

序説

AVR[®] DU系統のマイクロコントローラは24MHz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。これらは16/32/64Kバイトのフラッシュメモリ、2/4/8KバイトのSRAM、512バイトのEEPROMを含みます。このマイクロコントローラは14、20、28、32ピン外周器で利用可能です。この系統は事象システム、高度な処理能力を持つアナログ機能、USB 2.0全速装置のような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 Technologyの最新技術を使います。

- (訳注) ・本書はAVR16/32DU14/20/28/32シリコン障害とデータシート説明(DS80001125B)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。
 - ・他のAVR xx系と異なり、AVR DU系ではAVR64DU系に存在するPORT単位構成設定系(PORTCTRLやPORTCONFIG系)の機能がAVR16/32DU系に存在しないことになっていることに注意してください。

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

特徴

- AVR[®] CPU
 - 最大24MHz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
 - プログラミング/デバッグ インターフェース禁止 (PDID)
 - 供給電圧範囲：1.8～5.5V
- メモリ
 - 本当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64Kバイト(32K語)のフラッシュ メモリ
 - 8KバイトのSRAM
 - 256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512バイトの使用者列
 - 256バイトのブート列
 - 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℃で40年
- システム
 - 電源ONリセット(POR)回路
 - 低電圧検出器 (BOD)
 - BOD超えて設定可能な基準での割り込みを持つ電圧水準監視部 (VLM)
 - クロック任意選択
 - 24MHz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
 - 32.768kHz内部発振器 (OSC32K)
 - 32.768kHz外部クリスタル用発振器 (XOSC32K)
 - 外部クロック入力
 - クロック障害検出を持つ外部高周波数クリスタル用発振器 (XOSCHF)
 - 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
 - 自動化された巡回冗長検査(CRC)フラッシュ 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
- 周辺機能
 - PWMと波形生成用に3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A型 (TCA)
 - 捕獲入力と信号測定を持つ2つの16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)
 - 外部クリスタル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)
 - 1つのUSB 2.0全速(12Mbps)装置適合インターフェース (注1)
 - 任意選択内部3.3V電圧調整器
 - クリスタルなし動作のためにUSBフレーム開始(SOF)に同調させることができるOSCHF発振器
 - 入力と出力のエンドポイントに対して各々16個のエンドポイント アドレスで最大32個のエンドポイント
 - 割り込み負荷とソフトウェア介入を減らす複数パケット転送
 - 2つのUSART
 - 動作形態: RS-485、LIN従装置、SPI主装置、IrDA
 - 分数ボーレート生成器、自動ボーレート、フレーム開始検出
 - 主装置/従装置動作形態を持つ1つの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)
 - 主装置と従装置の同時動作 (2元動作)
 - Philips相互統合回路(I²C)互換
 - 標準動作 (Sm, 100kHz)
 - 高速動作 (Fm, 400kHz)
 - 高速動作プラス (Fm+, 1MHz) (注2)
 - CPUから独立で予測可能な周辺機能相互合図用の事象システム
 - 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)
 - 10ビット、170kspsの1つのA/D変換器 (ADC)
 - 1つのアナログ比較器 (AC)
 - 1.024V, 2.048V, 2.500V, 4.096V電圧参照基準と外部参照基準任意選択 (VREF)

- I/Oと外周器
 - 最大で25/24本の設定可能な汎用I/O線
 - 28パットのVQFN 4×4mm、28ピンのSPDIP、28リードのSSOP
 - 32パットのVQFN 5×5mmと32リードのTQFP 7×7mm
- 温度範囲
 - 工業：-40～85℃

注1: USB機能は3.0Vを超えるVDDに対してだけ利用可能です。

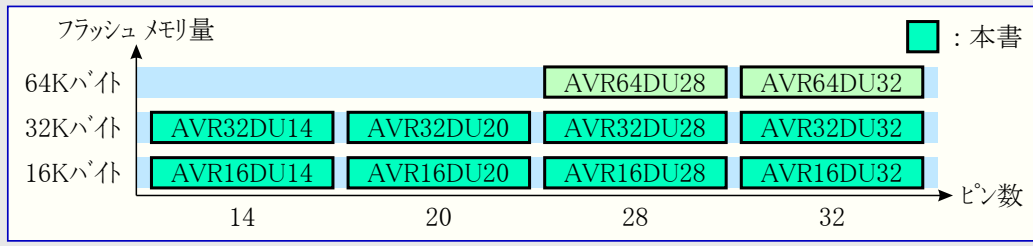
注2: I²C Fm+は2.7V以上に対してだけ支援されます。

AVR® DU系概要

下図はピン数変種とメモリ量で並べてAVR DUデバイスを示します。

- これらのデバイスが全体的にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

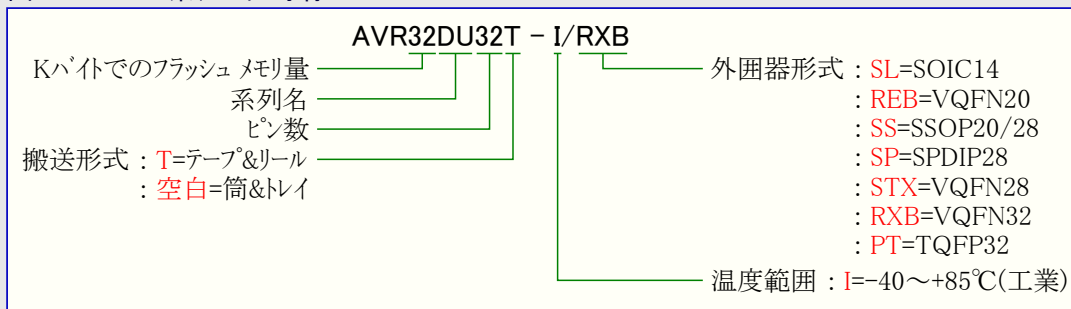
図1. AVR® DU系概要



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

AVR DU系のデバイスの名前は次のように復号されます。

図2. AVR® DU系デバイス呼称



メモリ概要

下表はAVR DU系統全体のメモリ概要を示します。

表1. メモリ概要

メモリ形式	AVR16DU14/20/28/32	AVR32DU14/20/28/32	AVR64DU28/32
フラッシュメモリ	16Kバイト	32Kバイト	64Kバイト
書き込み中読み込みフラッシュ領域 (下部NRWW/上部RWW)	4Kバイト/12Kバイト	4Kバイト/28Kバイト	8Kバイト/56Kバイト
SRAM	4Kバイト	8Kバイト	16Kバイト
EEPROM	256バイト		
使用者列	512バイト		
ブート列	256バイト		

周辺機能概要

下表はAVR DU系統全体の周辺機能概要を示します。

表2. 周辺機能概要

機能項目	型番	AVR16DU14 AVR32DU14	AVR16DU20 AVR32DU20	AVR16DU28 AVR32DU28 AVR64DU28	AVR16DU32 AVR32DU32 AVR64DU32
	ピン数	14	20	28	32
最大動作周波数 (MHz)		24			
16ビット タイマ/カウンタA型 (TCA)		1			
16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)		1			
実時間計数器 (RTC)		1			
USB 2.0全速装置		1			
USART		2			
SPI		1			
TWI (I ² C)	(注1)	1			
10ビットADC (チャネル数)		1 (5)	1 (11)	1 (17)	1 (21)
アナログ比較器 (AC)		1			
周辺機能接触制御器 (PTC)		-			
演算増幅器 (OPAMP)		-			
注文論理回路 (LUT数)		4			
ウォッチドッグ タイマ (WDT)		1			
事象システム チャネル数		6			
汎用入出力 (GPIO) (入力数/出力数)	(注2)	9/8	15/14	21/20	25/24
ポート		PA1,0 PC3 PD7~4 PF7,6	PA7~0 PC3 PD7~4 PF7,6	PA7~0 PC3 PD7~0 PF7,6,1,0	PA7~0 PC3 PD7~0 PF7~0
外部割り込み		9	15	21	55
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/I²Cは主装置と従装置を異なるピンで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。

安全性概念

AVR DUデバイスは応用ファームウェアを更新して認証する安全なファームウェア実装するための基本的な安全機能を提供する汎用マイクロコントローラです。安全機能を正しく使うと、それらは製品を機能的に変えるように応用コードを変更しようとする遠隔攻撃やいくつかのPCB水準の攻撃に対して応用コードを守ります。

安全機能の基本は「プログラム/デバッグ インターフェース禁止(PDID)」で、統一プログラム/デバッグ インターフェース(UPDI)を通すデバイスの再書き込み可能なフラッシュ メモリへのアクセスを防ぐ機構です。「メモリ」章で記述されるようにPDIDを有効にした後、UPDIはデバイスへのどの変更からも守られます。UPDIは未だデバイス情報とCRC状態を読み出すことができます。

PDID有効後にデバイスを書き込む唯一の方法は応用コード領域のソフトウェアを更新するためにフラッシュ メモリのブートコード領域に格納されたソフトウェアを使うことです。この応用特有ソフトウェアは新しいデータを受信して応用コード領域を書けなければなりません。ブートコード領域がUPDIを使ってだけアクセス可能なため、この機構を使ってブートコード領域に格納されたコードを変えることが重要です。

加えて、ブートコード領域のコードによってだけアクセス可能な別の記憶空間があり、ブートコード領域からだけアクセスできることが意図されるデータの保持することができます。この1つの例はデバイス上の応用ソフトウェアを更新するためにブートローダに送られるデータを確認するのに使われる暗号化鍵です。

これは2層の安全を作成します。デバイスはUPDIを通して消去されて再書き込みされることから守られ、ブートコード領域のコードが保護されます。次に、ブートコード領域のコードはデバイスのソフトウェア更新用に受信された新しいどの応用コードも本物であることを確認するために(フラッシュ メモリのこの領域内のコードによってのみアクセス可能な)暗号化鍵を使うことができます。

ISO/SAE DIS 21434のようなサイバー セキュリティ規格への適合性を保証するのにソフトウェアで「プログラム/デバッグ インターフェース禁止(PDID)」を使うには暗号の能力を必要とします。

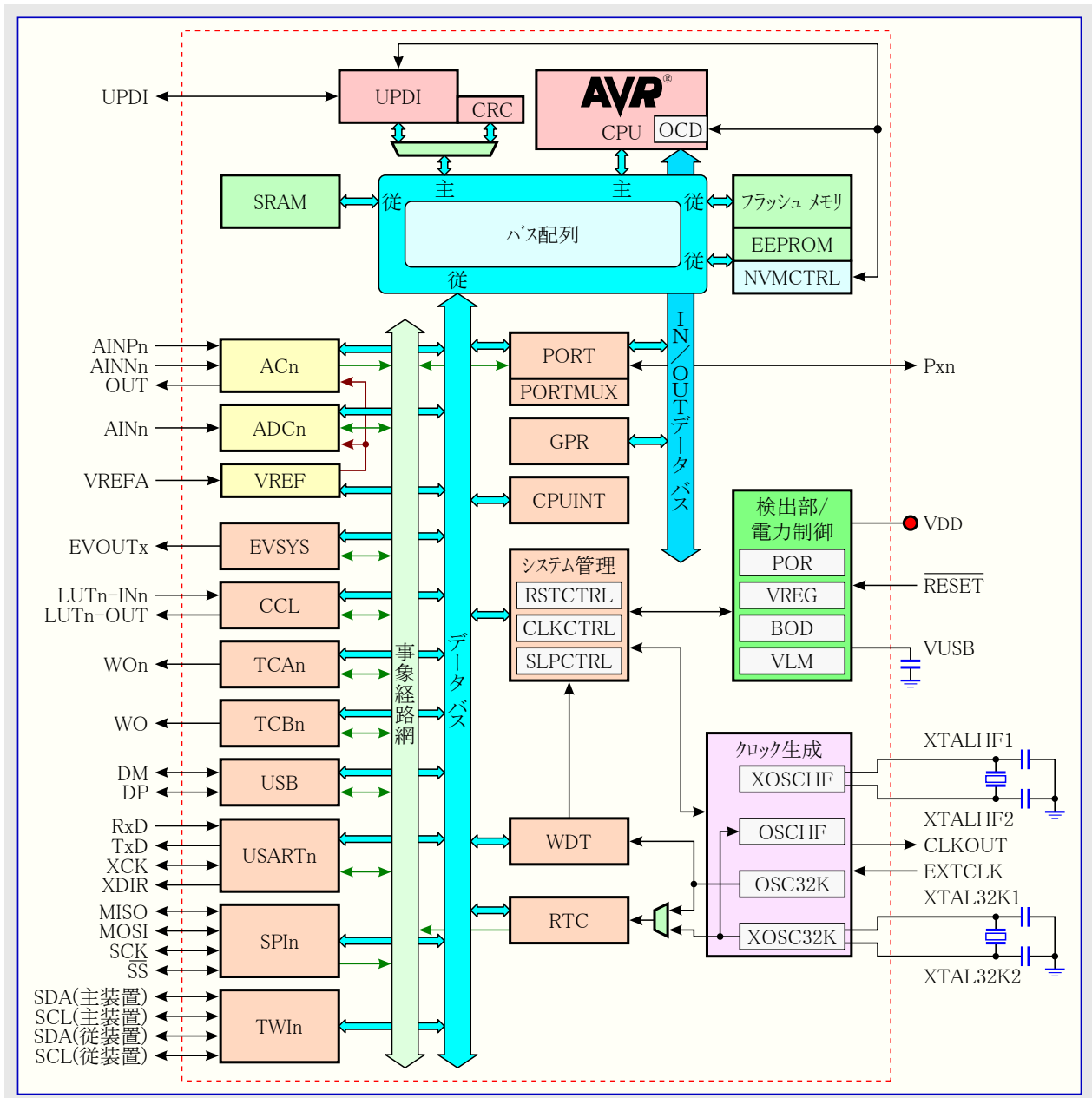
目次

序説	1	9.3. SYSCFG – システム構成設定	46
特徴	2	10. GPR – 汎用レジスタ	47
AVR® DU系概要	4	10.1. レジスタ要約	48
メモリ概要	4	10.2. レジスタ説明	49
周辺機能概要	5	11. NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器	50
安全性概要	5	11.1. 特徴	50
1. 構成図	9	11.2. 概要	50
2. ピン配置	10	11.3. 機能的な説明	50
2.1. 14リードSOIC・14リードTSSOP	10	11.4. レジスタ要約	57
2.2. 20リードSSOP	10	11.5. レジスタ説明	58
2.3. 20パッドVQFN	10	12. CLKCTRL – クロック制御器	62
2.4. 28ピンSPDIP・28リードSSOP	11	12.1. 特徴	62
2.5. 28パッドVQFN	11	12.2. 概要	62
2.6. 32パッドVQFN・32リードTQFP	12	12.3. 機能的な説明	63
3. 入出力多重化と考察	13	12.4. レジスタ要約	68
3.1. 入出力多重化	13	12.5. レジスタ説明	69
4. 規定	14	13. SLPCTRL – 休止制御器	77
4.1. 数字表記法	14	13.1. 特徴	77
4.2. メモリの大きさと形式	14	13.2. 概要	77
4.3. 周波数と時間	14	13.3. 機能的な説明	77
4.4. レジスタとビット	15	13.4. レジスタ要約	81
4.5. ADCパラメータ定義	16	13.5. レジスタ説明	82
5. ハードウェアの指針	17	14. RSTCTRL – リセット制御器	83
5.1. 一般的な指針	17	14.1. 特徴	83
5.2. 電源用接続	17	14.2. 概要	83
5.3. RESET用接続	18	14.3. 機能的な説明	83
5.4. UPDIプログラミング用接続	18	14.4. レジスタ要約	86
5.5. 外部クリスタル発振子接続	19	14.5. レジスタ説明	87
5.6. 外部基準電圧接続	20	15. CPUINT – CPU割り込み制御器	88
6. 電源	21	15.1. 特徴	88
6.1. 電力区域	21	15.2. 概要	88
6.2. 電圧調整器	21	15.3. 機能的な説明	88
6.3. 電源投入	21	15.4. レジスタ要約	92
6.4. USB電源構成設定	21	15.5. レジスタ説明	93
7. AVR® CPU	24	16. EVSYS – 事象システム	95
7.1. 特徴	24	16.1. 特徴	95
7.2. 概要	24	16.2. 概要	95
7.3. 基本構成	24	16.3. 機能的な説明	96
7.4. 機能的な説明	25	16.4. レジスタ要約	99
7.5. レジスタ要約	28	16.5. レジスタ説明	100
7.6. レジスタ説明	29	17. PORTMUX – ポート多重化器	103
8. メモリ	31	17.1. 概要	103
8.1. 概要	31	17.2. レジスタ要約	104
8.2. メモリ配置	31	17.3. レジスタ説明	105
8.3. 実装書き換え可能なフラッシュプログラムメモリ	31	18. PORT – I/Oピン構成設定	108
8.4. プログラム/デバッグインターフェース禁止 (PDID)	32	18.1. 特徴	108
8.5. SRAMデータメモリ	32	18.2. 概要	108
8.6. EEPROMデータメモリ	32	18.3. 機能的な説明	109
8.7. SIGROW – 識別列	32	18.4. レジスタ要約 – PORTx	110
8.8. BOOTROW – ブート列	35	18.5. レジスタ説明 – PORTx	111
8.9. USERROW – 使用者列	35	18.6. レジスタ要約 – VPORTx	118
8.10. FUSE – 構成設定と使用者のヒューズ	35	18.7. レジスタ説明 – VPORTx	119
8.11. LOCK – メモリ領域アクセス保護	41	19. BOD – 低電圧検出器	121
8.12. I/Oメモリ	43	19.1. 特徴	121
9. 周辺機能と基本構造	44	19.2. 概要	121
9.1. 周辺機能アドレス配置	44	19.3. 機能的な説明	121
9.2. 割り込みベクタ配置	45	19.4. レジスタ要約	123

19.5.	レジスタ説明	124	28.	USB – 万能直列バス装置制御器	236
20.	VREF – 基準電圧	127	28.1.	特徴	236
20.1.	特徴	127	28.2.	概要	236
20.2.	概要	127	28.3.	機能的な説明	238
20.3.	機能的な説明	127	28.4.	レジスタ要約 – USBn	246
20.4.	レジスタ要約	128	28.5.	レジスタ説明 – USBn	247
20.5.	レジスタ説明	129	28.6.	レジスタ要約 – USB_EP – エンドポイント	253
21.	WDT – ウォッチドッグ タイマ	130	28.7.	レジスタ説明 – USB_EP – エンドポイント	254
21.1.	特徴	130	29.	CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査	260
21.2.	概要	130	29.1.	特徴	260
21.3.	機能的な説明	130	29.2.	概要	260
21.4.	レジスタ要約	133	29.3.	機能的な説明	260
21.5.	レジスタ説明	134	29.4.	レジスタ要約	263
22.	RTC – 実時間計数器	135	29.5.	レジスタ説明	264
22.1.	特徴	135	30.	CCL – 構成設定可能な注文論理回路	266
22.2.	概要	135	30.1.	特徴	266
22.3.	クロック	135	30.2.	概要	266
22.4.	RTCの機能的な説明	136	30.3.	機能的な説明	267
22.5.	PITの機能的な説明	136	30.4.	レジスタ要約	272
22.6.	クリスタル誤差修正	137	30.5.	レジスタ説明	273
22.7.	事象	137	31.	AC – アナログ比較器	277
22.8.	割り込み	138	31.1.	特徴	277
22.9.	休止形態動作	138	31.2.	概要	277
22.10.	同期	138	31.3.	機能的な説明	278
22.11.	デバッグ操作	138	31.4.	レジスタ要約	280
22.12.	レジスタ要約	139	31.5.	レジスタ説明	281
22.13.	レジスタ説明	140	32.	ADC – A/D変換器	284
23.	TCA – 16ビット タイマ/カウンタA型	147	32.1.	特徴	284
23.1.	特徴	147	32.2.	概要	284
23.2.	概要	147	32.3.	機能的な説明	285
23.3.	機能的な説明	149	32.4.	レジスタ要約	293
23.4.	レジスタ要約 – 標準動作	156	32.5.	レジスタ説明	294
23.5.	レジスタ説明 – 標準動作	157	33.	UPDI – 統一プログラム/デバッグ インターフェース	302
23.6.	レジスタ要約 – 分割動作	166	33.1.	特徴	302
23.7.	レジスタ説明 – 分割動作	167	33.2.	概要	302
24.	TCB – 16ビット タイマ/カウンタB型	173	33.3.	機能的な説明	304
24.1.	特徴	173	33.4.	レジスタ要約	318
24.2.	概要	173	33.5.	レジスタ説明	319
24.3.	機能的な説明	174	34.	命令一式要約	323
24.4.	レジスタ要約	179	35.	注文情報	324
24.5.	レジスタ説明	180	36.	外圍器図	326
25.	USART – 万能同期非同期送受信器	185	36.1.	オンライン外圍器図	326
25.1.	特徴	185	36.2.	外圍器表示情報	326
25.2.	概要	185	36.3.	14リードSOIC	328
25.3.	機能的な説明	186	36.4.	20リードSSOP	329
25.4.	レジスタ要約	195	36.5.	20パッドVQFN	330
25.5.	レジスタ説明	196	36.6.	28ピンSPDIP	331
26.	SPI – 直列周辺インターフェース	205	36.7.	28リードSSOP	332
26.1.	特徴	205	36.8.	28パッドVQFN	333
26.2.	概要	205	36.9.	32リードTQFP	334
26.3.	機能的な説明	206	36.10.	32パッドVQFN	335
26.4.	レジスタ要約	212	37.	電気的特性	336
26.5.	レジスタ説明	213	37.1.	お断り	336
27.	TWI – 2線インターフェース	217	37.2.	絶対最大定格	336
27.1.	特徴	217	37.3.	標準動作条件	336
27.2.	概要	217	37.4.	供給電圧	337
27.3.	機能的な説明	218	37.5.	消費電力	338
27.4.	レジスタ要約	226	37.6.	周辺機能消費電力	339
27.5.	レジスタ説明	227	37.7.	入出力ピン	340

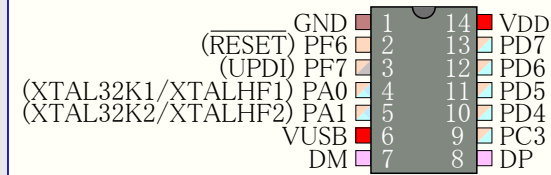
37.8.	メモリプログラミング仕様	341
37.9.	温度仕様	342
37.10.	CLKCTRL	342
37.11.	RSTCTRL	344
37.12.	VREF	345
37.13.	USART	345
37.14.	SPI	346
37.15.	TWI	347
37.16.	ADC	348
37.17.	AC	349
37.18.	UPDI	349
38.	特性図	351
39.	障害情報	352
40.	データシート改訂履歴	354
40.1.	改訂履歴	354
Microchip	情報	355
	Microchipウェブ サイト	355
	製品変更通知サービス	355
	お客様支援	355
	製品識別システム	355
	Microchipデバイス コード保護機能	355
	法的通知	356
	商標	356
	品質管理システム	356
	世界的な販売とサービス	357

1. 構成図



2. ピン配置

2.1. 14リードSOIC・14リードTSSOP



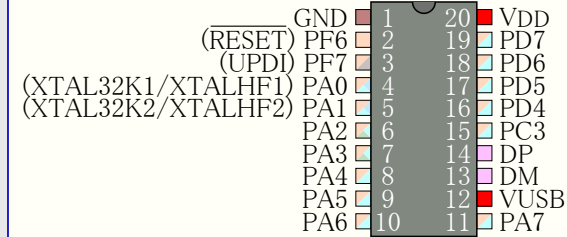
電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン
- VBUS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
- デジタル機能専用
- アナログ機能
- TWI
- USB

2.2. 20リードSSOP



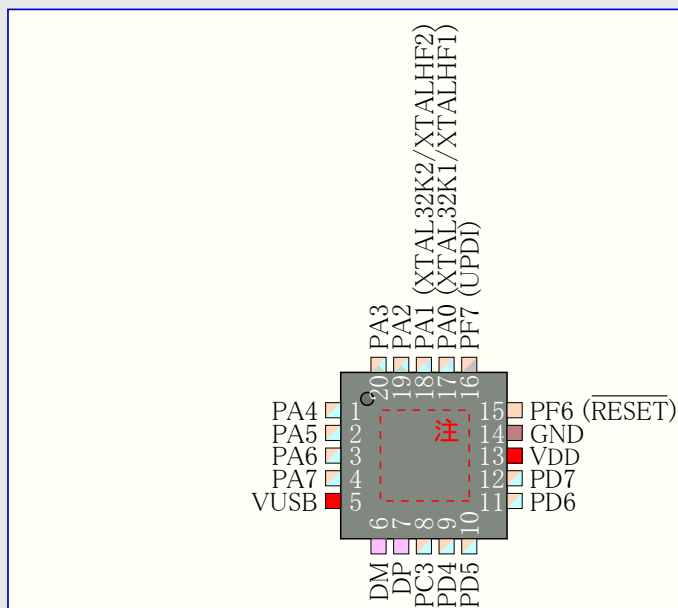
電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン
- VBUS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
- デジタル機能専用
- アナログ機能
- TWI
- USB

2.3. 20パッドVQFN



電力

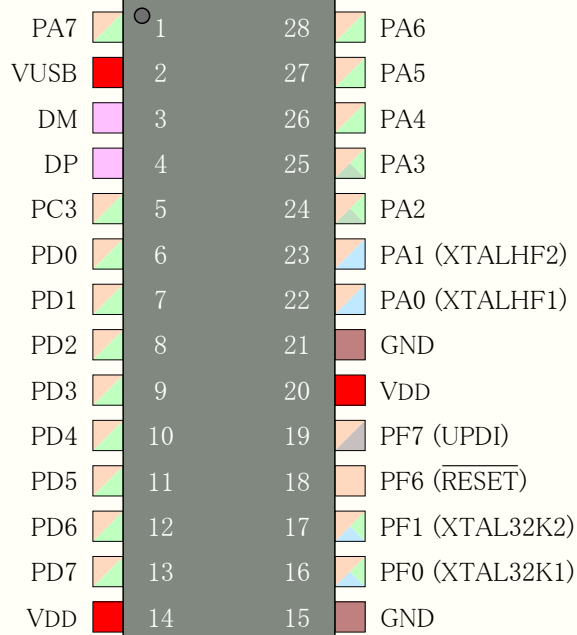
- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン
- VBUS電力領域のピン

機能

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

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



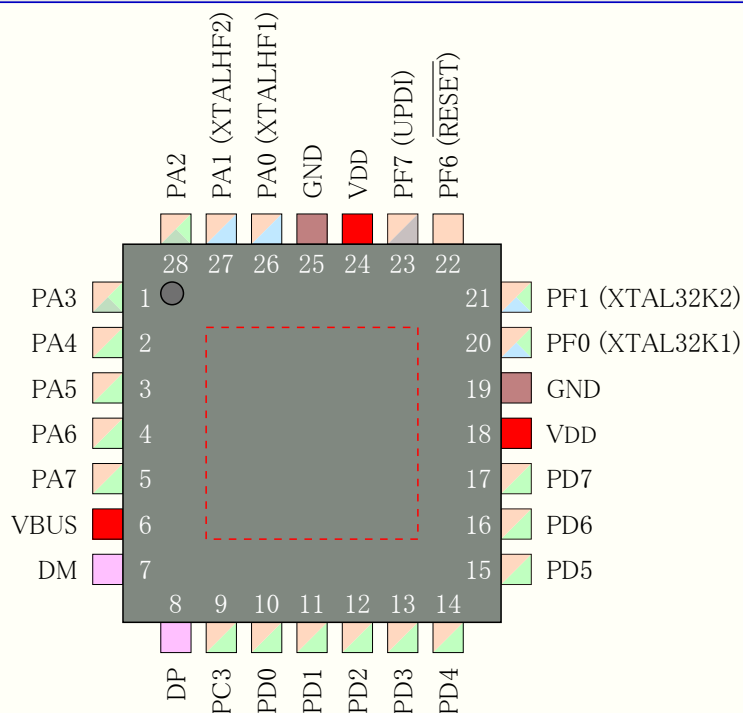
電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン
- VBUS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
- デジタル機能専用
- アナログ機能
- TWI
- USB

2.5. 28ピンVQFN



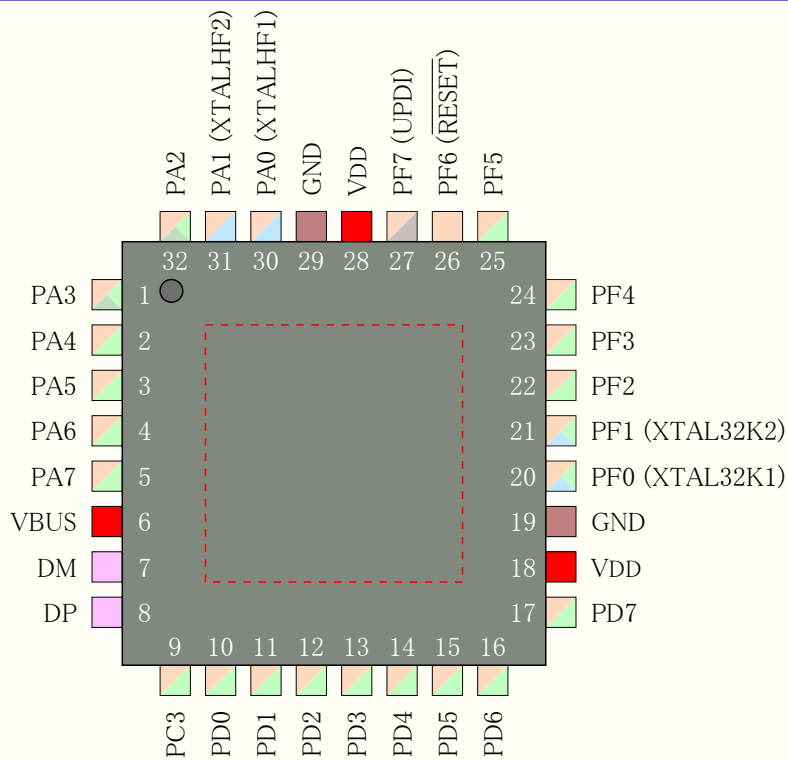
電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン
- VBUS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
- デジタル機能専用
- アナログ機能
- TWI
- USB

2.6. 32ピンVQFN・32リードTQFP



電力

- 電源
- 接地
- VDD電力領域のピン
- VBUS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
- デジタル機能専用
- アナログ機能
- TWI
- USB

3. 入出力多重化と考察

3.1. 入出力多重化

表3-1. ポート機能多重化 (注3)

VQFN32/ TQFP32	VQFN28	SPDIP28/ SSOP28	VQFN20	SSOP20	SOIC14	ピン名 (注1,2)	特殊	ADC0	ACn	USB	UARTn	SPI0	TWI0 (注4)	TCA0	TCBn	EVSYS	CCL- LUTn
30	26	22	17	4	4	PA0	XTAL32K1(注6) XTALHF1 EXTCLK				0,TxD		SDA(MS)	WO0			0,IN0
31	27	23	18	5	5	PA1	XTAL32K2(注6) XTALHF2				0,RxD		SCL(MS)	WO1			0,IN1
32	28	24	19	6	-	PA2		AIN22			0,XCK・0,TxD		SDA(MS)	WO2	0,WO	EVOUTA	0,IN2
1	1	25	20	7	-	PA3		AIN23			0,XDIR・0,RxD		SCL(MS)	WO3	1,WO		0,OUT
2	2	26	1	8	-	PA4		AIN24			0,TxD	MOSI		WO4			
3	3	27	2	9	-	PA5		AIN25			0,RxD	MISO		WO5			
4	4	28	3	10	-	PA6		AIN26			0,XCK	SCK					0,OUT
5	5	1	4	11	-	PA7	CLKOUT	AIN27	OUT		0,XDIR	SS				EVOUTA	
6	6	2	5	12	6	VUSB				VUSB							
7	7	3	6	13	7	DM				DM							
8	8	4	7	14	8	DP				DP							
9	9	5	8	15	9	PC3		AIN31	AINP4					WO3			1,OUT
10	10	6	-	-	-	PD0		AIN0	AINN1					WO0			2,IN0
11	11	7	-	-	-	PD1		AIN1						WO1			2,IN1
12	12	8	-	-	-	PD2		AIN2	AINP0					WO2		EVOUTD	2,IN2
13	13	9	-	-	-	PD3		AIN3	AINN0					WO3			2,OUT
14	14	10	9	16	10	PD4		AIN4			0,TxD	MOSI		WO4			
15	15	11	10	17	11	PD5		AIN5			0,RxD	MISO		WO5			
16	16	12	11	18	12	PD6		AIN6	AINP3		0,XCK・1,TxD	SCK					2,OUT
17	17	13	12	19	13	PD7	VREFA	AIN7	AINN2		0,XDIR・1,RxD	SS				EVOUTD	
18	18	14	13	20	14	VDD											
19	19	15	14	1	1	GND											
20	20	16	-	-	-	PF0	XTAL32K1	AIN16						WO0			3,IN0
21	21	17	-	-	-	PF1	XTAL32K2	AIN17						WO1			3,IN1
22	-	-	-	-	-	PF2		AIN18						WO2		EVOUTF	3,IN2
23	-	-	-	-	-	PF3		AIN19						WO3			3,OUT
24	-	-	-	-	-	PF4		AIN20						WO4	0,WO		
25	-	-	-	-	-	PF5		AIN21						WO5	1,WO		
26	22	18	15	2	2	PF6 (注5)	RESET										
27	23	19	16	3	3	PF7	UPDI									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Pxn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

注6: 14ピンと20ピンのデバイスのみ

4. 規定

4.1. 数字表記法

表4-1. 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)

4.2. メモリの大きさと形式

表4-2. 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)

4.3. 周波数と時間

表4-3. 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

4.4. レジスタとビット

表4-4. 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)に使用者に許します。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。

4.4.1. 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4-1. レジスタ割り当て

```
// EVSYSチャネル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りません。例:

