止動作と無関係にシステムクロックを要求します。これは例えシステムが休止動作でもUPDIに対してACC層のアクセスを可能にします。

このビットへの'0'書き込みはクロック要求を下げます。

このビットはUPDIがどれかの動作(ヒューズ、HV)で許可された時に既定で設定(1)されます。

### 34.5.9. ASI\_SYS\_STATUS – ASIシステム状態 (ASI System Status)

名称 : ASI\_SYS\_STATUS  
 変位 : +\$0B  
 リセット : \$01  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	BDEF	ERASEFAIL	SYSRST	INSLEEP	PROGSTART	UROWSTART	BOOTDONE	LOCKSTATUS
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	1

- **ビット7 – BDEF : ブート手順終了またはチップ消去失敗 (Boot Sequence Done or Chip Erase Failed)**  
 このビットはチップ消去が失敗(ERASEFAILビットが'1')、またはブート手順が完了(BOOTDONEビットが'1')の場合に'1'に設定されます。
- **ビット6 – ERASEFAIL : チップ消去鍵失敗 (Chip Erase Key Failed)**  
 このビットはチップ消去が失敗した場合に'1'に設定されます。このビットはリセットで'0'に設定されます。ASIリセット要求(ASI\_RESET\_REQ)レジスタで保持されるリセットもこのビットに影響を及ぼします。
- **ビット5 – SYSRST : システムリセット活性 (System Reset Active)**  
 このビットが'1'設定の時はシステム領域で有効なリセットがあります。このビットが'0'設定の時はシステムがリセット状態ではありません。このビットは読み込みで'0'に設定されます。  
 ASIリセット要求(UPDI.ASI\_RESET\_REQ)レジスタで保持されるリセットもこのビットに影響を及ぼします。
- **ビット4 – INSLEEP : システム領域休止中 (System Domain in Sleep)**  
 このビットが'1'に設定されると、システム領域はアイドルまたはより深い**休止動作**です。このビットが'0'に設定されると、システムはどの休止動作でもありません。
- **ビット3 – PROGSTART : NVMプログラミング開始 (Start NVM Programming)**  
 このビットが'1'に設定されると、UPDIからNVMプログラミングを開始することができます。  
 UPDIが終了される時にUPDIリセット要求(ASI\_RESET\_REQ)レジスタを通してリセットしてください。
- **ビット2 – UROWSTART : 使用者列プログラミング開始 (Start User Row Programming)**  
 このビットが'1'に設定されると、UPDIから使用者列プログラミングを開始することができます。  
 使用者列データがRAMに書かれてしまうと、ASIシステム制御A(UPDI.ASI\_SYS\_CTRLA)レジスタの使用者列書き込み終了(UROWDONE)ビットは('1'を)書かなければなりません。
- **ビット1 – BOOTDONE : ブート手順終了 (Boot Sequence Done)**  
 このビットはCPUがブート手順を終えた時に'1'に設定されます。UPDIはこのビットが'1'に設定されるまでアクセスできません。  
 続行する前に**システムリセット活性(SYSRST)**が'0'であることも調べてください。
- **ビット0 – LOCKSTATUS : NVM施錠状態 (NVM Lock Status)**  
 このビットが'1'に設定されると、デバイスは施錠されています。**チップ消去**が行われて施錠ビットが'0'に設定された場合、このビットは'0'として読みます。

### 34.5.10. ASI\_CRC\_STATUS – ASI CRC状態 (ASI CRC Status)

名称 : ASI\_CRC\_STATUS  
 変位 : +\$0C  
 リセット : \$00  
 特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							CRC_STATUS2~0	
アクセス種別	R	R	R	R	R	R	R	R
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- **ビット2~0 – CRC\_STATUS2~0 : CRC実行状況 (CRC Execution Status)**  
 このビット領域はCRC換算の状態を示します。このビット領域は(どれか1つのビットだけが'1')の単一ビット活性符号化されます。

値	000	001	010	100	その他
説明	不許可	CRC許可、 多忙	CRC許可、 成功(OK)符号で終了	CRC許可、 失敗(FAILED)符号で終了	(予約)

### 35. 命令一式要約

命令一式要約は[www/microchip.com/DS40002198](http://www.microchip.com/DS40002198)に置かれた「AVR命令一式手引書」の一部です。このデータシートで文書化されたデバイスに関する詳細についてはAVRxtと呼ばれるCPU版を参照してください。

## 36. 電気的特性

### 36.1. お断り

特に指定のない限り、全ての代表値は $TA=25^{\circ}C$ と $VDD=3.0V$ で測定されています。全ての最小値と最大値は特に指定のない限り、動作温度と動作電圧に渡って有効です。

一般的に与えられた値は設計指針に対してだけ考慮されなければならない、これらの値周辺の実部品変動が予想されます。

### 36.2. 絶対最大定格

本項で一覧にされるこれらを超える負荷はデバイスに定常的な損傷を引き起こすかもしれず、これは負荷定格だけです。本仕様の動作部分で示されるこれらを超える他の条件やそれらでのデバイスの機能的な動作は含まれません。長時間絶対最大定格状態に晒すことはデバイスの信頼性に影響を及ぼすかもしれません。

表36-1. 絶対最大定格

項目	条件	定格	単位
通電下の周囲温度		-40~+125	°C
最大接合部温度		140	
保存温度		-65~+150	
GNDに対するピンの電圧			
・ VDDピン		-0.3~+6.0	V
・ RESETピン		-0.3~+9.0	
・ 他の全てのピン		-0.3~(VDD+0.3)	
最大電流			
・ GNDピン (注1)	$-40^{\circ}C \leq TA \leq +85^{\circ}C$	200	mA
	$+85^{\circ}C < TA \leq +125^{\circ}C$	100	
・ VDDピン (注1)	$-40^{\circ}C \leq TA \leq +85^{\circ}C$	200	
	$+85^{\circ}C < TA \leq +125^{\circ}C$	100	
・ 全標準I/Oピン		±40	
クランプ電流(I <sub>k</sub> )	$V_{PIN} < 0$ または $V_{PIN} > VDD$	±20	
総消費電力 (注2)		-	mW

注1: 最大電流定格はI/Oピンにそれぞれに渡る均等な負荷分散を必要とします。デバイス外圍器消費電力特性は最大電流定格を制限するかもしれません。デバイス仕様を計算するには「温度仕様」をご覧ください。

注2: 次のように消費電力を計算してください。  $P_{DIS} = VDD \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(VDD - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

### 36.3. 標準動作条件

他の全てのデバイス特性が有効であるためには、本項で一覧にされる定格内でデバイスが動作しなければなりません。

一般的な動作条件: ・ 動作電圧:  $VDD_{MIN} \leq VDD \leq VDD_{MAX}$

・ 動作温度:  $TA_{MIN} \leq TA \leq TA_{MAX}$

全てのデバイスに対する標準動作条件は次のように定義されます。

表36-2. 標準動作条件

項目	シンボル	定格	単位
VDD - 動作供給電圧 (注)			
工業と拡張温度	VDDMIN	+1.8	V
	VDDMAX	+5.5	
TA - 動作周囲温度範囲			
工業温度	TA_MIN	-40	°C
	TA_MAX	+85	
拡張温度	TA_MIN	-40	
	TA_MAX	+125	

注: 「36.4. 供給電圧」で供給電圧要素を参照してください。

### 36.4. 供給電圧

表36-3. 供給電圧

シンボル	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
供給電圧 (注1)					
VDD	1.8 (注2)	-	5.5	V	
RAMデータ保持電圧 (注3)					
VDR	1.7	-	-	V	パワーダウン動作でのデバイス
電源ONリセット開放電圧 (注5)					
VPOR	-	1.6	-	V	BOD禁止 (注4)
tPOR	-	-	-	μs	
電源ONリセット機能再開電圧 (注5)					
VPORR	-	1.1	-	V	BOD禁止 (注4)
tPORR	-	-	-	μs	
内部電源ONリセット信号を保証するためのVDD上昇速度 (注6)					
SVDD	-	-	0.2	V/μs	

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

注1: BODLEVEL0で構成設定された低電圧検出器(BOD)はチップ消去中、ONを強制されます。供給電圧(VDD)がBODLEVEL0に対するVBOD未満の場合、消去の試みは失敗します。

注2: 1.8VまたはBODが有効の時にBOD起動基準(VBOD)に落ちるまで動作は保証されます。

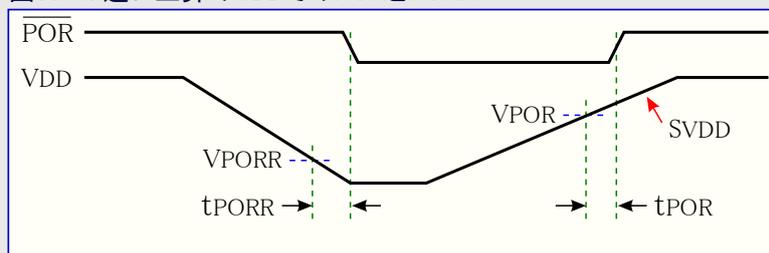
注3: これはRAMデータを失うことなく休止動作でVDDを低めることができる限度です。

注4: BOD切り替わり点情報については「36.11. RSTCTRLとBOD」項を参照してください。

注5: 図36-1.を参照してください。

注6: 設計の手引きのためだけで、製造で検査されません。

図36-1. 遅い上昇のVDDでのPORとPORR



注: • PORがLowの時にデバイスはリセットに保たれます。

## 36.5. 消費電力

表36-4. 活動動作とアイドル動作での消費電力

動作条件:  
・ 禁止された周辺機能と入力禁止でLow駆動された入出力ポートで測定したシステム消費電力

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大 85°C	最大 125°C	単位	条件
IDD	活動消費電力	-	10	-	-	mA	OSCHF=20MHz, VDD=5V
		-	3.2	-	-		OSCHF=10MHz (OSCHF/2)
		-	1.9	-	-		OSCHF=5MHz (OSCHF/4)
		-	26	-	-	μA	OSC32K=32.768kHz
		-	10	-	-		XOSC32K=32.768kHz
IDD_IDLE	アイドル消費電力	-	4	-	-	mA	OSCHF=20MHz, VDD=5V
		-	1.4	-	-		OSCHF=10MHz (OSCHF/2)
		-	1.0	-	-		OSCHF=5MHz (OSCHF/4)
		-	3.7	-	-	μA	OSC32K=32.768kHz
		-	3.3	-	-		XOSC32K=32.768kHz
IDD_BASE	各種休止動作での 最小消費電力	-	0.08	-	-	μA	パワーダウン動作またはスタンバイ動作、全周辺機能 禁止

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

## 36.6. 周辺機能消費電力

様々な動作形態で各種入出力周辺機能に対して追加消費電流を計算するのに下表を使ってください。いくつかの周辺機能はスタンバイ動作で動く時に許可されるべきクロックを要求します。更なる情報については周辺機能章を参照してください。

表36-5. 周辺機能消費電力 (注1)

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
IDD_WDT	ウォッチドッグ タイマ (WDT)	-	0.68	-		32.768kHz内部発振器
IBG	バンドギャップ	-	18.5	-		
IDD_VREF	参照基準電圧 (VREF)	-	55	-		ACREF許可、VRERF=2.048V
IDD_BOD	低電圧検出器 (BOD)	-	14	-		継続動作
		-	0.6	-		128Hz採取動作
		-	0.42	-		32Hz採取動作
IDD_TCB	16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)	-	23	-		
IDD_RTC	実時間計数器 (RTC)	-	0.6	-		CLK_RTC=32.768kHz内部発振器
IDD_OSC32K	32,768kHz内部発振器 (OSC32K)	-	0.33	-		
IDD_XOSC32K	32,768kHzクリスタル用発振器 (XOSC32K)	-	1.3	-	μA	LPMODE='1'=許可
		-	5.7	-		LPMODE='0'=禁止
IDD_OSCHF	内部高周波数発振器 (OSCHF)	-	90	-		ESR=50kΩ、 CL=12.5pF
IDD_PLL	位相固定化閉路 (PLL)	-	330	-		MULFAC='10'=8倍
		-	670	-		MULFAC='11'=16倍
IDD_ADC	アナログ⇒デジタル変換器 (ADC) (注2)	-	280	-		CTRLC.REFSEL='000'=VDD
		-	400	-		CTRLC.REFSEL='101'=内部2.048V
IDD_AC	アナログ比較器 (AC)	-	147	-		CTRLA.POWER='00'
		-	105	-		CTRLA.POWER='01'
IDD_USART	万能同期/非同期送受信器 (USART)	-	-	-		9600ボーでUART許可
IDD_SPI	直列周辺インターフェース (SPI)	-	7.0	-		100kHzでSPI主装置, アイドル休止動作
IDD_TWI	2線インターフェース (TWI)	-	27	-		100kHzでTWI主装置
		-	21	-		100kHzでTWI従装置
IDD_NVM_ERASE	フラッシュプログラミング - 消去	-	7	-		
IDD_NVM_WRITE	フラッシュプログラミング - 書き込み	-	10	-		

