



ATmega640, ATmega640V, ATmega1280, ATmega1280V,
ATmega1281, ATmega1281V, ATmega2560,
ATmega2560V, ATmega2561, ATmega2561V

megaAVR® データシート

序説

Microchip ATmega640/1280/1281/2560/2561はAVR®RISC構造に基づく低電力CMOS 8ビット マイクロ コントローラです。単一クロック周期での強力な命令の実行により、ATmega640/1280/1281/2560/2561はMHz当たり1 MIPSに近づく単位処理量を達成します。これは消費電力対処理速度に対するデバイスの最適化をシステム設計者に許します。

特徴

- 高性能、低消費AVR® 8ビット マイクロ コントローラ
- 進化したRISC構造
 - 完全なスタティック動作
 - 強力な131/134/136命令(多くは1周期で実行)
 - 32個の1バイト長汎用レジスタ
 - 16MHz時、16MIPSに達する高速動作
 - 2周期実行の乗算命令
- 高耐久不揮発性メモリ部
 - 実装自己書き換え可能な64/128/256Kバイト(32/64/128K語)フラッシュ メモリ内蔵
 - 4KバイトのEEPROM
 - 8Kバイトの内蔵SRAM
 - 書き換え回数: 10,000/フラッシュ, 100,000/EEPROM
 - データ保持力: 20年/85°C, 100年/25°C
 - 個別施錠ビットを持つ任意のブートコード領域
 - チップ内ブートプログラムによる実装書き換え
 - 真の書き込み中の読み出し動作
 - ソフトウェア保護用の設定可能な施錠機能
 - 64Kバイトまでの任意外部メモリ空間
- QTouch® ライフライ支援
 - 容量性接触釐、滑動部、輪
 - QTouchとQMatrix®での取得
 - 最大64の感知チャネル
- JTAG (IEEE 1149.1準拠) インターフェース
 - JTAG規格に従った境界走査(Boundary-Scan)能力
 - 広範囲な内蔵デバッグ機能
 - JTAGインターフェース経由でのフラッシュ、EEPROM、ヒューズ、施錠ビットのプログラミング
- 内蔵周辺機能
 - 独立した前置分周器、比較機能付き、2つの8ビット タイマ/カウンタ
 - 独立した前置分周器、比較、捕獲機能付き、4つの16ビット タイマ/カウンタ
 - 専用発振器と8ビット タイマ/カウンタによる実時間計数器(RTC)
 - 3(ATmega1281/2561)/4(ATmega640/1280/2560)つの8ビットPWM出力
 - 6(ATmega1281/2561)/12(ATmega640/1280/2560)個の2~16ビット分解能が設定可能なPWM出力
 - 比較出力変調器
 - 8(ATmega1281/2561)/16(ATmega640/1280/2560)チャネルの10ビット A/D変換器
 - 2(ATmega1281/2561)/4(ATmega640/1280/2560)つの設定可能な直列USART
 - 主装置/従装置動作SPI直列インターフェース
 - バイト対応の2線直列インターフェース
 - 設定可能な専用発振器付きウォッチドッグ タイマ
 - アナログ比較器
 - ピン変化での割り込みと起動復帰

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。

- 特殊マイクロ コントローラ機能
 - 電源ONリセット回路と設定可能な低電圧検出器(BOD)
 - 校正可能な内蔵RC発振器
 - 外部及び内部の割り込み
 - アイドル、A/D変換雑音低減、パワーセーブ、パワーダウン、スタンバイ、拡張スタンバイの6つの低消費動作
- I/Oと外圍器 (ATmega1281/2561:ATmega640/1280/2560)
 - 54:86ビットの設定可能なI/O
 - 64リードTQFP、64パッドQFN/MLF:100リードTQFP、100球CBGA
 - RoHS適合(完全に安全)
- 温度範囲
 - -40～85℃ (工業用)
- 超低消費電力
 - 活動動作 : 500μA (1MHz,1.8V)
 - パワーダウン動作 : 0.1μA (1.8V)
- 動作速度/電圧
 - ATmega640/1280/1281V:
 - 0～4MHz/1.8～5.5V • 0～8MHz/2.7～5.5V
 - ATmega2560/2561V:
 - 0～2MHz/1.8～5.5V • 0～8MHz/2.7～5.5V
 - ATmega640/1280/2560/1281/2561:
 - 0～8MHz/2.7～5.5V • 0～16MHz/4.5～5.5V
 - ATmega2560/2561:
 - 0～16MHz/4.5～5.5V

目次

特徴	1	11.5. リセット関係用レジスタ	44
1. ピン配置	5	12. 割り込み	46
2. 概要	7	12.1. ATmega640/1280/1281/2560/2561 の割り込みベクタ	46
2.1. 構成図	7	12.2. リセットと割り込みのベクタ配置	47
2.2. ATmega640/1280/2560と ATmega1281/2561の違い	8	12.3. 応用領域とブート領域間のベクタ移動	50
2.3. ピン説明	8	12.4. ベクタ移動用レジスタ	50
3. 資料	10	13. 外部割り込み	51
4. コード例について	10	13.1. ピン変化割り込みタイミング	51
5. データ保持力	10	13.2. 外部割り込み用レジスタ	51
6. 容量性接触感知	10	14. 入出力ポート	55
7. AVR CPU コア	11	14.1. 序説	55
7.1. 序説	11	14.2. 標準デジタル入出力としてのポート	55
7.2. 構造概要	11	14.3. 交換ポート機能	58
7.3. ALU (Arithmetic Logic Unit)	11	14.4. I/Oポート用レジスタ	77
7.4. ステータス レジスタ	12	15. 8ビット タイマ/カウンタ0 (PWM)	81
7.5. 汎用レジスタ ファイル	13	15.1. 特徴	81
7.6. スタック ポインタ	13	15.2. 概要	81
7.7. 命令実行タイミング	14	15.3. タイマ/カウンタのクロック	82
7.8. リセットと割り込みの扱い	15	15.4. 計数器部	82
8. AVR メモリ	17	15.5. 比較出力部	83
8.1. 実装書き換え可能なプログラム用フラッシュ メモリ	17	15.6. 比較一致出力部	84
8.2. データ用SRAMメモリ	17	15.7. 動作種別	85
8.3. データ用EEPROMメモリ	18	15.8. タイマ/カウンタのタイミング	88
8.4. I/Oメモリ (レジスタ)	20	15.9. 8ビット タイマ/カウンタ0用レジスタ	89
8.5. 外部メモリ インターフェース	21	16. 16ビット タイマ/カウンタ1,3,4,5	93
8.6. メモリ関係レジスタ	25	16.1. 特徴	93
9. システム クロックとクロック選択	29	16.2. 概要	93
9.1. 概要	29	16.3. 16ビット レジスタのアクセス	95
9.2. クロック系統とその配給	29	16.4. タイマ/カウンタのクロック	97
9.3. クロック元	29	16.5. 計数器部	97
9.4. クリスタル用低電力発振器	30	16.6. 捕獲入力部	98
9.5. クリスタル用全振幅発振器	31	16.7. 比較出力部	99
9.6. 低周波数クリスタル用発振器	31	16.8. 比較一致出力部	101
9.7. 校正付き内蔵RC発振器	32	16.9. 動作種別	102
9.8. 128kHz内部発振器	32	16.10. タイマ/カウンタのタイミング	107
9.9. 外部クロック信号	33	16.11. 16ビット タイマ/カウンタ1,3,4,5用レジスタ	108
9.10. システム クロック出力緩衝部	33	17. タイマ/カウンタ0,1,3,4,5の前置分周器	118
9.11. タイマ/カウンタ用発振器	33	17.1. 内部クロック元	118
9.12. システム クロック前置分周器	33	17.2. 前値分周器リセット	118
9.13. クロック関係用レジスタ	34	17.3. 外部クロック元	118
10. 電力管理と休止形態	35	17.4. 同期系タイマ/カウンタ前置分周器用レジスタ	119
10.1. 休止形態種別	35	18. 比較出力変調器 (COM1COA)	120
10.2. アイドル動作	35	18.1. 概要	120
10.3. A/D変換雑音低減動作	35	18.2. 説明	120
10.4. パワーダウ動作	36	19. 8ビット タイマ/カウンタ2 (PWM,非同期動作)	121
10.5. パワーセーブ動作	36	19.1. 特徴	121
10.6. スタンバイ動作	36	19.2. 概要	121
10.7. 拡張スタンバイ動作	36	19.3. タイマ/カウンタのクロック	122
10.8. 電力削減(電力削減レジスタ)	36	19.4. 計数器部	122
10.9. 消費電力の最小化	37	19.5. 比較出力部	123
10.10. 電力管理用レジスタ	38	19.6. 比較一致出力部	124
11. システム制御とリセット	40	19.7. 動作種別	125
11.1. AVRのリセット	40	19.8. タイマ/カウンタのタイミング	128
11.2. リセット元	40	19.9. タイマ/カウンタ2の非同期動作	129
11.3. 内部基準電圧	40	19.10. タイマ/カウンタ2の前置分周器	130
11.4. ウォッチドッグ タイマ	40	19.11. 8ビット タイマ/カウンタ2用レジスタ	131

20. SPI (直列周辺インターフェース)	136	27.3. データレジスタ	201
20.1. SSピンの機能	138	27.4. 境界走査(Boundary-Scan)用JTAG命令	202
20.2. データ転送形式	139	27.5. 境界走査チェーン(Boundary-Scan Chain)	203
20.3. SPI用レジスタ	140	27.6. JTAG用レジスタ	205
21. USART0,1,2,3	142	27.7. ATmega640/1280/1281 /2560/2561の境界走査順	206
21.1. 特徴	142	27.8. 境界走査記述言語(BSDL)ファイル	206
21.2. 概要	142	28. ブートローダ支援 - RWW自己プログラミング	208
21.3. クロック生成	143	28.1. 特徴	208
21.4. フレーム形式	144	28.2. フラッシュメモリの応用領域とブートローダ領域	208
21.5. USARTの初期化	145	28.3. 書き中に読みが可能な領域と不能な領域	208
21.6. USARTのデータ送信	146	28.4. ブートローダ施錠ビット	210
21.7. USARTのデータ受信	147	28.5. 自己プログラミングでのフラッシュアドレス指定	211
21.8. 非同期受信	150	28.6. フラッシュメモリの自己プログラミング	211
21.9. 複数プロセッサ通信動作	152	28.7. ブートローダ用レジスタ	217
21.10. USART用レジスタ	153	29. メモリプログラミング	218
21.11. ホーレト設定例	156	29.1. プログラムメモリとデータメモリ用施錠ビット	218
22. USARTでのSPI動作	158	29.2. ヒューズビット	219
22.1. 概要	158	29.3. 識票バイト	220
22.2. USARTでのMSPIMとSPIの比較	158	29.4. 校正バイト	220
22.3. クロック生成	158	29.5. ページ容量	220
22.4. データ転送形式とタイミング	159	29.6. 並列プログラミング	221
22.5. フレーム形式	159	29.7. 並列プログラミング手順	222
22.6. データ転送	161	29.8. 直列プログラミング	230
22.7. MSPIMでのUSART用レジスタ	162	29.9. 直列プログラミング手順	230
23. 2線直列インターフェース (TWI)	164	29.10. JTAGインターフェース経由プログラミング	233
23.1. 特徴	164	30. 電気的特性	240
23.2. 2線直列インターフェースバスの定義	164	30.1. 絶対最大定格	240
23.3. データ転送とフレーム形式	164	30.2. DC特性	240
23.4. 複数主装置バスシステムの調停と同期	166	30.3. 速度勾配	241
23.5. TWI部の概要	167	30.4. クロック特性	242
23.6. TWIの使用法	169	30.5. システムとリセットの特性	242
23.7. 転送種別	171	30.6. 2線直列インターフェース特性	244
23.8. 複数主装置システムでのバス競合と調停	180	30.7. SPI タイミング特性	245
23.9. TWI用レジスタ	181	30.8. A/D変換器特性 (暫定)	246
24. アナログ比較器	184	30.9. データ用外部メモリタイミング特性	247
24.1. アナログ比較器入力選択	184	31. 代表特性	250
24.2. アナログ比較器用レジスタ	184	31.1. 活動動作消費電流	250
25. A/D変換器	186	31.2. アイドル動作消費電流	252
25.1. 特徴	186	31.3. 周辺機能部供給電流	254
25.2. 操作	187	31.4. パワーダウン動作消費電流	254
25.3. 変換の開始	187	31.5. パワーセーブ動作消費電流	255
25.4. 前置分周と変換タイミング	188	31.6. スタンバイ動作消費電流	256
25.5. チャネル変更と基準電圧選択	190	31.7. ピンプルアップ	256
25.6. 雑音低減機能	190	31.8. ピン駆動能力	258
25.7. A/D変換の結果	192	31.9. ピン閾値とヒステリシス	259
25.8. A/D変換用レジスタ	193	31.10. 低電圧検出器(BOD)閾値と アナログ比較器変位(オフセット)	261
26. JTAGインターフェースと内蔵デバッグ機能	197	31.11. 内部発振器周波数	262
26.1. 特徴	197	31.12. 周辺機能部消費電流	264
26.2. 概要	197	31.13. リセット消費電流とリセットパルス幅	266
26.3. 検査入出力ポート (TAP:Test Access Port)	198	32. レジスタ要約	268
26.4. 境界走査チェーン(Boundary-Scan Chain) の使用	199	33. 命令要約	273
26.5. 内蔵デバッグ機能の使用	199	34. 注文情報	276
26.6. 内蔵デバッグ特殊JTAG命令	199	35. 外圍器情報	277
26.7. JTAGプログラミング能力の使用	199	36. 障害情報	279
26.8. 参考文献	200	37. データシート改訂履歴	283
26.9. 内蔵デバッグ用レジスタ	200		
27. IEEE1149.1(JTAG)境界走査	201		
27.1. 特徴	201		
27.2. 概要	201		

1. ピン配置

図1-1. ATmega640/1280/2560 TQFPピン配置

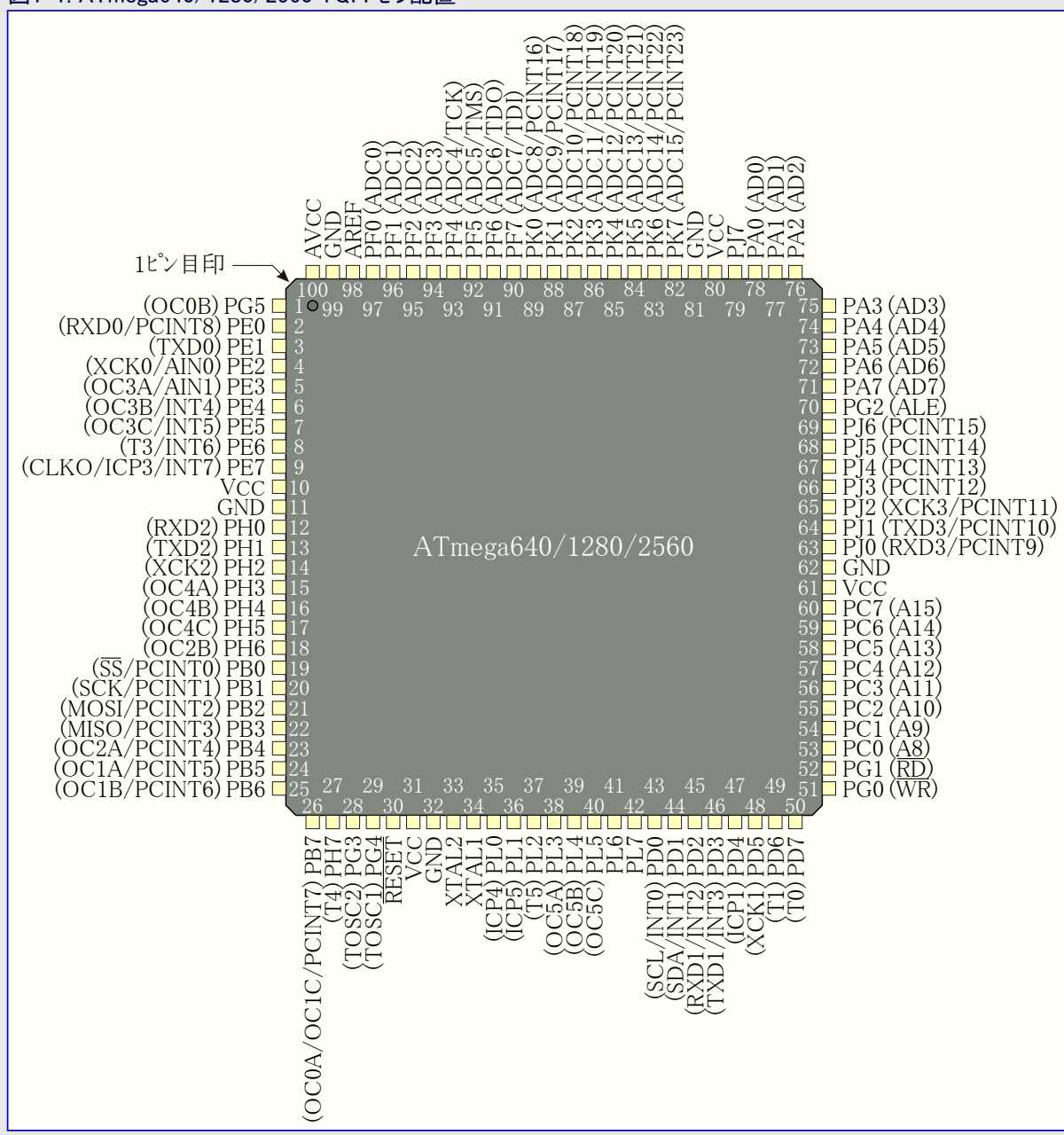


図1-2. ATmega640/1280/2560 CBGAピン配置

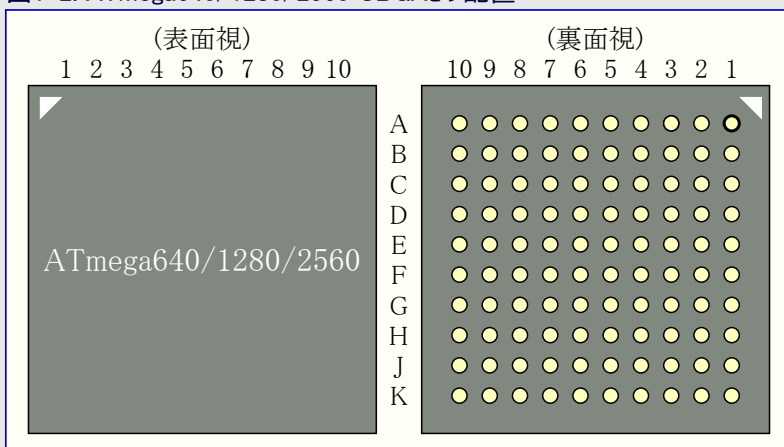
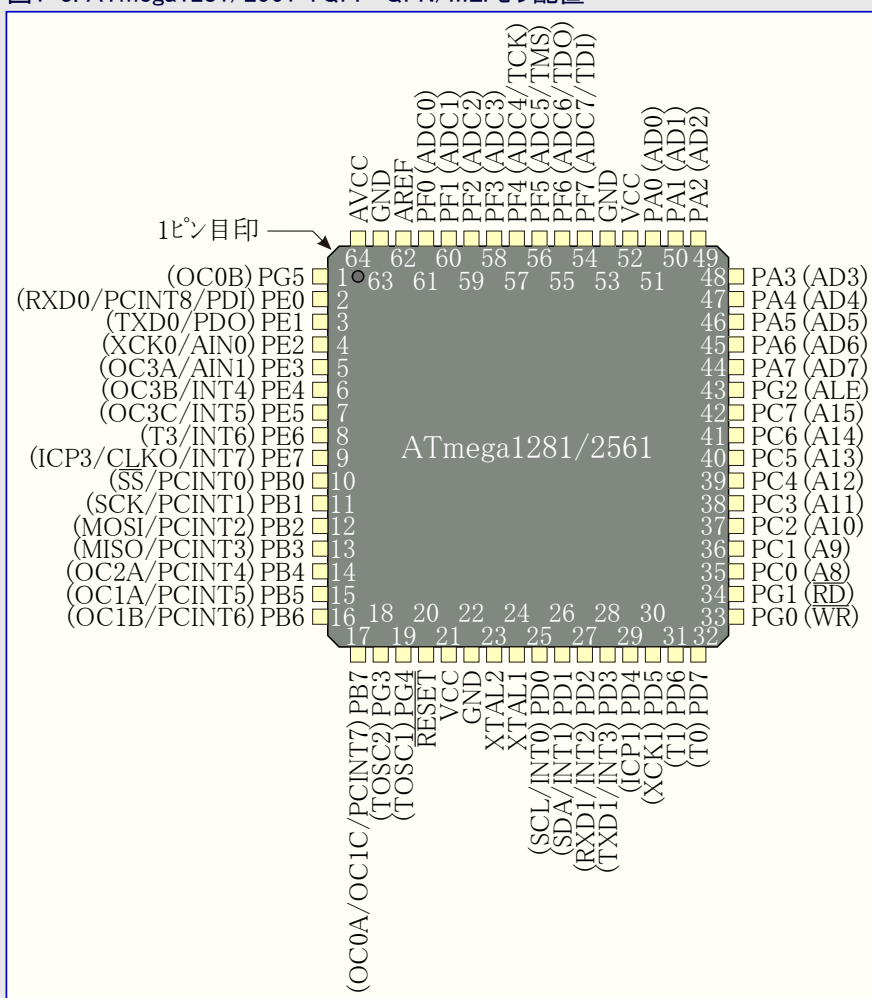


表1-1. CBGA ピン配列 (ATmega640/1280/2560)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	GND	AREF	PF0	PF2	PF5	PK0	PK3	PK6	GND	VCC
B	AVCC	PG5	PF1	PF3	PF6	PK1	PK4	PK7	PA0	PA2
C	PE2	PE0	PE1	PF4	PF7	PK2	PK5	PJ7	PA1	PA3
D	PE3	PE4	PE5	PE6	PH2	PA4	PA5	PA6	PA7	PG2
E	PE7	PH0	PH1	PH3	PH5	PJ6	PJ5	PJ4	PJ3	PJ2
F	VCC	PH4	PH6	PB0	PL4	PD1	PJ1	PJ0	PC7	GND
G	GND	PB1	PB2	PB5	PL2	PD0	PD5	PC5	PC6	VCC
H	PB3	PB4	RESET	PL1	PL3	PL7	PD4	PC4	PC3	PG2
J	PH7	PG3	PB6	PL0	XTAL2	PL6	PD3	PC1	PC0	PG1
K	PB7	PG4	VCC	GND	XTAL1	PL5	PD2	PD6	PD7	PG0

注: 各ピンの機能は図1-1.で示される100ピン外囲器に関してと同じです。

図1-3. ATmega1281/2561 TQFP・QFN/MLFピン配置



注: QFN/MLF外囲器底面中央の大パッドは金属で作られ、内部でGNDに接続されています。これは良好な機構的安定性を保証するため、基板に貼り付けるか、半田付けされるべきです。この中央パッドが未接続の場合、基板から脱落するかもしれません。

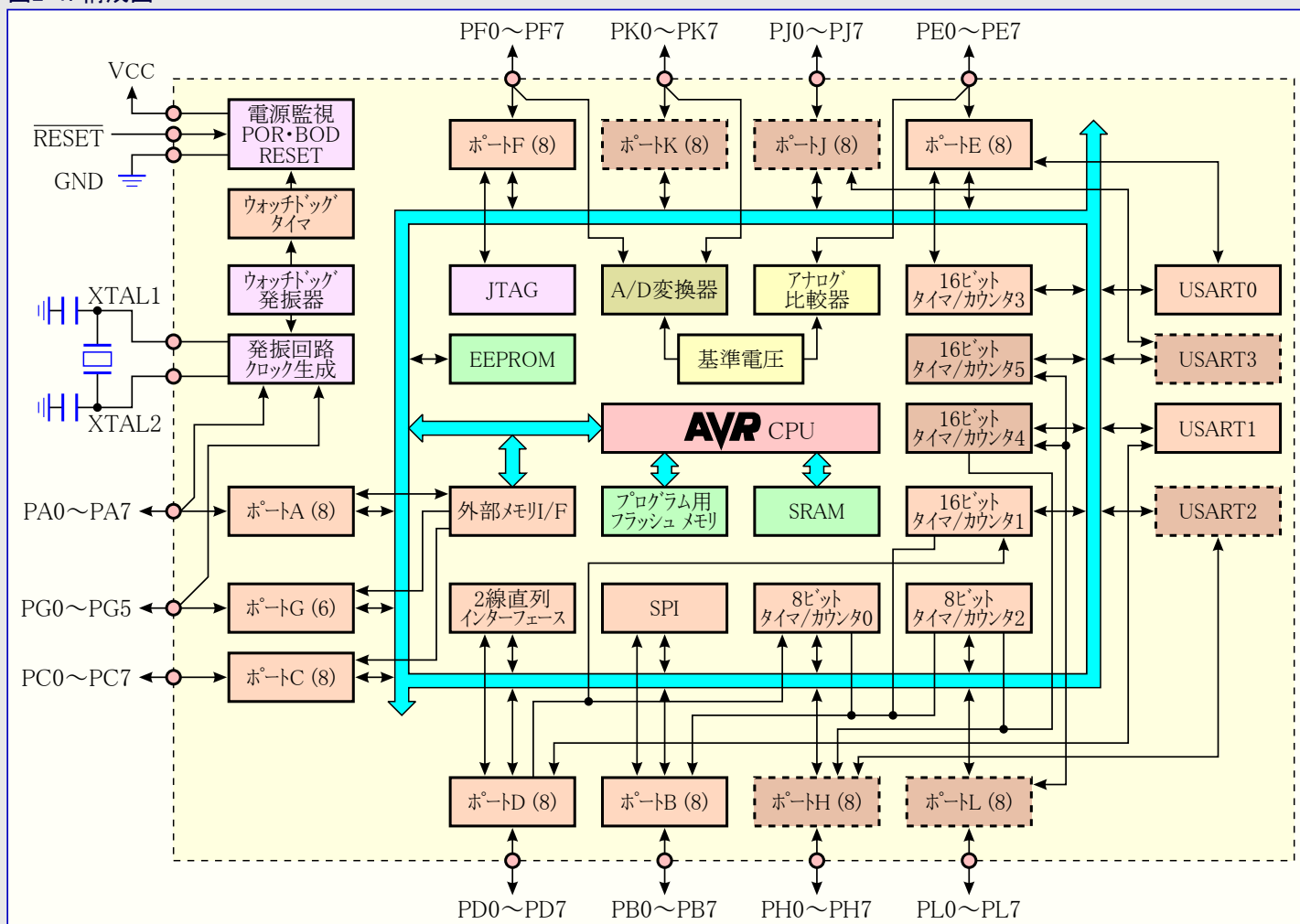
(訳注) ATmega1281/2561はATmega 640/1280/2560のポートH,J,K,Lに相当するピンが存在しません。これらは基本的に本文中で注記されていますが、OC2Bピンに対する注記はありませんので、注意してください。

2. 概要

ATmega640/1280/1281/2560/2561はAVR RISC構造の低消費CMOS 8ビット マイクロ コントローラです。1周期で実行する強力な命令はMHzあたり1 MIPSにも達し、実行速度対電力消費の最適化が容易に行えます。

2.1. 構成図

図2-1. 構成図



注: 暗背景の破線部は100ピン版でだけ利用可能です。

・ A/D変換器とタイマ/カウンタ4及び5の完全な機能は100ピン版でだけ利用可能です。

AVR®コアは32個の汎用レジスタと豊富な命令群を兼ね備えています。32個の全レジスタはALU(Arithmetic Logic Unit)に直結され、レジスタ間命令は1クロック周期で実行されます。AVR構造は現状のCISC型マイクロコントローラに対して最大10倍の単位処理量向上効果があります。

ATmega640/1280/1281/2560/2561は次の特徴、書き込み中読める能力を持つ64/128/256Kバイトの実装書き換え可能なフラッシュメモリと4KバイトのEEPROM、8KバイトのSRAM、54/86本の汎用入出力線、32個の汎用レジスタ、実時間計数器(RTC)、比較動作やPWMを含む柔軟性のある6つのタイマ/カウンタ、2/4つのUSART、バイト対応の2線直列インターフェース、設定可能な増幅器を持つ任意選択差動入力付き8/16チャンネル10ビットA/D変換器、設定可能な内部発振器付きウォッチドッグタイマ、SPI直列ポート、内蔵デバッグとプログラミング機能にも使われるIEEE標準1149.1準拠JTAG検査インターフェース、ソフトウェアで選べる6つの低消費動作機能を提供します。アイドル動作では動作を停止しますが、SRAM、タイマ/カウンタ、SPIポート、割り込み機能は有効で、動作を継続します。パワーダウン動作ではレジスタの内容は保護されますが、発振器が停止するため、以降のハードウェアリセットか外部割り込みまで他の全機能を禁止(無効に)します。パワーセーブ動作では非同期タイマ用発振器が動作を継続し、デバイスのその他が停止中であっても基準タイマの継続が許されます。A/D変換雑音低減動作ではA/D変換中の切り替え雑音を最小とするために、非同期タイマとA/D変換器を除く全ての周辺機能とCPUが停止します。スタンバイ動作ではクリスタル発振器/セラミック振動子用発振器が動作し、一方デバイスのその他は休止します。これは低消費電力と非常に速い起動の組み合わせを許します。拡張スタンバイ動作では主発振器と非同期タイマの両方が動作を継続します。

MicrochipはAVR®マイクロコントローラに容量性接触釦、滑動器、輪の機能を組み込むためのQTouch®ライブラリを提供します。特許権を持つ充電転移信号採取は強力な感知を提供し、接触キーの完全な反発運動報告を含み、そしてキー事象の明白な検出のための隣接キー抑制®(AKS®)技術を含みます。簡単に使えるQTouch Suiteツールチェーンはあなた自身の接触応用に対して調査、開発、そしてデバッグを許します。

本デバイスはMicrochipの高密度不揮発性メモリ技術を使って製造されています。内蔵の実装書き換え(ISP)可能なプログラム用フラッシュメモリは規定の不揮発性メモリ書き込み器、SPI直列インターフェース経由、AVRコア上ブートプログラムの実行によって再書き込みができます。ブートプログラムは応用領域フラッシュメモリ内の応用プログラムの読み込みにもどのインターフェースでも使えます。ブート領域フラッシュメモリ内のプログラムは真の「書き込み中の読み出し可」動作により、応用領域フラッシュメモリ更新中も実行を継続します。モノリシックチップ上の実装書き換え可能なフラッシュメモリと、8ビットRISC型CPUの組み合わせによるATmega640/1280/1281/2560/2561は多くの組み込み制御の応用に対して高度な柔軟性と対費用効果をもたらす強力なマイクロコントローラです。

ATmega640/1280/1281/2560/2561 AVRはCコンパイラ、マクロアセンブラ、デバッガ、シミュレータ、インサーキットエミュレータ、評価キットを含む専用のプログラム及びシステム開発ツールで支援されます。

2.2. ATmega640/1280/2560とATmega1281/2561の違い

ATmega640/1280/1281/2560/2561系列内の各デバイスはメモリ容量とピン数だけが異なります。表2-1は6つのデバイスについて各種形態の違いを一覧します。

表2-1. メモリ容量/形態対比表

デバイス名	フラッシュメモリ	EEPROM	SRAM	汎用入出力 ピン数	16ビット分解能 PWMチャネル数	直列 USART	A/D変換器 チャネル数
ATmega640	64Kバイト			86	12	4	16
ATmega1280	128Kバイト						
ATmega1281		4Kバイト	8Kバイト	54	6	2	8
ATmega2560	256Kバイト			86	12	4	16
ATmega2561				54	6	2	8

2.3. ピン概要

2.3.1. VCC

デジタル電源ピン。

2.3.2. GND

接地ピン。

2.3.3. PA7～PA0 (ポートA)

ポートAは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートA出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートAピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートAピンはHi-Zにされます。

ポートAは59頁で一覧されるATmega640/1280/1281/2560/2561の様々な特殊機能も扱います。

2.3.4. PB7～PB0 (ポートB)

ポートBは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートB出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートBピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートBピンはHi-Zにされます。

ポートBは他のポートより優れた駆動能力を持ちます(訳注:該当記述が他にないため、消し忘れかもしれません)。

ポートBは60頁で一覧されるATmega640/1280/1281/2560/2561の様々な特殊機能も扱います。

2.3.5. PC7～PC0 (ポートC)

ポートCは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートC出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートCピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートCピンはHi-Zにされます。

ポートCは62頁で一覧されるATmega640/1280/1281/2560/2561の様々な特殊機能も扱います。

2.3.6. PD7～PD0 (ポートD)

ポートDは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートD出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートDピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートDピンはHi-Zにされます。

ポートDは63頁で一覧されるATmega640/1280/1281/2560/2561の様々な特殊機能も扱います。

2.3.7. PE7～PE0 (ポートE)

ポートEは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートE出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートEピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートEピンはHi-Zにされます。

ポートEは65頁で一覧されるATmega640/1280/1281/2560/2561の様々な特殊機能も扱います。

2.3.8. PF7～PF0 (ポートF)

ポートFはA/D変換器へのアナログ入力として扱います。

A/D変換器が使われない場合、ポートFは8ビット双方向入出力ポートとしても扱います。ポートピンは(ビット毎に選択される)内蔵プルアップ抵抗を提供できます。ポートF出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートFピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートFピンはHi-Zにされます。JTAGインターフェースが許可されると、リセットが起きてもPF7(TDI)、PF5(TMS)、PF4(TCK)ピンのプルアップ抵抗は活性(有効)にされます。

ポートFはJTAGインターフェース機能も扱います。

2.3.9. PG5～PG0 (ポートG)

ポートGは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き6ビット双方向入出力ポートです。ポートG出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートGピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートGピンはHi-Zにされます。

ポートGは69頁で一覧されるATmega640/1280/1281/2560/2561の様々な特殊機能も扱います。

2.3.10. PH7～PH0 (ポートH)

ポートHは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートH出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートHピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートHピンはHi-Zにされます。

ポートHは70頁で一覧されるATmega640/1280/2560の様々な特殊機能も扱います。

2.3.11. PJ7～PJ0 (ポートJ)

ポートJは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートJ出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートJピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートJピンはHi-Zにされます。

ポートJは72頁で一覧されるATmega640/1280/2560の様々な特殊機能も扱います。

2.3.12. PK7～PK0 (ポートK)

ポートKはA/D変換器へのアナログ入力として扱います。

A/D変換器が使われない場合、ポートKは8ビット双方向入出力ポートとしても扱います。ポートピンは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗を提供できます。ポートK出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートKピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートKピンはHi-Zにされます。

ポートKは74頁で一覧されるATmega640/1280/2560の様々な特殊機能も扱います。

2.3.13. PL7～PL0 (ポートL)

ポートLは(ビット毎に選ばれる)内蔵プルアップ抵抗付き8ビット双方向入出力ポートです。ポートL出力緩衝部は高い吐き出しと吸い込み両方の能力の対称駆動特性です。入力としてプルアップ抵抗が活性(有効)なら、外部的にLowへ引かれたポートLピンは電流を吐き出します。リセット条件が有効になるとクロックが動いていなくてもポートLピンはHi-Zにされます。

ポートLは75頁で一覧されるATmega640/1280/2560の様々な特殊機能も扱います。

2.3.14. RESET

リセット入力。最小パルス幅より長いこのピンのLowレベルはクロックが動いていなくてもリセットを生成します。最小パルス幅は242頁の「システムとリセットの特性」で得られます。より短いパルスはリセットの生成が保証されません。

2.3.15. XTAL1

発振器反転増幅器への入力と内部クロック操作回路への入力。

2.3.16. XTAL2

発振器反転増幅器からの出力。

2.3.17. AVCC

AVCCはポートF、KとA/D変換器用供給電圧(電源)ピンです。例えばA/D変換が使われなくても、外部的にVCCへ接続されるべきです。A/D変換が使われる場合、VCCから低域通過濾波器を通して接続されるべきです。

2.3.18. AREF

AREFはA/D変換器用アナログ基準(電圧)ピンです。

3. 資料

包括的なデータシート、応用記述、開発ツール群は<http://www.atmel.com/avr>でのダウンロードで利用可能です。

4. コード例について

この文書はデバイスの様々な部分の使用法を手短に示す簡単なコード例を含みます。これらのコード例はアセンブルまたはコンパイルに先立ってデバイス定義ヘッダファイルがインクルードされると仮定します。全てのCコンパイラ製造業者がヘッダファイル内にビット定義を含めるとは限らず、またCでの割り込みの扱いがコンパイラに依存することに注意してください。より多くの詳細についてはCコンパイラの資料で確認してください。

これらのコード例はアセンブルまたはコンパイルに先立ってデバイス定義ファイルがインクルードされることが前提です。拡張I/O領域に配置したI/Oレジスタに対し、**IN**, **OUT**, **SBIS**, **SBIC**, **CBI**, **SBI**命令は拡張I/O領域へのアクセスを許す命令に置き換えられなければなりません。代表的には**SBRS**, **SBRC**, **SBR**, **CBR**命令と組み合わせた**LDS**, **STS**命令です。

5. データ保持力

信頼性証明結果はデータ保持誤り率の反映を示し、20年以上/85°Cまたは100年以上/25°Cで1PPMよりずっと小さな値です。

6. 容量性接触感知

QTouch®ライブラリは殆どのAVR®マイクロコントローラ上の接触感知インターフェースを実現するための使い易い解決策を提供します。QTouchライブラリはQTouchとQMatrix®採取法用の支援を含みます。

接触感知は適切なAVRマイクロコントローラ用QTouchライブラリをリンクすることによってどの応用にも追加することができます。これは接触チャネルと感知器を定義するのに簡単なAPIの組を使い、その後にチャネル情報を取得して接触感知器の状態を判断するために接触感知APIを呼ぶことによって行われます。

QTouchライブラリは無料で、次の場所、www.atmel.com/qtouchlibraryのMicrochipウェブサイトからダウンロードすることができます。実装の詳細と他の情報についてはMicrochipウェブサイトからも入手可能なQTouchライブラリ使用者の手引きを参照してください。

7. AVR CPU コア

7.1. 序説

ここでは一般的なAVRコア構造について説明します。このCPUコアの主な機能は正しいプログラム実行を保証することです。従ってCPUはメモリアクセス、計算実行、周辺制御、割り込み操作ができなければなりません。

7.2. 構造概要

最大効率と平行処理のため、AVRはプログラムとデータに対してメモリとバスを分離するハーバード構造を使います。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命令の実行中に次の命令がプログラムメモリから事前取得されます。この概念は全部のクロック周期で命令実行を可能にします。プログラムメモリは実装書き換え可能なフラッシュメモリです。

高速レジスタファイルは1クロック周期アクセスの32個の8ビット長汎用レジスタを含みます。これは1クロック周期ALU(Arithmetic Logic Unit)操作を許します。代表的なALU操作では2つのオペランドがレジスタファイルからの出力で、1クロック周期内でその操作が実行され、その結果がレジスタファイルに書き戻されます。

32個中の6つのレジスタは効率的なアドレス計算ができるデータ空間アドレス指定用に3つの16ビット長間接アドレスポインタ用レジスタとして使用されます。これらアドレスポインタの1つはプログラム用フラッシュメモリ内の定数表参照用アドレスポインタとしても使えます。これら16ビット長付加機能レジスタはX、Y、Zレジスタで、本章内で後述されます。

ALUはレジスタ間またはレジスタと定数間の算術及び論理操作を支援します。単一レジスタ操作もALUで実行できます。算術演算操作後、操作結果についての情報を反映するためにステータスレジスタ(SREG)が更新されます。

プログラムの流れは条件/無条件分岐や呼び出し命令によって提供され、全アドレス空間を直接アドレス指定できます。AVR命令の多くは16ビット語(ワード)形式です。全てのプログラムメモリのアドレスは(**訳注**:定数のみを除き)16または32ビット長命令を含みます。

プログラム用フラッシュメモリ空間はブートプログラム領域と応用プログラム領域の2つに分けられます。どちらの領域にも書き込み禁止や読み書き防止用の専用施錠ビットがあります。応用フラッシュメモリ領域内に書き込むSPM命令はブートプログラム領域内に属さ(存在し)なければなりません。

割り込みやサブルーチン呼び出し中、戻りアドレスを示すプログラムカウンタ(PC)はスタックに保存されます。スタックは一般的なデータ用SRAM上に実際には割り当てられ、従ってスタック容量は全SRAM容量とSRAM使用量でのみ制限されます。全ての使用者プログラムはリセット処理ルーチンで(サブルーチン呼び出しや割り込みが実行される前に)、スタックポインタ(SP)を初期化しなければなりません。SPはI/O空間で読み書きアクセスが可能です。データ用SRAMはAVR構造で支援される5つの異なるアドレス指定種別を通して容易にアクセスできます。

AVR構造に於けるメモリ空間は全て直線的な普通のメモリ配置です。

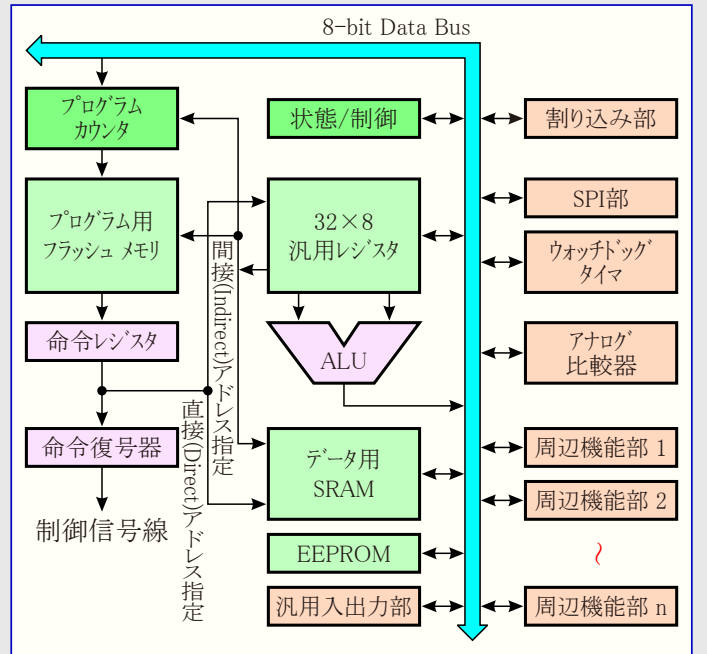
柔軟な割り込み部にはI/O空間の各制御レジスタとステータスレジスタ(SREG)の特別な全割り込み許可(I)ビットがあります。全ての割り込みは割り込みベクタ表に個別の割り込みベクタを持ちます。割り込みには割り込みベクタ表の位置に従う優先順があります。下位側割り込みベクタアドレスが高い優先順位です。

I/Oメモリ空間は制御レジスタ、SPI、他のI/O機能としてCPU周辺機能用の64アドレスを含みます。I/Oメモリは直接またはレジスタファイルの次のデータ空間位置\$20～\$5Fとしてアクセスできます。加えてATmega640/1280/1281/2560/2561にはST/STS/STDとLD/LDS/LDD命令だけ使えるSRAM内の\$60～\$1FFに拡張I/O空間があります。

7.3. ALU (Arithmetic Logic Unit)

高性能なAVRのALUは32個の全汎用レジスタとの直結で動作します。汎用レジスタ間または汎用レジスタと即値間の演算操作は単一クロック周期内で実行されます。ALU操作は算術演算、論理演算、ビット操作の3つの主要な種類に大別されます。符号付きと符号なし両方の乗算と固定小数点形式を支援する乗算器(乗算命令)も提供する構造の実装(製品)もあります。詳細記述については「命令要約」章をご覧ください。

図7-1. AVR MCU構造



7.4. ステータス レジスタ

ステータスレジスタは最も直前に実行した演算命令の結果についての情報を含みます。この情報は条件処理を行うためのプログラムの流れ変更に使えます。ステータスレジスタは「**命令一式手引書**」で詳述したように、全てのALU操作後、更新されることに注目してください。これは多くの場合でそれ用の比較命令使用の必要をなくし、高速でより少ないコードに帰着します。

ステータスレジスタは割り込み処理ルーチン移行時の保存と割り込みからの復帰時の回復(復帰)が自動的に行われません。これはソフトウェアによって扱われなければなりません。

7.4.1. SREG – ステータス レジスタ (Status Register)

AVRのステータスレジスタ(SREG)は次のように定義されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3F (\$5F)	I	T	H	S	V	N	Z	C	SREG
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – I: 全割り込み許可 (Global Interrupt Enable)

全割り込み許可ビットは割り込みが許可されるために設定(1)されなければなりません。その時の個別割り込み許可制御は独立した制御レジスタで行われます。全割り込み許可ビットが解除(0)されると、個別割り込み許可設定に拘らず、どの割り込みも許可されません。Iビットは割り込みが起こった後にハードウェアによって解除(0)され、後続の割り込みを許可するために、**RETI**命令によって設定(1)されます。Iビットは「**命令一式手引書**」で記述されるように**SEI**や**CLI**命令で応用(プログラム)によって設定(1)や解除(0)もできます。

● ビット6 – T: ビット変数 (Bit Copy Storage)

ビット複写命令、**BLD**(Bit Load)と**BST**(Bit Store)は操作したビットの転送元または転送先として、このTビットを使います。レジスタファイルのレジスタからのビットは**BST**命令によってTに複写でき、Tのビットは**BLD**命令によってレジスタファイルのレジスタ内のビットに複写できます。

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

ハーフキャリー(H)フラグはいくつかの算術操作でのハーフキャリーを示します。ハーフキャリーはBCD演算に有用です。詳細情報については「**命令要約**」記述をご覧ください。

● ビット4 – S: 符号 (Sign Bit, S= N Ex-OR V)

Sフラグは常に負(N)フラグと2の補数溢れ(V)フラグの排他的論理和です。詳細情報については「**命令要約**」記述をご覧ください。

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

2の補数溢れ(V)フラグは2の補数算術演算を支援します。詳細情報については「**命令要約**」記述をご覧ください。

● ビット2 – N: 負フラグ (Negative Flag)

負(N)フラグは算術及び論理操作での負の結果(MSB=1)を示します。詳細情報については「**命令要約**」記述をご覧ください。

● ビット1 – Z: ゼロフラグ (Zero Flag)

ゼロ(Z)フラグは算術及び論理操作でのゼロ(0)の結果を示します。詳細情報については「**命令要約**」記述をご覧ください。

● ビット0 – C: キャリー フラグ (Carry Flag)

キャリー(C)フラグは算術及び論理操作でのキャリー(または borrow)を示します。詳細情報については「**命令要約**」記述をご覧ください。

7.5. 汎用レジスタ ファイル

このレジスタ ファイルはAVRの増強したRISC命令群用に最適化されています。必要な効率と柔軟性を達成するために、次の入出力機構がレジスタ ファイルによって支援されます。

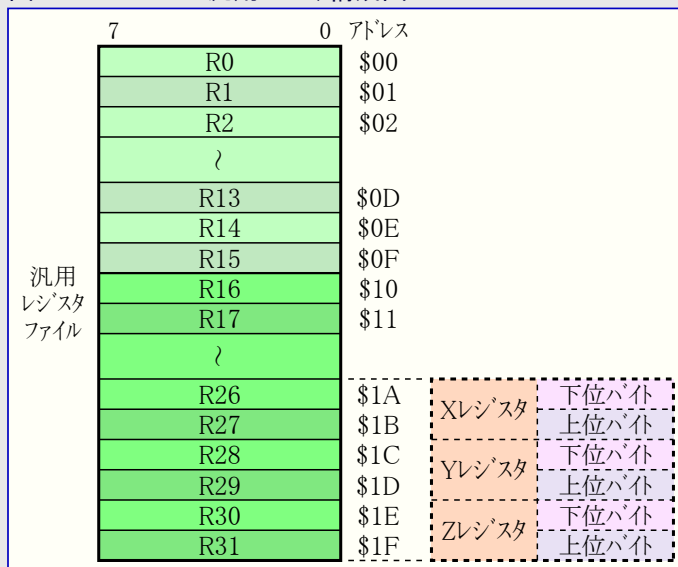
- 1つの8ビット出力オペランドと1つの8ビットの結果入力
- 2つの8ビット出力オペランドと1つの8ビットの結果入力
- 2つの8ビット出力オペランドと1つの16ビットの結果入力
- 1つの16ビット出力オペランドと1つの16ビットの結果入力

図7-2.はCPU内の32個の汎用作業レジスタの構造を示します。

レジスタ ファイルを操作する殆どの命令は全てのレジスタに直接アクセスし、それらの殆どは単一周期命令です。

図7-2.で示されるように各レジスタは使用者データ空間の最初の32位置へ直接的に配置することで、それらはデータ メモリ アドレスも割り当てられます。例えば物理的にSRAM位置として実装されていなくてもX,Y,Zレジスタ(ポインタ)がレジスタ ファイル内のどのレジスタの指示にも設定できるように、このメモリ構成は非常に柔軟なレジスタのアクセスを提供します。

図7-2. AVR CPU 汎用レジスタ構成図



7.5.1. Xレジスタ, Yレジスタ, Zレジスタ

R26～R31レジスタには通常用途の使用にいくつかの追加機能があります。これらのレジスタはデータ空間の間接アドレス指定用の16ビットアドレスポインタです。3つのX,Y,Z間接アドレスレジスタは図7-3.で記載したように定義されます。

種々のアドレス指定種別で、これらのアドレスレジスタは固定変位、自動増加、自動減少としての機能を持ちます(詳細については「命令一式手引書」をご覧ください)。

図7-3. X,Y,Zレジスタ構成図

	15	XH (上位)		XL (下位)	0
X レジスタ	7	R27 (\$1B)	0	7	R26 (\$1A)
	15	YH (上位)		YL (下位)	0
Y レジスタ	7	R29 (\$1D)	0	7	R28 (\$1C)
	15	ZH (上位)		ZL (下位)	0
Z レジスタ	7	R31 (\$1F)	0	7	R30 (\$1E)

7.6. スタック ポインタ

スタックは主に一時データの保存、局所変数の保存、割り込みとサブルーチン呼び出し後の戻りアドレスの保存に使われます。スタック ポインタレジスタは常にこのスタックの先頭(注:次に使われるべき位置)を指し示します。スタックが高位メモリから低位メモリへ伸長するように実行されることに注意してください。これはスタックへのPUSH命令はスタック ポインタを減少するという意味です。

スタック ポインタはサブルーチンや割り込みのスタックが配置されるデータSRAMのスタック領域を指し示します。データSRAM内のスタック空間はサブルーチン呼び出しの実行や割り込みの許可の何れにも先立ってプログラムによって定義されなければなりません。スタック ポインタは\$200以上を指示するように設定されなければなりません。スタック ポインタの初期値は内蔵SRAMの最終アドレスです。スタック ポインタはPUSH命令でデータがスタックに格納されると-1され、サブルーチン呼び出しや割り込みで戻りアドレスがスタックに格納されると、ATmega640/1280/1281については-2、ATmega2560/2561については-3されます。スタック ポインタはPOP命令でデータがスタックから引き出されると+1され、サブルーチンからの復帰(RET)命令や割り込みからの復帰(RETI)命令でアドレスがスタックから引き出されると、ATmega640/1280/1281については+2、ATmega2560/2561については+3されます。

AVRのスタック ポインタはI/O空間内の2つの8ビットレジスタとして実装されます。実際に使われるビット数は(そのデバイス)実装に依存します。SPLだけが必要とされる程に小さいAVR構造の実装(デバイス)のデータ空間もあることに注意してください。その場合、SPHレジスタは存在しません。

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$3E (\$5E)	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	SPH
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	1	0	0	0	0	1	
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3D (\$5D)	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	SPL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	1	1	1	1	1	1	1	1	

7.6.1. RAMPZ – Zポイント拡張レジスタ (Extended Z-pointer Register for ELPM/SPM)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3B (\$5B)	–	–	–	–	–	–	RAMPZ1	RAMPZ0	RAMPZ
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

ELPMとSPM命令に対して、Zポイントは図7-4.で示されるようにRAMPZ,ZH,ZLが連結されます。LPM命令がRAMPZ設定により影響を及ぼされないことに注意してください。

図7-4. ELPMとSPMによって使用されるZポイント

	23	16	15	8	7	0
Zポイント	7	RAMPZ	0	7	ZH	0
	7			0	7	ZL
						0

実際のビット数は実装に依存します。実装での未使用ビットは常に0として読みます。将来のデバイスとの互換性のため、これらのビットへ0を書くことに注意してください。

7.6.2. EIND – 間接拡張レジスタ (Extended Indirect Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3C (\$5C)	–	–	–	–	–	–	EIND1	EIND0	EIND
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

EICALLとEIJMP命令に対して、ルーチン/サブルーチンへの間接ポイントは図7-5.で示されるようにEIND,ZH,ZLが連結されます。ICALLとIJMP命令がEIND設定により影響を及ぼされないことに注意してください。

図7-5. EICALLとEIJMPによって使用される間接ポイント

	23	16	15	8	7	0
間接ポイント	7	EIND	0	7	ZH	0
				0	7	ZL
						0

実際のビット数は実装に依存します。実装での未使用ビットは常に0として読みます。将来のデバイスとの互換性のため、これらのビットへ0を書くことに注意してください。

7.7. 命令実行タイミング

本項は命令実行の一般的なアクセスタイミングの概念を記述します。AVR CPUはチップ(デバイス)用に選んだクロック元から直接的に生成したCPUクロック(clk_{CPU})によって駆動されます。内部クロック分周は使われません。

図7-6.はハードウェア構造と高速アクセスレジスタファイルの概念によって可能とされる並列の命令取得と命令実行を示します。これは機能対費用、機能対クロック、機能対電源部に関する好結果と対応するMHzあたり1 MIPSを達成するための基本的なパイプラインの概念です。

図7-7.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へ書き戻されます。

図7-6. 命令の取得と実行の並列動作

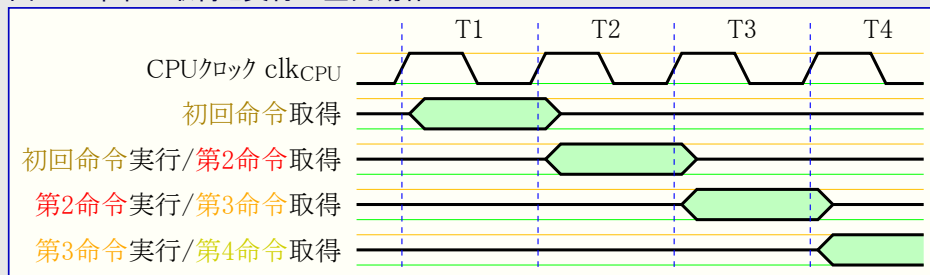
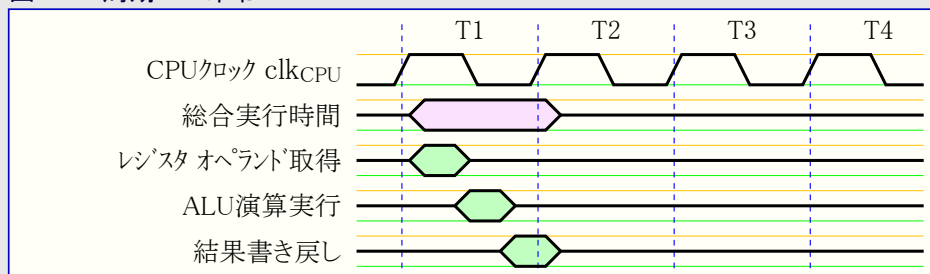


図7-7. 1周期ALU命令



7.8. リセットと割り込みの扱い

AVRは多くの異なる割り込み元を提供します。これらの割り込みと独立したリセット ベクタ各々はプログラム メモリ空間内に独立したプログラム ベクタを持ちます。全ての割り込みは割り込みを許可するために、**ステータスレジスタ(SREG)**の**全割り込み許可(I)ビット**と共に論理**1**が書かれなければならない個別の許可ビットを割り当てられます。BLB02またはBLB12 プート施錠ビットがプログラム**(0)**されると、プログラム カウンタ値によっては割り込みが自動的に禁止されるかもしれません。この特質はソフトウェア保護を改善します。詳細については218頁の「**メモリ フロッシング**」章をご覧ください。

既定でのプログラム メモリ空間の最下位アドレスはリセットと割り込みのベクタとして定義されます。ベクタの完全な一覧は46頁の「**割り込み**」で示されます。この一覧は各種割り込みの優先順位も決めます。下位側アドレスがより高い優先順位です。リセットが最高優先順位で次が外部割り込み要求0(INT0)です。割り込みベクタは**MCU制御レジスタ(MCUCR)**の**割り込みベクタ選択(IVSEL)ビット**の設定**(1)**によって**ブートフラッシュ領域先頭**へ移動できます。より多くの情報については46頁の「**割り込み**」を参照してください。リセット ベクタも**BOOTRST**ヒューズのプログラム**(0)**によってブートフラッシュ領域先頭へ移動できます。208頁の「**ブート ロータ支援 - 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング**」をご覧ください。

割り込みが起こると全割り込み許可(I)ビットが解除**(0)**され、全ての割り込みは禁止されます。使用者ソフトウェアは多重割り込みを許可するため、全割り込み許可(I)ビットへ論理**1**を書けます。その後全ての許可した割り込みが現在の割り込みルーチンで割り込めます。全割り込み許可(I)ビットは割り込みからの復帰(**RETI**)命令が実行されると、自動的に設定**(1)**されます。

根本的に2つの割り込み形式があります。1つ目の形式は割り込み要求フラグを設定**(1)**する事象によって起動されます。これらの割り込みでは割り込み処理ルーチンを実行するために、プログラム カウンタは対応する現実の割り込みベクタを指示し、ハードウェアが対応する割り込み要求フラグを解除**(0)**します。割り込み要求フラグは解除**(0)**されるべきフラグのビット位置へ論理**1**を書くことによって解除**(0)**できます。対応する割り込み許可ビットが解除**(0)**されている間に割り込み条件が起こると、割り込み要求フラグが設定**(1)**され、割り込みが許可されるか、またはこのフラグがソフトウェアによって解除**(0)**されるまで記憶(保持)されます。同様に、全割り込み許可(I)ビットが解除**(0)**されている間に1つまたはより多くの割り込み条件が起こると、対応する割り込み要求フラグが設定**(1)**されて全割り込み許可(I)ビットが設定**(1)**されるまで記憶され、その(I=**1**)後で優先順に従って実行されます。

2つ目の割り込み形式は割り込み条件が存在する限り起動し(続け)ます。これらの割り込みは必ずしも割り込み要求フラグを持っているとは限りません。割り込みが許可される前に割り込み条件が消滅すると、この割り込みは起動されません。

AVRが割り込みから抜け出すと常に主プログラムへ戻り、何れかの保留割り込みが扱われる前に1つ以上の命令を実行します。

ステータスレジスタ(SREG)は割り込みルーチンへ移行時の保存も、復帰時の再設定も自動的に行われないうことに注意してください。これはソフトウェアによって扱われなければなりません。

割り込みを禁止するために**CLI**命令を使うと、割り込みは直ちに禁止されます。**CLI**命令と同時に割り込みが起こっても、**CLI**命令後に割り込みは実行されません。次例は時間制限EEPROM書き込み手順中に割り込みを無効とするために、これがどう使えるかを示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
IN      R16, SREG          ;ステータスレジスタを保存
CLI     ;EEPROM書き込み手順中割り込み禁止
SBI     EECR, EEMPE        ;EEPROM主書き込み許可
SBI     EECR, EEPE         ;EEPROM書き込み開始
OUT     SREG, R16         ;ステータスレジスタを復帰
```

C言語プログラム例

```
char cSREG;                /* ステータスレジスタ保存変数定義 */
cSREG = SREG;              /* ステータスレジスタを保存 */
__disable_interrupt();     /* EEPROM書き込み手順中割り込み禁止 */
EECR |= (1<<EEMPE);       /* EEPROM主書き込み許可 */
EECR |= (1<<EEPE);        /* EEPROM書き込み開始 */
SREG = cSREG;              /* ステータスレジスタを復帰 */
```

割り込みを許可するために**SEI**命令を使うと、次例で示されるようにどの保留割り込みにも先立って**SEI**命令の次の命令が実行されます。

アセンブリ言語プログラム例

```
SEI     ;全割り込み許可
SLEEP   ;休止形態移行(割り込み待ち)
```

C言語プログラム例

```
__enable_interrupt();      /* 全割り込み許可 */
__sleep();                 /* 休止形態移行(割り込み待ち) */
```

注: SLEEP命令までは割り込み禁止、保留割り込み実行前に休止形態へ移行します。

7.8.1. 割り込み応答時間 (訳注) 本頁下部の注意参照

許可した全てのAVR割り込みに対する割り込み実行応答は最小5クロック周期です。5クロック周期後、実際の割り込み処理ルーチンに対するプログラム ベクタ アドレスが実行されます。この5クロック周期時間中にプログラム カウンタ(PC)がスタック上に保存(プッシュ)されます。このベクタは標準的に割り込み処理ルーチンへの無条件分岐で、この分岐は3クロック周期要します。複数周期命令実行中に割り込みが起こると、その割り込みが扱われる前に、この命令が完了されます。MCUが休止形態の時に割り込みが起こると、割り込み実行応答時間は5クロック周期増やされます。この増加は選んだ休止形態からの起動時間に加えてです。

割り込み処理ルーチンからの復帰は5クロック周期要します。これらの5クロック周期中、プログラム カウンタ(PC:3バイト)がスタックから取り戻され(ポップ)、スタック ポインタは増加され(+3)、ステータス レジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されます。

(訳注) 原書の本項記述はATmega2560/2561に対する記述です。「スタック ポインタ」記述のようにPCのバイト数はATmega2560/2561が3ですが、ATmega640/1280/1281は2です。従ってATmega640/1280/1281の場合、「割り込み応答時間」記述でのクロック数5は4、スタック ポインタ補正值+3は+2です。

8. AVR メモリ

この項はATmega640/1280/1281/2560/2561の各種メモリを記述します。AVR構造にはプログラムメモリ空間とデータメモリ空間の2つの主なメモリ空間があります。加えてATmega640/1280/1281/2560/2561はデータ保存用EEPROMメモリが特徴です。3つのメモリ空間全ては一般的な直線的アドレスです。

8.1. 実装自己書き換え(ISP: In-System Program)可能なプログラム用フラッシュメモリ

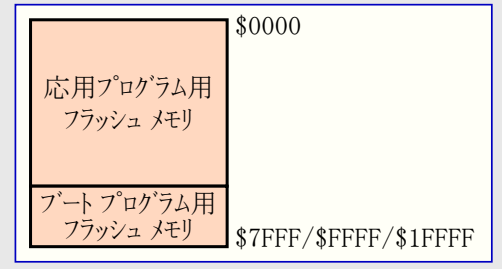
ATmega640/1280/1281/2560/2561はプログラム保存用に、実装書き換え可能な64/128/256Kバイトのフラッシュメモリをチップ上に含みます(図8-1参照)。全てのAVR命令が16または32ビット幅のため、このフラッシュメモリは32/64/128K×16ビットとして構成されます。ソフトウェア保護のため、フラッシュプログラムメモリ空間はブートプログラム領域と応用プログラム領域の2つに分けられます。

フラッシュメモリは最低10,000回の消去/書き込み回数の耐久性があります。ATmega640/1280/1281/2560/2561のプログラムカウンタ(PC)は15/16/17ビット幅で、従って32/64/128Kプログラムメモリ位置のアドレス指定です。ブートプログラム領域の操作と関係するソフトウェア保護用ブート施錠ビットは208頁の「ブートローダ支援 - 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング」の詳細で記述されます。218頁の「メモリプログラミング」はSPI、JTAG、並列プログラミング動作でのフラッシュメモリプログラミングの詳細な記述を含みます。

定数表は全てのプログラムメモリアドレス空間に配置できます。(LPM命令とELPM命令記述参照)

命令の取得と実行のタイミング図は14頁の「命令実行タイミング」で示されます。

図8-1. プログラムメモリ配置図



8.2. データ用SRAMメモリ

図8-2はATmega640/1280/1281/2560/2561のSRAMメモリ構成方法を示します。

ATmega640/1280/1281/2560/2561はINやOUT命令で予約した64位置で支援されるより多くの周辺機能部を持つ複合マイクロコントローラです。SRAM(データ空間)内\$60～\$1FFの拡張I/O空間に対してLD/LDS/LDDとST/STS/STD命令だけが使えます。

下位8704データメモリ位置はレジスタファイル、I/Oメモリ、拡張I/Oメモリ、データ用内蔵SRAMに充てます。先頭の32位置はレジスタファイル、次の64位置は標準I/Oメモリ、その次の416位置は拡張I/Oメモリ、そして次の8192位置はデータ用内蔵SRAMに充てます。

任意の外部データSRAMがATmega640/1280/1281/2560/2561で使えます。このSRAMは64Kアドレス空間内の残りのアドレス領域を占有します。この領域は内蔵SRAMに続くアドレスから始まります。レジスタファイル、I/O領域、拡張I/O領域、内蔵SRAMが最下位8704バイトを占有するので、64K(65536)バイトの外部メモリ使用時、56832バイトの外部メモリが利用可能です。外部メモリ配置の利用法の詳細については21頁の「外部メモリインターフェース」をご覧ください。

アドレスが内部データメモリ領域を越えるSRAMメモリ空間をアクセスするとき、外部データSRAMは内部データメモリアクセスと同じ命令を使ってアクセスされます。内部データメモリがアクセスされるとき、読みと書きのストロブピン(PG1とPG0)はそのアクセス周期中全てで無効です。外部SRAM操作は外部メモリ制御レジスタA(XMCRA)の外部SRAM許可(SRE)ビットの設定(1)によって許可されます。

外部SRAMのアクセスは内蔵SRAMのアクセスに比べ1バイト毎に1追加クロック周期を要します。これは(外部SRAMへの)LD,ST,LDS,STS,LDD,STD,PUSH,POP命令が1追加クロック周期を要することを意味します。スタックが外部SRAMに配置されると、割り込みやサブルーチンの呼び出し/復帰時、3バイトのプログラムカウンタ(PC)が保存(プッシュ)/復帰(ポップ)され、そして内部メモリアクセスでのパイプラインの優位性がなくなるため、3クロック周期の追加を要します。待ち状態付きで外部メモリインターフェースが使われると、1バイトの外部アクセスは1,2,3待ち状態に対し、各々(内部SRAMアクセスに対して)2,3,4追加クロック周期を要します。割り込みやサブルーチンの呼び出しと復帰は1,2,3待ち状態に対し、命令一式手引書で示される値よりも5,7,9クロック周期多く必要です。

直接、間接、変位付き間接、事前減少付き間接、事後増加付き間接の5つの異なるアドレス指定種別でデータメモリ(空間)を網羅します。レジスタファイル内のレジスタR26～R31は間接アドレス指定ポインタ用レジスタが特徴です。

直接アドレス指定はデータ空間全体に届きます。

変位付き間接動作はYまたはZレジスタで与えられる基準アドレスからの63アドレス位置に届きます。

自動の事前減少付きと事後増加付きのレジスタ間接アドレス指定動作を使う時に(使われる)X,Y,Zアドレスレジスタは減少(-1)または増加(+1)されます。

ATmega640/1280/1281/2560/2561の32個の汎用レジスタ、64個のI/Oレジスタ、416個の拡張I/Oレジスタ、8192バイトのデータ用内蔵SRAMはこれら全てのアドレス指定種別を通して全部アクセスできます。レジスタファイルは13頁の「汎用レジスタファイル」で記述されます。

図8-2. データ空間とSRAMの配置

		アドレス
レジスタファイル (32×8)	R0 ～ R31	\$0000 ～ \$001F
I/O レジスタ (64×8)	\$00 ～ \$3F	\$0020 ～ \$005F
拡張I/O レジスタ (416×8)	\$0060 ～ \$01FF	\$0060 ～ \$01FF
内蔵 SRAM (8192×8)	\$0200 ～ \$21FF	\$0200 ～ \$21FF
外部 SRAM (0～55.5K×8)	\$2200 ～ \$FFFF	\$2200 ～ \$FFFF

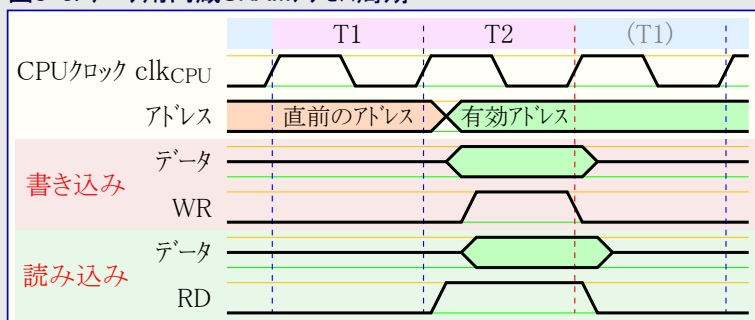
注: 赤字はI/Oアドレス

8.2.1. データメモリアクセスタイミング

本節は内部メモリアクセスに対する一般的なアクセスタイミングの概念を記述します。データ用内蔵SRAMアクセスは図8-3.で記載されるように2 clk_{CPU} 周期で実行されます。

(訳注) 内蔵SRAMのアクセスを含む代表的な命令はT1,T2の2周期で実行され、T1で対象アドレスを取得/(算出)/確定し、T2で実際のアクセスが行われます。後続する(T1)は次の命令のT1です。

図8-3. データ用内蔵SRAMアクセス周期



8.3. データ用EEPROMメモリ

ATmega640/1280/1281/2560/2561は4KバイトのデータEEPROMを含みます。それは単一バイトが読み書きできる分離したデータ空間として構成されます。EEPROMは最低100,000回の消去/書き込み回数の耐久性があります。CPUとEEPROM間のアクセスは以降のEEPROMアドレスレジスタ、EEPROMデータレジスタ、EEPROM制御レジスタで詳細に記述されます。

EEPROMのSPI、JTAG、並列プログラミングの詳細記述については各々230頁の「直列プログラミング」、233頁の「JTAG経由プログラミング」、221頁の「並列プログラミング」をご覧ください。

8.3.1. EEPROMアクセス

EEPROMアクセスレジスタはI/O空間でアクセス可能です。25頁の「メモリ関係レジスタ」をご覧ください。

EEPROMの書き込み(訳注:原文はアクセス)時間は表8-2.で与えられます。(書き込み)は自己タイミング機能ですが、使用者ソフトウェアは次バイトが書ける時を検知してください。使用者コードがEEPROMに書く命令を含む場合、いくつかの予防処置が取られなければなりません。厳重に濾波した電源では電源投入/切断でVCCが緩やかに上昇または下降しそうです。これはデバイスが何周期かの時間、使われるクロック周波数に於いて最小として示されるより低い電圧で走行する原因になります。これらの状態で問題を避ける方法の詳細については19頁の「EEPROMデータ化けの防止」をご覧ください。

予期せぬEEPROM書き込みを防止するため、特別な書き込み手順に従わなければなりません。この詳細については25頁の「メモリ関係レジスタ」の「EEPROM制御レジスタ」の記述を参照してください。

EEPROMが読まれると、CPUは次の命令が実行される前に4クロック周期停止されます。EEPROMが書かれると、CPUは次の命令が実行される前に2クロック周期停止されます。

EEPROMアクセスの時間に校正済み内蔵RC発振器が使われます。表8-1.はCPUからのEEPROMアクセスに対する代表的な書き込み時間を示します。

表8-1. EEPROM書き込み時間

項目	校正付き内蔵RC発振器周期数	代表
EEPROM書き込み(CPU)	26,368	3.3ms

次のコード例はアセンブリ言語とC言語でのEEPROM消去、書き込み、または非分離書き込み関数を示します。本例は(例えば全割り込み禁止によって)割り込みが制御され、これらの関数実行中に割り込みが起きない前提です。本例はソフトウェア内にフラッシュブートローダが無い前提でもあります。そのようなコードが存在する場合、EEPROM書き込み関数は何れかが実行するSPM命令の完了も待たねばなりません。(訳注:共通性から次例は補足修正しています。)

アセンブリ言語プログラム例

```
EEPROM_WR:  SBIC    EECR, EEPE          ;EEPROMプログラミング完了ならばスキップ
             RJMP    EEPROM_WR        ;以前のEEPROMプログラミング完了まで待機
;
             LDI     R19, (0<<EEPM1) | (0<<EEPM0) ;プログラミング種別値取得(本例は非分離)
             OUT     EECR, R19         ;対応プログラミング種別設定
             OUT     EEARH, R18        ;EEPROMアドレス上位バイト設定
             OUT     EEARL, R17        ;EEPROMアドレス下位バイト設定
             OUT     EEDR, R16         ;EEPROM書き込み値を設定
             SBI     EECR, EEMPE       ;EEPROM主プログラム許可ビット設定
             SBI     EECR, EEPE        ;EEPROMプログラミング開始(プログラム許可ビット設定)
             RET                       ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void EEPROM_write(unsigned int uiAddress, unsigned char ucData)
{
    while(EECR & (1<<EEPE));           /* 以前のEEPROMプログラミング完了まで待機 */
    EECR = (0<<EEPM1) | (0<<EEPM0);    /* 対応プログラミング種別設定 */
    EEAR = uiAddress;                   /* EEPROMアドレス設定 */
    EEDR = ucData;                     /* EEPROM書き込み値を設定 */
    EECR |= (1<<EEMPE);                 /* EEPROM主プログラム許可 */
    EECR |= (1<<EEPE);                 /* EEPROMプログラミング開始 */
}
```

次のコード例はアセンブリ言語とC言語でのEEPROM読み込み関数を示します。本例は割り込みが制御され、これらの関数実行中に割り込みが起きない前提です。

アセンブリ言語プログラム例

```
EEPROM_RD:  SBIC    EECR, EEPE          ;EEPROMプログラミング完了ならばスキップ
             RJMP    EEPROM_RD        ;以前のEEPROMプログラミング完了まで待機
;
             OUT     EEARH, R18        ;EEPROMアドレス上位バイト設定
             OUT     EEARL, R17        ;EEPROMアドレス下位バイト設定
             SBI     EECR, EERE        ;EEPROM読み出し開始(読み込み許可ビット設定)
             IN      R16, EEDR         ;EEPROM読み出し値を取得
             RET                       ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
unsigned char EEPROM_read(unsigned int uiAddress)
{
    while(EECR & (1<<EEPE));           /* 以前のEEPROMプログラミング完了まで待機 */
    EEAR = uiAddress;                   /* EEPROMアドレス設定 */
    EECR |= (1<<EERE);                 /* EEPROM読み出し開始 */
    return EEDR;                       /* EEPROM読み出し値を取得,復帰 */
}
```

8.3.2. EEPROMデータ化けの防止

低VCCの期間中、正しく動作するための供給電圧がCPUとEEPROMに対して低すぎるためにEEPROMデータが化け得ます。これらの問題はEEPROMを使う基板段階の装置と同じで、同じ設計上の解決策が適用されるべきです。

EEPROMデータ化けは電圧が低すぎる時の2つの状態によって起こされ得ます。1つ目として、EEPROMへの通常の書き込み手順は正しく動作するための最低電圧が必要です。2つ目として、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。

EEPROMデータ化けは次の推奨設計によって容易に避けられます。

不十分な供給電源電圧の期間中、AVRのRESETを活性(Low)に保ってください。これは内蔵低電圧検出器(BOD)を許可することによって行えます。内蔵BODの検出電圧が必要とした検出電圧と一致しない場合、外部低VCCリセット保護回路が使えます。書き込み動作実行中にリセットが起ると、この書き込み操作は供給電源電圧が充分ならば(継続)完了されます。

8.4. I/O メモリ (レジスタ)

ATmega640/1280/1281/2560/2561のI/O空間定義は268頁の「[レジスタ要約](#)」で示されます。

ATmega640/1280/1281/2560/2561の全てのI/Oと周辺機能はI/O空間に配置されます。全てのI/O位置はI/O空間と32個の汎用作業レジスタ間のデータ転送を行うLD/LDS/LDD命令とST/STS/STD命令によってアクセスされます。アドレス範囲\$00～\$1F内のI/OレジスタはSBI命令とCBI命令の使用で直接的にビットアクセス可能です。これらのレジスタではSBISとSBIC命令の使用によって単一ビット値が検査できます。より多くの詳細については「[命令要約](#)」章を参照してください。I/O指定命令INとOUTを使う時はI/Oアドレス\$00～\$3Fが使われなければなりません。LD命令とST命令を使い、データ空間としてI/Oレジスタをアクセスする時はこれらのアドレスに\$20が加算されなければなりません。

ATmega640/1280/1281/2560/2561はINやOUT命令で予約された64位置で支援されるより多くの周辺機能部を持つ複合マイクロコントローラです。SRAM(データ空間)内\$60～\$1FFの拡張I/O領域に対してはLD/LDS/LDDとST/STS/STD命令だけが使えます。

将来のデバイスとの共通性を保つため、アクセスされる場合、予約ビットは0が書かれるべきです。予約済みI/Oメモリアドレスは決して書かれるべきではありません。

状態フラグのいくつかはそれらへ論理1を書くことによって解除(0)されます。CBIとSBI命令は他の多くのAVRの様ではなく、指定ビットだけを操作し、従って状態フラグのようなものを含むレジスタに使えることに注意してください。CBIとSBI命令は(I/Oアドレス)\$00～\$1Fのレジスタでのみ動作します。

I/Oと周辺制御レジスタは以降の項で説明されます。

8.4.1. 汎用I/Oレジスタ

ATmega640/1280/1281/2560/2561は3つの汎用I/Oレジスタを含みます。これらのレジスタはどの情報の格納にも使え、特に全体変数や状態フラグの格納に有用です。(I/O)アドレス範囲\$00～\$1Fの汎用I/OレジスタはSBI,CBI,SBIS,SBIC命令の使用で直接ビットアクセスが可能です。25頁の「[メモリ関係レジスタ](#)」をご覧ください。

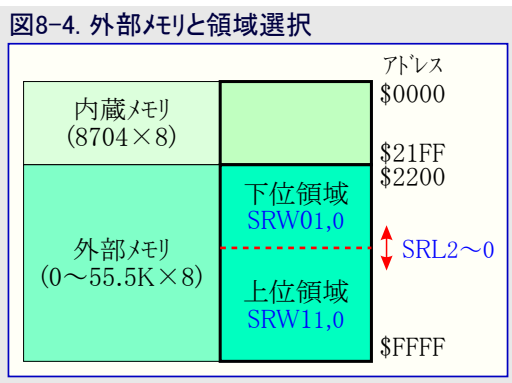
8.5. 外部メモリ インターフェース

外部メモリ インターフェースが提供する全ての機能で、LCD表示器やA/D、D/Aのような周辺装置や、外部SRAMやフラッシュメモリのようなメモリデバイスへのインターフェースとしての動作に上手く仕立てられます。主な特徴を次に示します。

- ・ 4つの異なる待ち状態設定(含む待ち状態なし)
- ・ 異なる外部メモリ領域(領域容量設定可)に対する個別の待ち状態設定
- ・ アドレス上位バイトに割り当てるビット数が選択可能
- ・ 消費電流を最小とするため、データ線のバス保持機能(任意選択)

8.5.1. 概要

外部メモリ(XMEM)が許可されると、内蔵SRAMを越えるアドレス空間は割り当てた外部メモリピンを使うことが利用可能になります(5頁の「ピン配置」、59頁の表14-3、62頁の表14-9、69頁の表14-21をご覧ください)。メモリ設定は図8-4で示されます。



8.5.2. 外部メモリ インターフェースの使用

このインターフェースは以下から成ります。

- ・ AD7~0 : 交互切り替えされた下位アドレスバスとデータバス
- ・ A15~8 : 上位アドレスバス(ビット数設定可能)
- ・ ALE : アドレスラッチ許可信号
- ・ \overline{RD} : 読み出しストロブ信号
- ・ \overline{WR} : 書き込みストロブ信号

外部メモリ(XMEM)インターフェースに関する制御ビットは外部メモリ制御レジスタA(XMCRA)と外部メモリ制御レジスタB(XMCRB)の2つのレジスタに配置されます。

XMEMインターフェースが許可されると、このインターフェースに割り当てたポートに対応するデータ方向レジスタ設定を無効にします。このポートの無効化についての詳細に関しては55頁の「入出力ポート」章の交換機能をご覧ください。XMEMインターフェースはアクセスが内部または外部どちらかを自動的に検知します。アクセスが外部の場合、XMEMインターフェースは図8-6(本図は待ち状態なしの波形を示す)に従ったアドレス、データ、制御信号を出力します。ALEがHigh→Low(下降)になるとAD7~0上のアドレスが有効です。データ転送中、ALEはLowです。XMEMインターフェースが許可されると、内部アクセスでも同様にアドレス、データ、ALEポートの動きを引き起こしますが、内部アクセス中、 \overline{RD} と \overline{WR} ストロブは切り替わりません。外部メモリインターフェースが禁止されると、標準ピンとデータ方向設定が使われます。XMEMインターフェースが禁止される時に内蔵SRAM境界以上のアドレス空間が内蔵SRAMに割り当てられないことに注意してください。図8-5はGがHighの時に透過(通過:トランスパレント)となる8ビットのラッチ(一般的には74xx573または同等品)を使うAVRと外部SRAMの接続法を図解します。

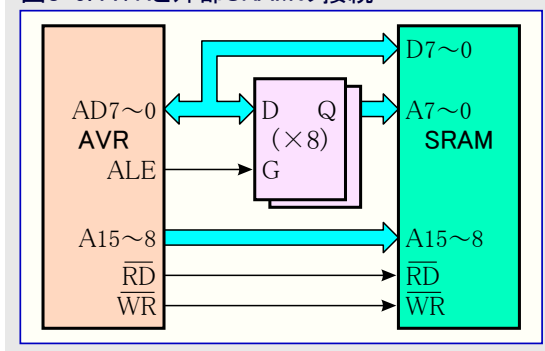
8.5.3. アドレス ラッチの必要性

XMEMインターフェースの高速動作のため、アドレスラッチは4MHz/2.7V、8MHz/4V以上のシステム周波数に対し、注意して選ばれなければなりません。これらの周波数以上の条件で動作するとき、代表的な旧デバイス74HCシリーズのラッチは不適切になります。外部メモリインターフェースは74AHCシリーズのラッチに適応するように設計されています。けれども主なタイミングパラメータに対応してさえいれば、多くのラッチが使えます。アドレスラッチについての主なパラメータは次のとおりです。

- ・ DからQへの伝播遅延時間 (t_{PD}) (訳注) 記号はAVR側ではなく、一般的なラッチデバイス側での記号です。
- ・ G下降端に対するデータ準備時間 (t_{SU})
- ・ G下降後のデータ(アドレス)保持遅延時間 (t_H)

外部メモリインターフェースはGがLowにされた後、 $t_H=5ns$ の最小アドレス保持時間を保証するように設計されています(247～249頁、表30-11.～18.の t_{LAXX_LD} と t_{LAXX_ST} を参照してください)。DからQへの伝播遅延時間(t_{PD})は外部部品のアクセス時間必要条件を計算する時に考慮されなければなりません。G=Low(下降)前のデータ準備時間(t_{SU})はALE=Low(下降)前のアドレス有効時間(t_{AVLLC})－PCB配線遅延(容量性負荷に依存)を越えてはいけません。

図8-5. AVRと外部SRAMの接続



8.5.4. プルアップとバス保持機能

AD7～0ポートのプルアップ抵抗は対応するポートレジスタが1を書かれると、活性(有効)にできます。休止形態で消費電力を削減するために、休止形態移行前にポートレジスタへ0を書くことによってプルアップを禁止することが推奨されます。

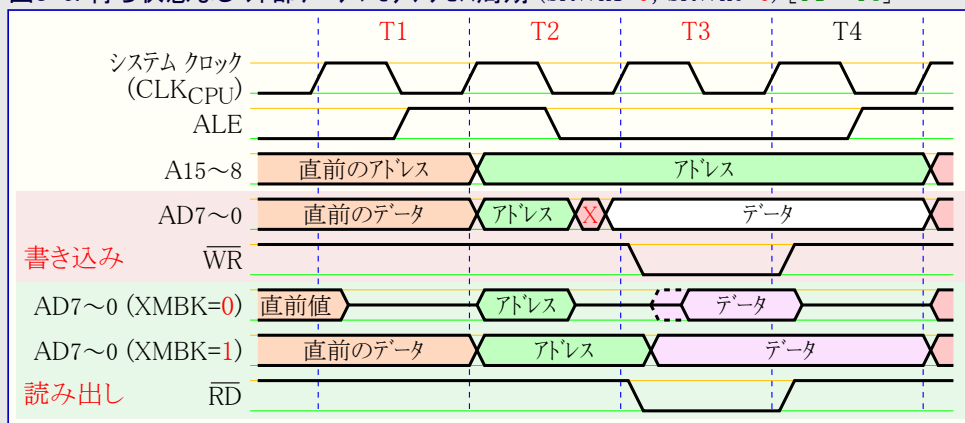
XMEMインターフェースはAD7～0線のバス保持機能も提供します。バス保持機能は28頁の「XMCRB – 外部メモリ制御レジスタB」で記述されるようにプログラムで許可と禁止ができます。許可されると、(本来)これらの線がXMEMインターフェースによりHi-Zとされる間中、バス保持機能はAD7～0バスで直前の値を保持します。

8.5.5. タイミング

外部メモリデバイスは様々なタイミング必要条件を持ちます。これらの必要条件に合わせるため、XMEMインターフェースは表8-4.に示される4つの異なる待ち状態を提供します。この待ち状態選択前に外部メモリデバイスのタイミング特性を考慮することが大事です。重要なパラメータの多くは必要条件設定に関連する外部メモリのアクセス時間です。外部メモリのアクセス時間はチップ選択とアドレスを受け取ってから、そのアドレスのデータがバス上で実際に駆動されるまでの時間で定義されます。このアクセス時間はALEパルスがLowにされてから読み出し手順中にデータが安定にならなければならないまでの時間(247～249頁の表30-11.～18.の $t_{LLRL}+t_{LRH}-t_{DVRH}$)を超えることはできません。各種値状態はソフトウェアで設定されます。付加機能として、外部メモリ空間を個別に待ち状態設定できる2つの領域に分割することが可能です。これは異なるタイミング必要条件の2つの異なるメモリデバイスを同じXMEMインターフェースに接続することを可能にします。XMEMインターフェースの詳細タイミングについては247頁からの表30-11.～18.と図30-9.～12.を参照してください。

XMEMインターフェースは非同期で、次の図の波形が内部システムクロックに関連することに注意してください。内部と外部(XTAL1)のクロック間のズレは保証されません(デバイス、温度、供給電圧間で一様でない)。従ってXMEMインターフェースは同期動作用ではありません。

図8-6. 待ち状態なし 外部データメモリアクセス周期 (SRWn1=0, SRWn0=0) [T1~T3]



共通注意事項

SRWn1はSRW11(上位領域)またはSRW01(下位領域)、SRWn0はSRW10(上位領域)またはSRW00(下位領域)です。

[T1~Tn]は図での命令実行周期範囲です。

Xは値変更区間を示します。

最終周期のALEは次命令がRAM(内部または外部)をアクセスする場合だけ存在します。また、最後の周期のアドレスとデータの変更区間の有無も同様です。

図8-7. 1待ち状態 外部データメモリアクセス周期 (SRWn1=0, SRWn0=1) [T1~T4]

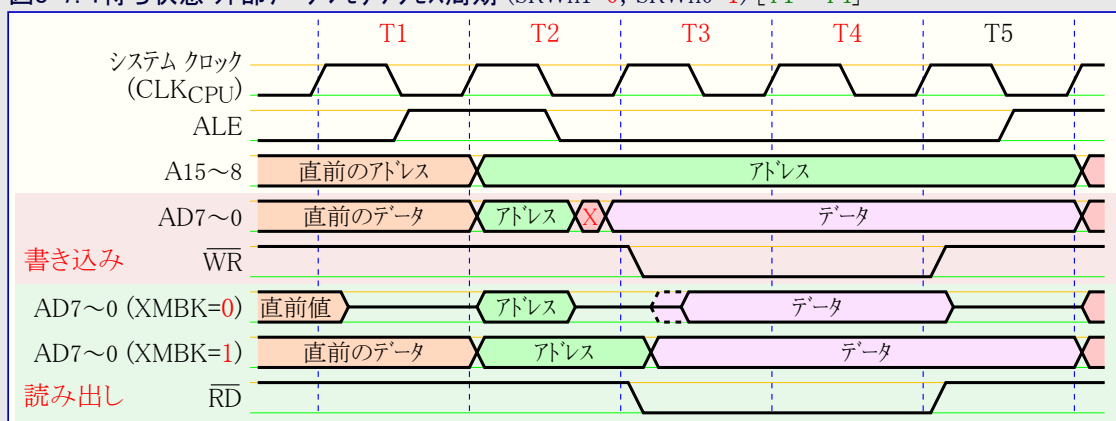


図8-8. 2待ち状態 外部データメモリアクセス周期 (SRWn1=1, SRWn0=0) [T1~T5]

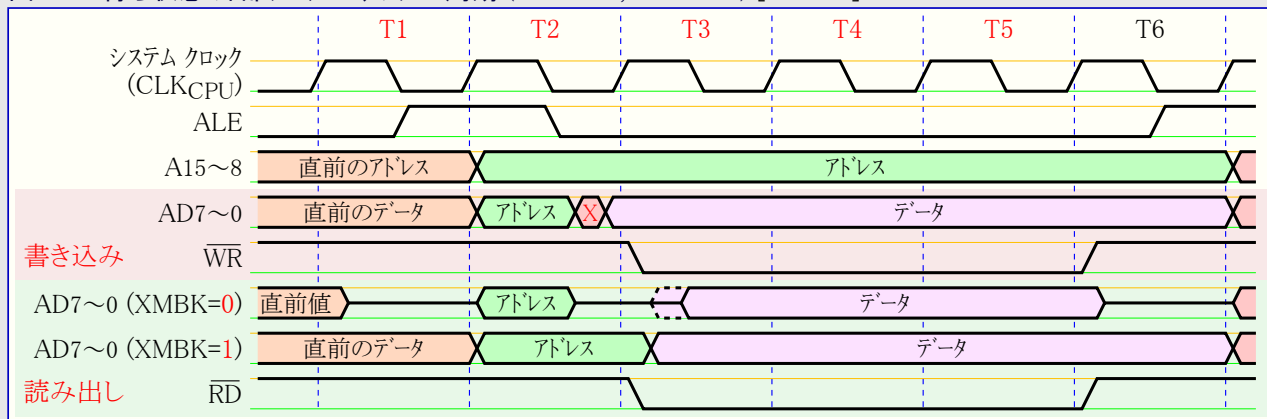
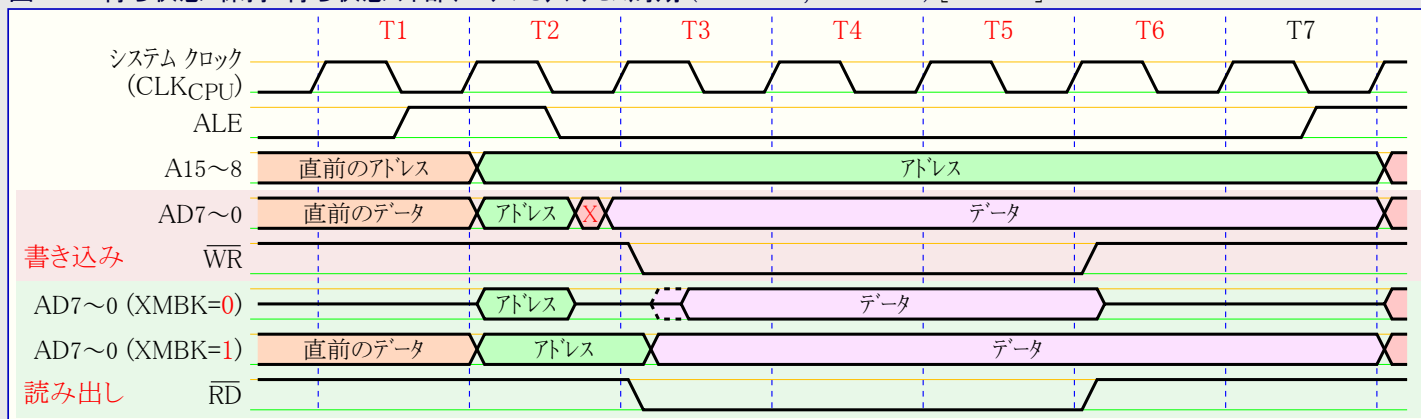


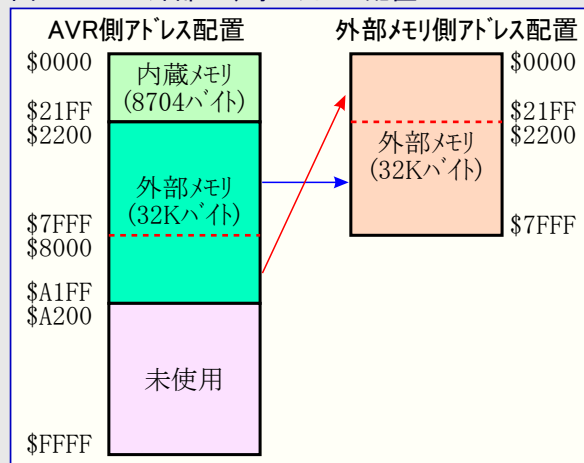
図8-9. 2待ち状態+保持1待ち状態 外部データメモリアクセス周期 (SRWn1=1, SRWn0=1) [T1~T6]



8.5.6. 64Kバイト未満外部メモリの全域使用

外部メモリは図8-4.で示されるように内部メモリの後に配置されるため、データ空間の最初の8704バイトをアドレス指定するとき、外部メモリは指定されません。外部メモリの最初の8704バイト(外部アドレス\$0000～\$21FF)がアクセスできないと思われるかもしれませんが。けれども64Kバイトより小さな外部メモリを接続するとき、例えば32Kバイトで、これらの位置は単純なアドレス\$8000～\$A1FF指定によって容易にアクセスされます。外部メモリアドレスA15ビットは外部メモリに接続されず、アドレス\$8000～\$A1FFは外部メモリに対するアドレス\$0000～\$21FFとして見えます。\$A1FFを超えるアドレス指定は、これが他の(下位側)アドレスによって既にアクセスされる外部メモリ位置のアドレス指定のため推奨されません。応用ソフトウェアにとって、この外部32Kバイトメモリは\$2200～\$A1FFの1つの直線的な32Kバイトアドレス空間として見えます。これは図8-10.で図解されます。

図8-10. 32K外部メモリ時のアドレス配置



8.5.7. 外部メモリの全64Kバイト位置の使用

外部メモリは図8-4.で示されるように内部メモリの後に配置されるため、既定では外部メモリの55.5Kバイトだけが利用可能です(アドレス空間\$0000～\$21FFは内部メモリ用に予約されます)。けれども上位アドレスビットを0で遮蔽することにより、外部メモリ全体を利用することが可能です。これはXMMnビットを使い、アドレスの最上位側ビットをソフトウェアによって制御することで行えます。ポートCを\$00出力に設定し、上位側ビットを標準ポートピン動作作用に開放することにより、メモリインターフェースは\$0000～\$3FFFをアドレス指定します。以下のコード例をご覧ください。

アセンブリ言語プログラム例

```
.EQU    OFFSET=$4000                                ; 切り替え点アドレス定義
;
LDI     R16, $00                                     ; [ポートC初期化]
OUT     PORTC, R16                                  ; ポート出力値を取得
LDI     R16, $FF                                     ; アドレス最上位側ビット値全0設定
OUT     DDRC, R16                                    ; ポート方向全出力値を取得
;
LDI     R16, (1<<XMM1)                               ; アドレス上位バイト用ポート出力設定
STS     XMCRB, R16                                   ; [$0000～$3FFFアクセス]
LDI     R16, $AA                                     ; PORTC7～6開放値を取得
STS     $0001+OFFSET, R16                           ; PORTC7～6開放(~$3FFF範囲設定)
;
LDI     R16, $55                                     ; 書き込み値を取得
STS     $0001+OFFSET, R16                           ; 外部メモリの$0001番地に$AA書き込み
;
LDI     R16, $00                                     ; [$4000～$FFFFアクセス]
STS     XMCRB, R16                                   ; PORTC7～6開放(~$3FFF範囲設定)
LDI     R16, $55                                     ; 書き込み値を取得
STS     $0001+OFFSET, R16                           ; 外部メモリの$4001番地に$55書き込み
```

C言語プログラム例