```
// 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;
```

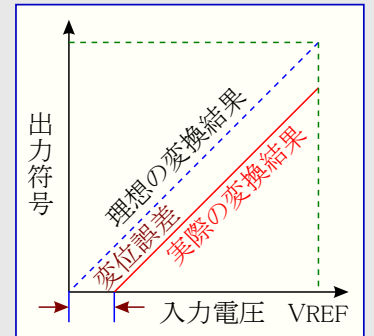

4.5. ADCパラメータ定義

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

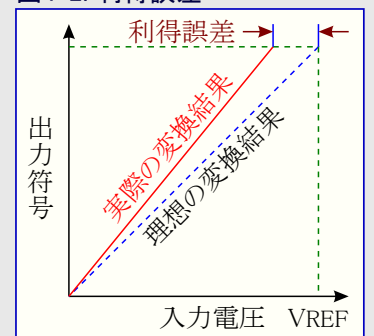
図4-1. 変位(オフセット)誤差



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

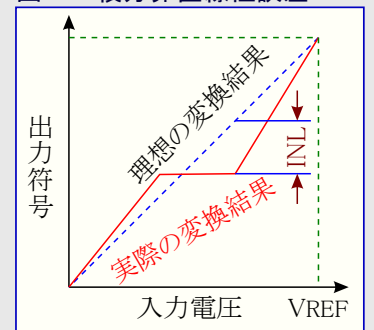
図4-2. 利得誤差



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

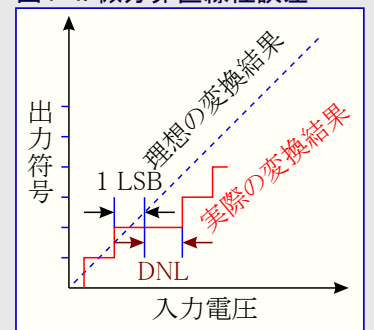
図4-3. 積分非直線性誤差



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4-4. 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 ± 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: ± 0.5 LSB

5. 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で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

5.1. 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

5.1.1. 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。このパッドは電気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。

5.2. 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。

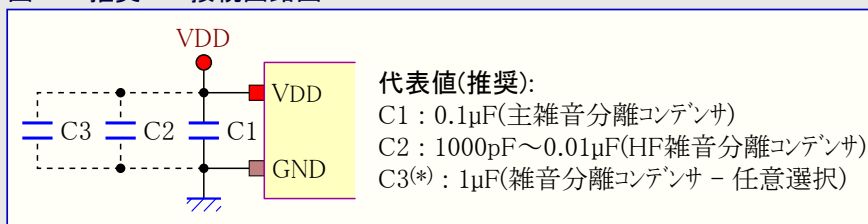
本章の始めで言及したように、例で使われる全ての値は代表値です。実際の設計は他の値を必要とするかもしれません。

5.2.1. 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5-1. 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ローレイト(上昇/下降速度)がスローレイ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。電源のスローレイト限度については「電気的特性」で供給電圧部分を参照してください。

5.3. 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5-2. 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。

5.4. 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。

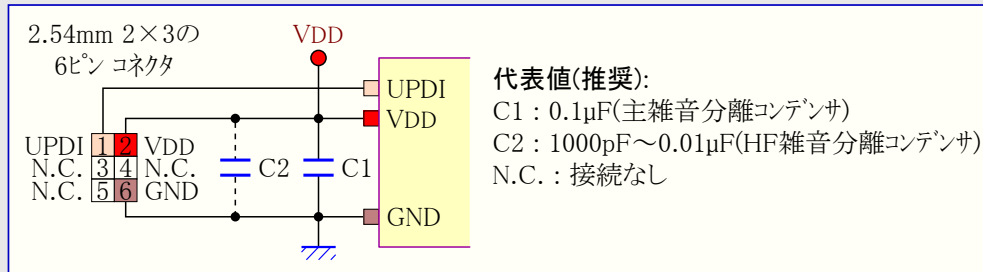
5.4.1. UPDI接続v1

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5-3. 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。

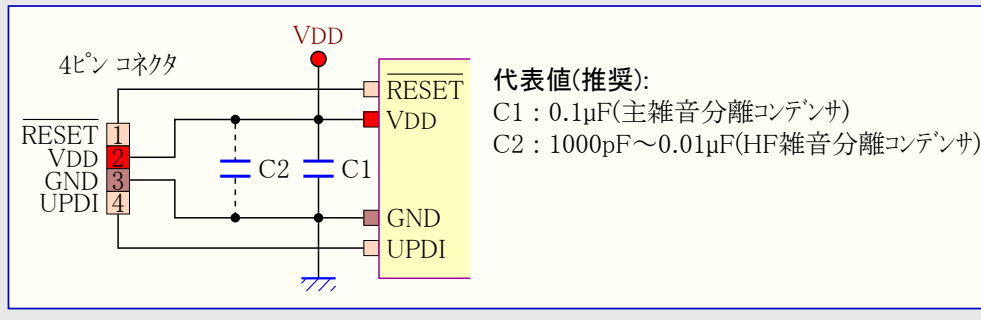
5.4.2. UPDI接続v2

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5-4. 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。例えば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。

5.5. 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®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

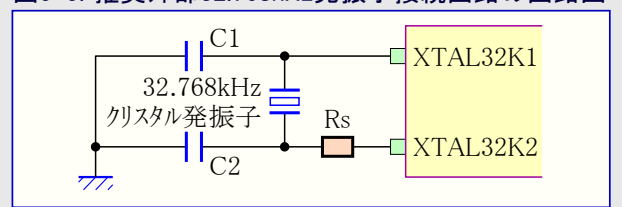
5.5.1. XTAL32K(外部32.768kHzクリスタル発振子)接続

超低電力32.768kHz発振器は一般的に1μW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。

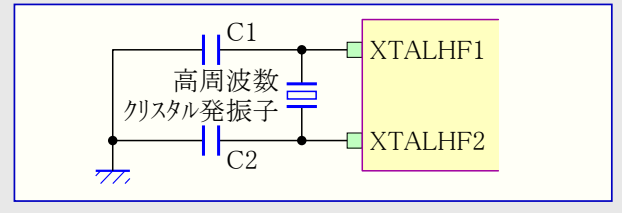
図5-5. 推奨外部32.768kHz発振子接続回路の回路図



5.5.2. XTALHF(外部HFクリスタル発振子)接続

右図は外部高周波数クリスタル発振子を接続する方法を示します。

図5-6. 推奨外部高周波数発振子接続回路の回路図

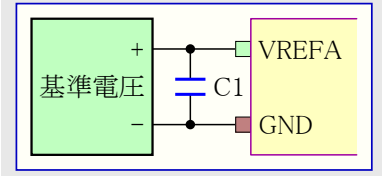


5.6. 外部基準電圧接続

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5-7. 推奨外部基準電圧接続



6. 電源

6.1. 電力区域

AVR DUシステムのデバイスは以下の電源ピンでいくつかの電力区域を持ちます。

VDD	入出力線、XOSC _{HF} 、内部電圧調整器に給電
VUSB	(DMとDPに接続された)USB周辺機能の内部送受信部に給電

接地(GND)ピンはVDDとVUSBに対して共通です。

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。

6.2. 電圧調整器

デバイスはVDDCORE区域に給電する内部電圧調整器を持ちます。この区域はデジタル論理回路と内部発振器の殆どを持ちます。電圧調整器はCPUが活動または休止動作の時に電力消費を調整します。更なる情報については「[SLPCTRL - 休止制御器](#)」章を参照してください。

6.3. 電源投入

電源ONリセット(POR)と低電圧検出器(BOD)はVDDを監視し、電圧水準が各々の電圧閾値未満の場合にシステムリセットを維持します。更なる情報については「[RSTCTRL - リセット制御器](#)」と「[BOD - 低電圧検出器](#)」の章を参照してください。

電圧閾値の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。

6.4. USB電源構成設定

USBのホストやハブは直結されたUSB装置によって使うためにVBUS線で公称5Vの電力を供給します。加えて、どのUSB装置も自身の電源を持つかもしれません。USB 2.0仕様で述べられるように、USBケーブルからの電力だけに頼るUSB装置は**バス給電装置**と呼ばれ、対照的に独立した電源を持つものは**自己給電装置**と呼ばれます。

1つの重要な設計の考慮はデバイスのVDDピンでの最大許容スローレート(時間変化率)です。この値を超えると、デバイスを動かなくなしたり、デバイスを損傷させるかもしれません。VBUSのスローレートはUSBが接続された瞬間に0.5V/μsよりも大きくなり得るため、設計に於いてデバイスのVDDピンでのスローレートを減らすための部品を加える必要があるかもしれません。これらの部品は一般的にスローレート制限部品(Slew Rate Limiting Components)または**SRLC**として参照されます。**SRLC**の一例は逆流阻止と穏やかな始動を持つMIC94165 High側負荷切替器です。

USB周辺機能の内部送受信部はUSBでの成功裏のデータ転送動作のためにVUSBピンで公称3.3Vの電源電圧を必要とし、これは外部電源によって提供されるか、またはUSB VREGと呼ばれるVDDからの内部VUSB(3.3V)調整器によって生成されます。USB VREGを動かすには最小供給電圧 $VDD \geq VDD_{MIN}$ が必要とされます。USB VREGは以下のこれらの構成設定ビットを持ちます。

- SYSCFG周辺機能の**USB電圧系(VUSB)制御(VUSBCTRL)レジスタのUSB電圧調整器(USBVREG)ビット**はVUSB調整を許可/禁止します。
- システム構成設定1(SYSCFG1)ヒューズのUSB電圧制御器電流吸い込み許可(USBSINK)ビット**はUSB VREGが電流を引き込むことができるかどうかを制御します。この機能を許可されたままにすることが推奨されます。

標準動作条件については「[電気的特性](#)」章を参照してください。

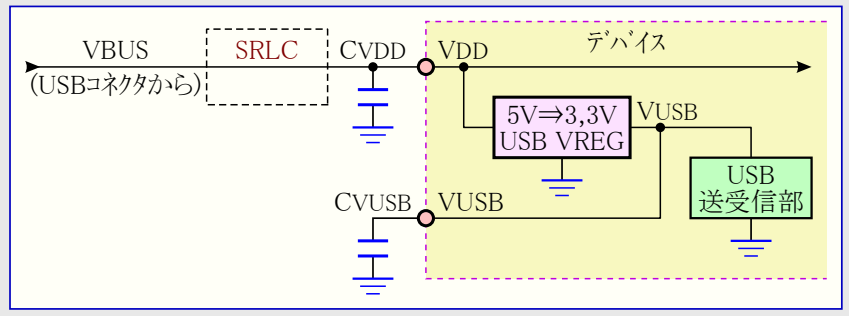
外部的または内部的に生成されるVUSBの柔軟性は(括弧内の表意記号と共に)以下の支援されるべき7つの電力構成設定を許します。

- 5Vバス給電 (5b)
- 5V自己給電 (5s)
- 3.3V自己給電 (3s)
- 5Vバス給電優先と5V自己給電の二元給電 (5b5s)
- 5Vバス給電優先と3.3V自己給電の二元給電 (5b3s)
- 5Vバス給電優先と2~3V可変による自己給電の二元給電 (5b2s)
- 5V自己給電優先と5Vバス給電の二元給電 (5s5b)

5b (5Vバス給電)

電力構成設定**5b**では直接または**SRLC**経由のどちらかでUSBコネクタからのVBUS供給が接続されます。USBが接続されないと、デバイスには給電されません。USBが接続される時には公称5VのVBUS供給がデバイスに給電し、VUSBピンで必要とされる3.3Vを生成する調整器も許可されなければなりません。

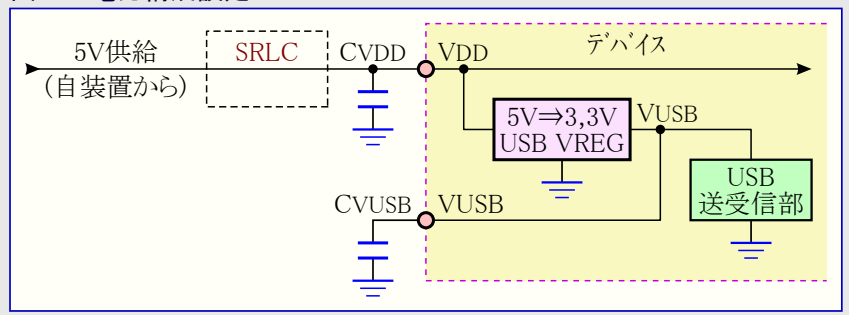
図6-1. 電力構成設定 5b



5s (5V自己給電)

電力構成設定**5s**ではデバイスのVDDピンに直接または**SRLC**経由のどちらかで自装置の5V供給が接続されます。また、USBが接続される間はVUSBピンで必要とされる3.3Vを生成する内部調整器を許可してください。この内部電圧調整器はUSBが接続されない時におそらく禁止されます。

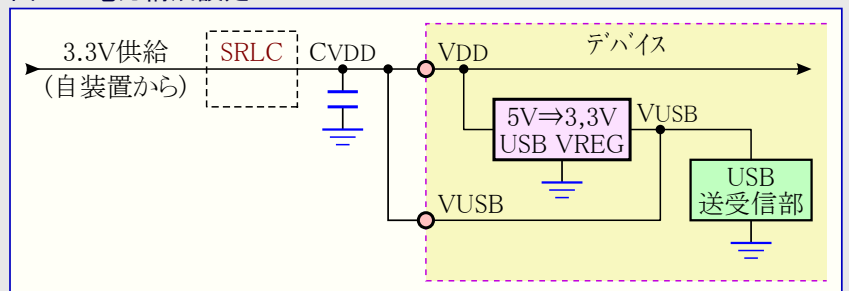
図6-2. 電力構成設定 5s



3s (3.3V自己給電)

電力構成設定**3s**ではVDDとVUSBのピンが接続され、直接または**SRLC**経由のどちらかで自装置の供給がこれらに3.3V電力を提供します。内部電圧調整器は未使用で、**USB電圧系(VUSB)制御(SYSCFG.VUSBCTRL)**レジスタの**USB電圧調整器(USBVREG)**ビットとシステム構成設定1(SYSCFG1)ヒューズの**USB電圧制御器電流吸い込み許可(USBSINK)**ビットは共に'0'を書くことができます。

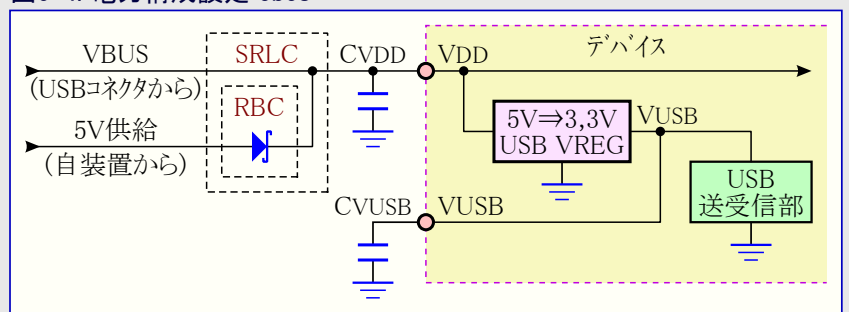
図6-3. 電力構成設定 3s



5b5s (5Vバス給電優先と5V自己給電の二元給電)

電力構成設定**5b5s**ではUSBが接続されると、常にデバイスの給電にUSB VBUS供給が使われます。VBUSは直接または**SRLC**経由でデバイスのVDDピンに接続されます。内部電圧調整器も許可されなければならず、それによってVUSBピンで必要とされる3.3Vを生成します。USBが接続されない時は代表的にショットキーダイオードやトランジスタの構成設定のような逆流阻止回路(**RBC**:Reverse-Blocking Circuitry)を通して自装置の5V供給がVDDピンに電力を提供します。内部電圧調整器はUSBが接続されない時に**USB電圧系(VUSB)制御(SYSCFG.VUSBCTRL)**レジスタの**USB電圧調整器(USBVREG)**ビットに'0'を書くことによって禁止することができます。

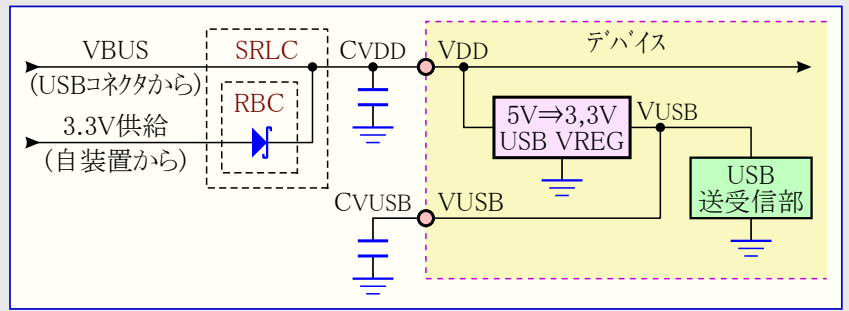
図6-4. 電力構成設定 5b5s



5b3s (5Vバス給電優先と3.3V自己給電の二元給電)

電力構成設定**5b3s**ではUSBが接続されると、デバイスの給電にUSB VBUS供給が使われます。VBUSは直接または**SRLC**経由でデバイスのVDDピンに接続されます。内部電圧調整器も許可されなければならず、それによってVUSBピンで必要とされる3.3Vを生成します。自装置の3.3V供給はUSBが接続されない時に逆流阻止回路(**RBC**)を通してVDDピンに電力を提供します。USBが接続されない時にVDDがVDDUMIN未満のため、内部電圧調整器は動作不能になるでしょう。

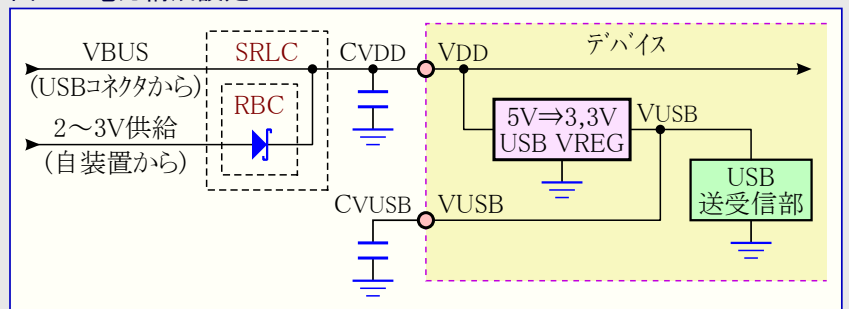
図6-5. 電力構成設定 5b3s



5b2s (5Vバス給電優先と2~3V可変による自己給電の二元給電)

電力構成設定**5b2s**ではUSBが接続されると、デバイスの給電にUSB VBUS供給が使われます。VBUSは直接または**SRLC**経由でデバイスのVDDピンに接続されます。VUSBピンで必要とされる3.3Vを生成する内部電圧調整器も許可されなければなりません。USBが接続されないと、代表的に**RBC**を通して電池のように2~3Vで変わり得る自装置の供給がデバイスのVDDピンに電力を提供します。USBが接続されない時にVDDがVDDUMIN未満のため、内部電圧調整器は動作不能になるでしょう。

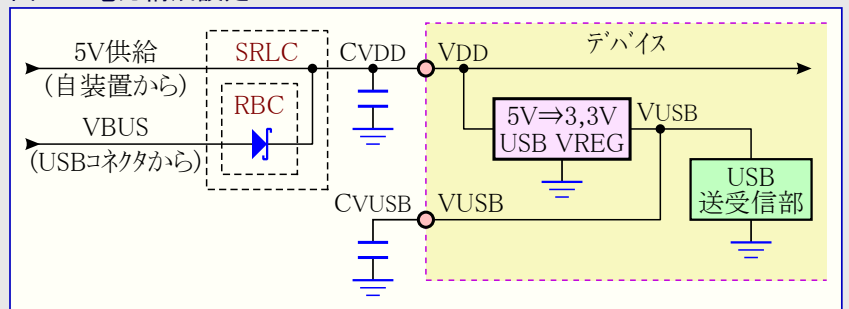
図6-6. 電力構成設定 5b2s



5s5b (5V自己給電優先と5Vバス給電の二元給電)

電力構成設定**5s5b**では利用可能な時に必ず自装置の5V供給によってデバイスが給電されます。自装置の5V供給は直接または**SRLC**経由でデバイスのVDDピンに接続されます。自装置の供給が不足または利用不能の場合、代表的に**RBC**を通してVBUSがデバイスのVDDピンに電力を提供するので、USBが接続されている時にだけデバイスが給電されます。USBが接続される時にVUSBピンで必要とされる3.3Vを生成する内部電圧調整器も許可されなければなりません。

図6-7. 電力構成設定 5s5b



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

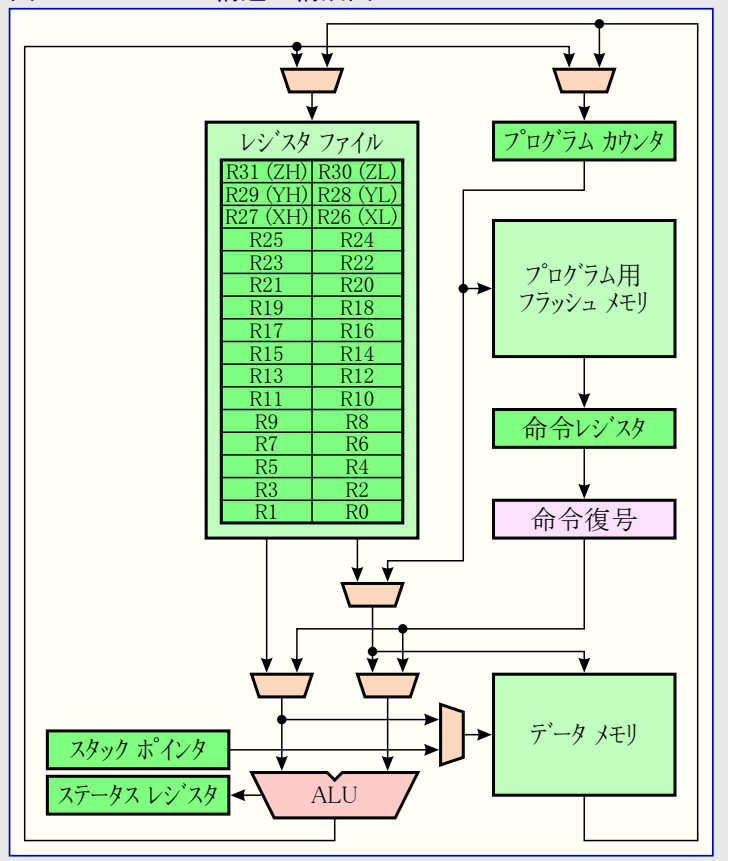
AVR CPUはメモリをアクセスし、計算を実行し、周辺機能を制御し、そしてプログラム メモリから命令を実行し割り込みを処理することができます。

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バ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。

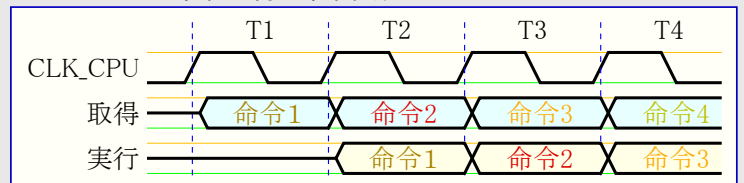
CPUは条件付きと条件なしでプログラムの流れを変更することができ、アドレス空間全体を直接位置指定できる命令を支援します。殆どのAVR命令は16ビット語形式を使い、限定数(の命令)は32ビット形式を使います。

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

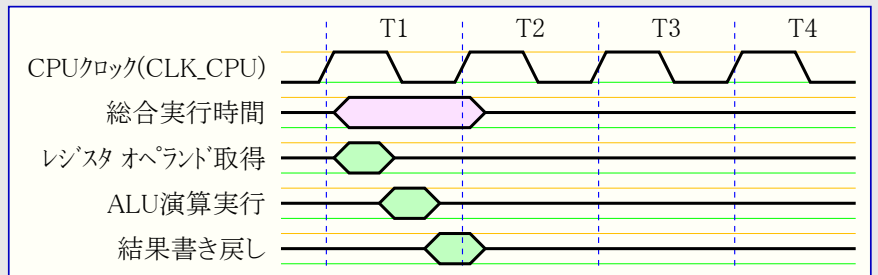
AVR CPUはCPUクロック(CLK_CPU)によってクロック駆動されます。内部クロック分周は全く適用されません。右図はハーバード基本構造と高速アクセスレジスタ ファイルの概念によって許される、並列での命令の取得と実行を示します。これは高い効率を持つ最大1 MIPS/MHzの性能を許す基本的なパイプラインの概念です。

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ユーザー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(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
	R27			\$1B	
	R28			\$1C	Yレジスタ
	R29			\$1D	
	R30			\$1E	Zレジスタ
	R31			\$1F	

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	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	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	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 – 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(またはボロー)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

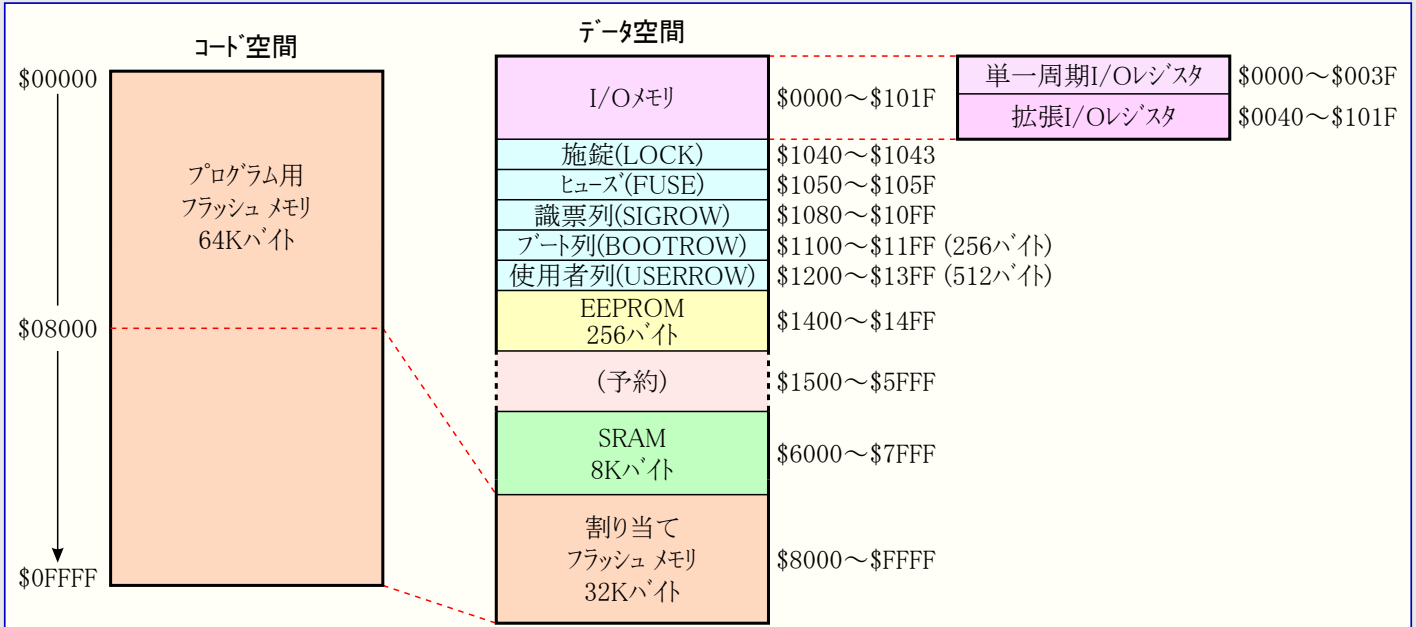
8.1. 概要

AVR16/32DU14/20/28/32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。周辺機能レジスタはI/Oメモリ空間に置かれます。

8.2. メモリ配置

下図はAVR DU系統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



8.3. 実装書き換え可能なフラッシュプログラムメモリ

AVR16/32DU14/20/28/32はプログラム記憶用に実装書き換え可能なチップ上の16/32K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、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。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。

更なる詳細に関しては**コードの大きさ(CODESIZE)**と**ブートの大きさ(BOOTSIZ)**の記述と「NVMCTRL - 不揮発性メモリ制御器」章を参照してください。

プログラムカウンタ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 - 不揮発性メモリ制御器」章で詳細に記述されます。

フラッシュメモリの各32Kバイト領域はデータ空間に割り当てることができ、LD/ST系命令でアクセスできます。LD/ST系命令についてフラッシュメモリはアドレス\$8000～\$FFFFに割り当てられます。フラッシュメモリ空間全体はLPM/SPM系命令でアクセスすることができます。LPM/SPM系命令についてフラッシュメモリ開始アドレスは\$0000です。

表8-1. フラッシュメモリの物理的な特性

特性	AVR16DU14/20/28/32	AVR32DU14/20/8/32
量	16Kバイト	32Kバイト
ページ容量	512バイト	
ページ数	32	64
NRWW領域量(下位側)/RWW領域量(上位側)	4Kバイト/12Kバイト	4Kバイト/28Kバイト
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	

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。

警告 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。

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。プログラムスタックは(リセット後で)SRAMの最後に置かれます。

SRAMからコードを実行することは不可能です。

表8-2. SRAMの物理的な特性

特性	AVR16DU14/20/28/32	AVR32DU14/20/28/32
量	2Kバイト	4Kバイト
開始アドレス	\$7800	\$7000
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)周辺機能によって制御されます。

表8-3. EEPROMの物理的な特性

特性	AVR16/32DU14/20/28/32
量	256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読み込み専用です。SIGROWはデバイスID、通番、校正值のような情報を含みます。

全てのAVR16/32DU14/20/28/32デバイスは系統、フラッシュメモリ量、ピン数を識別するためのデバイスIDを持ちます。デバイスIDは右表で示されるように3つのDEVIC EIDnバイトから成ります。

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
AVR16DU14	\$1E	\$94	\$3B
AVR16DU20	\$1E	\$94	\$3A
AVR16DU28	\$1E	\$94	\$39
AVR16DU32	\$1E	\$94	\$38
AVR32DU14	\$1E	\$95	\$4F
AVR32DU20	\$1E	\$95	\$4E
AVR32DU28	\$1E	\$95	\$40
AVR32DU32	\$1E	\$95	\$3F

8.7.1. 識別列要約

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. 識票列説明

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の識票バイトn]

特質 : -

各デバイスはデバイスと、メモリ量とピン数のようなその特性を識別するIDを持ち、デバイス、従ってソフトウェアによって利用可能な機能を識別するのに使うことができます。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. TEMPSENSEn – 温度感知器校正n (Temperature Sensor Calibration n)

名称 : TEMPSENSE0L : TEMPSENSE0H : TEMPSENSE1L : TEMPSENSE1H

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.TEMPSENSE0は利得/傾斜に対する(符号付き)修正係数で、SIGROW.TEMPSENSE1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
	TEMPSENSE15~8							
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
	TEMPSENSE7~0							
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 – TEMPSENSE15～0 : 温度感知器校正 (Temperature Sensor Calibration)

このビット領域に格納された値の使い方について「[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を表す通番を持ち、この番号は在野で特定デバイスを識別することができます。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. BOOTROW – ブート列

AVR16/32DU14/20/28/32デバイスはブート列(BOOTROW)と呼ばれるメモリ領域を持ちます。BOOTROWは施錠されたデバイスでBOOT領域からだけアクセスすることができ、鍵のようなデータを格納するのに使われるかもしれません。

より多くの詳細については「システム メモリ アドレス配置」表と「NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器」章を参照してください。

8.9. USERROW – 使用者列

AVR16/32DU14/20/28/32デバイスは使用者列(USERROW)と呼ばれる特別な512バイトの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。例えばデバイスが施錠されていても、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のメモリ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。

8.10. 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、工場校正とデバイス構成設定を保持します。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によってのみ書き込み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各々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(FUSE)は予め書かれています。ユーザーはこれらを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適用されます。

注: ヒューズを書く時に全ての予約ビットは'0'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	CLKSEL3～0							
+\$03	予約									
+\$04	予約									
+\$05	SYSCFG0	7～0	CRCSRC1,0		CRCSEL	UPDIPINCFG	RSTPINCFG		BROWSAVE	EESAVE
+\$06	SYSCFG1	7～0					USBSINK	SUT2～0		
+\$07	CODESIZE	7～0	CODESIZE7～0							
+\$08	BOOTSIZ	7～0	BOOTSIZ7～0							
+\$09	予約									
+\$0A	PDICFG	7～0	KEY3～0						LEVEL1,0	
+\$0B		15～8	KEY11～4							

8.10.2. ヒュース*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 : -

このヒュース*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)

この値はリセット中に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)

この値はリセット中に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 : -

このヒュース レジスタのビット値は電源投入で対応するBOD構成設定レジスタに書かれます。

このヒュース*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。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	その他
名称	BODLEVEL0	BODLEVEL1	BODLEVEL2	BODLEVEL3	-
説明	1.9V	2.45V	2.70V	2.85V	(予約)

注: ・ 更なる詳細については電気的特性章でBODの特性を参照してください。

・ 説明内の値は代表値です。

●ビット4 – SAMPFREQ : BOD採取周波数 (BOD Alternative 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が走行するまで停止されます。

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

このビット領域はデバイスの既定発振器を制御します。

値	0 0 0 0	0 0 0 1	その他
名称	OSCHF	OSC32K	–
説明	内部高周波数発振器でデバイス走行	内部32.768kHz発振器でデバイス走行	(予約)

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 : \$C0

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。

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

(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。

●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UPDIピン構成設定を制御します。

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 (工場既定値)

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

このビットはリセットピン構成設定を制御します。

値	0	1
名称	INPUT	RESET
説明	外部リセットなし。GPIO入力ピンとして使えます。(工場既定値)	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 Save 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否かを制御します。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	EEPROMはチップ消去によって消去されます。	デバイスが施錠されているか否かに関わらず、EEPROMはチップ消去によって消去されません。

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 : \$08

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
					USBSINK		SUT2~0	
アクセス種別	R	R	R	R	R/W	R	R	R
既定値	0	0	0	0	1	0	0	0

●ビット3 – USBSINK : USB電圧調整器電流吸い込み許可 (USB Voltage Regulator Current Sink Enable)

このビットはUSB電圧調整器(USBVREG)が電流を吸い込めるかどうかを制御します。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	USBVREGは電流を吸い込めません。	USBVREGは電流を吸い込めます。

●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とコード実行間の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512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。

注: ブートの大きさ(FUSE.BOOTSIZE)とFUSE.CODESIZEが\$00の場合、フラッシュメモリ全体がブートコード領域です。

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512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とコードの大きさ(FUSE.CODESIZE)が\$00の場合、フラッシュメモリ全体がブートコード領域です。

8.10.2.8. PDICFG – プログラム/デバッグ インターフェース構成設定 (Programming and Debug Interface Configuration)

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。

注: これらのヒューズはリセット(リセット初期化走行)後でデバイスが施錠状態の場合にだけ有効です。

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)

値	\$B45	その他
名称	NVACT	-
説明	NVM保護有効	無効

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

値	0 x	1 0	1 1
名称	–	NVMACCDIS	BASIC
説明	(予約)	UPDIを通すNVMアクセスが禁止されます。 プログラム/デバッグ インターフェース禁止(PDID): NVMに対する全ての消去と書き込みの指令はブートコード領域(ブートローダ)から実行されなければなりません。チップ消去と使用者列書き込みアクセスは阻止されます。CRC状態は利用可能です。	UPDI周辺機能とUPDIピンは「UPDI」章で記述されるように動きます。

 **重要:** この動作形態から回復する方法はなく、故に一旦NVMACCDISが許可されると、デバイスプログラミングのためにUPDIアクセスを再許可することは不可能です。この動作形態を許可する前に、この機能の許可の結果を完全に理解することを確認にしてください。

注: NVMACCDIS有効後、外部的な検査のためのNVMへのアクセスは極めて制限されます。いくつかの検査は可能ですが、高度な障害分析は不可能です。

8.11. LOCK – メモリ領域アクセス保護

デバイスには施錠することができ、UPDIを使ってメモリを読み込み不能にします。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、デバッガインターフェースを用いる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。

施錠鍵(LOCK.KEY)レジスタに無効な鍵を書くことがデバイスを施錠します。

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)	○/○	×/×	○/×	×/×
使用者列 (USERROW)	○/○	○/○	○/×	○/○ (注2)
ブート列 (BOOTROW)	(注3) ○/○ (注3)	(注3) ○/○ (注3)	○/×	○/×
ヒューズ (FUSE)	○/○	×/×	○/×	○/×
施錠 (LOCK)	○/○	×/×	○/×	○/×
I/Oメモリ	○/○	○/○	○/×	○/×

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: 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。

注3: 読み書きはブートコード領域からだけ可能です。

(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、USERROWを消去せず、どの応用データも保持されません。

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	KEY7～0							
+\$01		15～8	KEY15～8							
+\$02		23～16	KEY23～16							
+\$03		31～24	KEY31～24							

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 Bits)

このビット領域はデバイスが施錠されるか否かを制御します。

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

AVR16/32DU14/20/28/32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。

将来のデバイスとの互換性のため、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'0'を書かれなければなりません。予約されたI/Oメモリアドレスは決して書かれてはなりません。

8.12.1. 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「[PORT - 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「[GPR - 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。

8.12.2. 拡張I/Oレジスタ

\$0040～\$103Fに及ぶI/Oメモリ空間は32個の汎用作業レジスタ(R0～R31)とI/Oメモリ空間の間でデータを転送するLD/LDS/LDDまたはST/STS/STDの命令によってのみアクセスすることができます。

更なる詳細については「[周辺機能アドレス配置](#)」表と「[命令一式要約](#)」章を参照してください。

8.12.3. 16ビットレジスタのアクセス

AVR16/32DU14/20/28/32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。AVR16/32DU14/20/28/32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、DAT AL)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8-2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8-2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、DAT AL)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8-3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TEMPに複写されます。上位バイトレジスタ読み込みは図8-3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一時(TEMP)レジスタからの読み込みに帰着します。

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してください。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んで、16ビットアクセス後に復元することができます。

図8-2. 16ビットレジスタ書き込み動作

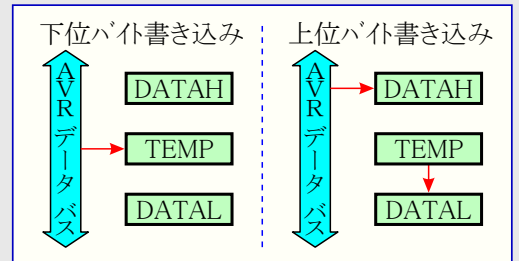
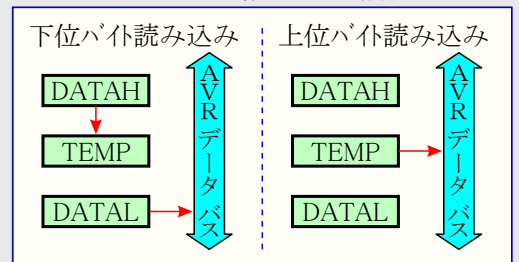


図8-3. 16ビットレジスタ読み込み動作



8.12.4. 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. 周辺機能と基本構造

9.1. 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9-1. 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	○	○	○	○
\$0800	USART0	万能同期非同期送受信器0	○	○	○	○
\$0820	USART1	万能同期非同期送受信器1	○	○	○	○
\$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	TCA0	タイマ/カウンタA型 実体0	○	○	○	○
\$0B00	TCB0	タイマ/カウンタB型 実体0	○	○	○	○
\$0B10	TCB1	タイマ/カウンタB型 実体1	○	○	○	○
\$0C00	USB0	万能直列バス 実体0	○	○	○	○
\$0F00	SYSCFG	システム構成設定	○	○	○	○
\$1000	NVMCTRL	不揮発性メモリ制御器	○	○	○	○

表9-2. 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	識別列	○	○	○	○
\$1100	BOOTROW	ブート列	○	○	○	○
\$1200	USERROW	使用者列	○	○	○	○

9.2. 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。

割り込み条件が起ると、例えば割り込みが許可されていなくても、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。

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)される時に割り込みが生成されます。割り込み要求を生成するには割り込みが**全体的に許可**されなければなりません。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。

表9-3. 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とCLKCTRL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	CLKCTRL_CFD	外部クリスタル用発振器またはクロック元障害	○	○	○	○
4	\$0008	RTC_CNT	実時間計数器の溢れまたは比較一致の割り込み	○	○	○	○
5	\$000A	RTC_PIT	実時間計数器の周期割り込み (PIT)	○	○	○	○
6	\$000C	CCL_CCL	構成設定可能な注文論理回路割り込み	○	○	○	○
7	\$000E	USB_BUS	USBバス事象割り込み	○	○	○	○
8	\$0010	USB_TAC	USB単位処理完了割り込み	○	○	○	○
9	\$0012	PORTA_PORT	ポートA外部割り込み	○	○	○	○
10	\$0014	TCA0_OVF TCA0_LUNF	標準: タイマ/カウンタA型溢れ割り込み 分割: タイマ/カウンタA型下位下溢れ割り込み	○	○	○	○
11	\$0016	TCA0_HUNF	標準: 未使用 分割: タイマ/カウンタA型上位下溢れ割り込み	○	○	○	○
12	\$0018	TCA0_CMP0 TCA0_LCMP0	標準: タイマ/カウンタA型比較0割り込み 分割: タイマ/カウンタA型下位比較0割り込み	○	○	○	○
13	\$001A	TCA0_CMP1 TCA0_LCMP1	標準: タイマ/カウンタA型比較1割り込み 分割: タイマ/カウンタA型下位比較1割り込み	○	○	○	○
14	\$001C	TCA0_CMP2 TCA0_LCMP2	標準: タイマ/カウンタA型比較2割り込み 分割: タイマ/カウンタA型下位比較2割り込み	○	○	○	○
15	\$001E	TCB0_INT	タイマ/カウンタB型捕獲/溢れ割り込み	○	○	○	○
16	\$0020	TWI1_TWIS	2線インターフェース従装置割り込み	○	○	○	○
17	\$0022	TWI1_TWIM	2線インターフェース主装置割り込み	○	○	○	○
18	\$0024	SPI0_INT	直列周辺インターフェース割り込み	○	○	○	○
19	\$0026	USART0_RXC	万能同期非同期送受信器受信完了割り込み	○	○	○	○
20	\$0028	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	○	○	○	○
21	\$002A	USART0_TXC	万能同期非同期送受信器送信完了割り込み	○	○	○	○
22	\$002C	PORTD_PORT	ポートD外部割り込み	○	○	○	○
23	\$002E	PORTC_PORT	ポートC外部割り込み	○	○	○	○
24	\$0030	PORTF_PORT	ポートF外部割り込み	○	○	○	○
25	\$0032	NVMCTRL_NVMREADY	NVM制御器 EEPROM/フラッシュ メモリ準備可割り込み	○	○	○	○
26	\$0034	USART1_RXC	万能同期非同期送受信器受信完了割り込み	○	○	○	○
27	\$0036	USART1_DRE	万能同期非同期送受信器データレジスタ空割り込み	○	○	○	○
28	\$0038	USART1_TXC	万能同期非同期送受信器送信完了割り込み	○	○	○	○
29	\$003A	TCB1_INT	タイマ/カウンタB型捕獲/溢れ割り込み	○	○	○	○
30	\$003C	AC0_AC	アナログ比較器割り込み	○	○	○	○
31	\$003E	ADC0_ERROR	A/D変換器誤り割り込み	○	○	○	○
32	\$0040	ADC0_RESRDY	A/D変換器結果準備可割り込み	○	○	○	○
33	\$0042	ADC0_SAMPDY	A/D変換器試料準備可割り込み	○	○	○	○

9.3. 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から読み、部品の改訂間での応用変更実装のためにそれを装備します。

9.3.1. 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			
+\$02 ～ +\$05	予約									
+\$06	VUSBCTRL	7～0								USBVREG

9.3.2. レジスタ説明

9.3.2.1. 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を与えます。

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)

このビット領域はデバイスに対する主改訂を含みます。\$1=A、\$2=B、以下同様です。

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

このビット領域はデバイスに対する副改訂を含みます。\$0=0、\$1=1、以下同様です。

9.3.2.2. VUSBCTRL – USB電圧系制御レジスタ (USB Voltage System Control)

名称 : VUSBCTRL

変位 : +\$06

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								USBVREG
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 – USBVREG : USB電圧調整器 (USB Voltage Regulator)

このビットはUSB電圧調整器の状態を制御します。より多くの詳細についてはUSB周辺機能「[USB – 万能直列バス制御器](#)」の記述を御覧ください。

値	0	1
名称	DISABLE	ENABLE
説明	USB電圧調整器禁止	USB電圧調整器許可

10. GPR – 汎用レジスタ

AVR16/32DU14/20/28/32デバイスではどんな情報を格納するのにも使うことができる4つの汎用レジスタを提供します。これらは全域変数と割り込みフラグを格納するのに有用です。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。

10.1. 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							

10.2. レジスタ説明 – GPIOR

10.2.1. 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うことができる汎用レジスタです。

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)

11. NVMCTRL – 不揮発性メモリ制御器

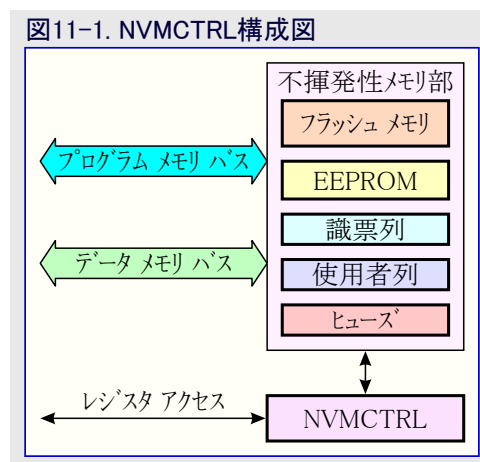
11.1. 特徴

- ・統一されたメモリ
- ・実装プログラミング可能
- ・真の書き込み中読み込み支援
- ・自己プログラミングとブートローダ支援
- ・書き込み保護に対して構成設定可能な領域
 - ブートローダコードまたは応用コード用のブート領域
 - 応用コード用の応用コード領域
 - 応用コードまたはデータ記憶用の応用データ領域
- ・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

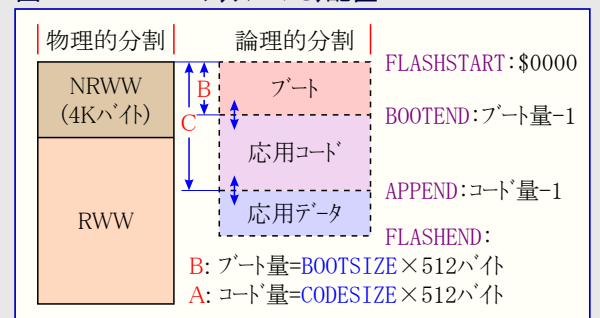
11.3.1. メモリ構成

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512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成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 DUフラッシュメモリ配置



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みさ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

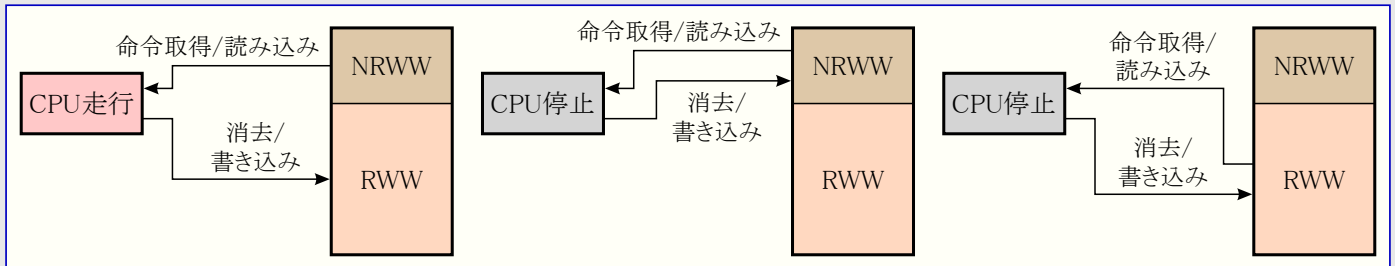


表11-1. 書き込み中読み込みの筋書き

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.BOOTSIZE)ヒューズとコードの大きさ(FUSE.CODESIZE)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512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APPENDまで広がります。残りの領域がAPPDATA領域です。

FUSE.BOOTSIZE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.CODESIZEが'0'を書かれ、FUSE.BOOTSIZE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.CODESIZE ≤ FUSE.BOOTSIZE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～APPEND	APPEND～FLASHEND

ブートローダソフトウェアがない場合、アプリケーション用に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/APPEND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4×512バイトがBOOTで、次の4×512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ず、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)

処理されつつある プログラム実行領域	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(EEWP)**、**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256バイトの不揮発性メモリ領域で、消去/書き込みでバイトの粒度を持ちます。1/2/4/8/16/32バイトの塊で消去することができますが、書き込みは1度に1バイトで行われます。1操作でバイト消去と書き込みを行うこともできます。

11.3.1.3. 識別列

識別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。通番はデバイスに対する製造ロット番号、ウェハ番号、デバイスのウェハ座標から成ります。識別列は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、書き込みや消去はできません。

11.3.1.4. 使用者列

使用者列は512バイトです。この領域は校正/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使うことができます。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。この領域は解錠されたデバイスでUPDIから読むことができ、例えば施錠されたデバイスでも、UPDIを通して書くことができます。

11.3.1.5. ブート列

ブート列は256バイトのフラッシュメモリです。この領域はブート領域からだけアクセス可能で鍵のような様々なデータを格納するのに使うことができます。この領域はチップ消去によって任意で消去されます。

ブート列領域は普通にフラッシュメモリとして消去/書き込みされフラッシュメモリのRWW領域に配置されます。制御C(NVMCTRL.CTRLC)レジスタのブート列書き込み保護(BOOTROWWP)ビットが'1'に設定されると、これは書くことができません。

11.3.1.6. 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。

11.3.2. メモリ アクセス

読み/書き操作に対し、フラッシュメモリはコード空間または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。フラッシュメモリはコード空間使用時にLPMとSPM系命令を通してアクセス可能です。

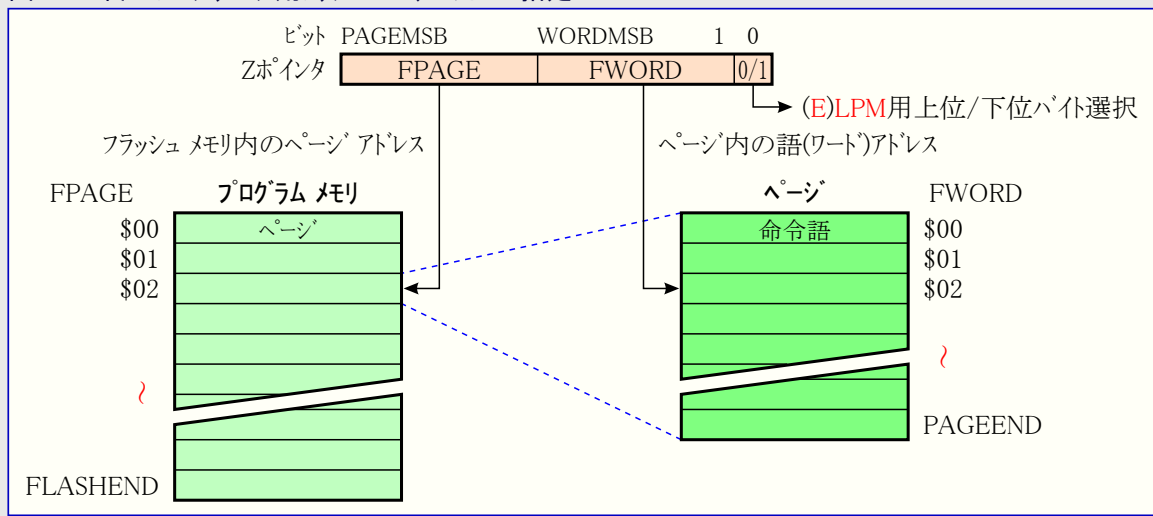
加えて、フラッシュメモリはCPUデータ空間を通してアクセスされる時にバイトアクセス可能で、SRAM、EEPROM、I/Oレジスタと同じアドレス空間と命令を共用することを意味し、アセンブリ言語でLD/ST系命令を使ってアクセス可能です。

「メモリ配置」項で示されるように、LPMとSPM系命令についてはアドレス\$0000がフラッシュメモリの開始ですが、LDとST系命令についてはそれが\$8000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。

図11-4. 自己プログラミング用フラッシュメモリのアドレス指定



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、図11-4.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がフラッシュページアドレス(FPAGE)を保持します。FPAGEとFWORDは併せて、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。

フラッシュメモリはコード空間書き込み操作に対して語アクセスされるため、アドレスポインタの最下位ビット(ビット0)は無視されます。

フラッシュメモリ読み込み操作については1度に1バイトが読めます。これに関して語アドレス内の上位バイトと下位バイトを選ぶためにアドレスポインタの最下位ビット(ビット0)が使われます。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めます。

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操作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ためLD/ST系命令が使われます。

11.3.2.1. プログラミング(書き込み)

フラッシュメモリ書き込みは1度に1バイトまたは1語を書くことによって行われます。格納型(ST)系命令を用いるCPUからの書き込みは1度に1バイトを書く一方で、プログラムメモリ格納(SPM)命令は1度に1語を書きます。

NVM指令一式は複数のフラッシュメモリ消去操作を支援します。32ページまでを同時に消去することができます。消去操作の時間は消去されるページ数に依存します。

EEPROM消去は1操作に於いてバイト単位で32バイトまでの消去の可能性を持ちます。EEPROMは1度に1バイトを書かれ、同じ操作で1バイトの消去と書き込みを行う任意選択を持ちます。

使用者列は通常のフラッシュメモリとして消去/書き込みされます。消去操作が使われると、使用者列全体が1度で消去されます。使用者列書き込みはバイト単位です。

ヒューズ書き込みはEEPROM書き込みと同じですが、UPDIインターフェース経由でだけ実行することができます。

表11-4. プログラミング単位

メモリ領域	消去単位	書き込み単位
フラッシュ メモリ配列	ページ	語 (注1)
EEPROM配列	バイト	バイト
使用者列	ページ (注2)	バイト (注3)
ブート列	ページ (注2)	バイト
ヒューズ	バイト	バイト

注1: CPUデータ空間メモリ割り当て領域に書く時はバイト単位

注2: 1ページは512バイト

注3: 施錠されたデバイスでUPDIから書く時はページ単位

11.3.2.2. 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。

11.3.2.3. 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。

フラッシュ メモリ(CHER)またはEEPROM(EECHER)の全体消去は制御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FBUSY)フラグを読むことによってどの直前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. 次の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。

NVMで書き込み/消去の操作を実行するには以下の手順が必要とされます。

1. 状態(NVMCTRL.STATUS)レジスタの多忙(EEBUSYとFBUSY)フラグを読むことによってどの直前の操作も完了されていることを確認してください。
2. 任意選択: CPUデータ空間でフラッシュ メモリにアクセスする場合、制御B(NVMCTRL.CTRLB)レジスタのデータ空間に割り当てられたフラッシュ メモリ領域(FLMAP)ビット領域を書くことによって対応する32Kバイト フラッシュ メモリ領域を割り当ててください。
3. 前で記述されたようにNVMCTRL.CTRLAレジスタに望む指令値を書いてください。
4. ST/SPM系命令を用いてデータ空間/コード空間の正しいアドレスに書いてください。
5. 任意選択: 複数の書き込み操作が必要とされる場合、手順4.へ行ってください。
6. 現在の指令を解消するためにNVMCTRL.CTRLAレジスタにNOOPまたはNPCMD指令を書いてください。

11.3.2.3.1. 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内容をフラッシュ 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。

11.3.2.3.2. 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。

11.3.2.3.3. 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許可時、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 _n ～1に合致するページが消去されます。FPAGE ₀ の値は無視されます。
FLMPER4	4	FPAGE _n ～2に合致するページが消去されます。FPAGE ₁ ～0の値は無視されます。
FLMPER8	8	FPAGE _n ～3に合致するページが消去されます。FPAGE ₂ ～0の値は無視されます。
FLMPER16	16	FPAGE _n ～4に合致するページが消去されます。FPAGE ₃ ～0の値は無視されます。
FLMPER32	32	FPAGE _n ～5に合致するページが消去されます。FPAGE ₄ ～0の値は無視されます。

注: FPAGEはフラッシュ メ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. メリ アクセス」を参照してください。

11.3.2.3.4. EEPROM書き込み動作

EEPROM書き込み(E_{EW}R)動作は書き込み操作に対してEEPROM配列を許可します。制御A(NVMCTRL.CTRLA)レジスタでE_{EW}R動作が許可されている間にいくつかの書き込みを行うことができます。E_{EW}R動作が許可されると、ST系命令での書き込みは1度に1バイトを実行します。

EEPROM書き込み時、CPUはコード実行を続けます。EEPROM消去/書き込みが完了する前に新しい取得/格納操作が開始された場合、CPUが停止されます。

アドレスに対して書き込みが実行される前に、その内容の消去が必要です。

11.3.2.3.5. EEPROM消去/書き込み動作

EEPROM消去/書き込み(E_{EE}R_WR)動作は消去操作直後に続く書き込み操作をEEPROM配列に許可します。NVMCTRL.CTRLAレジスタでE_{EE}R_WR動作が許可されている間にいくつかの消去/書き込みを行うことができます。E_{EE}R_WR動作が許可されると、ST系命令での書き込みは1度に1バイトを実行します。

EEPROM消去/書き込み時、CPUはコード実行を続けます。

EEPROM消去/書き込みが完了する前に新しい取得/格納命令が開始された場合、CPUが停止されます。

11.3.2.3.6. EEPROMバイト消去動作

EEPROMバイト消去(E_{EE}B_ER)動作は選んだバイトを消去するためにメモリ配列への各書き込みを許します。消去されたバイトはEEPROMアドレスに書かれた値に関わらず、常に\$FFを読み戻します。

EEPROM消去時、CPUはフラッシュ メリからの走行を続けることができます。EEPROMが多忙中にCPUが消去または書き込みの操作を開始した場合、CPUは現在の操作を終えるまで停止されます。

11.3.2.3.7. EEPROM複数バイト消去動作

EEPROM複数バイト消去(E_{EE}M_BE_R)動作は1つの操作でいくつかのバイトの消去を許します。選んだバイトを消去するためにメモリ配列への各書き込みを許します。E_{EE}M_BE_R動作許可時、1つの操作で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EEPROM位置が消去されるかを定義している時に、アドレスの下位ビットが無視されます。例えば、8バイト消去を行っている間、\$18～\$1F範囲内のどのバイトのアドレス指定も、範囲内のバイト全体の消去に帰着します。

表11-6. EEPROM複数ページ消去

CMD	消去バイト数	説明
EEMBER2	2	ADDR _n ～1に合致するアドレスのバイトが消去されます。ADDR ₀ の値は無視されます。
EEMBER4	4	ADDR _n ～2に合致するアドレスのバイトが消去されます。ADDR ₁ ～0の値は無視されます。
EEMBER8	8	ADDR _n ～3に合致するアドレスのバイトが消去されます。ADDR ₂ ～0の値は無視されます。
EEMBER16	16	ADDR _n ～4に合致するアドレスのバイトが消去されます。ADDR ₃ ～0の値は無視されます。
EEMBER32	32	ADDR _n ～5に合致するアドレスのバイトが消去されます。ADDR ₄ ～0の値は無視されます。

注: ADDRはEEPROM消去を行う時に書かれるアドレスです。

EEPROM消去中にCPUはフラッシュ メリから命令の実行を続けることができます。EEPROMが多忙中にCPUが消去または書き込みの操作を開始した場合、NVMCTRL単位部がバス上での待機を与え、CPUは現在の操作を終えるまで停止されます。

11.3.2.3.8. チップ消去指令

チップ消去(C_HE_R)指令はフラッシュ メリとEEPROMを消去します。EEPROMはシステム構成設定0(FUSE.SYSCFG0)のチップ消去中EEPROM保存(E_ESAVE)ヒューズが設定(1)される場合、不変にされます。

デバイスが施錠された場合、E_ESAVEビットに関わらず、EEPROMはチップ消去によって常に消去されます。制御B(NVMCTRL.CTRLB)レジスタの読み書き保護(ブート領域読み込み保護(BOOTRP)、応用コード領域書き込み保護(APPCODEWP)、応用データ領域書き込み保護(APPDATAWP))のビットは操作を妨げません。全てのフラッシュ メリとEEPROMはこの指令後に\$FFを読み戻します。

この指令はUPDIからだけ開始することができます。

11.3.2.3.9. 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を使う基板上程度の系と同じです。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)を使うことが推奨されます。

次のような2つの状況は電圧が低すぎる時にフラッシュメモリ/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を正しく動くために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11-7. 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
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NVM書き込み/消去操作が進行中の場合、NVM部、NVMCTRL、周辺機能クロックはその操作が終了されるまでONに留まり、一旦操作が完了されると、自動的にOFFへ切り替えます。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。

NVM準備可割り込みは**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11-8. 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	BOOTRTP	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					FBUSY	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	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6~0 – 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消去の指令は指令を書く時に開始します。その他は消去または書き込みの操作を許可します。操作はアドレス位置に格納命令を行うことによって開始されます。

1つの指令から別の指令への変更は常に無指令(NOCMD)または無操作(NOOP)の指令を通して行わなければなりません。フラッシュメモリやEEPROMが多忙の間に(NOCMDやNOOPを除く)プログラミング指令を書こうとした場合、状態(NVMCTRL.STATUS)レジスタの異常符号(ERROR)ビット領域で指令衝突異常が合図されます。

値	名称	説明
000 0000 (\$00)	NOCMD	無指令
000 0001 (\$01)	NOOP	無操作
000 0010 (\$02)	FLWR	フラッシュ メモリ書き込み許可
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
001 0010 (\$12)	EEWR	EEPROM書き込み許可
001 0011 (\$13)	EEERWR	EEPROM消去/書き込み許可
001 1000 (\$18)	EEBER	EEPROMバイト消去許可
001 1001 (\$19)	EEMBER2	EEPROM 2バイト消去許可
001 1010 (\$1A)	EEMBER4	EEPROM 4バイト消去許可
001 1011 (\$1B)	EEMBER8	EEPROM 8バイト消去許可
001 1100 (\$1C)	EEMBER16	EEPROM 16バイト消去許可
001 1101 (\$1D)	EEMBER32	EEPROM 32バイト消去許可
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)

フラッシュメモリの(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は無効です。

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 (64KB)	0～32	32～64	0～32	32～64

●ビット3 – EEWP : 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'を書くことができます。これはリセットによってのみ'0'に解除されます。

●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'を書くことができます。これはリセットによってのみ'0'に解除されます。

●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、リセットによってのみ'0'に解除されます。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。

●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。これはリセットによってのみ'0'に解除されます。

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 Protect)

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 Protect)

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。フラッシュメモリ書き込み/消去の操作が発行される前にFLREADYフラグが解除(0)されないため、割り込みはその指令が発行される前に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。EEPROM書き込み/消去の操作が発行される前にEEREADYフラグが解除(0)されないため、割り込みはその指令が発行される前に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					FBUSY	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)

異常符号ビット領域は最後のプログラミング(書き込み/消去)操作の異常を報告します。INVALIDCMDとWRITEPROTECTは異常が起きた操作に後続する正当な操作の場合にだけ解除されます。CMDCOLLISION異常が起きた場合、その異常が解除されるまで、その後の新しいどのプログラミング操作も無視されます。この異常の解除前に(フラッシュメモリ多忙(FBUSY)とEEPROM多忙(EEBUSY)のフラグを見て)プログラミング操作が進行中でないことを確実にしてください。さもないと再びこの異常が報告されます。

異常符号ビット領域はこれに'000'を書くことによって解除することができます。

注: 異常/停止の規則:

1. プログラミング進行中の指令変更の場合、CMDCOLLISION異常が設定されます。
2. ERROR=CMDCOLLISIONの場合、プログラミング操作が無視されます。
3. NVM領域が多忙の間のアクセス(読み/書き)の場合、CPUが停止されます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	その他
名称	NONE	INVALIDCMD	WRITEPROTECT	CMDCOLLISION	-
説明	異常なし	選んだ指令は不支援	書き込み保護された領域を書く試み	既書き込み/消去指令が進行中の間に新しい書き込み/消去指令を選択	(予約)

●ビット1 – FBUSY : 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 : –

NVMCTRL.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	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
	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 : –

NVMCTRL.ADDR0、NVMCTRL.ADDR1、NVMCTRL.ADDR2は24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。

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	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
	ADDR15~8							
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
	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
 - 24MHzまでの内部高周波数発振器 (OSCHF)
 - 32.768kHz超低電力発振器 (OSC32K)
 - 48MHz位相固定化閉路 (PLL48M)
- ・ 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)
 - 高周波数クリスタル用発振器 (XOSCHF)
 - 外部クロック
- ・ 主なクロック機能
 - 安全な走行時切り替え
 - 1~64の範囲の分周係数を持つ前置分周器

12.2. 概要

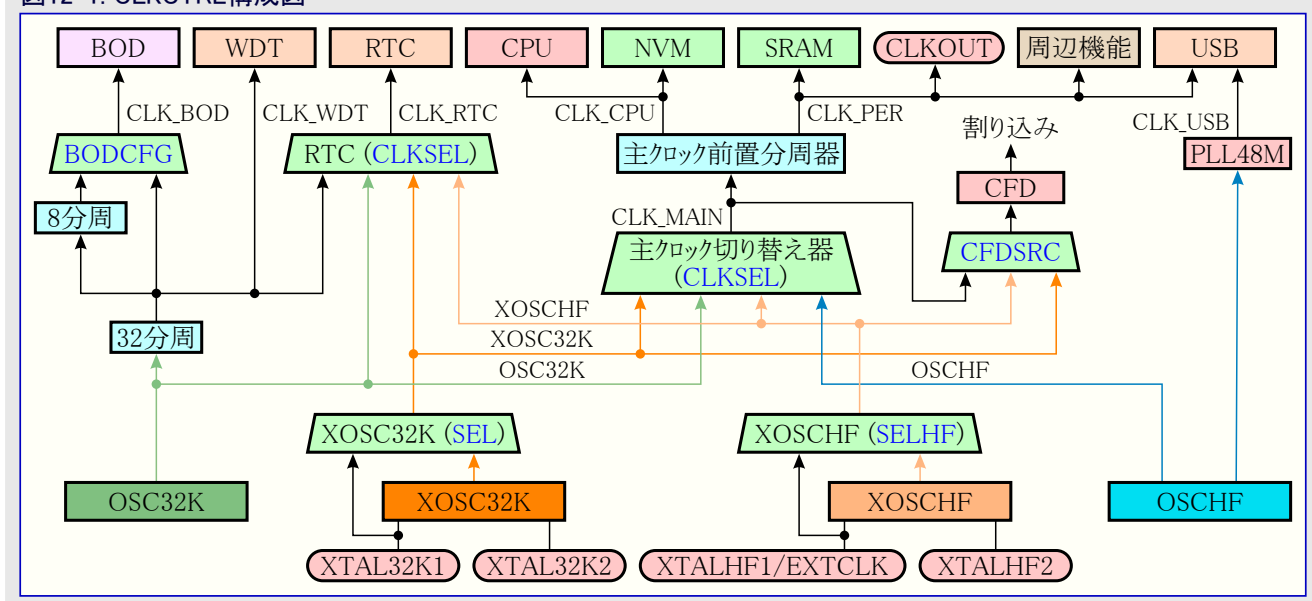
クロック制御器(CLKCTRL)は利用可能な発振器からのクロック信号を制御、分配、前置分周し、内部と外部のクロック元を支援します。

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、不揮発性メモリ(NVM)、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

図12-1. CLKCTRL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いています。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)周辺機能によって使われます。
 - CLK_PERは非同期クロック下で一覧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時器(PIT)に使われ、RTC/PITが許可される時に要求されます。CLK_RTC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。

- CLK_USBは万能直列バス(USB)周辺機能によって使われます。USBが許可される時に要求されます。
- クロック障害検出器(CFD)は外部的なクリスタルまたはクロック元での障害を検出する非同期機構です。

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、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が書かれなければなりません。各々の周辺機能内のレジスタが非同期クロック元を構成設定します。

12.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
CLKOUT	デジタル出力	CLK_PER出力
XTALHF1	アナログ入力	外部クロック元(EXTCLK)または高周波数クリスタルの1つのピン用の入力
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	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う必要があります。

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
 - a. 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分周してください。
 - b. 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。
5. 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。
6. 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 (CCP)」項を参照してください。

クロック障害検出機構は許可されると、クロック障害で内部クロック元への安全な切り替えを保証します。

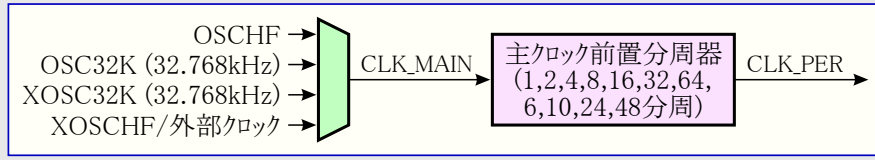
外部クロック元の選択では選んだクロック元への切り替えはその外部クロックで端(エッジ)が検出される場合だけに起こります。十分なクロック端数が検出されるまで、切り替えは起きず、リセットを実行することなしに再び別のクロック元へ変更することはできません。

進行中のクロック元切り替えは主クロック状態(CLKCTRL.MCLKSTATUS)レジスタの主クロック発振器変更(SOSC)フラグによって示されます。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、CFDが許可されている場合にだけ、そのクロック元が既定で始動クロック元です。CFDが許可されていない場合、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。より多くの詳細については「クロック障害検出 (CFD)」項を参照してください。

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、1~64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



11.3.2. 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**発振器構成設定(FUSE.OSCCFG)ヒューズ**の**クロック選択(CLKSEL)ビット領域**に依存して4MHzの既定周波数で動くOSCHF、またはOSC32Kのどちらかによって提供されます。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。

11.3.3. 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.XOSC32KCTRLA)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。
- XOSCHF発振器は**高周波数クリスタル用発振器制御A(CLKCTRL.XOSCHFCTRLA)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1、2、3、4MHzと4の倍数で24MHzまでの出力周波数を支援し、これは主クロック、周辺機能クロックまたは周辺機能クロックとして使うことができます。OSCHFは位相固定化閉路(PLL48M)への独立した4MHz固定出力も支援します。

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

利用可能な外部クロック元が以下の項で記述されます。

12.3.4.2.1. 高周波数クリスタル用発振器 (XOSCHF)

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XTALHF1とXTALHF2のピンに接続されます。
- XTALHF1に接続された32MHzまでで走行する外部クロック

入力任意選択は**XOSCHF制御A(CLKCTRL.XOSCHFCTRLA)レジスタ**の**供給元選択(SELHF)ビット**への書き込みによって構成設定されなければなりません。

最大クリスタル周波数はXOSCHFCTRLAの**周波数範囲(FRQRANGE)ビット領域**への書き込みによって構成設定されなければならず、これはクリスタルを駆動するための十分な電力が発振器に配給されることを保証します。

XOSCHFはXOSCHFCTRLA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、XOSCHFによって使われる汎用入出力(GPIO)ピンの構成設定はXTALHF1とXTALHF2のピンのため無効にされます。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CLKCTRL.XOSCHFCTRLAの**クリスタル始動時間(CSUTHF)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。

XOSCHFがXTALHF1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。

12.3.4.2.2. 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.XOSC32KCTRLA)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.XOSC32KCTRLA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のピンため無効にされます。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XOSC32KCTRLA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. 内部高周波数発振器の調整

手動または外部入力に対する自動のどちらかでOSCHFの出力周波数を調節してください。

手動調整

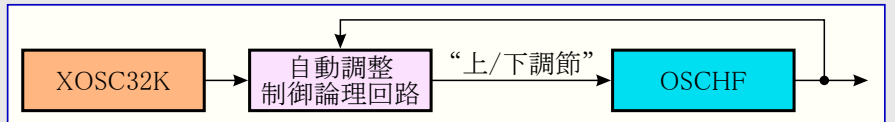
内部高周波数発振器制御A(OSCHFCTRLA)レジスタの自動調整許可(AUTOTUNE)ビット領域に'00'を書くことによって自動調整を禁止してください。内部高周波数発振器調節(OSCHFTUNE)レジスタの発振器周波数調節(TUNE)ビット領域を書くことによってOSCHFの出力周波数を手動で調節してください。

外部クリスタル用発振器に対する自動調整

OSCHF出力周波数はXOSC32Kに対して自動的に調節することによって校正することができます。OSCHFCTRLAレジスタのAUTOTUNEビットに32K設定('01')を書くことによって、OSCHFTUNEレジスタを施錠して手動調整を不能にし、自動調整を許可してください。OSCHFTUNEレジスタはAUTOTUNEが禁止される時に最新の自動調整値で更新されます。

詳細については「電気的特性」章を参照してください。

図12-3. OSCHF自動調整構成図



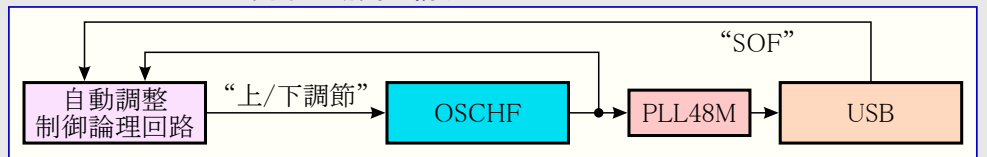
フレーム開始信号に対する自動調整

OSCHFの出力周波数はUSB周辺機能使用時にUSBからのフレーム開始(SOF:Start-Of-Frame)信号に対して調整されなければなりません。

OSCHFCTRLAレジスタのAUTOTUNEビットにSOF設定('10')を書くことによって、OSCHFTUNEレジスタを施錠して手動調整を不能にし、自動調整を許可してください。SOF自動調整は解決手法に対して各々、二分検索と逐次検索の2つの任意選択を持ちます。これらはOSCHFCTRLAレジスタの**算法選択(ALGSEL)ビット**を書くことによって選ぶことができます。二分検索算法の使用は発振器出力周波数を一時的に最大で調整範囲の半分まで変えるかもしれませんが、これはUSARTや計時器が生成するPWM波形のようにタイミングが重要な非同期周辺機能に影響を及ぼします。OSCHFTUNEレジスタはAUTOTUNEが禁止される時に最新の自動調整値で更新されます。

詳細については「USB – 万能直列バス装置制御器」章を参照してください。

図12-4. OSCHFフレーム開始自動調整構成図



12.3.6. クロック障害検出 (CFD)

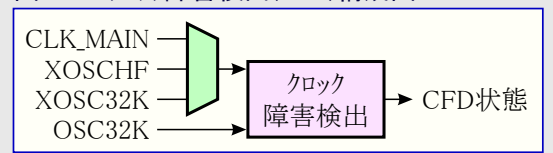
クロック障害検出(CFD:Clock Failure Detection)は外部のクリスタル発振子やクロック元が動かない場合に動作を続けることをデバイスに許します。CFDは**主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出許可(CFDEN)ビット**に'1'を書くことによって許可されます。監視可能な発振器とクロック元についてはクロック障害検出(CFD)構成図をご覧ください。

12.3.6.1. CFD動作

CFD機能は選んだ発振器/クロックで端を調べることによって動かない発振器やクロック元を検出します。特定時間内で端が検出されない場合、CFD状態が発行され、割り込みを起動するか、または安定な内部クロック元への切り替えをデバイスに強制します。

CFD機能が許可されると、**主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出元(CFDSRC)ビット領域**で選ばれた供給元を監視します。休止でのCFDは選んだ供給元が活性である場合にだけ許可されます。

図12-5. クロック障害検出(CFD)構成図



CFD状態が起きた場合、主クロック割り込み要求フラグ(CLKCTRL.MCLKINTFLAGS)レジスタのCFD割り込み要求フラグが設定(1)されます。割り込みが許可される場合、割り込み要求が発行されます。主クロック割り込み制御(CLKCTRL.MCLKINTCTRL)レジスタの割り込み型(INTTYPE)ビットは標準割り込みまたは遮蔽不可割り込み(NMI)のどちらが発行されるかを決めます。

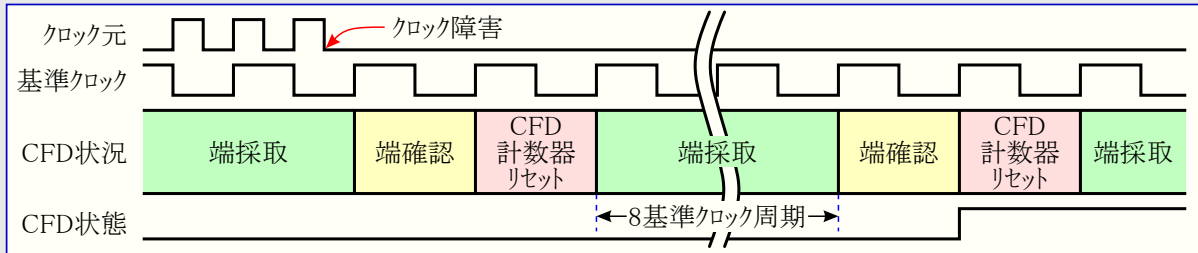
NMIが選ばれ、複数の割り込み元がNMIに設定される場合、どの供給元が割り込みを生成したかを知るためベクタを調べる必要があります。

監視されるクロック元が主クロックでそれが動かない場合、それで動く全てが停止します。これが起きた場合、CFD状態は始動クロック元を選ぶように主クロック制御A(CLKCTRL.MCLKCTRLA)レジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域を上書きし、これはそのリセット周波数に戻されます。

始動クロックは電源ONリセット(POR)後にシステムが走るクロックとして定義されます。この始動クロック元はヒューズによって定義されます。

CFD事象によってCLKSELが無効にされると、CLKOUT信号が禁止されます。

図12-6. クロック障害検出タイミング図



12.3.6.2. 状態解消

CFD状態はリセット後に解消され、監視される供給元が再び交互切り替えを開始するか、または主クロック割り込み要求フラグ(CLKCTRL.MCLKINTFLAGS)レジスタのクロック障害検出割り込み要求(CFD)フラグが設定(1)されます。障害状態に出会う限り、10 OSC32K周期毎に割り込みが起動します。それらの繰り返される割り込みが不要なら、主クロック割り込み制御(CLKCTRL.MCLKINTCTRL)レジスタのクロック障害検出割り込み許可(CFD)ビットに'0'を書いてください。それが監視されている主クロックの場合、既定始動クロックに戻すことが再び主クロックに交互切り替えを開始させ、この状態を解消します。

12.3.6.3. CFD試験

主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出試験(CFDTST)ビットはクロック障害検出器でクロック障害を起動するのに使うことができます。使用事例に応じて、クロック障害検出器を試験する2つの異なる動作形態があります。

12.3.6.3.1. 主クロックへの影響なしでのCFD試験

この動作形態は走行時の使用が意図されます。主クロックに影響しないよう、主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出試験(CFDTST)ビットが書かれる時にCLKCTRL.MCLKCTRLCのクロック障害検出供給元(CFDSRC)ビット領域は主クロックと違うクロック元に構成設定されなければなりません。CFDSRCは'00'以外でなければなりません。主クロック割り込み要求フラグ(CLKCTRL.MCLKINTFLAGS)レジスタのCFD割り込み要求(CFD)フラグが設定(1)されますが、主クロックは始動クロック元には変わりません。

クロック障害検出器が主クロックを監視し、クロック障害検出器の走行時検査が必要とされる場合、以下の手順を行うことが必要です。

1. CLKCTRL.MCLKCTRLCのクロック障害検出許可(CFDEN)ビットに'0'を書くことによってクロック障害検出器を禁止し、CFDSRCビットに'00'以外の数値を書くことによって供給元を直接的に発振器へ変更してください。
2. このフラグを解除するためにCLKCTRL.MCLKINTFLAGSのCFD割り込み要求フラグに'1'を書いてください。
3. CFDTSTビットに'1'を書き、CFDENビットに'1'を書くことによって再びクロック障害検出器を許可してください。
4. クロック障害作業を調べるためにCLKCTRL.MCLKINTFLAGSのCFDビットが設定(1)されるのを待ってください。
5. CFDビットに'0'を書くことによってクロック障害検出器を禁止し、CFDSRCビット領域に'00'を書くことによって再び供給元を主クロックに変更してください。
6. CFDTSTビットに'0'を書き、CFDENビットに'1'を書くことによってクロック障害検出器を再び許可してください。

12.3.6.3.2. CFD試験と主クロックを始動クロック元へ変更

主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出元(CFDSRC)ビット領域が'00'の値を持ち、主クロックが監視される場合、MCLKCTRLCのクロック障害検出試験(CFDTST)ビットへの'1'書き込みは主クロックを始動クロック元へ変更する障害を起動します。

12.3.7. 割り込み

表12-1. 利用可能な割り込みベクタと供給元

割り込みベクタ名	割り込み元名	説明	条件
NMI	CFD	外部クリスタル発振器 またはクロック元障害	CLKCTRL.MCLKINTCTRLのINTTYPE='1'で CLKCTRL.MCLKINTFLAGSのCFDフラグ='1'
CLKCTRL			CLKCTRL.MCLKINTCTRLのINTTYPE='0'で CLKCTRL.MCLKINTFLAGSのCFDフラグ='1'

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**(CLKCTRL.MCLKINTFLAGS)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**(CLKCTRL.MCLKINTCTRL)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。

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 (CCP)