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

注1: 単位部だけの消費電流。マイクロ コントローラの総内部消費電力を計算するには使われる全ての周辺機能とクロック元の消費電力値を「電気的特性」の「消費電力」項で与えられる基本消費電力に加えてください。

注2: 以下の条件での平均消費電力

- 12ビットシングル エント ADC
- 自由走行動作でADC活動
- CLK\_ADC=1MHz
- デバイスはアイドル休止動作

## 36.7. 入出力ピン

表36-6. 入出力ピン特性

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件	
Low入力電圧							
VIL	入出力ポート	・シュミットトリガ緩衝部	-	-	0.2VDD	V	PINnCTRL.INLVL='0'
		・TTL基準	-	-	0.8		PINnCTRL.INLVL='1', VDD>2.7V
	RESETピン	-	-	0.2VDD			
High入力電圧							
VIH	入出力ポート	・シュミットトリガ緩衝部	0.8VDD	-	-	V	PINnCTRL.INLVL='0'
		・TTL基準	-	>2.0	-		PINnCTRL.INLVL='1', VDD>2.7V
	RESETピン	0.8VDD	-	-			
入力漏れ電流 (注2)							
IIL	入出力ポート	-	<50	-	nA	GND ≤ VPIN ≤ VDD、高インピーダンスピン、 TA=85°C	
	RESETピン (注3)	-	<50	-			
プルアップ抵抗							
RP	-	-	32	-	kΩ		
Low出力電圧							
VOL	標準入出力ポート	-	-	2.6	V	VDD=3.0V、IOL=6mA	
High出力電圧 (注1)							
VOH	標準入出力ポート	0.4	-	-	V	VDD=3.0V、IOH=-6mA	
入出力ピン上昇/下降時間							
tSR	上昇時間	-	22	-	ns	PINnCTRL.SRL='0'	
		-	45	-		PINnCTRL.SRL='1'	
	下降時間	-	16	-	PINnCTRL.SRL='0'		
		-	30	-	PINnCTRL.SRL='1'		
ピン容量							
CIO	全入出力ピン	-	5	-	pF		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

注1: 負(-)の電流はピンによって吐き出される電流です。

注2: 入出力ポートの漏れ電流はそのピンが許可されたアナログ周辺機能の入力として使われる時にも有効です。

注3: RESETピンの漏れ電流は印加される電圧水準に大きく依存します。指定した基準は標準的な動作条件を表します。違う入力電圧ではより高い漏れ電流が測定されるかもしれません。

## 36.8. メモリプログラミング仕様

表36-7. メモリプログラミング仕様

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
データ用EEPROMメモリ仕様						
ED (*)	データEEPROMバイト耐久性	100000	-	-	消去/書き回数	
tD_RET	保持特性	-	40	-	年	TA=55°C
tD_CE	EEPROM全体消去時間	-	4	-	ms	
tD_BPW	バイト/ページ書き込み時間	-	2	-		
tD_BPE	バイト/ページ消去時間	-	2	-		
tD_BPWE	非分断バイト/ページ書き込み/消去時間	-	4	-		
プログラム用フラッシュメモリ仕様						
EP (*)	フラッシュメモリセル耐久性	10000	-	-	消去/書き回数	
tP_RET	保持特性	-	40	-	年	TA=55°C
VP_REW	消去/書き込み操作VDD	VDDMIN (注1)	-	VDDMAX	V	
tP_CE	チップ消去時間	-	10	-	ms	
tP_PE	ページ/複数ページ消去時間	-	6	-		
tP_PW	ページ書き込み時間	-	4	-		
tP_BPWE	非分断バイト/ページ書き込み/消去時間	-	10	-		
	施錠デバイスでUPDIからのチップ消去	-	80	-		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

注1: チップ消去の間、BODLEVEL0で構成設定された低電圧検出器(BOD)がONを強制されます。VDD供給電圧がBODLEVEL0に対するVBOD未満の場合、消去の試みは失敗するでしょう。

## 36.9. 温度仕様

表36-8. 温度仕様

シンボル	説明	代表	単位	条件
θJA	周囲に対する接合部熱抵抗	73.7	°C/W	14リードSOIC外圍器 (SS)
		62.1		14リードSOIC外圍器 (SO)
		61.4		20リードSSOP外圍器 (SS)
		68		20パッドVQFN外圍器 (REB)
		48.5		28ピンPDIP外圍器 (SP)
		44		28リードSOIC外圍器 (SO)
		53.3		28リードSSOP外圍器 (SS)
		33.5		32パッドVQFN外圍器 (RXB)
		53		32リードTQFP外圍器 (PT)

注: 次のように消費電力を計算してください。:  $P_{DIS} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

・ 次のように内部消費電力を計算してください。:  $P_{INTERNAL} = I_{DD} \times V_{DD}$ 、ここでIDDは出力ピンでどの負荷も駆動していないチップ単独走行電流です。

・ 次のように減電力(デレーティング)を計算してください。:  $P_{DER} = P_{D_{MAX}}(T_J - T_A) / \theta_{JA}$ 、ここでTA=周囲温度、TJ=接合部温度

## 36.10. CLKCTRL

### 36.10.1. 内部発振器

表36-9. 内部発振器仕様 (注1)

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
$f_{OSCHF}$	精度校正された OSCHF周波数	-	20	-	MHz	OSCCFG.OSCHFRRQ='00'
		-	16	-		OSCCFG.OSCHFRRQ='01'
$f_{CAL}$	周波数調節範囲	-	±6	-		OSCCFG.OSCHFRRQ='00'
		-	±6	-		OSCCFG.OSCHFRRQ='01'
%CAL	OSCHF調節段階量	-	0.2	-	%	
EOSCHF _TOTAL	16/20MHz周波数 選択での総合誤差	-	<1 <3	-		TA=25°C, VDD=3.0V 全動作範囲
DOSCHF	デューティサイクル	-	50	-		
$t_{OSCHF\_ST}$ (注2)	OSCHF始動時間	-	10	-	μs	2%精度内
$f_{OSC32K}$	内部OSC32K周波数	-	32.768	-	kHz	
EOSC32K _TOTAL	目的周波数からの 総合誤差	-	<2 <10	-		TA=25°C, VDD=3.0V 全動作範囲
DOSC32K	デューティサイクル	-	50	-		
$t_{OSC32K\_ST}$ (注2)	OSC32K始動時間	-	220	-	μs	

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

注1: これらの発振器周波数公差を保証するため、VDDとGNDは可能な限りデバイスの近くで容量性雑音分離(デカップ)されなければなりません。詳細については「ハードウェアの指針」章の「電源用接続」項をご覧ください。

注2: 起き上がり時間は起こし事象からコード実行までで測定されます。

### 36.10.2. PLL

表36-10. PLL仕様

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
$f_{PLLIN}$	PLL入力周波数範囲	2.5	-	5.5	MHz	
$f_{PLLOUT}$	PLL出力周波数範囲	20	-	40		MULFAC='10'=8倍
		40	-	80		MULFAC='11'=16倍
$t_{PLLST}$	PLL固定化時間	-	20	-	μs	

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

### 36.10.3. XOSC32K

表36-11. 32.768kHz水晶用発振器(XOSC32K)仕様

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
$f_{XOSC32K}$	周波数	-	32.768	-	kHz	
CXTAL32K1/XTAL32K2	ピン寄生容量	-	5	-	pF	
CL	水晶負荷容量	-	18	-		XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		-	8	-	XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'	
ESR	等価直列抵抗	-	100	-	kΩ	XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		-	50	-		XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'
$t_{XOSC32\_ST}$ (*)	XOSC32始動時間	-	<200	-	ms	XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		-	<1000	-		XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

## 36.10.4. 外部クロック

図36-2. 外部クロック波形

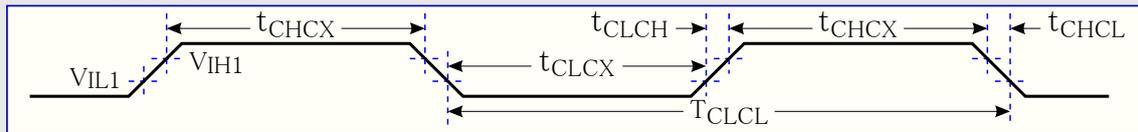


表36-12. 外部クロック仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
$f_{CLCL}$	クロック周波数	-	-	20	MHz	
TCLCL	クロック周期	50	-	-	ns	
tCHCX	High時間	-	40	-		
tCLCX	Low時間	-	40	-	%	
$\Delta T_{CLCL}$	周期間変化時間	-	20	-		

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

## 36.10.5. システム クロック

表36-13. システム クロック タイミング特性

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件	
$f_{CLK\_MAIN}$	主クロック周波数、 工業温度範囲 (注1)	0	-	5		VDD ≥ 1.8V	-40°C ≤ TA ≤ 85°C
		0	-	10		VDD ≥ 2.7V	
		0	-	20		VDD ≥ 4.5V	
	主クロック周波数、 拡張温度範囲 (注1)	0	-	8		VDD ≥ 2.7V	-40°C ≤ TA ≤ 125°C
		0	-	16		VDD ≥ 4.5V	
$f_{TCF}$	TCFクロック周波数、 工業温度範囲	-	-	20	MHz	VDD ≥ 1.8V	-40°C ≤ TA ≤ 85°C
		-	-	40		VDD ≥ 2.7V	
		-	-	80		VDD ≥ 4.5V	
	TCFクロック周波数、 拡張温度範囲	-	-	64		VDD ≥ 4.5V	-40°C ≤ TA ≤ 125°C
$f_{CY}$	命令クロック周波数	0	$f_{CLK\_MAIN}$	-			
T <sub>CY</sub>	命令周期 (注2)	50	1/ $f_{CY}$	-	ns		

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

注1: 主クロック(CLK\_MAIN)周波数は「CLKCTRL - クロック制御器」章で記述されるように、**クロック選択(CLKSEL)ビット領域**によって構成設定されます。

注2: 命令周期時間(T<sub>CY</sub>)は入力発振器時間基準周期と等価です。それらの指定された限度を超えると、不正なコード実行や予期されるよりも高い消費電流になるかもしれません。全てのデバイスはEXTCLKピンに印加された外部クロックと共に”最小”値で動作することを検査されます。外部クロック入力が使われる時の”最大”周期時間限度は全てのデバイスに対して”DC”(クロックなし)です。

## 36.11. RSTCTRLとBOD

表36-14. リセット、WDT、発振器始動計時器、起動計時器、低電圧検出器仕様

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
tRST (*)	リセットを保証するRESETピンLowパルス幅	2.5	-	-	μs	
RRST_UP (*)	RESETピンプルアップ抵抗	-	35	-	kΩ	
TOST	発振器始動計時器期間 (注1)	-	1024	-	周期数	
VBOD+	上昇傾斜、低電圧検出器電圧 (注2)	-	1.75	-	V	BODLEVEL0
		-	1.90	2.10		BODLEVEL1
		-	2.60	2.80		BODLEVEL2
		-	4.30	4.60		BODLEVEL3
VBOD-	下降傾斜、低電圧検出器電圧 (注2)	1.62	1.75	-	V	BODLEVEL0
		1.80	1.90	-		BODLEVEL1
		2.43	2.60	-		BODLEVEL2
		4.05	4.30	-		BODLEVEL3
VBOD_HYS	低電圧検出器ヒステリシス	-	25	-	mV	
tBOD_ST	休止からの低電圧検出器始動時間	-	30	-	μs	
tBOD	採取動作BOD採取時間	-	1/fBOD	-	ms	
tBOD_RST	低電圧リセット応答時間	-	4	-	μs	VDD=VBOD-0.1V