```
#define OFFSET 0x4000                                /* 切り替え点アドレス定義 */
void XRAM_example(void)
{
    unsigned char *p = (unsigned char *) (OFFSET + 1); /* 書き込みアドレス(ポインタ)定義 */
    PORTC = 0x00;                                     /* アドレス最上位側ビット値全0設定 */
    DDRC = 0xFF;                                      /* アドレス上位バイト用ポート出力設定 */
    XMCRB = (1<<XMM1);                               /* PORTC7～6開放(~$3FFF範囲設定) */
    *p = 0xAA;                                         /* 外部メモリの$0001番地に$AA書き込み */
    XMCRB = 0x00;                                     /* PORTC開放なし、(~$FFFF範囲設定) */
    *p = 0x55;                                         /* 外部メモリの$4001番地に$55書き込み */
}
```

注: 10ページの「コード例について」をご覧ください。

メモリの多くが遮蔽され隠されているとき、この選択手段の使用は注意して用いられなければなりません。

(訳補) 上の記述はXMMn設定によりバンク化動作となることを示しています。

8.6. メモリ関係レジスタ

■ EEPROM用レジスタ

8.6.1. EEARH,EEARL (EEAR) – EEPROMアドレス レジスタ (EEPROM Address Register)

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$22 (\$42)	–	–	–	–	EEAR11	EEAR10	EEAR9	EEAR8	EEARH
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	不定	不定	不定	不定	
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$21 (\$41)	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	EEARL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

● ビット15～12 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット11～0 – EEAR11～0 : EEPROMアドレス (EEPROM Address)

EEPROMアドレスレジスタ(EEARHとEEARL)は4KバイトEEPROM空間のEEPROMアドレスを指定します。EEPROMデータバイトは0～4095間で直線的に配されます。EEARの初期値は不定です。EEPROMがアクセスされるであろう前に適切な値が書かれねばなりません。

8.6.2. EEDR – EEPROMデータ レジスタ (EEPROM Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$20 (\$40)	(MSB)							(LSB)	EEDR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – EEDR7～0 : EEPROMデータ (EEPROM Data)

EEPROM書き込み操作に対してEEDRはEEPROMアドレスレジスタ(EEAR)で与えたアドレスのEEPROMへ書かれるべきデータを含みます。EEPROM読み込み操作に対してEEDRはEEARで与えたアドレスのEEPROMから読み出したデータを含みます。

8.6.3. EECR – EEPROM制御レジスタ (EEPROM Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1F (\$3F)	–	–	EEPM1	EEPM0	EERIE	EEMPE	EEPE	EERE	EECR
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	不定	不定	0	0	不定	0	

● ビット7,6 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット5,4 – EEPM1,0 : EEPROMプログラミング種別 (EEPROM Programming Mode Bits)

EEPROMプログラミング種別ビット設定はEEPROMプログラミング許可(EEPE)書き込み時にどのプログラミング動作が起動されるかを定義します。1つの非分離操作(旧値消去と新値書き込み)、または2つの異なる操作として消去と書き込み操作を分離してデータをプログラムする(書く)ことが可能です。各動作に対するプログラミング時間は表8-2で示されます。EEPEが設定(1)されている間はEEPMnへのどの書き込みも無視されます。リセット中、EEPMnビットはEEPROMがプログラミング作業中を除いて'00'にリセットされます。

表8-2. EEPROMプログラミング種別

EEPM1	EEPM0	プログラミング時間	動作
0	0	3.4ms	1操作での消去と書き込み(非分離操作)
0	1	1.8ms	消去のみ
1	0	1.8ms	書き込みのみ
1	1	–	将来使用に予約

● ビット3 – EERIE : EEPROM操作可割り込み許可 (EEPROM Ready Interrupt Enable)

EERIEの1書き込みはステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されているなら、EEPROM操作可割り込みを許可します。EERIEの0書き込みは、この割り込みを禁止します。EEPROM操作可割り込みは不揮発性メモリ(フラッシュメモリとEEPROM)がプログラミングの準備可ならば継続する割り込みを発生します。

● ビット2 – EEMPE : EEPROM主プログラム許可 (EEPROM Master Program Enable)

EEMPEビットはEEPROMプログラム許可(EEPE)ビットの1書き込みが有効か無効かどちらかを決めます。EEMPEが設定(1)されると、4クロック周期内のEEPE設定(1)は選んだアドレスのEEPROMをプログラムします。EEMPEが0なら、EEPE設定(1)は無効です。EEMPEがソフトウェアによって設定(1)されてしまうと、4クロック周期後にハードウェアがこのビットを0に解除します。EEPROM書き込み手順については次のEEPE記述をご覧ください。

● ビット1 – EEPE : EEPROMプログラム許可 (EEPROM Program Enable)

EEPROMプログラム許可信号(EEPE)はEEPROMへのプログラミング許可信号です。EEPEが(1)を書かれると、EEPROMはEEPROMビット設定に従ってプログラムされます。論理1がEEPEへ書かれる前にEEPROM主プログラム許可(EEMPE)ビットは1を書かれなければならない、さもなければEEPROM書き込み(消去)は行われません。EEPROMを書くとき、次の手順に従うべきです(手順3.と4.の順番は重要ではありません)。

1. EEPROMプログラム許可(EEPE)ビットが0になるまで待ちます。
2. SPM制御/状態レジスタ(SPMCSR)のSPM操作許可(SPMEN)ビットが0になるまで待ちます。
3. 今回のEEPROMアドレスをEEPROMアドレスレジスタ(EEAR)に書きます。(任意、省略可)
4. 今回のEEPROMデータをEEPROMデータレジスタ(EEDR)に書きます。(任意、省略可)
5. EEPROM制御レジスタ(EECR)のEEPROM主プログラム許可(EEMPE)ビットに1を、EEPROMプログラム許可(EEPE)ビットに0を同時に書きます。
6. EEMPEビット設定後4クロック周期内にEEPROMプログラム許可(EEPE)ビットへ論理1を書きます。

CPUがフラッシュメモリ書き込み中、EEPROMはプログラム(書き込み)できません。ソフトウェアは新規EEPROM書き込みを始める前にフラッシュメモリのプログラミングが完了されていることを検査しなければなりません。2.はソフトウェアがフラッシュメモリをプログラム(書き込み)することをCPUに許すブートローダを含む場合だけ関係します。フラッシュメモリが決してCPUによって更新されないなら、2.は省略できます。ブートプログラミングについての詳細に関しては208頁の「ブートローダ支援 – 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング」をご覧ください。

警告: 手順5.と6.間の割り込みはEEPROM主プログラム許可が時間超過するため、書き込み周期失敗になります。EEPROMをアクセスする割り込みルーチンが他のEEPROMアクセスを中断し、EEARかEEDRが変更されると、中断したEEPROMアクセスを失敗させます。これらの問題を避けるため、全ての手順中、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットは解除(0)されていることが推奨されます。

書き込み(プログラミング)アクセス時間が経過されると、EEPROMプログラム許可(EEPE)ビットはハードウェアによって解除(0)されます。使用者ソフトウェアは次バイトを書く前に、このビットをポーリングし、0を待つことができます。EEPEが設定(1)されてしまうと、次の命令が実行される前にCPUは2周期停止されます。

● ビット0 – EERE : EEPROM読み込み許可 (EEPROM Read Enable)

EEPROM読み込み許可信号(EERE)はEEPROMへの読み込みストロブです。EEARに正しいアドレスが設定されると、EEPROM読み出しを起動するためにEEREビットは1を書かれなければなりません。EEPROM読み出しアクセスは(その)1命令で行われ、要求したデータは直ちに利用できます。EEPROMが読まれるとき、次の命令が実行される前にCPUは4周期停止されます。

使用者は読み込み操作を始める前にEEPEビットをポーリングすべきです。書き込み(プログラム)操作実行中の場合、EEPROMアドレスレジスタ(EEAR)の変更もEEPROM読み込みもできません。

■ 汎用I/Oレジスタ

8.6.4. GPIOR2 – 汎用I/Oレジスタ2 (General Purpose I/O Register 2)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2B (\$4B)	(MSB)							(LSB)	GPIOR2
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

8.6.5. GPIOR1 – 汎用I/Oレジスタ1 (General Purpose I/O Register 1)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2A (\$4A)	(MSB)							(LSB)	GPIOR1
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

8.6.6. GPIOR0 – 汎用I/Oレジスタ0 (General Purpose I/O Register 0)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1E (\$3E)	(MSB)							(LSB)	GPIOR0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

■ XMEMインターフェース用レジスタ

8.6.7. XMCRA – 外部メモリ制御レジスタA (External Memory Control Register A)

ビット (\$74)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SRE	SRL2	SRL1	SRL0	SRW11	SRW10	SRW01	SRW00	XMCRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – SRE : 外部メモリ許可 (External SRAM/XMEM Enable)

SREに1を書くことが外部メモリ インターフェースを許可します。A15～8, AD7～0, ALE, \overline{RD} , \overline{WR} ピン機能は交換ピン機能として活性(有効)にされます。SREビットはそれぞれのデータ方向レジスタ内の何れのピン方向設定も無効にします。SREに0を書くことは外部メモリ インターフェースを禁止し、通常ピンとデータ方向設定が使われます。

● ビット6～4 – SRL2～0 : 外部SRAM範囲選択 (Wait-state Sector Limit)

異なる外部メモリ領域に対して異なる待ち状態を指定することが可能です。外部メモリ アドレス空間は個別の待ち状態ビットを持つ2つの領域に分割できます。SRL2～0ビットは、これらの領域の分岐点を選びます。表8-3と図8-4をご覧ください。既定ではSRL2～0が0に設定され、外部メモリ アドレス空間全体が1つの領域として扱われます。SRAM(外部メモリ)アドレス空間全体が1つの領域として設定される場合、待ち状態はSRW11とSRW10ビットによって設定されます。

表8-3. 上位/下位領域選択

SRL2	SRL1	SRL0	下位領域	上位領域
0	0	x	なし	\$2200～\$FFFF
0	1	0	\$2200～\$3FFF	\$4000～\$FFFF
0	1	1	\$2200～\$5FFF	\$6000～\$FFFF
1	0	0	\$2200～\$7FFF	\$8000～\$FFFF
1	0	1	\$2200～\$9FFF	\$A000～\$FFFF
1	1	0	\$2200～\$BFFF	\$C000～\$FFFF
1	1	1	\$2200～\$DFFF	\$E000～\$FFFF

● ビット3,2 – SRW11,0 : 上位領域待ち状態選択ビット1,0 (Wait-state Select Bits for Upper Sector)

SRW11とSRW10ビットは外部メモリ アドレス空間の上位領域に対する待ち状態数を制御します。表8-4をご覧ください。

● ビット1,0 – SRW01,0 : 下位領域待ち状態選択ビット1,0 (Wait-state Select Bits for Lower Sector)

SRW01とSRW00ビットは外部メモリ アドレス空間の下位領域に対する待ち状態数を制御します。表8-4をご覧ください。

表8-4. 待ち状態選択

SRWn1	SRWn0	待ち状態
0	0	待ち状態なし
0	1	読み/書きスロープ中に1待ち状態挿入
1	0	読み/書きスロープ中に2待ち状態挿入
1	1	読み/書きスロープ中に2、アドレス、データ出力保持中に1待ち状態挿入

注: nは0(下位領域)または1(上位領域)です。外部メモリ インターフェースの待ち状態とタイミングのより多くの詳細については図8-6.～9.のSRWビット設定がタイミングへ与える影響をご覧ください。

8.6.8. XMCRB – 外部メモリ制御レジスタB (External Memory Control Register B)

ビット (\$75)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	XMBK	–	–	–	–	XMM2	XMM1	XMM0	XMCRB
Read/Write	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – XMBK : バス保持許可 (External Memory Bus-keeper Enable)

XMBKに**1**を書くことがAD7～0線のバス保持機能を許可します。バス保持機能が許可されると、XMEMインターフェースがAD7～0線をHi-Zにしても、AD7～0はその線上で最後に駆動した値を保ちます。XMBKに**0**を書くことがバス保持機能を禁止します。XMBKは**SRE**の制限を受けませんので、XMEMインターフェースが禁止されても、バス保持機能はXMBKが**1**である限り未だ活性(有効)にされます。

● ビット6～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。このアドレス位置へ書く時、将来のデバイスとの共通性のため、これらのビットに**0**を書いてください。

● ビット2～0 – XMM2～0 : 上位アドレス遮蔽 (External Memory High Mask)

外部メモリ インターフェースが許可されると、既定では全てのポートCピンが上位アドレス バイトに使われます。外部メモリ アクセスのために全55.5K バイト アドレス空間が必要とされない場合、**表8-5**で記述されるように、いくつかまたは全てのポートCピンは標準ポート ピン機能用に開放できます。**24頁**の「**外部メモリの全64Kバイト位置の使用**」で記述されるように、外部メモリの全64Kバイト位置のアクセスのためにXMMnビットの使用が可能です。

表8-5. 外部メモリ許可時に開放するポートCピン

XMM2	XMM1	XMM0	アドレス上位バイトビット数	開放ポートピン
0	0	0	8 (最大55.5Kバイト)	なし
0	0	1	7	PORTC7
0	1	0	6	PORTC7～6
0	1	1	5	PORTC7～5
1	0	0	4	PORTC7～4
1	0	1	3	PORTC7～3
1	1	0	2	PORTC7～2
1	1	1	0 (上位バイトなし)	PORTC7～0

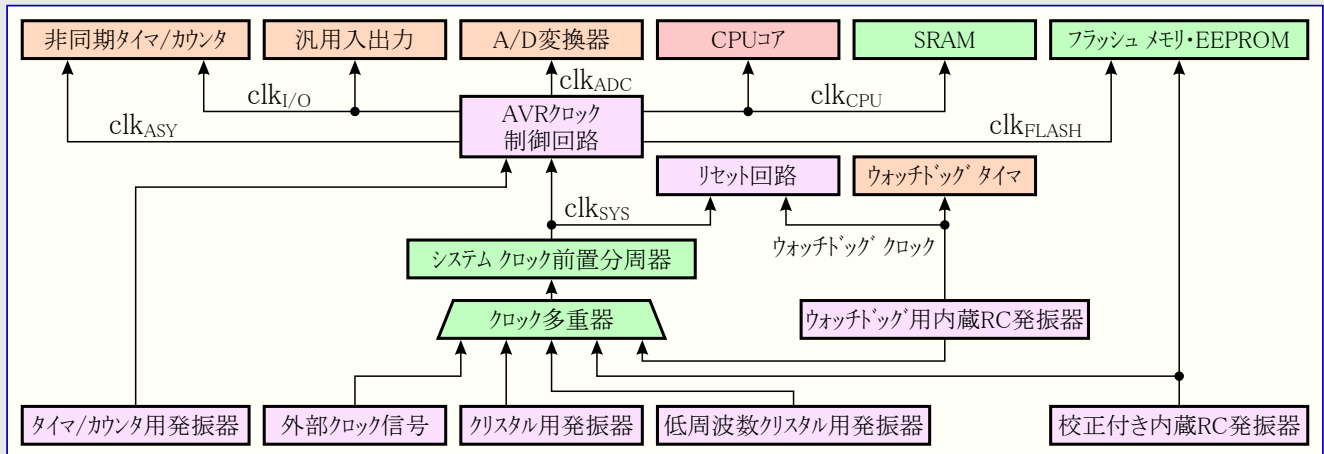
9. システム クロックとクロック選択

9.1. 概要

図9-1.はATmega640/1280/1281/2560/2561の各種クロック系統とそれらの配給を示します。全てのクロックが与えられた時間有効である必要はありません。消費電力を減らすため、使われていない単位部へのクロックは「電力管理と休止形態」章で記述されるように各種休止形態を使って停止することができます。

図9-1.は適切な休止形態の選択を助けます。

図9-1. クロックの配給



9.2. クロック系統とその配給

9.2.1. CPU クロック – clk_{CPU}

CPUクロックはAVRコアの動作と関係する系統の部分に配給されます。このような部分の例は汎用レジスタファイル、ステータスレジスタ、スタックポインタを保持するデータメモリです。CPUクロックの停止はコアが一般的な操作や計算を実行することを禁止します。

9.2.2. I/O クロック – clk_{I/O}

I/Oクロックはタイマ/カウンタ、SPI、USARTのようなI/O部の大部分で使われます。I/Oクロックは外部割り込み部でも使われますが、いくつかの外部割り込みは例えばI/Oクロックが停止されても検出されることをこのような割り込みに許す非同期論理回路によって検出されることに注意してください。2線直列I/F(TWI)部のアドレス認証はclk_{I/O}が停止される時に非同期に実行され、全休止形態でTWIアドレス受信を可能とすることにも注意してください。

9.2.3. フラッシュ クロック – clk_{FLASH}

フラッシュクロックはフラッシュメモリインターフェースの動作を制御します。このフラッシュクロックは常にCPUクロックと同時に活動します。

9.2.4. 非同期タイマ クロック – clk_{ASY}

非同期タイマクロックは外部32kHzクロック用クリスタルから直接的にクロック駆動されるのを非同期タイマ/カウンタに許します。この専用クロック範囲はデバイスが休止形態の時でも、このタイマ/カウンタの実時間計数器としての使用を許します。

9.2.5. A/D変換クロック – clk_{ADC}

A/D変換器には専用のクロック範囲が提供されます。これはデジタル回路によって生成された雑音を低減するためにCPUとI/Oクロックの停止を許します。これはより正確なA/D変換結果を与えます。

9.3. クロック元

このデバイスには下で示されるようにフラッシュヒューズビットによって選択可能な後続のクロック元選択があります。選んだクロック元からのクロックはAVRクロック発生器への入力で、適切な単位部へ配給されます。

表9-1. クロック元選択 (注: 1=非プログラム、0=プログラム)

クロック元	外部クリスタル 低電力発振器	外部クリスタル 全振幅発振器	外部低周波数 クリスタル発振器	128kHz内部 (WDT)発振器	校正付き内蔵 RC発振器	(予約)	外部クロック信号
CKSEL3~0	1111~1000	0111~0110	0101, 0100	0011	0010	0001	0000

9.3.1. 既定のクロック元

このデバイスは8.0MHzの校正付き内蔵RC発振器でCKDIV8ヒューズがプログラム(0)され、結果として1.0MHzのシステムクロックで出荷されません。起動時間は計時完了周期が許可され、最大に設定されます。(CKSEL=0010, SUT=10, CKDIV8=プログラム(0)) この既定設定は全ての使用者が実装または並列書き込み器を使って、それらを希望したクロック元設定にできることを保証します。

9.3.2. クロック起動手順

何れのクロック元も発振を開始するための十分なVCCと、それが安定であると考えるのに先立つ、最低発振周期数が必要です。

十分なVCCを保証するため、その他全てのリセット元によってデバイスリセットが開放された後、デバイスは起動遅延時間(t_{OUT})の内部リセットを発生します。40頁の「システム制御とリセット」はこの内部リセットに対する起動条件を記述します。この遅延(t_{OUT})はウォッチドッグ発振器で計時され、遅延周期数はSUTとCKSELのヒューズによって設定されます。選択可能な遅延は表9-2.で示されます。250頁の「代表特性」で示されるようにウォッチドッグ発振器の周波数は電圧に依存します。

遅延の主な目的はAVRが最小VCCを印加されるまでAVRをリセットに保つことです。この遅延は実電圧を監視しませんので、VCC上昇時間より長い遅延を選ぶことが必要とされるべきです。これが不可能な場合、内部または外部の低電圧検出回路(BOD)が使われるべきです。BOD回路がリセットを開放する前に十分なVCCを保証するでしょうから、起動遅延時間は禁止され得ます。低電圧検出回路(BOD)なしでの起動遅延時間の禁止は推奨されません。

この発振器はクロックが安定と考えられるのに先立って最低クロック数を発振することを必要とされます。内部リプルカウンタは発振器の出力クロックを監視し、与えられたクロック周期数に対して内部リセットを活性(有効)に保ちます。このリセットはその後に開放され、デバイスが実行を開始します。推奨発振器起動時間はクロック種別に依存し、外部的に印加されたクロックに対する6周期から、低周波数クリスタルに対する32K周期まで変化します。

クロックについての起動手順は計時完了遅延とデバイスがリセットから起動する時の起動時間の両方を含みます。パワーダウンまたはパワーセーブから起動するとき、VCCは十分な電圧であると認識され、起動時間だけが含められます。

9.4. クリスタル用低電力発振器

XTAL1とXTAL2は図9-2.で示されるように、チップ上の発振器としての使用に設定できる反転増幅器の各々、入力と出力です。クリスタル発振子またはセラミック振動子のどちらでも使えます。

この発振器はXTAL2出力上の電圧振幅を減少した低電力発振器です。これは最低消費電力を与えますが、他のクロック入力を駆動する能力はなく、雑音が多い環境で、より雑音の影響を受け易くなります。これらの場合には31頁の「クリスタル用全振幅発振器」を参照してください。

C1とC2はクリスタル発振子とセラミック振動子の両方について常に等しくすべきです。このコンデンサの最適値は使うクリスタル発振子やセラミック振動子、浮遊容量の量、その環境の電磁雑音に依存します。クリスタル発振子使用に対するコンデンサ選択について初期の指針のいくつかは表9-3.で与えられます。セラミック振動子については製造業者によって与えられたコンデンサ値が使われるべきです。

低電力発振器は示された周波数範囲で各々最適化された3つの異なる種別で動作できます。この動作種別は表9-3.で示されるようにCKSEL3~1ヒューズによって選ばれます。

CKSEL0ヒューズはSUT1,0ヒューズと共に表9-4.で示されるように起動時間を選びます。

図9-2. クリスタル発振子接続図

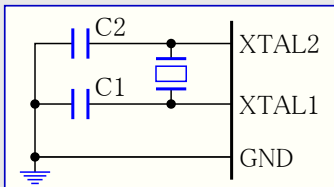


表9-3. クリスタル用低電力発振器動作種別

CKSEL3~1	周波数範囲	推奨C1,2容量
100 (注1)	0.4~0.9MHz	-
101	0.9~3.0MHz	12~22pF
110	3.0~8.0MHz	12~22pF
111 (注2)	8.0~16MHz	12~22pF

注2: セラミック発振器使用時の最大周波数は10MHzです。

注: 各周波数範囲用推奨CKSEL設定です。

注: 周波数が仕様(VCC依存)超の場合、CKDIV8=0が可能です。分周後クロックが仕様内であることを保証しなければなりません。

注1: 本選択はクリスタル発振子ではなく、セラミック振動子でのみ使われるべきです。

表9-4. クリスタル発振子/セラミック振動子用低電力発振器起動遅延時間選択表

CKSEL0	SUT1,0	パワーダウン、パワーセーブからの起動遅延時間	リセットからの付加遅延時間 (VCC=5.0V)	推奨使用法
0	0 0	$258 \times \text{CK}$ (注1)	$14 \times \text{CK} + 4.1\text{ms}$	外部セラミック振動子、高速上昇電源
	0 1	$258 \times \text{CK}$ (注1)	$14 \times \text{CK} + 65\text{ms}$	外部セラミック振動子、低速上昇電源
	1 0	$1\text{K} \times \text{CK}$ (注2)	$14 \times \text{CK}$	外部セラミック振動子、低電圧検出(BOD)リセット許可
	1 1	$1\text{K} \times \text{CK}$ (注2)	$14 \times \text{CK} + 4.1\text{ms}$	外部セラミック振動子、高速上昇電源
1	0 0	$1\text{K} \times \text{CK}$ (注2)	$14 \times \text{CK} + 65\text{ms}$	外部セラミック振動子、低速上昇電源
	0 1	$16\text{K} \times \text{CK}$	$14 \times \text{CK}$	外部クリスタル発振子、低電圧検出(BOD)リセット許可
	1 0	$16\text{K} \times \text{CK}$	$14 \times \text{CK} + 4.1\text{ms}$	外部クリスタル発振子、高速上昇電源
	1 1	$16\text{K} \times \text{CK}$	$14 \times \text{CK} + 65\text{ms}$	外部クリスタル発振子、低速上昇電源

注1: これらの選択はデバイスの最高周波数付近での動作でないとき、応用にとって起動での周波数安定性が重要でない場合だけ使われるべきです。これらの選択はクリスタル発振子用ではありません。

注2: これらの選択はセラミック振動子での使用を意図され、起動での周波数安定性を保証します。デバイスの最高周波数付近での動作でないとき、応用にとって起動での周波数安定性が重要でない場合はクリスタル発振子も使えます。

9.5. クリスタル用全振幅発振器

XTAL1とXTAL2は図9-2.で示されるように、チップ上の発振器としての使用に設定できる反転増幅器の各々、入力と出力です。クリスタル発振子またはセラミック振動子のどちらでも使えます。

この発振器はXTAL2出力上で供給電圧端振幅にする全振幅発振器です。これは雑音が多い環境や他のクロック入力を駆動するのに適します。消費電流は30頁の「クリスタル用低電力発振器」より多くなります。クリスタル用全振幅発振器がVCC=2.7~5.5Vに対してのみ動作することに注意してください。

C1とC2はクリスタル発振子とセラミック振動子の両方について常に等しくすべきです。このコンデンサの最適値は使うクリスタル発振子やセラミック振動子、浮遊容量の量、その環境の電磁雑音に依存します。クリスタル発振子使用に対するコンデンサ選択について初期の指針のいくつかは表9-5.で与えられます。セラミック振動子については製造業者によって与えられたコンデンサ値が使われるべきです。

この動作種別は表9-5.で示されるようにCKSEL3~1ヒューズによって選ばれます。

CKSEL0ヒューズはSUT1,0ヒューズと共に表9-6.で示されるように起動時間を選びます。

表9-5. クリスタル用全振幅発振器動作種別

CKSEL3~1	周波数範囲	推奨C1,2容量
011	0.4~16MHz	12~22pF

注: 周波数が仕様(VCC依存)超の場合、CKDIV8=0が可能です。分周後クロックが仕様内であることを保証しなければなりません。

表9-6. クリスタル発振子/セラミック振動子用全振幅発振器起動遅延時間選択表

CKSEL0	SUT1,0	パワーダウン、パワーセーブからの起動遅延時間	リセットからの付加遅延時間 (VCC=5.0V)	推奨使用法
0	0 0	258×CK (注1)	14×CK+4.1ms	外部セラミック振動子、高速上昇電源
	0 1	258×CK (注1)	14×CK+65ms	外部セラミック振動子、低速上昇電源
	1 0	1K×CK (注2)	14×CK	外部セラミック振動子、低電圧検出(BOD)リセット許可
	1 1	1K×CK (注2)	14×CK+4.1ms	外部セラミック振動子、高速上昇電源
1	0 0	1K×CK (注2)	14×CK+65ms	外部セラミック振動子、低速上昇電源
	0 1	16K×CK	14×CK	外部クリスタル発振子、低電圧検出(BOD)リセット許可
	1 0	16K×CK	14×CK+4.1ms	外部クリスタル発振子、高速上昇電源
	1 1	16K×CK	14×CK+65ms	外部クリスタル発振子、低速上昇電源

注1: これらの選択はデバイスの最高周波数付近での動作でないとき、応用にとって起動での周波数安定性が重要でない場合だけ使われるべきです。これらの選択はクリスタル発振子用ではありません。

注2: これらの選択はセラミック振動子での使用を意図され、起動での周波数安定性の保証します。デバイスの最高周波数付近での動作でないとき、応用にとって起動での周波数安定性が重要でない場合はクリスタル発振子も使えます。

9.6. 低周波数クリスタル用発振器

このデバイスは専用の低周波数発振器によってクロック元として時計用32.768kHzクリスタルを使えます。クリスタル発振子は図9-3.で示されるように接続されるべきです。(訳注:原書本位置行が最終行と重複するため削除)

低周波数クリスタル用発振器は各TOSCピンに於いて表9-7.で見られる内部負荷容量を提供します。

表9-7. 低周波数クリスタル用発振器内部容量

32kHz発振器形式	TOSC1 容量(pF)	TOSC2 容量(pF)
システム クロック用発振器	18	8
タイマ/カウンタ用発振器	6	6

各TOSCピンで必要とする容量(Ce+Ci)は次式を使って計算できます。

$$C_e + C_i = 2 \times CL - C_s$$

Ce : 図9-3.で記述されるような任意の外部容量です。

Ci : 表9-7.でのピン容量です。

CL : クリスタル製造業者によって指定された32.768kHzクリスタル用の負荷容量です。

Cs : 1つのTOSCピンに対する総浮遊容量です。

表9-7.で与えられたものより高い指定負荷容量(CL)のクリスタルは図9-3.で記述するように付加外部容量(コンデンサ)が必要です。

32.768kHzクリスタルに対する最適な負荷容量を見つけるには、クリスタルのデータシートを調べてください。

この発振器が選ばれると、起動時間は表9-8.で示されるようにSUTヒューズとCKSEL0ヒューズによって決定されます。

図9-3. クリスタル発振子接続

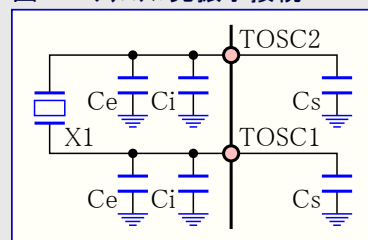


表9-8. 低周波数クリスタル用発振器起動遅延時間選択表

CKSEL0	SUT1,0	パワーダウン、パワーセーブからの起動遅延時間	リセットからの付加遅延時間 (VCC=5.0V)	推奨使用法
0	0 0	1K×CK (注1)	14×CK	低電圧検出(BOD)リセット許可
	0 1	1K×CK (注1)	14×CK+4.1ms	高速上昇電源
	1 0	1K×CK (注1)	14×CK+65ms	低速上昇電源
	1 1	(予約)		
1	0 0	32K×CK	14×CK	低電圧検出(BOD)リセット許可
	0 1	32K×CK	14×CK+4.1ms	高速上昇電源
	1 0	32K×CK	14×CK+65ms	低速上昇電源
	1 1	(予約)		

注1: これらの選択は応用にとって起動での周波数安定性が重要でない場合だけ使用されるべきです。

9.7. 校正付き内蔵RC発振器

既定による校正された内蔵RC発振器は概ね8.0MHzのクロックを供給します。電圧と温度に依存しますが、このクロックは使用者によって高精度な校正ができます。より多くの詳細については242頁の表30-1.と262頁の「内部発振器周波数」をご覧ください。このデバイスはCKDIV8ヒューズがプログラム(0)で出荷されます。より多くの詳細については33頁の「システム クロック前置分周器」をご覧ください。

このクロックは表9-9.で示されるようにCKSELヒューズのプログラミングによってシステム クロックとして選べます。選んだなら、外部部品なしで動作します。リセット中、ハードウェアが発振校正(OSCCAL)レジスタに予めプログラムされた校正値バイトを設定し、これによってRC発振器を自動的に校正します。この校正の精度は表30-1.で工場校正として示されます。

ソフトウェアからOSCCALレジスタを変更することによって(発振校正レジスタ (OSCCAL)参照)、工場校正を使うよりも高い精度を得ることができます。この校正の精度は表30-1.で使用者校正として示されます。

この発振器がチップ(システム)クロックとして使われるとき、ウォッチドッグ発振器は未だウォッチドッグ タイムとリセット付加遅延タイムに使われます。予め設定された校正値のより多くの情報については220頁の「校正バイト」項をご覧ください。

この発振器が選ばれると、起動時間は表9-10.で示されるようにSUTヒューズによって決定されます。

表9-9. 校正付き内蔵RC発振器動作種別

CKSEL3~0	周波数範囲 (MHz)
0 0 1 0	7.3~8.1

注: デバイスはこの選択で出荷されます。

注: この8MHz周波数がデバイス仕様(VCCに依存)を越える場合、内部周波数を8分周するためにCKDIV8ヒューズをプログラム(0)にできます。

表9-10. 校正付き内蔵RC発振器用起動遅延時間選択表

SUT1,0	パワーダウン、パワーセーブからの起動遅延時間	リセットからの付加遅延時間 (VCC=5.0V)	推奨使用法
0 0	6×CK	14×CK	低電圧検出リセット(BOD)許可
0 1	6×CK	14×CK+4.1ms	高速上昇電源
1 0 (注1)	6×CK	14×CK+65ms	低速上昇電源
1 1	(予約)		

注1: デバイスはこの選択で出荷されます。

9.8. 128kHz内部発振器

128kHz内部発振器は128kHzのクロックを供給する低電力発振器です。この周波数は3V,25℃での公称値です。このクロックは表9-11.で示されるようにCKSELヒューズを'0011'にプログラミング(設定)することによってシステム クロックとして選べます。

このクロック元が選ばれると、起動時間は表9-12.で示されるようにSUTヒューズによって決定されます。

表9-11. 128kHz内部発振器動作種別

CKSEL3~0	公称周波数
0 0 1 1	128kHz

注: 128kHz発振器は超低電力クロック元で、高精度用に設計されていないことに注意してください。

表9-12. 128kHz内部発振器用起動遅延時間選択表

SUT1,0	パワーダウン、パワーセーブからの起動遅延時間	リセットからの付加遅延時間	推奨使用法
0 0	6×CK	14×CK	低電圧検出(BOD)リセット許可
0 1	6×CK	14×CK+4ms	高速上昇電源
1 0	6×CK	14×CK+64ms	低速上昇電源
1 1	(予約)		

9.9. 外部クロック信号

外部クロック元からデバイスを駆動するには、XTAL1が図9-4.で示されるように駆動されるべきです。外部クロックでデバイスを走行するためにはCKSELヒューズが'0000'にプログラム(設定)されなければなりません(表9-13.参照)。

このクロック元が選ばれると、起動時間は表9-14.で示されるようにSUTヒューズによって決定されます。

表9-13. 外部クロック信号動作種別

CKSEL3~0	周波数範囲
0 0 0 0	0~16MHz

図9-4. 外部クロック信号駆動接続図

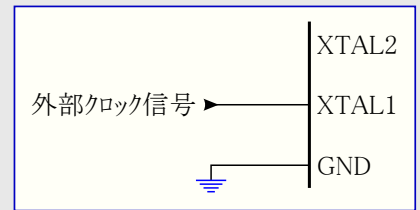


表9-14. 外部クロック信号駆動用起動遅延時間選択表

SUT1,0	パワーダウン、パワーセーブからの起動遅延時間	リセットからの付加遅延時間 (VCC=5.0V)	推奨使用法
0 0	6 × CK	14 × CK	低電圧検出(BOD)リセット許可
0 1	6 × CK	14 × CK+4.1ms	高速上昇電源
1 0	6 × CK	14 × CK+65ms	低速上昇電源
1 1			(予約)

外部クロックを供給するとき、MCUの安定な動作を保証するために供給したクロック周波数の急な変化を避けることが必要とされます。或るクロック周期から次への2%より大きな周波数変化は予測されない事態を引き起こします。このようなクロック周波数での変化中、MCUはリセットに保たれるのを保証することが必要とされます。

システムクロック前置分周器が安定な動作を保証しながら、内部クロック周波数の実行時変更の実現に使えることに注意してください。詳細については「システムクロック前置分周器」を参照してください。

9.10. クロック出力緩衝部 (外部クロック出力)

このデバイスはシステムクロックをCLKOピンに出力できます。この出力を許可するには、CKOUTヒューズがプログラム(0)されなければなりません。この動作はチップのクロックがシステム上の他の回路を駆動する時用です。このヒューズがプログラム(0)されると、I/Oピンの標準動作は無視され、このクロックはリセット中も出力されます。CLKOがクロック出力を扱うとき、校正付き内蔵RC発振器を含む何れのクロック元も選ばず。システムクロック前置分周器が使われると、CKOUTヒューズがプログラム(0)された時の出力は分周したシステムクロックです。

9.11. タイマ/カウンタ用発振器

このデバイスは時計用32.768kHzクリスタルまたは外部クロック元でタイマ/カウンタ2を駆動できます。クリスタルの接続については30頁の図9-2.をご覧ください。

TOSC1に外部クロック元を印加するためには非同期状態レジスタ(ASSR)の外部クロック許可(EXCLK)ビットが論理1を書かれなければなりません。32kHzクリスタルに代わる入力として外部クロックを選ぶ更なる記述については129頁の「タイマ/カウンタ2の非同期動作」をご覧ください。

9.12. システムクロック前置分周器

ATmega640/1280/1281/2560/2561はシステムクロック前置分周器を持ち、システムクロックはクロック前置分周レジスタ(CLKPR)の設定によって分周できます。この特徴(機能)は必要とされる処理能力が低い時の消費電力削減に使えます。これは全クロック種別で使え、CPUと全同期周辺機能のクロック周波数に影響を及ぼします。clk_{CPU}、clk_{FLASH}、clk_{I/O}、clk_{ADC}は表9-15.で示された値によって分周されます。clk_{ASY}(非同期タイマ/カウンタ用クロック)のクロック周波数は、タイマ/カウンタが同期クロックで駆動される場合だけ分周されることに注意してください(訳注:共通性のため本行追加)。

前置分周器設定間を切り替えるとき、システムクロック前置分周器は中間(経過途中)の周波数が直前の設定に対応するクロック周波数または新規設定に対応するクロック周波数のどちらよりも高くなく、クロック系で不具合が起きないことを保証します。

前置分周器として実行するリプルカウンタは分周されないクロック周波数で走行し、CPUのクロック周波数より速いかもしれません。従って例え(カウンタ値が)読めるとしても、前置分周器の状態を決めることはできず、1から他へのクロック分周値切り替えを行う正確な時間は必ずしも予測できません。CLKPS値が書かれる時から新規クロック周波数が活性(有効)になる前にT1+T2~T1+2×T2間かかります。この間で2つの有効なクロック端が生成されます。ここでのT1は直前のクロック周期、T2は新規前置分周器設定に対応する周期です。

予期せぬクロック周波数の変更を防ぐため、CLKPSビットの変更は次の特別な書き込み手順に従わなければなりません。

1. クロック分周値変更許可(CLKPCE)ビットに1、CLKPR内の他の全ビットに0を書きます。
2. (次からの)4周期以内にCLKPCEビットを0とする欲したCLKPS値を書きます。

前置分周器設定変更時、書き込み手続きが割り込まれないことを保証するため、割り込みは禁止されなければなりません。

9.13. クロック関係用レジスタ

9.13.1. OSCCAL – 発振校正レジスタ (Oscillator Calibration Register)

ビット (\$66)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	CAL7	CAL6	CAL5	CAL4	CAL3	CAL2	CAL1	CAL0	OSCCAL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	デバイス固有の校正値								

●ビット7～0 – CAL7～0 : 発振校正値 (Oscillator Calibration Value)

発振校正レジスタは発振器周波数の偏差処理を省くための内蔵発振器の調整に使われます。チップのリセット中、242頁の表30-1.で指定されるように工場で校正された周波数を与える、予めプログラムされた値が本レジスタへ自動的に書かれます。応用ソフトウェアは発振器周波数を変更するために、このレジスタに書くことができます。この発振器は表30-1.で指定される周波数に校正できます。この範囲外への校正は推奨されません。

この発振器はフラッシュメモリとEEPROMの書き込みアクセス時間に使われ、これらの書き込み時間はそれに応じて影響されることに注意してください。フラッシュメモリまたはEEPROMが書かれる場合、8.8MHzより高く校正してはいけません。そうでなければ、フラッシュメモリまたはEEPROM書き込みは失敗するかもしれません。

CAL7ビットは発振器に対する操作範囲を決めます。このビットの(0)設定は低周波数範囲になり、(1)設定は高周波数範囲になります。この2つの周波数範囲は重複し、別の言葉では、OSCCAL=\$7F設定はOSCCAL=\$80設定より高い周波数になります。

CAL6～0ビットは選んだ範囲内の周波数調整に使われます。\$00設定はその範囲の最低周波数になり、\$7F設定はその範囲の最高周波数になります。

9.13.2. CLKPR – クロック前置分周レジスタ (Clock Prescale Register)

ビット (\$61)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	CLKPCE	–	–	–	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	CLKPR
Read/Write	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	内容参照	内容参照	内容参照	内容参照	

●ビット7 – CLKPCE : クロック分周値変更許可 (Clock Prescaler Change Enable)

CLKPSビットの変更を許可するためにCLKPCEビットは論理1を書かれなければなりません。CLKPCEビットは同時にCLKPRの他の全ビットが0を書かれる時だけ更新されます。CLKPCEは書き込み後4クロック周期またはCLKPSビット書き込み時、ハードウェアによって解除(0)されます。この制限時間(4クロック周期)内のCLKPCEビット再書き込みは制限時間の延長もCLKPCEビットの解除(0)も行いません。

●ビット3～0 – CLKPS3～0 : クロック分周値選択 (Clock Prescaler Select Bits 3～0)

これらのビットは選んだクロック元と内部システムクロック間の分周値を定義します。これらのビットは応用の必要条件に合わせた各種クロック周波数を実行時に書けます。分周値が使われると、分周器はMCUへの主クロックを分周し、全ての同期周辺機能の速度が減じられます。分周値は表9-15.で与えられます。

CKDIV8ヒューズがCLKPSビットの初期値を決めます。CKDIV8が非プログラム(1)にされると、CLKPSビットは'0000'にリセットされます。CKDIV8がプログラム(0)されると、CLKPSビットは起動時に8分周を与える'0011'にリセットされます。現在の動作条件でデバイスの最高周波数より高い周波数のクロック元を選んだ場合、この機能が使われるべきです。CKDIV8ヒューズ設定に拘らず、どの値もCLKPSビットへ書けることに注意してください。応用ソフトウェアは現在の動作条件でデバイスの最高周波数より高い周波数のクロック元を選んだ場合、充分な分周値が選ばれることを保証しなければなりません。このデバイスはCKDIV8ヒューズがプログラム(0)で出荷されます。

表9-15. クロック前置分周器選択

CLKPS3	0								1							
CLKPS2	0				1				0				1			
CLKPS1	0		1		0		1		0		1		0		1	
CLKPS0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
分周値(数)	1	2	4	8	16	32	64	128	256	(予約)						

10. 電力管理と休止形態

休止形態は応用でMCU内の未使用部を一時停止することを可能にし、それによって節電します。AVRは応用で必要な消費電力に仕立てることを使用者に許す様々な休止形態を提供します。

10.1. 休止形態種別

29頁の図9-1はATmega640/1280/1281/2560/2561の各種クロック系統とその配給を示します。この図は適切な休止形態を選ぶ助けになります。表10-1は各種休止形態とそれらの起動復帰元を示します。

表10-1. 各休止形態に於ける動作クロック範囲と復帰起動要因

休止種別	動作クロック範囲					動作発振器		復帰起動要因 (割り込み)						
	clk CPU	clk FLASH	clk IO	clk ADC	clk ASY	主クロック供給元	タイマ用発振器	INTnピン変化割り込み	TWIアドレス一致	タイマ/カウンタ2	SPM EEPROM操作可	A/D変換完了	ウォッチドッグ	その他 I/O
アイドル			○	○	○	○	②	○	○	○	○	○	○	○
A/D変換雑音低減				○	○	○	②	③	○	○	○	○	○	
パワーダウン								③	○				○	
パワーセーブ					○		②	③	○	○			○	
スタンバイ(注1)						○		③	○				○	
拡張スタンバイ(注1)					②	○		③	○	○			○	

注1: クロック元として外部クリスタル発振子またはセラミック振動子が選ばれた場合です。

② タイマ/カウンタ2非同期状態レジスタ(ASR)の非同期クロック(AS2)ビットが設定(1)された場合です。

③ INT7～4についてはレベル割り込みだけです。

何れかの休止形態へ移行するには**休止形態制御レジスタ(SMCR)**の**休止許可(SE)ビット**が論理1を書かれ、**SLEEP**命令が実行されなければなりません。SMCRの**休止種別選択(SM2～0)ビット**は**SLEEP**命令によって活性(有効)にされる休止形態(アイドル、A/D変換雑音低減、パワーダウン、パワーセーブ、スタンバイ、拡張スタンバイ)のどれかを選びます。一覧については38頁の表10-2をご覧ください。

MCUが休止形態中に許可した割り込みが起ると、MCUは起動します。その時にMCUは起動時間に加えて4周期停止され、割り込みルーチンを実行し、そして**SLEEP**命令の次の命令から実行を再開します。デバイスが休止から起動するとき、レジスタファイルとSRAMの内容は変えられません。休止形態中にリセットが起ると、MCUは起動し、リセットベクタから実行します。

10.2. アイドル動作

休止種別選択(SM2～0)ビットが'000'を書かれるとき、**SLEEP**命令はMCUをアイドル動作へ移行させ、CPUを停止しますが、SPI、USART、アナログ比較器、A/D変換器、2線直列インターフェース、タイマ/カウンタ、ウォッチドッグ、割り込み機構の継続動作を許します。この休止形態は基本的にclkCPUとclkFLASHを停止する一方、他のクロックに走行を許します。

アイドル動作はMCUにタイマ溢れやUSARTの送信完了などの内部割り込みだけでなく、外部で起動された割り込みからの起動も可能にします。アナログ比較器割り込みからの起動が必要とされないなら、**アナログ比較器制御/状態レジスタ(ACSR)**の**アナログ比較器禁止(ACD)ビット**を設定(1)することによってアナログ比較器を電源断にできます。これはアイドル動作での消費電力を削減します。A/D変換が許可されるなら、この動作に移行すると変換が自動的に始まります。

10.3. A/D変換雑音低減動作

SM2～0ビットが'001'を書かれるとき、**SLEEP**命令はMCUをA/D変換雑音低減動作へ移行させ、CPUを停止しますが、A/D変換器、外部割り込み、2線直列インターフェースのアドレス監視、タイマ/カウンタ2、ウォッチドッグの(許可されていれば)継続動作を許します。この休止形態は基本的にclkIO、clkCPU、clkFLASHを停止する一方、他のクロックに走行を許します。

これはA/D変換に対する雑音環境を改善し、より高い分解能の測定を可能にします。A/D変換器が許可ならされている場合、本動作に移行すると、変換が自動的に始まります。A/D変換完了割り込みからの他、外部リセット、ウォッチドッグシステムリセット、ウォッチドッグ割り込み、低電圧検出(BOD)リセット、2線直列インターフェースのアドレス一致割り込み、タイマ/カウンタ2の割り込み、SPM/EEPROM操作可割り込み、INT7～4の外部レベル割り込み、INT3～0の外部割り込み、ピン変化割り込みだけが、A/D変換雑音低減動作からMCUを起動できます。

10.4. パワーダウン動作

休止種別選択(SM2~0)ビットが'010'を書かれると、**SLEEP**命令はMCUをパワーダウン動作へ移行させます。この動作では外部発振器が停止される一方、外部割り込み、2線直列インターフェースのアドレス監視、ウォッチドッグ機能は(許可されていれば)継続して動作します。外部リセット、ウォッチドッグリセット、低電圧検出(BOD)リセット、2線直列インターフェースのアドレス一致割り込み、INT7~4の外部レベル割り込み、INT3~0の外部割り込み、ピン変化割り込みだけがMCUを起動できます。この休止形態は基本的に生成した全てのクロックを停止し、非同期部の動作だけを許します。

レベルで起動した割り込みがパワーダウン動作からの復帰に使われる場合、MCUを起動するためには変更したレベルが一定時間保持されなければならないことに注意してください。詳細については51頁の「**外部割り込み**」を参照してください。

パワーダウン動作から起動するとき、起動条件が起きてから起動の効果が現れるまで遅延があります。これは停止されてしまっている後の再始動と安定になることをクロックに許します。この起動(遅延)時間は29頁の「**クロック元**」で記述されるように、リセット遅延時間を定義するのと同じ**CKSEL**ヒューズによって定義されます。

10.5. パワーセーブ動作

SM2~0ビットが'011'を書かれると、**SLEEP**命令はMCUをパワーセーブ動作へ移行させます。この動作は(次の)1つの例外を除いてパワーダウン動作と同じです。

タイマ/カウンタ2が許可される場合、それらは休止中でも走行(動作)を維持します。**ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット**が設定(1)され、**タイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ(TIMSK2)のタイマ/カウンタ2溢れ割り込み許可(TOIE2)ビット**または**比較x割り込み許可(OCIE2x)ビット**が設定(1)されるなら、デバイス是对応するどの割り込みからでも起動できます。

タイマ/カウンタ2が走行(動作)しないなら、パワーダウン動作をパワーセーブ動作の代わりにすることが推奨されます。

タイマ/カウンタ2はパワーセーブ動作で同期と非同期の両方でクロック駆動ができます。タイマ/カウンタ2が非同期クロックを使わない場合、休止中、タイマ/カウンタ用発振器は停止されます。タイマ/カウンタ2が同期クロックを使わない場合、休止中、そのクロック元は停止されます。例えばパワーセーブ動作で同期クロックが走行しても、このクロックはタイマ/カウンタ2に対してだけ利用可能なことに注意してください。

10.6. スタンバイ動作

外部クリスタル発振子/セラミック振動子クロック種別が選ばれ、SM2~0ビットが'110'のとき、**SLEEP**命令はMCUをスタンバイ動作へ移行させます。この動作は(外部クリスタル用)発振器が走行(動作)を保たれる例外を除いてパワーダウン動作と同じです。デバイスはスタンバイ動作から6クロック周期で起動します。

10.7. 拡張スタンバイ動作

外部クリスタル発振子/セラミック振動子クロック種別が選ばれ、SM2~0ビットが'111'のとき、**SLEEP**命令はMCUを拡張スタンバイ動作へ移行させます。この動作は(外部クリスタル用)発振器が走行(動作)を保たれる例外を除いてパワーセーブ動作と同じです。デバイスは拡張スタンバイ動作から6クロック周期で起動します。

10.8. 電力削減レジスタ

電力削減レジスタ(38頁の**電力削減レジスタ0(PRR0)**と39頁の**電力削減レジスタ1(PRR1)**参照)は消費電力を削減するために個別周辺機能へのクロックを停止する方法を提供します。

周辺機能に対するクロックが停止される時に以下に注意してください。

- ・ 周辺機能の現在の状態が固定化されます。
- ・ 関連するレジスタは読み書きすることができません。
- ・ 周辺機能によって使われる資源(例えば入出力ピンなど)は専有されたままに留まります。

周辺機能は殆どの場合に於いてクロックを停止する前に禁止されるべきです。電力削減レジスタ(PRR)のビットを解除(0)することが周辺機能部を起し、停止前と同じ状態にします。周辺機能停止は全体に亘る重要な消費電力の削減のために活動動作とアイドル動作で使用できます。例については254頁の「**周辺機能部供給電流**」をご覧ください。その他の休止形態ではクロックが予め停止されます。

10.9. 消費電力の最小化

これらはAVRが制御するシステムで消費電力の最小化を試みる時に考慮するためのそれぞれの検討点です。一般的に休止形態は可能な限り多く使われるべきで、休止種別は動作するデバイスの機能が可能な限り少なくなるように選ばれるべきです。必要とされない全ての機能は禁止されるべきです。特に次の機能部は最低可能消費電力の達成を試みるとき、特別な考慮を必要とするでしょう。

10.9.1. A/D変換器 (ADC)

許可したなら、A/D変換器は全休止形態で許可されます。節電するため、休止形態の何れかへ移行する前にA/D変換器は禁止されるべきです。A/D変換器がOFFそして再びONに切り替えられると、次の(最初の)変換は延長された(初回)変換になります。A/D変換器操作の詳細については186頁の「[A/D変換器](#)」を参照してください。

10.9.2. アナログ比較器

アイドル動作へ移行するとき、アナログ比較器は使われないなら、禁止されるべきです。A/D変換雑音削減動作へ移行するとき、アナログ比較器は禁止されるべきです。その他の休止形態でのアナログ比較器は自動的に禁止されます。しかしアナログ比較器が入力として内部基準電圧を使う設定の場合、全休止形態でアナログ比較器は禁止されるべきです。さもないと内部基準電圧は休止形態と無関係に許可されます。アナログ比較器設定法の詳細については184頁の「[アナログ比較器](#)」を参照してください。

10.9.3. 低電圧検出器 (BOD)

低電圧検出器(BOD)が応用で必要とされないなら、この単位部はOFFにされるべきです。低電圧検出器がBODLEVELヒューズによって許可されていると全休止形態で許可され、故に常時電力を消費します。これはより深い休止形態での総消費電流にとって重要な一因になります。低電圧検出器(BOD)設定法の詳細については41頁の「[低電圧検出 \(BOD\)](#)」を参照してください。

10.9.4. 内部基準電圧

内部基準電圧は低電圧検出器(BOD)、アナログ比較器、A/D変換器によって必要とされる時に許可されます。これら単位部が上の項で記述されたように禁止されると、内部基準電圧は禁止され、電力を消費しません。再び許可する場合、この出力が使われる前に使用者は基準電圧へ起動(安定時間)を与えなければなりません。基準電圧が休止形態でON保持される場合、この出力は直ちに使えます。起動時間の詳細については42頁の「[内部基準電圧](#)」を参照してください。

10.9.5. ウォッチドッグ タイマ

ウォッチドッグ タイマが応用で必要とされないなら、この単位部はOFFにされるべきです。ウォッチドッグ タイマが許可されていると全休止形態で許可され、故に常時電力を消費します。これはより深い休止形態での総消費電流にとって重要な一因になります。ウォッチドッグ タイマ設定法の詳細については42頁の「[ウォッチドッグ タイマ](#)」を参照してください。

10.9.6. ポートピン

休止形態へ移行するとき、全てのポートピンは最小電力使用に設定されるべきです。最も重要なことはその時にピンが抵抗性負荷を駆動しないのを保証することです。I/Oクロック(clk_{I/O})とA/D変換クロック(clk_{ADC})の両方が停止される休止形態ではデバイスの入力緩衝部が禁止されます。これは必要とされない時に入力論理回路によって電力が消費されないことを保証します。いくつかの場合で入力論理回路は起動条件を検出するために必要とされ、その時は許可されます。どのピンが許可されるかの詳細については57頁の「[デジタル入力許可と休止形態](#)」を参照してください。入力緩衝部が許可され、入力信号が浮いている状態のままか、またはアナログ信号電圧がVCC/2付近の場合、入力緩衝部は過大な電力を消費するでしょう。

アナログ入力ピンに対するデジタル入力緩衝部は常に禁止されるべきです。入力ピンでのVCC/2付近のアナログ信号入力は通常動作でも重要な電流を引き起こし得ます。デジタル入力緩衝部はデジタル入力禁止レジスタ(DIDR0,DIDR1,DIDR2)の書き込みによって禁止できます。詳細については185頁の「[DIDR1 – デジタル入力禁止レジスタ1](#)」、196頁の「[DIDR0 – デジタル入力禁止レジスタ0](#)」と「[DIDR2 – デジタル入力禁止レジスタ2](#)」を参照してください。

10.9.7. 内蔵デバッグ機能 (OCD)

内蔵デバッグ機能がOCDENヒューズによって許可され、チップがパワーダウンまたはパワーセーブの休止形態へ移行すると、主クロック元は許可に留まります。これらの休止形態では、これが総消費電流にとって重要な一因になります。これを避けるには3通りの方法があります。

- OCDENヒューズを禁止 (非プログラム⁽¹⁾設定)
- JTAGENヒューズを禁止 (非プログラム⁽¹⁾設定)
- MCU制御レジスタ(MCUCR)のJTAG禁止(JTD)ビットへの1書き込み

10.10. 電力管理用レジスタ

10.10.1. SMCR – 休止形態制御レジスタ (Sleep Mode Control Register)

この休止形態制御レジスタは電力管理用の制御ビットを含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$33 (\$53)	–	–	–	–	SM2	SM1	SM0	SE	SMCR
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット3～1 – SM2～0 : 休止種別選択 (Sleep Mode Select Bit 2, 1 and 0)

これらのビットは表10-2.で示される利用可能な6つの休止形態の1つを選びます。

表10-2. 休止形態種別選択

SM2	SM1	SM0	休止形態種別
0	0	0	アイドル動作
0	0	1	A/D変換雑音低減動作
0	1	0	パワーダウン動作
0	1	1	パワーセーブ動作
1	0	0	(予約)
1	0	1	(予約)
1	1	0	スタンバイ動作 (注)
1	1	1	拡張スタンバイ動作 (注)

注: (拡張)スタンバイ動作は外部クリスタル発振子またはセラミック振動子での使用だけが推奨されます。

● ビット0 – SE : 休止許可 (Sleep Enable)

SLEEP命令が実行される時にMCUを休止形態へ移行させるには、休止許可(SE)ビットが論理1を書かれなければなりません。MCUの目的外休止形態移行を避けるため、SLEEP命令実行直前に休止許可(SE)ビットを設定(1)し、起動後直ちに解除(0)することが推奨されます。

10.10.2. PRR0 – 電力削減レジスタ0 (Power Reduction Register 0)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$64)	PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	–	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC	PRR0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – PRTWI : 2線直列インターフェース電力削減 (Power Reduction TWI)

このビットへの1書き込みはその部分へのクロック停止によって2線直列インターフェース(TWI)を停止します。TWIの再起動時、TWIは正しい動作を保証するために再初期化されるべきです。

● ビット6 – PRTIM2 : タイマ/カウンタ2電力削減 (Power Reduction Timer/Counter2)

このビットへの1書き込みは同期動作(非同期動作許可(AS2)=0)でのタイマ/カウンタ2部を停止します。タイマ/カウンタ2が許可されると、停止前と同様に動作は継続します。

● ビット5 – PRTIM0 : タイマ/カウンタ0電力削減 (Power Reduction Timer/Counter0)

このビットへの1書き込みはタイマ/カウンタ0部を停止します。タイマ/カウンタ0が許可されると、停止前と同様に動作は継続します。

● ビット4 – Res : 予約 (Reserved)

このビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット3 – PRTIM1 : タイマ/カウンタ1電力削減 (Power Reduction Timer/Counter1)

このビットへの1書き込みはタイマ/カウンタ1部を停止します。タイマ/カウンタ1が許可されると、停止前と同様に動作は継続します。

● ビット2 – PRSPI : 直列周辺インターフェース電力削減 (Power Reduction Serial Peripheral Interface)

このビットへの1書き込みはその部分へのクロック停止によって直列周辺インターフェース(SPI)を停止します。SPIの再起動時、SPIは正しい動作を保証するために再初期化されるべきです。

● ビット1 – PRUSART0 : USART0電力削減 (Power Reduction USART0)

このビットへの1書き込みはその部分へのクロック停止によってUSART0を停止します。USART0の再起動時、USART0は正しい動作を保証するために再初期化されるべきです。

● ビット0 – PRADC : A/D変換器電力削減 (Power Reduction ADC)

このビットへの1書き込みはA/D変換器(ADC)を停止します。A/D変換器は停止前に禁止されなければなりません。A/D変換器停止時、アナログ比較器はADC入力切替器を使えません。

注: アナログ比較器は185頁の「ACSR – アナログ比較器制御/状態レジスタ」のアナログ比較器禁止(ACD)ビットを使って禁止されます。(訳注: 共通性から本注追加)

10.10.3. PRR1 – 電力削減レジスタ1 (Power Reduction Register 1)

ビット (\$65)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	PRTIM5	PRTIM4	PRTIM3	PRUSART3	PRUSART2	PRUSART1	PRR1
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7,6 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット5 – PRTIM5 : タイマ/カウンタ5電力削減 (Power Reduction Timer/Counter5)

このビットへの1書き込みはタイマ/カウンタ5部を停止します。タイマ/カウンタ5が許可されると、停止前と同様に動作は継続します。

● ビット4 – PRTIM4 : タイマ/カウンタ4電力削減 (Power Reduction Timer/Counter4)

このビットへの1書き込みはタイマ/カウンタ4部を停止します。タイマ/カウンタ4が許可されると、停止前と同様に動作は継続します。

● ビット3 – PRTIM3 : タイマ/カウンタ3電力削減 (Power Reduction Timer/Counter3)

このビットへの1書き込みはタイマ/カウンタ3部を停止します。タイマ/カウンタ3が許可されると、停止前と同様に動作は継続します。

● ビット2 – PRUSART3 : USART3電力削減 (Power Reduction USART3)

このビットへの1書き込みはその部分へのクロック停止によってUSART3を停止します。USART3の再起動時、USART3は正しい動作を保証するために再初期化されるべきです。

● ビット1 – PRUSART2 : USART2電力削減 (Power Reduction USART2)

このビットへの1書き込みはその部分へのクロック停止によってUSART2を停止します。USART2の再起動時、USART2は正しい動作を保証するために再初期化されるべきです。

● ビット0 – PRUSART1 : USART1電力削減 (Power Reduction USART1)

このビットへの1書き込みはその部分へのクロック停止によってUSART1を停止します。USART1の再起動時、USART1は正しい動作を保証するために再初期化されるべきです。

(訳補) ATmega1281/2561にはUSART2とUSART3がないので、これらのデバイスのPRUSART2とPRUSART3ビットは無効です。

11. システム制御とリセット

11.1. AVRのリセット

リセット中、全てのI/Oレジスタはそれらの初期値に設定され、プログラムはリセットベクタから実行を開始します。リセットベクタに配置される命令は、きつとリセット処理ルーチンへの**JMP**(絶対分岐)命令でしょう。プログラムが決して割り込み元を許可しないなら、割り込みベクタは使われず、これらの位置に通常のプログラムコードを配置できます。これはリセットベクタが応用領域の一方、割り込みベクタがポート領域の場合やその逆も同様です。図11-1の回路構成図はリセット論理回路を示します。242頁の「システムとリセットの特性」はリセット回路の電気的特性を定義します。

AVRのI/Oポートはリセット元が有効になると直ちにそれらの初期状態にリセットされます。これはどのクロック元の走行も必要ありません。

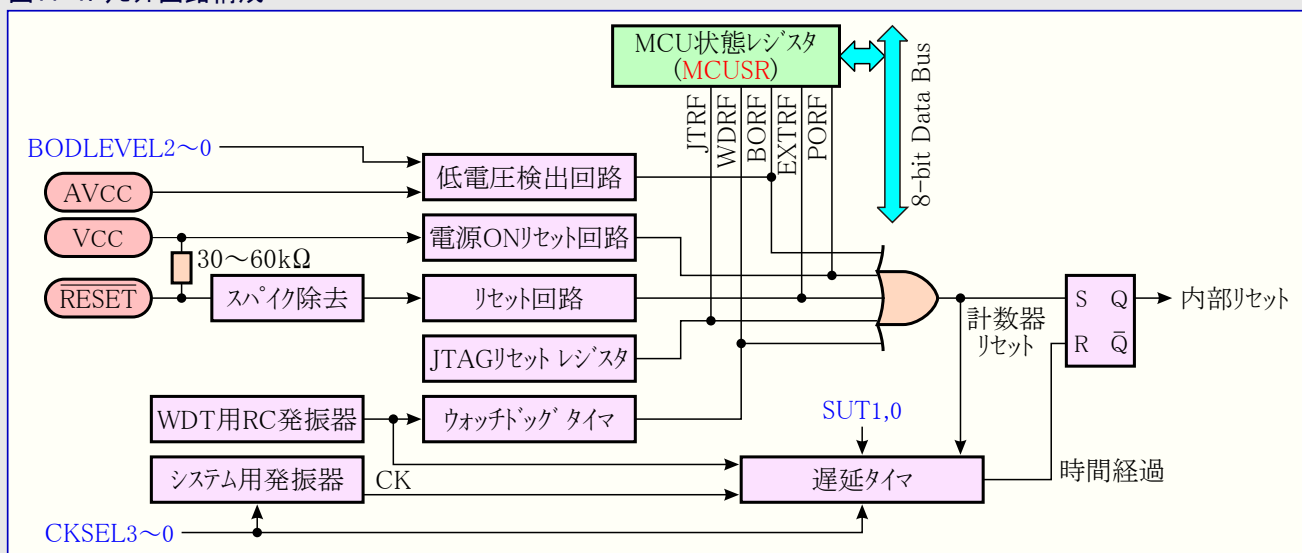
全てのリセット元が無効にされてしまった後、遅延計数器(タイマ)が始動され、内部リセットを引き伸ばします。これは通常動作開始前に安定電圧へ達することを電源に許します。遅延タイマの遅延時間は**CKSELヒューズ**を通して使用者によって定義されます。この遅延時間についての各種選択は29頁の「クロック元」で示されます。

11.2. リセット元

ATmega640/1280/1281/2560/2561には次の5つのリセット元があります。

- ・ **電源ONリセット** 供給電圧が**電源ONリセット閾値電圧(V_{POT})**以下でMCUがリセットされます。
- ・ **外部リセット** RESETピンが**最小パルス幅**以上**Low**レベルに保たれると、MCUがリセットされます。
- ・ **ウォッチドッグ リセット** ... ウォッチドッグが許可され、ウォッチドッグ タイマが終了すると、MCUがリセットされます。
- ・ **低電圧リセット** 低電圧検出が許可され、アナログ供給電圧(AVCC)が**低電圧検出電圧(V_{BOT})**以下でMCUがリセットされます。
- ・ **JTAG AVR リセット** .. JTAGシステムの走査チェーンの1つとしてリセット レジスタ内に論理1がある間中、MCUがリセットされます。詳細については201頁の「**IEEE 1149.1 (JTAG) 境界走査**」を参照してください。

図11-1. リセット回路構成



11.2.1. 電源ONリセット

電源ONリセット(POR)パルスはチップ上の検出回路によって生成されます。検出電圧は242頁の「システムとリセットの特性」で定義されます。POR信号はVCCが検出電圧以下の時は必ず活性(有効)にされます。POR回路は供給電圧異常検出は勿論、始動リセットの起動にも使えます。

電源ONリセット回路はデバイスが電源投入でリセットされることを保証します。電源ONリセット閾値電圧(V_{POT})への到達はVCCの上昇後にデバイスがどのくらいリセットを保つかを決める遅延計数器(タイマ)を起動します。VCCがこの検出電圧以下に低下すると、リセット信号はどんな遅延もなく再び有効にされます。

図11-2. 内蔵電源ONリセット (RESETはVCCに接続)

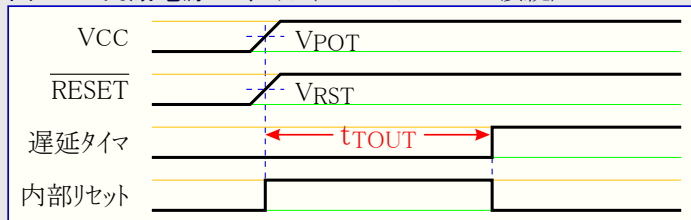
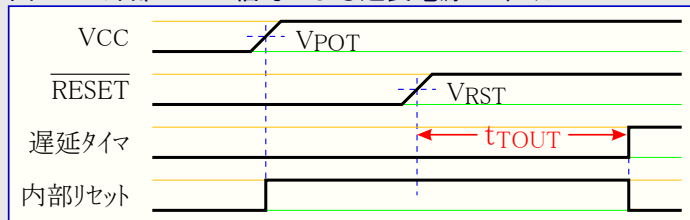


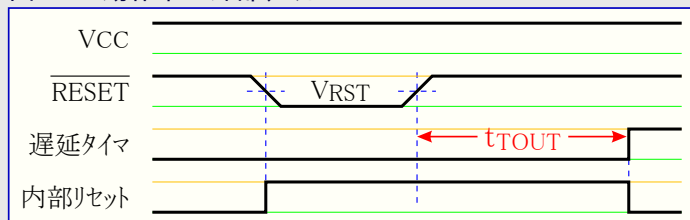
図11-3. 外部RESET信号による延長電源ONリセット



11.2.2. 外部リセット

外部リセットはRESETピンのLowレベルによって生成されます。例えばクロックが動いていなくても、最小パルス幅(242頁の「システムとリセットの特性」参照)以上のリセットパルスはリセットを生成します。短すぎるパルスはリセットの生成が保証されません。印加された信号の上昇がリセット閾値電圧(V_{RST})に達すると(遅延タイマが起動され)、遅延タイマは遅延時間(t_{TOUT})経過後にMCUを始動します。

図11-4. 動作中の外部リセット



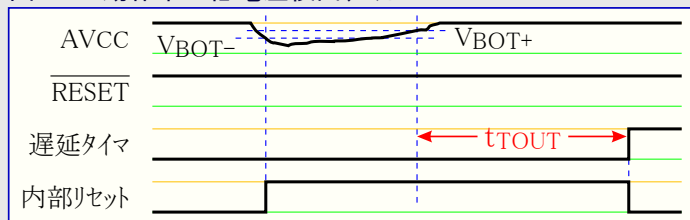
11.2.3. 低電圧(ブラウンアウト)検出リセット

本デバイスには固定化された起動(検出)電圧と比較することによって動作中のAVCCを監視するチップ上の低電圧検出(BOD)回路があります。BODの起動電圧はBODLEVELヒューズによって選べます。起動電圧はスパイク対策BODを保証するためにヒステリシスを持ちます。検出電圧のヒステリシスは $V_{BOT+}=V_{BOT}+V_{HYST}/2$ 、 $V_{BOT-}=V_{BOT}-V_{HYST}/2$ と解釈すべきです。

BODが許可され、AVCCが起動電圧以下の値に下降すると(図11-5の V_{BOT-})、低電圧リセットが直ちに有効とされます。AVCCが起動電圧以上に上昇すると(図11-5の V_{BOT+})、(遅延タイマが起動されて)遅延タイマは遅延時間(t_{TOUT})経過後にMCUを始動します。

BOD回路は電圧が242頁の「システムとリセットの特性」で与えられる t_{BOD} 時間より長く起動電圧以下に留まる場合のみ、AVCCでの低下を検出します。

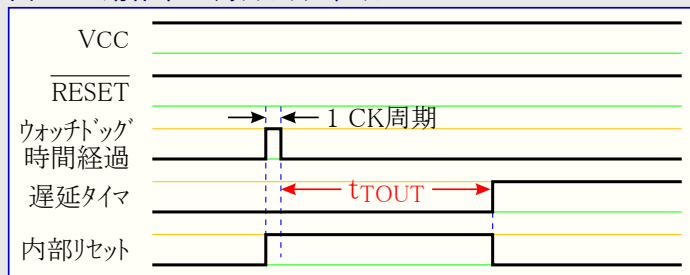
図11-5. 動作中の低電圧検出リセット



11.2.4. ウォッチドッグリセット

ウォッチドッグ時間経過時、(内部的に)1 CK周期幅の短いリセットパルス生成します。本パルスの下降端で遅延タイマは遅延時間(t_{TOUT})の計時を始めます。ウォッチドッグタイマ操作の詳細については42頁を参照してください。

図11-6. 動作中のウォッチドッグリセット



11.3. 内部基準電圧

ATmega640/1280/1281/2560/2561は内部基準電圧が特徴です。この基準電圧は低電圧検出(BOD)に使われ、A/D変換やアナログ比較器の入力としても使えます。

11.3.1. 基準電圧許可信号と起動時間

この基準電圧には使われるべき方法に影響を及ぼすかもしれない起動時間があります。この起動時間は242頁の「システムリセットの特性」で与えられます。節電のために、この基準電圧は常にONではありません。この基準電圧は次の状態中ONです。

1. 低電圧検出リセット許可時 (BODLEVELヒューズのプログラム(0)により)
2. アナログ比較器基準電圧接続時 (アナログ比較器制御/状態レジスタ(ACSR)の基準電圧入力選択(ACBG)=1)
3. A/D変換部動作許可時 (A/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のA/D動作許可(ADEN)=1)

従って低電圧検出(BOD)が許可されていないと、ACBGの設定(=1)またはA/D変換部許可(ADEN=1)後、使用者はアナログ比較器またはA/D変換器出力が使われる前に基準電圧へ起動時間を与えなければなりません。パワーダウン動作での消費電力を減らすため、使用者はパワーダウン動作へ移行する前に基準電圧がOFFされるのを保証することで上の3つの状態を避けられます。

11.4. ウォッチドッグ タイマ

11.4.1. 特徴

- ・独立した内蔵発振器からのクロック駆動
- ・3つの動作種別
 - － 割り込み
 - － システム リセット
 - － 割り込みとシステム リセット
- ・選択可能な16ms～8sの計時完了時間
- ・安全動作作用のウォッチドッグ常時ONハードウェア ヒューズ

11.4.2. 概要

ATmega640/1280/1281/2560/2561は強化されたウォッチドッグ タイマ(WDT)を持ちます。ウォッチドッグ タイマ(WDT)はチップ上の独立した128kHz発振器の間隔で計時するタイマです。WDTは計数器が与えられた計時完了値に達した時に割り込みまたはシステム リセットを生じます。通常動作では計時完了値へ達する前に計数器を再始動するために、システムはウォッチドッグ リセット(WDR)命令を使う必要があります。システムが計数器を再始動しなければ、割り込みまたはシステム リセットが起こるでしょう。

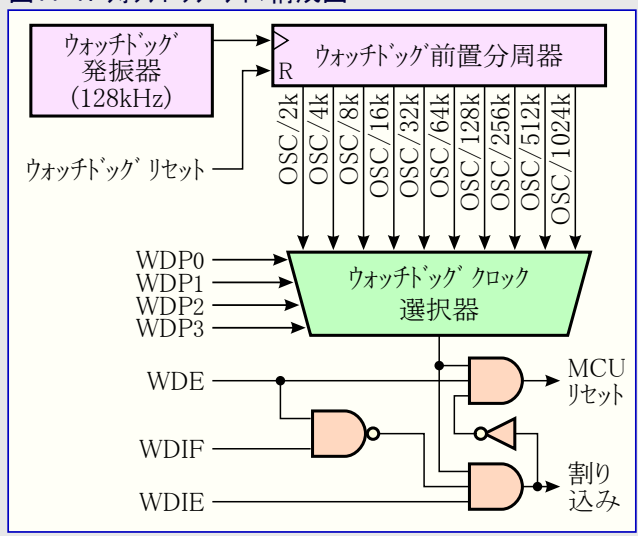
割り込み動作種別では、タイマ計時完了時にWDTが割り込みを生じます。この割り込みは休止形態からデバイスを起動するためや、一般的なシステム タイマとしても使えます。1つの例は或る動作に対して許された最大時間を制限することで、その動作が予測されたより長く走行する時に割り込みを生じます。システム リセット動作種別ではタイマ計時完了時にWDTがリセットを生じます。これは一般的にコード外走行の場合の中断を防止するのに使われます。3つ目の動作種別は先に割り込みを生じ、その後にシステム リセット動作種別に切り替えることで、他の2つの動作種別の組み合わせとなる、割り込み及びシステム リセット動作種別です。この動作種別は例えばシステム リセットに先立って重要なパラメータを保存することによって安全な停止を許します。

ウォッチドッグ常時ON(WDTON)ヒューズのプログラム(0)はウォッチドッグ タイマをシステム リセット動作種別に強制します。このヒューズのプログラム(0)でシステム リセット動作(WDE)ビットと割り込み動作(WDIE)ビットは各々、'1'と'0'に固定されます。

更にプログラム保護を保証するためにウォッチドッグ設定の変更は時間制限手順に従わなければなりません。システム リセット許可(WDE)の解除と計時完了時間設定の変更についての手順は次のとおりです。

1. 同じ操作(命令)でウォッチドッグ変更許可(WDCE)とWDEに論理1を書きます。WDEビットの直前の値に拘らず、論理1がWDEに書かれなければなりません。
2. 次からの4クロック周期内に同じ操作(命令)で欲したWDEとウォッチドッグ タイマ前置分周選択(WDP3～0)ビットを書きますが、WDCEビットは解除(0)されてです。これは1操作(命令)で行わなければなりません。

図11-7. ウォッチドッグ タイマ構成図



次のコード例はウォッチドッグ タイマをOFFに切り替えるアセンブリ言語とC言語の関数を示します。本例は(例えば全割り込み禁止によって)割り込みが制御され、それ故これらの関数実行中に割り込みが起きない前提です。

アセンブリ言語プログラム例

```

WDT_OFF:      CLI                ;全割り込み禁止
              WDR                ;ウォッチドッグ タイマ リセット
              IN     R16, MCUSR   ;MCUSR値を取得
              ANDI   R16, ~(1<<WDRF) ;WDRF論理0値を取得
              OUT    MCUSR, R16  ;ウォッチドッグ リセット フラグ(WDRF)解除
              LDS    R16, WDTCSR ;現WDTCSR値を取得(他ビット保護用)
              ORI    R16, (1<<WDCE) | (1<<WDE) ;WDCEとWDE論理1値を設定
              STS    WDTCSR, R16 ;WDCEとWDEに論理1書き込み
              LDI    R16, (0<<WDE) ;WDE論理0値を取得
              STS    WDTCSR, R16 ;ウォッチドッグ禁止
              SEI                ;全割り込み許可
              RET                ;呼び出し元へ復帰
    
```

C言語プログラム例

```

void WDT_off(void)
{
    __disable_interrupt(); /* 全割り込み禁止 */
    __watchdog_reset();    /* ウォッチドッグ タイマ リセット */
    MCUSR &= ~(1<<WDRF);    /* ウォッチドッグ リセット フラグ(WDRF)解除 */
    WDTCSR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE); /* WDCEとWDEに論理1書き込み */
    WDTCSR = 0x00;         /* ウォッチドッグ禁止 */
    __enable_interrupt();  /* 全割り込み許可 */
}
    
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

注: ウォッチドッグが偶然に許可されると(例えばポインタの逸脱や低電圧(ブラウンアウト)状態)、デバイスはリセットし、ウォッチドッグは許可に留まります。コードがウォッチドッグ操作の初期設定をしなければ、これは計時完了の無限繰り返しを引き起こすかもしれません。この状態を避けるため、応用ソフトウェアは例えウォッチドッグが使われなくても、初期化ルーチンで**WDRFフラグ**と**WDE制御ビット**を常に解除(0)すべきです。

次のコード例はウォッチドッグ タイマの計時完了値変更用のアセンブリ言語とC言語の関数を示します。

アセンブリ言語プログラム例

```

WDT_PR3:      CLI                ;全割り込み禁止
              WDR                ;ウォッチドッグ タイマ リセット
              LDS    R16, WDTCSR ;現WDTCSR値を取得(他ビット保護用)
              ORI    R16, (1<<WDCE) | (1<<WDE) ;WDCEとWDE論理1値を設定
              STS    WDTCSR, R16 ;WDCEとWDEに論理1書き込み
              LDI    R16, (1<<WDE) | (1<<WDP2) | (1<<WDPO) ;WDE=1,計時間隔=0.5s値を取得
              STS    WDTCSR, R16 ;0.5s監視間隔リセット動作開始
              SEI                ;全割り込み許可
              RET                ;呼び出し元へ復帰
    
```

C言語プログラム例

```

void WDT_off(void)
{
    __disable_interrupt(); /* 全割り込み禁止 */
    __watchdog_reset();    /* ウォッチドッグ タイマ リセット */
    WDTCSR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE); /* WDCEとWDEに論理1書き込み */
    WDTCSR = (1<<WDE) | (1<<WDP2) | (1<<WDPO); /* 0.5s監視間隔リセット動作開始 */
    __enable_interrupt();  /* 全割り込み許可 */
}
    
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

注: ウォッチドッグ タイマ前置分周選択(WDP3~0)ビットの変更がより短い計時完了周期に変わってしまう結果になり得るため、ウォッチドッグ タイマはWDPビットのどんな変更にも先立ってリセット(WDR命令)されるべきです。

11.5. リセット関係用レジスタ

11.5.1. MCUSR – MCU状態レジスタ (MCU Status Register)

MCU状態レジスタは、どのリセット元がMCUリセットを起こしたかの情報を提供します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$34 (\$54)	–	–	–	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	MCUSR
Read/Write	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	内容参照	内容参照	内容参照	内容参照	内容参照	

- ビット4 – JTRF : JTAG リセット フラグ (JTAG Reset Flag)

このビットはリセットがJTAG命令AVR_RESETで選ばれたJTAG リセット レジスタ内の論理1によって引き起こされると設定(1)されます。このビットは電源ONリセットまたは、このフラグへの論理0書き込みによってリセット(0)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 リセットが起こると設定(1)されます。このビットは電源ONリセットまたは、このフラグへの論理0書き込みによってリセット(0)されます。

- ビット2 – BORF : 低電圧リセット フラグ (Brown-Out Reset Flag)

このビットは低電圧リセットが起こると設定(1)されます。このビットは電源ONリセットまたは、このフラグへの論理0書き込みによってリセット(0)されます。

- ビット1 – 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こると設定(1)されます。このビットは電源ONリセットまたは、このフラグへの論理0書き込みによってリセット(0)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リセットが起こると設定(1)されます。このビットはこのフラグへの論理0書き込みによってのみリセット(0)されます。

リセット条件の確認にリセット フラグを使うため、使用者はプログラム内で可能な限り早くMCUSRを読み、そして解除(0)すべきです。別のリセットが起こる前にこのレジスタが解除(0)されると、そのリセット元はリセット フラグを調べることによって得られます。

11.5.2. WDTCSR – ウォッチドッグ タイマ制御レジスタ (Watchdog Timer Control Register)

ビット (\$60)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	WDTCSR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	不定	0	0	0	

● ビット7 – WDIF : ウォッチドッグ割り込み要求フラグ (Watchdog Interrupt Flag)

ウォッチドッグ タイマが割り込みに設定され、ウォッチドッグ タイマで計時完了が起こると、本ビットが設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、WDIFはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにWDIFはこのフラグへの論理1書き込みによっても解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとウォッチドッグ割り込み許可(WDIE)が設定(1)されていれば、ウォッチドッグ計時完了割り込みが実行されます。

● ビット6 – WDIE : ウォッチドッグ割り込み許可 (Watchdog Interrupt Enable)

このビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、ウォッチドッグ割り込みが許可されます。この設定(=1)との組み合わせでウォッチドッグリセット許可(WDE)ビットが解除(0)されると、割り込み動作種別になり、ウォッチドッグ タイマで計時完了が起こると、対応する割り込みが実行されます。

WDEが設定(1)されると、ウォッチドッグ タイマは割り込み及びシステムリセット動作種別になります。ウォッチドッグ タイマでの最初の計時完了がウォッチドッグ割り込み要求(WDIF)フラグを設定(1)します。対応する割り込みベクタの実行はハードウェアによってWDIEとWDIFを自動的に解除(0)します。これは割り込みを使う間のウォッチドッグリセット保護を維持するために有用です。割り込み及びシステムリセット動作種別に留まるには、各割り込み後にWDIEが設定(1)されなければなりません。然しながら、ウォッチドッグシステムリセット動作種別の安全機能に危険を及ぼすかもしれないため、これは割り込み処理ルーチン自身内で行われるべきではありません。次の計時完了に先立って割り込みが実行されない場合、システムリセットが適用(実行)されます。

表11-1. ウォッチドッグ タイマ設定

WDTON	WDE	WDIE	動作種別	計時完了での動作
1	0	0	停止	なし
1	0	1	割り込み	割り込み
1	1	0	システムリセット	リセット
1	1	1	割り込み及びシステムリセット	割り込み、その後システムリセット動作種別
0	x	x	システムリセット	リセット

注: WDTONヒューズは0でプログラム、1で非プログラムに設定です。

● ビット4 – WDCE : ウォッチドッグ変更許可 (Watchdog Change Enable)

このビットはウォッチドッグリセット許可(WDE)と前置分周器ビットの変更用の時間制限手順で使われます。WDEビットの解除(0)や前置分周器ビット変更のため、WDCEは設定(1)されなければなりません。

一旦1を書かれると、4クロック周期後にハードウェアがWDCEを解除(0)します。

● ビット3 – WDE : ウォッチドッグリセット許可 (Watchdog System Reset Enable)

WDEはMCU状態レジスタ(MCUSR)のウォッチドッグリセットフラグ(WDRF)によって無効にされます。これはWDRFが設定(1)されると、WDEが常に設定(1)されることを意味します。WDEを解除(0)するにはWDRFが先に解除(0)されなければなりません。この特徴は失敗を引き起こす状態中の複数リセットと失敗後の安全な起動を保証します。

● ビット5,2~0 – WDP3~0 : ウォッチドッグタイマ前置分周選択 (Watchdog Timer Prescaler 3,2,1 and 0)

このWDP3~0ビットはウォッチドッグタイマが走行する時のウォッチドッグタイマの前置分周を決めます。各種前置分周値と対応する計時完了周期は表11-2.で示されます。

表11-2. ウォッチドッグ前置分周選択

WDP3	0								1							
WDP2	0				1				0				1			
WDP1	0		1		0		1		0		1		0		1	
WDP0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
WDT発振周期数	2k	4k	8k	16k	32k	64k	128k	256k	512k	1024k	(予約)					
代表的計時完了周期 (VCC=5V)	16ms	32ms	64ms	0.125s	0.25s	0.5s	1.0s	2.0s	4.0s	8.0s						

12. 割り込み

本章はATmega640/1280/1281/2560/2561によって実行される割り込み操作の詳細を記述します。AVR割り込み操作の一般説明については15頁の「リセットと割り込みの扱い」を参照してください。

12.1. ATmega640/1280/1281/2560/2561の割り込みベクタ

表12-1. リセットと割り込みのベクタ

ベクタ番号	プログラム アドレス (注2)	発生元	備考
1	\$0000 (注1)	RESET	電源ON, WDT, BOD, JTAGリセット等の各種リセット
2	\$0002	INT0	外部割り込み要求0
3	\$0004	INT1	外部割り込み要求1
4	\$0006	INT2	外部割り込み要求2
5	\$0008	INT3	外部割り込み要求3
6	\$000A	INT4	外部割り込み要求4
7	\$000C	INT5	外部割り込み要求5
8	\$000E	INT6	外部割り込み要求6
9	\$0010	INT7	外部割り込み要求7
10	\$0012	PCINT0	ピン変化0群割り込み要求 (PCI0)
11	\$0014	PCINT1	ピン変化1群割り込み要求 (PCI1)
12	\$0016 (注3)	PCINT2	ピン変化2群割り込み要求 (PCI2)
13	\$0018	WDT	ウォッチドッグ計時完了
14	\$001A	TIMER2_COMPA	タイマ/カウンタ2比較A一致
15	\$001C	TIMER2_COMPB	タイマ/カウンタ2比較B一致
16	\$001E	TIMER2_OVF	タイマ/カウンタ2溢れ
17	\$0020	TIMER1_CAPT	タイマ/カウンタ1捕獲発生
18	\$0022	TIMER1_COMPA	タイマ/カウンタ1比較A一致
19	\$0024	TIMER1_COMPB	タイマ/カウンタ1比較B一致
20	\$0026	TIMER1_COMPC	タイマ/カウンタ1比較C一致
21	\$0028	TIMER1_OVF	タイマ/カウンタ1溢れ
22	\$002A	TIMER0_COMPA	タイマ/カウンタ0比較A一致
23	\$002C	TIMER0_COMPB	タイマ/カウンタ0比較B一致
24	\$002E	TIMER0_OVF	タイマ/カウンタ0溢れ
25	\$0030	SPI_STC	SPI 転送完了
26	\$0032	USART0_RX	USART0 受信完了
27	\$0034	USART0_UDRE	USART0 送信緩衝部空き
28	\$0036	USART0_TX	USART0 送信完了
29	\$0038	ANALOG_COMP	アナログ比較器出力遷移
30	\$003A	ADC	A/D変換完了
31	\$003C	EE_READY	EEPROM 操作可
32	\$003E	TIMER3_CAPT	タイマ/カウンタ3捕獲発生
33	\$0040	TIMER3_COMPA	タイマ/カウンタ3比較A一致
34	\$0042	TIMER3_COMPB	タイマ/カウンタ3比較B一致
35	\$0044	TIMER3_COMPC	タイマ/カウンタ3比較C一致
36	\$0046	TIMER3_OVF	タイマ/カウンタ3溢れ
37	\$0048	USART1_RX	USART1 受信完了
38	\$004A	USART1_UDRE	USART1 送信緩衝部空き
39	\$004C	USART1_TX	USART1 送信完了
40	\$004E	TWI	2線直列インターフェース状態変化
41	\$0050	SPM_READY	SPM命令操作可
42	\$0052 (注3)	TIMER4_CAPT	タイマ/カウンタ4捕獲発生
43	\$0054	TIMER4_COMPA	タイマ/カウンタ4比較A一致
44	\$0056	TIMER4_COMPB	タイマ/カウンタ4比較B一致
45	\$0058	TIMER4_COMPC	タイマ/カウンタ4比較C一致
46	\$005A	TIMER4_OVF	タイマ/カウンタ4溢れ
47	\$005C (注3)	TIMER5_CAPT	タイマ/カウンタ5捕獲発生
48	\$005E	TIMER5_COMPA	タイマ/カウンタ5比較A一致
49	\$0060	TIMER5_COMPB	タイマ/カウンタ5比較B一致
50	\$0062	TIMER5_COMPC	タイマ/カウンタ5比較C一致
51	\$0064	TIMER5_OVF	タイマ/カウンタ5溢れ
52	\$0066 (注3)	USART2_RX	USART2 受信完了
53	\$0068 (注3)	USART2_UDRE	USART2 送信緩衝部空き
54	\$006A (注3)	USART2_TX	USART2 送信完了

[次頁へ続く](#)

表12-1 (続き). リセットと割り込みのベクタ

ベクタ番号	プログラム アドレス (注2)	発生元	備考
55	\$006C (注3)	USART3_RX	USART3 受信完了
56	\$006E (注3)	USART3_UDRE	USART3 送信緩衝部空き
57	\$0070 (注3)	USART3_TX	USART3 送信完了

注1: BOOTRSTヒューズがプログラム(0)されると、デバイスはリセットでブート ローダ アドレスへ飛びます。208頁の「ブート ローダ 支援 – 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング」をご覧ください。

注2: MCU制御レジスタ(MCUOCR)の割り込みベクタ選択(IVSEL)ビットが設定(1)されると、割り込みベクタはブート フラッシュ領域先頭(部)へ移動されます。そして各割り込みベクタのアドレスは、この表のアドレスがブート フラッシュ領域の先頭アドレスに加算されます。

注3: ATmega640/1280/2560でだけ利用可能です。(訳注: 下の訳補参照)

12.2. リセットと割り込みのベクタ配置

表12-2. はBOOTRST(ヒューズ)とIVSEL(割り込みベクタ選択ビット)の様々な組み合わせに対するリセットと割り込みベクタの配置を示します。プログラムが決して割り込み元を許可しないなら、割り込みベクタは使われず、これらの位置に通常のプログラムコードを置けます。これはリセット ベクタが応用領域の一方、割り込みベクタがブート領域、またはその逆の場合でも同様です。

表12-2. リセットと割り込みベクタの配置

BOOTRST	IVSEL	リセット ベクタ アドレス	割り込みベクタ先頭アドレス
非プログラム(1)	0	\$0000	\$0002
	1	\$0000	ブート領域先頭アドレス + \$0002
プログラム(0)	0	ブート領域先頭アドレス	\$0002
	1	ブート領域先頭アドレス	ブート領域先頭アドレス + \$0002

注: ブート領域先頭アドレスは216頁の表28-7. で示されます。

(訳補): ATmega1281/2561にはPCINT9～23ピンが存在しませんので、ベクタ番号12のPCI2割り込みはありません。

ATmega1281/2561にはICP4とICP5ピンが存在しませんので、ベクタ番号42のタイマ/カウンタ4捕獲割り込みとベクタ番号47のタイマ/カウンタ5捕獲割り込みに対し、原書に於いて(注3)が適用されていると思われますが、波形生成部もICFnを使うので、この(注3)適用は誤りかもしれません。これが正しいなら、これらのデバイスでのタイマ/カウンタ4と5の波形生成部でのICFnは使えません。

ATmega1281/2561にはUSART2とUSART3が実装されていないので、ベクタ番号52～57のUSART2とUSART3関係割り込みはありません。

ATmega640/1280/1281/2560/2561での最も代表的且つ一般的なリセットと割り込みのベクタ アドレス用設定を次に示します。

アドレス	ラベル	命令	注釈
\$0000		JMP RESET	;各種リセット
\$0002		JMP INT0	;外部割り込み要求0
\$0004		JMP INT1	;外部割り込み要求1
\$0006		JMP INT2	;外部割り込み要求2
\$0008		JMP INT3	;外部割り込み要求3
\$000A		JMP INT4	;外部割り込み要求4
\$000C		JMP INT5	;外部割り込み要求5
\$000E		JMP INT6	;外部割り込み要求6
\$0010		JMP INT7	;外部割り込み要求7
\$0012		JMP PCINT0	;ピン変化0群割り込み要求
\$0014		JMP PCINT1	;ピン変化1群割り込み要求
\$0016		JMP PCINT2	;ピン変化2群割り込み要求 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$0018		JMP WDT	;ウォッチドッグ計時完了
\$001A		JMP TIMER2_COMPA	;タイマ/カウンタ2比較A一致
\$001C		JMP TIMER2_COMPB	;タイマ/カウンタ2比較B一致
\$001E		JMP TIMER2_OVF	;タイマ/カウンタ2溢れ
\$0020		JMP TIMER1_CAPT	;タイマ/カウンタ1捕獲発生
\$0022		JMP TIMER1_COMPA	;タイマ/カウンタ1比較A一致
\$0024		JMP TIMER1_COMPB	;タイマ/カウンタ1比較B一致
\$0026		JMP TIMER1_COMPC	;タイマ/カウンタ1比較C一致
\$0028		JMP TIMER1_OVF	;タイマ/カウンタ1溢れ
\$002A		JMP TIMERO_COMPA	;タイマ/カウンタ0比較A一致
\$002C		JMP TIMERO_COMPB	;タイマ/カウンタ0比較B一致
\$002E		JMP TIMERO_OVF	;タイマ/カウンタ0溢れ
\$0030		JMP SPI_STC	;SPI転送完了
\$0032		JMP USART0_RX	;USART0 受信完了
\$0034		JMP USART0_UDRE	;USART0 送信緩衝部空
\$0036		JMP USART0_TX	;USART0 送信完了
\$0038		JMP ANALOG_COMP	;アナログ比較器出力遷移
\$003A		JMP ADC	;A/D変換完了
\$003C		JMP EE_READY	;EEPROM操作可
\$003E		JMP TIMER3_CAPT	;タイマ/カウンタ3捕獲発生
\$0040		JMP TIMER3_COMPA	;タイマ/カウンタ3比較A一致
\$0042		JMP TIMER3_COMPB	;タイマ/カウンタ3比較B一致
\$0044		JMP TIMER3_COMPC	;タイマ/カウンタ3比較C一致
\$0046		JMP TIMER3_OVF	;タイマ/カウンタ3溢れ
\$0048		JMP USART1_RX	;USART1 受信完了
\$004A		JMP USART1_UDRE	;USART1 送信緩衝部空
\$004C		JMP USART1_TX	;USART1 送信完了
\$004E		JMP TWI	;2線直列インターフェース状態変化
\$0050		JMP SPM_READY	;SPM命令操作可
\$0052		JMP TIMER4_CAPT	;タイマ/カウンタ4捕獲発生 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$0054		JMP TIMER4_COMPA	;タイマ/カウンタ4比較A一致
\$0056		JMP TIMER4_COMPB	;タイマ/カウンタ4比較B一致
\$0058		JMP TIMER4_COMPC	;タイマ/カウンタ4比較C一致
\$005A		JMP TIMER4_OVF	;タイマ/カウンタ4溢れ
\$005C		JMP TIMER5_CAPT	;タイマ/カウンタ5捕獲発生 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$005E		JMP TIMER5_COMPA	;タイマ/カウンタ5比較A一致
\$0060		JMP TIMER5_COMPB	;タイマ/カウンタ5比較B一致
\$0062		JMP TIMER5_COMPC	;タイマ/カウンタ5比較C一致
\$0064		JMP TIMER5_OVF	;タイマ/カウンタ5溢れ
\$0066		JMP USART2_RX	;USART2 受信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$0068		JMP USART2_UDRE	;USART2 送信緩衝部空 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$006A		JMP USART2_TX	;USART2 送信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$006C		JMP USART3_RX	;USART3 受信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$006E		JMP USART3_UDRE	;USART3 送信緩衝部空 (ATmega640/1280/2560時のみ)
\$0070		JMP USART3_TX	;USART3 送信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)
;			
\$0072	RESET:	LDI R16, HIGH (RAMEND)	;RAM最終アドレス上位を取得
\$0073		OUT SPH, R16	;スタックポインタ上位を初期化
\$0074		LDI R16, LOW (RAMEND)	;RAM最終アドレス下位を取得
\$0075		OUT SPL, R16	;スタックポインタ下位を初期化
			;以下、I/O初期化など

BOOTRSTヒューズが非プログラム(1)、ブート領域容量が8Kバイトに設定され、どの割り込みが許可されるのにも先立ってMCU制御レジスタ(MCUCR)の割り込みベクタ選択(IVSEL)ビットが設定(1)される時の最も代表的且つ一般的なリセットと割り込みのベクタアドレス用設定を次に示します。

アドレス	ラベル	命令	注釈
\$0000	RESET:	LDI R16, HIGH (RAMEND)	;RAM最終アドレス上位を取得 (応用プログラム開始)
\$0001		OUT SPH, R16	;スタックポインタ上位を初期化
\$0002		LDI R16, LOW (RAMEND)	;RAM最終アドレス下位を取得
\$0003		OUT SPL, R16	;スタックポインタ下位を初期化
		}	;以下、I/O初期化など
		. ORG \$F002	;ブートプログラム領域が8Kバイトの場合
\$F002		JMP INT0	;外部割り込み要求0
\$F004		JMP INT1	;外部割り込み要求1
		}	
\$F070		JMP USART3_TX	;USART3 送信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)

BOOTRSTヒューズがプログラム(0)、ブート領域容量が8Kバイトに設定される時の最も代表的且つ一般的なリセットと割り込みのベクタアドレス用設定を次に示します。

アドレス	ラベル	命令	注釈
		. ORG \$0002	;割り込みベクタ先頭
\$0002		JMP INT0	;外部割り込み要求0
\$0004		JMP INT1	;外部割り込み要求1
		}	
\$0070		JMP USART3_TX	;USART3 送信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)
		}	;以下、プログラムなど
		. ORG \$F000	;ブートプログラム領域が8Kバイトの場合
\$F000	RESET:	LDI R16, HIGH (RAMEND)	;RAM最終アドレス上位を取得 (プログラム開始)
\$F001		OUT SPH, R16	;スタックポインタ上位を初期化
\$F002		LDI R16, LOW (RAMEND)	;RAM最終アドレス下位を取得
\$F003		OUT SPL, R16	;スタックポインタ下位を初期化
		}	;以下、I/O初期化など

BOOTRSTヒューズがプログラム(0)、ブート領域容量が8Kバイトに設定され、どの割り込みが許可されるのにも先立ってMCU制御レジスタ(MCUCR)の割り込みベクタ選択(IVSEL)ビットが設定(1)される時の最も代表的且つ一般的なリセットと割り込みのベクタアドレス用設定を次に示します。

アドレス	ラベル	命令	注釈
		. ORG \$F000	;ブートプログラム領域が8Kバイトの場合
\$F000		JMP RESET	;各種リセット (BOOTRSTヒューズ=0)
\$F002		JMP INT0	;外部割り込み要求0
\$F004		JMP INT1	;外部割り込み要求1
		}	
\$F070		JMP USART3_TX	;USART3 送信完了 (ATmega640/1280/2560時のみ)
;			
\$F072	RESET:	LDI R16, HIGH (RAMEND)	;RAM最終アドレス上位を取得 (プログラム開始)
\$F073		OUT SPH, R16	;スタックポインタ上位を初期化
\$F074		LDI R16, LOW (RAMEND)	;RAM最終アドレス下位を取得
\$F075		OUT SPL, R16	;スタックポインタ下位を初期化
		}	;以下、I/O初期化など

12.3. 応用領域とブート領域間の割り込みベクタ移動

MCU制御レジスタ(MCUCR)は割り込みベクタ表の配置を制御します。以下のコード例をご覧ください。より多くの詳細については15頁の「リセットと割り込みの扱い」をご覧ください。

アセンブリ言語プログラム例