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12-2. CLKCTRL – 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
CLKCTRL.MCLKCTRLA	IOREG
CLKCTRL.MCLKCTRLB	
CLKCTRL.MCLKCTRLC	
CLKCTRL.MCLKINTCTRL	
CLKCTRL.OSCHFCTRLA	
CLKCTRL.OSC32KCTRLA	
CLKCTRL.XOSC32KCTRLA	
CLKCTRL.XOSCHFCTRLA	

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					PDIV3~0			PEN
+\$02	MCLKCTRLC	7~0					CFDSRC1,0		CFDTST	CFDEN
+\$03	MCLKINTCTRL	7~0	INTTYPE							CFD
+\$04	MCLKINTFLAGS	7~0								CFD
+\$05	MCLKSTATUS	7~0				EXTS/XOSCHFS	XOSC32KS	OSC32KS	OSCHFS	SOSC
+\$06	MCLKTIMEBASE	7~0				TIMEBASE4~0				
+\$07	予約									
+\$08	OSCHFCTRLA	7~0	RUNSTDBY	ALGSEL	FRQSEL3~0				AUTOTUNE1,0	
+\$09	OSCHFTUNE	7~0				TUNE6~0				
+\$0A	OSCHFSTATUS	7~0							ATLOCK	ATSYNC
+\$0B ~ +\$17	予約									
+\$18	OSC32CTRLA	7~0	RUNSTDBY							
+\$19 ~ +\$1B	予約									
+\$1C	XOSC32CTRLA	7~0	RUNSTDBY		CSUT1,0			SEL	LPMODE	ENABLE
+\$1D ~ +\$1F	予約									
+\$20	XOSCHFCTRLA	7~0	RUNSTDBY		CSUTHF1,0		FRQRANGE1,0		SELHF	ENABLE
+\$21 ~ +\$24	予約									
+\$25	USBPLLSTATUS	7~0								PLLS

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)ピンで利用可能か否かを制御します。

このビットはこれに'0'が書かれる時か、または供給元として主クロックでクロック障害検出(CFD)状態が起きた時に解除(0)されます。

このビットはこれに'1'が書かれる時に設定(1)されます。

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	0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 0	0 0 1 1	その他
名称	OSCHF	OSC32K	XOSC32K	EXTCLK	–
説明	内部高周波数発振器	32.768kHz 内部発振器	XOSC32KCTRLA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	XOSCHFCTRLAのSELHFビットに応じて外部クロックまたは外部高周波数クリスタル用発振器	(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 : \$00

特質 : 構成設定変更保護

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					PDIV3~0			PEN
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4~1 – 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)

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否かを制御します。

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。

12.5.3. MCLKCTRLC – 主クロック制御C (Main Clock Control C)

名称 : MCLKCTRLC

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
					CFDSRC1,0		CFDTST	CFDEN
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 – CFDSRC1,0 : クロック障害検出元 (Clock Failure Detection Source)

このビット領域は**クロック障害検出許可(CFDEN)ビット**が'1'の時にこのクロック元が監視されるかを制御します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	CLKMAIN	XOSCHF	XOSC32K	–
説明	主クロック	外部高周波数発振器	外部32.768kHz発振器	(予約)

注: このビット領域はCFDENビットが'1'で、**主クロック割り込み制御(CLKCTRL.MCLKINTCTRL)レジスタのクロック障害検出割り込み許可(CFD)ビットと割り込み型(INTTYPE)ビット**の両方が'1'の時に読み込み専用です。このビットはシステム リセットが起こるまで読み込み専用に残ります。

● ビット1 – CFDTST : クロック障害検出試験 (Clock Failure Detection Test)

このビットはCFD機能の試験を制御します。このビットへの'0'書き込みはこのビットを解除(0)して進行中のCFD試験障害状態を解消します。このビットへの'1'書き込みはこのビットを設定(1)してCFD障害状態を強制します。

値	0	1
説明	CFD機能の進行中試験なし	CFD障害状態が強制されます。

● ビット0 – CFDEN : クロック障害検出許可 (Clock Failure Detection Enable)

このビットはCFDが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	CFDは禁止	CFDは許可

注: このビット領域はCFDENビットが'1'で、**主クロック割り込み制御(CLKCTRL.MCLKINTCTRL)レジスタのクロック障害検出割り込み許可(CFD)ビットと割り込み型(INTTYPE)ビット**の両方が'1'の時に読み込み専用です。このビットはシステム リセットが起こるまで読み込み専用に残ります。

12.5.4. MCLKINTCTRL – 主クロック割り込み制御 (Main Clock Interrupt Control)

名称 : MCLKINTCTRL

変位 : +\$03

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
	INTTYPE							CFD
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	0	0	0	0

● ビット7 – INTTYPE : 割り込み型 (Interrupt Type)

このビットはCFD割り込みの型を制御します。

値	0	1
名称	INT	NMI
説明	通常割り込み	遮蔽不可割り込み

注: このビット領域は**主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出許可(CFDEN)ビット**が'1'で、**クロック障害検出割り込み許可(CFD)ビット**とこのビットの両方が'1'の時に読み込み専用です。このビットはシステム リセットが起こるまで読み込み専用に残ります。

● ビット0 – CFD : クロック障害検出割り込み許可 (Clock Failure Detection Interrupt Enable)

このビットはCFD割り込みが許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	CFD割り込みは禁止	CFD割り込みは許可

注: このビット領域は主クロック制御C(CLKCTRL.MCLKCTRLC)レジスタのクロック障害検出許可(CFDEN)ビットが'1'で、割り込み型(INTTYPE)ビットとこのビットの両方が'1'の時に読み込み専用です。このビットはシステム リセットが起こるまで読み込み専用に残ります。

12.5.5. MCLKINTFLAGS – 主クロック割り込み要求フラグ (Main Clock Interrupt Flag)

名称 : MCLKINTFLAGS

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								CFD
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 – CFD : クロック障害検出割り込み要求フラグ (Clock Failure Detection Interrupt Flag)

このビットはこれに'1'を書くことによって解除(0)されます。このフラグはクロック障害が検出された時に設定(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'書き込みはクロック障害検出割り込み要求(CFD)フラグを解除(0)します。

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

名称 : MCLKSTATUS

変位 : +\$05

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				EXTS/XOSCHFS	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4 – EXTS/XOSCHFS : 外部クリスタル/クロック状態 (External Crystal/Clock Status)

値	0	1
説明	外部高周波数発振器制御A(CLKCTRL.XOSCHFCTRLA)レジスタの供給元選択(SELHF)ビットが'0'の時に外部高周波数クリスタルは安定ではありません。 SELHFビットが'1'の時に外部高周波数クロックは動いていません。	SELHFビットが'0'の時に外部高周波数クリスタルは安定です。 SELHFビットが'1'の時に外部高周波数クロックは動いています。

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

値	0	1
説明	外部32.768kHz発振器制御A(CLKCTRL.XOSC32KCTRLA)レジスタの供給元選択(SEL)ビットが'0'の時に外部32.768kHzクリスタルは安定ではありません。 SELビットが'1'の時に外部32.768kHzクロックは動いていません。	SELビットが'0'の時に外部32.768kHzクリスタルは安定です。 SELビットが'1'の時に外部32.768kHzクロックは動いています。

● ビット2 – OSC32KS : 内部32kHz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。

12.5.7. MCLKTIMEBASE – 主クロック時間基準 (Main Clock 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ADC始動時間のような内部遅延タイミングに使われる1μs以上の周期を得るためのCLK_PER周期数を選びます。

12.5.8. 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	ALGSEL	FRQSEL3~0				AUTOTUNE1,0	
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	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)が常に動くか否かを制御します。

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6 – ALGSEL : 算法選択 (Algorithm Selection)

このビットはUSBバスリセット後にどの調整算法が使われるかを決めます。これは調整論理回路を構成設定するために自動発振器調整(AUTOTUNE)ビット領域へのSOF設定書き込みと同時に書かれなければなりません。このビットはSOF設定がAUTOTUNEビット領域に書かれる時にだけ考慮すべきです。

値	0	1
説明	二分検索(注)	最大5つの調整段階まで逐次検索

注: 二分検索算法の使用は発振器出力周波数を一時的に最大で調整範囲の半分まで変えるかもしれませんが、これはUSARTや計時器が生成するPWM波形のようにタイミングが重要な非同期周辺機能に影響を及ぼします。

●ビット5~2 – FRQSEL3~0 : 周波数選択 (Frequency Select)

このビット領域は内部高周波数発振器(OSCHF)出力周波数を制御します。

値	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	その他
名称	1MHz	2MHz	3MHz	4MHz	–	8MHz	12MHz	16MHz	20MHz	24MHz	–
説明(出力)	1MHz	2MHz	3MHz	4MHz(既定)	(予約)	8MHz	12MHz	16MHz	20MHz	24MHz	(予約)

●ビット1,0 – AUTOTUNE1,0 : 自動発振器調整 (Automatic Oscillator Tune)

このビット領域は内部高周波数発振器(OSCHF)自動調整機能が許可されるか否かを制御します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	OFF	32K	SOF	–
説明	自動発振器周波数調整禁止	XOSC32Kに対比する 自動発振器周波数調整許可	USBのSOFに対比する 自動発振器周波数調整許可	(予約)

12.5.9. 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
		TUNE6~0						
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6~0 – TUNE6~0 : 発振器周波数調節 (Oscillator Frequency Tune)

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に反映されるため、ビット6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)レジスタの自動発振器調整(AUTOTUNE)ビット領域が'00'以外の値を書かれる場合、TUNE値は施錠されます。AUTOTUNEが禁止されると、このビット領域が自動調整動作からの最新調整値で更新される前に最大3μsと3主クロック周期かかります。

12.5.10. OSCHFSTATUS – 内部高周波数発振器状態 (Internal High-Frequency Oscillator Status)

名称 : OSCHFSTATUS

変位 : +\$0A

リセット : \$00

特質 : –

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
							ATLOCK	ATSYNC
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1 – ATLOCK : 自動発振器調整固定化中 (Automatic oscillator tune in lock)

このビットは調整算法が正しい周波数で固定化された時に設定(1)されます。

値	0	1
説明	選んだ自動調整算法は固定化中ではありません。	選んだ自動調整算法は固定化中です。

● ビット0 – ATSYNC : 自動調整同期済み (Auto-tune Synchronized)

このビットは内部高周波数発振器制御A(OSCHFCTRLA)レジスタの自動発振器調整(AUTOTUNE)ビット領域へ書かれた新しい値が1MHzクロック領域に同期した時に設定(1)されます。

値	0	1
説明	同期進行中	同期終了/同期非進行中

12.5.11. 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7 – 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。

12.5.12. 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ポート操作を無効にします。

12.5.13. XOSCHFCTRLA – 外部高周波数クリスタル用発振器制御A (External High-Frequency Oscillator Control A)

名称 : XOSCHFCTRLA

変位 : +\$20

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		CSUTHF1,0		FRQRANGE1,0		SELHF	ENABLE
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 – 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'の時に外部高周波数発振器(XOSCHF)が常に動くか否かを制御します。

値	0	1
説明	XOSCHF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)	XOSCHF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、初期クリスタル始動時間が既に終わった場合、2 XOSCHF周期後に利用可能です。

● ビット5,4 – CSUTHF1,0 : 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(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	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	256	1K	4K	–
説明	256周期	1K周期	4K周期	(予約)

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XOSCHF状態(XOSCHFS)ビットが'1'の時に読み込み専用です。

● ビット3,2 – FRQRANGE1,0 : 周波数範囲 (Frequency Range)

このビット領域は外部クリスタルに対して支援される最大周波数を制御します。選んだ範囲が大きいほど発振器による消費電流が大きくなります。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	8M	16M	24M	32M
説明	最大8MHzクリスタル周波数	最大16MHzクリスタル周波数	最大24MHzクリスタル周波数	最大32MHzクリスタル周波数

注: 支援される最大CLK_CPU周波数よりも高い周波数のクリスタルが主クロックとして使われる場合、主クロック制御B(CLKCTRL.MCLKCTRLB)レジスタの前置分周器分周値(PDIV)ビット領域に適切な構成設定を書くことによって分周することが必要です。

● ビット1 – SELHF : 供給元選択 (Source Select)

このビットは外部高周波数発振器(XOSCHF)の供給元を制御します。

値	0	1
名称	XTAL	EXTCLK
説明	XTALHF1とXTALHF2のピンでの外部クリスタル	XTALHF1ピンでの外部クロック

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XOSCHF状態(XOSCHFS)ビットが'1'の時に読み込み専用です。

● ビット0 – ENABLE : 許可 (Enable)

このビットは外部高周波数発振器(XOSCHF)が許可されるか否かを制御します。

値	0	1
説明	XOSCHF発振器禁止	XOSCHF発振器許可、各々の発振器ピンに対する標準ピン操作を無効にします。

12.5.14. USBPLLSTATUS – USB PLL状態 (USB PLL Status)

名称 : USBPLLSTATUS

変位 : +\$25

リセット : \$00

特質 : –

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								PLLS
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 – PLLS : PLL状態 (PLL Status)**

このビットはPLLの状態を示します。

値	0	1
説明	PLLは動いていません。	PLLは動いています。

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。

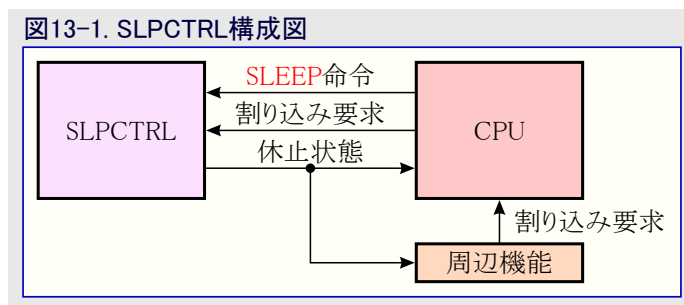
ソフトウェアが実行される1つの活動動作と3つの休止動作で利用可能な4つの動作形態があります。利用可能な休止動作形態はアイドル、スタンバイ、パワーダウンです。

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。

1. 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。

2. 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. 電圧調整器構成設定

電圧調整器はコア電圧を調整するのに使われます。この調整器は消費電力、休止からの起き上がり時間、最大クロック速度が釣り合うように構成設定することができます。

電圧調整器制御(SLPCTRL.VREGCTRL)レジスタは調整器始動時間と消費電力を構成設定するのに使われます。SLPCTRL.VREGCTRLの電力動作選択(PMODE)ビット領域はOSC32Kが許可された唯一の発振器でデバイスが休止動作の時に調整器を標準動作に切り替えさせるように設定することができます。標準動作では調整器がより少ない電力を消費しますが、制限された量の電流だけを供給することができ、低クロック周波数だけを許します。

次の電圧調整器電力動作の1つを選ぶことができます。

表13-1. 電圧調整器電力動作説明

電圧調整器電力動作	説明	条件	活動/アイドル	スタンバイ/パワーダウン
標準 (AUTO)	活動動作とアイドル動作で最大性能	外部クロックまたは高速発振器	最大性能	低電力
		32.768kHz発振器	低電力	低電力
性能 (FULL)	全動作(活動動作と休止動作)で最大性能、全休止動作から高速始動	-	最大性能	最大性能

13.3.3. 動作

13.3.3.1. 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 周辺機能やクロックに対してスタンバイ休止動作で走行が許可されていない限り、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。70℃を超える温度で動く時に、[電圧調整器制御\(SLPCTRL.VREGCTRL\)レジスタの高温低漏れ許可\(HTLLEN\)ビット](#)に'1'を書くことによって更に消費電力を減らすことができます。

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13-2. 周辺機能に対する休止動作活動概要

クロック	周辺機能	休止動作で活動			
		アイドル	スタンバイ	パワーダウン VREGCTRL.HTLLEN=0	パワーダウン VREGCTRL.HTLLEN=1
CLK_CPU	CPU	×	×	×	×
CLK_RTC	RTC	○	○ (注1,2)	○ (注2)	○ (注2)
CLK_WDT	WDT	○	○	○	○
CLK_BOD (注3)	BOD	○	○	○	○
(注4)	CCL	○	○ (注1)	×	×
CLK_PER	EVSYS	○	○	○	○
	ACn, ADCn, TCAn, TCBn	○	○ (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はRTC機能だけがRUNSTDBYビットの設定(1)を必要とします。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: CLK_BODはBODが採取動作で動いている時にだけ必要とされます。

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13-3. 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 VREGCTRL.HTLLEN=0	パワーダウン VREGCTRL.HTLLEN=1
主クロック元	○	○ (注1)	×	×
RTCクロック元	○	○ (注1,2)	○ (注2)	○ (注2)
WDT発振器、BOD発振器 (注3)	○	○	○	○
CCLクロック元	○	○ (注1)	○	○
USBクロック元	○	×	×	×

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はRTC機能だけがRUNSTDBYビットの設定(1)を必要とします。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: CLK_BODはBODが採取動作で動いている時にだけ必要とされます。

表13-4. 休止動作起こし元

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 VREGCTRL.HTLLEN=0	パワーダウン VREGCTRL.HTLLEN=1
PORTピン割り込み	○	○ (注1)	○ (注1)	○ (注1)
BOD VLM割り込み	○	○	○	○
RTC割り込み	○	○ (注2,4)	○ (注4)	○ (注4)
周期割り込み	○	○	○ (注4,5)	×
TWIアドレス一致割り込み	○	○	○ (注5)	×
CCL割り込み	○	○ (注2)	○ (注3)	○ (注3)
USARTフレーム開始、TCAn、TCBn、ADCn、ACn、USB再開の割り込み	○	○	×	×
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はRTC機能だけがRUNSTDBYビットの設定(1)を必要とします。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5: 高温低漏れが許可(即ち、電圧調整器制御(SLPCTRL.VREGCTRL)レジスタの高温低漏れ許可(HTLLEN)ビット='1')の時に利用不能です。

13.3.3.2. 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)でクロックが使われる場合に内部32.768kHz低電力発振器(OSC32K)と実時間クロック(CLK_RTC)だけが動くかもしれません。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13-5. 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 + 調整器始動時間)
パワーダウン	6クロック周期 + (OSC始動時間 + 調整器始動時間)

13.3.4. 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。

13.3.5. 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。これらのレジスタへ書くには最初に構成設定変更保護(CPU.CCP P)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13-6. SLPCTRL – 構成設定変更保護下のレジスタ

レジスタ	鍵種別
SLPCTRL.VREGCTRL	IOREG

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						SMODE2～0		SEN
+\$01	VREGCTRL	7～0				HTLLEN			PMODE2～0	

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
						SMODE2~0		SEN
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3~1 - SMODE2~0 : 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望む休止動作形態を選びます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	その他
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)

選んだ休止動作にマイクロ コントローラ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。

13.5.2. VREGCTRL - 電圧調整器制御 (Voltage Regulator Control)

名称 : VREGCTRL

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
				HTLLEN			PMODE2~0	
アクセス種別	R	R	R	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4 - HTLLEN : 高温低漏れ許可 (High-Temperature Low Leakage Enable)

このビットは70℃を超える温度で動作している時に漏れ電流が減らされるか否かを制御します。

値	0	1
名称	OFF	ON
説明	高温低漏れ禁止(1)	高温低漏れ許可(2,3)



- スタンバイ休止動作へ入る場合、このビットは'0'でなければなりません。
- これは電力動作選択(PMODE)が**AUTO**に設定される時にだけ有効で、パワーダウン休止動作に対してだけ使われなければなりません。
- このビットに'1'を書く前にTWIアドレス一致とCCLの起き上がり元が禁止されなければなりません。

● ビット2~0 - PMODE2~0 : 電力動作選択 (Power Mode Select)

このビット領域は電圧調整器の駆動能力を制御します。

値	0 0 0	0 0 1	その他
名称	AUTO	FULL	-
説明	調整器は32.768kHz発振元が選ばれている限り、活動とアイドルの動作で最大性能で動きます。深い休止動作で節電します。	全動作で最大性能電圧調整器駆動能力。休止動作からより速い始動。	(予約)

14. RSTCTRL – リセット制御器

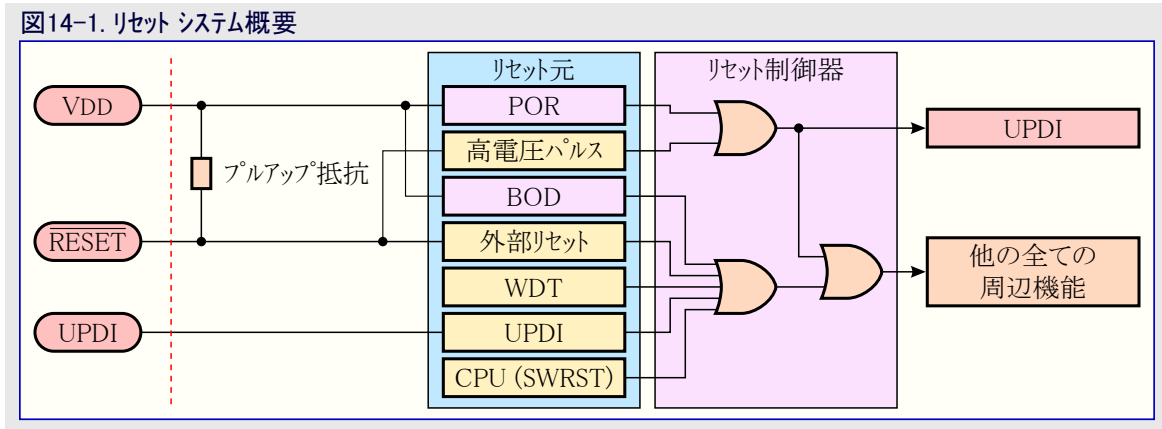
14.1. 特徴

- ・ 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。リセット要求を受け取ると、デバイスを初期状態に設定し、そしてソフトウェアによる識別をリセット元に許します。リセット制御器はソフトウェア リセット(SWRST)を発行するのにも使うことができます。

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。

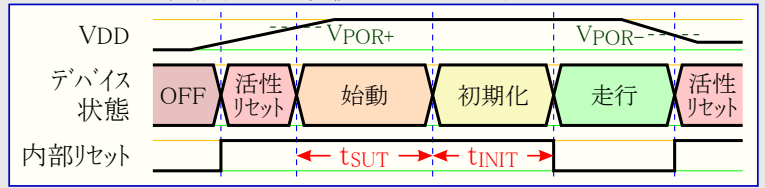
供給元に基ついて次のように2つのリセット形式があります。

- ・ 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)

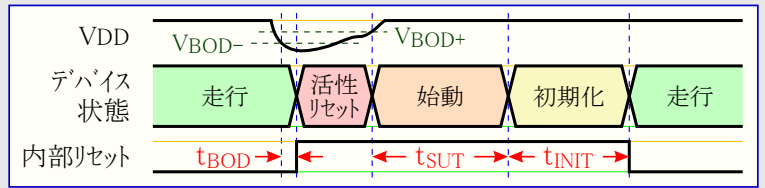


14.3.2.1.2. 低電圧検出器 (BOD) リセット

低電圧検出器(BOD)は使用者によって許可されることが必要です。BODは電圧が設定した閾値未満に落ちた時にコード実行を防ぎ、応用によって必要とされる速度で発振器が動くのに必要とされる電圧水準を保証し、低い電圧水準のためのコード化けを避けます。

BODはシステムリセットを発行して電圧水準が設定した閾値を超えて増えるまで開放しません。チップ上のBOD回路はそれを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に対する起動基準は**BOD構成設定(FUSE.BODCFG)**ヒューズによって選ばれなければなりません。

図14-3. 低電圧検出器リセット



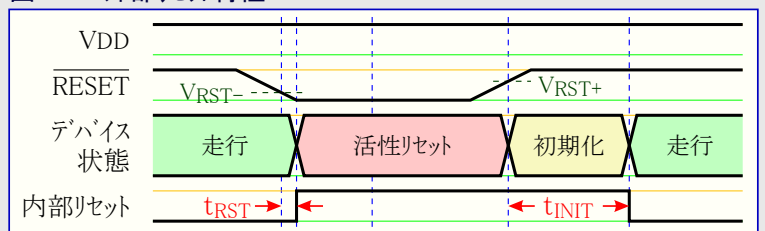
14.3.2.1.3. 外部リセット (RESET)

RESETピンは短い立ち下がりパルスをなくす雑音濾波器を必要とします。入力濾波はRESETが最小時間量の間Lowの時にだけ外部リセット事象が発行されることを保証します。RESET信号の最小パルス幅については「**電気的特性**」章をご覧ください。

外部リセットは**システム構成設定0(FUSE.SYSCFG0)**ヒューズの**リセットピン構成設定(RSTPINCFG)**ビット領域を構成設定することによって許可されます。

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ピンが再びHighになるまでリセットに留まります。

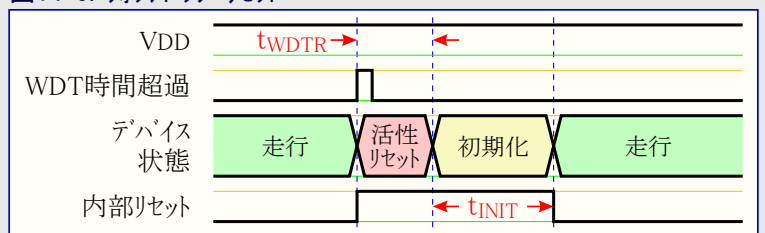
図14-4. 外部リセット特性



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てください。

図14-5. ウォッチドッグ リセット



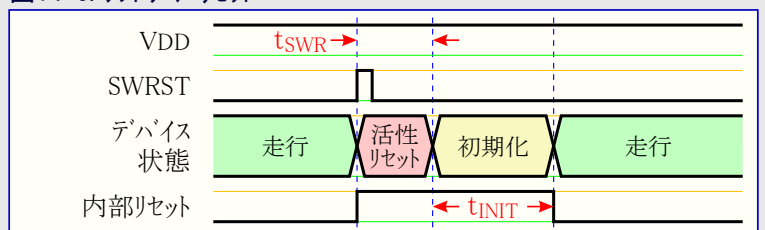
注: tWDT時間は概ね150nsです。

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(SWRST)**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。「**UPDI - 統一プログラム/デバッグ インターフェース**」章でより多くの詳細を見つけてください。

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)
BOD構成設定のリセット	○	○	×	×	×	×	×
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								SWRST

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)を除き、電源ONリセット(POR)によって解除(0)されます。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、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パルスによって引き起こされたリセットが起きたかのどちらかの場合に'1'に設定されます。

● 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'1'に設定されます。

● 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'1'に設定されます。

● 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'1'に設定されます。

● 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'1'に設定されます。

● 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リセットが起きた場合に'1'に設定されます。

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
								SWRST
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 – SWRST : ソフトウェア リセット (Software Reset)

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。

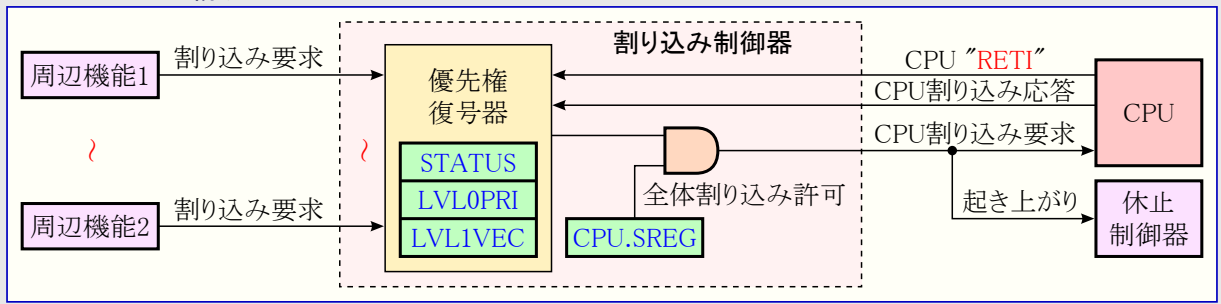
割り込みが許可されて構成設定されると、割り込み条件が発生する時に割り込み要求を生成します。

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た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

図15-1. CPUINT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.LVL1VEC)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

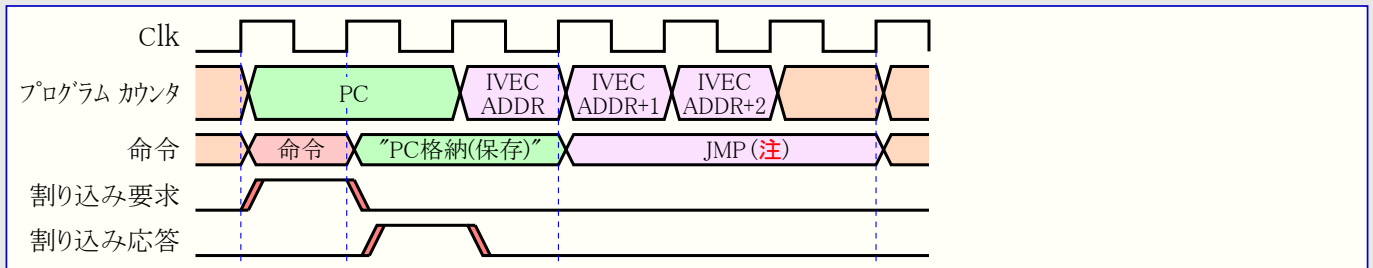
最小割り込み応答時間は右表で表されます。

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。

表15-1. 最小割り込み応答時間

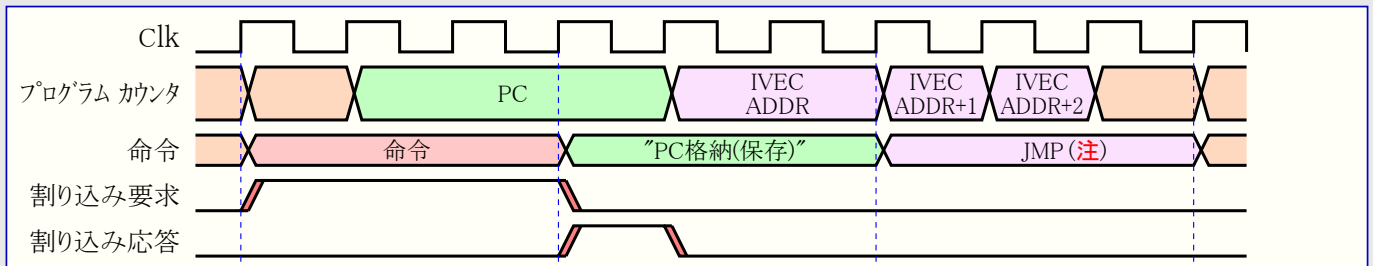
進行処理内容	フラッシュメモリ量 > 8Kバイト	フラッシュメモリ量 ≤ 8Kバイト
進行中の命令終了	1周期	1周期
PCをスタックに格納	2周期	2周期
割り込み処理部へ飛ぶ	3周期 (JMP)	2周期 (RJMP)

図15-2. 単一周周期命令の割り込み実行



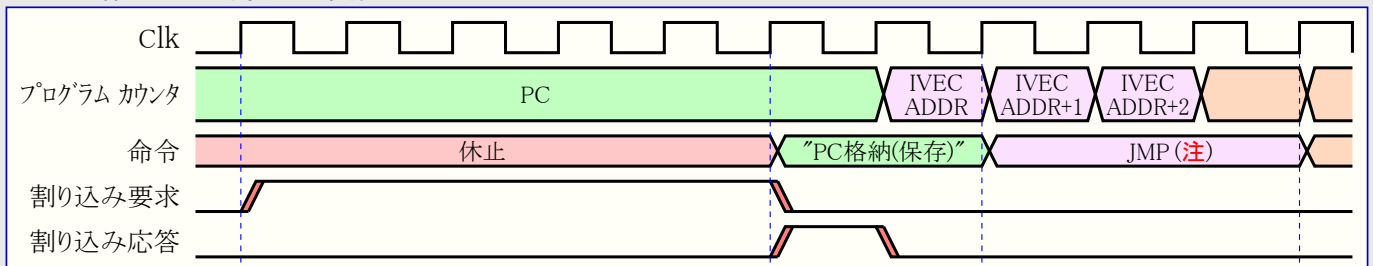
複数周期命令の実行中に割り込みが起きる場合、次図で示されるように、割り込みが処理される前にこの命令が完了されます。

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きる場合、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

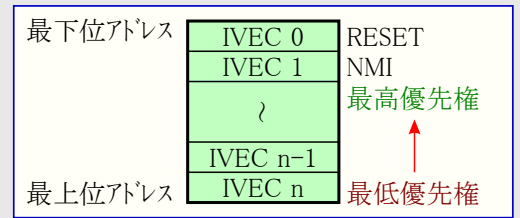
NMI以外の全ての割り込みベクタは既定で優先段位0(標準)に割り当てられます。これらのベクタの1つを高優先ベクタとして割り当てることによってこれを覆すかもしれません。デバイスは多くの標準優先ベクタを持ち、それらのいくつかが同時に保留中かもしれません。どの保留中標準優先割り込みを先に処理するかを選ぶために静的とラウンドロビンの異なる2つの計画機構が利用可能です。

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



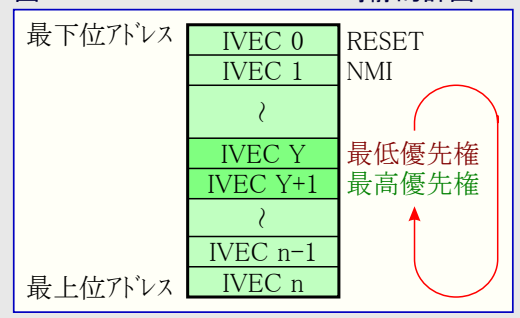
15.3.2.4.3.2. 変更した静的計画

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

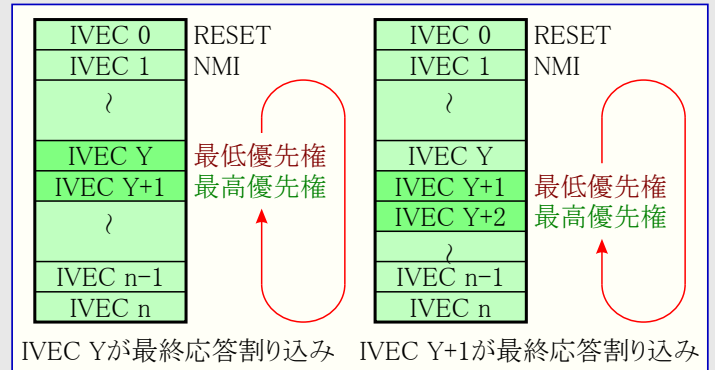


15.3.2.4.3.3. ラウンドロビン計画

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					LVL0RR
+\$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_I)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_I)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_I)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。

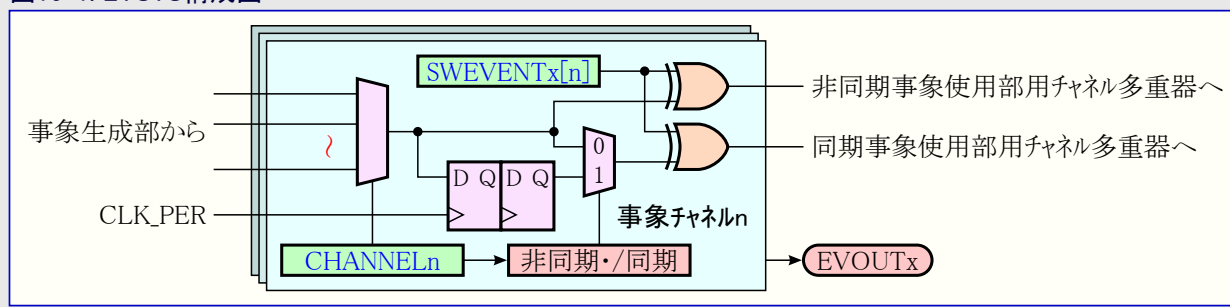
事象生成部の状態の変化は事象として参照され、通常、周辺機能の割り込み条件の1つに対応します。事象は専用の事象経路網を用いて他の周辺機能へ直接送ることができます。各チャネルの配線は事象生成と使用を含め、ソフトウェアで構成設定されます。

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

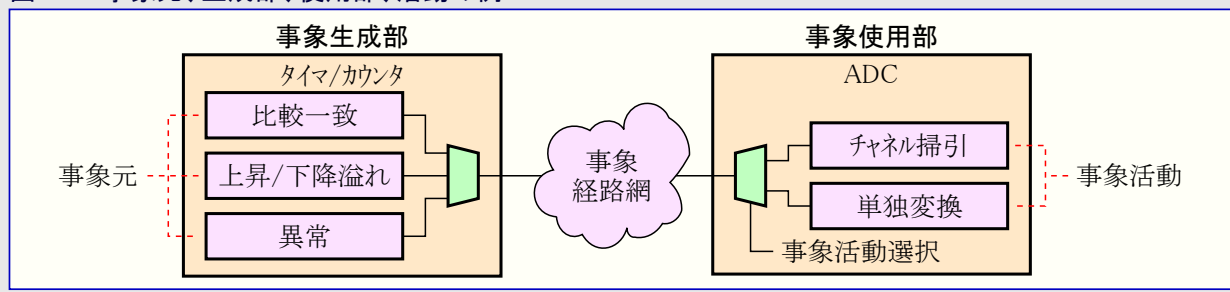
図16-1. EVSYS構成図



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证するために最低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	レベル	CLK_UPDI	CLK_UPDIに同期した UPDI受信入力でのSYNCH文字
RTC	OVF	溢れ	パルス	CLK_RTC	1 CLK_RTC周期
	CMP	比較一致			前置分周したCLK_RTC周期
	EVGEN0	選択可能な前置分周した	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
	EVGEN1	RTC事象			
CCL	LUTn	LUT出力レベル			
ACn	OUT	比較器出力レベル			
ADCn	RESRDY	結果準備可			
	SAMPDRDY	採取(試料)準備可	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	WCMP	窓比較			
PORTx	EVGENn	ピンレベル	レベル	非同期	ピンレベルで与えられる
USARTn	XCK	USARTポー クロック	レベル	TXCLK	最小2 CLK_PER周期
SPI0	SCK	SPI主装置クロック			
TCA0	OVF_LUNF	溢れ/下位バイト計時器下溢れ			
	HUNF	上位バイト計時器下溢れ			
	CMP0_LCMP0	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			
	CMP1_LCMP1	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_LCMP2	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			
TCBn	CAPT	CAPTフラグ設定(1) (注)	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	OVF	計数器溢れ			
USB	SETUP	SETUP受信			
	SOF	SOF指示票受信			
	CRC	CRC異常			
	UNFOVF	USB上/下溢れ			
	RX	データバイト受信			
	TX	データバイト送信			

注: 計時器の動作形態はCAPTフラグが掲げられる時に決まります。詳細については「TCB」章を参照してください。

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全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	LUT入力xまたはクロック信号	検出なし	
ADC0	START	事象でのADC開始	端	非同期
EVSYS	EVOUTx	事象信号をピンへ転送	検出なし	
USARTn	IRDA	IrDA動作入力	レベル	
TCA0	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		
		事象レベルが計数方向を制御 (Low時上昇、High時下降)	レベル	
	CNTB	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	端	同期
		両事象端で計数器再始動		
		事象信号がHighの間再始動	レベル	
TCBn	CAPT	制限時間検査		
		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	端	
		計数捕獲周波数/パルス幅測定		
		単発		両方
	COUNT	事象で計数		同期

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応答できるよう、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. デバッグ操作

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	SWEVENTB	7~0	SWEVENTB7~0							
+\$02 ~ +\$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							
~	~	~	~							
+\$33	USER19	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 : SWEVENTB

変位 : +\$00 : +\$01

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8と9)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。

生成部			同期/ 非同期	説明	チャンネル可用性
値	名称				
	周辺機能	出力			
\$01	UPDI	SYNCH	同期	同期(SYNCH)文字検出の上昇端	
\$06	RTC	OVF		計数器溢れ	
\$07		CMP		比較一致	
\$08		EVGEN0	非同期	選択可能な前置分周したRTC事象	
\$09		EVGEN1			
\$10		LUT0			
\$11	LUT1	LUT出力レベル			
\$12	LUT2				
\$13	LUT3				
\$20	AC0	OUT		比較器出力レベル	
\$24	ADC0	RESRDY	同期	結果準備可	
\$25		SAMPRDY		採取(試料)準備可	
\$26		WCMP		窓比較	
\$40	PORTA (注1)	EVGEN0	非同期	ピンレベル (注2)	
\$41		EVGEN1			
\$44	PORTC (注1)	EVGEN0			
\$45		EVGEN1			
\$46	PORTD (注1)	EVGEN0			
\$47		EVGEN1			
\$4A	PORTF (注1)	EVGEN0		全チャンネル	
\$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	
\$61	USART1				
\$68	SPI0	SCK		SPI主装置クロック信号	
\$80	TCA0	OVF_LUNF		溢れ/下位バイト計時器下溢れ	
\$81		HUNF		上位バイト計時器下溢れ	
\$84		CMP0_LCMP0		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	
\$85		CMP1_LCMP1		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	
\$86		CMP2_LCMP2		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	
\$A0	TCB0	CAPT	同期	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	
\$C0	USB0	SETUP		SETUP受信	
\$C1		SOF		SOF指示票受信	
\$C2		CRC		CRC異常	
\$C3		UNFOVF		USB上/下溢れ	
\$C4		RX		データバイト受信	
\$C5		TX		データバイト送信	

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チャネル多重器 (User Channel Mux)

名称 : USERn

変位 : +\$20+n [n=0~19]

リセット : \$00

特質 : -

各事象使用部は1つの事象チャ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	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	非同期	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	同期	CCL LUT3事象入力A
7 (\$7)		LUT3B		CCL LUT3事象入力B
8 (\$8)		START		事象でADC開始
9 (\$9)	EVSYS	EVOUTA	同期	事象出力(ピン出力)A
10 (\$A)		EVOUTD		事象出力(ピン出力)D
11 (\$B)		EVOUTF (注1)		事象出力(ピン出力)F
12 (\$C)	USART0	IRDA	同期	USART0 IrDA事象入力
13 (\$D)	USART1	IRDA		USART1 IrDA事象入力
14 (\$E)	TCA0	CNTA		事象で計数または計数方向制御
15 (\$F)		CNTB	両方 (注2)	事象で再始動または計数方向制御
16 (\$10)	TCB0	CAPT	同期	開始、停止、捕獲、再始動、または計数器解消
17 (\$11)		COUNT	同期	事象で計数
18 (\$12)	TCB1	CAPT	両方 (注2)	開始、停止、捕獲、再始動、または計数器解消
19 (\$13)		COUNT	同期	事象で計数

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。

注2: タイマ/カウンタ動作形態に依存。詳細については「[TCB](#)」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 : 使用部チャネル選択 (User Channel Selection)

使用部がどの事象システム チャ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	EXTBRK		EVOUTF		EVOUTD			EVOUTA
+\$01	CCLROUTEA	7～0					LUT3	LUT2	LUT1	LUT0
+\$02	USARROUTEA	7～0				USART11,0		USART02～0		
+\$03 ～ +\$04	予約									
+\$05	SPIROUTEA	7～0						SPI02～0		
+\$06	TWIRROUTEA	7～0						TWI01,0		
+\$07	TCARROUTEA	7～0						TCA02～0		
+\$08	TCBROUTEA	7～0							TCB1	TCB0

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
	EXTBRK		EVOUTF		EVOUTD			EVOUTA
アクセス種別	R/W	R	R/W	R	R/W	R	R	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット7 - EXTBRK : 外部中断ピン (External Break Pin)

このビットは外部中断信号用ピンを選びます。

値	0	1
名称	DEFAULT	ALT1
説明	PA6で外部中断信号	PA2で外部中断信号

●ビット5,3,0 - EVOUTx : 事象出力x (Event Output x)

これらのビットは事象出力x用ピン位置を制御します。(訳補:事象出力xの既定はポートxの2番ピン、代替はポートxの7番ピン)

値	0	1
名称	DEFAULT	ALT1
説明	F:PF2, D:PD2, A:PA2	F:PF7, D:PD7, A:PA7

17.3.2. CCLROUTEA - CCL LUTnピン位置 (CCL LUTn 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
					LUT3	LUT2	LUT1	LUT0
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2,0 - LUTn : CCL LUTn信号 (CCL LUTn Signals) (訳補:LUT2~0は各々ポートF,ポートD,ポートC,ポートAに対応)

これらのビットはCCL LUTn信号用ピン位置を制御します。

値	0	1
名称	DEFAULT	ALT1
説明	IN2	3:(予約), 2:PD2, 1:---, 0:PA2
	IN1	3:(予約), 2:PD1, 1:(予約), 0:PA1
	IN0	3:(予約), 2:PD0, 1:(予約), 0:PA0
	OUT	3:(予約), 2:PD6, 1:(予約), 0:PA6

17.3.3. USARTROUTEA - USARTnピン位置 (USARTn 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				USART11,0			USART02~0	
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4,3,2~0 - USARTn1,0/2~0 : USARTn信号 (USART n Signals) (訳補:USART1,0の基本はポートD,Aに対応)

これらのビット領域はUSARTn信号用ピン位置を制御します。

値	0 0 / 0 0 0	0 1 / 0 0 1	1 0 / 0 1 0	1 1 / 0 1 1	1 0 0	その他
名称	DEFAULT	- / ALT1	ALT2	NONE / ALT3	-	NONE
説明	TxD	1:なし, 0:PA0	1:(予約), 0:PA4	1:PD6, 0:PA2	1:なし, 0:PD4	1:×, 0:(予約)
	RxD	1:なし, 0:PA1	1:(予約), 0:PA5	1:PD7, 0:PA3	1:なし, 0:PD5	1:×, 0:(予約)
	XCK	1:なし, 0:PA2	1:(予約), 0:PA6	1:なし, 0:なし	1:なし, 0:PD6	1:×, 0:(予約)
	XDIR	1:なし, 0:PA3	1:(予約), 0:PA7	1:なし, 0:なし	1:なし, 0:PD7	1:×, 0:(予約)

ピン
接続
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	-	-	-	ALT4	-	-	NONE
説明	MOSI	PA4	(予約)	(予約)	(予約)	(予約)	(予約)	ピン接続なし
	MISO	PA5						
	SCK	PA6						
	SS	PA7						

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主装置動作と従装置動作の両方でのTWI0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	-	ALT3
説明	SDA	PA2	(予約)	PA0
	SCL	PA3		PA1

17.3.6. TCAROUTEA – TCA_nピン位置 (TCA_n Pin Position)

名称 : TCAROUTEA

変位 : +\$07

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TCA02~0							
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 – TCA02~0 : TCA0信号 (TCA0 Signals)

これらのビット領域はTCA0用ピン位置を制御します。

値	0 0 0	0 0 1	1 0 0	1 0 1	その他
名称	PORTA	PORTC	PORTD	PORTF	-
説明	PA0,PA1,PA2,PA3,PA4,PA5	-, -, PC3, -, -	PD0,PD1,PD2,PD3,PD4,PD5	PF0,PF1,PF2,PF3,PF4,PF5	(予約)

(訳注) 左からWO0,WO1,WO2,WO3,WO4,WO5の順で、PORTCのWO0,WO1,WO2,WO4,WO5は存在しません。

17.3.7. TCBROUTEA – TCB_nピン位置 (TCB_n 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 – TCB_n : TCB_n出力 (TCB_n Output)これらのビットはTCB_n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

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
- 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。

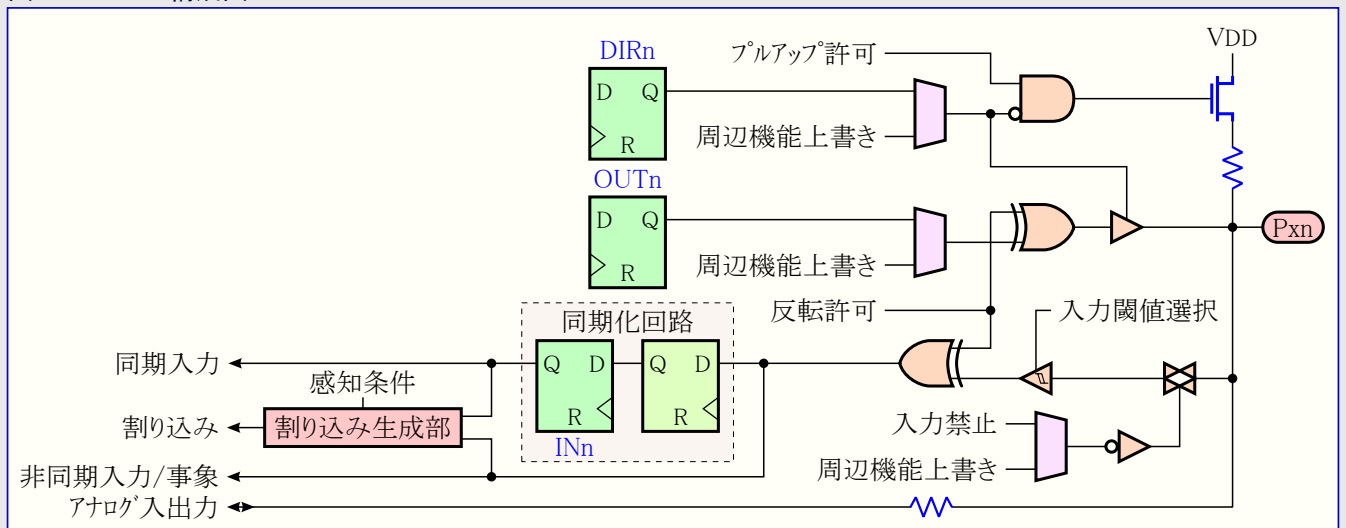
PORTは選択可能なピン変化条件に対して割り込みと事象と共に非同期の入力感知も支援します。非同期ピン変化感知はCLK_PERが停止される休止動作を含み、割り込みを起動して休止からデバイスを起き上がらせることができることを意味します。

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、例えば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)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. 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n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。プルアップは例えば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n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。

18.3.2.3. 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18-1. 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

18.3.2.4. 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18-2. 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
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ば、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、例えば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18-3. 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、事象システムに対応する出力は'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の結果になるかもしれません。

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 ~ +\$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。

18.5.5. 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n(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n(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(P_{xn})の変化または状態がピン制御(PORT_x.PIN_nCTRL)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_n割り込み要求フラグを解除(0)します。**18.5.11. 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_n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_n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n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。

18.5.12. 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n選択 (Event Generator n Select)

このビット領域はどのピンが事象生成部n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	Px0	Px1	Px2	Px3	Px4	Px5	Px6	Px7

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

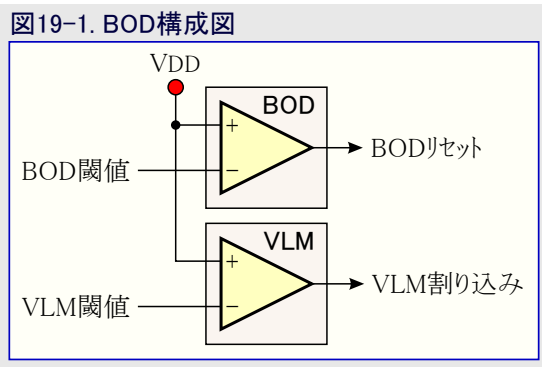
19.2. 概要

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えることができます。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は例えば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

表19-1. 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
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。

割り込み条件が起こると、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え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えることができます。

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とSAMPFREQのビット	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

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。

これらのビットは構成設定変更保護(CCP)下ではありません。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DIS	ENABLED	SAMPLE	ENWAKE
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。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DIS	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	1.90V	2.45V	2.70V	2.85V	(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。

・ 代表値列の値は代表値です。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。

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基準 (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

- 全てのアナログ比較器(AC0)間で共用される1つの設定可能な基準電圧源
- 参照基準元は以下の電圧を支援
 - 1.024V
 - 2.048V
 - 4.096V
 - 2.500V
 - VDD
 - VREFA

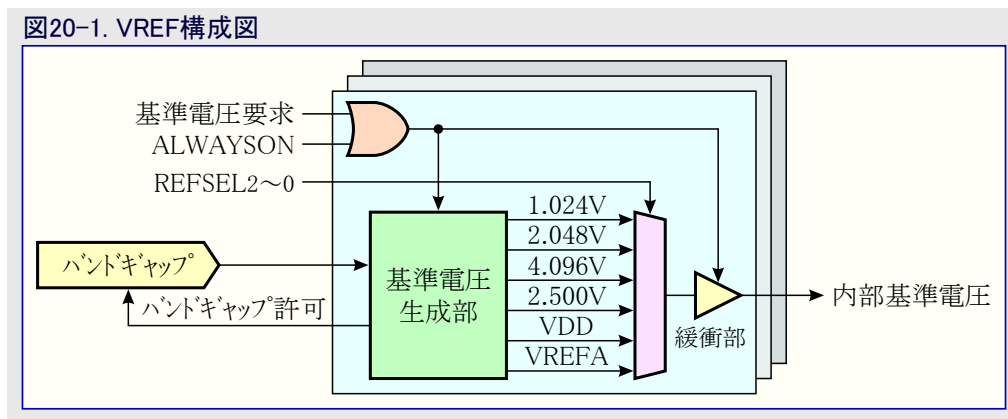
20.2. 概要

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。

注: ADC周辺機能内のレジスタがADC電圧参照基準を制御します。

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、従って、**アナログ比較器参照基準(VREF.ACREF)レジスタの参照基準常時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ます。**これは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	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 : +\$00

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	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	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

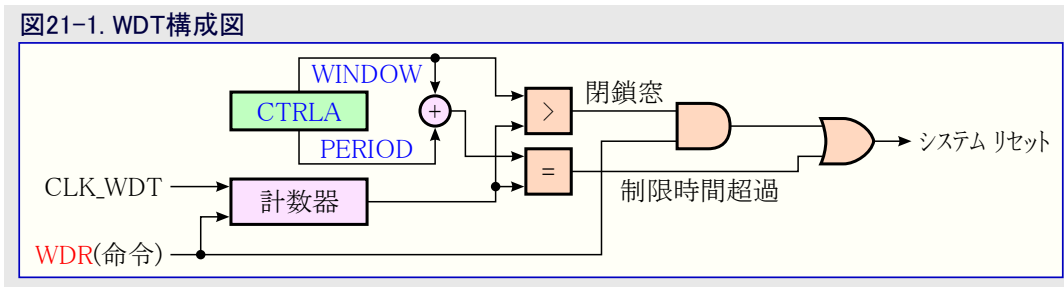
ウォッチドッグ タイマ(WDT)は正しいプログラム動作を監視するためのシステム機能です。許可されると、WDTは構成設定可能な時限期間で継続的に計時器を動かします。WDTが制限期間内にリセットされなければ、システム リセットを発行し、これは暴走や停滞されたコードのような状況からの回復をシステムに許します。WDTはソフトウェアからWDR(Watchdog Timer Reset)命令を実行することによってリセットされます。

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、例えば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。

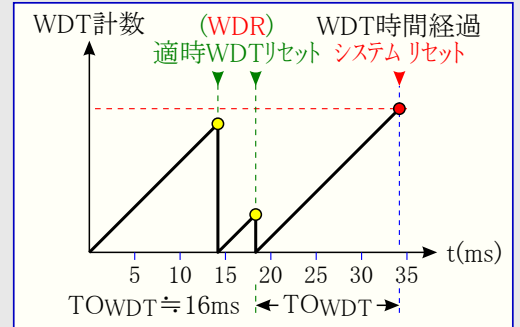
WDTがWDR命令を用いてソフトウェアによってリセットされる時毎に新しいWDT時限期間が開始されます。

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。

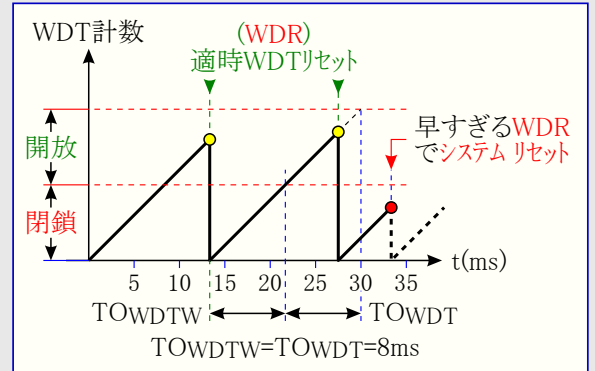
- TOWDTWはWDTをリセットされるべきではない8msから8sまでの持続期間を定義します。この期間の間にWDTがリセットされた場合、WDTはシステムリセットを発行します。
- TOWDTも8msから8sで、WDTをリセットすることができる(すべき)間の開放持続期間を定義します。開放期間は常に閉鎖期間に続き、故に時限期間の総持続期間は閉鎖窓と開放窓の時限期間の合計です。

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. RTC – 実時間計数器

22.1. 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

22.2. 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:Periodic 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がらせたり、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30.5μs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)。

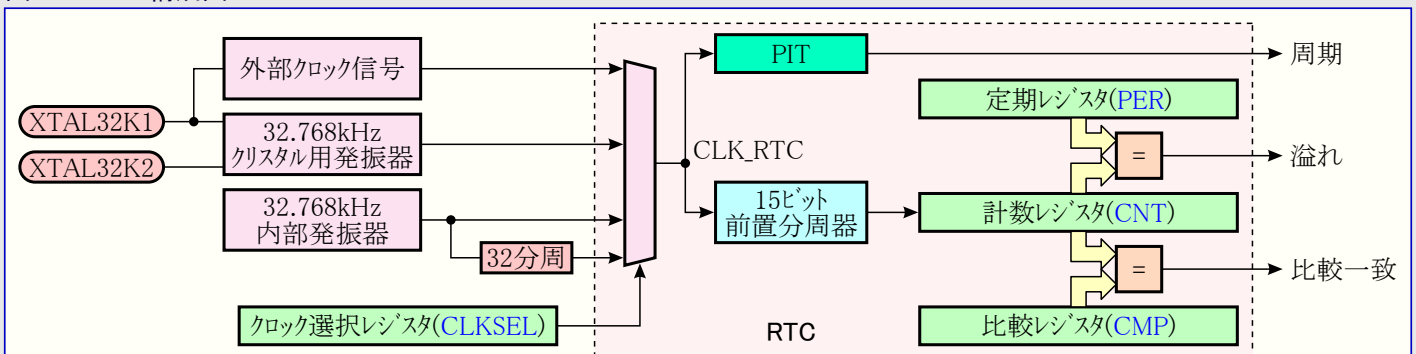
RTCは外部クリスタル選択を用いる動作時のクリスタル誤差修正を支援します。修正のために外部的に校正された値が使われます。ソフトウェアはRTCを±1ppmで調整することができ、最大調整は±127ppmです。RTC修正動作はクリスタル誤差を考慮するために前置分周器を(計数を飛ばすことによる)加速または(余分な計数を追加することによる)減速のどちらかを行います。

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。

22.2.1. 構成図

図22-1. RTC構成図



22.3. 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。

22.4. 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。

22.4.1. 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。

22.4.1.1. 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。

22.4.1.2. 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。**

22.4.2. 操作 – RTC

22.4.2.1. 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。

22.5. 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。

22.5.1. 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. 「22.4.1.1. 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。**

22.5.2. 操作 – PIT

22.5.2.1. 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。

22.5.2.2. 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

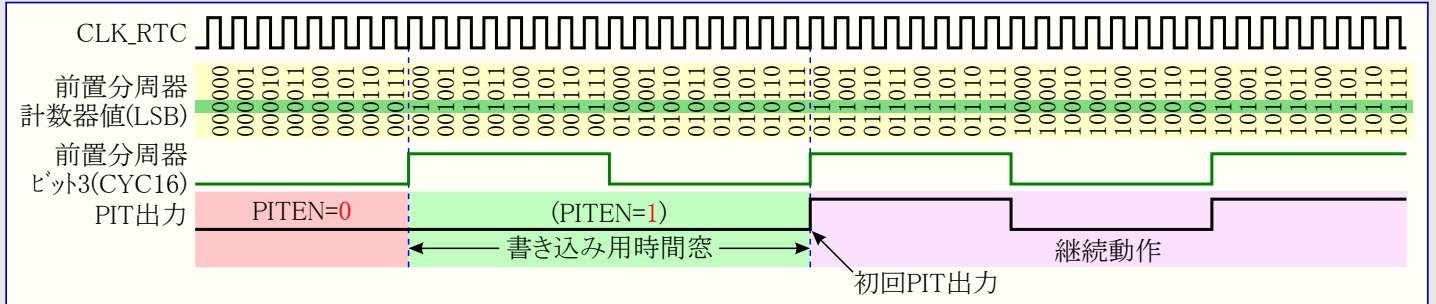
初回割り込み後、PITは完全なPIT周期信号に帰着する1/2 PIT周期毎の交互切り替えを続けます。

例22-1. 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22-2. PIT許可と初回割り込み間のタイミング



22.6. 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。

22.7. 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22-1. 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	CLK_RTC	1 CLK_RTC周期
	CMP	比較一致			
	EVGEN0	前置分周したCLK_RTC	レベル		選んだ前置分周器事象によって定義
	EVGEN1				

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。

22.8. 割り込み

表22-2. 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	- 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 - 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
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。

22.9. 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。

22.10. 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。

22.11. 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。

22.12. 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	PITEVGENCTRLA	7~0	EVGEN1SEL3~0				EVGEN0SEL3~0			

22.13. レジスタ説明

22.13.1. 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	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	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	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	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。

22.13.2. 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。

22.13.3. 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。

22.13.4. 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。

22.13.5. 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

22.13.6. 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

22.13.7. 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)

22.13.8. 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	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	1K	16K	32K	64K
説明	OSC32Kからの 32.768kHz	OSC32Kからの 1.024kHz	XOSC32Kからの 32.768kHz	XTAL32K1ピンからの 外部クロック

22.13.9. 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	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 : 計数値上位バイト (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 : 計数値下位バイト (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)されているの確認しなければなりません。

22.13.10. 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	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	6	5	4	3	2	1	0
	PER7~0							
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)されているの確認しなければなりません。

22.13.11. 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。

22.13.12. 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。

22.13.13. 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。

22.13.14. 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

22.13.15. 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。

22.13.16. 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
								DBG RUN
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 – DBG RUN : 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

22.13.17. 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
	EVGEN1SEL3~0				EVGEN0SEL3~0			
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 – EVGENnSEL3~0 : 事象生成n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)

23. TCA - 16ビット タイマ/カウンタA型

23.1. 特徴

- 16ビット タイマ/カウンタ
- 3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
- 分割動作での2つの8ビット タイマ/カウンタ

23.2. 概要

柔軟な16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)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。

TCAは基本計数器と比較チャンネルの組から成ります。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。それは方向制御を持ち、タイミングに周期設定を使うことができます。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、パルス幅波形変調を実行するのに使うことができます。

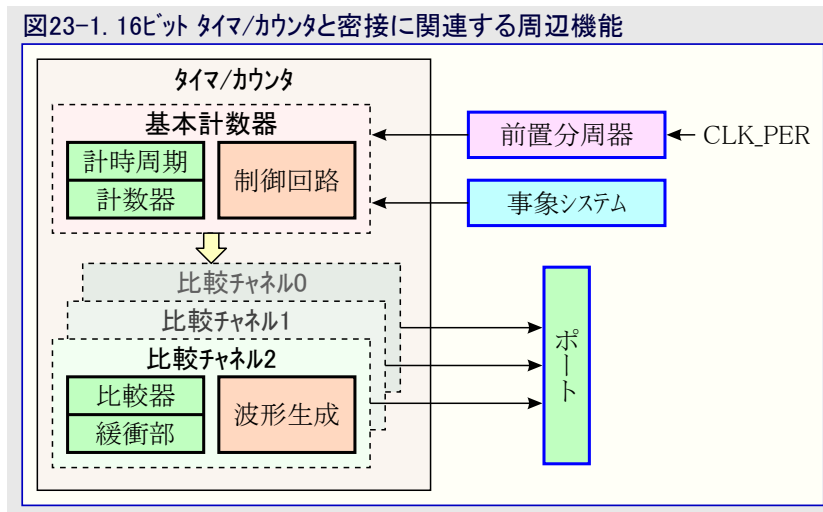
動作形態に依存して、計数器は各タイマ/カウンタ クロックまたは事象入力で解消、再設定、増加、減少されます。

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。

既定で、TCAは16ビット タイマ/カウンタです。このタイマ/カウンタは各々3つの比較チャンネルを持つ2つの8ビット タイマ/カウンタに分割する分割動作機能を持ちます。使う動作形態に応じて、レジスタのアドレス付けや、ビット遮蔽と群構成設定の使用は以降のように、レジスタに対してTCAn.SINGLE.REGISTERまたはTCAn.SPLIT.REGISTER、ビット遮蔽と群構成設定の例としてTCA_SINGLE_CLKSEL_DIV1_gcまたはTCA_SPLIT_CLKSEL_DIV1_gcのどちらかとして行われます。

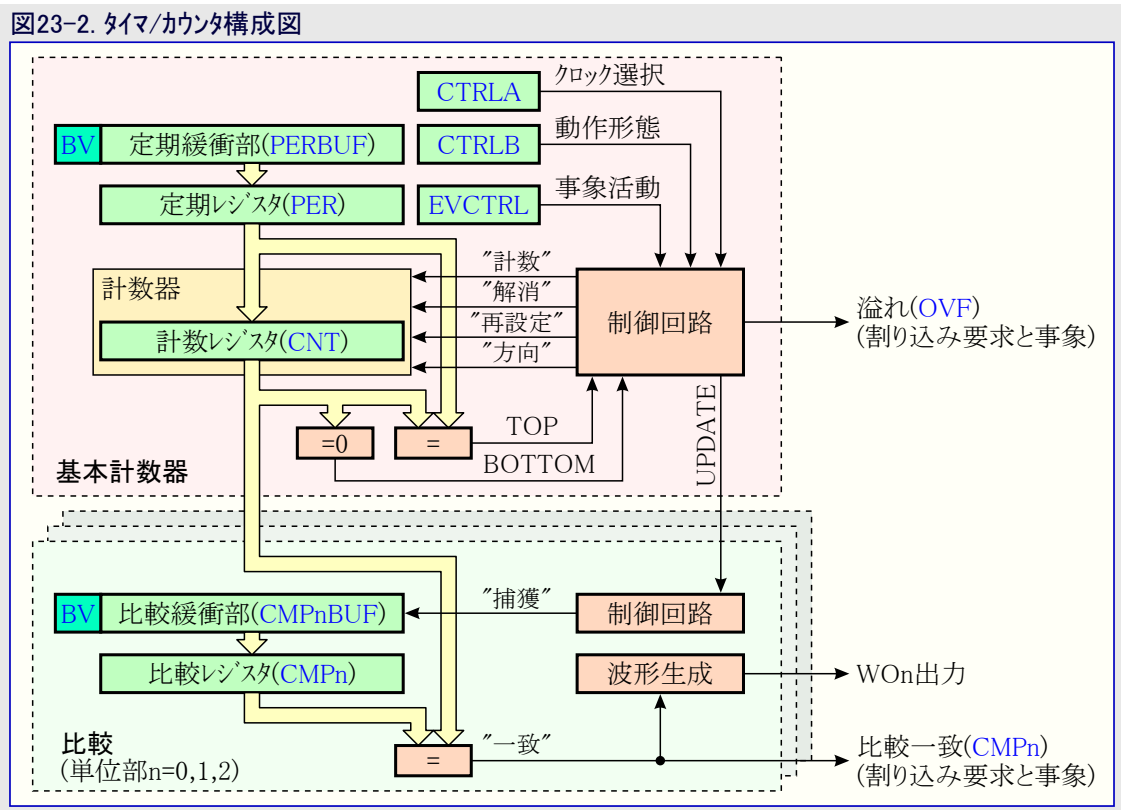
本章でレジスタはTCAn.REGISTERとしてアドレス付けされます。

下図は密接に関連する(青枠の(訳注:原書は灰色の))周辺機能単位部を伴う16ビット タイマ/カウンタの構成図を示します。



23.2.1. 構成図

下図はこのタイマ/カウンタの詳細な構成図を示します。



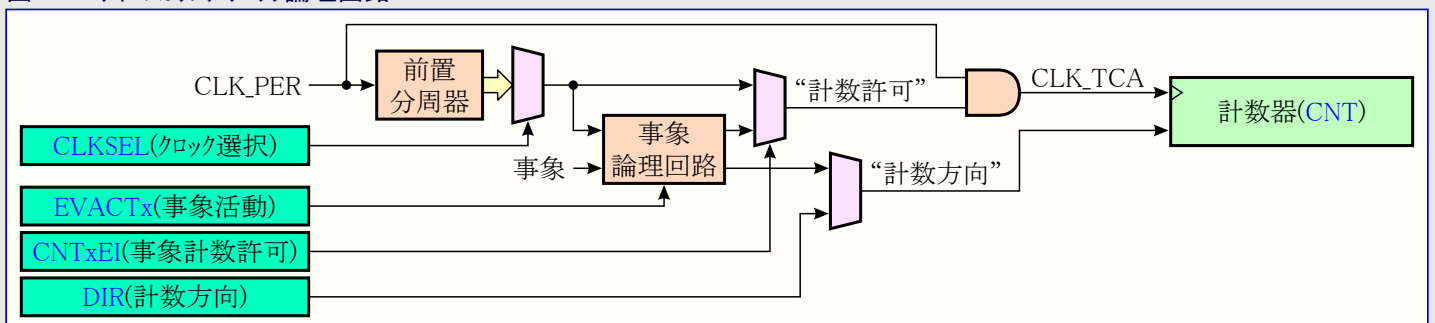
計数(TCAn.CNT)レジスタ、定期と比較(TCAn.PERとTCAn.CMPn)のレジスタ、それらに対応する(TCAn.PERBUFとTCAn.CMPnBUF)の緩衝レジスタは16ビットレジスタです。全ての緩衝レジスタは緩衝部が新しい値を含む時を示す緩衝有効(BV)フラグを持ちます。

標準動作の間、計数値は計数器がTOPまたはBOTTOMに達したかどうかを決めるために0と定期(PER)値と継続的に比較されます。計数値はTCAn.CMPnレジスタとも比較されます。

タイマ/カウンタは割り込み要求、事象を生成したり、計数器(TCAn.CNT)レジスタがTOP、BOTTOM、またはCMPnに達することによって起動された後に波形出力を変更することができます。起動後、割り込み要求、事象、波形出力変更は次のCLK_TCA周期で起こります。

下図で示されるように、CLK_TCA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23-3. タイマ/カウンタ クロック論理回路



23.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
WOn	デジタル出力	波形出力

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\$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
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(TCAn.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(TCAn.PER)レジスタにTOP値を書いてください。
2. 制御A(TCAn.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TCAn.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(TCAn.EVCTRL)レジスタの事象入力での計数器事象入力A許可(CNTAEI)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(TCAn.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. 動作

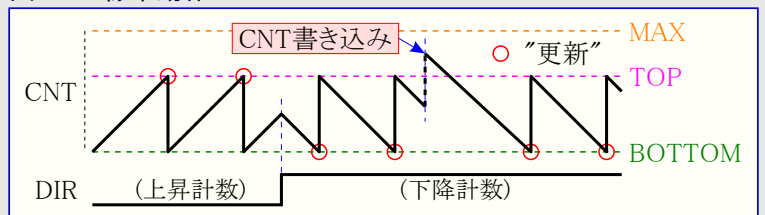
23.3.3.1. 標準動作

標準動作では計数器がTOPまたはBOTTOMに達するまで、制御E(TCAn.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。制御A(TCAn.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)がクロック刻みを与えます。

計数器が上昇計数中にTOPに達すると、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(TCAn.PER)レジスタ値で再設定されます。

計数器が走行している時に計数(TCAn.CNT)レジスタの計数値を変更することが可能です。TCAn.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TCAn.CTRLEレジスタのDIRビットに書くことによって標準動作の間でも変更することができます。

図23-4. 標準動作



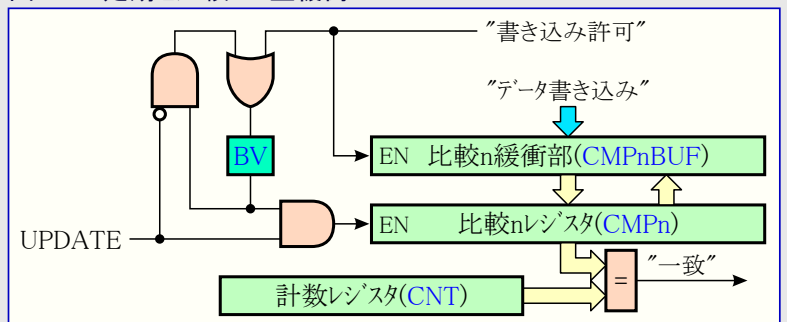
23.3.3.2. 2重緩衝

定期(TCAn.PER)レジスタ値と比較n(TCAn.CMPn)レジスタ値は全て2重緩衝(TCAn.PERBUFとTCAn.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(TCAn.CTRLF)レジスタ内の緩衝有効(BV)フラグ(PERBVとCMPnBV)を持ちます。定期レジスタと比較nレジスタが比較動作に使われる時に、BVフラグはデータが緩衝レジスタに書かれる時に設定(1)され、UPDATE条件で解除(0)されます。この図は比較レジスタに関して示します。

TCAn.CMPnとTCAn.CMPnBUFのレジスタは1/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23-5. 定期と比較の2重緩衝

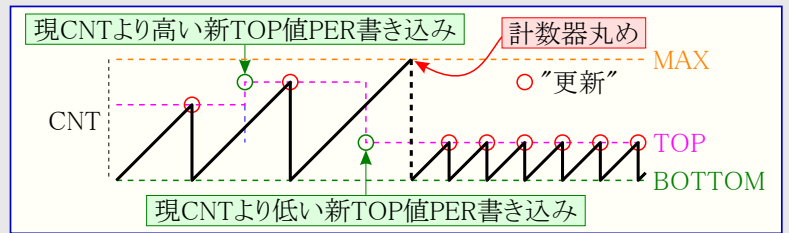


23.3.3.3. 周期変更

計数器の周期は新しいTOP値を定期(TCAn.PER)レジスタへ書くことによって変更されます。

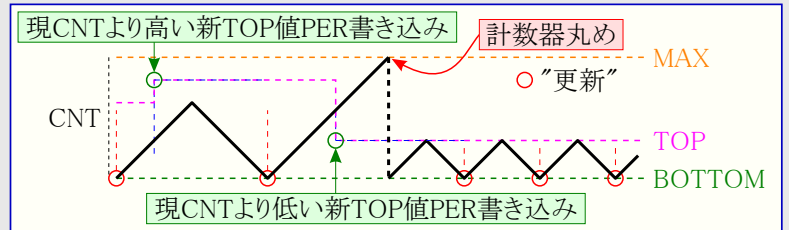
緩衝なし：2重緩衝を使わない場合、どんな周期変更も直ちに行われます。

図23-6. 緩衝なし周期変更



計数(TCAn.CNT)と定期(TCAn.PER)のレジスタが継続的に比較されるため、計数器丸めは緩衝なしでの上昇計数時のどの動作形態でも起こり得ます。現在のTCAn.CNTよりも低い新しいTOP値をTCAn.PERに書く場合、計数器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。

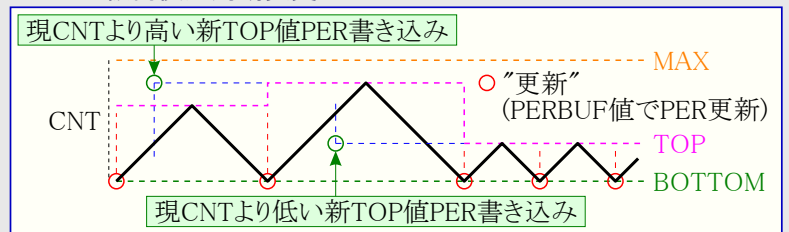
図23-7. 緩衝なし2傾斜動作



緩衝有り：2重緩衝を使うと、緩衝部は何時でも書いて、未だ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(TCAn.PER)レジスタは常に**更新**(UPDATE)条件で更新されます。これは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、TCA動作を示す図では緩衝が使われます。

図23-8. 緩衝使用周期変更



23.3.3.4. 比較チャネル

各比較nチャネルは計数器(TCAn.CNT)値を比較n(TCAn.CMPn)レジスタと継続的に比較します。TCAn.CNTとTCAn.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が生成されます。

比較n緩衝(TCAn.CMPnBUF)レジスタは**定期緩衝(TCAn.PERBUF)レジスタ**のもの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のどちらかにに対して緩衝値でのTCAn.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UPATE条件でCMPnに移動され、次の計数から計数器(TCAn.CNT)値と比較されます。

23.3.3.4.1. 波形生成

比較チャ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するには、以下の必要条件が完全に満たされなければなりません。

1. **制御B(TCAn.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が選ばれなければなりません。
2. 使われる比較チャネルが許可(TCAn.CTRLBレジスタの**比較n許可(CMPnEN)=1**)にされなければならず、これは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. 連携するポートピンに対する方向は出力として**ポート周辺機能**で構成設定されなければなりません。
4. 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。

注：標準動作では利用可能な波形出力はWO0～2だけです。WO3～5を使うには**分割動作**が許可されなければなりません。

23.3.3.4.2. 周波数(FRQ)波形生成

周波数生成に関して、周期(T)は定期(TCAn.PER)レジスタに代わって比較0(TCAn.CMP0)レジスタによって制御されます。対応する波形生成(WG)出力はTCAn.CNTとTCAn.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。

$$f_{FRQ} = \frac{f_{CLK_PER}}{2N(CMPn+1)}$$

ここで N は使われる前置分周数(制御A(TCAn.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TCAn.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(TCAn.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。

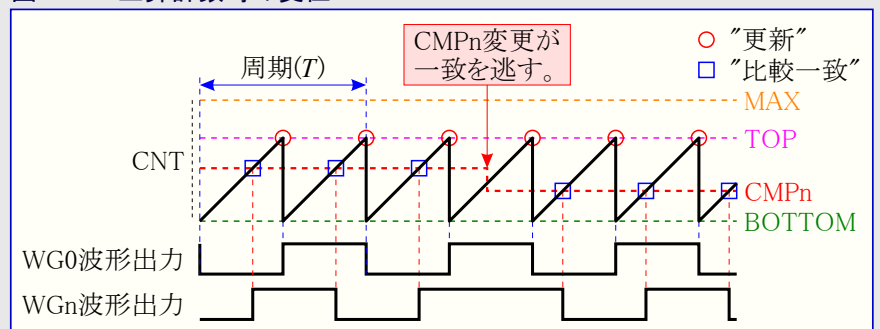
追加の波形出力WOnを得るにはTCAn.CMP1とTCAn.CMP2のレジスタを使ってください。波形WOnは同一またはWO0に対する変位のどちらかで有り得ます。この変位はTCAn.CMPn、TCAn.CNT、計数方向によって動かすことができます。秒での変位(t_{Offset})は下表の式を使って計算することができます。この式はCMPn<CMP0の時にだけ有効です。

表23-2. 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	$CMPn \geq CNT$	WO0に先行するWOn
	下降	$CMP0 \leq CNT$	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	$CMP0 \leq CNT$	WO0に先行するWOn

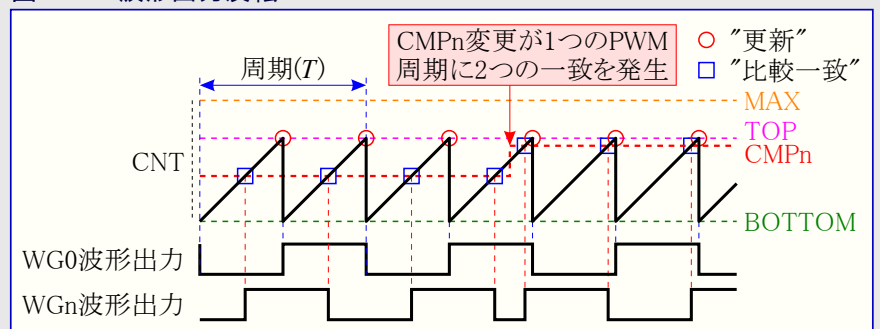
右図は両式を使うことができるWOn用の先行と後行の変位を示します。正しい式は計数方向と計時器が許可される、またはCMPnが変更される時のCMPn対CNTの状態によって決められます。

図23-10. 上昇計数時の変位



右図は走行時中のCMPn変更が波形をどう反転し得るかを示します。

図23-11. 波形出力反転

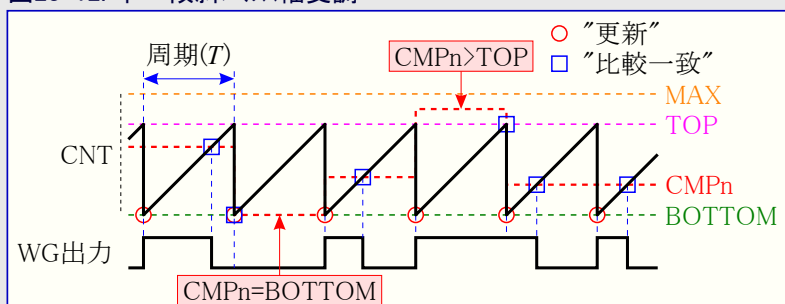


単一傾斜PWM生成に関して、TCAn.PERレジスタが周期(T)を制御する一方で、TCAn.CMPnレジスタ値は生成する波形のデューティサイクルを制御します。下図は計数器がどうBOTTOMからTOPへ計数し、その後にBOTTOMから再開するかを示します。波形生成器出力はBOTTOMで設定(1)され、TCAn.CNTとTCAn.CMPnのレジスタ間の比較一致で解除(0)されます。

定期(TCAn.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(TCAn.PER=\$0003)で、最大分解能は16ビット(TCAn.PER=MAX)です。

$$R_{\text{PWM_SS}} = \frac{\log(\text{PER}+1)}{\log(2)}$$

図23-12. 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。

$$f_{\text{PWM_SS}} = \frac{f_{\text{CLK_PER}}}{N(\text{PER}+1)}$$

2傾斜PWM生成に関して、**定期(TCAn.PER)レジスタ**が周期(T)を制御する一方で、**比較n(TCAn.CMPn)レジスタ**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(TCAn.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(TCAn.PER=\$0003)で、最大分解能は16ビット(TCAn.PER=MAX)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。