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

注1: 設計により、発振器始動計時器(TOST)は周波数と無関係に最初の1024周期を計数します。

注2: これらの電圧公差を保証するため、VDDとGNDは可能な限りデバイスの近くで容量性雑音分離(デカップ)されなければなりません。詳細については「ハードウェアの指針」章の「電源用接続」項をご覧ください。

表36-15. 電圧水準監視部閾値仕様

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
VDET (*)	電圧検出閾値	1	5	10	BOD閾値 越えの%	VLMLVL='01'
		9	15	22		VLMLVL='10'
		19	25	32		VLMLVL='11'

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

## 36.12. VREF

表36-16. VREF仕様

シンボル	説明	最小	代表 (+)	最大	単位	条件
VVREF_2V048 (注)	内部電圧参照基準2.048V	-2	-	2	%	VDD ≥ 2.55V
VVREF_1V024 (注)	内部電圧参照基準1.024V					VDD ≥ 1.8V
VVREF_2V500 (注)	内部電圧参照基準2.5V	-3	-	3		VDD ≥ 3.0V
VVREF_4V096 (注)	内部電圧参照基準4.096V					VDD ≥ 4.6V
VVREF_1V024 (注)	内部電圧参照基準1.024V					VDD ≥ 1.8V
VVREF_2V048 (注)	内部電圧参照基準2.048V	-5	-	5		VDD ≥ 2.55V
VVREF_2V500 (注)	内部電圧参照基準2.5V					VDD ≥ 3.0V
VVREF_4V096 (注)	内部電圧参照基準4.096V					VDD ≥ 4.6V
VVREF	内部電圧参照基準	-	-	VDD-0.4	V	VDD ≤ 5.5V, -40°C ≤ TA ≤ +85°C
tINTREF (*)	電圧参照基準変更遅延	-	-	-	μs	
tVREF_ST (*)	内部VREF始動時間	-	130	180		
VVREFA	VREFA外部基準ピン入力電圧	1.024	-	VDD	V	VDD ≤ 5.5V, -40°C ≤ TA ≤ +125°C

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

注: VVREF\_xVxxxシンボルはADC0\_CTRLとVREF.ACREFレジスタの各々のREFSELビット領域値を示します。

### 36.13. USART

図36-3. 主装置SPI動作でのUSART – 主装置動作でのタイミング必要条件

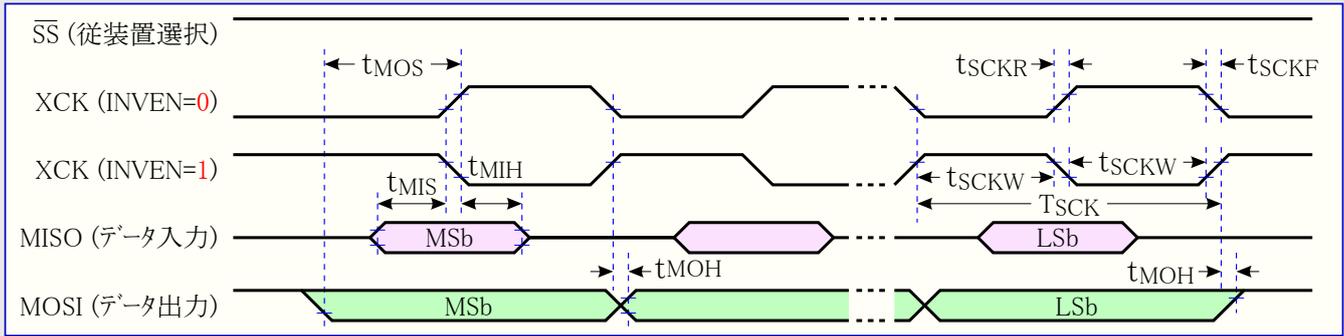


表36-17. 主装置SPI動作でのUSART – タイミング仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
$f_{SCK} (*)$	SCKクロック周波数	-	-	$f_{CLK\_PER}/2$	MHz	
$T_{SCK} (*)$	SCK周期	$2 \times T_{CLK\_PER}$	-	-		
$t_{SCKW}$	SCK High/Low幅	-	$0.5 \times T_{SCK}$	-		
$t_{SCKR}$	SCK上昇時間	-	2.7	-		
$t_{SCKF}$	SCK下降時間	-	2.7	-		
$t_{MIS}$	SCKに対するMISO準備時間	-	10	-	ns	
$t_{MIH}$	SCK後MISO保持時間	-	10	-		
$t_{MOS}$	SCKに対するMOSI準備時間	-	$0.5 \times T_{SCK}$	-		
$t_{MOH}$	SCK後MOSI保持時間	-	1	-		

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

### 36.14. SPI

図36-4. SPI – 主装置動作でのタイミング必要条件

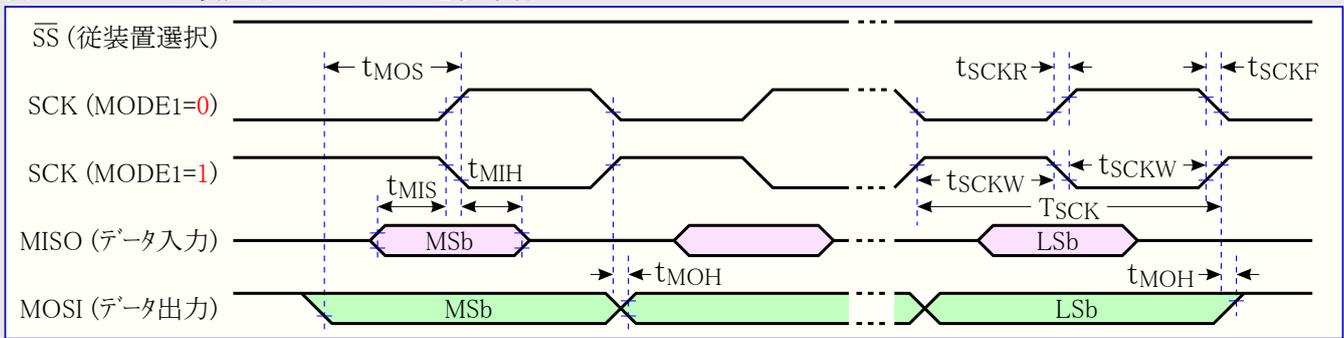


表36-18. SPI – 主装置動作でのタイミング仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
$f_{SCK} (*)$	SCKクロック周波数	-	-	$f_{CLK\_PER}/2$	MHz	
$T_{SCK} (*)$	SCK周期	$2 \times T_{CLK\_PER}$	-	-		
$t_{SCKW}$	SCK High/Low幅	-	$0.5 \times T_{SCK}$	-		
$t_{MIS}$	SCKに対するMISO準備時間	-	$T_{CLK\_PER}$	-	ns	
$t_{MIH}$	SCK後MISO保持時間	-	0	-		
$t_{MOS}$	SCKに対するMOSI準備時間	-	$0.5 \times T_{SCK}$	-		
$t_{MOH}$	SCK後MOSI保持時間	-	$0.5 \times T_{SCK}$	-		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

図36-5. SPI - 従装置動作でのタイミング必要条件

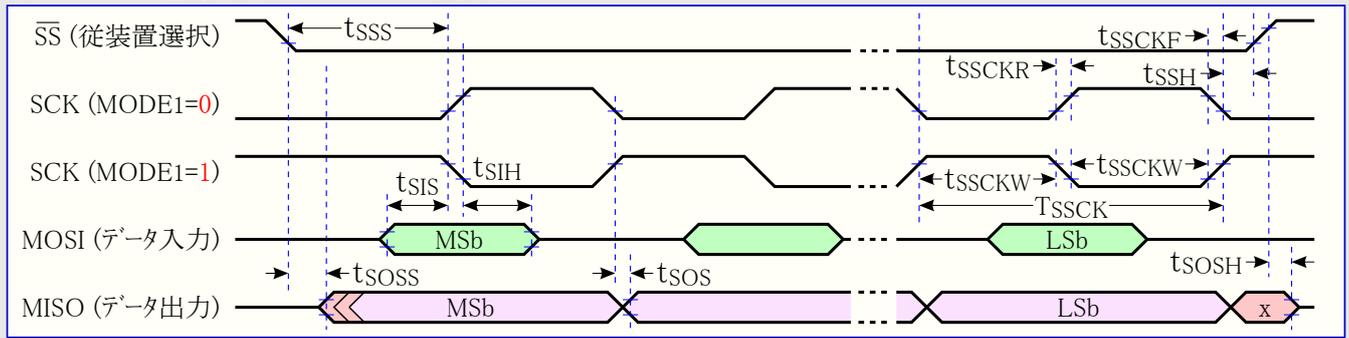


表36-19. SPI - 従装置でのタイミング仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
$f_{SSCK}$ (*)	従装置SCKクロック周波数	-	-	$f_{CLK\_PER}/6$	MHz	
$T_{SSCK}$ (*)	従装置SCK周期	$6 \times T_{CLK\_PER}$	-	-		
$t_{SSCKW}$ (*)	SCK High/Low幅	$3 \times T_{CLK\_PER}$	-	-		
$t_{SIS}$ (*)	SCKに対するMOSI準備時間	0	-	-		
$t_{SIH}$ (*)	SCK後MOSI保持時間	$3 \times T_{CLK\_PER}$	-	-		
$t_{SSS}$ (*)	SCKに対するSS準備時間	$T_{CLK\_PER}$	-	-	ns	
$t_{SSH}$ (*)	SCK後SS保持時間	$T_{CLK\_PER}$	-	-		
$t_{sOS}$	SCK後のMISO有効時間	-	$t_{SR}$ (注)	-		$f_{SSCK} \geq f_{CLK\_PER}/6$
		-	-	-		$f_{SSCK} < f_{CLK\_PER}/6$
$t_{SOSS}$	SS Low後MISO準備時間	-	$t_{SR}$ (注)	-		
$t_{SOSH}$	SS Low後MISO保持時間	-	$t_{SR}$ (注)	-		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、 $T_A=25^\circ\text{C}$ と $V_{DD}=3.0\text{V}$ です。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