```
MOVE_IVT:    IN      R16, MCUCR          ; 現MCUCR値取得
             MOV     R17, R16           ; 現MCUCR値複写
             ORI     R16, (1<<IVCE)     ; IVCE論理1値を取得
             OUT     MCUCR, R16         ; IVCEに論理1書き込み
             ORI     R17, (1<<IVSEL)     ; IVSEL論理1値を取得
             OUT     MCUCR, R17         ; ブート領域へ割り込みベクタを移動
             RET                        ; 呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void Move_interrupts(void)
{
    uchr temp;                          /* 一時定数定義 */
    temp = MCUCR;                       /* 現MCUCR値取得 */
    MCUCR = temp | (1<<IVCE);           /* IVCEに論理1書き込み */
    MCUCR = temp | (1<<IVSEL);          /* ブート領域へ割り込みベクタを移動 */
}
```

12.4. ベクタ移動用レジスタ

12.4.1. MCUCR – MCU制御レジスタ (MCU Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$35 (\$55)	JTD	–	–	PUD	–	–	IVSEL	IVCE	MCUCR
Read/Write	R/W	R	R	R/W	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット1 – IVSEL : 割り込みベクタ選択 (Interrupt Vector Select)

IVSELビットが解除(0)されると、割り込みベクタはフラッシュメモリの先頭に配置されます。このビットが設定(1)されると、割り込みベクタはフラッシュメモリのブートローダ領域の始まりへ移動されます。ブートフラッシュ領域先頭の実際のアドレスはBOOTSZヒューズによって決定されます。詳細については208頁の「ブートローダ支援 – 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング」章を参照してください。割り込みベクタ表の予期せぬ変更を防ぐため、IVSELビットの変更は特別な書き込み手順に従わなければなりません。

1. 割り込みベクタ変更許可(IVCE)ビットに1を書きます。
2. 4周期内に、欲した値をIVSELに書き、同時に0をIVCEへ書きます。

この手順が実行される間、割り込みは自動的に禁止されます。割り込みはIVCEが設定(1)される周期で禁止され、後続のIVSELに書く命令の後まで禁止されたままです。IVSELが書かれなければ、割り込みは4周期間禁止されたままです。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットはこの自動禁止によって影響されません。

注: 割り込みベクタがブートローダ領域に配置され、BLB02ブート施錠ビットがプログラム(0)されると、応用領域から実行する間中、割り込みが禁止されます。割り込みベクタが応用領域に配置され、BLB12ブート施錠ビットがプログラム(0)されると、ブートローダ領域から実行する間中、割り込みが禁止されます。ブート施錠ビットの詳細については208頁の「ブートローダ支援 – 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング」を参照してください。

● ビット0 – IVCE : 割り込みベクタ変更許可 (Interrupt Vector Change Enable)

IVCEビットは割り込みベクタ選択(IVSEL)ビットの変更を許可するために論理1を書かれなければなりません。IVCEはIVSELが書かれる時、またはIVCEが書かれた後の4周期後、ハードウェアによって解除(0)されます。上記IVSELで説明されるようにIVCEビットの設定(1)は割り込みを(一時的に)禁止します。

13. 外部割り込み

外部割り込みはINT7～0ピンまたはPCINT0～23ピンの何れかによって起動されます。許可したなら、例えばINT7～0またはPCINT0～23ピンが出力として設定されても、割り込みが起動することに注目してください。この特徴はソフトウェア割り込みを生成する方法を提供します。

ピン変化割り込みPCIN0は許可したPCINT0～7の何れかが切り替わると起動します。同様にPCIN1,PCIN2は各々PCINT8～15,PCINT16～23に対応します(訳注:前2行に修正)。ピン変化割り込み許可レジスタ n (PCMSK0,PCMSK1,PCMSK2)は、どのピンがピン変化割り込み要因となるかを制御します。PCINT0～23のピン変化割り込みは非同期に検知されます。これはそれらの割り込みがアイドル動作以外の休止形態からもデバイスを起動するのに使えることを意味します。

INT7～0割り込みは上昇端または下降端(含む両端)、またはLowレベルによって起動できます。これは外部割り込み制御レジスタ(EICRA(INT3～0)とEICRB(INT7～4))の詳述で示される設定です。外部割り込みがレベル起動として設定、且つ許可されると、そのピンがLowに保持される限り、割り込みは(継続的に)起動します。

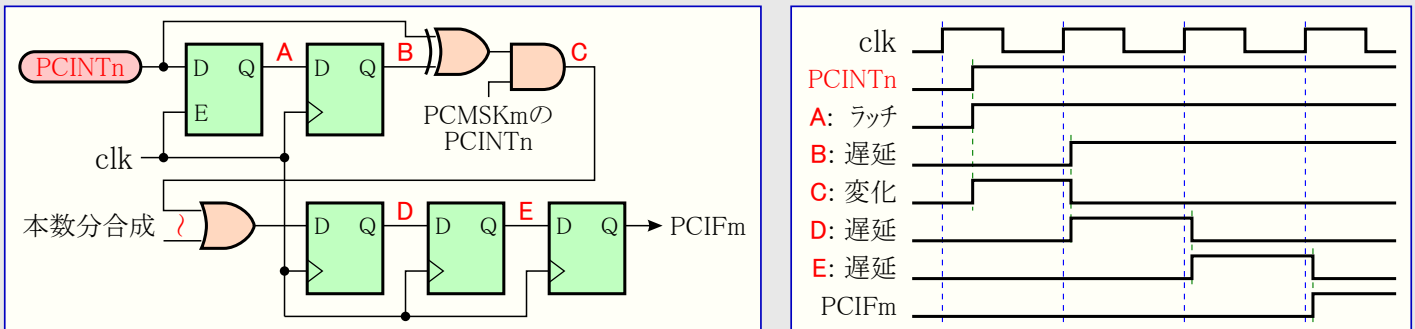
Lowレベル割り込みとINT3～0の端(エッジ)割り込みは非同期に検知されます。これはそれらの割り込みがアイドル動作以外の休止形態からもデバイスを起動するのに使えることを意味します。I/Oクロックはアイドル動作を除く全休止形態で停止されます。

レベル起動割り込みがパワーダウン動作からの起動に使われる場合、この必要としたレベルはレベル割り込みを起動する完全な起動復帰のため、MCUに対して充分長く保持されなければならないことに注意してください。このレベルが起動時間の最後に先立って消滅すると、MCUは今までどおり起動しますが、割り込みが生成されません。起動時間は29ページの「システムクロックとクロック選択」で示されるようにSUTヒューズとCKSELヒューズで定義されます。

13.1. ピン変化割り込みタイミング

ピン変化割り込みの例は図13-1で示されます。

図13-1. ピン変化割り込みタイミング



13.2. 外部割り込み用レジスタ

13.2.1. EICRA – 外部割り込み制御レジスタA (External Interrupt Control Register A)

外部割り込み制御レジスタAは割り込み条件制御ビットを含みます。

ビット (\$69)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ISC31	ISC30	ISC21	ISC20	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	EICRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7～0 – ISC31,0～ISC01,0 : 外部割り込み3～0条件制御 (External Interrupt3～0 Sense Control Bits)

外部割り込み3～0はステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと外部割り込み許可レジスタ(EIMSK)の対応する割り込み許可ビットが設定(1)される場合のINT3～0外部ピンによって活性(有効)にされます。割り込みを活性にする外部INT3～0ピンの端(エッジ)とレベルは表13-1で定義されます。INT3～0の端は非同期に記録されます。表13-2で与えられた最小パルス幅より広いINT3～0のパルスは割り込みを生成します。より短いパルスは割り込みの発生が保証されません。Lowレベル割り込みが選ばれる場合、Lowレベルは割り込みを生成するために現在実行している命令の完了まで保たれなければなりません。許可したなら、レベルで起動する割り込みはそのピンがLowを保持される限り、割り込み要求を(継続的に)生成します。ISCnビット変更時、割り込みが起き得ます。従って最初にEIMSKの割り込み許可ビットを解除(0)することでINTn割り込みを禁止することが推奨されます。その後ISCnビットは変更できます。最後にINTn割り込み要求フラグは割り込みが再び許可される前に外部割り込み要求フラグレジスタ(EIFR)の外部割り込みn要求(INTFn)フラグに論理1を書くことによって解除(0)されるべきです。

表13-1. 外部割り込み3～0 割り込み条件

ISCn1	ISCn0	割り込み発生条件
0	0	INTnピンのLowレベル
0	1	INTnピンの論理変化(両端)
1	0	INTnピンの下降端
1	1	INTnピンの上昇端

注: n=3～0

ISCn1,0ビット変更時、割り込みはEIMSKで割り込み許可ビットの解除(0)によって禁止されなければなりません。さもなければビットが変更される時に割り込みが起き得ます。

表13-2. 非同期外部割り込み特性

シンボル	項目	最小	代表	最大	単位
t_{INT}	非同期外部割り込み最小パルス幅		50		ns

13.2.2. EICRB – 外部割り込み制御レジスタB (External Interrupt Control Register B)

ビット (\$6A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ISC71	ISC70	ISC61	ISC60	ISC51	ISC50	ISC41	ISC40	EICRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7～0 – ISC71,0～ISC41,0 : 外部割り込み7～4条件制御 (External Interrupt 7～4 Sense Control Bits)

外部割り込み7～4はステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと外部割り込み許可レジスタ(EIMSK)の対応する割り込み許可ビットが設定(1)される場合のINT7～4外部ピンによって活性(有効)にされます。割り込みを活性にする外部INT7～4ピンの端(エッジ)とレベルは表13-3で定義されます。INT7～4ピンの値は端検知前に採取されています。端または論理変化割り込みが選ばれる場合、1クロック周期より長く留まるパルスは割り込みを生成します。より短いパルスは割り込みの発生が保証されません。システムクロック前置分周器が許可される場合、CPUクロック周波数がXTAL周波数より低くできることを考慮してください。Lowレベル割り込みが選ばれる場合、Lowレベルは割り込みを生成するために現在実行している命令の完了まで保たなければなりません。許可したなら、レベルで起動する割り込みはそのピンがLowを保持される限り、割り込み要求を(連続的に)生成します。

表13-3. 外部割り込み7～4 割り込み条件

ISCn1	ISCn0	割り込み発生条件
0	0	INTnピンのLowレベル
0	1	INTnピンの論理変化(両端)
1	0	INTnピンの下降端
1	1	INTnピンの上昇端

注: n=7～4

ISCn1,0ビット変更時、割り込みはEIMSKで割り込み許可ビットの解除(0)によって禁止されなければなりません。さもなければビットが変更される時に割り込みが起き得ます。

13.2.3. EIMSK – 外部割り込み許可レジスタ (External Interrupt Mask Register)

ビット \$1D (\$3D)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	EIMSK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7～0 – INT7～INT0 : 外部割り込み7～0 許可 (External Interrupt Request 7～0 Enable)

ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)され、INT7～0ビットが1を書かれると、対応する外部ピン割り込みが許可されます。外部割り込み制御レジスタ(EICRAとEICRB)の割り込み条件制御n(ISCn1,ISCn0)ビットは、その外部割り込みが上昇端、下降端、両端、またはLowレベルのどれで活性(有効)にされるかを定義します。例えばそのピンが出力として設定されても、そのピンの動きは割り込み要求を引き起こします。これはソフトウェア割り込みを生成する方法を提供します。

13.2.4. EIFR – 外部割り込み要求フラグ レジスタ (External Interrupt Flag Register)

ビット \$1C (\$3C)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INTF7	INTF6	INTF5	INTF4	INTF3	INTF2	INTF1	INTF0	EIFR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7～0 – INTF7～INTF0 : 外部割り込み7～0要求フラグ (External Interrupt Flag 7～0)

INT7～0ピン上の端(エッジ)または論理変化が割り込み要求を起動すると、INTF7～0が設定(1)になります。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと外部割り込み許可レジスタ(EIMSK)の対応する割り込み許可(INT7～0)ビットが設定(1)なら、MCUは対応する割り込みベクタへ飛びます。このフラグは割り込みルーチンが実行されると解除(0)されます。代わりにこのフラグは論理1を書くことによっても解除(0)できます。INT7～0がレベル割り込みとして設定されると、このフラグは常に解除(0)されます。INT3～0割り込み禁止で休止形態へ移行すると、これらのピンの入力緩衝部が禁止されることに注意してください。これはINTF3～0フラグを設定(1)する内部信号の論理変化を起こすかもしれません。より多くの情報については57頁の「デジタル入力許可と休止形態」をご覧ください。

13.2.5. PCICR – ピン変化割り込み制御レジスタ (Pin Change Interrupt Control Register) (注: 頁下段参照)

ビット (\$68)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	–	–	–	PCIE2	PCIE1	PCIE0	PCICR
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット2 – PCIE2 : ピン変化2群割り込み許可 (Pin Change Interrupt Enable 2)

ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)され、PCIE2ビットが設定(1)されると、ピン変化割り込み2が許可されます。許可したPCINT16～23ピンの何れかの変化が割り込みを起こします。このピン変化割り込み要求に対応する割り込みは[PCI2割り込みベクタ](#)から実行されます。PCINT16～23ピンは[ピン変化割り込み許可レジスタ2\(PCMSK2\)](#)によって個別に許可されます。

● ビット1 – PCIE1 : ピン変化1群割り込み許可 (Pin Change Interrupt Enable 1)

ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)され、PCIE1ビットが設定(1)されると、ピン変化割り込み1が許可されます。許可したPCINT8～15ピンの何れかの変化が割り込みを起こします。このピン変化割り込み要求に対応する割り込みは[PCI1割り込みベクタ](#)から実行されます。PCINT8～15ピンは[ピン変化割り込み許可レジスタ1\(PCMSK1\)](#)によって個別に許可されます。

● ビット0 – PCIE0 : ピン変化0群割り込み許可 (Pin Change Interrupt Enable 0)

ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)され、PCIE0ビットが設定(1)されると、ピン変化割り込み0が許可されます。許可したPCINT0～7ピンの何れかの変化が割り込みを起こします。このピン変化割り込み要求に対応する割り込みは[PCI0割り込みベクタ](#)から実行されます。PCINT0～7ピンは[ピン変化割り込み許可レジスタ0\(PCMSK0\)](#)によって個別に許可されます。

13.2.6. PCIFR – ピン変化割り込み要求フラグ レジスタ (Pin Change Interrupt Flag Register) (注: 頁下段参照)

ビット \$1B (\$3B)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	–	–	–	PCIF2	PCIF1	PCIF0	PCIFR
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット2 – PCIF2 : ピン変化2群割り込み要求フラグ (Pin Change Interrupt Flag 2)

PCINT16～23ピンの何れかの論理変化が割り込み要求を起動すると、PCIF2が設定(1)になります。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとピン変化割り込み制御レジスタ(PCICR)の[ピン変化2群割り込み許可\(PCIE2\)](#)ビットが設定(1)なら、MCUは対応する割り込みベクタへ飛びます。このフラグは割り込み処理ルーチンが開始されると解除(0)されます。代わりにこのフラグは論理1を書くことによっても解除(0)できます。

● ビット1 – PCIF1 : ピン変化1群割り込み要求フラグ (Pin Change Interrupt Flag 1)

PCINT8～15ピンの何れかの論理変化が割り込み要求を起動すると、PCIF1が設定(1)になります。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとピン変化割り込み制御レジスタ(PCICR)の[ピン変化1群割り込み許可\(PCIE1\)](#)ビットが設定(1)なら、MCUは対応する割り込みベクタへ飛びます。このフラグは割り込み処理ルーチンが開始されると解除(0)されます。代わりにこのフラグは論理1を書くことによっても解除(0)できます。

● ビット0 – PCIF0 : ピン変化0群割り込み要求フラグ (Pin Change Interrupt Flag 0)

PCINT0～7ピンの何れかの論理変化が割り込み要求を起動すると、PCIF0が設定(1)になります。[ステータスレジスタ\(SREG\)の全割り込み許可\(I\)ビット](#)と[ピン変化割り込み制御レジスタ\(PCICR\)のピン変化0群割り込み許可\(PCIE0\)](#)ビットが設定(1)なら、MCUは対応する割り込みベクタへ飛びます。このフラグは割り込み処理ルーチンが開始されると解除(0)されます。代わりにこのフラグは論理1を書くことによっても解除(0)できます。

(訳補) ATmega1281/2561にPCINT9～23が存在しないため、これらのデバイスではPCIE2とPCIF2が利用できません。

13.2.7. PCMSK2 – ピン変化割り込み許可レジスタ2 (Pin Change Enable Mask 16～23) (注: 頁下段参照)

ビット (\$6D)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PCINT23	PCINT22	PCINT21	PCINT20	PCINT19	PCINT18	PCINT17	PCINT16	PCMSK2
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – PCINT23～PCINT16 : ピン変化割り込み23～16許可 (Pin Change Enable Mask 23～16)

各PCINT16～23ビットは対応するI/Oピンでピン変化割り込みが許可されるかどうかを選びます。PCINT16～23とピン変化割り込み制御レジスタ(PCICR)のPCIE2が設定(1)なら、対応するI/Oピンのピン変化割り込みが許可されます。PCINT16～23が解除(0)されると、対応するI/Oピンのピン変化割り込みは禁止されます。

13.2.8. PCMSK1 – ピン変化割り込み許可レジスタ1 (Pin Change Enable Mask 8～15) (注: 頁下段参照)

ビット (\$6C)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	PCMSK1
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – PCINT15～PCINT8 : ピン変化割り込み15～8許可 (Pin Change Enable Mask 15～8)

各PCINT8～15ビットは対応するI/Oピンでピン変化割り込みが許可されるかどうかを選びます。PCINT8～15とピン変化割り込み制御レジスタ(PCICR)のPCIE1が設定(1)なら、対応するI/Oピンのピン変化割り込みが許可されます。PCINT8～15が解除(0)されると、対応するI/Oピンのピン変化割り込みは禁止されます。

13.2.9. PCMSK0 – ピン変化割り込み許可レジスタ0 (Pin Change Enable Mask 0～7)

ビット (\$6B)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	PCMSK0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – PCINT7～PCINT0 : ピン変化割り込み7～0許可 (Pin Change Enable Mask 7～0)

各PCINT0～7ビットは対応するI/Oピンでピン変化割り込みが許可されるかどうかを選びます。PCINT0～7とピン変化割り込み制御レジスタ(PCICR)のPCIE0が設定(1)なら、対応するI/Oピンのピン変化割り込みが許可されます。PCINT0～7が解除(0)されると、対応するI/Oピンのピン変化割り込みは禁止されます。

(訳補) PCINT9～23はATmega1281/2561に存在せず、従ってこれらのデバイスでは利用できません。

14. 入出力ポート

14.1. 序説

全てのAVRのポートは標準デジタルI/Oポートとして使われる時に真の読み-変更-書き(リード・モディファイ・ライト)を機能的に持ちます。これはSBIとCBI命令で他のどのピンの方角をも無意識に変更することなく、1つのポートピンの方角を変更できることを意味します。(出力として設定されていれば)駆動値を変更、または(入力として設定されていれば)プルアップ抵抗を許可/禁止する時にも同じく適用されます。各出力緩衝部は高い吐き出し(ソース)と吸い込み(シンク)の両能力で対称的な駆動特性を持ちます。このピン駆動部はLED(表示器)を直接駆動するのに十分な強さです。全てのポートピンは個別に選択可能な、供給電圧で抵抗値が変化しないプルアップ抵抗を持っています。全てのI/Oピンは図14-1.で示されるようにVCCとGNDの両方に保護ダイオードを持ちます。各値の完全な一覧については240頁の「電気的特性」を参照してください。

本章内の全てのレジスタとビットの参照は一般形で記されます。小文字の'x'はポート番号文字、小文字の'n'はビット番号を表します。けれどもプログラム内でレジスタやビット定義に使うとき、正確な形式(例えば、ここで一般に記されたPORTxがポートBのビット3に対してはPORTB3)が使われなければなりません。物理的なI/Oレジスタとビット位置は77頁の「I/Oポート用レジスタ」で一覧されます。

各々1つの出力レジスタ(PORTx)、方向レジスタ(DDRx)、入力レジスタ(PINx)の各ポートに対して、3つI/Oメモリアドレス位置が割り当てられます。入力レジスタのI/O位置は読むだけで、一方出力レジスタと方向レジスタは読み書き(両方)です。けれどもPINxレジスタのビットへの論理1書き込みは、出力レジスタの対応ビット値を(1/0)反転する結果になります。加えてMCU制御レジスタ(MCUCR)のプルアップ禁止(PUD)ビットが設定(1)されると、全ポートで全ビットに対してプルアップ機能を禁止します。

標準デジタルI/OとしてのI/Oポートの使用は次の「標準デジタル入出力としてのポート」で記述されます。多くのポートピンはデバイスの周辺機能用の交換機能と多重化されます。ポートピンとの各交換機能のインターフェース法は58頁の「交換ポート機能」で記述されます。交換機能の完全な記述については個別機能部項目を参照してください。

ポートピンのいくつかの交換機能の許可は、そのポート内の他のピンの標準デジタル入出力としての使用に影響しないことに注意してください。

14.2. 標準デジタル入出力としてのポート

このポートは任意の内部プルアップ付き双方向I/Oポートです。図14-2.はここで属にPxnと呼ばれるI/Oポートピンの1つの機能説明を示します。

図14-1. 入出力ピン等価回路

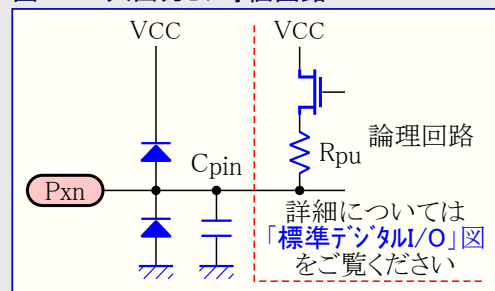
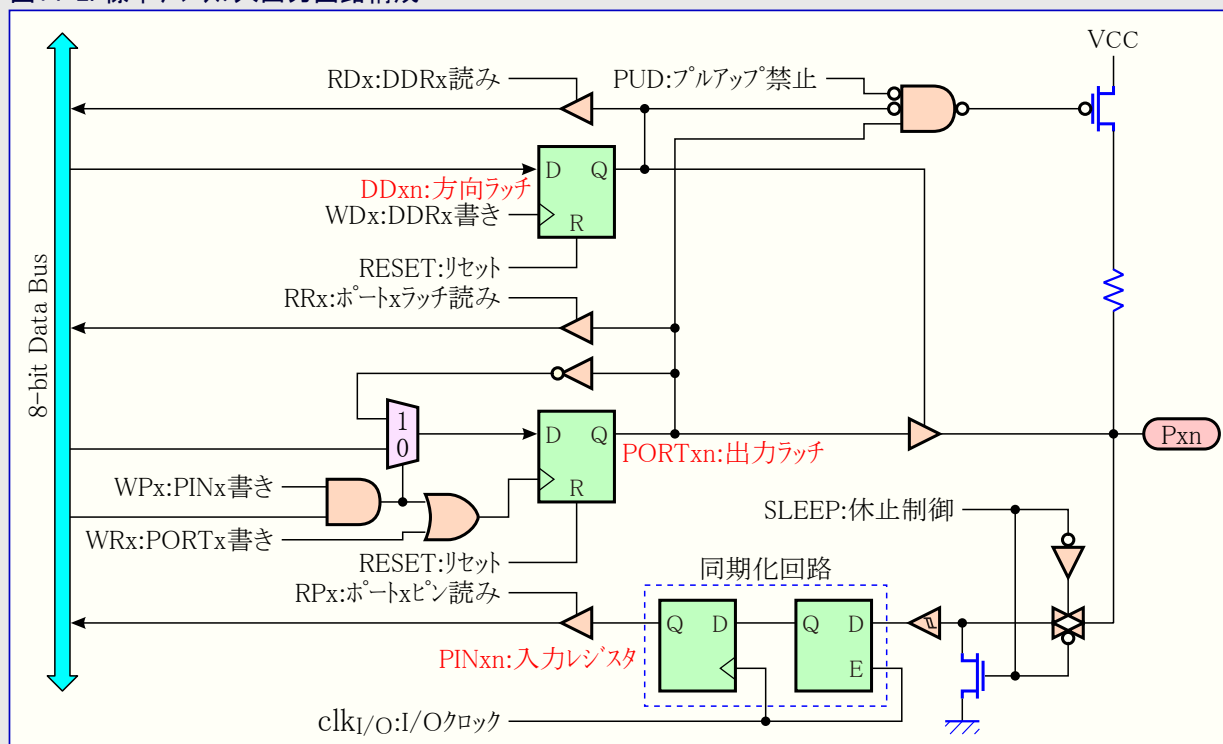


図14-2. 標準デジタル入出力回路構成



注: WRx, WPx, WDx, RRx, RPx, RDxは同一ポート内の全ピンで共通です。
clkI/O, SLEEP, PUDは全ポートで共通です。

14.2.1. ピンの設定

各ポートピンは3つのレジスタビットDDxn、PORTxn、PINxnから成ります。77頁の「I/Oポート用レジスタ」で示されるように、DDxnビットはDDRx I/Oアドレス、PORTxnビットはPORTx I/Oアドレス、PINxnビットはPINx I/Oアドレスでアクセスされます。

DDRxレジスタ内のDDxnビットはそのピンの方向を選びます。DDxnが論理1を書かれるとPxnは出力ピンとして設定されます。DDxnが論理0を書かれるとPxnは入力ピンとして設定されます。

そのピンが入力ピンとして設定される時にPORTxnが論理1を書かれると、プルアップ抵抗が活性(有効)にされます。プルアップ抵抗をOFFに切り替えるにはPORTxnが論理0を書かれるか、またはそのピンが出力ピンとして設定されなければなりません。ポートピンは例えばクロックが動いていなくても、リセット条件が活性(有効)になるとHi-Zにされます。

そのピンが出力ピンとして設定される時にPORTxnが論理1を書かれると、そのポートピンはHigh(1)に駆動されます。そのピンが出力ピンとして設定される時にPORTxnが論理0を書かれると、そのポートピンはLow(0)に駆動されます。

14.2.2. ピンの出力交互切り替え

PINxnへの論理1書き込みはDDRxnの値に拘らず、PORTxnの値を反転切り替えます。SBI命令がポート内の1ビットの反転切り替えに使えることに注目してください。

14.2.3. 入出力間の切り替え

Hi-Z入力(DDxn=0, PORTxn=0)とHigh出力(DDxn=1, PORTxn=1)間の切り替え時、プルアップ許可入力(DDxn=0, PORTxn=1)またはLow出力(DDxn=1, PORTxn=0)のどちらかの中間状態が生じるに違いありません。通常、高インピーダンス環境は強力なHigh(吐き出し)駆動部とプルアップ間の違いに気付かないので、プルアップが許可された状態は十分受け入れられます。この事例でないなら、全ポートの全プルアップを禁止するために、MCU制御レジスタ(MCUCR)のプルアップ禁止(PUD)ビットが設定(1)できます。

プルアップ入力とLow出力間の切り替えは同じ問題を発生します。使用者は中間状態としてHi-Z入力(DDxn=0, PORTxn=0)またはHigh出力(DDxn=1, PORTxn=1)のどちらかを使わなければなりません。

表14-1. はピン値に対する制御信号の一覧を示します。

表14-1. ポートピンの設定

DDxn	PORTxn	PUD (MCUCR)	入出力	プルアップ抵抗	備考
0	0	X	入力	なし	高インピーダンス (Hi-Z)
0	1	0	入力	あり	Pxnに外部からLowを入力すると吐き出し電流が流れます。
0	1	1	入力	なし	高インピーダンス (Hi-Z)
1	0	X	出力	なし	Low (吸い込み)出力
1	1	X	出力	なし	High (吐き出し)出力

14.2.4. ピン値の読み込み

DDxn方向ビットの設定に関係なく、ポートピンはPINxnレジスタビットを通して読めます。図14-2.で示されるようにPINxnレジスタビットと先行するラッチは同期化回路を構成します。これは物理ピンが内部クロックの端(エッジ)付近で値を変える場合の未定義状態(メタステーブル)を避けるために必要とされますが、それは遅延も持ち込みます。図14-3.は外部的に加えられたピン値を読む時の同期化タイミング図を示します。伝播遅延の最小と最大は各々 $t_{pd,min}$ と $t_{pd,max}$ で示されます。

(図14-3.で)システムクロックの最初の上昇端直後から始まるクロック周期を考察してください。このラッチはクロックがLowの時に閉じ、クロックがHighの時に同期ラッチ信号の斜線部分で示されるように通過(トランスパレント)となります。この信号値はシステムクロックがLowになる時に保持(ラッチ)されます。それが続くクロックの上昇端でPINxnレジスタに取り込まれます。2つの矢印 $t_{pd,min}$ と $t_{pd,max}$ によって示されるように、ピン上の単一信号遷移は出現時点に依存して0.5~1.5システムクロック周期遅らされます。

ソフトウェアが指定したピン値を読み戻す時は、図14-4.で示されるようにNOP命令が挿入されなければなりません。OUT命令はシステムクロックの上昇端で同期ラッチを設定します。この場合、同期化回路を通過する遅延時間(t_{pd})は1システムクロック周期です。

図14-3. 外部供給ピン値読み込み時の同期化

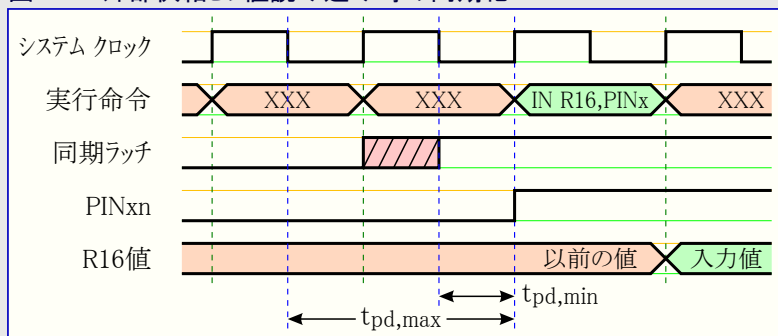
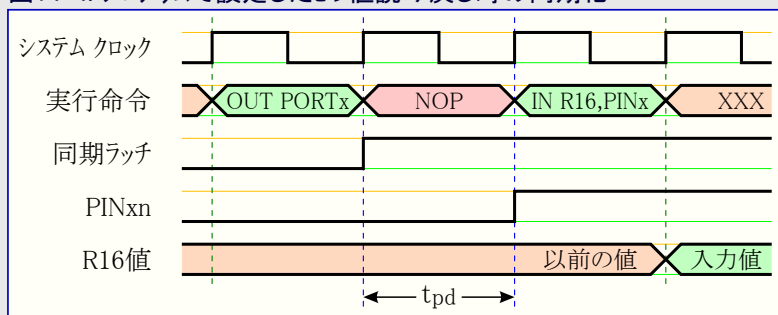


図14-4. プログラムで設定したピン値読み戻し時の同期化



次のコード例はポートBピンの0と1をHigh出力、2と3をLow出力、6と7をプルアップ指定として4～7を入力に設定する方法を示します。結果のピン値が再び読み戻されますが、前記で検討されたように、いくつかのピンへ直前に指定された値を読み戻すことができるようにNOP命令が挿入されます。

アセンブリ言語プログラム例

```

~
LDI    R16, (1<<PB7) | (1<<PB6) | (1<<PB1) | (1<<PB0)    ;
LDI    R17, (1<<DDB3) | (1<<DDB2) | (1<<DDB1) | (1<<DDB0) ;
OUT    PORTB, R16    ;
OUT    DDRB, R17     ;
NOP    ;
IN     R16, PINB     ;
~
;

```

C言語プログラム例

```

unsigned char i;
~
PORTB = (1<<PB7) | (1<<PB6) | (1<<PB1) | (1<<PB0);
DDRB = (1<<DDB3) | (1<<DDB2) | (1<<DDB1) | (1<<DDB0);
__no_operation();
i = PINB;
~
/* */
/* プルアップとHigh値を設定 */
/* 入出力方向を設定 */
/* 同期化遅延対処 */
/* ピン値読み戻し */
/* */

```

注: アセンブリ言語プログラムについてはプルアップがピン0,1,6,7に設定されてから、ビット0と1の強力なHigh駆動部としての再定義、ビット2と3のLow駆動部としての定義、方向ビットが正しく設定されるまでの時間を最小とするために2つの一時レジスタが使われます。

14.2.5. デジタル入力許可と休止形態

図14-2.で示されるようにデジタル入力信号はシュミットトリガの入力をGNDにクランプできます。この図で**SLEEP**と印された信号は入力信号のいくつかが開放のまま、またはVCC/2付近のアナログ信号電圧を持つ場合の高消費電力を避けるため、**パワーダウ**ン動作、**パワーセーブ**動作、**スタンバイ**動作、**拡張スタンバイ**動作でMCU休止制御器によって設定(1)されます。

SLEEPは外部割り込みピンとして許可されたポートピンに対しては無視されます。外部割り込み要求が許可されないなら、**SLEEP**は他のピンについてと同様に有効です。**SLEEP**は58頁の「**交換ポート機能**」で記載されるように様々な他の交換機能によっても無視されます。

外部割り込みが許可されていない”上昇端、下降端または論理変化(両端)割り込み”として設定された非同期外部割り込みピンに論理1が存在すると、上で言及した休止形態から(復帰)再開する時に、これらの休止形態に於けるクランプが要求された論理変化を生ずるので、対応する外部割り込み要求フラグが設定(=1)されます。

14.2.6. 未接続ピン

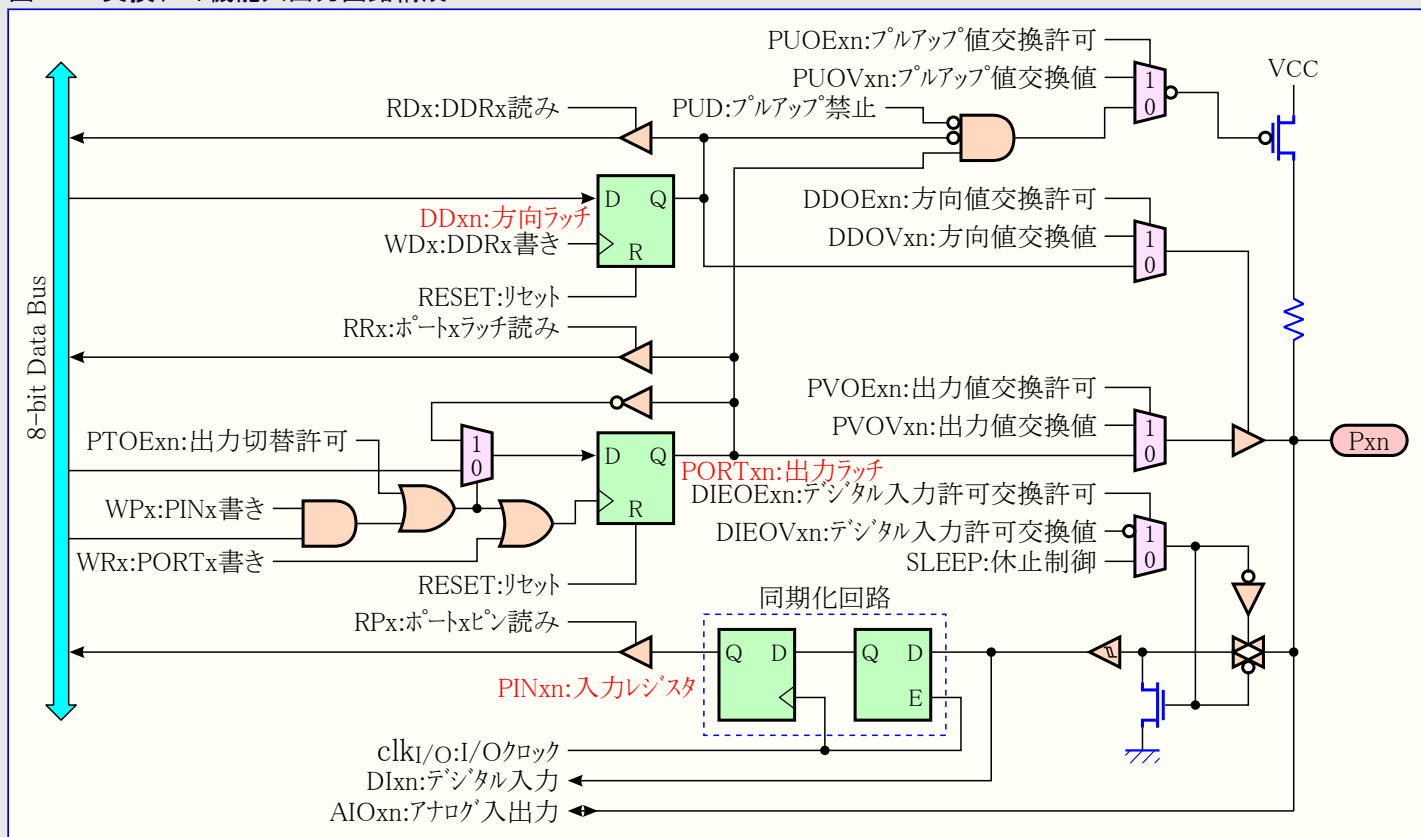
いくつかのピンが未使用にされる場合、それらのピンが定義されたレベルを持つのを保証することが推奨されます。例えば上記のような深い休止形態で多くのデジタル入力が禁止されるとしても、デジタル入力が許可される他の全ての動作(リセット、活動動作、アイドル動作)で消費電流削減のため、浮き状態入力は避けられるべきです。

未使用ピンの定義されたレベルを保証する最も簡単な方法は内部プルアップを許可することです。この場合、リセット中のプルアップは禁止されます。リセット中の低消費電力が重要なら、外部プルアップまたはプルダウンを使うことが推奨されます。未使用ピンを直接GNDまたはVCCに接続することは、ピンが偶然に出力として設定されると過電流を引き起こす可能性があるため推奨されません。

14.3. 交換ポート機能

多くのポートピンには標準デジタル入出力に加え交換機能があります。図14-5は単純化された図14-2.でのポートピン制御信号が交換機能によってどう重複できるかを示します。この重複信号は全てのポートピンに存在する訳ではありませんが、この図はAVR マイクロ コントローラシステムの全ポートピンに適用できる一般的な記述として取り扱います。

図14-5. 交換ポート機能入出力回路構成



注: WRx, WPx, WDx, RRx, RPx, RDxは同一ポート内の全ピンで共通です。
clkI/O, SLEEP, PUDは全ポートで共通です。他の信号は各ピン固有です。

表14-2は重複(交換)信号の機能一覧を示します。図14-5.で示すピンとポートは次表で示されません。重複(交換)信号は交換機能を持つ機能部で内部的に生成されます。

表14-2. 交換機能用交換信号の一般定義

信号略名	信号名	意味
PUOE	プルアップ値交換許可	1で、プルアップ許可はPUOV信号で制御され、0の場合、DDxn=0, PORTxn=1, PUD=0でプルアップが許可されます。
PUOV	プルアップ値交換値	PUOE=1時、DDxn, PORTxn, PUDの値に関係なく、プルアップの有(1)/無(0)を指定します。
DDOE	方向値交換許可	1で、出力駆動部はDDOV信号で制御され、0の場合、DDxnレジスタ値で制御されます。
DDOV	方向値交換値	DDOE=1時、DDxnレジスタ値に関係なく、出力駆動部のON(1)/OFF(0)を制御します。
PVOE	出力値交換許可	1で出力駆動部がONなら、ポート値はPVOV信号で制御されます。出力駆動部がONで0の場合、ポート値はPORTxnレジスタ値で制御されます。
PVOV	出力値交換値	PVOE=1時、PORTxnレジスタ値に関係なく、ポート値を制御(1/0)します。
PTOE	出力切替許可	PTOE=1時、PORTxnレジスタ値が反転します。
DIEOE	デジタル入力許可交換許可	1で、デジタル入力許可はDIEOV信号で制御され、0の場合、MCUの状態(活動動作、休止形態)によって決定されます。
OIEOV	デジタル入力許可交換値	DIEOE=1時、MCUの状態(活動動作、休止形態)に関係なく、デジタル入力を許可(1)/禁止(0)します。
DI	デジタル入力	交換機能用デジタル入力です。この信号は図上でシュミットトリガ出力に接続されていますが、これは同期化前となります。この信号はクロックとしての使用を除き、各交換機能自身が同期化します。
AIO	アナログ入出力	交換機能用アナログ入出力です。この信号はピンに直接接続され、双方向使用ができます。

以降の項は交換機能に関連する重複(交換)信号と各ポートの交換機能を簡単に記述します。更に先の詳細については交換機能の記述を参照してください。

14.3.1. ポートAの交換機能

ポートAには外部メモリ インターフェース用のアドレス下位8ビットとデータ信号線としての交換機能があります。

表14-3. ポートAピンの交換機能

ポートピン	交換機能
PA7	AD7 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット7)
PA6	AD6 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット6)
PA5	AD5 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット5)
PA4	AD4 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット4)
PA3	AD3 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット3)
PA2	AD2 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット2)
PA1	AD1 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット1)
PA0	AD0 (外部メモリ インターフェース アドレス/データ ビット0)

表14-4.と表14-5.はポートAの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。

表14-4. ポートA7～4の交換機能用交換信号

信号名	PA7/AD7	PA6/AD6	PA5/AD5	PA4/AD4
PUOE	SRE	SRE	SRE	SRE
PUOV	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA7} \cdot \overline{PUD}$	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA6} \cdot \overline{PUD}$	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA5} \cdot \overline{PUD}$	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA4} \cdot \overline{PUD}$
DDOE	SRE	SRE	SRE	SRE
DDOV	$\overline{WR} ADA$	$\overline{WR} ADA$	$\overline{WR} ADA$	$\overline{WR} ADA$
PVOE	SRE	SRE	SRE	SRE
PVOV	$A7 \cdot ADA D7 \text{出力} \cdot \overline{WR}$	$A6 \cdot ADA D6 \text{出力} \cdot \overline{WR}$	$A5 \cdot ADA D5 \text{出力} \cdot \overline{WR}$	$A4 \cdot ADA D4 \text{出力} \cdot \overline{WR}$
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	D7入力	D6入力	D5入力	D4入力
AIO	–	–	–	–

表14-5. ポートA3～0の交換機能用交換信号

信号名	PA3/AD3	PA2/AD2	PA1/AD1	PA0/AD0
PUOE	SRE	SRE	SRE	SRE
PUOV	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA3} \cdot \overline{PUD}$	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA2} \cdot \overline{PUD}$	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA1} \cdot \overline{PUD}$	$(\overline{WR} ADA) \cdot \text{PORTA0} \cdot \overline{PUD}$
DDOE	SRE	SRE	SRE	SRE
DDOV	$\overline{WR} ADA$	$\overline{WR} ADA$	$\overline{WR} ADA$	$\overline{WR} ADA$
PVOE	SRE	SRE	SRE	SRE
PVOV	$A3 \cdot ADA D3 \text{出力} \cdot \overline{WR}$	$A2 \cdot ADA D2 \text{出力} \cdot \overline{WR}$	$A1 \cdot ADA D1 \text{出力} \cdot \overline{WR}$	$A0 \cdot ADA D0 \text{出力} \cdot \overline{WR}$
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	D3入力	D2入力	D1入力	D0入力
AIO	–	–	–	–

注: ADAはアドレス有効(ADdress Active)の略でアドレスが出力される時を表します。21頁の「外部メモリ インターフェース」をご覧ください。

14.3.2. ポートBの交換機能

ポートBピンの交換機能は表14-6.で示されます。

表14-6. ポートBピンの交換機能

ポートピン	交換機能	ポートピン	交換機能
PB7	OC0A (タイマ/カウンタ0 比較A一致/PWM出力) OC1C (タイマ/カウンタ1 比較C一致/PWM出力) PCINT7 (ピン変化割り込み7入力)	PB3	MISO (SPI 主側データ入力/従側データ出力) PCINT3 (ピン変化割り込み3入力)
PB6	OC1B (タイマ/カウンタ1 比較B一致/PWM出力) PCINT6 (ピン変化割り込み6入力)	PB2	MOSI (SPI 主側データ出力/従側データ入力) PCINT2 (ピン変化割り込み2入力)
PB5	OC1A (タイマ/カウンタ1 比較A一致/PWM出力) PCINT5 (ピン変化割り込み5入力)	PB1	SCK (SPI 直列クロック 主側出力/従側入力) PCINT1 (ピン変化割り込み1入力)
PB4	OC2A (タイマ/カウンタ2 比較A一致/PWM出力) PCINT4 (ピン変化割り込み4入力)	PB0	SS (SPI 従装置選択入力) PCINT0 (ピン変化割り込み0入力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

・ OC0A/OC1C/PCINT7 – ポートB ビット7 : PB7

OC0A : タイマ/カウンタ0の比較A一致出力。PB7ピンはタイマ/カウンタ0の比較A一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(**DDRB7=1**)されなければなりません。このOC0Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

OC1C : タイマ/カウンタ1の比較C一致出力。PB7ピンはタイマ/カウンタ1の比較C一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(**DDRB7=1**)されなければなりません。このOC1Cピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

PCINT7 : ピン変化割り込み7入力。PB7ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ OC1B/PCINT6 – ポートB ビット6 : PB6

OC1B : タイマ/カウンタ1の比較B一致出力。PB6ピンはタイマ/カウンタ1の比較B一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(**DDRB6=1**)されなければなりません。このOC1Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

PCINT6 : ピン変化割り込み6入力。PB6ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ OC1A/PCINT5 – ポートB ビット5 : PB5

OC1A : タイマ/カウンタ1の比較A一致出力。PB5ピンはタイマ/カウンタ1の比較A一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(**DDRB5=1**)されなければなりません。このOC1Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

PCINT5 : ピン変化割り込み5入力。PB5ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ OC2A/PCINT4 – ポートB ビット4 : PB4

OC2A : タイマ/カウンタ2の比較A一致出力。PB4ピンはタイマ/カウンタ2の比較A一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(**DDRB4=1**)されなければなりません。このOC2Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

PCINT4 : ピン変化割り込み4入力。PB4ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ MISO/PCINT3 – ポートB ビット3 : PB3

MISO : SPI用の主装置データ入力、従装置データ出力。SPIが主装置として許可されると、このピンはポートB方向レジスタ(DDRB)のDDB3の設定に拘らず、入力として設定されます。SPIが従装置として許可されると、このピンのデータ方向はDDB3によって制御されます。このピンがSPIによって入力を強制されるとき、プルアップは未だポートB出力レジスタ(PORTB)のPORTB3によって制御できません。

PCINT3 : ピン変化割り込み3入力。PB3ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ MOSI/PCINT2 – ポートB ビット2 : PB2

MOSI : SPI用の主装置データ出力、従装置データ入力。SPIが従装置として許可されると、このピンはポートB方向レジスタ(DDRB)のDDB2設定に拘らず、入力として設定されます。SPIが主装置として許可されると、このピンのデータ方向はDDB2によって制御されます。このピンがSPIによって入力を強制されるとき、プルアップは未だポートB出力レジスタ(PORTB)のPORTB2によって制御できません。

PCINT2 : ピン変化割り込み2入力。PB2ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ SCK/PCINT1 – ポートB ビット1 : PB1

SCK : SPI用の主装置クロック出力、従装置クロック入力。SPIが従装置として許可されると、このピンはポートB方向レジスタ(DDRB)のDDB1設定に拘らず、入力として設定されます。SPIが主装置として許可されると、このピンのデータ方向はDDB1によって制御されます。このピンがSPIによって入力を強制されるとき、プルアップは未だポートB出力レジスタ(PORTB)のPORTB1によって制御できません。

PCINT1 : ピン変化割り込み1入力。PB1ピンは外部割り込み元としても扱えます。

・ \overline{SS} /PCINT0 – ポートB ビット0 : PB0

\overline{SS} : SPI従装置選択入力。SPIが従装置として許可されると、このピンはDDRBのDDB0設定に拘らず、入力として設定されます。従装置としてこのピンがLowに駆動されると、SPI(機能)が活性化(有効に)されます。SPIが主装置として許可されると、このピンのデータ方向はDDB0によって制御されます。このピンがSPIによって入力を強制される時にプルアップは未だPORTBのPORTB0によって制御できます。

PCINT0 : ピン変化割り込み0入力。PB0ピンは外部割り込み元としても扱えます。

表14-7.と表14-8.はポートBの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。SPI主装置入力とSPI従装置出力がMISOを構成し、一方MOSIはSPI主装置出力とSPI従装置入力に分けられます。

表14-7. ポートB7～4の交換機能用交換信号

信号名	PB7/OC0A/OC1C/PCINT7	PB6/OC1B/PCINT6	PB5/OC1A/PCINT5	PB4/OC2A/PCINT4
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	OC0A許可 OC1C許可	OC1B許可	OC1A許可	OC2A許可
PVOV	OC0A/OC1C	OC1B	OC1A	OC2A
PTOE	–	–	–	–
DIOE	PCIE0・PCINT7	PCIE0・PCINT6	PCIE0・PCINT5	PCIE0・PCINT4
DIOV	1	1	1	1
DI	PCINT7入力	PCINT6入力	PCINT5入力	PCINT4入力
AIO	–	–	–	–

表14-8. ポートB3～0の交換機能用交換信号

信号名	PB3/MISO/PCINT3	PB2/MOSI/PCINT2	PB1/SCK/PCINT1	PB0/ \overline{SS} /PCINT0
PUOE	SPE・MSTR	SPE・MSTR	SPE・MSTR	SPE・MSTR
PUOV	PORTB3・ \overline{PUD}	PORTB2・ \overline{PUD}	PORTB1・ \overline{PUD}	PORTB0・ \overline{PUD}
DDOE	SPE・MSTR	SPE・MSTR	SPE・MSTR	SPE・MSTR
DDOV	0	0	0	0
PVOE	SPE・ \overline{MSTR}	SPE・MSTR	SPE・MSTR	0
PVOV	SPI従装置出力	SPI主装置出力	SCK出力	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	PCIE0・PCINT3	PCIE0・PCINT2	PCIE0・PCINT1	PCIE0・PCINT0
DIOV	1	1	1	1
DI	SPI主装置/PCINT3入力	SPI従装置/PCINT2入力	SCK/PCINT1入力	SPI \overline{SS} /PCINT0入力
AIO	–	–	–	–

14.3.3. ポートCの交換機能

ポートCには外部メモリ インターフェイス用のアドレス上位バイトとしての交換機能があります。

表14-9. ポートCピンの交換機能

ポートピン	交換機能
PC7	A15 (外部メモリ アドレス ビット15)
PC6	A14 (外部メモリ アドレス ビット14)
PC5	A13 (外部メモリ アドレス ビット13)
PC4	A12 (外部メモリ アドレス ビット12)
PC3	A11 (外部メモリ アドレス ビット11)
PC2	A10 (外部メモリ アドレス ビット10)
PC1	A9 (外部メモリ アドレス ビット9)
PC0	A8 (外部メモリ アドレス ビット8)

表14-10.と表14-11.はポートCの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。

表14-10. ポートC7～4の交換機能用交換信号

信号名	PC7/A15	PC6/A14	PC5/A13	PC4/A12
PUOE	SRE・(XMM<1)	SRE・(XMM<2)	SRE・(XMM<3)	SRE・(XMM<4)
PUOV	0	0	0	0
DDOE	SRE・(XMM<1)	SRE・(XMM<2)	SRE・(XMM<3)	SRE・(XMM<4)
DDOV	1	1	1	1
PVOE	SRE・(XMM<1)	SRE・(XMM<2)	SRE・(XMM<3)	SRE・(XMM<4)
PVOV	A15	A14	A13	A12
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	–	–	–	–
AIO	–	–	–	–

表14-11. ポートC3～0の交換機能用交換信号

信号名	PC3/A11	PC2/A10	PC1/A9	PC0/A8
PUOE	SRE・(XMM<5)	SRE・(XMM<6)	SRE・(XMM<7)	SRE・(XMM<7)
PUOV	0	0	0	0
DDOE	SRE・(XMM<5)	SRE・(XMM<6)	SRE・(XMM<7)	SRE・(XMM<7)
DDOV	1	1	1	1
PVOE	SRE・(XMM<5)	SRE・(XMM<6)	SRE・(XMM<7)	SRE・(XMM<7)
PVOV	A11	A10	A9	A8
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	–	–	–	–
AIO	–	–	–	–

14.3.4. ポートDの交換機能

ポートDピンの交換機能は表14-12.で示されます。

表14-12. ポートDピンの交換機能

ポートピン	交換機能
PD7	T0 (タイマ/カウンタ0 外部クロック入力)
PD6	T1 (タイマ/カウンタ1 外部クロック入力)
PD5	XCK1 (USART1 外部クロック入出力)
PD4	ICP1 (タイマ/カウンタ1 捕獲起動入力)
PD3	INT3 (外部割り込み3 入力) TXD1 (USART1 送信データ出力)
PD2	INT2 (外部割り込み2 入力) RXD1 (USART1 受信データ入力)
PD1	INT1 (外部割り込み1 入力) SDA (2線直列バス データ入出力)
PD0	INT0 (外部割り込み0 入力) SCL (2線直列バス クロック入出力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

• T0 – ポートD ビット7 : PD7

T0 : タイマ/カウンタ0の外部クロック入力ピンです。

• T1 – ポートD ビット6 : PD6

T1 : タイマ/カウンタ1の外部クロック入力ピンです。

• XCK1 – ポートD ビット5 : PD5

XCK1 : USART1の外部クロック入出力。ポートD方向レジスタ(DDRD)のDDD5は、このクロックが入力(DDD5=0)または出力(DDD5=1)のどちらかを制御します。XCK1ピンはUSART1が同期種別で動作する時だけ活動します(有効です)。

• ICP1 – ポートD ビット4 : PD4

ICP1 : タイマ/カウンタ1の捕獲起動入力。PD4ピンはタイマ/カウンタ1用捕獲起動入力ピンとして動作できます。

• INT3/TXD1 – ポートD ビット3 : PD3

INT3 : 外部割り込み3入力。PD3ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

TXD1 : 送信データ(USART1用データ出力ピン)。USART1送信部が許可されると、このピンはポートD方向レジスタ(DDRD)のDDD3の値に拘らず、出力として設定されます。

• INT2/RXD1 – ポートD ビット2 : PD2

INT2 : 外部割り込み2入力。PD2ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

RXD1 : 受信データ(USART1用データ入力ピン)。USART1受信部が許可されると、このピンはDDRDのDDD2の値に拘らず、入力として設定されます。USART1がこのピンを入力に強制するとき、プルアップは未だPORTD2ビットによって制御できます。

• INT1/SDA – ポートD ビット1 : PD1

INT1 : 外部割り込み1入力。PD1ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

SDA : 2線直列インターフェース データ。2線直列インターフェースを許可するために2線直列インターフェース制御レジスタ(TWCR)の2線直列インターフェース動作許可(TWEN)ビットが設定(1)されると、PD1は(通常の)ポートから切り離されて、2線直列インターフェース用直列データ入出力ピンになります。この動作では入力信号上の50nsより短いスパイク(瞬間雑音)を消去するためのスパイク除去器があり、スレーブ(上昇/下降速度)制限付きオープンドレイン駆動部によって駆動されます。このピンが2線直列インターフェースによって使われるとき、プルアップは未だPORTD1によって制御できます(訳注: 共通性から本行追加)。

• INT0/SCL – ポートD ビット0 : PD0

INT0 : 外部割り込み0入力。PD0ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

SCL : 2線直列インターフェース クロック。2線直列インターフェースを許可するために2線直列インターフェース制御レジスタ(TWCR)の2線直列インターフェース動作許可(TWEN)ビットが設定(1)されると、PD0は(通常の)ポートから切り離されて、2線直列インターフェース用直列クロック入出力ピンになります。この動作では入力信号上の50nsより短いスパイク(瞬間雑音)を消去するためのスパイク除去器があり、スレーブ(上昇/下降速度)制限付きオープンドレイン駆動部によって駆動されます。このピンが2線直列インターフェースによって使われるとき、プルアップは未だPORTD0ビットによって制御できます(訳注: 共通性から本行追加)。

表14-13.と表14-14.はポートDの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。

表14-13. ポートD7～4の交換機能用交換信号

信号名	PD7/T0	PD6/T1	PD5/XCK1	PD4/ICP1
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	XCK1出力許可	0
DDOV	0	0	1	0
PVOE	0	0	XCK1出力許可	0
PVOV	0	0	XCK1出力	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	T0入力	T1入力	XCK1入力	ICP1入力
AIO	–	–	–	–

表14-14. ポートD3～0の交換機能用交換信号

信号名	PD3/INT3/TXD1	PD2/INT2/RXD1	PD1/INT1/SDA	PD0/INT0/SCL
PUOE	TXEN1	RXEN1	TWEN	TWEN
PUOV	0	PORTD2・ <u>PUD</u>	PORTD1・ <u>PUD</u>	PORTD0・ <u>PUD</u>
DDOE	TXEN1	RXEN1	TWEN	TWEN
DDOV	1	0	SDA_出力	SCL_出力
PVOE	TXEN1	0	TWEN	TWEN
PVOV	TXD1	0	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	INT3許可	INT2許可	INT1許可	INT0許可
DIOV	1	1	1	1
DI	INT3入力	INT2入力/RXD1	INT1入力	INT0入力
AIO	–	–	SDA入力	SCL入力

注: 許可されると、2線直列インターフェースはPD0とPD1ピン出力のスレーブ制御を許可します。これは図で示されていません。
加えて、ポート図で示されるAIO出力と2線直列インターフェース(TWI)部間にスパイク除去器が接続されます。

14.3.5. ポートEの交換機能

ポートEピンの交換機能は表14-15.で示されます。

表14-15. ポートEピンの交換機能

ポートピン	交換機能	ポートピン	交換機能
PE7	INT7 (外部割り込み7 入力) ICP3 (タイマ/カウンタ3 捕獲起動入力) CLKO (システム クロック出力)	PE3	AIN1 (アナログ比較器反転入力) OC3A (タイマ/カウンタ3 比較A一致出力)
PE6	INT6 (外部割り込み6 入力) T3 (タイマ/カウンタ3 外部クロック入力)	PE2	AIN0 (アナログ比較器非反転入力) XCK0 (USART0 外部クロック入出力)
PE5	INT5 (外部割り込み5 入力) OC3C (タイマ/カウンタ3 比較C一致出力)	PE1	TXD0 (USART0 送信データ出力) PDO (直列プログラミング データ出力) (注1)
PE4	INT4 (外部割り込み4 入力) OC3B (タイマ/カウンタ3 比較B一致出力)	PE0	RXD0 (USART0 受信データ入力) PDI (直列プログラミング データ入力) (注1) PCINT8 (ピン変化割り込み8入力)

注1: ATmega1281/2561のみです。ATmega640/1280/2560について、これらの機能はMISO/MOSIに配置されます。

交換ピンの設定は次のとおりです。

• INT7/ICP3/CLKO – ポートE ビット7 : PE7

INT7 : 外部割り込み7入力。PE7ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

ICP3 : タイマ/カウンタ3の捕獲起動入力。PE7ピンはタイマ/カウンタ3用捕獲起動入力ピンとして動作できます。

CLKO : システム クロック出力。分周したシステム クロックがPE7ピンに出力できます。分周したシステム クロックはCKOUTヒューズがプログラム(0)されると、PORTE7とDDE7設定に拘らず、出力されます。これはリセット中にも出力されます。

• INT6/T3 – ポートE ビット6 : PE6

INT6 : 外部割り込み6入力。PE6ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

T3 : タイマ/カウンタ3の外部クロック入力ピンです。

• INT5/OC3C – ポートE ビット5 : PE5

INT5 : 外部割り込み5入力。PE5ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

OC3C : タイマ/カウンタ3の比較C一致出力。PE5ピンはタイマ/カウンタ3の比較C一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDE5=1)されなければなりません。このOC3Cピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

• INT4/OC3B – ポートE ビット4 : PE4

INT4 : 外部割り込み4入力。PE4ピンはMCUへの外部割り込み元として扱えます。

OC3B : タイマ/カウンタ3の比較B一致出力。PE4ピンはタイマ/カウンタ3の比較B一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDE4=1)されなければなりません。このOC3Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

• AIN1/OC3A – ポートE ビット3 : PE3

AIN1 : アナログ比較器の反転入力。このピンはアナログ比較器の反転入力に直接接続されます。

OC3A : タイマ/カウンタ3の比較A一致出力。PE3ピンはタイマ/カウンタ3の比較A一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDE3=1)されなければなりません。このOC3Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

• AIN0/XCK0 – ポートE ビット2 : PE2

AIN0 : アナログ比較器の非反転入力。このピンはアナログ比較器の非反転入力に直接接続されます。

XCK0 : USART0の外部クロック入出力。ポートE方向レジスタ(DDRE)のDDE2は、このクロックが入力(DDE2=0)または出力(DDE2=1)のどちらかを制御します。XCK0ピンはUSART0が同期種別で動作する時だけ活動します(有効です)。

• TXD0/PDO – ポートE ビット1 : PE1

TXD0 : 送信データ(USART0用データ出力ピン)。USART0送信部が許可されると、このピンはポートE方向レジスタ(DDRE)のDDE1の値に拘らず、出力として設定されます。

PDO : 直列プログラミング データ出力。直列プログラミング中、このピンはATmega1281/2561のデータ出力線として使われます。ATmega640/1280/2560に対する本機能はMISOに配置されます。

• RXD0/PDI – ポートE ビット0 : PE0

RXD0 : 受信データ(USART0用データ入力ピン)。USART0受信部が許可されると、このピンはDDREのDDE0の値に拘らず、入力として設定されます。USART0がこのピンを入力に強制するとき、PORTE0ビットの論理1は内部プルアップをON(有効)にします。

PDI : 直列プログラミング データ入力。直列プログラミング中、このピンはATmega1281/2561のデータ入力線として使われます。ATmega640/1280/2560に対する本機能はMOSIに配置されます。

PCINT8 : ピン変化割り込み8入力。PE0ピンは外部割り込み元としても扱えます。

表14-16と表14-17はポートEの交換機能を58頁の図14-5で示される交換信号に関連付けます。

表14-16. ポートE7~4の交換機能用交換信号

信号名	PE7/INT7/ICP3/CLKO	PE6/INT6/T3	PE5/INT5/OC3C	PE4/INT4/OC3B
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	0	OC3C許可	OC3B許可
PVOV	0	0	OC3C	OC3B
PTOE	-	-	-	-
DIOE	INT7許可	INT6許可	INT5許可	INT4許可
DIOV	1	1	1	1
DI	INT7入力/ICP3入力	INT6入力/T3入力	INT5入力	INT4入力
AIO	-	-	-	-

表14-17. ポートE3~0の交換機能用交換信号

信号名	PE3/AIN1/OC3A	PE2/AIN0/XCK0	PE1/TXD0/PDO	PE0/RXD0/PDI/PCINT8
PUOE	0	0	TXEN0	RXEN0
PUOV	0	0	0	PORTE0・PUD
DDOE	0	XCK0出力許可	TXEN0	RXEN0
DDOV	0	1	1	0
PVOE	OC3A許可	XCK0出力許可	TXEN0	0
PVOV	OC3A	XCK0出力	TXD0	0
PTOE	-	-	-	-
DIOE	0	0	0	PCIE1・PCINT8
DIOV	0	0	0	1
DI	-	XCK0入力	-	PCINT8入力/RXD0
AIO	AIN1入力	AIN0入力	-	-

注: PDOとPDIはATmega1281/2561に対してのみPE1とPE0で利用可能です。

14.3.6. ポートFの交換機能

ポートFピンには表14-18.に示されるようにA/D変換用アナログ入力としての交換機能があります。ポートFピンのいくつかが出力として設定される場合、A/D変換実行中の時にそれらを切り替えないことが重要です。これは変換結果を不正にするかもしれません。JTAGインターフェースが許可されると、リセットが起きてもPF7(TDI)、PF5(TMS)、PF4(TCK)ピンのプルアップ抵抗は活性(有効)にされます。

表14-18. ポートFピンの交換機能

ポートピン	交換機能
PF7	ADC7 (A/D変換アナログ入力チャネル7) TDI (JTAG 検査データ入力)
PF6	ADC6 (A/D変換アナログ入力チャネル6) TDO (JTAG 検査データ出力)
PF5	ADC5 (A/D変換アナログ入力チャネル5) TMS (JTAG 検査種別選択入力)
PF4	ADC4 (A/D変換アナログ入力チャネル4) TCK (JTAG クロック入力)
PF3	ADC3 (A/D変換アナログ入力チャネル3)
PF2	ADC2 (A/D変換アナログ入力チャネル2)
PF1	ADC1 (A/D変換アナログ入力チャネル1)
PF0	ADC0 (A/D変換アナログ入力チャネル0)

交換ピンの設定は次のとおりです。

- ADC7/TDI – ポートF ビット7 : PF7

ADC7 : A/D変換チャネル7入力。

TDI : JTAG検査データ入力。命令レジスタまたはデータレジスタ(走査チェーン)に移動入力される直列入力データです。JTAGインターフェースが許可されると、このピンはI/Oピンとして使えません。

- ADC6/TDO – ポートF ビット6 : PF6

ADC6 : A/D変換チャネル6入力。

TDO : JTAG検査データ出力。命令レジスタまたはデータレジスタから移動出力される直列出力データです。JTAGインターフェースが許可されるなら、このピンはI/Oピンとして使えません。

TDOピンはデータが移動出力されるTAP状態への移行を除いてHi-Zにされます。

- ADC5/TMS – ポートF ビット5 : PF5

ADC5 : A/D変換チャネル5入力。

TMS : JTAG検査種別選択。このピンはTAP(検査入出力ポート)制御器状態機構を通しての操作に使われます。JTAGインターフェースが許可されると、このピンはI/Oピンとして使えません。

- ADC4/TCK – ポートF ビット4 : PF4

ADC4 : A/D変換チャネル4入力。

TCK : JTAGクロック。JTAG操作はTCKに同期します。JTAGインターフェースが許可されると、このピンはI/Oピンとして使えません。

- ADC3 – ポートF ビット3 : PF3

ADC3 : A/D変換チャネル3入力。

- ADC2 – ポートF ビット2 : PF2

ADC2 : A/D変換チャネル2入力。

- ADC1 – ポートF ビット1 : PF1

ADC1 : A/D変換チャネル1入力。

- ADC0 – ポートF ビット0 : PF0

ADC0 : A/D変換チャネル0入力。

表14-19.と表14-20.はポートFの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。

表14-19. ポートF7~4の交換機能用交換信号

信号名	PF7/ADC7/TDI	PF6/ADC/TDO	PF5/ADC5/TMS	PF4/ADC4/TCK
PUOE	JTAGEN	JTAGEN	JTAGEN	JTAGEN
PUOV	1	0	1	1
DDOE	JTAGEN	JTAGEN	JTAGEN	JTAGEN
DDOV	0	IR移動+DR移動	0	0
PVOE	0	JTAGEN	0	0
PVOV	0	TDO	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	JTAGEN	JTAGEN	JTAGEN	JTAGEN
DIOV	0	0	0	0
DI	–	–	–	–
AIO	ADC7入力/TDI入力	ADC6入力	ADC5入力/TMS入力	ADC4入力/TCK入力

表14-20. ポートF3~0の交換機能用交換信号

信号名	PF3/ADC3	PF2/ADC2	PF1/ADC1	PF0/ADC0
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	0	0	0
PVOV	0	0	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	–	–	–	–
AIO	ADC3入力	ADC2入力	ADC1入力	ADC0入力

14.3.7. ポートGの交換機能

ポートGの交換ピンは次のとおりです。

表14-21. ポートGピンの交換機能

ポートピン	交換機能
PG5	OC0B (タイマ/カウンタ0 比較B一致/PWM出力)
PG4	TOSC1 (タイマ用発振増幅器入力)
PG3	TOSC2 (タイマ用発振増幅器出力)
PG2	ALE (外部メモリ用アドレス ラッチ許可信号出力)
PG1	\overline{RD} (外部メモリ用読み出しスローブ信号出力)
PG0	\overline{WR} (外部メモリ用書き込みスローブ信号出力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

• OC0B – ポートG ビット5 : PG5

OC0B : タイマ/カウンタ0の比較B一致出力。PG5ピンはタイマ/カウンタ0の比較B一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDG5=1)されなければなりません。このOC0Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

• TOSC1 – ポートG ビット4 : PG4

TOSC1 : タイマ発振器ピン1。タイマ/カウンタ2の非同期クロック動作を許可するためにASSRの非同期許可(AS2)ビットが設定(1)されると、PG4ピンはポートから切り離され、発振用反転増幅器の入力になります。この動作では、このピンにクリスタル発振器が接続され、このピンはI/Oピンとして使えません。

• TOSC2 – ポートG ビット3 : PG3

TOSC2 : タイマ発振器ピン2。タイマ/カウンタ2の非同期クロック動作を許可するためにASSRの非同期許可(AS2)ビットが設定(1)されると、PG3ピンはポートから切り離され、発振用反転増幅器の出力になります。この動作では、このピンにクリスタル発振器が接続され、このピンはI/Oピンとして使えません。

• ALE – ポートG ビット2 : PG2

ALE : 外部メモリ用アドレス ラッチ許可信号出力ピンです。

• \overline{RD} – ポートG ビット1 : PG1

\overline{RD} : 外部メモリ用読み出し制御スローブ信号出力ピンです。

• \overline{WR} – ポートG ビット0 : PG0

\overline{WR} : 外部メモリ用書き込み制御スローブ信号出力ピンです。

表14-22. はポートGの交換機能を58頁の図14-5. で示される交換信号に関連付けます。

表14-22. ポートG5～0の交換機能用交換信号

信号名	PG5/OC0B	PG4/TOSC1	PG3/TOSC2	PG2/ALE	PG1/ \overline{RD}	PG0/ \overline{WR}
PUOE	–	AS2	AS2· \overline{EXCLK}	SRE	SRE	SRE
PUOV	–	0	0	0	0	0
DDOE	–	AS2	AS2· \overline{EXCLK}	SRE	SRE	SRE
DDOV	–	0	0	1	1	1
PVOE	OC0B許可	0	0	SRE	SRE	SRE
PVOV	OC0B	0	0	ALE	RD	WR
PTOE	–	–	–	–	–	–
DIOE	–	AS2	AS2· \overline{EXCLK}	0	0	0
DIOV	–	EXCLK	0	0	0	0
DI	–	–	–	–	–	–
AIO	–	タイマ/カウンタ2用 発振増幅器入力	タイマ/カウンタ2用 発振増幅器出力	–	–	–

(訳注) 原書の表13-22.と表13-23.は表14-22.として統合しました。

14.3.8. ポートHの交換機能

ポートHの交換機能は次のとおりです。(訳補:ATmega1281/2561にポートHはありません。)

表14-24. ポートHピンの交換機能

ポートピン	交換機能	ポートピン	交換機能
PH7	T4 (タイマ/カウンタ4 外部クロック入力)	PH3	OC4A (タイマ/カウンタ4 比較A一致/PWM出力)
PH6	OC2B (タイマ/カウンタ2 比較B一致/PWM出力)	PH2	XCK2 (USART2 外部クロック入出力)
PH5	OC4C (タイマ/カウンタ4 比較C一致/PWM出力)	PH1	TXD2 (USART2 送信データ出力)
PH4	OC4B (タイマ/カウンタ4 比較B一致/PWM出力)	PH0	RXD2 (USART2 受信データ入力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

- T4 – ポートH ビット7 : PH7

T4 : タイマ/カウンタ4の外部クロック入力ピンです。

- OC2B – ポートH ビット6 : PH6

OC2B : タイマ/カウンタ2の比較B一致出力。PH6ピンはタイマ/カウンタ2の比較B一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDH6=1)されなければなりません。このOC2Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- OC4C – ポートH ビット5 : PH5

OC4C : タイマ/カウンタ4の比較C一致出力。PH5ピンはタイマ/カウンタ4の比較C一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDH5=1)されなければなりません。このOC4Cピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- OC4B – ポートH ビット4 : PH4

OC4B : タイマ/カウンタ4の比較B一致出力。PH4ピンはタイマ/カウンタ4の比較B一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDH4=1)されなければなりません。このOC4Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- OC4A – ポートH ビット3 : PH3

OC4A : タイマ/カウンタ4の比較A一致出力。PH3ピンはタイマ/カウンタ4の比較A一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDH3=1)されなければなりません。このOC4Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- XCK2 – ポートH ビット2 : PH2

XCK2 : USART2の外部クロック入出力。ポートH方向レジスタ(DDRH)のDDH2は、このクロックが入力(DDH2=0)または出力(DDH2=1)のどちらかを制御します。XCK2ピンはUSART2が同期種別で動作する時だけ活動します(有効です)。

- TXD2 – ポートH ビット1 : PH1

TXD2 : 送信データ(USART2用データ出力ピン)。USART2送信部が許可されると、このピンはポートH方向レジスタ(DDRH)のDDH1の値に拘らず、出力として設定されます。

- RXD2 – ポートH ビット0 : PH0

RXD2 : 受信データ(USART2用データ入力ピン)。USART2受信部が許可されると、このピンはDDRHのDDH0の値に拘らず、入力として設定されます。USART2がこのピンを入力に強制するとき、PORTH0ビットの論理1は内部プルアップをON(有効)にします。

表14-25と表14-26はポートHの交換機能を58頁の図14-5で示される交換信号に関連付けます。

表14-25. ポートH7～4の交換機能用交換信号

信号名	PH7/T4	PH6/OC2B	PH5/OC4C	PH4/OC4B
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	OC2B許可	OC4C許可	OC4B許可
PVOV	0	OC2B	OC4C	OC4B
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	T4入力	0	0	0
AIO	–	–	–	–

表14-26. ポートH3～0の交換機能用交換信号

信号名	PH3/OC4A	PH2/XCK2	PH1/TXD2	PH0/RXD2
PUOE	0	0	TXEN2	RXEN2
PUOV	0	0	0	PORTH0・ <u>PUD</u>
DDOE	0	XCK2出力許可	TXEN2	RXEN2
DDOV	0	1	1	0
PVOE	OC4A許可	XCK2出力許可	TXEN2	0
PVOV	OC4A	XCK2出力	TXD2	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	0	XCK2入力	0	RXD2
AIO	–	–	–	–

14.3.9. ポートJの交換機能

ポートJの交換機能は次のとおりです。(訳補:ATmega1281/2561にポートJはありません。)

表14-27. ポートJピンの交換機能

ポートピン	交換機能	ポートピン	交換機能
PJ7	–	PJ3	PCINT12 (ピン変化割り込み12入力)
PJ6	PCINT15 (ピン変化割り込み15入力)	PJ2	XCK3 (USART3 外部クロック入出力) PCINT11 (ピン変化割り込み11入力)
PJ5	PCINT14 (ピン変化割り込み14入力)	PJ1	TXD3 (USART3 送信データ出力) PCINT10 (ピン変化割り込み10入力)
PJ4	PCINT13 (ピン変化割り込み13入力)	PJ0	RXD3 (USART3 受信データ入力) PCINT9 (ピン変化割り込み9入力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

- PCINT15 – ポートJ ビット6 : PJ6

PCINT15 : ピン変化割り込み15入力。PJ6ピンは外部割り込み元としても扱えます。

- PCINT14 – ポートJ ビット5 : PJ5

PCINT14 : ピン変化割り込み14入力。PJ5ピンは外部割り込み元としても扱えます。

- PCINT13 – ポートJ ビット4 : PJ4

PCINT13 : ピン変化割り込み13入力。PJ4ピンは外部割り込み元としても扱えます。

- PCINT12 – ポートJ ビット3 : PJ3

PCINT12 : ピン変化割り込み12入力。PJ3ピンは外部割り込み元としても扱えます。

- XCK3/PCINT11 – ポートJ ビット2 : PJ2

XCK3 : USART3の外部クロック入出力。ポートJ方向レジスタ(DDRJ)のDDJ2は、このクロックが入力(DDJ2=0)または出力(DDJ2=1)のどちらかを制御します。XCK3ピンはUSART3が同期種別で動作する時だけ活動します(有効です)。

PCINT11 : ピン変化割り込み11入力。PJ2ピンは外部割り込み元としても扱えます。

- TXD3/PCINT10 – ポートJ ビット1 : PJ1

TXD3 : 送信データ(USART3用データ出力ピン)。USART3送信部が許可されると、このピンはポートJ方向レジスタ(DDRJ)のDDJ1の値に拘らず、出力として設定されます。

PCINT10 : ピン変化割り込み10入力。PJ1ピンは外部割り込み元としても扱えます。

- RXD3/PCINT9 – ポートJ ビット0 : PJ0

RXD3 : 受信データ(USART3用データ入力ピン)。USART3受信部が許可されると、このピンはDDRJのDDJ0の値に拘らず、入力として設定されます。USART3がこのピンを入力に強制するとき、PORTJ0ビットの論理1は内部プルアップをON(有効)にします。

PCINT9 : ピン変化割り込み9入力。PJ0ピンは外部割り込み元としても扱えます。

表14-28と表14-29はポートJの交換機能を58頁の図14-5で示される交換信号に関連付けます。

表14-28. ポートJ7~4の交換機能用交換信号

信号名	PJ7	PJ6/PCINT15	PJ5/PCINT14	PJ4/PCINT13
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	0	0	0
PVOV	0	0	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIEOE	0	PCIE1・PCINT15	PCIE1・PCINT14	PCIE1・PCINT13
DIEOV	0	1	1	1
DI	0	PCINT15入力	PCINT14入力	PCINT13入力
AIO	–	–	–	–

表14-29. ポートJ3~0の交換機能用交換信号

信号名	PJ3/PCINT12	PJ2/XCK3/PCINT11	PJ1/TXD3/PCINT10	PJ0/RXD3/PCINT9
PUOE	0	0	TXEN3	RXEN3
PUOV	0	0	0	PORTJ0・ <u>PUD</u>
DDOE	0	XCK3出力許可	TXEN3	RXEN3
DDOV	0	1	1	0
PVOE	0	XCK3出力許可	TXEN3	0
PVOV	0	XCK3出力	TXD3	0
PTOE	–	–	–	–
DIEOE	PCIE1・PCINT12	PCIE1・PCINT11	PCIE1・PCINT10	PCIE1・PCINT9
DIEOV	1	1	1	1
DI	PCINT12入力	PCINT11入力/XCK3入力	PCINT10入力	PCINT9入力/RXD3
AIO	–	–	–	–

14.3.10. ポートKの交換機能

ポートKの交換機能は次のとおりです。(訳補: ATmega1281/2561にポートKはありません。)

表14-30. ポートKピンの交換機能

ポートピン	交換機能	ポートピン	交換機能
PK7	ADC15 (A/D変換アナログ入力チャネル15) PCINT23 (ピン変化割り込み23入力)	PK3	ADC11 (A/D変換アナログ入力チャネル11) PCINT19 (ピン変化割り込み19入力)
PK6	ADC14 (A/D変換アナログ入力チャネル14) PCINT22 (ピン変化割り込み22入力)	PK2	ADC10 (A/D変換アナログ入力チャネル10) PCINT18 (ピン変化割り込み18入力)
PK5	ADC13 (A/D変換アナログ入力チャネル13) PCINT21 (ピン変化割り込み21入力)	PK1	ADC9 (A/D変換アナログ入力チャネル9) PCINT17 (ピン変化割り込み17入力)
PK4	ADC12 (A/D変換アナログ入力チャネル12) PCINT20 (ピン変化割り込み20入力)	PK0	ADC8 (A/D変換アナログ入力チャネル8) PCINT16 (ピン変化割り込み16入力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

- ADC15～8/PCINT23～16 – ポートKビット7～0 : PK7～0

ADC15～8 : A/D変換チャネル15～8入力。

PCINT23～16 : ピン変化割り込み23～16入力。PK7～0ピンは外部割り込み元としても扱えます。

表14-31.と表14-32.はポートKの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。

表14-31. ポートK7～4の交換機能用交換信号

信号名	PK7/ADC15/PCINT23	PK6/ADC14/PCINT22	PK5/ADC13/PCINT21	PK4/ADC12/PCINT20
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	0	0	0
PVOV	0	0	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	PCIE2・PCINT23	PCIE2・PCINT22	PCIE2・PCINT21	PCIE2・PCINT20
DIOV	1	1	1	1
DI	PCINT23入力	PCINT22入力	PCINT21入力	PCINT20入力
AIO	ADC15入力	ADC14入力	ADC13入力	ADC12入力

表14-32. ポートK3～0の交換機能用交換信号

信号名	PK3/ADC11/PCINT19	PK2/ADC10/PCINT18	PK1/ADC9/PCINT17	PK0/ADC8/PCINT16
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	0	0	0
PVOV	0	0	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	PCIE2・PCINT19	PCIE2・PCINT18	PCIE2・PCINT17	PCIE2・PCINT16
DIOV	1	1	1	1
DI	PCINT19入力	PCINT18入力	PCINT17入力	PCINT16入力
AIO	ADC11入力	ADC10入力	ADC9入力	ADC8入力

14.3.11. ポートLの交換機能

ポートLピンの交換機能は次のとおりです。(訳補:ATmega1281/2561にポートLはありません。)

表14-33. ポートLピンの交換機能

ポートピン	交換機能	ポートピン	交換機能
PL7	–	PL3	OC5A (タイマ/カウンタ5 比較A一致出力)
PL6	–	PL2	T5 (タイマ/カウンタ5 外部クロック入力)
PL5	OC5C (タイマ/カウンタ5 比較C一致出力)	PL1	ICP5 (タイマ/カウンタ5 捕獲起動入力)
PL4	OC5B (タイマ/カウンタ5 比較B一致出力)	PL0	ICP4 (タイマ/カウンタ4 捕獲起動入力)

交換ピンの設定は次のとおりです。

- OC5C – ポートL ビット5 : PL5

OC5C : タイマ/カウンタ5の比較C一致出力。PL5ピンはタイマ/カウンタ5の比較C一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDL5=1)されなければなりません。このOC5Cピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- OC5B – ポートL ビット4 : PL4

OC5B : タイマ/カウンタ5の比較B一致出力。PL4ピンはタイマ/カウンタ5の比較B一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDL4=1)されなければなりません。このOC5Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- OC5A – ポートL ビット3 : PL3

OC5A : タイマ/カウンタ5の比較A一致出力。PL3ピンはタイマ/カウンタ5の比較A一致用外部出力として扱えます。この機能を扱うため、このピンは出力として設定(DDL3=1)されなければなりません。このOC5Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。

- T3 – ポートL ビット2 : PL2

T5 : タイマ/カウンタ5の外部クロック入力ピンです。

- ICP5 – ポートL ビット1 : PL1

ICP5 : タイマ/カウンタ5の捕獲起動入力。PL1ピンはタイマ/カウンタ5用捕獲起動入力ピンとして動作できます。

- ICP4 – ポートL ビット0 : PL0

ICP4 : タイマ/カウンタ4の捕獲起動入力。PL0ピンはタイマ/カウンタ4用捕獲起動入力ピンとして動作できます。

表14-34.と表14-35.はポートLの交換機能を58頁の図14-5.で示される交換信号に関連付けます。

表14-34. ポートL7～4の交換機能用交換信号

信号名	PL7	PL6	PL5/OC5C	PL4/OC5B
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	–	–	0	0
DDOV	–	–	0	0
PVOE	–	–	OC5C許可	OC5B許可
PVOV	–	–	OC5C	OC5B
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	0	0	0	0
AIO	–	–	–	–

表14-35. ポートL3～0の交換機能用交換信号

信号名	PL3/OC5A	PL2/T5	PL1/ICP5	PL0/ICP4
PUOE	0	0	0	0
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	OC5A許可	0	0	0
PVOV	OC5A	0	0	0
PTOE	–	–	–	–
DIOE	0	0	0	0
DIOV	0	0	0	0
DI	0	T5入力	ICP5入力	ICP4入力
AIO	–	–	–	–

14.4. I/Oポート用レジスタ

14.4.1. MCUCR – MCU制御レジスタ (MCU Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$35 (\$55)	JTD	–	–	PUD	–	–	IVSEL	IVCE	MCUCR
Read/Write	R/W	R	R	R/W	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット4 – PUD : プルアップ禁止 (Pull-up Disable)

このビットが1を書かれると、例えばDDxnとPORTxnレジスタがプルアップを許可(DDxn=0, PORTxn=1)に設定されていても、I/Oポートのプルアップは禁止されます。この特徴についてより多くの詳細に関しては56頁の「[ピンの設定](#)」をご覧ください。

14.4.2. PORTA – ポートA出力レジスタ (Port A Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$02 (\$22)	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	PORTA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.3. DDRA – ポートA方向レジスタ (Port A Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$01 (\$21)	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	DDRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.4. PINA – ポートA入力レジスタ (Port A Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$00 (\$20)	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	PINA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.5. PORTB – ポートB出力レジスタ (Port B Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$05 (\$25)	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	PORTB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.6. DDRB – ポートB方向レジスタ (Port B Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$04 (\$24)	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	DDRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.7. PINB – ポートB入力レジスタ (Port B Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$03 (\$23)	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	PINB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.8. PORTC – ポートC出力レジスタ (Port C Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$08 (\$28)	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	PORTC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.9. DDRC – ポートC方向レジスタ (Port C Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$07 (\$27)	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	DDRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.10. PINC – ポートC入力レジスタ (Port C Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$06 (\$26)	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	PINC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.11. PORTD – ポートD出力レジスタ (Port D Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0B (\$2B)	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	PORTD
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.12. DDRD – ポートD方向レジスタ (Port D Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0A (\$2A)	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	DDRD
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.13. PIND – ポートD入力レジスタ (Port D Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$09 (\$29)	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	PIND
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.14. PORTE – ポートE出力レジスタ (Port E Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0E (\$2E)	PORTE7	PORTE6	PORTE5	PORTE4	PORTE3	PORTE2	PORTE1	PORTE0	PORTE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.15. DDRE – ポートE方向レジスタ (Port E Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0D (\$2D)	DDE7	DDE6	DDE5	DDE4	DDE3	DDE2	DDE1	DDE0	DDRE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.16. PINE – ポートE入力レジスタ (Port E Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0C (\$2C)	PINE7	PINE6	PINE5	PINE4	PINE3	PINE2	PINE1	PINE0	PINE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.17. PORTF – ポートF出力レジスタ (Port F Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$11 (\$31)	PORTF7	PORTF6	PORTF5	PORTF4	PORTF3	PORTF2	PORTF1	PORTF0	PORTF
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.18. DDRF – ポートF方向レジスタ (Port F Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$10 (\$30)	DDF7	DDF6	DDF5	DDF4	DDF3	DDF2	DDF1	DDF0	DDRF
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.19. PINF – ポートF入力レジスタ (Port F Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0F (\$2F)	PINF7	PINF6	PINF5	PINF4	PINF3	PINF2	PINF1	PINF0	PINF
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.20. PORTG – ポートG出力レジスタ (Port G Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$14 (\$34)	–	–	PORTG5	PORTG4	PORTG3	PORTG2	PORTG1	PORTG0	PORTG
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.21. DDRG – ポートG方向レジスタ (Port G Data Direction Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$13 (\$33)	–	–	DDG5	DDG4	DDG3	DDG2	DDG1	DDG0	DDRG
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.22. PING – ポートG入力レジスタ (Port G Input Address)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$12 (\$32)	–	–	PING5	PING4	PING3	PING2	PING1	PING0	PING
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.23. PORTH – ポートH出力レジスタ (Port H Data Register) (注)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$102)	PORTH7	PORTH6	PORTH5	PORTH4	PORTH3	PORTH2	PORTH1	PORTH0	PORTH
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.24. DDRH – ポートH方向レジスタ (Port H Data Direction Register) (注)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$101)	DDH7	DDH6	DDH5	DDH4	DDH3	DDH2	DDH1	DDH0	DDRH
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.25. PINH – ポートH入力レジスタ (Port H Input Address) (注)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$100)	PINH7	PINH6	PINH5	PINH4	PINH3	PINH2	PINH1	PINH0	PINH
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.26. PORTJ – ポートJ出力レジスタ (Port J Data Register) (注)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$105)	PORTJ7	PORTJ6	PORTJ5	PORTJ4	PORTJ3	PORTJ2	PORTJ1	PORTJ0	PORTJ
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

注: これらのレジスタはATmega640/1280/2560でだけ利用できます。

14.4.27. DDRJ – ポートJ方向レジスタ (Port J Data Direction Register) (注)

ビット (\$104)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	DDJ7	DDJ6	DDJ5	DDJ4	DDJ3	DDJ2	DDJ1	DDJ0	DDRJ
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.28. PINJ – ポートJ入力レジスタ (Port J Input Address) (注)

ビット (\$103)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PINJ7	PINJ6	PINJ5	PINJ4	PINJ3	PINJ2	PINJ1	PINJ0	PINJ
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.29. PORTK – ポートK出力レジスタ (Port K Data Register) (注)

ビット (\$108)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PORTK7	PORTK6	PORTK5	PORTK4	PORTK3	PORTK2	PORTK1	PORTK0	PORTK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.30. DDRK – ポートK方向レジスタ (Port K Data Direction Register) (注)

ビット (\$107)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	DDK7	DDK6	DDK5	DDK4	DDK3	DDK2	DDK1	DDK0	DDRK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.31. PINK – ポートK入力レジスタ (Port K Input Address) (注)

ビット (\$106)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PINK7	PINK6	PINK5	PINK4	PINK3	PINK2	PINK1	PINK0	PINK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

14.4.32. PORTL – ポートL出力レジスタ (Port L Data Register) (注)

ビット (\$10B)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PORTL7	PORTL6	PORTL5	PORTL4	PORTL3	PORTL2	PORTL1	PORTL0	PORTL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.33. DDRL – ポートL方向レジスタ (Port L Data Direction Register) (注)

ビット (\$10A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	DDL7	DDL6	DDL5	DDL4	DDL3	DDL2	DDL1	DDL0	DDRL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

14.4.34. PINL – ポートL入力レジスタ (Port L Input Address) (注)

ビット (\$109)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PINL7	PINL6	PINL5	PINL4	PINL3	PINL2	PINL1	PINL0	PINL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

注: これらのレジスタはATmega640/1280/2560でだけ利用できます。

15. 8ビット タイマ/カウンタ0 (PWM付き)

15.1. 特徴

- 2つの独立した比較出力部
- 2重緩衝の比較レジスタ
- 比較一致でのタイマ/カウンタ解除 (自動再設定)
- 不具合なしで正しい位相のパルス幅変調器 (PWM)
- 可変PWM周期
- 周波数発生器
- 3つの独立した割り込み (TOV0, OCF0A, OCF0B)

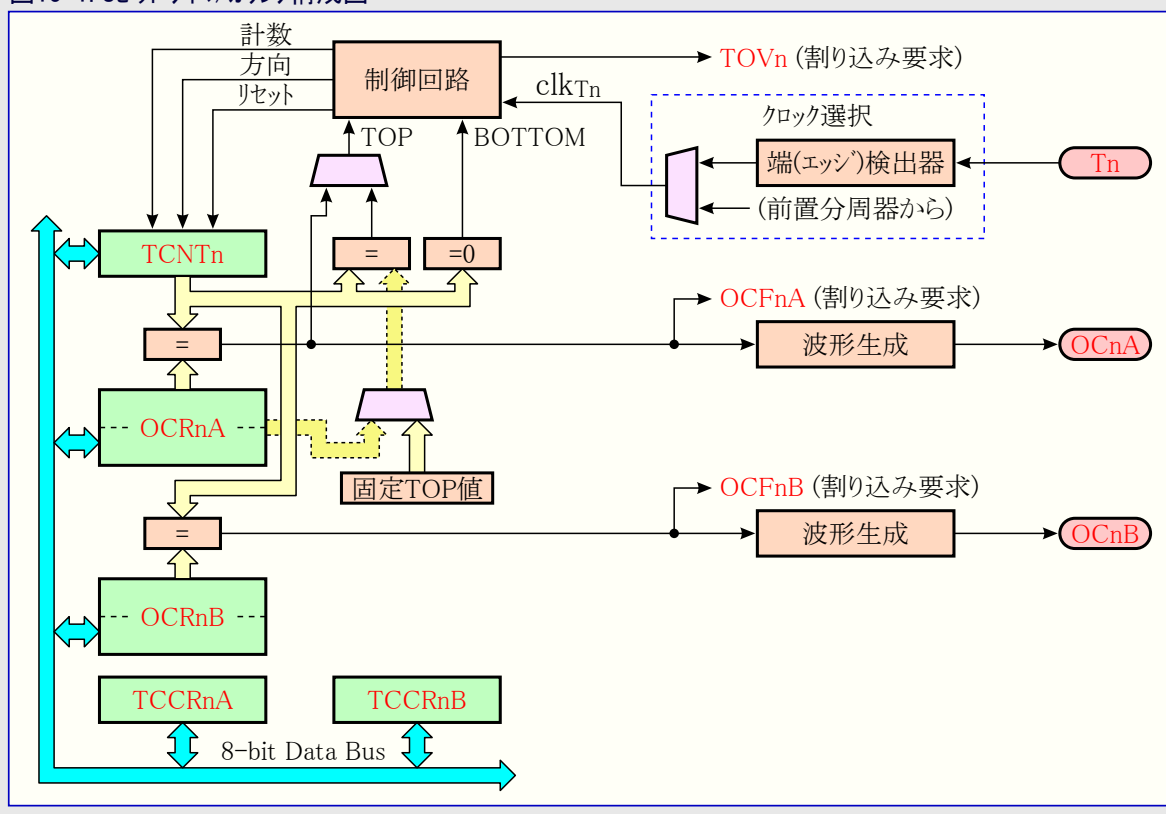
15.2. 概要

タイマ/カウンタ0は2つの独立した比較出力部とPWM支援付きの汎用8ビット タイマ/カウンタ部です。それは正確なプログラム実行タイミング(事象管理)、波形生成を許します。主な特徴は次に示されます。

この8ビット タイマ/カウンタの簡易化した構成図は図15-1で示されます。I/Oピン実際の配置については5頁の「ピン配置」を参照してください。CPUがアクセス可能なI/OビットとI/Oピンを含むI/Oレジスタは赤文字(訳注:原文は太字)で示されます。デバイス仕様のI/Oレジスタとビット位置は89頁の「8ビット タイマ/カウンタ用レジスタ」で一覧されます。

38頁の「PRR0 - 電力削減レジスタ」のPRTIM0ビットはタイマ/カウンタ0部を許可するために0を書かれなければなりません(訳注:行追加)。

図15-1. 8ビット タイマ/カウンタ構成図



15.2.1. 関係レジスタ

タイマ/カウンタ(TCNT0)と比較レジスタ(OCR0AとOCR0B)は8ビットのレジスタです。割り込み要求信号はタイマ/カウンタ0割り込み要求レジスタ(TIFR0)で全て見えます。全ての割り込みはタイマ/カウンタ0割り込み許可レジスタ(TIMSK0)で個別に遮蔽(禁止)されます。TIFR0とTIMSK0はこの図で示されません。

このタイマ/カウンタは内部的、前置分周器経由、またはT0ピンの外部クロック元によってクロック駆動されます。クロック選択論理部はタイマ/カウンタが値を増加(または減少)するのに使うクロック元を制御します。クロック元が選ばれないと、タイマ/カウンタは動きません。クロック選択論理部からの出力はタイマ/カウンタクロック(clkT0)として参照されます。

2重緩衝化した比較レジスタ(OCR0AとOCR0B)はタイマ/カウンタ値と常に比較されます。この比較結果は比較出力(OC0AとOC0B)ピンでPWMまたは可変周波数出力を作成するための波形生成器によって使えます。詳細については83頁の「比較出力部」をご覧ください。この比較一致発生は比較一致割り込み要求の発生に使える比較一致割り込み要求フラグ(OCF0AとOCF0B)も設定(1)します。

15.2.2. 定義

本章でのレジスタとビット参照の多くは一般形で書かれます。小文字の'n'はタイマ/カウンタ番号、この場合は0で置き換えます。小文字のxは比較出力部のチャンネル名を表し、この場合はAまたはBです。然しながらプログラムでレジスタまたはビット定義に使う時は正確な形式が使われなければなりません(即ちタイマ/カウンタ0のカウンタ値のアクセスに対してのTCNT0のように)。

表15-1.の定義は本文書を通して広範囲に渡って使われます。

表15-1. 用語定義

用語	意味
BOTTOM	タイマ/カウンタが\$00に到達した時。
MAX	タイマ/カウンタが\$FF(255)に到達した時。
TOP	タイマ/カウンタが指定された固定値(\$FF)またはOCR0A値に到達した時。この指定(TOP)値は動作種別に依存します。

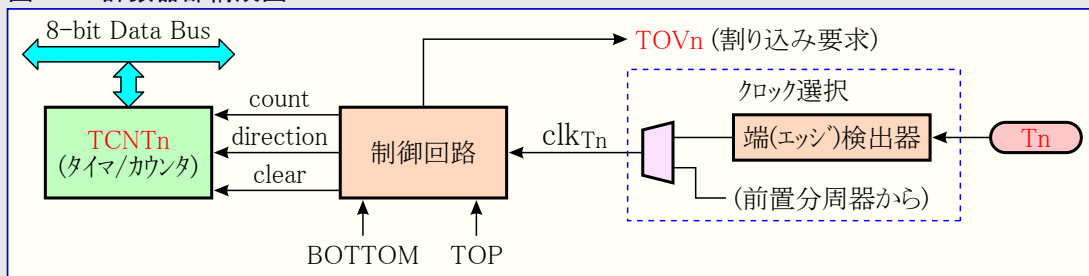
15.3. タイマ/カウンタのクロック

このタイマ/カウンタは内部または外部のクロック元によってクロック駆動できます。このクロック元はタイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCR0B)に配置されたクロック選択(CS02~0)ビットによって制御されるクロック選択論理回路で選ばれます。クロック元と前置分周器の詳細については118頁の「タイマ/カウンタ0,1,3,4,5の前置分周器」をご覧ください。

15.4. 計数器部

8ビット タイマ/カウンタの主な部分は設定可能な双方向カウンタ部です。図15-2.は、このカウンタとその周辺環境の構成図を示します。

図15-2. 計数器部構成図



信号説明 (内部信号)	count	TCNT0を1つ進めるまたは戻す信号。
	direction	進行方向(上昇または下降)選択信号。
	clear	TCNT0のリセット(\$00設定)信号。
	clkTn	以降でclkT0として参照されるタイマ/カウンタ クロック信号。
	TOP	TCNT0が最大値に到達したことを示す信号。
	BOTTOM	TCNT0が最小値(\$00)に到達したことを示す信号。

使った動作種別に依存して、カウンタは各タイマ/カウンタ クロック(clkT0)で解除(\$00)、増加(+1)、または減少(-1)されます。clkT0はクロック選択(CS02~0)ビットによって選ばれた内部または外部のクロック元から生成できます。クロック元が選ばれない(CS02~0=000)と、タイマ/カウンタは停止されます。けれどもTCNT0値はタイマ/カウンタ クロック(clkT0)が存在するしないに拘らず、CPUによってアクセスできます。CPU書き込みは全てのカウンタ解除や計数動作を無視します(上位優先順位を持ちます)。

計数順序(方法)はタイマ/カウンタ0制御レジスタA(TCCR0A)に配置された波形生成種別(WGM01,0)ビットとタイマ/カウンタ0制御レジスタB(TCCR0B)に配置された波形生成種別(WGM02)ビットの設定によって決定されます。これらはカウンタ動作(計数)方法とOCR0A/OCR0B比較出力に生成される方法間の接続に近いものです。進化した計数順序と波形生成についてより多くの詳細に関しては85頁の「動作種別」をご覧ください。

タイマ/カウンタ溢れ(TOV0)フラグはWGM02~0ビットによって選ばれた動作種別に従って設定(1)されます。TOV0はCPU割り込み発生に使えます。

15.5. 比較出力部

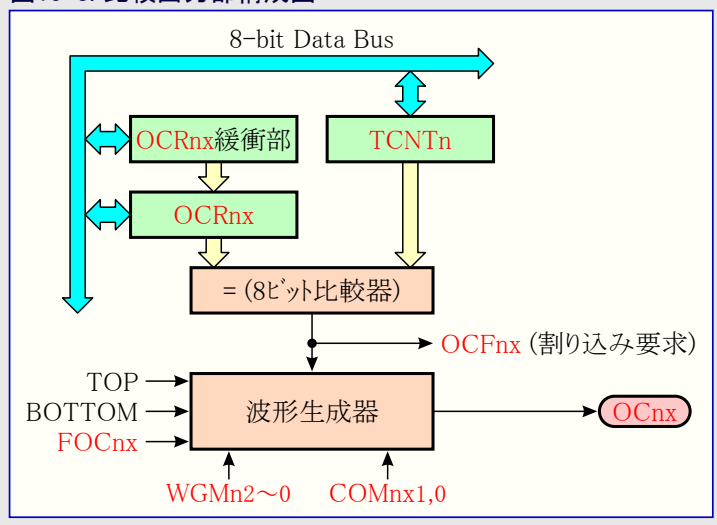
この8ビット比較器はTCNT0と比較レジスタ(OCR0AとOCR0B)を継続的に比較します。TCNT0がOCR0AまたはOCR0Bと等しければ比較器は一致を指示します。この一致は次のタイマ/カウンタクロック周期で比較割り込み要求フラグ(OCF0AまたはOCF0B)を設定(1)します。対応する割り込みが許可(I=1, OCIE0AまたはOCIE0B=1)されているならば、その比較割り込み要求フラグは比較割り込みを発生します。比較割り込み要求フラグは割り込みが実行されると自動的に解除(0)されます。代わりにこのフラグはこのI/Oビット位置に論理1を書くことによってソフトウェアでも解除(0)できます。波形生成器は波形生成種別(WGM02~0)ビットと比較出力選択(COM0x1,0)ビットによって設定された動作種別に従った出力を生成するのにこの一致信号を使います。MAXとBOTTOM信号は動作種別(85頁の「動作種別」参照)のいくつかで両端値の特別な場合を扱うため、波形生成器によって使われます。

図15-3.は比較出力部の構成図を示します。

OCR0xはパルス幅変調(PWM)のどれかを使う時に2重緩衝化されます。標準動作と比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作については2重緩衝動作が禁止されます。2重緩衝動作は計数の流れのTOPまたはBOTTOMのどちらかに対してOCR0xレジスタの更新を同期化します。この同期化は奇数長、非対称PWMパルスの発生を防ぎ、それによって不具合なしの出力を作成します。

OCR0xのアクセスは複雑なように思えますが決してそんなことはありません。2重緩衝動作が許可されるとCPUはOCR0x緩衝部をアクセスし、禁止されるとOCR0xレジスタを直接アクセスします。

図15-3. 比較出力部構成図



(訳注) ここでは比較nxレジスタ全体をOCR0x、OCR0xを構成する緩衝部分をOCR0x緩衝部、実際の比較に使われるレジスタ本体部分をOCR0xレジスタとして記述しています。他の部分での記述でも特に必要がある場合はこの記述方法を適用します。

15.5.1. 強制比較出力

非PWM波形生成動作での比較器の一致出力は、強制変更(FOC0x)ビットに1を書くことによって強制(変更)できます。比較一致の強制は比較割り込み要求フラグ(OCF0x)の設定(1)やタイマ/カウンタの再設定/解除を行いませんが、OC0xピンは実際の比較一致が起きた場合と同様に更新されます(COM0x1,0ビット設定がOC0xピンの設定(1)、解除(0)、1/0交互のどれかを定義)。

15.5.2. TCNT0書き込みによる比較一致妨害

TCNT0への全てのCPU書き込みは、例えばタイマ/カウンタが停止されていても、次のタイマ/カウンタクロック周期で起こるどんな比較一致をも妨げます。この特質はタイマ/カウンタクロックが許可されている時に割り込みを起動することなく、TCNT0と同じ値に初期化されることをOCR0xに許します。

15.5.3. 比較一致部の使用

どの動作種別でのTCNT0書き込みでも1タイマ/カウンタクロック周期間、全ての比較一致を妨げるため、タイマ/カウンタが走行中であるかにかかわらず、比較出力部を使う場合、TCNT0を変更する時に危険を伴います。TCNT0に書かれた値がOCR0x値と同じ場合に比較一致は失われ(一致が発生せず)、不正な波形生成に終わります。同様にタイマ/カウンタが下降計数のとき、BOTTOMに等しいTCNT0値を書いてはいけません。

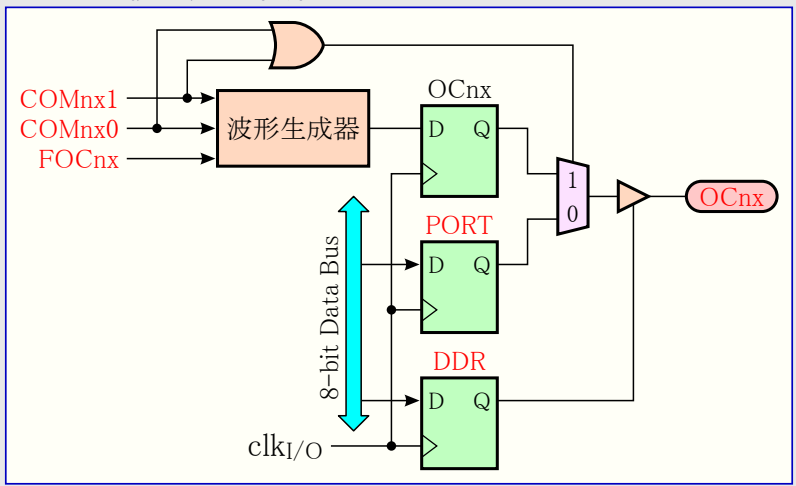
OC0xの初期設定はポートピンに対するポート方向レジスタを出力に設定する前に行われるべきです。OC0x値を設定する一番簡単な方法は標準動作で強制変更(FOC0x)スローブ'ビットを使うことです。波形生成動作種別間を変更する時でも、OC0x(内部)レジスタはその値を保ちます。

比較出力選択(COM0x1,0)ビットが比較値(OCR0x)と共に2重緩衝されないことに気付いてください。COM0x1,0ビットの変更は直ちに有効となります。

15.6. 比較一致出力部

比較出力選択($COM0x1,0$)ビットは2つの機能を持ちます。波形生成器は次の比較一致での比較出力($OC0x$)状態の定義に $COM0x1,0$ ビットを使います。また $COM0x1,0$ ビットは $OC0x$ ピン出力元を制御します。図15-4は $COM0x1,0$ ビット設定によって影響を及ぼされる論理回路の簡略化した図を示します。図のI/Oレジスタ、I/Oビット、I/Oピンは赤文字(訳注:原文は太字)で示されます。 $COM0x1,0$ ビットによって影響を及ぼされる標準I/Oポート制御レジスタ(PORTとDDR)の部分だけが示されます。 $OC0x$ の状態を参照するとき、その参照は $OC0x$ ピンでなく内部 $OC0x$ レジスタに対してです。システムリセットが起ると、 $OC0x$ レジスタは'0'にリセットされます。

図15-4. 比較一致出力回路図



$COM0x1,0$ ビットのどちらかが設定(1)されると、標準I/Oポート機能は波形生成器からの比較出力($OC0x$)によって無効にされます。けれども $OC0x$ ピンの方向(入出力)はポートピンに対するポート方向レジスタ(DDR)によって未だ制御されます。 $OC0x$ ピンに対するポート方向レジスタのビット(DDR_OC0x)は $OC0x$ 値がピンで見えるのに先立って出力として設定されなければなりません。このポートの交換機能は波形生成種別と無関係です。

比較出力ピン論理回路の設計は出力が許可される前の $OC0x$ 状態の初期化を許します。いくつかの $COM0x1,0$ ビット設定が或る種の動作種別に対して予約されることに注意してください。89頁の「8ビット タイマ/カウンタ用レジスタ」をご覧ください。

15.6.1. 比較一致出力選択と波形生成

波形生成器は標準、CTC、PWM動作で $COM0x1,0$ ビットを違うふうに使います。全ての動作種別に対して $COM0x1,0=00$ 設定は次の比較一致で実行すべき $OC0x$ レジスタの動きがないことを波形生成器へ告げます。非PWM動作での比較出力動作については89頁の表15-2と表15-5を参照してください。高速PWM動作については89頁の表15-3と表15-6、位相基準PWMについては89頁の表15-4と表15-7を参照してください。

$COM0x1,0$ ビットの状態変更はこのビットが書かれた後の最初の比較一致で有効になります。非PWM動作について、この動作は強制変更($FOC0x$)ストローブビットを使うことによって直ちに効果を得ることを強制できます。

15.7. 動作種別

動作種別、即ちタイマ/カウンタと比較出力ピンの動作は**波形生成種別(WGM02~0)**ビットと**比較出力選択(COM0x1,0)**ビットの組み合わせによって定義されます。比較出力選択ビットは計数順序(動作)に影響を及ぼしませんが、一方、波形生成種別ビットは影響を及ぼします。COM0x1,0ビットは生成されるPWM出力が反転されるべきか否か(反転または非反転PWM)どちらかを制御します。非PWM動作に対するCOM0x1,0ビットは比較一致で出力が解除(0)、設定(1)、1/0交互のどれにされるべきかを制御します(84頁の「**比較一致出力部**」をご覧ください)。

タイミング情報の詳細については88頁の「**タイマ/カウンタ0のタイミング**」を参照してください。

15.7.1. 標準動作

最も単純な動作種別が標準動作(WGM02~0=000)です。この動作種別での計数方向は常に上昇(+)で、カウンタ解除は実行されません。カウンタは8ビット最大値(TOP=\$FF)を通過すると単に範囲を超え、そして\$00(BOTTOM)から再び始めます。通常動作での**タイマ/カウンタ溢れ(TOV0)フラグ**はTCNT0が\$00になる時と同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。この場合のTOV0フラグは設定(1)のみで解除(0)されないことを除いて第9ビットのようになります。けれどもTOV0フラグを自動的に解除(0)するタイマ/カウンタ溢れ割り込みと組み合わせたタイマ/カウンタの分解能はソフトウェアによって増やせます。標準動作での考慮に特別な場合はなく、新しいカウンタ値は何時でも書けます。

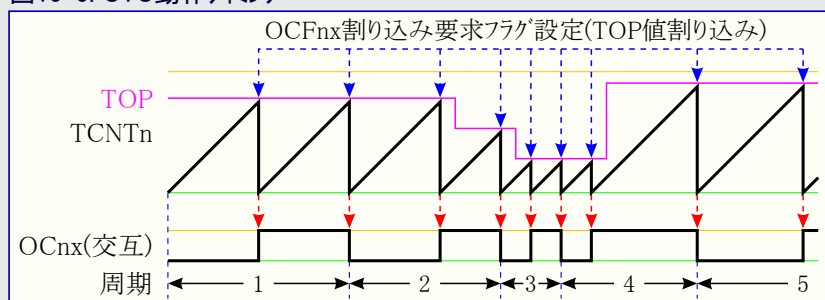
比較出力部は与えられた或る時間に割り込みを生成するのに使えます。標準動作で波形を生成するのに比較出力を使うのは、それが大変多くのCPU時間を占有するため推奨されません。

15.7.2. 比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作

比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作(WGM02~0=010)ではOCR0Aがカウンタの分解能を操作するのに使われます。CTC動作ではカウンタ(TCNT0)値がOCR0Aと一致すると、カウンタは\$00に解除されます。OCR0Aはカウンタに対するTOP値、従って分解能も定義します。この動作種別はより大きい比較一致出力周波数の制御を許します。それは外部の出来事の計数操作も簡単にします。

CTC動作についてのタイミング図は図15-5.で示されます。カウンタ(TCNT0)値はTCNT0とOCR0A間で比較一致が起こるまで増加し、そしてその後カウンタ(TCNT0)は解除(\$00)されます。

図15-5. CTC動作タイミング



OCF0Aフラグを使うことにより、タイマ/カウンタ値がTOP値に達する時毎に割り込みが生成できます。割り込みが許可されるなら、割り込み処理ルーチンはTOP値を更新するのに使えます。けれども前置分周なしまたは低い前置分周値でカウンタが走行している時にBOTTOMと近い値にTOPを変更することは、CTC動作が2重緩衝機能を持たないために注意して行わなければなりません。OCR0Aに書かれた新しい値がTCNT0の現在値よりも低い(小さい)場合、タイマ/カウンタは(その回の)比較一致を失います。その後のカウンタは比較一致が起こるのに先立って最大値(\$FF)へ、そして次に\$00から始める計数をしなければならないでしょう。

CTC動作で波形出力を生成するため、OC0A出力は**比較出力選択(COM0A1,0)**ビットを交互動作(=01)に設定することによって各比較一致での論理レベル交互切り替えに設定できます。OC0A値はそのピンに対するデータ方向が出力(DDR_OC0A=1)に設定されない限りポートピンで見えないでしょう。生成された波形はOCR0Aが0(\$00)に設定される時に $f_{OC0A} = f_{clk_I/O} / 2$ の最大周波数を得ます。生成波形周波数は次式によって定義されます。

$$f_{OCnx} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times (1 + OCRnx)}$$

変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

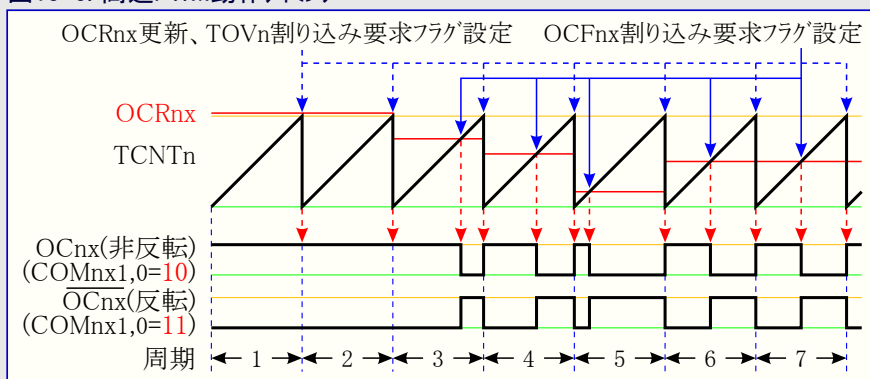
標準動作と同じように、**タイマ/カウンタ溢れ(TOV0)フラグ**はカウンタがMAXから\$00へ計数するのと同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。

15.7.3. 高速PWM動作

高速パルス幅変調(PWM)動作(WGM02~0=011または111)は高周波数PWM波形生成選択を提供します。高速PWMはそれが単一傾斜(鋸波)動作であることによって他のPWM動作と異なります。カウンタはBOTTOMからTOPまで計数し、その後BOTTOMから再び始めます。TOPはWGM02~0=011時に\$FF、WGM02~0=111時にOCR0Aとして定義されます。非反転比較出力動作(COM0x1,0=10)での比較出力(OC0x)はTCNT0とOCR0x間の比較一致で解除(0)され、BOTTOMで設定(1)されます。反転出力動作(COM0x1,0=11)の出力は比較一致で設定(1)され、BOTTOMで解除(0)されます。この単一傾斜動作のため、高速PWM動作の動作周波数は両傾斜(三角波)動作を使う位相基準PWM動作よりも2倍高くできます。この高い周波数は電力調節、整流、D/A変換に対して高速PWM動作を都合よく適合させます。高い周波数は物理的に小さな外部部品(コイルやコンデンサ)を許し、従ってシステム総費用を削減します。

高速PWM動作でのタイマ/カウンタはタイマ/カウンタ値がTOP値と一致するまで増加されます。そしてタイマ/カウンタは(一致の)次のタイマ/カウンタクロック周期で解除(\$00)されます。高速PWM動作のタイミング図は図15-6.で示されます。TCNT0値はタイミング図で単一傾斜動作(鋸波)を表す折れ線グラフとして示されます。この図は非反転と反転のPWM出力を含みます。赤細線はOCR0x値を示し、TCNT0値との交点(接点)がTCNT0とOCR0x間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。比較割り込み要求フラグ(OCF0x)はOCR0x=TOPを除いて比較一致が起こると設定(1)されます(訳注:共通性のため本行追加)。

図15-6. 高速PWM動作タイミング



タイマ/カウンタ溢れ(TOV0)フラグはカウンタがTOPに到達する時毎に設定(1)されます。割り込みが許可されるなら、その割り込み処理ルーチンは比較値を更新するのに使えます。

高速PWM動作での比較部はOC0xピンでのPWM波形の生成を許します。COM0x1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOM0x1,0を'11'に設定することで生成できます。WGM02ビットが設定(1)ならば、COM0A1,0ビットの'01'設定は比較一致での交互反転をOC0Aピンに許します。この任意選択はOC0Bピンに対して利用できません(89頁の表15-3.と表15-6.をご覧ください)。実際のOC0x値はポートピンに対するデータ方向(DDR_OC0x)が出力として設定される場合だけ見えるでしょう。PWM波形はTCNT0とOCR0x間の比較一致で、OC0x(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが解除(\$00,TOPからBOTTOMへ変更)されるタイマ/カウンタクロック周期でOC0xレジスタを解除(0)または設定(1)することによって生成されます。

PWM出力周波数は次式によって計算できます。

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \times (1+TOP)}$$

変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

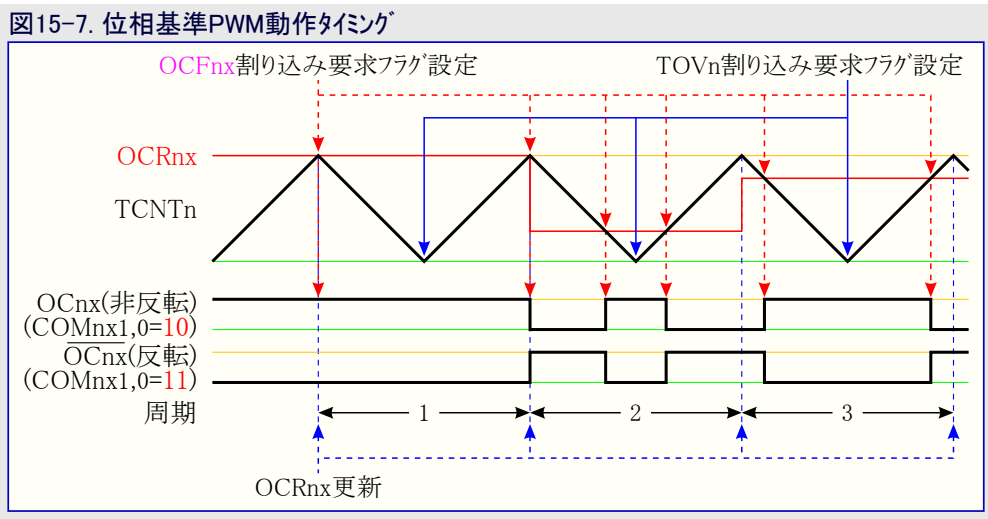
OCR0xの両端値は高速PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合に当たります。OCR0xがBOTTOM(\$00)と等しく設定されると、出力はTOP+1 タイマ/カウンタクロック周期毎の狭いスパイク(パルス)になるでしょう。OCR0xがTOPに等しく設定されると、(COM0x1,0ビットによって設定される出力極性に依存して)定常的なLowまたはHigh出力に終わるでしょう。

(訳補:WGM02~0=111の場合については、)高速PWM動作での(デューティ比50%)周波数の波形出力は比較一致毎に論理反転するOC0A設定(COM0A1,0=01)によって達成できます。生成された波形はOCR0Aが0(\$00)に設定される時に $f_{OC0x} = f_{clk_I/O} / 2$ の最大周波数でしょう。この特性は高速PWM動作で比較出力部の2重緩衝機能が許可されることを除いて、CTC動作でのOC0A交互出力(COM0A1,0=01)と同じです。

15.7.4. 位相基準PWM動作

位相基準パルス幅変調(PWM)動作(WGM02~0=001または101)は高分解能で正しい位相のPWM波形生成選択を提供します。位相基準PWM動作は両傾斜(三角波)動作を基準とします。カウンタはBOTTOMからTOPへそして次にTOPからBOTTOMへを繰り返し計数します。TOPはWGM02~0=001時に\$FF、WGM02~0=101時にOCR0Aとして定義されます。非反転比較出力動作(COM0x1,0=10)での比較出力(OC0x)は上昇計数中のTCNT0とOCR0xの比較一致で解除(0)され、下降計数中の比較一致で設定(1)されます。反転出力動作(COM0x1,0=11)での動作は逆にされます。両傾斜(三角波)動作は単一傾斜(鋸波)動作よりも低い最大動作周波数になります。けれども両傾斜(三角波)動作の対称特性のため、これらの動作種別は電動機制御の応用に好まれます。

位相基準PWM動作でのカウンタはカウンタ値がTOPと一致するまで増加されます。カウンタはTOPに達すると計数方向を変更します。このTCNT0値は1タイマ/カウンタクロック周期間TOPと等しくなります。位相基準PWM動作のタイミング図は図15-7.で示されます。TCNT0値はタイミング図で両傾斜動作(三角波)を表す折れ線グラフとして示されます。この図は非反転と反転のPWM出力を含みます。細い赤線はOCR0x値を示し、TCNT0値との交点(接点)がTCNT0とOCR0x間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。



タイマ/カウンタ溢れ(TOV0)フラグはタイマ/カウンタがBOTTOMに到達する時毎に設定(1)されます。この割り込み要求フラグはカウンタがBOTTOM値に到達する毎に割り込みを発生するために使えます。

位相基準PWM動作での比較部はOC0xピンでのPWM波形の生成を許します。COM0x1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOM0x1,0ビットを'11'に設定することで生成できます。WGM02ビットが設定(1)なら、COM0A1,0ビットの'01'設定は比較一致での交互反転をOC0Aピンに許します。この任意選択はOC0Bピンに対して利用できません(89頁の表15-4.と表15-7.をご覧ください)。実際のOC0x値はそのポートピンに対するデータ方向(DDR_OC0x)が出力として設定される場合だけ見えるでしょう。PWM波形はカウンタが増加する時のTCNT0とOCR0x間の比較一致でOC0x(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが減少する時のTCNT0とOCR0x間の比較一致でOC0xレジスタを解除(0)(または設定(1))によって生成されます。位相基準PWMを使う時の出力に対するPWM周波数は次式によって計算できます。

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times TOP}$$

変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

OCR0xの両端値は位相基準PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合に当たります。非反転PWM動作ではOCR0xがBOTTOM(\$00)に等しく設定されると出力は定常的なLow、TOPに等しく設定されると定常的なHighになるでしょう。反転PWMに対する出力は逆の論理値になります。

図15-7.の第2周期のその出発点に於いて、例え比較一致がないとしても、OCnxにはHighからLowへの遷移があります。この遷移点はBOTTOMを挟む対称を保証するためです。比較一致なしに遷移を生ずるのは2つの場合です。

- 図15-7.のようにOCR0xはTOPからその値を変更します。OCR0x値がTOPのとき、OCnxピン値は下降計数での比較一致の結果と同じです(訳補: L→H、直前がHのため、常にH)。BOTTOMを挟む対称を保証するため、(変更直後の)TOP(位置)でのOCnx値は上昇計数での比較一致の結果(H→L)と一致しなければなりません。
- タイマ/カウンタがOCR0x値よりも高い値から数え始め、そしてその理屈のために比較一致、それ故上昇途中で起こされるであろうOCnxの変更を逃します。(訳補: 従って上記同様、TOP位置で(直前がHならば)H→L遷移が生じます。)

15.8. タイマ/カウンタのタイミング

このタイマ/カウンタは同期設計で、従って以下の図でタイマ/カウンタクロック(clk_{Tn})がクロック許可信号として示されます。この図は割り込みフラグが設定(1)される時の情報を含みます。図15-8は基本的なタイマ/カウンタ動作についてのタイミング データを含みます。この図は位相基準PWM動作以外の全ての動作種別でのMAX値近辺の計数の流れを示します。

図15-8. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ タイミング

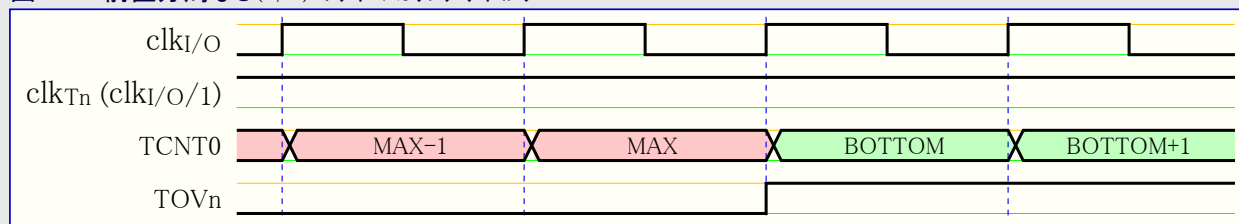


図15-9は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図15-9. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ タイミング

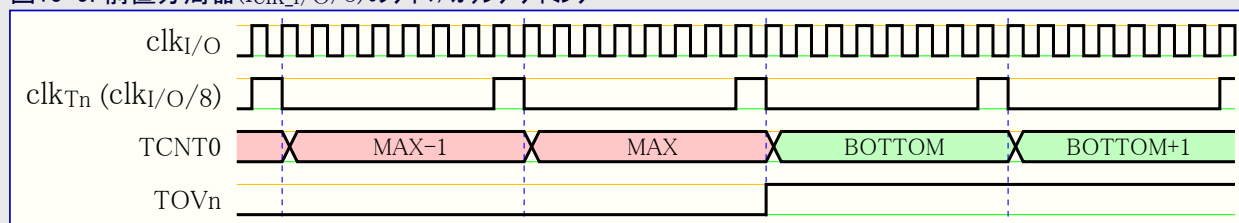


図15-10はCTC動作とOCR0AがTOPのPWM動作を除く全動作種別でのOCF0Aと全動作種別でのOCF0Bの設定を示します。

図15-10. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、OCF0x設定 タイミング

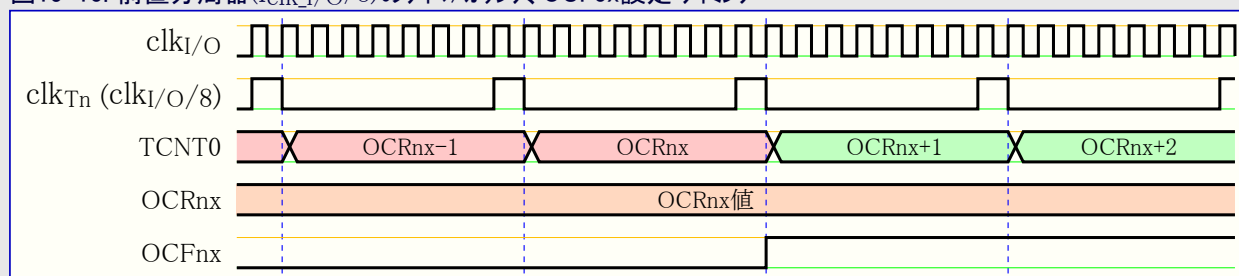
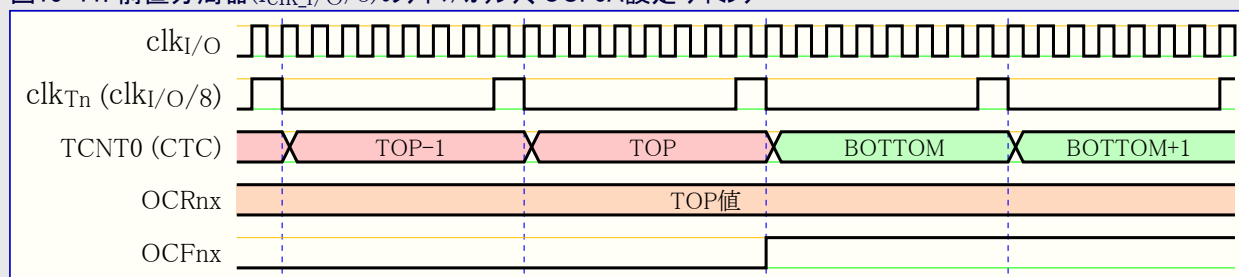


図15-11はOCR0AがTOPの高速PWM動作と、CTC動作でのTCNT0の解除とOCF0Aの設定を示します。

図15-11. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、OCF0A設定 タイミング



15.9. 8ビット タイマ/カウンタ0用レジスタ

15.9.1. TCCR0A – タイマ/カウンタ制御レジスタA (Timer/Counter 0 Control Register A)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$24 (\$44)	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	TCCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7,6 – COM0A1,0 : 比較A出力選択 (Compare Match A Output Mode bit 1 and 0)

これらのビットはOC0A比較出力ピンの動作を制御します。COM0A1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OC0A出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。けれども出力駆動部を許可するため、OC0Aピンに対応するポート方向レジスタ(DDR)のビットが設定(1)されなければならないことに注意してください。

OC0Aがピンに接続されるとき、COM0A1,0ビットの機能はWGM02~0ビット設定に依存します。

表15-2.はWGM02~0ビットが標準動作またはCTC動作(つまりPWM以外)に設定される時のCOM0A1,0ビット機能を示します。

表15-3.はWGM02~0ビットが高速PWM動作に設定される時のCOM0A1,0ビットの機能を示します。

表15-4.はWGM02~0ビットが位相基準PWM動作に設定される時のCOM0A1,0ビットの機能を示します。

表15-2. 非PWM動作比較A出力選択

COM0A1	COM0A0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC0A切断)
0	1	比較一致でOC0Aピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でOC0Aピン Lowレベル出力
1	1	比較一致でOC0Aピン Highレベル出力

表15-4. 位相基準PWM動作比較A出力選択 (共通注意参照)

COM0A1	COM0A0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC0A切断)
0	1	WGM02=0 : 標準ポート動作 (OC0A切断) WGM02=1 : 比較一致でOC0Aピントグル(交互)出力
1	0	上昇計数時の比較一致でLow、下降計数時の比較一致でHighをOC0Aピンへ出力
1	1	上昇計数時の比較一致でHigh、下降計数時の比較一致でLowをOC0Aピンへ出力

表15-3. 高速PWM動作比較A出力選択 (共通注意参照)

COM0A1	COM0A0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC0A切断)
0	1	WGM02=0 : 標準ポート動作 (OC0A切断) WGM02=1 : 比較一致でOC0Aピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でLow、BOTTOMでHighをOC0Aピンへ出力 (非反転動作)
1	1	比較一致でHigh、BOTTOMでLowをOC0Aピンへ出力 (反転動作)

●ビット5,4 – COM0B1,0 : 比較B出力選択 (Compare Match B Output Mode bit 1 and 0)

これらのビットはOC0B比較出力ピンの動作を制御します。COM0B1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OC0B出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。けれども出力駆動部を許可するため、OC0Bピンに対応するポート方向レジスタ(DDR)のビットが設定(1)されなければならないことに注意してください。

OC0Bがピンに接続されるとき、COM0B1,0ビットの機能はWGM02~0ビット設定に依存します。

表15-5.はWGM02~0ビットが標準動作またはCTC動作(つまりPWM以外)に設定される時のCOM0B1,0ビット機能を示します。

表15-6.はWGM02~0ビットが高速PWM動作に設定される時のCOM0B1,0ビットの機能を示します。

表15-7.はWGM02~0ビットが位相基準PWM動作に設定される時のCOM0B1,0ビットの機能を示します。

表15-5. 非PWM動作比較B出力選択

COM0B1	COM0B0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC0B切断)
0	1	比較一致でOC0Bピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でOC0Bピン Lowレベル出力
1	1	比較一致でOC0Bピン Highレベル出力

表15-7. 位相基準PWM動作比較B出力選択 (共通注意参照)

COM0B1	COM0B0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC0B切断)
0	1	(予約)
1	0	上昇計数時の比較一致でLow、下降計数時の比較一致でHighをOC0Bピンへ出力
1	1	上昇計数時の比較一致でHigh、下降計数時の比較一致でLowをOC0Bピンへ出力

表15-6. 高速PWM動作比較B出力選択 (共通注意参照)

COM0B1	COM0B0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC0B切断)
0	1	(予約)
1	0	比較一致でLow、BOTTOMでHighをOC0Bピンへ出力 (非反転動作)
1	1	比較一致でHigh、BOTTOMでLowをOC0Bピンへ出力 (反転動作)

共通注意: COM0x1が設定(1)され、対応するOCR0xがTOPと等しい時に特別な状態が起きます。この状態での比較一致は無視されますが、BOTTOMまたはTOPでの設定(1)または解除(0)は行われます。より多くの詳細については86頁の「高速PWM動作」または87頁の「位相基準PWM動作」をご覧ください。(表15-3,4,6,7.各々での注を纏めました。)

●ビット3,2 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット1,0 – WGM01,0 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 1 and 0)

タイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCR0B)で得られるWGM02ビットと組み合わせたこれらのビットはカウンタの計数順序(方向)、最大カウンタ(TOP)値の供給元、使われるべき波形生成のどの形式かを制御します(表15-8参照)。タイマ/カウンタ部によって支援される動作種別は標準動作(カウンタ)、比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作と2形式のパルス幅変調(PWM)動作です。85頁の「動作種別」をご覧ください。

表15-8. 波形生成種別選択

番号	WGM02	WGM01	WGM00	タイマ/カウンタ動作種別	TOP値	OCR0x更新時	TOV0設定時
0	0	0	0	標準動作	\$FF	即時	MAX
1	0	0	1	8ビット位相基準PWM動作	\$FF	TOP	BOTTOM
2	0	1	0	比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作	OCR0A	即時	MAX
3	0	1	1	8ビット高速PWM動作	\$FF	BOTTOM	MAX
4	1	0	0	(予約)	–	–	–
5	1	0	1	位相基準PWM動作	OCR0A	TOP	BOTTOM
6	1	1	0	(予約)	–	–	–
7	1	1	1	高速PWM動作	OCR0A	BOTTOM	TOP

注: MAX=\$FF、BOTTOM=\$00です。

15.9.2. TCCR0B – タイマ/カウンタ0制御レジスタB (Timer/Counter0 Control Register B)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$25 (\$45)	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7 – FOC0A : OC0A強制変更 (Force Output Compare A)

FOC0AビットはWGM02~0ビットが非PWM動作を指示する時だけ有効です。

けれども将来のデバイスとの共通性を保証するため、PWM動作で扱う時にTCCR0Bが書かれる場合、このビットは0に設定されなければなりません。FOC0Aビットに論理1を書くと、波形生成部で直ちに比較一致が強制されます。OC0A出力はCOM0A1,0ビット設定に従って変更されます。FOC0Aビットがストローブとして実行されることに注意してください。従って強制した比較の効果を決めるのはCOM0A1,0ビットに存在する値です。

FOC0Aストローブは何れの割り込みの生成もTOPとしてOCR0Aを使う比較一致タイマ解除(CTC)動作でのタイマ/カウンタの解除(\$00)も行いません。

FOC0Aビットは常に0として読みます。

●ビット6 – FOC0B : OC0B強制変更 (Force Output Compare B)

FOC0BビットはWGM02~0ビットが非PWM動作を指示する時だけ有効です。

けれども将来のデバイスとの共通性を保証するため、PWM動作で扱う時にTCCR0Bが書かれる場合、このビットは0に設定されなければなりません。FOC0Bビットに論理1を書くと、波形生成部で直ちに比較一致が強制されます。OC0B出力はCOM0B1,0ビット設定に従って変更されます。FOC0Bビットがストローブとして実行されることに注意してください。従って強制した比較の効果を決めるのはCOM0B1,0ビットに存在する値です。

FOC0Bストローブは何れの割り込みの生成も行いません。

FOC0Bビットは常に0として読みます。

●ビット5,4 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット3 – WGM02 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 2)

89頁の「TCCR0A – タイマ/カウンタ制御レジスタA」のWGM01,0ビット記述をご覧ください。

●ビット2~0 – CS02~0 : クロック選択0 (Clock Select0, bit 2,1 and 0)

この3つのクロック選択ビットはタイマ/カウンタ(TCNT0)によって使われるクロック元を選びます。表15-9をご覧ください。

表15-9. タイマ/カウンタ0入力クロック選択

CS02	CS01	CS00	意味
0	0	0	停止 (タイマ/カウンタ0動作停止)
0	0	1	clk _{I/O} (前置分周なし)
0	1	0	clk _{I/O} /8 (8分周)
0	1	1	clk _{I/O} /64 (64分周)
1	0	0	clk _{I/O} /256 (256分周)
1	0	1	clk _{I/O} /1024 (1024分周)
1	1	0	T0ピンの下降端 (外部クロック)
1	1	1	T0ピンの上昇端 (外部クロック)

外部ピン(クロック)動作がタイマ/カウンタ0に対して使われる場合、例えばT0ピンが出力として設定されても、T0ピンの遷移はカウンタをクロック駆動します。この特徴がソフトウェアに計数制御を許します。

15.9.3. TCNT0 – タイマ/カウンタ0 (Timer/Counter0)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$26 (\$46)	(MSB)							(LSB)	TCNT0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

このタイマ/カウンタレジスタは読み書き両方の操作について、タイマ/カウンタ部の8ビットカウンタに直接アクセスします。TCNT0への書き込みは次のタイマ/カウンタクロックでの比較一致を妨害(除去)します。カウンタが走行中にカウンタ(TCNT0)を変更することはTCNT0とOCR0x間の比較一致消失の危険を誘発します。

15.9.4. OCR0A – タイマ/カウンタ0 比較Aレジスタ (Timer/Counter0 Output Compare A Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$27 (\$47)	(MSB)							(LSB)	OCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この比較レジスタは継続的にカウンタ(TCNT0)値と比較される8ビットの値を含みます。一致は比較一致割り込みやOC0Aピンでの波形出力を生成するのに使えます。

15.9.5. OCR0B – タイマ/カウンタ0 比較Bレジスタ (Timer/Counter0 Output Compare B Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$28 (\$48)	(MSB)							(LSB)	OCR0B
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この比較レジスタは継続的にカウンタ(TCNT0)値と比較される8ビットの値を含みます。一致は比較一致割り込みやOC0Bピンでの波形出力を生成するのに使えます。

15.9.6. TIMSK0 – タイマ/カウンタ0割り込み許可レジスタ (Timer/Counter 0 Interrupt Mask Register)

ビット (\$6E)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	–	–	–	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	TIMSK0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット2 – OCIE0B : タイマ/カウンタ0比較B割り込み許可 (Timer/Counter0 Output Compare Match B Interrupt Enable)

OCIE0Bビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ0比較B一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ0で比較B一致が起こる、即ちタイマ/カウンタ0割り込み要求フラグレジスタ(TIFR0)で比較B割り込み要求フラグ(OCF0B)が設定(1)されると、対応する割り込みが実行されます。

● ビット1 – OCIE0A : タイマ/カウンタ0比較A割り込み許可 (Timer/Counter0 Output Compare Match A Interrupt Enable)

OCIE0Aビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ0比較A一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ0で比較A一致が起こる、即ちタイマ/カウンタ0割り込み要求フラグレジスタ(TIFR0)で比較A割り込み要求フラグ(OCF0A)が設定(1)されると、対応する割り込みが実行されます。

● ビット0 – TOIE0 : タイマ/カウンタ0溢れ割り込み許可 (Timer/Counter0 Overflow Interrupt Enable)

TOIE0ビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ0溢れ割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ0溢れが起こる、即ちタイマ/カウンタ0割り込み要求フラグレジスタ(TIFR0)でタイマ/カウンタ0溢れ割り込み要求(TOV0)フラグが設定(1)されると、対応する割り込みが実行されます。

15.9.7. TIFR0 – タイマ/カウンタ0割り込み要求フラグレジスタ (Timer/Counter 0 Interrupt Flag Register)

ビット \$15 (\$35)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	–	–	–	OCF0B	OCF0A	TOV0	TIFR0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット2 – OCF0B : タイマ/カウンタ0比較B割り込み要求フラグ (Timer/Counter0, Output Compare B Match Flag)

OCF0Bビットは比較一致がタイマ/カウンタ(TCNT0)と比較レジスタ(OCR0B)間で起こる時に設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、OCF0Bはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもOCF0Bは解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット、タイマ/カウンタ0割り込み許可レジスタ(TIMSK0)のタイマ/カウンタ0比較B一致割り込み許可(OCIE0B)ビット、OCF0Bが設定(1)されると、タイマ/カウンタ0比較B一致割り込みが実行されます。

● ビット1 – OCF0A : タイマ/カウンタ0比較A割り込み要求フラグ (Timer/Counter0, Output Compare A Match Flag)

OCF0Aビットは比較一致がタイマ/カウンタ(TCNT0)と比較レジスタ(OCR0A)間で起こる時に設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、OCF0Aはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもOCF0Aは解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット、タイマ/カウンタ0割り込み許可レジスタ(TIMSK0)のタイマ/カウンタ0比較A一致割り込み許可(OCIE0A)ビット、OCF0Aが設定(1)されると、タイマ/カウンタ0比較A一致割り込みが実行されます。

● ビット0 – TOV0 : タイマ/カウンタ0溢れ割り込み要求フラグ (Timer/Counter0 Overflow Flag)

TOV0ビットはタイマ/カウンタ(TCNT0)溢れが起こる時に設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、TOV0はハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもTOV0は解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット、タイマ/カウンタ0割り込み許可レジスタ(TIMSK0)のタイマ/カウンタ0溢れ割り込み許可(TOIE0)ビット、TOV0が設定(1)されると、タイマ/カウンタ0溢れ割り込みが実行されます。位相基準PWM動作ではタイマ/カウンタ0が\$00で計数方向を変える時にこのビットが設定(1)されます。

これらフラグの設定はWGM02～0ビット設定に依存します。90ページの波形生成種別ビット記述の表15-8を参照してください。

16. 16ビット タイマ/カウンタ (タイマ/カウンタ1,タイマ/カウンタ3,タイマ/カウンタ4,タイマ/カウンタ5)

16.1. 特徴

- ・ 真の16ビット設計 (即ち16ビットPWMの許容)
- ・ 3つの独立した比較出力部
- ・ 2重緩衝の比較レジスタ
- ・ 1つの捕獲入力部
- ・ 捕獲入力雑音消去器
- ・ 比較一致でのタイマ/カウンタ解除 (自動再設定)
- ・ 不具合なしで正しい位相のパルス幅変調器 (PWM)
- ・ 可変PWM周期
- ・ 周波数発生器
- ・ 外部事象計数器
- ・ 20種の独立した割り込み (TOV1,OCF1A,OCF1B,OCF1C,ICF1,TOV3,OCF3A,OCF3B,OCF3C,ICF3,TOV4,OCF4A,OCF4B,OCF4C,ICF4,TOV5,OCF5A,OCF5B,OCF5C,ICF5)

16.2. 概要

この16ビット タイマ/カウンタ部は正確なプログラム実行タイミング(事象管理)、波形生成、信号タイミング計測を許します。主な特徴は次に示されます。

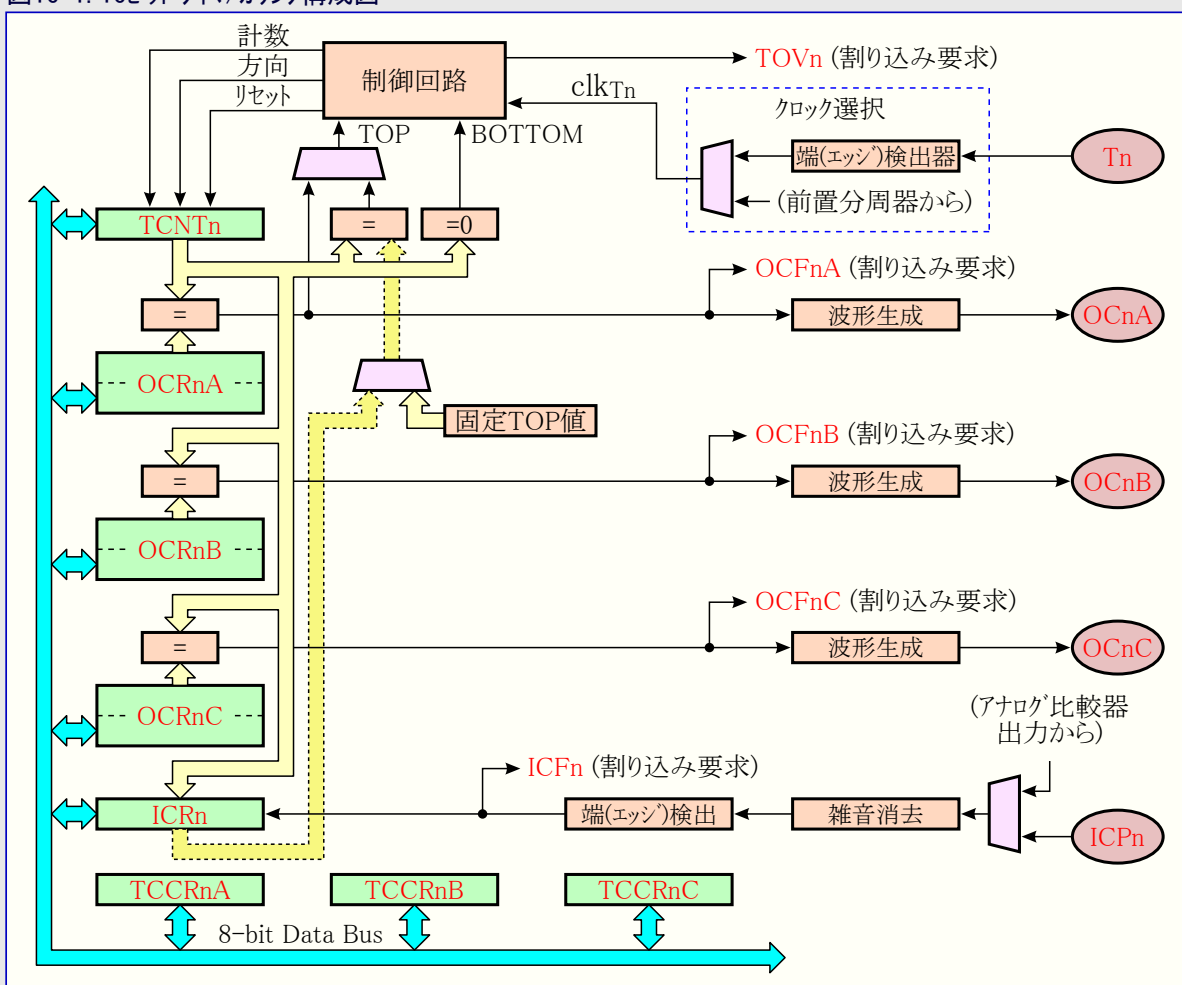
本文書でのレジスタとビット参照の多くは一般形で書かれます。小文字の'n'はタイマ/カウンタ番号、小文字の'x'は比較出力部の置き換えです。けれどもプログラムでレジスタまたはビット定義に使う時は正確な形式が使われなければなりません(例えばタイマ/カウンタ1のカウンタ値に対するアクセスのTCNT1のように)。

この16ビット タイマ/カウンタの簡略化した構成図は図16-1.で示されます。実際のI/Oピンの配置については5頁の「ピン配置」を参照してください。CPUがアクセス可能な(I/OビットとI/Oピンを含む)I/Oレジスタは赤文字(訳注: 原文太字)で示されます。デバイス仕様のI/Oレジスタとビット位置は108頁の「16ビット タイマ/カウンタ1,3,4,5用レジスタ」で示されます。

38頁の「PRR0 - 電力削減レジスタ」のPRTIM1ビットはタイマ/カウンタ1部を許可するために0を書かれねばなりません。同様に39頁の「PRR1 - 電力削減レジスタ」のPRTIM3,PRTIM4,PRTIM5ビットは各々タイマ/カウンタ3,4,5部を許可するために0を書かれねばなりません。

タイマ/カウンタ4と5はATmega640/1280/2560でのみ完全な機能を持ちます。捕獲入力と比較出力はATmega1281/2561で利用できません。

図16-1. 16ビット タイマ/カウンタ構成図



注: タイマ/カウンタ1,3,4,5のピン配置と説明については5頁の「ピン配置」、60頁の表14-6、63頁の表14-12、65頁の表14-15、70頁の表14-24、75頁の表14-33を参照してください。

16.2.1. 関係レジスタ

タイマ/カウンタ(TCNTn)、比較レジスタ(OCRnA, OCRnB, OCRnC)、捕獲レジスタ(ICRn)は全て16ビットレジスタです。16ビットレジスタをアクセスするとき、特別な手順に従わなければなりません。これらの手順は95頁の「16ビットレジスタのアクセス」項で記述されます。タイマ/カウンタ制御レジスタ(TCCRnA, TCCRnB, TCCRnC)は8ビットレジスタで、CPUアクセス制限はありません。割り込み要求信号はタイマ/カウンタ割り込み要求レジスタ(TIFRn)で全て見えます。全ての割り込みはタイマ/カウンタ割り込み許可レジスタ(TIMSKn)で個別に遮蔽(禁止)されます。TIFRnとTIMSKnはこの図で示されません。

このタイマ/カウンタは内部的、前置分周器経由、またはTnピンの外部クロック元によってクロック駆動されます。クロック選択論理部はタイマ/カウンタが値を増加(または減少)するのに使うクロック元と端(エッジ)を制御します。クロック元が選ばれないと、タイマ/カウンタは動きません。クロック選択論理部からの出力はタイマ/カウンタクロック(clk_{Tn})として参照されます。

2重緩衝化した比較レジスタ(OCRnA, OCRnB, OCRnC)はタイマ/カウンタ値と常に比較されます。この比較結果は比較出力(OCnA, OCnB, OCnC)ピンでPWMまたは可変周波数出力を生成するための波形生成器により使えます。99頁の「比較出力部」をご覧ください。この比較一致発生は比較出力割り込み要求の発生に使える比較一致割り込み要求フラグ(OCFnA, OCFnB, OCFnC)も設定(1)します。

捕獲レジスタ(ICRn)は捕獲起動(ICPn)ピンまたはアナログ比較器出力(184頁の「アナログ比較器」参照)のどちらかの外部(端で起動された)事象でタイマ/カウンタ値を捕獲(複写)できます。捕獲入力部は尖頭雑音を捕らえる機会を軽減するためにデジタル濾波部(雑音消去器)を含みます。

TOP値または最大タイマ/カウンタ値は、いくつかの動作種別で、OCRnA、ICRn、または一群の固定値のどれかによって定義できます。PWM動作でTOP値としてOCRnAを使うと、OCRnAはPWM出力生成用に使えません。けれどもこの場合、TOP値は動作中に変更されるのをTOP値に許す2重緩衝化します。固定的なTOP値が必要とされる場合、ICRnが代わりに使え、PWM出力として使われるべきOCRnAを開放します。

16.2.2. 定義

次の定義は本文書を通して広範囲に使われます。

表16-1. 用語定義

用語	意味
BOTTOM	カウンタが\$0000に到達した時。
MAX	カウンタが\$FFFF(65535)に到達した時。
TOP	カウンタがTOP値に到達した時(計数動作での最大値と等しくなった時)。TOP値は固定値(\$00FF, \$01FF, \$03FF)、OCRnA値、ICRn値の何れか1つを指定できます。この指定は動作種別に依存します。

16.3. 16ビットレジスタのアクセス

TCNTn, OCRnA, OCRnB, OCRnC, ICRnは8ビットバス経由でAVR CPUによってアクセスできる16ビットレジスタです。この16ビットレジスタは2回の読みまたは書き操作を使ってバイトアクセスされなければなりません。各々の16ビットタイマ/カウンタは16ビットアクセスの上位バイトの一時保存用に1つの8ビットレジスタを持ちます。16ビットタイマ/カウンタ内の全ての16ビットレジスタ間で、この同一一時レジスタが共用されます。下位バイトアクセスが16ビット読み書き動作を起動します。16ビットレジスタの下位バイトがCPUによって書かれると、一時レジスタに保存した上位バイトと書かれた下位バイトは同じクロック周期で両方が16ビットレジスタに複写されます。16ビットレジスタの下位バイトがCPUによって読まれると、16ビットレジスタの上位バイトは下位バイトが読まれるのと同じクロック周期で一時レジスタに複写されます。

全ての16ビットアクセスが上位バイトに対して一時レジスタを使う訳ではありません。OCRnA, OCRnB, OCRnCの16ビットレジスタ読み込みは一時レジスタの使用に関係しません。

16ビット書き込みを行うために上位バイトは下位バイトに先立って書かれなければなりません。16ビット読み込みについては下位バイトが上位バイトの前に読まれなければなりません。

次のコード例は割り込みが一時レジスタを更新しないことが前提の16ビットタイマ/カウンタレジスタのアクセス法を示します。OCRnA, OCRnB, OCRnC, ICRnレジスタのアクセスに対して同じ原理が直接的に使えます。C言語を使う時はコンパイラが16ビットアクセスを扱うことに注意してください。

アセンブリ言語プログラム例