$$R_{\text{PWM_DS}} = \frac{\log(\text{PER}+1)}{\log(2)}$$

PWM周波数($f_{\text{PWM_DS}}$)はTCAn.PERレジスタでの周期設定、周辺機能クロック周波数($f_{\text{CLK_PER}}$)、TCAn.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。

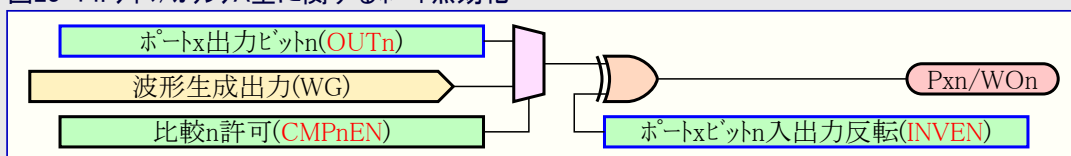
ここで N は使う前置分周数を表します。

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。

ポートピンで利用可能な波形生成を行うには、対応するポートピンの方向が出力として設定(方向(PORTx.DIR)レジスタの方向(DIRn)=1に)されなければなりません。TCAは比較チャネルが許可(制御B(TCAn.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。

下図はTCAに関するポート無効化を示します。タイマ/カウンタ比較チャネルは対応するポートピン(Pxn)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。

図23-14. タイマ/カウンタA型に関するポート無効化



23.3.3.5. タイマ/カウンタ指令

周辺機能の状態を直ちに変更するために、ソフトウェアによって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(TCAn.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(TCAn.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(TCAn.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。

23.3.3.6. 分割動作 - 2つの8ビット タイマ/カウンタ

分割動作概要

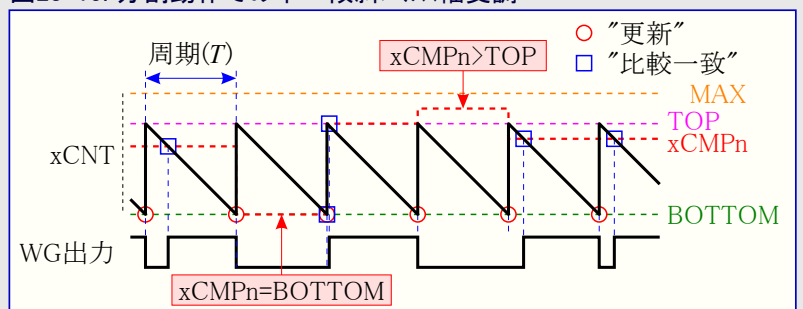
分割動作はTCAで計時器とPWMチャネルの数を倍にするために提供されます。この分割動作では、各々がPWM生成用に3つの比較チャネルを持つ2つの独立した8ビット計時器として働きます。分割動作は単一傾斜下降計数でだけ動きます。事象で制御される操作は分割動作で支援されません。

右図は分割動作での単一傾斜PWM生成を示します。波形生成部出力はBOTTOMで解除(0)され、計数器値(TCAn.xCNT)と比較n(TCAn.xCMPn)のレジスタ間の比較一致で設定(1)です。

CMPn=BOTTOMやCMPn>TOPはWOnでの固定Low信号を生じます。

分割動作の有効化はいくつかのレジスタとレジスタビットの機能を変更します。この変更は独立したレジスタ割り当てで記述されます(「23.6. レジスタ要約 - 分割動作」をご覧ください)。

図23-15. 分割動作での単一傾斜パルス幅変調



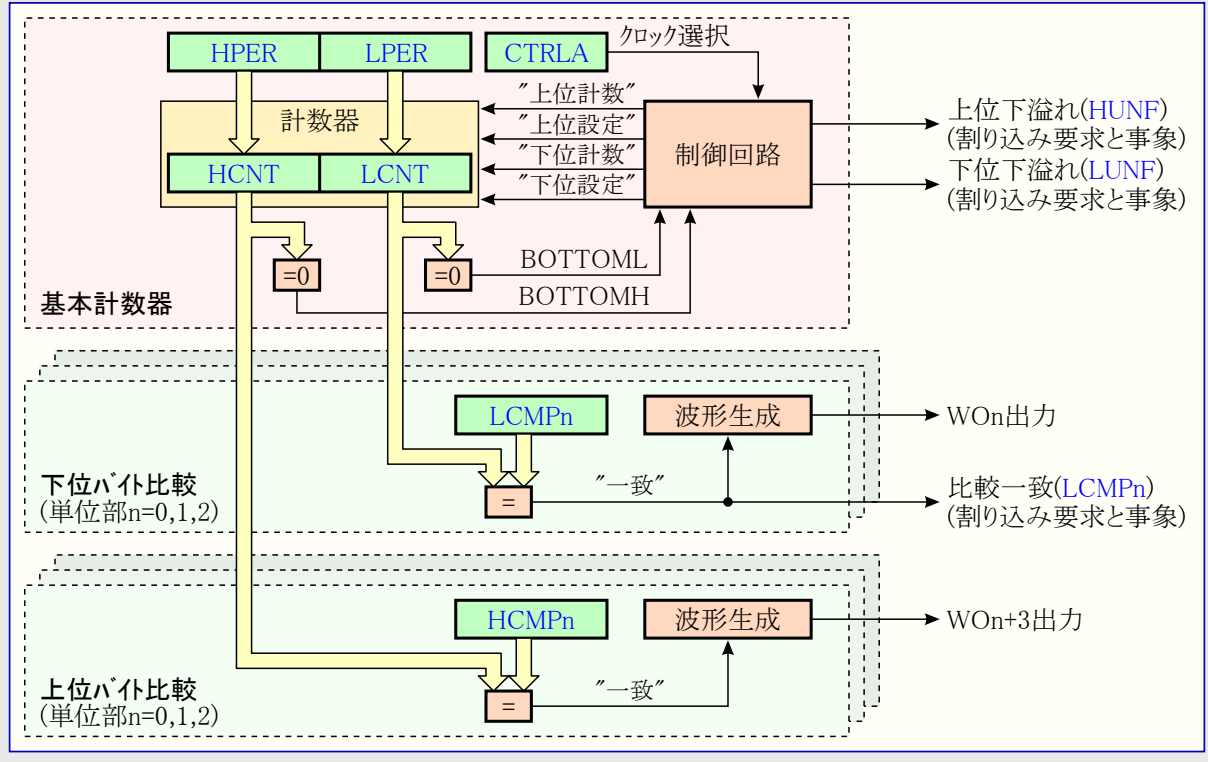
注: 波形出力の最大デューティサイクルはTOP/(TOP+1)です。

標準動作と比べた分割動作の違い

- ・ 計数
 - 下降計数専用
 - 下位バイト タイマ/カウンタ(TCAn.LCNT)レジスタと上位バイト タイマ/カウンタ(TCAn.HCNT)レジスタは独立です。
- ・ 波形生成
 - 単一傾斜PWM専用(TCAn.CTRLBレジスタのWGMode=SINGLESLOPE)
- ・ 割り込み
 - 下位バイト タイマ/カウンタ(TCAn.LCNT)レジスタに対する変更なし
 - 上位バイト タイマ/カウンタ(TCAn.HCNT)レジスタに対する下溢れ割り込み
 - 比較n上位バイト(TCAn.HCMPn)レジスタに対する比較割り込みと割り込み要求フラグなし
- ・ 事象活動: 不適合
- ・ 緩衝レジスタと緩衝有効フラグ: 不使用
- ・ レジスタ アクセス: 全てのレジスタに対してバイト アクセス

構成図

図23-16. タイマ/カウンタ構成図 - 分割動作



分割動作初期化

標準動作と分割動作の間を移る時に、いくつかのレジスタとビットの機能が変わりますが、それらの値は変わりません。この理由のため、予期せぬ動きを避けるため、動作を変更する時に周辺機能を禁止(TCAn.CTRLAレジスタのENABLE=0)して、ハードリセット(制御E設定(TCAn.CTRLESET)レジスタの指令(CMD)=RESET)を行うことが推奨されます。

ハードリセット後に基本的な分割動作でタイマ/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。

1. 制御D(TCAn.CTRLD)レジスタの分割動作許可(SPLITM)ビットに'1'を書くことによって分割動作を許可してください。
2. 定期(TCAn.H/LPER)レジスタにTOP値を書いてください。
3. 制御A(TCAn.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TCAn.CTRLAレジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域に従ってクロック刻みを計数します。
4. 計数器値は計数(TCAn.H/LCNT)レジスタの計数(H/LCNT)ビット領域から読むことができます。

分割動作の有効化はいくつかのレジスタとレジスタビットの機能の変更に帰着します。この変更は分離したレジスタ配置で記述されます。

23.3.4. 事象

TCAは下表で記述される事象を生成することができます。TCAn_HUNFを除く全ての生成部は標準動作と分割動作の操作間で共有されます。生成部名は生成部が各動作で次のように表す特定信号を示します。標準動作での溢れと分割動作での下位バイト下溢れに対応するOVF_LUNF。同じことがCMPn_LCMPnに適用されます。

表23-3. TCA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				
TCAn	OVF_LUNF	標準動作: 溢れ 分割動作: 下位バイト計数器下溢れ			
	HUNF	標準動作: 利用不可 分割動作: 上位バイト計数器下溢れ			
	CMP0_LCMP0	標準動作: 比較チャネル0一致 分割動作: 下位バイト計数器比較チャネル0一致	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	CMP1_LCMP1	標準動作: 比較チャネル1一致 分割動作: 下位バイト計数器比較チャネル1一致			
	CMP2_LCMP2	標準動作: 比較チャネル2一致 分割動作: 下位バイト計数器比較チャネル2一致			

注: 事象生成の条件は標準動作と分割動作の両方に対して**割り込み要求フラグ(TCAn.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。

TCAは入力事象での検出と活動のために2つの事象使用部を持ちます。下表は事象使用部とそれらの関連機能を記述します。

表23-4. TCA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			
TCAn	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の時に上昇、Highの時に下降	レベル	同期
		事象レベルが計数方向を制御、Lowの時に上昇、Highの時に下降		
		正事象端で計数器再始動	端	
		両事象端で計数器再始動		
		事象信号がHighの間再始動	レベル	

上表で記述される特定の活動は**事象制御(TCAn.EVCTRL)レジスタ**の事象活動(EVACTA、EVACTB)ビットに書くことによって選ばれます。入力事象はTCAn.EVCTRLの事象入力での計数許可(CNTAEI、CNTBEI)ビットに'1'を書くことによって許可されます。

EVACTAとEVACTBの両方が計数方向を制御するように構成設定される場合、事象信号は計数方向を決めるために論理和(OR)されます。そのため上向きに計数するには計数器に対して両事象入力Low('0')でなければなりません。

注: 1. 事象入力は分割動作で使われません。

2. レベル入力検出での事象活動は事象周波数が計時器の周波数未満の場合にだけ確実に動きます。

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。

23.3.5. 割り込み

表23-5. 標準動作で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	計数器がTOPまたはBOTTOMに到達
CMP0	比較チャンネル0割り込み	計数器値と比較0レジスタ間の一致
CMP1	比較チャンネル1割り込み	計数器値と比較1レジスタ間の一致
CMP2	比較チャンネル2割り込み	計数器値と比較2レジスタ間の一致

表23-6. 分割動作で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
LUNF	下位バイト下溢れ割り込み	下位バイト計時器がBOTTOMに到達
HUNF	上位バイト下溢れ割り込み	上位バイト計時器がBOTTOMに到達
LCMP0	比較チャンネル0割り込み	計数器値と下位バイト比較0レジスタ間の一致
LCMP1	比較チャンネル1割り込み	計数器値と下位バイト比較1レジスタ間の一致
LCMP2	比較チャンネル2割り込み	計数器値と下位バイト比較2レジスタ間の一致

割り込み条件が起ると、周辺機能の**割り込み要求フラグ(TCAn.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(TCAn.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。

23.3.6. 休止形態動作

TCAは既定で**スタンバイ休止動作**に於いて禁止されます。休止動作に入ると直ぐに停止されます。この単位部は**制御A(TCAn.CTRLA)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**で停止します。

23.4. レジスタ要約 - 標準動作

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		CMP2EN	CMP1EN	CMP0EN	ALUPD		WGMODE2~0	
+\$02	CTRLC	7~0						CMP2OV	CMP1OV	CMP0OV
+\$03	CTRLD	7~0								SPLITM
+\$04	CTRLECLR	7~0					CMD1,0		LUPD	DIR
+\$05	CTRLESET	7~0					CMD1,0		LUPD	DIR
+\$06	CTRLFCLR	7~0					CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
+\$07	CTRLFSET	7~0					CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
+\$08	予約									
+\$09	EVCTRL	7~0		EVACTB2~0		CNTBEI		EVACTA2~0		CNTAEI
+\$0A	INTCTRL	7~0		CMP2	CMP1	CMP0				OVF
+\$0B	INTFLAGS	7~0		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 ~ +\$25	予約									
+\$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 ~ +\$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			

23.5. レジスタ説明 - 標準動作

23.5.1. CTRLA - 制御A (Control A) - 標準/分割動作共通

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	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	DIV1	DIV2	DIV4	DIV8	DIV16	DIV64	DIV256	DIV1024
説明 ($f_{TCA} =$)	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
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) - 標準動作

名称 : CTRLB

変位 : +\$01

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		CMP2EN	CMP1EN	CMP0EN	ALUPD	WGMODE2~0		
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6~4 - 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WOnに対応するピンでの波形出力を利用可能にします。

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は対応するピンの出力値を無効にします。

● 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(TCAn.CTRLE)レジスタの更新施錠(LUPD)ビットを制御します。ALUPDが'1'を書かれると、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ビットが'1'に設定されます。(前行の)この条件がLUPDを解除(0)します。

これは緩衝値が比較n(CMPn)レジスタに転送され、LUPDビットが再び'1'に設定される後続するUPDATE条件まで解除(0)に留まりません。これは許可された全ての比較緩衝部が書かれるまで、比較n緩衝(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	TCAn.CTRLEレジスタのLUPDビットは自動的に変えられません。	TCAn.CTRLE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	標準	周波数	(予約)	1傾斜PWM	(予約)	2傾斜PWM	2傾斜PWM
	TOP	PER	CMP0	-	PER	-	PER	PER
	更新	TOP(注)	TOP(注)	-	BOTTOM	-	BOTTOM	BOTTOM
	OVF	TOP(注)	TOP(注)	-	BOTTOM	-	TOP	TOPとBOTTOM

注: 上昇計数時

23.5.3. CTRLC - 制御C (Control C) - 標準動作

名称 : CTRLC

変位 : +\$02

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						CMP2OV	CMP1OV	CMP0OV
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 - CMP2OV : 比較2出力値 (Compare Output Value 2)

CMP0OVをご覧ください。

●ビット1 - CMP1OV : 比較1出力値 (Compare Output Value 1)

CMP0OVをご覧ください。

●ビット0 - CMP0OV : 比較0出力値 (Compare Output Value 0)

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(WG)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WG出力値を設定(1)または解除(0)するのに使われます。

注: この出力をポートへ接続時、**制御B(TCAn.CTRLB)レジスタの比較n許可(CMPnEN)ビット**が設定(1)されない限り、これらのビットの指定変更は動きません。この出力をCCLへ接続時、TCAn.CTRLBレジスタのCMPnENビットは迂回されます。

23.5.4. CTRLD - 制御D (Control D) - 標準/分割動作共通

名称 : CTRLD

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								SPLITM
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 - SPLITM : 分割動作許可 (Enable Split Mode)

このビットはタイマ/カウンタを**分割動作形態**に設定し、2つの8ビット タイマ/カウンタとして動きます。標準16ビット動作と比べてレジスタ割り当てが変わります。

23.5.5. CTRLCLR - 制御E解除 (Control Register E Clear) - 標準動作

名称 : CTRLCLR

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

そのビット位置に'1'を書くことによって個別ビットを解除(0)するため、このレジスタを読み-変更-書き(RMW)の代わりに使ってください。

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	強制ハート'リセット (TCA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するのに使うことができます。

値	0	1
説明	緩衝されるレジスタはUPDATE条件が起これ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。

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) - 標準動作

名称 : CTRLSET

変位 : +\$05

リセット : \$00

特質 : -

そのビット位置に'1'を書くことによって個別ビットを設定(1)するため、このレジスタを読み-変更-書き(RMW)の代わりに使ってください。

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	強制ハート'リセット (TCAが許可の場合は無効)

●ビット1 - LUPD : 更新施錠 (Lock Update)

更新を施錠すること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。

値	0	1
説明	緩衝されるレジスタはUPDATE条件が起これ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。

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) - 標準動作専用

名称 : CTRLFCLR

変位 : +\$06

リセット : \$00

特質 : -

そのビット位置に'1'を書くことによって個別ビットを解除(0)するため、このレジスタを読み-変更-書き(RMW)の代わりに使ってください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
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 - CMP2BV : 比較2緩衝有効 (Compare 2 Buffer Valid)

CMP0BVをご覧ください。

●ビット2 - CMP1BV : 比較1緩衝有効 (Compare 1 Buffer Valid)

CMP0BVをご覧ください。

●ビット1 - CMP0BV : 比較1緩衝有効 (Compare 0 Buffer Valid)

CMPnBVビットは新しい値が対応する比較n緩衝(TCAn.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(TCAn.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) - 標準動作専用

名称 : CTRLFSET

変位 : +\$07

リセット : \$00

特質 : -

そのビット位置に'1'を書くことによって個別ビットを設定(1)するため、このレジスタを読み-変更-書き(RMW)の代わりに使ってください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMP2BV	CMP1BV	CMP0BV	PERBV
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 - CMP2BV : 比較2緩衝有効 (Compare 2 Buffer Valid)

CMP0BVをご覧ください。

●ビット2 - CMP1BV : 比較1緩衝有効 (Compare 1 Buffer Valid)

CMP0BVをご覧ください。

●ビット1 - CMP0BV : 比較1緩衝有効 (Compare 0 Buffer Valid)

CMPnBVビットは新しい値が対応する比較n緩衝(TCAn.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(TCAn.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. EVCTRL - 事象制御 (Event Control) - 標準動作専用

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か、事象入力A用設定に従って一致する事象を計数。事象信号は計数方向を制御し、Lowの時に上昇、Highの時に下降。方向は計数器計数時にラッチされます。
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
0 0 0	CNT_POSEDGE	正事象端で計数
0 0 1	CNT_ANYEDGE	両事象端で計数
0 1 0	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
0 1 1	UPDOWN	前置分周されたクロック周期を計数。事象信号は計数方向を制御し、Lowの時に上昇、Highの時に下降。方向は計数器計数時にラッチされます。
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

23.5.10. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control) - 標準動作

名称 : INTCTRL
変位 : +\$0A
リセット : \$00
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		CMP2	CMP1	CMP0				OVF
アクセス種別	R	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6 - CMP2 : 比較チャネル2割り込み許可 (Compare Channel 2 Interrupt Enable)

CMP0をご覧ください。

●ビット5 - CMP1 : 比較チャネル1割り込み許可 (Compare Channel 1 Interrupt Enable)

CMP0をご覧ください。

●ビット4 - CMP0 : 比較チャネル0割り込み許可 (Compare Channel 0 Interrupt Enable)

CMPnビットへの'1'書き込みはチャネルn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。

23.5.11. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flag Register) - 標準動作

名称 : INTFLAGS

変位 : +\$0B

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		CMP2	CMP1	CMP0				OVF
アクセス種別	R	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6 - CMP2 : 比較チャネル2割り込み要求フラグ (Compare Channel 2 Interrupt Flag)

CMP0をご覧ください。

●ビット5 - CMP1 : 比較チャネル1割り込み要求フラグ (Compare Channel 1 Interrupt Flag)

CMP0をご覧ください。

●ビット4 - CMP0 : 比較チャネル0割り込み要求フラグ (Compare Channel 0 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(TCAn.CNT)レジスタと対応する比較(TCAn.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)されません。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)されません。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。

23.5.12. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control) - 標準/分割動作共通

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
説明	TCAはデバッグ動作中断で停止し、事象を無視	TCAはCPU停止中のデバッグ動作中断で走行継続

23.5.13. TEMP - 一時レジスタ (Temporary bits for 16-bit Access) - 標準動作専用

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)

23.5.14. CNT - 計数 (Counter Register) - 標準動作

名称 : CNT (CNTH,CNTL)

変位 : +\$20

リセット : \$0000

特質 : -

TCA_n.CNTHとTCA_n.CNTLのレジスタ対は16ビット値のTCA_n.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	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。

23.5.15. PER - 定期 (Period Register) - 標準動作

名称 : PER (PERH,PERL)

変位 : +\$26

リセット : \$FFFF

特質 : -

TCA_n.PERレジスタは周波数波形生成(FRQ)を除く全ての動作形態でタイマ/カウンタの16ビットTOP値を含みます。

TCA_n.PERHとTCA_n.PERLのレジスタ対は16ビット値のTCA_n.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	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	6	5	4	3	2	1	0
	PER7~0							
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15~8 - PER15~8 : 定期値上位バイト (Periodic 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 (Periodic 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。

23.5.16. CMPn - 比較n (Compare n Register) - 標準動作

名称 : CMP0 (CMP0H,CMP0L) : CMP1 (CMP1H,CMP1L) : CMP2 (CMP2H,CMP2L)

変位 : +\$28 : +\$2A : +\$2C

リセット : \$0000

特質 : -

このレジスタは継続的に計数値と比較します。通常、比較器からの出力は波形を生成するのに使われます。

TCA_n.CMP_nレジスタはUPDATE条件発生時に対応する比較緩衝(TCA_n.CMP_nBUF)レジスタからの緩衝値で更新されます。

TCA_n.CMP_nHとTCA_n.CMP_nLのレジスタ対は16ビット値のTCA_n.CMP_n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。

23.5.17. 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(TCA_n.PER)レジスタの緩衝部として扱います。CPUまたはUPDIからのこのレジスタ書き込みは制御F(TCA_n.CTRLF)レジスタの定期緩衝有効(PERBV)フラグを設定(1)します。

TCA_n.PERBUFHとTCA_n.PERBUFLのレジスタ対は16ビット値のTCA_n.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	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	6	5	4	3	2	1	0
	PERBUF7~0							
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。

23.5.18. 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)

変位 : +\$38 : +\$3A : +\$3C

リセット : \$0000

特質 : -

このレジスタは連携する比較(TCA_n.CMP_n)レジスタに対する緩衝部として扱います。CPUまたはUPDIからのこれらのどれかのレジスタ書き込みは制御F(TCA_n.CTRLF)レジスタの対応する比較緩衝有効(CMP_nBV)フラグを設定(1)します。

TCA_n.CMP_nBUFHとTCA_n.CMP_nBUFLのレジスタ対は16ビット値のTCA_n.CMP_nBUF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
	CMPBUF15~8							
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
	CMPBUF7~0							
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 – 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。

23.6. レジスタ要約 - 分割動作

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		HCMP2EN	HCMP1EN	HCMP0EN		LCMP2EN	LCMP1EN	LCMP0EN
+\$02	CTRLC	7~0		HCMP2OV	HCMP1OV	HCMP0OV		LCMP2OV	LCMP1OV	LCMP0OV
+\$03	CTRLD	7~0								SPLITM
+\$04	CTRLECLR	7~0					CMD1,0		CMDEN1,0	
+\$05	CTRLESET	7~0					CMD1,0		CMDEN1,0	
+\$06 ~ +\$09	予約									
+\$0A	INTCTRL	7~0		LCMP2	LCMP1	LCMP0			HUNF	LUNF
+\$0B	INTFLAGS	7~0		LCMP2	LCMP1	LCMP0			HUNF	LUNF
+\$0C ~ +\$0D	予約									
+\$0E	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$0F ~ +\$1F	予約									
+\$20	LCNT	7~0					LCNT7~0			
+\$21	HCNT	7~0					HCNT7~0			
+\$22 ~ +\$25	予約									
+\$26	LPER	7~0					LPER7~0			
+\$27	HPER	7~0					HPER7~0			
+\$28	LCMP0	7~0					LCMP7~0			
+\$29	HCMP0	7~0					HCMP7~0			
+\$2A	LCMP1	7~0					LCMP7~0			
+\$2B	HCMP1	7~0					HCMP7~0			
+\$2C	LCMP2	7~0					LCMP7~0			
+\$2D	HCMP2	7~0					HCMP7~0			

23.7. レジスタ説明 - 分割動作

23.7.1. CTRLA - 制御A (Control A) - 標準/分割動作共通

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	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	DIV1	DIV2	DIV4	DIV8	DIV16	DIV64	DIV256	DIV1024
説明 ($f_{TCA} =$)	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
説明	周辺機能(TCA)は禁止されます。	周辺機能(TCA)は許可されます。

23.7.2. CTRLB - 制御B (Control B) - 分割動作

名称 : CTRLB

変位 : +\$01

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		HCMP2EN	HCMP1EN	HCMP0EN		LCMP2EN	LCMP1EN	LCMP0EN
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 - HCMP2EN : 上位バイト比較2許可 (High-byte Compare 2 Enable)

HCMP0ENをご覧ください。

●ビット5 - HCMP1EN : 上位バイト比較1許可 (High-byte Compare 1 Enable)

HCMP0ENをご覧ください。

●ビット4 - HCMP0EN : 上位バイト比較0許可 (High-byte Compare 0 Enable)

FRQまたはPWM波形生成動作形態でのHCMPnENビット設定(1)は対応するWOn+3ピンに対するポート出力(PORTx.OUT)レジスタを無効にします。

●ビット2 - LCMP2EN : 下位バイト比較2許可 (Low-byte Compare 2 Enable)

LCMP0ENをご覧ください。

●ビット1 - LCMP1EN : 下位バイト比較1許可 (Low-byte Compare 1 Enable)

LCMP0ENをご覧ください。

●ビット0 - LCMP0EN : 下位バイト比較0許可 (Low-byte Compare 0 Enable)

FRQまたはPWM波形生成動作形態でのLCMPnENビット設定(1)は対応するWOnピンに対するポート出力(PORTx.OUT)レジスタを無効にします。

23.7.3. CTRLC - 制御C (Control C) - 分割動作

名称 : CTRLC

変位 : +\$02

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		HCMP2OV	HCMP1OV	HCMP0OV		LCMP2OV	LCMP1OV	LCMP0OV
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 - HCMP2OV : 上位バイト比較2出力値 (High-byte Compare 2 Output Value)**

HCMP0OVをご覧ください。

● **ビット5 - HCMP1OV : 上位バイト比較1出力値 (High-byte Compare 1 Output Value)**

HCMP0OVをご覧ください。

● **ビット4 - HCMP0OV : 上位バイト比較0出力値 (High-byte Compare 0 Output Value)**

HCMPnOV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WOn+3出力値を設定(1)または解除(0)するのに使われます。

● **ビット2 - LCMP2OV : 下位バイト比較2出力値 (Low-byte Compare 2 Output Value)**

LCMP0OVをご覧ください。

● **ビット1 - LCMP1OV : 下位バイト比較1出力値 (Low-byte Compare 1 Output Value)**

LCMP0OVをご覧ください。

● **ビット0 - LCMP0OV : 下位バイト比較0出力値 (Low-byte Compare 0 Output Value)**

LCMPnOV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WOn出力値を設定(1)または解除(0)するのに使われます。

注: この出力がパッドに接続される時に、**制御B(TCAn.CTRLB)レジスタの上位/下位バイト比較n許可(xCMPnEN)ビット**が設定(1)されない限り、これらのビットの上書きは動きません。この出力がCCLに接続される場合、TCAn.CTRLBレジスタのxCMPnENビットは迂回されます。

23.7.4. CTRLD - 制御D (Control D) - 標準/分割動作共通

名称 : CTRLD

変位 : +\$03

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
								SPLTM
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 - SPLTM : 分割動作許可 (Enable Split Mode)**

このビットはタイマ/カウンタを**分割動作形態**に設定し、2つの8ビット タイマ/カウンタとして動きます。標準16ビット動作と比べてレジスタ割り当てが変わります。

23.7.5. CTRLCLR - 制御E解除 (Control Register E Clear) - 分割動作

名称 : CTRLCLR

変位 : +\$04

リセット : \$00

特質 : -

そのビット位置に'1'を書くことによって個別ビットを解除(0)するため、このレジスタを読み-変更-書き(RMW)の代わりに使ってください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMD1,0		CMDEN1,0	
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3,2 - CMD1,0 : 指令 (Command)

このビット領域はタイマ/カウンタの再始動とリセットのソフトウェア制御に使われます。指令ビットは常に'0'として読みます。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	-	RESTART	RESET
説明	指令なし	(予約)	強制再始動	強制ハートリセット (TCAが許可の場合は無効)

●ビット1,0 - CMDEN1,0 : 指令許可 (Command enable)

このビット領域はCMDビットによって与えられた指令がどのタイマ/カウンタに適用するかを構成設定します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	-	-	BOTH
説明	なし	(予約)	(予約)	指令は上下バイトの両 タイマ/カウンタに対して適用

23.7.6. CTRLSET - 制御E設定 (Control Register E Set) - 分割動作

名称 : CTRLSET

変位 : +\$05

リセット : \$00

特質 : -

そのビット位置に'1'を書くことによって個別ビットを設定(1)するため、このレジスタを読み-変更-書き(RMW)の代わりに使ってください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					CMD1,0		CMDEN1,0	
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3,2 - CMD1,0 : 指令 (Command)

このビット領域はタイマ/カウンタの再始動と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。CMDビット領域は指令許可(CMDEN)ビットと共に使われなければなりません。リセット指令を使うには下位バイトと上位バイトの両タイマ/カウンタ(BOTH)で選ばれたCMDENを必要とします。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	-	RESTART	RESET
説明	指令なし	(予約)	強制再始動	強制ハートリセット (TCAが許可の場合は無効)

●ビット1,0 - CMDEN1,0 : 指令許可 (Command enable)

このビット領域はCMDビットによって与えられた指令がどのタイマ/カウンタに適用するかを構成設定します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	NONE	-	-	BOTH
説明	なし	(予約)	(予約)	指令は上下バイトの両 タイマ/カウンタに対して適用

23.7.7. INTCTRL - 割り込み制御 (Interrupt Control) - 分割動作

名称 : INTCTRL

変位 : +\$0A

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		LCMP2	LCMP1	LCMP0			HUNF	HUNF
アクセス種別	R	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット6 - LCMP2 : 下位バイト比較2割り込み許可 (Low-byte Compare Channel 2 Interrupt Enable)

LCMP0をご覧ください。

● **ビット5 - LCMP1 : 下位バイト比較1割り込み許可** (Low-byte Compare Channel 1 Interrupt Enable)

LCMP0をご覧ください。

● **ビット4 - LCMP0 : 下位バイト比較0割り込み許可** (Low-byte Compare Channel 0 Interrupt Enable)

LCMPnビットへの'1'書き込みは下位バイト比較チャンネルn割り込みを許可します。

● **ビット1 - HUNF : 上位バイト下溢れ割り込み許可** (High-byte Underflow Interrupt Enable)

HUNFビットへの'1'書き込みは上位バイト下溢れ割り込みを許可します。

● **ビット0 - LUNF : 下位バイト下溢れ割り込み許可** (Low-byte Underflow Interrupt Enable)

LUNFビットへの'1'書き込みは下位バイト下溢れ割り込みを許可します。

23.7.8. INTFLAGS - 割り込み要求フラグ (Interrupt Flag Register) - 分割動作

名称 : INTFLAGS

変位 : +\$0B

リセット : \$00

特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		LCMP2	LCMP1	LCMP0			HUNF	HUNF
アクセス種別	R	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● **ビット6 - LCMP2 : 下位バイト比較2割り込み要求フラグ** (Low-byte Compare Channel 2 Interrupt Flag)

LCMP0フラグ記述をご覧ください。

● **ビット5 - LCMP1 : 下位バイト比較1割り込み要求フラグ** (Low-byte Compare Channel 1 Interrupt Flag)

LCMP0フラグ記述をご覧ください。

● **ビット4 - LCMP0 : 下位バイト比較0割り込み要求フラグ** (Low-byte Compare Channel 0 Interrupt Flag)

下位バイト比較割り込み要求(LCMPnフラグ)は対応する下位バイト計時器の比較チャン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、LCMPnフラグは下位バイト計数(TCAn.LCNT)レジスタと対応する下位バイト比較n(TCAn.LCMPn)レジスタ間で比較一致が起こる時に設定(1)されます。LCMPnフラグは自動的に解除(0)されないのでソフトウェアが解除(0)しなければなりません。このビット位置への'1'書き込みがこれを行います。

● **ビット1 - HUNF : 上位バイト下溢れ割り込み要求フラグ** (High-byte Underflow Interrupt Flag)

このフラグは上位バイト計時器のBOTTOM(下溢れ)条件で設定(1)されます。HUNFは自動的に解除(0)されず、ソフトウェアによって解除(0)されることが必要です。このビット位置への'1'書き込みがこれを行います。

● **ビット0 - LUNF : 下位バイト下溢れ割り込み要求フラグ** (Low-byte Underflow Interrupt Flag)

このフラグは下位バイト計時器のBOTTOM(下溢れ)条件で設定(1)されます。LUNFは自動的に解除(0)されず、ソフトウェアによって解除(0)されることが必要です。このビット位置への'1'書き込みがこれを行います。

23.7.9. DBGCTRL - デバッグ制御 (Debug Control) - 標準/分割動作共通

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
説明	TCAはデバッグ動作中断で停止し、事象を無視	TCAはCPU停止中のデバッグ動作中断で走行継続

23.7.10. LCNT - 下位バイト計数 (Low-byte Timer Counter Register) - 分割動作

名称 : LCNT
変位 : +\$20
リセット : \$00
特質 : -

TCA_n.LCNTレジスタは下位バイト計時器用計数値を含みます。CPUとUPDIの書き込みアクセスはこの計数器の計数、解消、再設定を超える優先権を持ちます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	LCNT7~0							
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 - LCNT7~0 : 下位バイト計時器用計数値 (Counter Value for low-byte timer)

このビット領域は下位バイト計時器の計数器値を定義します。

23.7.11. HCNT - 上位バイト計数 (High-byte Timer Counter Register) - 分割動作

名称 : HCNT
変位 : +\$21
リセット : \$00
特質 : -

TCA_n.HCNTレジスタは上位バイト計時器用計数値を含みます。CPUとUPDIの書き込みアクセスはこの計数器の計数、解消、再設定を超える優先権を持ちます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	HCNT7~0							
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 - HCNT7~0 : 上位バイト計時器用計数値 (Counter Value for high-byte timer)

このビット領域は上位バイト計時器の計数器値を定義します。

23.7.12. LPER - 下位バイト定期 (Low-byte Timer Period Register) - 分割動作

名称 : LPER
変位 : +\$26
リセット : \$FF
特質 : -

TCA_n.LPERレジスタは下位バイト計時器用TOP値を含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	LPER7~0							
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 - LPER7~0 : 下位バイト計時器用定期値 (Period value low-byte timer)

このビット領域は下位バイト計時器用TOP値を保持します。

23.7.13. HPER - 上位バイト定期 (High-byte Timer Period Register) - 分割動作

名称 : HPER
変位 : +\$27
リセット : \$FF
特質 : -

TCA_n.HPERレジスタは上位バイト計時器用TOP値を含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	HPER7~0							
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 - HPER7~0 : 上位バイト計時器用定期値 (Period value high-byte timer)

このビット領域は上位バイト計時器用TOP値を保持します。

23.7.14. LCMPn - 下位バイト比較n (Low-byte Compare Register n) - 分割動作

名称 : LCMP0 : LCMP1 : LCMP2

変位 : +\$28 : +\$2A : +\$2C

リセット : \$00

特質 : -

TCAn.LCMPnレジスタは下位バイト用比較チャネルnの比較値を表します。このレジスタは[下位バイト計時器\(TCAn.LCNT\)](#)の計数器値と継続的に比較されます。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。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	LCMP7~0							
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 - LCMP7~0 : 下位バイト比較n値 (Compare value of channel n)

このビット領域はTCAn.LCNTと比較されるチャネルnの下位バイト比較値を保持します。

23.7.15. HCMPn - 上位バイト比較n (High-byte Compare Register n) - 分割動作

名称 : HCMP0 : HCMP1 : HCMP2

変位 : +\$29 : +\$2B : +\$2D

リセット : \$00

特質 : -

TCAn.HCMPnレジスタは上位バイト用比較チャネルnの比較値を表します。このレジスタは[上位バイト計時器\(TCAn.HCNT\)](#)の計数器値と継続的に比較されます。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。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	HCMP7~0							
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 - HCMP7~0 : 上位バイト比較n値 (Compare value of channel n)

このビット領域はTCAn.HCNTと比較されるチャネルnの上位バイト比較値を保持します。

24. TCB - 16ビット タイマ/カウンタB型

24.1. 特徴

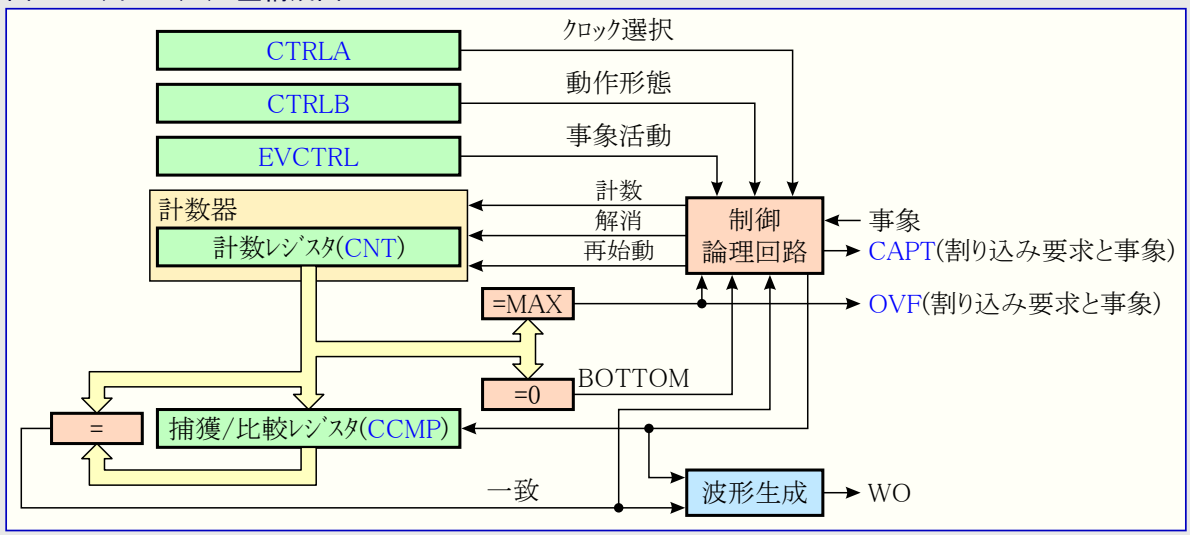
- 16ビット計数器動作形態
 - 周期的割り込み
 - 制限時間検査
 - 計数捕獲
 - 事象での捕獲
 - 周波数測定
 - パルス幅測定
 - 周波数とパルス幅の測定
 - 32ビット捕獲
- 単発
- 8ビット パルス幅変調(PWM)
- 事象入力での雑音消去器
- TCA0との同期動作

24.2. 概要

16ビット タイマ/カウンタB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。

24.2.1. 構成図

図24-1. タイマ/カウンタB型構成図



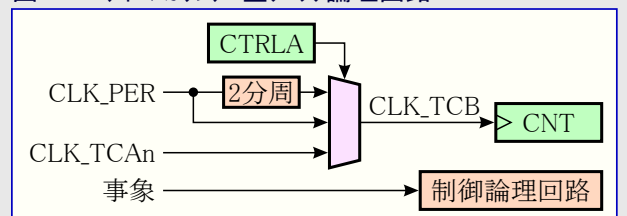
このタイマ/カウンタは周辺機能クロック(CLK_PER)、16ビット タイマ/カウンタA型(CLK_TCA_n)、事象システム(EVSYS)からクロック駆動することができます。

制御A(TCB_n.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。

TCA_nからのクロックを使うタイマ/カウンタ設定はそのTCA_n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などの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24-2. タイマ/カウンタB型クロック論理回路



24.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
WO	デジタル非同期出力	波形出力

24.3. 機能的な説明

24.3.1. 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24-1. 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

24.3.2. 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。

1. 比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタにTOP値を書いてください。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
 - a. 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。
 - b. MAXで溢れ(OVF)割り込みと事象が生成されます。

24.3.3. 動作

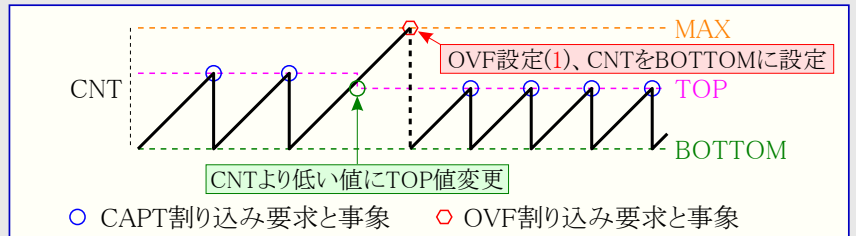
24.3.3.1. 動作形態

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。

24.3.3.1.1. 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24-3. 周期的割り込み動作



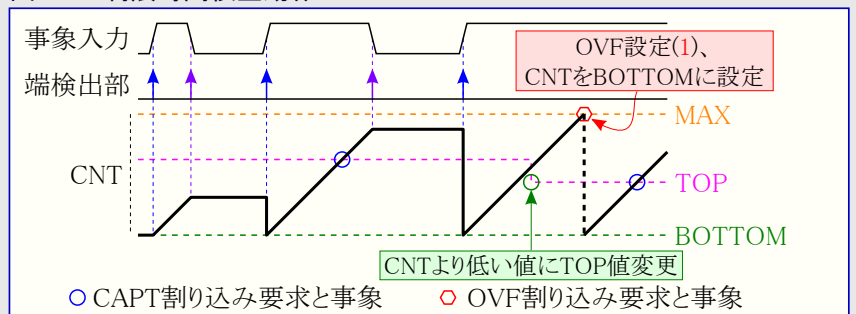
24.3.3.1.2. 制限時間検査動作

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24-4. 制限時間検査動作



24.3.3.1.3. 事象での捕獲動作

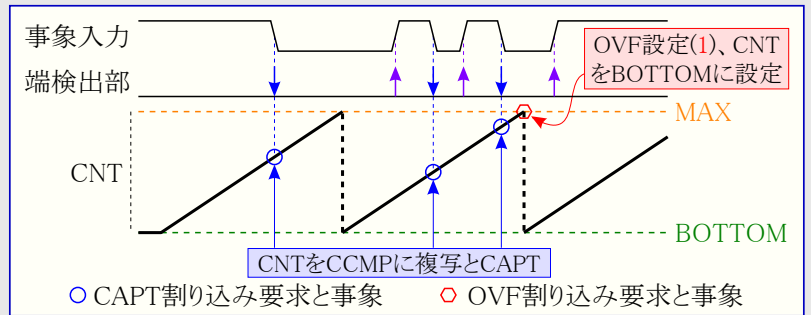
事象での捕獲動作では計数器がBOTTOMからMAXへ計数します。事象検出時、**計数(TCBn.CNT)レジスタ値は比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタに転送され**、CAPT割り込みと事象が生成されます。事象端検出部は上昇端または下降端のどちらかで捕獲を起動するように構成設定することができます。

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)レジスタの下位ビット読み込み後、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24-5. 事象での計数捕獲



24.3.3.1.4. 計数捕獲周波数測定動作

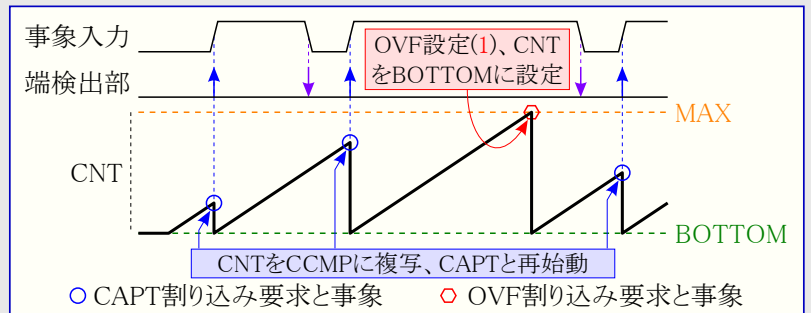
計数捕獲周波数動作ではTCBが事象入力信号の正端または負端のどちらかで計数器値を捕獲して再始動します。

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**の下位ビット読み込み後、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24-6. 計数捕獲周波数測定

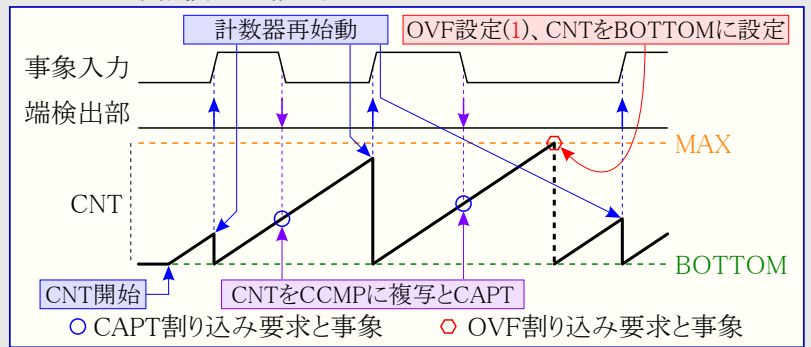


24.3.3.1.5. 計数捕獲パルス幅測定動作

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**の下位ビット読み込み後、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24-7. 計数捕獲パルス幅測定



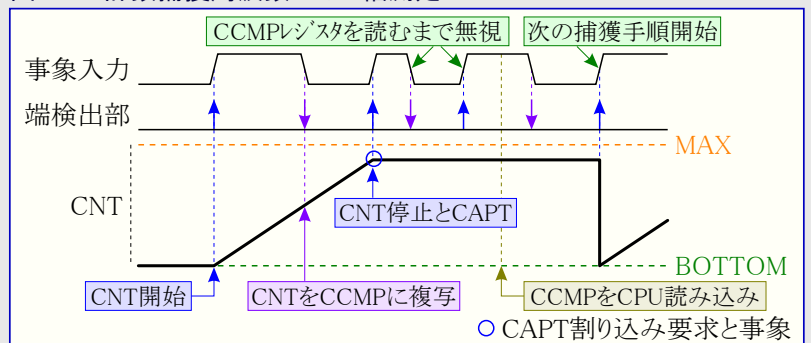
24.3.3.1.6. 計数捕獲周波数/パルス幅測定動作

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)レジスタの下位ビット読み込み後、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24-8. 計数捕獲周波数/パルス幅測定



24.3.3.1.7. 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。

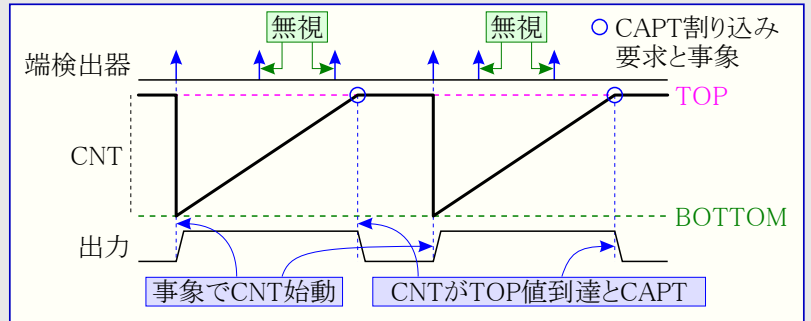
この動作は事象使用部として構成設定されたTCBを必要とし、事象部分で説明されます。

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24-9. 単発動作

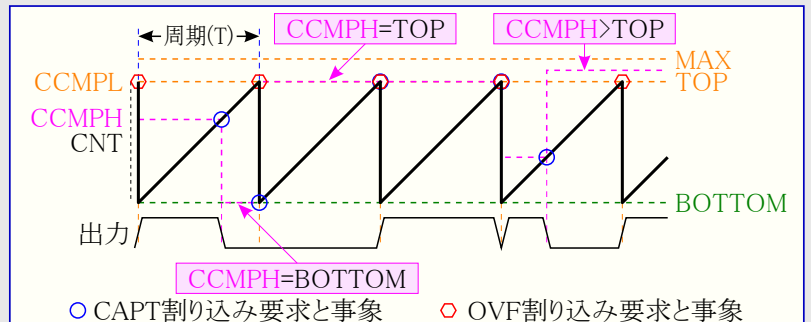


24.3.3.1.8. 8ビットPWM動作

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24-10. 8ビットPWM動作



24.3.3.2. 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24-2. 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。

24.3.3.3. 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(TCA、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

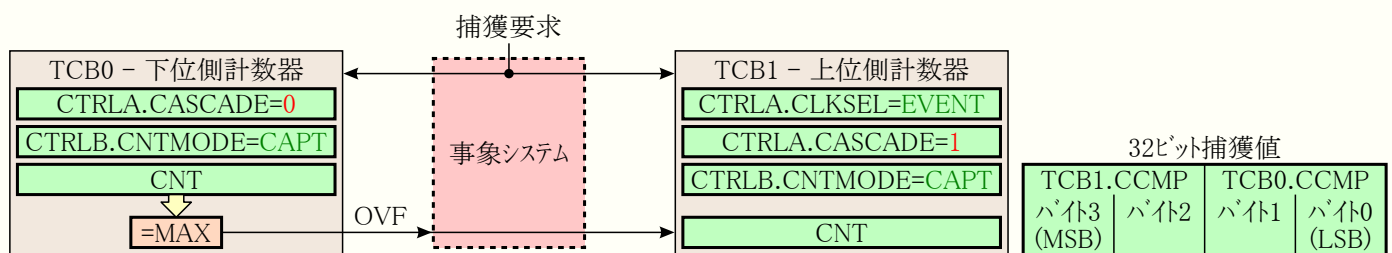
- ・CTRLAの2つのタイマ/カウンタ連結(CASCADE)ビットに'1'を書くことによって32ビット動作を許可してください。
- ・CTRLAレジスタのクロック選択(CLKSEL)ビット領域を書くことによってクロック入力として事象を選んでください。
- ・下位側TCBと同じ計数捕獲動作を選ぶように制御B(CTRLB)レジスタの計時器動作(CNTMODE)ビット領域を書いてください。

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24-1. 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。



24.3.3.4. 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。

24.3.3.5. タイマ/カウンタA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A型(TCAn)のクロック(CLK_TCA)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TCAn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TCAn計数器が再始動する時に再始動します。

24.3.3.6. ポート無効化

制御B(TCBn.CTRLB)レジスタの比較/捕獲出力許可(CCMPEN)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。

24.3.4. 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24-3. 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。

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24-4. 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		
		計数捕獲周波数/パルス幅測定		
	COUNT	単発		両方
		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で変更を捕獲します。

24.3.5. 割り込み

表24-5. 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。

24.3.6. 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。

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		RUNSTDBY	CASCADE	SYNCUPD		CLKSEL2~0		ENABLE
+\$01	CTRLB	7~0		ASYNC	CCMPINIT	CCMPEN			CNTMODE2~0	
+\$02 ~ +\$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		7~0					CNT7~0			
+\$0B	CNT	15~8					CNT15~8			
+\$0C		7~0					CCMP7~0			
+\$0D	CCMP	15~8					CCMP15~8			

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
		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TCA_n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TCA_nが選ばれた場合、TCBはそのTCA_n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TCA0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	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	DIV1	DIV2	TCA0	-	-	-	-	EVENT
説明	CLK_PER	CLK_PER/2	TCA0からのCLK_TCA	(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。

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
		ASYNC	CCMPINIT	CCMPEN			CNTMODE2~0	
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 - 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)

このビットへの'1'書き込みは波形出力を許可します。これはそのピンに設定された方向に関わらず、対応するピンで波形出力を利用可能にし、対応するPORT出力レジスタの値を無効にします。

値	0	1
説明	対応ピンで波形出力は許可されません。	波形出力は対応ピンの出力値を上書きします。

●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	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1
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	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
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

24.5.3. 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。

24.5.4. 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。

24.5.5. 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	計数器がTOPに達した時に設定(1)	CCMP	CNT=TOP
制限時間検査動作			
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)		事象でCNTをCCMPに複写、計数継続
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)、直前前で計数器初期化、フラグは捕獲読み込み時に解除(0)	-	
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

24.5.6. 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
								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。

24.5.7. 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

24.5.8. 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)

24.5.9. 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 : 計数値上位バイト (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 : 計数値下位バイト (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。

24.5.10. 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器の値を含みます。
- ・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。

25. USART – 万能同期/非同期送受信器

25.1. 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/復調用赤外線通信(IRCOM)単位部
- LIN従装置支援

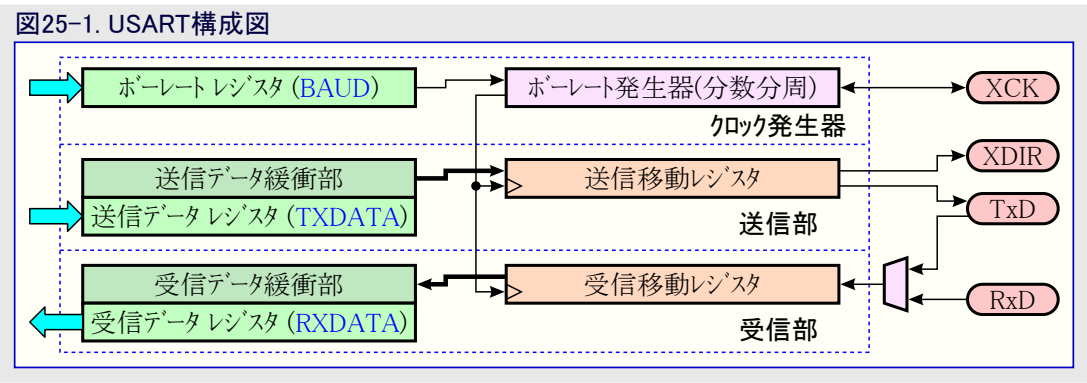
25.2. 概要

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。

25.2.1. 構成図



25.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
XCK	入出力	同期動作用クロック
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

25.3. 機能的な説明

25.3.1. 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.CTRLA)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.CTRLA)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。

25.3.2. 動作

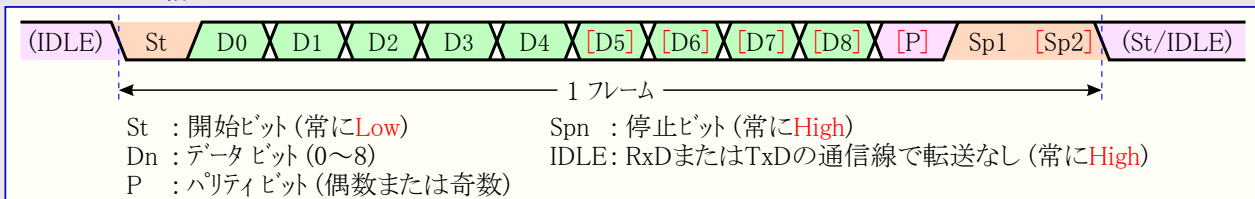
25.3.2.1. フレーム形式

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。

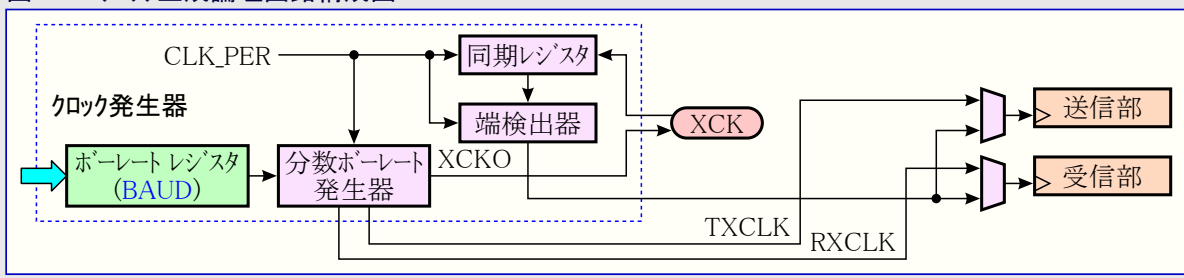
図25-2. フレーム構成



25.3.2.2. 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25-3. クロック生成論理回路構成図



25.3.2.2.1. 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($f_{\text{CLK_PER}}$)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25-1.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 $f_{\text{CLK_PER}}$ 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。

表25-1. ボーレートレジスタ設定計算用の式

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	$f_{\text{BAUD}} \leq \frac{f_{\text{CLK_PER}}}{S}$ 、USARTn.BAUD ≥ 64	$f_{\text{BAUD}} = \frac{64 \times f_{\text{CLK_PER}}}{S \times \text{BAUD}}$	$\text{BAUD} = \frac{64 \times f_{\text{CLK_PER}}}{S \times f_{\text{BAUD}}}$
同期主装置	$f_{\text{BAUD}} < \frac{f_{\text{CLK_PER}}}{S}$ 、USARTn.BAUD ≥ 64	$f_{\text{BAUD}} = \frac{f_{\text{CLK_PER}}}{S \times \text{BAUD}[15 \sim 6]}$	$\text{BAUD}[15 \sim 6] = \frac{f_{\text{CLK_PER}}}{S \times f_{\text{BAUD}}}$

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

25.3.2.3. 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.TXDATAL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.CTRLA)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。

25.3.2.3.1. 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。

25.3.2.4. 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.CTRL)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。

25.3.2.4.1. 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.CTRL)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。

25.3.2.4.2. 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。

25.3.2.4.3. 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。

25.3.3. 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ボ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理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。

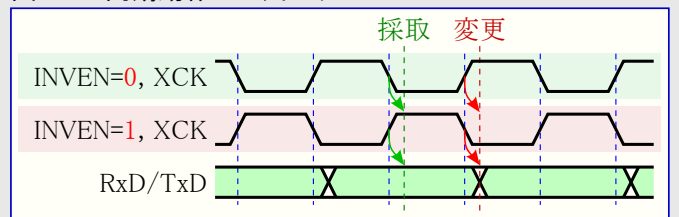
25.3.3.1. 同期動作

25.3.3.1.1. 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)方向は主装置動作用に出力または従装置動作用に入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.PINCTRL)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25-4. 同期動作XCKタイミング



25.3.3.1.2. 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。

25.3.3.1.3. 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ず、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。

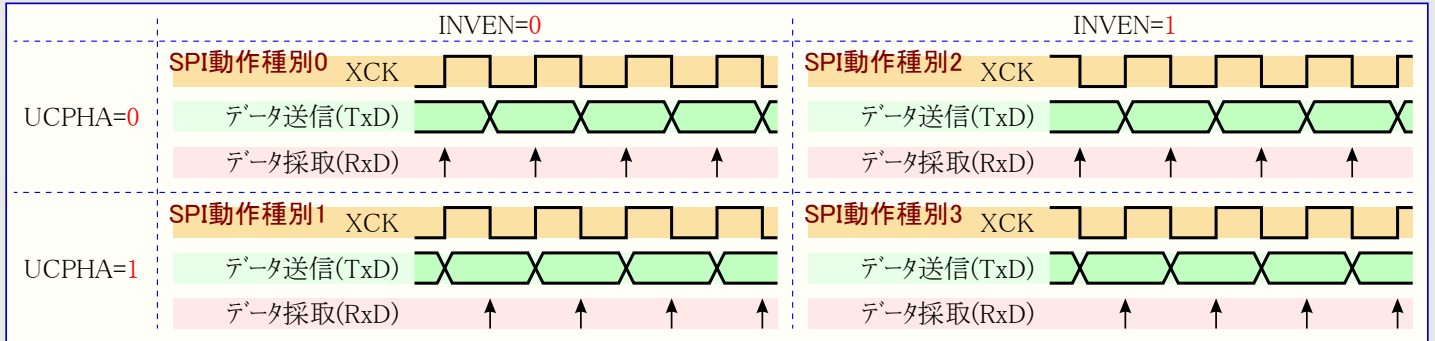
SPIは開始、停止、パリティのビットを使わず、故に伝送フレームはデータビットだけで成り得ます。

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「[25.3.2.2.1. 分数ポーレート発生器](#)」で記述される分数ポーレー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25-5. 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25-2. 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「[25.3.2.3. 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「[25.3.2.4. 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25-3. 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。

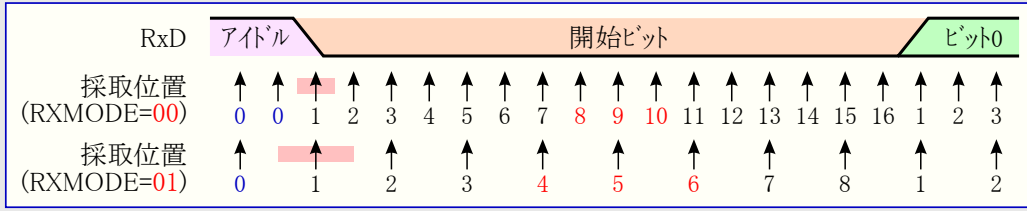
25.3.3.2. 非同期動作

25.3.3.2.1. クロック再生

非同期動作使用時に共通クロック信号がないため、通信する各装置は独立したクロック信号を生成します。これらのクロック信号は行われる通信に対して同じボーレートで動くように構成設定されなければなりません。従って、装置は同じ速度で動きますが、それらのタイミングはお互いの関係に於いて歪められています。これに対応するため、USARTはやって来る非同期直列フレームを内部的に生成したボーレートクロックと同期するハードウェアクロック再生部が特徴です。

下図は到着フレームの開始ビット用採取処理を図解します。これは標準と倍速の両動作(各々、'00'と'01'に構成設定された制御B(USARTn.CTRLB)レジスタの受信部動作(RXMODE)ビット領域)に対するタイミングの仕組みを示します。標準動作用採取速度はボーレートの16倍、一方で倍速動作用採取速度はボーレートの8倍です(「25.3.3.2.4. 倍速動作」をご覧ください)。赤帯(訳注:原文は水平矢印)は最大同期誤差を示します。最大同期誤差が倍速動作でより大きいことに注意してください。

図25-6. 開始ビット採取

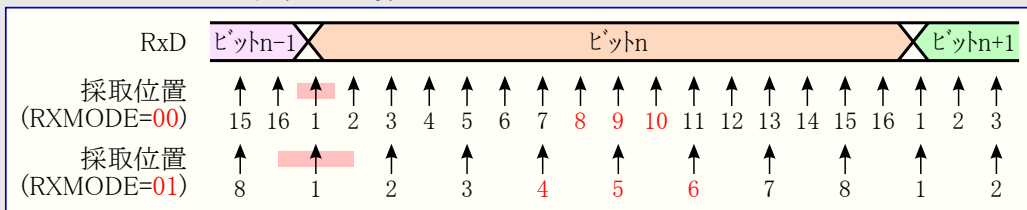


クロック再生論理回路がアイドル(High)状態から開始ビット(Low)への下降端を検出すると、開始ビット検出手順が始まります。上図に於いて、採取1は最初の'0'読み採取を記します。その後クロック再生論理回路は有効な開始ビットが受信されたかを判断するのに3つの連続採取(標準動作で採取8,9,10、倍速動作で採取4,5,6)を使います。2つまたは3つの採取が'0'を読む場合、開始ビットが受け入れられます。クロック再生部が同期化され、データ再生を始めることができます。2つ未満の採取が'0'を読む場合、この開始ビットは捨てられます。この処理は各開始ビット毎に繰り返されます。

25.3.3.2.2. データ再生

クロック再生と同様に、データ再生部は倍速動作または標準動作で動いているかに依存して、各々、ボーレートよりも8または16倍速い速度で採取します。下図は受信したフレームでのビット読み取り用採取処理を示します。

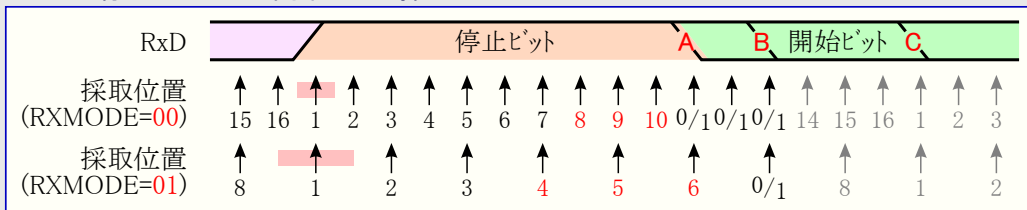
図25-7. データビットとパリティビットの採取



受信したビットの論理レベルを判断するのにクロック再生でのように中央3採取での多数決技法が使われます。この処理は完全なフレームが受信されるまで各ビットに対して繰り返されます。

データ再生部は最初の停止ビットだけを受け取る一方で、もっとある場合に残りを無視します。採取した停止ビットが'0'を読む場合、受信データ上位(USARTn.RXDADAH)レジスタのフレーム異常(FERR)フラグが設定(1)されます。下図は停止ビットの採取を示します。これは最も早く可能な次のフレームの始めも示します。

図25-8. 停止ビットと次の開始ビットの採取



新しいフレームの開始ビットを示すHighからLowへの遷移は多数決に使ったビットの最後の直後に来得ます。標準速動作については最初のLowレベル採取、上図でAと記された点で有り得ます。倍速動作については最初のLowレベルが多数決採取後の最初の採取であるB点に遅らされなければなりません。C点は公称ボーレートでの停止ビットの全長(の終点)を記します。

25.3.3.2.3. 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25-4. 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25-4と表25-5は表25-4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。

$$R_{\text{slow}} = \frac{S(D+1)}{S(D+1)+S_F-1}$$

$$R_{\text{fast}} = \frac{S(D+2)}{S(D+1)+S_M}$$

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_F: 多数決に使う最初の採取番号。標準速動作はS_F=8、倍速動作はS_F=4

S_M: 多数決に使う中心の採取番号。標準速動作はS_M=9、倍速動作はS_M=5

R_{slow}: 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_{fast}: 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

25.3.3.2.4. 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、「25.3.2.2.1. 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「25.3.3.2.3. 許容誤差」をご覧ください。

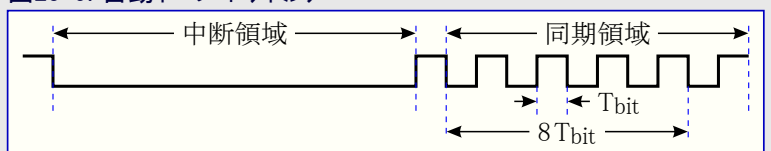
25.3.3.2.5. 自動ボーレート

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律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のを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8T_{bit}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25-9. 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。

25.3.3.2.6. 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ドレイン動作(**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**)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ピンはオープンド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25-10. RS-485バス接続

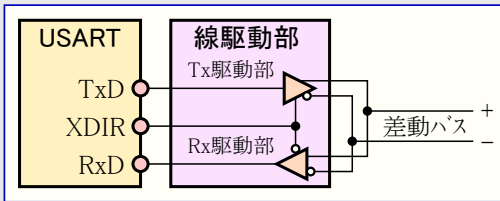
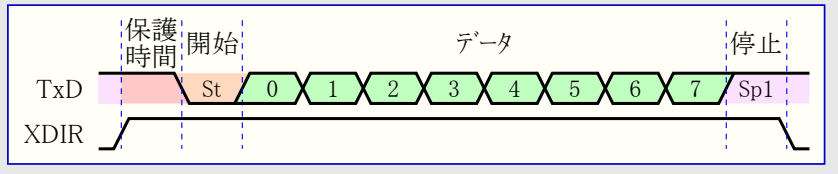
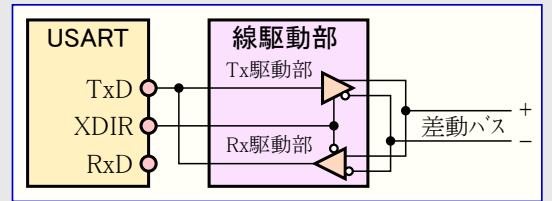


図25-11. XDIR駆動タイミング



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25-12. 折り返し動作接続でのRS-485

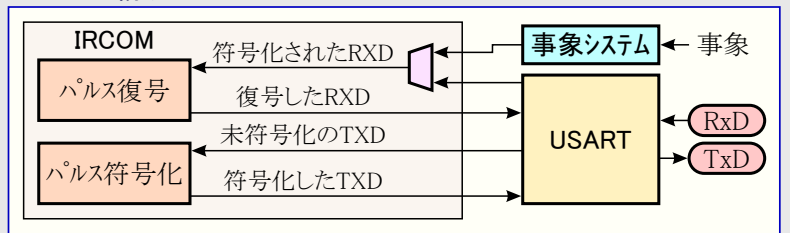


25.3.3.2.7. IRCOM動作形態

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25-13. 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。

25.3.4. 付加機能

25.3.4.1. 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。

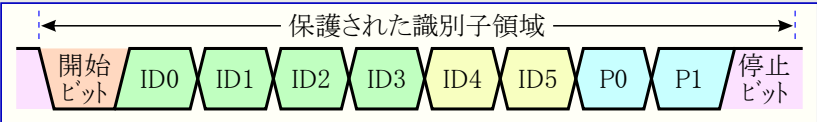
偶数または奇数のパリティは制御C(USARTn.CTRLC)レジスタのパリティ動作(PMODE)ビット領域を書くことによって誤り検査用を選ぶことができます。偶数パリティが選ばれた場合、パリティビットは'1'値を持つデータビット数が奇数の場合に'1'に設定されます('1'値を持つ総ビット数を偶数にします)。奇数パリティが選ばれた場合、パリティビットは'1'値を持つデータビット数が偶数の場合に'1'を設定します('1'を持つ総ビット数を奇数にします)。

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25-14. 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



25.3.4.2. 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25-6. 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。

25.3.4.3. 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。

25.3.4.3.1. 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。

25.3.5. 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25-7. 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25-8. 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

25.3.6. 割り込み

表25-9. 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	・ 受信緩衝部に未読データ有 (RXCIE) ・ 検出されたフレーム開始の受信 (RXSIE) ・ 自動ボーレート異常/ 矛盾同期領域割り込み要求フラグ(ISFIF)設定(1) (ABEIE)
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。

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	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							

25.5. レジスタ説明

25.5.1. 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)

25.5.2. 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「25.3.4.1. 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。

25.5.3. 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)**25.5.4. 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。

25.5.5. 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(TXDATAH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.TXDATAH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)

このフラグは自動ボーレートが許可されて、同期領域が与えられた有効なボ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「自動ボーレート」項をご覧ください。

- **ビット1 – BDF : 中断検出フラグ** (Break Detected Flag)

このフラグは自動ボ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「自動ボーレート」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。

25.5.6. 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、TxDピンと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。

25.5.7. 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「25.3.2.4.2. 受信部禁止」項を参照してください。

値	0	1
説明	USART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「[25.3.2.3.1. 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「[25.3.4.2. 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「[25.3.3.2.4. 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ボーレート(GENAUTO)動作を許可します。より多くの情報については「[自動ボーレート](#)」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制限自動ボーレート(LINAUTO)動作を許可します。より多くの情報については「[自動ボーレート](#)」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	標準自動ボーレート動作	LIN制限自動ボーレート動作

●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「[25.3.4.3. 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。

25.5.8. 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「25.3.4.1. 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)

25.5.9. 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「25.3.3.1.3. 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。

25.5.10. BAUD – ボーレート (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ボ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ボーレート前置分周器の即時更新を起動します。ボーレートの設定方法のより多くの情報については[表25-1](#)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	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
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15~8 – BAUD15~8 : ボーレート上位バイト (USART Baud Rate high byte)

このビット領域は16ビットボ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 : ボーレート下位バイト (USART Baud Rate low byte)

このビット領域は16ビットボーレートレジスタの下位バイトを保持します。

25.5.11. 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 : 自動ボーレート窓幅 (Auto-baud Window Size)

これらのビットはLIN制限自動ボーレート動作使用時に2つの同期する装置間のボ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ビット間のボーレート採取数に基づきます。ボ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ボーレート採取でなければなりません。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