注:  $t_{SR}$ は入出力ピン上昇/下降時間です。

36.15. TWI

図36-6. TWI - タイミング必要条件

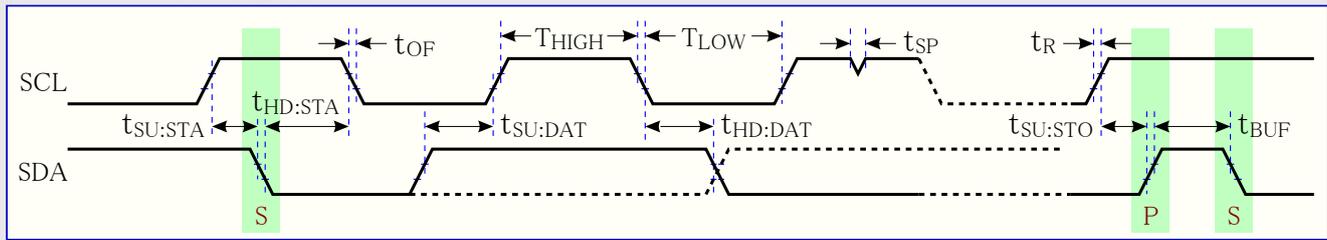


表36-20. TWI - タイミング仕様

シンボル	項目	最小	代表(†)	最大	単位	条件
$f_{SCL} (*)$	SCLクロック周波数	-	-	1000	kHz	最大周波数は12MHz以上のシステムクロックを必要とします。
$V_{HYS} (*)$	シュミットトリガ入力ヒステリシス電圧	$0.05 \times V_{DD}$	-	$0.4 \times V_{DD}$	V	$I_{load}=3mA, V_{DD}>2V$ $I_{load}=2mA, V_{DD} \leq 2V$
$V_{OL}$	Low出力電圧	-	-	$0.2 \times V_{DD}$		
$I_{OL} (*)$	Lowレベル出力電流	3	-	-	mA	$V_{OL}=0.4V, V_{DD}>2V$ $V_{OL}=0.2 \times V_{DD}, V_{DD} \leq 2V$
$t_{SP} (*)$	入力濾波による抑制尖頭雑音	0	-	50		ns
$I_L (*)$	各I/Oピンの入力電流	-	-	1	$\mu A$	$0.1 \times V_{DD} < V_I < 0.9 \times V_{DD}$
$C_I (*)$	各I/Oピンの容量	-	-	10		
$R_p (*)$	プルアップ抵抗値	$(V_{DD}-V_{OL(max)})/I_{OL}$	-	$1000ns/(0.8473 \times CB)$	$\Omega$	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		$(V_{DD}-V_{OL(max)})/I_{OL}$	-	$300ns/(0.8473 \times CB)$		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		$(V_{DD}-V_{OL(max)})/I_{OL}$	-	$120ns/(0.8473 \times CB)$		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$t_{HD\_STA} (*)$	(再送)開始条件保持時間	4.0	-	-		$f_{SCL} \leq 100kHz$
		0.6	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.26	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$T_{LOW} (*)$	SCLクロックLow時間	4.7	-	-	$\mu s$	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		0.6	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.35	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$T_{HIGH} (*)$	SCLクロックHigh時間	4.0	-	-	$\mu s$	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		0.6	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.26	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$t_{SU\_STA} (*)$	再送開始条件準備時間	4.7	-	-		$f_{SCL} \leq 100kHz$
		0.6	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.26	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$t_{HD\_DAT} (*)$	データ保持時間	-	0	-		$SDAHOLD='00'$
		300	-	900		$SDAHOLD='11'$
$t_{SU\_DAT} (*)$	データ準備時間	250	-	-	ns	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		100	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		50	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$t_{SU\_STO} (*)$	停止条件準備時間	4	-	-	$\mu s$	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		0.6	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.26	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
$t_{BUF} (*)$	停止条件→開始条件間バス開放時間	4.7	-	-		$f_{SCL} \leq 100kHz$
		1.3	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
$t_{CS} (*)$	従装置クロック伸長遅延	-	-	250	ns	

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は検査されず、設計指針用だけです。

## 35.16. ADC

表36-21. 電源、参照基準、入力範囲

動作条件:						
<ul style="list-style-type: none"> <li>別の指定がない限り、VREF選択と採取速度の許された全ての組み合わせに対して適用</li> <li>別の指定がない限り、許可されたPGAありとなしで特性は同じです。</li> </ul>						
シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
VDD	供給電圧	1.8	-	5.5	V	
VREF	参照基準電圧	1.024	-	VDD		
CIN	入力容量	-	2.5	-	pF	PGA禁止
		-	7	-		PGA許可
RIN	入力抵抗	-	3	-	kΩ	PGA禁止
		-	2.5	-		PGA許可
VIN	入力電圧範囲	0	-	VREF	V	シングルエンド動作
		-0.1	-	VDD+0.1		差動動作

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

表36-22. クロックとタイミングの特性

動作条件:						
<ul style="list-style-type: none"> <li>別の指定がない限り、VREF選択と採取速度の許された全ての組み合わせに対して適用</li> <li>別の指定がない限り、許可されたPGAありとなしで特性は同じです。</li> </ul>						
シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
CLK_ADC	ADCクロック周波数	300	-	2000	kHz	REFSEL=内部参照基準
		300	-	6000		REFSEL=外部参照基準またはVDD

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

表36-23. 精度仕様

動作条件:						
<ul style="list-style-type: none"> <li>VREF=外部2.048V</li> <li>f<sub>CLK_ADC</sub>=2.5MHz</li> <li>差動動作</li> <li>CPUはアイドル休止動作</li> </ul>						
シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
EINL	積分非直線性誤差 (注)	-2.3	0.8	2.3	LSb	
EDNL	微分非直線性誤差 (注)	-0.9	0.8	1.6		
E <sub>OFF</sub>	変位(オフセット)誤差	-15	1.5	15		
E <sub>GAIN</sub>	利得誤差	-	0.6	-		PGA禁止
E <sub>T</sub>	総未調整誤差	-	5	-		

†: 別の定めがない限り、“代表”列のデータはTA=25°CとVDD=3.0Vです。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

注: 別の指示がない限り、直線性特性はPGAが有効にされているかどうかに関わらず同じになります。

表36-24. PGA特性

動作条件: ・ $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq 125^{\circ}\text{C}$						
シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
NRMS	入力雑音	-	32	-	$\mu\text{VRMS}$	PGA利得=1倍
		-	63	-		PGA利得=2倍
		-	125	-		PGA利得=4倍
		-	250	-		PGA利得=8倍
		-	500	-		PGA利得=16倍
EGAIN	利得誤差	-	-0.2	-	%	PGA利得=1倍
		-	-0.2	-		PGA利得=2倍
		-	-0.3	-		PGA利得=4倍
		-	-0.6	-		PGA利得=8倍
		-	-0.8	-		PGA利得=16倍

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、 $\text{TA}=25^{\circ}\text{C}$ と $\text{VDD}=3.0\text{V}$ です。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

## 36.17. AC

表36-25. アナログ比較器仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
$V_{\text{IN}}(*)$	入力電圧範囲	-0.2	-	VDD	V	
$I_{\text{L}}$	入力漏れ電流	-	5	-	nA	
$V_{\text{OFF}}$	入力変位(オフセット)電圧 (注1)	-	$\pm 10$	-	mV	$-0.1\text{V} < V_{\text{IN}} < (\text{VDD} - 0.1\text{V})$
$V_{\text{HYST}}$	ヒステリシス (注2)	-	10	-	mV	CTRLA.HYSMODE='01'
		-	20	-		CTRLA.HYSMODE='10'
		-	30	-		CTRLA.HYSMODE='11'
$t_{\text{RESP}}(*)$	応答時間	上昇端	-	90	ns	CTRLA.POWER='00', VCM=VDD/2
		下降端	-	90		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、 $\text{TA}=25^{\circ}\text{C}$ と $\text{VDD}=3.0\text{V}$ です。これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

注1: 変位定義は下降端に基づいて見つけます。

注2: ヒステリシスは上昇端に関して実装されます。

## 36.18. UPDI

図36-7. 専用UPDIピンでのUPDI許可手順

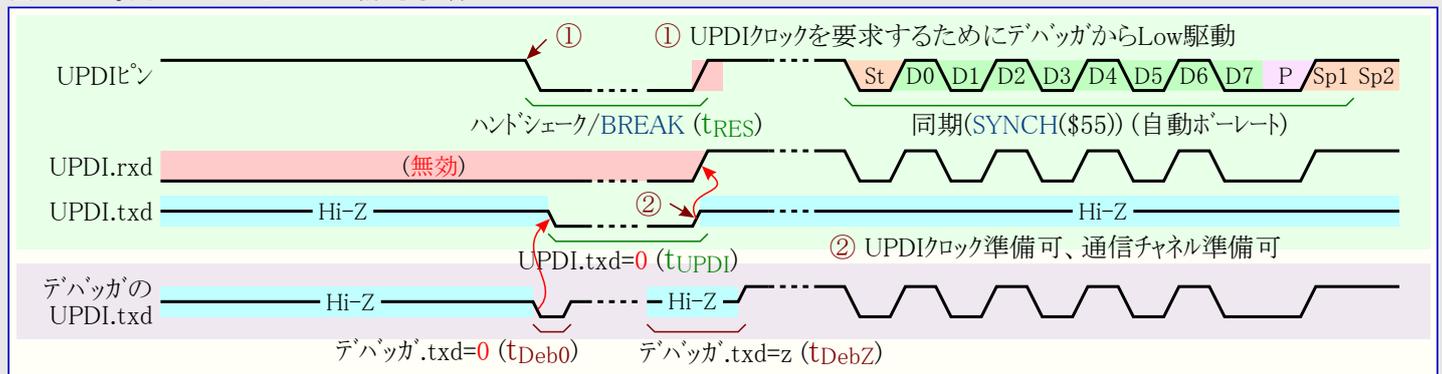


表36-26. UPDIタイミング仕様

シンボル	説明	最小	最大	単位	条件	
tRES (*)	RESETでのハントシェイク/BREAKの持続時間	10	200			
tUPDI (*)	UPDI.txd=0の持続時間	10	200	μs		
tDeb0 (*)	デバッグ.txd=0の持続時間	0.2	1			
tDebZ (*)	デバッグ.txd=z(Hi-Z)の持続時間	200	14000			
fUPDI (*)	UPDIクロック周波数	-	4	MHz	TA < 0°C または TA > +50°C	1.8V ≤ VDD ≤ 5.5V
		-	8		0°C ≤ TA ≤ +50°C	
		-	8	MHz	TA < 0°C または TA > +50°C	2.7V ≤ VDD ≤ 5.5V
		-	16		0°C ≤ TA ≤ +50°C	
-	16	MHz	TA < 0°C または TA > +50°C	4.5V ≤ VDD ≤ 5.5V		
-	32		0°C ≤ TA ≤ +50°C			

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

図36-8. 高電圧(HV)プログラミングによるUPDI許可手順

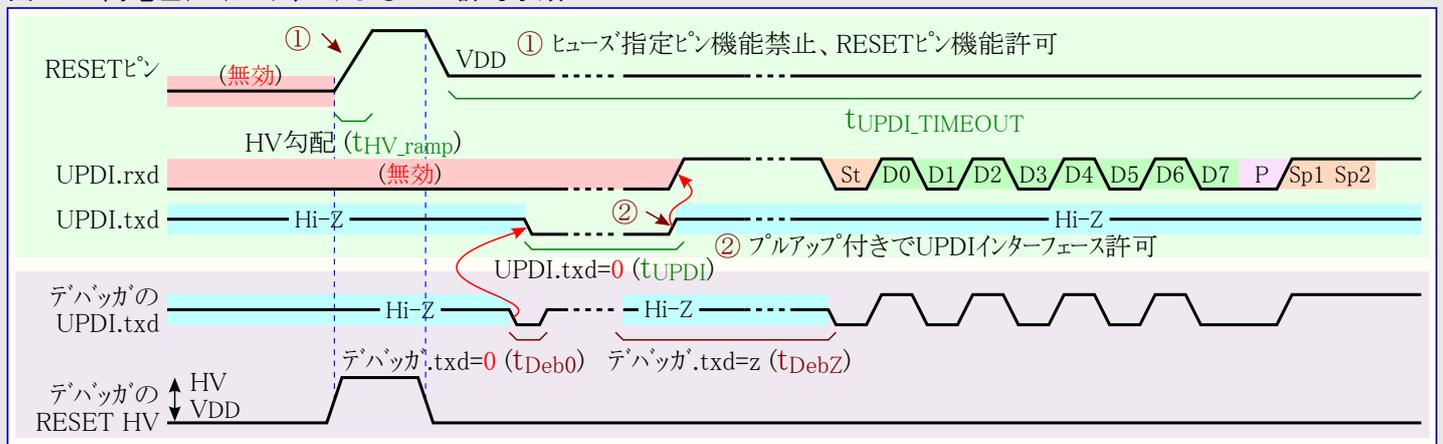


表36-27. UPDI HVパルス仕様

シンボル	説明	最小	代表	最大	単位	条件
VHV (*)	デバッグRESET HV信号レベル	VDD+2	7.5	8.5	V	RESETピンの絶対最大定格を決して超えてはなりません。
tHV (**)	デバッグRESET HV信号持続時間	10	-	-	μs	
tUPDI_TIMEOUT (*)	HVパルス後有効鍵受信時間	-	65	-	ms	

\*: これらの要素は特性付けされますが、製造で検査されません。

\*\* : これらの要素は設計指針用だけで検査されません。

## 37. 特性図

特性図は現時点に於いて利用できません。

## 38. 注文情報

・入手可能な注文選択は以下によって見つけることができます。

- 以下の製品頁リンクの1つをクリック

- ・ [AVR16EB14製品頁](#)
- ・ [AVR16EB20製品頁](#)
- ・ [AVR16EB28製品頁](#)
- ・ [AVR16EB32製品頁](#)