```

~
LDI    R17, $01           ;
LDI    R16, $FF           ;[16ビット($01FF)書き込み]
OUT    TCNTnH, R17        ;$01FFの上位バイト値取得
OUT    TCNTnL, R16        ;$01FFの下位バイト値取得
~                               ;上位バイト設定(一時レジスタ)
                               ;下位バイト設定(一時レジスタ⇒上位バイト)
IN     R16, TCNTnL        ;[16ビット読み込み]
IN     R17, TCNTnH        ;下位バイト取得(上位バイト⇒一時レジスタ)
~                               ;上位バイト取得(一時レジスタ)
;

```

C言語プログラム例

```

unsigned int i;
~
TCNTn = 0x1FF;           /* */
i = TCNTn;               /* 16ビット($01FF)書き込み */
~                         /* 16ビット読み込み */
                          /* */

```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

アセンブリ言語コード例はR17:R16レジスタ対にTCNTn値を戻します。

16ビットレジスタアクセスが非分断操作であることに注意することが重要です。16ビットレジスタをアクセスする2命令間で割り込みが起き、割り込みコードがその16ビットタイマ/カウンタレジスタの同じ若しくは他の何れかをアクセスすることによって一時レジスタを更新する場合、割り込み外のその後のアクセス結果は不正にされます。従って主コードと割り込みコードの両方が一時レジスタを更新するとき、主コードは16ビットアクセス中の割り込みを禁止しなければなりません。

次のコード例はTCNTnレジスタ内容の非分断読み込み法を示します。同じ原理を使うことにより、OCRnA,OCRnB,OCRnC,ICRnのどの読み込みも行えます。

アセンブリ言語プログラム例

```
RD_TCNTn:    IN      R18, SREG          ; 現全割り込み許可フラグ(I)を保存
             CLI                      ; 全割り込み禁止
             IN      R16, TCNTnL        ; TCNTn下位バイト取得(上位バイト⇒一時レジスタ)
             IN      R17, TCNTnH        ; TCNTn上位バイト取得(一時レジスタ)
             OUT     SREG, R18          ; 全割り込み許可フラグ(I)を復帰
             RET                       ; 呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
unsigned int TIM16_Read_TCNTn(void)
{
    unsigned char sreg;                /* ステータスレジスタ一時保存変数定義 */
    unsigned int i;                    /* TCNTn読み出し変数定義 */
    sreg = SREG;                        /* 現全割り込み許可フラグ(I)を保存 */
    __disable_interrupt();              /* 全割り込み禁止 */
    i = TCNTn;                          /* TCNTn値を取得 */
    SREG = sreg;                        /* 全割り込み許可フラグ(I)を復帰 */
    return i;                           /* TCNTn値で呼び出し元へ復帰 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

アセンブリ言語コード例はR17:R16レジスタ対にTCNTn値を戻します。

次のコード例はTCNTnレジスタ内容の非分断書き込み法を示します。同じ原理を使うことにより、OCRnA,OCRnB,OCRnC,ICRnのどの書き込みも行えます。