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)

25.5.12. 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

25.5.13. 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「[25.3.3.2.7. 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。

25.5.14. 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。

25.5.15. 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	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6~0 – 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とされる採取数を表します。

26. SPI – 直列周辺インターフェース

26.1. 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

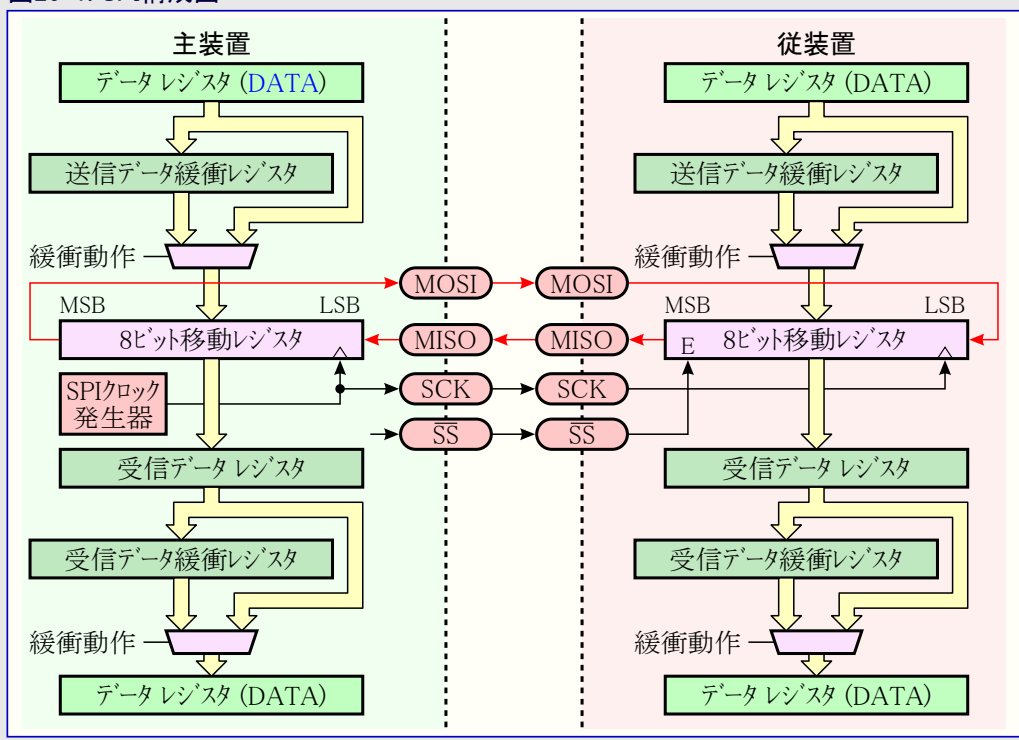
26.2. 概要

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®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線上に必要な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。

26.2.1. 構成図

図26-1. SPI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。

26.2.2. 信号説明

表26-1. 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26-1.に従って上書きされます。

26.3. 機能的な説明

26.3.1. 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(SPI_{IN}.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、SPI_{IN}.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(SPI_{IN}.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: SPI_{IN}.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(SPI_{IN}.CTRLB)レジスタで緩衝動作許可(BUFEN)と緩衝動作受信待機機(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SPI_{IN}.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. SPI_{IN}.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。

26.3.2. 動作

26.3.2.1. 主装置動作

SPIが主装置動作に構成設定されると、データ(SPI_{IN}.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。

26.3.2.1.1. 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(SPI_{IN}.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(SPI_{IN}.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なければなりません。このレジスタはSPI_{IN}.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(SPI_{IN}.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(SPI_{IN}.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。

26.3.2.1.2. 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。

- 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。
- 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。
- 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。

26.3.2.1.3. 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。

- 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26-2の条件を満たす時に切り替えられます。
- 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26-2. 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ません。 $\overline{SS}$ 線のLowレベルによってMASTERビットが解除(0)されてしまった後、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ません。

26.3.2.2. 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。

26.3.2.2.1. 標準動作

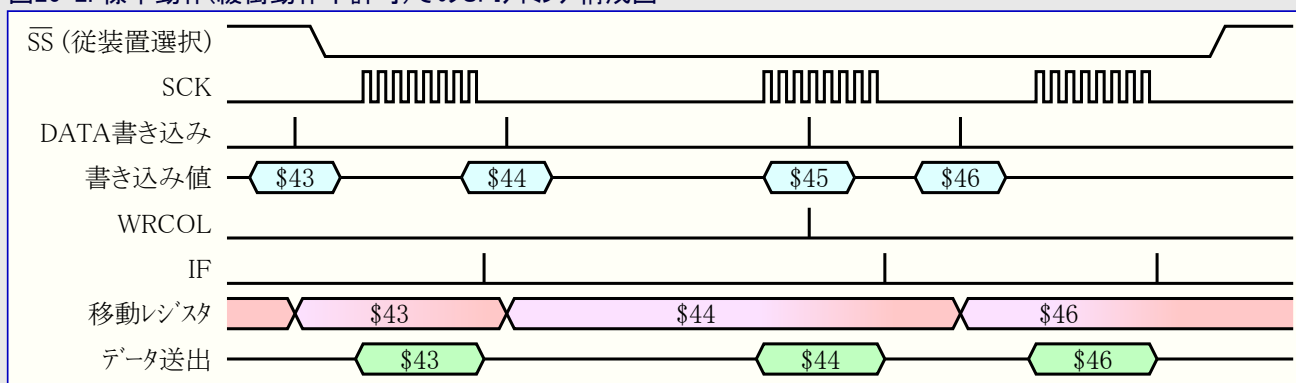
標準動作で、SPI周辺機能は $\overline{SS}$ ピンがHighに駆動される限りアイドルに留まります。この状態ではソフトウェアが**データ(SPIIn.DATA)レジスタ**の内容を更新するかもしれませんが、 $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動されるまで、データはSCKピンでやって来るクロックパルスによって移動されません。 $\overline{SS}$ ピンがLowに駆動された場合、従装置は最初のSCKクロックパルスでデータの移動を開始します。1バイトが完全に移動されると、**割り込み要求フラグ(SPIIn.INTFLAGS)レジスタのSPI割り込み要求フラグ(IF)**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。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26-2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26-2. 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.INTFL AGSレジスタの書き込み衝突(WRCOL)フラグが設定(1)されます。

26.3.2.2.2. 緩衝動作

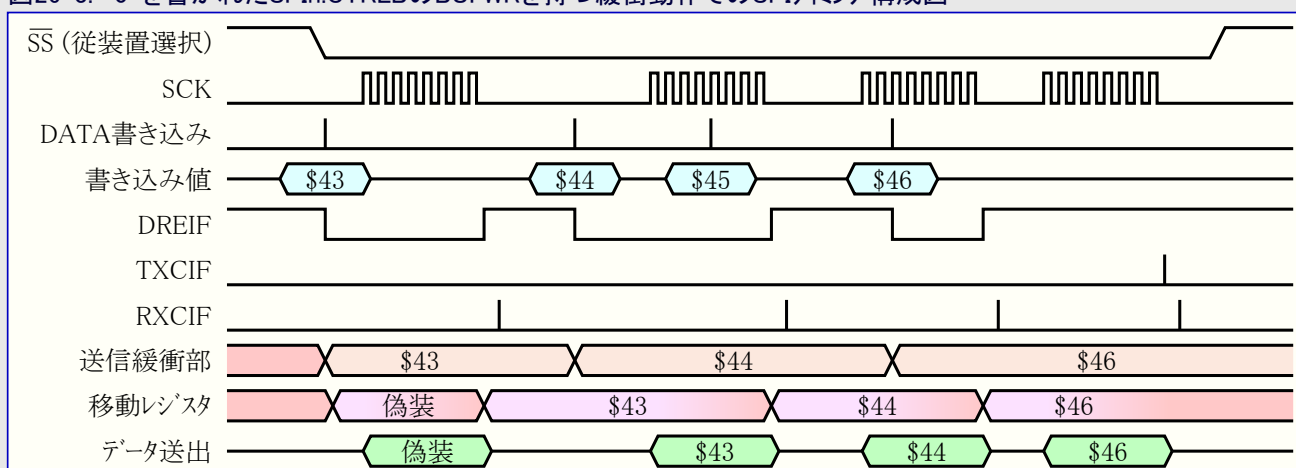
データ衝突を避けるため、SPI周辺機能は制御B(SPIn.CTRLB)レジスタの緩衝動作許可(BUFEN)ビットに'1'を書くことによって緩衝動作に構成設定することができます。この動作では2つの受信緩衝部と1つの送信緩衝部を持ちます。双方は独立した割り込み要求フラグの送信完了と受信完了を持ちます。図26-1は追加の緩衝部を示します。緩衝動作が許可される時に2つの異なる方法で動くことができます。制御B(SPIn.CTRLB)レジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットは緩衝動作がどう動くかを制御します。タイミング構成図を含みそれらがどう動くかの詳細が下で記述されます。

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バイトが送られます。図26-3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26-3. '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



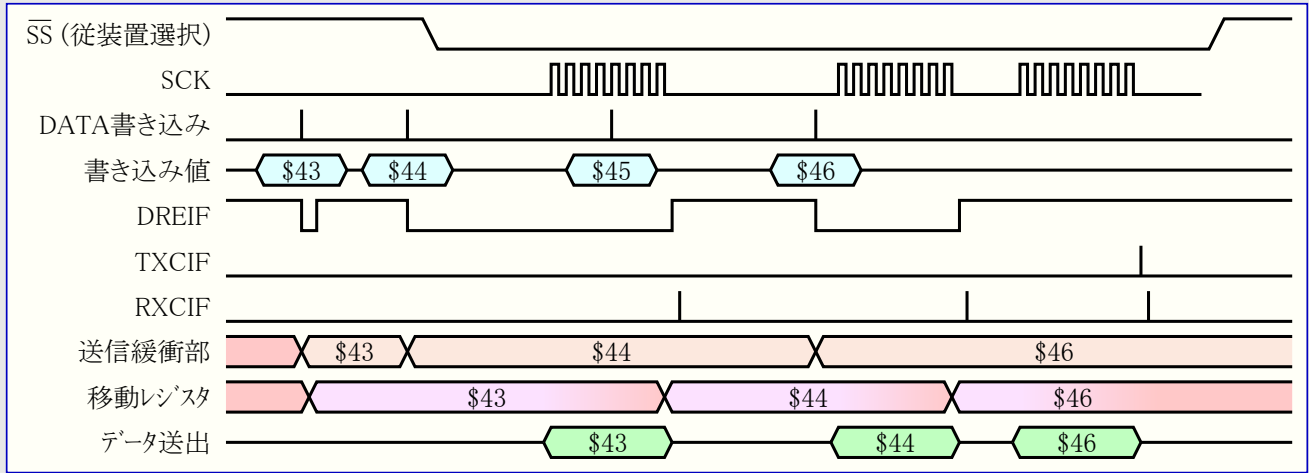
SPIn.CTRLBレジスタの緩衝動作受信待機(BUFWR)ビットが'0'を書かれると、データ(SPIn.DATA)レジスタへの全ての書き込みが送信データ緩衝レジスタへ行きます。上の図は\$43が直ちに移動レジスタへ送られずにデータ(SPIn.DATA)レジスタに書かれ、故に最初に送られるバイトが偽装バイトであることを示します。偽装バイトの値はその時の移動レジスタにあった値に等しい値です。最初の偽装転送が完了された後、移動レジスタに値\$43が転送されます。その後に\$44がデータ(SPIn.DATA)レジスタへ書かれて送信データ緩衝レジスタへ行きます。新しい転送が開始され、\$43が送られます。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.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。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.INTFLAGS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.INTFLAGS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 $\overline{\text{SS}}$ ピンがLowに駆動されると直ぐに開始します。図26-4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26-4. '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、 $\overline{\text{SS}}$ 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。

26.3.2.2.3. 従装置動作での $\overline{\text{SS}}$ ピンの機能

従装置選択($\overline{\text{SS}}$)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。 $\overline{\text{SS}}$ ピンはチップ選択ピンとして使われます。

従装置動作で、 $\overline{\text{SS}}$, 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 $\overline{\text{SS}}$ の値に依存します。 $\overline{\text{SS}}$ 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。 $\overline{\text{SS}}$ 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26-3は $\overline{\text{SS}}$ ピン機能の上書きを示します。

表26-3. $\overline{\text{SS}}$ ピン機能の概要

$\overline{\text{SS}}$ 構成設定	$\overline{\text{SS}}$ 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 $\overline{\text{SS}}$ ピンがHighに駆動される時にリセットされます。伝送中に $\overline{\text{SS}}$ 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。 $\overline{\text{SS}}$ 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。

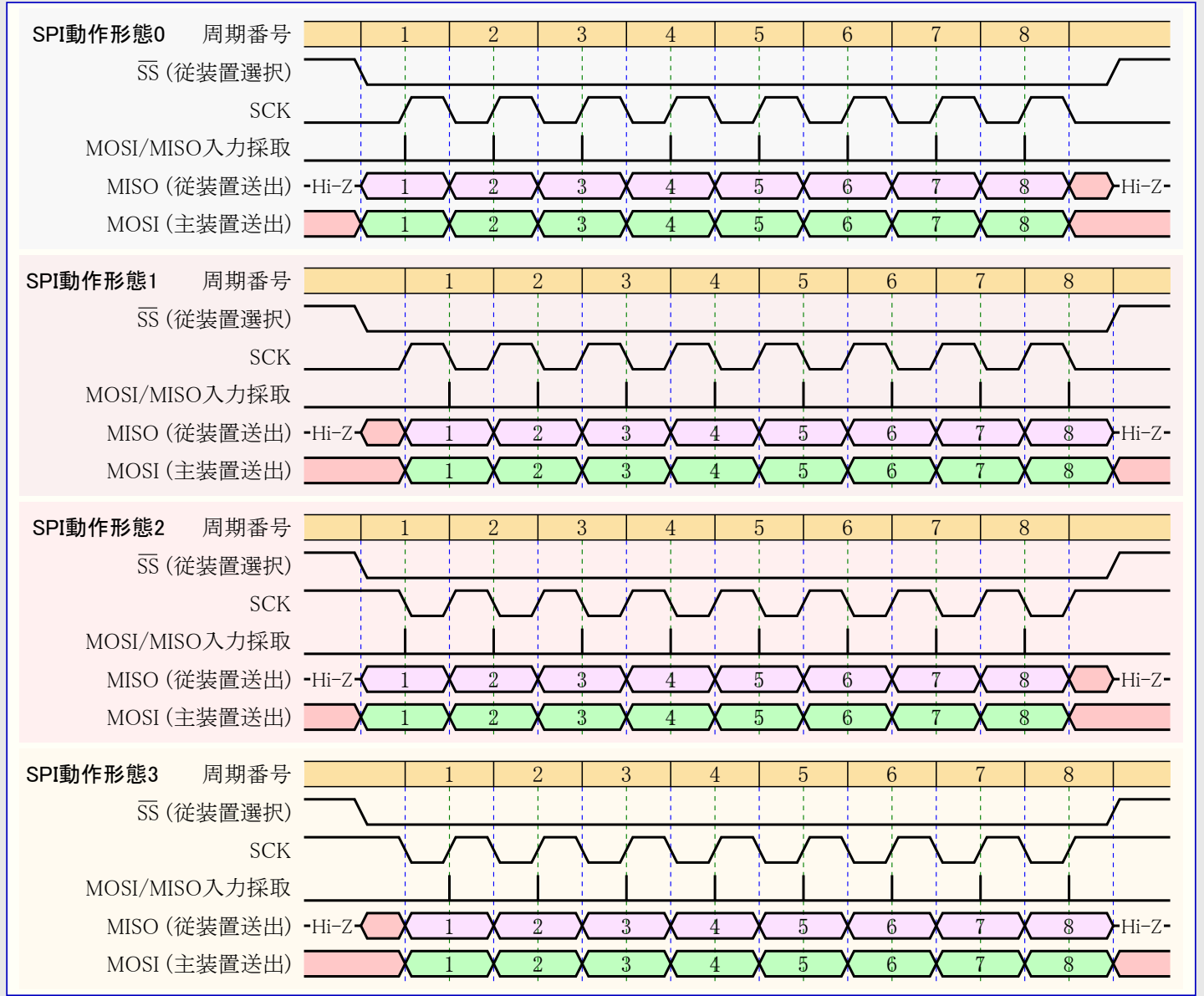
26.3.2.3. データ転送形態

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(SPI_{IN}.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26-5. SPIデータ転送形態



26.3.2.4. 事象

SPIは以下の事象を生成することができます。

表26-4. 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				
SPI _{IN}	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。

26.3.2.5. 割り込み

表26-5. 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	• IF • WRCOL : 割り込み要求割り込み : 書き込み衝突割り込み	• SSI • DRE • TXC • RXC : 従装置選択起動割り込み : データレジスタ空割り込み : 転送完了割り込み : 受信完了割り込み

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。

26.4. 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							

26.5. レジスタ説明

26.5.1. 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。

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\(SPIн.INTFL AGS\)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\(SPIн.CTRLB\)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

26.5.2. 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写される前に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

26.5.3. 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(SPIн.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(SPIн.INTFLAGS)レジスタ**でRXCIF/IFが設定(1)される時に起動されます。

26.5.4. 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(SPIн.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SPIн.INTFLAGSレジスタを読み、その後にSPIн. 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(SPIн.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**SPIн.INTFLAGSレジスタ**を読み、SPIн.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。

26.5.5. 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(SPIн.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(SPIн.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きか、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。

26.5.6. 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。

SPIIn.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。その後に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。

27. TWI - 2線インターフェース

27.1. 特徴

- 2線通信インターフェース
- Phillips社I²C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
- 独立した主装置と従装置の動作
 - 結合(同一ピン)
 - 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

27.2. 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。

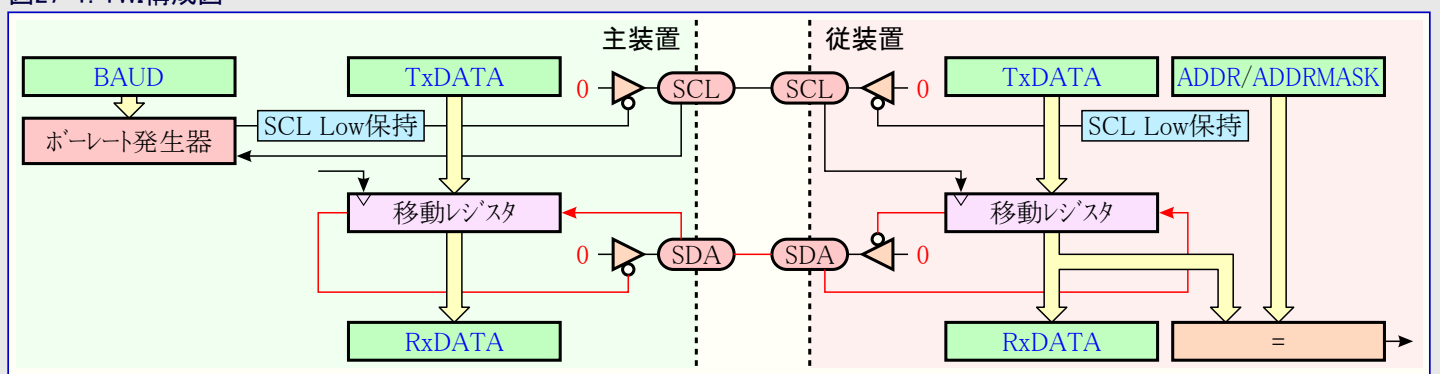
TWIバスは1つまたは複数の従装置を1つまたは複数の主装置に接続します。バスに接続されたどの装置も主装置、従装置、または両方として働くことができます。主装置はポーレート発生器(BRG)を使ってSCLを生成し、1つの従装置をアドレス指定してデータを送るまたは受け取るのどちらかを望むかを告げることによってデータ処理を始めます。BRGは100kHzから1MHzまでの標準動作(Sm)と高速動作(Fm、Fm+)バス周波数を生成することができます。

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は自動起動動作ができ、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。

27.2.1. 構成図

図27-1. TWI構成図



27.2.2. 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

27.3. 機能的な説明

27.3.1. 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。

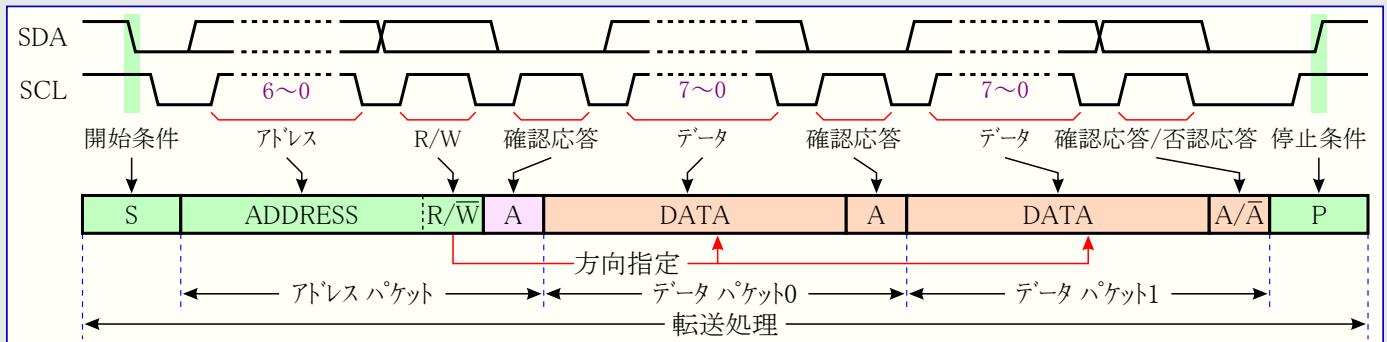
バスに接続した各従装置に固有のアドレスが割り当てられ、主装置は従装置を制御して処理を始めるのにこれを使います。複数の主装置を同じバスに接続することができ、複数主装置環境と呼ばれます。何時でも1つの主装置だけがバスを自身のものにできるので、主装置間でバス所有権を解決するために調停機構が提供されます。

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どちらをしたいのかを表す方向(R/W)ビットを持つアドレス パケットがその後に送られます。

アドレス指定されたI²C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27-2. 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)

27.3.2. TWI基本動作

27.3.2.1. 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

27.3.2.1.1. 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。

27.3.2.1.2. 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。

27.3.2.2. TWI主装置動作

TWI主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。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。

27.3.2.2.1. クロック生成

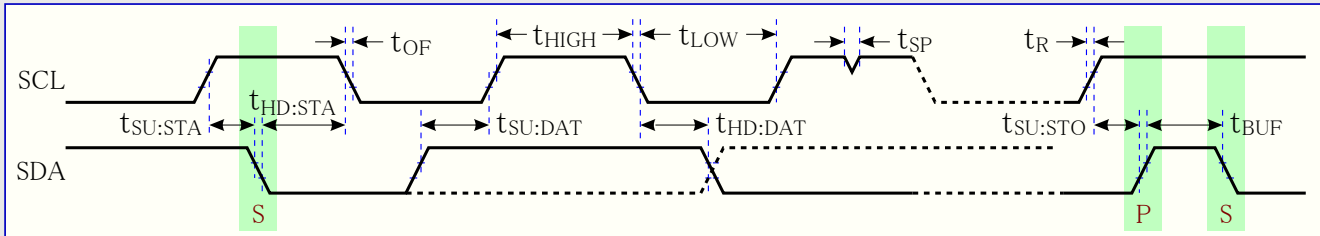
TWIは次のような異なる周波数制限を持ついくつかの送信動作形態を支援します。

- 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+)

主装置ポーレート(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れなければなりません。

Low(t_{LOW})とHigh(t_{HIGH})の時間は主装置ポーレート(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27-3. 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レジスタのポーレート(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。

式1はBAUDを表すように変形(式2)することができます。

$$f_{SCL} = \frac{1}{t_{LOW} + t_{HIGH} + t_{OF} + t_R} \text{ [Hz]}$$

$$f_{SCL} = \frac{f_{CLK_PER}}{10 + 2 \times BAUD + f_{CLK_PER} \times t_R} \quad (1)$$

$$BAUD = \frac{f_{CLK_PER}}{2 \times f_{SCL}} - \left(5 + \frac{f_{CLK_PER} \times t_R}{2} \right) \quad (2)$$

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。

$$t_{LOW} = \frac{BAUD + 5}{f_{CLK_PER}} - t_{OF} \quad (3)$$

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。

$$BAUD = f_{CLK_PER} \times (T_{LOW_mode} + t_{OF}) - 3 \quad (4)$$

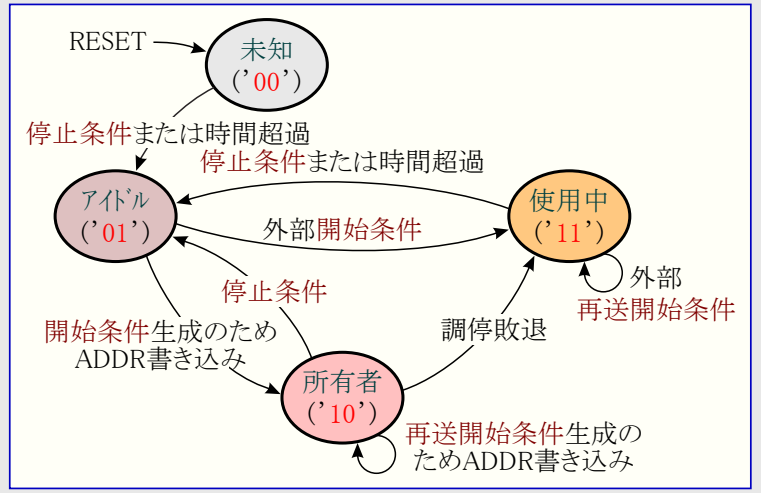
27.3.2.2.2. TWIバス状態論理

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、ビット計数器を含みます。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27-4. バス状態遷移図



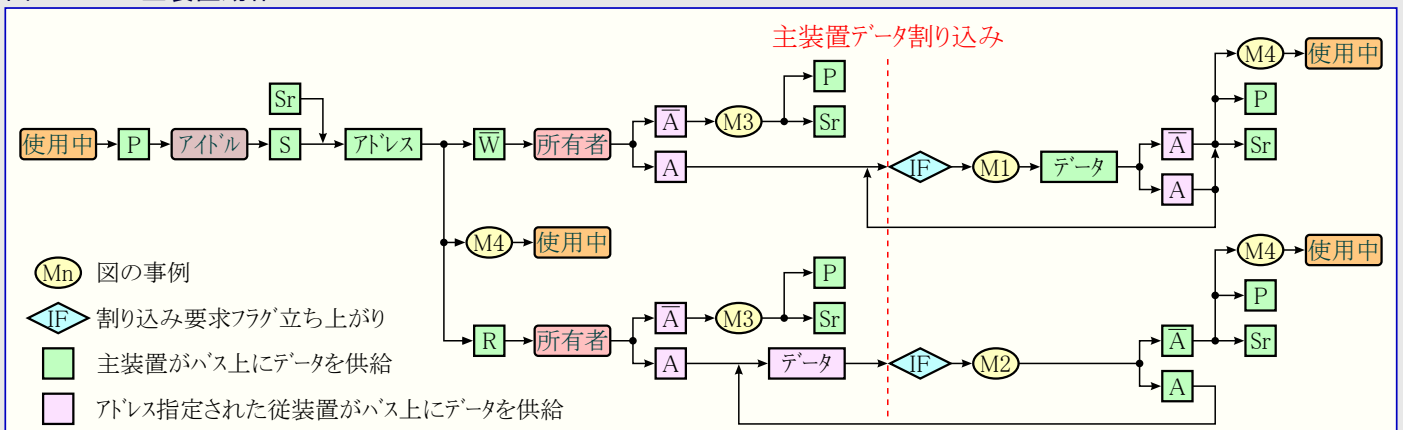
- 1. 未知:** バス状態機構はTWI主装置が許可される時に有効です。TWI主装置許可、システムリセット実行、またはTWI主装置禁止後、バス状態は未知です。
- 2. アイドル:** **バス状態(BUSSTATE)ビット領域**に'01'を書くことによってバス状態機構をアイドル状態に入りを強制することができます。バス状態論理回路を他のどの状態にも強制することはできません。最初の**停止条件**が検出される時に応用ソフトウェアによって状態が設定されなければ、バス状態はアイドルになります。**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタの主装置不活性バス時間制限(TIMEOUT)ビット領域**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へ変わります。
- 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。

27.3.2.2.3. 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に**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バイ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27-5. TWI主装置動作



27.3.2.2.3.1. 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

27.3.2.2.3.2. 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

27.3.2.2.3.3. 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I²C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。

27.3.2.2.3.4. 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

27.3.2.2.4. 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。

27.3.2.2.5. 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行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。

27.3.2.3. 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。

27.3.2.3.1. アドレスパケット受信

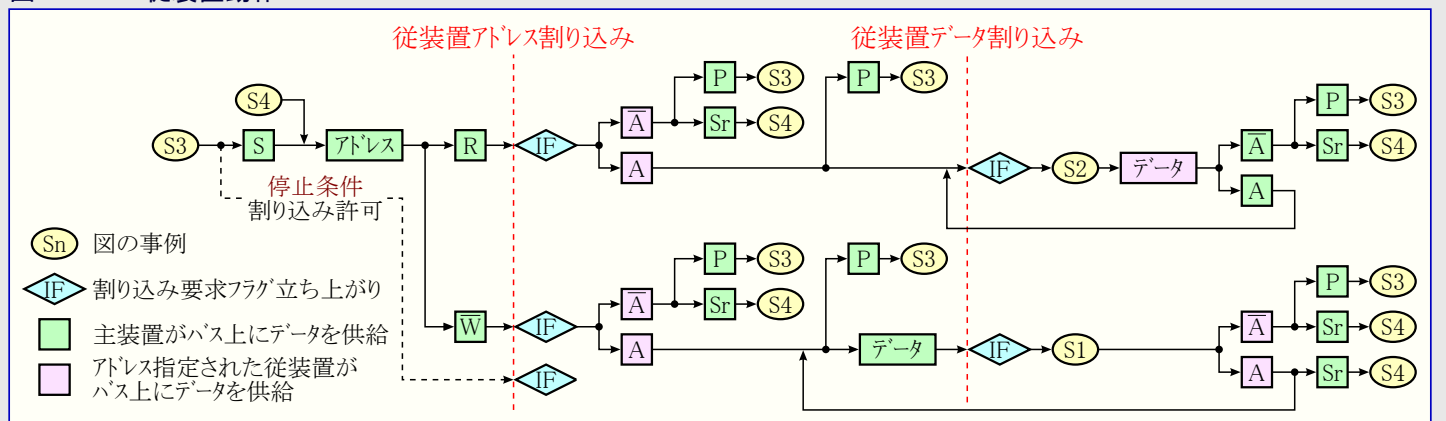
TWIが従装置として構成設定されると、検出されるべき開始条件を待ちます。これが起こると、継続してアドレスパケットが受信されてアドレス一致論理回路によって調べられます。従装置は正しいアドレスに確認応答(ACK)し、従装置データ(TWIn.SDATA)レジスタにアドレスを保存します。受信したアドレスが一致しなければ、従装置は応答やアドレスの保存をせず、新しい開始条件を待ちます。

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(ADDRREN)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

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27-6. TWI従装置動作



27.3.2.3.1.1. 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

27.3.2.3.1.2. 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

27.3.2.3.1.3. 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

27.3.2.3.1.4. 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。

27.3.2.3.2. 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。

27.3.2.3.3. 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。

27.3.3. 付加機能

27.3.3.1. 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。これがボーレート設定に依存するため、制限時間設定前に**主装置ボーレート(TWIn.MBAUD)レジスタ**を書くことが推奨されます。

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。

27.3.3.1.1. 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。

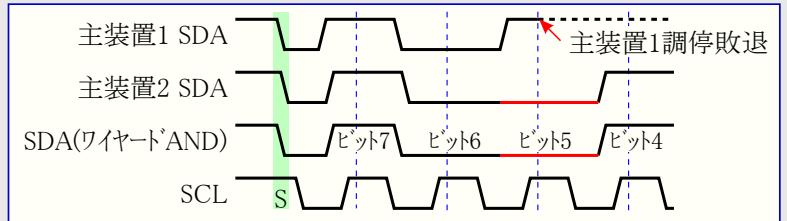
- ・SMBus 2.0仕様の表1は25〜35msの最大クロックLow制限時間(Ttimeout)を与え、これは事象システムを使ってSCLピンをTCB周辺機能に繋げることによって実装することができます。望む制限時間値と共に**制限時間検査動作**でTCBを構成設定してください。
- ・第3層(網(Network)層)はパケット誤り検査(PEC:Packet Error Check)、アドレス解決規約(ARP:Address Resolution Protocol)などが特徴です。これらは必要とされる場合にソフトウェアで実装することができます。

27.3.3.2. 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ず、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27-7. TWI調停



27.3.3.3. 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I²C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。

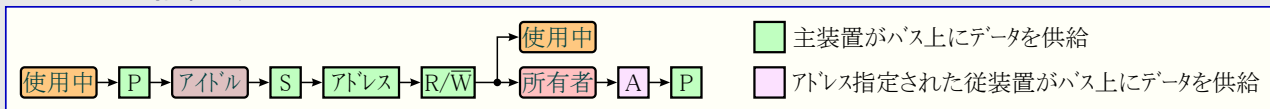
27.3.3.4. 迅速指令動作

迅速動作でのアドレスパケットのR/ $\bar{W}$ 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/ $\bar{W}$ 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/ $\bar{W}$ 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27-8. 迅速指令の流れ



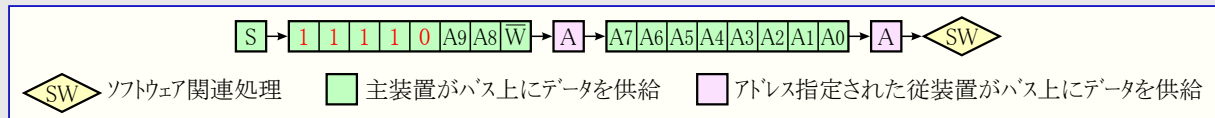
27.3.3.5. 10ビット アドレス

転送処理が読みか書きかに関わらず、主装置はR/ $\bar{W}$ 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定めるため、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/ $\bar{W}$ 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27-9. 10ビット アドレス転送処理



27.3.4. 割り込み

表27-1. 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	- DIF : TWIn.SSTATUSのデータ割り込み要求フラグを'1'に設定 - APIF : TWIn.SSTATUSのアドレス/停止割り込み要求フラグを'1'に設定
Master	TWI主装置割り込み	- RIF : TWIn.MSTATUSの読み込み割り込み要求フラグを'1'に設定 - WIF : TWIn.MSTATUSの書き込み割り込み要求フラグを'1'に設定

割り込み条件が起こると、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。

27.3.5. 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。

27.3.6. 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。

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	CTRLA	7~0				SDASETUP	SDAHOLD1,0	FMPEN		
+\$01	予約	7~0								
+\$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

27.5. レジスタ説明

27.5.1. 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
				SDASETUP	SDAHOLD1,0		FMPEN	
アクセス種別	R	R	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'書き込みは既定構成設定でのTWI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

27.5.2. 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

27.5.3. 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 ² C	50μs : SMBus (100kHzボーレートと仮定)	100μs (100kHzボーレートと仮定)	200μs (100kHzボーレートと仮定)

● **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。

27.5.4. 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バス空気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。

表27-2. 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	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1)
		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1: 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。

27.5.5. 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	ARBLOST	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(WIE N)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	0 0	0 1	1 0	1 1
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)

27.5.6. 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。

27.5.7. 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。

27.5.8. 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。

27.5.9. 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'を書かなくてはなりません。
- 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。

27.5.10. 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(スローフ)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27-3. 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	$\bar{W}$	何れかの開始条件/再送開始条件(S/Sr)待機に先行する応答動作を実行	転送処理
		R	何れかの開始条件/再送開始条件(S/Sr)待機	完了に使用
1 1	RESPONSE	$\bar{W}$	次バイ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イ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。

27.5.11. 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)するのに使うことができます。

- ・ 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。

● 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主装置は**主装置制御A(TWIn.MCTRLA)レジスタのTWI主装置許可(ENABLER)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 (Rwad/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

27.5.12. 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.SADDR)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I²C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。

27.5.13. 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レジスタに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。

27.5.14. 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。

28. USB – 万能直列バス装置制御器

28.1. 特徴

- USB2.0全速(Full-speed:12Mbps)装置適合インターフェース
- 統合された内部USB送受信部、外部部品不要
- 31個までのエンドポイントに対する完全なエンドポイント柔軟性を持つ16個のエンドポイント アドレス
 - エンドポイント当たり1つの入力エンドポイント
 - エンドポイント当たり1つの出力エンドポイント
- 構成設定可能なエンドポイント転送形式
 - 制御(Control)転送
 - 割り込み(Interrupt)転送
 - 大量(Bulk)転送
 - 等時(Isochronous)転送
- 設定可能なエンドポイント当たりのデータ本体量、最大1023バイト
- デバイスの内部SRAM内に配置されたエンドポイント構成設定表とデータ緩衝部
 - エンドポイント構成設定データに対する構成設定可能な位置
 - 各エンドポイントのデータ緩衝部に対する構成設定可能な位置
- 以下用のデバイスの内部SRAMとの組み込み直接メモリ入出力(DMA)
 - エンドポイント構成設定表へのアクセス
 - 転送中のエンドポイント データ読み書き
- 割り込み負荷とソフトウェア介入を減らすための複数パケット転送
 - 1つの継続する転送で最大パケット量を超えるデータ本体
 - パケット転送段階での割り込みまたはソフトウェアの干渉なし
- 複数エンドポイント使用時の容易な作業の流れ用の転送単位処理完了FIFO
 - 到着先行、処理作業待ち行列先行での完了された全ての転送単位処理の経緯
- ホストの遠隔起き上がり(Remote Wake-Up)
- 事象システムへの接続
- USB転送単位処理中のチップ上デバッグ能力

28.2. 概要

USB周辺機能はUSB2.0全速(Full-speed:12Mbps)装置適合インターフェースです。

各々が1つの入力と1つの出力のエンドポイントを持つ16個のエンドポイント アドレスが支援され、1つの制御エンドポイントを含み合計31個の構成設定可能なエンドポイントを与えます。各エンドポイント アドレスは制御(Control)、割り込み(Interrupt)、大量(Bulk)、等時(Isochronous)の4つの転送形式によって支援されます。データ本体量も選択可能で、1023バイトまでのデータ本体を支援します。

専用メモリはUSB単位部に配置または含まれません。デバイスの内部SRAMは各エンドポイント アドレスに対する構成設定とデータ緩衝部を保持します。エンドポイント構成設定とデータ緩衝部に使われるメモリ位置は完全に構成設定可能です。割り当てられたメモリの量は構成設定されたエンドポイント数とエンドポイントの構成設定に動的に応じます。USB周辺機能は組み込み直接メモリ入出力(DMA)を持ち、USB転送単位処理中にSRAMとデータ間で読み書きをします。

複数パケット転送はソフトウェア介入なしの複数パケットとして転送されるエンドポイントの最大パケット量を超えるデータ本体を許し、USB転送に必要なとされるCPU介入と割り込みを減らします。

低電力動作のため、USBバスがアイドルで休止条件が与えられた時にマイクロ コントローラはパワーダウンを除くどの休止形態にも移行することができます。バス再開で、USB周辺機能はマイクロ コントローラを起こすことができます。

下図はUSB周辺機能がUSBのOUTとINの転送をどう実行するか概要を提供します。

図28-1. USB OUT転送: ホストからUSB装置へのデータパケット

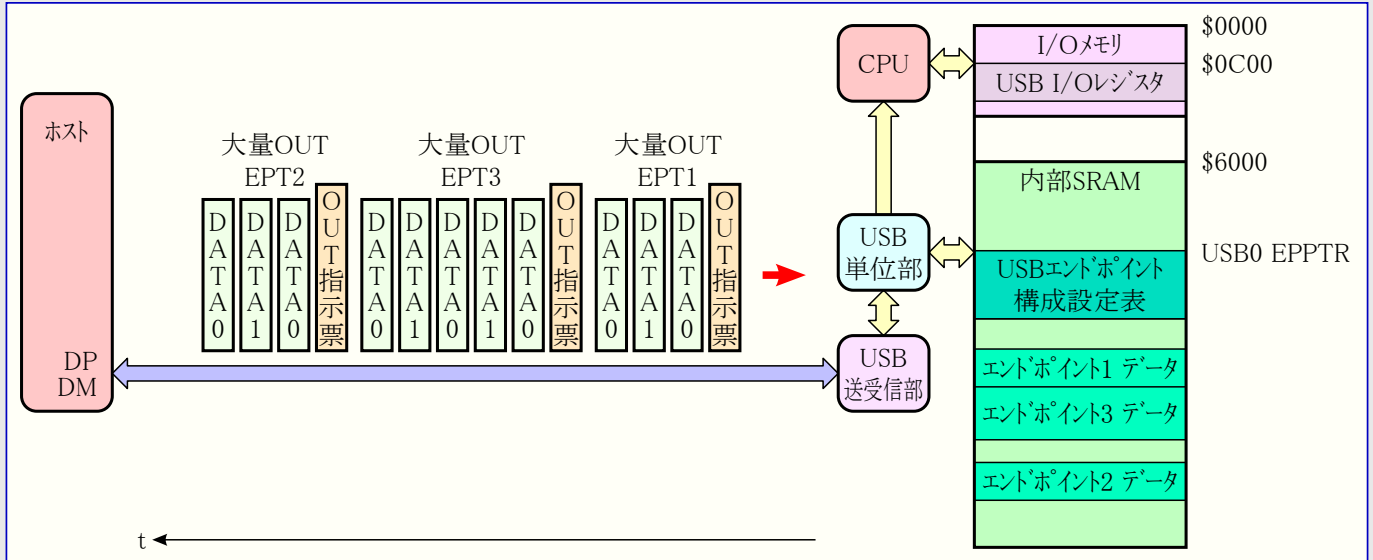
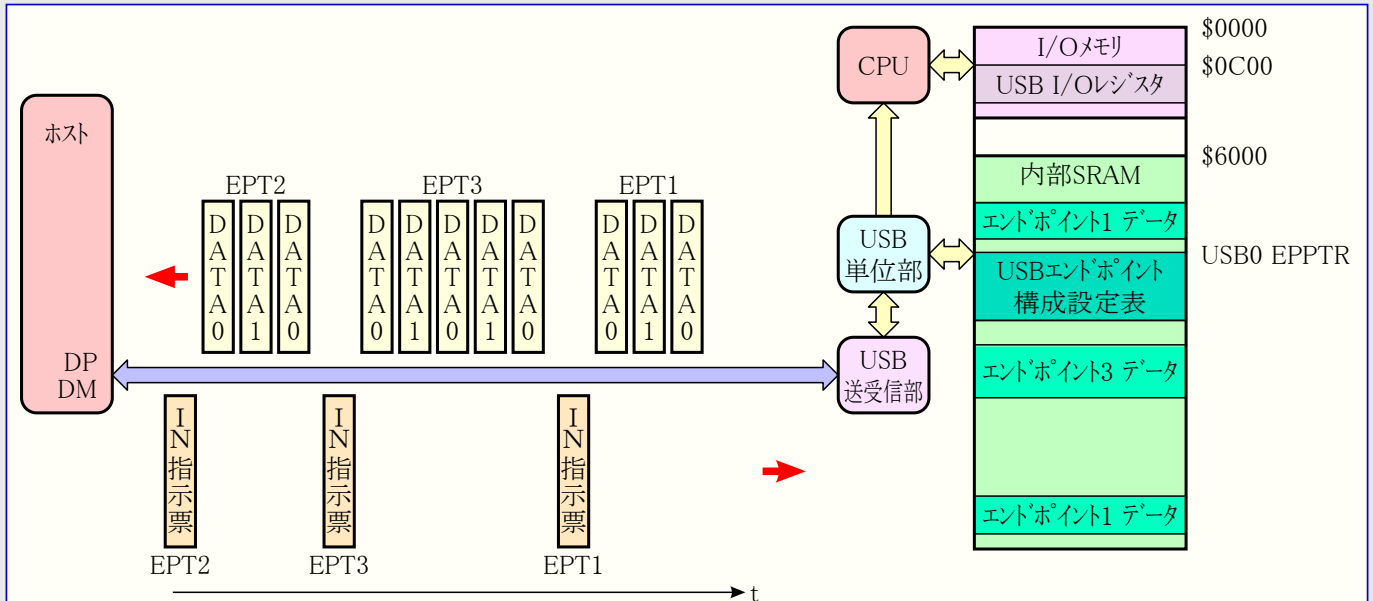
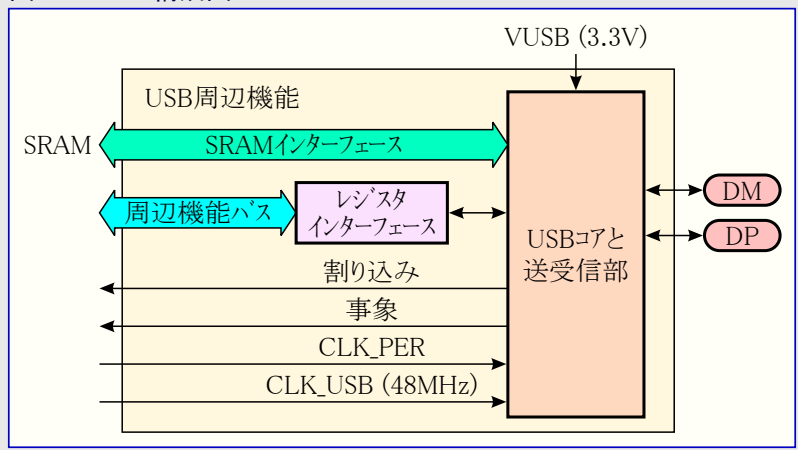


図28-2. USB IN転送: ホストからの要求後のUSB装置からホストへのデータパケット



28.2.1. 構成図

図28-3. USB構成図



28.2.2. 信号説明

信号	形式	説明
DM	デジタル入出力	データ マイナス (D-)
DP	デジタル入出力	データ プラス (D+)

28.3. 機能的な説明

28.3.1. 初期化

USB周辺機能は正しい動作のために正しいクロック設定と利用可能なVUSB電力を必要とします。

デバイスの動作電圧については「電気的特性」章を参照してください。

28.3.1.1. クロック生成

USB周辺機能は周辺機能クロック(CLK_PER)とUSBクロック(CLK_USB)の2つのクロック信号を必要とします。CLK_PERはレジスタとSRAMのインターフェースに使われ、最低12MHzでなければなりません。CLK_USBは公称48MHzでなければなりません。このクロックは参照基準として1ms間隔のフレーム開始(SOF:Start-Of-Frame)を使って走行時校正されます。これらのクロックを構成設定する情報については「[CLK CTRL - クロック制御](#)」章を御覧ください。

28.3.1.2. VUSB電力

USB周辺機能の内部送受信部の正しい動作とUSB仕様に合わせるため、デバイスのVUSBピンは公称3.3Vの電源を必要とし、これは外部供給元によって提供されるか、または内部の5V(VDD)⇒3.3V(VUSB)電圧調整器によって生成され得ます。より多くの情報については「[USB電源構成設定](#)」項を御覧ください。VUSB電源の詳細な電氣的要件と内部調整器の特性については「[電氣的特性](#)」章を参照してください。SYSCFG周辺機能はUSB電圧調整器を制御し、USB調整器の状態(準備可または不可)を調べます。これらのレジスタの追加情報については「[SYSCFG - システム構成設定](#)」項を参照してください。

28.3.2. 動作

本項は通常の単位処理中のUSB周辺機能動作の概要を与えます。USBとUSB規約の一般的な詳細については<http://www.usb.org>とUSB仕様文書を参照してください。

28.3.2.1. SOF - フレーム開始

フレーム開始(SOF)指示票が検出されると、**割り込み要求フラグA(USB.INTFLGASA)レジスタのフレーム開始割り込み要求(SOF)フラグ**が設定(1)されます。

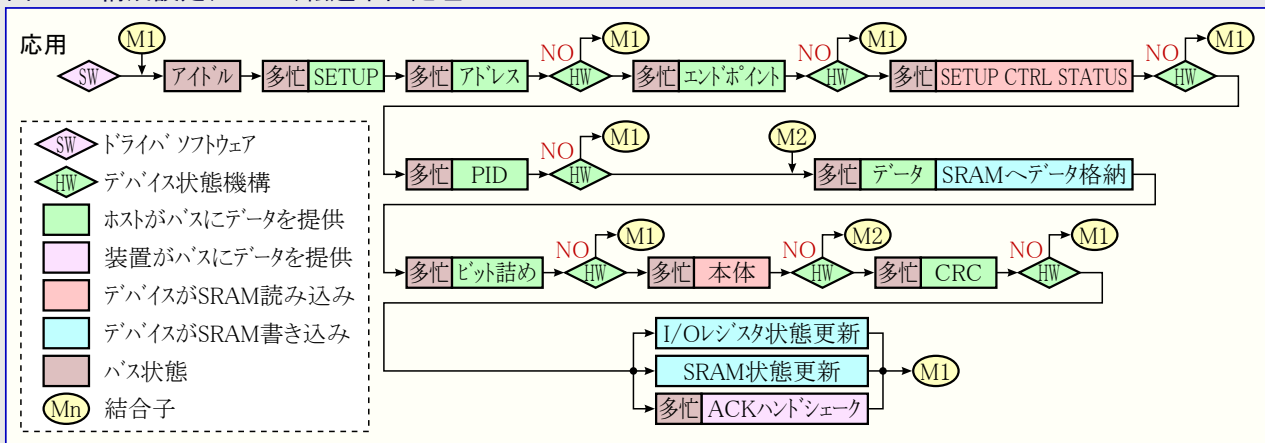
制御A(USB.CTRLA)レジスタのフレーム番号格納許可(STFRNUM)ビットが'1'の場合、指示票からのフレーム番号はエンドポイント構成設定表のフレーム番号(USB.FRAMENUM)レジスタに格納されます。巡回冗長検査(CRC)またはビット詰め異常が起きた場合、FRAMENUMレジスタのフレーム異常(FRAMEERR)ビットが設定(1)されます。

28.3.2.2. 構成設定 (SETUP)

構成設定(SETUP)指示票が検出され、その指示票パケットの装置アドレスがそのエンドポイントと一致しない場合、そのパケットは破棄され、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

アドレスが一致すると、USB周辺機能はエンドポイント構成設定表内でアドレス指定された出力エンドポイントから**エンドポイントn状態(EPn.[方向].STATUS)レジスタ**と**エンドポイントn制御(EPn.[方向].CTRL)レジスタ**を取得します。エンドポイント形式が制御エンドポイントでなければ、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

図28-4. 構成設定(SETUP)転送単位処理



エンドポイント形式が一致する場合、USB周辺機能は**エンドポイントn データ ポインタ(EPn.[方向].DATAPTR)**レジスタを取得し、DATA0パケットを待ちます。PID異常またはDATA0以外の何れかのPIDが検出された場合、USB周辺機能はアイドルに戻って次の指示票パケットを待ちます。

データPIDが一致すると、やって来るデータはDATAPTRによって指し示されるデータ緩衝部に書かれます。やって来るデータでビット詰め異常を検出する場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。受信したデータパケットの数が**エントポイントn制御(EPn. [方向].CTRL)レジスタのデータ容量(BUFSIZE)ビット領域**によって指定されるようなエントポイントの最大データ本体容量を超える場合、受信したデータパケットの残りは破棄されます。パケットは未だビット詰めとCRCに関して調べられます。構成設定(SETUP)転送単位処理は常に8バイトのデータを持つため、BUFSIZEによって指定された最大本体容量に関わらず8バイトがSRAMに書かれます。ビット詰めまたはCRCの異常がある場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

データが成功裏に受信されたなら、ホストへACKハント・シェークが返され、CRCを除いて受信したデータ・バイトの数が**エンド・ポイントn バイト計数器 (EPn.[方向].CNT)レジスタ**に書かれます。

最後に、エンドポイント構成設定(SETUP)完了(EPSETUP)フラグ、データ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグ、データ交互(TOGGLE)フラグはエンドポイントn状態(EPn.[方向].STATUS)レジスタ内の残りのフラグがアドレス指定された入力と出力のエンドポイントに対して解除(0)される時に設定(1)されます。制御B(USB.CTRLB)レジスタの自動全体NAK(GNAUTO)ビットが'1'の場合、CTRLBレジスタの全体NAK(GNAK)ビットが設定(1)されます。ファームウェアがそれら进行处理する準備が整うまで、USB周辺機能が将来の全てのINとOUTの転送単位処理にNAKするのを確実にするため、BUSNACKビットと場合によってGNAKビットが設定(1)されます。SETUP指示票に対する肯定応答(ACK)はGNAKやBUSNACKによって影響を及ぼされません。割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの構成設定(SETUP)転送単位処理完了割り込み要求フラグ(SETUP)が設定(1)されます。

制御転送はINとOUTのエンドポイントと異なる方法でエンドポイント緩衝部を使います。SETUP段階のデータパケットはエンドポイントのOUTデータ緩衝部に格納される一方で、データ段階(即ち、INまたはOUT)のデータパケットはINデータ緩衝部に格納されます。換言すると、EPn.OUT.DATAPTRは受信したSETUP段階のパケットを指し示し、EPn.IN.DATAPTRはデータ段階で送受信されるデータを指し示します。

28.3.2.3 GNAK - 全部不応答

制御B(USB.CTRLB)レジスタの全部NAK(GNAK)ビットへの'1'書き込みは非等時エンドポイントに対する全ての転送単位処理でNAK応答を返します。等時エンドポイントに対するどの転送単位処理も無視されます。

応用はGNAKビットを書くことができ、または**制御B(USB.CTRLB)レジスタの自動全部NAK(GNAUTO)ビット**が'1'の場合、SETUPパケットが受信された時にハードウェアによって設定(1)され得ます。

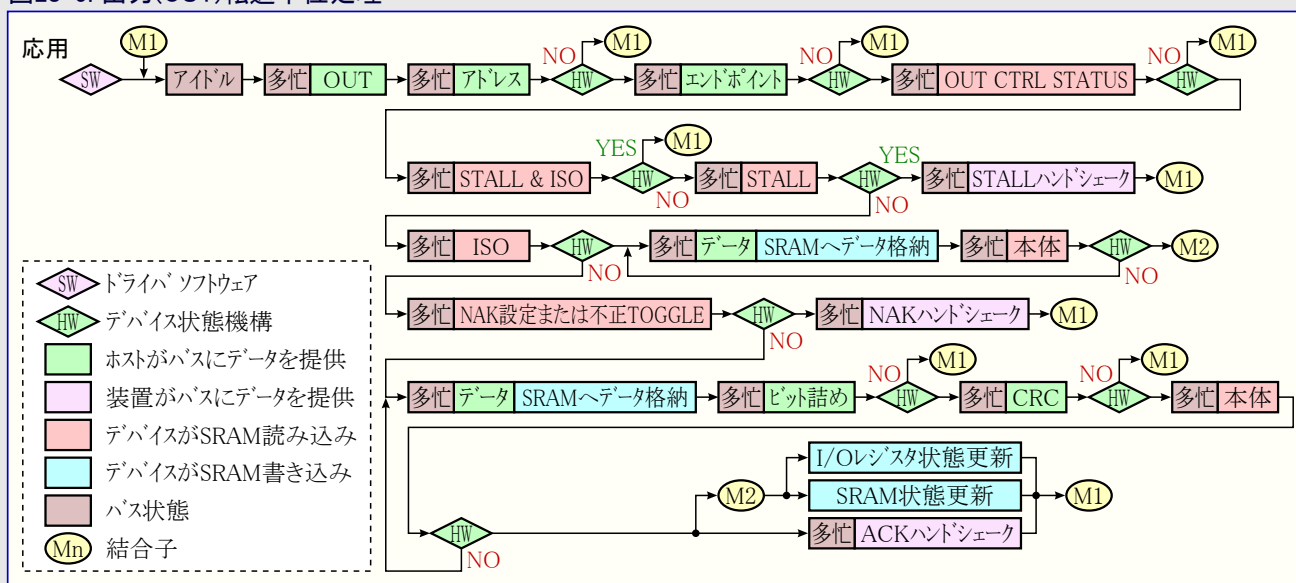
GNAKビットが'1'に設定後、全体NAK応答の実施と同時に**割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタのGNAK操作終了割り込み要求(GNDONE)フラグ**が設定(1)されます。

28.3.2.4. 出力 (OUT) 転送単位処理

OUT指示票が検出され、その指示票パケットの装置アドレスがそのエンドポイントと一致しない場合、そのパケットは破棄され、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

アドレスが一致すると、USB周辺機能はエント・ポイント構成設定表内でアドレス指定された出力エント・ポイントからエント・ポイントn状態(EPn.OUT.STATUS)レジスタとエント・ポイントn制御(EPn.OUT.CTRL)レジスタを取得します。エント・ポイントが禁止されている場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

図28-5. 出力(OUT)転送単位処理



エンドポイント形式が一致する場合、USB周辺機能は**エンドポイントn データ ポインタ(EPn.[方向].DATAPTR)レジスタ**を取得し、DATA0またはDATA1の packets を待ちます。PID 異常またはDATA0またはDATA1以外の何れかのPIDが検出された場合、USB周辺機能はアイドルに戻って次の指示票 packets を待ちます。

次に続く動きは以下のエンドポイント形式に依存します。

- ・ 制御エンドポイント
- ・ 等時(Isochronous)エンドポイント
- ・ 大量(Bulk)エンドポイントまたは割り込み(Interrupt)エンドポイント

28.3.2.4.1. 制御エンドポイント

- ・ エンドポイントn制御(CTRL)レジスタの不能応答(DOSTALL)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。ホストに不能応答(STALL)ハンドシェイクが返されます。エンドポイントn状態(STATUS)レジスタのエンドポイント不能応答(STALLED)フラグと割り込み要求フラグA(INTFLAGSA)レジスタの不能応答(STALL)割り込み要求(STALLED)フラグが設定(1)されます。
- ・ エンドポイントSTATUSレジスタのエンドポイント構成設定(SETUP)完了(EPSETUP)フラグが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。エンドポイントSTATUSレジスタのエンドポイント上/下溢れフラグ(UNFOVF)とINTFLAGSAレジスタの上溢れ割り込み要求フラグ(OVF)が設定(1)されます。ホストに否定応答(NAK)ハンドシェイクが返されます。
- ・ エンドポイントSTATUSレジスタのデータ交互(TOGGLE)ビットに対してPIDが調べられます。それらが一致しない限り、やって来るデータは破棄され、ホストに肯定応答(ACK)ハンドシェイクが返されます。エンドポイントSTATUSレジスタのデータ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグまたは制御B(USB.CTRLB)レジスタの全体NAK(GNAK)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。UNFOVFとOVFが設定(1)されます。ホストにNAKハンドシェイクが返されます。

やって来るデータはエンドポイントn データ ポインタ(EPn.OUT.DATAPTR)レジスタによって指示されるSRAM内のデータ緩衝部に書かれます。やって来るデータ内でビット詰め異常を検出した場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票 packets を待ちます。受信したデータ バイトの数がエンドポイントCTRLレジスタのデータ容量(BUFSIZE)ビット領域で指定した最大データ本体を超える場合、受信したデータ バイトの残りは破棄されます。パケットはビット詰めとCRCの異常に関して調べられます。それがビット詰めまたはCRCの異常を含む場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票 packets を待ちます。BUFSIZEによって指定した最大本体よりも少ないバイト数の受信の場合、SRAMに最初のCRCバイトが書かれるかもしれません。これは最後の正しいデータ ビットが偶数アドレスに書かれ、複数パケットが許可される時にエンドポイントn バイト計数器(CNT) < 複数パケット バイト計数(MCNT)、複数パケットが許可されない時にCNT < BUFSIZEの場合に書かれます。

データが成功裏に受信された場合、ホストにACKハンドシェイクが返され、CRCを除く受信したデータ バイトの数がCNTに書かれます。

最後に、BUSNACKと転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグが設定(1)され、TOGGLEが切り替えられます。転送単位処理完了FIFOが許可されているなら、FIFOにエンドポイント アドレスが書かれます。

28.3.2.4.2. 等時(Isochronous)エンドポイント

DATA0とDATA1のパケットからのデータが受け入れられます。エンドポイントSTATUSレジスタのデータ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグまたは制御B(USB.CTRLB)レジスタの全体NAK(GNAK)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。エンドポイントSTATUSレジスタのエンドポイント上/下溢れフラグ(UNFOVF)とINTFLAGSAレジスタの上溢れ割り込み要求フラグ(OVF)が設定(1)されます。

やって来るデータはエンドポイントn データ ポインタ(EPn.OUT.DATAPTR)レジスタによって指示されるSRAM内のデータ緩衝部に書かれます。やって来るデータ内でビット詰め異常を検出した場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票 packets を待ちます。受信したデータ バイトの数がエンドポイントCTRLレジスタのデータ容量(BUFSIZE)ビット領域で指定した最大データ本体を超える場合、受信したデータ バイトの残りは破棄されます。パケットはビット詰めとCRCの異常に関して調べられます。それがビット詰めまたはCRCの異常を含む場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票 packets を待ちます。BUFSIZEによって指定した最大本体よりも少ないバイト数の受信の場合、SRAMに最初のCRCバイトが書かれるかもしれません。

データが成功裏に受信された場合、CRCを除く受信したデータ バイトの数がCNTに書かれます。

ビット詰めまたはCRCの異常がある場合、STATUSレジスタのCRC異常(CRC)フラグは受信したデータが誤りを含むことを示します。

割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグが設定(1)され、転送単位処理完了FIFOが許可されているなら、FIFOにエンドポイント アドレスが書かれます。

28.3.2.4.3. 大量(Bulk)エンドポイントまたは割り込み(Interrupt)エンドポイント

- ・ エンドポイントn制御(CTRL)レジスタの不能応答(DOSTALL)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。ホストに不能応答(STALL)ハンドシェイクが返されます。エンドポイントn状態(STATUS)レジスタのエンドポイント不能応答(STALLED)フラグと割り込み要求フラグA(INTFLAGSA)レジスタの不能応答(STALL)割り込み要求(STALLED)フラグが設定(1)されます。
- ・ エンドポイントSTATUSレジスタのデータ交互(TOGGLE)ビットに対してPIDが調べられます。それらが一致しない限り、やって来るデータは破棄され、ホストにACKハンドシェイクが返されます。エンドポイントSTATUSレジスタのデータ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグまたは制御B(USB.CTRLB)レジスタの全体NAK(GNAK)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。エンドポイントSTATUSレジスタのエンドポイント上/下溢れフラグ(UNFOVF)とINTFLAGSAレジスタの上溢れ割り込み要求フラグ(OVF)が設定(1)されます。

やって来るデータはエンドポイントn データ ポインタ(EPn.OUT.DATAPTR)レジスタによって指示されるSRAM内のデータ緩衝部に書かれます。やって来るデータ内でビット詰め異常を検出した場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票 packets を待ちます。受信したデータ バイトの数がエンドポイントCTRLレジスタのデータ容量(BUFSIZE)ビット領域で指定した最大データ本体を超える場合、受信したデータ バイトの残りは破棄されます。パケットはビット詰めとCRCの異常に関して調べられます。それがビット詰めまたはCRCの異常を含む場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票 packets を待ちます。BUFSIZEによって指定した最大本体よりも少ないバイト数の受信の場合、SRAMに最初のCRCバイトが書かれるかもしれません。

データが成功裏に受信された場合、ホストにACKハンドシェイクが返され、CRCを除く受信したデータ バイトの数がCNTに書かれます。

最後に、データ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグと転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグが設定(1)され、データ交互(TOGGLE)フラグが切り替えられます。割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグが設定(1)され、転送単位処理完了FIFOが許可されているなら、FIFOにエンドポイントアドレスが書かれます。

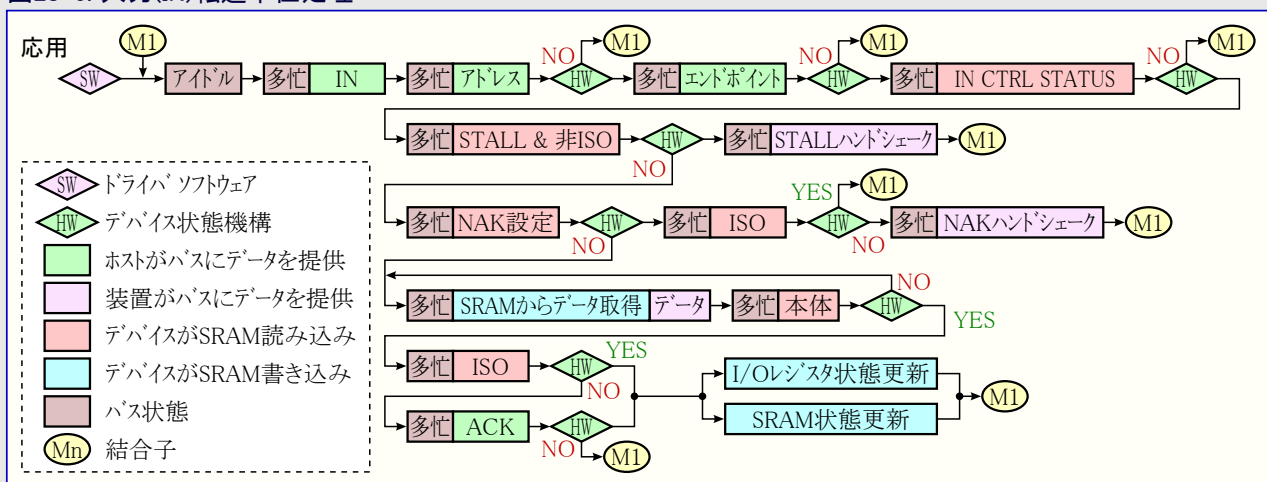
USB周辺機能は割り込み(INTERRUPT)と大量(BULK)のエンドポイントを区別せず、それらを同じように扱います。

28.3.2.5. 入力 (IN) 転送単位処理

IN 指示票が検出され、その指示票パケットの装置アドレスがそのエンドポイントと一致しない場合、そのパケットは破棄され、USB 周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

アドレスが一致すると、USB周辺機能はエントポイント構成設定表内でアドレス指定された出力エントポイントから**エントポイントn状態(EPn.IN.STATUS)レジスタ**と**エントポイントn制御(EPn.IN.CTRL)レジスタ**を取得します。エントポイントが禁止されている場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。

図28-6. 入力(IN)転送単位処理



次に続く動きは以下のエントポイント形式に依存します。

- ・ 制御エントポイント
- ・ 等時(Isochronous)エントポイント
- ・ 大量(Bulk)エントポイントまたは割り込み(Interrupt)エントポイント

28.3.2.5.1. 制御エントポイント

- ・ **エンドポイント制御(CTRL)レジスタの不能応答(DOSTALL)ビット**が設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。ホストに不能応答(STALL)ハンドシェイクが返されます。**エンドポイントn状態(STATUS)レジスタのエンドポイント不能応答(STALLED)フラグ**と**割り込み要求フラグA(INTFLAGSA)レジスタの不能応答(STALL)割り込み要求(STALLED)フラグ**が設定(1)されます。
- ・ エンドポイントSTATUSレジスタの**エンドポイント構成設定(SETUP)完了(EPSETUP)フラグ**が設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。エンドポイントSTATUSレジスタの**エンドポイント上/下溢れフラグ(UNFOVF)**とINTFLAGSAレジスタの**下溢れ割り込み要求フラグ(UNF)**が設定(1)されます。ホストに否定応答(NAK)ハンドシェイクが返されます。
- ・ エンドポイントSTATUSレジスタの**データ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグ**または制御B(USB.CTRLB)レジスタの**全体NAK(GNAK)ビット**が設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。UNFOVFとUNFが設定(1)されます。ホストにNAKハンドシェイクが返されます。

エンドポイントn データ ポインタ(EPn.IN.DATAPTR)レジスタによって指し示されるSRAM内のデータ緩衝部のデータがエンドポイントSTATUSレジスタのデータ交互(TOGGLE)ビットに従ってDATA0またはDATA1のペケットでホストに送られます。

USB周辺機能はホストからのACKハンドシェイクを待ちます。16ビット時間内にACKハンドシェイクが受信されない場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票パケットを待ちます。ACKハンドシェイクを成功裏に受け取ったなら、BUSNACKと転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグが設定(1)され、TOGGLEが切り替えられます。転送単位処理完了FIFOが許可されているなら、FIFOにエンドポイントアドレスが書かれます。

28.3.2.5.2. 等時(Isochronous)イントポイント

- ・ エントポイントSTATUSレジスタのデータ緩衝部不応答(BUSNACK)フラグまたは制御B(USB.CTRLB)レジスタの全体NAK(GNAK)ビットが設定(1)される場合、エントポイントSTATUSレジスタのエントポイント上/下溢れフラグ(UNFOVF)とINTFLAGSレジスタの下溢れ割り込み要求フラグ(UNF)が設定(1)されます。

エンドポイントn データ ポインタ(EPn.IN.DATAPTR)レジスタによって指し示されるSRAM内のデータ緩衝部のデータがDATA0パケットでホストに送られます。エンドポイントn バイト計数器(EPn.IN.CNT)レジスタで指定されたデータ バイト数が送られ、CRCが追加されてホストへ送られます。

エンドポイントSTATUSレジスタのBUSNACKと転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグが設定(1)されます。割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグが設定(1)され、転送単位処理完了FIFOが許可されているなら、FIFOにエンドポイントアドレスが書かれます。

28.3.2.5.3. 大量(Bulk)エンドポイントまたは割り込み(Interrupt)エンドポイント

- ・ エンドポイント n 制御(EP n .OUT.CTRL)レジスタの不能応答(DOSTALL)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。ホストに不能応答(STALL)ハンドシェークが返されます。エンドポイント n 状態(EP n .OUT.STATUS)レジスタのエンドポイント不能応答(STALLED)フラグと割り込み要求フラグA(INTFLAGSA)レジスタの不能応答(STALL)割り込み要求(STALLED)フラグが設定(1)されます。
- ・ エンドポイントSTATUSレジスタのデータ緩衝部不能応答(BUSNACK)フラグまたは制御B(USB.CTRLB)レジスタの全体NAK(GNAK)ビットが設定(1)される場合、やって来るデータは破棄されます。エンドポイントSTATUSレジスタのエンドポイント上/下溢れフラグ(UNFOVF)とINTFLAGSAレジスタの下溢れ割り込み要求フラグ(UNF)が設定(1)されます。ホストに否定応答(NAK)ハンドシェークが返されます。

エンドポイント n データ ポインタ(EP n .IN.DATAPTR)レジスタによって指し示されるSRAM内のデータ緩衝部のデータがエンドポイントSTATUSレジスタのデータ交互(TOGGLE)ビットに従ってDATA0またはDATA1のバケットでホストに送られます。エンドポイント n バイト計数器(EP n .IN.CNT)レジスタで指定されたデータ バイト数が送られ、CRCが追加されてホストへ送られます。

USB周辺機能はホストからのACKハンドシェークを待ちます。16ビット時間内にACKハンドシェークが受信されない場合、USB周辺機能はアイドルに戻り、次の指示票バケットを待ちます。ACKハンドシェークを成功裏に受け取ったなら、BUSNACKと転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグが設定(1)され、TOGGLEが切り替えられます。転送単位処理完了FIFOが許可されているなら、FIFOにエンドポイント アドレスが書かれます。

28.3.2.6. 複数パケット転送

複数パケット転送はソフトウェアの介在なしにエンドポイントの最大データ本体容量を超えるデータ本体を複数パケットとして転送されるのを許し、各パケットではなく、より高い水準のUSB転送のために割り込みとソフトウェアの介在を減らします。複数パケット転送は本章内で注記されるのを除き、前に記述されたINとOUTの転送単位処理と同じです。複数パケットはホスト側でどんな特別な考慮も必要としません。複数パケット転送はエンドポイント容量よりも小さな書き込み保護緩衝部に使われるを除いて等時エンドポイントに対して推奨されません。

複数パケットはエンドポイント n 制御(EP n .[方向].CTRL)レジスタの複数パケット転送許可(MULTIPKT)ビットに'1'を書くことによって許可されます。

特定のエンドポイントに対してUSB周辺機能によって処理されるSRAM緩衝部の大きさとアドレスを設定するのに複数パケット バイト計数(EP n .[方向].MCNT)とエンドポイント n データ ポインタ(EP n .[方向].DATAPTR)のレジスタが使われます。USB周辺機能はソフトウェアの介在なしに必要とするUSBデータ転送緩衝部を分割します。

図28-7. 複数パケット概要

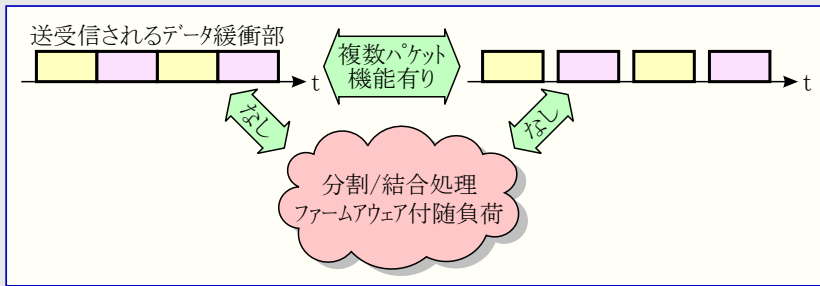
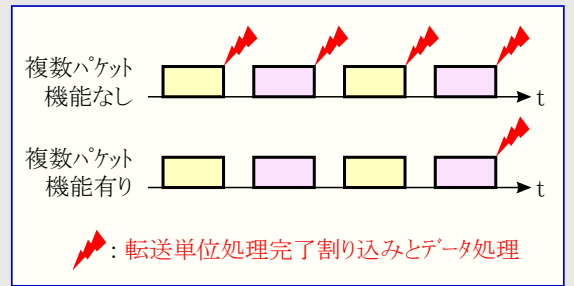


図28-8. CPU負荷を減らす複数パケット



28.3.2.6.1. 入力エンドポイントに対する複数パケット

通常の動作に関して、送られるべき総データ バイト数は計数器(CNT)レジスタに書かれます。送ったバイト数を格納するのに複数パケット バイト計数(MCNT)レジスタが使われ、新しい転送を構成設定する時に0を書かれなければなりません。IN指示票が受信されると、エンドポイントCNTとエンドポイントMCNTが取得されます。CNT-MCNTがエンドポイント データ容量(BUFSIZE)未満なら、エンドポイントCNT-エンドポイントMCNT数のバイトが送信され、さもなければBUFSIZE数のバイトが送信されます。自動0長パケット(AZLP)が許可され、エンドポイントCNTがBUFSIZEの倍数なら、最後のパケット送信は0長です。

最大本体量パケットを送る（即ち、最終転送単位処理でない）場合、MCNTがBUFSIZE分増されます。転送単位処理完了後、エンドポイントが等時(Isochronous)でなければ、データ交互(STATUS.TOGGLE)が切り替えられます。短いパケットを送る（即ち、最終転送単位処理の場合）、MCNTはデータ本体分増されます。エンドポイントが等時でなければ、STATUS.TOGGLEが切り替えられ、エンドポイント n 状態(STATUS)レジスタのデータ緩衝部不能応答(BUSNACK)と転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグと割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグが設定(1)されます。

28.3.2.6.2. 出力エンドポイントに対する複数パケット

通常の動作に関して、受信したデータ バイト数がエンドポイントの計数器(CNT)レジスタに格納されます。エンドポイントCNTが各転送単位処理後に更新されるため、これは新しい転送の構成設定時に0に設定されなければなりません。受信すべき全バイト数を複数パケット バイト計数(MCNT)レジスタに書いてください。

等時(Isochronous)以外のパケットのデータ交互(TOGGLE)管理と否定応答(NACK)管理は通常の動作と同様です。

最大本体量パケットが受信された場合、転送単位処理完了後にCNTがBUFSIZE分増され、エンドポイントが等時でなければSTATUS.TOGGLEが切り替わります。更新されたエンドポイントCNTがMCNTと等しいなら、エンドポイント n 状態(STATUS)レジスタのデータ緩衝部不能応答(BUSNACK)と転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグと割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグが設定(1)されます。

複数パケット転送許可(MULTIPKT)と自動0長パケット(AZLP)が許可され、エンドポイントCNTがMCNTと等しく、BUFSIZEの倍数なら、追加の0長パケット(ZLP)が受信される前にエンドポイントn状態(STATUS)レジスタのデータ緩衝部不応答(BUSNACK)と転送単位処理完了(TRNCOMPL)のフラグと割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグは設定(1)されます。

短いまたは過大なパケットが受信された場合、転送単位処理完了後にエンドポイントのCNTがデータ本体分増されます。エンドポイントが等時でなければ、STATUS.TOGGLEが切り替えられ、STATUS.BUSNACK、STATUS.TRNCOMPL、INTFLAGSB.TRNCOMPLが設定(1)されます。

28.3.2.6.3. 書き込み保護

USB周辺機能がOUT転送単位処理に対してSRAMに書く最大バイト数を設定するのに、複数パケットバイト計数(MCNT)と組み合わせてエンドポイントn制御(EPn.OUT.CTRL)レジスタの複数パケット転送許可(MULTIPKT)ビットを使ってください。MCNTは0を含めてどの数にもできます。SRAM不正の可能性がないことを保証するため、応用コードは最低でもエンドポイントに対して設定されるMCNTと同じ大きさの緩衝部を割り当てなければなりません。MULTIPKTとMCNTが使われない場合、割り当てた緩衝部はエンドポイントn制御(EPn.OUT.CTRL)レジスタのデータ容量(BUFSIZE)ビット領域によって設定さるのと同じ大きさでなければなりません。

使った規約が複数のエンドポイント量を送らないことが意図される場合、書き込み保護は応用によって使われるSRAMを節約するのに使うことができます。

28.3.2.6.4. 自動0長パケット

いくつかの装置クラスは転送の最後を合図するのに0長パケットの生成を必要とします。転送したデータが指定したエンドポイントに対して正確にパケットの大きさの倍数なら、転送の最後を合図するためにZLP(0長パケット)が追加されます。この生成を自動的に実行し、従ってこの作業を実行するのに応用ソフトウェアやCPUの介在の必要を取り去るために自動0長パケット(AZLP)機能を許可してください。

INエンドポイントに対して、装置は計数器(CNT)が最大本体量の倍数の場合にCNTバイト送信後にZLPを送ります。OUTエンドポイントに対して、装置は他のどのデータパケットにもNAKで応答している間に複数パケットバイト計数(MCNT)バイトが受信された場合、ZLPに対してACKで応答します。

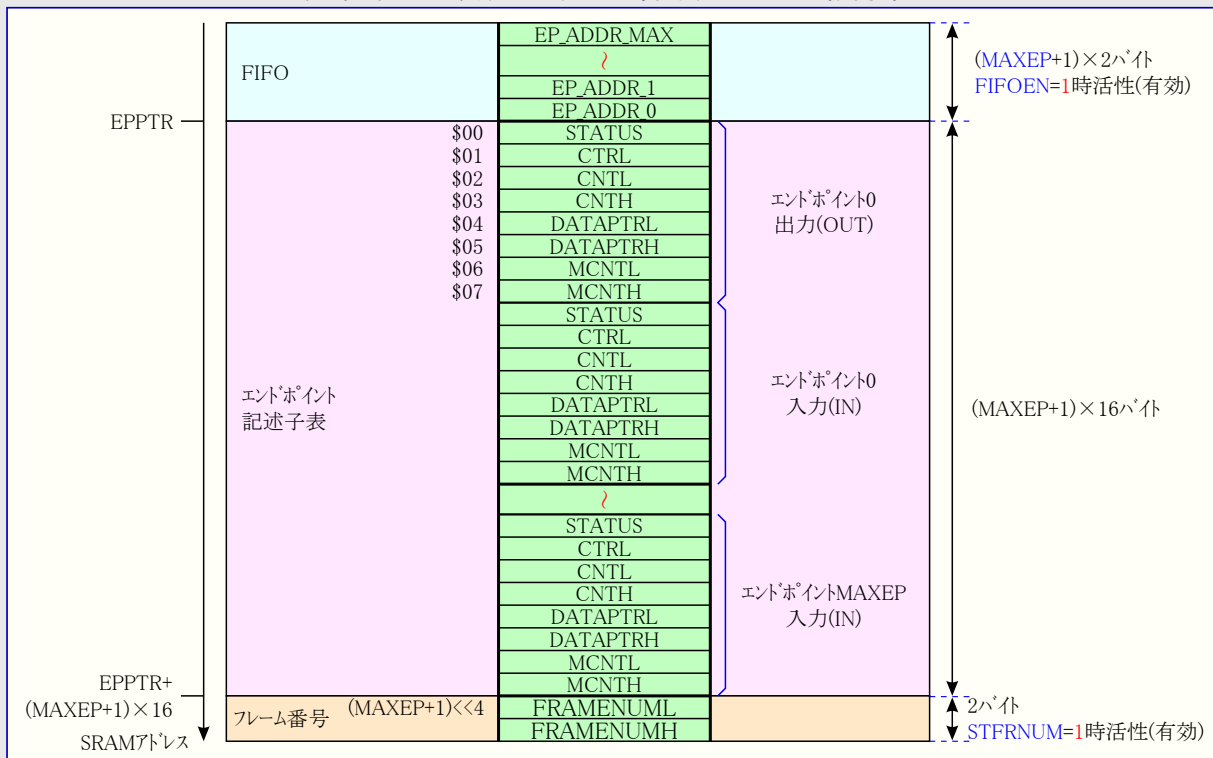
28.3.3. SRAMメモリ割り当て

USB周辺機能は以下を格納するのにデバイスの内部SRAMを使います。

- ・ 転送単位処理完了FIFO
- ・ エンドポイント構成設定表
- ・ USBフレーム番号

エンドポイント構成設定表に対してSRAMアドレスを設定するのにエンドポイント構成設定表ポインタ(USB.EPPTR)レジスタが使われます。USBフレーム番号(FRAMENUM)と転送単位処理完了(FIFO)表の位置はこれから派生されます。この位置はデバイスの内部SRAMの内側で選択可能です。下図は各領域の相対的なメモリ位置を与えます。

図28-9. SRAMでのUSBメモリ配置(記述子表、FIFO、フレーム番号、エンドポイント緩衝部)



28.3.3.1. エンドポイント状態でのデータ危険性

USBハードウェアと応用の両方がエンドポイント n 状態(STATUS)レジスタを変更します。エンドポイントSTATUSレジスタへの安全な書き込みアクセスを実行するため、エンドポイント n 状態[方向解除/設定](STATUS n .{IN/OUT}{CLR/SET})レジスタによって提供されるRMW(読み/変更/書き)インターフェースがエンドポイント n IN/OUTでのビットの設定(1)と解除(0)を許します。これらのレジスタへのビット遮蔽書き込みにより、USBは安全な時にSRAM位置の適切なビットを設定(1)または解除(0)します。STATUS n .{IN/OUT}{CLR/SET}への書き込みによって起動されたRWM操作が進行中の時は割り込み要求フラグB(INTFLAGTSB)レジスタのRWM多忙(RMWBUSY)フラグが設定(1)されます。

RMWBUSYが設定(1)されている間のSTATUS n .{IN/OUT}{CLR/SET}への書き込みの結果は未定義になります。

28.3.4. 事象

USB周辺機能は様々な事象を生成することができます。これらは他の周辺機能への遅延無き合図を許す事象システムに、またはUSB動作の性能分析に利用可能です。

図28-10. 割り込みと事象の仕組み要約

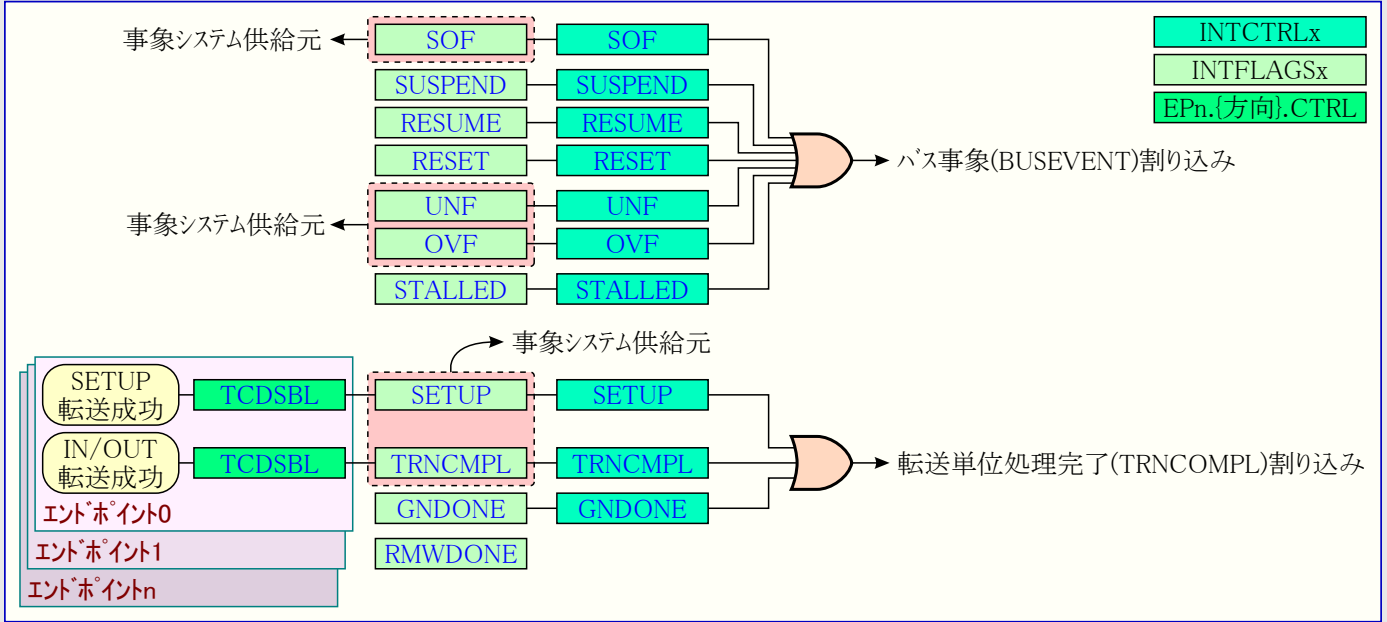


表28-1. USBでの事象生成部

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				
USB	SETUP	SETUP受信	パルス	CLK_PER	1 CLK_PER周期
	SOF	SOF指示票受信			
	CRC	CRC異常			
	UNF/OVF	USB上/下溢れ			
	RX	データバイト受信			
	TX	データバイト送信			

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。

28.3.5. 割り込み

この周辺機能は10個の割り込み元を持ちます。これらは転送単位処理完了(TRNCOMPL)割り込みとバス事象割り込み(BUSEVENT)の2つの割り込みベクタに分けられます。割り込み群はその割り込み段位(INTLVL)を設定することによって許可される一方で、各種割り込み元は個別または群で許可されます。(訳注:群での割り込み許可/禁止の具体的な記述は存在しません。)

次表はUSB周辺機能に関する割り込み元と事象元を要約し、それらがどう許可されるかを示します。

表28-2. 利用可能な割り込みと供給元

名称	ベクタ説明	割り込み要求フラグ	条件
TRNCOMPL	転送単位処理完了割り込み	TRNCOMPL	INまたはOUTの転送単位処理完了
		GNDONE	全体NAK許可でUSB単位処理がNAKするようにUSB論理回路を通して完全に伝搬
		SETUP	SETUP転送単位処理完了
BUSEVENT	バス事象割り込み	SOF	SOF指示票受信
		SUSPEND	バスが3ms間アイドル
		RESUME	バス休止時に非アイドル状態検出
		RESET	バスでリセット条件検出
		STALLED	ホストへSTALL(不能応答)ハンドシェイクが返された。
		UNF	エンドポイントはホストへデータを返すことができない。
		OVF	エンドポイントはホストからデータを受け入れることができない。

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x(USB.INTFLAGSx)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x(USB.INTCTRLx)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INTFLAGSxレジスタをご覧ください。

転送単位処理完了割り込み

転送単位処理割り込みはエンドポイント毎に生成されます。割り込みが起こると、関連するエンドポイント番号が登録され、任意選択でFIFOに追加されます。以下の3つの割り込み元がこの割り込みベクタを使います。

表28-3. 転送単位処理完了割り込み元

割り込み元	説明
転送完了 (TRNCOMPL)	入力(IN)または出力(OUT)の転送単位処理が完了
GNACK操作終了 (GNDONE)	全体NAK許可でUSB単位処理がNAKするようにUSB論理回路を通して完全に伝搬
構成設定完了 (SETUP)	構成設定(SETUP)転送単位処理が完了

バス事象割り込み

バス事象(BUSEVENT)割り込みは様々な形式のUSB線事象や異常状況を合図する全ての割り込みに対して使われます。これらの割り込みはUSB線に関連し、USB周辺機能とエンドポイント毎に対して生成されます。以下の7つの割り込み元がこの割り込みベクタを使います。

表28-4. バス事象割り込み元

割り込み元	説明
フレーム開始 (SOF)	SOF指示票受信
休止 (SUSPEND)	バスが3ms間アイドル
再開 (RESUME)	バスが休止されている時に非アイドル状態を検出。 割り込みは非同期で全休止形態からデバイスを起こせます。
リセット (RESET)	バス上でリセット状態を検出
不能応答 (STALLED)	ホストへSTALL(不能応答)ハンドシェイクが返された。
下溢れ (UNF)	エンドポイントはホストへデータを返すことができない。
上溢れ (OVF)	エンドポイントはホストからデータを受け入れることができない。

28.3.6. 休止形態動作

USB周辺機能はそれが許可されればスタンバイ休止動作で活動します。この場合、USB規格で定義された消費電力制限に関してUSB休止/再開機構が実装されるべきです。

28.3.7. デバッグ操作

USB周辺機能はOCD中断の間に通常は可能な限り動作を続けます。けれども、転送単位処理が時間どおりに処理されないかもしれないため、より上位の規約が時間超過するかもしれません。

28.4. レジスタ要約 – USBn

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	ENABLE		FIFOEN	STFRNUM	MAXEP3～0			
+\$01	CTRLB	7～0					URESUME	GNAUTO	GNAK	ATTACH
+\$02	BUSSTATE	7～0				WTRSM	URESUME	DRESUME	SUSPENDED	BUSRST
+\$03	ADDR	7～0		ADDR6～0						
+\$04	FIFOWP	7～0					FIFOWP4～0			
+\$05	FIFORP	7～0					FIFORP4～0			
+\$06	EPPTR	7～0	EPPTR7～0							
+\$07		15～8	EPPTR15～8							
+\$08	INTCTRLA	7～0	SOF	SUSPENDED	RESUME	RESET	STALLED	UNF	OVF	
+\$09	INTCTRLB	7～0			TRNCOMPL				GNDONE	SETUP
+\$0A	INTFLAGSA	7～0	SOF	SUSPENDED	RESUME	RESET	STALLED	UNF	OVF	
+\$0B	INTFLAGSB	7～0			TRNCOMPL			DBGRUN	GNDONE	SETUP
+\$0C ～ +\$3F	予約									
+\$40～	STATUS0群	7～0	エンドポイント0のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$44～	STATUS1群	7～0	エンドポイント1のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$48～	STATUS2群	7～0	エンドポイント2のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$4C～	STATUS3群	7～0	エンドポイント3のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$50～	STATUS4群	7～0	エンドポイント4のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$54～	STATUS5群	7～0	エンドポイント5のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$58～	STATUS6群	7～0	エンドポイント6のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$5C～	STATUS7群	7～0	エンドポイント7のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$60～	STATUS8群	7～0	エンドポイント8のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$64～	STATUS9群	7～0	エンドポイント9のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$68～	STATUS10群	7～0	エンドポイント10のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$6C～	STATUS11群	7～0	エンドポイント11のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$70～	STATUS12群	7～0	エンドポイント12のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$74～	STATUS13群	7～0	エンドポイント13のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$78～	STATUS14群	7～0	エンドポイント14のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							
+\$7C～	STATUS15群	7～0	エンドポイント15のSTATUS.IN/OUTレジスタのビット単位CLR/SETレジスタ群 (下表参照)							

表28-5. エンドポイントnSTATUSn.[方向]CLR/SETレジスタ配置

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	STATUSn.OUTCLR	7~0				RMWSTATUS7~0				
+\$01	STATUSn.OUTSET	7~0				RMWSTATUS7~0				
+\$02	STATUSn.INCLR	7~0				RMWSTATUS7~0				
+\$03	STATUSn.INSET	7~0				RMWSTATUS7~0				

28.5. レジスタ説明 – USBn

28.5.1. CTRLA – 制御A (Control A)

名称 : CTRLA
変位 : +\$00
リセット : \$00

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ENABLE		FIFOEN	STFRNUM		MAXEP3~0		
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 – ENABLE : USB許可 (USB Enable)

このビットへの'1'書き込みはUSB周辺機能を許可します。このビットへの'0'書き込みはUSB周辺機能を禁止し、進行中の転送単位処理を直ちに中断します。

値	0	1
説明	USB周辺機能は禁止されます。	USB周辺機能は許可されます。

● ビット5 – FIFOEN : 転送単位処理完了FIFO許可 (Transaction Complete FIFO Enable)

値	0	1
説明	FIFOが禁止され、それ用に割り当てられたSRAMが解放されます。	USB転送単位処理完了FIFO(FIFO)が許可されます。このFIFOは転送単位処理完了割り込みを生成する各エンドポイントのエンドポイント構成設定表アドレスに対する変位を格納します。

● ビット4 – STFRNUM : フレーム番号格納許可 (Store Frame Number Enable)

このビットはフレーム番号(FRAMENUM)レジスタでの最終SOF指示票フレーム番号の格納が許可されるかを制御します。

値	0	1
説明	FRAMENUMでの最終SOF指示票フレーム番号の格納許可	FRAMENUMでの最終SOF指示票フレーム番号の格納禁止

● ビット3~0 – MAXEP3~0 : 最大エンドポイント アドレス (Maximum Endpoint Address)

このビット領域はUSB周辺機能によって使われるエンドポイント アドレス数を選びます。このアドレスよりも高いエンドポイント番号でやって来るパケットは破棄されます。このアドレス以下のエンドポイント アドレスを持つパケットはUSB周辺機能にエンドポイント構成設定表内でアドレス指定されたエンドポイントを調べさせます。例: EP0,1,2が使われる場合、この領域に2を設定してください。

28.5.2. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB
変位 : +\$01
リセット : \$00

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
					URESUME	GNAUTO	GNAK	ATTACH
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 – URESUME : 上方向再開 (Upstream Resume)

このビットはUSBバスで上方向再開を始めます。応用はUSBバスが最低5ms間休止(Suspend)状態でない限り、上方向再開を始めません。バス状態(USB.BUSSTATE)レジスタのバス休止(SUSPENDED)ビットを御覧ください。このビットへの'0'書き込みは無効です。'1'書き込みはUSBバスで上方向再開を始めます。このビットは上方向再開が開始される時に解除(0)されます。

● ビット2 – GNAUTO : 自動全体否定応答 (Automatic Global NAK)

このビットはこの周辺機能が構成設定(SETUP)転送単位処理受信で自動全体NAK(GNAK)を自動的に送るかを選びます。

値	0	1
説明	自動GNAKは禁止されます。	自動GNAKは許可されます。

●ビット1 – GNACK : 全体否定応答 (Global NAK)

このビットへの'1'書き込みは全てのエンドポイントにどの転送単位処理でも否定応答(NAK)で応答させます。USB周辺機能を通して全体NAKが許可されると、**割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの全体否定応答終了割り込み要求(GNDONE)フラグ**が設定(1)されます。

値	0	1
説明	全体NAKは禁止されます。	全体NAKは許可されます。

●ビット0 – ATTACH : 接続 (Attach)

このビットはD+線の内部プルアップを許可するかどうかを制御します。

値	0	1
説明	内部D+プルアップ禁止、装置はUSBバスから切断	内部D+プルアップ許可、装置はUSBバスに接続

28.5.3. BUSSTATE – バス状態 (Bus State)

名称 : BUSSTATE

変位 : +\$02

リセット : \$00

このレジスタはUSBバスの実時間状況を反映し、何時でも変化し得ます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
				WTRSM	URESUME	DRESUME	SUSPENDED	BUSRST
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 – WTRSM : 再開待ち時間 (Wait Time Resume)

値	0	1
説明	バスは5ms(即ち、USB 2.0仕様のT_WTRSMパラメータ)を超える間アイドルではありません。	バスは5msを超える間アイドルで、上方向再開の送信が許されます。

●ビット3 – URESUME : 上方向再開 (Upstream Resume)

値	0	1
説明	上方向再開が進行中ではありません。	上方向再開が進行中です。

●ビット2 – DRESUME : 下方向再開 (Downstream Resume)

値	0	1