- [microchipdirect.com](http://microchipdirect.com)で製品名による検索

- 最寄りの販売会社へのお問い合わせ

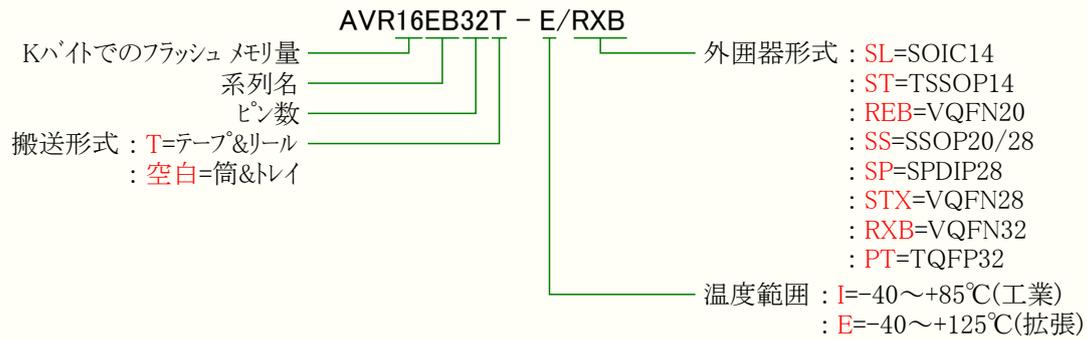
**注:** 車載級注文符号(VAO接尾辞)は要請によって設定され、表38-1.で一覧にされません。各々の製品頁に存在しないVAO注文符号を要請するには最寄りのMicrochip営業担当者にお問い合わせください。

表38-1. 入手可能な製品番号

注文符号	フラッシュ/SRAM	ピン数	外囲器形式	供給電圧	温度範囲	搬送形式
AVR16EB14T-E/ST		14	TSSOP	1.8~5.5V	-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB14T-I/ST					-40°C~85°C	
AVR16EB14-E/ST					-40°C~125°C	チューブ*
AVR16EB14-I/ST					-40°C~85°C	
AVR16EB14T-E/SL			SOIC		-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB14T-I/SL					-40°C~85°C	
AVR16EB14-E/SL					-40°C~125°C	チューブ*
AVR16EB14-I/SL					-40°C~85°C	
AVR16EB20T-E/SS	16KB/2KB	20	SSOP	1.8~5.5V	-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB20T-I/SS					-40°C~85°C	
AVR16EB20-E/SS					-40°C~125°C	チューブ*
AVR16EB20-I/SS					-40°C~85°C	
AVR16EB20T-E/REB			VQFN		-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB20T-I/REB					-40°C~85°C	
AVR16EB20-E/REB					-40°C~125°C	トレイ
AVR16EB20-I/REB					-40°C~85°C	
AVR16EB28T-E/SS		28	SSOP	1.8~5.5V	-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB28T-I/SS					-40°C~85°C	
AVR16EB28-E/SS					-40°C~125°C	チューブ*
AVR16EB28-I/SS					-40°C~85°C	
AVR16EB28T-E/SP			SPDIP		-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB28T-I/SP					-40°C~85°C	
AVR16EB28-E/SP					-40°C~125°C	チューブ*
AVR16EB28-I/SP					-40°C~85°C	
AVR16EB28T-E/STX	VQFN	-40°C~125°C	テープ&リール			
AVR16EB28T-I/STX		-40°C~85°C				
AVR16EB28-E/STX		-40°C~125°C	トレイ			
AVR16EB28-I/STX		-40°C~85°C				
AVR16EB32T-E/PT		32	TQFP	1.8~5.5V	-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB32T-I/PT					-40°C~85°C	
AVR16EB32-E/PT					-40°C~125°C	トレイ
AVR16EB32-I/PT					-40°C~85°C	
AVR16EB32T-E/RXB			VQFN		-40°C~125°C	テープ&リール
AVR16EB32T-I/RXB					-40°C~85°C	
AVR16EB32-E/RXB					-40°C~125°C	トレイ
AVR16EB32-I/RXB					-40°C~85°C	

図38-1. 製品識別システム

注文する、または例えば、価格や納品の情報を得るには工場または一覧にされた販売代理店にお問い合わせください。



**注:** テープとリールの識別子は目録部品番号記述でだけ現れます。この識別子は注文目的に使われ、デバイス外圍器に印刷されません。テープとリール任意選択での外圍器入手可能性についてはMicrochip営業所で確認してください。

## 39. 外圍器情報

### 39.1. オンライン外圍器図

最新の外圍器図については次のとおりです。

1. [www.microchip.com/packaging](http://www.microchip.com/packaging)へ行ってください。
2. 外圍器型式特定頁、例えば、VQFNへ行ってください。
3. 最新の外圍器図を見つけるために図番号と型式を探してください。

表39-1. 図番号

ピン数	外圍器型式	図番号	型式
14	SOIC	C04-00065	SL
	TSSOP	C04-00087	ST
20	SSOP	C04-00072	SS
	VQFN	C04-21380	REB
	VQFN WF	C04-00476	2LX
28	SPDIP	C04-00070	SP
	SSOP	C04-00073	SS
	VQFN	C04-00456	STX
32	VQFN	C04-21395	RXB
	VQFN WF	C04-21511	QZB
	TQFP	C04-00074	PT

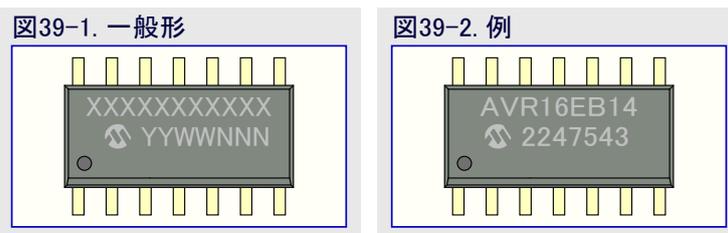
**注:** 最新の外圍器図については<http://www.microchip.com/packaging>に置かれたMicrochip外圍器仕様をご覧ください。

### 39.2. 外圍器表示情報

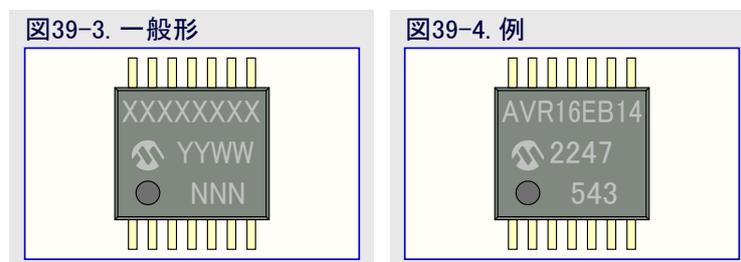
凡例: XX~X お客様指定情報またはMicrochip部品番号  
 Y 年符号 (暦年の最終桁)  
 YY 年符号 (暦年の最後の2桁)  
 WW 週符号 (1月第1週が'01'週です。)  
 NNN 英数字追跡可能性符号  
 (e3) 無光沢錫(Sn)用鉛なしJEDEC®指示子

**注:** 結果的に完全なMicrochip部品番号は1行で記すことができず、次の行に持ち越され、従ってお客様指定情報に利用可能な文字数を制限します。

#### 39.2.1. 14リードSOIC



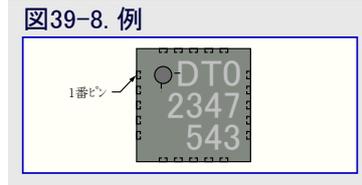
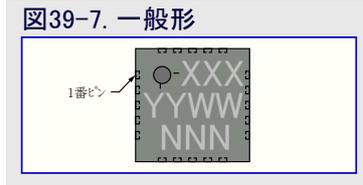
#### 39.2.2. 14リードTSSOP



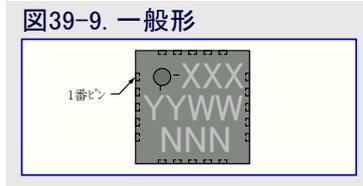
39.2.3. 20ピン<sup>®</sup>SSOP



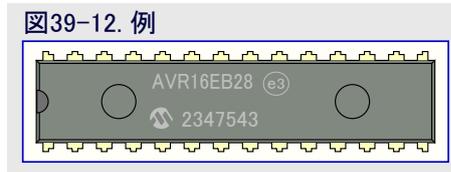
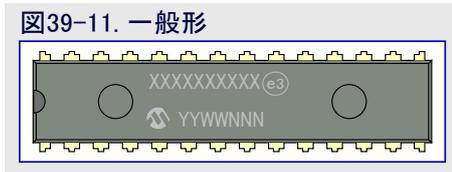
39.2.4. 20ピン<sup>®</sup>VQFN



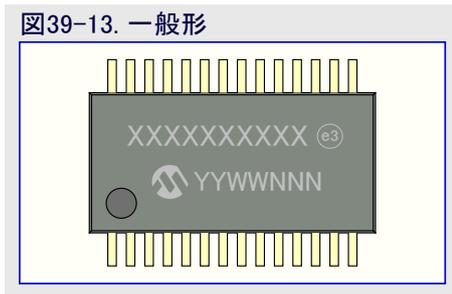
39.2.5. 20ピン<sup>®</sup>VQFN濡れ性側面



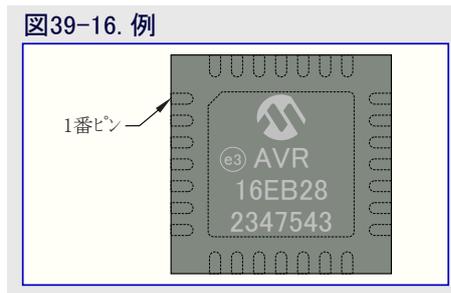
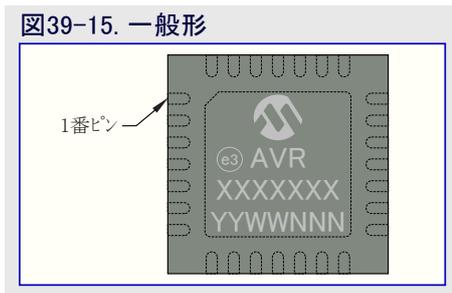
39.2.6. 28ピン<sup>®</sup>SPDIP



39.2.7. 28ピン<sup>®</sup>SSOP



39.2.8. 28ピン<sup>®</sup>VQFN



### 39.2.9. 32ピンVQFN

図39-17. 一般形

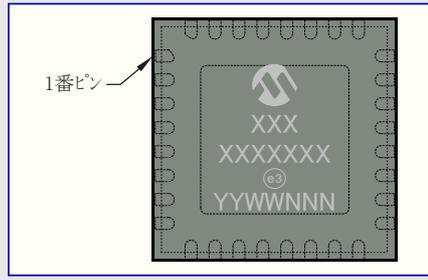
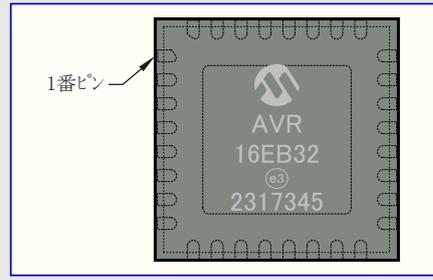


図39-18. 例



### 39.2.10. 32ピンVQFN濡れ性側面

図39-19. 一般形

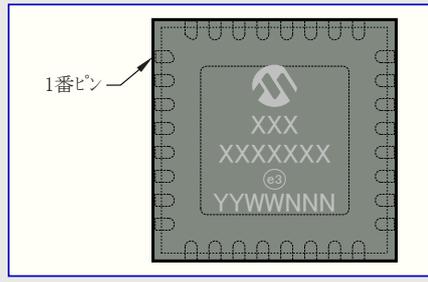
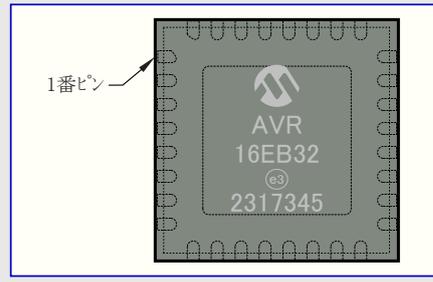