アセンブリ言語プログラム例

```
WR_TCNTn:    IN      R18, SREG          ; 現全割り込み許可フラグ(I)を保存
             CLI                      ; 全割り込み禁止
             OUT     TCNTnH, R17        ; TCNTn上位バイト設定(一時レジスタ)
             OUT     TCNTnL, R16        ; TCNTn下位バイト設定(一時レジスタ⇒上位バイト)
             OUT     SREG, R18          ; 全割り込み許可フラグ(I)を復帰
             RET                       ; 呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void TIM16_Write_TCNTn(unsigned int i)
{
    unsigned char sreg;                /* ステータスレジスタ一時保存変数定義 */
    unsigned int i;                    /* TCNTn書き込み変数定義 */
    sreg = SREG;                        /* 現全割り込み許可フラグ(I)を保存 */
    __disable_interrupt();              /* 全割り込み禁止 */
    TCNTn = i;                          /* TCNTn値を設定 */
    SREG = sreg;                        /* 全割り込み許可フラグ(I)を復帰 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

アセンブリ言語コード例はR17:R16レジスタ対がTCNTnへ書かれるべき値を含むことが必要です。

16.3.1. 上位バイト一時レジスタの再使用

書かれる全レジスタについて上位バイトが同じ複数16ビットレジスタ書き込みなら、上位バイトは1度書かれることだけが必要です。けれども直前で記述した非分断操作の同じ規則が、この場合にも適用されることに注意してください。

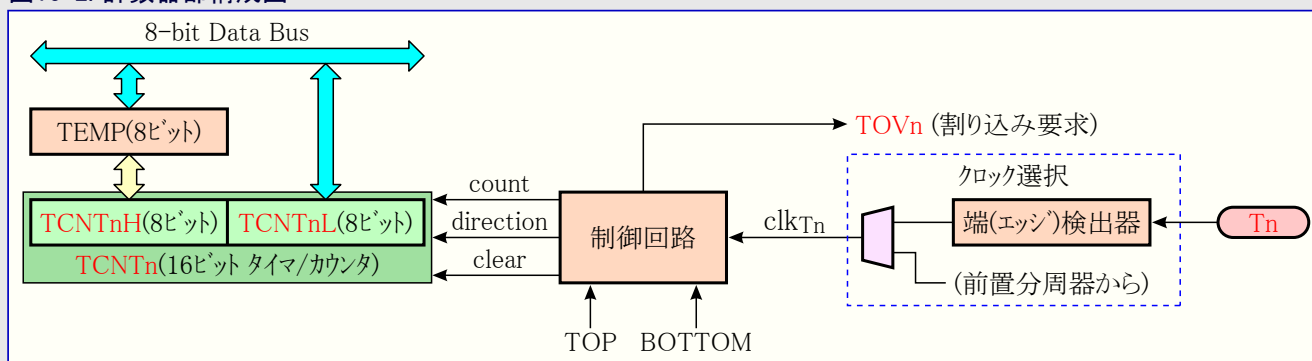
16.4. タイマ/カウンタのクロック

このタイマ/カウンタは内部または外部のクロック元によってクロック駆動できます。このクロック元は**タイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCRnB)**に配置された**クロック選択(CSn2~0)ビット**によって制御されるクロック選択論理回路で選ばれます。クロック元と前置分周器の詳細については118頁の「**タイマ/カウンタ0,1,3,4,5の前置分周器**」をご覧ください。

16.5. 計数器部

16ビット タイマ/カウンタの主な部分は設定可能な16ビット双方向カウンタ部です。図16-2はこのカウンタとその周辺の構成図を示します。

図16-2. 計数器部構成図



信号説明 (内部信号)	count	TCNTnを1つ進めるまたは戻す信号。
	direction	進行方向(上昇または下降)選択信号。
	clear	TCNTnのリセット(\$0000設定)信号。
	clkTn	タイマ/カウンタ クロック信号。
	TOP	TCNTnが最大値に到達したことを示す信号。
	BOTTOM	TCNTnが最小値(\$0000)に到達したことを示す信号。
	TEMP	一時レジスタ。

この16ビット カウンタはカウンタの上位8ビットを含むカウンタ上位(TCNTnH)と下位8ビットを含むカウンタ下位(TCNTnL)の2つの8ビット I/Oメモリ位置に配置されます。TCNTnHレジスタはCPUによる間接的なアクセスのみできます。CPUがTCNTnH I/O位置をアクセスするとき、CPUは上位バイト一時レジスタ(TEMP)をアクセスします。この一時レジスタはTCNTnLが読まれる時にTCNTnH値で更新され、TCNTnLが書かれる時にTCNTnHは一時レジスタ値で更新されます。これは8ビット データ バス経由で1クロック周期内での16ビット カウンタ値全体の読み書きをCPUに許します。予測不能な結果を生じる、カウンタが計数中の時のTCNTn書き込みの特別な場合に注意することが重要です。この特別な場合はそれらが重要となる項目で記述されます。

使った動作種別に依存して、カウンタは各タイマ/カウンタ クロック(clkTn)でリセット(\$0000)、増加(+1)、または減少(-1)されます。clkTnはクロック選択(CSn2~0)ビットによって選ばれた内部または外部のクロック元から生成できます。クロック元が選ばれない(CSn2~0=000)時にカウンタは停止されます。けれどもTCNTn値はタイマ/カウンタ クロック(clkTn)が存在するしないに拘らず、CPUによってアクセスできます。CPU書き込みは全てのカウンタ解除や計数動作を無視します(上位優先権を持ちます)。

計数順序(方法)は**タイマ/カウンタ制御レジスタA(TCCRnA)**と**タイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCRnB)**に配置された**波形生成種別(WGMn3~0)ビット**の設定によって決定されます。これらはカウンタ動作(計数)方法と波形がOCnx比較出力に生成される方法間の接続に近いものです。進化した計数順序と波形生成についてより多くの詳細に対しては102頁の「**動作種別**」をご覧ください。

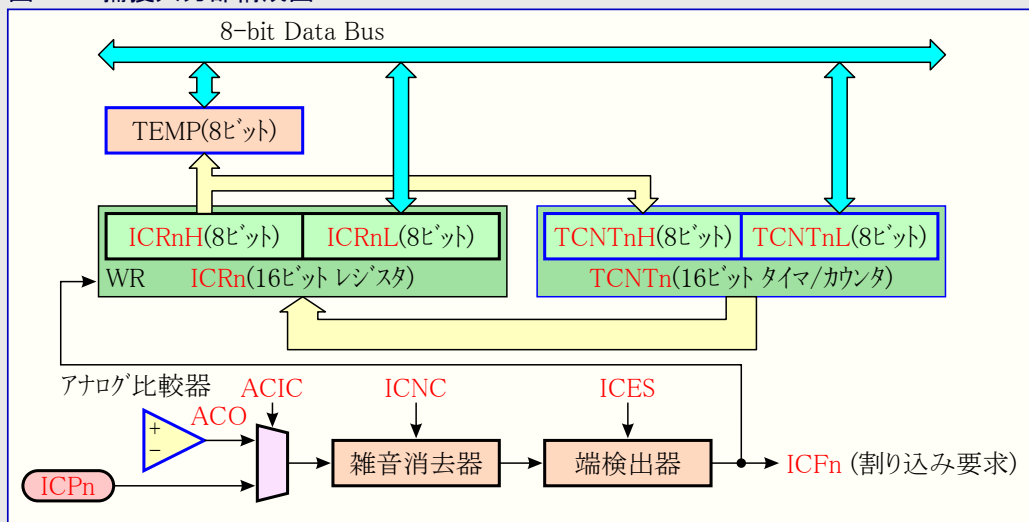
タイマ/カウンタ溢れ(TOVn)フラグはWGMn3~0ビットによって選ばれた動作種別に従って設定(1)されます。TOVnはCPU割り込み発生に使えます。

16.6. 捕獲入力部

タイマ/カウンタは外部の出来事を捕獲でき、発生時間を示す時間印(タイマ/カウンタ値)を与える捕獲入力部と合体します。出来事または複数の出来事を示す外部信号はICP_nピンまたは代わりにアナログ比較器経由で印加できます。時間印はその後、周波数、デューティ比、印加された信号の他の特性の計算に使えます。代わりに時間印は出来事の記録作成にも使えます。

捕獲入力部は図16-3.で示される構成図によって図解されます。直接的な捕獲入力部の部分でない構成図の要素は青枠(訳注:原文は灰色背景)で示されます。レジスタとビット名での小文字の'n'はタイマ/カウンタ番号を示します。

図16-3. 捕獲入力部構成図



注: ACO, ACICはアナログ比較器制御/状態レジスタ(ACSR)内のビットです。

注: アナログ比較器出力(ACO)はタイマ/カウンタ1のみ起動でき、タイマ/カウンタ3,4,5では使えません。(訳補: ATmega1281/2561にはICP4とICP5ピンが存在しないため、タイマ/カウンタ4,5での捕獲機能は利用できません。)

捕獲起動入力(ICP_n)ピン若しくは代わりにアナログ比較器出力(ACO)で論理レベルの変化(出来事)が起き、その変化が端(エッジ)検出器の設定を追認すると、捕獲が起動されます。捕獲が起動されると、カウンタ(TCNT_n)の16ビット値が捕獲レジスタ(ICR_n)に書かれます。捕獲割り込み要求フラグ(ICF_n)はTCNT_n値がICR_nに複写されるのと同じシステムクロックで設定(1)されます。許可(I=1, ICIE_n=1)ならば捕獲割り込み要求フラグは捕獲割り込みを発生します。ICF_nは割り込みが実行されると自動的に解除(0)されます。代わりにこのI/Oビット位置に論理1を書くことによってソフトウェアでも解除(0)できます。

捕獲レジスタ(ICR_n)の16ビット値読み込みは、初めに下位バイト(ICR_nL)、その後に上位バイト(ICR_nH)を読むことによって行われます。下位バイトが読まれる時に上位バイトが上位バイト一時レジスタ(TEMP)に複写されます。CPUがICR_nH I/O位置を読むと、この一時レジスタにアクセスします。

ICR_nはカウンタのTOP値定義にICR_nを利用する波形生成種別を使う時にだけ書けます。これらの場合、TOP値がICR_nに書かれ得る前に波形生成種別(WGM_{n3~0})ビットが設定されなければなりません。ICR_nに書く時は下位バイトがICR_nLに書かれる前に、上位バイトがICR_nH I/O位置に書かれなければなりません。

16ビットレジスタアクセス法のより多くの情報については95頁の「16ビットレジスタのアクセス」を参照してください。

16.6.1. 捕獲起動元

捕獲入力部用の主な起動元は捕獲起動入力(ICP_n)ピンです。タイマ/カウンタ1は捕獲入力部用起動元としてアナログ比較器出力を代わりに使えます。アナログ比較器はアナログ比較器制御/状態レジスタ(ACSR)のアナログ比較器捕獲起動許可(ACIC)ビットの設定(1)によって起動元として選ばれます。起動元を変更することが捕獲を起動し得ることに気付いてください。従って捕獲割り込み要求フラグ(ICF_n)は、その変更後に解除(0)されなければなりません。

捕獲起動入力(ICP_n)ピンとアナログ比較器出力(ACO)の両入力は、T_nピン(118頁の図17-1.参照)についてと同じ技法を使って採取されます。端検出器も全く同じです。けれども雑音消去が許可されると、付加論理回路が端検出器の前に挿入され、そして遅延を4システムクロック周期増やします。タイマ/カウンタがTOP値定義にICR_nを使う波形生成種別に設定されないなら、雑音消去器と端検出器の入力が常に許可されることに注意してください。

捕獲入力はICP_nピンのポートを制御することによってソフトウェアで起動できます。

16.6.2. 雑音消去器

雑音消去器は簡単なデジタル濾波器機構を使うことによって雑音耐性を改善します。雑音消去器の入力は4採取に渡って監視され、端検出器によって使われる方向転換となる出力を変更するためには4回全てが同じでなければなりません。

雑音消去器はタイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCR_nB)の捕獲入力雑音消去許可(ICNC_n)ビットの設定(1)によって許可されます。許可したとき、雑音消去器は入力に印加した変更からICR_nの更新までに4システムクロック周期の追加遅延をもたらします。雑音消去器はシステムクロックを使い、従って前置分周器によって影響されません。

16.6.3. 捕獲入力の使用

捕獲入力機能を使う主な要求(目的)は入って来る出来事に対して十分なプロセッサ能力を当てがうことです。2つの出来事間の時間が際どいします。次の出来事が起こる前に捕獲した**捕獲レジスタ(ICRn)**の値をプロセッサが読めなかった場合、ICRnは新しい値で上書きされます。この場合、捕獲の結果は不正にされます。

捕獲割り込みを使う時にICRnは割り込み処理ルーチンで可能な限り早く読まれるべきです。捕獲割り込みが相対的に高い優先順位であっても、最大割り込み応答時間は他の割り込み要求のどれかを扱うのに必要とされる最大クロック周期数に依存します。

動作中に**TOP値**(分解能)が積極的に変更されるとき、どの動作種別での捕獲入力部の使用も推奨されません。

外部信号のデューティ比測定は各捕獲後に起動端が変更されることを必要とします。検出端の変更はICRnが読まれてしまった後に可能な限り早く行われなければなりません。端(エッジ)の変更後、**捕獲割り込み要求フラグ(ICFn)**はソフトウェア(I/Oビット位置への論理1書き込み)によって解除(0)されなければなりません(**訳注**:端変更によってICFnが設定(1)されることを想定)。周波数のみの測定について(割り込み処理が使われる場合)、ICFnの解除(0)は必要とされません。

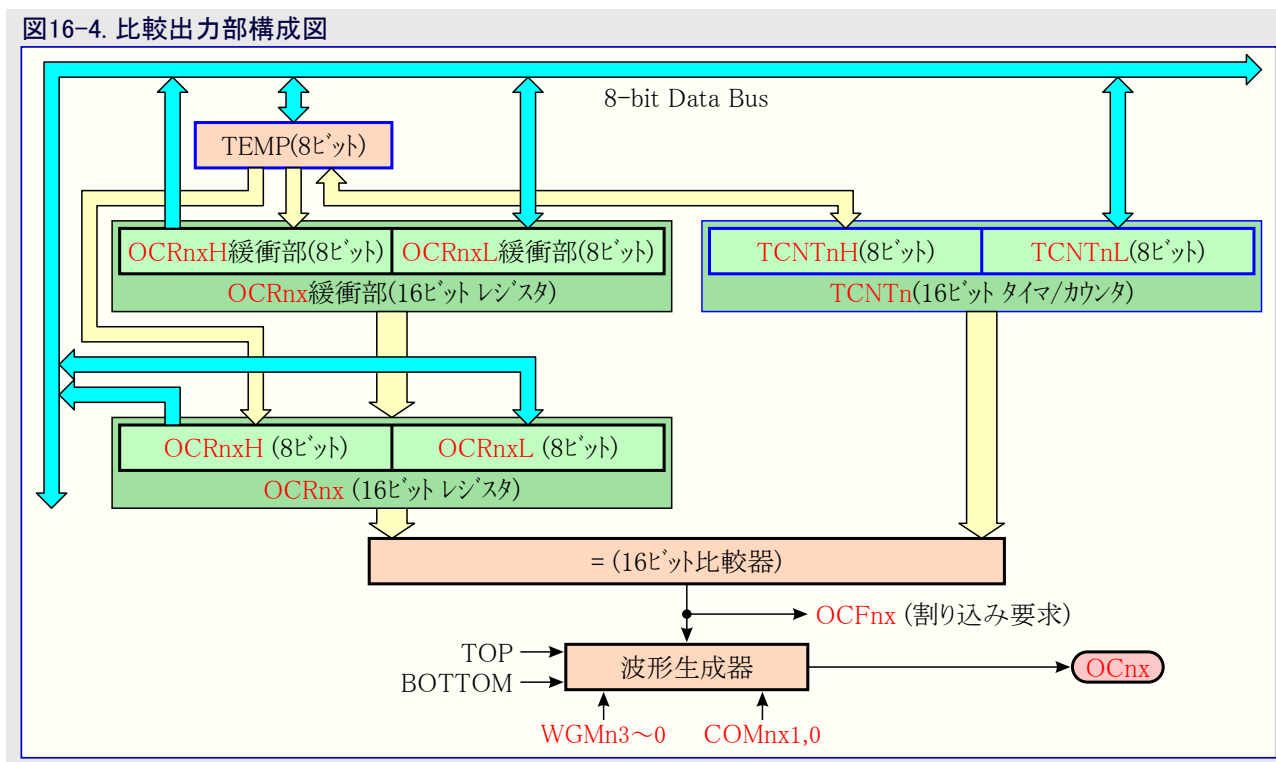
16.7. 比較出力部

この16ビット比較器は**TCNTn**と**比較レジスタ(OCRnx)**を継続的に比較します。TCNTnとOCRnxが等しければ、比較器は一致を指示します。この一致は**次のタイマ/カウンタクロック周期**で**比較割り込み要求フラグ(OCFn)**を設定(1)します。許可(I=1, OCFEnx=1)なら、この比較割り込み要求フラグは比較割り込みを発生します。OCFnは割り込みが実行されると自動的に解除(0)されます。代わりにOCFnはこのI/Oビット位置に論理1を書くことによってソフトウェアでも解除(0)できます。波形生成器は**波形生成種別(WGMn3~0)ビット**と**比較出力選択(COMnx1,0)ビット**によって設定された動作種別に従った出力を生成するのにこの一致信号を使います。TOPとBOTTOM信号は動作種別(102頁の「**動作種別**」参照)のいくつかで両端値の特別な場合を扱うため、波形生成器によって使われます。

比較A出力部の特殊な特性はタイマ/カウンタのTOP値(即ちカウンタの分解能)定義を許します。カウンタの分解能に加え、TOP値は波形生成器によって生成された波形の周期時間を定義します。

図16-4.は比較出力部の構成図を示します。レジスタとビット名での小文字の'n'はタイマ/カウンタ番号(タイマ/カウンタ1に対してはn=1)、小文字の'x'は比較出力部(A、BまたはC)を表します。直接的な比較出力部の部分でない構成図の要素は青枠(**訳注**:原文は灰色背景)で示されます。

図16-4. 比較出力部構成図



OCRnxは12種類のパルス幅変調(PWM)のどれかを使う時に2重緩衝化されます。標準動作と比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作については2重緩衝動作が禁止されます。2重緩衝動作は計数の流れのTOPまたはBOTTOMのどちらかに対してOCRnxレジスタの更新を同期化します。この同期化は奇数長、非対称PWMパルスの発生を防ぎ、それによって不具合なしの出力を作成します。

OCRnxのアクセスは複雑なように思えますが決してそんなことはありません。2重緩衝動作が許可されるとCPUはOCRnx緩衝部をアクセスし、禁止されるとOCRnxレジスタを直接アクセスします。OCRnx(緩衝部またはレジスタ)の内容は書き込み操作によってのみ変更されます(タイマ/カウンタはTCNTnやICRnのようにOCRnxを自動的に更新しません)。従ってOCRnxは上位バイト一時レジスタ(TEMP)経由で読まれません。けれども他の16ビットレジスタをアクセスする時のように下位バイトを先に読むのは良い習慣です。OCRnx書き込みは16ビット全ての比較が継続的に行われるため、一時レジスタ経由で行われなければなりません。上位バイト(OCRnxH)が先に書かれなければなりません。上位バイトI/O位置がCPUによって書かれると、一時レジスタは書かれた値で更新されます。その後に下位バイト(OCRnxL)が下位8ビットを書かれると、(一時レジスタ内の)上位バイトは(下位バイト書き込みと)同じシステムクロック周期でOCRnx緩衝部またはOCRnxレジスタのどちらかに複写されます。

16ビットレジスタアクセス法のより多くの情報については95頁の「16ビットレジスタのアクセス」を参照してください。

(訳注) ここでは比較nxレジスタ全体をOCRnx、OCRnxを構成する緩衝部分をOCRnx緩衝部、実際の比較に使われるレジスタ本体部分をOCRnxレジスタとして記述しています。他の部分での記述でも特に必要がある場合はこの記述方法を適用します。

16.7.1. 強制比較出力

非PWM波形生成動作での比較器の一致出力は強制変更(FOCnx)ビットに1を書くことによって強制(変更)できます。比較一致の強制は比較割り込み要求フラグ(OCFnx)の設定(1)やタイマ/カウンタの再設定/解除を行いませんが、OCnxピンは実際の比較一致が起きた場合と同様に更新されます(COMnx1,0ビット設定がOCnxピンの設定(1)、解除(0)、1/0交互のどれかを定義)。

16.7.2. TCNTn書き込みによる比較一致妨害

TCNTnへの全てのCPU書き込みは、例えばタイマ/カウンタが停止されていても、次のタイマ/カウンタクロック周期で起こるどんな比較一致をも妨げます。この特質はタイマ/カウンタクロックが許可されている時に、割り込みを起動することなく、TCNTnと同じ値に初期化されることをOCRnxに許します。

16.7.3. 比較一致部の使用

どの動作種別でのTCNTn書き込みでも1タイマ/カウンタクロック周期間、全ての比較一致を妨げるため、タイマ/カウンタが走行中であるかなにかに拘らず、何れかの比較出力部を使う場合、TCNTnを変更する時に危険を伴います。TCNTnに書かれた値がOCRnx値と同じ場合、比較一致は失われ(一致が発生せず)、不正な波形生成に終わります。可変TOP値のPWM動作でTOPに等しいTCNTnを書いてはいけません。(行った場合)TOPに対する比較一致は無視され、カウンタは\$FFFFへ(計数を)続けます。同様にカウンタが下降計数のとき、BOTTOMに等しいTCNTn値を書いてはいけません。

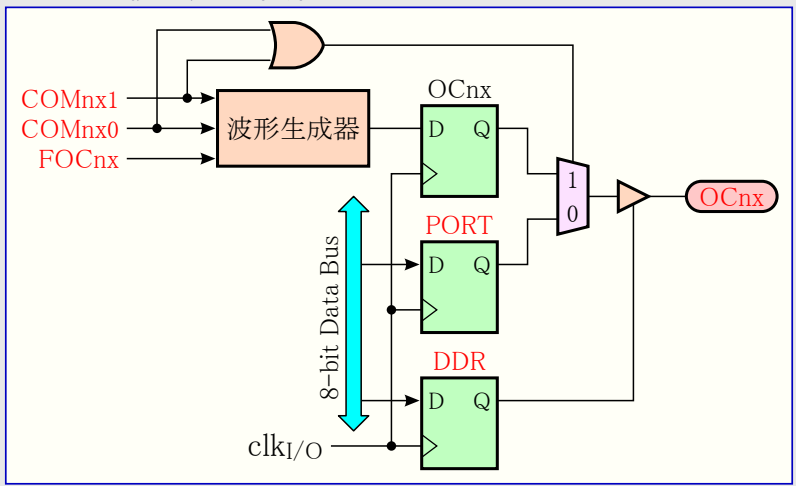
OCnxの初期設定はポートピンに対するポート方向レジスタを出力に設定する前に行われるべきです。OCnx値を設定する一番簡単な方法は標準動作で強制変更(FOCnx)スローブビットを使うことです。波形生成種別間を変更する時であっても、OCnx(内部)レジスタはその値を保ちます。

比較出力選択(COMnx1,0)ビットが比較値(OCRnx)と共に2重緩衝されないことに気付いてください。COMnx1,0ビットの変更は直ちに有効となります。

16.8. 比較一致出力部

比較出力選択(COMnx1,0)ビットは2つの機能を持ちます。波形生成器は次の比較一致での比較出力(OCnx)状態の定義にCOMnx1,0ビットを使います。次にCOMnx1,0ビットはOCnxピン出力元を制御します。図16-5はCOMnx1,0ビット設定によって影響される論理回路の簡略化した図を示します。図のI/Oレジスタ、I/Oビット、I/Oピンは赤文字(訳注:原文は太字)で示されます。COMnx1,0ビットによって影響を及ぼされる標準I/Oポート制御レジスタ(PORTとDDR)の部分だけが示されます。OCnxの状態を参照するとき、その参照はOCnxピンでなく内部OCnxレジスタに対してです。システムリセットが起ると、OCnxレジスタは0にリセットされます。

図16-5. 比較一致出力回路図



COMnx1,0ビットのどちらかが設定(1)されると、標準I/Oポート機能は波形生成器からの比較出力(OCnx)によって無効にされます。けれどもOCnxピンの方向(入出力)はポートピンに対するポート方向レジスタ(DDR)によって未だ制御されます。OCnxピンに対するポート方向レジスタのビット(DDR_OCnx)はOCnx値がピンで見えるのに先立って出力として設定されなければなりません。このポートの交換機能は一般的に波形生成種別と無関係ですが、いくつかの例外があります。詳細については表16-3、表16-4、表16-5を参照してください。

比較出力ピン論理回路の設計は出力が許可される前のOCnx状態の初期化を許します。いくつかのCOMnx1,0ビット設定が或る種の動作種別に対して予約されることに注意してください。108頁の「16ビットタイマ/カウンタ1,3,4,5用レジスタ」をご覧ください。

COMnx1,0ビットは捕獲入力部での何の効果もありません。

16.8.1. 比較一致出力選択と波形生成

波形生成器は標準、CTC、PWM動作でCOMnx1,0ビットを違うふうに使います。全動作種別に対してCOMnx1,0=00設定は次の比較一致で実行すべきOCnxレジスタの動きがないことを波形生成器へ告げます。非PWM動作での比較出力動作については108頁の表16-3を参照してください。高速PWM動作については108頁の表16-4、位相基準PWMと位相/周波数基準PWMについては109頁の表16-5を参照してください。

COMnx1,0ビットの状態変更はこのビットが書かれた後の最初の比較一致で有効になります。非PWM動作について、この動作は強制変更(FOCnx)ストローブビットを使うことによって直ちに効果を得ることを強制できます。

16.9. 動作種別

動作種別、即ちタイマ/カウンタと比較出力ピンの動作は、**波形生成種別(WGMn3~0)ビット**と**比較出力選択(COMnx1,0)ビット**の組み合わせによって定義されます。比較出力選択ビットは計数順序(動作)に影響を及ぼしませんが、一方波形生成種別ビットは影響を及ぼします。COMnx1,0ビットは生成されたPWM出力が反転されるべきか否か(反転または非反転PWM)どちらかを制御します。非PWM動作に対してのCOMnx1,0ビットは比較一致で出力が解除(0)、設定(1)、1/0交互のどれにされるべきかを制御します。101頁の「**比較一致出力部**」をご覧ください。

表16-2. 波形生成種別選択

番号	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	タイマ/カウンタ動作種別	TOP値	OCRnx 更新時	TOVn 設定時
0	0	0	0	0	標準動作	\$FFFF	即値	MAX
1	0	0	0	1	8ビット位相基準PWM動作	\$00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	9ビット位相基準PWM動作	\$01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	10ビット位相基準PWM動作	\$03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作	OCRnA	即値	MAX
5	0	1	0	1	8ビット高速PWM動作	\$00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	9ビット高速PWM動作	\$01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	10ビット高速PWM動作	\$03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	位相/周波数基準PWM動作	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	位相/周波数基準PWM動作	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	位相基準PWM動作	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	位相基準PWM動作	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作	ICRn	即値	MAX
13	1	1	0	1	(予約)	-	-	-
14	1	1	1	0	高速PWM動作	ICRn	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	高速PWM動作	OCRnA	BOTTOM	TOP

注: CTCnとPWMn1,0ビット定義名は旧名です。WGMn2~0定義を使ってください。しかし、これらのビットの機能と位置は旧版のタイマ/カウンタと一致します。

タイミング情報の詳細については107頁の「**タイマ/カウンタ1,3,4,5のタイミング**」を参照してください。

16.9.1. 標準動作

最も単純な動作種別が標準動作(WGMn3~0=0000)です。この動作種別での計数方向は常に上昇(+)で、カウンタの解除は実行されません。カウンタは16ビット最大値(MAX=\$FFFF)を通過すると単に範囲を超え、そして\$0000(BOTTOM)から再び始めます。通常動作での**タイマ/カウンタ溢れ(TOVn)フラグ**はTCNTnが\$0000になる時と同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。この場合のTOVnフラグは設定(1)のみで解除(0)されないことを除いて第17ビットのようになります。けれどもTOVnフラグを自動的に解除(0)するタイマ/カウンタ溢れ割り込みと組み合わせたタイマ/カウンタの分解能はソフトウェアによって増やせます。標準動作での考慮に特別な場合はなく、新しいカウンタ値は何時でも書けます。

捕獲入力部は標準動作での使用が容易です。けれども外部の事象間の最大間隔がタイマ/カウンタの分解能(16ビット長)を越えてはならないことに気付いてください。事象間の間隔が長すぎる場合、捕獲部に対して分解能を拡張するために、タイマ/カウンタ溢れ割り込みまたは前置分周器が使われなければなりません。

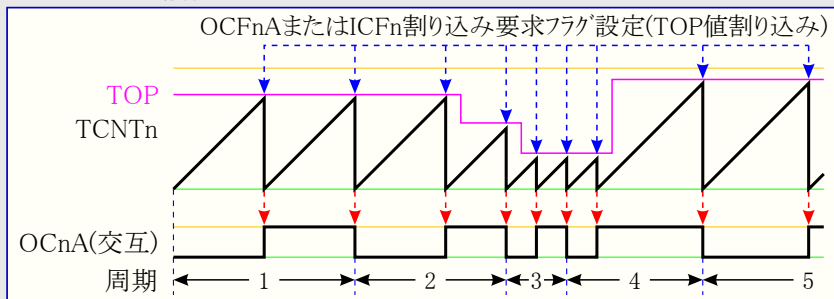
比較出力部は与えられた或る時間に割り込みを生成するのに使えます。標準動作で波形を生成するのに比較出力を使うのは、それが大変多くのCPU時間を占有するため推奨されません。

16.9.2. 比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作

比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作(WGMn3~0=0100または1100)ではOCRnAまたはICRnがカウンタの分解能を操作するのに使われます。CTC動作ではカウンタ(TCNTn)値がOCRnA(WGMn3~0=4)またはICRn(WGMn3~0=12)のどちらかと一致する時にカウンタが\$0000に解除されます。OCRnAまたはICRnはカウンタに対するTOP値、従って分解能も定義します。この動作種別はより大きい比較一致出力周波数の制御を許します。それは外部の出来事の計数操作も簡単にします。

CTC動作についてのタイミング図は図16-6で示されます。カウンタ(TCNTn)値はOCRnAまたはICRnのどちらかで比較一致が起こるまで増加し、そしてその後にカウンタ(TCNTn)は解除(\$0000)されます。

図16-6. CTC動作タイミング



注: COMnA1,0=01

TOP値を定義するのに使われるレジスタに対してOCFnAまたはICFnのどちらかを使うことにより、カウンタ値がTOP値に到達する時毎に割り込みが生成できます。割り込みが許可されるなら、割り込み処理ルーチンはTOP値を更新するのに使えます。けれども前置分周なしまたは低い前置分周値でカウンタが走行している時にBOTTOMと近い値にTOPを変更するのは、CTC動作が2重緩衝機能を持たないために注意して行わなければなりません。OCRnAまたはICRnに書かれた新しい値がTCNTnの現在値よりも低(小さい)場合、カウンタは(その回の)比較一致を失います。その後のカウンタは比較一致が起こせるのに先立って、最大値(\$FFFF)へそして次に\$0000から始める計数をしなければならないでしょう。多くの場合でこの特性は好ましくありません。OCRnAが2重緩衝されるので、代替はTOPを定義するのにOCRnAを用いる高速PWM動作(WGMn3~0=1111)を使うことでしょう。

CTC動作で波形出力を生成するため、OCnA出力は比較出力選択(COMnA1,0)ビットを交互動作(=01)に設定することによって各比較一致での論理レベル交互切替に設定できます。OCnA値はそのピンに対するデータ方向が出力(DDR_OCnA=1)に設定されない限り、ポートピンで見えないでしょう。生成された波形はOCRnAが0(\$0000)に設定される時に $f_{OCnA} = f_{clk_I/O} / 2$ の最大周波数を得ます。生成波形周波数は次式によって定義されます。

$$f_{OCnA} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times (1 + OCRnA)}$$

変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

標準動作と同じように、タイマ/カウンタ溢れ割り込み要求(TOVn)フラグはカウンタがMAXから\$0000へ計数するのと同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。

16.9.3. 高速PWM動作

高速パルス幅変調(PWM)動作(WGMn3~0=0101,0110,0111,1110,1111)は高周波数PWM波形生成選択を提供します。高速PWMはそれが単一傾斜(鋸波)動作であることによって他のPWM動作と異なります。カウンタはBOTTOMからTOPまで計数し、その後BOTTOMから再び始めます。非反転比較出力動作(COMnx1,0=10)での比較出力(OCnx)はTCNTnとOCRnx間の比較一致で解除(0)され、BOTTOMで設定(1)されます。反転出力動作(COMnx1,0=11)の出力は比較一致で設定(1)され、BOTTOMで解除(0)されます。単一傾斜動作のため、高速PWM動作の動作周波数は両傾斜(三角波)動作を使う位相基準や位相/周波数基準PWM動作よりも2倍高くできます。この高い周波数は電力調節、整流、D/A変換に対して高速PWM動作を都合よく適合させます。高い周波数は物理的に小さな外部部品(コイルやコンデンサ)を許し、従ってシステム総費用を削減します。

高速PWMのPWM分解能は8,9,10ビットに固定、若しくはOCRnAかICRnのどちらかによって定義できます。許された最小分解能は2ビット(OCRnAまたはICRnが\$0003設定)、最大分解能は16ビット(OCRnAまたはICRnがMAX設定)です。ビットでのPWM分解能は次式を使うことによって計算できます。

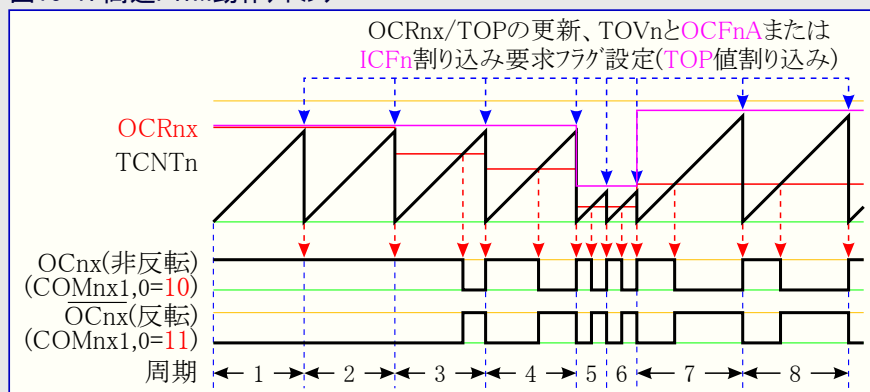
$$R_{\text{PWM}} = \frac{\log(\text{TOP}+1)}{\log 2}$$

高速PWM動作でのカウンタはカウンタ値が固定値\$00FF,\$01FF,\$03FF(WGMn3~0=0101,0110,0111)、ICRn値(WGMn3~0=1110)またはOCRnA値(WGMn3~0=1111)のどれかと一致するまで増加されます。そしてカウンタは(一致の)次のタイマ/カウンタクロック周期で解除(\$0000)されます。高速PWM動作のタイミング図は図16-7で示されます。本図はOCRnAかICRnがTOPを定義するのに使われる時の高速PWM動作を示します。TCNTn値はタイミング図で単一傾斜動作(鋸波)を表す折れ線グラフとして示されます。本図は非反転と反転のPWM出力を含みます。細い赤線はOCRnx値を示し、TCNTn値との交点(接点)がTCNTnとOCRnx間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。比較割り込み要求フラグ(OCFnx)は比較一致が起こると設定(1)されます。

タイマ/カウンタ溢れ割り込み要求(TOVn)フラグはカウンタがTOPに到達する時毎に設定(1)されます。加えて、OCRnAかICRnのどちらかがTOP値を定義するのに使われると、OCFnxまたはICFnx割り込み要求フラグはTOVnが設定(1)されるのと同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。これらの割り込みの1つが許可されるなら、その割り込み処理ルーチンはTOPと比較値を更新するのに使えます。

TOP値を変更するとき、プログラムは新TOP値が全ての比較レジスタ値と等しいか大きいことを保証しなければなりません。TOP値が何れかの比較レジスタよりも小さな場合、TCNTnとそのOCRnx間で比較一致は決して起きません。固定TOP値を使う場合、どのOCRnxが書かれる時も、未使用ビットが0で隠(に置換)されることに注意してください。

図16-7. 高速PWM動作タイミング



ICRnがTOP値を定義するのに使われるとき、ICRnを更新する手順はOCRnAの更新と異なります。ICRnは2重緩衝されません。これは前置分周なしまたは低い前置分周値でカウンタが走行している時にICRnが小さな値に変更される場合、書かれた新しいICRn値がTCNTnの現在値よりも小さくなる危険を意味します。その後の結果はカウンタが(その回の)TOP値での比較一致を失う事です。その後のカウンタは比較一致が起こせるのに先立って、MAX値(\$FFFF)へそして次に\$0000から始める計数をしなければならないでしょう。しかし、OCRnAは2重緩衝されます。この特徴は何時でも書かれることをOCRnAのI/O位置に許します。OCRnA I/O位置が書かれると、書かれた値はOCRnA緩衝部に置かれます。OCRnA(比較)レジスタはその後TCNTnがTOPと一致した次のタイマ/カウンタクロック周期にOCRnA緩衝部の値で更新されます。この更新はTCNTnの解除(\$0000)やTOVnの設定(1)と同じタイマ/カウンタクロック周期で行われます。

TOPを定義するのにICRnを使うことは決まったTOP値を使う時に上手いことです。ICRnを使うことにより、OCnAでのPWM出力を生成するためにOCRnAが自由に使えます。けれども基準PWM周波数が(TOP値を変更することによって)動的に変更される場合、OCRnAが2重緩衝機能のため、TOPとしてOCRnAを使うことは明らかに良い選択です。

高速PWM動作での比較部はOCnxピンでのPWM波形の生成を許します。COMnx1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOMnx1,0を'11'に設定することで生成できます。108頁の表16-4をご覧ください。実際のOCnx値はそのポートピンに対するデータ方向が出力(DDR_OCnx=1)として設定される場合にだけ見えるでしょう。PWM波形はTCNTnとOCRnx間の比較一致でOCnx(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが解除(\$0000、TOPからBOTTOMへ変更)されるタイマ/カウンタクロック周期でのOCnxレジスタを解除(0)(または設定(1))することによって生成されます。

PWM出力周波数は次式によって計算できます。変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

$$f_{\text{OCnxPWM}} = \frac{f_{\text{clk_I/O}}}{N \times (1 + \text{TOP})}$$

OCRnxの両端値は高速PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合に当たります。OCRnxがBOTTOM(\$0000)に等しく設定されると、出力はTOP+1 タイマ/カウンタクロック周期毎の狭いスパイク(パルス)になるでしょう。TOPに等しいOCRnx設定は(COMnx1,0ビットによって設定される出力極性に依存して)定常的なLowまたはHigh出力に終わるでしょう。

高速PWM動作で(デューティ比50%)周波数の波形出力は比較一致毎に論理反転するOCnA設定(COMnA1,0=01)によって達成できます。これはTOP値を定義するのにOCRnAが使われる(WGMn3~0=1111)の場合にだけ適用されます。生成された波形はOCRnAが0(\$0000)に設定される時に $f_{\text{OCnA}} = f_{\text{clk_I/O}} / 2$ の最大周波数でしょう。この特性は高速PWM動作で比較出力部の2重緩衝機能が許可されることを除いて、CTC動作でのOCnA交互出力(COMnA1,0=01)と同じです。

16.9.4. 位相基準PWM動作

位相基準パルス幅変調(PWM)動作(WGMn3~0=0001,0010,0011,1010,1011)は高分解能で正しい位相のPWM波形生成選択を提供します。位相基準PWM動作は両傾斜(三角波)動作を基準とした位相/周波数基準PWMと似ています。カウンタはBOTTOM(\$0000)からTOPへ、そしてその後にTOPからBOTTOMへを繰り返し計数します。非反転比較出力動作(COMnx1,0=10)での比較出力(OCnx)は上昇計数中のTCNTnとOCRnx間の比較一致で解除(0)され、下降計数中の比較一致で設定(1)されます。反転出力動作(COMnx1,0=11)での動作は逆にされます。両傾斜(三角波)動作は単一傾斜(鋸波)動作よりも低い最大動作周波数になります。けれども両傾斜(三角波)PWM動作の対称特性のため、これらの動作種別は電動機制御の応用に好まれます。

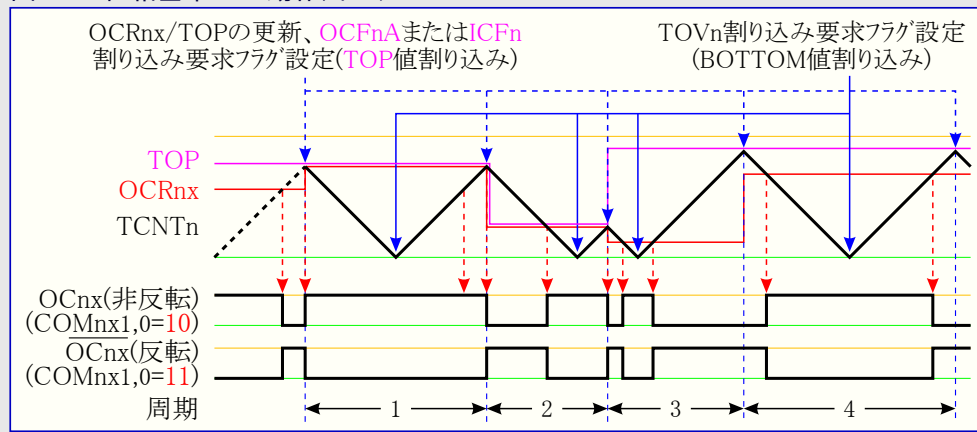
位相基準PWM動作のPWM分解能は8,9,10ビットに固定、若しくはOCRnAかICRnのどちらかによって定義できます。許された最小分解能は2ビット(OCRnAまたはICRnが\$0003設定)、最大分解能は16ビット(OCRnAまたはICRnがMAX設定)です。ビットでのPWM分解能は次式を使うことによって計算できます。

$$R_{PCPWM} = \frac{\log(TOP+1)}{\log 2}$$

位相基準PWM動作でのカウンタはカウンタ値が固定値\$00FF,\$01FF,\$03FF(WGMn3~0=0001,0010,0011)、ICRn値(WGMn3~0=1010)またはOCRnA値(WGMn3~0=1011)のどれかと一致するまで増加されます。カウンタはTOPに到達したその時に計数方向を変更します。このTCNTn値は1タイマ/カウンタクロック

周期、TOPと等しくなります。位相基準PWM動作のタイミング図は図16-8.で示されます。この図はOCRnAかICRnがTOPを定義するのに使われる時の位相基準PWM動作を示します。TCNTn値はタイミング図で両傾斜動作(三角波)を表す折れ線グラフとして示されます。この図は非反転と反転のPWM出力を含みます。細い赤線はOCRnx値を示し、TCNTn値との交点(接点)がTCNTnとOCRnx間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。比較割り込み要求フラグ(OCFnx)は比較一致が起こると設定(1)されます。

図16-8. 位相基準PWM動作タイミング



タイマ/カウンタ溢れ(TOVn)フラグはカウンタがBOTTOMに到達する時毎に設定(1)されます。OCRnAかICRnのどちらかがTOP値を定義するのに使われるとき、OCFnxまたはICFnx割り込み要求フラグはOCRnxレジスタが(TOPに於いて)2重緩衝値で更新されるのと同じタイマ/カウンタクロック周期によって設定(1)されます。これらの割り込み要求フラグはカウンタがTOPまたはBOTTOM値に到達する毎に割り込みを発生するのに使えます。

TOP値を変更するとき、プログラムは新TOP値が全ての比較レジスタ値と等しいか大きいことを保証しなければなりません。TOP値が何れかの比較レジスタよりも小さな場合、TCNTnとそのOCRnx間で比較一致は決して起きません。固定TOP値を使う場合、どのOCRnxが書かれる時も、未使用ビットが0で隠(に置換)されることに注意してください。図16-8.で示される第3周期が図解するように、タイマ/カウンタが位相基準PWM動作で走行中にTOPを積極的に変更するのは、非対称出力で終わることが有り得ます。これに対する理由はOCRnxレジスタの更新時に見出せます。OCRnx更新はTOPで起きるので、PWM周期はTOPで始まりそして終わります。これは下降傾斜長が直前のTOP値によって決定され、一方上昇傾斜長は新しいTOP値で決定されることを意味します。これら2つの値(TOP)が違うとき、その周期の2つの傾斜長は異なるでしょう。この長さの相違が出力での非対称な結果を生じます。

タイマ/カウンタが走行中にTOP値を変更する場合、位相基準PWM動作の代わりに位相/周波数基準PWM動作を使うことが推奨されます。一定のTOP値を使う時に2つの動作種別間に現実的な違いはありません。

位相基準PWM動作での比較部はOCnxピンでのPWM波形の生成を許します。COMnx1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOMnx1,0を'11'に設定することで生成できます(109頁の表16-5.をご覧ください)。実際のOCnx値はそのポートピンに対するデータ方向が出力(DDR_OCnx=1)として設定される場合にだけ見えるでしょう。PWM波形はカウンタが増加する時のTCNTnとOCRnx間の比較一致でOCnx(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが減少する時のTCNTnとOCRnx間の比較一致でOCnxレジスタを解除(0)(または設定(1))することによって生成されます。

位相基準PWMを使う時の出力に対するPWM周波数は次式によって計算できます。変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times TOP}$$

OCRnxの両端値は位相基準PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合に当たります。非反転PWM動作ではOCRnxがBOTTOMに等しく設定されると出力は定常的なLow、TOPに等しく設定されると定常的なHighになるでしょう。反転PWMに対する出力は逆の論理値になります。

TOP値定義にOCRnAが使われ(WGMn3~0=1011)、COMnA1,0=01なら、OCnA出力はデューティ比50%で交互に変化します。

16.9.5. 位相/周波数基準PWM動作

位相/周波数基準パルス幅変調(PWM)動作(WGMn3~0=1000,1001)は高分解能で正しい位相と周波数のPWM波形生成選択を提供します。位相/周波数基準PWM動作は両傾斜(三角波)動作を基準とした**位相基準PWM**と似ています。カウンタはBOTTOM(\$0000)からTOPへ、そしてその後にTOPからBOTTOMへを繰り返し計数します。非反転比較出力動作(COMnx1,0=10)での比較出力(OCnx)は上昇計数中のTCNTnとOCRnx間の比較一致で解除(0)され、下降計数中の比較一致で設定(1)されます。反転出力動作(COMnx1,0=11)での動作は逆にされます。両傾斜(三角波)動作は単一傾斜(鋸波)動作よりも低い最大動作周波数になります。けれども両傾斜(三角波)PWM動作の対称特性のため、これらの動作種別は電動機制御の応用に好まれます。

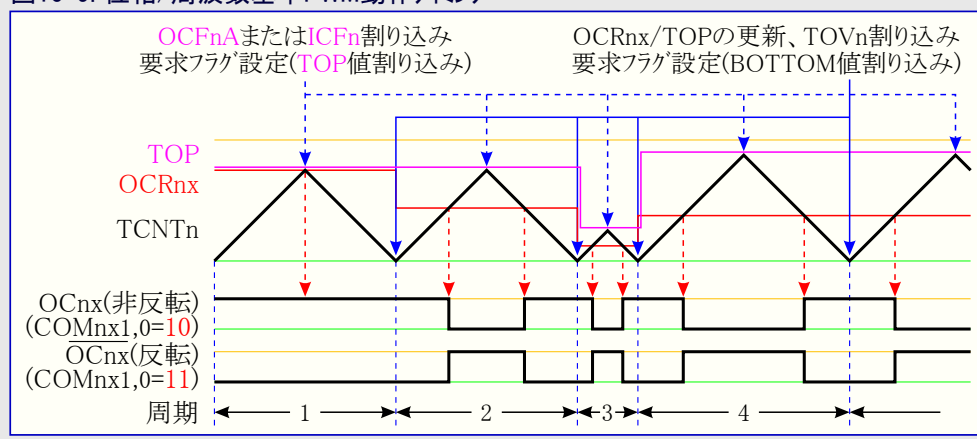
位相基準と位相/周波数基準PWM動作間の主な違いはOCRnxレジスタがOCRnx緩衝部によって更新される時(訳補:TOPとBOTTOM)です(図16-8と図16-9参照)。

位相/周波数基準PWM動作のPWM分解能はOCRnAかICRnのどちらかで定義できます。許された最小分解能は2ビット(OCRnAまたはICRnが\$0003設定)、最大分解能は16ビット(OCRnAまたはICRnがMAX設定)です。ビットでのPWM分解能は次式を使うことによって計算できます。

$$R_{PFCPWM} = \frac{\log(TOP+1)}{\log 2}$$

位相/周波数基準PWM動作でのタイマ/カウンタはタイマ/カウンタ値がICRn値(WGMn3~0=1000)かOCRnA値(WGMn3~0=1001)のどちらかと一致するまで増加されます。カウンタはTOPに到達したその時に計数方向を変更します。このTCNTn値は1タイマ/カウンタクロック周期間、TOPと等しくなります。位相/周波数基準PWM動作のタイミング図は図16-9で示されます。この図はOCRnAかICRnがTOPを定義するのに使われる時の位相/周波数基準PWM動作を示します。TCNTn値はタイミング図で両傾斜動作(三角波)を表す折れ線グラフとして示されます。この図は非反転と反転のPWM出力を含みます。細い赤線はOCRnx値を示し、TCNTn値との交点(接点)がTCNTnとOCRnx間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。比較割り込み要求フラグ(OCFnx)は比較一致が起こると設定(1)されます。

図16-9. 位相/周波数基準PWM動作タイミング



タイマ/カウンタ溢れ(TOVn)フラグはOCRnxレジスタが(BOTTOMに於いて)2重緩衝値で更新されるのと同じタイマ/カウンタクロック周期で周期(1)されます。OCRnAかICRnのどちらかがTOP値を定義するのに使われるとき、OCFnxまたはICFnx割り込み要求フラグはタイマ/カウンタがTOPに到達する時毎に設定(1)されます。これらの割り込み要求フラグはカウンタがTOPまたはBOTTOM値に到達する毎に割り込みを発生するのに使えます。

TOP値を変更するとき、プログラムは新TOP値が全ての比較レジスタ値と等しいか大きいことを保証しなければなりません。TOP値が何れかの比較レジスタよりも小さな場合、TCNTnとそのOCRnx間で比較一致は決して起きません。

図16-9.が示すように、生成された出力は位相基準PWM動作と異なり、全ての周期で対称です。OCRnxレジスタがBOTTOMで更新されるため、上昇と下降の傾斜長は常に等しくなります。これが対称出力パルス、従って正しい周波数を与えます。

TOPを定義するのにICRnを使うことは決まったTOP値を使う時に上手くなります。ICRnを使うことにより、OCnAでのPWM出力を生成するためにOCRnAが自由に使えます。けれども基準PWM周波数が(TOP値を変更することによって)動的に変更される場合、OCRnAが2重緩衝機能のため、TOPとしてOCRnAを使うことは明らかに良い選択です。

位相/周波数基準PWM動作での比較部はOCnxピンでのPWM波形の生成を許します。COMnx1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOMnx1,0を'11'に設定することで生成できます(109頁の表16-5をご覧ください)。実際のOCnx値はそのポートピンに対するデータ方向が出力(DDR_OCnx=1)として設定される場合にだけ見えるでしょう。PWM波形はカウンタが増加する時のTCNTnとOCRnx間の比較一致でOCnx(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが減少する時のTCNTnとOCRnx間の比較一致でOCnxレジスタを解除(0)(または設定(1))することによって生成されます。

位相/周波数基準PWMを使う時の出力に対するPWM周波数は次式によって計算できます。変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

$$f_{OCnxPFCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times TOP}$$

OCRnxの両端値は位相/周波数基準PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合にあたります。非反転PWM動作ではOCRnxがBOTTOMに等しく設定されると出力は定常的なLow、TOPに等しく設定されると定常的なHighになるでしょう。反転PWMに対する出力は逆の論理値になります。

TOP値定義にOCRnAが使われ(WGMn3~0=1001)、COMnA1,0=01なら、OCnA出力はデューティ比50%で交互に変化します。

16.10. タイマ/カウンタのタイミング

このタイマ/カウンタは同期設計で、従ってタイマ/カウンタクロック(clk_{Tn})が下図のクロック許可信号として示されます。この図は割り込みフラグが設定(1)される時、そして OCR_{nx} レジスタが OCR_{nx} 緩衝部値で更新される時(2重緩衝を使う動作種別のみ)の情報を含みます。図16-10は OCF_{nx} の設定についてのタイミング図を示します。

図16-10. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ、 OCF_{nx} 設定 タイミング

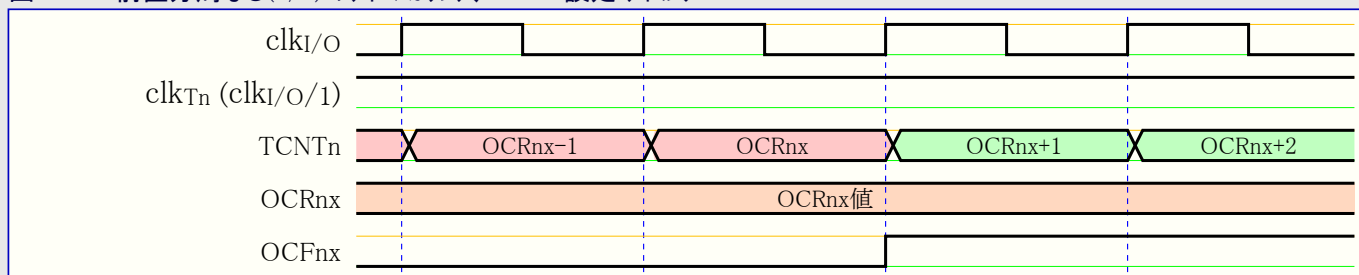


図16-11は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図16-11. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}}/8$)のタイマ/カウンタ、 OCF_{nx} 設定 タイミング

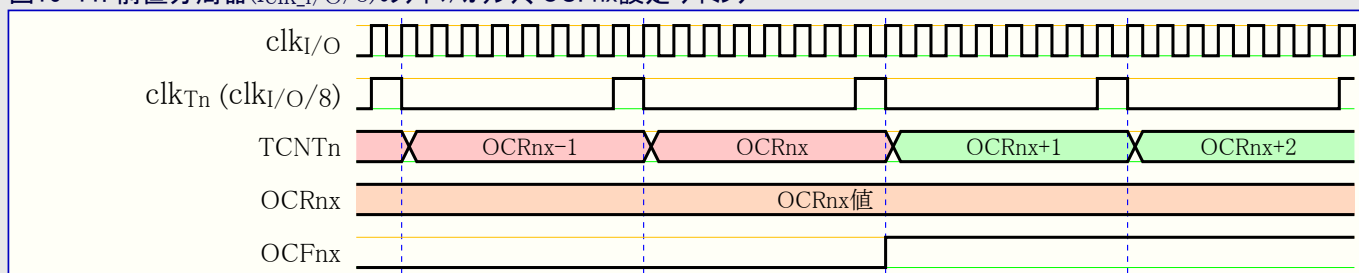


図16-12は各動作種別でのTOP近辺の計数手順を示します。位相/周波数基準PWM動作使用時の OCR_{nx} レジスタはBOTTOMで更新されます。タイミング図は同じになりますが、当然TOPはBOTTOMで、TOP-1はBOTTOM+1でなどのように置き換えられます。BOTTOMで TOV_n を設定(1)する動作種別についても、同様な名称変更が適用されます。

図16-12. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ、TOP近辺 タイミング

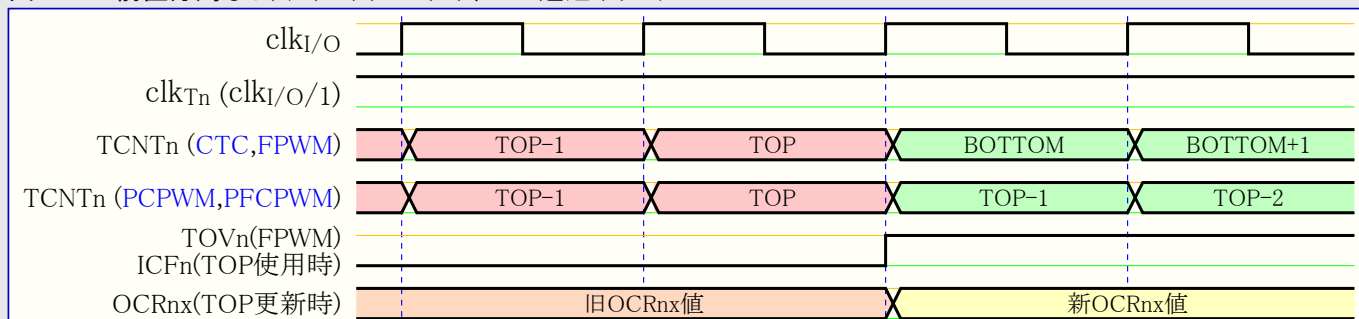
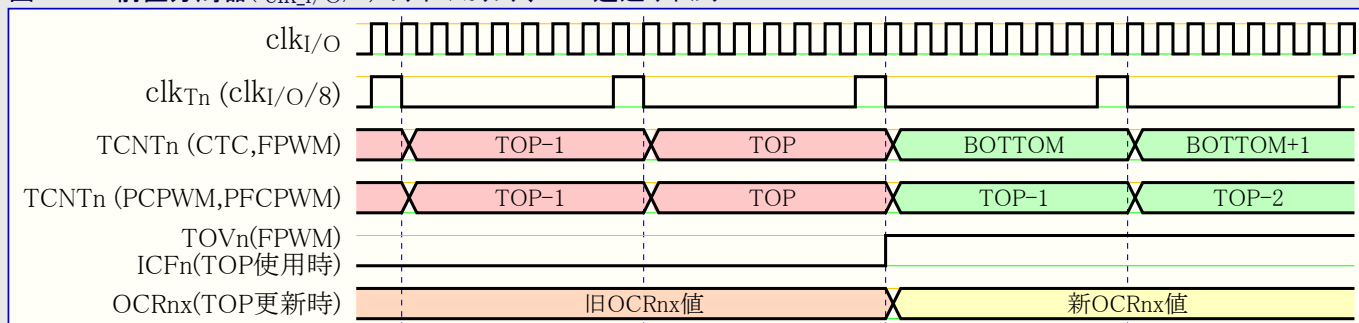


図16-13は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図16-13. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}}/8$)のタイマ/カウンタ、TOP近辺 タイミング



16.11. 16ビット タイマ/カウンタ1,3,4,5用レジスタ

16.11.1. TCCR1A – タイマ/カウンタ1制御レジスタA (Timer/Counter1 Control Register A)

ビット (\$80)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.2. TCCR3A – タイマ/カウンタ3制御レジスタA (Timer/Counter3 Control Register A)

ビット (\$90)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	TCCR3A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.3. TCCR4A – タイマ/カウンタ4制御レジスタA (Timer/Counter4 Control Register A)

ビット (\$A0)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM4A1	COM4A0	COM4B1	COM4B0	COM4C1	COM4C0	WGM41	WGM40	TCCR4A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.4. TCCR5A – タイマ/カウンタ5制御レジスタA (Timer/Counter5 Control Register A)

ビット (\$120)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM5A1	COM5A0	COM5B1	COM5B0	COM5C1	COM5C0	WGM51	WGM50	TCCR5A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

- ビット7,6 – COMnA1,0 : 比較nA出力選択 (Compare Output Mode A bit 1 and 0)
- ビット5,4 – COMnB1,0 : 比較nB出力選択 (Compare Output Mode B bit 1 and 0)
- ビット3,2 – COMnC1,0 : 比較nC出力選択 (Compare Output Mode C bit 1 and 0)

COMnA1,0、COMnB1,0、COMnC1,0は各々OCnA、OCnB、OCnC比較出力ピンの動作を制御します。COMnA1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OCnA出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。COMnB1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OCnB出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。COMnC1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OCnC出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。けれども出力駆動部を許可するため、OCnA、OCnB、OCnCピンに対応するポート方向レジスタ(DDR)のビットが設定(1)されなければならないことに注意してください。

OCnA、OCnB、OCnCがピンに接続されるとき、COMnx1,0ビットの機能はWGMn3~0ビット設定に依存します。表16-3はWGMn3~0ビットが標準動作またはCTC動作(つまり非PWM)に設定される時のCOMnx1,0ビット機能を示します。

表16-3. 非PWM動作での比較出力選択 (注: nは1,3,4,または5、xはA,BまたはC)

COMnx1	COMnx0	意味
0	0	標準ポート動作 (OCnx切断)
0	1	比較一致でOCnxピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でOCnxピン Lowレベル出力
1	1	比較一致でOCnxピン Highレベル出力

表16-4はWGMn3~0ビットが高速PWM動作に設定される時のCOMnx1,0ビット機能を示します。

表16-4. 高速PWM動作での比較出力選択 (注: nは1,3,4,または5、xはA,BまたはC、Xは0または1)

COMnx1	COMnx0	意味
0	0	標準ポート動作 (OCnx切断)
0	1	WGMn3~0=111X : 比較一致でOCnAピントグル(交互)出力、OCnB/OCnC切断(標準ポート動作) WGMn3~0上記以外 : 標準ポート動作 (OCnx切断)
1	0	比較一致でLow、BOTTOMでHighをOCnxピンへ出力 (非反転動作)
1	1	比較一致でHigh、BOTTOMでLowをOCnxピンへ出力 (反転動作)

注: COMnx1が設定(1)され、OCRnxがTOPと等しい時に特別な状態が起きます。この状態での比較一致は無視されますが、BOTTOMでの設定(1)または解除(0)は実行されます。より多くの詳細については104頁の「高速PWM動作」をご覧ください。

表16-5. はWGMn3~0ビットが位相基準または位相/周波数基準PWM動作に設定されときのCOMnx1,0ビット機能を示します。

表16-5. 位相基準または位相/周波数基準PWM動作での比較出力選択 (注: nは1,3,4,または5、xはA,BまたはC、Xは0または1)

COMnx1	COMnx0	意味
0	0	標準ポート動作 (OCnx切断)
0	1	WGMn3~0=10X1 : 比較一致でOCnAピントグル(交互)出力、OCnB/OCnC切断(標準ポート動作) WGMn3~0上記以外 : 標準ポート動作 (OCnx切断)
1	0	上昇計数時の比較一致でLow、下降計数時の比較一致でHighをOCnxピンへ出力
1	1	上昇計数時の比較一致でHigh、下降計数時の比較一致でLowをOCnxピンへ出力

注: COMnx1が設定(1)され、OCRnxがTOPと等しいときに特別な状態が起きます。より多くの詳細については105頁の「位相基準PWM動作」をご覧ください。

●ビット1,0 – WGMn1,0 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 1 and 0)

タイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCRNb)で得られるWGMn3,2ビットと組み合わせたこれらのビットはカウンタの計数順序(方向)、最大計数(TOP)値供給元、使われるべき波形生成のどの形式かを制御します(表16-2参照)。タイマ/カウンタ部によって支援される動作種別は標準動作(カウンタ)、比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作と3形式のパルス幅変調(PWM)動作です。各種動作種別のより多くの情報については102頁の「動作種別」をご覧ください。

16.11.5. TCCR1B – タイマ/カウンタ1制御レジスタB (Timer/Counter1 Control Register B)

ビット (\$81)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.6. TCCR3B – タイマ/カウンタ3制御レジスタB (Timer/Counter3 Control Register B)

ビット (\$91)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC3	ICES3	–	WGM33	WGM32	CS32	CS31	CS30	TCCR3B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.7. TCCR4B – タイマ/カウンタ4制御レジスタB (Timer/Counter4 Control Register B) (注: 頁下段参照)

ビット (\$A1)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC4	ICES4	–	WGM43	WGM42	CS42	CS41	CS40	TCCR4B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.8. TCCR5B – タイマ/カウンタ5制御レジスタB (Timer/Counter5 Control Register B) (注: 頁下段参照)

ビット (\$121)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC5	ICES5	–	WGM53	WGM52	CS52	CS51	CS50	TCCR5B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7 – ICNCn : 捕獲起動入力n雑音消去許可 (Input Capture Noise Canceler)

このビットを(1)に設定することが捕獲起動入力雑音消去器を活性(有効)にします。雑音消去器が有効にされると、捕獲起動入力(ICPn)ピンからの入力が濾波されます。この濾波機能はそれが出力を更新するのに、連続4回等しく評価されたICPnピンの採取を必要とします。雑音消去器が許可されると、捕獲入力はそのによって4発振器(システムクロック)周期遅らされます。

●ビット6 – ICESn : 捕獲起動入力n端選択 (Input Capture Edge Select)

このビットは出来事での捕獲を起動するのに使われる捕獲起動入力(ICPn)ピンのどちらかの端(エッジ)を選びます。ICESnビットが0を書かれると起動動作として下降(負)端が使われ、ICESnビットが1を書かれると上昇(正)端が捕獲を起動します。

捕獲がICESn設定に従って起動されると、カウンタ値が捕獲レジスタ(ICRn)に複写されます。この出来事は捕獲入力割り込み要求フラグ(ICFp)も設定(1)し、そしてこれは、この割り込みが許可されていれば捕獲入力割り込みを起こすのに使えます。

ICRnがTOP値として使われると(TCCRNbAとTCCRNbに配置されたWGMn3~0ビットの記述をご覧ください)、ICPnが切り離され、従って捕獲入力機能は禁止されます。

注: ATmega1281/2561にはICP4とICP5ピンが存在しないので、これらのデバイスでのICNC4,ICES4,ICNC5,ICES5ビットの機能は無効です。同様にT4,T5ピンも存在しないので、これらデバイスのタイマ/カウンタ4と5での外部クロック入力は利用できません。

●ビット5 – Res : 予約 (Reserved)

このビットは将来の使用に対して予約されています。将来のデバイスとの共通性を保つため、TCCRnBが書かれるとき、このビットは0を書かれなければなりません。

●ビット4,3 – WGMn3,2 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 3 and 2)

TCCRnAのWGMn1,0ビット記述をご覧ください。

●ビット2~0 – CSn2~0 : クロック選択n (Clock Select, bit 2,1 and 0)

この3つのクロック選択ビットはタイマ/カウンタ(TCNTn)によって使われるべきクロック元を選びます。図16-10と図16-11をご覧ください。

タイマ/カウンタnに対して外部ピン(クロック)動作が使われる場合、例えばTnピンが出力として設定されても、Tnピンの遷移はカウンタをクロック駆動します。この特性はソフトウェアに計数の制御を許します。

表16-6. タイマ/カウンタn入力クロック選択

CS12	CS11	CS10	意味
0	0	0	停止 (タイマ/カウンタ動作停止)
0	0	1	clk _{I/O} (前置分周なし)
0	1	0	clk _{I/O} /8 (8分周)
0	1	1	clk _{I/O} /64 (64分周)
1	0	0	clk _{I/O} /256 (256分周)
1	0	1	clk _{I/O} /1024 (1024分周)
1	1	0	Tnピンの下降端 (外部クロック)
1	1	1	Tnピンの上昇端 (外部クロック)

16.11.9. TCCR1C – タイマ/カウンタ1制御レジスタC (Timer/Counter1 Control Register C)

ビット (\$82)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC1A	FOC1B	FOC1C	–	–	–	–	–	TCCR1C
Read/Write	W	W	W	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.10. TCCR3C – タイマ/カウンタ3制御レジスタC (Timer/Counter3 Control Register C)

ビット (\$92)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC3A	FOC3B	FOC3C	–	–	–	–	–	TCCR3C
Read/Write	W	W	W	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.11. TCCR4C – タイマ/カウンタ4制御レジスタC (Timer/Counter4 Control Register C)

ビット (\$A2)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC4A	FOC4B	FOC4C	–	–	–	–	–	TCCR4C
Read/Write	W	W	W	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.12. TCCR5C – タイマ/カウンタ5制御レジスタC (Timer/Counter5 Control Register C)

ビット (\$122)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC5A	FOC5B	FOC5C	–	–	–	–	–	TCCR5C
Read/Write	W	W	W	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7 – FOCnA : OCnA強制変更 (Force Output Compare A)

●ビット6 – FOCnB : OCnB強制変更 (Force Output Compare B)

●ビット5 – FOCnC : OCnC強制変更 (Force Output Compare C)

FOCnA/FOCnB/FOCnCビットはWGMn3~0ビットが非PWM動作を指示する時だけ有効です。FOCnA/FOCnB/FOCnCビットに論理1を書くと波形生成部で直ちに比較一致が強制されます。OCnx出力はCOMnx1,0ビット設定に従って変更されます。FOCnA/FOCnB/FOCnCビットがスロープとして実行されることに注意してください。それによって強制された比較の効果を決定するのはCOMnx1,0ビットに存在する値です。

FOCnA/FOCnB/FOCnCスロープは何れの割り込みの生成もTOPとしてOCRnAを使う比較一致タイア解除(CTC)動作でのタイマ/カウンタの解除(\$0000)も行いません。

FOCnA/FOCnB/FOCnCビットは常に0として読みます。

●ビット4~0 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは将来の使用に対して予約されています。将来のデバイスとの共通性を保つため、TCCRnCが書かれるとき、これらのビットは0を書かれなければなりません。

16.11.13. TCNT1H,TCNT1L (TCNT1) – タイマ/カウンタ1 (Timer/Counter1)

ビット (\$85)	15	14	13	12	11	10	9	8	
	(MSB)								TCNT1H
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$84)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	TCNT1L
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.14. TCNT3H,TCNT3L (TCNT3) – タイマ/カウンタ3 (Timer/Counter3)

ビット (\$95)	15	14	13	12	11	10	9	8	
	(MSB)								TCNT3H
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$94)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	TCNT3L
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.15. TCNT4H,TCNT4L (TCNT4) – タイマ/カウンタ4 (Timer/Counter4)

ビット (\$A5)	15	14	13	12	11	10	9	8	
	(MSB)								TCNT4H
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$A4)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	TCNT4L
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.16. TCNT5H,TCNT5L (TCNT5) – タイマ/カウンタ5 (Timer/Counter5)

ビット (\$125)	15	14	13	12	11	10	9	8	
	(MSB)								TCNT5H
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$124)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	TCNT5L
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この2つのタイマ/カウンタ I/O位置(TCNTnHとTCNTnLを合わせたTCNTn)は、読み書き両方についてタイマ/カウンタ部の16ビットカウンタに直接アクセスします。CPUがこれらのレジスタをアクセスする時に上位と下位の両バイトが同時に読み書きされるのを保証するため、このアクセスは8ビット上位バイト一時レジスタ(TEMP)を使って実行されます。この一時レジスタは他の全ての16ビットレジスタによって共用されます。95頁の「16ビットレジスタのアクセス」をご覧ください。

カウンタが走行中にカウンタ(TCNTn)を変更することはOCRnxの1つとTCNTn間の比較一致消失の危険を誘発します。

TCNTnへの書き込みは全ての比較部に対して次のタイマ/カウンタクロックでの比較一致を妨害(除去)します。

16.11.17. OCR1AH,OCR1AL (OCR1A) – タイマ/カウンタ1 比較レジスタ (Timer/Counter1 Output Compare Register A)

ビット (\$89)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR1AH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR1AL
ビット (\$88)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR1AL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.18. OCR1BH,OCR1BL (OCR1B) – タイマ/カウンタ1 比較レジスタ (Timer/Counter1 Output Compare Register B)

ビット (\$8B)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR1BH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR1BL
ビット (\$8A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR1BL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.19. OCR1CH,OCR1CL (OCR1C) – タイマ/カウンタ1 比較レジスタ (Timer/Counter1 Output Compare Register C)

ビット (\$8D)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR1CH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR1CL
ビット (\$8C)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR1CL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.20. OCR3AH,OCR3AL (OCR3A) – タイマ/カウンタ3 比較レジスタ (Timer/Counter3 Output Compare Register A)

ビット (\$99)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR3AH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR3AL
ビット (\$98)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR3AL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.21. OCR3BH,OCR3BL (OCR3B) – タイマ/カウンタ3 比較レジスタ (Timer/Counter3 Output Compare Register B)

ビット (\$9B)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR3BH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR3BL
ビット (\$9A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR3BL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.22. OCR3CH,OCR3CL (OCR3C) – タイマ/カウンタ3 比較レジスタ (Timer/Counter3 Output Compare Register C)

ビット (\$9D)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR3CH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$9C)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR3CL
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.23. OCR4AH,OCR4AL (OCR4A) – タイマ/カウンタ4 比較レジスタ (Timer/Counter4 Output Compare Register A)

ビット (\$A9)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR4AH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$A8)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR4AL
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.24. OCR4BH,OCR4BL (OCR4B) – タイマ/カウンタ4 比較レジスタ (Timer/Counter4 Output Compare Register B)

ビット (\$AB)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR4BH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$AA)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR4BL
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.25. OCR4CH,OCR4CL (OCR4C) – タイマ/カウンタ4 比較レジスタ (Timer/Counter4 Output Compare Register C)

ビット (\$AD)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR4CH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$AC)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR4CL
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.26. OCR5AH,OCR5AL (OCR5A) – タイマ/カウンタ5 比較レジスタ (Timer/Counter5 Output Compare Register A)

ビット (\$129)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR5AH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$128)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR5AL
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.27. OCR5BH,OCR5BL (OCR5B) – タイマ/カウンタ5 比較Bレジスタ (Timer/Counter5 Output Compare Register B)

ビット (\$12B)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR5BH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR5BL
ビット (\$12A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR5BL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.28. OCR5CH,OCR5CL (OCR5C) – タイマ/カウンタ5 比較Cレジスタ (Timer/Counter5 Output Compare Register C)

ビット (\$12D)	15	14	13	12	11	10	9	8	OCR5CH
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	OCR5CL
ビット (\$12C)	7	6	5	4	3	2	1	0	
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	OCR5CL
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この比較レジスタは継続的にカウンタ(TCNTn)値と比較される16ビット値を含みます。一致は比較一致割り込みやOCnxピンでの波形出力を生成するのに使えます。

この比較レジスタは容量が16ビットです。CPUがこれらのレジスタへ書く時に上位と下位の両バイトが同時に書かれるのを保証するため、このアクセスは8ビット上位バイト一時レジスタ(TEMP)を使って実行されます。この一時レジスタは他の全ての16ビットレジスタによって共用されます。95頁の「16ビットレジスタのアクセス」をご覧ください。

16.11.29. ICR1H,ICR1L (ICR1) – タイマ/カウンタ1 捕獲レジスタ (Timer/Counter1 Input Capture Register)

ビット (\$87)	15	14	13	12	11	10	9	8	ICR1H
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$86)	7	6	5	4	3	2	1	0	ICR1L
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.30. ICR3H,ICR3L (ICR3) – タイマ/カウンタ3 捕獲レジスタ (Timer/Counter3 Input Capture Register)

ビット (\$97)	15	14	13	12	11	10	9	8	ICR3H
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$96)	7	6	5	4	3	2	1	0	ICR3L
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.31. ICR4H,ICR4L (ICR4) – タイマ/カウンタ4 捕獲レジスタ (Timer/Counter4 Input Capture Register)

ビット (\$A7)	15	14	13	12	11	10	9	8	ICR4H
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$A6)	7	6	5	4	3	2	1	0	ICR4L
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.32. ICR5H,ICR5L (ICR5) – タイマ/カウンタ5 捕獲レジスタ (Timer/Counter5 Input Capture Register)

ビット (\$127)	15	14	13	12	11	10	9	8	ICR5H
	(MSB)								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット (\$126)	7	6	5	4	3	2	1	0	ICR5L
								(LSB)	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この捕獲レジスタはICPnピン(またはタイマ/カウンタ1については任意の[アナログ比較器出力](#))で出来事が起こる毎にカウンタ(TCNTn)値で更新されます。この捕獲レジスタはタイマ/カウンタのTOP値を定義するのに使えます。

この捕獲レジスタは容量が16ビットです。CPUがこれらのレジスタをアクセスする時に上位と下位の両バイトが同時に読まれるのを保証するため、このアクセスは8ビット上位バイト一時レジスタ(TEMP)を使って実行されます。この一時レジスタは他の全ての16ビットレジスタによって共有されます。[95頁の「16ビットレジスタのアクセス」](#)をご覧ください。

16.11.33. TIMSK1 – タイマ/カウンタ1割り込み許可レジスタ (Timer/Counter1 Interrupt Mask Register)

ビット (\$6F)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	ICIE1	–	OCIE1C	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	TIMSK1
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.34. TIMSK3 – タイマ/カウンタ3割り込み許可レジスタ (Timer/Counter3 Interrupt Mask Register)

ビット (\$71)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	ICIE3	–	OCIE3C	OCIE3B	OCIE3A	TOIE3	TIMSK3
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.35. TIMSK4 – タイマ/カウンタ4割り込み許可レジスタ (Timer/Counter4 Interrupt Mask Register)

ビット (\$72)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	ICIE4	–	OCIE4C	OCIE4B	OCIE4A	TOIE4	TIMSK4
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.36. TIMSK5 – タイマ/カウンタ5割り込み許可レジスタ (Timer/Counter5 Interrupt Mask Register)

ビット (\$73)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	ICIE5	–	OCIE5C	OCIE5B	OCIE5A	TOIE5	TIMSK5
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット5 – ICIE_n : タイマ/カウンタ_n捕獲割り込み許可 (Timer/Counter n Input Capture Interrupt Enable)

このビットが1を書かれて、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ_n捕獲割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ_n割り込み要求フラグレジスタ(TIFR_n)に配置された捕獲割り込み要求フラグ(ICF_n)が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(46頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット3 – OCIE_{nC} : タイマ/カウンタ_n比較C割り込み許可 (Timer/Counter n Output Compare C Match Interrupt Enable)

このビットが1を書かれて、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ_n比較C一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ_n割り込み要求フラグレジスタ(TIFR_n)に配置された比較_{nC}割り込み要求フラグ(OCF_{nC})が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(46頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット2 – OCIE_{nB} : タイマ/カウンタ_n比較B割り込み許可 (Timer/Counter n Output Compare B Match Interrupt Enable)

このビットが1を書かれて、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ_n比較B一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ_n割り込み要求フラグレジスタ(TIFR_n)に配置された比較_{nB}割り込み要求フラグ(OCF_{nB})が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(46頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット1 – OCIE_{nA} : タイマ/カウンタ_n比較A割り込み許可 (Timer/Counter n Output Compare A Match Interrupt Enable)

このビットが1を書かれて、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ_n比較A一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ_n割り込み要求フラグレジスタ(TIFR_n)に配置された比較_{nA}割り込み要求フラグ(OCF_{nA})が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(46頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット0 – TOIE_n : タイマ/カウンタ_n溢れ割り込み許可 (Timer/Counter n Overflow Interrupt Enable)

このビットが1を書かれて、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ_n溢れ割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ_n割り込み要求フラグレジスタ(TIFR_n)に配置されたタイマ/カウンタ_n溢れ割り込み要求フラグ(TOV_n)が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(46頁の「割り込み」参照)が実行されます。

16.11.37. TIFR1 – タイマ/カウンタ1割り込み要求フラグ レジスタ (Timer/Counter1 Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$16 (\$36)	–	–	ICF1	–	OCF1C	OCF1B	OCF1A	TOV1	TIFR1
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.38. TIFR3 – タイマ/カウンタ3割り込み要求フラグ レジスタ (Timer/Counter3 Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$18 (\$38)	–	–	ICF3	–	OCF3C	OCF3B	OCF3A	TOV3	TIFR3
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.39. TIFR4 – タイマ/カウンタ4割り込み要求フラグ レジスタ (Timer/Counter4 Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$19 (\$39)	–	–	ICF4	–	OCF4C	OCF4B	OCF4A	TOV4	TIFR4
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

16.11.40. TIFR5 – タイマ/カウンタ5割り込み要求フラグ レジスタ (Timer/Counter5 Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1A (\$3A)	–	–	ICF5	–	OCF5C	OCF5B	OCF5A	TOV5	TIFR5
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット5 – ICFn : タイマ/カウンタn捕獲割り込み要求フラグ (Timer/Counter n, Input Capture Flag)

ICPnピンに捕獲の事象が起これば、このフラグが設定(1)されます。捕獲レジスタ(ICRn)がWGMn3~0によってTOP値として設定されると、ICFnフラグはカウンタがTOP値に到達する時に設定(1)されます。

捕獲割り込みベクタが実行されると、ICFnは自動的に解除(0)されます。代わりにこのビット位置へ論理1を書くことによってICFnは解除(0)できます。

● ビット3 – OCFnC : タイマ/カウンタn比較C割り込み要求フラグ (Timer/Counter n, Output Compare C Match Flag)

このフラグはカウンタ(TCNTn)値が比較Cレジスタ(OCRnC)と一致した後(次)のタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。

強制的な比較出力(FOCnC)ストローブがOCFnCフラグを設定(1)しないことに注意してください。

比較C一致割り込みベクタが実行されると、OCFnCは自動的に解除(0)されます。代わりにこのビット位置へ論理1を書くことによってOCFnCは解除(0)できます。

● ビット2 – OCFnB : タイマ/カウンタn比較B割り込み要求フラグ (Timer/Counter n, Output Compare B Match Flag)

このフラグはカウンタ(TCNTn)値が比較Bレジスタ(OCRnB)と一致した後(次)のタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。

強制的な比較出力(FOCnB)ストローブがOCFnBフラグを設定(1)しないことに注意してください。

比較B一致割り込みベクタが実行されると、OCFnBは自動的に解除(0)されます。代わりにこのビット位置へ論理1を書くことによってOCFnBは解除(0)できます。

● ビット1 – OCFnA : タイマ/カウンタn比較A割り込み要求フラグ (Timer/Counter n, Output Compare A Match Flag)

このフラグはカウンタ(TCNTn)値が比較Aレジスタ(OCRnA)と一致した後(次)のタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。

強制的な比較出力(FOCnA)ストローブがOCFnAフラグを設定(1)しないことに注意してください。

比較A一致割り込みベクタが実行されると、OCFnAは自動的に解除(0)されます。代わりにこのビット位置へ論理1を書くことによってOCFnAは解除(0)できます。

● ビット0 – TOVn : タイマ/カウンタn溢れ割り込み要求フラグ (Timer/Counter n Overflow Flag)

このフラグの(1)設定はWGMn3~0ビット設定に依存します。標準またはCTC動作でのTOVnフラグはタイマ/カウンタ溢れ時に設定(1)されます。他のWGMn3~0ビット設定を使う時のTOVnフラグ動作については102頁の表16-2を参照してください。

タイマ/カウンタ溢れ割り込みベクタが実行されると、TOVnは自動的に解除(0)されます。代わりにこのビット位置へ論理1を書くことによってTOVnは解除(0)できます。

17. タイマ/カウンタ0,1,3,4,5の前置分周器

タイマ/カウンタ0、1、3、4、5は同じ前置分周器部を共用しますが、タイマ/カウンタは異なる前置分周器設定ができます。以下の記述は言及した全てのタイマ/カウンタに適用されます。Tn (n=0,1,3,4,5)は一般名として使用されます。

17.1. 内部クロック元

タイマ/カウンタはシステムクロック(CSn2~0=001設定)によって直接的にクロック駆動できます。これはシステムクロック周波数($f_{clk_I/O}$)と等しいタイマ/カウンタ最大クロック周波数での最高速動作を提供します。選択で前置分周器からの4つのタップの1つがクロック元として使えます。この前置分周したクロックは $f_{clk_I/O}/8$, $f_{clk_I/O}/64$, $f_{clk_I/O}/256$, $f_{clk_I/O}/1024$ の何れかの周波数です。

17.2. 前置分周器リセット

この前置分周器は自由走行で(即ちタイマ/カウンタのクロック選択論理回路と無関係に動作する)、Tnによって共用されます。前置分周器はタイマ/カウンタのクロック選択によって影響を及ぼされないため、前置分周器の状態は前置分周したクロックが使われる状況に対して密接に関係します。タイマ/カウンタが許可され、前置分周器によってクロック駆動される(CSn2~0=5~2)とき、前置分周加工の一例が生じます。タイマ/カウンタが許可される時から最初の計数が起きるまでのシステムクロック周期数はNが前置分周値(8,64,256,1024)とすると、1~N+1システムクロック周期になり得ます。

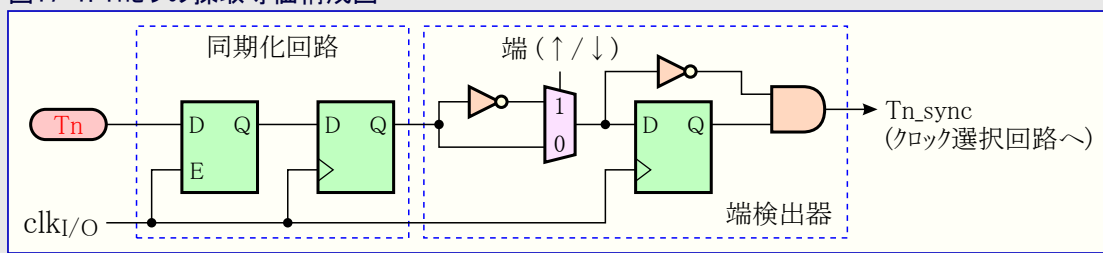
プログラム実行にタイマ/カウンタを同期することに対して前置分周器リセットを使うことが可能です。しかし、同じ前置分周器を共用する他のタイマ/カウンタも前置分周を使う場合、注意が必要とされなければなりません。前置分周器リセットはそれが接続される全タイマ/カウンタに関する前置分周器周期に影響を及ぼします。

17.3. 外部クロック元

Tnピンに印加された外部クロック元はタイマ/カウンタクロック(clk_{Tn})として使えます。このTnピンはピン同期化論理回路によって全てのシステムクロック周期に一度採取されます。この同期化(採取)された信号はその後に端(エッジ)検出器を通して通過されます。図17-1はTn同期化と端検出器論理回路の機能等価構成図を示します。レジスタは内部システムクロック($clk_{I/O}$)の上昇端でクロック駆動されます。ラッチは内部システムクロックのHigh区間で通過(Low区間で保持)です。

端検出器は上昇端(CSn2~0=111)または下降端(CSn2~0=110)の検出毎に1つの clk_{Tn} パルスを生成します。

図17-1. Tnピンの採取等価構成図

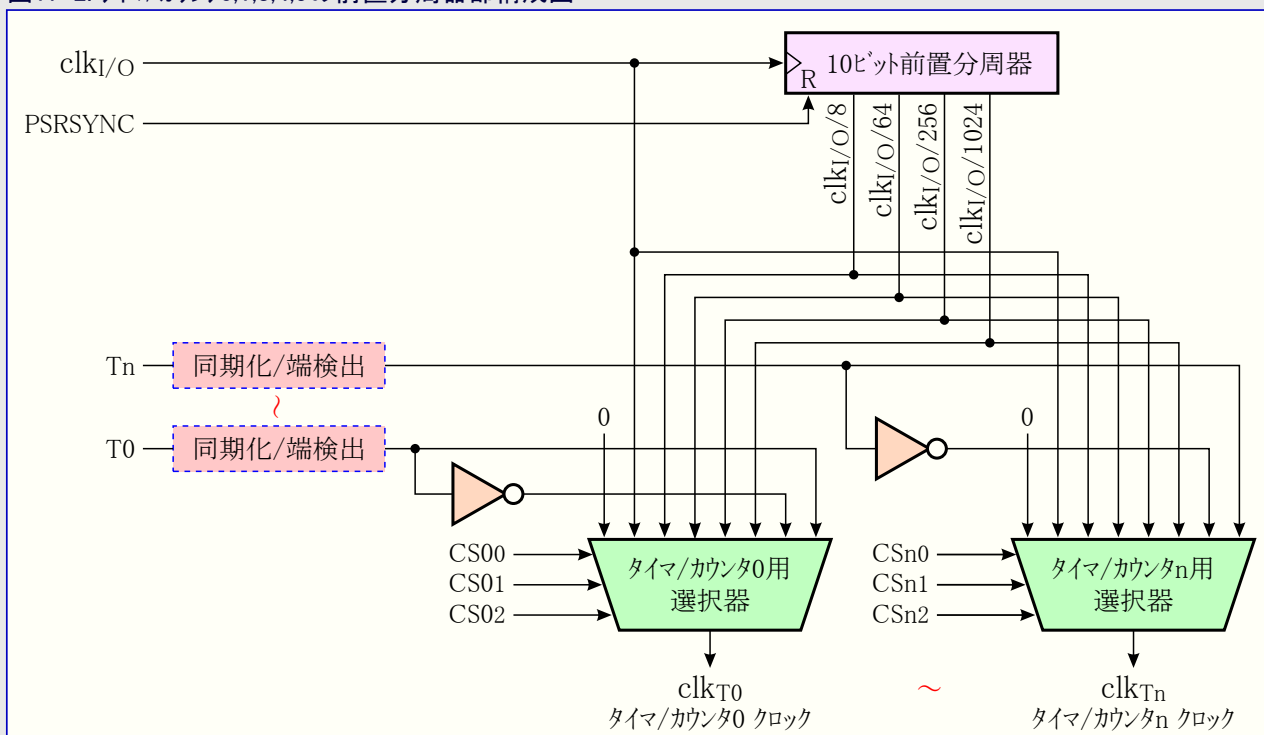


同期化と端検出器論理回路はTnピンへ印加された端からカウンタが更新されるまでに2.5~3.5システムクロック周期の遅延をもたらします。クロック入力の許可と禁止はTnが最低1システムクロック周期に対して安定してしまっている時に行われなければならない、さもなければ不正なタイマ/カウンタクロックパルスが生成される危険があります。

印加された外部クロックの各半周期は正しい採取を保証するために1システムクロック周期より長くなければならない。この外部クロックは50%/50%デューティ比で与えられるものとして、システムクロック周波数の半分未満($f_{EXTclk} < f_{clk_I/O}/2$)であることが保証されなければならない。端検出器が採取を使うため、検出できる外部クロックの最大周波数は採取周波数の半分です(ナイquistの標本化定理)。然しながら、発振元(クリスタル発振子、セラミック振動子、コンデンサ)公差によって引き起こされたシステムクロック周波数やデューティ比の変動のため、外部クロック元の最大周波数は $f_{clk_I/O}/2.5$ 未満が推奨されます。

外部クロック元は前置分周できません。

図17-2. タイマ/カウンタ0,1,3,4,5の前置分周器部構成図



注: 入力ピンの同期化/端(エッジ)検出論理回路は図17-1.で示されます。

17.4. 同期系タイマ/カウンタ前置分周器用レジスタ

17.4.1. GTCCR – 一般タイマ/カウンタ制御レジスタ (General Timer/Counter Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$23 (\$43)	TSM	–	–	–	–	–	PSRASY	PSRSYNC	GTCCR
Read/Write	R/W	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – TSM : タイマ/カウンタ同時動作 (Timer/Counter Synchronization Mode)

TSMビットへの1書き込みはタイマ/カウンタ同期化動作を活性(有効)にします。この動作でPSRASYとPSRSYNCへ書かれる値は保持され、従って対応する前置分周器リセット信号の有効を保持します。これは対応するタイマ/カウンタを停止し、設定中にそれらの1つが進行する危険なしに同じ値に設定できるのを保証します。TSMビットが0を書かれると、PSRASYとPSRSYNCビットはハードウェアによって解除(0)されて、同時にタイマ/カウンタが計数を始めます。

● ビット0 – PSRSYNC : 同期系タイマ/カウンタ前置分周器リセット (Prescaler Reset Timer/Counter 1,0)

このビットが1の時にタイマ/カウンタ0、タイマ/カウンタ1、タイマ/カウンタ3、タイマ/カウンタ4とタイマ/カウンタ5の前置分周器はリセットします。通常、TSMビットが設定(1)されている場合を除き、このビットはハードウェアによって直ちに解除(0)されます。タイマ/カウンタ0、タイマ/カウンタ1、タイマ/カウンタ3、タイマ/カウンタ4とタイマ/カウンタ5は同じ前置分周器を共用し、この前置分周器のリセットが全てのタイマ/カウンタに影響を及ぼすことに注意してください。

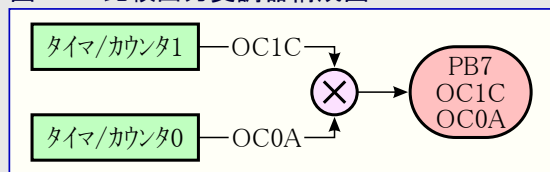
18. 比較出力変調器 (OCM1C0A)

18.1. 概要

比較出力変調器(OCM)は搬送波を変調した波形の生成を許します。この変調器は16ビット タイマ/カウンタ1の比較C出力部と8ビット タイマ/カウンタ0の比較A出力部からの出力を使います。これらのタイマ/カウンタについてのより多くの詳細に関しては93頁の「16ビット タイマ/カウンタ(タイマ/カウンタ1,タイマ/カウンタ3,タイマ/カウンタ4, タイマ/カウンタ5)」と81頁の「8ビット タイマ/カウンタ0(PWM付き)」をご覧ください。

この変調器が許可されると、構成図(図18-1.)で示されるように2つの比較出力が共に変調されます。

図18-1. 比較出力変調器構成図

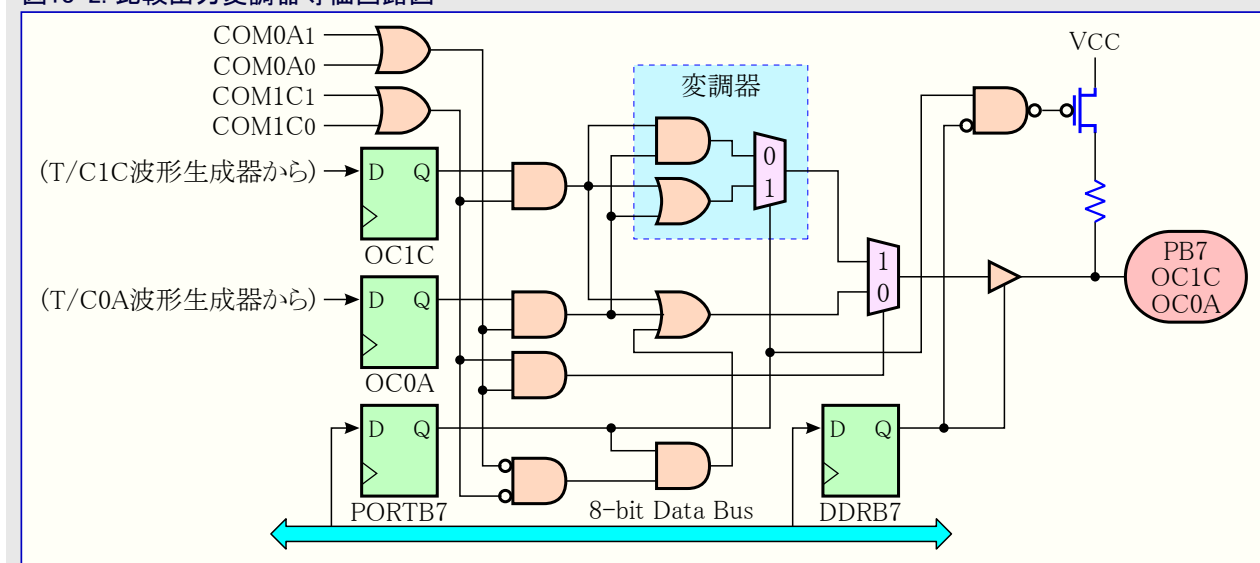


18.2. 説明

比較1C出力部と比較0A出力部は出力に関してPB7ポートピンを共用します。比較出力部の出力(OC1CとOC0A)はこれらの1つが許可(即ちCOMnx1,0≠00)にされると、標準PORTB7レジスタを無効にします。OC1CとOC0Aの両方が同時に許可されると、この変調器が自動的に許可されます。

この変調器の機能等価回路図は図18-2.で示されます。この図はタイマ/カウンタ部とポートBのビット7ピン出力駆動回路部分を含みます。

図18-2. 比較出力変調器等価回路図

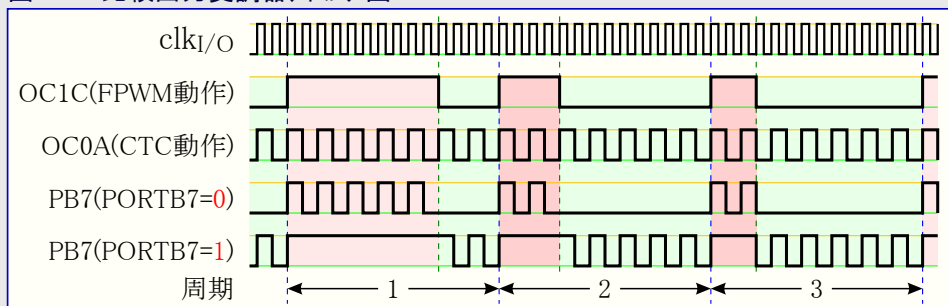


変調器が許可されると、PORTB7レジスタによって変調形式(論理ANDまたはOR)を選ぶことができます。COMnx1,0ビット設定に拘らず、DDRB7がポートの方向を制御することに注意してください。

18.2.1. タイミング例

次図は動作中の変調器を図解します。この例でのタイマ/カウンタ1は(非反転)高速PWM動作で動くように設定され、タイマ/カウンタ0は比較交互出力(COM01,0=01)のCTC波形動作を使います。

図18-3. 比較出力変調器タイミング図



この例ではタイマ/カウンタ0が搬送波を供給する一方で、変調する信号(変調波)はタイマ/カウンタ1の比較C出力によって生成されます。

PWM信号(OC1C)の分解能は変調によって減らされます。この減少係数は搬送波(OC0A)1周期のシステムクロック周期数と等価です。この例では分解能が係数2で減らされます(即ち1/2)。図はPORTB7=0時のPB7出力の第2周期と第3周期でこの減少理由を図解します。第2周期のHigh区間は第3周期のHigh区間よりも1周期長いけれども、PB7出力の結果は両周期で等しくなります。

19. 8ビット タイマ/カウンタ2 (PWM, 非同期動作付き)

19.1. 特徴

- ・ 2つの独立した比較部
- ・ 比較一致でのタイマ/カウンタ解除 (自動再設定)
- ・ 不具合なしで正しい位相のパルス幅変調器 (PWM)
- ・ 周波数発生器
- ・ クロック用10ビット前置分周器
- ・ 溢れと比較一致割り込み (TOV2, OCF2A, OCF2B)
- ・ I/O(システム)クロックに依存しない時計用外部32kHzクリスタルからのクロック駆動可能

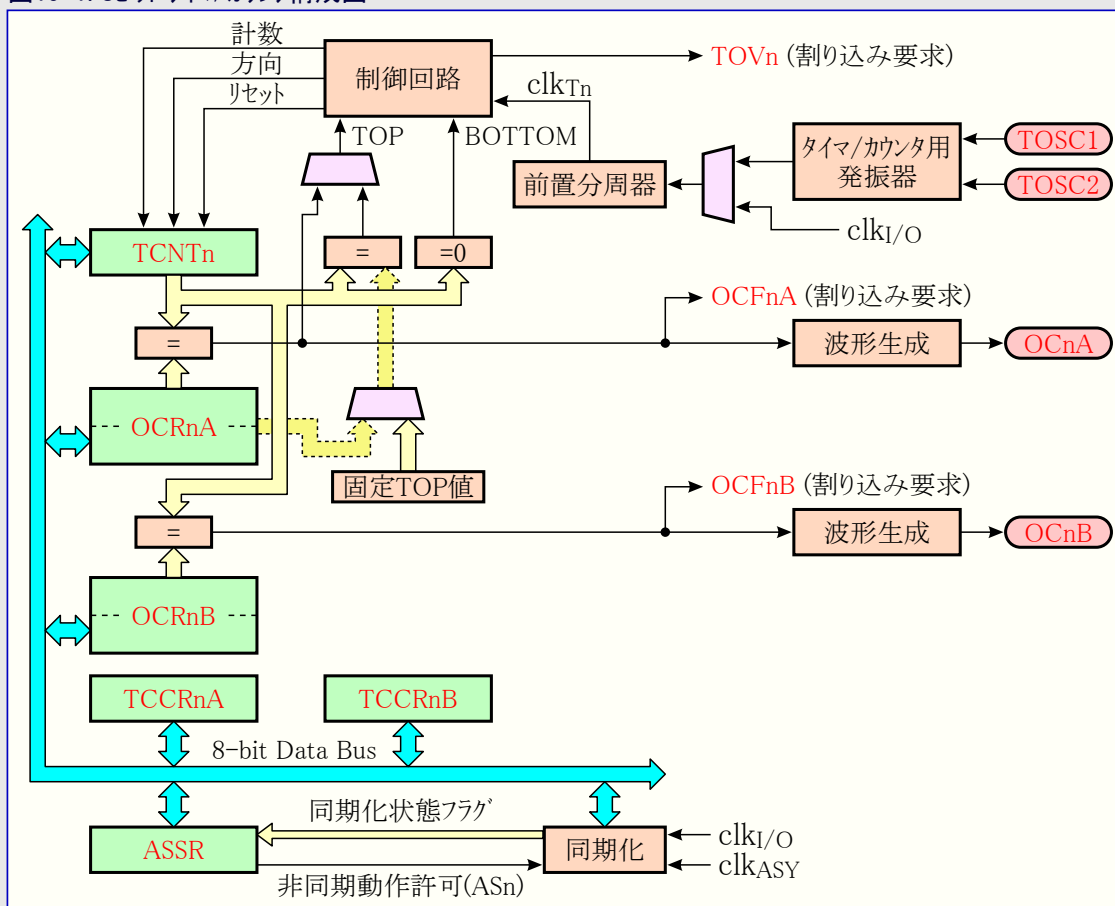
19.2. 概要

タイマ/カウンタ2は2つの独立した比較出力部とPWM支援付きの汎用8ビット タイマ/カウンタ部です。

この8ビット タイマ/カウンタの簡便化した構成図は図19-1.で示されます。I/Oピン実際の配置については5頁の「ピン配置」を参照してください。CPUがアクセス可能な(I/OビットとI/Oピンを含む)I/Oレジスタは赤文字(訳注:原文は太字)で示されます。デバイス仕様のI/Oレジスタとビット位置は131頁の「8ビット タイマ/カウンタ2用レジスタ」で一覧されます。

38頁の「PRR0 – 電力削減レジスタ」のPRTIM2ビットはタイマ/カウンタ2部を許可するために0を書かれなければなりません。

図19-1. 8ビット タイマ/カウンタ構成図



19.2.1. 関係レジスタ

タイマ/カウンタ(TCNT2)と比較レジスタ(OCR2AとOCR2B)は8ビットのレジスタです。割り込み要求信号はタイマ/カウンタ2割り込み要求レジスタ(TIFR2)で全て見えます。全ての割り込みはタイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ(TIMSK2)で個別に遮蔽(禁止)されます。TIFR2とTIMSK2はこの図で示されません。

このタイマ/カウンタは内部的、前置分周器経由、または本章内後ろで詳述されるようにTOSC1/2ピンから非同期にクロック駆動されます。非同期動作は非同期状態レジスタ(ASR)によって制御されます。クロック選択論理部はタイマ/カウンタが値を増加(または減少)するのに使うクロック元を制御します。クロック元が選ばれないと、このタイマ/カウンタは動きません。クロック選択論理部からの出力はタイマ/カウンタクロック(clkT2)として参照されます。

2重緩衝化した比較レジスタ(OCR2AとOCR2B)はタイマ/カウンタ値と常に比較されます。この比較結果は比較出力(OC2AとOC2B)ピンでPWMまたは可変周波数出力を生成するための波形生成器によって使えます。詳細については123頁の「比較出力部」をご覧ください。この比較一致発生は比較出力割り込み要求の発生に使える比較一致割り込み要求フラグ(OCF2AとOCF2B)も設定(1)します。

19.2.2. 定義

本章でのレジスタとビット参照の多くは一般形で書かれます。小文字の'n'はタイマ/カウンタ番号、この場合は2で置き換えます。小文字のxは比較出力部のチャンネル名を表し、この場合はAまたはBです。然しながらプログラムでレジスタまたはビット定義に使う時は正確な形式が使われなければなりません(即ちタイマ/カウンタ2のカウンタ値のアクセスに対してのTCNT2のように)。

表19-1.の定義は本文書を通して広範囲に渡って使われます。

表19-1. 用語定義

用語	意味
BOTTOM	タイマ/カウンタが\$00に到達した時。
MAX	タイマ/カウンタが\$FF(255)に到達した時。
TOP	タイマ/カウンタが指定された固定値(\$FF)またはOCR2A値に到達した時。この指定(TOP)値は動作種別に依存します。

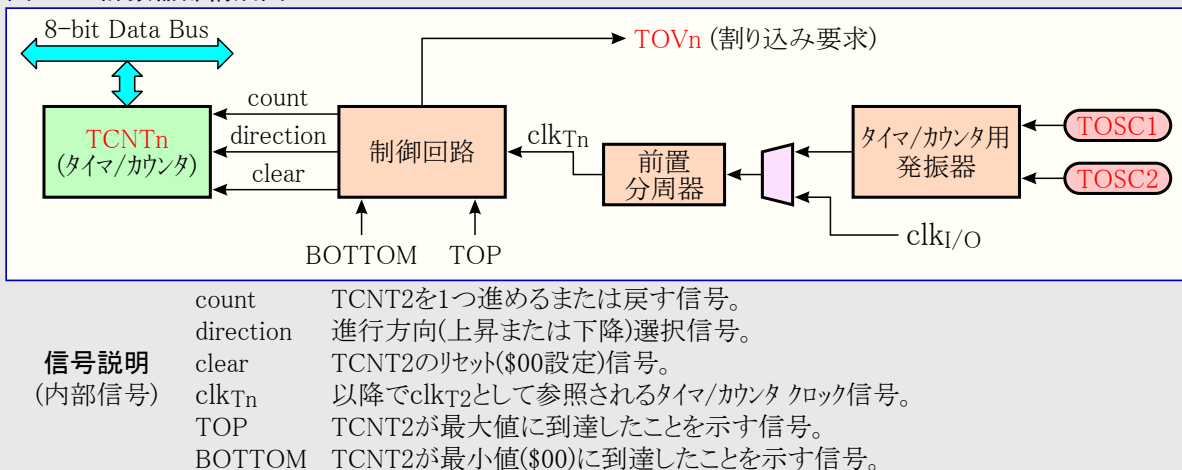
19.3. タイマ/カウンタのクロック

このタイマ/カウンタは内部同期または外部非同期クロック元によってクロック駆動できます。既定のクロック元(clkT2)はMCUクロック(clkI/O)と同じです。非同期状態レジスタ(ASSR)の**非同期動作許可(AS2)ビット**が論理1を書かれると、クロック元はTOSC1とTOSC2に繋がったタイマ/カウンタ用発振器から取得されます。非同期動作の詳細については135頁の「**ASSR – 非同期状態レジスタ**」をご覧ください。クロック元と前置分周器の詳細については130頁の「**タイマ/カウンタ2の前置分周器**」をご覧ください。

19.4. 計数器部

8ビット タイマ/カウンタの主な部分は設定可能な双方向カウンタ部です。図19-2.は、このカウンタとその周辺環境の構成図を示します。

図19-2. 計数器部構成図



使った動作種別に依存して、カウンタは各タイマ/カウンタ クロック(clkT2)で解除(\$00)、増加(+1)、または減少(-1)されます。clkT2はクロック選択(CS22~0)ビットによって選ばれた内部または外部のクロック元から生成できます。クロック元が選ばれない(CS22~0=000)時にタイマ/カウンタは停止されます。けれどもTCNT2値はタイマ/カウンタ クロック(clkT2)が存在するしないに拘らず、CPUによってアクセスできます。CPU書き込みは全てのカウンタ解除や計数動作を無視します(上位優先権を持ちます)。

計数順序(方法)は**タイマ/カウンタ2制御レジスタA(TCCR2A)**に配置された**波形生成種別(WGM21,0)ビット**と**タイマ/カウンタ2制御レジスタB(TCCR2B)**に配置された**波形生成種別(WGM22)ビット**の設定によって決定されます。これらはカウンタ動作(計数)方法とOC2A/OC2B比較出力に生成される方法間の接続に近いものです。進化した計数順序と波形生成についてより多くの詳細に関しては125頁の「**動作種別**」をご覧ください。

タイマ/カウンタ溢れ(TOV2)フラグはWGM22~0ビットによって選ばれた動作種別に従って設定(1)されます。TOV2はCPU割り込み発生に使えます。

19.5. 比較出力部

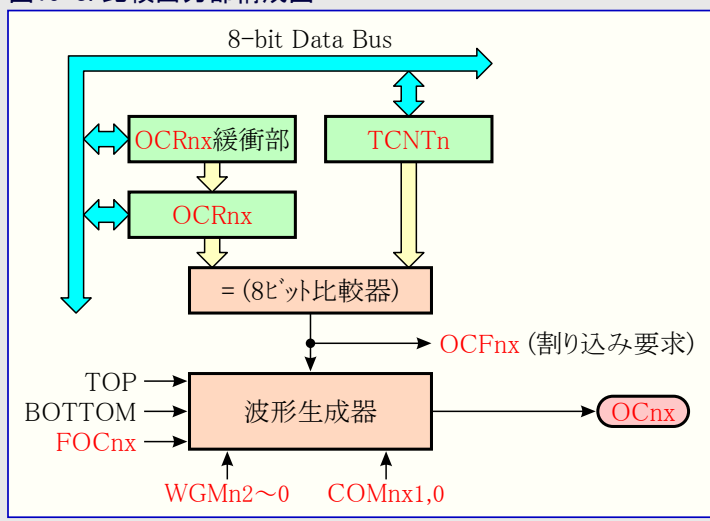
この8ビット比較器はTCNT2と比較レジスタ(OCR2AとOCR2B)を継続的に比較します。TCNT2がOCR2AまたはOCR2Bと等しければ比較器は一致を指示します。この一致は次のタイマ/カウンタクロック周期で比較割り込み要求フラグ(OCF2AまたはOCF2B)を設定(1)します。対応する割り込みが許可(I=1, OCIE2AまたはOCIE2B=1)されているならば、その比較割り込み要求フラグは比較割り込みを発生します。比較割り込み要求フラグは割り込みが実行されると自動的に解除(0)されます。代わりにこのフラグはこのI/Oビット位置に論理1を書くことによってソフトウェアでも解除(0)できます。波形生成器は波形生成種別(WGM22~0)ビットと比較出力選択(COM2x1,0)ビットによって設定された動作種別に従った出力を生成するのにこの一致信号を使います。MAXとBOTTOM信号は動作種別(125ページの「動作種別」参照)のいくつかで両端値の特別な場合を扱うため、波形生成器によって使われます。

図19-3は比較出力部の構成図を示します。

OCR2xはパルス幅変調(PWM)の何れかを使う時に2重緩衝化されます。標準動作と比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作については2重緩衝動作が禁止されます。2重緩衝動作は計数の流れのTOPまたはBOTTOMのどちらかに対してOCR2xレジスタの更新を同期化します。この同期化は奇数長、非対称PWMパルスの発生を防ぎ、それによって不具合なしの出力を作成します。

OCR2xのアクセスは複雑なように思えますが決してそんなことはありません。2重緩衝動作が許可されるとCPUはOCR2x緩衝部をアクセスし、禁止されるとOCR2xレジスタを直接アクセスします。

図19-3. 比較出力部構成図



(訳注) ここでは比較nxレジスタ全体をOCR2x、OCR2xを構成する緩衝部部分をOCR2x緩衝部、実際の比較に使われるレジスタ本体部分をOCR2xレジスタとして記述しています。他の部分での記述でも特に必要がある場合はこの記述方法を適用します。

19.5.1. 強制比較出力

非PWM波形生成動作での比較器の一致出力は強制変更(FOC2x)ビットに1を書くことによって強制(変更)できます。比較一致の強制は比較割り込み要求フラグ(OCF2x)の設定(1)やタイマ/カウンタの再設定/解除を行いませんが、OC2xピンは実際の比較一致が起きた場合と同様に更新されます(COM2x1,0ビット設定がOC2xピンの設定(1)、解除(0)、1/0交互のどれかを定義)。

19.5.2. TCNT2書き込みによる比較一致妨害

TCNT2への全てのCPU書き込みは、例えタイマ/カウンタが停止されていても、次のタイマ/カウンタクロック周期で起こるどんな比較一致をも妨げます。この特質はタイマ/カウンタクロックが許可されている時に割り込みを起動することなく、TCNT2と同じ値に初期化されることをOCR2xに許します。

19.5.3. 比較一致部の使用

どの動作種別でのTCNT2書き込みでも1タイマ/カウンタクロック周期間、全ての比較一致を妨げるため、タイマ/カウンタが走行中であるかにかかわらず、比較出力部を使う場合、TCNT2を変更する時に危険を伴います。TCNT2に書かれた値がOCR2x値と同じ場合に比較一致は失われ(一致が発生せず)、不正な波形生成に終わります。同様にタイマ/カウンタが下降計数のとき、BOTTOMに等しいTCNT2値を書いてもいけません。

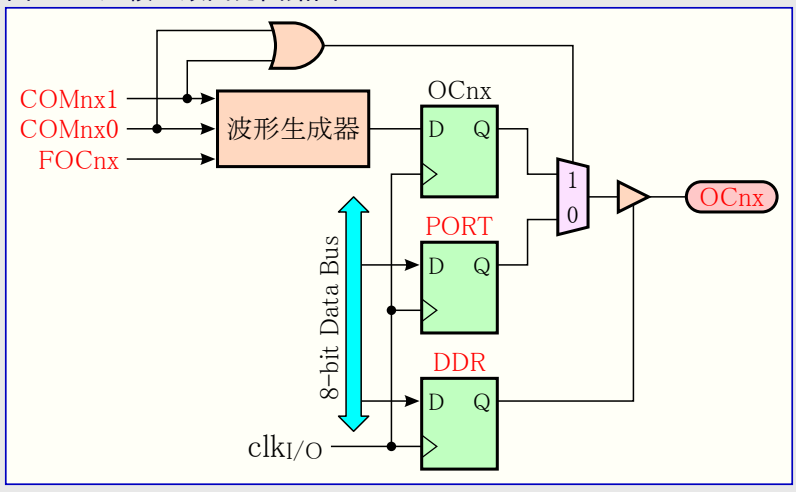
OC2xの初期設定はポートピンに対するポート方向レジスタを出力に設定する前に行われるべきです。OC2x値を設定する一番簡単な方法は標準動作で強制変更(FOC2x)ストローブビットを使うことです。波形生成動作種別間を変更する時でも、OC2x(内部)レジスタはその値を保ちます。

比較出力選択(COM2x1,0)ビットが比較値(OCR2x)と共に2重緩衝されないことに気付いてください。COM2x1,0ビットの変更は直ちに有効となります。

19.6. 比較一致出力部

比較出力選択($COM2x1,0$)ビットは2つの機能を持ちます。波形生成器は次の比較一致での比較出力($OC2x$)状態の定義に $COM2x1,0$ ビットを使います。また $COM2x1,0$ ビットは $OC2x$ ピン出力元を制御します。図19-4は $COM2x1,0$ ビット設定によって影響を及ぼされる論理回路の単純化した図を示します。図のI/Oレジスタ、I/Oビット、I/Oピンは赤文字(訳注:原文は太字)で示されます。 $COM2x1,0$ ビットによって影響を及ぼされる標準I/Oポート制御レジスタ(PORTとDDR)の部分だけが示されます。 $OC2x$ の状態を参照するとき、その参照は $OC2x$ ピンでなく内部 $OC2x$ レジスタに対してです。

図19-4. 比較一致出力回路図



$COM2x1,0$ ビットのどちらかが設定(1)されると、標準I/Oポート機能は波形生成器からの比較出力($OC2x$)によって無効にされます。けれども $OC2x$ ピンの方向(入出力)はポートピンに対するポート方向レジスタ(DDR)によって未だ制御されます。 $OC2x$ ピンに対するポート方向レジスタのビット(DDR_OC2x)は $OC2x$ 値がピンで見えるのに先立って出力として設定されなければなりません。このポートの交換機能は波形生成種別と無関係です。

比較出力ピン論理回路の設計は出力が許可される前の $OC2x$ 状態の初期化を許します。いくつかの $COM2x1,0$ ビット設定が或る種の動作種別に対して予約されることに注意してください。131頁の「8ビット タイマ/カウンタ2用レジスタ」をご覧ください。

19.6.1. 比較一致出力選択と波形生成

波形生成器は標準、CTC、PWM動作で $COM2x1,0$ ビットを違うふうに使います。全ての動作種別に対して $COM2x1,0=00$ 設定は次の比較一致で実行すべき $OC2x$ レジスタの動きがないことを波形生成器へ告げます。非PWM動作での比較出力動作については131頁の表19-2と表19-5を参照してください。高速PWM動作については131頁の表19-3と表19-6、位相基準PWMについては131頁の表19-4と表19-7を参照してください。

$COM2x1,0$ ビットの状態変更はこのビットが書かれた後の最初の比較一致で有効になります。非PWM動作について、この動作は強制変更($FOC2x$)スローフビットを使うことによって直ちに効果を得ることを強制できます。

19.7. 動作種別

動作種別、即ちタイマ/カウンタと比較出力ピンの動作は、**波形生成種別(WGM22~0)**ビットと**比較出力選択(COM2x1,0)**ビットの組み合わせによって定義されます。比較出力選択ビットは計数順序(動作)に影響を及ぼしませんが、一方波形生成種別ビットは影響を及ぼします。COM2x1,0ビットは生成されるPWM出力が反転されるべきか否か(反転または非反転PWM)どちらかを制御します。非PWM動作に対するCOM2x1,0ビットは比較一致で出力が解除(0)、設定(1)、1/0交互のどれにされるべきかを制御します(124頁の「**比較一致出力部**」をご覧ください)。

タイミング情報の詳細については128頁の「**タイマ/カウンタ2のタイミング**」を参照してください。

19.7.1. 標準動作

最も単純な動作種別が標準動作(WGM22~0=000)です。この動作種別での計数方向は常に上昇(+)で、カウンタ解除は実行されません。カウンタは8ビット最大値(TOP=\$FF)を通過すると単に範囲を超え、そして\$00(BOTTOM)から再び始めます。通常動作での**タイマ/カウンタ溢れ(TOV2)フラグ**はTCNT2が\$00になる時と同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。この場合のTOV2フラグは設定(1)のみで解除(0)されないことを除いて第9ビットのようになります。けれどもTOV2フラグを自動的に解除(0)するタイマ/カウンタ2溢れ割り込みと組み合わせたタイマ/カウンタの分解能はソフトウェアによって増やせます。標準動作での考慮に特別な場合はなく、新しいカウンタ値は何時でも書けます。

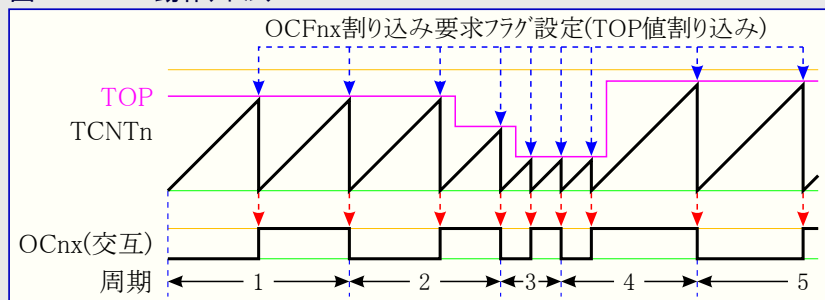
比較出力部は与えられた或る時間に割り込みを生成するのに使えます。標準動作で波形を生成するのに比較出力を使うのは、それが大変多くのCPU時間を占有するため推奨されません。

19.7.2. 比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作

比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作(WGM22~0=010)ではOCR2Aがカウンタの分解能を操作するのに使われます。CTC動作ではカウンタ(TCNT2)値がOCR2Aと一致すると、カウンタは\$00に解除されます。OCR2Aはカウンタに対するTOP値、従って分解能も定義します。この動作種別はより大きい比較一致出力周波数の制御を許します。それは外部の出来事の計数操作も簡単にします。

CTC動作についてのタイミング図は図19-5.で示されます。カウンタ(TCNT2)値はTCNT2とOCR2A間で比較一致が起こるまで増加し、そしてその後カウンタ(TCNT2)は解除(\$00)されます。

図19-5. CTC動作タイミング



注: COMnx1,0=01

OCF2Aフラグを使うことにより、タイマ/カウンタ値がTOP値に達する時毎に割り込みが生成できます。割り込みが許可されるなら、割り込み処理ルーチンはTOP値を更新するのに使えます。けれども前置分周なしまたは低い前置分周値でカウンタが走行している時にBOTTOMと近い値にTOPを変更することは、CTC動作が2重緩衝機能を持たないために注意して行わなければなりません。OCR2Aに書かれた新しい値がTCNT2の現在値よりも低い(小さい)場合、タイマ/カウンタは(その回の)比較一致を失います。その後のカウンタは比較一致が起こるのに先立って、最大値(\$FF)へそして次に\$00から始める計数をしなければならないでしょう。

CTC動作で波形出力を生成するため、OC2A出力は**比較出力選択(COM2A1,0)**ビットを交互動作(=01)に設定することによって各比較一致での論理レベル交互切り替えに設定できます。OC2A値はそのピンに対するデータ方向が出力(DDR_OC2A=1)に設定されない限りポートピンで見えないでしょう。生成された波形はOCR2Aが0(\$00)に設定されるとき、 $f_{OC2A} = f_{clk_I/O} / 2$ の最大周波数を得ます。生成波形周波数は次式によって定義されます。

$$f_{OCnx} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times (1 + OCRnx)}$$

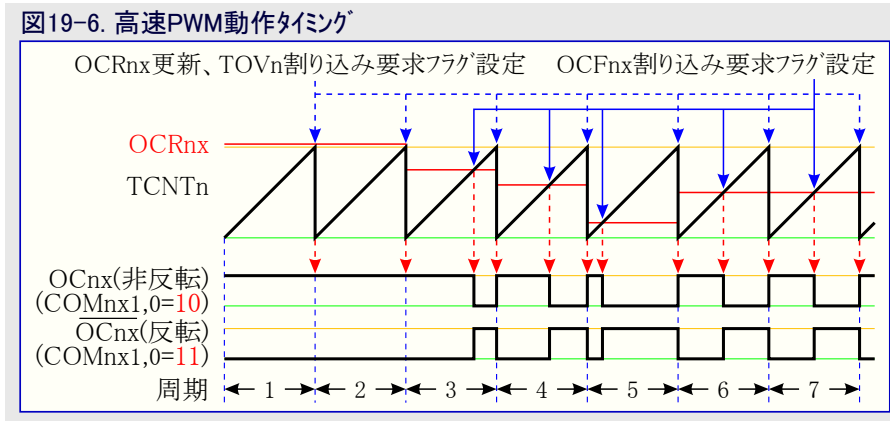
変数Nは前置分周数(1,8,32,64,128,256,1024)を表します。

標準動作と同じように、**タイマ/カウンタ溢れ(TOV2)フラグ**はカウンタがMAXから\$00へ計数するのと同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。

19.7.3. 高速PWM動作

高速パルス幅変調(PWM)動作(WGM22~0=011または111)は高周波数PWM波形生成選択を提供します。高速PWMはそれが単一傾斜(鋸波)動作であることによって他のPWM動作と異なります。カウンタはBOTTOMからTOPまで計数し、その後にBOTTOMから再び始めます。TOPはWGM22~0=011時に\$FF、WGM22~0=111時にOCR2Aとして定義されます。非反転比較出力動作(COM2x1,0=10)での比較出力(OC2x)はTCNT2とOCR2x間の比較一致で解除(0)され、BOTTOMで設定(1)されます。反転出力動作(COM2x1,0=11)の出力は比較一致で設定(1)され、BOTTOMで解除(0)されます。この単一傾斜動作のため、高速PWM動作の動作周波数は両傾斜(三角波)動作を使う位相基準PWM動作よりも2倍高くできます。この高い周波数は電力調節、整流、D/A変換に対して高速PWM動作を都合よく適合させます。高い周波数は物理的に小さな外部部品(コイルやコンデンサ)を許し、従ってシステム総費用を削減します。

高速PWM動作でのタイマ/カウンタはタイマ/カウンタ値がTOP値と一致するまで増加されます。そしてタイマ/カウンタは(一致の)次のタイマ/カウンタクロック周期で解除(\$00)されます。高速PWM動作のタイミング図は図19-6.で示されます。TCNT2値はタイミング図で単一傾斜動作(鋸波)を表す折れ線グラフとして示されます。この図は非反転と反転のPWM出力を含みます。赤細線はOCR2x値を示し、TCNT2値との交点(接点)がTCNT2とOCR2x間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。比較割り込み要求フラグ(OCF2x)はOCR2x=TOPを除いて比較一致が起こると設定(1)されます(訳注:共通性のため本行追加)。



タイマ/カウンタ溢れ(TOV2)フラグはカウンタがTOPに到達する時毎に設定(1)されます。割り込みが許可されるなら、その割り込み処理ルーチンは比較値を更新するのに使えます。

高速PWM動作での比較部はOC2xピンでのPWM波形の生成を許します。COM2x1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOM2x1,0を'11'に設定することで生成できます。WGM22ビットが設定(1)なら、COM2A1,0ビットの'01'設定は比較一致での交互反転をOC2Aピンに許します。この任意選択はOC2Bピンに対して利用できません(131頁の表19-3と表19-6をご覧ください)(訳注:前2行修正追加)。実際のOC2x値はポートピンに対するデータ方向(DDR_OC2x)が出力として設定される場合にだけ見えるでしょう。PWM波形はTCNT2とOCR2x間の比較一致でOC2x(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが解除(\$00、TOPからBOTTOMへ変更)されるタイマ/カウンタクロック周期でOC2xレジスタを解除(0)または設定(1)することによって生成されます。

PWM出力周波数は次式によって計算できます。

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \times (1 + TOP)}$$

変数Nは前置分周数(1,8,32,64,128,256,1024)を表します。

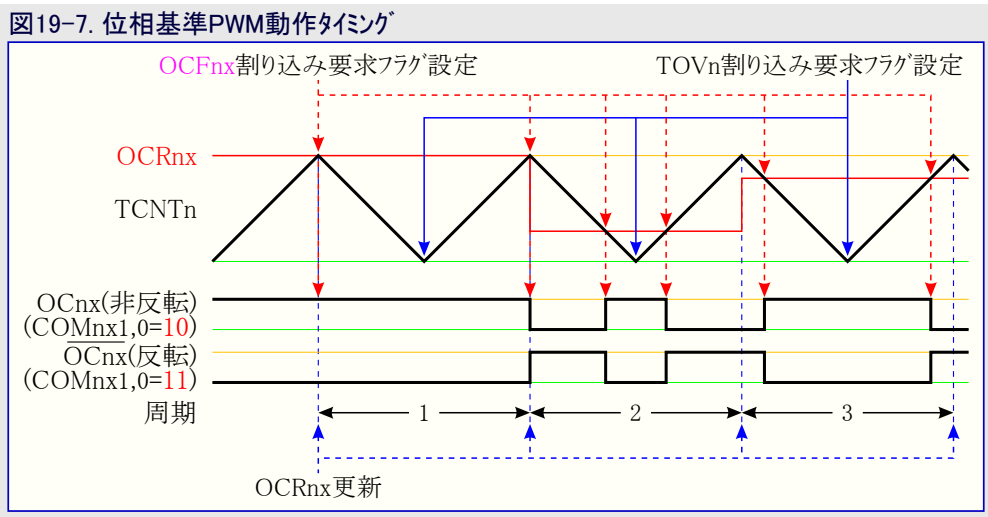
OCR2xの両端値は高速PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合に当たります。OCR2xがBOTTOM(\$00)と等しく設定されると、出力はTOP+1 タイマ/カウンタクロック周期毎の狭いスパイク(パルス)になるでしょう。OCR2xがTOPに等しく設定されると、(COM2x1,0ビットによって設定される出力極性に依存して)定常的なLowまたはHigh出力に終わるでしょう。

(訳補:WGM22~0=111の場合については、)高速PWM動作での(デューティ比50%)周波数の波形出力は比較一致毎に論理反転するOC2A設定(COM2A1,0=01)によって達成できます。生成された波形はOCR2Aが0(\$00)に設定される時に $f_{OC2x} = f_{clk_I/O} / 2$ の最大周波数でしょう。この特性は高速PWM動作で比較出力部の2重緩衝機能が許可されることを除いて、CTC動作でのOC2A交互出力(COM2A1,0=01)と同じです。

19.7.4. 位相基準PWM動作

位相基準パルス幅変調(PWM)動作(WGM22~0=001または101)は高分解能で正しい位相のPWM波形生成選択を提供します。位相基準PWM動作は両傾斜(三角波)動作に基づきます。カウンタはBOTTOMからTOPへそして次にTOPからBOTTOMへを繰り返し計数します。TOPはWGM22~0=001時に\$FF、WGM22~0=101時にOCR2Aとして定義されます。非反転比較出力動作(COM2x1,0=10)での比較出力(OC2x)は上昇計数中のTCNT2とOCR2xの比較一致で解除(0)され、下降計数中の比較一致で設定(1)されます。反転出力動作(COM2x1,0=11)での動作は逆にされます。両傾斜(三角波)動作は単一傾斜(鋸波)動作よりも低い最大動作周波数です。けれども両傾斜(三角波)動作の対称特性のため、これらの動作種別は電動機制御の応用に好まれます。

位相基準PWM動作でのカウンタはカウンタ値がTOPと一致するまで増加されます。カウンタはTOPに達すると計数方向を替えます。このTCNT2値は1タイマ/カウンタクロック周期間TOPと等しくなります。位相基準PWM動作のタイミング図は図19-7で示されます。TCNT2値はタイミング図で両傾斜動作(三角波)を表す折れ線グラフとして示されます。この図は非反転と反転のPWM出力を含みます。細い赤線はOCR2x値を示し、TCNT2値との交点(接点)がTCNT2とOCR2x間の比較一致を示します(訳注:図補正に伴い本行若干変更)。



タイマ/カウンタ溢れ(TOV2)フラグはタイマ/カウンタがBOTTOMに到達する時毎に設定(1)されます。この割り込み要求フラグはカウンタがBOTTOM値に到達する毎に割り込みを発生するのに使えます。

位相基準PWM動作での比較部はOC2xピンでのPWM波形の生成を許します。COM2x1,0ビットを'10'に設定することは非反転PWM出力を作成し、反転PWM出力はCOM2x1,0ビットを'11'に設定することで生成できます。WGM02ビットが設定(1)なら、COM0A1,0ビットの'01'設定は比較一致での交互反転をOC0Aピンに許します。この任意選択はOC0Bピンに対して利用できません(131頁の表19-4と表19-7をご覧ください)(訳注:前2行修正追加)。実際のOC2x値はそのポートピンに対するデータ方向(DDR_OC2x)が出力として設定される場合だけ見えるでしょう。PWM波形はカウンタが増加する時のTCNT2とOCR2x間の比較一致でOC2x(内部)レジスタを設定(1)(または解除(0))と、カウンタが減少する時のTCNT2とOCR2x間の比較一致でOC2xレジスタを解除(0)(または設定(1))によって生成されます。位相基準PWMを使う時の出力に対するPWM周波数は次式によって計算できます。

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times TOP}$$

変数Nは前置分周数(1,8,32,64,128,256,1024)を表します。

OCR2xの両端値は位相基準PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合に当たります。非反転PWM動作ではOCR2xがBOTTOM(\$00)に等しく設定されると出力は定常的なLow、TOPに等しく設定されると定常的なHighになるでしょう。反転PWMに対する出力は逆の論理値になります。

図19-7の第2周期のその出発点に於いて、例えば比較一致がないとしても、OCnxにはHighからLowへの遷移があります。この遷移点はBOTTOMを挟む対称を保証するためです。比較一致なしに遷移を生ずるのは2つの場合です。

- 図19-7.のようにOCR2xはTOPからその値を変更します。OCR2x値がTOPのとき、OCnxピン値は下降計数での比較一致の結果と同じです(訳補: L→H、直前がHのため、常にH)。BOTTOMを挟む対称を保証するため、(変更直後の)TOP(位置)でのOCnx値は上昇計数での比較一致の結果(H→L)と一致しなければなりません。
- タイマ/カウンタがOCR2x値よりも高い値から数え始め、そしてその理屈のために比較一致、それ故上昇途中で起こされるであろうOCnxの変更を逃します。(訳補: 従って上記同様、TOP位置で(直前がHならば)H→L遷移が生じます。)

19.8. タイマ/カウンタのタイミング

以下の図は同期動作でのタイマ/カウンタを示し、従ってタイマ/カウンタクロック(clk_{Tn})が計数許可信号として示されます。非同期動作では $\text{clk}_{I/O}$ がタイマ/カウンタ用発振器(TOSC)クロックによって置換されるべきです。この図は割り込みフラグが設定(1)される時の情報を含みます。図19-8は基本的なタイマ/カウンタ動作についてのタイミング データを示します。この図は位相基準PWM動作以外の全ての動作種別でのMAX値近辺の計数の流れを示します。

図19-8. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ タイミング

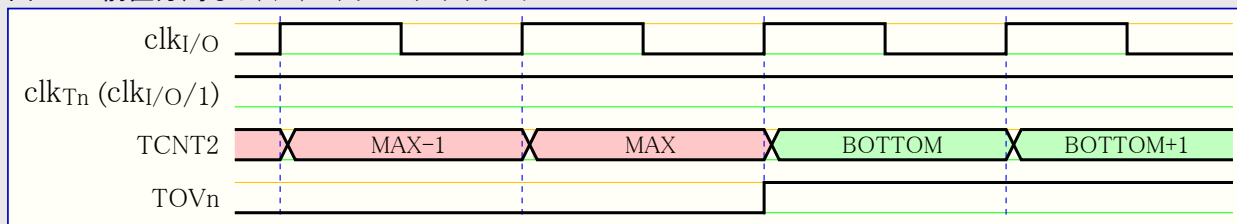


図19-9は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図19-9. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ タイミング

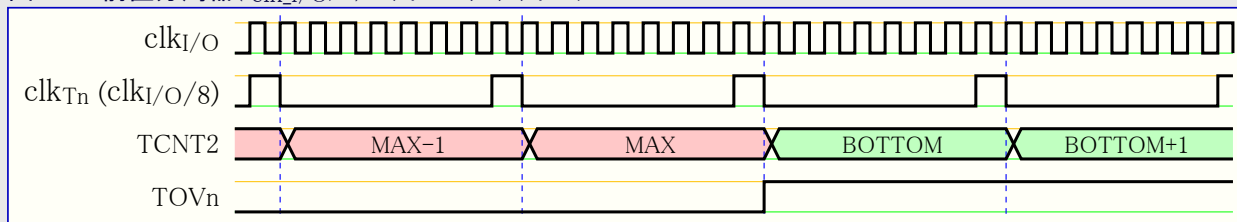


図19-10はCTC動作を除く全ての動作種別でのOCF2Aの設定を示します。

図19-10. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、OCF2A設定 タイミング

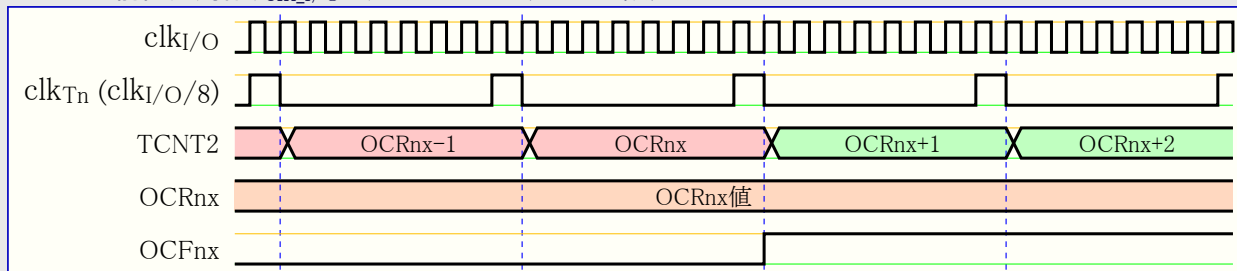
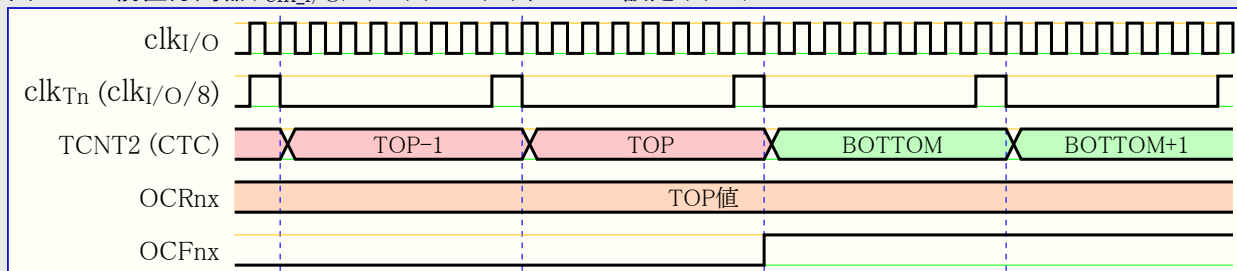


図19-11はCTC動作でのTCNT2の解除とOCF2Aの設定を示します。

図19-11. 前置分周器($f_{\text{clk}_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、OCF2A設定 タイミング



19.9. タイマ/カウンタ2 非同期動作

タイマ/カウンタ2が非同期で動くとき、いくつかの考慮が成されなければなりません。

- ・ **警告:** タイマ/カウンタ2の同期/非同期クロック駆動間を切り替えると、**タイマ/カウンタ2(TCNT2)**、**タイマ/カウンタ2比較レジスタ(OCR2x)**、**タイマ/カウンタ2制御レジスタ(TCCR2x)**が不正となるかもしれません。クロック元を切り替える安全な手順を次に示します。
 1. **タイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ(TIMSK2)**のOCIE2xとTOIE2の解除(0)により、タイマ/カウンタ2割り込みを禁止します。
 2. **非同期状態レジスタ(ASSR)**の**非同期動作許可(AS2)**設定によってクロック元を適切に選びます。
 3. TCNT2, OCR2x, TCCR2xに新しい値を書きます。
 4. 非同期動作へ切り替えるには、**TCN2UB**、**OCR2xUB**、**TCR2xUB**について(=0まで)待機します。
 5. **タイマ/カウンタ2割り込み要求フラグ レジスタ(TIFR2)**のOCF2xとTOV2フラグを解除(0)します。
 6. 必要とされるなら、割り込みを許可します。
- ・ CPU主クロック周波数はタイマ発振器周波数の4倍よりも高くなければなりません。
- ・ TCNT2, OCR2x, TCCR2xレジスタの1つに書くとき、その値は一時レジスタへ転送され、TOSC1で2つの上昇端後、(実レジスタ)に設定されます。一時レジスタの内容がそれらの転送先へ転送されてしまう前に新しい値を書くべきではありません。記載された3つのレジスタの各々がそれら個別の一時レジスタを持ちます。それは、例えばTCNT2書き込みがOCR2x書き込みの実行を妨げないことを意味します。転送先レジスタへの転送が起きたことを検知するために非同期状態レジスタ(ASSR)は実装されました。
- ・ TCNT2, OCR2x, TCCR2xに書いた後で**パワーセーブ**または**A/D変換雑音低減動作**へ移行するとき、デバイスを起動するのにタイマ/カウンタ2が使われる場合、使用者は書かれたレジスタが更新されてしまうまで待たなければなりません。さもなければMCUは変更が有効になる前に**休止形態**へ移行するでしょう。タイマ/カウンタ2比較一致割り込みがデバイスを起動するのに使われると、TCNT2またはOCR2x書き込み中の比較機能が禁止されるため、これは非常に重要です。書き込み周期が完了されず、OCR2xUBが0に戻る前にMCUが休止形態へ移行すると、デバイスは決して比較一致割り込みを受け取らず、そしてMCUは起動しないでしょう。
- ・ **パワーセーブ**または**A/D変換雑音低減動作**からデバイスを起動するのにタイマ/カウンタ2が使われる場合、使用者がこれらの動作へ(復帰後)再移行することを欲するなら、予防処置を講じなければなりません。割り込み論理回路はリセットするのに1 TOSC1周期必要です。起動と休止形態再移行間の時間が1 TOSC1周期未満の場合に割り込みが起きず、デバイスは起動に失敗するでしょう。**パワーセーブ**または**A/D変換雑音低減動作**再移行前の時間が充分であるかどうか迷うなら、1 TOSC1周期が経過されることを保証するのに次の手順が使えます。
 1. TCNT2, OCR2x, TCCR2xに値を書きます。
 2. 非同期状態レジスタ(ASSR)の対応する更新中フラグが0に戻るまで待ちます。
 3. **パワーセーブ**または**A/D変換雑音低減動作**へ移行します。
- ・ **非同期動作が選ばれる**と、タイマ/カウンタ2用32.768kHz発振器は**パワーダウン**と**スタンバイ**動作を除いて常に動作します。電源投入リセット、**パワーダウン**または**スタンバイ**動作から起動後、この発振器が安定するのに1秒程度かかるかもしれないことを使用者は承知すべきです。電源投入、**パワーダウン**または**スタンバイ**動作から起動後、タイマ/カウンタ2を使う前に少なくとも1秒待つことが推奨されます。この発振器の使用またはクロック信号がTOSCピンに印加されるかのどちらかに拘らず、起動時の不安定的なクロック信号のため、**パワーダウン**または**スタンバイ**動作からの起動復帰後、タイマ/カウンタ2の全レジスタの内容が失われたと見做されなければなりません。
- ・ タイマ/カウンタ2が非同期でクロック駆動される時の**パワーセーブ**または**A/D変換雑音低減動作**から起動の説明。割り込み条件が合致すると、タイマ/カウンタ2クロックの次周期で起動処理が開始され、プロセッサがカウンタ値を読めるのに先立ってタイマ/カウンタは常に最低1、進行されます。起動後にMCUは4周期停止され、割り込みルーチンを実行し、そして**SLEEP**命令の次の命令から実行を再開します。
- ・ **パワーセーブ**動作から起動直後のTCNT2の読み込みは不正な結果を得るかもしれません。TCNT2が非同期TOSCクロックでクロック駆動されるため、TCNT2読み込みは内部I/Oクロック領域に同期したレジスタを通して行われなければなりません。同期化はTOSCクロックの全上昇端で行われます。**パワーセーブ**動作から起動し、I/Oクロック(clkI/O)が再び活性(有効)になると、TCNT2はTOSCクロックの次の上昇端まで以前(休止形態移行前)の値を読むでしょう。**パワーセーブ**動作から起動後のTOSCクロックの位相は起動時間に依存するため本質的に特定できません。従ってTCNT2読み込みに対する推奨手順は次のとおりです。
 1. OCR2xまたはTCCR2xのどれかに何か値を書きます。
 2. 非同期状態レジスタ(ASSR)の対応する更新中フラグが解除(0)されるまで待ちます。
 3. TCNT2を読みます。
- ・ 非同期動作の間中、非同期タイマ用割り込み要求フラグの同期化は3プロセッサ周期+1タイマ周期かかります。従ってプロセッサが割り込み要求フラグ設定の原因となったタイマ値を読めるのに先立って、このタイマは最低1、進行されます。比較出力ピンはタイマクロックで変更され、プロセッサクロックに同期されません。

(訳注) 本頁記載のA/D変換雑音低減動作は拡張スタンバイ動作かもしれません。

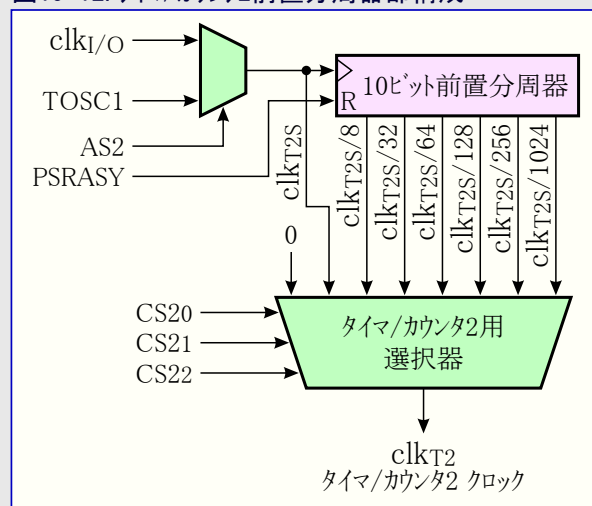
19.10. タイマ/カウンタ2の前置分周器

タイマ/カウンタ2用クロック元の名前は clk_{T2S} です。既定での clk_{T2S} は主システムI/Oクロック($\text{clk}_{I/O}$)に接続されます。**タイマ/カウンタ2非同期状態レジスタ(ASSR)の非同期クロック許可(AS2)ビットの設定(1)**により、タイマ/カウンタ2はTOSC1ピンから非同期にクロック駆動されます。これは実時間計数器(RTC)としてのタイマ/カウンタ2の使用を可能にします。AS2が設定(1)されると、TOSC1とTOSC2ピンは主クロック発振器や標準ポートから切り離されます。クリスタル発振子はタイマ/カウンタ2用の独立したクロック元として扱うTOSC1とTOSC2ピン間に接続できます。この発振器は32.768kHzクリスタル発振子で使うために最適化されています。ASSRの**外部クロック許可(EXCLK)ビットの設定(1)**によって32kHz外部クロックが印加できます。詳細については135頁の「**ASSR – タイマ/カウンタ2非同期状態レジスタ**」をご覧ください。

タイマ/カウンタ2に対して可能な前置分周済み選択は $\text{clk}_{T2S}/8$, $\text{clk}_{T2S}/32$, $\text{clk}_{T2S}/64$, $\text{clk}_{T2S}/128$, $\text{clk}_{T2S}/256$, $\text{clk}_{T2S}/1024$ です。更に0(停止)は勿論 clk_{T2S} も選択可能です。

一般タイマ/カウンタ制御レジスタ(GTCCR)の**非同期系タイマ/カウンタ前置分周器リセット(PSRASY)ビットの設定(1)**は前置分周器をリセットします。これは予測可能な前置分周器での操作を使用者に許します。

図19-12. タイマ/カウンタ2前置分周器部構成



19.11. 8ビット タイマ/カウンタ2用レジスタ

19.11.1. TCCR2A – タイマ/カウンタ2制御レジスタA (Timer/Counter2 Control Register A)

ビット (\$B0)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM2A1	COM2A0	COM2B1	COM2B0	–	–	WGM21	WGM20	TCCR2A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7,6 – COM2A1,0 : 比較A出力選択 (Compare Match A Output Mode bit 1 and 0)

これらのビットはOC2A比較出力ピンの動作を制御します。COM2A1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OC2A出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。けれども出力駆動部を許可するため、OC2Aピンに対応するポート方向レジスタ(DDR)のビットが設定(1)されなければならないことに注意してください。

OC2Aがピンに接続されるとき、COM2A1,0ビットの機能はWGM22~0ビット設定に依存します。

表19-2.はWGM22~0ビットが標準動作またはCTC動作(つまりPWM以外)に設定される時のCOM2A1,0ビット機能を示します。

表19-3.はWGM22~0ビットが高速PWM動作に設定される時のCOM2A1,0ビットの機能を示します。

表19-4.はWGM22~0ビットが位相基準PWM動作に設定される時のCOM2A1,0ビットの機能を示します。

表19-2. 非PWM動作比較A出力選択

COM2A1	COM2A0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC2A切断)
0	1	比較一致でOC2Aピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でOC2Aピン Lowレベル出力
1	1	比較一致でOC2Aピン Highレベル出力

表19-4. 位相基準PWM動作比較A出力選択 (共通注意参照)

COM2A1	COM2A0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC2A切断)
0	1	WGM22=0 : 標準ポート動作 (OC2A切断) WGM22=1 : 比較一致でOC2Aピントグル(交互)出力
1	0	上昇計数時の比較一致でLow、下降計数時の比較一致でHighをOC2Aピンへ出力
1	1	上昇計数時の比較一致でHigh、下降計数時の比較一致でLowをOC2Aピンへ出力

表19-3. 高速PWM動作比較A出力選択 (共通注意参照)

COM2A1	COM2A0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC2A切断)
0	1	WGM22=0 : 標準ポート動作 (OC2A切断) WGM22=1 : 比較一致でOC2Aピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でLow、BOTTOMでHighをOC2Aピンへ出力 (非反転動作)
1	1	比較一致でHigh、BOTTOMでLowをOC2Aピンへ出力 (反転動作)

●ビット5,4 – COM2B1,0 : 比較B出力選択 (Compare Match B Output Mode bit 1 and 0)

これらのビットはOC2B比較出力ピンの動作を制御します。COM2B1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OC2B出力はそのI/Oピンの通常ポート機能を無効にし、そのI/Oピンに接続されます。けれども出力駆動部を許可するため、OC2Bピンに対応するポート方向レジスタ(DDR)のビットが設定(1)されなければならないことに注意してください。

OC2Bがピンに接続されるとき、COM2B1,0ビットの機能はWGM22~0ビット設定に依存します。

表19-5.はWGM22~0ビットが標準動作またはCTC動作(つまりPWM以外)に設定される時のCOM2B1,0ビット機能を示します。

表19-6.はWGM22~0ビットが高速PWM動作に設定される時のCOM2B1,0ビットの機能を示します。

表19-7.はWGM22~0ビットが位相基準PWM動作に設定される時のCOM2B1,0ビットの機能を示します。

表19-5. 非PWM動作比較B出力選択

COM2B1	COM2B0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC2B切断)
0	1	比較一致でOC2Bピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でOC2Bピン Lowレベル出力
1	1	比較一致でOC2Bピン Highレベル出力

表19-7. 位相基準PWM動作比較B出力選択 (共通注意参照)

COM2B1	COM2B0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC2B切断)
0	1	(予約)
1	0	上昇計数時の比較一致でLow、下降計数時の比較一致でHighをOC2Bピンへ出力
1	1	上昇計数時の比較一致でHigh、下降計数時の比較一致でLowをOC2Bピンへ出力

表19-6. 高速PWM動作比較B出力選択 (共通注意参照)

COM2B1	COM2B0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC2B切断)
0	1	(予約)
1	0	比較一致でLow、BOTTOMでHighをOC2Bピンへ出力 (非反転動作)
1	1	比較一致でHigh、BOTTOMでLowをOC2Bピンへ出力 (反転動作)

共通注意: COM2x1が設定(1)され、対応するOCR2xがTOPと等しい時に特別な状態が起きます。この状態での比較一致は無視されますが、BOTTOMまたはTOPでの設定(1)または解除(0)は行われます。より多くの詳細については126頁の「高速PWM動作」または127頁の「位相基準PWM動作」をご覧ください。(表19-3,4,6,7.各々での注:を纏めました。)

●ビット3,2 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット1,0 – WGM21,0 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 1 and 0)

タイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCR2B)で得られるWGM22ビットと組み合わせたこれらのビットはカウンタの計数順序(方向)、最大カウンタ(TOP)値の供給元、使われるべき波形生成のどの形式かを制御します(表19-8参照)。タイマ/カウンタ部によって支援される動作種別は標準動作(カウンタ)、比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作と2形式のパルス幅変調(PWM)動作です。125頁の「動作種別」をご覧ください。

表19-8. 波形生成種別選択

番号	WGM22	WGM21	WGM20	タイマ/カウンタ動作種別	TOP値	OCR2x更新時	TOV2設定時
0	0	0	0	標準動作	\$FF	即時	MAX
1	0	0	1	8ビット位相基準PWM動作	\$FF	TOP	BOTTOM
2	0	1	0	比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作	OCR2A	即時	MAX
3	0	1	1	8ビット高速PWM動作	\$FF	BOTTOM	MAX
4	1	0	0	(予約)	–	–	–
5	1	0	1	位相基準PWM動作	OCR2A	TOP	BOTTOM
6	1	1	0	(予約)	–	–	–
7	1	1	1	高速PWM動作	OCR2A	BOTTOM	TOP

注: MAX=\$FF、BOTTOM=\$00です。

19.11.2. TCCR2B – タイマ/カウンタ2制御レジスタB (Timer/Counter2 Control Register B)

ビット (\$B1)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC2A	FOC2B	–	–	WGM22	CS22	CS21	CS20	TCCR2B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7 – FOC2A : OC2A強制変更 (Force Output Compare A)

FOC2AビットはWGM22~0ビットが非PWM動作を指示する時だけ有効です。

けれども将来のデバイスとの共通性を保証するため、PWM動作で扱う時にTCCR2Bが書かれる場合、このビットは0に設定されなければなりません。FOC2Aビットに論理1を書くと、波形生成部で直ちに比較一致が強制されます。OC2A出力はCOM2A1,0ビット設定に従って変更されます。FOC2Aビットがスロープとして実行されることに注意してください。従って強制した比較の効果を決めるのはCOM2A1,0ビットに存在する値です。

FOC2Aスロープは何れの割り込みの生成もTOPとしてOCR2Aを使う比較一致タイマ解除(CTC)動作でのタイマ/カウンタの解除(\$00)も行いません。

FOC2Aビットは常に0として読みます。

●ビット6 – FOC2B : OC2B強制変更 (Force Output Compare B)

FOC2BビットはWGM22~0ビットが非PWM動作を指示する時だけ有効です。

けれども将来のデバイスとの共通性を保証するため、PWM動作で扱う時にTCCR2Bが書かれる場合、このビットは0に設定されなければなりません。FOC2Bビットに論理1を書くと、波形生成部で直ちに比較一致が強制されます。OC2B出力はCOM2B1,0ビット設定に従って変更されます。FOC2Bビットがスロープとして実行されることに注意してください。従って強制した比較の効果を決めるのはCOM2B1,0ビットに存在する値です。

FOC2Bスロープは何れの割り込みの生成も行いません。

FOC2Bビットは常に0として読みます。

●ビット5,4 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット3 – WGM22 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 2)

131頁の「TCCR2A – タイマ/カウンタ制御レジスタA」のWGM21,0ビット記述をご覧ください。

●ビット2~0 – CS22~0 : クロック選択2 (Clock Select2, bit 2,1 and 0)

この3つのクロック選択ビットはタイマ/カウンタ(TCNT2)によって使われるクロック元を選びます。表19-9をご覧ください。

表19-9. タイマ/カウンタ2入力クロック選択

CS22	CS21	CS20	意味
0	0	0	停止 (タイマ/カウンタ2動作停止)
0	0	1	clk _{T2S} (前置分周なし)
0	1	0	clk _{T2S} /8 (8分周)
0	1	1	clk _{T2S} /32 (32分周)
1	0	0	clk _{T2S} /64 (64分周)
1	0	1	clk _{T2S} /128 (128分周)
1	1	0	clk _{T2S} /256 (256分周)
1	1	1	clk _{T2S} /1024 (1024分周)

19.11.3. TCNT2 – タイマ/カウンタ2 (Timer/Counter2)

ビット (\$B2)	7 (MSB)	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)	TCNT2
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

このタイマ/カウンタレジスタは読み書き両方の操作について、タイマ/カウンタ部の8ビットカウンタに直接アクセスします。TCNT2への書き込みは次のタイマ/カウンタクロックでの比較一致を妨害(除去)します。カウンタが走行中にカウンタ(TCNT2)を変更することは、TCNT2とOCR2x間の比較一致消失の危険を誘発します。

19.11.4. OCR2A – タイマ/カウンタ2 比較Aレジスタ (Timer/Counter2 Output Compare A Register)

ビット (\$B3)	7 (MSB)	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)	OCR2A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この比較レジスタは継続的にカウンタ(TCNT2)値と比較される8ビットの値を含みます。一致は比較一致割り込みやOC2Aピンでの波形出力を生成するのに使えます。

19.11.5. OCR2B – タイマ/カウンタ2 比較Bレジスタ (Timer/Counter2 Output Compare B Register)

ビット (\$B4)	7 (MSB)	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)	OCR2B
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この比較レジスタは継続的にカウンタ(TCNT2)値と比較される8ビットの値を含みます。一致は比較一致割り込みやOC2Bピンでの波形出力を生成するのに使えます。

19.11.6. TIMSK2 – タイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ (Timer/Counter 2 Interrupt Mask Register)

ビット (\$70)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	–	–	–	OCIE2B	OCIE2A	TOIE2	TIMSK2
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット2 – OCIE2B : タイマ/カウンタ2比較B割り込み許可 (Timer/Counter2 Output Compare Match B Interrupt Enable)

OCIE2Bビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ2比較B一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ2で比較B一致が起こる、即ちタイマ/カウンタ2割り込み要求フラグレジスタ(TIFR2)で比較B割り込み要求フラグ(OCF2B)が設定(1)されると、対応する割り込みが実行されます。

● ビット1 – OCIE2A : タイマ/カウンタ2比較A割り込み許可 (Timer/Counter2 Output Compare Match A Interrupt Enable)

OCIE2Aビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ2比較A一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ2で比較A一致が起こる、即ちタイマ/カウンタ2割り込み要求フラグレジスタ(TIFR2)で比較A割り込み要求フラグ(OCF2A)が設定(1)されると、対応する割り込みが実行されます。

● ビット0 – TOIE2 : タイマ/カウンタ2溢れ割り込み許可 (Timer/Counter2 Overflow Interrupt Enable)

TOIE2ビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されると、タイマ/カウンタ2溢れ割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ2溢れが起こる、即ちタイマ/カウンタ2割り込み要求フラグレジスタ(TIFR2)でタイマ/カウンタ2溢れ割り込み要求(TOV2)フラグが設定(1)されると、対応する割り込みが実行されます。

19.11.7. TIFR2 – タイマ/カウンタ2割り込み要求フラグレジスタ (Timer/Counter 2 Interrupt Flag Register)

ビット \$17 (\$37)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	–	–	–	–	OCF2B	OCF2A	TOV2	TIFR2
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～3 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

● ビット2 – OCF2B : タイマ/カウンタ2比較B割り込み要求フラグ (Timer/Counter2, Output Compare B Match Flag)

OCF2Bビットは比較一致がタイマ/カウンタ(TCNT2)と比較レジスタ(OCR2B)間で起こる時に設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、OCF2Bはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもOCF2Bは解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット、タイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ(TIMSK2)のタイマ/カウンタ2比較B一致割り込み許可(OCIE2B)ビット、OCF2Bが設定(1)されると、タイマ/カウンタ2比較B一致割り込みが実行されます。

● ビット1 – OCF2A : タイマ/カウンタ2比較A割り込み要求フラグ (Timer/Counter2, Output Compare A Match Flag)

OCF2Aビットは比較一致がタイマ/カウンタ(TCNT2)と比較レジスタ(OCR2A)間で起こる時に設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、OCF2Aはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもOCF2Aは解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット、タイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ(TIMSK2)のタイマ/カウンタ2比較A一致割り込み許可(OCIE2A)ビット、OCF2Aが設定(1)されると、タイマ/カウンタ2比較A一致割り込みが実行されます。

● ビット0 – TOV2 : タイマ/カウンタ2溢れ割り込み要求フラグ (Timer/Counter2 Overflow Flag)

TOV2ビットはタイマ/カウンタ(TCNT2)溢れが起こる時に設定(1)されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、TOV2はハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもTOV2は解除(0)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット、タイマ/カウンタ2割り込み許可レジスタ(TIMSK2)のタイマ/カウンタ2溢れ割り込み許可(TOIE2)ビット、TOV2が設定(1)されると、タイマ/カウンタ2溢れ割り込みが実行されます。位相基準PWM動作ではタイマ/カウンタ2が\$00で計数方向を変える時にこのビットが設定(1)されます。

これらフラグの設定はWGM22～0ビット設定に依存します。132頁の波形生成種別ビット記述の表19-8を参照してください。

19.11.8. ASSR – タイマ/カウンタ2非同期状態レジスタ (Timer/Counter2 Asynchronous Status Register)

ビット (\$B6)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	EXCLK	AS2	TCN2UB	OCR2AUB	OCR2BUB	TCR2AUB	TCR2BUB	ASSR
Read/Write	R	R/W	R/W	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● **ビット7 – Res : 予約 (Reserved bit)**

このビットは予約されており、常に0として読みます。

● **ビット6 – EXCLK : 外部クロック信号許可 (Enable External Clock Input)**

EXCLKが1を書かれ、非同期クロックが選ばれると、外部クロック入力緩衝部が許可され、32kHzクリスタルの代わりに外部クロックがタイマ発振器1(TOSC1)ピンへ入力できます。EXCLKへの書き込みは非同期動作が選ばれる前に行うべきです。クリスタル発振器はこのビットが0の時にだけ走行(動作)することに注意してください。

● **ビット5 – AS2 : タイマ/カウンタ2非同期動作許可 (Asynchronous Timer/Counter2)**

AS2が0を書かれると、タイマ/カウンタ2はI/Oクロック(clk_{I/O})からクロック駆動されます。AS2が1を書かれると、タイマ/カウンタ2はタイマ発振器(TOSC1,TOSC2)ピンに接続されたクリスタル発振器からクロック駆動されます。AS2の値が変更されると、**タイマ/カウンタ2(TCNT2)**、比較レジスタ(OCR2A,OCR2B)、タイマ/カウンタ2制御レジスタ(TCCR2A,TCCR2B)の内容は不正にされるかもしれません。

● **ビット4 – TCN2UB : タイマ/カウンタ2更新中フラグ (Timer/Counter2 Update Busy)**

タイマ/カウンタ2が非同期に動き、タイマ/カウンタ2(TCNT2)が書かれると、このビットが設定(1)になります。TCNT2が一時保存レジスタから更新されてしまうと、このビットはハードウェアによって解除(0)されます。このビットの論理0はTCNT2が新しい値で更新される用意ができたことを示します。

● **ビット3 – OCR2AUB : タイマ/カウンタ2比較Aレジスタ更新中フラグ (Output Compare A Register2 Update Busy)**

タイマ/カウンタ2が非同期に動き、比較Aレジスタ(OCR2A)が書かれると、このビットが設定(1)になります。OCR2Aが一時保存レジスタから更新されてしまうと、このビットはハードウェアによって解除(0)されます。このビットの論理0はOCR2Aが新しい値で更新される用意ができたことを示します。

● **ビット2 – OCR2BUB : タイマ/カウンタ2比較Bレジスタ更新中フラグ (Output Compare B Register2 Update Busy)**

タイマ/カウンタ2が非同期に動き、比較Bレジスタ(OCR2B)が書かれると、このビットが設定(1)になります。OCR2Bが一時保存レジスタから更新されてしまうと、このビットはハードウェアによって解除(0)されます。このビットの論理0はOCR2Bが新しい値で更新される用意ができたことを示します。

● **ビット1 – TCR2AUB : タイマ/カウンタ2制御レジスタA更新中フラグ (Timer/Counter2 Control Register A Update Busy)**

タイマ/カウンタ2が非同期に動き、タイマ/カウンタ2制御レジスタA(TCCR2A)が書かれると、このビットが設定(1)になります。TCCR2Aが一時保存レジスタから更新されてしまうと、このビットはハードウェアによって解除(0)されます。このビットの論理0はTCCR2Aが新しい値で更新される用意ができたことを示します。

● **ビット0 – TCR2BUB : タイマ/カウンタ2制御レジスタB更新中フラグ (Timer/Counter2 Control Register B Update Busy)**

タイマ/カウンタ2が非同期に動き、タイマ/カウンタ2制御レジスタB(TCCR2B)が書かれると、このビットが設定(1)になります。TCCR2Bが一時保存レジスタから更新されてしまうと、このビットはハードウェアによって解除(0)されます。このビットの論理0はTCCR2Bが新しい値で更新される用意ができたことを示します。

更新中フラグが設定(1)中に3つのタイマ/カウンタ2 レジスタのどれかに書き込みが実行されると、更新された値は不正にされ、予期せぬ割り込みを起こす原因になるかもしれません。

TCNT2,OCR2A,OCR2B,TCCR2A,TCCR2B読み込みについての機構は異なります。TCNT2を読む時は実際のタイマ/カウンタ値が読まれ、OCR2A,OCR2B,TCCR2A,TCCR2Bを読む時は一時保存レジスタの値が読まれます。

19.11.9. GTCCR – 一般タイマ/カウンタ制御レジスタ (General Timer/Counter Control Register)

ビット \$23 (\$43)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TSM	–	–	–	–	–	PSRASY	PSRSYNC	GTCCR
Read/Write	R/W	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● **ビット1 – PSRASY : 非同期系タイマ/カウンタ前置分周器リセット (Prescaler Reset Timer/Counter2)**

このビットが1の時にタイマ/カウンタ2の前置分周器はリセットします。通常、このビットはハードウェアによって直ちに解除(0)されます。タイマ/カウンタ2が非同期動作の時にこのビットが(1)を書かれると、このビットは前置分周器がリセットされてしまうまで1に留まります。TSMビットが設定(1)される場合、このビットはハードウェアによって解除(0)されません。タイマ/カウンタ同期(同時)動作の記載については119頁の「**ビット7 – TSM : タイマ/カウンタ同時動作**」の記述を参照してください。

20. 直列周辺インターフェース (SPI: Serial Peripheral Interface)

直列周辺インターフェースはATmega640/1280/1281/2560/2561と様々なAVRデバイスや周辺デバイス間の高速同期データ転送を許します。SPIは次の特徴を含みます。

- ・全二重3線同期データ転送
- ・主装置/従装置動作
- ・LSB/MSB先行データ転送
- ・設定変更可能な7つのビット速度
- ・送信完了割り込み要求フラグ
- ・送信上書きフラグ保護
- ・アイドル動作からの起動
- ・倍速(CK/2)主装置SPI動作

USARTはSPI主装置動作も使えます。[158頁の「USARTでのSPI動作」](#)をご覧ください。[38頁の「PRR0 - 電力削減レジスタ」](#)のPRSPIビットはSPI部を許可するために0を書かれなければなりません。

SPIでの主装置と従装置のCPU間相互連結は[図20-2](#)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主装置は希望した従装置のSS(従装置選択)ピンをLowへ引き込む時に一群の通信を開始します。主装置と従装置は各々の移動レジスタに送出すべきデータを用意し、主装置はデータを交換するのに必要なクロックパルスをSCK信号線に生成します。データは常にMOSI(Master Out Slave In)信号線を主装置から従装置へ、MISO(Master In Slave Out)信号線を従装置から主装置へ移動されます。各データパケット後、主装置はSS(従装置選択)ピンをHighへ引き上げることによって従装置と同期を取ります。

主装置として設定されると、SPIインターフェースにはSS信号線の自動制御がありません。これは通信が開始できるのに先立って使用者ソフトウェアによって操作されなければなりません。これが行われると、SPIデータレジスタ(SPDR)へのバイト書き込みがSPIクロック発生器を始動し、ハードウェアが従装置内へ8ビットを移動します。1バイトの移動後、SPIクロック発生器は停止し、SPI状態レジスタ(SPSR)の転送完了フラグ(SPIF)を設定(1)します。SPI制御レジスタ(PCR)でSPI割り込み許可(SPIE)ビットが設定(1)されていれば割り込みが要求されます。主装置はSPDR内へ次バイトを書くことによって次バイトの移動を継続、またはSS(従装置選択)信号線をHighへ引き上げることによってパケットの終了を指示することができます。最後の到着バイトはその後の使用のため、緩衝レジスタ内に保持されます。

従装置として設定されると、SPIインターフェースはSSピンがHighに駆動される限り、MISOをHi-Zにした休止状態に留まります。この状態でプログラムはSPIデータレジスタ(SPDR)の内容を更新できますが、そのデータはSSピンがLowに駆動されるまでSCKピンでの到着クロックパルスによって移動出力されません。1バイトが完全に移動されてしまうと転送完了フラグ(SPIF)が設定(1)されます。PCRでSPI割り込み許可(SPIE)ビットが設定(1)されていれば割り込みが要求されます。従装置は受信データを読む前にSPDR内へ送られるべき次のデータの配置を続けられます。最後の到着バイトはその後の使用のため、緩衝レジスタ内に保持されます。

このシステムは送信側で単一緩衝、受信側で2重緩衝です。これは一連の移動全体が完了される前に送信されるべきバイトがSPIデータレジスタ(SPDR)へ書けないことを意味します。けれども、データを受信するとき、次のデータが完全に移動入力される前に受信したデータがSPIデータレジスタ(SPDR)から読まれなければなりません。さもなければ始めのバイトは失われます。

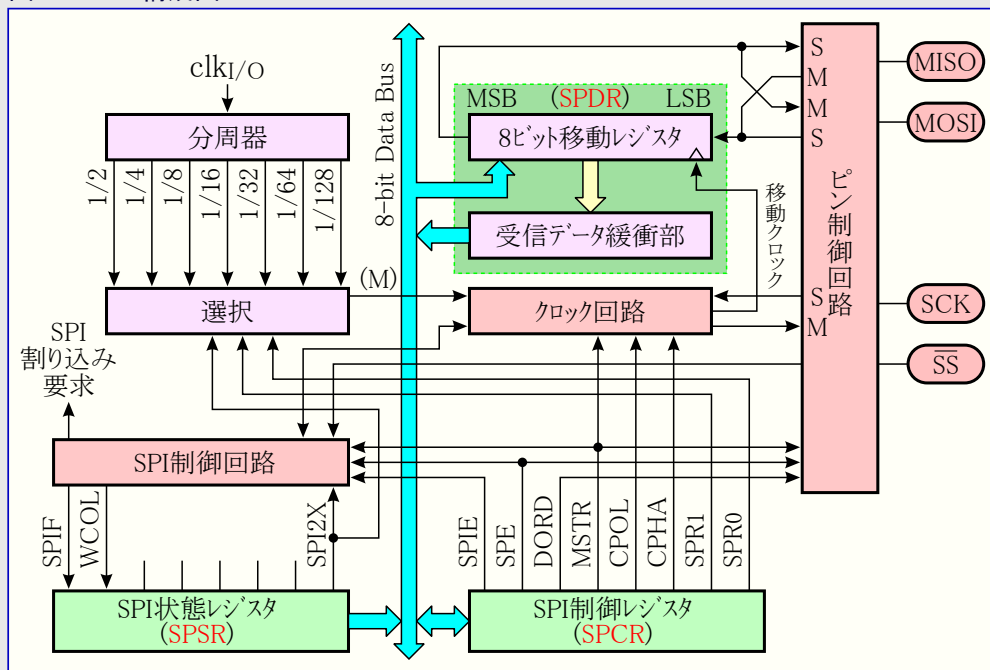
SPI従装置動作では制御論理回路がSCKピンの到着信号を採取します。このクロック信号の正しい採取を保証するため、LowとHighの最小周期は以下であるべきです。

Low周期 : 2 CPUクロック周期より長い

High周期 : 2 CPUクロック周期より長い

SPIが許可されると、MOSI, MISO, SCK, SSピンのデータ方向は表20-1に従って無視されます。自動的なポート無視のより多くの詳細については[58頁の「交換ポート機能」](#)を参照してください。

図20-1. SPI構成図



注: SPIピン配置については5頁の「ピン配置」と60頁の表14-6を参照してください。

図20-2. SPI 主装置/従装置の連結

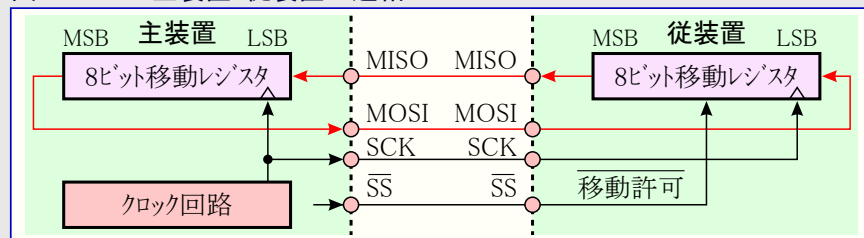


表20-1. SPIピン方向規定

ピン名	主装置時の方向規定	従装置時の方向規定
SCK	ポートB方向レジスタ(DDRB)の指定	入力
MISO	入力	ポートB方向レジスタ(DDRB)の指定
MOSI	ポートB方向レジスタ(DDRB)の指定	入力
SS	ポートB方向レジスタ(DDRB)の指定	入力

注: 使用者定義SPIピンの方向定義方法の詳細記述については60頁の「ポートBの交換機能」を参照してください。

次のコード例は主装置としてSPIを初期化する方法と簡単な送信を実行する方法を示します。例でのDDR_SPIはSPIピンを制御する実際のポート方向レジスタに置き換えられなければなりません。DD_MOSI, DD_MISO, DD_SCKはこれらのピンに対する実際のポート方向ビットに置き換えられなければなりません。例えばMOSIがPB5ピンに配置されるなら、DD_MOSIはDDB5、DDR_SPIはDDRBに置き換えます。

アセンブリ言語プログラム例