説明	下方向再開が進行中ではありません。	下方向再開が進行中です。

●ビット1 – SUSPENDED : バス休止 (Bus Suspended)

値	0	1
説明	USBバスは休止状態ではありません。	USBバスは休止状態(バスが最低3ms間アイドル)

●ビット0 – BUSRST : バスリセット (Bus Reset)

値	0	1
説明	リセット状況は検出されていません。	リセット状況を検出(バスが最低2.5μs間SE0に駆動)

28.5.4. ADDR – 装置アドレス (Device Address)

名称 : ADDR
変位 : +\$03
リセット : \$00

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADDR6~0							
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6~0 – ADDR6~0 : 装置アドレス (Device Address)

このビット領域は装置が反応するUSBアドレスを含みます。

28.5.5. FIFOWP – FIFO書き込みポインタ (FIFO Write Pointer)

名称 : FIFOWP
変位 : +\$04
リセット : \$1F

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FIFOWP4~0							
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	1	1	1	1	1

● ビット4~0 – FIFOWP4~0 : FIFO書き込みポインタ (FIFO Write Pointer)

このビット領域はハードウェアによって更新される最後のFIFO登録口を指し示す転送単位処理完了FIFO書き込みポインタを含みます。このビット領域値はUSB転送単位処理が完了された時にハードウェアによって更新されます。このビット領域へのどんな値の書き込みもFIFO書き込みポインタとFIFO読み込みポインタ(FIFOWPとFIFORP)の両レジスタをリセットします。

28.5.6. FIFORP – FIFO読み込みポインタ (FIFO Read Pointer)

名称 : FIFORP
変位 : +\$05
リセット : \$1F

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FIFORP4~0							
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	1	1	1	1	1

● ビット4~0 – FIFORP4~0 : FIFO読み込みポインタ (FIFO Read Pointer)

このビット領域は応用によって処理されるべき次のFIFO登録口を指し示す転送単位処理完了FIFO読み込みポインタを含みます。このビット領域値はCPUによって読まれた後にハードウェアによって更新されます。このビット領域へのどんな値の書き込みもFIFO書き込みポインタとFIFO読み込みポインタ(FIFOWPとFIFORP)の両レジスタをリセットします。

28.5.7. EPPTR – エンドポイント構成設定表ポインタ (Endpoint Configuration Table Pointer)

名称 : EPPTR
変位 : +\$06
リセット : \$0000

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	EPPTR15~8							
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
	EPPTR7~0							
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15~0 – EPPTR15~0 : エンドポイント構成設定表ポインタ (Endpoint Configuration Table Pointer)

このビット領域はエンドポイント構成設定表が置かれたSRAMアドレスを指定します。エンドポイント構成設定表へのポインタは16ビット語に整列、即ち、EPPTR0は0でなければなりません。デバイスで利用可能が内部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。未使用ビットは常に0として読みます。

28.5.8. INTCTRLA – 割り込み制御A (Interrupt Control A)

名称 : INTCTRLA

変位 : +\$08

リセット : \$00

このレジスタの何れかのビットへの'1'書き込みは割り込み要求フラグA(INTFLAGSA)レジスタの対応する割り込みを許可します。

このレジスタの何れかのビットへの'0'書き込みはINTFLAGSAの対応する割り込みを禁止します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SOF	SUSPEND	RESUME	RESET	STALLED	UNF	OVF	
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	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7 – SOF : フレーム開始割り込み許可 (Start-of-Frame Interrupt Enable)
- ビット6 – SUSPEND : 休止割り込み許可 (Suspend Interrupt Enable)
- ビット5 – RESUME : 再開割り込み許可 (Resume Interrupt Enable)
- ビット4 – RESET : リセット割り込み許可 (Reset Interrupt Enable)
- ビット3 – STALLED : 不能応答割り込み許可 (STALL Interrupt Enable)
- ビット2 – UNF : 下溢れ割り込み許可 (Underflow Interrupt Enable)
- ビット1 – OVF : 上溢れ割り込み許可 (Overflow Interrupt Enable)

28.5.9. INTCTRLB – 割り込み制御B (Interrupt Control B)

名称 : INTCTRLB

変位 : +\$09

リセット : \$00

このレジスタの何れかのビットへの'1'書き込みは割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの対応する割り込みを許可します。

このレジスタの何れかのビットへの'0'書き込みはINTFLAGSBの対応する割り込みを禁止します。

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

- ビット5 – TRNCOMPL : 転送単位処理完了割り込み許可 (Transaction Complete Interrupt Enable)
- ビット1 – GNDONE : GNACK操作終了割り込み許可 (GNACK Operation Done Interrupt Enable)
- ビット0 – SETUP : 構成設定(SETUP)転送単位処理完了割り込み許可 (SETUP Transaction Complete Interrupt Enable)

28.5.10. INTFLAGSA – 割り込み要求フラグA (Interrupt Flags A)

名称 : INTFLAGSA

変位 : +\$0A

リセット : \$00

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	SOF	SUSPEND	RESUME	RESET	STALLED	UNF	OVF	
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	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7 – SOF : フレーム開始割り込み要求フラグ (Start-of-Frame Interrupt Flag)

このフラグはフレーム開始パケットが受信された時に設定(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6 – SUSPEND : 休止割り込み要求フラグ (Suspend Interrupt Flag)

このフラグはバスが3ms間アイドルになった時に設定(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5 – RESUME : 再開割り込み要求フラグ (Resume Interrupt Flag)

このフラグはUSB周辺機能が休止状態の間にバスで非アイドル状態が検出された時に設定(1)されます。このフラグは上方向と下方向の両再開で設定(1)されます。この割り込みは非同期で、スタンバイ休止動作のようにシステムクロックが停止されている休止動作形態からCPUを起こすことができます。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4 – RESET : リセット割り込み要求フラグ (Reset Interrupt Flag)

このフラグはバスでリセット状態が検出された時に設定(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3 – STALLED : 不能応答割り込み要求フラグ (STALL Interrupt Flag)

このフラグはUSB周辺機能がINまたはOUTのどちらかの転送単位処理に対して不能(STALL)ハンドシェイクで応答した時に設定(1)されます。このフラグはこのビットへの'1'書き込みによって解除(0)されます。

●ビット2 – UNF : 下溢れ割り込み要求フラグ (Underflow Interrupt Flag)

このフラグはIN転送単位処理でアドレス指定されたエンドポイントがホストへ送るデータを持たない時に設定(1)されます。このフラグはこのビットへの'1'書き込みによって解除(0)されます。

●ビット1 – OVFL : 上溢れ割り込み要求フラグ (Overflow Interrupt Flag)

このフラグはOUT転送単位処理でアドレス指定されたエンドポイントがホストからのデータを受け入れる準備が整わない時に設定(1)されます。このフラグはこのビットへの'1'書き込みによって解除(0)されます。

28.5.11. INTFLAGSB – 割り込み要求フラグB (Interrupt Flags B)

名称 : INTFLAGSB

変位 : +\$0B

リセット : \$00

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

●ビット5 – TRNCOMPL : 転送単位処理完了割り込み要求フラグ (Transaction Complete Interrupt Flag)

FIFO禁止時: このフラグはエンドポイントn制御(EPn.{方向}.CTRL)レジスタの転送単位処理完了割り込み禁止(TCDSBL)ビットが'0'の間にエンドポイントn状態(EPn.{方向}.STATUS)レジスタの転送単位処理完了(TRNCOMPL)フラグが設定(1)される時に設定(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。

FIFO許可時: このフラグはFIFO内に未読要素がある時に設定(1)されます。このフラグはFIFOから最後の要素が読まれ、故にFIFOが空、即ち、FIFO読み込みポイントがFIFO書き込みポイントに等しい時に解除(0)されます。

●ビット2 – RMWBUSY : RMW多忙フラグ (RMW Busy Flag)

このフラグはRMWレジスタへの書き込みによって開始されるRMW操作によって設定(1)されます。このフラグはポーリングが意図され、割り込み制御B(INTCTRLB)レジスタで対応する割り込み許可ビットを持ちません。RMWレジスタはこのフラグが設定(1)されている時に書かれてはなりません。

値	0	1
名称	NOTBUSY	BUSY
説明	RMW操作で多忙なし	RMW操作で多忙

●ビット1 – GNDONE : GNACK操作終了割り込み要求フラグ (GNACK Operation Done Interrupt Flag)

このフラグは全体NACKが有効にされた、即ち、USB論理回路を通して伝搬されてUSBバスでその影響を見ることができる時に設定(1)されます。制御B(CTRLB)レジスタで自動全体否定応答(GNAUTO)が構成設定される場合このフラグは設定(1)されません。

●ビット0 – SETUP : SETUP転送単位処理完了割り込み要求フラグ (SETUP Transaction Complete Interrupt Flag)

このフラグは構成設定(SETUP)転送単位処理が成功裏に完了される時に設定(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。

28.5.12. STATUSn.OUTCLR – エンドポイントnOUT状態解除 (Endpoint n OUT Status Clear)

名称 : STATUSn.OUTCLR

変位 : +\$40 + n × 4 [n=0~15]

リセット : \$00

特質 : 書き込み専用

ビット	7	6	5	4	3	2	1	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 – RMWSTATUS7~0 : エンドポイントn STATUS読み-変更-書き (Read-Modify-Write Endpoint n STATUS)

エンドポイントn(EPn)のOUT状態(OUT.STATUS)レジスタの対応するビット位置に望むビット単位読み-変更-書き操作を実行するにはこのビット領域のビットに'1'を書いてください。個別ビット領域名と記述についてはEPn.OUT.STATUSレジスタのレジスタ記述を参照してください。

28.5.13. STATUSn.OUTSET – エンドポイントnOUT状態設定 (Endpoint n OUT Status Set)

名称 : STATUSn.OUTSET

変位 : +\$41 + n×4 [n=0~15]

リセット : \$00

特質 : 書き込み専用

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RMWSTATUS7~0							
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 – RMWSTATUS7~0 : エンドポイントn STATUS読み-変更-書き (Read-Modify-Write Endpoint n STATUS)

エンドポイントn(EPn)のOUT状態(OUT.STATUS)レジスタの対応するビット位置に望むビット単位読み-変更-書き操作を実行するにはこのビット領域のビットに'1'を書いてください。個別ビット領域名と記述についてはEPn.OUT.STATUSレジスタのレジスタ記述を参照してください。

28.5.14. STATUSn.INCLR – エンドポイントnIN状態解除 (Endpoint n IN Status Clear)

名称 : STATUSn.INCLR

変位 : +\$42 + n×4 [n=0~15]

リセット : \$00

特質 : 書き込み専用

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RMWSTATUS7~0							
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 – RMWSTATUS7~0 : エンドポイントn STATUS読み-変更-書き (Read-Modify-Write Endpoint n STATUS)

エンドポイントn(EPn)のIN状態(IN.STATUS)レジスタの対応するビット位置に望むビット単位読み-変更-書き操作を実行するにはこのビット領域のビットに'1'を書いてください。個別ビット領域名と記述についてはEPn.IN.STATUSレジスタのレジスタ記述を参照してください。

28.5.15. STATUSn.INSET – エンドポイントnIN状態設定 (Endpoint n IN Status Set)

名称 : STATUSn.INSET

変位 : +\$43 + n×4 [n=0~15]

リセット : \$00

特質 : 書き込み専用

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	RMWSTATUS7~0							
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 – RMWSTATUS7~0 : エンドポイントn STATUS読み-変更-書き (Read-Modify-Write Endpoint n STATUS)

エンドポイントn(EPn)のIN状態(IN.STATUS)レジスタの対応するビット位置に望むビット単位読み-変更-書き操作を実行するにはこのビット領域のビットに'1'を書いてください。個別ビット領域名と記述についてはEPn.IN.STATUSレジスタのレジスタ記述を参照してください。

28.6. レジスタ要約 – USB_EP – エンドポイント

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
-\$20	FOFO31	7~0	EPNUM3~0				DIR			
~										
-\$01	FIFO0	7~0	EPNUM3~0				DIR			
+\$00~	EP0群	7~0	エンドポイント0制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$10~	EP1群	7~0	エンドポイント1制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$20~	EP2群	7~0	エンドポイント2制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$30~	EP3群	7~0	エンドポイント3制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$40~	EP4群	7~0	エンドポイント4制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$50~	EP5群	7~0	エンドポイント5制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$60~	EP6群	7~0	エンドポイント6制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$70~	EP7群	7~0	エンドポイント7制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$80~	EP8群	7~0	エンドポイント8制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$90~	EP9群	7~0	エンドポイント9制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$A0~	EP10群	7~0	エンドポイント10制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$B0~	EP11群	7~0	エンドポイント11制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$C0~	EP12群	7~0	エンドポイント12制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$D0~	EP13群	7~0	エンドポイント13制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$E0~	EP14群	7~0	エンドポイント14制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$F0~	EP15群	7~0	エンドポイント15制御/状態レジスタ群 (下表参照)							
+\$100	FRAMENUM	7~0	FRAMENUM7~0							
+\$101		15~8	FRAMEERR					FRAMENUM10~8		

表28-6. エンドポイントn制御/状態レジスタ配置

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	EPn.OUT.STATUS	7～0		UNFOVF	TRNCOMPL	EPSETUP	STALLED		BUNNACK	TOGGLE
			CRC	UNFOVF	TRNCOMPL				BUNNACK	
+\$01	EPn.OUT.CTRL	7～0	TYPE1,0		MULTIPKT	AZLP	TCDSBL	DOSTALL	BUFSIZE1,0	
			TYPE1,0		MULTIPKT		TCDSBL	BUFSIZE2～0		
+\$02	EPn.OUT.CNT	7～0	CNT7～0							
+\$03		15～8	CNT15～8							
+\$04	EPn.OUT.DATAPTR	7～0	DATAPTR7～0							
+\$05		15～8	DATAPTR15～8							
+\$06	EPn.OUT.MCNT	7～0	MCNT7～0							
+\$07		15～8	MCNT15～8							
+\$08	EPn.IN.STATUS	7～0		UNFOVF	TRNCOMPL	EPSETUP	STALLED		BUNNACK	TOGGLE
			CRC	UNFOVF	TRNCOMPL				BUNNACK	
+\$09	EPn.IN.CTRL	7～0	TYPE1,0		MULTIPKT	AZLP	TCDSBL	DOSTALL	BUFSIZE1,0	
			TYPE1,0		MULTIPKT		TCDSBL	BUFSIZE2～0		
+\$0A	EPn.IN.CNT	7～0	CNT7～0							
+\$0B		15～8	CNT15～8							
+\$0C	EPn.IN.DATAPTR	7～0	DATAPTR7～0							
+\$0D		15～8	DATAPTR15～8							
+\$0E	EPn.IN.MCNT	7～0	MCNT7～0							
+\$0F		15～8	MCNT15～8							

(訳補) EPn.IN/OUT,STATUS/CTRLでは上の行が既定(等時以外)で下の行が等時転送の場合です。

28.7. レジスタ説明 – USB_EP – エンドポイント

28.7.1. FIFO_n – FIFO登録口_n (FIFO Entry _n)

名称 : FIFO_n

変位 : - $\$01 - n$ [$n=0\sim31$]

リセット : $\$xx$

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	EPNUM3~0				DIR			
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 – EPNUM3~0 : エンドポイント番号 (Endpoint Number)

FIFO登録口でのエンドポイント番号(アドレス)

● ビット3 – DIR : 方向 (Endpoint Direction)

FIFO登録口でのエンドポイントの方向

値	0	1
名称	OUT	IN
説明	出力(OUT)エンドポイント	入力(IN)エンドポイント

28.7.2. EP_n.STATUS – エンドポイント_n状態 (Endpoint Status) – 既定形式

名称 : EP_n.STATUS

変位 : + $\$00 + n \times 8$ [$n=0\sim31$]

リセット : $\$xx$

このレジスタ記述は等時(Isochronous)動作を除く全ての動作に対して有効です。エンドポイント_n制御(EP_n.CTRL)レジスタのエンドポイント形式(TYPE)ビット領域が'ISO'を書かれる時の正確な記述については「エンドポイント_n状態 – 等時(Isochronous)形式」を御覧ください。

エンドポイント_n状態レジスタはUSBハードウェアによって変更されます。応用はデータの危険性を避けるため、RMWレジスタ インターフェースを使ってこのレジスタを変更します。より多くの詳細については「エンドポイント状態でのデータ危険性」項を御覧ください。AVRのフラグ/状態のレジスタは通常'1'を書くことによって解除(0)され、ハードウェアによってのみ設定(1)することができます。SRAMでのこれらの状態ビットはそれらを解除(0)するのに'0'を書き、それらを設定(1)するのに'1'を書くことができる例外です。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
		UNFOVF	TRNCOMPL	EPSETUP	STALLED		BUSNACK	TOGGLE
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6 – UNFOVF : 上下溢れエンドポイントフラグ (Underflow/Overflow Endpoint Flag)

このフラグは入力エンドポイント用のIN指示票への応答でエンドポイントがホストへデータを送る準備が整っていない(UNF)時、または出力エンドポイント用のOUT指示票への応答でエンドポイントがホストからデータを受け入れる準備が整っていない(OVF)時に設定(1)されます。

● ビット5 – TRNCOMPL : 転送単位処理完了フラグ (Transaction Complete Flag)

このフラグはエンドポイントでのINまたはOUTの転送単位処理が成功裏に完了した時に設定(1)されます。このフラグの設定(1)時、USBハードウェアはエンドポイント_n制御(EP_n.CTRL)レジスタの転送単位処理完了(TRNCOMPL)割り込み禁止(TCDSBL)ビットが設定(1)されない限り、割り込み要求フラグB(INTFLAGSBL)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグも設定(1)します。

複数パケット転送に対して、TRNCOMPは各転送単位処理に対してでなく、複数パケット転送が完了された時にだけ設定(1)されます。

● ビット4 – EPSETUP : エンドポイント構成設定(SETUP)完了フラグ (Endpoint SETUP Complete Flag)

このフラグはSETUP転送単位処理が成功裏に完了された時に設定(1)されます。このフラグが設定(1)されると、制御エンドポイントに対する全てのINとOUTの転送単位処理は否定応答(NAK)で応答されます。このフラグは制御転送の設定段階で送られた要求を復号する前に応用によって解除(0)されなければなりません。

● ビット3 – STALLED : エンドポイント休止(STALL)フラグ (Endpoint STALL Flag)

このフラグはINまたはOUTの転送単位処理の応答でホストへ停止(STALL)応答が送られた時に設定(1)されます。

● **ビット1 – BUSNACK : データ緩衝部否定応答 (Data Buffer Not Acknowledge)**

このフラグはパケットが受信された時に設定(1)されます。このビットが設定(1)されると、USB周辺機能はOUT転送単位処理でデータ緩衝部へやって来るデータを破棄し、IN転送単位処理でデータ緩衝部からどのデータも返しません。制御、大量、割り込みのエンドポイントに対しては否定応答(NAK)ハンドシェイクが返されます。パケット処理後、このフラグは応用によって解除(0)されなければなりません。このビットは、例えば初期化の間で、ホストへ強制的にNAKを返すため、応用によって書くことができます。BUSNACKの設定(1)はSETUPパケットの肯定応答(ACK)に影響を及ぼしません。

● **ビット0 – TOGGLE : データ交互 (Data Toggle)**

これは出力エンドポイントに対して次のデータパケットでDATA0またはDATA1のPIDが予期されるか、入力エンドポイントに対して次の転送単位処理でDATA0またはDATA1のPIDが送られるかを示します。殆どの場合、TOGGLEはハードウェアによって更新されます。プログラミング手引書はTOGGLEが応用によって更新されることが必要な例外的な場合を記述します。

値	0	1
名称	DATA0	DATA1
説明	DATA0 データパケット	DATA1 データパケット

28.7.3. EPn.STATUS – エンドポイントn状態 (Endpoint Status) – 等時(Isochronous)形式

名称 : EPn.STATUS

変位 : +\$00 + n × 8 [n=0~31]

リセット : \$xx

このレジスタ記述は**エンドポイントn制御(EPn.CTRL)レジスタのエンドポイント形式(TYPE)ビット領域**が'ISO'を書かれる時にだけ有効です。このエンドポイント形式に対して、正確な記述については「**エンドポイントn状態 – 既定形式**」を御覧ください。

エンドポイントn状態レジスタはUSBハードウェアによって変更されます。応用はデータの危険性を避けるため、RMWレジスタインターフェースを使ってこのレジスタを変更します。より多くの詳細については「**エンドポイント状態でのデータ危険性**」項を御覧ください。AVRのフラグ/状態のレジスタは通常'1'を書くことによって解除(0)され、ハードウェアによってのみ設定(1)することができます。SRAMでのこれらの状態ビットはそれらを解除(0)するのに'0'を書き、それらを設定(1)するのに'1'を書くことができる例外です。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	CRC	UNFOVF	TRNCOMPL				BUSNACK	
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 – CRC : CRC異常フラグ (CRC Error Flag)**

このフラグは等時OUTエンドポイントに対してやってくるデータパケットでCRC異常が検出された時に解除(0)されます。

● **ビット6 – UNFOVF : 上下溢れエンドポイントフラグ (Underflow/Overflow Endpoint Flag)**

このフラグは入力エンドポイント用のIN指示票への応答でエンドポイントがホストへデータを送る準備が整っていない(UNF)時、または出力エンドポイント用のOUT指示票への応答でエンドポイントがホストからデータを受け入れる準備が整っていない(OVF)時に設定(1)されます。

● **ビット5 – TRNCOMPL : 転送単位処理完了フラグ (Transaction Complete Flag)**

このフラグはエンドポイントでのINまたはOUTの転送単位処理が成功裏に完了した時に設定(1)されます。このフラグの設定(1)時、USBハードウェアは**エンドポイントn制御(EPn.CTRL)レジスタの転送単位処理完了(TRNCOMPL)割り込み禁止(TCDSBL)ビット**が設定(1)されない限り、**割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了割り込み要求(TRNCOMPL)フラグ**も設定(1)します。

複数パケット転送に対して、TRNCOMPLは各転送単位処理に対してでなく、複数パケット転送が完了された時にだけ設定(1)されます。

● **ビット1 – BUSNACK : データ緩衝部否定応答 (Data Buffer Not Acknowledge)**

このフラグはパケットが受信された時に設定(1)されます。このビットが設定(1)されると、USB周辺機能はOUT転送単位処理でデータ緩衝部へやって来るデータを破棄し、IN転送単位処理でデータ緩衝部からどのデータも返しません。制御、大量、割り込みのエンドポイントに対しては否定応答(NAK)ハンドシェイクが返されます。パケット処理後、このフラグは応用によって解除(0)されなければなりません。このビットは、例えば初期化の間で強制的にホストへNAKを返すために応用によって書くことができます。BUSNACKの設定(1)はSETUPパケットの肯定応答(ACK)に影響を及ぼしません。

28.7.4. EPn.CTRL – エンドポイントn制御 (Endpoint Control) – 既定形式

名称 : EPn.CTRL

変位 : +\$01 + n × 8 [n=0~31]

リセット : \$xx

このレジスタ記述は等時(Isochronous)動作を除く全ての動作に対して有効です。エンドポイントn制御(EPn.CTRL)レジスタのエンドポイント形式(TYPE)ビット領域が'ISO'を書かれる時の正確な記述については「エンドポイントn制御 – 等時(Isochronous)形式」を御覧ください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TYPE1,0		MULTPKT	AZLP	TCDSBL	DOSTALL	BUFSIZE1,0	
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 – TYPE1,0 : エンドポイント形式 (Endpoint Type)

これらのビットはエンドポイントを許可して選びます。エンドポイントが禁止された場合、残り7つのエンドポイント構成設定バイトはUSB周辺機能によって決して読み書きされず、それらのSRAM位置は他の応用データに使うために解放します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	CONTROL	BULK	ISOCHRONOUS
説明	エンドポイント禁止	制御	大量(Bulk)/割り込み(Interrupt)	等時(Isochronous)

● ビット5 – MULTIPKT : 複数パケット転送許可 (Multipacket Transfer Enable)

このビットの'1'書き込みが複数パケット転送を許可します。複数パケット転送はエンドポイントの最大パケット容量を超えるデータ本体に割り込みやファームウェアの介入なしに複数パケットとして転送されることを許します。MULTIPKTが'1'の時に複数パケットバイト計数(MCNT)レジスタは単一OUTパケットの最大容量を定義し、それによってデータ受信緩衝部の溢れを防ぎます。

● ビット4 – AZLP : 自動0長パケット (Automatic Zero Length Packet)

このビットの'1'書き込みがファームウェアの介入なしに0長パケット(ZLP)での転送単位処理完了の合図の管理をUSB周辺機能に許します。複数パケット転送許可(MULTIPKT)が禁止されると、このビットは無効です。動きは転送方向に依存します。

入力(IN): 複数パケット転送の最後のデータパケットがエンドポイントデータ容量(BUFSIZE)と等しい場合、ZLPが自動的に送られます。

出力(OUT): 複数パケット転送の最後のデータパケットがBUFSIZEと等しかった場合、次のZLPによって転送単位処理完了(TRNCOMPL)フラグ(と割り込み)が設定(1)されます。

● ビット3 – TCDSBL : 転送単位処理完了(TRNCOMPL)割り込み禁止 (TRNCOMPL Interrupt Disable)

このビットが'1'を書かれると、割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタの転送単位処理完了(TRNCOMPL)フラグはエンドポイントn状態(EPn.STATUS)レジスタのTRNCOMPLフラグと共に設定(1)されません。TCDSBLが'1'の場合、FIFOは転送単位処理完了でこのエンドポイントをエンドポイント構成設定表に格納しません。

● ビット2 – DOSTALL : 不能応答(STALL)で応答 (Endpoint Will Respond with STALL)

このビットが'1'を書かれると、USB周辺機能はINまたはOUTの転送単位処理に対して不能応答(STALL)ハンドシェイクで応答します。エンドポイントが制御エンドポイントでエンドポイントn状態(EPn.STATUS)レジスタのエンドポイント構成設定(SETUP)完了(EPSETUP)フラグが'1'の場合、STALLは送られません。DOSTALLは方向指定、即ち、IN転送単位処理はEPn.IN.CTRLレジスタのDOSTALLが設定(1)される場合に否定応答され、OUT転送単位処理はEPn.OUT.CTRLレジスタのDOSTALLが設定(1)される場合に否定応答されます。制御INエンドポイント用のSTATUSレジスタのEPSETUPビットはCTRLレジスタのDOSTALLビットを無効にすることができ、CTRLレジスタのDOSTALLが直前の要求で設定(1)されていた場合に、CPUが要求を処理する時間を持つ前にデバイスが制御転送のデータまたは状態の段階を否定応答しないことを保証します。

● ビット1,0 – BUFSIZE1,0 : データ容量 (Data Size) – 既定

このビット領域はエンドポイントに対する最大データ本体量を構成設定します。最大データ本体量を超えてやって来るデータバイトは破棄されます。制御エンドポイントについて、この領域は入力(IN)と出力(OUT)の転送単位処理にだけ影響を及ぼします。構成設定(SETUP)転送単位処理について、最大データ本体量は常に8バイトです。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DEFAULT_BUF8	DEFAULT_BUF16	DEFAULT_BUF32	DEFAULT_BUF64
説明 (緩衝部容量)	8バイト	16バイト	32バイト	64バイト

28.7.5. EPn.CTRL – エンドポイントn制御 (Endpoint Control) – 等時(Isochronous)形式

名称 : EPn.CTRL

変位 : +\$01 + n×8 [n=0~31]

リセット : \$xx

このレジスタ記述は**エンドポイントn制御(EPn.CTRL)レジスタ**の**エンドポイント形式(TYPE)ビット領域**が'ISO'を書かれる時にだけ有効です。たの**エンドポイント形式**に対して、正確な記述については「**エンドポイントn制御 – 既定形式**」を御覧ください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	TYPE1,0		MULTPKT		TCDSBL	BUFSIZE2~0		
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7,6 – TYPE1,0 : エンドポイント形式 (Endpoint Type)

これらのビットはエンドポイントを許可して選びます。エンドポイントが禁止された場合、残り7つのエンドポイント構成設定バイトはUSB周辺機能によって決して読み書きされず、それらのSRAM位置は他の応用データに使うために解放します。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	DISABLE	CONTROL	BULK	ISOCHRONOUS
説明	エンドポイント禁止	制御	大量(Bulk)/割り込み(Interrupt)	等時(Isochronous)

●ビット5 – MULTIPKT : 複数パケット転送許可 (Multipacket Transfer Enable)

このビットの'1'書き込みが複数パケット転送を許可します。複数パケット転送はエンドポイントの最大パケット容量を超えるデータ本体に割り込みやファームウェアの介入なしに複数パケットとして転送されることを許します。MULTIPKTが'1'の時に**複数パケット バイト計数(MCNT)レジスタ**は単一OUTパケットの最大容量を定義し、それによってデータ受信緩衝部の溢れを防ぎます。

●ビット3 – TCDSBL : 転送単位処理完了(TRNCOMPL)割り込み禁止 (TRNCOMPL Interrupt Disable)

このビットが'1'を書かれると、**割り込み要求フラグB(INTFLAGSB)レジスタ**の**転送単位処理完了(TRNCOMPL)フラグ**は**エンドポイントn状態(EPn.STATUS)レジスタ**の**TRNCOMPLフラグ**と共に設定(1)されません。TCDSBLが'1'の場合、FIFOは転送単位処理完了でこのエンドポイントをエンドポイント構成設定表に格納しません。

●ビット2~0 – BUFSIZE2~0 : データ容量 (Data Size)

このビット領域はエンドポイントに対する最大データ本体量を構成設定します。最大データ本体量を超えてやって来るデータバイトは破棄されます。制御エンドポイントについて、この領域は入力(IN)と出力(OUT)の転送単位処理にだけ影響を及ぼします。構成設定(SETUP)転送単位処理について、最大データ本体量は常に8バイトです。

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	ISO_BUF8	ISO_BUF16	ISO_BUF32	ISO_BUF64	ISO_BUF128	ISO_BUF256	ISO_BUF512	ISO_BUF1023
説明 (緩衝部容量)	8バイト	16バイト	32バイト	64バイト	128バイト	256バイト	512バイト	1023バイト

28.7.6. EPn.CNT – エンドポイントn バイト計数器 (Endpoint Byte Counter)

名称 : EPn.CNT

変位 : +\$02 + n×8 [n=0~31]

リセット : \$xxxx

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	x	x	x	x	x	x	x	x
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	x	x	x	x	x	x	x	x

●ビット15~0 – CNT15~0 : エンドポイント データ バイト計数 (Endpoint Data Byte Count)

SETUP/OUT: 16ビット値のCNTは最後の出力(OUT)/構成設定(SETUP)の転送単位処理で受信したバイト数を保持します。複数パケット転送進行中はそれまで受信したバイト数を保持します。これはパケットの終わりでハードウェアによって更新されます。

IN: 次のIN転送でホストへ送る総バイト数を保持します。これは**複数パケット(MULTIPKT)転送**中にハードウェアによって更新されません。

CNTはエンドポイントが非活性にされている、即ち、全体否定応答(GNACK)または否定応答(NACK)が設定されている間にだけソフトウェアによって書かれなければなりません。

28.7.7. EPn.DATAPTR – エンドポイントn データ ポインタ (Endpoint Data Pointer)

名称 : EPn.DATAPTR
変位 : +\$04 + n × 8 [n=0~31]
リセット : \$xxxx

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	DATAPTR15~8							
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	x	x	x	x	x	x	x	x
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	DATAPTR7~0							
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15~0 – DATAPTR15~0 : エンドポイント データ ポインタ (Endpoint Data Pointer)

16ビット値のDATAPTRはエンドポイント データ緩衝部のSRAMアドレスを含みます。制御エンドポイントについて、構成設定(SETUP)転送単位処理に対してOUTエンドポイントのDATAPTRが使われ、出力(OUT)と入力(IN)の転送単位処理に対してINエンドポイントのDATAPTRが使われます。

28.7.8. EPn.MCNT – エンドポイントn複数パケット バイト計数 (Multipacket Byte Count)

名称 : EPn.MCNT
変位 : +\$06 + n × 8 [n=0~31]
リセット : \$xxxx

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	MCNT15~8							
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	x	x	x	x	x	x	x	x
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	MCNT7~0							
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15~0 – MCNT15~0 : 複数パケット バイト計数 (Multipacket Byte Count)

INエンドポイントについて、MCNTはそれまでUSBによって転送されたバイト数を保持します。新しい転送を設定する時に0を書きください。これはパケット転送が完了される時に更新されます。MCNTはOUTエンドポイントに対して受信した最大バイト数を保持します。殆どの場合でMCNTバイト数はSRAMに書かれます。これはハードウェアによって変更されません。

このビット領域はエンドポイントn制御(EPn.CTRL)レジスタの複数パケット転送許可(MULTIPKT)ビットが許可される場合にだけ使われます。MCNTはエンドポイントが非活性にされている、即ち、全体否定応答(GNACK)または否定応答(NACK)が設定されている間にだけソフトウェアによって変更されなければなりません。

複数パケット転送が使われない時にこのSRAM位置は他の応用データに使うために解放します。

28.7.9. FRAMENUM – フレーム番号 (Frame Number)

名称 : FRAMENUM
変位 : +\$100
リセット : \$xxxx

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
	FRAMEERR						FRAMENUM10~8	
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	x	x	x	x	x	x	x	x
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
	FRAMENUM7~0							
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15 – FRAMEERR : フレーム異常 (Frame Error)

このフラグは直近に受信したフレーム開始(SOF)パケットでCRCまたはビット詰め異常が検出された場合に設定(1)されます。

● ビット10～0 – FRAMENUM10～0 : フレーム番号 (Frame Number)

FRAMENUMは直近に受信したフレーム開始(SOF)パケットからのフレーム番号を保持します。

29. CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査

29.1. 特徴

- CRC-16-CCITT
- 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

29.2. 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。

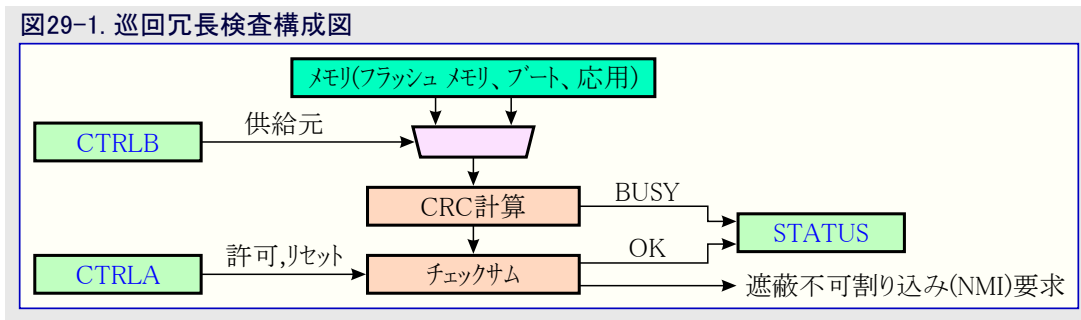
デバイスはフラッシュメモリ誤りが起きた場合、コードを実行しません。コード化けが起きていないことを保証することにより、危険な状況を起こし得る応用での潜在的な意図しない動きを避けることができます。CRC走査はフラッシュメモリ全体、ブート領域だけ、ブートと応用コードの両領域を走査するように設定することができます。

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。

29.2.1. 構成図



29.3. 機能的な説明

29.3.1. 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。

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。

29.3.2. 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改変(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。

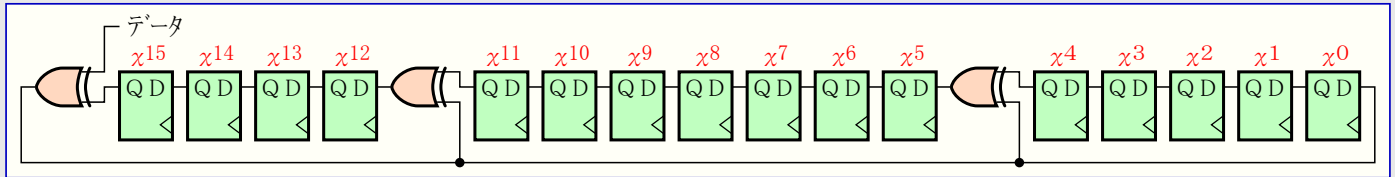
CRC生成部はCRC-16-CCITTを支援します。

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「29.3.2.1. 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29-2. CRC-16実装説明



29.3.2.1. 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29-1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29-1. 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

29.3.3. 割り込み

表29-2. 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
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は例えば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。

29.3.4. 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。

29.3.5. デバッグ操作

デバッガ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。

デバッガがデバイスをアクセスする時にCRCSCANが多忙の場合、CRCSCANはデバッガが内部レジスタをアクセスする時、またはデバッガ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)ビットはデバッガ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、デバッガがこれの禁止を保つ限り、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ガによって読むことのできる同期したCRC状態ビットがデバッガの内部レジスタ空間にあります。デバッガの内部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。

デバッガから直接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(デバッガ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、デバッガ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。

デバッガから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。

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	RESET						NMIEN	ENABLE
+\$01	CTRLB	7～0							SRC1,0	
+\$02	STATUS	7～0							OK	BUSY

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 : –

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(「29.3.1. 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。

29.5.2. CTRLB – 制御B (Control B)

名称 : CTRLB
変位 : +\$01
リセット : \$00
特質 : –

制御B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	0 0	0 1	1 0	1 1
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)

29.5.3. 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。

30. CCL – 構成設定可能な注文論理回路

30.1. 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

30.2. 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つの入力を持つ使用者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。

30.2.1. 構成図

図30-1. CCL構成図

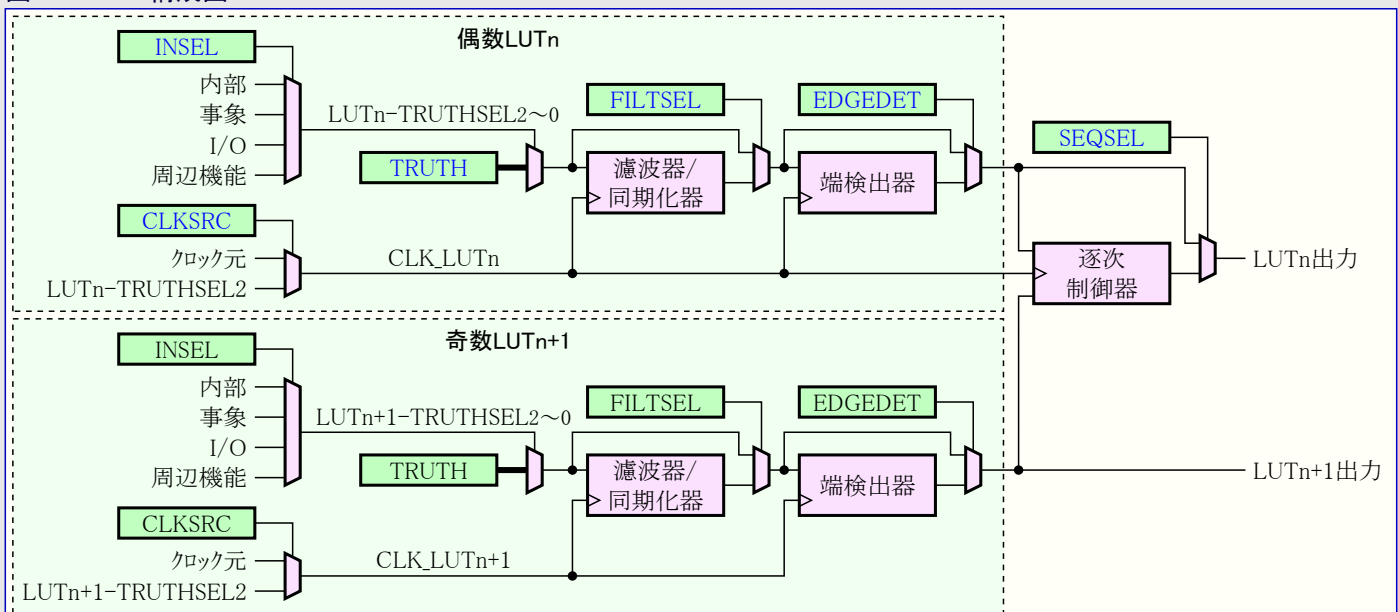


表30-1. 逐次制御器とLUTの接続

逐次制御器	偶数と奇数のLUT
SEQ0	LUT0とLUT1
SEQ1	LUT2とLUT3

30.2.2. 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。

30.2.2.1. 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		
0 1 1 1 (\$7)	USARTn (注1)	USART0のTXD	USART1のTXD	
1 0 0 0 (\$8)	SPI0 (注2)	SPI0のMOSI		SPI0のSCK
1 0 0 1 (\$9)	TCA0	TCA0のWO0	TCA0のWO1	TCA0のWO2
1 0 1 0 (\$A)	TCBn	TCB0のWO	TCB1のWO	
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。

30.3. 機能的な説明

30.3.1. 動作

30.3.1.1. 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。

30.3.1.2. 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。

30.3.1.3. 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30-2. LUTの真理値表出力値選択

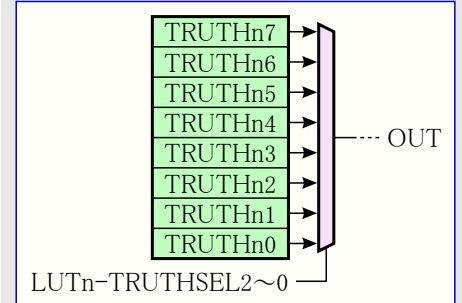


表30-2. LUTの真理値表

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ご考慮してください。

例30-1. 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。

30.3.1.4. 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。

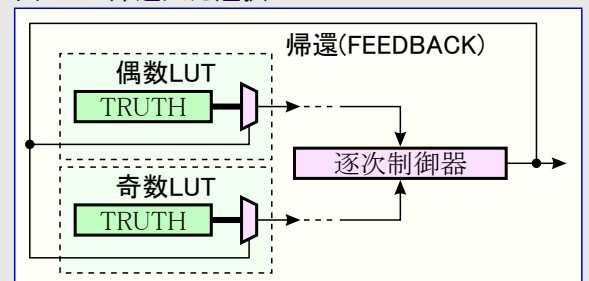
- OFF
- 周辺機能による駆動
- 事象システムからの内部事象による駆動
- 入出力ピン入力による駆動
- 他のLUTによる駆動

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30-3. 帰還入力選択



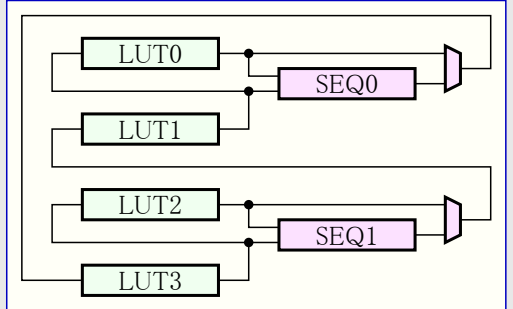
連結LUT (LINK)

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30-2. 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30-4. 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。

30.3.1.5. 濾波器

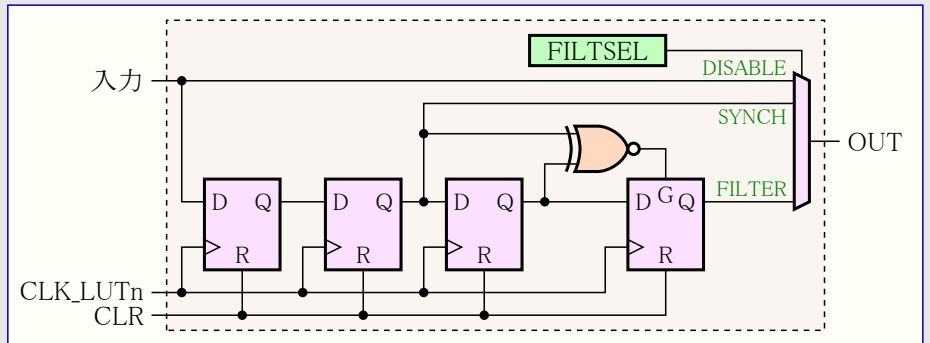
既定によって、LUT出力はLUT入力の組み合わせ関数です。これは入力が値を変える時にいくつかの短い不具合を起こし得ます。これらの不具合は応用の要求によって求められた場合に濾波器を通してクロック駆動することで取り除くことができます。

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30-5. 濾波器



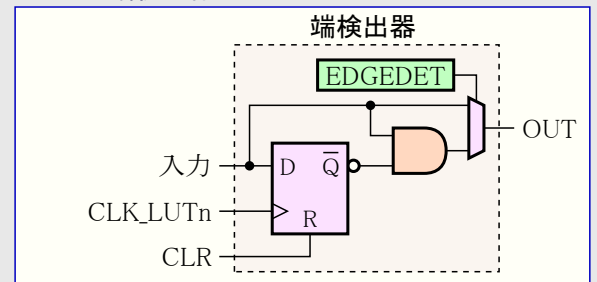
30.3.1.6. 端検出器

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30-6. 端検出器



30.3.1.7. 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30-7. Dフリップフロップ

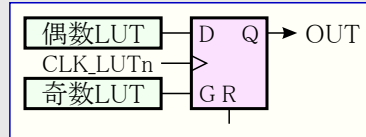


表30-3. DFF特性

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30-8. JKフリップフロップ

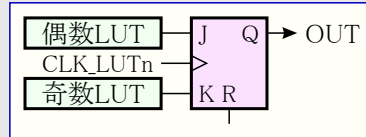


表30-4. JK特性

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30-9. Dラッチ

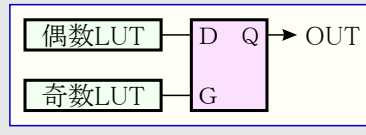


表30-5. Dラッチ特性

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30-10. RSラッチ

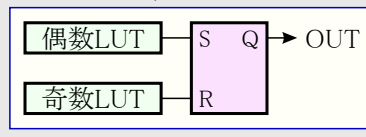


表30-6. RSラッチ特性

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

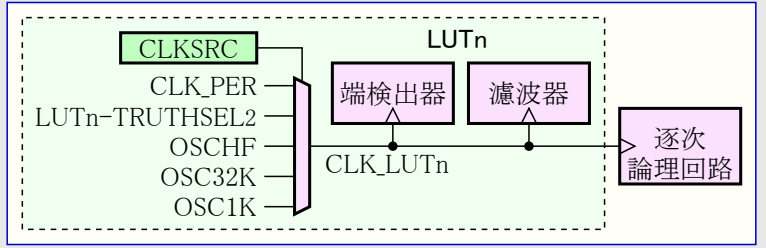
30.3.1.8. クロック元設定

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30-11. クロック元設定



30.3.2. 割り込み

表30-7. 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。

30.3.3. 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30-8. 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30-9. 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。

30.3.4. 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。

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		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		

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 : –

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

30.5.2. 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)		

30.5.3. 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30.5.2. SEQCTRL0と30.5.3. SEQCTRL1は30.5.2. 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

30.5.4. 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。

30.5.5. 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	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)	(予約)

● ビット0 – ENABLE : LUT許可 (LUT Enable)

値	0	1
説明	LUT禁止	LUT許可

30.5.6. 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)	0110 (\$6)	AC0	AC0のOUT
0001 (\$1)	FEEDBACK	LUTn出力(帰還入力)	0111 (\$7)	USART1	USART1のTXD
0010 (\$2)	LINK	LUTn+1出力(連結)	1000 (\$8)	SPI0	SPI0のMOSI
0011 (\$3)	EVENTA	入力元として事象A	1001 (\$9)	TCA0	TCA0のWO1
0100 (\$4)	EVENTB	入力元として事象B	1010 (\$A)	TCB1	TCB1のWO
0101 (\$5)	IN1	LUTn-IN1	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)	0110 (\$6)	AC0	AC0のOUT
0001 (\$1)	FEEDBACK	LUTn出力(帰還入力)	0111 (\$7)	USART0	USART0のTXD
0010 (\$2)	LINK	LUTn+1出力(連結)	1000 (\$8)	SPI0	SPI0のMOSI
0011 (\$3)	EVENTA	入力元として事象A	1001 (\$9)	TCA0	TCA0のWO0
0100 (\$4)	EVENTB	入力元として事象B	1010 (\$A)	TCB0	TCB0のWO
0101 (\$5)	IN0	LUTn-IN0	その他	–	(予約)

30.5.7. 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)	0110 (\$6)	AC0	AC0のOUT
0001 (\$1)	FEEDBACK	LUTn出力(帰還入力)	0111 (\$7)	USART1	USART1のTXD
0010 (\$2)	LINK	LUTn+1出力(連結)	1000 (\$8)	SPI0	SPI0のSCK
0011 (\$3)	EVENTA	入力元として事象A	1001 (\$9)	TCA0	TCA0のWO2
0100 (\$4)	EVENTB	入力元として事象B	1010 (\$A)	TCB1	TCB1のWO
0101 (\$5)	IN2	LUTn-IN2	その他	–	(予約)

30.5.8. 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: 入力の説明行の値の時にLUTnの出力が設定した値(値行の値(0または1))になります。

31. AC – アナログ比較器

31.1. 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
 - 3つの正入力ピン
 - 3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
- ・ 事象生成
 - 比較器出力

31.2. 概要

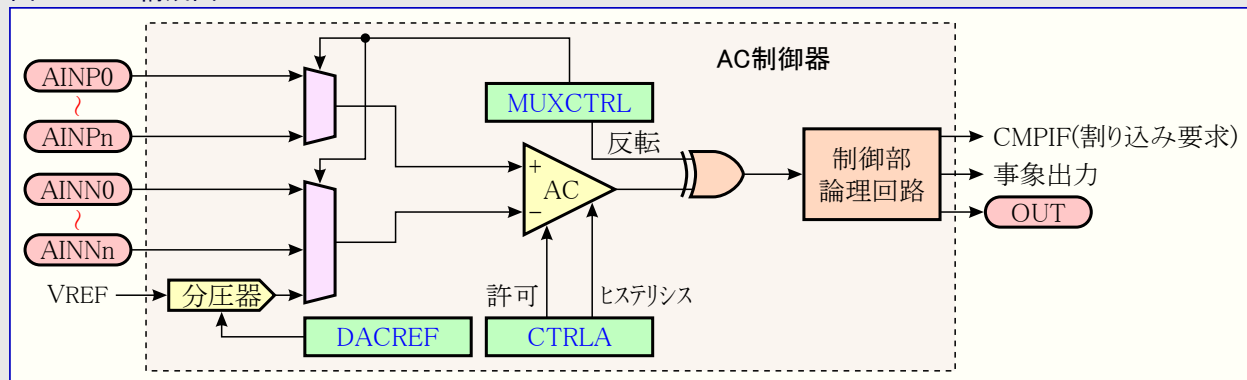
アナログ比較器(AC)は2つの入力の電圧水準を比較してその比較に基いたデジタル出力を与えます。ACは様々な異なる入力変化の組み合わせに基づいて割り込み要求や事象を生成するように構成設定することができます。

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。

31.2.1. 構成図

図31-1. AC構成図



31.2.2. 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

31.3. 機能的な説明

31.3.1. 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。

31.3.2. 動作

31.3.2.1. 入力ヒステリシス

入力ヒステリシス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。

入力ヒステリシスは禁止されるか、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。ヒステリシスは**制御A(ACn.CTRLA)レジスタ**の**ヒステリシス動作選択(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。ヒステリシス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。

31.3.2.2. 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。

$$VDACREF = \frac{DACREF}{256} \times VREF$$

VREFA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。

31.3.2.3. 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。

31.3.2.4. 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。

31.3.3. 事象

ACは以下の事象を生成することができます。

表31-1. 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。

31.3.4. 割り込み

表31-2. 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。

31.3.5. 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、例えば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。

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	OUTEN		POWER1,0		HYSMODE1,0		ENABLE
+\$01	予約									
+\$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				CMPSTATE				CMPIF

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	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「[電気的特性](#)」章を参照してください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	PROFILE0	PROFILE1	PROFILE2	–
説明	電力特性0 (最短伝搬遅延と最高消費)	電力特性1	電力特性2	(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「[電気的特性](#)」章を参照してください。

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

● 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。

31.5.2. 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	その他
名称	AINP0	–	–	AINP3	AINP4	–
説明	正入力ピン0	(予約)	(予約)	正入力ピン3	正入力ピン4	(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	–	DACREF	–
説明	負入力ピン0	負入力ピン1	負入力ピン2	(予約)	DAC参照基準	(予約)

31.5.3. 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。

$$V_{DACREF} = \frac{DACREF}{256} \times V_{REF}$$

31.5.4. 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出力のどの端が割り込み要求を起動するかを選びます。

表31-3. 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)	正入力が増入力未満へ	正入力が増入力越えへ

●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。

31.5.5. 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
				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。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。

32. ADC – A/D変換器

32.1. 特徴

- 独立した電圧参照基準元を持つ10ビット、170kspsのA/D変換器(ADC)
 - 過採取で最大13ビット
- 10ビット分解能で最大170kspsの変換速度
- 21個までの入力、加えて感知器と参照基準からの内部入力
- シングル エント変換
- 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
- 64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

32.2. 概要

A/D変換器(ADC)は10ビット分解能を持つ10ビット シングル エントADCが特徴です。ADCは複数入力間選択用のアナログ入力多重器に接続されます。ADCは選んだ入力と0V(GND)間の電圧を測定します。ADC入力は内部(例えば、電圧参照基準)または外部アナログ入力ピン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ための事象システム(EVSYSS)を使うことによって開始することができます。これは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す。これは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。

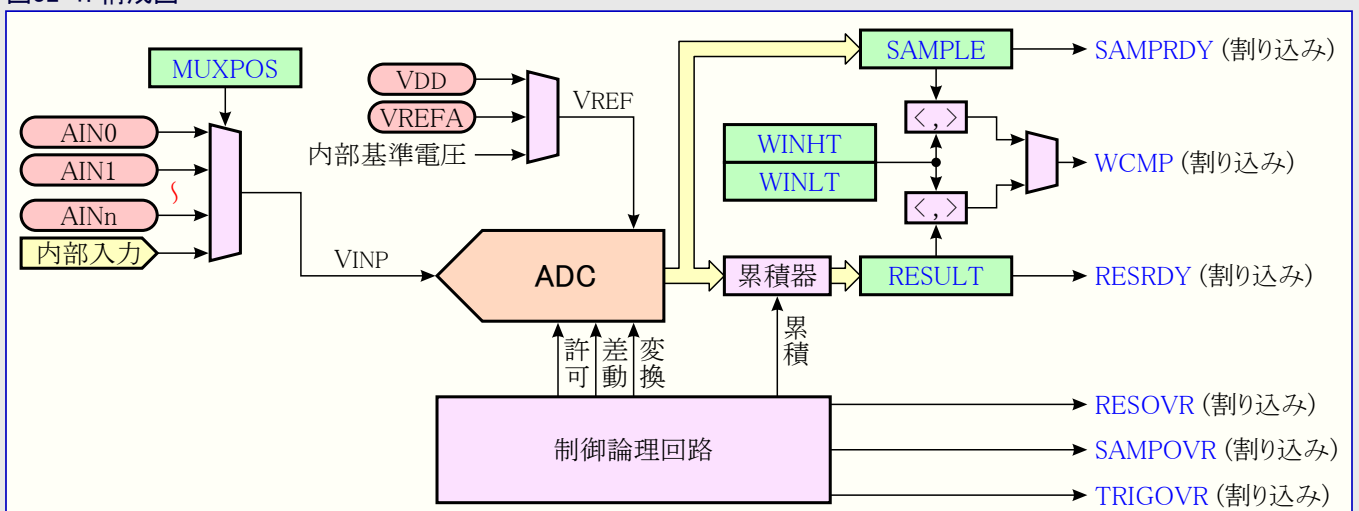
ADC入力信号は変換中にADCへの入力電圧が一定水準で保たれることを保証する採取/保持(S/H)回路を通して供給されます。

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。

32.2.1. 構成図

図32-1. 構成図



32.2.2. 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

32.3. 機能的な説明

32.3.1. 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。

32.3.2. 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(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。
- 指令(ADCn.COMMAND)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(ADCn.COMMAND)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。

32.3.3. 動作

32.3.3.1. 動作形態

ADCは各動作に対してシングルエンド変換が可能な4つの異なる動作形態を支援します。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10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10ビット変換を利用し、累積された結果で構成設定することができます。累積する採取数は制御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制御されます。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。

下表は利用可能な動作形態の概要を示します。

表32-1. 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10ビット	1 (0 0 1)			
継続累積	2 (0 1 0)	SAMPNUM	全体	SAMPNUM数変換後
集中累積	3 (0 1 1)			

表32-2. FREERUNとLOWLATの影響

動作形態	開始/起動	FREERUN	LOWLAT	動き
継続累積	IMMEDIATE/ MUXPOS_WRITE/ EVENT_TRIGGER	x	0	継続で1つの変換を起動。各変換前にADC準備動作が必要とされ、ADCは変換完了後に準備可状態を維持しません。
		x	1	継続で1つの変換を起動。ADCは変換の間と継続累積が完了された後も準備可状態を維持します。(注)
集中累積	IMMEDIATE/ MUXPOS_WRITE/ EVENT_TRIGGER	0	0	集中累積開始。最初の変換前にADC準備動作が必要とされ、ADCは集中累積完了後に準備可状態を維持しません。
		0	1	集中累積開始。最初の変換前にADC準備動作が必要とされ、ADCは集中累積完了後に準備可状態を維持します。
		1	x	集中累積開始。LOWLATが'1'に設定され、ADCが準備運動の時間を持つ場合、最初の変換前にADC準備動作は必要とされません。新しい集中累積が直ちに開始されるように、集中累積が完了される時に新しい起動が自動的に発行され、常にADC準備可状態を維持します。(注)

注: ADCがその時点で冷却停止状態だった場合、最初の変換でADC準備運動があるかもしれません。低遅延(LOWLAT)許可はADCが変換していない時に走行することを主クロックに強制しません。主クロック元は他の周辺機能が要求していなければ停止します。従って、例えばLOWLATが許可されていても、変換起動時にクロック元始動時間遅延を経験するかもしれません。この遅延を避けるために主クロックは例えばADCが要求していない時でも走行を維持しなければなりません。これはクロック制御器でスタンバイ時走行(RUNSTDBY)を許可するか、アイドル休止動作を使うか、または別の周辺機能がこのクロックを許可するのを確実にするかによって達成することができます。

32.3.3.1.1. 累積器検査

累積器検査(ACCTEST)動作は目的の入力試験信号と組み合わせて高い故障検出率を素早く達成することができる、累積器と結果形式ハードウェアの診断を助けます。これは指令(ADCn.COMMAND)レジスタの動作形態(MODE)ビット領域で構成設定されます。

累積器検査動作は以下のように使われます。

- ・ 採取(ADCn.SAMPLE)レジスタへの書き込みは内部16ビット累積器へ直接書きます。
- ・ 結果(ADCn.RESULT)レジスタへの書き込みは内部16ビット累積器に書かれた値を累積します。
- ・ RESULTレジスタの読み込みは累積した結果を返します。

注 制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの左揃え(LEFTADJ)ビットが'1'の場合、RESULTレジスタに書かれた値は累積される前に6-SAMPNUM(採取累積数選択ビット領域)分左移動されます。

32.3.3.2. 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(ADCn.COMMAND)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
- ・ 正入力多重器(ADCn.MUXPOS)レジスタへの書き込み

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(ADCn.COMMAND)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でき、新しい変換は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の新しい変換の起動は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(TRIGOV)フラグを設定(1)し、その起動は無視されます。

割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)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。

32.3.3.3. 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)ビット領域を変更する新しい値の書き込み。
- ・ 正入力多重器(ADCn.MUXPOS)レジスタを変更する新しい値の書き込み。

これは結果(RESULT)と採取(SAMPLE)のレジスタでの不定値になります。ADCの準備が整う前に更新された要素に関連する整定時間が過ぎなければならないため、(その整定時間後に)新しい変換は直ちに開始します。

32.3.3.4. 出力形式

次式はADC変換からの出力を与えます。

式32-1. シングル エント 10ビット変換

$$RES = \frac{VINP}{VREF} \times 1024 \quad \{RES \in \mathbb{Z} : 0 \leq RES \leq 1023\}$$

式32-2. シングル エント 8ビット変換

$$RES = \frac{VINP}{VREF} \times 256 \quad \{RES \in \mathbb{Z} : 0 \leq RES \leq 255\}$$

ここでのVINPはADCへの正入力で、RESは変換結果、VREFは選んだ電圧参照基準です。

ADCは**採取(ADCn.SAMPLE)**と**結果(ADCn.RESULT)**の2つのレジスタを持ちます。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16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(ADCn.SAMPLE)レジスタと同じです。

制御(ADCn.CTRLF)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(ADCn.RESULT)と採取(ADCn.SAMPLE)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、\$03FFが最大数(全尺)を表す符号なし数です。アナログ入力がADCの参照基準値よりも高い場合、10ビットADC出力は\$03FF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。

以降の表は動作形態と左揃えによる結果レジスタ出力形式を示します。

表32-3. RESULTレジスタ

MODE	LEFTADJ	RESULT15~10	RESULT9,8	RESULT7~0
0 0 0	x (注)	\$00		変換7~0
0 0 1	0	\$00		変換9~0
	1			変換9~0 << 6
0 1 0, 1 0 0	x (注)			累積15~0

注: 左揃えは8ビット動作や累積動作で利用できません。

下表は動作形態と左揃えによる採取レジスタ出力形式を示します。

表32-4. SAMPLEレジスタ

MODE	LEFTADJ	SAMPLE15~10	SAMPLE9,8	SAMPLE~0
0 0 0	x	\$00		変換7~0
その他	0	\$00		変換9~0
	1			変換9~0 << 6

32.3.3.5. 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。これは**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。「電気的特性」章の「ADC」項の「ADC変換タイミング仕様」の制限が適用されます。

ADC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証するため、クロック制御器(CLKCTRL)周辺機能の**主クロック時間基準(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。

時間基準は最も近い整数値に丸めてください。以下のコード断片はceil関数を使ってこれをどう行うかを示します。

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

32.3.3.6. 入力と参照基準の選択

ADCへの入力選択は**正入力多重器(ADCn.MUXPOS)レジスタ**によって制御されます。

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バンドギャップ参照基準から生成されます。VDDは選んだバンド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。

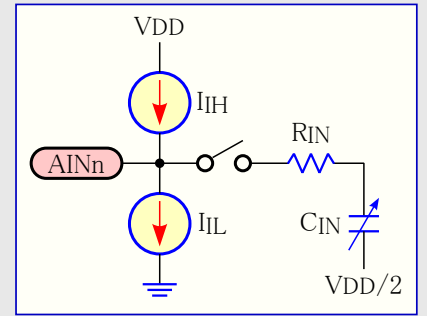
入力または参照基準の切り替え後、ADCは安定時間を必要とします。更なる詳細については「電気的特性」章を参照してください。

32.3.3.6.1. 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(AIN_n)に接続されたアナログ源はピン容量と(I_HとI_L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R_{IN}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(C_{IN})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C_{IN}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.CTRL_E)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32-2. アナログ入力回路



32.3.3.7. 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32-5. ADC初期化時間

アナログ単位部	LOWLAT	初期化時間 (μs)
ADC	0	6
	1 (注2)	0
内部参照基準の安定	0	40
	1 (注2)	2 (注1)
内部温度感知器入力	0	40
	1 (注2)	0
アナログ比較器内部参照基準DAC入力の安定	x	20

注1: 2μsのタイミングは1つの内部参照基準電圧から別の内部参照基準電圧に変える時です。内部参照基準以外から内部参照基準に変える場合は最大限の40μsの遅延が使われます。

注2: LOWLATタイミング値は両方が'1'を書かれたLOWLATビットを持つ2つの変換間で有効です。

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、40μs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40μsの初期化時間になります。

ADCは制御A(ADCn.CTRL_A)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ます。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。

ADCへの入力の採取期間は制御E(ADCn.CTRL_E)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。

入力信号特性によって必要とされる場合、SAMPDURを増すことができます。

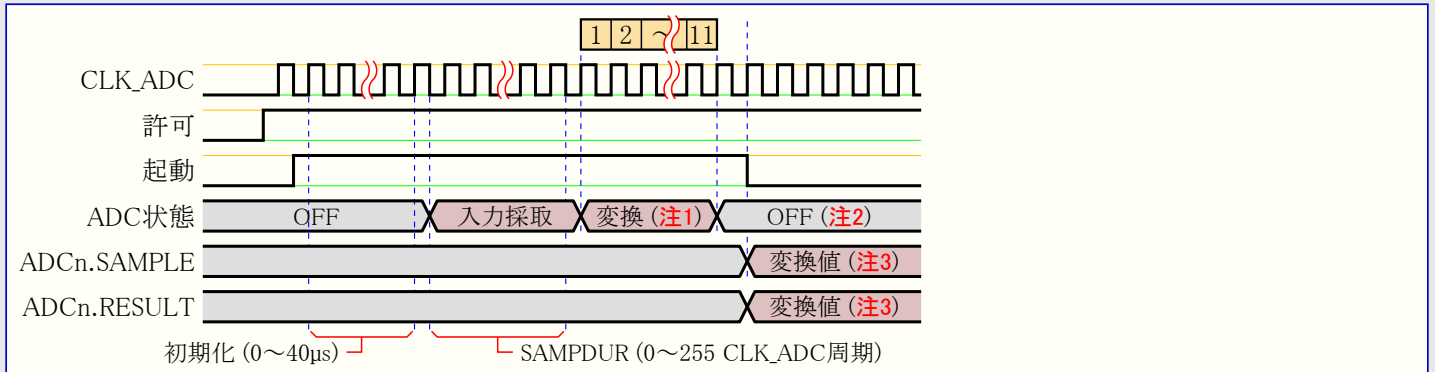
内部参照基準が使われる場合、制御E(ADCn.CTRL_E)レジスタのSAMPDURビット領域は $\geq 4\mu s \times f_{CLK_ADC}$ でなければなりません。

内部参照基準は限定された保持時間での変位(オフセット)解消機構を持ちます。変位解消は毎回の変更の開始で実行され、その後の閾値に対して有効です。この閾値がADCクロック周波数とSAMPDURの適切な選択によって終了された後に(目的の)変換が完了されることを保証にすべきです。この閾値の値については「電気的特性」を参照してください。

32.3.3.7.1. 単独変換

下図は単独の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32-3. 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、これは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は次によって計算されます。

$$t_{\text{conv}} (10\text{ビット}) = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 13}{f_{\text{CLK_ADC}}}$$

$$t_{\text{conv}} (8\text{ビット}) = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 11}{f_{\text{CLK_ADC}}}$$

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。

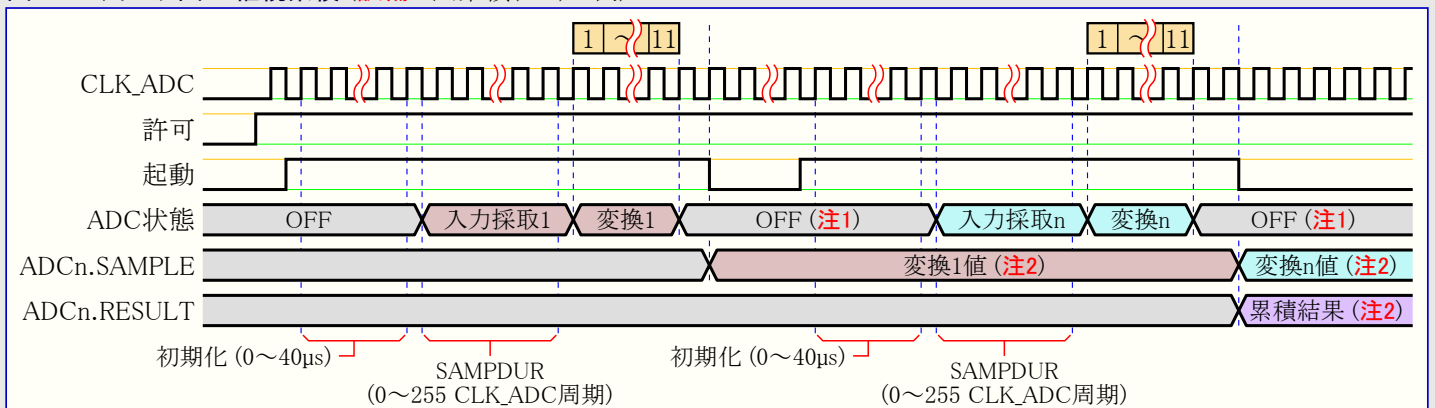
$$f_{\text{conv}} (10\text{ビット}) = \frac{f_{\text{CLK_ADC}}}{\text{SAMPDUR} + 13}$$

$$f_{\text{conv}} (8\text{ビット}) = \frac{f_{\text{CLK_ADC}}}{\text{SAMPDUR} + 11}$$

32.3.3.7.2. 継続累積

下図は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32-4. 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。

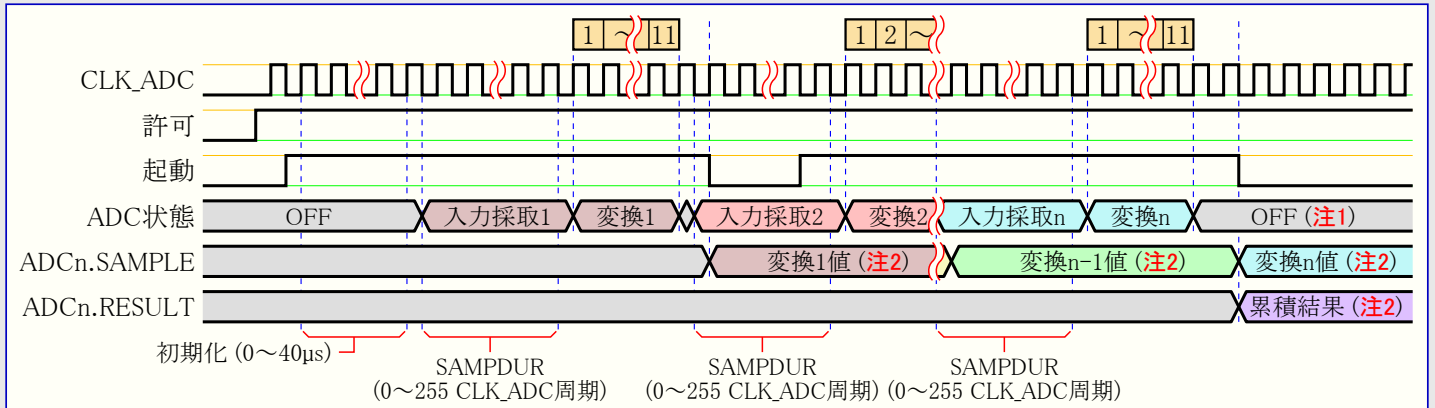
各独立した採取に対する総変換時間は次によって計算されます。

$$t_{\text{conv}} = \text{初期化時間} + \frac{\text{SAMPDUR} + 13}{f_{\text{CLK_ADC}}}$$

32.3.3.7.3. 集中累積

下図は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32-5. 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は次によって計算されます。

$$t_{\text{conv}} = \text{初期化時間} + \frac{(\text{SAMPDUR} + 12) \times \text{SAMPNUM} + 1.5}{f_{\text{CLK_ADC}}}$$

集中累積変換速度(f_{conv})は次によって計算されます。

$$f_{\text{conv}} = \frac{f_{\text{CLK_ADC}}}{\text{SAMPDUR} + 12}$$

32.3.3.8. 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.CTRLA)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2.048V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 $35\mu\text{s} \times f_{\text{CLK_ADC}}$ 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. 10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。

測定した電圧は温度に対してほぼ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票列に格納されます。これら補償係数は内部2.048V参照基準用に生成されています。

- SIGROW.TEMPSENSE0は温度感知器の傾斜を含みます。
- SIGROW.TEMPSENSE1は温度感知器の変位(オフセット)を含みます。

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。

(ケルビンでの)温度は次式によって計算されます。

$$T = \frac{(\text{変位} - \text{ADC結果}) \times \text{傾斜}}{1024}$$

(訳補) SAMPDURがCLK_ADC周期数で設定するため、 $35\mu\text{s}$ 以上になるCLK_ADC周期数の意味です。

識票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 1024 // 尺度調整値

uint16_t sigrow_offset = SIGROW.TEMPSENSE1; // 識票列から符号なし変位読み込み
uint16_t sigrow_slope = SIGROW.TEMPSENSE0; // 識票列から符号なし傾斜読み込み
uint16_t adc_reading = ADC0.RESULT; // ADC変換結果

uint32_t temp = sigrow_offset - adc_reading;
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 = temp;
int16_t temperature_in_C = temp - 273;
```