図39-20. 例



### 39.2.11. 32ピンTQFP

図39-21. 一般形

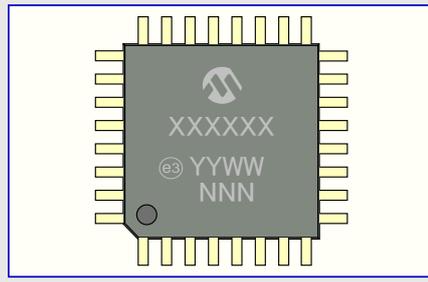
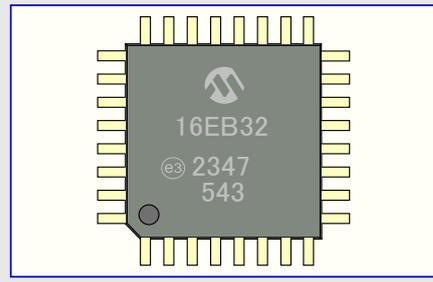


図39-22. 例





39.3.2. 14リード<sup>®</sup>TSSOP

14リード<sup>®</sup> 薄型縮小小型外形(ST) - 4.4mm本体 [TSSOP]

単位 寸法限度	mm		
	最小	標準	最大
ピン数	N	14	
ピン間隔	e	0.65 BSC	
全高	A	-	1.20
嵩上げ	A1	0.05	0.15
成形外包装厚	A2	0.80	1.00 1.05
全長	D	4.90	5.00 5.10
全幅	E	6.40 BSC	
成形包装幅	E1	4.30	4.40 4.50
端子幅	b	0.19	0.30
端子厚	c	0.09	0.20
端子長	L	0.45	0.60 0.75
足全長	L1	1.00 REF	
リード曲げ半径	R1	0.09	-
リード曲げ半径	R2	0.09	-
足角度	theta1	0°	8°
型抜き角度	theta2	12° REF	
型抜き角度	theta3	12° REF	

**注1:** 1番ピン視覚指標機能は変わるかもしれませんが、斜線領域内に配置されなければなりません。

**注4:** ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
 BSC：基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。  
 REF：参照基準寸法。通常は公差なし、情報目的専用。

Microchip Technology作図番号C04-087改訂F

単位 寸法限度	mm		
	最小	標準	最大
接触子間隔	E	0.65 BSC	
接触パッド空間	C	-	5.90 -
接触パッド幅(×14)	X	-	- 0.45
接触パッド長(×14)	Y	-	- 1.45
接触パッド間(×12)	G	0.20	-

**注1:** ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
 BSC：基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。

Microchip Technology作図番号C04-2087改訂F

39.3.3. 20リード<sup>®</sup>SSOP

20リード<sup>®</sup> プラスティック縮小小型外形(SS) - 5.30mm本体 [SSOP]

単位 寸法限度	mm		
	最小	標準	最大
ピン数	N	20	
ピン間隔	e	0.65 BSC	
全高	A	-	2.00
嵩上げ	A1	0.05	-
成形外包装厚	A2	1.65	1.75 1.85
全幅	E	7.40	7.80 8.20
成形包装幅	E1	5.00	5.30 5.60
全長	D	6.90	7.20 7.50
足接触長	L	0.55	0.75 0.95
足全長	L1	1.25 REF	
リード厚	c	0.09	- 0.25
足角度	φ	0°	4° 8°
リード幅	b	0.22	- 0.38

注1: 1番ピン視覚指標機能は変わるかもしれませんが、斜線領域内に配置されなければなりません。  
 注2: D1とE1の寸法は成形の毛羽や突起を含みません。成形の毛羽や突起は片側に対して0.20mmを超えるべきではありません。  
 注3: ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
 BSC: 基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。  
 REF: 参照基準寸法。通常は公差なし、情報目的専用。

Microchip Technology作図C04-072改訂C

単位 寸法限度	mm		
	最小	標準	最大
接触子間隔	E	0.65 BSC	
接触パッド空間	C	-	7.00 -
接触パッド幅(×20)	X1	-	0.45 -
接触パッド長(×20)	Y1	-	1.85 -
接触パッド間(×18)	G1	0.20	- -

注1: ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
 BSC: 基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。  
 注2: 最良の半田付け結果のため、使うなら、放熱ヒアはリフロー処理中の半田損失を避けるためにベタ塗またはテンテイングされるべきです。

Microchip Technology作図番号C04-2072改訂C

39.3.4. 20パッドVQFN

20パッド極薄プラスチック4方向平板リードなし外圍器(REB) - 3×3mm本体 [VQFN] 1.7mm露出パッド付き (Atmel伝承全般外圍器符号ZCJ)

単位 寸法限度	mm			
	最小	標準	最大	
ピン数	N	20		
ピン間隔	e	0.40 BSC		
全高	A	0.80	0.85	0.90
嵩上げ S	A1	0.00	0.035	0.05
成形外包装厚	A3	0.203 REF		
全長	D	3.00 BSC		
露出パッド長	D2	1.60	1.70	1.80
全幅	E	3.00 BSC		
露出パッド幅	E2	1.60	1.70	1.80
端子幅	b	0.15	0.20	0.25
端子長	L	0.35	0.40	0.45
端子～露出パッド間	K	0.20	-	-
1番ピン指標面取り	CH	0.35 REF		

**注1:** 1番ピン視覚指標機能は変わるかもしれませんが、斜線領域内に配置されなければなりません。

**注2:** 外圍器は切断分離されています。

**注3:** ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
BSC：基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。  
REF：参照基準寸法。通常は公差なし、情報目的専用。

Microchip Technology作図C04-21380改訂A

単位 寸法限度	mm			
	最小	標準	最大	
接触子間隔	E	0.40 BSC		
任意選択中央パッド幅	X2	-	-	1.80
任意選択中央パッド長	Y2	-	-	1.80
接触パッド間隔	C1	-	3.00	-
接触パッド間隔	C2	-	3.00	-
接触パッド幅(×20)	X1	-	-	0.20
接触パッド長(×16)	Y1	-	-	0.80
接触パッド～中央パッド(×20)	G1	0.20	-	-
接触パッド～接触パッド(×16)	G2	0.20	-	-
放熱ビア直径	ØV	-	0.30	-
放熱ビア間隔	EV	-	1.00	-

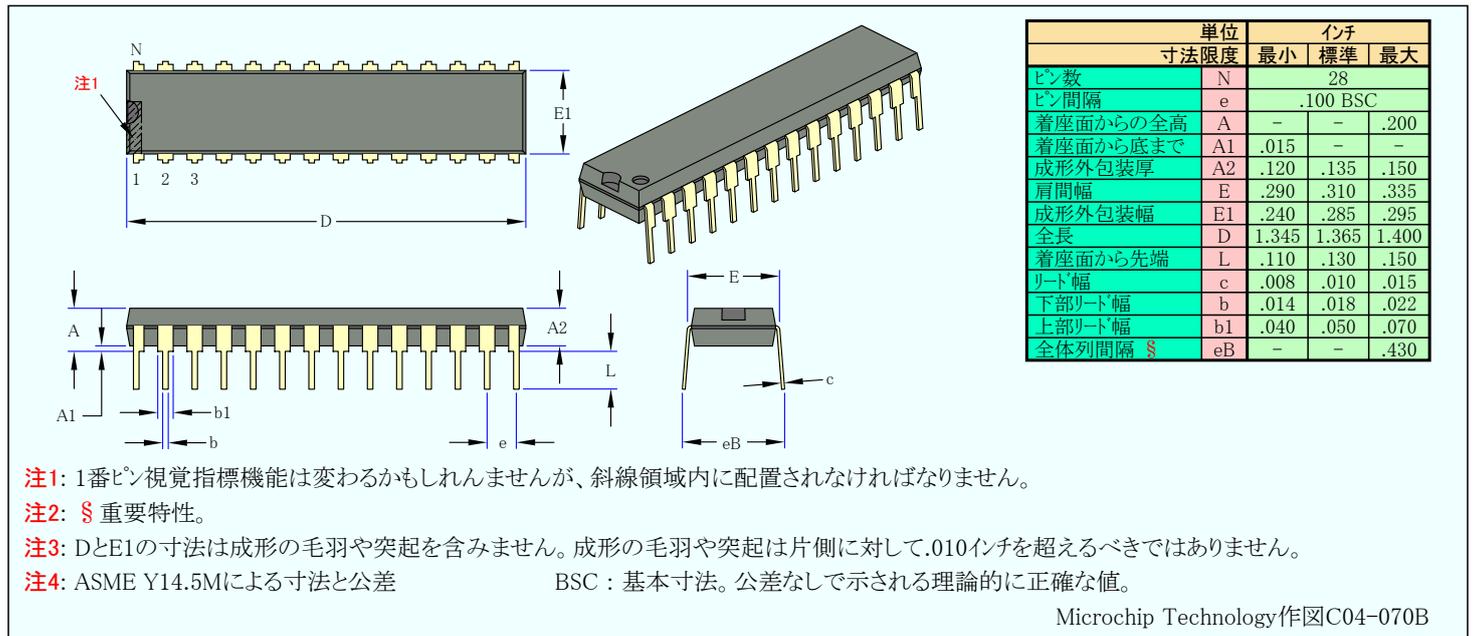
**注1:** ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
BSC：基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。

**注2:** 最善の半田結果に関して使われる場合に放熱ビアはリフロー処理中に半田欠損を避けるために満たされる、またはテンティングされるべきです。

Microchip Technology作図C04-23380改訂A

## 39.3.5. 28ピンSPDIP

## 28ピン 狭幅プラスチック2列(SP) – 300mil本体 [SPDIP]



39.3.6. 28リード<sup>®</sup>SSOP

28リード<sup>®</sup> プラスティック縮小小外形外圍器(SS) - 5.30mm本体、2.00mm [SSOP]

単位 寸法限度	mm		
	最小	標準	最大
ピン数	N	28	
ピン間隔	e	0.65 BSC	
全高	A	-	2.00
嵩上げ	A1	0.05	-
成形外包装厚	A2	1.65	1.75 1.85
全幅	E	7.40	7.80 8.20
成形包装幅	E1	5.00	5.30 5.60
全長	D	9.90	10.20 10.50
足接触長	L	0.55	0.75 0.95
足全長	L1	1.25 REF	
リード厚	c	0.09	- 0.25
足角	φ	0°	4° 8°
リード幅	b	0.22	- 0.38

**注1:** 1番ピン視覚指標機能は変わるかもしれませんが、斜線領域内に配置されなければなりません。

**注2:** D1とE1の寸法は成形の毛羽や突起を含みません。成形の毛羽や突起は片側に対して0.20mmを超えるべきではありません。

**注3:** ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
BSC：基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。  
REF：参照基準寸法。通常は公差なし、情報目的専用。

Microchip Technology作図C04-073改訂C

単位 寸法限度	mm		
	最小	標準	最大
接触子間隔	E	0.65 BSC	
接触パッド空間	C	-	7.00 -
接触パッド幅(×28)	X1	-	- 0.45
接触パッド長(×28)	Y1	-	- 1.85
パッド間距離(×26)	G1	0.20	- -