```
SPI_M_Init:  LDI    R17, (1<<DD_MOSI) | (1<<DD_SCK)      ;MOSI, SCK=出力、他は入力値を取得
              OUT    DDR_SPI, R17                        ;MOSI, SCK=出力、他は入力に設定
              LDI    R17, (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<SPR0)  ;SPI許可、主装置、16分周値を取得
              OUT    SPCR, R17                          ;SPI許可、主装置、16分周に設定
              RET                                         ;呼び出し元へ復帰

SPI_M_Tx:    OUT    SPDR, R16                            ;データ(R16)送信開始
SPI_M_Tx_W:  SBIS    SPSR, SPIF                          ;転送完了ならばスキップ
              RJMP   SPI_M_Tx_W                        ;転送完了まで待機
;
              RET                                         ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void SPI_MasterInit(void)
{
    DDR_SPI = (1<<DD_MOSI) | (1<<DD_SCK);                /* MOSI, SCK=出力、他は入力に設定 */
    SPCR = (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<SPR0);              /* SPI許可、主装置、16分周に設定 */
}

void SPI_MasterTransmit(char cData)
{
    SPDR = cData;                                          /* データ送信開始 */
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));                          /* 転送完了まで待機 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

次のコード例は従装置としてSPIを初期化する方法と簡単な受信を実行する方法を示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
SPI_S_Init:  LDI    R17, (1<<DD_MISO)                    ;MISO出力、他は入力値を取得
              OUT    DDR_SPI, R17                        ;MISO出力、他は入力に設定
              LDI    R17, (1<<SPE)                      ;SPI許可値を取得
              OUT    SPCR, R17                          ;SPI許可設定
              RET                                         ;呼び出し元へ復帰

SPI_S_Rx:    SBIS    SPSR, SPIF                          ;受信(転送)完了ならばスキップ
              RJMP   SPI_S_Rx                          ;受信(転送)完了まで待機
;
              IN     R16, SPDR                          ;受信データを取得
              RET                                         ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void SPI_SlaveInit(void)
{
    DDR_SPI = (1<<DD_MISO);                                /* MISO出力、他は入力に設定 */
    SPCR = (1<<SPE);                                       /* SPI許可設定 */
}

char SPI_SlaveReceive(void)
{
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));                            /* 受信(転送)完了まで待機 */
    return SPDR;                                          /* 受信データと共に復帰 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

20.1. \overline{SS} ピンの機能

20.1.1. 従装置動作

SPIが従装置として設定されると、従装置選択(\overline{SS})ピンは常に入力です。 \overline{SS} がLowに保たれるとSPIは活性に(作動)され、使用者によってそのように設定されていればMISOは出力になります。他の全てのピンは入力です。 \overline{SS} がHighに駆動されると、出力として使用者設定され得るMISOを除く全てのピンは入力、SPIは非活動で、それは到着データを受信しないことを意味します。一旦 \overline{SS} ピンがHighに駆動されると、SPI論理回路がリセットすることに注意してください。

この \overline{SS} ピンはパケット/バイト同期に対して、従装置ビット計数器が主装置クロック発生器との同期を保つのに有用です。 \overline{SS} ピンがHighに駆動されると、SPI従装置は直ちに送受信論理回路をリセットし、それは移動レジスタ内で部分的に受信したどのデータも取り落とします。

20.1.2. 主装置動作

SPIが主装置(SPI制御レジスタ(SPCR)の主装置許可(MSTR)ビット=1)として設定されると、 \overline{SS} ピンの方向は使用者が決められます。

\overline{SS} が出力として設定されると、このピンはSPIシステムに影響を及ぼされない標準出力ピンです。代表的にはこのピンがSPI従装置の \overline{SS} ピンを駆動するでしょう。

\overline{SS} が入力として設定されると、SPI主装置動作を保証するため、それはHighに保持されなければなりません。 \overline{SS} ピンが入力として定義されたSPI主装置として設定される時に周辺回路によって \overline{SS} ピンがLowに駆動されると、SPIシステムは他の主装置が従装置として選んでデータ送信を始めると解釈します。バスの衝突を避けるためにSPIシステムは次の動作を行います。

1. SPCRで主/従選択(MSTR)ビットが解除(0)され、SPIシステムは従装置になります。SPIシステムが従装置になる結果としてMOSIとSCKピンが入力になります。
2. SPI状態レジスタ(SPSR)でSPI割り込み要求フラグ(SPIF)が設定(1)され、そしてSPI割り込みが許可(SPCRのSPIE=1)され、且つステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)なら、割り込みルーチンが実行されます。

従って割り込み駆動SPI送信が主装置動作で使われ、 \overline{SS} がLowに駆動される可能性があるとき、その割り込み(処理)はMSTRビットが未だ設定(1)されていることを常に検査すべきです。MSTRビットが従装置選択によって解除(0)されてしまっていると、それはSPI主装置動作を再び許可するため、使用者によって設定(1)されなければなりません。

20.2. データ転送形式

直列データに関してはSPI制御レジスタ(SPCR)のSCK位相(CPHA)とSCK極性(CPOL)制御ビットによって決定されるSCK位相と極性で4つの組み合わせがあります。このSPIデータ転送形式は図20-3と図20-4で示されます。データビットは安定のためデータ信号に対して十分な時間を保証するSCK信号の反対端で移動出力と(入力)ラッチが行われます。これは以下で行われるように表20-3と表20-4を要約することによって明解にされます。

表20-2. CPOL,CPHA機能動作

SPI動作種別番号	CPOL	CPHA	SCK先行端	SCK後行端
0	0	0	入力採取/上昇端	出力設定/下降端
1	0	1	出力設定/上昇端	入力採取/下降端
2	1	0	入力採取/下降端	出力設定/上昇端
3	1	1	出力設定/下降端	入力採取/上昇端

図20-3. SPIデータ転送形式 (CPHA=0)

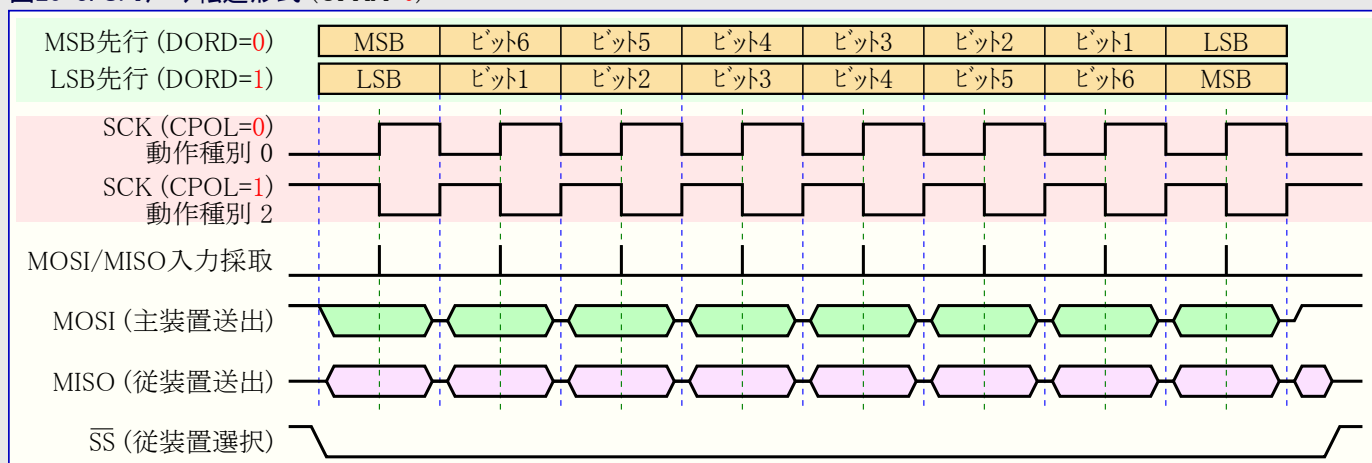
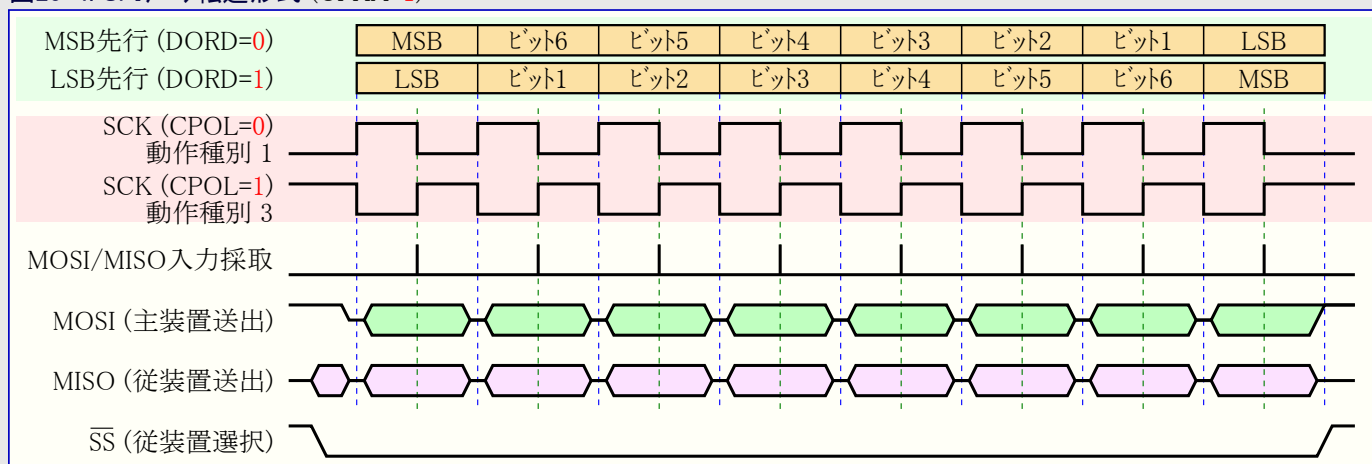


図20-4. SPIデータ転送形式 (CPHA=1)



20.3. SPI用レジスタ

20.3.1. SPGR – SPI制御レジスタ (SPI Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2C (\$4C)	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	SPGR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – SPIE : SPI割り込み許可 (SPI Interrupt Enable)

ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されて、SPI状態レジスタ(SPSR)でSPI割り込み要求フラグ(SPIF)が設定(1)されると、このビットがSPI割り込みを実行させます。

● ビット6 – SPE : SPI許可 (SPI Enable)

SPEビットが1を書かれるとSPIが許可されます。どのSPI操作を許可するにも、このビットが設定(1)されなければなりません。

● ビット5 – DORD : データ順選択 (Data Order)

DORDビットが1を書かれるとデータ語のLSBが最初に転送されます。DORDビットが0を書かれるとMSBが最初に転送されます。

● ビット4 – MSTR : 主装置/従装置選択 (Master/Slave Select)

このビットは1を書かれると主装置動作、論理0を書かれると従装置動作を選びます。SSが入力として設定され、MSTRが設定(1)の間にLowへ駆動されると、MSTRが解除(0)され、SPI状態レジスタ(SPSR)でSPI割り込み要求フラグ(SPIF)が設定(1)になります。その後に使用者はSPI主装置動作を再び許可するためにMSTRを設定(1)しなければなりません。

● ビット3 – CPOL : SCK極性選択 (Clock Polarity)

このビットが1を書かれると、アイドル時にSCKはHighです。CPOLが0を書かれると、アイドル時にSCKはLowです。例については図20-3.と図20-4.を参照してください。CPOL機能は右で要約されます。

表20-3. CPOL機能動作

CPOL	SCK先行端	SCK後行端
0	上昇端	下降端
1	下降端	上昇端

● ビット2 – CPHA : SCK位相選択 (Clock Phase)

このSCK位相選択(CPHA)ビットの設定はデータがSCKの先行(先)端または後行(後)端で採取/(設定)されるかを決めます。例については図20-3.と図20-4.を参照してください。CPHA機能は右で要約されます。

表20-4. CPHA機能動作

CPHA	SCK先行端	SCK後行端
0	入力採取	出力設定
1	出力設定	入力採取

● ビット1,0 – SPR1,0 : SPIクロック選択 (SPI Clock Rate Select 1 and 0)

これら2ビットは主装置として設定されたデバイスのSCK速度を制御します。従装置でのSPR1とSPR0は無効です。SCKと(システム)発振器クロック周波数f_{OSC}間の関連は表20-5.で示されます。

表20-5. SCK速度選択 (f_{OSC}=CPUクロック周波数)

SPR1	0	0	1	1
SPR0	0	1	0	1
SPI2X	1	0	1	0
SCK周波数	f _{OSC} /2	f _{OSC} /4	f _{OSC} /8	f _{OSC} /16
	f _{OSC} /32	f _{OSC} /64	f _{OSC} /128	

20.3.2. SPSR – SPI状態レジスタ (SPI Status Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2D (\$4D)	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	SPSR
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – SPIF : SPI割り込み要求フラグ (SPI Interrupt Flag)

直列転送が完了すると、このSPIFフラグが設定(1)されます。全割り込みが許可(ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット=1)されて、SPI制御レジスタ(SPGR)でSPI割り込み許可(SPIE)ビットが設定(1)されるなら、割り込みが生成されます。SPIが主装置動作の時にSSピンが入力でLowに駆動されるなら、これもこのSPIFフラグを同様に設定(1)します。対応する割り込み処理ベクタを実行する時にSPIFはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにSPIFが設定(1)されたSPI状態レジスタ(SPSR)を始めに読み、その後にSPIデータレジスタ(SPD R)にアクセスすることによってもSPIFフラグは解除(0)されます。

●ビット6 – WCOL : 上書き発生フラグ (Write Collision Flag)

データ転送中にSPIデータレジスタ(SPDR)が書かれると、このWCOLビットが設定(1)されます。WCOLビット(とSPIFビット)はWCOLが設定(1)されたSPI状態レジスタ(PSR)を始めに読み、その後にSPIデータレジスタ(SPDR)をアクセスすることによって解除(0)されます。

●ビット5~1 – Res : 予約 (Reserved Bit)

これらのビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット0 – SPI2X : SPI倍速許可 (Double SPI Speed Bit)

このビットが論理1を書かれると、SPIが主装置動作の時にSCK速度(SCK周波数)が倍にされます(表20-5参照)。これは最小SCK周期が2 CPUクロック周期であることを意味します。SPIが従装置として設定される時にSPIはf_{OSC}(CPUクロック周波数)/4またはそれ以下での動作のみ保証されます。

ATmega640/1280/1281/2560/2561のSPIインターフェースはフラッシュメモリやEEPROMの書き換え(読み書き)にも使われます。直列プログラミングと照合については230頁をご覧ください。

20.3.3. SPDR – SPIデータレジスタ (SPI Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2E (\$4E)	(MSB)							(LSB)	SPDR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	不定	

SPIデータレジスタはSPI移動レジスタとレジスタファイル(汎用レジスタ)間のデータ転送に使われる読み書き可能なレジスタです。このレジスタへの書き込みがデータ送信を開始します。このレジスタの読み込みは移動レジスタの受信緩衝部読み出しを引き起こします。

21. USART (USART0,USART1,USART2,USART3)

21.1. 特徴

- ・全二重動作 (独立した送受信レジスタ)
- ・同期または非同期動作
- ・同期クロック駆動された主装置/従装置動作
- ・高分解能**ボーレート発振器**
- ・5, 6, 7, 8または9ビット データと1または2停止ビットの直列フレームの支援
- ・ハードウェアによって支援された奇数または偶数パリティの生成と検査
- ・データ オーバーラン検出
- ・フレーミング異常検出
- ・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器
- ・受信完了、送信完了、送信データ レジスタ空きの3つの分離した割り込み
- ・複数**プロセス通信機能**
- ・倍速**非同期通信動作**

21.2. 概要

USART(Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter)は高い柔軟性をもつ直列通信機能です。

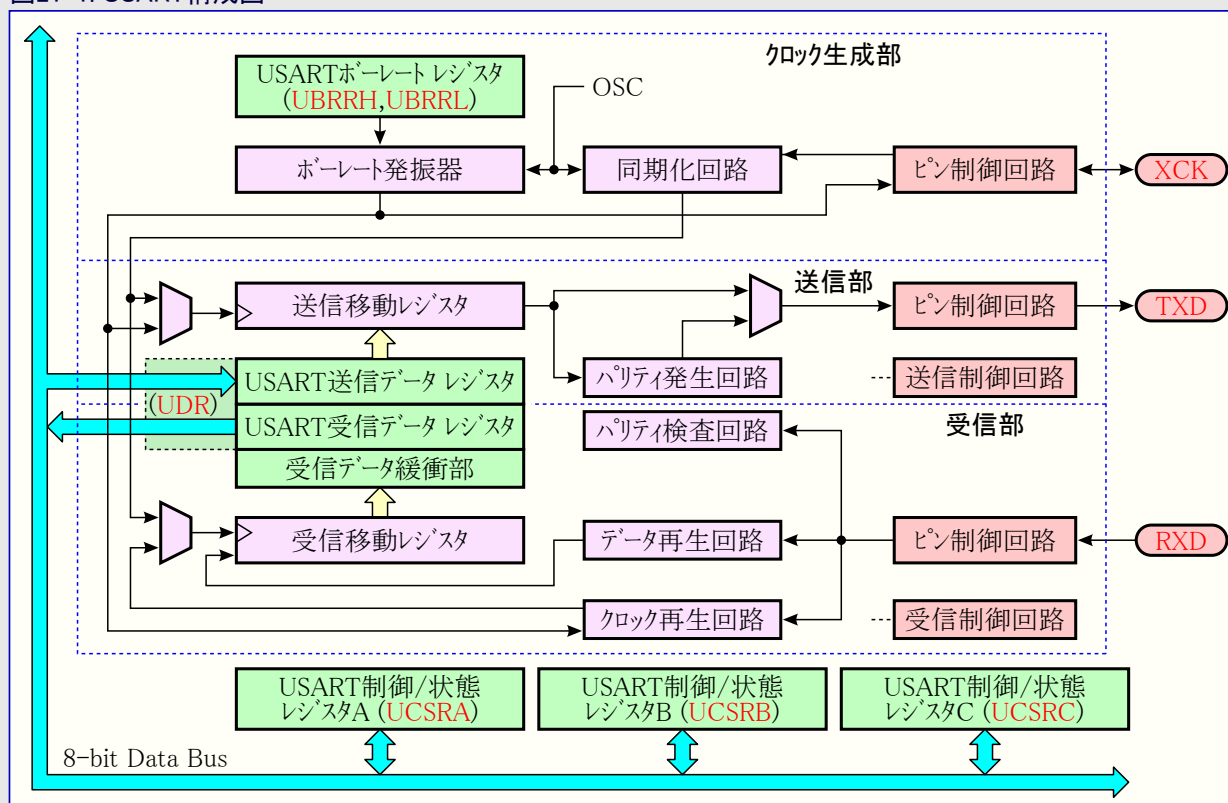
ATmega1281/2561にはUSART0とUSART1の2つのUSARTがあります。ATmega640/1280/2560には更にUSART2とUSART3の合計4つのUSARTがあります。これら全てのUSARTに関する機能が以下で記述されます。(訳注:原書に対して前3行分修正)USART0, USART1,USART2,USART3は268頁の「**レジスタ要約**」で示されるように個別のI/Oレジスタを持ちます。

USARTの簡略構成図は図21-1.で示されます。CPUがアクセス可能なレジスタとI/Oピンは**赤字**(訳注:原文は太字)で示されます。

USARTは主装置SPI動作での使用もできます。158頁の「**USARTでのSPI動作**」をご覧ください。

38頁での「**PRR0 – 電力削減レジスタ**」のUSART0電力削減(PRUSART0)ビットはUSART0部を許可するために**0**を書かれなければなりません。同様に39頁での「**PRR1 – 電力削減レジスタ**」のPRUSART1,PRUSART2,PRUSART3ビットは各々USART1,2,3部を許可するために**0**を書かれなければなりません。

図21-1. USART構成図



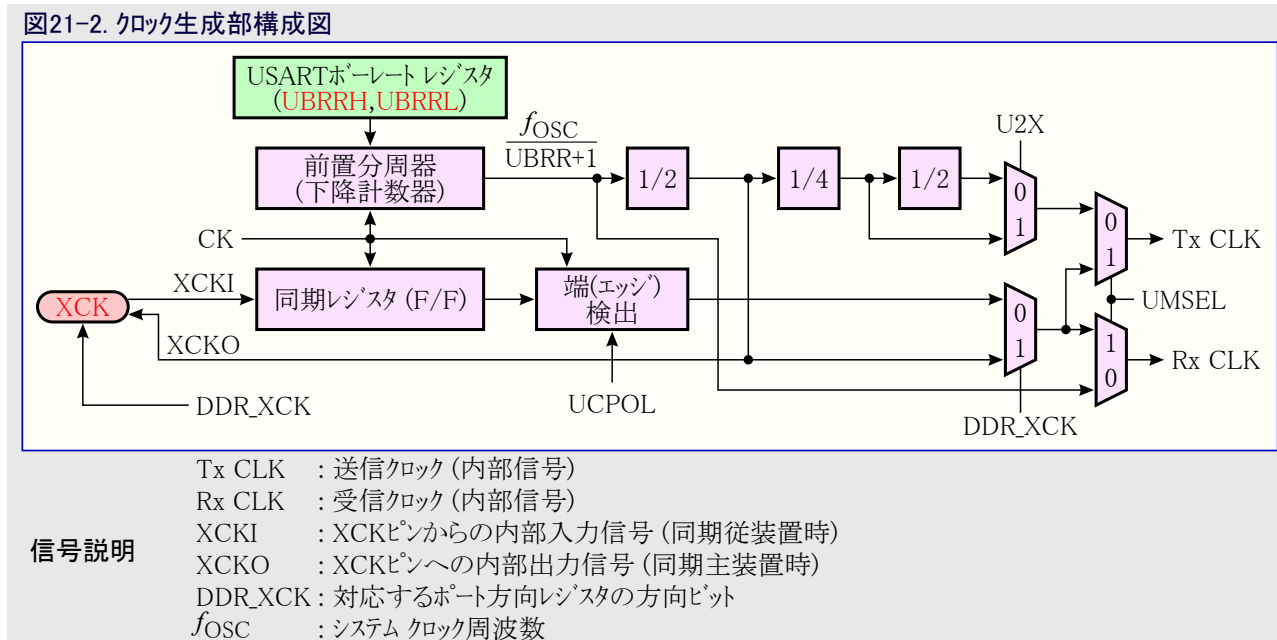
注: USARTピン配置については5頁の「**ピン配置**」、63頁の表14-12、65頁の表14-15、70頁の表14-24、72頁の表14-27をご覧ください。

構成図内の破線はUSARTの3つの主要部分、(上から)クロック生成部、送信部、受信部を分けます。制御レジスタは全部によって共用されます。**クロック生成論理部**はボーレート発振器と同期従装置動作によって使われる外部クロック入力に対する同期化論理回路から成ります。転送クロック(XCKn)ピンは同期転送動作だけで使われます。送信部は単一書き込み緩衝部(UDRn)、直列移動レジスタ、パリティ発生器、異なる**直列フレーム形式**を扱うための制御論理回路から成ります。書き込み緩衝部はどんなフレーム間の遅れもなしにデータの継続転送を許します。受信部はクロックとデータの再生部のため、USART部の最も複雑な部分です。再生部は非同期データ受信で使われます。再生部に加えて、受信部は2重の受信緩衝部(UDRn)、移動レジスタ、パリティ検査器、制御論理回路を含みます。受信部は送信部と同じフレーム形式を支援し、**フレーミング異常**、**データ オーバーラン発生**、**パリティ誤り**を検知できます。

21.3. クロック生成

クロック生成論理回路は送受信部用基準クロックを生成します。USARTは標準非同期、倍速非同期、同期主装置、同期従装置の4つのクロック動作種別を支援します。USART制御/状態レジスタC(UCSRnC)のUSART動作種別選択(UMSELn0)ビットは同期動作と非同期動作のどちらかを選びます。倍速動作(非同期動作のみ)はUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)にある倍速許可(U2Xn)ビットによって制御されます。同期動作(UMSELn0=1)を使うとき、XCKnピンに対する方向制御ビット(DDR_XCKn)はクロック元が内部(主装置動作)または外部(従装置動作)どちらかを制御します。このXCKnピンは同期動作を使う時だけ活性(有効)です。

図21-2.はクロック生成論理回路の構成図を示します。



21.3.1. ボーレート発振器での内部クロック発生

内部クロック生成は非同期と同期主装置動作種別に対して使われます。本項の記述は図21-2.を参照してください。

USARTボーレートレジスタ(UBRRn(UBRRnH:UBRRnL))と下降カウンタは設定可能な前置分周器またはボーレート発振器として機能するように接続されます。システムクロック(fOSC)で走行する下降カウンタは0への下降計数時毎またはUBRRnLレジスタが書かれる時にUBRRn値で設定されます。1クロックはカウンタが0に達する毎に生成されます。このクロックがボーレート発振器出力(=fOSC/(UBRRn+1))です。送信部は動作種別に依存してボーレート発振器出力を2,8,16分周します。ボーレート発振器出力は受信部クロックとデータ再生部によって直接使われます。しかし、再生部はUSART動作種別選択(UMSELn0)、倍速許可(U2Xn)、DDR_XCKnビットの状態によって設定される動作種別に依存して2,8,16段を使う順次処理回路を使います。

表21-1.は内部的に生成したクロック元を使う各動作種別に於けるボーレート(bps)とUBRRn値の計算式を含みます。

表21-1. ボーレートレジスタ(UBRRn)値計算式

動作種別	ボーレート計算式	UBRRn値計算式
標準速非同期動作 (U2Xn=0)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{16 \times (UBRRn+1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{16 \times BAUD} - 1$
倍速非同期動作 (U2Xn=1)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{8 \times (UBRRn+1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{8 \times BAUD} - 1$
同期主装置動作	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2 \times (UBRRn+1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{2 \times BAUD} - 1$

注: ボーレートは転送速度(ビット/1秒)で定義されます。

BAUD : ボーレート (bps)

UBRRn : UBRRnHとUBRRnLレジスタ値 (0~4095)

fOSC : システム発振器クロック周波数

いくつかのシステムクロック周波数に対するいくつかのUBRRn値の例は表21-9.で得られます(156~157頁参照)。

21.3.2. 倍速動作 (U2Xn)

転送速度はUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)で倍速許可(U2Xn)ビットを設定(1)することによって倍にできます。このビットの設定は非同期動作に対してだけ有効です。同期動作を使うとき、このビットは0に設定してください。

このビットの設定(1)は事実上非同期通信に対する転送速度を倍にするボーレート分周器の分周数を16から8に減らします。けれども受信部がデータ採取とクロック再生に対して半分の(16から8に減じた)採取数をこの場合だけ使い、従ってこの動作種別が使われる時はシステムクロックとボーレート設定の精度がより必要とされることに注意してください。送信部についての低下要因はありません。

21.3.3. 外部クロック

外部クロックは同期従装置動作種別によって使われます。本項の記述での詳細については図21-2を参照してください。

XCKnピンからの外部クロック入力是不確定レベル状態(メタステーブル)の機会を最少とするために同期化レジスタによって採取されます。同期化レジスタからの出力は送受信部で使い得るのに先立って端(エッジ)検出器を通過しなければなりません。この処理手順が2 CPUクロック周期の遅延を持ち込み、このため最大外部XCKnクロック周波数は次式によって制限されます。

$$f_{XCKn} < \frac{f_{OSC}}{4}$$

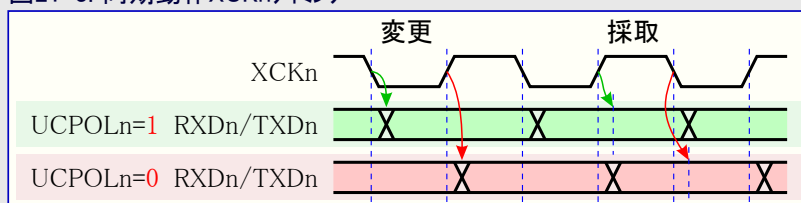
f_{OSC} がシステムクロック元の安定度に依存することに注意してください。従って周波数変動によるデータ消失の可能性を避けるため、いくらかの余裕分を追加することが推奨されます。

21.3.4. 同期クロック動作

同期動作が使われる(UMSELn=1)とき、XCKnピンはクロック入力(従装置)またはクロック出力(主装置)のどちらかとして使われます。データ採取またはデータ変更とクロック端間の依存性は同じです。基本原則はデータ出力(TXDn)が変更される端と反対のXCKnクロック端でデータ入力(RXDn)が採取されることです。

USART制御/状態レジスタC(UCSRnC)のXCKn極性(UCPOLn)ビットはデータ採取とデータ変更に対してどちらのクロック端が使われるのかを選びます。図21-3.で示されるようにUCPOLnが0のとき、データはXCKnの上昇端で変更され、下降端で採取されます。UCPOLnが設定(1)の場合、データはXCKnの下降端で変更され、上昇端で採取されます。

図21-3. 同期動作XCKnタイミング



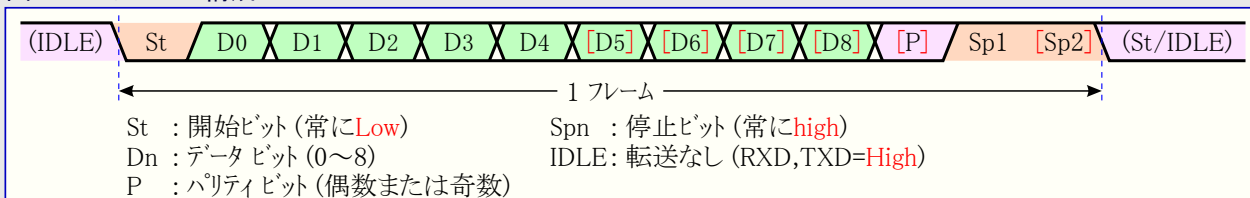
21.4. フレーム形式

1つの直列フレームは複数のデータビットと同期ビット(開始ビット、停止ビット)、任意の異常検査用パリティビットで定義されます。USARTは有効なフレーム形式として以下の組み合わせ30種全てを受け入れます。

- 1 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 または 2 停止ビット

フレームは最下位データビット(LSB)が次に続く開始ビットで始まります。その後次データビットが最後の最上位データビット(MSB)まで(最大合計9ビット続きます。許可したなら、パリティビットがデータビットの後、停止ビットの前に挿入されます。完全なフレームが送信されると、新規フレームによって直ちに後続されるか、または通信線をアイドル状態(high)に設定できます。図21-4.は組み合わせ可能なフレーム形式を図解します。[]付きビットは任意選択です。

図21-4. 1フレームの構成



USARTによって使われるフレーム形式はUSART制御/状態レジスタBとC(UCSRnB, UCSRnC)でデータ長選択(UCSZn2~0)ビット、パリティ選択(UPMn1,0)ビット、停止ビット選択(USBSn)ビットによって設定されます。受信部と送信部は同じ設定を使います。これらのどのビットの設定変更も、送受信部両方に対して進行中の通信を不正とすることに注意してください。

データ長選択(UCSZn2~0)ビットはフレーム内のデータビット数を選びます。パリティ選択(UPMn1,0)ビットはパリティビットの許可と種別(奇/偶)を設定します。1または2停止ビットのどちらかの選択は停止ビット選択(USBSn)ビットによって行います。受信部は第2停止ビットを無視します。従ってフレーミング異常(FEN)は最初の停止ビットが0(Low)の場合にだけ検出されます。

21.4.1. パリティビットの計算

パリティビットは全データビットの排他的論理和(Ex-OR)を行うことによって計算されます。奇数パリティが使われる場合は排他的論理和の結果が反転されます。パリティビットとデータビットの関係は次のとおりです。

偶数パリティビット = $D0 \text{ Ex-OR } D1 \text{ Ex-OR } D2 \text{ Ex-OR } \sim \text{Ex-OR } D_{n-1}$
 奇数パリティビット = $D0 \text{ Ex-OR } D1 \text{ Ex-OR } D2 \text{ Ex-OR } \sim \text{Ex-OR } D_{n-1} \text{ Ex-OR } 1$ n : データビット長

使った場合、パリティビットは直列フレームの最後のデータビットと最初の停止ビット間に配置されます。

21.5. USARTの初期化

何れかの通信が行えるのに先立ってUSARTは初期化されなければなりません。標準的な初期化手順は使用方法に依存するボーレート設定、フレーム形式設定、送受信部許可から成ります。割り込み駆動USART操作に関して初期化を行うとき、[ステータスレジスタの全割り込み許可\(0\)ビット](#)は解除(0)される(そして全割り込みが禁止される)べきです。

ボーレートまたはフレーム形式の変更を伴う再初期化を行う前には、レジスタが変更される期間中に進行中の送信がないことを確実にしてください。[USART制御/状態レジスタ\(UCSRnA\)の送信完了\(TXCn\)フラグ](#)は送信部の全転送完了検査に使え、[受信完了\(RXCn\)フラグ](#)は受信緩衝部内の未読データ有無検査に使えます。この目的(次送信タイミング)にTXCフラグが使われる場合、各々の送信([USARTデータレジスタ\(UDRn\)](#)が書かれる)前にTXCnフラグが解除(0)されなければならないことに注意してください。

次の簡単なUSART初期化コード例が示すアセンブリ言語とC言語の関数は機能的に同じです。この例は固定フレーム形式でボーリングを使う(割り込み不許可)非同期動作と仮定します。ボーレート(UBRRn)値は関数の引数として与えられます。アセンブリ言語でのボーレート引数はR17:R16レジスタに格納されると仮定されます。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Init:  OUT    UBRRnH, R17          ;ボーレート設定(上位バイト)
             OUT    UBRRnL, R16          ;ボーレート設定(下位バイト)
             LDI    R16, (1<<USBSn) | (3<<UCSZn0) ;フレーム形式値を取得
             OUT    UCSRnC, R16          ;フレーム形式設定(8ビット,2停止ビット)
             LDI    R16, (1<<RXENn) | (1<<TXENn) ;送受信許可値を取得
             OUT    UCSRnB, R16          ;送受信許可
             RET                          ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
#define FOSC 1843200          /* MCUクロック周波数 */
#define BAUD 9600             /* 目的USARTボーレート速度 */
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1 /* 目的UBRRn値 */

void main(void)
{
    ~~~~~
    USART_Init(MYUBRR);      /* USART初期化 */
    ~~~~~
}

void USART_Init(unsigned int baud)
{
    UBRRnH = (unsigned char) (baud>>8); /* ボーレート設定(上位バイト) */
    UBRRnL = (unsigned char) baud;       /* ボーレート設定(下位バイト) */
    UCSRnC = (1<<USBSn) | (3<<UCSZn0);  /* フレーム形式設定(8ビット,2停止ビット) */
    UCSRnB = (1<<RXENn) | (1<<TXENn);   /* 送受信許可 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

割り込みの禁止や引数としてフレーム形式を含めるなどで、より進化した初期化ルーチンが作成できます。けれども多くの応用はボーレートや制御レジスタの固定した設定が使われ、これらの応用形式での初期化コードは主ルーチンに直接置けるか、または他のI/Oの初期化コードと併せられます。

21.6. USARTのデータ送信

USART送信部はUSART制御/状態レジスタB(UCSRnB)で送信許可(TXENn)ビットを設定(1)することによって許可されます。送信部が許可されると、TXDnピンの標準ピン動作はUSARTによって無視され、送信部の直列出力としての機能を与えられます。何か送信を行う前に一度はボーレート、フレーム形式、動作種別が設定されなければなりません。同期動作が使われる場合、XCKnピンの(受信)クロックは無視され、送信クロックとして使われます。

21.6.1. 5～8ビットデータフレーム送信

データ送信は送信されるべきデータを送信緩衝部に設定することによって開始されます。CPUはUSARTデータレジスタ(UDRn)I/O位置へ書くことによって送信緩衝部に設定できます。送信緩衝部内のデータは移動レジスタが新規フレームを送る準備が整った時に移動レジスタへ移されます。移動レジスタはアイドル状態(送信進行中以外)、または直前のフレームの最後の停止ビット送信後、直ちに新規データが設定されます。移動レジスタが新規データを設定されると、ボーレートレジスタ(UBRRnH:UBRRnL)と倍速許可(U2Xn)ビット、また動作種別によってはXCKnピンによって与えられる速度で1つの完全なフレームを転送します。8ビット未満のフレームを使うとき、UDRnに書かれた上位ビットは無視されます。

次のコード例はUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の送信データレジスタ空き(UDREN)フラグのポーリングを基準とした簡単なUSART送信関数を示します。この関数が使われ得る前にUSARTが初期化されなければなりません。アセンブリ言語での送るべきデータはR16レジスタに格納されると仮定されます。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Tx:  SBIS    UCSRnA, UDREN      ;送信緩衝部空きでスキップ
           RJMP    USART_Tx          ;送信緩衝部空き待機
;
           OUT     UDRn, R16          ;データ送信(送信開始)
           RET                        ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void USART_Transmit(unsigned char data)
{
    while ( !(UCSRnA & (1<<UDREN)) ); /* 送信緩衝部空き待機 */
    UDRn = data;                       /* データ送信(送信開始) */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

この関数は送信されるべき新規データを設定する前に、UDRENの検査によって送信緩衝部が空になるのを単純に待ちます。送信緩衝部空き割り込みが使われる場合、その割り込み処理ルーチンがデータを緩衝部に書き込みます。

21.6.2. 9ビットデータフレーム送信

9ビットデータが使われる場合(UCSZn2=0=111)、データの下位バイトがUSARTデータレジスタ(UDRn)に書かれるのに先立って第9ビットがUSART制御/状態レジスタB(UCSRnB)の送信データビット8(TXB8n)ビットに書かれなければなりません。次のコード例は9ビットデータを扱う送信関数を示します。アセンブリ言語での送るべきデータはR17:R16レジスタに格納されると仮定されます。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Tx:  SBIS    UCSRnA, UDREN      ;送信緩衝部空きでスキップ
           RJMP    USART_Tx          ;送信緩衝部空き待機
;
           CBI     UCSRnB, TXB8n      ;第9ビットを0に仮設定
           SBRC    R17, 0             ;送信すべき第9ビットが0でスキップ
           SBI     UCSRnB, TXB8n      ;第9ビットを1に設定
           OUT     UDRn, R16          ;データ送信(送信開始)
           RET                        ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void USART_Transmit(unsigned int data)
{
    while ( !(UCSRnA & (1<<UDREN)) ); /* 送信緩衝部空き待機 */
    UCSRnB &= ~(1<<TXB8n);           /* TXB8nを0に仮設定 */
    if (data & 0x0100) UCSRnB |= (1<<TXB8n); /* 第9ビットをR17からTXB8nへ複写 */
    UDRn = data;                       /* データ送信(送信開始) */
}
```

注: これらの送信関数は一般的な機能で書かれています。UCSRBnの内容が静的(換言すると、UCSRnBのTXB8nビットが初期化後に使われるだけ)ならば最適化できます。

10頁の「コード例について」をご覧ください。

第9ビットは複数プロセッサ通信使用時のアドレスフレーム識別、また例えば同期として扱う他の規約で使うことができます。

21.6.3. 送信フラグと割り込み

USART送信部には状態を示す2つのフラグ、USARTデータレジスタ空き(UDREN)と送信完了(TXCn)があります。両フラグは割り込みを発生するのに使えます。

USARTデータレジスタ空き(UDREN)フラグは送信緩衝部が新規データを受け取る準備ができていないかどうかを示します。このビットは送信緩衝部が空の時に設定(1)され、送信緩衝部が移動レジスタに未だ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解除(0)されます。将来のデバイスとの共通性のため、USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)に書くとき、常にこのビットに0を書いてください。

USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)でデータレジスタ空き割り込み許可(UDRIEN)ビットが1を書かれると、(全割り込みが許可されていれば)UDRENフラグが設定(1)されている限り、USARTデータレジスタ空き割り込みが実行されます。UDRENはUSARTデータレジスタ(UDRn)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き、データレジスタ空き割り込みルーチンはUDRENを解除(0)するために新規データをUDRnに書くか、データレジスタ空き割り込みを禁止するかのどちらかを行わなければならない、さもなければ一旦割り込みルーチンを終了しても新しい割り込みが(継続的に)起こります。

送信完了(TXCn)フラグは送信移動レジスタ内の完全なフレームが移動出力されてしまい、送信緩衝部に新規データが現在存在しない時に設定(1)されます。TXCnフラグは送信完了割り込みが実行されると、自動的に解除(0)されるか、またはこのビット位置に1を書くことによって解除(0)できます。TXCnフラグは送信応用プログラムが送信完了後、直ちに通信回線を開放し、受信動作へ移行しなければならない(RS485規格のような)半二重(ハーフデュプレックス)通信インターフェースで有効です。

UCSRnBで送信完了割り込み許可(TXCIE)ビットが設定(1)され、(全割り込みが許可されていれば)TXCnフラグが設定(1)になる時にUSART送信完了割り込みが実行されます。送信完了割り込みが使われるとき、割り込み処理ルーチンはTXCnフラグを解除(0)しなくてもよく、これは割り込みが実行されると、自動的に行われます。

21.6.4. パリティ発生器

パリティ発生器は直列フレームデータに対するパリティビットを計算します。パリティビットが許可されると(UPMn1=1)、送信部制御論理回路は送られているフレームの最終データビットと最初の停止ビット間にパリティビットを挿入します。

21.6.5. 送信の禁止

送信部の禁止(UCSRnBのUSART送信許可(TXEN)ビット=0)は進行中と保留中の送信が完了される(換言すると、送信移動レジスタと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。禁止されると、送信部はもはやTXDnピン(の標準ピン機能)を無効にしません。

21.7. USARTのデータ受信

USART受信部はUSART制御/状態レジスタB(UCSRnB)で受信許可(RXEN)ビットに1を書くことによって許可されます。受信部が許可されると、RXDnピンの標準ピン動作はUSARTによって無視され、受信部の直列入力としての機能を与えられます。何か直列受信が行われ得る前に一度はボーレート、フレーム形式、動作種別が設定されなければなりません。同期動作が使われる場合、XCKnピンのクロックは転送クロックとして使われます。

21.7.1. 5～8ビットデータフレーム受信

受信部は有効な開始ビットを検出する時にデータ受信を開始します。開始ビットに続く各ビットはボーレートまたはXCKn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内へ移動されます。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ると(即ち、受信移動レジスタに完全なフレームが存在すると)、この移動レジスタの内容は受信緩衝部内へ移されます。受信緩衝部はUSARTデータレジスタ(UDRn)I/O位置を読むことによって読めます。8ビット未満のフレームを使うとき、UDRnから読むデータの上位ビットは0で覆われます。

次のコード例はUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の受信完了(RXCn)フラグのポーリングを基準とした簡単なUSART受信関数を示します。この関数が使われ得る前にUSARTが初期化されなければなりません。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Rx:  SBIS    UCSRnA, RXCn      ;受信完了でスキップ
           RJMP    USART_Rx        ;受信完了待機
;
           IN      R16, UDRn        ;受信データ取得
           RET                     ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
unsigned char USART_Receive(void)
{
    while ( !(UCSRnA & (1<<RXCn)) ); /* 受信完了待機 */
    return UDRn;                      /* 受信データ取得 */
}
```

注: 10ページの「コード例について」をご覧ください。

この関数は緩衝部を読んで値を戻す前に、RXCnフラグの検査によって受信緩衝部にデータが存在するのを単純に待ちます。

21.7.2. 9ビット データ フレーム受信

9ビット データが使われる場合(UCSZn2~0=111)、USARTデータ レジスタ(UDRn)から下位8ビットを読むのに先立って第9ビットがUSART制御/状態レジスタB(UCSRnB)の受信データ ビット8(RXB8n)ビットから読まれなければなりません。この規則はフレーミング異常(FEn)、オーバーラン発生(DORn)、パリティ誤り(UPEn)状態フラグにも適用されます。USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)から状態情報を読み、その後にUDRnからデータを読んでください。UDRn I/O位置を読むことが受信FIFO緩衝部の状態を切り替え、その結果、FIFO内に保管されるRXB8n,FEn,DORn,UPEnビット全てが切り替わります。

次のコード例は9ビット データと状態ビット両方を扱う簡単なUSART受信関数を示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Rx:  SBIS    UCSRnA, RxCn      ;受信完了でスキップ
           RJMP    USART_Rx       ;受信完了待機
;
           IN      R18, UCSRnA     ;状態フラグ取得
           IN      R17, UCSRnB     ;受信第9ビット取得
           IN      R16, UDRn       ;受信データ取得
           ANDI    R18, (1<<FEn) | (1<<DORn) | (1<<UPEn) ;受信異常検査
           BREQ    USART_Rx_V     ;異常なしで分岐
;
           LDI     R17, -1         ;異常で-1値設定
           LDI     R16, -1         ;
USART_Rx_V: LSR     R17             ;RXB8nビットをビット0位置へ移動
           ANDI    R17, $01        ;RXB8nビットのみ有効
           RET                    ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
unsigned int USART_Receive(void)
{
    unsigned char status, resh, resl;          /* 一時変数定義 */
    while ( !(UCSRnA & (1<<RxCn)) );          /* 受信完了待機 */
    status = UCSRnA;                          /* 状態フラグ取得 */
    resh = UCSRnB;                            /* 受信第9ビット取得 */
    resl = UDRn;                              /* 受信データ取得 */
    if ( status & ((1<<FEn) | (1<<DORn) | (1<<UPEn)) ) return -1; /* 受信異常で-1値設定/復帰 */
    resh = (resh>>1) & 0x01;                  /* RXB8nビットのみ有効最下位へ */
    return ((resh<<8) | resl);                /* 結果9ビット データ取得/復帰 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

この受信関数例は何か評価を行う前に、全てのI/Oレジスタをレジスタ ファイルに読みます。これは読まれた緩衝部位置が可能な限り早く新規データを自由に受け入れられるため、最適な受信緩衝部利用になります。

21.7.3. 受信完了フラグと割り込み

USART受信部には受信部の状態を示す1つのフラグがあります。

USART受信完了(RxCn)フラグは未読データが受信緩衝部に存在するかを示します。このフラグは受信緩衝部に未読データが存在する時に1で、受信緩衝部が空の(即ち何も未読データを含まない)時に0です。受信部が禁止される場合(RXENn=0)、受信緩衝部が破棄され、その結果としてRxCnフラグは0になります。

USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)でUSART受信完了割り込み許可(RXCIEn)ビットが設定(1)されると、(全割り込みが許可されていれば)RxCnフラグが設定(1)されている限り、USART受信完了割り込みが実行されます。割り込み駆動データ受信が使われるとき、受信完了割り込みルーチンはRxCnフラグを解除(0)するためにUSARTデータ レジスタ(UDRn)から受信したデータを読まなければならない、さもなければ一旦割り込みルーチンを終了しても新しい割り込みが(継続的に)起きます。

21.7.4. 受信異常フラグ

USART受信にはフレーミング異常(FEn)、データ オーバーラン発生(DORn)、パリティ誤り(UPEn)の3つの異常フラグがあります。これら全ては**USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)**を読むことでアクセスできます。異常フラグに対する共通点は異常状態を示しているフレームと共に受信緩衝部に配置されることです。異常フラグが緩衝されるため、**USARTデータ レジスタ(UDRn)**I/O位置を読むことが緩衝部読み出し位置を切り替えるので、UCSRnAは受信緩衝部(UDRn)の前に読まれなければなりません。異常フラグに対するその他の共通点はソフトウェアがこのフラグ位置へ書き込みを行うことによって変更できないことです。しかし、将来のUSART(機能)実装の上位互換性のため、UCSRnAが書かれるとき、全てのフラグは**0**に設定されなければなりません。異常フラグはどれも割り込みを生成できません。

フレーミング異常(FEn)フラグは受信緩衝部に格納された、次に読み込み可能なフレームの第1停止ビットの状態を示します。FEnフラグは停止ビットが正しく(**High**として)読まれた時に**0**で、停止ビットが不正(**Low**)だった時にFEnフラグは**1**です。このビットは同期外れ状態の検出、中断状態検出、規約での操作に使えます。受信部が最初(第1)以外の全停止ビットを無視するため、FEnフラグは**USART制御/状態レジスタC(UCSRnC)**の**停止ビット選択(USBSn)ビット**設定によって影響を及ぼされません。将来のデバイスとの共通性のため、UCSRnAに書くとき、常にこのビットを**0**に設定してください。

データ オーバーラン発生(DORn)フラグは受信部緩衝部が一杯状態のためのデータ消失を示します。データ オーバーランは受信緩衝部(2フレーム)が一杯で、(次の)新規フレーム データが受信移動レジスタで待っており、(更に次の)新規開始ビットが検出される時に起きます。DORnフラグが設定(**1**)なら、最後にUDRnから読んだフレームと次にUDRnから読むフレーム間で1つ以上の直列フレームが失われています。将来のデバイスとの共通性のため、UCSRnAに書くとき、常にこのビットに**0**を書いてください。DORnフラグは受信されたデータが移動レジスタから受信緩衝部へ正常に移動された時に解除(**0**)されます。

パリティ誤り(UPEn)フラグは受信緩衝部内の次のフレームで受信時にパリティ異常があったことを示します。パリティ検査が許可されていない場合、UPEnフラグは常に**0**が読めます。将来のデバイスとの共通性のため、UCSRnAに書くとき、常にこのビットを**0**に設定してください。より多くの詳細については**145頁の「パリティビットの計算」と次の「パリティ検査器」**をご覧ください。

21.7.5. パリティ検査器

パリティ検査器はパリティ種別上位ビット(**UPMn1**)が設定(**1**)されると活性(有効)になります。実行されるべきパリティ検査の形式(偶数または奇数)は**UPMn0ビット**によって選ばれます。許可されると、パリティ検査器は到着フレーム内のデータビットのパリティを計算し、その結果と(受信)直列フレーム内のパリティビットを比較します。検査の結果は受信データ、停止ビットと共に受信緩衝部に格納されます。その後パリティ誤り(UPEn)フラグはフレームにパリティ異常があるかを検査するため、ソフトウェアによって読むことができます。

UPEnフラグは受信緩衝部から読まれ得る次フレームで受信時にパリティ異常があり、その時点でパリティ検査が許可されていた(**UPMn1=1**)場合に設定(**1**)されます。このビットはUSARTデータ レジスタ(UDRn)が読まれるまで有効です。

21.7.6. 受信の禁止

送信部と対照的に受信部の禁止は即時です。従って受信進行中のデータは失われます。禁止されると(即ち、**USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)**の**USART受信許可(RXENn)ビット**が**0**に設定)、受信部はもはやRXDnポート ピンの標準機能が無効にしません。受信FIFO緩衝部は受信部が禁止されると破棄されます。緩衝部内の残データは失われます。

21.7.7. 受信緩衝部の破棄

受信FIFO緩衝部は受信が禁止されると破棄(換言すると、緩衝部は内容を空に)されます。未読データは失われます。即ち、異常状態のため、通常動作中に緩衝部が破棄されなければならない場合、**USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)**の**受信完了(RXCn)フラグ**が解除(**0**)されるまでUSARTデータ レジスタ(UDRn)I/O位置を読んでください。次のコード例は受信緩衝部の破棄方法を示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Flush: SBIS    UCSRnA, RXCn    ;未読データありでスキップ
              RET                    ;未読データなしで復帰
;
              IN      R16, UDRn      ;データ受信
              RJMP    USART_Flush    ;未読データなしまで継続
```

C言語プログラム例

```
void USART_Flush(void)
{
    unsigned char dummy;          /* 一時変数定義 */
    while ( UCSRnA & (1<<RXCn) ) dummy=UDRn; /* 未読データ読み捨て */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

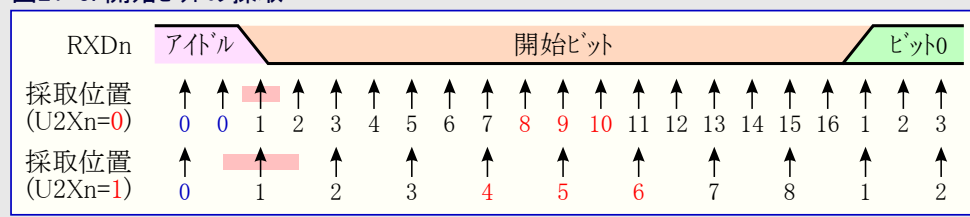
21.8. 非同期受信

USARTは非同期データ受信を扱うためのクロック再生とデータ再生部を含みます。クロック再生論理回路は内部的に生成したボーレートクロックをRXDnピンに到着する非同期直列フレームに同期化するのに使われます。データ再生論理回路は到着ビット毎に低域通過の濾波と採取をし、それによって受信部の雑音耐性を改善します。非同期受信動作範囲は内部ボーレートクロック精度、到着フレーム速度、フレーム長のビット数に依存します。

21.8.1. 非同期クロック再生

クロック再生論理回路は内部クロックを到着直列フレームに同期化します。図21-5は到着フレームの開始ビットの採取手順を図解します。採取速度は標準速動作でボーレートの16倍、倍速動作で8倍です。赤帯(訳注:原文は水平矢印)は採取処理のための同期変量を図示します。倍速動作(U2Xn=1)を使う時の広い変量時間に注意してください。採取番号0はRXDn信号がアイドル(即ち、通信の動きなし)の時に行われる採取です。

図21-5. 開始ビットの採取

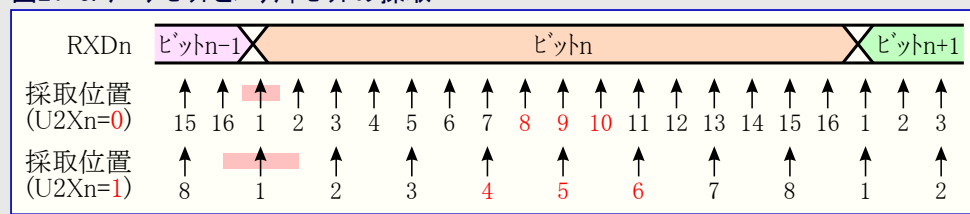


クロック再生論理回路がRXDn信号線でHigh(アイドル)からLow(開始)の遷移を検出すると、開始ビット検出手順が開始されます。図で示されるように採取1は最初のLow採取を意味します。その後にクロック再生回路は有効な開始ビットが受信されるかを決定するために、標準速動作に対して採取8,9,10、倍速動作に対して採取4,5,6(図の赤字(訳注:原文は箱枠内))で示された採取番号)を使います。これら3回で2回以上の採取が論理Highレベルの場合(多数決)、この開始ビットは尖頭雑音として捨てられ、受信部は次のHighからLowの遷移を探し始めます。けれども有効な開始ビットが検出されると、クロック再生論理回路は同期化され、データ再生が開始されます。この同期化手順は各開始ビット毎に繰り返されます。

21.8.2. 非同期データ再生

受信部クロックが開始ビットに同期化されるとデータ再生が始まります。データ再生部は標準速動作で16段、倍速動作で8段の順列回路を使います。図21-6はデータビットとパリティビットの採取を示します。各採取は再生部の各段に等しい番号を与えられます。

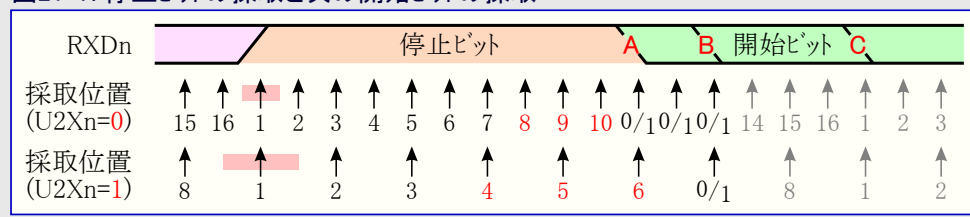
図21-6. データビットとパリティビットの採取



受信したビットの論理値の決定は受信したビット中央の3採取で論理値の多数決を取ることによって行われます。この中央の3採取は図上の赤字(訳注:原文は箱枠内)の採取番号によって強調されます。多数決の手順は次のように行われます。2または全3採取がHighレベルならば受信したビットは論理1が記録されます。2または全3採取がLowレベルならば受信したビットは論理0が記録されます。この多数決手順はRXDnピンの到着信号に対して低域通過濾波器(ローパスフィルタ)のように働きます。この再生手順はその後に完全なフレームが受信されるまで繰り返されます。これには最初の(第1)停止ビットを含みます。受信部がフレームの最初の停止ビットだけを使うことに注意してください。

図21-7は停止ビットの採取と次フレームの最も早い開始ビット開始の可能性を示します。

図21-7. 停止ビットの採取と次の開始ビットの採取



フレーム内の他のビットに対して行われるのと同じ多数決が停止ビットにも行われます。停止ビットが論理0値と記録されると、**フレーミング異常 (FEn)フラグ**が設定(1)されます。

新規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最後のビット後に実現できます。標準速動作での最初のLowレベル採取は図21-7のA点で有り得ます。倍速動作での最初のLowレベルはB点に遅れます。C点は完全な長さの停止ビット(の終点)を示します。この早い開始ビット検出は受信部の動作範囲に影響します。

21.8.3. 非同期での動作範囲

受信部の動作範囲は受信したビット速度と内部的に生成したボーレート間の不一致に依存します。送信部が速すぎるまたは遅すぎるビット速度でフレームを送出したり、内部的に発生した受信部のボーレートが類似した(表21-2.参照)基準周波数を持たない場合、受信部は開始ビットでフレームを同期できません。

次式は到着データ速度と内部受信部ボーレート間の比率計算に使えます。

$$R_{\text{slow}} = \frac{(D+1) \times S}{S-1+D \times S+S_F} \quad R_{\text{fast}} = \frac{(D+2) \times S}{(D+1) \times S+S_M}$$

D : データとパリティのビット数 (5~10)
 S : ビットあたりの採取数 (標準速=16、倍速=8)
 S_F : 多数決に使う最初の採取番号 (標準速=8、倍速=4)
 S_M : 多数決に使う中心の採取番号 (標準速=9、倍速=5)
 R_{slow} : は受信側ボーレートに対して許容できる最低受信ビット速度の比率です。
 R_{fast} : は受信側ボーレートに対して許容できる最高受信ビット速度の比率です。

表21-2.は許容できる最大受信部ボーレート誤差一覧です。標準速動作には、より高いボーレート変動許容力があることに注目してください。

表21-2. 標準速と倍速での受信部ボーレート推奨最大許容誤差

D	標準速動作 (U2Xn=0)				倍速動作 (U2Xn=1)			
	R _{slow} (%)	R _{fast} (%)	総合許容誤差(%)	推奨許容誤差(%)	R _{slow} (%)	R _{fast} (%)	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はデータビット数とパリティビットの合計ビット数です。

(訳注) 原書は表22-2.に標準速、表22-3.に倍速を記載していますが、比較が容易なように表21-2.として纏めました。

受信部ボーレートの推奨最大許容誤差は最大総合許容誤差を送信部と受信部で等分割するという仮定の元で作られました。

受信部ボーレート誤差に対して2つの起こり得る原因があります。受信部のシステムクロック(XTAL)は供給電圧範囲と温度範囲に関して常に若干の不安定性があります。システムクロックを生成するのに水晶発振子を使う時は殆ど問題ありませんが、(セラミック)振動子でのシステムクロックは振動子偏差に依存して2%を越えて異なるかもしれません。2つ目の誤り原因はより制御可能です。ボーレート発振器は欲したボーレートを得るためにシステム周波数の正確な分周を常に行うことはできません。この場合、可能ならば受け入れ可能な低い誤差を与えるUBRRn値が使えます。

21.9. 複数プロセッサ通信動作

USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)での複数プロセッサ通信動作(MPCMn)ビットの設定(1)はUSART受信部によって受信された到着フレームの選別機能を許可します。アドレス情報を含まないフレームは無視され、受信緩衝部に格納されません。これは同一直列バス経路で通信する複数MCUのシステムで、CPUによって扱わ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。送信部はMPCMnビット設定によって影響されませんが、複数プロセッサ通信動作を利用するシステムの一部の時は違うふうに使われなければなりません。

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設定されるなら、最初の停止ビットはデータまたはアドレス情報を含むフレームかどうかを示します。受信部が9データビットのフレームに設定されるなら、USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)の受信第9(RXB8n)ビットがアドレスとデータのフレームを識別するのに使われます。フレーム種別(最初の停止または第9ビットが1の時にフレームはアドレスを含みます。フレーム種別ビットが0の時にそのフレームはデータフレームです。

複数プロセッサ通信動作は主MCUからのデータを多くの従MCUで受信することを可能にします。これはどのMCUがアドレス指定されるかを検出するため、最初にアドレスフレームを調べることによって行われます。特定の従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、一方その他の従MCUは他のアドレスフレームが受信されるまで受信したフレームを無視します。

21.9.1. 複数プロセッサ通信の使用法

主MCUとして動作するMCUは9ビットデータフレーム形式(UCSZn=7)を使えます。UCSRnBの送信第9(TXB8n)ビットはアドレスフレーム時に設定(1)、またはデータフレーム時に解除(0)されて送信されなければなりません。この場合、従MCUは9ビットデータフレーム形式の使用に設定されなければなりません。

複数プロセッサ通信動作でデータを交換するのに次の手順が使われるべきです。

1. 全ての従MCUは複数プロセッサ通信動作です(UCSRnAの複数プロセッサ通信動作(MPCMn)ビットが設定(1))。
2. 主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信し、これを読みます。従CPUでは通常のようにUCSRnAで受信完了(RXCn)フラグが設定(1)されます。
3. 各従MCUはUSARTデータレジスタ(UDRn)を読み、選ばれたかを判定します。選ばれた場合はUCSRnAのMPCMnビットを解除(0)し、そうでなければ(非選択の場合は)MPCMnビット設定を保ち、次のアドレスフレームを待ちます。
4. アドレス指定されたMCUは新規アドレスフレームが受信されるまで全データフレームを受信します。MPCMnビットが未だ設定(1)されている他の従CPUはこのデータフレームを無視します。
5. 最後のデータフレームがアドレス指定されたMCUによって受信されると、アドレス指定されたMCUはMPCMnビットを設定(1)し、主装置からの新規アドレスフレームを待ちます。以降、手順は2.からを繰り返します。

5～8ビットデータフレーム形式のどの使用も可能ですが、受信側が使うnとn+1ビットデータフレーム形式間を切り替えなければならないため非実用的です。これは送信部と受信部が同じデータビット長設定を使うため、全二重(フルデュプレックス)動作を困難にします。5～8ビット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種別を示すのに使われるので、送信部は2停止ビット使用(USBSn=1)に設定されなければなりません。

MPCMnビットを設定(1)または解除(0)するのに読み-修正-書き(リード モデファイ ライト)命令(SBIとCBI)を使ってはいけません。MPCMnビットは送信完了(TXCn)フラグと同じI/O位置を共用しており、SBIまたはCBI命令を使うと偶然に解除(0)されるかもしれません。

(訳注) ATmega640/1280/1281/2560/2561ではUCSRnAのI/OアドレスがSBI,CBI命令適用範囲外のため、上記記述は不適切です。但し、命令の組み合わせによって同様処理を行う場合に対して、上記注意の本意は適切(有効)です。

21.10. USART用レジスタ

21.10.1. UDRn – USARTデータレジスタ (USART I/O Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C6):(\$CE):(\$D6):(\$136)	R/TXB7	R/TXB6	R/TXB5	R/TXB4	R/TXB3	R/TXB2	R/TXB1	R/TXB0	UDRn
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

同じI/Oアドレスを共用するUSART受信データ緩衝レジスタとUSART送信データ緩衝レジスタはUSARTデータレジスタまたはUDRnとして引用しました。送信データ緩衝レジスタ(TXB)はUDRnレジスタ位置に書かれるデータの転送先です。UDRnレジスタ位置読み込みは受信データ緩衝レジスタ(RXB)の内容を返します。

5～7ビットデータでの上位未使用ビットは送信部によって無視され、受信部によって0に設定されます。

送信緩衝部はUCSRnAで送信データレジスタ空き(UDREN)フラグが設定(1)される時にだけ書けます。UDRENフラグが設定(1)されない時にUDRnへ書かれたデータはUSART送信部によって無視されます。送信部が許可されて送信緩衝部にデータが書かれると、送信部は送信移動レジスタが空きの時にそのデータを送信移動レジスタへ設定(移動)します。その後データはTXDnピンで直列送信されます。

受信緩衝部は2段のFIFOから成ります。このFIFOは受信緩衝部がアクセスされる毎にその状態を切り替えます。この受信緩衝部の動きのため、この位置に読み-修正-書き(リード-モディファイ-ライト)命令(SBIとCBI)を使えません。ビット検査(SBICとSBIS)命令もFIFOの状態を換えるので、これらの命令を使う時は注意してください。(**訳注**:適用範囲外命令のため、この注意は不適切です。)

21.10.2. UCSRnA – USART制御/状態レジスタA (USART Control and Status Register A)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C0):(\$C8):(\$D0):(\$130)	RXCn	TXCn	UDREN	FEn	DORn	UPEn	U2Xn	MPCMn	UCSRnA
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	1	0	0	0	0	0	

●ビット7 – RXCn : USART受信完了フラグ (USART Receive Complete)

このフラグは受信緩衝部に未読データがある時に設定(1)され、受信緩衝部が空の(即ち、どんな未読データも含まない)時に解除(0)されます。受信部が禁止されると、受信緩衝部が破棄され、その結果RXCnフラグは0になります。RXCnフラグは受信完了割り込みを発生するのに使えます(USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)の受信完了割り込み許可(RXCIE)ビットをご覧ください)。

●ビット6 – TXCn : USART送信完了フラグ (USART Transmit Complete)

このフラグは送信移動レジスタ内の完全なフレームが移動出力されてしまい、送信緩衝部(UDRn)に新規データが現存しない時に設定(1)されます。TXCnフラグは送信完了割り込みが実行されると、自動的に解除(0)されるか、またはこのビット位置に1を書くことによって解除(0)できます。TXCnフラグは送信完了割り込みを発生できます(UCSRnBの送信完了割り込み許可(TXCIE)ビットをご覧ください)。

●ビット5 – UDREN : USART送信データレジスタ空きフラグ (USART Data Register Empty)

UDRENフラグは送信緩衝部(UDRn)が新規データを受け取る準備ができていのかどうかを示します。UDRENが1ならば緩衝部は空で、従って書かれる準備ができています。UDRENフラグは送信緩衝部空き割り込みを発生できます(UCSRnBの送信データレジスタ空き割り込み許可(UDRIE)ビットをご覧ください)。送信部が準備できているのを示すため、リセット後のUDRENは設定(1)です。

●ビット4 – FEn : フレーミング異常フラグ (Framing Error)

受信緩衝部の次データが受信した時にフレーミング異常(即ち、受信緩衝部でデータの最初の(第1)停止ビットがLow)だった場合、このビットが設定(1)されます。このフラグは受信緩衝部(UDRn)が読まれるまで有効です。受信したデータの停止ビットがHighの時にFEnフラグは0です。UCSRnAに書くとき、常にこのビットを0に設定してください。

●ビット3 – DORn : データオーバーラン発生フラグ (Data OverRun)

このビットはオーバーラン状態が検出されると設定(1)されます。受信緩衝部(2フレーム分)が一杯で、新規フレームが受信移動レジスタ内で待機中に新規開始ビットが検出されるとデータオーバーランが起こります。UCSRnAに書くとき、常にこのビットを0に設定してください。

●ビット2 – UPEn : パリティ誤りフラグ (USART Parity Error)

受信緩衝部の次データが受信した時にパリティ異常があり、その時点でパリティ検査が許可されていれば(UPMn1=1)、このビットが設定(1)されます。このフラグは受信緩衝部(UDRn)が読まれるまで有効です。UCSRnAに書くとき、常にこのビットを0に設定してください。

●ビット1 – U2Xn : 倍速許可 (Double the USART Transmission Speed)

このビットは非同期動作でだけ有効です。同期動作を使うとき、このビットに0を書いてください。

このビットに1を書くことはボーレート分周器の分周値を16から8に減らして事実上、非同期通信の転送速度を倍にします。

●ビット0 – MPCMn : 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を許可します。MPCMnビットが1を書かれると、USART受信部によって受信したアドレス情報を含まない全到着フレームは無視されます。送信部はMPCMn設定に影響されません。より多くの詳細情報については152頁の「複数プロセッサ通信動作」をご覧ください。

21.10.3. UCSRnB – USART制御/状態レジスタB (USART Control and Status Register B)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C1):(\$C9):(\$D1):(\$131)	RXCIE _n	TXCIE _n	UDRIE _n	RXEN _n	TXEN _n	UCSZ _{n2}	RXB8 _n	TXB8 _n	UCSRnB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7 – RXCIE_n : 受信完了割り込み許可 (Receive Complete Interrupt Enable)

このビットへの1書き込みはUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の受信完了(RXC_n)フラグでの割り込みを許可します。USART受信完了割り込みはRXCIE_nビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)で全割り込み許可(I)ビットが1を書かれ、UCSRnAでRXC_nフラグが設定(1)される場合にだけ生成されます。

●ビット6 – TXCIE_n : 送信完了割り込み許可 (Transmit Complete Interrupt Enable)

このビットへの1書き込みはUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の送信完了(TXC_n)フラグでの割り込みを許可します。USART送信完了割り込みはTXCIE_nビットが1を書かれ、SREGで全割り込み許可(I)ビットが1を書かれ、UCSRnAでTXC_nフラグが設定(1)される場合にだけ生成されます。

●ビット5 – UDRIE_n : 送信データレジスタ空き割り込み許可 (Transmit Data Register Empty Interrupt Enable)

このビットへの1書き込みはUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の送信データレジスタ空き(UDRE_n)フラグでの割り込みを許可します。USART送信データレジスタ空き割り込みはUDRIE_nビットが1を書かれ、SREGで全割り込み許可(I)ビットが1を書かれ、UCSRnAでUDRE_nフラグが設定(1)される場合にだけ生成されます。

●ビット4 – RXEN_n : 受信許可 (Receiver Enable)

このビットへの1書き込みはUSART受信(部)を許可します。受信部は許可されるとRXD_nピンの標準ポート動作を無効にします。受信の禁止は受信緩衝部を破棄し、フレーミング異常(FE_n)、オーバラン(DOR_n)、パリティ誤り(UPEN_n)のフラグを無効にします。

●ビット3 – TXEN_n : 送信許可 (Transmitter Enable)

このビットへの1書き込みはUSART送信(部)を許可します。送信部は許可されるとTXD_nピンの標準ポート動作を無効にします。送信の禁止(TXEN_n=0書き込み)は進行中と保留中の送信が完了される(即ち、送信移動レジスタと送信緩衝レジスタが送信されるべきデータを含まない)まで有効になりません。禁止したとき、送信部はもはやTXD_nポート(の標準I/O機能)を無効にしません。

●ビット2 – UCSZ_{n2} : データビット長選択2 (Character Size)

USART制御/状態レジスタC(UCSRnC)のUCSZ_{n1},0ビットと組み合わせたUCSZ_{n2}ビットは送受信部で使うフレームのデータビット数(Character size)を設定します。

●ビット1 – RXB8_n : 受信データビット8 (Receive Data Bit 8)

RXB8_nは9ビットデータでの直列フレーム操作時に受信したフレームの第9データビット(ビット8)です。UDR_nから下位ビットを読む前に読んでください。

●ビット0 – TXB8_n : 送信データビット8 (Transmit Data Bit 8)

TXB8_nは9ビットデータでの直列フレーム操作時に送信されるべきデータの第9データビット(ビット8)です。UDR_nへ下位ビットを書く前に書いてください。

21.10.4. UCSRnC – USART制御/状態レジスタC (USART Control and Status Register C)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C2):(\$CA):(\$D2):(\$132)	UMSEL _{n1}	UMSEL _{n0}	UPM _{n1}	UPM _{n0}	USBS _n	UCSZ _{n1}	UCSZ _{n0}	UCPOL _n	UCSRnC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	1	1	0	

●ビット7,6 – UMSEL_{n1,0} : USART動作選択 (USART Mode Select)

このビットは表21-4.で示されるようにUSART動作種別を選びます。

表21-4. USART動作選択

UMSEL _{n1}	UMSEL _{n0}	動作種別
0	0	非同期動作
	1	同期動作
1	0	(予約)
	1	主装置SPI (MSPIM) (注)

注: 主装置SPI動作(MSPIM)操作の完全な記述については158頁の「USARTでのSPI動作」をご覧ください。

●ビット5,4 – UPMn1,0 : パリティ選択 (Parity Mode)

これらのビットはパリティの発生と検査の許可と種別を設定します。許可した場合、送信部は各フレーム内での送信したデータビットのパリティを自動的に生成して送出します。受信部は到着データからパリティ値を生成し、UPMn0設定と比較します。不一致が検出されると、USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)でパリティ誤り(UPEn)フラグが設定(1)されます。

表21-5. パリティ選択

UPMn1	UPMn0	パリティ動作
0	0	禁止
0	1	(予約)
1	0	偶数パリティ許可
1	1	奇数パリティ許可

●ビット3 – USBSn : 停止ビット選択 (Stop Bit Select)

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(誤補:常に第1停止ビットだけが有効)。

表21-6. 停止ビット選択

USBSn	停止ビット数
0	1ビット
1	2ビット

●ビット2,1 – UCSZn1,0 : データビット長選択 (Character Size)

USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)のUCSZn2ビットと組み合わせたUCSZn1,0ビットは送受信部で使うフレームのデータビット数(Character size)を設定します。

表21-7. データビット長選択

UCSZn2~0	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
データビット数	5ビット	6ビット	7ビット	8ビット	(予約)	(予約)	(予約)	9ビット

●ビット0 – UCPOLn : クロック極性選択 (Clock Polarity)

このビットは同期動作に対してだけ使われます。非同期動作が使われるとき、このビットに0を書いてください。UCPOLnビットは同期クロック(XCKn)、データ出力変更、データ入力採取間の関係を設定します。

表21-8. XCKクロック極性選択

UCPOLn	送信データ変更 (TXDnピン出力)	受信データ採取 (RXDnピン入力)
0	XCKnの上昇端	XCKnの下降端
1	XCKnの下降端	XCKnの上昇端

21.10.5. UBRRnH, UBRRnL (UBRRn) – USARTボーレートレジスタ (USART Baud Rate Register)

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
(\$C5):(\$CD):(\$D5):(\$135)	–	–	–	–	UBRR11	UBRR10	UBRR9	UBRR8	UBRRnH
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C4):(\$CC):(\$D4):(\$134)	UBRR7	UBRR6	UBRR5	UBRR4	UBRR3	UBRR2	UBRR1	UBRR0	UBRRnL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット15~12 – Res : 予約 (Reserved Bits)

これらのビットは将来使用するために予約されています。将来のデバイスとの共通性のため、UBRRnHが書かれるとき、これらのビットは0が書かれなければなりません。

●ビット11~0 – UBRR11~0 : ボーレート分周値 (USART Baud Rate Register)

USARTのボーレートを含む12ビットレジスタです。UBRRnHがUSARTボーレートの上位4ビットを含み、UBRRnLが下位8ビットを含みます。ボーレートが変更されると、送受信部で進行中の転送は不正にされます。UBRRnL書き込みはボーレート前置分周器の更新を直ちに始めます。

21.11. ボーレート設定例

標準的なクリスタル発振子やセラミック振動子の周波数に対して最も一般的に使われる非同期動作のボーレートは表21-9のUBRRn設定を使うことによって生成できます。目的のボーレートに対して設定誤差1.5%(標準速:U2X=0)、1.0%(倍速:U2X=1)以上を赤字で示します(訳注:原書の本文は0.5%未満を太字)。より高い誤差率でも受け入れ可能ですが、特に長い直列フレーム(151ページの「非同期での動作範囲」参照)で誤差率が高いと、受信部は雑音耐性が低下します。誤差率は次式を使って計算されます。

$$\text{誤差率(\%)} = \left(\frac{\text{UBRRn設定ボーレート(最近似値)}}{\text{目的のボーレート}} - 1 \right) \times 100(\%)$$

表21-9. Xtal、ボーレート対UBRRnH,UBRRnL設定 (UBRR=UBRRnH:UBRRnL)

ボーレート (bps)	1MHz				1.8432MHz				2MHz				2.4576MHz			
	U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	51	0.2	103	0.2	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2	127	0.0	255	0.0
2400	25	0.2	51	0.2	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2	63	0.0	127	0.0
4800	12	0.2	25	0.2	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2	31	0.0	63	0.0
9600	6	-7.0	12	0.2	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2	15	0.0	31	0.0
14400	3	8.5	8	-3.5	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1	10	-3.0	20	1.6
19200	2	8.5	6	-7.0	5	0.0	11	0.0	6	-7.0	12	0.2	7	0.0	15	0.0
28800	1	8.5	3	8.5	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5	4	6.7	10	-3.0
38400	1	-18.6	2	8.5	2	0.0	5	0.0	2	8.5	6	-7.0	3	0.0	7	0.0
57600	0	8.5	1	8.5	1	0.0	3	0.0	1	8.5	3	8.5	2	-11.1	4	6.7
76800	0	-18.6	1	-18.6	1	-25.0	2	0.0	1	-18.6	2	8.5	1	0.0	3	0.0
115.2k	-	-	0	8.5	0	0.0	1	0.0	0	8.5	1	8.5	0	33.3	2	-11.1
230.4k	-	-	0	-45.7	0	-50.0	0	0.0	0	-45.7	0	8.5	0	-33.3	0	33.3
250k	-	-	-	-	-	-	0	-7.8	-	-	0	0.0	-	-	0	22.9
最高速	62500		125k		115.2k		230.4k		125k		250k		153.6k		307.2k	

ボーレート (bps)	3.2768MHz				3.6864MHz				4MHz				4.608MHz			
	U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	170	-0.2	340	0.1	191	0.0	384	0.0	207	0.2	416	-0.1	239	0.0	479	0.0
2400	84	0.4	170	-0.2	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2	119	0.0	239	0.0
4800	42	-0.8	84	0.4	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2	59	0.0	119	0.0
9600	20	1.6	42	-0.8	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2	29	0.0	59	0.0
14400	13	1.6	27	1.6	15	0.0	31	0.0	16	2.1	34	-0.8	19	0.0	39	0.0
19200	10	-3.0	20	1.6	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2	14	0.0	29	0.0
28800	6	1.6	13	1.6	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1	9	0.0	19	0.0
38400	4	6.7	10	-3.0	5	0.0	11	0.0	6	-7.0	12	0.2	7	-6.3	14	0.0
57600	3	-11.1	6	1.6	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5	4	0.0	9	0.0
76800	2	-11.1	4	6.7	2	0.0	5	0.0	2	8.5	6	-7.0	3	-6.3	7	-6.3
115.2k	1	-11.1	3	-11.1	1	0.0	3	0.0	1	8.5	3	8.5	2	-16.7	4	0.0
230.4k	0	-11.1	1	-11.1	0	0.0	1	0.0	0	8.5	1	8.5	0	25.0	2	-16.7
250k	-	-	1	-18.1	0	-7.8	1	-7.8	0	0.0	1	0.0	0	15.2	1	15.2
500k	-	-	0	-18.1	-	-	0	-7.8	-	-	0	0.0	0	-42.4	0	15.2
1M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-42.4
最高速	204.8k		409.6k		230.4k		460.8k		250k		500k		288k		576k	

注: 最高速はUBRR=0、誤差=0.0%です。以降の周波数は次頁へ続く。

(訳注) 原書では頁割された表毎に表番号22-9.~12.となっていますが、共通性から纏めて表21-9.としました。
原書に対して数種の発振周波数を追加しました。

表21-9 (続き). Xtal、ホーレート対UBRRnH,UBRRnL設定 (UBRR=UBRRnH:UBRRnL)

ホーレート (bps)	4.9152MHz				6.144MHz				7.3728MHz				8MHz			
	U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	255	0.0	511	0.0	319	0.0	639	0.0	383	0.0	767	0.0	416	-0.1	832	0.0
2400	127	0.0	255	0.0	159	0.0	319	0.0	191	0.0	383	0.0	207	0.2	416	-0.1
4800	63	0.0	127	0.0	79	0.0	159	0.0	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2
9600	31	0.0	63	0.0	39	0.0	79	0.0	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2
14400	20	1.6	42	-0.8	26	-1.2	52	0.6	31	0.0	63	0.0	34	-0.8	68	0.6
19200	15	0.0	31	0.0	19	0.0	39	0.0	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2
28800	10	-3.0	20	1.6	12	2.6	26	-1.2	15	0.0	31	0.0	16	2.1	34	-0.8
38400	7	0.0	15	0.0	9	0.0	19	0.0	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2
57600	4	6.7	10	-3.0	6	-4.8	12	2.6	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1
76800	3	0.0	7	0.0	4	0.0	9	0.0	5	0.0	11	0.0	6	-7.0	12	0.2
115.2k	2	-11.1	4	6.7	2	11.1	6	-4.8	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5
230.4k	1	33.3	2	-11.1	1	-16.7	2	11.1	1	0.0	3	0.0	1	8.5	3	8.5
250k	1	22.9	2	-18.1	1	-23.2	2	2.4	1	-7.8	3	0.0	1	0.0	3	0.0
500k	0	-38.6	0	22.9	0	-23.2	1	-23.2	0	-7.8	1	-7.8	0	0.0	1	0.0
1M	-	-	0	-38.6	-	-	0	-23.2	-	-	0	-7.8	-	-	0	0.0
最高速	307.2k		614.4k		384k		768k		460.8k		921.6k		500k		1M	

ホーレート (bps)	9.216MHz				9.8304MHz				10MHz				11.0592MHz			
	U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	479	0.0	959	0.0	511	0.0	1023	0.0	520	-0.0	1041	-0.0	575	0.0	1151	0.0
2400	239	0.0	479	0.0	255	0.0	511	0.0	259	0.2	520	-0.0	287	0.0	575	0.0
4800	119	0.0	239	0.0	127	0.0	255	0.0	129	0.2	259	0.2	143	0.0	287	0.0
9600	59	0.0	119	0.0	63	0.0	127	0.0	64	0.2	129	0.2	71	0.0	143	0.0
14400	39	0.0	79	0.0	42	-0.8	84	0.4	42	0.9	86	-0.2	47	0.0	95	0.0
19200	29	0.0	59	0.0	31	0.0	63	0.0	32	-1.4	64	0.2	35	0.0	71	0.0
28800	19	0.0	39	0.0	20	1.6	42	-0.8	21	-1.4	42	0.9	23	0.0	47	0.0
38400	14	0.0	29	0.0	15	0.0	31	0.0	15	1.8	32	-1.4	17	0.0	35	0.0
57600	9	0.0	19	0.0	10	-3.0	20	1.6	10	-1.4	21	-1.4	11	0.0	23	0.0
76800	7	6.7	14	0.0	7	0.0	15	0.0	7	1.8	15	1.8	8	0.0	17	0.0
115.2k	4	0.0	9	0.0	4	6.7	10	-3.0	4	8.5	10	-1.4	5	0.0	11	0.0
230.4k	2	-16.7	4	0.0	2	-11.1	4	6.7	2	-9.6	4	8.5	2	0.0	5	0.0
250k	1	15.2	4	-7.8	1	-23.2	4	-1.7	2	-16.7	4	0.0	2	-7.8	5	-7.8
500k	0	15.2	1	15.2	0	22.9	1	22.9	0	25.0	2	-16.7	0	38.2	2	-7.8
1M	0	-42.4	0	15.2	0	-38.6	0	22.9	0	-37.5	0	25.0	0	-30.9	0	38.2
最高速	576k		1.152M		614.4k		1.2288M		625k		1.25M		691.2k		1.3824M	

ホーレート (bps)	14.7456MHz				16MHz				18.4320MHz				20MHz			
	U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1	
	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)	UBRR	誤差(%)
1200	767	0.0	1533	0.0	832	0.0	1666	0.0	959	0.0	1919	0.0	1041	0.0	2082	0.0
2400	383	0.0	767	0.0	416	-0.1	832	0.0	479	0.0	959	0.0	520	0.0	1041	0.0
4800	191	0.0	383	0.0	207	0.2	416	-0.1	239	0.0	479	0.0	259	0.2	520	0.0
9600	95	0.0	191	0.0	103	0.2	207	0.2	119	0.0	239	0.0	129	0.2	259	0.2
14400	63	0.0	127	0.0	68	0.6	138	-0.1	79	0.0	159	0.0	86	-0.2	173	-0.2
19200	47	0.0	95	0.0	51	0.2	103	0.2	59	0.0	119	0.0	64	0.2	129	0.2
28800	31	0.0	63	0.0	34	-0.8	68	0.6	39	0.0	79	0.0	42	0.9	86	-0.2
38400	23	0.0	47	0.0	25	0.2	51	0.2	29	0.0	59	0.0	32	-1.4	64	0.2
57600	15	0.0	31	0.0	16	2.1	34	-0.8	19	0.0	39	0.0	21	-1.4	42	0.9
76800	11	0.0	23	0.0	12	0.2	25	0.2	14	0.0	29	0.0	15	1.7	32	-1.4
115.2k	7	0.0	15	0.0	8	-3.5	16	2.1	9	0.0	19	0.0	10	-1.4	21	-1.4
230.4k	3	0.0	7	0.0	3	8.5	8	-3.5	4	0.0	9	0.0	4	8.5	10	-1.4
250k	3	-7.8	6	5.3	3	0.0	7	0.0	4	-7.8	8	2.4	4	0.0	9	0.0
500k	1	-7.8	3	-7.8	1	0.0	3	0.0	1	15.2	4	-7.8	1	25.0	4	0.0
1M	0	-7.8	1	-7.8	0	0.0	1	0.0	0	15.2	1	15.2	0	25.0	1	25.0
最高速	921.6k		1.8432M		1M		2M		1.152M		2.304M		1.25M		2.5M	

注: 最高速はUBRR=0、誤差=0.0%です。

22. USARTでのSPI動作

USART(Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter)は主装置SPI互換動作に設定できます。主装置SPI(MSPIM)は次の特徴を持ちます。

- ・全二重動作、3線同期データ転送
- ・主装置動作
- ・4つ全てのSPI転送形式(動作種別0,1,2,3)支援
- ・LSBまたはMSB先行データ転送(データ順設定)
- ・順列動作(2重緩衝)
- ・高分解能ボーレート発振器
- ・高速動作($f_{XCK_{max}} = f_{CK}/2$)
- ・柔軟な割り込み生成

22.1. 概要

USART動作選択(UMSELn1,0)ビットの11設定は主装置SPI(MSPIM)論理回路でのUSARTを許可します。この動作種別でのSPI主装置制御論理回路はUSART資源を直接制御します。これらの資源には送受信の移動レジスタと緩衝部、ボーレート発生器を含みます。パリティ発生/検査論理回路、データ/クロック再生論理回路、送受信制御論理回路は禁止されます。USART送受信論理回路は普通のSPI転送制御論理回路に置き換えられます。けれどもピン制御論理回路と割り込み生成論理回路は両動作種別で全く同じです。