2.048V以外の別の参照基準(VADCREF)が必要とされる場合、変位と傾斜の値は次式に従って調整されることが必要です。

$$\text{傾斜} = \text{TEMPSENSE0} \times \frac{\text{VADCREF}}{2.048\text{V}}$$

$$\text{変位} = \text{TEMPSENSE1} \times \frac{2.048\text{V}}{\text{VADCREF}}$$

32.3.3.9. 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**または**採取(ADCn.SAMPLE)レジスタ**のどちらで行われるかを選びます。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。

32.3.4. 事象

ADCは以下の事象を生成することができます。

表32-6. 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			

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32-7. 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。

32.3.5. 割り込み

表32-8. 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。

32.3.6. 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。

32.3.7. 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。

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		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	SAMPRDY	RESRDY
+\$05	INTFLAGS	7~0			TRIGOVR	SAMPOVR	RESOVR	WCMP	SAMPRDY	RESRDY
+\$06	STATUS	7~0								ADCBUSY
+\$07	DBGCTRL	7~0								DBGRUN
+\$08	CTRLE	7~0					SAMPDUR7~0			
+\$09	CTRLF	7~0			FREERUN	LEFTADJ			SAMPNUM3~0	
+\$0A	COMMAND	7~0			MODE2~0				START2~0	
+\$0B	予約	7~0								
+\$0C	MUXPOS	7~0		VIA1,0			MUXPOS5~0			
+\$0D ~ +\$0F	予約									
+\$10	RESULT	7~0					RESULT7~0			
+\$11		15~8					RESULT15~8			
+\$12 ~ +\$13	予約									
+\$14	SAMPLE	7~0					SAMPLE7~0			
+\$15		15~8					SAMPLE15~8			
+\$16 ~ +\$17	予約									
+\$18	TEMP0	7~0					TEMP7~0			
+\$19 ~ +\$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			

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		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。 注: 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。

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
					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

32.5.3. 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	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

●ビット2~0 - 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40μs初期化時間を必要とします。

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	VDD	-	EXTVREF	-	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。**32.5.4. 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	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	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)

32.5.5. 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** (Ttigger 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。

32.5.6. 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** (Ttigger 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。

32.5.7. 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。

32.5.8. 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。

32.5.9. 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ADC採取持続時間を選びます。採取持続時間は(SAMPDUR+½)CLK_ADC周期です。

32.5.10. 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
			FREERUN	LEFTADJ			SAMPNUM2~0	
アクセス種別	R	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。

自由走行動作は[継続累積動作](#)で支援されません。

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。最初の変換は 指令(ADCn.COMMAND)レジスタの変換開始(START)ビット領域にIMMAEDAIATE設定を書くこと によって開始されます。自由走行では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され、 割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLGAS)レジスタの結果準備可割り込み要求(RESRDY)フラグ によって合図されます。

●ビット4 – LEFTADJ : 左揃え (Left Adjust)

このビットはADC出力が左揃えら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 – SAMPNUM2~0 : 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採取数を選びます。[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 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
名称	NONE	ACC2	ACC4	ACC8	ACC16	ACC32	ACC64	-
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	32採取 累積	64採取 累積	(予約)

32.5.11. 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
			MODE2~0				START2~0	
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 – 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。

動作形態のより多くの情報については本章内の「[動作形態](#)」項と「[累積器検査](#)」項を御覧ください。

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_10BIT	10ビット分解能での単独変換
0 1 0	SERIES	継続累積、毎回の10ビット変換に対して独立した起動
0 1 1	BURST	集中累積。1回の起動が一続きで採取数(SAMPNUM)回の10ビット変換を実行
1 1 1	ACCTEST	機能安全応用のための累積器診断動作
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、このビット領域値は変換終了後、STOPに戻されます。
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
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。

32.5.12. 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
	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～\$1B	\$1F	\$40	\$42	\$44	\$49	その他
名称	AIN0～AIN7	AIN16～AIN27	AIN31	GND	TEMPSENSE	VDDDIV10	DACREF0	–
説明	ADC入力 0～7ピン	ADC入力 16～27ピン	ADC入力 31ピン	接地	温度感知器	VDD/10	AC0電圧 参照基準	(予約)

32.5.13. RESULT – 結果 (Result)

名称 : RESULT (RESULTH, RESULTL)

変位 : +\$10

リセット : \$0000

特質 : –

ADCn.RESULTHとADCn.RESULTLのレジスタ対は16ビット値のADCn.RESULT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。

このレジスタは機能安全検査動作(ACCTEST)でも使われて書き込み可能です。

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
	RESULT15~8							
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
	RESULT7~0							
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 – RESULT15~8 : 結果バイト1 (Result byte 1)**

このビット領域はADCn.RESULTレジスタの上位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レジスタの下位バイトを構成します。

32.5.14. 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。

このレジスタは機能安全検査動作(ACCTEST)でも使われて書き込み可能です。

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/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
	SAMPLE7~0							
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 – 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。

32.5.15. TEMP – 一時 (Temporary)

名称 : TEMP

変位 : +\$18

リセット : \$00

特質 : -

(ADCn.RESULTとADCn.SAMPLE)レジスタでの読み書き操作一時レジスタ。一時レジスタはこの周辺機能の16ビット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)**

16ビットレジスタに対する読み書き用の一時的なビット領域。

32.5.16. 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	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
WINLT7~0								
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 – 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。

32.5.17. 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	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
WINHT7~0								
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 – 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。

33. UPDI – 統一プログラム/デバッグ インターフェース

33.1. 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
 - 制限なしのユーザープログラム中断点(ブレークポイント)
 - 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

33.2. 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、そしてユーザー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。

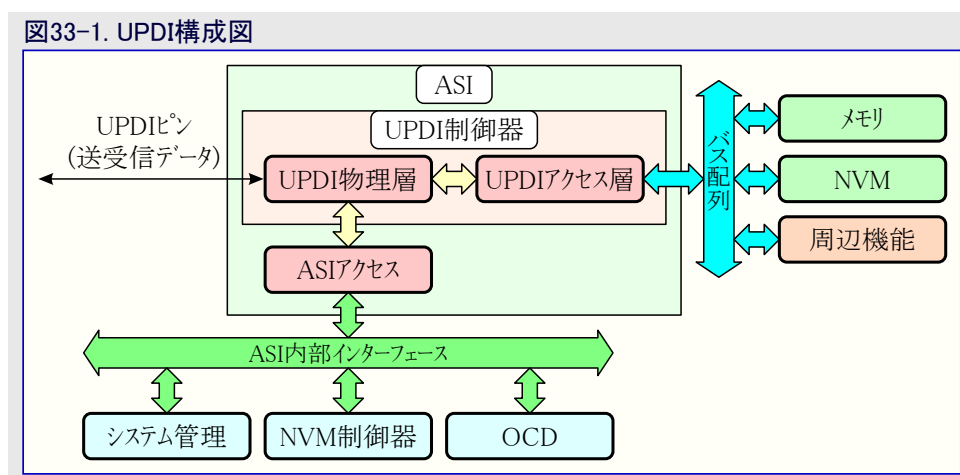
プログラミングとデバッグはデータの受信と送信に対して専用のUPDIピンを使う半二重インターフェースに基づく単線UARTのPHY層を通して行われます。PHY層のクロック駆動は専用内部発振器によって行われます。

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。

33.2.1. 構成図



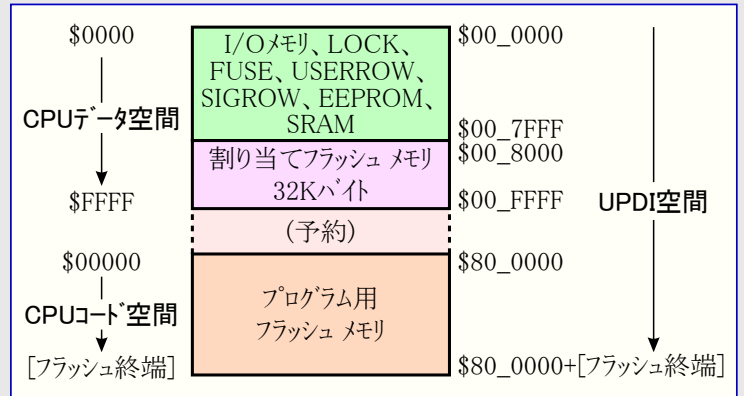
33.2.2. プログラム メリ空間のアドレス指定

CPUデータ空間で、I/Oメモリ、ヒューズ、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。

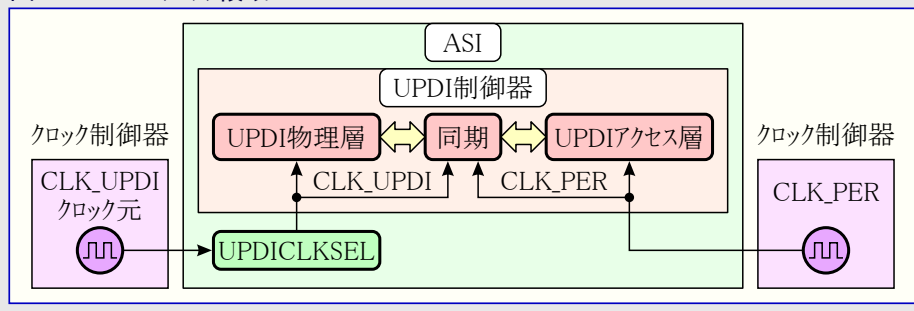
図33-2. UPDIから見たメモリ割り当て



33.2.3. 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33-3. UPDIクロック領域



33.2.4. 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)
- 動作中の異常認識票の生成
- 保護時間制御

33.2.5. 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。

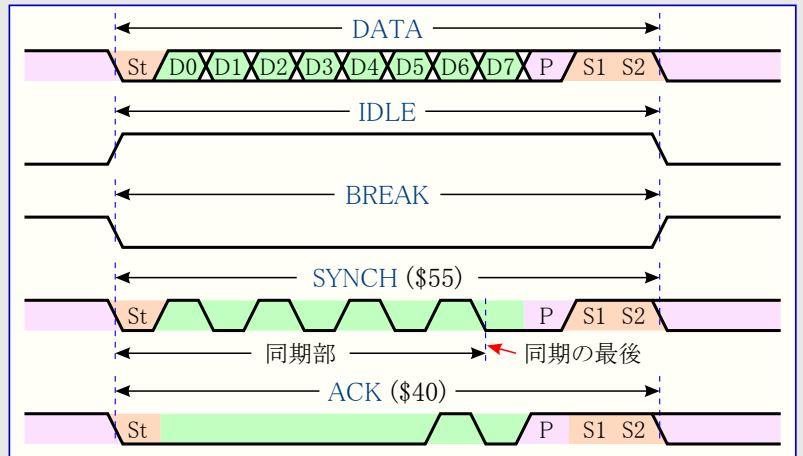
必須と任意選択のピン構成設定についての詳細に関しては「33.3.2.1. UPDI許可」項を参照してください。

33.3. 機能的な説明

33.3.1. 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33-4. 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、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。

33.3.1.1. 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(UPDI_CLKSEL)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UPDI_CLKSEL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33-2.で見ることができます。

表33-1. UPDI_CLKSEL設定に基づく推奨UARTボーレート

UPDI_CLKSEL1,0	最大推奨ボーレート	最小推奨ボーレート
0 0 (32MHz)	1.8Mbps	600 bps
0 1 (16MHz)	0.9Mbps	300 bps
1 0 (8MHz)	450 kbps	150 bps
1 1 (4MHz) – 既定	225 kbps	75 bps

表33-2. 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

33.3.1.2. 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、またはデバッガと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、デバッガは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。

33.3.1.2.1. 単線動作でのBREAK

単線動作で、書き込み器/デバッガと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=16.4ms/8ビット=2.05ms/ビットです。

これは最低の前置分周器設定に対して $2.05\text{ms} \times 12\text{ビット} \div 24.6\text{ms}$ 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33-3からの値に従って緩和されます。

表33-3. 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

33.3.1.3. 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。

33.3.1.3.1. 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。

33.3.2. 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。

33.3.2.1. 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。

33.3.2.1.1. 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/デバッガ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。

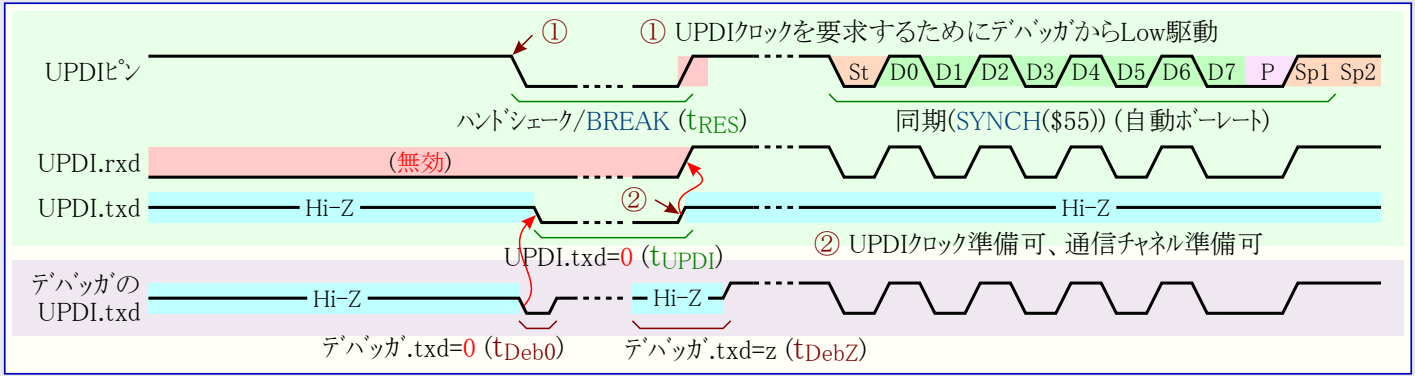
UPDIを許可するには次のこの手順に従ってください。

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。

2. 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。
3. 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。
4. KEY命令を使ってNVMPROG鍵を送ってください。この鍵の送出が施錠ビットを解除し、ASIシステム状態(ASLSYS.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。
5. 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33-5.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33-5. 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「33.3.2.2.1. 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。

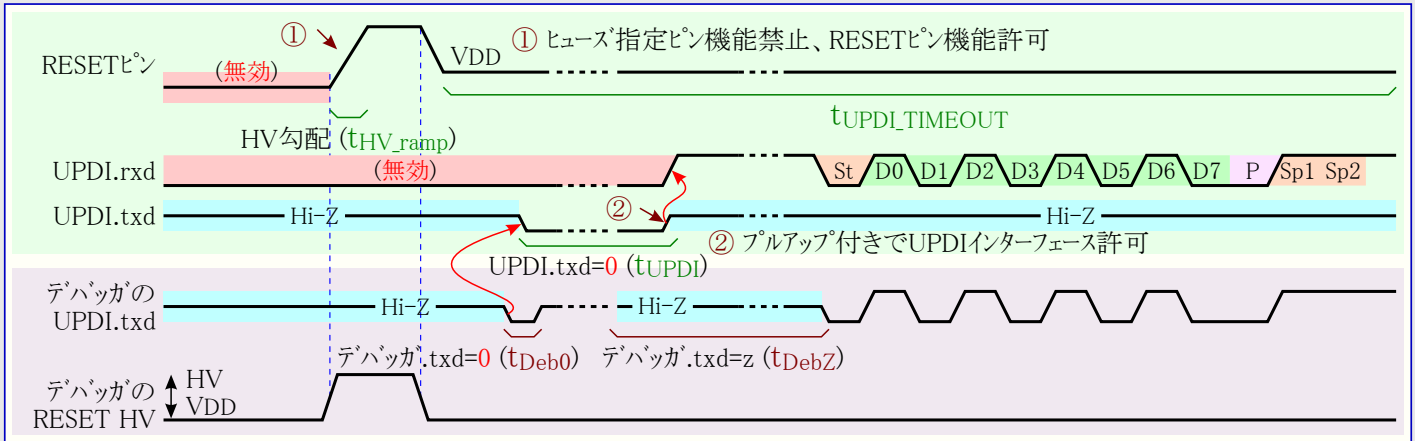
33.3.2.1.2. UPDIピンの高電圧無効化でのUPDI許可

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。

1. 図33-6.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。
2. 「33.3.2.1.1. 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。
3. 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33-6. 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「[電氣的特性](#)」章をご覧ください。
- ・`tUPDI_TIMEOUT`の値については「[電氣的特性](#)」章をご覧ください。

33.3.2.2. UPDI禁止

33.3.2.2.1. 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ど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。

33.3.2.2.2. 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ず、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。

33.3.2.3. 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。この異常検出はハルティ誤り、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。

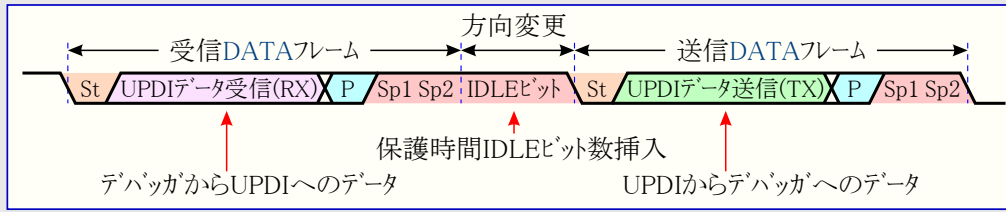
望まれないシステム通信を避けるため、UPDIは異常を検出する度、直ちに内部異常状態へ移行します。異常状態でUPDIはBREAK文字が受信される時を除き、全ての着信データ要求を無視します。異常状態から回復する時は常に以下の手続きが適用されなければなりません。

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。

33.3.2.4. 方向変更

半二重UART動作に対して正しいタイミングを保証するため、UPDIはRX動作からTX動作へ方向を変更する時のタイミングを緩和するための組み込み保護時間機構を持ちます。保護時間は次の最初の応答バイトの開始ビットが送出される前に複数のアイドル(IDLE)ビットが挿入されることによって表されます。アイドルビット数は**制御A(UPDI.CTRLA)レジスタの保護時間値(GTVAL)ビット領域**を通して構成設定することができます。各アイドルビットの持続時間は現在の送信で使われるボーレートによって与えられます。

図33-7. アイドル(IDLE)ビット挿入によるUPDI方向変更



UPDI保護時間は接続されたデバッグがUPDIからのデータを待っている時に経験する最小アイドル時間です。最大アイドル時間は制限時間と同じです。送信前のアイドル時間は同期時間+データバスアクセス時間が保護時間よりも長い時に意図した保護時間を超えるでしょう。

常にUPDI側で最小2保護時間ビットの挿入、デバッグ側で1保護時間周期挿入を使うことが推奨されます。

33.3.3. UPDI命令一式

UPDIを通す通信は小さな命令一式に基づきます。これらの命令はUPDIデータリンク(DL)層の一部です。UPDIレジスタがメモリ割り当てシステム空間だけでなく、“ASIの制御と状態(CS)空間”と呼ばれる内部メモリ空間にも割り当てられるため、命令はUPDIレジスタをアクセスするのに使われます。全ての命令はバイト命令で、通信に対するボーレートを決めるために**SYNCH**文字が先行されなければなりません。送信に対するボーレート設定についての情報に関しては「**UPDI UART**」をご覧ください。図33-8.はUPDI命令一式の概要を与えます。

図33-8. UPDI命令一式概要

	指令	A量	D量	
LDS	0 0 0 0	0 x 0 x		
STS	0 1 0 0	0 x 0 x		
LD	0 0 1 0	x x 0 x		
ST	0 1 1 0	x x 0 x		
LDCS	1 0 0 0	x x x x		
STCS	1 1 0 0	x x x x		
REPEAT	1 0 1 0	0 0 0 0		
KEY	1 1 1 0	x 0 x		

指令
0 0 0 LDS (直接アドレス指定データ取得)
0 0 1 LD (間接アドレス指定データ取得)
0 1 0 STS (直接アドレス指定データ設定)
0 1 1 ST (間接アドレス指定データ設定)
1 0 0 LDCS (LDS 制御/状態レジスタ)
1 0 1 REPEAT (繰り返し指定)
1 1 0 STCS (STS 制御/状態レジスタ)
1 1 1 KEY (作動鍵)

SIB (システム情報部選択)
0 鍵受信
1 SIB送出

A量 (アドレス長)	D量 (データ長)	K量 (鍵長)	PTR種別
0 0 1バイト	0 0 1バイト	0 0 64ビット (8バイト)	0 0 *(ptr) (ポインタ間接データ)
0 1 2バイト (語) ≤64KBメモリ	0 1 2バイト (語)	0 1 128ビット (16バイト)	0 1 *(ptr++) (間接+ポインタ進行)
1 0 3バイト >64KBメモリ	1 0 (予約)	1 0 (予約)	1 0 ptr (ポインタレジスタ)
1 1 (予約)	1 1 (予約)	1 1 (予約)	1 1 *(ptr--) (間接+ポインタ後退)

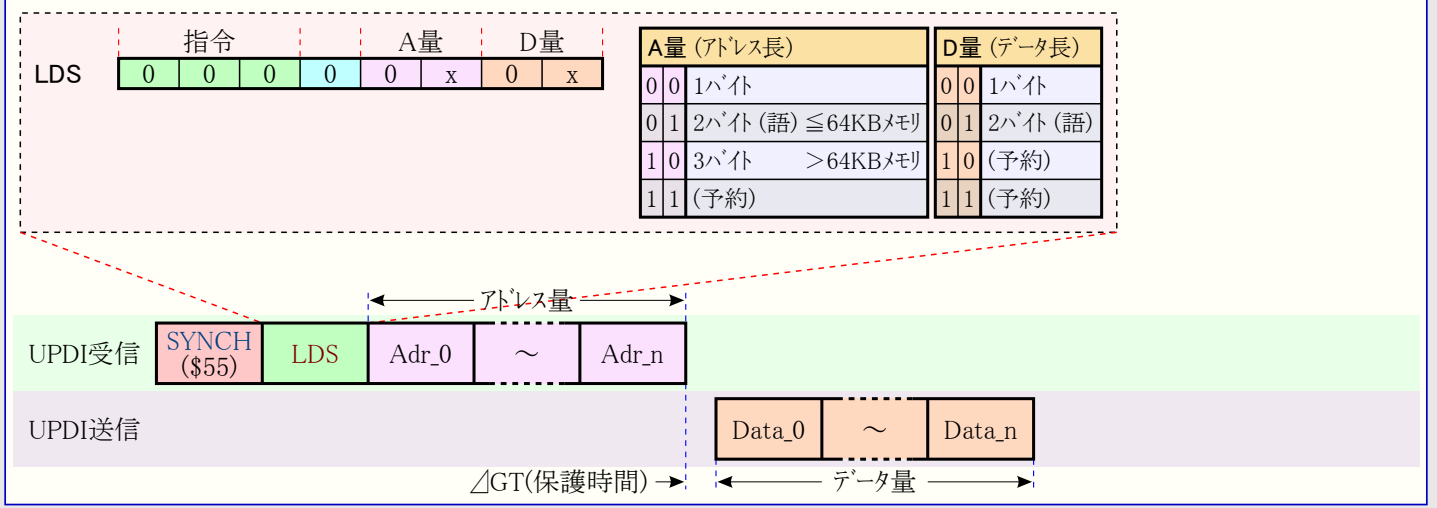
CSアドレス (制御/状態レジスタ)
0 0 0 0 STATUSA 0 1 0 0 (予約) (ASI) 1 0 0 0 ASI_RESET_REQ 1 1 0 0 ASI_CRC_STATUS
0 0 0 1 STATUSB 0 1 0 1 (予約) (ASI) 1 0 0 1 ASI_CTRLA 1 1 0 1 (予約)
0 0 1 0 CTRLA 0 1 1 0 (予約) (ASI) 1 0 1 0 ASI_SYS_CTRLA 1 1 1 0 (予約)
0 0 1 1 CTRLB 0 1 1 1 ASI_KEY_STATUS 1 0 1 1 ASI_SYS_STATUS 1 1 1 1 (予約)

33.3.3.1. 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33-9. LDS命令操作



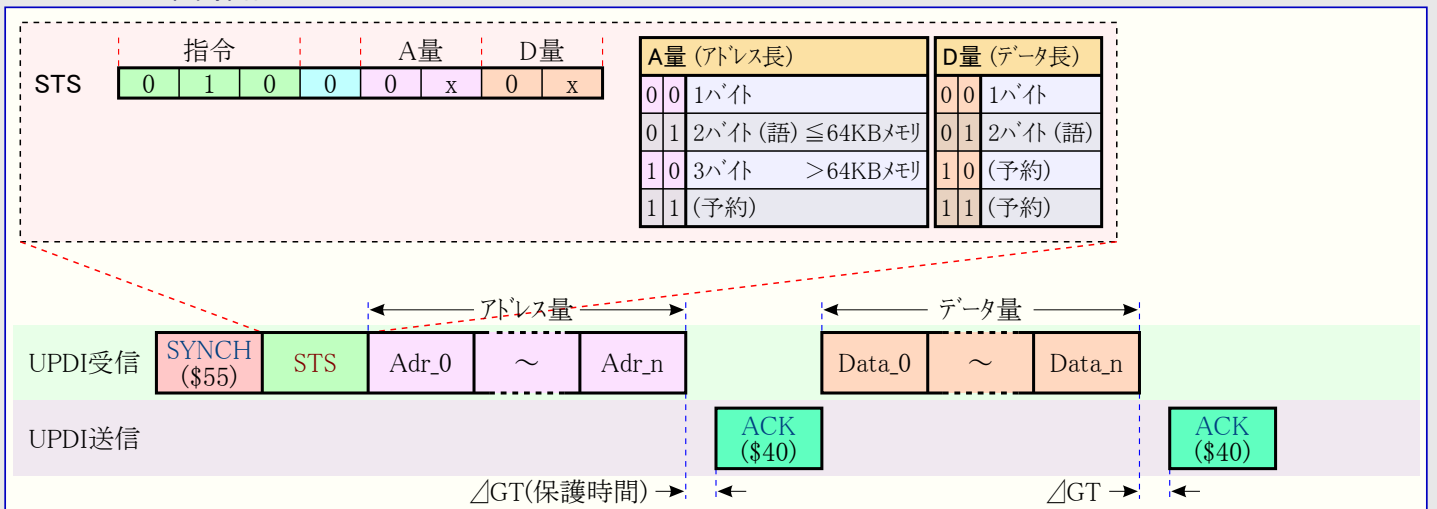
命令が復号され、復号された命令によって指示されるようにアドレスバイトが受信されると、DL層は要求された全情報をACC層に同期します。これはバス要求を処理してバスから緩衝されたデータをDL層に戻して同期し、これはUPDIからのデータ受信で考慮されなければならない同期化遅延を引き起こします。

33.3.3.2. 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33-10.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33-10. STS命令操作



STS命令に関する転送規約は図33-10.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。

33.3.3.3. 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33-11. LD命令操作

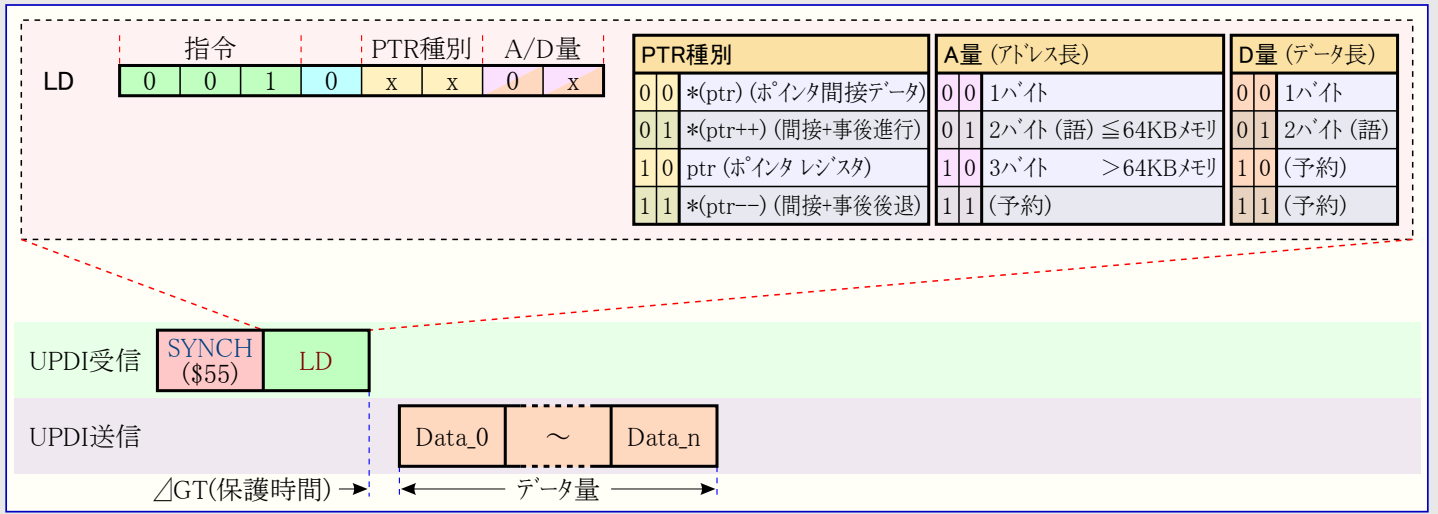


図33-11.は保護時間区間後にデータが受信される代表的なLD手順の例を示します。UPDIポインタレジスタからのデータ取得は同じ転送処理規約に従います。

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。

33.3.3.4. 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33-12. ST命令操作

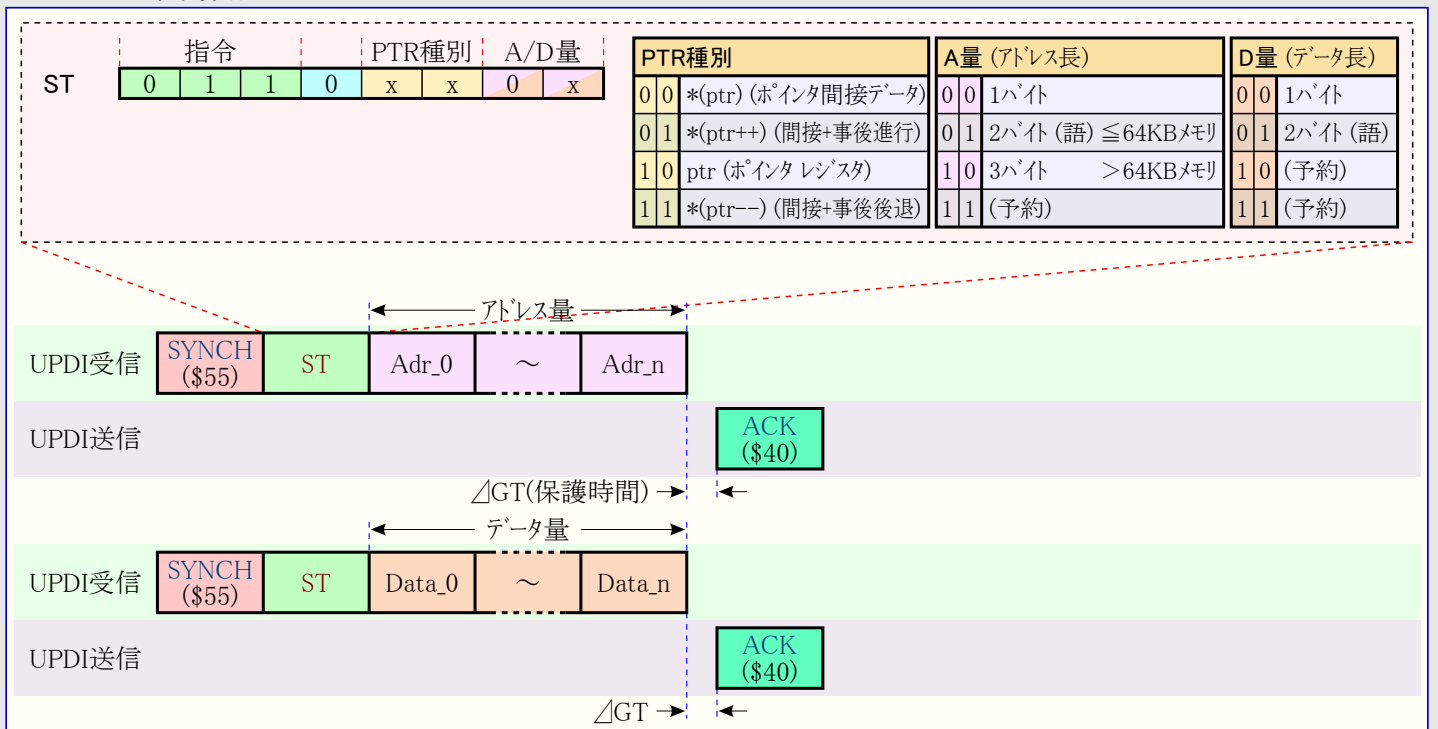


図33-12.はUPDIポインタレジスタへのST命令と通常のデータの格納の例を与えます。各命令の前に同期(SYNCH)文字が送られます。両方の場合でST命令が成功した場合にUPDIによって応答(ACK)が送り返されます。

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、UPDI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33-13. LDCS命令操作

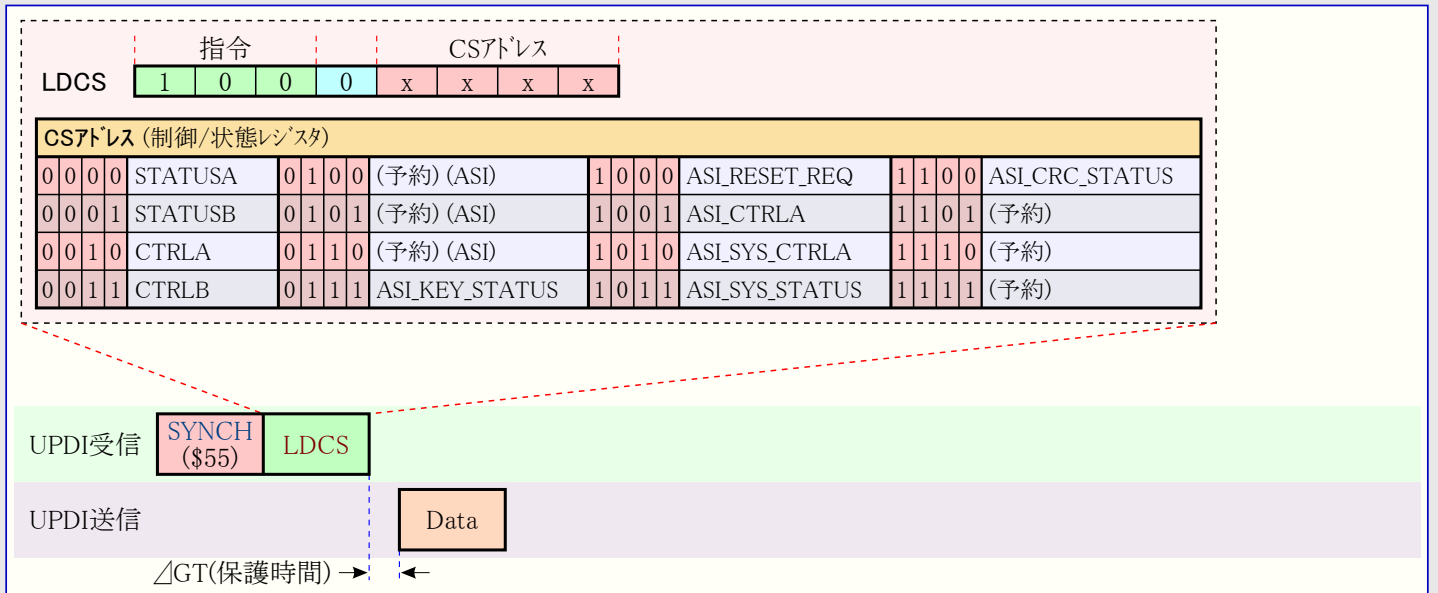


図33-13はLDCSデータ送信の代表的な例を示します。CS空間からのデータバイトは保護時間が完了した後にUPDIから送信されます。

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33-14. STCS命令操作

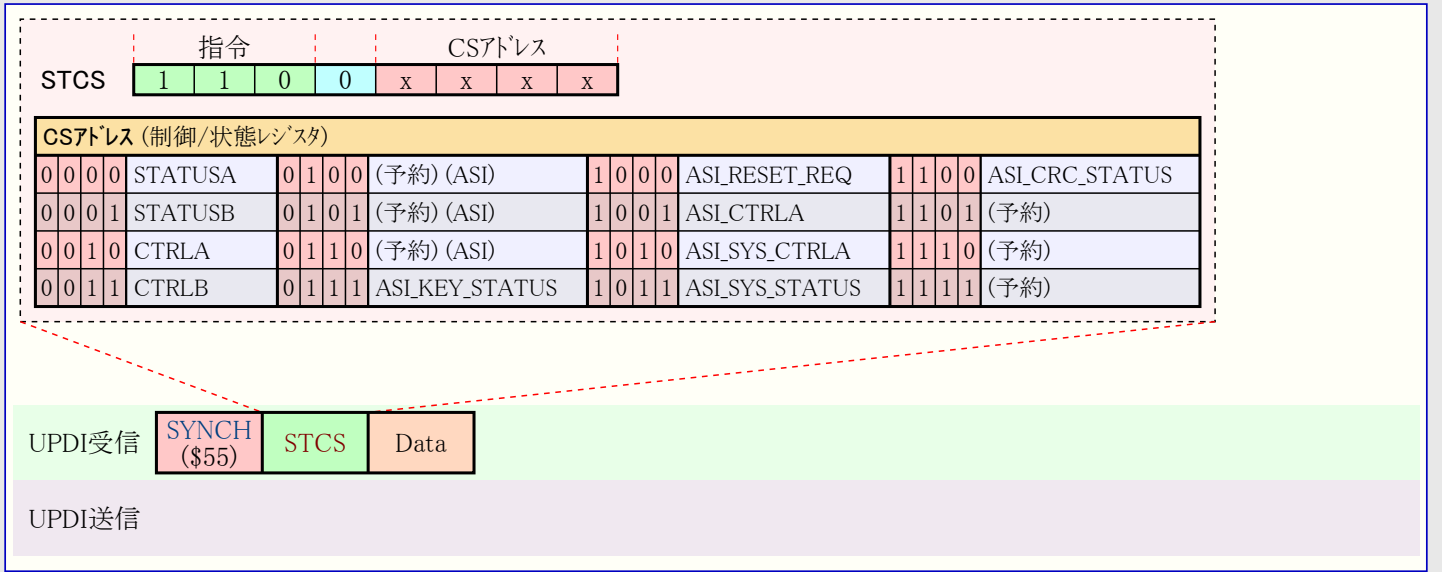


図33-14.はSYNCH文字と命令フレーム後に送信されるデータ フレームを示します。STCS命令は直ちにデータ パケットを続けることができます。CS空間からのデータ パケットは保護時間が完了した後にUPDIから送信されます。STとSTSと同様に、STCS命令から生成される応答はありません。

33.3.3.7. 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

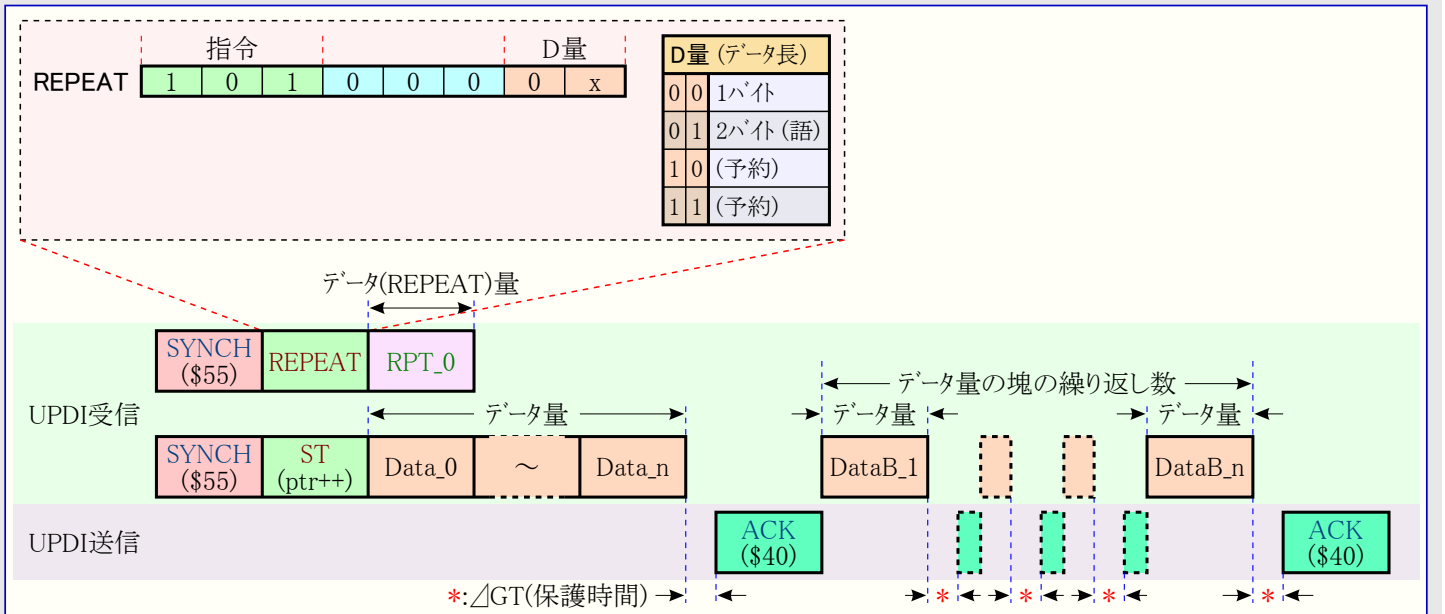
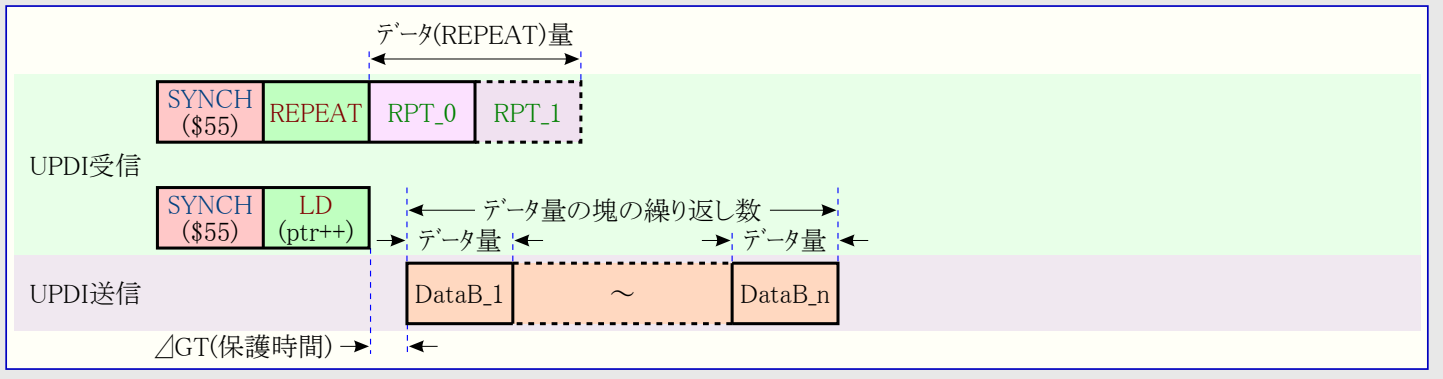


図33-15.はポインタ事後増加操作を用いるST命令での繰り返し操作の例を与えます。REPEAT命令がRPT_0=nで送られた後、最初のST命令はSYNCHと命令のフレームで発行されます。次からのn回のST命令はST被演算子のデータ量に従ってデータ パケットだけを送って応答(ACK)ハンドシェイク規約を維持することによって実行されます。

図33-16. 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 バイト数の)データ塊の前にだけ必要です。さもないければ、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。

33.3.3.8. 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33-17. KEY命令操作

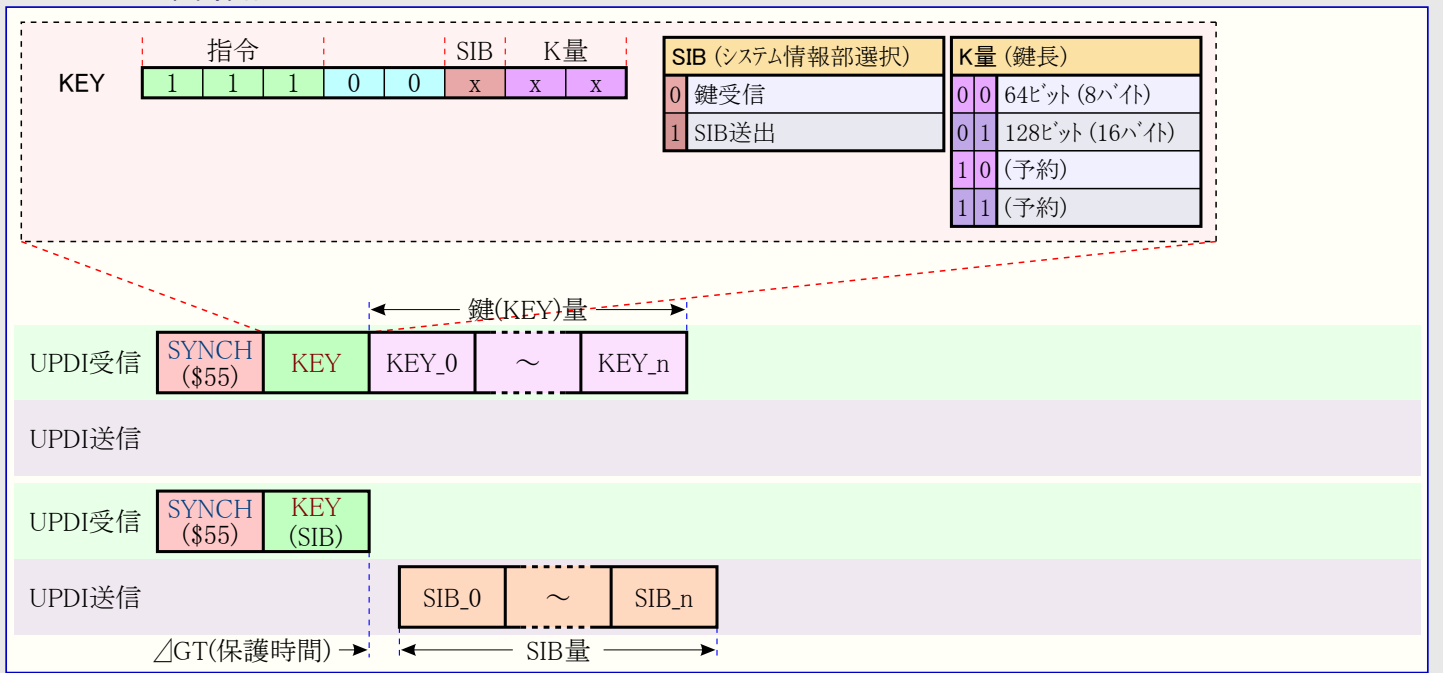


図33-17.は鍵(KEY)の送信とSIBの受信を示します。両方の場合で、被演算子のK量領域は送受信されるフレーム数を決めます。UPDIへの鍵(KEY)送出後に応答(ACK)は有りません。SIB要求時、現在の保護時間設定に従ってデータがUPDIから送信されます。

33.3.4. ブート間でのフラッシュ メモリのCRC検査

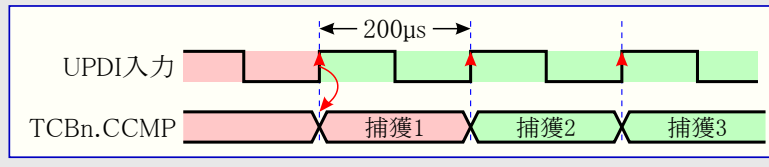
いくつかのデバイスはブート処理の一部としてフラッシュ メモリ内容のCRC検査走行を支援します。この検査は例えばデバイスが施錠されていても実行することができます。このCRC検査の結果はASI CRC状態(ASI_CRC_STATUS)レジスタで読むことができます。この機能のより多くの情報については「CRCSCAN – 巡回冗長検査メモリ走査」章を参照してください。

33.3.5. 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200μs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33-18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33-18. UPDIシステム クロック測定事象



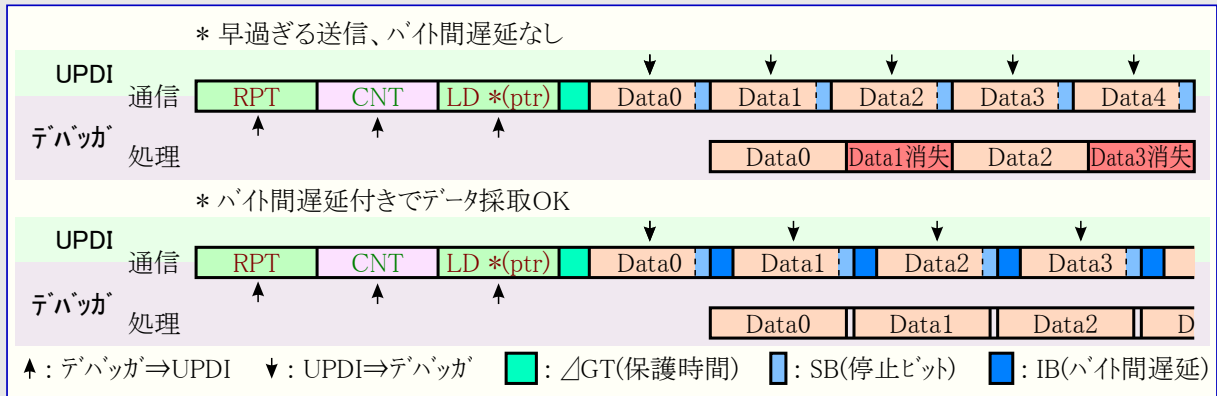
33.3.6. バイト間遅延

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33-19. LDとRPTでのバイト間遅延例



- 注:
1. ∠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。

33.3.7. 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)することによっていつ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ン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、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33-20](#)をご覧ください。

図33-20. 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

33.3.8. 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、「[33.3.3.8. 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33-4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33-4. 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	施錠ビット解除。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)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(ASI_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33-5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33-5. 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	

33.3.8.1. 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を(有効にされている場合の)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。

33.3.8.2. 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. 「33.3.8.1. 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33-5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。

33.3.8.3. 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33-5.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33-5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512バイトで、SRAMの最初の512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512バイトへの書き込みだけが許されます。

33.3.9. 事象

UPDIは以下の事象を生成することができます。

表33-6. 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。

33.3.10. 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。

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	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	

33.5. 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。

33.5.1. 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。

33.5.2. 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33-7. 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。

33.5.3. 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。さもないと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)

33.5.4. 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。

33.5.5. 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「33.3.8.1. 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。

33.5.6. 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別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)

33.5.7. 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)

33.5.8. 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')を書かれた場合、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。

33.5.9. 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。

33.5.10. 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	0 0 0	0 0 1	0 1 0	1 0 0	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)

34. 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。

35. 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

- ・ [AVR16DU14製品頁](#) ・ [AVR32DU14製品頁](#)
- ・ [AVR16DU20製品頁](#) ・ [AVR32DU20製品頁](#)
- ・ [AVR16DU28製品頁](#) ・ [AVR32DU28製品頁](#)
- ・ [AVR16DU32製品頁](#) ・ [AVR32DU28製品頁](#)

－ 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

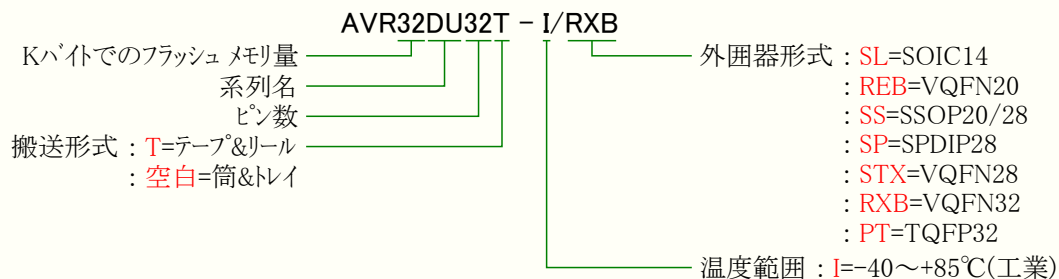
注: 車載級注文符号(VAO接尾辞)は要請によって設定され、下表で一覧にされません。各々の製品頁に存在しないVAO注文符号を要請するには最寄りのMicrochip営業担当者にお問い合わせください。

表35-1. 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	
AVR16DU14T-I/SL		14	SOIC	1.8～5.5V	-40℃～85℃	テープ®&リール	
AVR16DU14-I/SL						チューブ*	
AVR16DU20T-I/SS		20	SSOP			テープ®&リール	
AVR16DU20-I/SS						チューブ*	
AVR16DU20T-I/REB			VQFN			テープ®&リール	
AVR16DU20-I/REB						チューブ*	
AVR16DU28T-I/SS	16KB/2KB		SSOP	テープ®&リール			
AVR16DU28-I/SS				28	SPDIP	チューブ*	
AVR16DU28-I/SP		VQFN	テープ®&リール				
AVR16DU28T-I/STX			チューブ*				
AVR16DU28-I/STX			TQFP		テープ®&リール		
AVR16DU32T-I/PT				32	VQFN	トレイ	
AVR16DU32-I/PT	テープ®&リール						
AVR16DU32T-I/RXB			トレイ				
AVR16DU32-I/RXB							
AVR32DU14T-I/SL		14	SOIC	1.8～5.5V	-40℃～85℃	テープ®&リール	
AVR32DU14-I/SL						チューブ*	
AVR32DU20T-I/SS		20	SSOP			テープ®&リール	
AVR32DU20-I/SS						チューブ*	
AVR32DU20T-I/REB			VQFN			テープ®&リール	
AVR32DU20-I/REB						チューブ*	
AVR32DU28T-I/SS		32KB/4KB				SSOP	テープ®&リール
AVR32DU28-I/SS							28
AVR32DU28-I/SP			VQFN			テープ®&リール	
AVR32DU28T-I/STX						チューブ*	
AVR32DU28-I/STX						TQFP	
AVR32DU32T-I/PT							32
AVR32DU32-I/PT						テープ®&リール	
AVR32DU32T-I/RXB							
AVR32DU32-I/RXB							

図35-1. 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。

36. 外圍器図

36.1. 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36-1. 図番号

ピン数	外圍器型式	図番号	型式
14	SOIC	C04-00065	SL
20	SSOP	C04-00072	SS
	VQFN	C04-21380	REB
28	SPDIP	C04-00070	SP
	SSOP	C04-00073	SS
	VQFN	C04-00456	STX
32	TQFP	C04-00074	PT
	VQFN	C04-21395	RXB

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。

36.2. 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。

36.2.1. 14リード[®]SOIC

図36-1. 一般形

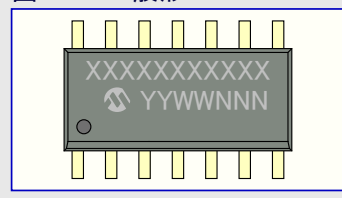
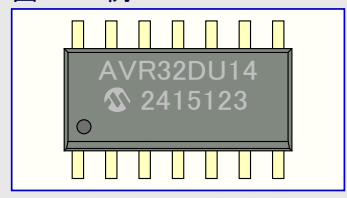


図36-2. 例



36.2.2. 20リード[®]SSOP

図36-3. 一般形

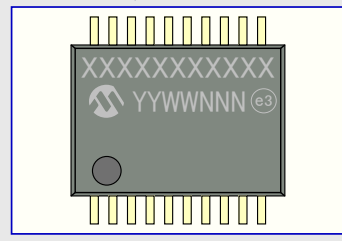
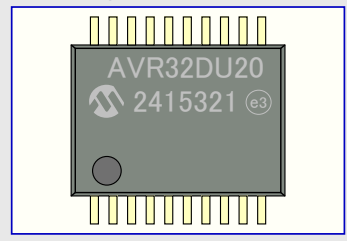


図36-4. 例



36.2.3. 20パット[®]VQFN

図36-5. 一般形

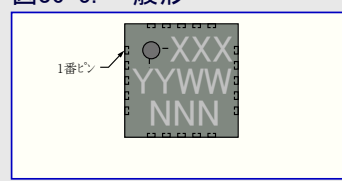
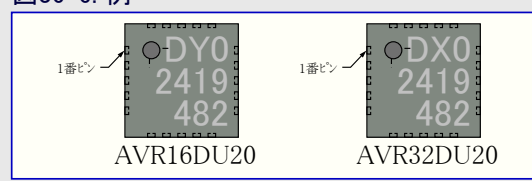


図36-6. 例



36.2.5. 28ピンSPDIP

図36-7. 一般形

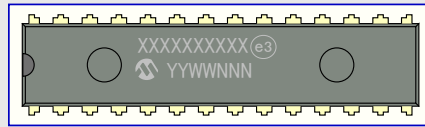
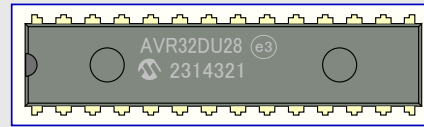


図36-8. 例



36.2.6. 28ピンSSOP

図36-9. 一般形

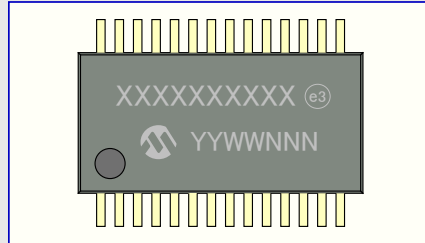
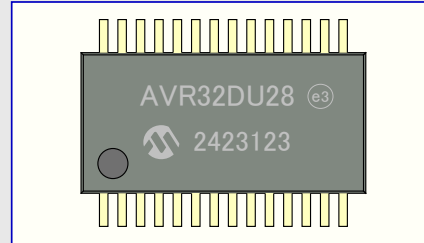


図36-10. 例



36.2.7. 28ピンVQFN

図36-11. 一般形

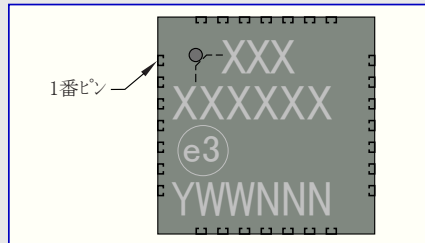
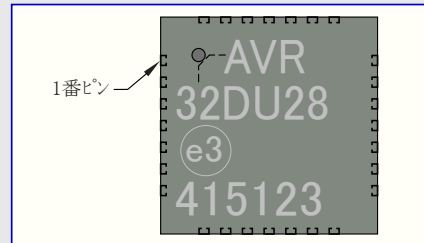


図36-12. 例



36.2.8. 32ピンTQFP

図36-13. 一般形

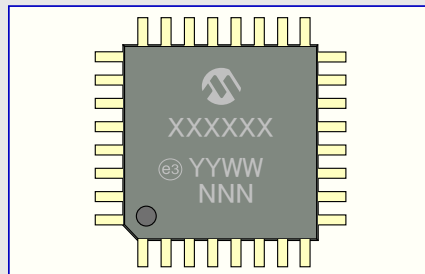
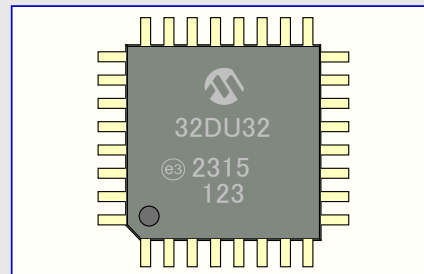


図36-14. 例



36.2.9. 32ピンVQFN

図36-15. 一般形

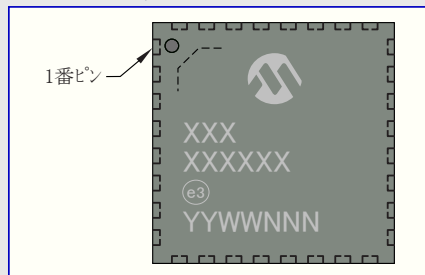
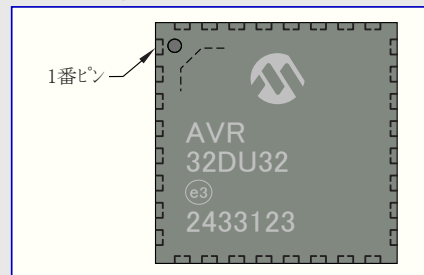
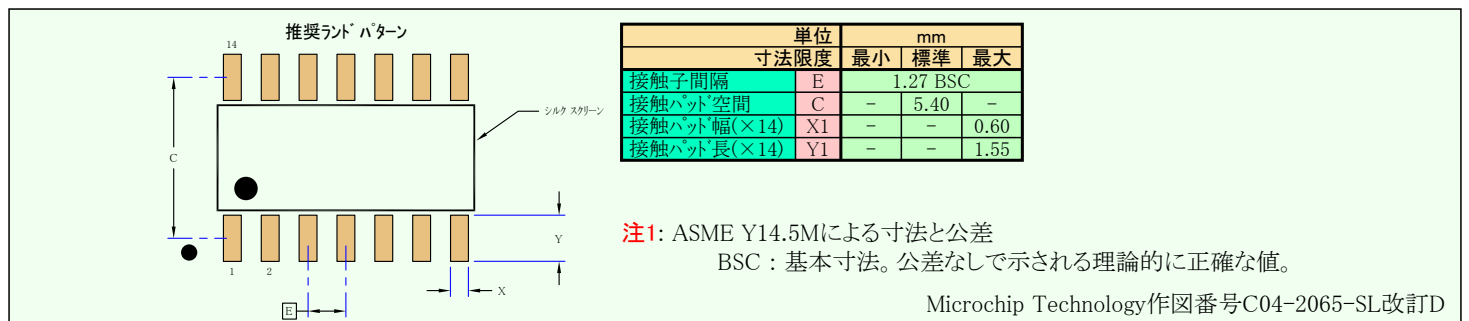
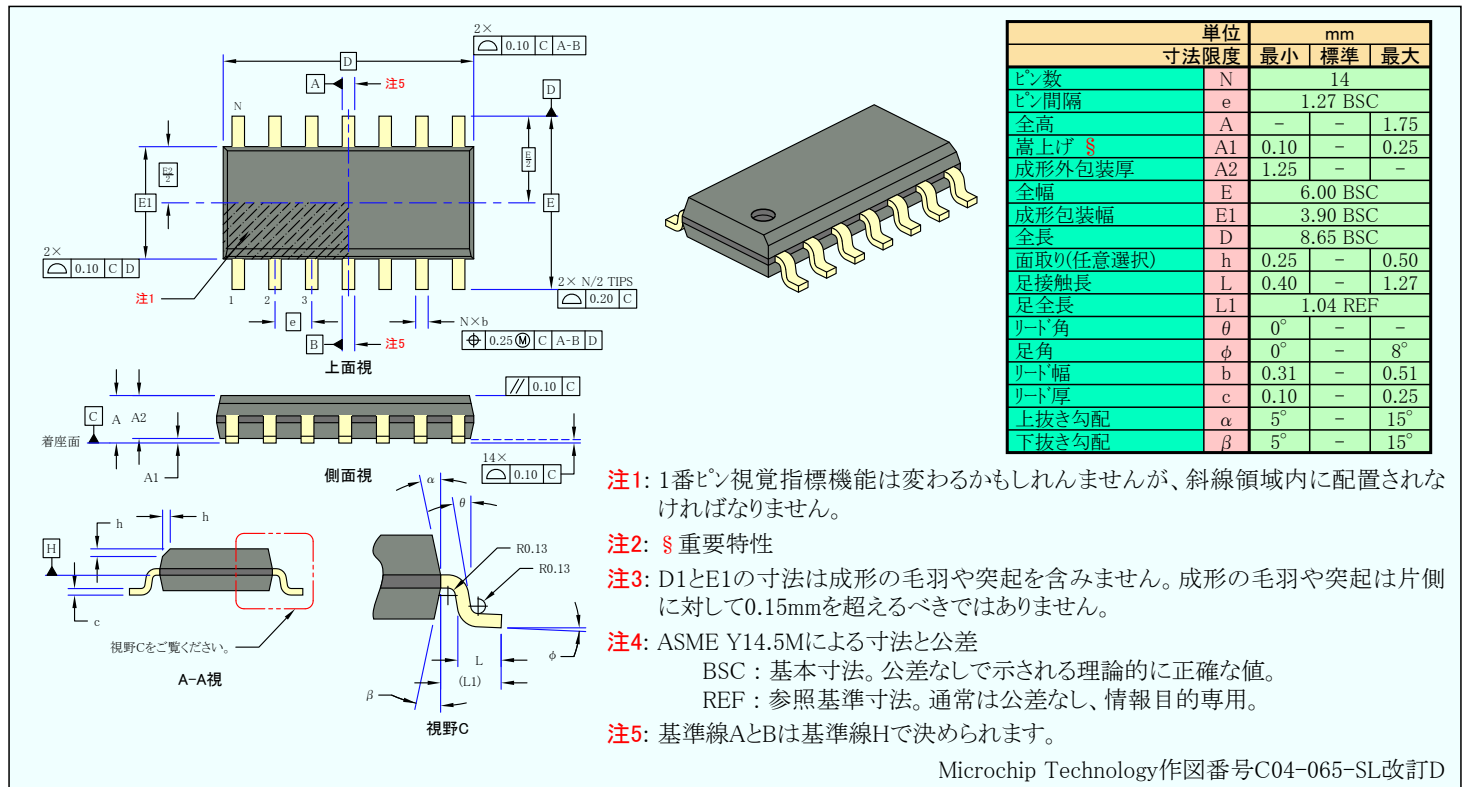


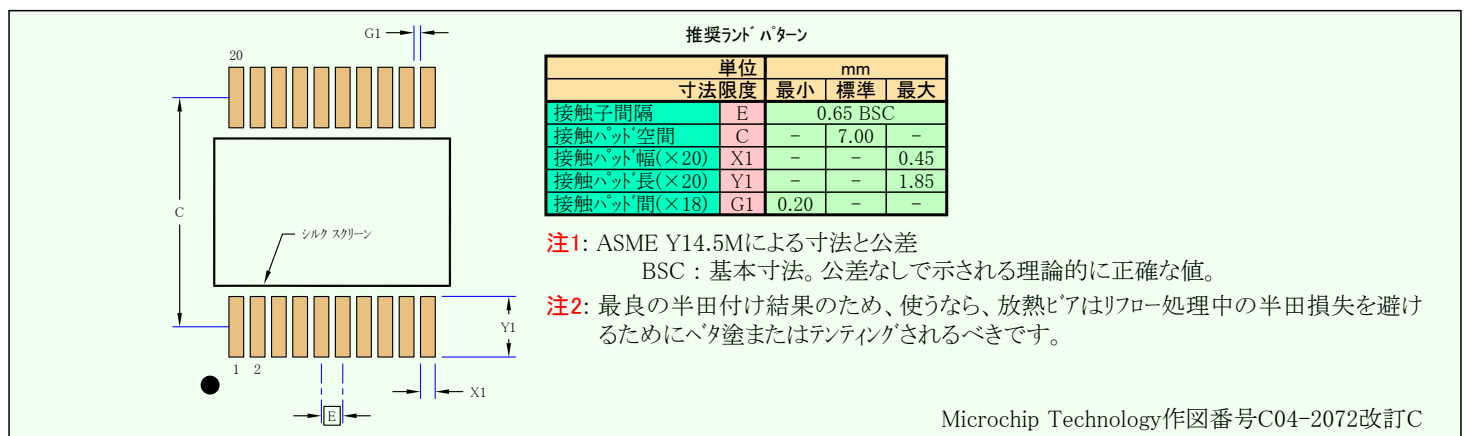
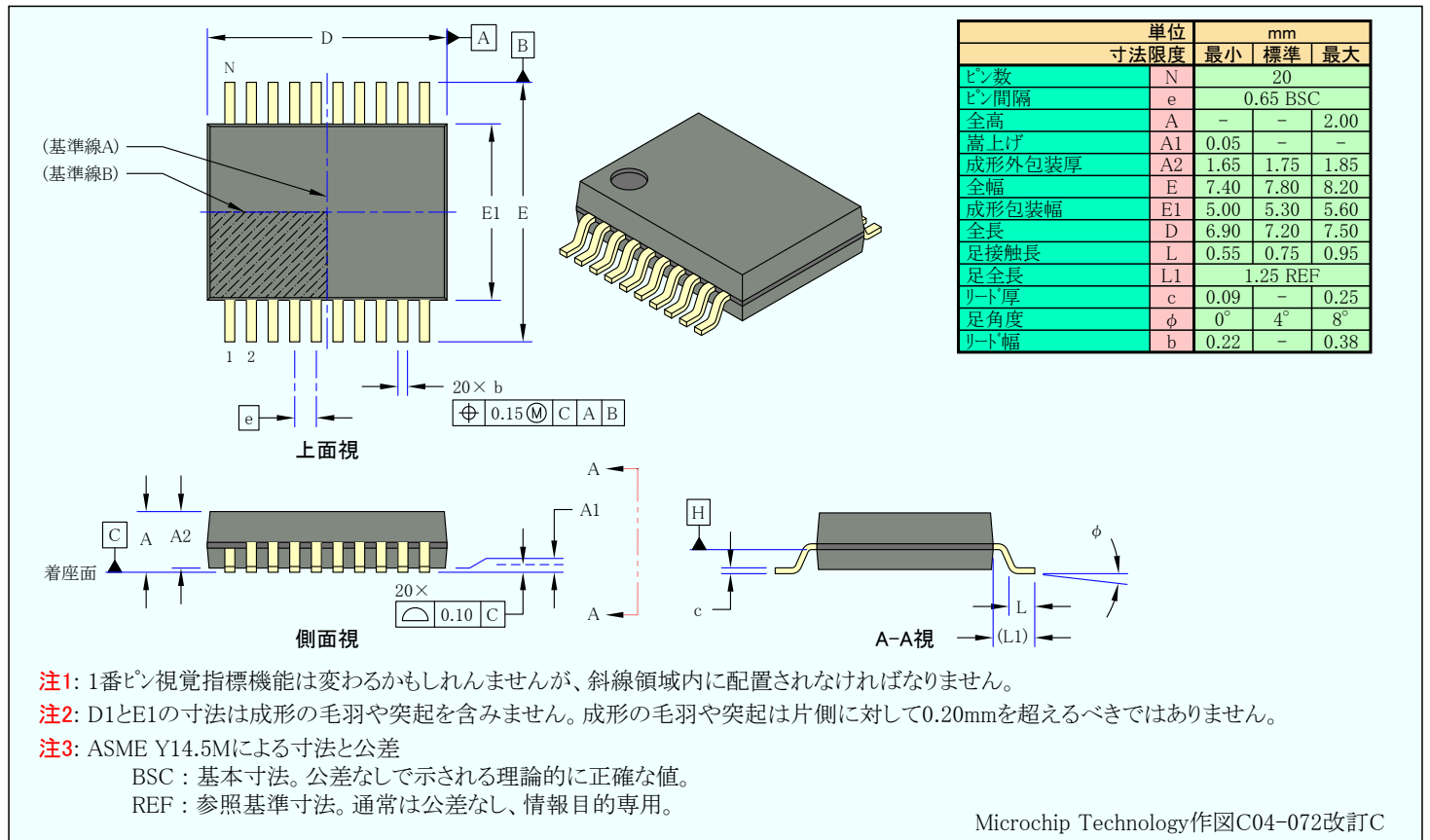
図36-16. 例