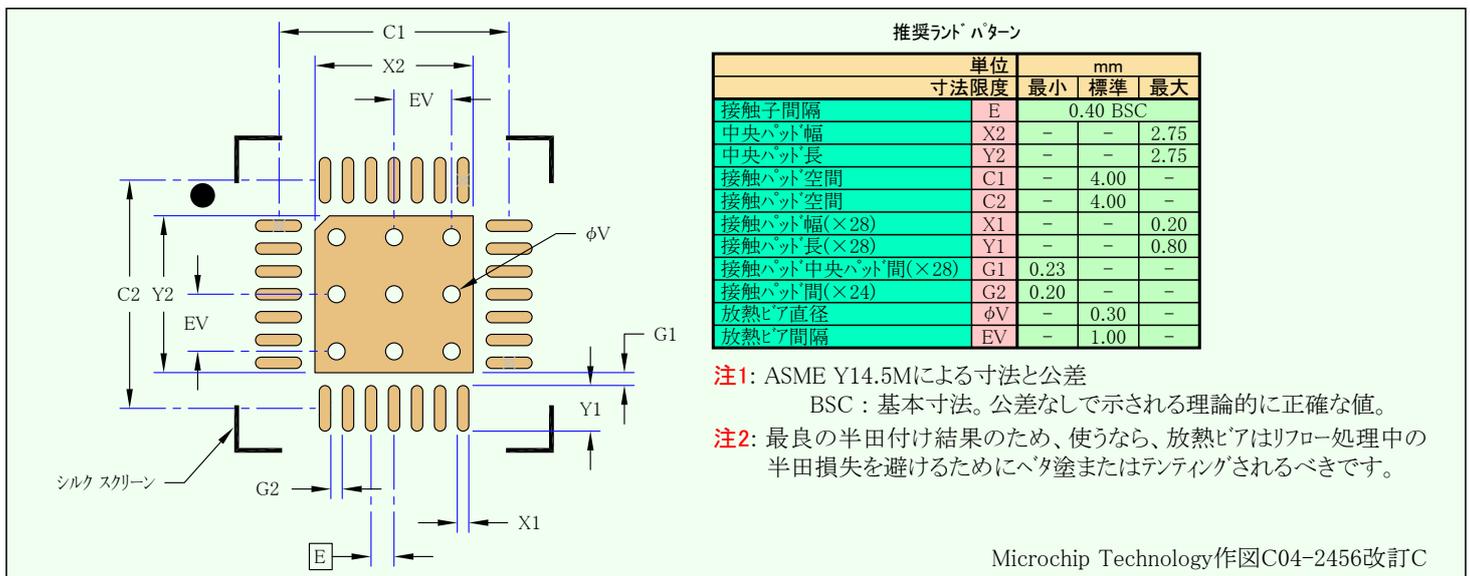
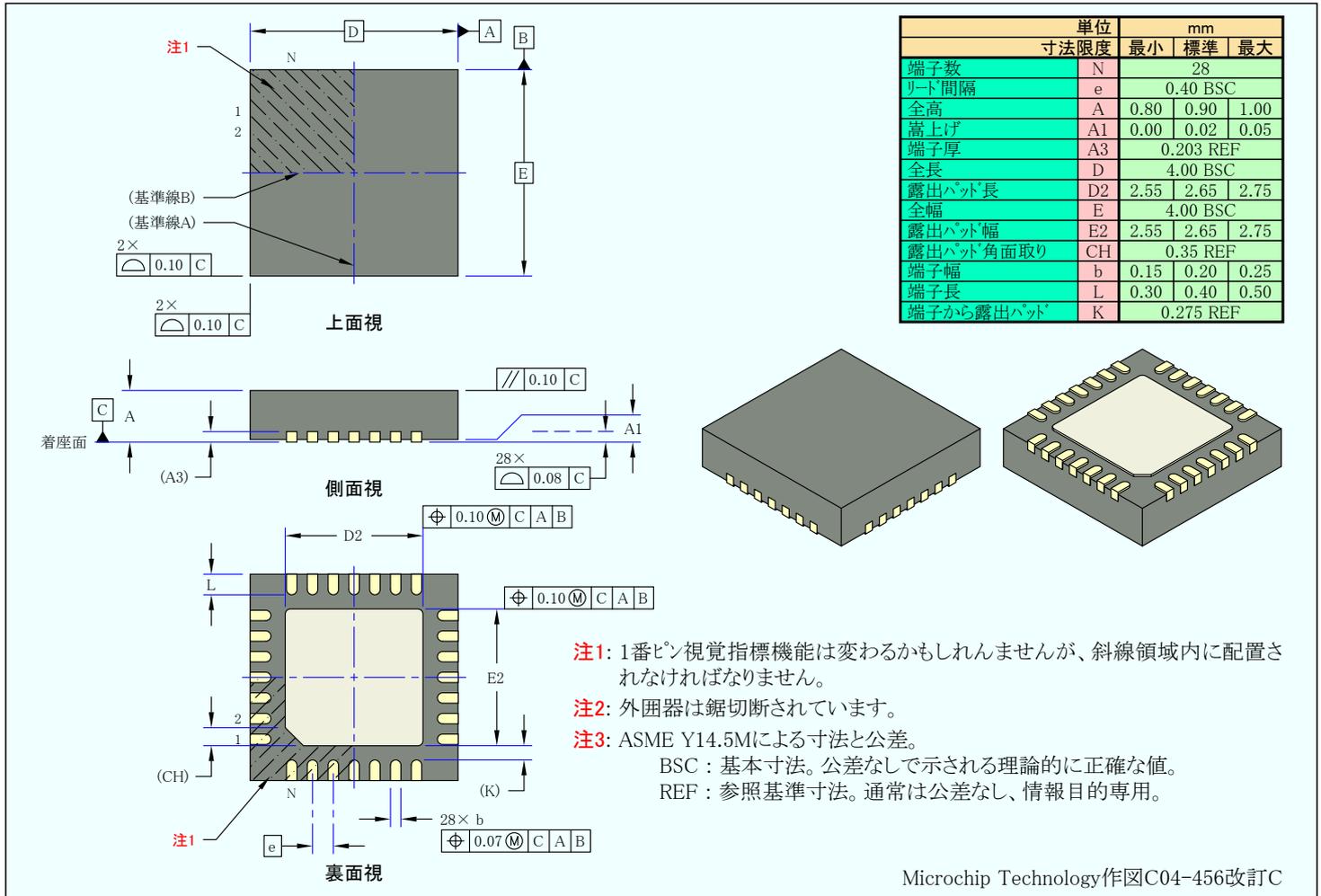
**注1:** ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
BSC：基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。

**注2:** 最良の半田付け結果のため、使うなら、放熱ビアはリフロー処理中の半田損失を避けるためにベタ塗またはテンテイングされるべきです。

Microchip Technology作図C04-2073改訂B

39.3.7. 28パッドVQFN

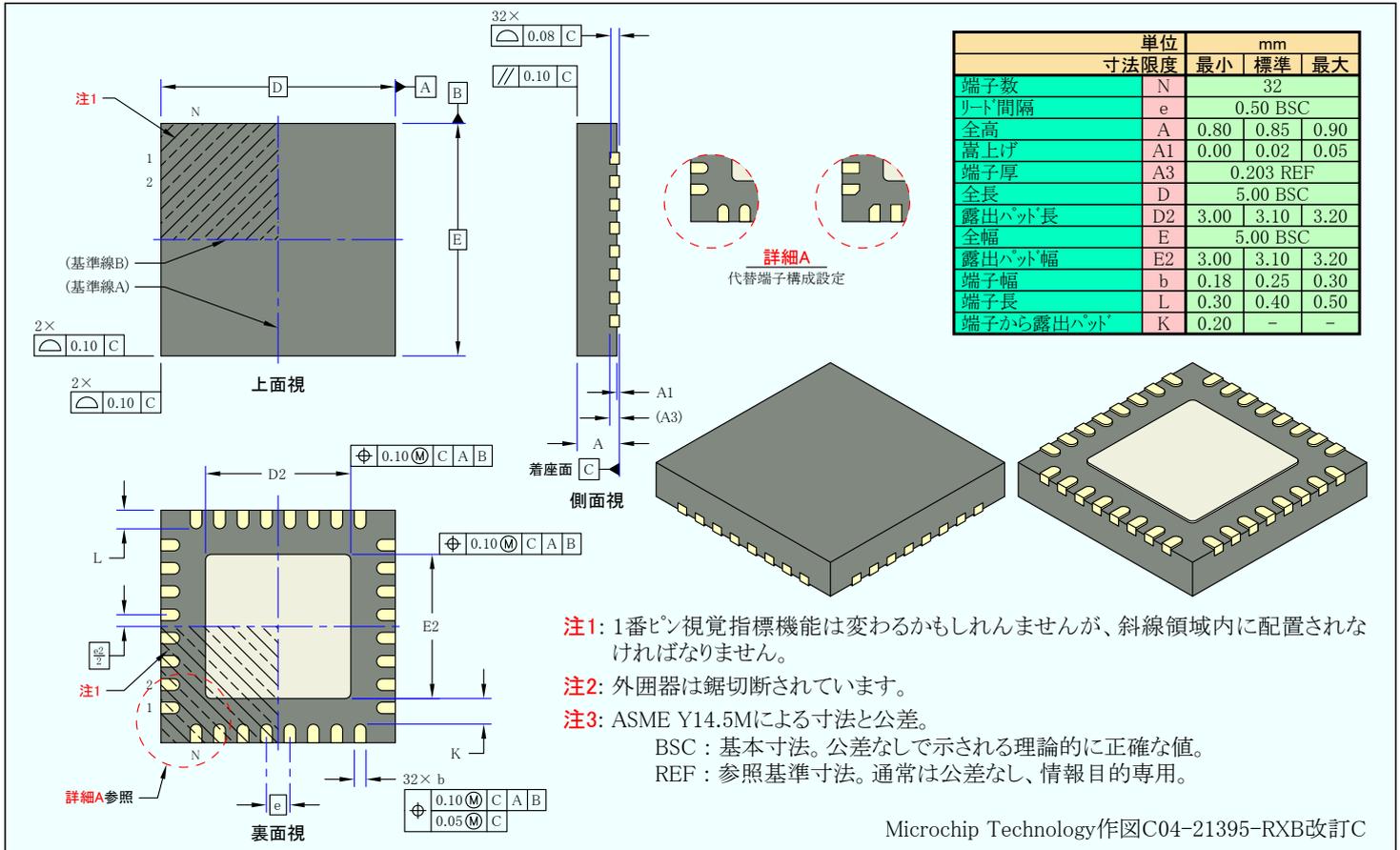
28パッド超薄型プラスチック四角平板、リードなし外圍器(STX) - 4×4×1.0mm本体 [VQFN]、2.65×2.65mm露出パッド付き



39.3.8. 32パッドVQFN

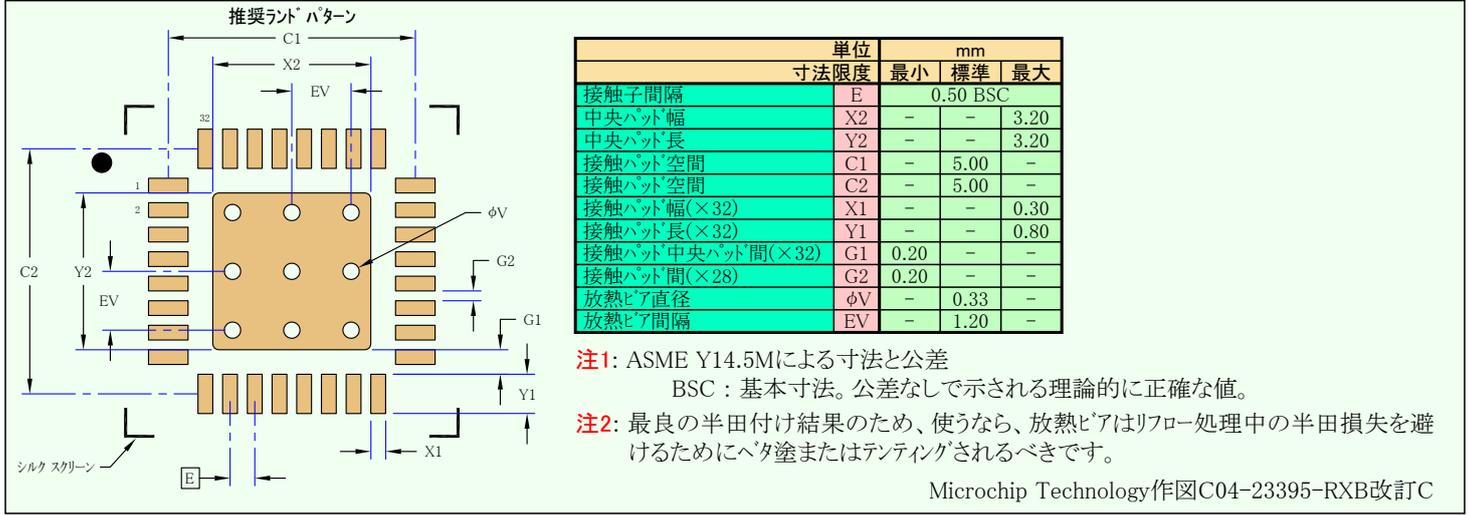
32パッド超薄型プラスチック四角平板、リードなし外圍器(RXB) - 5×5×0.9mm本体 [VQFN]

3.1×3.1mm露出パッド付き、Atmel旧一般外圍器符号ZMF



- 注1: 1番ピン視覚指標機能は変わるかもしれませんが、斜線領域内に配置されなければなりません。
- 注2: 外圍器は鋸切断されています。
- 注3: ASME Y14.5Mによる寸法と公差。  
BSC: 基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。  
REF: 参照基準寸法。通常は公差なし、情報目的専用。