I/Oレジスタ位置は両動作種別で同じです。けれどもMSPIM使用時、制御レジスタの一部の機能が変わります。

22.2. USARTでのMSPIMとSPIの比較

USARTでのMSPIM動作は次に関してSPIと完全な互換性があります。

- ・主装置動作タイミング図
- ・クロック極性選択(UCPOLn)ビットはSPIのSCK極性選択(CPOL)ビットと機能的に同じです。
- ・クロック位相選択(UCPHAn)ビットはSPIのSCK位相選択(CPHA)ビットと機能的に同じです。
- ・データ順選択(UDORDn)ビットはSPIのデータ順選択(DORD)ビットと機能的に同じです。

けれどもUSARTでのMSPIM動作がUSART資源を再使用するため、USARTでのMSPIM動作はSPIと比較して多少異なります。加えて制御レジスタビットの差異、主装置動作だけがUSARTでのMSPIM動作によって支援されること、2つの部間で異なる次の特質があります。

- ・USARTでのMSPIM動作は送信部の(2重)緩衝部を含みます。SPIは緩衝部を持ちません。
- ・USARTのMSPIM動作での受信部は追加の緩衝段を含みます。
- ・SPIの上書き(WCOL)ビットはUSARTでのMSPIM動作に含まれません。
- ・SPIの倍速許可(SPI2X)ビットは含まれません。しかし、対応するボーレートレジスタ(UBRRn)設定によって同じ効果が達せられます。
- ・割り込みタイミングに互換性はありません。
- ・USARTでのMSPIM動作が主装置動作だけなので、ピン制御が異なります。

USARTのMSPIM動作とSPIでのピンは、表22-1.で示されます。

表22-1. USARTでのMSPIMとSPIのピン比較

USART MSPIM	SPI	備考
TXDn	MOSI	主装置出力のみ
RXDn	MISO	主装置入力のみ
XCKn	SCK	(機能的に同一)
該当なし	SS	USARTでのMSPIMで未支援

22.3. クロック生成

クロック生成論理回路は送受信部に対する基準クロックを生成します。USARTのMSPIM動作種別については内部クロック生成(即ち主装置動作)だけが支援されます。従って、USARTでMSPIMを正しく動作するにはXCKnピンに対するデータ方向レジスタ(DDR_XCKn)が1(即ち出力)に設定されなければなりません。なるべくならDDR_XCKnはUSARTでのMSPIMが許可(即ちTXENnとRXENnが1に設定)される前に設定されるべきです。

MSPIM動作で使われる内部クロック生成はUSART同期主装置動作と同一です。従ってボーレートやUBRRn設定は同じ式を使って計算できます。表22-2.をご覧ください。

表22-2. ボーレートレジスタ(UBRRn)値計算式

動作種別	ボーレート計算式	UBRRn値計算式
同期主装置動作	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2 \times (UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{2 \times BAUD} - 1$

注: ボーレートは転送速度(ビット/1秒)で定義されます。

BAUD : ボーレート (bps)

UBRRn : UBRRnHとUBRRnLレジスタ値 (0~4095)

f_{OSC} : システム発振器クロック周波数

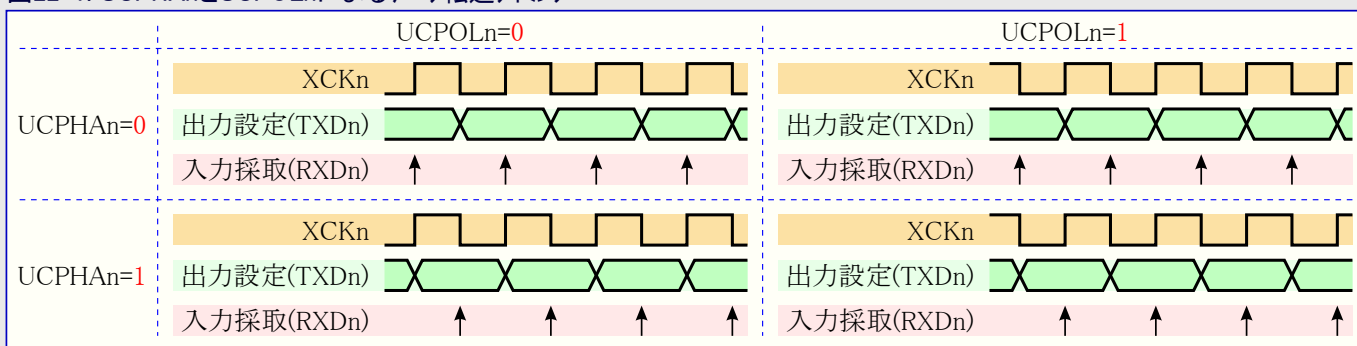
22.4. データ転送形式とタイミング

直列データに関しては**クロック位相(UCPHAn)**と**クロック極性(UCPOLn)**制御ビットによって決定されるXCKn(SCK)位相と極性で4つの組み合わせがあります。このデータ転送タイミング図は図22-1.で示されます。データビットは安定のためにデータ信号に対して十分な時間を保証するXCKn信号の反対端で移動出力と(入力)ラッチが行われます。UCPOLnとUCPHAnの機能は表22-3.で要約されます。これらビットのどの変更も送受信両方に対して実行中の通信を不正とすることに注意してください。

表22-3. UCPOLn,UCPHAn機能動作

SPI動作種別番号	UCPOLn	UCPHAn	XCKn(SCK)先行端	XCKn(SCK)後行端
0	0	0	入力採取/上昇端	出力設定/下降端
1	0	1	出力設定/上昇端	入力採取/下降端
2	1	0	入力採取/下降端	出力設定/上昇端
3	1	1	出力設定/下降端	入力採取/上昇端

図22-1. UCPHAnとUCPOLnによるデータ転送タイミング



22.5. フレーム形式

MSPIMの直列フレームは8データビット/1フレームに固定されます。USARTでのMSPIM動作は2つの有効なフレーム形式を持ちます。

- MSB先行 8ビットデータ
- LSB先行 8ビットデータ

フレームは最下位(LSB)または最上位(MSB)のデータビットで始まります。その後次のデータビットが最後の最上位(MSB)または最下位(LSB)データビットまで合計8ビット続きます。完全なフレームが送信されると、新規フレームが直ちに後続するか、または通信線がアイドル状態(high)に設定されるでしょう。

USART制御/状態レジスタC(UCSRnC)のデータ順選択(UDORDn)ビットはUSARTでのMSPIMによって使われるフレーム形式を設定します。送受信部は同じ設定を使います。これらビットのどれかの設定変更が送受信部両方に対して実行中の通信を不正にすることに注意してください。

16ビットデータ通信はUDRnに2バイトデータを書くことによって達せられます。その後のUSART送信完了割り込み(TXCn)はこの16ビット値が移動出力されてしまったことを示します。

22.5.1. USART MSPIM初期化

USARTでのMSPIM動作はどれかの通信が行われ得るのに先立って初期化されなければなりません。標準的な初期化手順は使用方法に依存するボーレート設定、主装置動作操作(DDR_XCK_nの1)設定、フレーム形式設定、送受信部許可から成ります。送信部だけが独立して操作できます。割り込み駆動USART操作に関して初期化を行う時に**ステータスレジスタの全割り込み許可(I)ビット**が解除(0)される(そして全割り込みが禁止される)べきです。

注: XCK_n出力の初期化を直ちに保証するため、**ボーレートレジスタ(UBRR_n)**は送信部が許可される時に0でなければなりません。標準動作のUSART操作と逆に、UBRR_nは送信部が許可されて最初の送信が開始される前に、希望する値を書かれなければなりません。この初期化がリセット後直ちに行なわれるなら、UBRR_nが0にリセットされているので、送信部許可前にUBRR_nを0に設定することは必要ありません。

ボーレート、データ転送形式またはフレーム形式の変更を伴う再初期化を行う前に、レジスタが変更される期間中に進行中の送信がないことを確実にしてください。**USART制御/状態レジスタA(UCSR_nA)**の**送信完了(TXC_n)フラグ**は送信部の全転送完了検査に使え、**受信完了(RXC_n)フラグ**は受信緩衝部内の未読データ有無検査に使えます。この目的(次送信タイミング)にTXC_nフラグが使われる場合、各々の送信(**USARTデータレジスタ(UDR_n)**が書かれる)前にTXC_nフラグが解除(0)されなければならないことに注意してください。

次の簡単なUSART初期化コード例が示すアセンブリ言語とC言語の関数は機能的に同じです。この例はポーリングを使う(割り込み不許可)と仮定します。ボーレート(UBRR_n)値は関数の引数として与えられます。アセンブリ言語でのボーレート引数はR17:R16レジスタに格納されると仮定されます。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_Init: CLR    R18                      ;0値取得
             OUT    UBRRnH, R18             ;ボーレート設定(上位バイト)=0
             OUT    UBRRnL, R18             ;ボーレート設定(下位バイト)=0 (クロック停止)
             SBI     XCKn_DDR, XCKn         ;XCKnポートピン出力設定
             LDI     R18, (1<<UMSELn1) | (1<<UMSELn0) | (0<<UCPHAn) | (0<<UCPOLn)
                                     ;動作種別値を取得
             OUT     UCSRnC, R18             ;MSPI,データ種別0設定
             LDI     R18, (1<<RXENn) | (1<<TXENn)
                                     ;送受信許可値を取得
             OUT     UCSRnB, R18             ;送受信許可
             OUT     UBRRnH, R17            ;ボーレート設定(上位バイト)
             OUT     UBRRnL, R16            ;ボーレート設定(下位バイト)
             RET                             ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void USART_Init(unsigned int baud)
{
    UBRRn = 0;                          /* ボーレート設定(クロック停止) */
    XCKn_DDR |= (1<<XCKn);              /* XCKnポートピン出力設定 */
    UCSRnC = (1<<UMSELn1) | (1<<UMSELn0) | (0<<UCPHAn) | (0<<UCPOLn);
                                     /* MSPI,データ種別0設定 */
    UCSRnB = (1<<RXENn) | (1<<TXENn);    /* 送受信許可 */
    UBRRn = baud;                       /* ボーレート設定 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

22.6. データ転送

USARTでのMSPI動作の使用は送信部が許可されること、即ち**USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)**で**送信許可(TXENn)ビット**が**1**に設定される必要があります。送信部が許可されると、TXDnピンの標準ピン動作は無視され、送信部の直列出力としての機能を与えられます。受信部の許可は任意選択で、UCSRnBの**受信許可(RXENn)ビット**の設定(=1)によって行なわれます。受信部が許可されると、RXDnピンの標準ピン動作は無視され、受信部の直列入力としての機能を与えられます。XCKnは両方の場合で転送クロックとして使われます。

初期化後、USARTはデータ転送を行なう準備が整います。データ転送は**USARTデータレジスタ(UDRn)**I/O位置に書くことによって開始されます。送信部が転送クロックを制御するため、これは送受信データ両方の状態についてです。UDRnに書かれたデータは移動レジスタが新規フレームを送る準備が整った時に送信緩衝部から移動レジスタへ移されます。

注: 入力緩衝部に於いて送信されたデータバイト数との同期を保つために、送信された各バイトに対して一度、UDRnが読まれなければなりません。入力緩衝操作は通常のUSART動作と同じで、即ちオーバーランが起きると、緩衝部内の先頭ではなく最後に受信したデータが失われます。これは第1バイト、第2、第3、第4バイトの順で4バイトのデータが送信され、全ての転送が完了される前にDDRnが読まれない場合、第1バイトではなく、受信されるべき第3バイトが失われます。

次のコード例は**USART制御/状態レジスタA(UCSRnA)**の**送信データレジスタ空き(UDREN)フラグ**のポーリングに基いた、簡単なUSARTでのMSPI転送関数を示します。この関数が使われ得る前にUSARTが初期化されなければなりません。アセンブリ言語での送るべきデータはR16レジスタに格納されると仮定され、受信したデータは関数復帰後、同じR16レジスタで利用できます。

この関数は送信されるべき新規データを設定する前に、UDRENの検査によって送信緩衝部が空になるのを単純に待ちます。その後、緩衝部を読んで値を戻す前に、RXCnフラグの検査によって受信緩衝部にデータが存在するのを待ちます。

アセンブリ言語プログラム例

```
USART_MSPI: SBIS    UCSRnA, UDREN    ;送信緩衝部空きでスキップ
             RJMP    USART_MSPI     ;送信緩衝部空き待機
;
             OUT     UDRn, R16       ;データ送信(送信開始)
USART_SPIR: SBIS    UCSRnA, RXCn     ;受信完了でスキップ
             RJMP    USART_SPIR     ;受信完了待機
;
             IN      R16, UDRn       ;受信データ取得
             RET                     ;呼び出し元へ復帰
```

C言語プログラム例

```
void USART_MSPI_Transfer(unsigned int data)
{
    while ( !(UCSRnA & (1<<UDREN)) ); /* 送信緩衝部空き待機 */
    UDRn = data;                       /* データ送信(送信開始) */
    while ( !(UCSRnA & (1<<RXCn)) );  /* 受信完了待機 */
    return UDRn;                       /* 受信データ取得 */
}
```

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

22.6.1. 送受信フラグと割り込み

USARTのMSPI動作での**受信完了(RXCn)**、**送信完了(TXCn)**、**送信データレジスタ空き(UDREN)**フラグと対応する割り込みは通常のUSART操作と機能的に同一です。けれども受信異常状態フラグ(**FEn**, **DORn**, **UPEn**)は使えず、常に**0**として読みます。

22.6.2. 送受信の禁止

USARTのMSPI動作での送受信部の禁止は通常のUSART操作と機能的に同一です。

22.7. MSPIMでのUSART用レジスタ

以下の節はUSARTを使うSPI操作で使われるレジスタを記述します。

22.7.1. UDRn – USART MSPIMデータレジスタ (USART I/O Data Register)

MSPIMでのUSARTデータレジスタ(UDRn)の機能と説明は通常のUSART操作と同一です。153頁の「UDRn – USARTデータレジスタ」をご覧ください。

22.7.2. UCSRnA – USART MSPIM制御/状態レジスタA (USART Control and Status Register A)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C0):(\$C8):(\$D0):(\$130)	RXCn	TXCn	UDREn	–	–	–	–	–	UCSRnA
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	1	0	0	0	1	0	

●ビット7 – RXCn : USART受信完了フラグ (USART Receive Complete)

このフラグは受信緩衝部に未読データがある時に設定(1)され、受信緩衝部が空の(換言すると、どんな未読データも含まない)時に解除(0)されます。受信部が禁止されると、受信緩衝部が破棄され、その結果RXCnフラグは0になります。RXCnフラグは受信完了割り込みを発生するのに使えます(USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)の受信完了割り込み許可(RXCIEn)ビットをご覧ください)。

●ビット6 – TXCn : USART送信完了フラグ (USART Transmit Complete)

このフラグは送信移動レジスタ内の完全なフレームが移動出力されてしまい、送信緩衝部(UDRn)に新規データが現存しない時に設定(1)されます。TXCnフラグは送信完了割り込みが実行されると、自動的に解除(0)されるか、またはこのビット位置に1を書くことによって解除(0)できます。TXCnフラグは送信完了割り込みを発生できます(UCSRnBの送信完了割り込み許可(TXCIEn)ビットをご覧ください)。

●ビット5 – UDREn : USART送信データレジスタ空きフラグ (USART Data Register Empty)

UDREnフラグは送信緩衝部(UDRn)が新規データを受け取る準備ができていどうかを示します。UDREnが1ならば緩衝部は空で、従って書かれる準備ができています。UDREnフラグは送信緩衝部空き割り込みを発生できます(UCSRnBの送信データレジスタ空き割り込み許可(UDRIEn)ビットをご覧ください)。送信部が準備できているのを示すため、リセット後のUDREnは設定(1)です。

●ビット4~0 – Res : 予約 (Reserved Bits in MSPI mode)

MSPI動作時、これらのビットは将来の使用に予約されています。将来のデバイスとの共通性のため、これらのビットはUCSRnAが書かれるとき、0が書かれなければなりません。

22.7.3. UCSRnB – USART MSPIM制御/状態レジスタB (USART Control nad Status Register B)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C1):(\$C9):(\$D1):(\$131)	RXCIEn	TXCIEn	UDRIEn	RXENn	TXENn	–	–	–	UCSRnB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	1	1	0	

●ビット7 – RXCIEn : 受信完了割り込み許可 (Receive Complete Interrupt Enable)

このビットへの1書き込みはUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の受信完了(RXCn)フラグでの割り込みを許可します。USART受信完了割り込みはRXCIEnビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)で全割り込み許可(I)ビットが1を書かれ、UCSRnAでRXCnフラグが設定(1)される場合にだけ生成されます。

●ビット6 – TXCIEn : 送信完了割り込み許可 (Transmit Complete Interrupt Enable)

このビットへの1書き込みはUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の送信完了(TXCn)フラグでの割り込みを許可します。USART送信完了割り込みはTXCIEnビットが1を書かれ、SREGで全割り込み許可(I)ビットが1を書かれ、UCSRnAでTXCnフラグが設定(1)される場合にだけ生成されます。

●ビット5 – UDRIEn : 送信データレジスタ空き割り込み許可 (Transmit Data Register Empty Interrupt Enable)

このビットへの1書き込みはUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の送信データレジスタ空き(UDREn)フラグでの割り込みを許可します。USART送信データレジスタ空き割り込みはUDRIEnビットが1を書かれ、SREGで全割り込み許可(I)ビットが1を書かれ、UCSRnAでUDREnフラグが設定(1)される場合にだけ生成されます。

●ビット4 – RXENn : 受信許可 (Receiver Enable)

このビットへの1書き込みはMSPIMでのUSART受信(部)を許可します。受信部は許可されるとRXDnピンの標準ポート動作を無効にします。受信の禁止は受信緩衝部を破棄します。MSPIMで受信(部)だけの許可(即ちRXENn=1とTXENn=0)は、主装置動作だけが支援されて送信(部)が転送クロックを制御するので、意味を持ちません。

●ビット3 – TXENn : 送信許可 (Transmitter Enable)

このビットへの1書き込みがUSART送信(部)を許可します。送信部は許可された時にTXDnピンの標準ポート動作を無効にします。送信の禁止(TXENn=0書き込み)は進行中と保留中の送信が完了される(即ち、送信移動レジスタと送信緩衝レジスタが送信されるべきデータを含まない)まで有効になりません。禁止したとき、送信部はもはやTXDnポート(の標準I/O機能)を無効にしません。

●ビット2~0 – Res : 予約 (Reserved Bits in MSPI mode)

MSPI動作時、これらのビットは将来の使用に予約されています。将来のデバイスとの共通性のため、これらのビットはUCSRnBが書かれるとき、0が書かれなければなりません。

22.7.4. UCSRnC – USART MSPIM制御/状態レジスタ (USART Control nad Status Register C)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$C2) : (\$CA) : (\$D2) : (\$132)	UMSELn1	UMSELn0	–	–	–	UDORDn	UCPHAn	UCPOLn	UCSRnC
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	1	1	0	

●ビット7,6 – UMSELn1,0 : USART動作選択 (USART Mode Select)

このビットは表22-4.で示されるようにUSART動作種別を選びます。通常USART操作の完全な記述については、154頁の「UCSRnC – USART制御/状態レジスタ」をご覧ください。主装置SPI動作(MSPIM)は両UMSELnビットが1に設定される時に許可されます。データ順選択(UDORDn)、クロック位相選択(UCPHAn)、クロック極性選択(UCPOLn)はMSPIMが許可されるのと同じ書き込み操作で設定できます。

表22-4. USART動作選択

UMSELn1	UMSELn0	動作種別
0	0	非同期動作
	1	同期動作
1	0	(予約)
	1	主装置SPI (MSPIM)

●ビット5~3 – Res : 予約 (Reserved Bits in MSPI mode)

MSPI動作時、これらのビットは将来の使用に予約されています。将来のデバイスとの共通性のため、これらのビットはUCSRnCが書かれるとき、0が書かれなければなりません。

●ビット2 – UDORDn : データ順選択 (Data Order)

UDORDnビットが1を書かれるとデータ語のLSBが最初に転送されます。UDORDnビットが0を書かれるとMSBが最初に転送されます。詳細については159頁の「フレーム形式」節を参照してください。

●ビット1 – UCPHAn : クロック位相選択 (Clock Phase)

このクロック位相選択(UCPHAn)ビットの設定はデータがXCKnの先行(先)端または後行(後)端で採取/(設定)されるかを決めます。詳細については159頁の「データ転送形式」節を参照してください。

●ビット0 – UCPOLn : クロック極性選択 (Clock Polarity)

クロック極性選択(UCPOLn)ビットはXCKnクロックの極性を設定します。UCPOLnとクロック位相選択(UCPHAn)ビットの組み合わせがデータ転送のタイミングを決めます。詳細については159頁の「データ転送形式」節を参照してください。

22.7.5. UBRRnH, UBRRnL (UBRRn) – USART MSPIMボーレート レジスタ (USART Baud Rate Register)

MSPIMでのボーレート レジスタ(UBRRn)の機能と説明は通常のUSART操作と同一です。155頁の「UBRRnH,UBRRnL – USARTボーレート レジスタ」をご覧ください。

23. 2線直列インターフェース (TWI:Two-wire Serial Interface, I²C)

23.1. 特徴

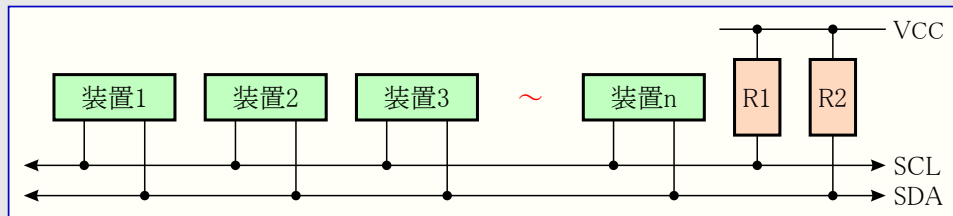
- ・ 2本のバス信号線のみ必要な、単純ながら強力な柔軟な通信インターフェース
- ・ 主装置動作と従装置動作の両方を支援
- ・ 送信装置または受信装置として動作可能
- ・ 7ビットのアドレス空間が128までの異なる従装置アドレスを許容
- ・ 複数主装置の調停支援
- ・ 400kHzまでのデータ転送速度
- ・ 上昇/下降(スレーブ)制限された出力駆動回路
- ・ バス信号線のスパイクを排除する雑音消去回路
- ・ 一斉呼び出しを含む完全に設定変更可能な従装置アドレスの支援
- ・ AVRが休止形態の時のアドレス認証(一致)起動

38頁の「PRR0 - 電力削減レジスタ」のPRTWIビットは2線直列インターフェース部を許可するために0を書かれなければなりません。

23.2. 2線直列インターフェース バスの定義

2線直列インターフェース(TWI)は代表的なマイクロ コントローラ応用に対して理想的に適応されています。TWI通信規約は2本の双方向バス信号線、データ用1本(SDA)とクロック用1本(SCL)だけを使って128個までの異なる装置の相互接続をシステム設計者に許します。バスを実現するのに必要とされる外部ハードウェアはTWIバス信号線各々に1本ずつのプルアップ抵抗だけです。バスに接続した全ての装置は個別のアドレスを持ち、バス衝突を解決する機構は本質的にTWI通信規約で行います。

図23-1. 2線直列(TWI)バス構成



23.2.1. TWI用語定義

次の定義は本章で度々使われます。

表23-1. TWI用語定義

用語	意味
主装置	送信の開始と終了を行う装置。主装置はSCLクロックも生成します。
従装置	主装置によって指定された装置。
送信装置	バス上にデータを送り出す装置。
受信装置	バスからデータを読み込む装置。

23.2.2. 電氣的な相互接続

図23-1.で描かれたように両方のバス信号線はプルアップ抵抗を通して正供給電圧に接続されます。全てのTWI準拠装置のバス駆動部はオープンドレインかオープン コレクタです。これはインターフェースの動作のために重要なワイアード AND機能を実現します。TWIバス信号線のLowレベルは1つまたはより多くのTWI装置の0出力時に生成されます。Highレベルは全TWI装置がHi-Z出力時の出力で、プルアップ抵抗に信号線をHighへ引き上げさせます。どんなバス動作を許すのにも、TWIバスに接続した全てのAVRデバイスが電力供給されなければならないことに注意してください。

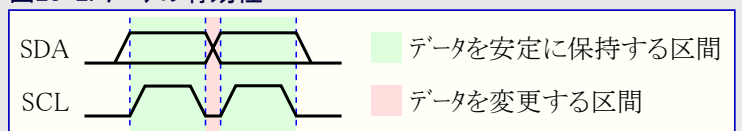
このバスに接続できる装置数は7ビットの従装置アドレス空間と400pFのバス容量制限によってのみ制限されます。TWIの電氣的特性の詳細仕様は244頁の「2線直列インターフェース特性」で与えられます。そこで与えられる2組の異なる仕様は、1つがバス速度100kHz以下に関するもので、もう1つはバス速度400kHzまでに於いて有効です。

23.3. データ転送とフレーム形式

23.3.1. ビット転送

TWIバスに転送される各データビットはクロック信号線のパルスを伴います。データ信号線のレベルはクロック信号線がHighの時に安定していなければなりません。この規則の例外は開始条件と停止条件の生成だけです。

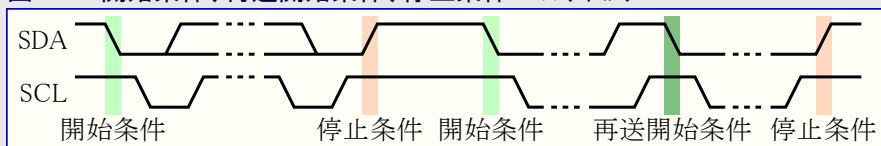
図23-2. データの有効性



23.3.2. 開始条件と停止条件

主装置がデータ転送の開始と終了を行います。転送は主装置がバスに**開始条件**を起こすと開始され、主装置が**停止条件**を起こすと終了されます。**開始条件**と**停止条件**間はバスが使用中と考えられ、他の主装置はバスの制御獲得を試みるべきではありません。**開始条件**と**停止条件**間で新規**開始条件**が起こされると特別な状態が起きます。これは**再送開始条件**として引用され、主装置がバスの制御を手放さずに新規転送を始めたい時に使われます。**再送開始条件**後、バスは次の**停止条件**まで使用中と考えられます。これは開始動作についてと全く同じで、従って特記事項を除いて本データシートの残りに対して**開始条件**と**再送開始条件**の両方の記述に**開始条件**が使われます。下で描かれるように、**開始条件**と**停止条件**はSCL信号線がHighの時のSDA信号線のレベル変更によって指示されます。

図23-3. 開始条件、再送開始条件、停止条件 バス タイミング



23.3.3. アドレス パケット形式

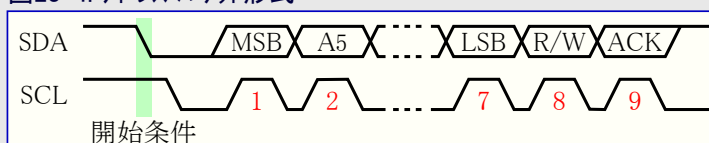
TWIバスに送信した全てのアドレス パケットは7ビットのアドレスビット、1ビットの方向(Read/Write)制御ビット、1ビットの応答ビットから成る9ビットです。方向(R/W)ビットが設定(1)されると読み出し操作が実行され、さもなければ書き込み操作が実行されるべきです。従装置がアドレス指定されたことを認証すると、9番目のSCL(ACK)周期でSDAをLowへ引くことによって確認応答すべきです。アドレス指定された従装置が忙しいまたはその他の理由で主装置の要求を扱えない場合、**確認応答(ACK)**クロック周期でSDA信号線をHighのままにすべきです。主装置はその後に**停止条件**または新規転送を始めるために**再送開始条件**を送出できます。従装置アドレスと方向(R/W)ビットから成るアドレス パケットは各々、SLA+RまたはSLA+Wと呼ばれます。

アドレスビットの最上位ビット(MSB)が最初に送信されます。従装置アドレスは設計者によって自由に割り当てられますが、アドレス0000 000は一斉呼び出し用に予約されています。

一斉呼び出しが起こされると、全従装置は**確認応答(ACK)**周期でSDA信号線をLowにすることによって応答すべきです。一斉呼び出しは主装置がシステム内のそれぞれの従装置に同じ通信内容を送信したい時に使われます。一斉呼び出しアドレスに続きW(方向が書き込み)ビットがバスに送信されると、一斉呼び出しに応答する設定の全ての従装置は、ACK周期でSDA信号線をLowに引き込みます。そして後続のデータ パケットは一斉呼び出しに確認応答した全従装置によって受信されます。一斉呼び出しアドレスに続くR(方向が読み出し)ビットの送信は、従装置それぞれが異なるデータの送信を始めた場合の衝突の原因となるので意味がないことに注意してください。

1111 xxx形式の全アドレスは将来の目的のために予約されるべきです(訳補: I2C規格のアドレス拡張他)。

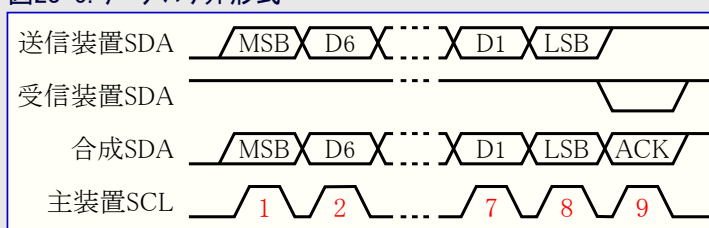
図23-4. アドレス パケット形式



23.3.4. データ パケット形式

TWIバスに送信した全てのデータ パケットは1バイトのデータと1ビットの応答ビットから成る9ビットです。データ転送中、主装置はクロックと**開始条件**、**停止条件**を生成し、一方受信装置は受信に応答する責任があります。確認応答(ACK)は受信装置が9番目のSCL周期中にSDA信号線をLowに引き込むことによって示されます。受信装置がSDA信号線をHighのままにするとNACKを示します。受信装置が最終バイトを受信したとき、または何らかの理由でこれ以上のバイトを受信ができないとき、最終バイト後に**NACK**を送ることによって送信装置へ通知すべきです。データバイトの最上位(MSB)ビットが最初に送信されます。

図23-5. データ パケット形式

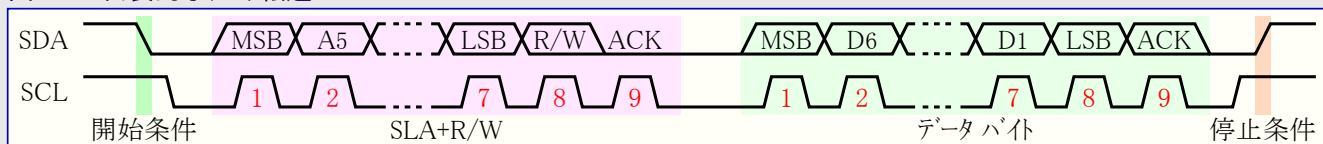


23.3.5. 転送内でのアドレス パケットとデータ パケットの組み合わせ

転送は基本的に**開始条件**、**SLA+R/W**、1つ以上のデータ パケット、**停止条件**から成ります。**開始条件**に続く**停止条件**から成る空の通信内容は規則違反です。SCL信号線のワイアードANDが主装置と従装置間のハンドシェイクに使えることに注目してください。従装置はSCL信号線を**Low**に引き込むことによってSCLの**Low**期間を引き伸ばせます。これは主装置が従装置に対して速すぎるクロック速度設定、または従装置がデータ送信間の処理に追加時間を必要とする場合に有効です。従装置がSCLの**Low**期間を延長することは、主装置によって決められるSCLの**High**期間に影響しません。同様に従装置はSCLのデューティ比(**Low**期間)を延長することによってTWIデータ転送速度を落とせます。

図23-6.は代表的なデータ転送を示します。応用ソフトウェアによって実装されたソフトウェア規約に依存して、様々なデータが**SLA+R/W**と**停止条件**間に送信できることに注意してください。

図23-6. 代表的なデータ転送



23.4. 複数主装置バス システムの調停と同期

TWI規約は多数主装置のバス システムを許します。例えば2つ以上の主装置が同時に送信を始めても、送信が通常のように続行することを保証するために特別な手段が講じられます。複数主装置のシステムでは2つの問題が起こります。

- 送信を完了するために1つの主装置だけを許す方法が実現されなければなりません。他の全ての主装置は(自身が行っている従装置)選択手順を失った(失敗した)ことに気付く時に送信を止めるべきです。この選択手順は調停(アビレーション)と呼ばれます。競合する主装置は調停(従装置選択)手順を失ったことに気付くと、勝ち残った主装置によってアドレス指定されるかどうかを調べるため、直ちに従装置動作へ切り替えるべきです。複数の主装置が同時に送信を始めた事実は従装置で検知できるべきではありません。即ち、バスに転送されているデータが不正にされてはなりません。
- 違う主装置が異なるSCL周波数を使うかもしれません。同期確定手順で送信が続行するために、全主装置からの直列クロックを同期化する方法が考案されなければなりません。これは調停手順を容易にします。

バス信号線のワイアードANDはこれらの問題の両方の解決に使われます。全ての主装置からの直列クロックはワイアードANDされ、最短**High**期間の主装置の1つからに等しい**High**期間の合成クロックを生成します。合成クロックの**Low**期間は最長**Low**期間の主装置の**Low**期間に等しくなります。全ての主装置がSCL信号線を監視する、実際には合成SCL信号線が**High**または**Low**になる時に各々SCLの**High**と**Low**経過時間の計時を始めることに注意してください。

調停は全ての主装置がデータ出力後にSDA信号線を継続的に監視することによって実行されます。SDA信号線から読んだ値がその主装置の出力した値と一致しない場合、調停に敗れます。主装置がSDAに**High**値を出力し、同時に他の主装置が**Low**値を出力する時のみ調停に敗れるかもしれないことに注意してください。敗れた主装置は直ちに従装置動作へ移行し、勝ち残った主装置によってアドレス指定されるかを検査すべきです。SDA信号線は**High**のままにすべきですが、敗れた主装置は現在のデータ若しくはアドレス パケットの最後までクロック信号を生成することを許されます。調停は唯一の主装置が残るまで継続され、多くのビットを必要とするかもしれません。多くの主装置が同じ従装置をアドレス指定しようとすると、調停はデータ パケットに続くでしょう。

図23-7. 複数主装置間でのSCL同期化

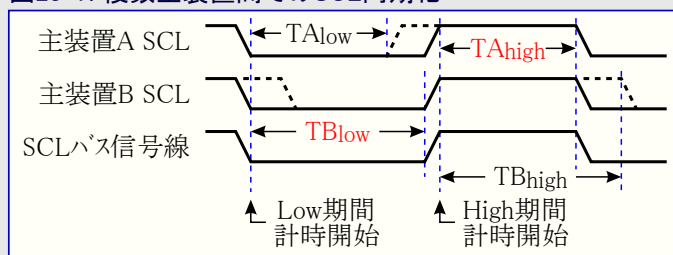
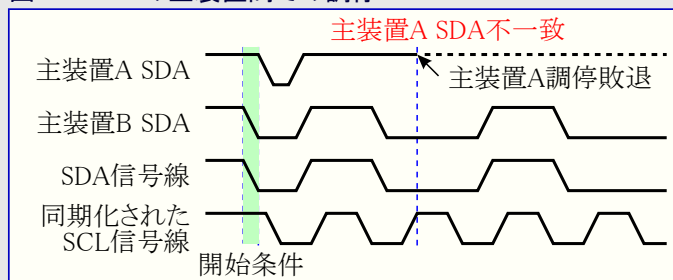


図23-8. 2つの主装置間での調停



調停が次の状態間で許されないことに注意してください。

- 再送開始条件とデータ ビット間
- 停止条件とデータ ビット間
- 再送開始条件と停止条件間

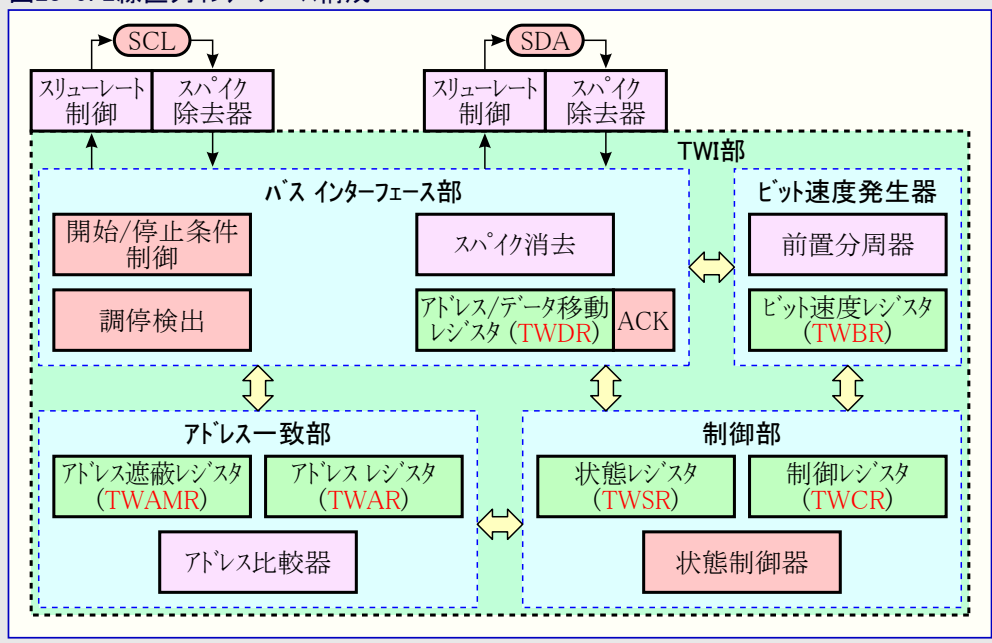
これらの違法な調停状態を決して起こさないように保証するのは使用者ソフトウェアの責任です。これは複数主装置システムでの全てのデータ転送は同じ構成、SLA+R/Wとデータ パケットを使わなければならないことを意味します。言葉を変えると、全ての送信は同じデータ パケット数を含まなければならない、さもなければ調停の結果は不定にされます。

(**訳補**) 同じデータ パケット数とは、或る主装置が最後まで調停を継続し、他の主装置がパケットを残している場合を想定しています。

23.5. TWI部の概要

図23-9.で示されるようにTWI部は様々な部分から成ります。赤文字で示された(訳注:原文は太線で描かれた)全てのレジスタはAVRデータバスを通してアクセス可能です。

図23-9. 2線直列インターフェース構成



23.5.1. SCLとSDAピン

これらのピンはAVR TWIをMCUシステムのその他とインターフェースします。出力駆動部はTWI仕様に適合させるためのスレーブ(上昇/下降)制限器を含みます。入力段は50nsよりも短いスパイクを除去するスパイク除去部を含みます。「入出力ポート」章で説明したようにAVRパッドの内部プルアップはSCLとSDAピンに対応するポートのビットを設定(=1)することによって許可できることに注目してください。内部プルアップはいくつかのシステムで外部抵抗の必要をなくせます。

23.5.2. ビット速度発生器

この部分は主装置動作で動く時のSCL周期を制御します。SCL周期はTWIビット速度レジスタ(TWBR)とTWI状態レジスタ(TWSR)の前置分周器ビットの設定によって制御されます。従装置動作はビット速度や前置分周器設定と関係ありませんが、従装置でのCPUクロック周波数はSCL周波数よりも最低16倍高くなければなりません。従装置がSCLのLow期間を延長するかもしれず、これによって平均TWIバスクロック周波数が減少することに注意してください。SCL周波数は次式に従って生成されます。

$$\text{SCL周波数} = \frac{\text{CPUクロック周波数}}{16 + 2 \times (\text{TWBR}) \times \text{前置分周値}}$$

TWBR : TWIビット速度レジスタ値
前置分周値 : TWI状態レジスタ内TWPSで指定(182頁の表23-7.参照)

注: プルアップ抵抗値はSCL周波数とバス信号線の容量性負荷に応じて選ばれるべきです。プルアップ抵抗の値については244頁の表30-7をご覧ください。

23.5.3. バス インターフェース部

この部分はデータとアドレスの移動レジスタ(TWDR)、開始条件/停止条件制御器、調停検出回路を含みます。TWDRは送信されるべきアドレスまたはデータバイト、若しくは受信したアドレスまたはデータバイトを含みます。8ビットのTWDRに加えてバスインターフェース部は送信されるべきまたは受信した(N)ACKビットを含むレジスタも含みます。この(N)ACKレジスタは応用ソフトウェアによって直接的にアクセスできません。けれどもTWI制御レジスタ(TWCR)を操作することにより、受信時に設定(1)または解除(0)できます。送信装置動作時、受信した(N)ACKビットの値はTWSRの値によって判定できます。

開始条件/停止条件制御器は開始条件、再送開始条件、停止条件の生成と検出に対して責任があります。開始条件/停止条件制御器はAVR MCUが主装置によってアドレス指定された場合にMCUを起動できる休止形態の1つの時でも、開始条件または停止条件を検出できます。

TWIが主装置として送信を始めると、調停検出ハードウェアは調停が進行中かを決定するために送信の試行を継続的に監視します。TWIが調停に敗れた場合、制御部に通知されます。その後正しい処置が行われ、適切な状態符号が生成されます。

23.5.4. アドレス一致部

アドレス一致部は受信したアドレスバイトがTWIアドレスレジスタ(TWAR)の7ビットアドレスと一致するかを検査します。TWARで一斉呼び出し検出許可(TWGCE)ビットが1を書かれると、全ての到着アドレスビットは一斉呼び出しアドレスに対しても比較されます。アドレス一致で制御部は通知され、正しい処置を行うことを許します。TWIはTWI制御レジスタ(TWCR)の設定によって、そのアドレスへの応答をするかもしれないし、しないかもしれません。アドレス一致部はAVR MCUが主装置によってアドレス指定された場合にMCUを起動できる休止形態の1つの時でも、アドレスを比較できます。TWIがパワーダウン動作でのアドレス一致でCPUを起動中に他の割り込み(例えばINT0)が起こると、TWIは動作を停止し、アイドル状態で復帰します。これが何らかの問題の原因なら、パワーダウン動作へ移行する時にTWIアドレス一致だけが割り込みを許可されることを保証してください。

23.5.5. 制御部

制御部はTWIバスを監視し、TWI制御レジスタ(TWCR)の設定に従った応答を生成します。応用に注意を要求する事象がTWIバスで起こると、TWI割り込み要求フラグ(TWINT)が有効にされます。次のクロック周期で、TWI状態レジスタ(TWSR)は事象を示す状態符号で更新されます。TWI割り込み要求フラグが有効にされる時にだけ、TWSRは適切な状態情報を含みます。他の全てのとき、TWSRは適切な状態情報が利用できないことを示す特別な状態符号を含みます。TWINTフラグが設定(1)されている限り、SCL信号線はLowに保たれます。これは続くTWI送信を許す前の(現状)処理完了を応用ソフトウェアに許します。

TWI割り込み要求フラグ(TWINT)は次の場合に設定(1)されます。

- ・ 開始条件または再送開始条件送信後
- ・ SLA+R/W送信後
- ・ アドレスバイト送信後
- ・ 調停に敗れた後
- ・ 自身の従装置アドレスまたは一斉呼び出しによってアドレス指定された後
- ・ データバイト受信後
- ・ 従装置として未だアドレス指定されている間の停止条件または再送開始条件受信後
- ・ 不正な開始条件または停止条件のためバス異常が起きた時

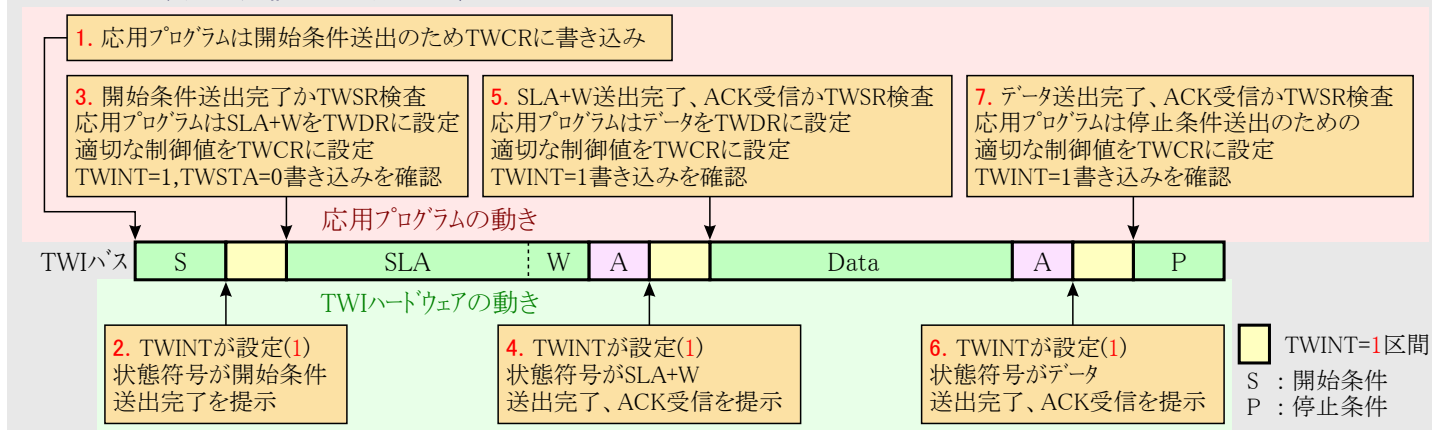
23.6. TWIの使用法

AVR TWIはバイト志向で割り込みが基本です。割り込みはバイトの受信や**開始条件**の送出のような全てのバスの事象後に起こります。TWIは割り込みが基本のため、応用ソフトウェアはTWIバイト転送中に他の操作を続行するために開放されます。**ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット**と共に**TWI制御レジスタ(TWCR)のTWI割り込み許可(TWIE)ビット**は、TWCRの**TWI割り込み要求フラグ(TWINT)**の設定(1)が割り込み要求を発生すべきかどうか決めることを応用(ソフトウェア)に許します。TWIEビットが解除(0)されると、応用(ソフトウェア)はTWIバスの動きを検知するためにTWINTフラグをポーリングしなければなりません。

TWINTフラグが設定(1)されると、TWIは動作を終え、応用(ソフトウェア)の応答を待ちます。この場合、TWI状態レジスタ(TWSR)はTWIバスの現在の状態を示す値を含みます。そして応用ソフトウェアはTWCRとTWDRの操作により、TWIが次のTWIバス周期で何を行うべきかを決定できます。

図23-10は応用(ソフトウェア)がTWIハードウェアにどうインターフェースできるかの簡単な例です。この例では主装置が単一データバイトを従装置に送信しようします。この内容はかなり大雑把ですので、より詳細な説明が本項の後に続きます。希望した動きを実現する簡単なコード例も示されます。

図23-10. 代表的な送信での応用プログラムとTWIのインターフェース



1. TWI送信の最初の段階は**開始条件**を送出することです。これはTWIハードウェアに**開始条件**送出を命じる特別な値をTWCR内に書くことによって行います。どんな値を書くかは後で記述されます。けれども、書かれる値でTWINTビットが設定(1)されることが重要です。TWINTへの1書き込みは、このフラグを解除(0)します。TWCRでTWINTビットが設定(1)されている限り、TWIはどんな動作も始めません。応用(ソフトウェア)がTWINTを解除(0)した後、TWIは直ちに**開始条件**の送出を始めます。
2. 開始条件が送出されてしまうと、TWCRでTWINTフラグが設定(1)され、TWSRは**開始条件**が正常に送出されてしまったことを示す状態符号に更新されます。
3. 応用ソフトウェアは**開始条件**が正常に送信されたのを確認するためにTWSRの値を直ぐに検査すべきです。TWSRが他を示している場合、応用ソフトウェアは異常ルーチン呼び出すような或る特別な動きを講じるかもしれません。期待した状態符号だと仮定すると、応用(ソフトウェア)はTWDRに**SLA+W**を設定しなければなりません。TWDRがアドレスとデータの両方に使われることを思い出してください。TWDRが希望した**SLA+W**に設定されてしまった後、TWDRにある**SLA+W**の送信をTWIハードウェアへ命じる特別な値がTWCRに書かれなければなりません。どんな値を書くかは後で記述されます。けれども書かれる値でTWINTビットが設定(1)されることが重要です。TWINTへの1書き込みがこのフラグを解除(0)します。TWCRでTWINTビットが設定(1)されている限り、TWIはどんな動作も始めません。応用(ソフトウェア)がTWINTを解除(0)した後、TWIは直ちにアドレスパケットの送信を始めます。
4. アドレスパケットが送信されてしまうと、TWCRでTWINTフラグが設定(1)され、TWSRはアドレスパケットが正常に送信されたことを示す状態符号に更新されます。この状態符号は従装置がパケットに応答したかどうかとも反映します。
5. 応用ソフトウェアはアドレスパケットが正常に送信され、期待された**ACK**ビット値であることを確認するためにTWSRの値を直ぐに検査すべきです。TWSRが他を示している場合、応用ソフトウェアは異常ルーチン呼び出すような或る特別な動きを講じるかもしれません。期待した状態符号だと仮定すると、応用(ソフトウェア)はTWDRにデータを設定しなければなりません。その後、TWDRにあるデータパケットの送信をTWIハードウェアへ命じる特別な値がTWCRに書かれなければなりません。どんな値を書くかは後で記述されます。けれども書かれる値でTWINTビットが設定(1)されることが重要です。TWINTへの1書き込みがこのフラグを開錠(0)します。TWCRでTWINTビットが設定(1)されている限り、TWIはどんな動作も始めません。応用(ソフトウェア)がTWINTを解除(0)した後、TWIは直ちにデータパケットの送信を始めます。
6. データパケットが送信されてしまうと、TWCR内のTWINTフラグが設定(1)され、TWSRはデータパケットが正常に送信されたことを示す状態符号に更新されます。この状態符号は従装置がパケットに応答したかどうかとも反映します。
7. 応用ソフトウェアはデータパケットが正常に送信され、期待された**ACK**ビットの値であることを確認するためにTWSRの値を直ぐに検査すべきです。TWSRが他を示している場合、応用ソフトウェアは異常ルーチン呼び出すような或る特別な動きを講じるかもしれません。期待した状態符号だと仮定すると、応用(ソフトウェア)は**停止条件**の送出をTWIハードウェアへ命じる特別な値をTWCRに書かなければなりません。どんな値を書くかは後で記述されます。けれども書かれる値でTWINTビットが設定(1)されることが重要です。TWINTへの1書き込みがこのフラグを解除(0)します。TWCRでTWINTビットが設定(1)されている限り、TWIはどんな動作も始めません。応用(ソフトウェア)がTWINTを解除(0)した後、TWIは直ちに**停止条件**の送出を始めます。**停止条件**が送出されてしまった後にTWINTが設定(1)されないことに注意してください。

この例は簡単とはいえ、全てのTWI送信に関係した原理を示しています。これらは次のように要約できます。

- TWIが動作を終了して応用(ソフトウェア)の反応を予想する時に**TWINTフラグ**が設定(**1**)されます。SCL信号線はTWINTが解除(**0**)されるまで**Low**に引き込まれます。
- TWINTフラグが設定(**1**)されると、使用者は次のTWIバス周期に関連した値で、(必要な)全てのTWIレジスタを更新しなければなりません。例で示されるように**TWDR**は次のTWIバス周期で送信されるべき値を設定されなければなりません。
- (必要な)全てのTWIレジスタを更新し、その他保留中の応用ソフトウェアの処理が完了してしまった後に**TWCR**が書かれます。TWCR書き込み時、TWINTビットが設定(**1**)されるべきです。TWINTへの**1**書き込みはこのフラグを解除(**0**)します。TWCR設定によってどの動作が指定されても、TWIはその(TWINT=**0**)後に実行を始めます。

次にアセンブリ言語とC言語の実装例が与えられます。以下のコードは例えばインクルードファイルの使用により、様々な定義が作成されている前提であることに注意してください。

	アセンブリ言語プログラム例	C言語プログラム例	注釈
1.	LDI R16, (1<<TWINT) (1<<TWSTA) (1<<TWEN) OUT TWCR, R16	TWCR = (1<<TWINT) (1<<TWSTA) (1<<TWEN);	; 開始条件送出
2.	WAIT1: IN R16, TWCR SBRS R16, TWINT RJMP WAIT1	while (!(TWCR & (1<<TWINT)));	; TWINT= 1 まで待機 ;(開始条件送出完了待機)
3.	IN R16, TWSR ANDI R16, \$F8 CPI R16, START BRNE ERROR	if ((TWSR & 0xF8) != START) ERROR();	; TWI状態レジスタ値検査 ; 前置分周選択ビットの遮蔽 ; STARTと異なる状態符号で ; 異常処理へ
	LDI R16, SLA_W OUT TWDR, R16 LDI R16, (1<<TWINT) (1<<TWEN) OUT TWCR, R16	TWDR = SLA_W; TWCR = (1<<TWINT) (1<<TWEN);	; TWDRにSLA+W設定 ; アドレス送信開始のため ; TWCRのTWINTを解除(0)
4.	WAIT2: IN R16, TWCR SBRS R16, TWINT RJMP WAIT2	while (!(TWCR & (1<<TWINT)));	; TWINT= 1 まで待機 ;(SLA+W送出完了と ; ACK/NACK受信完了待機)
5.	IN R16, TWSR ANDI R16, \$F8 CPI R16, MT_SLA_ACK BRNE ERROR	if ((TWSR & 0xF8) != MT_SLA_ACK) ERROR();	; TWI状態レジスタ値検査 ; 前置分周選択ビットの遮蔽 ; MT_SLA_ACKと違う状態符号で ; 異常処理へ
	LDI R16, DATA OUT TWDR, R16 LDI R16, (1<<TWINT) (1<<TWEN) OUT TWCR, R16	TWDR = DATA; TWCR = (1<<TWINT) (1<<TWEN);	; TWDRにデータ設定 ; データ送信開始のため ; TWCRのTWINTを解除(0)
6.	WAIT3: IN R16, TWCR SBRS R16, TWINT RJMP WAIT3	while (!(TWCR & (1<<TWINT)));	; TWINT= 1 まで待機 ;(データ送出完了と ; ACK/NACK受信完了待機)
7.	IN R16, TWSR ANDI R16, \$F8 CPI R16, MT_DATA_ACK BRNE ERROR	if ((TWSR & 0xF8) != MT_DATA_ACK) ERROR();	; TWI状態レジスタ値検査 ; 前置分周選択ビットの遮蔽 ; MT_DATA_ACKと違う状態符号で ; 異常処理へ
	LDI R16, (1<<TWINT) (1<<TWSTO) (1<<TWEN) OUT TWCR, R16	TWCR = (1<<TWINT) (1<<TWSTO) (1<<TWEN);	; 停止条件送出

注: 10頁の「コード例について」をご覧ください。

23.7. 転送種別

TWIは4つの主な動作種別の1つで動けます。これらは送信主装置(MT)、受信主装置(MR)、送信従装置(ST)、受信従装置(SR)と名付けられます。これら種別の多くは同じ応用に使えます。例えば、TWI方式のEEPROM内にデータを書くのにTWIはMT動作を、EEPROMからデータを読み戻すのにMR動作を使えます。システム内に他の主装置が存在する場合、それらのいくつかがTWIにデータを送信するかもしれず、するとSR動作が使われるでしょう。どの動作種別が適正かを決めるのは応用ソフトウェアです。

次項はこれら動作種別の各々を記述します。起こり得る状態符号は各動作種別のデータ伝送詳細図に沿って示されます。これらの図は次の略号を含みます。

S	開始(START)条件
Rs	再送開始(REPEATED START)条件
R	読み出し指定ビット (SDA=High)
W	書き込み指定ビット (SDA=Low)
A	確認応答(ACK)ビット (SDA=Low)
\bar{A}	非確認応答(NACK)ビット (SDA=High)
Data	8ビット データ バイト
P	停止(STOP)条件
SLA	従装置アドレス

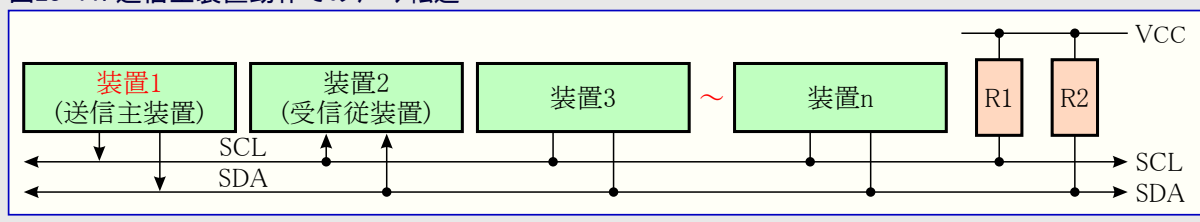
図23-12. ~18.内の楕円(訳注:原文は円)はTWI制御レジスタ(TWCR)のTWI割り込み要求フラグ(TWINT)が設定(1)されたことを示すのに使われます。この楕円内の番号は前置分周選択ビットが0で遮蔽されたTWI状態レジスタ(TWSR)に保持した状態符号を表します。これら位置での動きはTWI転送の継続または完了が応用(ソフトウェア)によって行われなければなりません。TWI転送はソフトウェアによってTWINTフラグが解除(0)されるまで一時停止されます。

TWI割り込み要求フラグ(TWINT)が設定(1)される時のTWI状態レジスタ(TWSR)の状態符号は適切なソフトウェア動作を決めるのに使われます。各状態符号に対する必要なソフトウェア動作や後続の直列転送の詳細は表23-2. ~5. で与えられます。これらの表に於いて前置分周選択ビットが0で遮蔽されていることに注意してください。

23.7.1. 送信主装置動作

送信主装置動作では何バイトかのデータが受信従装置へ送信されます(図23-11.参照)。主装置動作へ移行するには**開始条件**が送出されなければなりません。それに続くアドレスパケットの形式が送信主装置または受信主装置のどちらへ移行すべきかを決めます。**SLA+W**が送信されると送信主装置(MT)へ移行し、**SLA+R**が送信されると受信主装置(MR)へ移行します。本項で言及する全ての状態符号は**前置分周選択ビット**が0か、または0で遮蔽されることが前提です。

図23-11. 送信主装置動作でのデータ転送



開始条件はTWCRに次の値を書くことによって送出されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	1	0	X	1	0	X

TWENは2線直列インターフェース(TWI)を許可するために設定(1)されなければなりません。**TWSTA**は**開始条件**を送出するために1を書かれねばならず、**TWINT**はTWINTフラグを解除(0)するために1を書かれなければなりません。そしてTWIは2線直列バスを検査し、バスが開放になると直ぐに**開始条件**を生成します。**開始条件**が送出されてしまった後、TWINTフラグがハードウェアによって設定(1)され、**TWSR**の状態符号が\$08(表23-2.参照)になります。送信主装置へ移行するには**SLA+W**が送信されなければなりません。これは**TWDR**に**SLA+W**を書くことによって行います。その後、転送を継続するためにTWINTビットは(1の書き込みによって)解除(0)されるべきです。これはTWCRに次の値を書くことによって成し遂げられます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	0	0	X	1	0	X

SLA+Wが送信されて応答ビットが受信されてしまうと、TWINTが再び設定(1)され、TWSRの状態符号の数値が利用可能になります。主装置動作で可能性のある状態符号は\$18,\$20,\$38です。これら状態符号の各々に対する適切な動作は表23-2.で詳述されます。

SLA+Wが正常に送信されてしまうと、データパケットが送信されるべきです。これはTWDRにデータバイトを書くことによって行われます。TWDRはTWINTが1の時にだけ書かれなければなりません。さもなければ、そのアクセスは破棄され、TWCRで**上書き発生(TWWC)フラグ**が設定(1)されます。TWDR更新後、転送を継続するためにTWINTビットは(1の書き込みによって)解除(0)されるべきです。これはTWCRに次の値を書くことによって成し遂げられます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	0	0	X	1	0	X

最後のバイトが送られてしまうまでこの手順が繰り返され、この転送は**停止条件**または**再送開始条件**を生成することによって終了されます。**停止条件**はTWCRに次の値を書くことによって生成されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	0	1	X	1	0	X

再送開始条件はTWCRに次の値を書くことによって生成されます。

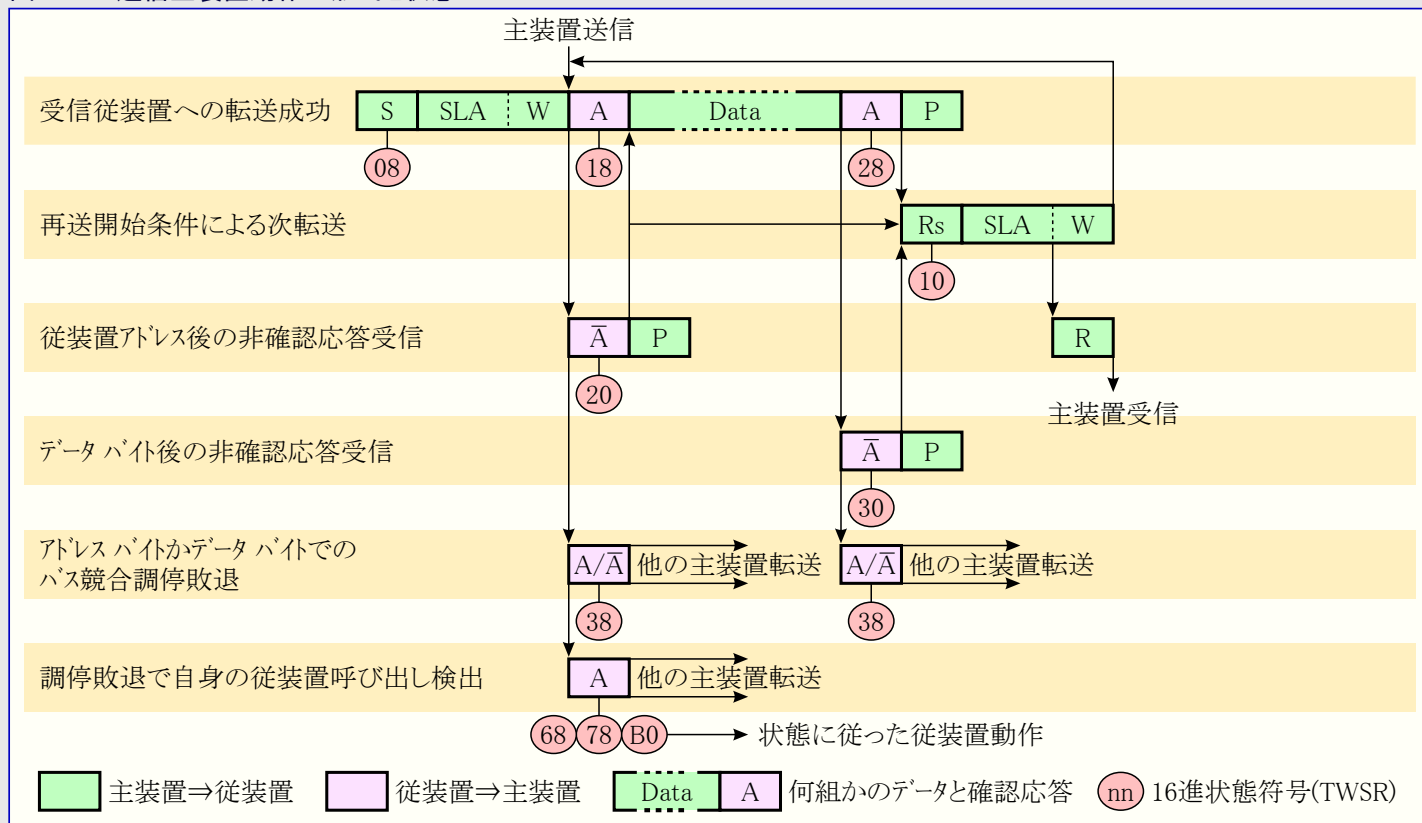
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	1	0	X	1	0	X

再送開始条件(状態符号\$10)後、2線直列インターフェースは**停止条件**を送出せずに再び同じ従装置または新しい従装置にアクセスできます。**再送開始条件**は主装置がバスの制御を失わずに送信主装置、受信主装置間の切り替えを可能にします(訳注:原文では従装置も含まれていますが、基本動作に対して不適切なため削除しました)。

表23-2. 送信主装置動作の状態符号 (注: TWSRの前置分周選択ビットは0の前提)

状態符号 (TWSR)	直前の動作と バスの状態	ソフトウェアの対応					TWCR設定によるハードウェア動作
		TWDR操作	TWCR設定				
			TWSTA	TWSTO	TWINT	TWEA	
\$08	開始条件送信	SLA+W設定	0	0	1	X	SLA+W送信、ACKかNACK受信
\$10	再送開始条件送信	SLA+W設定	0	0	1	X	SLA+W送信、ACKかNACK受信
		SLA+R設定	0	0	1	X	SLA+R送信、受信主装置動作へ移行
\$18	SLA+W送信 ACK受信	データ設定	0	0	1	X	データ送信、ACKかNACK受信
			1	0	1	X	再送開始条件送信
		なし	0	1	1	X	停止条件送信、TWSTO=0
			1	1	1	X	停止条件→開始条件送信、TWSTO=0
\$20	SLA+W送信 NACK受信	データ設定	0	0	1	X	データ送信、ACKかNACK受信
			1	0	1	X	再送開始条件送信
		なし	0	1	1	X	停止条件送信、TWSTO=0
			1	1	1	X	停止条件→開始条件送信、TWSTO=0
\$28	データバイト送信 ACK受信	データ設定	0	0	1	X	データ送信、ACKかNACK受信
			1	0	1	X	再送開始条件送信
		なし	0	1	1	X	停止条件送信、TWSTO=0
			1	1	1	X	停止条件→開始条件送信、TWSTO=0
\$30	データバイト送信 NACK受信	データ設定	0	0	1	X	データ送信、ACKかNACK受信
			1	0	1	X	再送開始条件送信
		なし	0	1	1	X	停止条件送信、TWSTO=0
			1	1	1	X	停止条件→開始条件送信、TWSTO=0
\$38	SLA+W, データバイトで バス競合調停敗退	なし	0	0	1	X	バス開放、未指定従装置動作へ移行
			1	0	1	X	バス開放時に開始条件送信

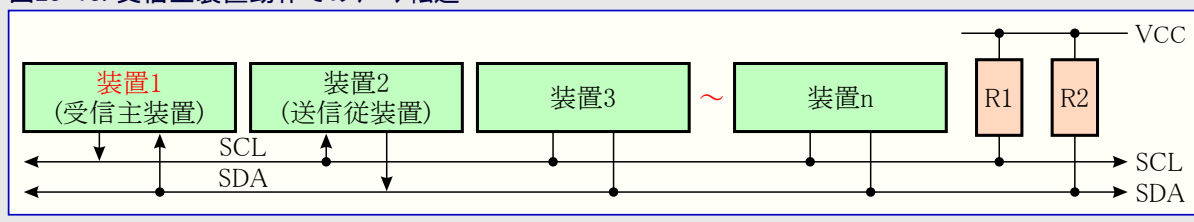
図23-12. 送信主装置動作の形式と状態



23.7.2. 受信主装置動作

受信主装置動作では何バイトかのデータが送信従装置から受信されます(図23-13.参照)。主装置動作へ移行するには**開始条件**が送出されなければなりません。それに続くアドレスパケットの形式が送信主装置または受信主装置のどちらへ移行すべきかを決めます。**SLA+W**が送信されると送信主装置(MT)へ移行し、**SLA+R**が送信されると受信主装置(MR)へ移行します。本項で言及する全ての状態符号は**前置分周選択ビット**が0か、または0で遮蔽されることが前提です。

図23-13. 受信主装置動作でのデータ転送



開始条件はTWCRに次の値を書くことによって送出されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	1	0	X	1	0	X

TWENは2線直列インターフェース(TWI)を許可するために設定(1)されなければなりません。**TWSTA**は**開始条件**を送出するために1を書かれねばならず、**TWINT**はTWINTフラグを解除(0)するために1を書かれなければなりません。そしてTWIは2線直列バスを検査し、バスが開放になると直ぐに**開始条件**を生成します。**開始条件**が送出されてしまった後、TWINTフラグがハードウェアによって設定(1)され、**TWSR**の状態符号が\$08(表23-3.参照)になります。受信主装置へ移行するには**SLA+R**が送信されなければなりません。これは**TWDR**に**SLA+R**を書くことによって行います。その後、転送を継続するためにTWINTビットは(1の書き込みによって)解除(0)されるべきです。これはTWCRに次の値を書くことによって成し遂げられます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	0	0	X	1	0	X

SLA+Rが送信されて応答ビットが受信されてしまうと、TWINTが再び設定(1)され、TWSRの状態符号の数値が利用可能になります。主装置動作で可能性のある状態符号は\$38,\$40,\$48です。これら状態符号の各々に対する適切な動作は表23-3.で詳述されます。

ハードウェアによってTWINTフラグが設定(1)されると、受信したデータがTWDRから読めます。この手順は最後のバイトが受信されてしまうまで繰り返されます。最後のバイトが受信されてしまった後、受信主装置は最後に受信したデータバイト後の**NACK**送信によって送信従装置へ通知すべきです。この転送は**停止条件**または**再送開始条件**を生成することによって終了されます。**停止条件**はTWCRに次の値を書くことによって生成されます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	0	1	X	1	0	X

再送開始条件はTWCRに次の値を書くことによって生成されます。

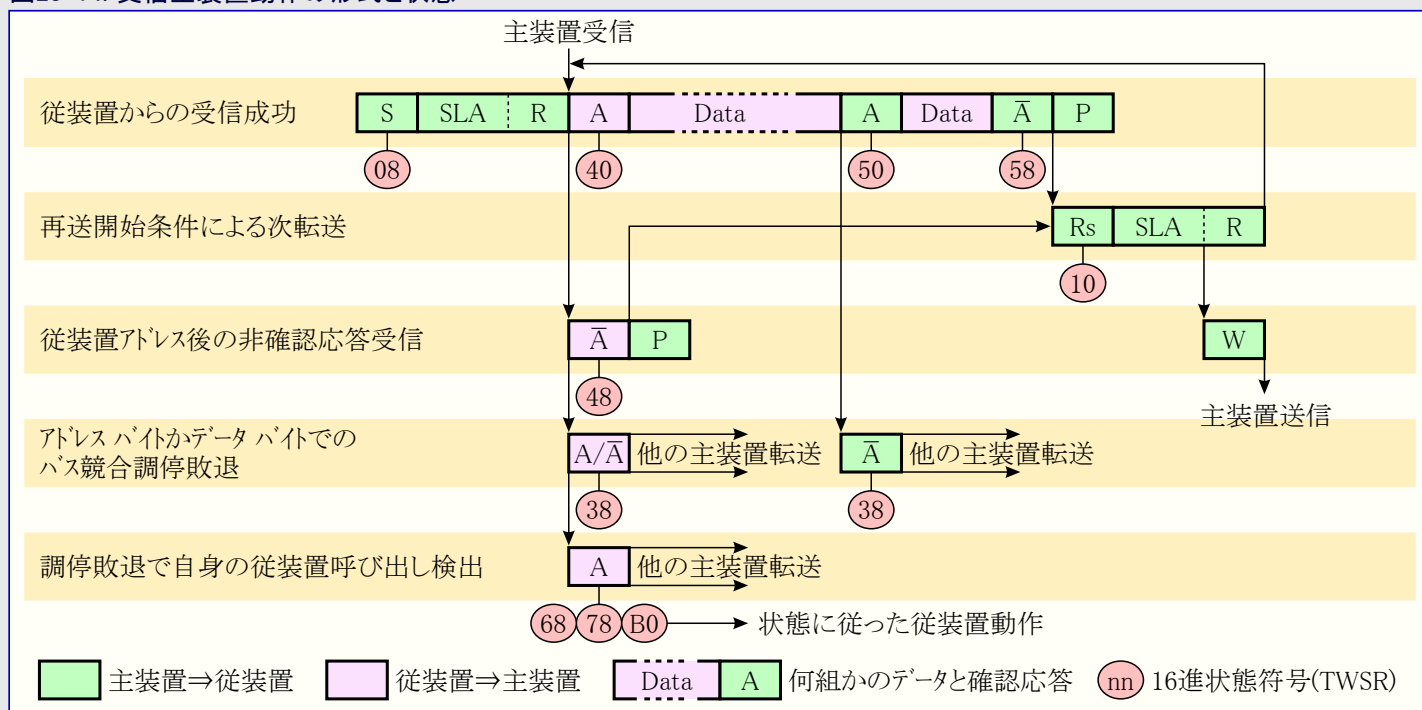
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
設定値	1	X	1	0	X	1	0	X

再送開始条件(状態符号\$10)後、2線直列インターフェースは**停止条件**を送出せずに再び同じ従装置または新しい従装置にアクセスできます。**再送開始条件**は主装置がバスの制御を失わずに送信主装置、受信主装置間の切り替えを可能にします(訳注:原文では従装置も含まれていますが、基本動作に対して不適切なため削除しました)。

表23-3. 受信主装置動作の状態符号 (注: TWSRの前置分周選択ビットは0の前提)

状態符号 (TWSR)	直前の動作と バスの状態	ソフトウェアの対応					TWCR設定によるハードウェア動作
		TWDR操作	TWCR設定				
			TWSTA	TWSTO	TWINT	TWEA	
\$08	開始条件送信	SLA+R設定	0	0	1	X	SLA+R送信、ACKかNACK受信
\$10	再送開始条件送信	SLA+R設定	0	0	1	X	SLA+R送信、ACKかNACK受信
		SLA+W設定	0	0	1	X	SLA+W送信、送信主装置動作へ移行
\$38	SLA+Rで調停敗退 またはNACK受信	なし	0	0	1	X	バス開放、未指定従装置動作へ移行
			1	0	1	X	バス開放時に開始条件送信
\$40	SLA+R送信 ACK受信	なし	0	0	1	0	データ受信、NACK応答
			0	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$48	SLA+R送信 NACK受信	なし	1	0	1	X	再送開始条件送信
			0	1	1	X	停止条件送信、TWSTO=0
			1	1	1	X	停止条件→開始条件送信、TWSTO=0
\$50	データバイト受信 ACK応答	データ取得	0	0	1	0	データ受信、NACK応答
			0	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$58	データバイト受信 NACK応答	データ取得	1	0	1	X	再送開始条件送信
			0	1	1	X	停止条件送信、TWSTO=0
			1	1	1	X	停止条件→開始条件送信、TWSTO=0

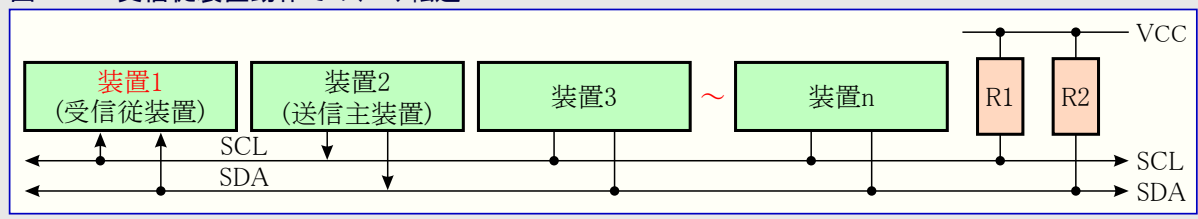
図23-14. 受信主装置動作の形式と状態



23.7.3. 受信従装置動作

受信従装置動作では何バイトかのデータが送信主装置から受信されます(図23-15参照)。本項で言及する全ての状態符号は前置分周選択ビットが0か、または0で遮蔽されることが前提です。

図23-15. 受信従装置動作でのデータ転送



受信従装置動作を始めるにはTWARとTWCRが次のように初期化されなければなりません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE
設定値	装置自身の従装置アドレス							1/0

上位7ビットは主装置によってアドレス指定される時に2線直列インターフェースが応答するアドレスです。最下位(TWGCE)ビットが設定(1)されるなら、TWIは一斉呼び出し(\$00)に応答し、さもなければ一斉呼び出しアドレスを無視します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
設定値	0	1	0	0	0	1	0	X

TWENは2線直列インターフェース(TWI)を許可するために1を書かれなければなりません。TWEAは装置自身の従装置アドレスまたは一斉呼び出しアドレスの確認応答(ACK)を許可するために1を書かれなければなりません。TWSTAとTWSTOは0を書かれなければなりません。

TWARとTWCRが初期化されてしまうと、TWIは自身の従装置アドレス(または許可なら、一斉呼び出しアドレス)とそれに続くデータ方向ビットによってアドレス指定されるまで待機します。方向ビットが0(W)ならばTWIは受信従装置で動作し、さもなければ送信従装置へ移行されます。自身の従装置アドレスとWビットが受信されてしまった後にTWINTフラグが設定(1)され、TWSRから有効な状態符号が読めます。この状態符号は適切なソフトウェア動作を決めるのに使われます。各状態符号に対して行うべき適切な動作は表23-4で詳述されます。受信従装置動作はTWIが主装置動作の間で調停に敗れた場合にも移行されるかもしれません。(状態符号\$68,\$78参照)

転送中にTWEAビットがリセット(0)されると、TWIは次に受信したデータバイト後のSDAに非確認応答(NACK)(SDA=High)を返します。これは従装置がこれ以上受信できないことを示すのに使えます。TWEAが0の間中、TWIは自身の従装置アドレスに応答しませんが、2線直列バスは未だ監視され、アドレス認証はTWEAの設定(1)によって何時でも再開できます。これはTWEAビットがTWIを2線直列バスから一時的に隔離するのに使えることを意味します。

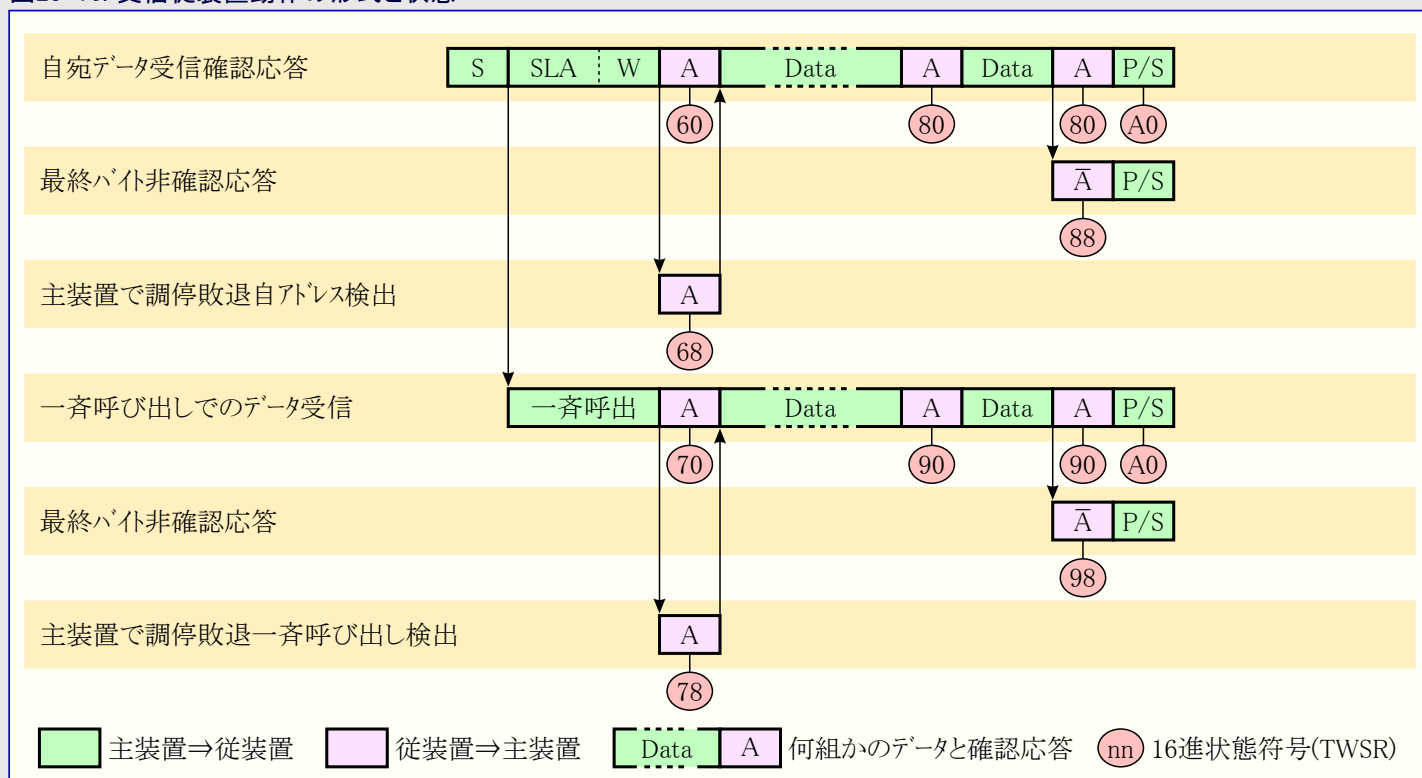
アイドル動作を除く休止形態ではTWIへのクロック系がOFFにされます。TWEAビットが設定(1)されていると、このインターフェースはクロック元として2線直列バスクロック(SCL)を使うことにより、自身の従装置アドレスと一斉呼び出しに未だ確認応答できます。その後デバイスが休止形態から起動し、TWIは起動中からTWINTフラグが(1書き込みによって)休止形態(0)されるまでSCLクロックをLowに保ちます。その後のデータ受信はAVRクロックが通常通り走行することで通常通りに行われます。AVRが長い起動時間に設定されていると、SCL信号線が長時間Lowに保持され、他のデータ送信を阻止するかもしれないことに気付いてください。

これらの(アイドル動作を除く)休止形態から起動すると、2線直列インターフェースデータレジスタ(TWDR)がバスで渡す最後のバイトを反映しないことに注意してください。

表23-4. 受信従装置動作の状態符号 (注: TWSRの前置分周選択ビットは0の前提)

状態符号 (TWSR)	直前の動作と バスの状態	ソフトウェアの応答					TWCR設定によるハードウェア動作
		TWDR操作	TWCR設定				
			TWSTA	TWSTO	TWINT	TWEA	
\$60	自宛SLA+W受信 ACK応答	なし	X	0	1	0	データ受信、NACK応答
			X	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$68	主装置のSLA+R/Wで 調停敗退/自宛SLA+W 受信/ACK応答	なし	X	0	1	0	データ受信、NACK応答
			X	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$70	一斉呼び出し受信 ACK応答	なし	X	0	1	0	データ受信、NACK応答
			X	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$78	主装置のSLA+R/Wで 調停敗退/一斉呼び 出し受信/ACK応答	なし	X	0	1	0	データ受信、NACK応答
			X	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$80	自宛データバイト受信 ACK応答	データ取得	X	0	1	0	データ受信、NACK応答
			X	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$88	自宛データバイト受信 NACK応答	データ取得	0	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止
			0	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応
			1	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止 バス開放で開始条件送信
			1	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応 バス開放で開始条件送信
\$90	一斉呼び出しのデータ バイト受信/ACK応答	データ取得	X	0	1	0	データ受信、NACK応答
			X	0	1	1	データ受信、ACK応答
\$98	一斉呼び出しのデータ バイト受信 NACK応答	データ取得	0	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止
			0	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応
			1	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止 バス開放で開始条件送信
			1	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応 バス開放で開始条件送信
\$A0	自指定中の 停止条件または 再送開始条件検出	なし	0	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止
			0	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応
			1	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止 バス開放で開始条件送信
			1	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応 バス開放で開始条件送信

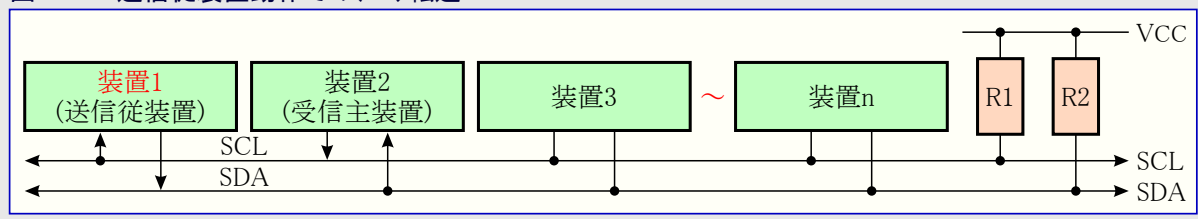
図23-16. 受信従装置動作の形式と状態



23.7.4. 送信従装置動作

送信従装置動作では何バイトかのデータが送信主装置へ送信されます(図23-17参照)。本項で言及する全ての状態符号は前置分周選択ビットが0か、または0で遮蔽されることが前提です。

図23-17. 送信従装置動作でのデータ転送



送信従装置動作を始めるにはTWARとTWCRが次のように初期化されなければなりません。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE
設定値	装置自身の従装置アドレス							1/0

上位7ビットは主装置によってアドレス指定される時に2線直列インターフェースが応答するアドレスです。最下位(TWGCE)ビットが設定(1)されるなら、TWIは一斉呼び出し(\$00)に応答し、さもなければ一斉呼び出しアドレスを無視します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
設定値	0	1	0	0	0	1	0	X

TWENは2線直列インターフェース(TWI)を許可するために1を書かれなければなりません。TWEAは装置自身の従装置アドレスまたは一斉呼び出しアドレスの確認応答(ACK)を許可するために1を書かれなければなりません。TWSTAとTWSTOは0を書かれなければなりません。

TWARとTWCRが初期化されてしまうと、TWIは自身の従装置アドレス(または許可ならば一斉呼び出しアドレス)とそれに続くデータ方向ビットによってアドレス指定されるまで待機します。方向ビットが1(R)ならばTWIは送信従装置で動作し、さもなくば0(W)ならば受信従装置へ移行されます。自身の従装置アドレスとRビットが受信されてしまった後、TWINTフラグが設定(1)され、TWSRから有効な状態符号が読めます。この状態符号は適切なソフトウェア動作を決めるのに使われます。各状態符号に対して行うべき適切な動作は表23-5で詳述されます。送信従装置動作はTWIが主装置動作の間で調停に敗れた場合にも移行されるかもしれません。(状態符号\$B0参照)

転送中にTWEAビットが0を書かれると、TWIは転送の最後のバイトを送信します。受信主装置が最終バイト後にACKまたはNACKのどちらを送信するかによって状態\$C0か\$C8へ移行します。TWIはアドレス指定されていない従装置動作に切り替えられ、主装置が転送を続ける場合、その主装置を無視します。従って受信主装置は直列データとして全て1を受信します。従装置が最後のバイトを送信(TWEAが0で主装置からのNACKを予測)したとしても、主装置が(ACK送信によって)追加データバイトを要求すると状態\$C8へ移行します。

TWEAが0の間中、TWIは自身の従装置アドレスに応答しませんが、2線直列バスは未だ監視され、アドレス認証はTWEAの設定(1)によって何時でも再開できます。これはTWEAビットがTWIを2線直列バスから一時的に隔離するのに使えることを意味します。

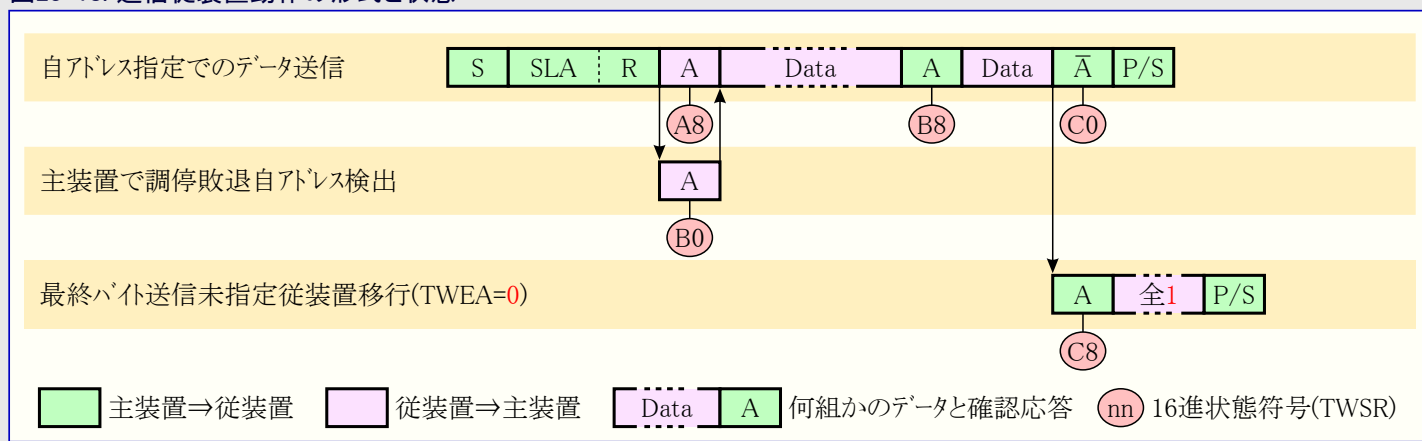
アイドル動作を除く休止形態ではTWIへのクロック系がOFFにされます。TWEAビットが設定(1)されていると、このインターフェースはクロック元として2線直列バスクロック(SCL)を使うことにより、自身の従装置アドレスと一斉呼び出しに未だ確認応答できます。その後デバイスが休止形態から起動し、TWIは起動中からTWINTフラグが1書き込みによって解除(0)されるまでSCLクロックをLowに保ちます。その後のデータ受信はAVRクロックが通常通り走行することで通常通りに行われます。AVRが長い起動時間に設定されていると、SCL信号線が長時間Lowに保持され、他のデータ送信を阻止するかもしれないことに気付いてください。

これらの(アイドル動作を除く)休止形態から起動すると、2線直列インターフェースデータレジスタ(TWDR)がバスで渡す最後のバイトを反映しないことに注意してください。

表23-5. 送信従装置動作の状態符号 (注: TWSRの前置分周選択ビットは0の前提)

状態符号 (TWSR)	直前の動作と バスの状態	ソフトウェアの応答					TWCR設定によるハードウェア動作
		TWDR操作	TWCR設定				
			TWSTA	TWSTO	TWINT	TWEA	
\$A8	自宛SLA+R受信 ACK応答	データ設定	X	0	1	0	最終データバイト送信、NACK受信予定
			X	0	1	1	データバイト送信、ACK受信予定
\$B0	主装置のSLA+R/Wで 調停敗退/自宛SLA+ R受信/ACK応答	データ設定	X	0	1	0	最終データバイト送信、NACK受信予定
			X	0	1	1	データバイト送信、ACK受信予定
\$B8	データバイト送信 ACK受信	データ設定	X	0	1	0	最終データバイト送信、NACK受信予定
			X	0	1	1	データバイト送信、ACK受信予定
\$C0	データバイト送信 NACK受信	なし	0	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止
			0	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応
			1	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止 バス開放で開始条件送信
			1	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応 バス開放で開始条件送信
\$C8	最終データバイト送信 (TWEA=0) ACK受信	なし	0	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止
			0	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応
			1	0	1	0	未指定従装置動作へ移行、応答禁止 バス開放で開始条件送信
			1	0	1	1	未指定従装置動作へ移行、応答対応 バス開放で開始条件送信

図23-18. 送信従装置動作の形式と状態



23.7.5. その他の状態

定義したTWI状態に従わない2つの状態符号があります。表23-6をご覧ください。

状態\$F8はTWI割り込み要求フラグ(TWINT)が設定(1)されないので適切な情報が利用できないことを示します。これは他の状態間でTWIが直列転送に関係しない時に起きます。

状態\$00は2線直列バス転送中にバス異常が起きたことを示します。バス異常はフレーム形式の不正な位置で開始(START)条件または停止(STOP)条件が起きる時に発生します。このような不正位置の例はアドレスバイト、データバイト、確認応答(ACK)ビットの直列転送中です。バス異常が起きるとTWINTが設定(1)されます。バス異常から回復するには、停止(STOP)条件生成許可(TWSTO)ビットが設定(1)され、TWINTが論理1書き込みによって解除(0)されなければなりません。これはTWIをアドレス指定されていない従装置動作にさせ、TWSTOビットを解除(0)させます(TWCRの他のビットは影響されません)。SDAとSCL信号進は開放され、停止条件は送出されません。

表23-6. その他の状態符号 (注: TWSRの前置分周選択ビットは0の前提)

状態符号 (TWSR)	直前の動作と バスの状態	ソフトウェアの応答					TWCR設定によるハードウェア動作
		TWDR操作	TWCR設定				
			TWSTA	TWSTO	TWINT	TWEA	
\$F8	適切な状態情報なし TWINT=0	なし	-	-	-	-	待機または現在の転送続行
\$00	不正な開始条件/停止 条件でのバス異常	なし	0	1	1	X	停止条件を送出せずにバスを開放 TWSTO=0

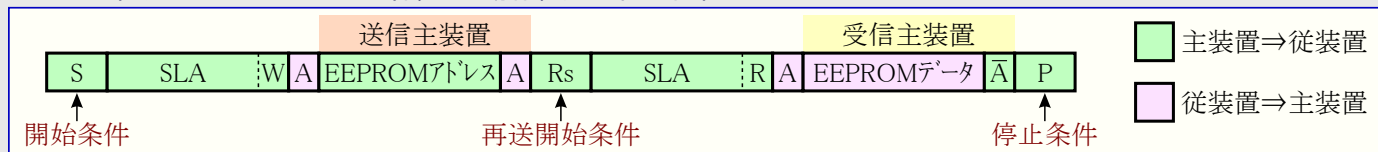
23.7.6. 各種TWI動作種別の組み合わせ

いくつかの場合で望んだ動作を満たすために各々のTWI動作種別は組み合わせられなければなりません。例えば直列EEPROMからのデータ読み出しを考えてください。一般的にこのような転送は次の段階を含みます。

1. 転送が開始されなければなりません。
2. EEPROMは読み出すべき場所を指示されなければなりません。
3. 読み出しが実行されなければなりません。
4. 転送が終了されなければなりません。

データが主装置から従装置へとその逆の両方向へ転送されることに注意してください。主装置はどの場所を読みたいかを従装置に指示しなければならず、送信主装置動作の使用を必要とします。その後にデータを従装置から読まねばならず、受信主装置動作の使用を意味します。従って転送方向が切り替えられなければなりません。主装置はこれら全ての段階中にバスの制御を保持しなければならず、この手順は排他的(非分断)操作として行われるべきです。複数主装置システムでこの原則に違反すると、他の主装置が2.と3.段階間でEEPROM内のデータポインタを変更するかもしれず、(元の)主装置は不正なデータ位置を読むでしょう。このような転送方向の切り替えはアドレスビットの送信とデータの受信間で再送開始条件を送出することによって成し遂げられます。再送開始条件後も主装置はバスの占有権を保持します。次の図はこの転送の流れを示します。

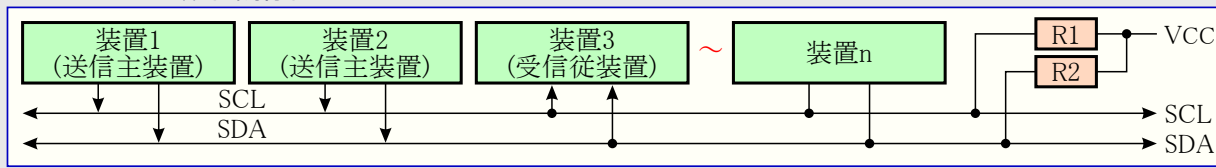
図23-19. 直列EEPROMアクセスでの各種TWI動作種別の組み合わせ



23.8. 複数主装置システムでのバス競合と調停

複数の主装置が同じバスに接続されると、それらの1つまたはそれ以上によって同時に送信が開始されるかもしれません。TWIは主装置の1つが転送を続けることを許され、手順内でデータが失われないような方法でこのような状態が扱われることを標準で保証します。2つの主装置が受信従装置へデータを送信を試みる場合の調停状況の例は以下で図示されます。

図23-20. バスの競合調停例

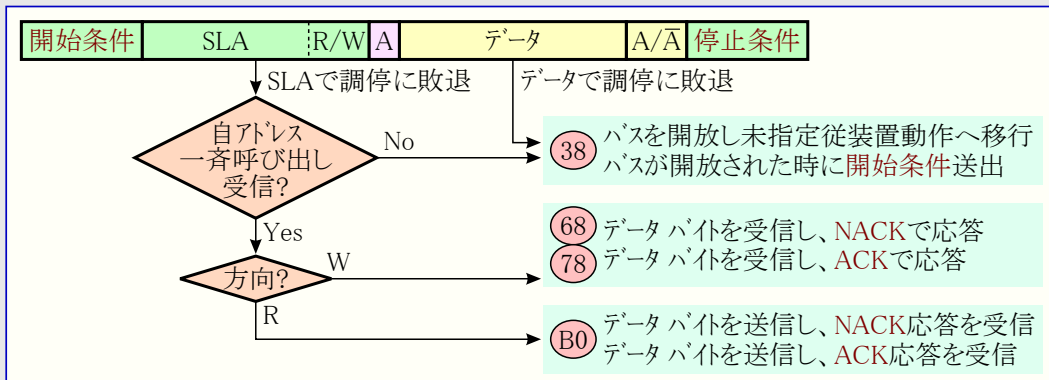


以下で示されるように様々な異なる状況が調停中に起こるかもしれません。

- 複数の主装置が同じ従装置に全く同じ通信を実行する場合。この場合、主/従装置のどれもがバスの衝突について知りません。
- 複数の主装置が異なるデータまたは方向ビット(R/W)で同じ従装置にアクセスする場合。この場合、R/Wビットまたはデータビットのどちらかで調停が起きます。他の主装置がSDAに0を出力する間に1を出力しようとする主装置が調停に敗れます。敗れた主装置は応用ソフトウェアの処置によって未指定従装置動作に切り替えるか、またはバスが開放になるまで待つて新規開始条件を送出します。
- 複数の主装置が異なる従装置にアクセスする場合。この場合、SLAビット内で調停が起きます。他の主装置がSDAに0を出力する間に1を出力しようとする主装置が調停に敗れます。SLA内で調停に敗れた主装置は勝った主装置によってアドレス指定されるかを確認するために従装置動作へ切り替えます。アドレス指定されると、R/Wビットの値によって受信従装置(SR)動作または送信従装置(ST)動作へ切り替えます。アドレス指定されないなら、応用ソフトウェアの処置によって未指定従装置動作に切り替えるか、またはバスが開放になるまで待つて新規開始条件を送出します。

これは図23-21.で要約されます。利用可能な状態符号は楕円(訳注:原文は円)で与えられます。

図23-21. バスの競合調停によって発生する利用可能な状態符号



23.9. TWI用レジスタ

23.9.1. TWBR – TWI ビット速度レジスタ (TWI Bit Rate Register)

ビット (\$B8)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWBR7	TWBR6	TWBR5	TWBR4	TWBR3	TWBR2	TWBR1	TWBR0	TWBR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – TWBR7～0 : TWI ビット速度選択 (TWI Bit Rate Register)

TWBRはビット速度発生器用の分周値を選びます。ビット速度発生器は主装置動作でのSCLクロック周波数を生成する周波数分周器です。ビット速度の計算については167頁の「ビット速度発生器」をご覧ください。

23.9.2. TWCR – TWI制御レジスタ (TWI Control Register)

ビット (\$BC)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	TWCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

TWCRはTWI動作の制御に使われます。TWIの許可、バス上に開始条件を印加することによる主装置のアクセス開始、受信装置の応答生成、停止条件の生成、バスにデータを送出するためのTWIデータレジスタ(TWDR)への書き込み中のバスの一時停止制御に使われます。TWDRがアクセス不能の間にTWDRへ書き込みもうとする場合の上書き発生も示します。

● ビット7 – TWINT : TWI割り込み要求フラグ (TWI Interrupt Flag)

このビットはTWIが現在の作業を終了し、応用ソフトウェアの応答が予測されるとき、ハードウェアによって設定(1)されます。TWI制御レジスタ(TWCR)のTWI割り込み許可(TWIE)ビットとステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されていると、MCUはTWI割り込みベクタへ飛びます。TWINTフラグが設定(1)の間中、SCLのLow期間は引き伸ばされます。TWINTフラグは論理1書き込みによってソフトウェアで解除(0)されなければなりません。このフラグが割り込みルーチンを実行する時に自動的に解除(0)されないことに注意してください。このフラグの解除(0)がTWI動作を始めるので、このフラグを解除(0)する前にTWIアドレスレジスタ(TWAR)、TWIデータレジスタ(TWDR)、TWI状態レジスタ(TWSR)への全てのアクセスが完了していなければならないことに注意してください。

● ビット6 – TWEA : 確認応答(ACK)許可 (TWI Enable Acknowledge Bit)

TWEAビットは確認応答(ACKパルス)の生成を制御します。TWEAビットが1を書かれ、次の条件に合致すると、TWIバスにACKパルスが生成されます。

- ・ 装置が自分用の従装置アドレスを受信した場合。
- ・ TWIアドレスレジスタ(TWAR)の一斉呼び出し検出許可(TWGCE)ビットが設定(1)されている時に一斉呼び出しを受信した場合。
- ・ 主受信装置または従受信装置動作でデータバイトを受信した場合。

TWEAビットに0を書くことによって一時的かつ仮想的に装置を2線直列バスから切り離すことができます。アドレス認証はその後に再びTWEAビットへ1を書くことによって再開できます。

● ビット5 – TWSTA : 開始(START)条件生成許可 (TWI START Condition Bit)

2線直列バスの主装置になることを欲する時に応用はTWSTAビットに1を書きます。TWIハードウェアはバスが利用可能かを検査し、開放ならばバスに開始条件を生成します。しかし、バスが未開放の場合、TWIは停止条件が検出されるまで待ち、その後にバス主権を要求する新規開始条件を生成します。TWSTAは開始条件が送出されてしまった時にソフトウェアで解除(0)されなければなりません。

● ビット4 – TWSTO : 停止(STOP)条件生成許可 (TWI STOP Condition Bit)