36.3. 14リードSOIC

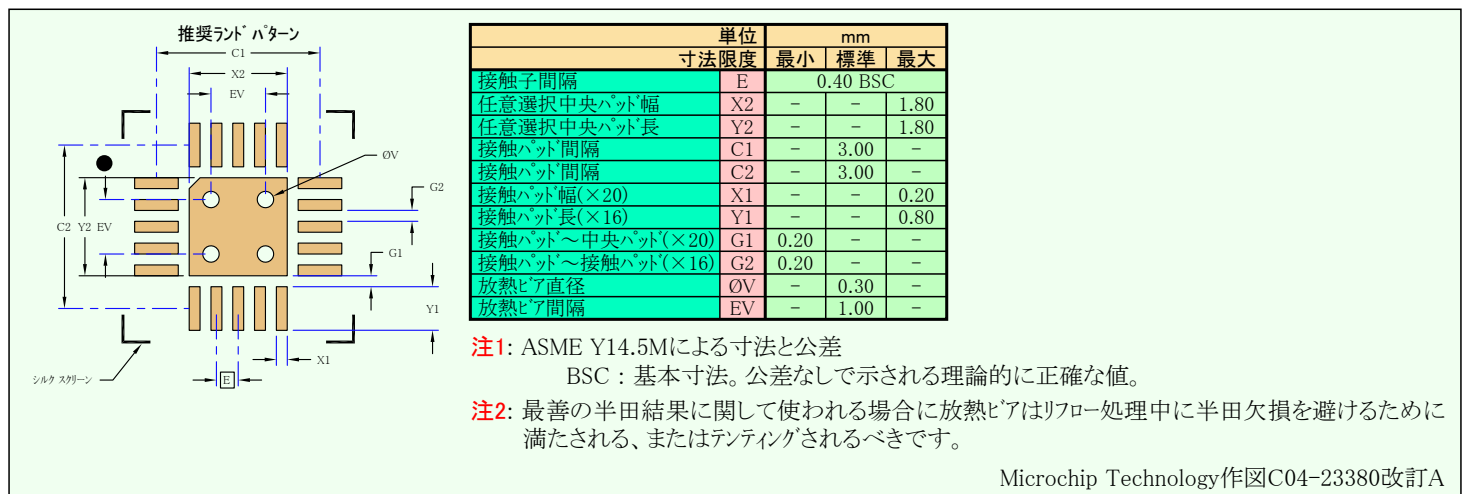
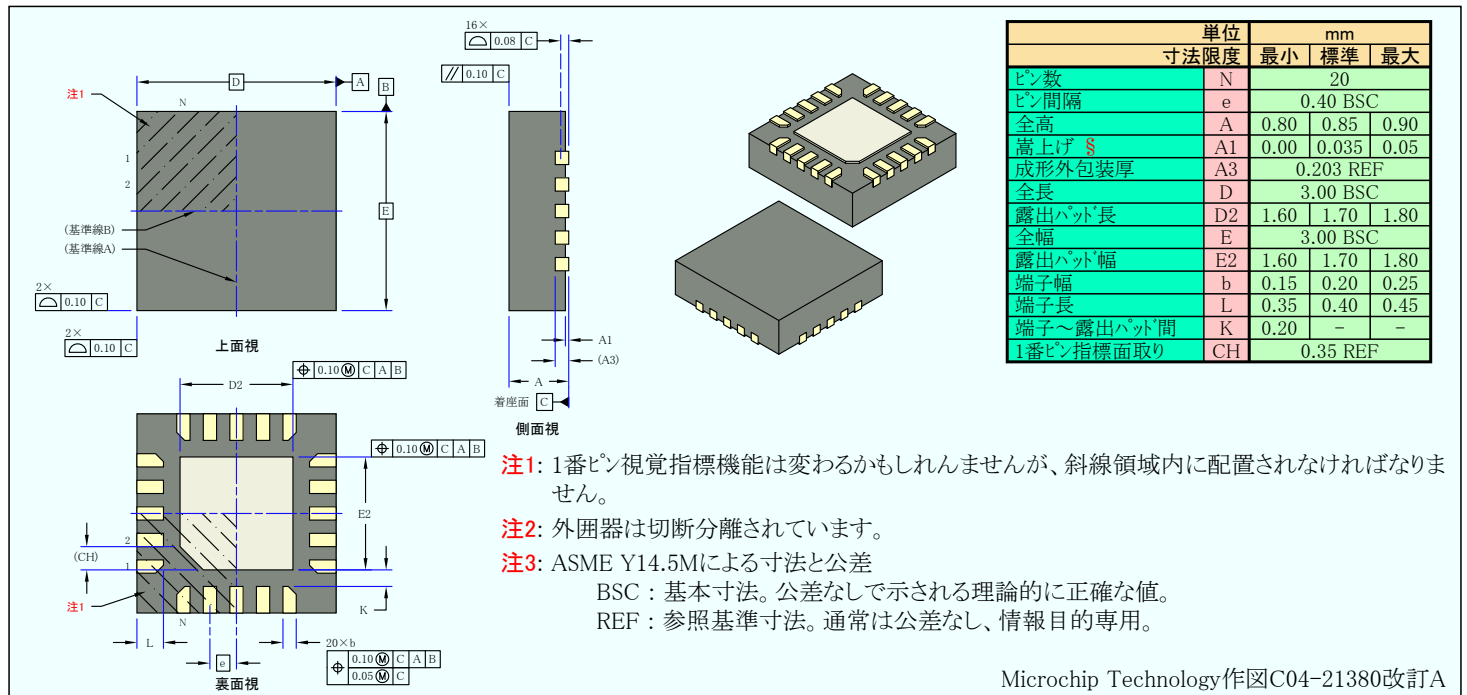
14リード プラスティック小型外形(SL) - 狭幅3.90mm本体 [SOIC]



36.4. 20リード[®]SSOP20リード[®] プラスチック縮小小型外形(SS) – 5.30mm本体 [SSOP]

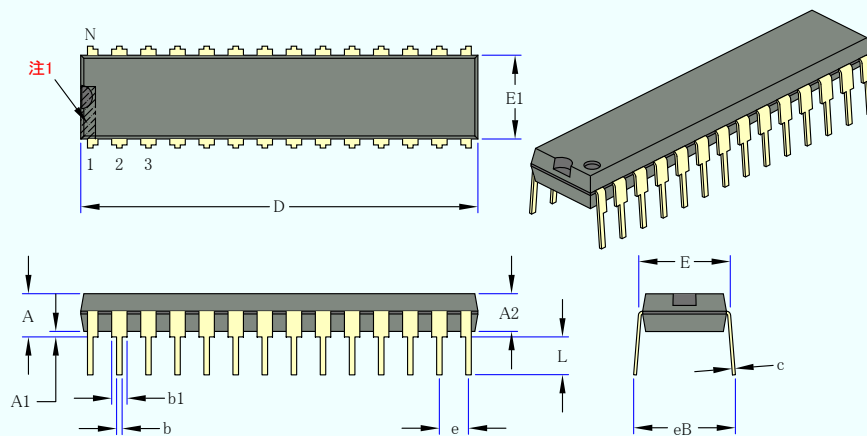
36.5. 20パッドVQFN

20パッド極薄プラスチック4方向平板リットなし外周器(REB) - 3×3mm本体 [VQFN] 1.7mm露出パッド付き (Atmel伝承全般外周器符号ZCJ)



36.6. 28ピンSPDIP

28ピン 狭幅プラスチック2列(SP) - 300mil本体 [SPDIP]



単位 寸法限度		インチ		
		最小	標準	最大
ピン数	N		28	
ピン間隔	e		.100 BSC	
着座面からの全高	A	-	-	.200
着座面から底まで	A1	.015	-	-
成形外包装厚	A2	.120	.135	.150
肩間幅	E	.290	.310	.335
成形外包装幅	E1	.240	.285	.295
全長	D	1.345	1.365	1.400
着座面から先端	L	.110	.130	.150
リード幅	c	.008	.010	.015
下部リード幅	b	.014	.018	.022
上部リード幅	b1	.040	.050	.070
全体列間隔	eB	-	-	.430

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。

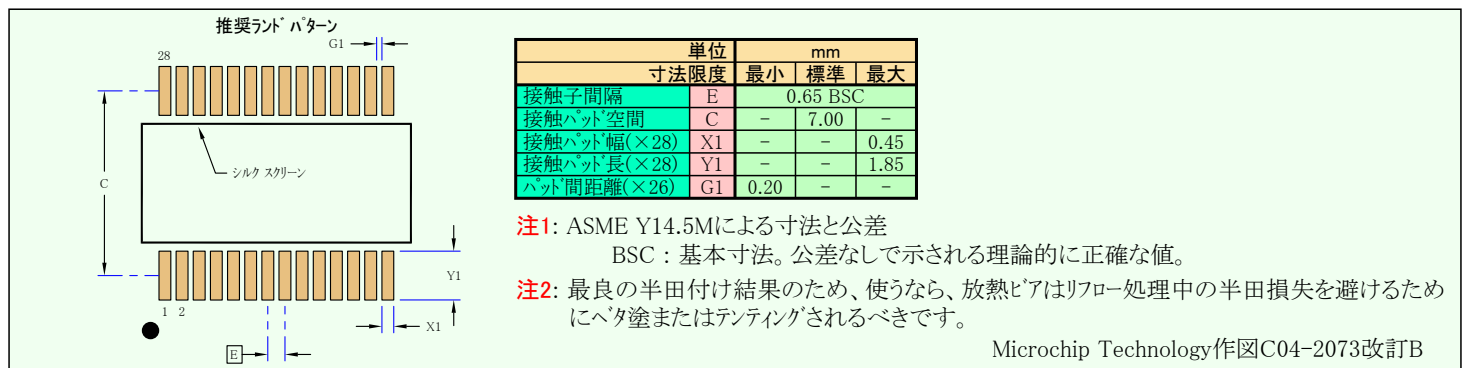
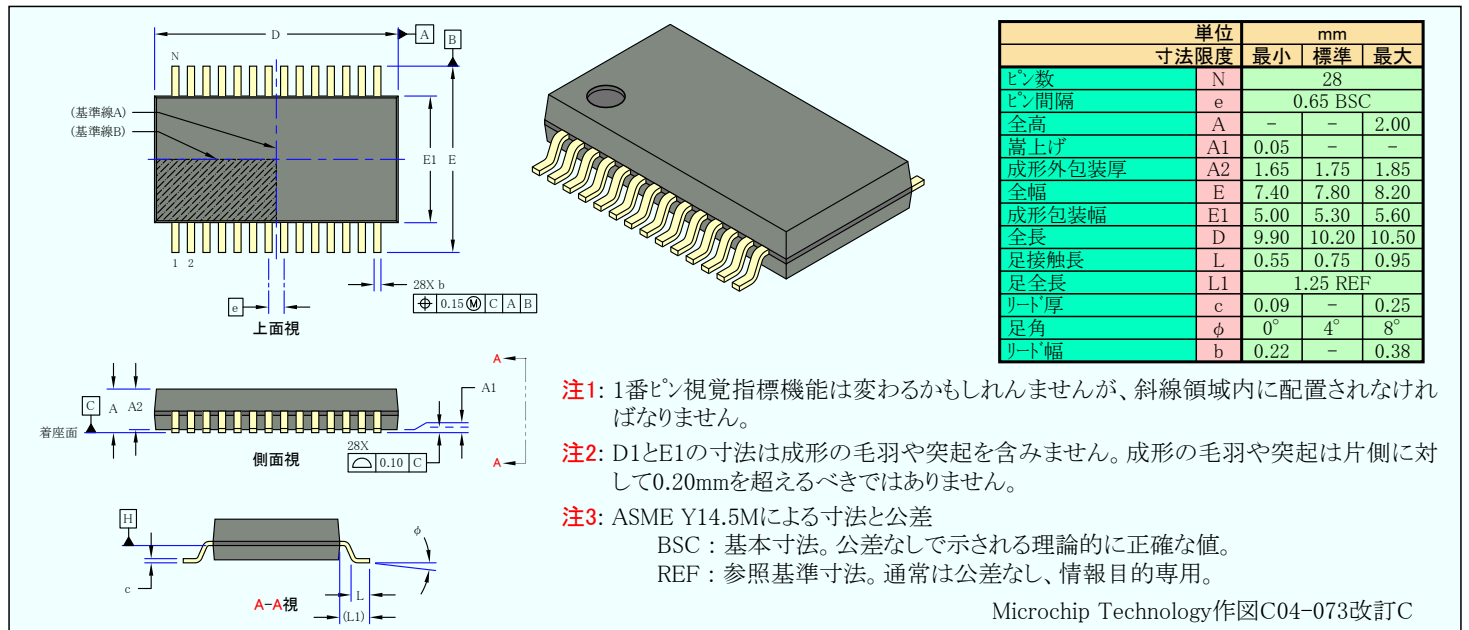
注2: § 重要特性。

注3: D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.010インチを超えるべきではありません。

注4: ASME Y14.5Mによる寸法と公差

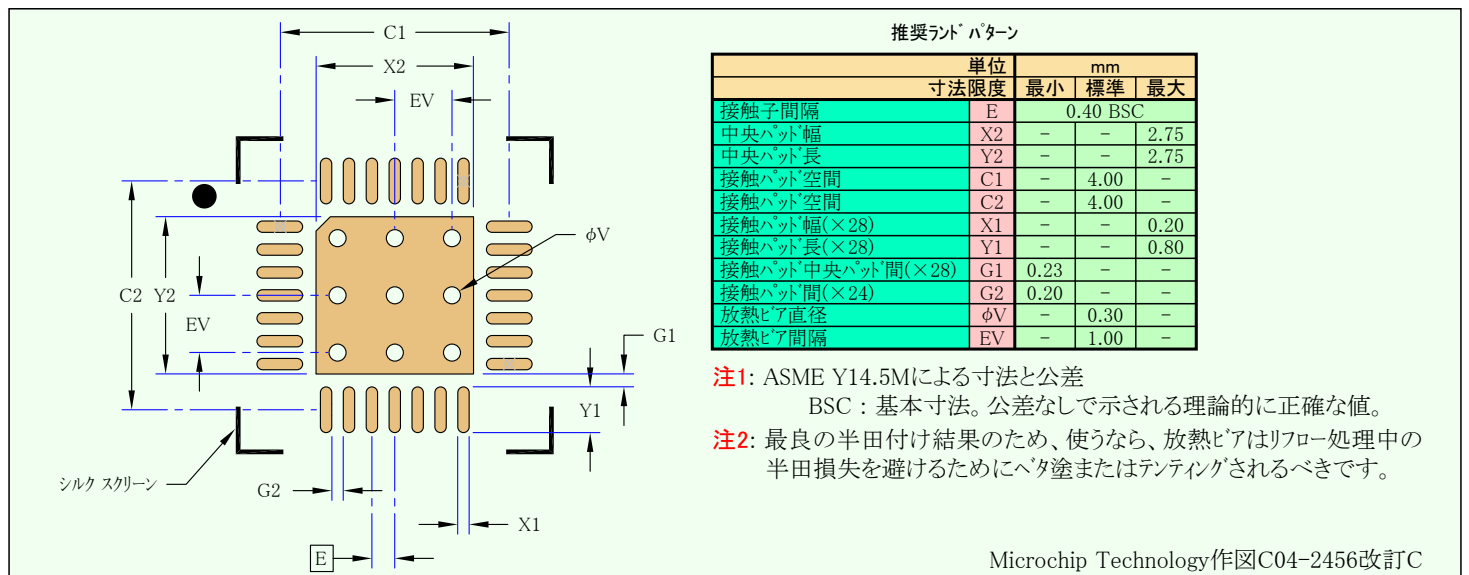
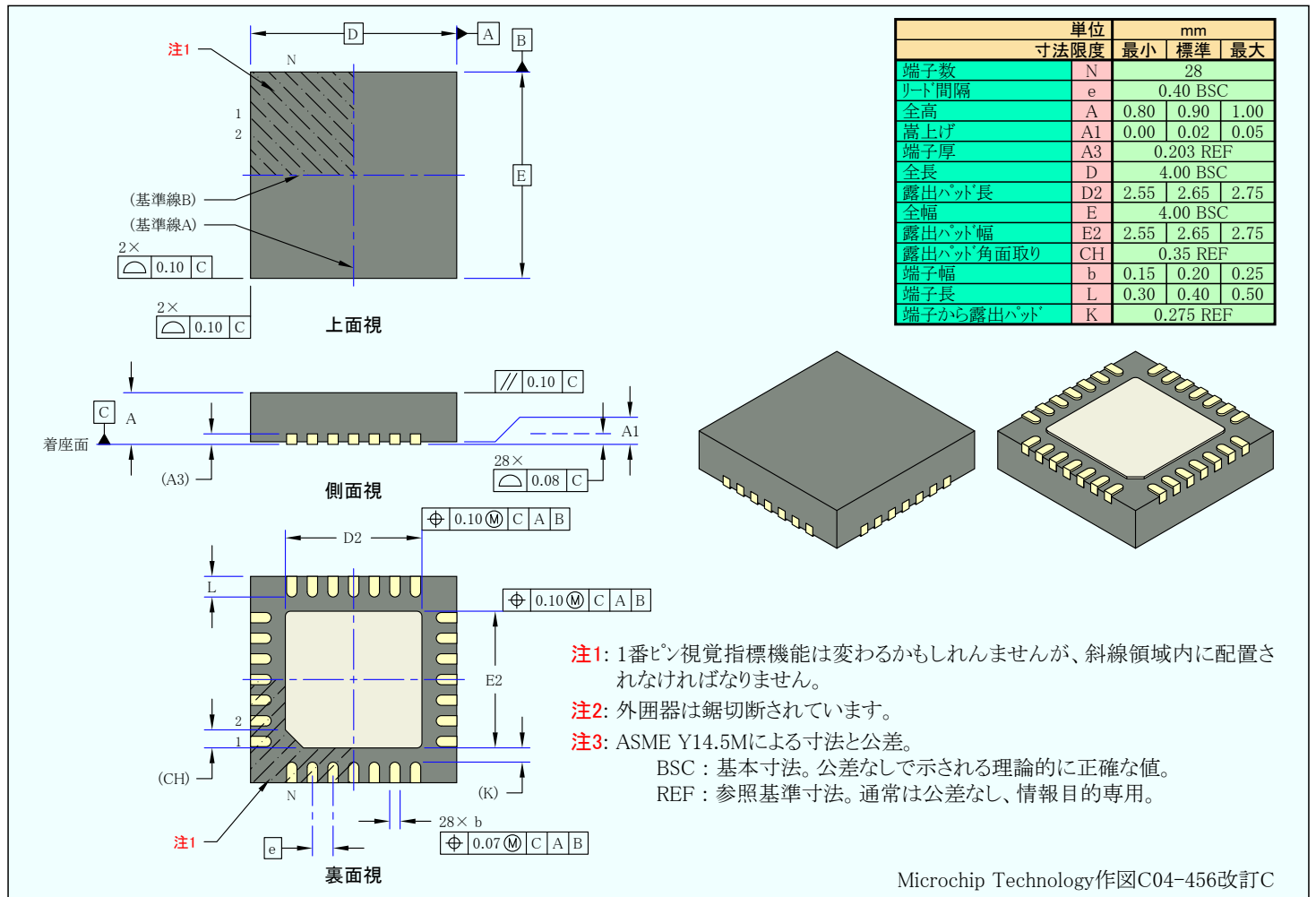
BSC: 基本寸法。公差なしで示される理論的に正確な値。

Microchip Technology作図C04-070B

36.7. 28リード[®]SSOP28リード[®] プラスティック縮小小外形外周器(SS) - 5.30mm本体、2.00mm [SSOP]

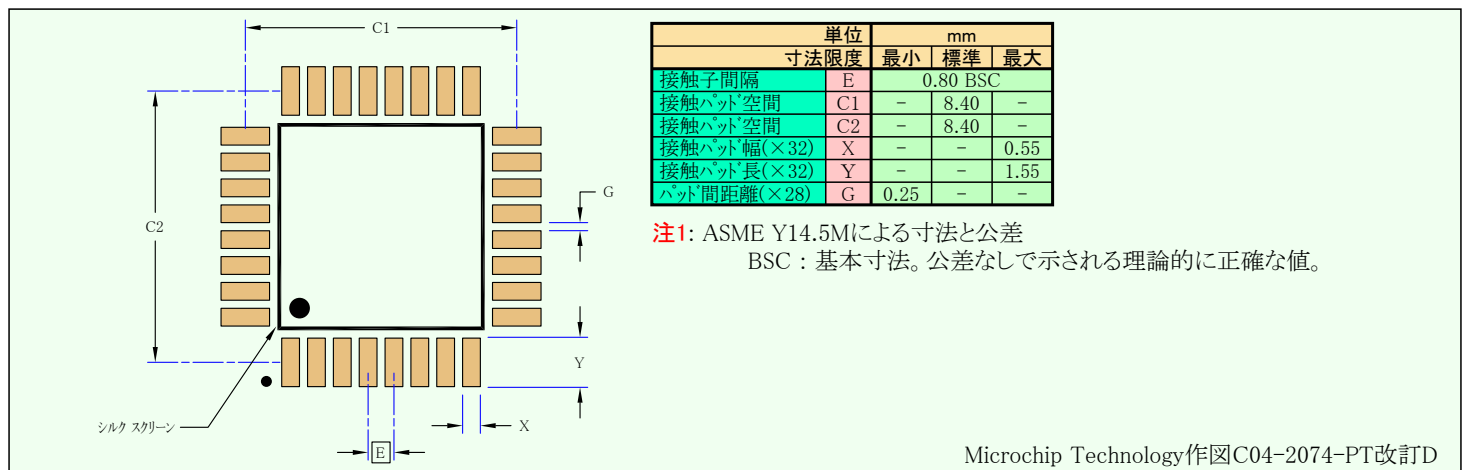
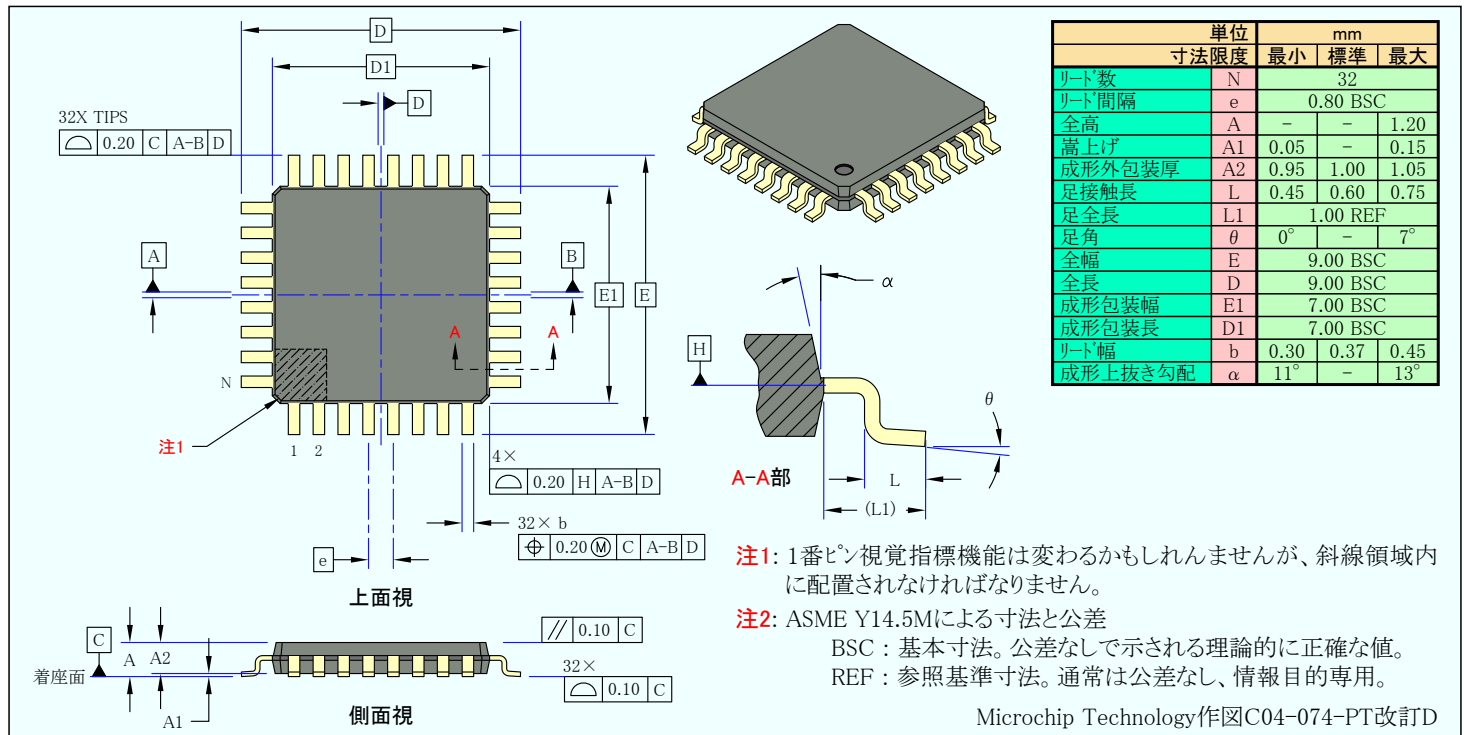
36.8. 28パッドVQFN

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



36.9. 32リード™TQFP

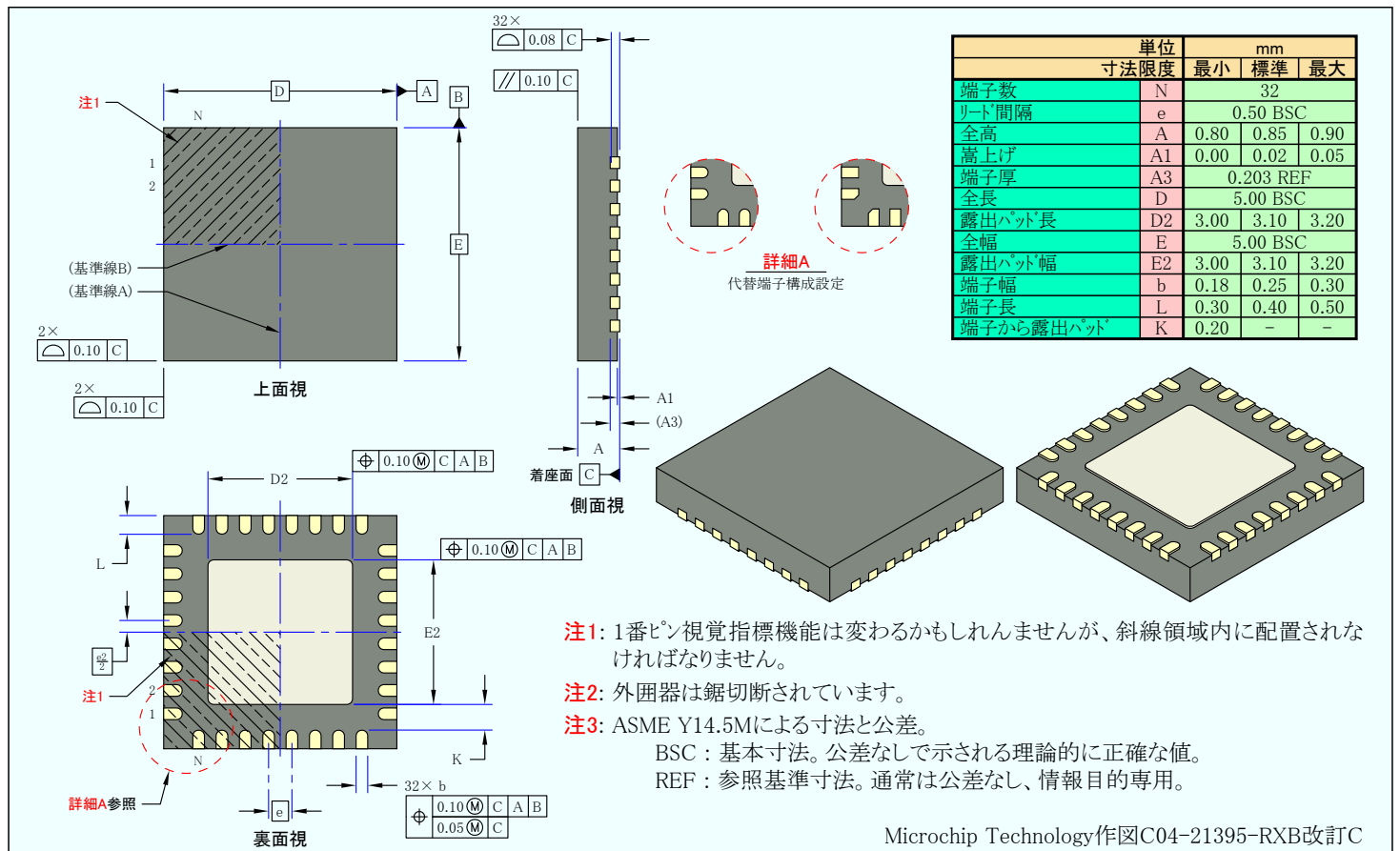
32リード™ プラスチック薄型四角平板外周器(PT) - 7×7×1.0mm本体、2.00mm [TQFP] (Atmel旧一般外周器符号AUT)



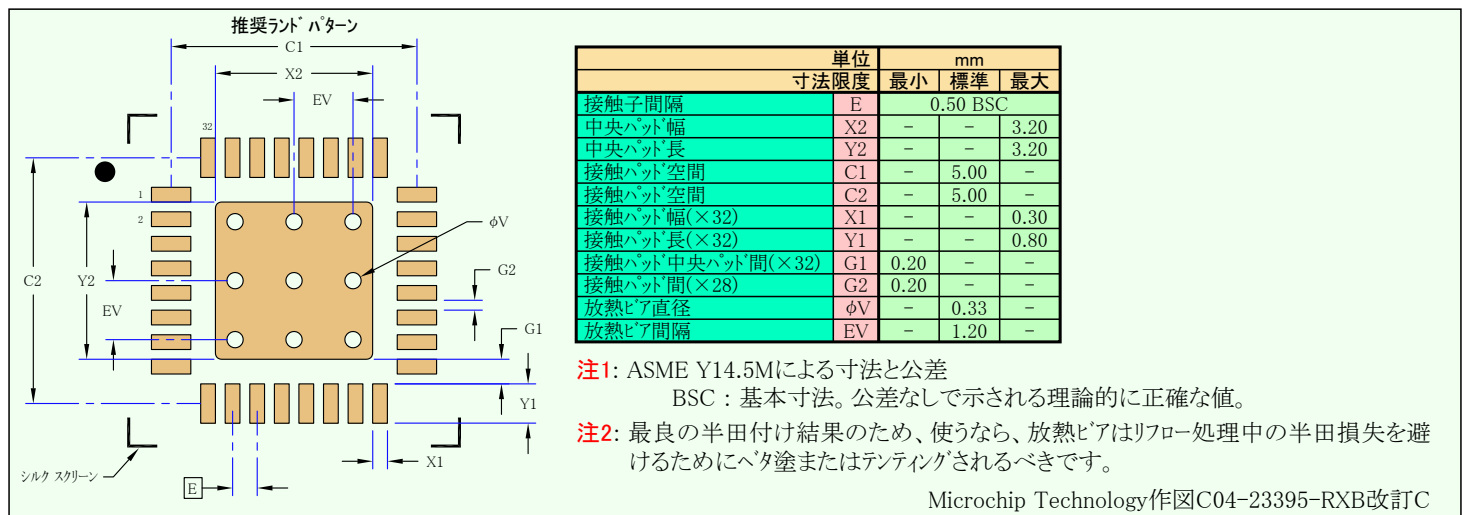
36.10. 32パッドVQFN

32パッド超薄型プラスチック四角平板、リードなし外周器(RXB) - 5×5×0.9mm本体 [VQFN]

3.1×3.1mm露出パッド付き、Atmel旧一般外周器符号ZMF



Microchip Technology作図C04-21395-RXB改訂C



Microchip Technology作図C04-23395-RXB改訂C

37. 電気的特性

37.1. お断り

代表値は特に指定のない限り、TA=25℃とVDD=AVDD=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。

与えられた代表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。

37.2. 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ません。これは負荷定格だけで、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37-1. 絶対最大定格

項目	条件	定格	単位
通電下の周囲温度		-40～+125	℃
最大接合部温度		145	
保存温度		-65～+150	
GNDに対するピンの電圧			
・ VDDピン		-0.3～+6.5	V
・ VUSBピン		-0.3～VDD	
・ RESETピン		-0.3～9	
・ 他の全てのピン		-0.3～(VDD+0.3)	
最大電流			
・ GNDピン (注1)		350	mA
・ VDDピン (注1)		350	
・ 全標準I/Oピン		±50	
クランプ電流(I _K)	V _{PIN} <0またはV _{PIN} >VDD	±20	
総消費電力 (注2)		800	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。デバイス外周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「37.9. 温度特性」をご覧ください。

注2: 消費電力は次のように計算されます。PDIS = VDD × {IDD - Σ IOH} + Σ {(VDD - VOH) × IOH} + Σ (VOL × IOL)

37.3. 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： $V_{DDMIN} \leq VDD \leq V_{DDMAX}$
 - USB電圧調整器許可での動作電圧： $V_{DDUMIN} \leq VDDU \leq VDD$
 - 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37-2. 標準動作条件

項目	シンボル	定格	単位
VDD - 動作供給電圧 (注1)			
工業温度	VDDMIN	+1.8	V
	VDDMAX	+5.5	
VDDU - USB電圧調整器動作VDD範囲 (注1)			
工業温度	VDDUMIN	+4.35	V
	VDDUMAX	VDD	
VUSB - USB送受信部用供給電圧 (注1)			
工業温度	VUSB	+3.3	V
fUSB - USB入力クロック周波数			
工業温度	fUSBMIN	47.88	MHz
	fUSBMAX	48.12	

次頁へ続く

表37-2 (続き). 標準動作条件

項目	シンボル	定格	単位
CVUSB – VBUSでの外部コンデンサ値 (注2)			
工業温度	CVUSB	0.47	μF
TA – 動作周囲温度範囲			
工業温度	TA_MIN	-40	°C
	TA_MAX	+85	

注1: 「供給電圧」項で供給電圧要素を参照してください。

注2: 0.5~4.0 Ω の充分低いESRを保証するためにセラミックまたはフィルムのコンデンサ

37.4. 供給電圧

表37-3. 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	–	5.5	V	
スルーレート		–	–	1.5	V/μs	1.8V<VDD<5.5V
USB電圧調整器動作VDD範囲						
VDDU		3.9	–	VDD_MAX	V	VDDU=VDD
USB送受信部用供給電圧						
VUSB		3.0	3.3	3.6	V	
USB調整器の静止入力電流						
IQ		–	180	–	μA	負荷を除くUSB調整器
調整器出力(VBUSピンの)の入力漏れ						
IVUSB	吸い込み電流	–	1.25	–	mA	SYSCFG1.USBSINK='1' これはUSB調整器出力電圧が外部的にVUSB_SINK以上 に駆動される時の障害状況用です。
	吐き出し電流	–	2.7	–		3.9V≦VDD≦VDD_MAX
吸い込み機能起動点						
VUSB_SINK		–	6	–	%	VUSBを超える割合
RAMデータ保持電圧 (注2)						
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4)						
VPOR		–	1.6	–	V	BOD禁止 (注3)
tPOR		–	1	–	μs	
電源ONリセット機能再開電圧 (注4)						
VPORR		–	1.25	–	V	BOD禁止 (注3)
tPORR		–	2.7	–	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4)						
SVDD		0.05	–	–	V/ms	BOD禁止 (注3)

†: “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。

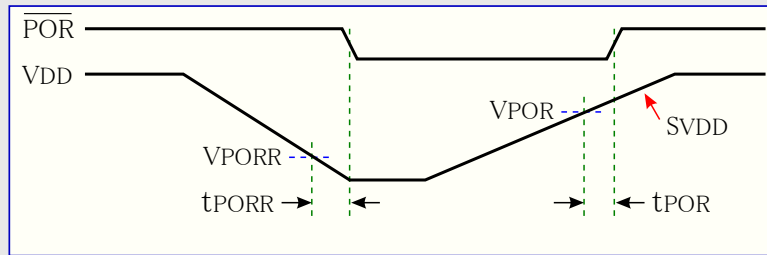
注1: チップ消去中、BODLEVEL0で構成設定された低電圧検出器(BOD)がONを強制されます。供給電圧(VDD)がBODLEVEL0に対するVBOD未満の場合、消去の試みは失敗します。

注2: 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3: BOD切り替わり点情報については「RSTCTRL」項を参照してください。

注4: 「遅い上昇のVDDでのPORとPORR」図を参照してください。

図37-1. 遅い上昇のVDDでのPORとPORR



注: PORがLowの時にデバイスがリセットに保たれます。

37.5. 消費電力

表37-4. 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	単位	条件
IDD	活動消費電力	–	4.4	–	mA	OSCHF=24MHz
		–	1.1	–		OSCHF=4MHz
		–	6	–	μA	OSC32K=32.768kHz
		–	4.2	–	mA	EXTCLK=24MHz
		–	–	–		EXTCLK=4MHz
		–	9.0	–	μA	XOSC32K=32.768kHz、 XOSC32KCTRLA.LPMODE=0 (低電力OFF)
IDDIDLE	アイドル消費電力	–	7.5	–	μA	XOSC32K=32.768kHz、 XOSC32KCTRLA.LPMODE=1 (低電力ON)
		–	2.1	–		OSCHF=24MHz
		–	870	–	μA	OSCHF=4MHz
		–	3.2	–		OSC32K=32.768kHz
		–	1.9	–	mA	EXTCLK=24MHz
		–	460	–		EXTCLK=4MHz
IDDBASE	各種休止動作での 最小消費電力	–	7.5	–	μA	XOSC32K=32.768kHz、 XOSC32KCTRLA.LPMODE=0 (低電力OFF)
		–	6.0	–		XOSC32K=32.768kHz、 XOSC32KCTRLA.LPMODE=1 (低電力ON)
		–	0.65	–	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、 VREGCTRL.PMODE=0 (AUTO)
		–	160	–		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、 VREGCTRL.PMODE=1 (FULL)
IRST	リセット消費電力	–	0.9	–	μA	パワーダウン動作、全周辺機能禁止、 VREGCTRL.PMODE=0 (AUTO)、 VREGCTRL.HTLLEN=1
		–	170	–		GNDに引かれたRESET

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25℃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。

37.6. 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37-5. 周辺機能消費電力 (注1)

動作条件:						
- TA=25℃ - クロック元として使われた4MHzのOSCHF - デバイスはスタンバイ休止動作						
シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大 85℃	単位	条件
IDD_WDT	ウォッチドッグ タイマ (WDT)	–	600	900	nA	32.768kHz内部発振器
IDD_VREF	参照基準電圧 (VREF)	–	175	300		ADC0REF許可
		–	71	90		ACREF許可
		–	40	60		DACREF許可
IDD_BOD	低電圧検出器 (BOD)	–	17	25		継続動作
		–	1.6	10		128Hz採取動作
		–	0.95	10		32Hz採取動作
IDD_TCA	16ビット タイマ/カウンタA型 (TCA)	–	6	–	μA	CLK_PER=OSCHF/4=1MHz
IDD_TCB	16ビット タイマ/カウンタB型 (TCB)	–	3.6	–		OSC32Kからの1.024kHzで走行
IDD_RTC	実時間計数器 (RTC)	–	0.7	18		XOSC32Kからの1.024kHzで走行、 XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		–	3.9	20		XOSC32Kからの1.024kHzで走行、 XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'
		–	2.1	18		XOSC32Kからの1.024kHzで走行、 XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'
IDD_OSC32K	32,768kHz内部発振器 (OSC32K)	–	1.1	1.5		
IDD_XOSCHF	高周波数クリスタル用発振器 (XOSCHF)	–	2	–		XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		–	1.2	–	μA	XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'
IDD_OSCHF	内部高周波数発振器 (OSCHF)	–	185	–		4MHz OSCHF
IDD_ADC	アナログ⇒デジタル変換器 (ADC)	–	300	600	nA	ADC無変換
		–	1.1	1.5	mA	ADC 170kpsps (注2)
IDD_AC	アナログ比較器 (AC)	–	70	105		CTRLA.POWER='00'
		–	17	30	μA	CTRLA.POWER='01'
		–	12	20		CTRLA.POWER='10'
IDD_USB	万能直列バス (USB)	–	2.1	–	mA	VDD=5.0V、 VUSBCTRL.USBVREG='1'
IDD_USART	万能同期/非同期送受信器 (USART)	–	8.2	–		9600ボーでUART許可
IDD_SPI	直列周辺インターフェース (SPI)	–	4	–	μA	100kHzでSPI主装置
IDD_TWI	2線インターフェース (TWI)	–	8	–		100kHzでTWI主装置
		–	6	–		100kHzでTWI従装置
IDD_NVM_ERASE	フラッシュプログラミング 消去	–	6.8	–	mA	
IDD_NVM_WRITE	フラッシュプログラミング 書き込み	–	9.2	–		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25℃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「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: 自由走行動作のADC活動での平均消費電力

37.7. 入出力ピン

表37-6. 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								
V _{IL}	入出力ポート	・ シュミットトリガ緩衝部	–	–	0.2V _{DD}	V	PINnCTRL.INLVL='0' (ST) (注1)	
		・ LVBUF(TTL互換)	–	–	0.9		PINnCTRL.INLVL='1' (TTL) (注1)	
	TWIポート	・ I ² C基準	–	–	0.3V _{DD}		CTRLA.INPUTLVL='0' (訳注)	
		・ SMBus 3.0基準	–	–	0.8		CTRLA.INPUTLVL='1' (訳注)	
	RESETピン		–	–	0.2V _{DD}			
High入力電圧								
V _{IH}	入出力ポート	・ シュミットトリガ緩衝部	0.8V _{DD}	–	–	V	PINnCTRL.INLVL='0' (ST) (注1)	
		・ LVBUF(TTL互換)	1.2	–	–		PINnCTRL.INLVL='1' (TTL) (注1)	
	TWIポート	・ I ² C基準	0.7V _{DD}	–	–		CTRLA.INPUTLVL='0' (訳注)	
		・ SMBus 3.0基準	1.35	–	–		CTRLA.INPUTLVL='1' 2.5V ≤ V _{DD} ≤ 5.5V	
			1.45	–	–		(訳注), 0°C ≤ T _A ≤ 85°C 1.8V ≤ V _{DD} ≤ 5.5V	
	RESETピン		0.8V _{DD}	–	–			
入力漏れ電流 (注2)								
I _{IL}	入出力ポート (注3)		–	±5	±125	nA	GND ≤ V _{PIN} ≤ V _{DD} 、T _A =85°C、	
	RESETピン (注4) (*)		–	±50	±200		高インピーダンスピン	
プルアップ電流								
IPUR	–		90	150	200	μA	V _{DD} =3.0V、V _{PIN} =GND	
Low出力電圧								
V _{OL}	標準入出力ポート		–	–	0.6	V	V _{DD} =3.0V、I _{OL} =10mA	
High出力電圧								
V _{OH}	標準入出力ポート		V _{DD} –0.7	–	–	V	V _{DD} =3.0V、I _{OH} =6mA	
入出力ピン上昇/下降時間								
t _{SR}	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								
C _{IO}	VREFピン		–	5	–	pF		
	XTALピン		–	5	–			
	その他のピン		–	5	–			

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、T_A=25°CとV_{DD}=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: 入力基準選択(INLVL)ビットは複数ピン構成設定(PORTx.PINCONFIG)またはピン制御(PORTx.PINnCTRL)のどちらかのレジスタを書くことによってPORT周辺機能で構成設定されます。

注2: 負(-)の電流はピンによって吐き出される電流です。

注3: 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4: 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。

(訳注) 本デバイスでは他のAVR Dx/Exデバイスと異なり、TWI単位部に於いて制御A(CTRLA)レジスタに入力電圧遷移基準(INPUTLVL)ビットは実装されていません。従って、TWIポートはI²C基準が適用されると思われます。

USBピン

表37-7. USBピン仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
入力漏れ電流 (注1)						
IIL	USBデータ DMピン	－	±5	±125	nA	GND≦VPIN≦VDD、TA=85℃、 高インピーダンスピン
	USBデータ DPピン	－	±5	±125		
入出力ピン上昇/下降時間						
tSR	DP上昇時間	－	13	－	ns	
	DM上昇時間	－	13	－		
	DP下降時間	－	14	－		
	DM下降時間	－	14	－		
入力容量						
CUD	USBデータ DMピン	－	15	100	pF	高インピーダンスピン
	USBデータ DPピン	－	15	100		

†: “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。

37.8. メモリプログラミング仕様

表37-8. 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	–40°C ≤ TA ≤ +85°C
tD_RET	保持特性	–	40	–	年	
VD_RW	読みまたは消去/書き操作VDD	VDDMIN	–	VDDMAX	V	
ND_REF (*)	刷新前の総消去/書き回数 (注2)	1000000	4000000	–	消去/書き回数	–40°C ≤ TA ≤ +85°C
tD_CE	EEPROM全体消去時間	–	10	11.7	ms	
tD_WRE	バイト書き込み時間	–	70	75	μs	
tD_BEW	バイト消去/書き込み時間	–	10.07	–	ms	
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	1000	–	–	消去/書き回数	–40°C ≤ TA ≤ +85°C
tP_RET	保持特性	–	40	–	年	
VP_RD	読み操作VDD	VDDMIN	–	VDDMAX	V	
VP_REW	消去/書き操作VDD	VBOD (注1)	–	VDDMAX		
tP_CE	チップ消去時間	–	11	11.6	ms	
tP_PE	ページ消去時間	–	10	11.7		
tP_WRD	バイト/語書き込み時間	–	70	75	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。

*: 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。

注2: EEPROM配列の完全な刷新(消去/書き込み)が必要とされる前に個々の場所を消去/書き込みできる回数

37.9. 温度仕様

表36-8. 温度仕様

シンボル	説明	代表	単位	条件
θ_{JA}	周囲に対する接合部熱抵抗	62	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	14ピンSOIC外囲器 (SL)
		75		20ピンSSOP外囲器 (SS)
		53		20ピンVQFN外囲器 (REB)
		50		28ピンPDIP外囲器 (SP)
		47		28ピンSSOP外囲器 (SS)
		36		28ピンVQFN外囲器 (REB)
		57		32ピンTQFP外囲器 (PT)
		33		32ピンVQFN外囲器 (RXB)
T_{JMAX}	最大接合部温度			「絶対最大定格」項を参照してください。

注: 消費電力は次のように計算されます。: $P_{DIS} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

・ 内部消費電力は次のように計算されます。: $P_{INTERNAL} = I_{DD} \times V_{DD}$ 、ここで I_{DD} 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に対する電流です。

・ 減電力(デレーティング)は次のように計算されます。: $P_{DER} = P_{DMAX}(T_J - T_A) / \theta_{JA}$ 、ここで T_A =周囲温度、 T_J =接合部温度

37.10. CLKCTRL

37.10.1. システム クロック

表37-10. 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 (注1,2)	–	–	24	MHz	
f_{CY}	命令クロック周波数	–	f_{CLK_MAIN}	–		
T_{CY}	命令周期 (注3)	41.6	$1/f_{CY}$	–	ns	

†: “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。

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: 主クロック(CLK_MAIN)周波数は「37.3. 標準動作条件」で定義された電圧必要条件を満たさなければなりません。

注3: 命令周期時間(T_{CY})は入力発振器時間基準周期と同じです。指定された全ての値はデバイスがコードを実行している標準的な動作条件下でその特定の発振器形式に対する特性データに基づきます。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。

37.10.2. 内部発振器

表37-11. 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	
	OSCHF周波数	—	1 (注2) 2 (注2) 3 (注2)	—		$f_{\text{OSCHF}} < 4\text{MHz}$: $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq 125^{\circ}\text{C}$	1MHz: $\pm 10\%$ 2MHz: $\pm 8\%$ 3MHz: $\pm 6\%$
f_{OSCHF}	精度校正された OSCHF周波数	—	4 8 12 16 20 24	—	MHz		
%CAL	OSCHF調節段階量	—	0.4	—	%		
$t_{\text{OSCHF_ST}}$ (注3)	OSCHF休止から 起き上がり始動時間	—	24	30	μs	アイドル/スタンバイ動作、VREGCTRL.PMODE=FULL	
		—	220	600		パワーダウン動作、VREGCTRL.PMODE=AUTO	
f_{OSC32K}	内部OSC32K周波数	—	32.768	—	kHz		
$t_{\text{OSC32K_ST}}$ (注3)	OSC32K休止から 起き上がり始動時間	—	950	1000	μs	パワーダウン動作、VREGCTRL.PMODE=AUTO	

†: “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。

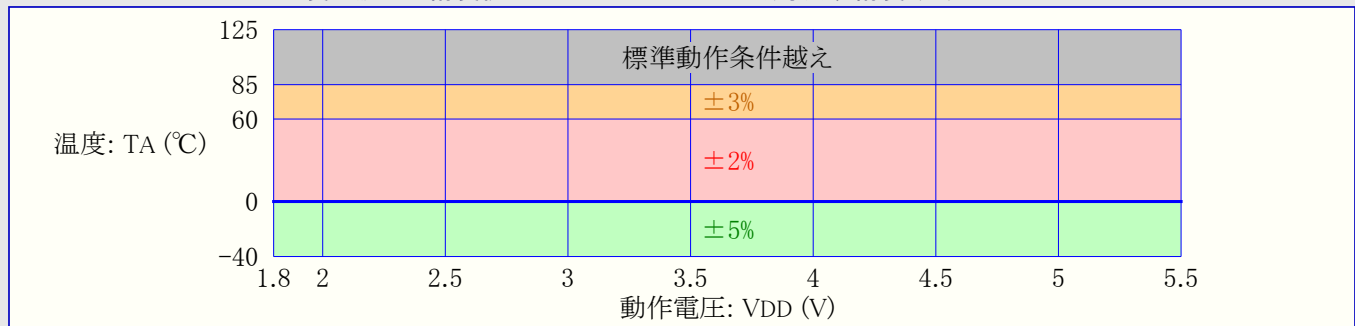
注1~3は次頁へ

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: これらの要素は校正されていません。

注3: 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。

図37-2. デバイスのVDDと温度に渡って精度校正されたOSCHF(4MHz)周波数精度 (注)



注: この図は $f_{\text{OSCHF}} \geq 4\text{MHz}$ に対してだけ適用できます。

37.10.3. XOSC32K

表37-12. 32.768kHzクリスタル用発振器(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	
CXTAL1/XTAL2 (*)	ピン寄生容量	–	5	–		
C_L (*)	クリスタル負荷容量	–	–	18	pF	XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		–	–	8		XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'
ESR (*)	等価直列抵抗	–	100	–	kΩ	XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		–	50	–		XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'
$t_{\text{XOSC32_ST}}$ (*)	XOSC32始動時間	–	300	–	ms	XOSC32KCTRLA.LPMODE='0'
		–	1000	–		XOSC32KCTRLA.LPMODE='1'

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、 $T_A=25^\circ\text{C}$ と $V_{\text{DD}}=3.0\text{V}$ 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。

37.10.4. XOSCHF

表37-13. 高周波数クリスタル用発振器(XOSCHF)仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
f_{XOSCHF} (*)	周波数	4	–	24	MHz	
CXTAL1/XTAL2 (*)	ピン寄生容量	–	5	–	pF	
C_L (*)	クリスタル負荷容量	–	12	–		
ESR (*)	等価直列抵抗	–	200	–	Ω	4MHz(XOSCHFCTRLA.FRQRANGE='00')
		–	60	–		16MHz(XOSCHFCTRLA.FRQRANGE='01')
		–	40	–		24MHz(XOSCHFCTRLA.FRQRANGE='10')
$t_{\text{XOSCHF_ST}}$ (*)	XOSCHF始動時間	–	700	–	ns	4MHzクリスタル

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、 $T_A=25^\circ\text{C}$ と $V_{\text{DD}}=3.0\text{V}$ 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。

37.10.5. 外部クロック

図37-3. 外部クロック波形

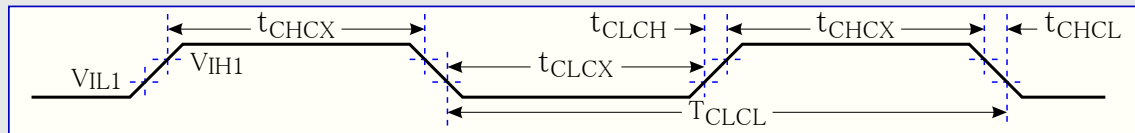


表37-14. 外部クロック仕様

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	–	–	24	MHz	
TCLCL	クロック周期	41.6	–	–	ns	
tCHCX	High時間	–	40	–	%	
tCLCX	Low時間	–	40	–		
ΔT_{CLCL}	周期間変化時間	–	20	–		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25℃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。

37.11. RSTCTRL

表37-15. 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	
TWDT (*)	ウォッチドッグ タイム制限時間	–	500	–	ms	512前置分周
TSUT (*)	起動計時器期間	–	64	–		SUT='111'
TOST (*)	発振器始動計時器期間 (注1)	–	1024	–	周期数	
VBOD	低電圧検出器電圧 (注2)	1.80	1.90	2.10	V	BODLEVEL0
		2.30	2.45	2.65		BODLEVEL1
		2.55	2.70	2.90		BODLEVEL2
		2.70	2.85	3.05		BODLEVEL3
VBOD_HYS	低電圧検出器ヒステリシス	–	44	–	mV	
tBOD_ST	低電圧検出器始動時間	–	1.9	–	μs	
tBOD_128HZ	128Hz採取動作BOD応答時間	–	7.81	–	ms	SAMPFREQ='0'
tBOD_32HZ	32Hz採取動作BOD応答時間	–	31.25	–		SAMPFREQ='1'
tBOD_RST	低電圧リセット応答時間	–	3	–	μs	

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25℃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は可能な限りデバイスの近くでGNDに容量性雑音分離(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37-16. 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'

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25℃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。

37.12. VREF

表37-17. VREF仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
VVREF_1V024 (注)	内部電圧参照基準1.024V	-4	-	4	%	-40°C ≤ TA ≤ +85°C VDD ≥ 2.5V
VVREF_2V048 (注)	内部電圧参照基準2.048V	-4	-	4		
VVREF_4V096 (注)	内部電圧参照基準4.096V	-4	-	4		VDD ≥ 4.55V
VVREF_2V500 (注)	内部電圧参照基準2.5V	-4	-	4		VDD ≥ 2.7V
VVREFA (*)	VREFAピン入力電圧	1.024	-	VDD	V	
tINTREF (*)	電圧参照基準変更遅延	-	2	-	μs	CLKCTRL.MCLKCTRLA=\$00または\$03
tvREF_ST (*)	VREF始動時間	-	10	-		CLKCTRL.MCLKCTRLA=\$01または\$02
		-	200	-		

†: “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: VVREF_xVxxxシンボルはVREF.ACREFレジスタのREFSELビット領域値を示します。

37.13. USART

図37-4. 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

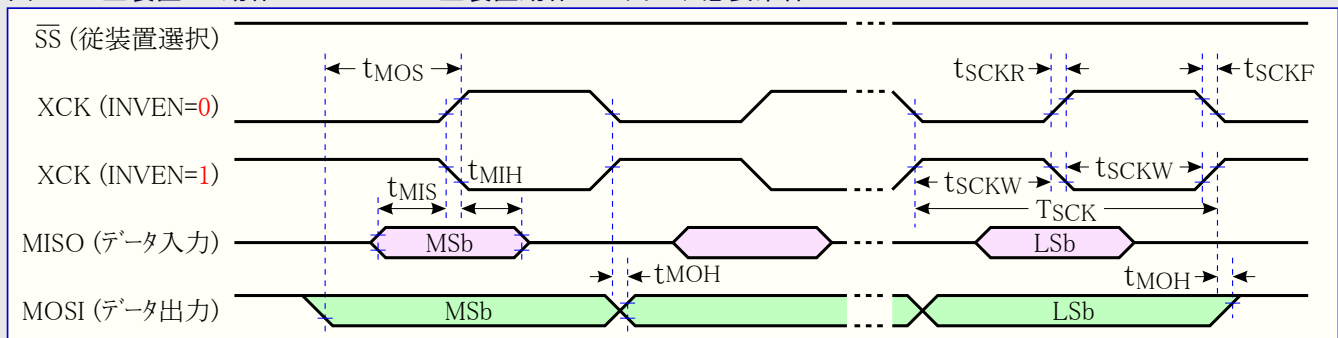


表37-18. 主装置SPI動作でのUSART – タイミング仕様

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×T _{CLK_PER}	-	-		
t _{SCKW}	SCK High/Low幅	-	0.5×T _{SCK}	-	ns	
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	-		
t _{MIH}	SCK後MISO保持時間	-	10	-		
t _{MOS}	SCKに対するMOSI準備時間	-	0.5×T _{SCK}	-		
t _{MOH}	SCK後MOSI保持時間	-	1.0	-		

†: “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。

37.14. SPI

図37-5. SPI – 主装置動作でのタイミング必要条件

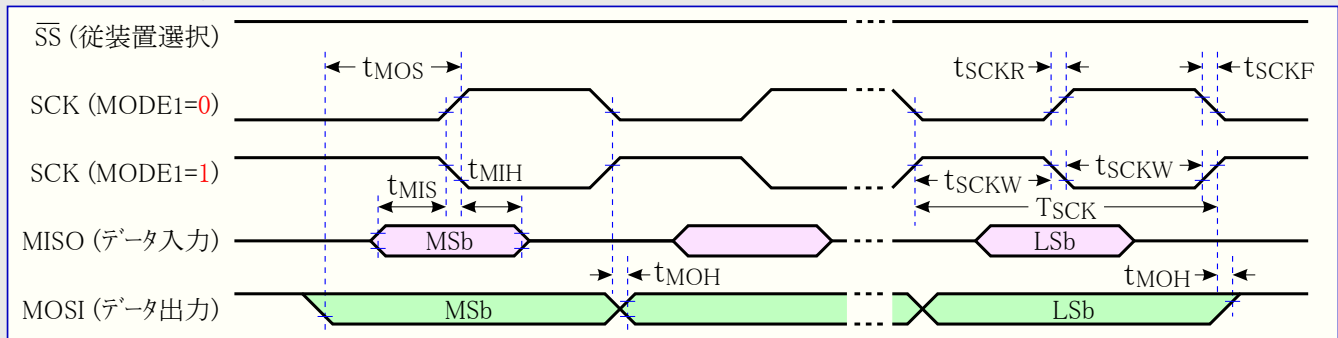


表37-19. SPI – 主装置動作でのタイミング仕様

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_{SCK}	–	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、 $T_A=25^\circ\text{C}$ 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。

図37-6. SPI – 従装置動作でのタイミング必要条件

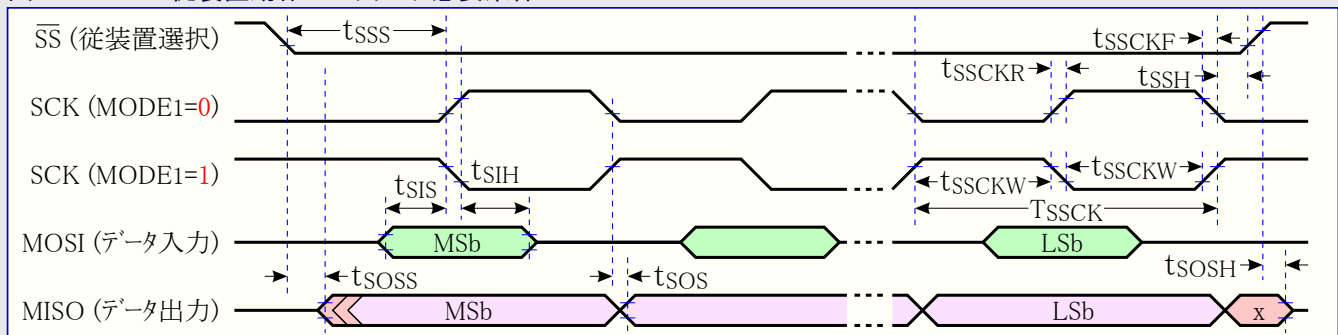


表37-20. SPI – 従装置でのタイミング仕様

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	–	–	ns	
$t_{SIH} (*)$	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}	–	–		
$t_{SSH} (*)$	SCK後SS保持時間	T_{CLK_PER}	–	–		
t_{SOS}	SCK後のMISO有効時間	–	$t_{SR} (\text{注})$	–		$f_{SSCK} \geq f_{CLK_PER}/6$
		–	–	–		$f_{SSCK} < f_{CLK_PER}/6$
t_{SOSS}	SS Low後MISO準備時間	–	$t_{SR} (\text{注})$	–		
t_{SOSH}	SS Low後MISO保持時間	–	$t_{SR} (\text{注})$	–		

†: “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。

37.15. TWI

図37-7. TWI - タイミング必要条件

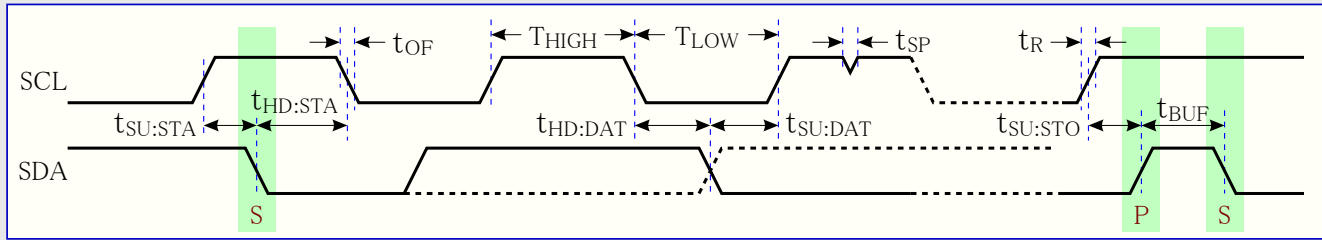


表37-21. TWI - タイミング仕様

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	0	-	1000	kHz	最大周波数は10MHzのシステムクロックを必要とします。
		0	-	400		$VDD < 2.2V$
V_{IH}	High入力電圧	$0.7 \times VDD$	-	-		
V_{IL}	Low入力電圧	-	-	$0.3 \times VDD$		
V_{HYS}	シュミットトリガ入力ヒステリシス電圧	$0.1 \times VDD$	-	$0.4 \times VDD$	V	
		-	-	$0.2 \times VDD$		$I_{load} = 20mA$, FM+動作
V_{OL}	Low出力電圧	-	-	0.4		$VDD > 2V$
		-	-	$0.2 \times VDD$		$VDD \leq 2V$, $I_{load} = 3mA$, 標準動作
I_{OL}	Lowレベル出力電流	3	-	-	mA	$f_{SCL} \leq 400kHz$
		20	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$, $V_{OL} = 0.4V$
CB	各バス線に対する容量性負荷	-	-	400	pF	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		-	-	400		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		-	-	550		$f_{SCL} \leq 1MHz$
t_R	SDAとSCL両方の出力上昇時間	-	-	1000		$f_{SCL} \leq 100kHz$
		20	-	300		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		-	-	120		$f_{SCL} \leq 1MHz$
t_{OF}	出力下降時間($V_{IHmin} \rightarrow V_{ILmax}$)	-	-	250	ns	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		$20 \times (VDD/5.5V)$	-	250		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		$20 \times (VDD/5.5V)$	-	120		$f_{SCL} \leq 1MHz$
t_{SP}	入力濾波による抑制尖頭雑音	0	-	50		
I_L	各I/Oピンへの入力電流	-	-	1	μA	$0.1 \times VDD < V_I < 0.9 \times VDD$
C_I	各I/Oピンの容量	-	-	10	pF	
R_p	プルアップ抵抗値	$(VDD - V_{OL(max)})/I_{OL}$	-	$1000ns/(0.8473 \times CB)$	Ω	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		-	-	$300ns/(0.8473 \times CB)$		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		-	-	$120ns/(0.8473 \times CB)$		$f_{SCL} \leq 1MHz$
t_{HD_STA}	(再送)開始条件保持時間	4.0	-	-	μs	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		0.6	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.26	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
		-	2.1	-		開始条件
		-	3.1	-		再送開始条件
T_{LOW}	SCLクロックLow時間	4.7	-	-		$f_{SCL} \leq 100kHz$
		1.3	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		0.5	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
T_{HIGH}	SCLクロックHigh時間	4.0	-	-	μs	$f_{SCL} \leq 100kHz$
		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	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$
		-	3	-		
		-	0	-		
t_{HD_DAT}	データ保持時間	30	-	300		$SDAHOLD = '00'$
		120	-	420		$SDAHOLD = '01'$
		300	-	900		$SDAHOLD = '10'$
		50	-	-		$SDAHOLD = '11'$
t_{SU_DAT}	データ準備時間	250	-	-		$f_{SCL} \leq 100kHz$
		100	-	-		$f_{SCL} \leq 400kHz$
		50	-	-		$f_{SCL} \leq 1MHz$

次頁へ続く

表37-21 (続き). TWI - タイミング仕様

シンボル	項目	最小	代表	最大	単位	条件
t _{SU_STO}	停止条件準備時間	4	–	–	μs	f _{SCL} ≤ 100kHz
		0.6	–	–		f _{SCL} ≤ 400kHz
		0.26	–	–		f _{SCL} ≤ 1MHz
		–	2	–	TSCL	
t _{BUF}	停止条件→開始条件間 バス開放時間	4.7	–	–	μs	f _{SCL} ≤ 100kHz
		1.3	–	–		f _{SCL} ≤ 400kHz
		0.5	–	–		f _{SCL} ≤ 1MHz
		–	2	–	TSCL	

注: I²C FM+は2.7V越えに対してだけ支援されます。

37.16. ADC

表37-22. ADC精度仕様

動作条件:						
• V_{ADCREf}=3.0V • 10ビット、シングルエンド変換動作 • f_{CLK_ADC}=1MHz						
シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
NR	分解能	–	–	10	ビット	
E _{INL}	積分非直線性誤差	–1.8	0.1	1.8	LSb	
E _{DNL}	微分非直線性誤差 (注1)	–1	0.1	1		
E _{OFF}	変位(オフセット)誤差	0	2.5	5		
E _{GAIN}	利得誤差	–5	1.5	5		
V _{ADCREf} (*)	ADC参照基準電圧	1.024	–	V _{DD}	V	f _{CLK_ADC} ≤ 500kHz
		1.8	–	V _{DD}		
V _{AIN}	全尺範囲	GND	–	V _{ADCREf}		
Z _{AIN}	アナログ電圧源推奨インピーダンス	–	10	–	kΩ	
R _{VREFA}	ADC梯子状電圧参照基準インピーダンス (注2)	–	50	–		
	V _{DD} /10分割器精度 (V _{DD} DIV10)	–	±10	–	%	内部参照基準を使い ADCで測定

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25°CとV_{DD}=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: ADC変換結果は決して入力が増加に伴って減少することはなく、欠落符号もありません。

注2: これは外部参照基準が選ばれた時にV_{REFA}ピンより見たインピーダンス(訳補:外から見たV_{REFA}ピン入力インピーダンス)です。

表37-23. ADC変換タイミング仕様

シンボル	説明	最小	代表 (†)	最大	単位	条件
T _{CLK_ADC} (*)	ADCクロック周期	0.5	–	8	μs	
t _{CNV}	変換時間	–	11.5T _{CLK_ADC} +2T _{CLK_PER}	–	(μs)	
f _{ADC} (*)	採取速度	8	–	170	ksps	CLK_PER=24MHz
t _{SENSE} (*)	MUXPOS温度測定変更遅延	–	40	–	μs	
t _{ADC_INIT} (*)	初期化時間	–	6	–		

†: “代表”列のデータは別の定めがない限り、TA=25°CとV_{DD}=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。

37.17. AC

表37-24. 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
VIN (*)	入力電圧範囲	-0.2	-	VDD	V	
V _{OFF}	入力変位(オフセット)電圧	-	±5	-	mV	0.7V < VIN < (VDD-0.7V)
CMRR	同相信号除去比	-	±20	-		-0.1V < VIN < (VDD-0.1V)
V _{HYST}	ヒステリシス	-	70	-	dB	
		-	10	-		CTRLA.HYSMODE='01'
		-	25	-	mV	CTRLA.HYSMODE='10'
t _{RESP} (*)	上昇端応答時間	-	50	-		CTRLA.HYSMODE='11'
	下降端応答時間	-	85	-		
	上昇端応答時間	-	85	-		CTRLA.POWER='00'
	下降端応答時間	-	250	-	ns	
	上昇端応答時間	-	220	-		CTRLA.POWER='01'
	下降端応答時間	-	460	-		
		-	430	-		CTRLA.POWER='10'

†: “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。

37.18. UPDI

図37-8. 専用UPDIピンでのUPDI許可手順

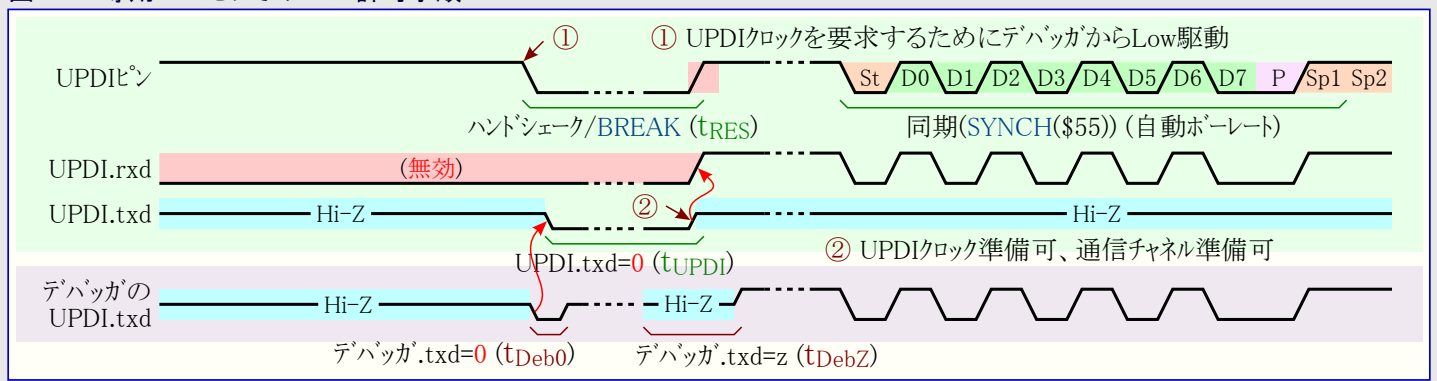


表37-25. UPDIタイミング仕様

シンボル	説明	最小	最大	単位	条件
t _{RES} (*)	RESETでのハントシェーク/BREAKの持続時間	10	200		
t _{UPDI} (*)	UPDI.txd=0の持続時間	10	200		
t _{Deb0} (*)	デバugg.txd=0の持続時間	0.2	1	μs	
t _{DebZ} (*)	デバugg.txd=z(Hi-Z)の持続時間	200	14000		
f _{UPDI} (*)	UPDIホーレート	-	1.8	Mbps	0°C ≤ TA ≤ +50°C
		-	0.9		TA < 0°C または 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37-9. 高電圧(HV)プログラミングによるUPDI許可手順

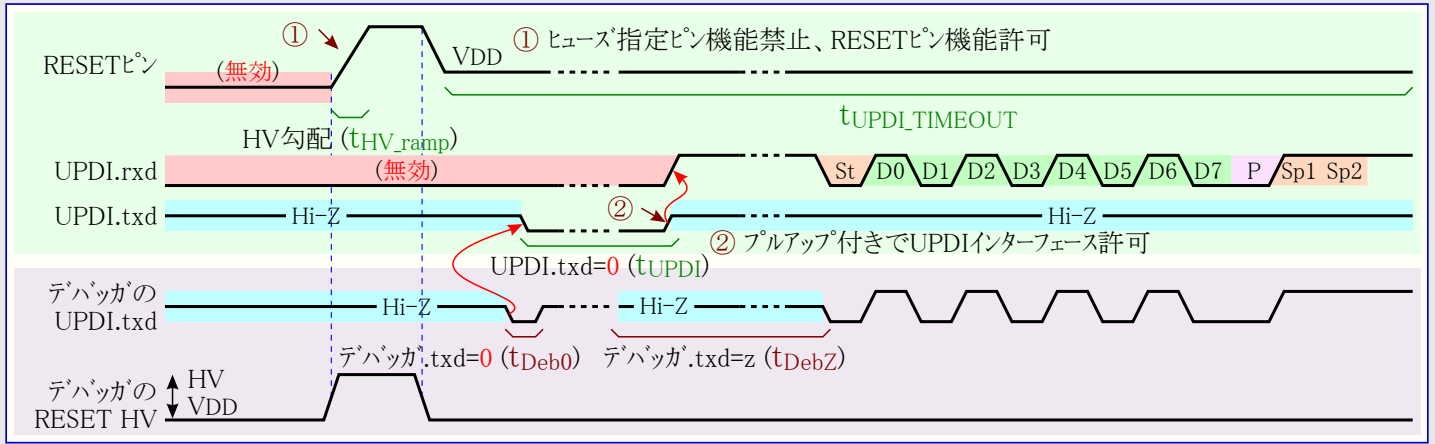


表37-26. UPDI HVパルス仕様

シンボル	説明	最小	代表	最大	単位	条件
$V_{HV} (*)$	デバウンス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。
$t_{HV} (**)$	デバウンスRESET HV信号持続時間	10	—	—	μs	
$t_{UPDI_TIMEOUT} (*)$	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。

38. 特性図

特性図は現時点に於いて利用できません。

39. 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。

39.1. シリコン問題要約

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	シリコン改訂に対する有効性		
		改訂	A0	
USART	39.2.1. 矛盾する同期領域検出後に機能しない受信部		×	
USB	39.3.1. 複数パケット許可でデータポインタが奇数時に不正なバイト計数器		×	

[illegible]

40. 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。

40.1. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2024年4月	初版文書公開

Microchip情報

Microchipウェブ サイト

Microchipはwww.microchip.com/で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にするのに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- ・ **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- ・ **全般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip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へ行って登録指示に従ってください。

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

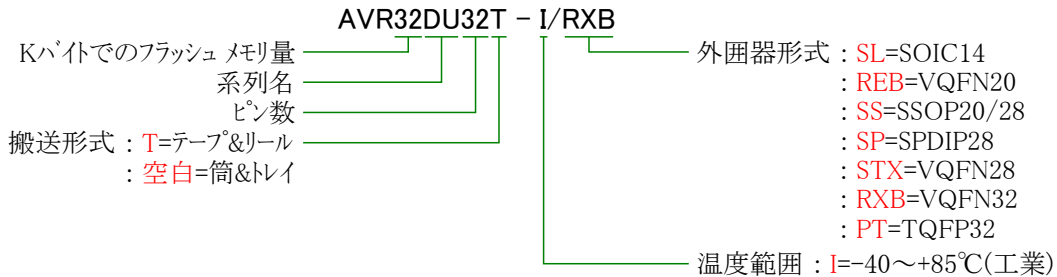
- ・ 代理店または販売会社
- ・ 最寄りの営業所
- ・ 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions Engineer)
- ・ 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、またはESEに連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援はwww.microchip.com/supportでのウェブ サイトを通して利用できます。

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、免責にすることに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchipロゴ、Adaptec、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、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、SimpliPHY、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を訪ねてください。

日本語© HERO 2024.

本データシートはMicrochipのAVR16/32DU14/20/28/32英語版データシート(DS40002576A-2024年4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
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーネ Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - テルネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリード Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820