Microchip Technology作図C04-21395-RXB改訂C

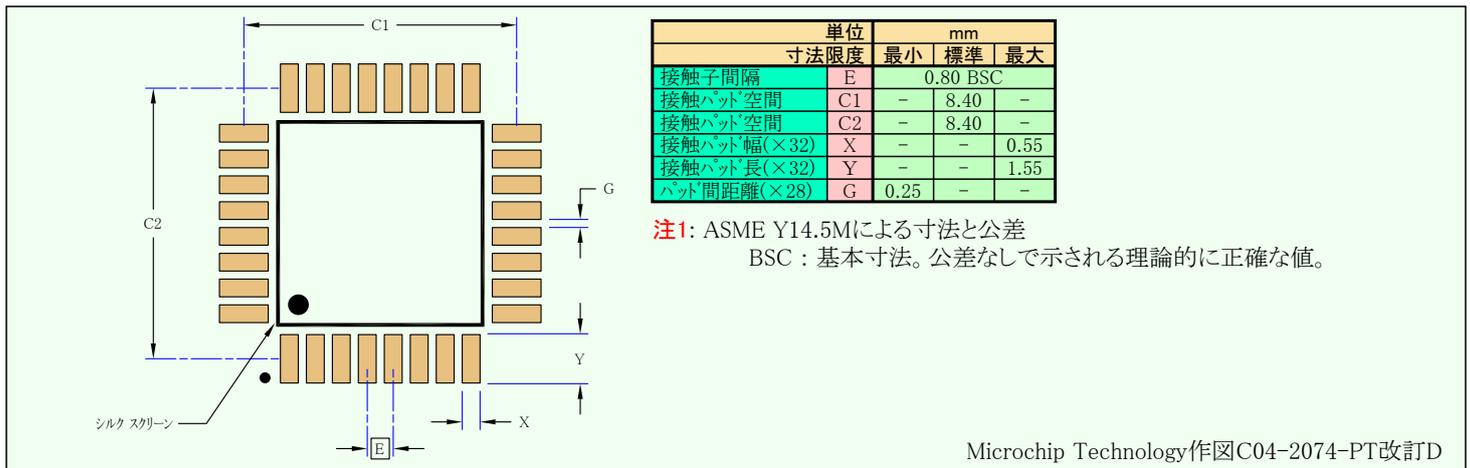
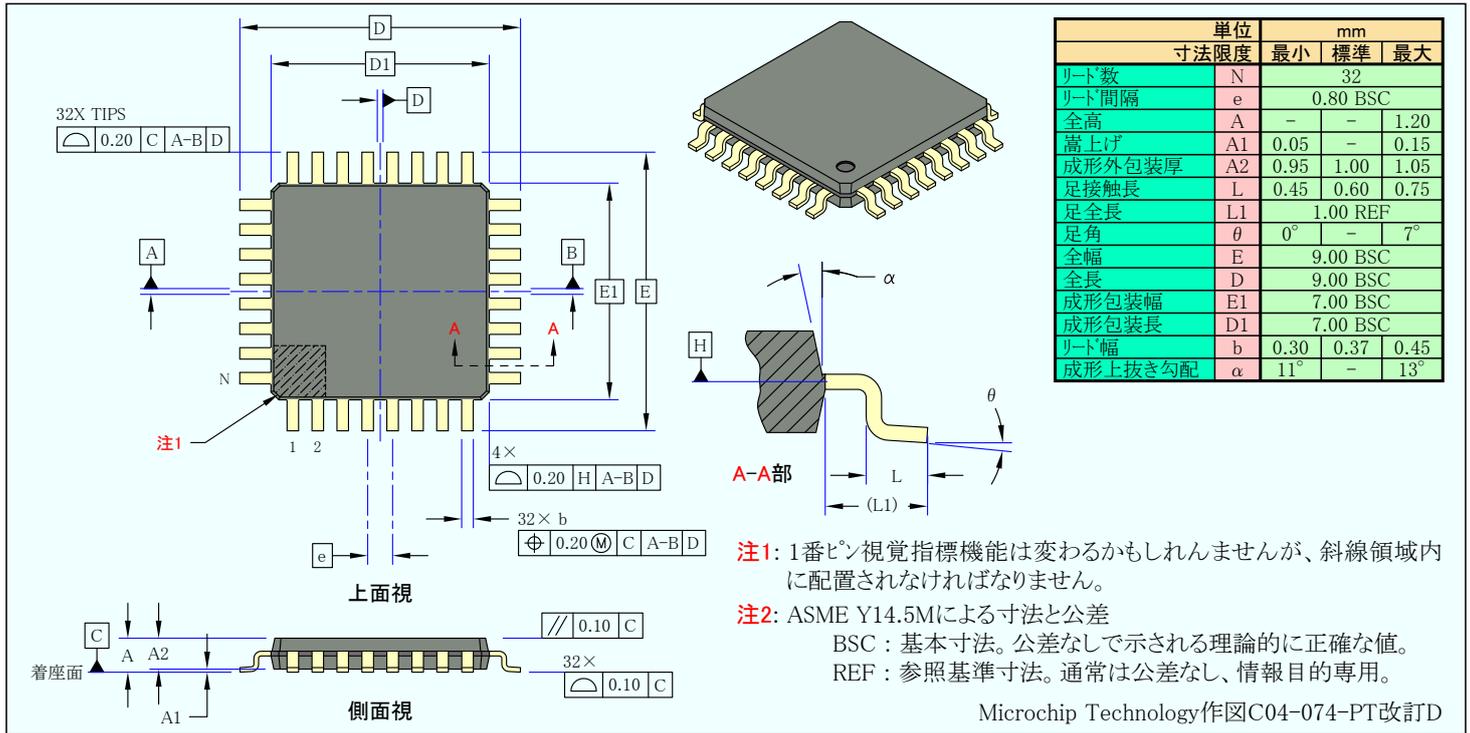


- 注1: ASME Y14.5Mによる寸法と公差  
BSC: 基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。
- 注2: 最良の半田付け結果のため、使うなら、放熱ビアはフロー処理中の半田損失を避けるためにベタ塗またはテンテイングされるべきです。

Microchip Technology作図C04-23395-RXB改訂C

39.3.9. 32リード<sup>®</sup>TQFP

32リード<sup>®</sup> プラスティック薄型四角平板外圍器(PT) - 7×7×1.0mm本体、2.00mm [TQFP] (Atmel旧一般外圍器符号AUT)



## 40. 障害情報

(訳注) 原書では障害情報が独立した文書で提供されていますが、本書では便宜性のためここにも記載します。

### 40.1. シロン問題要約

#### 凡例

- 障害は適用されません。
- × 障害が適用されます。

周辺機能	簡単な説明	シロン改訂に対する有効性		
		改訂	A0	
デバイス	40.2.1. 特定アドレス空間への連続書き込みの場合に失われる書き込み操作	×		
	40.2.2. フラッシュブートの大きさとフラッシュコードの大きさのヒューズでの制限	×		
ADC	40.3.1. 内部参照基準での消失符号	×		
CRCSCAN	40.4.1. 機能しないフラッシュメモリの一部でのCRC走査実行	×		
TCF	40.5.1. NCO動作で機能しない前置分周器	×		
	40.5.2. 不正な値を返すかもしれない計数值読み込み	×		
USART	40.6.1. 矛盾する同期領域検出後に機能しない受信部	×		





## 41. データシート改訂履歴

**注:** データシートの改訂はダイ改訂とデバイス変種(注文番号の最後の文字)と無関係です。

### 41.1. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2023年10月	初版文書公開

## Microchip情報

### Microchipウェブ サイト

Microchipは[www.microchip.com/](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
- **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

### 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](http://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。

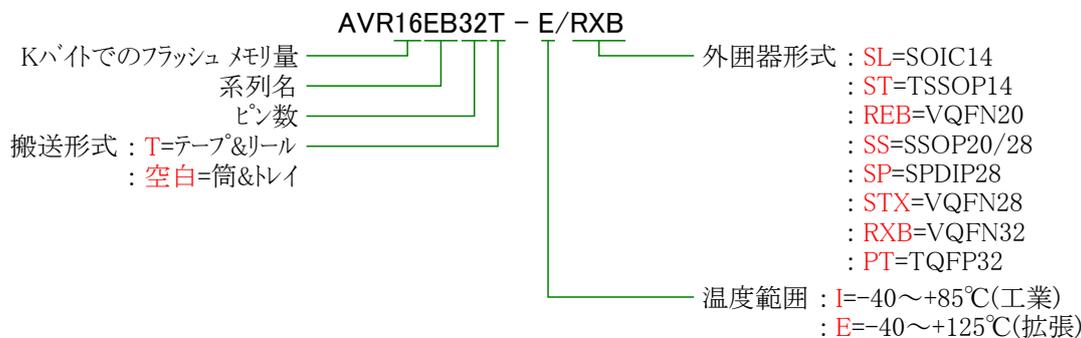
- 代理店または販売会社
- 最寄りの営業所
- 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions Engineer)
- 技術支援

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](http://www.microchip.com/support)でのウェブ サイトを通して利用できます。

### 製品識別システム

注文する、または例えば、価格や納品の情報を得るには工場または一覧にされた販売代理店にお問い合わせください。



**注:** テープとリールの識別子は目録部品番号記述でだけ現れます。この識別子は注文目的に使われ、デバイス外圍器に印刷されません。テープとリール任意選択での外圍器入手可能性についてはMicrochip営業所で確認してください。

### Microchipデバイス コード保護機能

Microchip製品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は動作仕様内で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はその知的所有権を尊重し、積極的に保護します。Microchip製品のコード保護機能を侵害する試みは固く禁じられ、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。
- 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い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。

## 法的通知

この刊行物と契約での情報は設計、試験、応用とのMicrochip製品の統合を含め、Microchip製品でだけ使えます。他の何れの方法でのこの情報の使用はこれらの条件に違反します。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。追加支援については最寄りのMicrochip営業所にお問い合わせ頂くか、[www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services](http://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services)で追加支援を得てください。

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、Microchipロゴ、Adaptec、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maxStylus、maxXTouch、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、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、ti nyAVR、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、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、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、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLIB、MPLINK、mSiC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimplePHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、Vector Blox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、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。

© 2023年、Microchip Technology Incorporatedとその子会社、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](http://www.microchip.com/quality)を訪ねてください。

日本語© HERO 2024.

本データシートはMicrochipのAVR16EB14/20/28/32英語版データシート(DS40002522A-2023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。

汎用入出力ポートの出力データレジスタとピン入力は、対応関係からの理解の容易さから出力レジスタと入力レジスタで統一表現されています。一部の用語がより適切と思われる名称に変更されています。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。

原書に対して若干構成が異なるため、一部の節/項番号が異なります。

# 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">www.microchip.com/support</a> ウェブアドレス: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	<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: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 <b>フィンランド - エスポー</b> Tel: 358-9-4520-820 <b>フランス - パリ</b> Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 <b>ドイツ - ガルピング</b> Tel: 49-8931-9700 <b>ドイツ - ハーン</b> Tel: 49-2129-3766400 <b>ドイツ - ハイムブロン</b> Tel: 49-7131-72400 <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 - ハートバ</b> Tel: 39-049-7625286 <b>オランダ - テルネン</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 - マドリッド</b> Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 <b>スウェーデン - イェテボリ</b> Tel: 46-31-704-60-40 <b>スウェーデン - ストックホルム</b> Tel: 46-8-5090-4654 <b>イギリス - ウォーキングム</b> Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820
<b>アトランタ</b> Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 <b>オースチン TX</b> Tel: 512-257-3370 <b>ホストン</b> Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 <b>シカゴ</b> Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 <b>ダラス</b> Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 <b>デトロイト</b> Novi, MI Tel: 248-848-4000 <b>ヒューストン TX</b> Tel: 281-894-5983 <b>インディアナポリス</b> Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 <b>ロサンゼルス</b> Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 <b>ローリー NC</b> Tel: 919-844-7510 <b>ニューヨーク NY</b> Tel: 631-435-6000 <b>サンホセ CA</b> Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 <b>カナダ - トロント</b> Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078			