主装置動作でTWSTOビットに1を書くことが2線直列バスに停止条件を生成します。停止条件がバスで実行されると、TWSTOビットは自動的に解除(0)されます。従装置動作でのTWSTOビットの設定(1)は異常状態からの回復に使えます。これは停止条件を生成しませんが、TWIは明確に指定されていない従装置動作に戻り、SCL、SDA信号線をHi-Z状態に開放します。

● ビット3 – TWWC : TWI上書き発生フラグ (TWI Write Collision Flag)

TWI割り込み要求フラグ(TWINT)が0の時にTWIデータレジスタ(TWDR)への書き込みを試みると、このTWWCフラグが設定(1)されます。このフラグはTWINTが1の時のTWDR書き込みによって解除(0)されます。

● ビット2 – TWEN : TWI動作許可 (TWI Enable Bit)

TWENビットはTWI動作を許可し、TWIインターフェースを活性(有効)にします。TWENが1を書かれると、TWIはSCL、SDAピンに接続したI/Oピンを制御できるようになり、スパイク濾波器とスレーブ制限器を許可します。このビットが0を書かれると、TWIがOFFにされ、どんな進行中の動作にも関係なく、全てのTWI送信が終了されます。

● ビット1 – Res : 予約 (Reserved Bit)

このビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット0 – TWIE : TWI割り込み許可 (TWI Interrupt Enable)

このビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されていると、TWI割り込み要求フラグ(TWINT)が1である限り、TWI割り込み要求が活性に(発生)されます。

23.9.3. TWSR – TWI状態レジスタ (TWI Status Register)

ビット (\$B9)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	TWSR
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	1	1	1	1	1	0	0	0	

●ビット7～3 – TWS7～3 : TWI状態 (TWI Status)

これら5ビットはTWI論理回路と2線直列バスの状態を反映します。各種状態符号は171頁の「転送種別」で記述されます。TWSRから読む値が5ビットの状態符号と2ビットの前置分周値の両方を含むことに注意してください。応用設計者は状態ビットを検査する時に前置分周器ビットを0で隠すべきです。これは前置分周器設定に関係なく状態検査を行います。この手法は特記事項を除いてこのデータシート内で使われます。

●ビット2 – Res : 予約 (Reserved Bit)

このビットは予約されており、常に0として読みます。

●ビット1,0 – TWPS1,0 : TWI前置分周器選択 (TWI Prescaler Bits)

これらのビットは読み書きでき、ビット速度の前置分周器を制御します。

ビット速度を計算するには167頁の「ビット速度発生器」をご覧ください。TWPS1,0の値はこの式で使われます。

表23-7. TWIビット速度前置分周器選択

TWPS1	0	0	1	1
TWPS0	0	1	0	1
分周値	1	4	16	64

23.9.4. TWDR – TWIデータレジスタ (TWI Data Register)

ビット (\$BB)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWD7	TWD6	TWD5	TWD4	TWD3	TWD2	TWD1	TWD0	TWDR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	1	1	1	1	1	1	1	1	

送信動作でのTWDRは送信されるべき次バイトを含みます。受信動作でのTWDRは最後に受信したバイトを含みます。TWDRはTWIがバイトを移動する手順でない間に書き込み可能です。これはTWI制御レジスタ(TWCR)のTWI割り込み要求フラグ(TWINT)がハードウェアによって設定(1)されると起きます。最初のTWI割り込みが起こる前にデータレジスタ(TWDR)は使用者によって初期化できないことに注意してください。TWDRのデータはTWINTが安定して設定(1)されている限り存続します。データが移動出力される間、バスのデータが同時に移動入力されます。TWI割り込みによる休止形態からの起動後を除いて、TWDRは常にバスに現れる最後のバイトを含みます。この例外の場合のTWDRの内容は不定です。バス調停に敗れた場合の主装置から従装置への移行でもデータは失われません。確認応答(ACK)ビットの扱いはTWI論理回路によって自動的に制御され、CPUはACKビットを直接的にアクセスできません。

●ビット7～0 – TWD7～0 : TWIデータ (TWI Data)

これら8ビットは送信されるべき次のデータバイト、または2線直列バスで最後に受信したデータバイトを構成します。

23.9.5. TWAR – TWI(従装置)アドレスレジスタ (TWI (Slave) Address Register)

ビット (\$BA)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	TWAR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	1	1	1	1	1	1	1	0	

TWARは従装置の送受信装置として設定した時にTWIが応答する7ビット従装置アドレスを(TWAR上位7ビットに)設定されるべきで、主装置動作では必要とされません。複数主装置のシステムでは、他の主装置によって従装置としてアドレス指定され得る主装置に於いて、TWARは設定されなければなりません。

TWARの最下位ビット(TWGCE)は一斉呼び出しアドレス(\$00)認証の許可に使われます。これらは受信した直列アドレスで従装置アドレスと許可ならば一斉呼び出しアドレスを捜す関連アドレス比較器です。一致が見つかりと割り込み要求が生成されます。

●ビット7～1 – TWA6～0 : TWI従装置アドレス (TWI (Slave) Address)

これら7ビットはTWI部の従装置アドレスを構成します。

●ビット0 – TWGCE : 一斉呼び出し検出許可 (TWI General Call Recognition Enable Bit)

設定(1)なら、このビットは2線直列バスを伝って与えられる一斉呼び出しの認証(検出)を許可します。

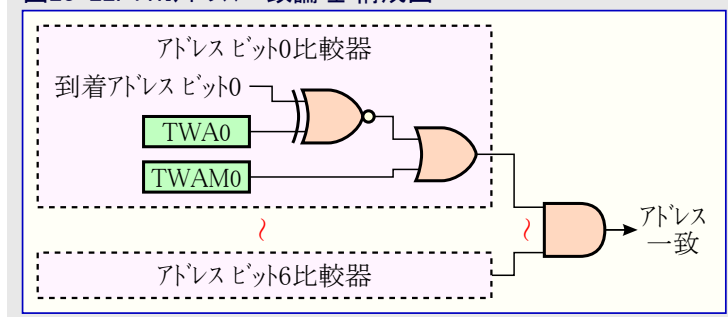
23.9.6. TWAMR – TWI(従装置)アドレス遮蔽レジスタ (TWI (Slave) Address Mask Register)

ビット (\$BD)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWAM6	TWAM5	TWAM4	TWAM3	TWAM2	TWAM1	TWAM0	–	TWAMR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～1 – TWAM6～0 : TWI従装置アドレス遮蔽 (TWI (Slave) Address Mask)

TWAMRは7ビットの従装置アドレス遮蔽値を格納できます。TWAMR内の各ビットはTWI(従装置)アドレスレジスタ(TWAR)内の対応するアドレスビットを遮蔽(禁止)します。遮蔽ビットが1に設定されると、その後のアドレス一致論理回路は到着アドレスビットとTWAR内の対応ビット間の比較を無視します。図23-22はアドレス一致論理回路を詳細に示します。

図23-22. TWIアドレス一致論理 構成図



● ビット0 – Res : 予約 (Reserved Bit)

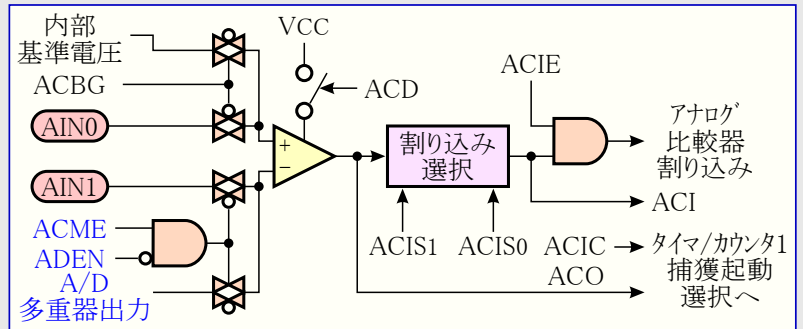
このビットは使われず、常に0として読みます。

24. アナログ比較器

アナログ比較器は非反転入力AIN0ピンと反転入力AIN1ピンの入力値を比較します。非反転AIN0ピンの電圧が反転AIN1ピンの電圧よりも高い時に**ACSRのアナログ比較器出力(ACO)ビット**が設定(1)されます。この比較器出力はタイマ/カウンタ1の捕獲機能を起動するように設定できます。加えて、この比較器はアナログ比較器専用の独立した割り込みを起動できます。使用者は比較器出力の上昇端、下降端、またはその両方で割り込み起動を選べます。この比較器とその周辺論理回路の構成図は図24-1.で示されます。

ADC入力(A/D多重器出力)の使用を可能とするには、38頁の「**PRR0 – 電力削減レジスタ**」の**PRADCB**ビットが論理0を書かれることで(電力削減を)禁止されなければなりません。

図24-1. アナログ比較器部構成図



注: A/D多重器出力については表24-1.をご覧ください。
アナログ比較器ピン配置については5頁の「**ピン配置**」と65頁の表14-15.を参照してください。

24.1. アナログ比較器入力選択

アナログ比較器への反転入力を取り替えるのにADC15～0のどれかを選ぶことができます。A/D変換の多重器がこの入力選択に使われ、従ってこの機能を利用するためにA/D変換部がOFF(動作禁止)にされなければなりません。ADCSRBの**アナログ比較器多重器許可(ACME)ビット**が設定(1)され、A/D変換部がOFF(ADCSRAのADENビットが0)なら、表24-1.で示されるように**ADCSRBのMUX5とADMUXのチャネル選択(MUX2～0)ビット**がアナログ比較器への反転入力を取り替えるための入力ピンを選びます。ACMEが解除(0)またはADENが設定(1)されると、AIN1がアナログ比較器への反転入力に印加されます。

表24-1. アナログ比較器反転入力選択

ACME	ADEN	MUX5	MUX2～0	アナログ比較器反転入力	ACME	ADEN	MUX5	MUX2～0	アナログ比較器反転入力
0	x	x	x x x	AIN1	1	1	x	x x x	AIN1
1	0	0	0 0 0	ADC0	1	0	1	0 0 0	ADC8
			0 0 1	ADC1				0 0 1	ADC9
			0 1 0	ADC2				0 1 0	ADC10
			0 1 1	ADC3				0 1 1	ADC11
			1 0 0	ADC4				1 0 0	ADC12
			1 0 1	ADC5				1 0 1	ADC13
			1 1 0	ADC6				1 1 0	ADC14
			1 1 1	ADC7				1 1 1	ADC15

注: ADC8～15入力はATmega640/1280/2560のみ利用可能です。

24.2. アナログ比較器用レジスタ

24.2.1. ADCSRB – A/D変換制御/状態レジスタB (ADC Control and Status Register B)

ビット (\$7B)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	ACME	–	–	MUX5	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADCSRB
Read/Write	R	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット6 – ACME : アナログ比較器多重器許可 (Analog Comparator Multiplexer Enable)

このビットが論理1を書かれ、A/D変換部がOFF(ADCSRAのADENビットが0)にされると、A/D変換の多重器がアナログ比較器への反転入力を選びます。このビットが論理0を書かれると、AIN1がアナログ比較器の反転入力に印加されます。このビットの詳細な記述については上記の「**アナログ比較器入力選択**」をご覧ください。

24.2.2. ACSR – アナログ比較器 制御/状態レジスタ (Analog Comparator Control and Status Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$30 (\$50)	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	ACSR
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	不定	0	0	0	0	0	

● ビット7 – ACD : アナログ比較器禁止 (Analog Comparator Disable)

このビットが論理1を書かれると、アナログ比較器への電力がOFFにされます。このビットはアナログ比較器をOFFにするために何時でも設定(1)できます。これは活動動作やアイドル動作で電力消費を削減します。ACDビットを変更する時にACSRでアナログ比較器割り込み許可(ACIE)ビットを解除(0)することによってアナログ比較器割り込みが禁止されなければなりません。さもなければ、このビットが変更される時に割り込みが起り得ます。

● ビット6 – ACBG : 基準電圧選択 (Analog Comparator Bandgap Select)

このビットが設定(1)されると、内部基準電圧(公称1.1V)がアナログ比較器への非反転入力に置き換わります。本ビットが解除(0)されると、AIN0がアナログ比較器の非反転入力に印加されます。内部基準電圧がアナログ比較器入力として使われるとき、電圧の安定に一定時間を必要とします。安定(待機を)しない場合、最初は不正値を与えるかもしれません。42ページの「内部基準電圧」をご覧ください。

● ビット5 – ACO : アナログ比較器出力 (Analog Comparator Output)

アナログ比較器の出力は同期化され、その後直接ACOへ接続されます。この同期化は1~2クロック周期の遅延をもたらします。

● ビット4 – ACI : アナログ比較器割り込み要求フラグ (Analog Comparator Interrupt Flag)

このビットは比較器出力での出来事がACSRのアナログ比較器割り込み条件(ACIS1,0)ビットによって定義した割り込み方法で起動する時に設定(1)されます。ACSRのアナログ比較器割り込み許可(ACIE)ビットが設定(1)され、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されていると、アナログ比較器割り込みルーチンが実行されます。対応する割り込み処理ベクタを実行すると、ACIはハードウェアによって解除(0)されます。代わりにこのフラグへ論理1を書くことによってもACIは解除(0)されます。

● ビット3 – ACIE : アナログ比較器割り込み許可 (Analog Comparator Interrupt Enable)

ACIEビットが論理1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されていると、アナログ比較器割り込みが活性(有効)にされます。論理0を書かれると、この割り込みは禁止されます。

● ビット2 – ACIC : アナログ比較器捕獲起動許可 (Analog Comparator Input Capture Enable)

論理1を書かれると、このビットはアナログ比較器によって起動されるタイマ/カウンタ1の捕獲機能を許可します。この場合、比較器出力は比較器にタイマ/カウンタ1捕獲割り込みの雑音除去機能と端(エッジ)選択機能を利用させる捕獲入力前置論理回路へ直接的に接続されます。論理0を書かれると、アナログ比較器と捕獲機能間の接続は存在しません。比較器がタイマ/カウンタ1捕獲割り込みを起動するには、タイマ/カウンタ1割り込み許可レジスタ(TIMSK1)の捕獲割り込み許可(ICIE1)ビットが設定(1)されなければなりません。

● ビット1,0 – ACIS1,0 : アナログ比較器割り込み条件 (Analog Comparator Interrupt Mode Select)

これらのビットは比較器のどの事象がアナログ比較器割り込みを起動するかを決めます。各種設定は表24-2.で示されます。

ACIS1,ACIS0ビットを変更する時にACSRのアナログ比較器割り込み許可(ACIE)ビットを解除(0)することによってアナログ比較器割り込みが禁止されなければなりません。さもなければ、これらのビットが変更される時に割り込みが起き得ます。

表24-2. アナログ比較器割り込み条件選択

ACIS1	ACIS0	割り込み発生条件
0	0	比較器出力の変移 (トグル)
0	1	(予約)
1	0	比較器出力の下降端
1	1	比較器出力の上昇端

24.2.3. DIDR1 – デジタル入力禁止レジスタ1 (Digital Input Disable Register 1)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$7F)	–	–	–	–	–	–	AIN1D	AIN0D	DIDR1
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7~2 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは使用されず、常に0として読みます。

● ビット1,0 – AIN1D,AIN0D : AIN1,AIN0 デジタル入力禁止 (AIN1,AIN0 Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、AIN1/0ピンのデジタル入力緩衝部が禁止されます。このビットが設定(1)されると、対応するポート入力レジスタのビット(PINx)は常に0として読みます。AIN1/0ピンにアナログ信号が印加され、そのピンからのデジタル入力が必要とされない時にデジタル入力緩衝部での消費電力を削減するため、このビットは論理1を書かれるべきです。

25. A/D変換器

25.1. 特徴

- 10ビット分解能
- 積分非直線性誤差1 LSB
- 絶対精度 ± 2 LSB
- 変換時間13~260 μ s (50kHz~1MHz変換クロック)
- 76.9kSPS(採取/s)まで/最大分解能で15kSPSまで
- 8/16チャンネルのシングル エンド 入力多重器内蔵 (注)
- 7/14チャンネルの差動入力チャンネル (注)
- $\times 10$, $\times 200$ の任意利得付き2/4つの差動入力チャンネル (注)
- A/D変換結果読み出しに対する任意の左揃え
- 0~VCC A/D変換入力電圧範囲
- 2.7~VCC 差動A/D変換電圧範囲
- 選択可能な1.1Vまたは2.56V A/D変換基準電圧
- 連続と単独の変換動作
- 割り込み元の自動起動によるA/D変換開始
- A/D変換完了割り込み
- 休止形態雑音低減機能

注: ATmega(1281/2561)/(640/1280/2560)

ATmega640/1280/1281/2560/2561は10ビット逐次比較A/D変換器が特徴です。このA/D変換器はポートF(とポートK)のピンから構成された8/16のシングル エンド 電圧入力を許す8/16チャンネル アナログ 多重器に接続されます。このシングル エンド 電圧入力は0V(GND)が基準です。

デバイスは16/32通りの差動電圧入力も支援します。差動入力の2/4つ(ADC1,ADC0とADC3,ADC2(ADC9,ADC8とADC11,ADC10))はA/D変換前の差動入力電圧で0dB($\times 1$)、20dB($\times 10$)、46dB($\times 200$)の増幅段を提供する設定変更可能な利得段が装備されます。この16チャンネルは各所で7つの差動アナログ入力が共通反転端子(ADC1/ADC9)を共用し、一方他のADC入力が非反転入力端子として選べる2つの8チャンネル部に分けられます。利得 $\times 1$ または $\times 10$ が使われる場合は8ビット分解能が期待でき、利得 $\times 200$ が使われる場合は7ビット分解能が期待できます。

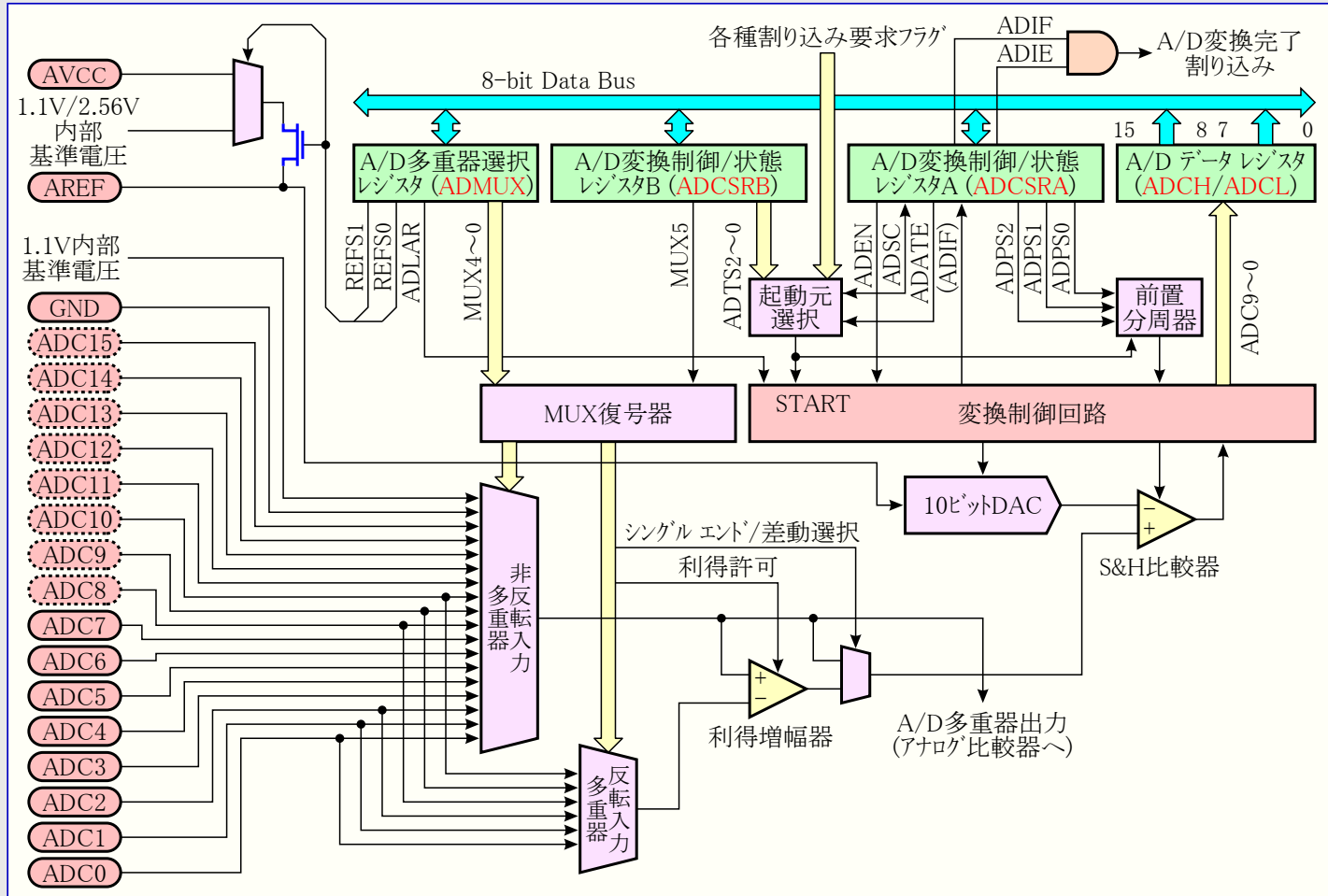
このA/D変換器はA/D変換器への入力電圧が変換中に一定の値で保持されることを保証する採取&保持(S/H)回路を含みます。A/D変換部の構成図は図25-1.で示されます。

A/D変換部には分離されたアナログ電源供給ピン(AVCC)があります。AVCCはVCCから ± 0.3 Vよりも多く違ってはなりません。このピンの接続方法は191頁の「雑音低減技術」項をご覧ください。

公称1.1Vまたは2.56Vの内蔵基準電圧、またはAVCCがチップ上で提供されます。この基準電圧は雑音特性向上のため、コンデンサによってAREFピンで外部的にデカップ(雑音分離)できます。

38頁の「PRR0 - 電力削減レジスタ」のPRADCBITはA/D変換部を許可するために0を書かれなければなりません。

図25-1. A/D変換器部構成図



25.2. 操作

A/D変換部は逐次比較を通してアナログ入力電圧を10ビットのデジタル値に変換します。最小値はGNDを表し、最大値はAREFピンの電圧-1 LSBを表します。A/D多重器選択レジスタ(ADMUX)の基準電圧選択(REFS1,0)ビットへの書き込みにより、任意でAVCCまたは内部1.1V/2.56V基準電圧がAREFピンに接続できます。この内部基準電圧は雑音耐性を改善するためにAREFピンで外部コンデンサによってデカップ(雑音結合減少)のようにできます。

アナログ入力チャネルと差動利得はA/D変換制御/状態レジスタB(ADCSRB)とADMUXのチャネル選択(MUX5~0)ビットへの書き込みによって選ばれます。GNDと固定基準電圧(1.1V内蔵基準電圧(V_{BG}))だけでなく、どのADC入力ピン(ADC15~0)もがA/D変換器のシングルエンド入力として選べます。ADC入力ピンの選択は差動利得増幅器への反転と非反転入力として選べます。

差動チャネルが選ばれると、差動利得段は選んだ入力チャネル間の差電圧を選んだ増幅率で増幅します。それからこの増幅した値はA/D変換器の入力になります。シングルエンドチャネルが使われると、利得増幅器全体が迂回(無視)されます。

A/D変換部はA/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のA/D許可(ADEN)ビットの設定(1)によって(動作が)許可されます。基準電圧と入力チャネルの選択はADENが設定(1)されるまで実施しません。ADENが解除(0)されているとA/D変換部は電力を消費しないので、節電をする休止形態へ移行する前にA/D変換部をOFFに切り替えることが推奨されます。

A/D変換部はA/Dデータレジスタ(ADCH,ADCL)で示される10ビットの結果を生成します。既定では、この結果が右揃え(16ビットのビット0側10ビット)で表されますが、ADMUXで左揃え選択(ADLAR)ビットを設定(1)することにより、任意で左揃え(16ビットのビット15側10ビット)で表せます。

この結果が左揃え補正され、8ビットを越える精度が必要とされない場合はADCHを読むことで足ります。さもないとデータレジスタの内容が同じ変換に属することからの結果を保証するため、ADCLが初めに、次にADCHが読まれなければなりません。一度ADCLが読まれると、A/D変換器からのA/Dデータレジスタ(ADCH,ADCL)アクセスが阻止されます。これはADCLが読まれてしまい、ADCHが読まれる前に変換が完了すると、どちらのレジスタ(ADCH,ADCL)も更新されず、その変換からの結果が失われることを意味します。ADCHが読まれると、ADCH,ADCLへのA/D変換器アクセスが再び許可されます。

A/D変換部には変換完了時に起動できる自身の割り込みがあります。A/DデータレジスタへのA/D変換器アクセスがADCLとADCHの読み込み間で禁止されている場合、例えばその変換結果が失われても割り込みは起動します。

25.3. 変換の開始

単独変換はADCSRAで変換開始(ADSC)ビットに論理1を書くことによって開始されます。このビットは変換が進行中である限り、1に留まり、変換が完了されるとハードウェアによって解除(0)されます。変換が進行中に違う入力チャネルが選ばれると、A/D変換部はそのチャネル変更を実行する前に現在の変換を済ませます。

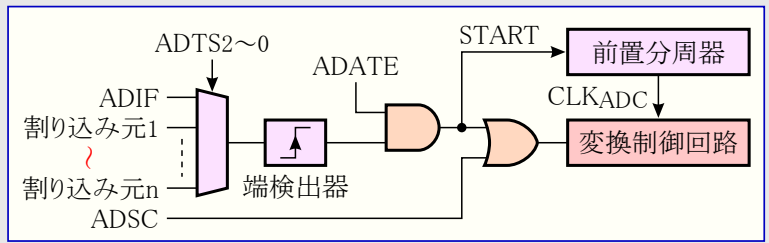
代わりに、変換は様々な起動元によって自動的に起動できます。自動起動はA/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のA/D変換自動起動許可(ADATE)ビットの設定(1)によって許可されます。起動元はA/D変換制御/状態レジスタB(ADCSRB)のA/D変換起動元選択(ADTS2~0)ビットの設定によって選ばれます(起動元の一覧についてはADTSビットの記述をご覧ください)。選んだ起動信号上に上昇端が起きると、A/D変換用前置分周器がリセットして変換が開始されます。これは一定間隔での変換開始の方法を提供します。変換完了時、起動信号が未だ設定(1)されている場合、新規の変換は開始されません。変換中にこの起動信号上で別の上昇端が起きると、その端(エッジ)は無視されます。指定した割り込みが禁止またはステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが解除(0)でも、割り込み要求フラグが設定(1)されることに注意してください。従って割り込みを起こさずに変換が起動できます。けれども次の割り込み要因で新規変換を起動するために、割り込み要求フラグは解除(0)されなければなりません。

起動元としてA/D変換完了割り込み要求フラグ(ADIF)を使うことは、A/D変換器に実行中の変換が完了されると直ぐに新規変換を開始させます。そのためA/D変換器は連続動作で動き、継続的な採取(変換)とA/Dデータレジスタを更新します。最初の変換はADCSRAでADSCビットに論理1を書くことによって始めなければなりません。この動作でのA/D変換器はA/D変換完了割り込み要求フラグ(ADIF)が解除(0)されるかどうかに関らず、連続的な変換を実行します。

自動起動が許可されている場合、ADCSRAのADSCビットに論理1を書くことによって単独変換を開始できます。ADSCは変換が進行中かを決めるためにも使えます。ADSCビットは変換がどう開始されたかに拘らず、変換中は1として読みます。

変換はA/D変換雑音低減機能の使用によっても開始され得ます。この機能はアイドル休止動作とA/D変換雑音低減休止動作中に変換を許可します。詳細については190ページの「雑音低減機能」をご覧ください。(訳注:共通性から2行追加)

図25-2. A/D変換自動起動回路



25.4. 前置分周と変換タイミング

既定での逐次比較回路は最大分解能を得るのに50～200kHzの入力クロック周波数を必要とします。10ビットよりも低い分解能が必要とされるなら、A/D変換器への入力クロック周波数はより高い採取速度を得るために1MHzほどに高くできます。

A/D変換部は100kHz以上のどんなCPUクロックからも受け入れ可能なA/D変換クロック周波数を生成する前置分周器を含みます。この前置分周器はA/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のA/Dクロック選択(ADPS2～0)ビットによって設定されます。前置分周器はADCSRAでA/D許可(ADEN)ビットの設定(1)によってA/D変換部がONにされた瞬間から計数を始めます。前置分周器はADENビットが設定(1)される限り走行を保ち、ADENが0の時は継続的にリセットします。

ADCSRAのA/D変換開始(ADSC)ビットの設定(1)によってシングルエンド入力の変換を起動すると、その変換は直後の変換クロックの上昇端で始まります。

通常の変換は13変換クロック周期で行われます。A/D変換部がONされる(ADCSRAのADEN=1)後の最初の変換はアナログ回路を初期化するために25変換クロック周期で行われます。

内部基準電圧がA/D変換器への入力として使われるとき、電圧の安定に一定時間を必要とします。安定(待機を)しない場合は初回変換後の最初の読み込み値は不正になるかもしれません。

実際の採取&保持(保持開始点)は通常変換の開始後1.5変換クロック周期、初回変換の開始後13.5変換クロック周期で行われます。変換が完了すると、結果がA/Dデータレジスタ(ADCH,ADCL)に書かれ、ADCSRAのA/D変換完了割り込み要求フラグ(ADIF)が設定(1)されます。単独変換動作(ADATE=0)では同時にADCSRAのA/D変換開始(ADSC)ビットが解除(0)されます。その後にソフトウェアは再びADSCを設定(1)でき、新規変換は変換クロックの最初の上昇端で開始されます。

自動起動が使われると、前置分周器は起動要因発生時にリセットされます。これは起動要因から変換開始までの一定の遅延を保証します。この動作での採取&保持は起動要因となる信号の上昇後、2変換クロック周期で採取が行われます。同期化論理回路(端(エッジ)検出器)に対して、追加の3 CPUクロック周期が費やされます。

連続変換動作(ADATE=1)では変換完了後直ちに新規変換が開始され、一方ADSCは1に留まります。変換時間の概要については次頁の表25-1をご覧ください。

図25-3. A/D変換前置分周器部構成

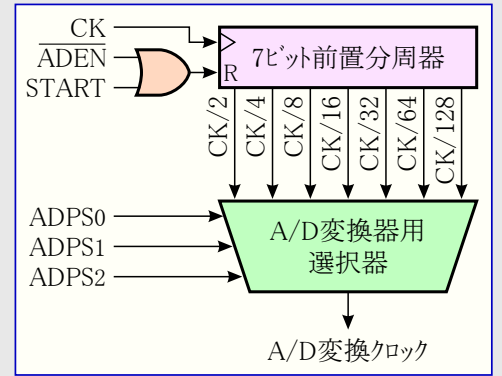


図25-4. 初回変換タイミング (単独変換動作)

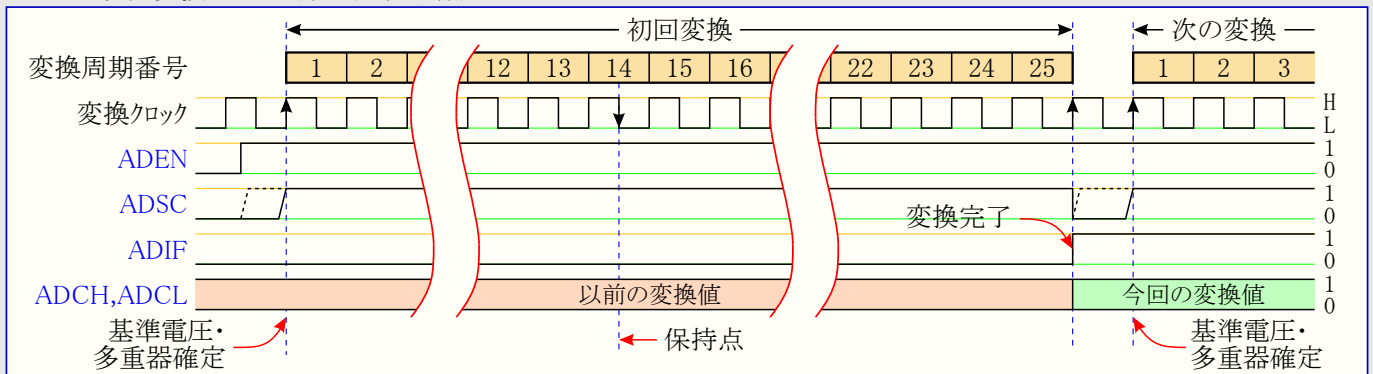


図25-5. 通常変換タイミング (単独変換動作)

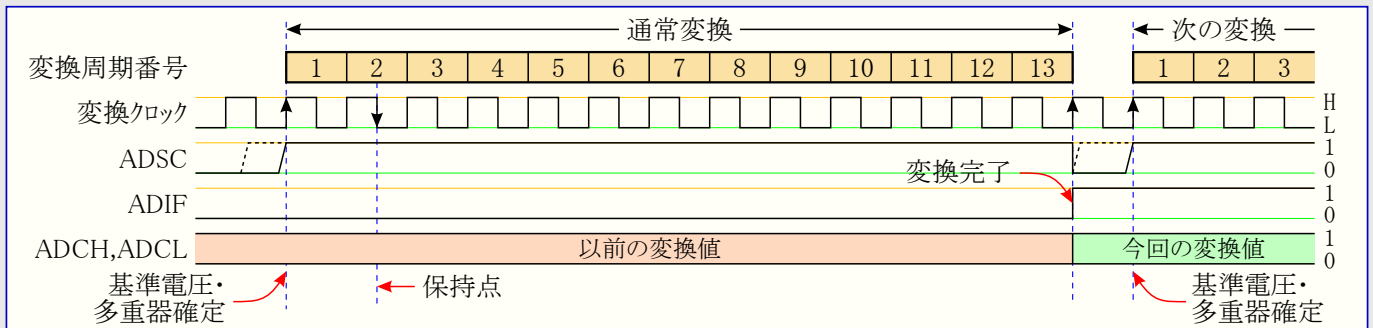


図25-6. 通常変換タイミング (自動起動変換動作)

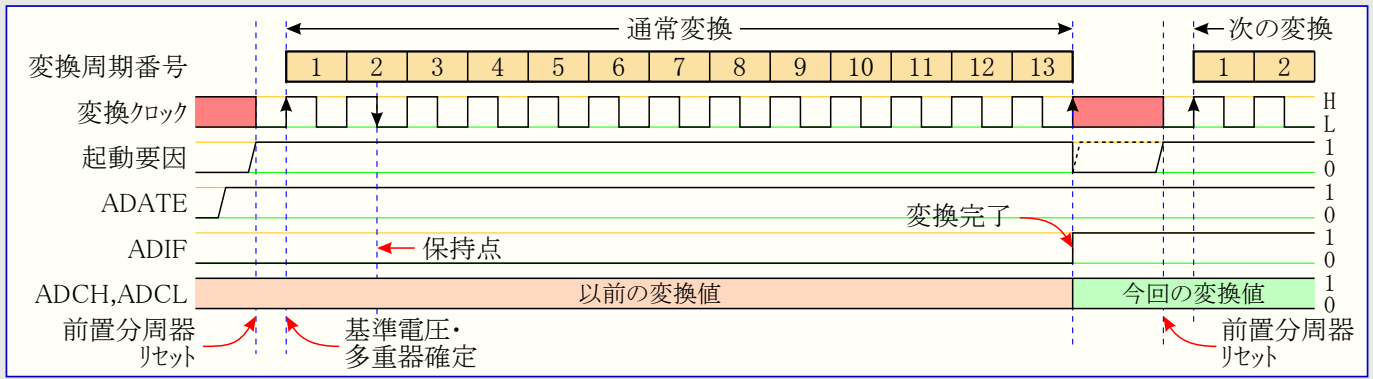


図25-7. 連続変換動作タイミング

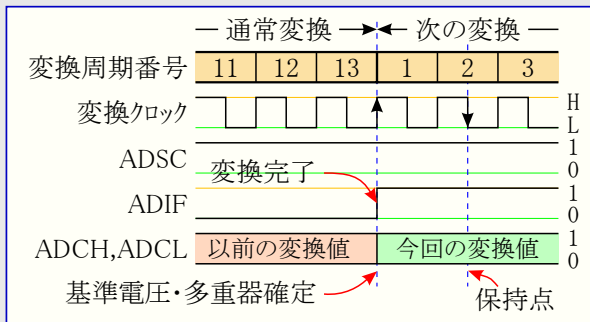


表25-1. A/D変換時間

変換種別	保持点	変換時間
初回変換	13.5	25
シングルエンド入力通常変換	1.5	13
差動入力通常変換	1.5/2.5 (注1)	13/14 (注1)
自動起動変換	1.5 (2)	13.5

注: 変換時間を除く各値は変換開始からの変換クロック数です。

注1: CKADC2の状態に依存(訳注: 共通性から追加)。

25.4.1. 差動増幅チャネル

差動増幅チャネルを使うとき、変換の±方向を考慮に入れる必要があります。

差動変換は変換クロックの半分に等しい内部クロックCKADC2に同期化されます。この同期化は採取&保持がCKADC2の特定位相で起きるという方法でA/D変換器インターフェースによって自動的に行われます。CKADC2がLowの時に使用者によって変換が開始されると(即ち全ての単独変換と連続変換の最初)、シングルエンド入力変換(次の前置分周したクロック周期から13変換クロック周期)と同じ変換時間になります。CKADC2がHighの時に使用者によって変換が開始されると、同期化機構のために14変換クロック周期になります。連続変換動作では直前の変換完了後、直ちに次の変換が開始され、この時にCKADC2がHighのため、自動的に開始される全ての連続変換(即ち、初回を除く全て)は14変換クロック周期になります。

差増増幅チャネルが使われ、自動起動によって変換が開始される場合、A/D変換部は変換の間、OFFに切り替えられなければなりません。自動起動が使われるとき、A/D用前置分周器は変換が開始される前にリセットされます。利得段は変換以前の安定したA/D変換クロックに関係するため、この変換は有効ではありません。各変換間のA/D変換部の動作禁止とその後の許可(ADCSRAのADENへの0書き込み後の1書き込み)では、延長した変換(初回変換)だけが実行されます。この延長した変換からの結果は有効です。詳細タイミングについては188頁の「前置分周と変換タイミング」をご覧ください。

25.5. チャネル変更と基準電圧選択

A/D変換制御/状態レジスタB(ADCSRB)のチャネル選択(MUX5)ビットとA/D多重器選択レジスタ(ADMUX)のチャネル選択(MUX4~0)ビットと基準電圧選択(REFS1,0)ビットは、CPUが乱順にアクセスするための一時レジスタを通して単独緩衝されます。これはチャネルと基準電圧の選択が変換中の安全なところでだけ行われるのを保証します。チャネルと基準電圧の選択は変換が開始されるまで継続的に更新されます。一旦変換が始まると、A/D変換器に対して十分な採取/変換時間を保証するためにチャネルと基準電圧の選択は固定されます。継続的な更新は変換完了(A/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のADIF=1)前の最後の変換クロック周期で再開します。ADCSRAの変換開始(ADSC)ビットが書かれた後の次の変換クロックの上昇端で、変換が始まることに注意してください。従って使用者はADSC書き込み後、1変換クロック周期(経過)まで新しいチャネルまたは基準電圧選択値をADCSRBとADMUXに書かないことが推奨されます。

自動起動が使われる場合、起動要因の正確な時間は確定できません。変換が新規設定によって影響されるように制御するにはADCSRBとADMUXの更新時に特別な注意が払われなければなりません。

ADCSRAのA/D許可(ADEN)とA/D変換自動起動許可(ADATE)の両方が1を書かれると、何時でも割り込みが起き得ます。この期間でADCSRBまたはADMUXが変更されると、使用者は次の変換が旧設定または新設定どちらが基準にされるかを知らることができません。ADCSRBやADMUXは次の方法で安全に更新できます。

- ADENまたはADATEが解除(0)されているとき。
- 変換開始後、最低1変換クロック周期経過後の変換中。
- 変換後から、変換起動元として使った割り込みフラグが解除(0)される直前まで。

これら条件の1つでADCSRBまたはADMUXを更新すると、新設定は次のA/D変換に影響を及ぼします。

差動入力チャネルを変更する時に特別な注意が求められるべきです。一旦差動入力チャネルが選ばれてしまうと、利得段は新しい値に安定するのに125 μ s程度かかるかもしれません。従って変換は新規差動入力チャネル選択後の最初の125 μ s内に開始されるべきではありません。または、この期間内に得た変換結果は破棄されるべきです。

(ADMUXのREFS1,0ビットの変更による)A/D変換器基準電圧変更後の最初の差動入力変換に対して、同じ設定(安定)時間が厳守されるべきです。

JTAGインターフェースが許可されると、PORTF7~4のADC入力チャネル機能が無効にされます。67頁の表14-18を参照してください。

25.5.1. A/D入力チャネル

チャネル選択を変更する時に使用者は正しいチャネルが選ばれることを保証するために次の指針を守るべきです。

単独変換動作では常に変換を始める前にチャネルを選んでください。チャネル選択はADSCへの1書き込み後、1変換クロック周期で変更されるかもしれません。とは言え、最も簡単な方法はチャネル選択を変更する前に変換が完了するまで待つことです。

連続変換動作では常に最初の変換を始める前にチャネルを選択してください。チャネル選択はADSCへの1書き込み後、1変換クロック周期で変更されるかもしれません。とは言え、最も簡単な方法は最初の変換が完了するまで待ち、その後にチャネル選択を変更することです。既に次の変換が自動的に開始されているので、次の結果は直前のチャネル選択を反映します。それに続く変換は新しいチャネル選択を反映します。

差動増幅チャネルへ切り替える時に自動変位(オフセット消去回路用の設定時間が必要なので、最初の変換結果は貧弱な正確さとなってしまふかもしれません。使用者は最初の変換結果をなるべくなら無視すべきです。

25.5.2. A/D変換基準電圧

このA/D変換用の基準電圧(VREF)はA/D変換に対する変換範囲を示します。VREFを越えるシングル エント'入力チャネルは\$3FFで打ち切る符号に帰着します。VREFはAVCC、内部1.1V基準電圧、内部2.56V基準電圧、外部AREFピンのどれかとして選べます。

AVCCは受動型スイッチを通してA/D変換部に接続されます。内部1.1V基準電圧は内蔵基準(バンドギャップ)電圧(VBG)から内部増幅器を通して生成されます。どちらの場合でも外部AREFピンは直接的にA/D変換部へ接続され、AREFピンとGND間にコンデンサを接続することにより、基準電圧は雑音耐性をより高められます。VREF(電圧)は高入力インピーダンス電圧計とAREFピンで測定することもできます。VREFは高インピーダンス出力で、容量性負荷のみがシステム内で接続されるべきであることに注意してください。内部2.56V基準電圧は内部1.1V基準電圧から生成されます。

使用者がAREFピンに接続された固定電圧源にするなら、この外部電圧がその他の内部基準電圧と短絡してしまうため、使用者はこの応用内で他の基準電圧選択を使ってはなりません。外部電圧がAREFピンに印加されないなら、使用者は基準電圧選択としてAVCC、1.1Vと2.56V内部基準電圧間の切り替えができます。基準電圧源切り替え後の最初のA/D変換結果は不正確かもしれず、使用者はこの結果を破棄することが推奨されます。

差動入力チャネルが使われる場合、選んだ基準電圧は246頁の表30-9で示されるよりもAVCCに近くすべきではありません。

25.6. 雑音低減機能

このA/D変換部はCPUコアと他の周辺I/Oが誘導した雑音を削減するために休止形態中の変換を可能にする雑音低減機能が特徴です。この機能はA/D変換雑音低減動作とアイドル動作で使えます。この機能を使うには次の手順が使われるべきです。

1. A/D変換部が許可(ADEN=1)され、変換中でない(ADSC=0)ことを確認してください。単独変換動作が選択(ADATE=0)され、且つA/D変換完了割り込みが許可(ADIE=1)されていなければなりません。
2. A/D変換雑音低減(またはアイドル)動作に移行してください。一旦CPUが停止されてしまうと、A/D変換部は変換を始めます。
3. A/D変換完了前に他の割り込みが起こらなければ、A/D変換完了割り込みはCPUを起動してA/D変換完了割り込みルーチンを実行します。A/D変換完了前に他の割り込みがCPUを起動すると、その割り込みが実行され、A/D変換完了割り込み要求はA/D変換完了時に生成されます。CPUは新規SLEEP命令が実行されるまで活動動作に留まります。

アイドル動作とA/D変換雑音低減動作を除く他の休止形態へ移行する時にA/D変換部が自動的にOFFへ切り替えられないことに注意してください。使用者は余分な消費電力を避けるため、このような休止形態へ移行する前にADENへ0を書くことが推奨されます。

このような休止形態でA/D変換が許可され、使用者が差動変換の実行を望む場合、使用者は有効な結果を得るための延長した(初回)変換を指示するために、休止形態から起動後にA/D変換部をOFF→ON(ADEN=0→1)に切り替えることが推奨されます。

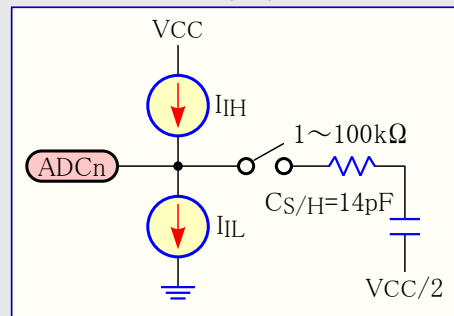
25.6.1. アナログ入力回路

シングルエンド入力チャネルのアナログ回路は図25-8.で図示されます。ADCnに印加したアナログ(信号)源はそのチャネルがADC入力として選ばれているかどうかにかかわらず、ピン容量とそのピンの漏れ電流に左右されます。そのチャネルが選ばれると、(アナログ信号)源は直列抵抗(入力経路の合成抵抗)を通してS/Hコンデンサを駆動しなければなりません。

A/D変換部は概ね10kΩ若しくはそれ以下の出力インピーダンスのアナログ信号用に最適化されています。このような(アナログ信号)源が使われるなら、採取時間は無視してもよいでしょう。より高いインピーダンスの(アナログ信号)源が使われる場合、採取時間は広範囲に変化し得るS/Hコンデンサを充電するために(アナログ信号)源がどれくらいの時間を必要とするかに依存します。必要とされるS/Hコンデンサへの充放電を最小とすため、使用者は緩やかに変化する低インピーダンス(アナログ信号)源だけを使うことが推奨されます。

特定できない信号の渦からの歪を避けるために、どのチャネルに対してもナイキスト周波数($f_{ADC}/2$)よりも高い信号成分が存在すべきではありません。使用者はADC入力として信号を印加する前に低域通過濾波器(ローパスフィルタ)で高い周波数成分を取り除くことが推奨されます。

図25-8. アナログ入力回路

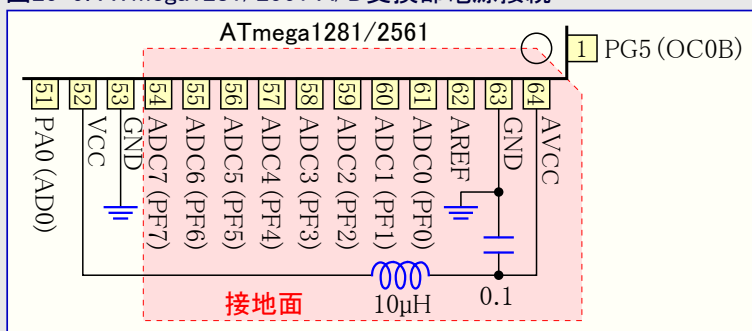


25.6.2. アナログ雑音低減技術

デバイス内外のデジタル回路がアナログ測定に影響を及ぼすかもしれないEMIを発生します。精密な変換精度が必要な場合、次の技法を適用することによって雑音レベルを低減できます。

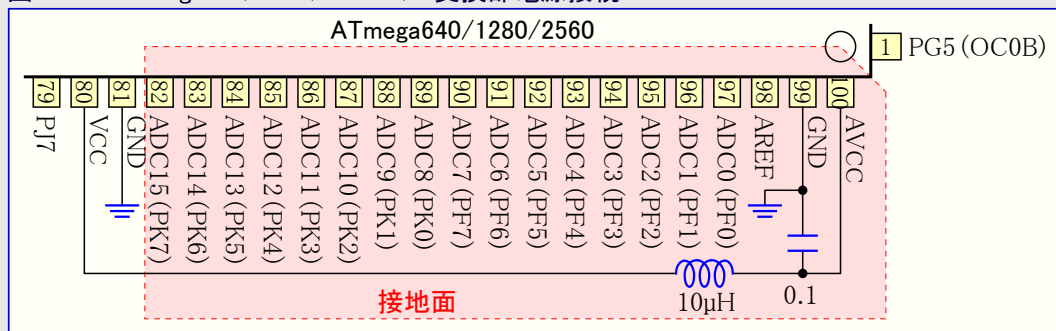
1. アナログ信号経路を可能な限り最短にしてください。アナログ信号線がGND面上を走ることに注意し、高速切り替えデジタル信号線から充分離すことを守ってください。
2. デバイスのAVCCピンは図25-9.または図25-10.で示されるようにLC濾波器を経由してデジタル供給電圧(VCC)に接続されるべきです。
3. CPUからの誘導雑音を低減するために、A/D変換の雑音低減機能を使ってください。
4. どれかのADCポートピンがデジタル出力として使われる場合は、これらが変換進行中に切り替わらない事が重要です。

図25-9. ATmega1281/2561 A/D変換部電源接続



(訳注) 図25-9.と図25-10.のピン名が一部省略されています。

図25-10. ATmega640/1280/2560 A/D変換部電源接続



25.6.3. 変位(オフセット)補償の仕組み

利得段には差動測定の変位をできるだけ無効にする組み込み変位補正回路があります。アナログ経路内の残留変位は両差動入力に対して同じチャネルを選ぶことによって直接的に計測できます。その後この残留変位は計測結果からソフトウェアで減算できます。この変位補正に基いたソフトウェア手法の使用はどのチャネルの変位も1 LSB以下に減らせます。

25.6.4. A/D変換の精度定義

シングルエンド入力電圧のnビットA/D変換はGNDとVREF間を 2^n で直線的に変換します。最低値符号は0として読み、最高値符号は $2^n - 1$ として読みます。以下の各種パラメータは理想状態からの偏差を表します。

・変位(オフセット)誤差 – 図25-11.

最初の遷移点(\$000から\$001)で理想遷移点(差0.5 LSB)と比べた偏差です。理想値は0 LSBです。

・利得誤差 – 図25-12.

変位誤差補正後の最後の遷移点(\$3FEから\$3FF)で理想遷移点(最大差1.5 LSB以下)と比べた偏差です。理想値は0 LSBです。

・積分非直線性誤差 (INL) – 図25-13.

変位誤差と利得誤差補正後の全ての遷移点で理想遷移点と比べた最大偏差です。理想値は0 LSBです。

・微分非直線性誤差 (DNL) – 図25-14.

実際の符号の幅(隣接する2つの遷移点間)で理想符号幅(1 LSB)と比べた最大偏差です。理想値は0 LSBです。

・量子化誤差

有限数の符号で入力電圧を量子化するため、1 LSB幅となる入力電圧範囲は同じ値の符号になります。この値は常に ± 0.5 LSBです。

・絶対精度

補正しない全ての遷移点で理想遷移点と比べた最大偏差です。これは、変位誤差、利得誤差、差動誤差、非直線誤差の影響の合成です。理想値は ± 0.5 LSBです。

図25-11. 変位(オフセット)誤差

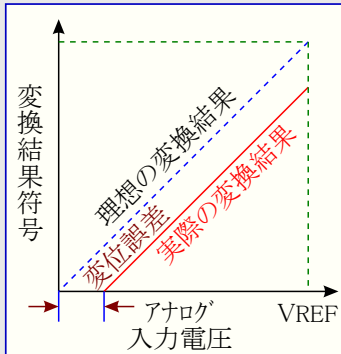


図25-12. 利得誤差

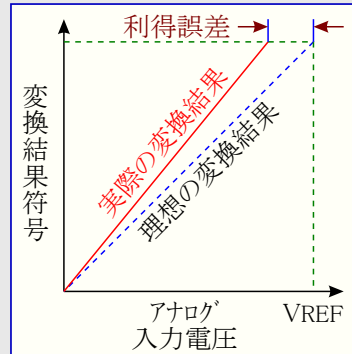


図25-13. 積分非直線性誤差

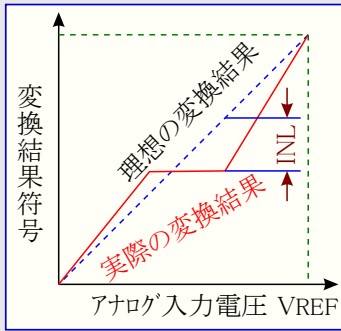
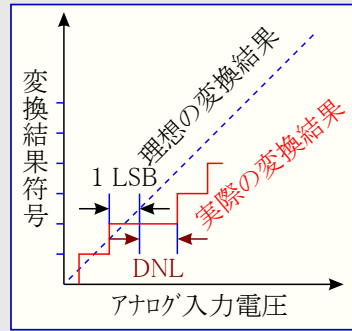


図25-14. 微分非直線性誤差



25.7. A/D変換の結果

変換完了(ADIF=1)後、変換結果はA/Dデータレジスタ(ADCH, ADCL)で得られます。

シングルエンド入力変換の結果は右式で示されます。 V_{IN} は選んだ入力ピンの電圧、 V_{REF} は選んだ基準電圧です(193頁の表25-3.と表25-4.をご覧ください)。\$000はGNDを表し、\$3FFは選んだ基準電圧-1 LSBを表します。

$$ADC = \frac{V_{IN} \times 1024}{V_{REF}}$$

差動チャネルが使われると、その結果は右式で示されます。 V_{POS} は非反転入力ピンの電圧、 V_{NEG} は反転入力ピンの電圧、 $GAIN$ は選んだ倍率、 V_{REF} は選んだ基準電圧です。この結果は-512(\$200)~+511 (\$1FF)の2の補数形式で示されます。使用者が結果の符号を素早く検査したいなら、結果のMSB(ADCHのADC9)を読むことで充分なことに注目してください。このビットが1ならばその結果は-、0ならばその結果は+です。図25-15.は差動入力範囲の符号化を示します。

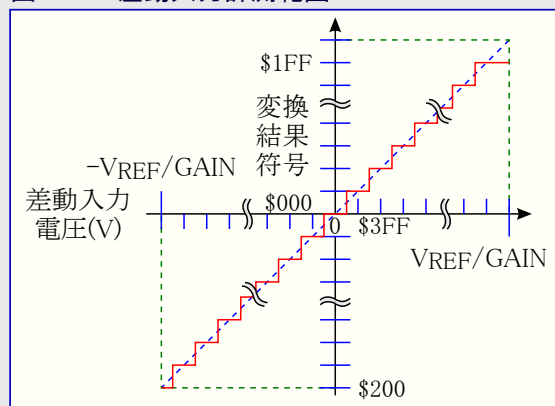
$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) \times GAIN \times 512}{V_{REF}}$$

表25-2.は差動入力チャネルの組(ADCn-ADCm)が基準電圧(V_{REF})で選ばれた場合の出力符号の結果を示します。

表25-2. 入力電圧と出力符号の関係

V_{ADCn}	読み出し符号	対応する10進値
$V_{ADCm} + V_{REF}/GAIN$	\$1FF	511
$V_{ADCm} + (511/512)V_{REF}/GAIN$	\$1FF	511
$V_{ADCm} + (510/512)V_{REF}/GAIN$	\$1FE	510
}	}	}
$V_{ADCm} + (1/512)V_{REF}/GAIN$	\$001	1
V_{ADCm}	\$000	0
$V_{ADCm} - (1/512)V_{REF}/GAIN$	\$3FF	-1
}	}	}
$V_{ADCm} - (511/512)V_{REF}/GAIN$	\$201	-511
$V_{ADCm} - V_{REF}/GAIN$	\$200	-512

図25-15. 差動入力計測範囲



例: ADMUX=\$ED(ADC3とADC2差動10倍入力、 V_{REF} =2.56V、左揃え)で、ADC3が300mV、ADC2が500mVの場合、A/D変換値=512×10×(300-500)÷2560=-400=\$270
従って、ADCH=\$9C, ADCL=\$00, ADLAR=0なら、ADCH=\$02, ADCL=\$70。

25.8. A/D変換用レジスタ

25.8.1. ADMUX – A/D多重器選択レジスタ (ADC Multiplexer Select Register)

ビット (\$7C)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

●ビット7,6 – REFS1,0 : 基準電圧選択 (Reference Select Bits 1, 0)

これらのビットは表25-3.で示されるようにA/D変換器の基準電圧を選びます。これらのビットが変換中に変更されると、その変更は変換が完了する(ADCSRAのADIF=1)まで実施しません。AREFピンに外部基準電圧が印加される場合、内部の基準電圧が使われてはなりません。

表25-3. A/D変換部の基準電圧選択

REFS1	REFS0	基準電圧
0	0	AREFピンの外部基準電圧 (AVCCと内部基準電圧は切り離されます。)
0	1	AVCC (内部基準電圧は切り離され、AREFにデカップ用コンデンサが接続できます。)
1	0	内部1.1V基準電圧 (AVCCは切り離され、AREFにデカップ用コンデンサが接続できます。)
1	1	内部2.56V基準電圧 (AVCCは切り離され、AREFにデカップ用コンデンサが接続できます。)

注: ×10または×200の利得が選ばれる場合、内部基準電圧としては2.56Vだけが使われるべきです。差動変換に対して、1.1Vだけは内部基準電圧として使えません。

●ビット5 – ADLAR : 左揃え選択 (ADC Left Adjust Result)

ADLARビットはA/Dデータレジスタ内の変換結果の配置に影響を及ぼします。結果を左揃えにするにはADLARに1を書いてください。さもなければ結果は右揃えです。ADLARビットの変更はどんな進行中の変換にも拘らず、直ちにA/Dデータレジスタの内容に影響を及ぼします。このビットの完全な記述については195頁の「A/Dデータレジスタ」をご覧ください。

●ビット4~0 – MUX4~0 : A/Dチャネル選択 (Analog Channel Select Bits 4~0)

これらのビットはA/D変換制御/状態レジスタB(ADCSRB)のMUX5と組み合わせられ、この値はA/D変換器にどのアナログ入力の組み合わせが接続されるかを選びます。これらのビットは差動チャネルに対する利得も選びます。詳細については表25-4.をご覧ください。これらのビットが変換中に変更される場合、その変更は変換が完了する(ADCSRAのADIF=1)まで実施しません。

表25-4. アナログ入力チャネル選択

MUX5~0	差動入力時				MUX5~0	差動入力時				MUX5~0	差動入力時					
	非反転	反転	利得			非反転	反転	利得			非反転	反転	利得			
0 00000	ADC0			シングル エンド 入力	0 10110	ADC6	ADC1	×1	差動 入力	1 01100	ADC10	ADC10	×10			
0 00001	ADC1				0 10111	ADC7	ADC1	×1		1 01101	ADC11	ADC10	×10			
0 00010	ADC2				0 11000	ADC0	ADC2	×1		1 01110	ADC10	ADC10	×200			
0 00011	ADC3				0 11001	ADC1	ADC2	×1		1 01111	ADC11	ADC10	×200			
0 00100	ADC4				0 11010	ADC2	ADC2	×1		1 10000	ADC8	ADC9	×1			
0 00101	ADC5				0 11011	ADC3	ADC2	×1		1 10001	ADC9	ADC9	×1			
0 00110	ADC6				0 11100	ADC4	ADC2	×1		1 10010	ADC10	ADC9	×1			
0 00111	ADC7				0 11101	ADC5	ADC2	×1		1 10011	ADC11	ADC9	×1			
0 01000	ADC0	ADC0	×10	差動 入力	0 11110	1.1V(VBG)			シングル エンド 入力	1 10100	ADC12	ADC9	×1	差動 入力		
0 01001	ADC1	ADC0	×10		0 11111	0V(GND)				1 10101	ADC13	ADC9	×1			
0 01010	ADC0	ADC0	×200		1 00000	ADC8				1 10110	ADC14	ADC9	×1			
0 01011	ADC1	ADC0	×200		1 00001	ADC9				1 10111	ADC15	ADC9	×1			
0 01100	ADC2	ADC2	×10		1 00010	ADC10				1 11000	ADC8	ADC10	×1			
0 01101	ADC3	ADC2	×10		1 00011	ADC11				1 11001	ADC9	ADC10	×1			
0 01110	ADC2	ADC2	×200		1 00100	ADC12				1 11010	ADC10	ADC10	×1			
0 01111	ADC3	ADC2	×200		1 00101	ADC13				1 11011	ADC11	ADC10	×1			
0 10000	ADC0	ADC1	×1		1 00110	ADC14				1 11100	ADC12	ADC10	×1			
0 10001	ADC1	ADC1	×1		1 00111	ADC15				1 11101	ADC13	ADC10	×1			
0 10010	ADC2	ADC1	×1		1 01000	ADC8	ADC8	×10		1 11110	(予約)					
0 10011	ADC3	ADC1	×1		1 01001	ADC9	ADC8	×10		1 11111						
0 10100	ADC4	ADC1	×1		1 01010	ADC8	ADC8	×200		差動 入力						
0 10101	ADC5	ADC1	×1		1 01011	ADC9	ADC8	×200								

注: 与えられた精度を達するため、10倍と200倍の利得は動作電圧2.7V以下で使われるべきではありません。
MUX5ビット、従ってADC8~15はATmega640/1280/2560でだけ利用可能です。

25.8.2. ADCSRA – A/D変換 制御/状態レジスタ (ADC Control and Status Register A)

ビット (\$7A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – ADEN : A/D許可 (ADC Enable)

このビットに**1**を書くことがA/D変換部(動作)を許可します。**0**を書くことによってA/D変換部は(電源が)OFFにされます。変換が進行中にA/D変換部をOFFにすることはその変換を(途中)終了します。

● ビット6 – ADSC : A/D変換開始 (ADC Start Conversion)

単独変換動作で各変換を始めるにはこのビットへ**1**を書いてください。連続変換動作で最初の変換を始めるにはこのビットへ**1**を書いてください。A/D変換部が許可される(ADEN=**1**)と同時にADSCが書かれるか、またはA/D変換部が許可されてしまった後にADSCが書かれた後の**初回変換**は、通常の13に代わって25変換クロック周期で行います。この初回変換はA/D変換部の初期化を実行します。

ADSCは変換が進行中である限り**1**として読みます。変換が完了すると**0**に戻ります。このビットへの**0**書き込みは無効です。

● ビット5 – ADATE : A/D変換自動起動許可 (ADC Auto Trigger Enable)

このビットが**1**を書かれると、A/D変換の自動起動が許可されます。A/D変換器は選んだ起動信号の上昇端で変換を開始します。この起動元はA/D変換制御/状態レジスタB(ADCSRB)のA/D変換起動要因選択(ADTS2~0)ビット設定によって選ばれます。

● ビット4 – ADIF : A/D変換完了割り込み要求フラグ (ADC Interrupt Flag)

A/D変換が完了し、A/Dデータレジスタが更新されると、このフラグが設定(**1**)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとA/D変換完了割り込み許可(ADIF)ビットが設定(**1**)されていれば、A/D変換完了割り込みが実行されます。対応する割り込み処理ベクタを実行する時にADIFはハードウェアによって解除(**0**)されます。代わりにこのフラグに論理**1**を書くことによってもADIFは解除(**0**)されます。ADCSRAで読み-変更-書き(リード モディファイ ライト)を行うと、保留中の割り込みが禁止され得ることに注意してください。これはSBI,CBI命令が使われる場合にも適用されます(訳注:アドレス範囲外のため、本行は不適切です)。

● ビット3 – ADIE : A/D変換完了割り込み許可 (ADC Interrupt Enable)

このビットが**1**を書かれ、SREGの全割り込み許可(I)ビットが設定(**1**)されていると、A/D変換完了割り込みが活性に(許可)されます。このビットが解除(**0**)されると、この割り込みは禁止されます(訳注:共通性のため本行追加)。

● ビット2~0 – ADPS2~0 : A/D変換クロック選択 (ADC Prescaler Select Bits)

これらのビットはXTAL(システム)周波数とA/D変換部への入力クロック間の分周値を決めます。

表25-5. A/D変換クロック選択 (CK=システム クロック)

ADPS2	0	0	0	0	1	1	1	1
ADPS1	0	0	1	1	0	0	1	1
ADPS0	0	1	0	1	0	1	0	1
A/D変換クロック	CK/2	CK/2	CK/4	CK/8	CK/16	CK/32	CK/64	CK/128

25.8.3. ADCSRB – A/D変換 制御/状態レジスタB (ADC Control and Status Register B)

ビット (\$7B)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	ACME	–	–	MUX5	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADCSRB
Read/Write	R	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7,5,4 – Res : 予約 (Reserved Bits)

これらのビットは将来の使用に対して予約されています。将来のデバイスとの共通性のため、ADCSRBが書かれるとき、これらのビットは0が書かれなければなりません。

● ビット3 – MUX5 : A/Dチャネル選択ビット5 (Analog Channel Select Bit 5)

このビットはADMUXのMUX4~0と合わせてされ、AD変換器にどのアナログ入力との組み合わせが接続されるかを選びます。詳細についてはA/D変換多重器選択レジスタ(ADMUX)のチャネル選択(MUX4~0)ビットをご覧ください。

このビットはATmega1281/2561に対して有効ではありません。

● ビット2~0 – ADTS2~0 : A/D変換自動起動要因選択 (ADC Auto Trigger Source)

A/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のA/D変換自動起動許可(ADATE)ビットが1を書かれると、これらのビット値はどの起動元がA/D変換を起動するかを選びます。ADATEが解除(0)されると、ADTS2~0設定は無効です。変換は選んだ割り込みフラグの上昇端によって起動されます。解除(0)されている起動元から設定(1)されている起動元への切り替えが、起動信号上に上昇端を生成することに注意してください。ADCSRAのA/D許可(ADEN)ビットが設定(1)されているなら、これが変換を開始させます。連続変換動作(ADTS2~0=0)への切り替えは、例えばA/D変換完了割り込み要求フラグが設定(1)されていても、起動事象を引き起こしません。

表25-6. A/D変換自動起動元選択

ADTS2	ADTS1	ADTS0	起動元
0	0	0	連続変換動作
0	0	1	アナログ比較器
0	1	0	外部割り込み要求0
0	1	1	タイマ/カウンタ0比較A一致
1	0	0	タイマ/カウンタ0溢れ
1	0	1	タイマ/カウンタ1比較B一致
1	1	0	タイマ/カウンタ1溢れ
1	1	1	タイマ/カウンタ1捕獲要求

25.8.4. ADCH,ADCL – A/Dデータレジスタ (ADC Data Register)

ADLAR=0時								
ビット (\$79)	15	14	13	12	11	10	9	8
	–	–	–	–	–	–	ADC9	ADC8
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0
ビット (\$78)	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0
ADLAR=1時								
15	14	13	12	11	10	9	8	
ADC9	ADC8	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADCH
7	6	5	4	3	2	1	0	
ADC1	ADC0	–	–	–	–	–	–	ADCL

A/D変換が完了すると、その結果がこれらの2レジスタで得られます。差動チャネルが使われると、結果は2の補数形式で表されます。ADCLが読まれると、A/DデータレジスタはADCHが読まれるまで更新されません。従ってこの結果が左揃えで、且つ8ビット(差動入力チャネルについては符号+7ビット)を越える精度が必要とされないなら、ADCHを読むことで用が足ります。さもなければADCLが初めに、その後ADCHが読まれなければなりません。

A/D多重器選択レジスタ(ADMUX)の左揃え選択(ADLAR)ビットとA/Dチャネル選択(MUX4~0)ビットは本レジスタから結果を読む方法に影響を及ぼします。ADLARが設定(1)ならば結果は左揃えにされます。ADLARが解除(0:既定)ならば結果は右揃えにされます。

● ADC9~0 : A/D変換結果 (ADC Conversion result)

これらのビットは192頁の「A/D変換の結果」で詳述されるように変換での結果を表します。

25.8.5. DIDR0 – デジタル入力禁止レジスタ0 (Digital Input Disable Register 0)

ビット (\$7E)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADC7D	ADC6D	ADC5D	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	DIDR0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – ADC7D～ADC0D : ADC7～0 デジタル入力禁止 (ADC7～0 Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、対応するADC7～0ピンのデジタル入力緩衝部が禁止されます。このビットが設定(1)されると、対応するポート入力レジスタのビット(PINx)は常に0として読みます。アナログ信号がADC7～0ピンに印加され、そのピンからのデジタル入力が必要とされない時にデジタル入力緩衝部での消費電力を削減するため、そのビットは論理1を書かれるべきです。

25.8.6. DIDR2 – デジタル入力禁止レジスタ2 (Digital Input Disable Register 2)

ビット (\$7D)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADC15D	ADC14D	ADC13D	ADC12D	ADC11D	ADC10D	ADC9D	ADC8D	DIDR2
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7～0 – ADC15D～ADC8D : ADC15～8 デジタル入力禁止 (ADC15～8 Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、対応するADC15～8ピンのデジタル入力緩衝部が禁止されます。このビットが設定(1)されると、対応するポート入力レジスタのビット(PINx)は常に0として読みます。アナログ信号がADC15～8ピンに印加され、そのピンからのデジタル入力が必要とされない時にデジタル入力緩衝部での消費電力を削減するため、そのビットは論理1を書かれるべきです。

(訳注) ATmega1281/2561にはADC8～15ピンが存在しないため、DIDR2は無効です。

26. JTAGインターフェースと内蔵デバッグ機能

26.1. 特徴

- JTAGインターフェース (IEEE標準1149.1準拠)
- JTAG規格に従った境界走査(Boundary-Scan)能力
- デバッグは各部のアクセスが可能
 - 全ての内蔵周辺機能
 - 内部及び外部RAM
 - 内蔵レジスタ ファイル
 - プログラム カウンタ
 - EEPROM及びフラッシュ メモリ
- 中断(BREAK)によって支援される広範囲な内蔵デバッグ機能
 - AVRのBREAK命令
 - プログラムの流れ変更での停止
 - 1命令実行(シングル ステップ)停止
 - プログラム メモリ上の単一アドレスまたはアドレス範囲による中断点(ブレークポイント)
 - データ メモリ上の単一アドレスまたはアドレス範囲による中断点
- JTAGインターフェースを介してのフラッシュ メモリ、EEPROM、ヒューズ ビット、施錠ビットの読み書き(プログラミング)
- AVR Studioによる内蔵デバッグ機能の支援

26.2. 概要

AVRのIEEE標準1149.1準拠JTAGインターフェースは以下について使えます。

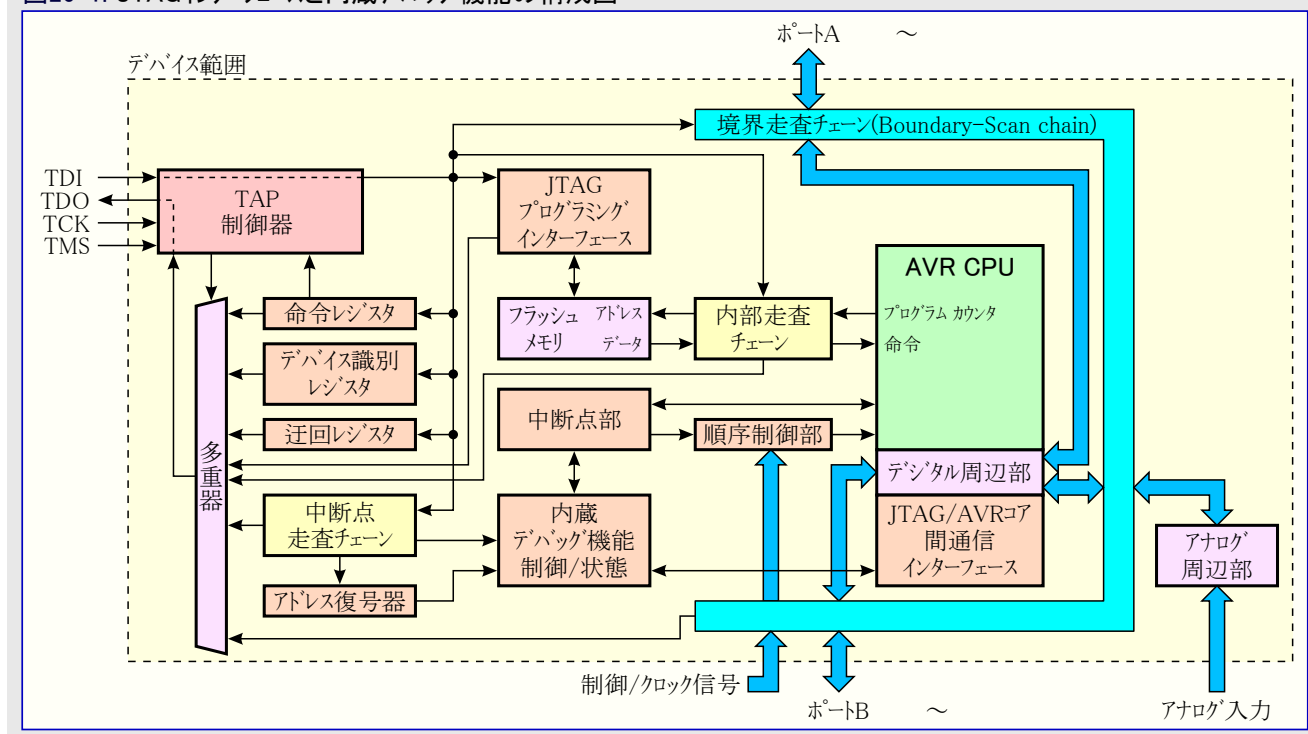
- JTAG境界走査(Boundary-Scan)能力による基板などの試験
- 不揮発性メモリ、ヒューズ ビット、施錠ビットの読み書き(プログラミング)
- 内蔵デバッグ機能による実装デバッグ

簡単な記述は次節で与えられます。JTAGインターフェース経由のプログラミングと境界走査(Boundary-Scan)チェーンに関する詳細な記述は、各々 233頁の「JTAGインターフェース経由のプログラミング」と201頁の「IEEE 1149.1(JTAG)境界走査(Boundary-Scan)」で得られます。内蔵デバッグ機能の支援は独自JTAG命令で考慮されており、Microchipと選ばれた業者のみに配布されます。

図26-1.はJTAGインターフェースと内蔵デバッグ機能の構成図を示します。TAP(検査入出力ポート)制御器はTMSとTCKによって制御される順次回路です。TAP制御器はTDI入力とTDO出力間の走査チェーン(移動レジスタ接続)として、JTAG命令レジスタまたは各種データレジスタの1つのどれかを選びます。JTAG命令レジスタはデータレジスタの動きを制御するJTAG命令を保持します。

デバイス識別(Identification)レジスタ、迂回(Bypass)レジスタ、境界走査チェーン(Boundary-Scan chain)の各データレジスタは基板段階の試験に使われます。(実際には現実と仮定の各種データレジスタで構成する)JTAGプログラミング インターフェースはJTAGインターフェース経由での直列プログラミングに使われます。内部走査チェーン(Scan chain)と中断点(ブレークポイント)走査チェーンは内部デバッグ機能だけで使われます。

図26-1. JTAGインターフェースと内蔵デバッグ機能の構成図



26.3. 検査入出力ポート (TAP:Test Access Port)

JTAGインターフェースはAVRの4つのピンを通してアクセスされます。JTAG用語ではこれらのピンが検査入出力ポート(TAP)を構成します。

- **TMS** : 検査種別選択。このピンはTAP制御器順次回路を通しての指示に使われます。
- **TCK** : 検査クロック。JTAG操作はTCKに同期します。
- **TDI** : 検査データ入力。命令レジスタまたはデータレジスタ(走査チェーン)内に移動されるべき直列入力データです。
- **TDO** : 検査データ出力。命令レジスタまたはデータレジスタからの直列出力データです。

IEEE標準1149.1では任意TAP信号の検査リセット(TRST)も記載されていますが、この信号は提供されません。

JTAGエンハンスが非プログラム(1)の時にこれら4つのTAPピンは標準ポートピンで、TAP制御器はリセットです。プログラム(0)され、MCU制御レジスタ(MCUCR)のJTAGインターフェース禁止(JTD)ビットが解除(0)されると、TAP信号入力は内部的にHighへ引かれ、JTAGは境界走査(Boundary-Scan)とプログラミングに関して許可されます。このデバイスはこのヒューズがプログラム(0)されて出荷されます。

内蔵デバッグ機能ではJTAGインターフェースピンに加え、外部リセット元が検知できるため、RESETピンがデバッグによって監視されます。応用でリセット信号線にオープンコレクタ(トレイン)だけが使われるとすれば、デバッグは全システムをリセットするためにRESETピンをLowにすることもできます。

26.3.1. TAP制御器

TAP制御器は境界走査(Boundary-Scan)回路、JTAGプログラミング回路、内蔵デバッグ機能の働きを制御する16段の無限順次回路です。図26-2.に描かれた状態遷移はTCKクロックの上昇時の(各状態遷移付近で示される)TMS上に存在する信号に依存します。電源投入リセット後の初期状態は検査回路リセットです。

この文書内の定義として、全ての移動レジスタに関して入出力ともLSBが最初に移動されます。

検査実行/アイドル状態が現在の状態と仮定した、JTAGインターフェースを使うための典型的な手順を次に示します。

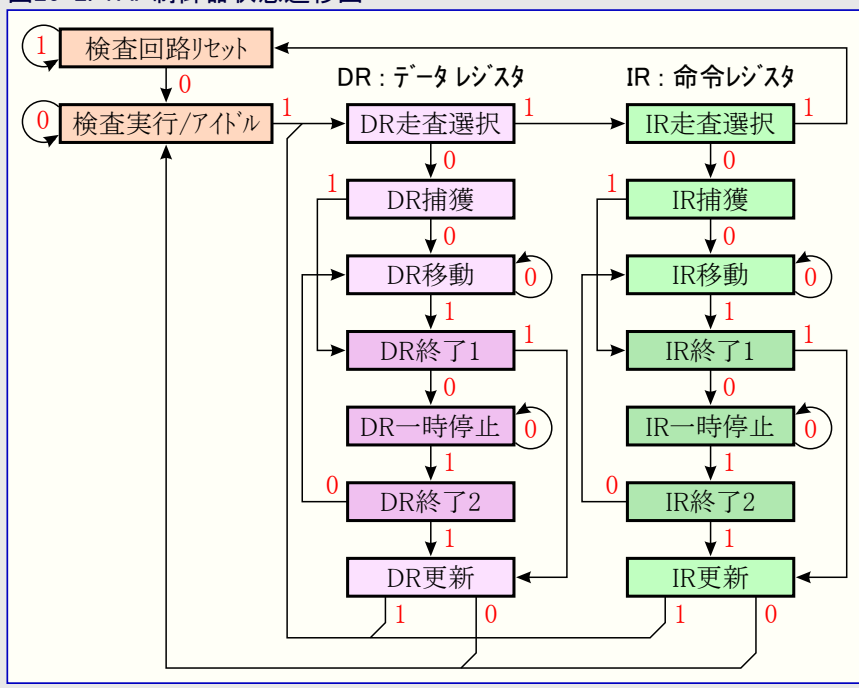
- 命令レジスタ(IR)移動状態へ移行するためにTCKの上昇でTMSへ順次1,1,0,0を与えます。この状態中、TCKの上昇端でTDI入力からJTAG命令レジスタ内に4ビットのJTAG命令を移動します。TMS入力はIR移動状態に留まるために3 LSBの入力中、Lowに保持されなければなりません。命令のMSBはTMS入力のHigh設定によってこの状態を抜ける時に移動入力されます。命令がTDIピンから移動されている間、捕獲されたIRの状態(\$01)がTDOピンへ移動出力されます。JTAG命令はTDIとTDO間に通ず(接続する)特定のデータレジスタを選び、選んだデータレジスタ周辺回路を制御します。
- 検査実行/アイドル状態へ再度移行するためにTMSへ順次1,1,0を与えます。この(JTAG)命令はIR更新状態通過で移動レジスタから並列出力にラッチされます。IR終了1、IR一時停止、IR終了2の各状態は順次回路の誘導操作のためだけに使われます。
- データレジスタ(DR)移動状態へ移行するためにTCKの上昇端でTMSへ順次1,0,0を与えます。この状態中、TCKの上昇端でTDI入力から(JTAG命令レジスタ内の現在のJTAG命令で)選んだデータレジスタに値を移動入力します。DR移動状態に留まるためにMSBを除く全ビットの入力中、TMS入力はLowに保持されなければなりません。データのMSBはTMS入力のHigh設定によってこの状態を抜ける時に移動入力されます。データレジスタがTDIピンから移動入力される間、DR捕獲状態(1,0)でデータレジスタに捕獲した並列入力がTDOピンへ移動出力されます。
- 検査実行/アイドル状態へ再移行するためにTMSへ順次1,1,0を与えます。選んだデータレジスタがラッチした並列出力を持つ場合、DR更新状態でラッチを行います。DR終了1、DR一時停止、DR終了2の各状態は順次回路の誘導操作のためだけに使われます。

状態遷移図で示されるように検査実行/アイドル状態はJTAG命令の選択とデータレジスタの使用間で移行される必要はなく、また、いくつかのJTAG命令は検査実行/アイドル状態で実行されるべき必然的な機能を選ぶかもしれず、それはアイドル状態として不適当になります。

注: TAP制御器の初期状態に関係なく、5 TCKクロック周期に対してTMSをHighに保持することにより、常に検査回路リセット状態へ移行することができます。

JTAG仕様の詳細情報については200頁の「参考文献」に記載された文献を参照してください。

図26-2. TAP制御器状態遷移図



26.4. 境界走査チェーン(Boundary-Scan Chain)の使用

境界走査能力の完全な説明は201頁の「IEEE 1149.1(JTAG)境界走査(Boundary-Scan)」章で与えられます。

26.5. 内蔵デバッグ機能の使用

図26-1.で示されるように内蔵デバッグに関するハードウェア支援は主に次の部分から成ります。

- ・ 内部AVR CPUコアと内部周辺機能部間インターフェースの走査チェーン(Scan chain)
- ・ 中断点(ブレークポイント)部
- ・ CPUとJTAGシステム間の通信インターフェース

デバッグの実行で必要とされる全ての読み込みまたは変更/書き込みは内部AVR CPU走査チェーン(Scan chain)経由のAVR命令によって行われます。CPUはCPUとJTAGシステム間の通信インターフェース部分が配置されるI/Oメモリ位置に結果を送ります。

中断点部はプログラムの流れ変更での一時停止(Break)、1命令実行(Single Step Break)、2つのプログラムメモリ用中断点、2つの複合中断点を実行します。合わせて4つ中断点は次のどれかとして設定ができます。

- ・ 4つのプログラムメモリ単一中断点
- ・ 3つのプログラムメモリ単一中断点 + 1つのデータメモリ単一中断点
- ・ 2つのプログラムメモリ単一中断点 + 2つのデータメモリ単一中断点
- ・ 2つのプログラムメモリ単一中断点 + 1つのプログラムメモリ範囲中断点(中断点と遮蔽)
- ・ 2つのプログラムメモリ単一中断点 + 1つのデータメモリ範囲中断点(中断点と遮蔽)

けれどもAVR Studio®のようなデバッグは最終使用者への柔軟性をより少なくする内部目的にこれら資源の1つまたはそれ以上を使うかもしれません。

内蔵デバッグ特殊JTAG命令の一覧は「内蔵デバッグ特殊JTAG命令」で与えられます。

JTAG検査入出力ポート(TAP)を許可するにはJTAGENヒューズがプログラム(0)されなければなりません。加えて内蔵デバッグ機能で作業するには更にOCDENヒューズがプログラム(0)され、施錠ビットが施錠なしに設定されなければなりません。何れかの施錠ビットが設定(0)されると、保護機能で内蔵デバッグ機能が禁止されます。そうでなければ内蔵デバッグ機能が保護されたデバイスへの裏口を提供することになっていでしょう(訳補:保護の意味がなくなるの意)。

AVR Studioは使用者にチップ内蔵デバッグ能力(機能)、AVRインサーキットエミュレータ、または(AVR Studio)組み込みAVR命令セットシミュレータでAVRデバイスのプログラム実行を完全に制御することを可能にします。AVR StudioはMicrochipのAVR MCUアセンブラでアセンブルしたアセンブリ言語プログラムと他業者製コンパイラでコンパイルしたC言語プログラムのソースレベル実行を支援します。

AVR StudioはMicrosoft Windows® 98/2000、Windows NT®, Windows XP®, Windows Vista®下で走行します。

AVR Studioの完全な記述についてはAVR Studio使用者の手引きを参照してください。要点だけが本文書で示されます。

全ての必要な実行指令はAVR Studio内のソースレベルと逆アセンブリレベルの両方で利用できます。使用者はプログラムの実行、1命令実行(Single Step)、内側(関数内)実行、外側(関数外)実行、命令行へのカーソル配置と命令行が(カーソル行へ)到達されるまでの実行、一時停止、実行対象のリセットができます。加えて使用者は無制限数のコードの中断点(BREAK命令使用)と、2つまでのデータメモリの中断点か、代わりに遮蔽による範囲指定(複合)中断点を持てます。

26.6. 内蔵デバッグ特殊JTAG命令

内蔵デバッグの支援は独自JTAG命令で考慮され、Microchipと選ばれた業者だけに配布されます。参考のため、命令コードの一覧が示されます。

- ・ 独自命令0 : \$8 (内蔵デバッグ機能アクセス用独自JTAG命令)
- ・ 独自命令1 : \$9 (内蔵デバッグ機能アクセス用独自JTAG命令)
- ・ 独自命令2 : \$A (内蔵デバッグ機能アクセス用独自JTAG命令)
- ・ 独自命令3 : \$B (内蔵デバッグ機能アクセス用独自JTAG命令)

26.7. JTAGプログラミング能力の使用

JTAG経由AVRデバイスプログラミングは4ピンのJTAGポート、TCK,TMS,TDI,TDO経由で実行されます。これらはJTAGプログラミング実行のために(電源ピンに加えて)制御/監視される必要があるピンだけです。外部的な12V印加は必要とされません。JTAG検査入出力ポート(TAP)を許可するにはJTAGENヒューズがプログラム(0)され、MCU制御レジスタ(MCUCR)のJTAGインターフェース禁止(JTD)ビットが解除(0)されなければなりません。

JTAGプログラミング能力は以下を支援します。

- ・ フラッシュメモリのプログラミングと照合
- ・ EEPROMのプログラミングと照合
- ・ ヒューズビットのプログラミングと照合
- ・ 施錠ビットのプログラミングと照合

施錠ビット保護は丁度並列プログラミング動作でのようです。施錠ビットLB1またはLB2がプログラム(0)されると、先にチップ消去を行わない限り、OCDENヒューズはプログラム(0)できません。これは保護されたデバイスの内容を読み出す裏口が存在しないことを保証する保護機能です。

JTAGインターフェースを通すプログラミングとプログラミング特殊JTAG命令の記述は233頁の「JTAGインターフェース経由のプログラミング」項で与えられます。

26.8. 参考文献

一般的な境界走査(Boundary-Scan)についての詳細は、次の文献を参照してください。

- IEEE : IEEE Std 1149.1-1990. IEEE Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE, 1993
- Colin Maunder : The Board Designers Guide to Testable Logic Circuits, Addison Wesley, 1992

26.9. 内蔵デバッグ用レジスタ

26.9.1. OCD R – 内蔵デバッグ レジスタ (On-chip Debug Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$31 (\$51)	IDRD/MSB							LSB	OCD R
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

OCD Rはマイクロ コントローラ内の実行プログラムからデバッグへの通信チャネルを提供します。CPUはこの位置へ書くことによってデバッグへバイトを転送できます。このレジスタが書かれてしまっているのをデバッグに示すため、同時に内部フラグIDRD(I/Oデバッグレジスタ更新)が設定(1)されます。CPUがOCD Rを読むとき、LSB 7ビットがOCD Rからで、一方MSBはIDRDビットです。デバッグはこの情報を読む時にIDRDビットを解除(0)します。

いくつかのAVRデバイスに於いてこのレジスタは標準I/O位置で共用されます。この場合、OCD Rは内蔵デバッグ許可(OCDEN)ヒューズがプログラム(0)された場合にだけアクセスでき、デバッグがOCD Rへアクセスできます。他の全ての場合、標準I/O位置がアクセスされます。

このレジスタの使用法のより多くの情報はデバッグの資料を参照してください。

27. IEEE 1149.1 (JTAG) 境界走査(Boundary-Scan)

27.1. 特徴

- ・ JTAGインターフェース (IEEE標準1149.1準拠)
- ・ JTAG規格に従った境界走査(Boundary-Scan)能力
- ・ チップ外接線を持つアナログ回路は勿論、全てのポート機能の完全な走査(Scan)
- ・ 任意IDCODE命令の支援
- ・ AVRリセット用公開AVR_RESET命令の追加

27.2. 概要

境界走査チェーン(Boundary-Scan chain)にはデジタルI/Oピンは勿論、チップ外接線を持つアナログ回路のアナログとデジタル間境界の論理値を駆動、監視する能力があります。システム上ではJTAG能力を持つ全てのICがTDIとTDOの接続により長い移動レジスタの形態で接続されます。外部制御器がこれらの出力ピンで値を駆動するようにデバイスを設定し、他のデバイスから受け取った入力値を監視します。この制御器は予測される結果と受信した値を比較します。この方法で境界走査(Boundary-Scan)は4つのTAP信号だけを使うことにより、基板上の部品全般と内部結線の検査機構を提供します。

IEEE 1149.1で定義された4つの必須JTAG命令、IDCODE、BYPASS、SAMPLE/PRELOAD、EXTESTだけでなく、AVR特殊公開JTAG命令のAVR_RESETも基板検査に使用できます。既定JTAG命令がIDCODEなので、データレジスタ経路の初期走査はデバイスの識別符号(ID-code)を示します。検査動作中にリセット(状態)のAVRデバイスがあることは好都合かもしれませんが、リセットでない場合、デバイスの入力走査動作によって決定されるかもしれず、検査動作を終了する時に内部ソフトウェアが未確定状態になってしまうかもしれません。リセットへの移行で、どのポートピンの出力も直ちにHi-Z状態に移行し、HIGHZ命令が不要になります。必要とされるなら、デバイスを通する走査チェーンを可能な限り最短とするのにBYPASS命令が発行できます。外部RESETピンをLowに引き込むか、またはリセットデータレジスタの適切な設定によるAVR_RESET命令の発行でデバイスをリセット状態に設定できます。

EXTEST命令は外部ピンの採取と出力ピンの値設定に使われます。EXTEST命令がJTAG命令レジスタ(IR)に設定されると、直ちに出力ラッチからの値がピンで出力駆動されます。このため、最初にEXTEST命令を発行する時に基板の損傷を避けるため、走査チェーン内に初期値を設定するのにSAMPLE/PRELOAD命令も使われるべきです。SAMPLE/PRELOAD命令は通常動作中デバイスの外部ピンの高速監視にも使えます。

JTAG検査入出力ポート(TAP)を許可するにはJTAGENヒューズがプログラム(0)され、MCU制御レジスタ(MCUCR)のJTAGインターフェース禁止(JTD)ビットが解除(0)されなければなりません。

境界走査(Boundary-Scan)にJTAGインターフェースを使う場合、内部チップ周波数よりも高いJTAG TCKクロック周波数の使用が可能です。チップのクロックは走行に必要とされません。

27.3. データレジスタ

境界走査(Boundary-Scan)に関連するデータレジスタ(DR)を次に示します。

- ・ 迂回(Bypass)レジスタ
- ・ デバイス識別(Device Identification)レジスタ
- ・ リセット(Reset)レジスタ
- ・ 境界走査チェーン(Boundary-Scan chain)

27.3.1. 迂回 (Bypass) レジスタ

迂回レジスタは1段の移動レジスタから成ります。TDIとTDO間の経路として迂回レジスタが選ばれると、このレジスタはTAP制御器がデータレジスタ(DR)捕獲状態を抜ける時に0へリセットされます。迂回レジスタは他のデバイスが検査される時にシステム上の走査チェーン(Scan chain)を短くするのに使えます。

27.3.2. デバイス識別 (Device Identification) レジスタ

図27-1はデバイス識別レジスタの構造を示します。

図27-1. デバイス識別レジスタの形式

ビット	31	28	27	12	11	1	0
デバイス識別	版番号				部品番号		製造者識別
ビット数	4				16		11

版番号 版番号は部品(デバイス)の改訂を示す4ビットです。JTAG版番号はデバイスの改訂版に従います。改訂Aは\$00, 改訂Bは\$01, 以下同様です。

部品番号 部品番号は部品(名)を示す16ビットです。ATmega640/1280/1281/2560/2561のJTAG部品番号は217頁の表29-6で示されます。

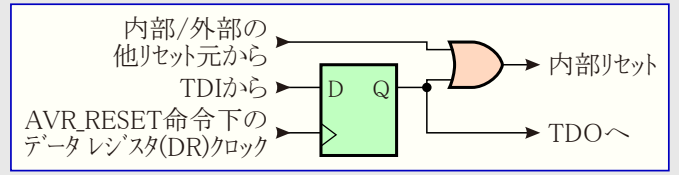
製造者識別 製造者識別は製造業者を示す11ビットです。JTAG製造者識別は220頁の表29-6で示されます。

27.3.3. リセット (Reset) レジスタ

リセットレジスタはデバイスのリセットに使われる検査データレジスタです。リセットによってAVRのポートピンがHi-Z状態となるので、未実装の任意JTAG命令HIGHZ機能の代わりにできます。

リセットレジスタ内の値1は外部RESETピンをLowに引っ張るのと同じです。デバイスはリセットレジスタ内の値が1である限り、リセットです。リセットレジスタの開放後、デバイスはクロック選択用ヒューズビットの設定に従ってリセット起動遅延時間(29ページの「クロック元」参照)、リセットに留まります。図27-2で示されるようにこのデータレジスタからの出力はラッチされず、直ちにリセットが行われます。

図27-2. リセットレジスタ



27.3.4. 境界走査チェーン(Boundary-Scan Chain)

境界走査チェーンにはデジタルI/Oピンは勿論、チップ外の接続を持つアナログ回路のアナログとデジタル間境界の論理値上の設定と監視能力があります。

完全な記述については203ページの「境界走査チェーン(Boundary-Scan chain)」をご覧ください。

27.4. 境界走査(Boundary-Scan)用JTAG命令

命令レジスタ(IR)は16種までの命令を支援する4ビット幅です。以下に示した一覧は境界走査(Boundary-Scan)操作に有用なJTAG命令です。全ポートピンをHi-Z状態にするための任意HIGHZ命令は実装されませんが、AVR_RESET命令を使うことによって全出力がHi-Z状態に設定できることに注目してください。

このデータシート内の定義として、全ての移動レジスタに関して入出力ともLSBが最初に移動されます。

各命令の命令コードは命令名下の16進形式で示されます。本文は各命令についてTDIとTDO間の経路として選ばれるデータレジスタを記述します。(訳注:配置構成変更により、内容を一部変更)

27.4.1. EXTEST - \$0

AVRデバイスに外部回路的検査を行うためにデータレジスタ(DR)として境界走査チェーン(Boundary-Scan chain)を選ぶための必須JTAG命令です。ポートピンは方向、プルアップ、出力値、入力値は走査チェーン(Scan chain)内で全てアクセス可能です。チップ外接続を持つアナログ回路についてはアナログとデジタル論理間のインターフェースが走査チェーン内になります。境界走査チェーンのラッチした出力値はJTAG命令レジスタ(IR)にEXTEST命令が設定されると直ぐに駆動されます。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR捕獲：外部ピン上の値が境界走査チェーン内に採取されます。
- DR移動：内部走査チェーンがTCKクロック入力によって移されます。
- DR更新：走査チェーンからの値が出力ピンに印加(出力)されます。

27.4.2. IDCODE - \$1

データレジスタ(DR)として32ビットのデバイス識別(ID)レジスタを選ぶ任意JTAG命令です。デバイス識別レジスタは版番号、デバイス番号と、JED ECによって決められた製造者符号から成ります。これは電源投入後の既定命令です。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR捕獲：デバイス識別レジスタ内の値が境界走査チェーン内に採取されます。
- DR移動：内部走査チェーン(デバイス識別レジスタ値)がTCKクロック入力によって移されます。

27.4.3. SAMPLE_PRELOAD - \$2

システム動作に影響を与えずに入出力ピンの状態採取、出力ラッチの事前設定を行うための必須JTAG命令です。けれども出力ラッチはピンに接続されません。データレジスタ(DR)として境界走査チェーン(Boundary-Scan chain)が選ばれます。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR捕獲：外部ピン上の値が境界走査チェーン内に採取されます。
- DR移動：境界走査チェーンがTCKクロック入力によって移されます。
- DR更新：境界走査チェーンからの値が出力ラッチに印加(設定)されます。けれども出力ラッチはピンに接続されません。

27.4.4. AVR_RESET - \$C

AVRデバイスを強制的にリセット状態、またはJTAGリセット元から開放するためのAVR特殊公開JTAG命令です。この命令で検査入出力ポート(TAP)制御器はリセットされません。データレジスタ(DR)として1ビットのリセットレジスタが選ばれます。リセットチェーン(レジスタ)が論理1である限り、リセットが活性(有効)なことに注意してください。このチェーンからの出力はラッチされません。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR移動：走査チェーン(リセットレジスタ)がTCKクロック入力によって移されます。

27.4.5. BYPASS - \$F

データレジスタ(DR)に迂回(Bypass)レジスタを選ぶ必須JTAG命令です。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR捕獲：迂回レジスタに論理0を設定します。
- DR移動：TDIとTDO間の迂回レジスタ(セル)が移されます。

27.5. 境界走査チェーン(Boundary-Scan Chain)

境界走査チェーンにはデジタルI/Oピンは勿論、チップ外の接続を持つアナログ回路のアナログとデジタル間境界の論理値の設定と監視の能力があります。

27.5.1. デジタル ポートピンの走査

図27-3.はプルアップ機能付き双方向ポートピン用境界走査(Boundary-Scan)セルを示します。このセルはプルアップ許可(PUExn)用標準境界走査(Boundary-Scan)セルと3つの信号、出力(方向)制御(OCxn)、出力データ(ODxn)、入力データ(IDxn)の組み合わせの双方向ピン用セルの2段の移動レジスタだけから成ります。ポートとピンの添え字は続く記述で使われません。

境界走査(Boundary-Scan)論理回路はデータシート内の図に含まれません。図27-4.は55頁の「入出力ポート」章で記載される単純なデジタルポートピンを示します。図27-3.からの境界走査セルの詳細が図27-4.上の破線内に置き換わります。

交換ポート機能が存在しない場合、入力データ(ID)はPINxnレジスタ値(けれどもIDは同期化回路を持たず)、出力データ(OD)はPORTxnレジスタ、出力制御(OC)はDDxn方向レジスタ、プルアップ許可(PUE)は論理合成値($\overline{PUD} \text{ AND } \overline{DDxn}$ AND PORTxn)に各々対応します。

デジタル交換ポート(ピン)機能は走査チェーン(Scan chain)が実際のピン値を読むために図27-4.内の破線外側に接続されます。アナログ機能について、それらは外部ピンからアナログ回路へ直結で、走査チェーンはアナログ回路とデジタル論理回路間のインターフェースに挿入されます。

JTAG IRがEXTTESTまたはSAMPLE_PRELOADを内包すると、クロックは例えばCKOUTヒューズがプログラム(0)されていてもポートピンに送出されません。例えクロックが出力でも、JTAG IRがSAMPLE_PRELOADを内包するとき、クロックは境界走査によって採取されません。

図27-3. プルアップ機能付き双方向ポート用境界走査(Boundary-Scan)セル構成図

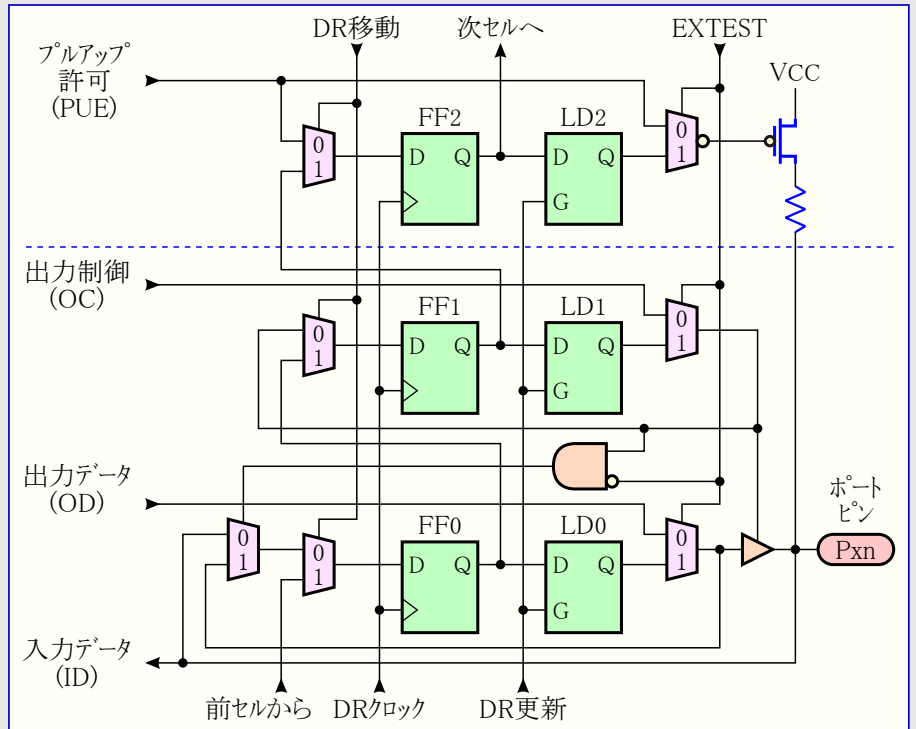
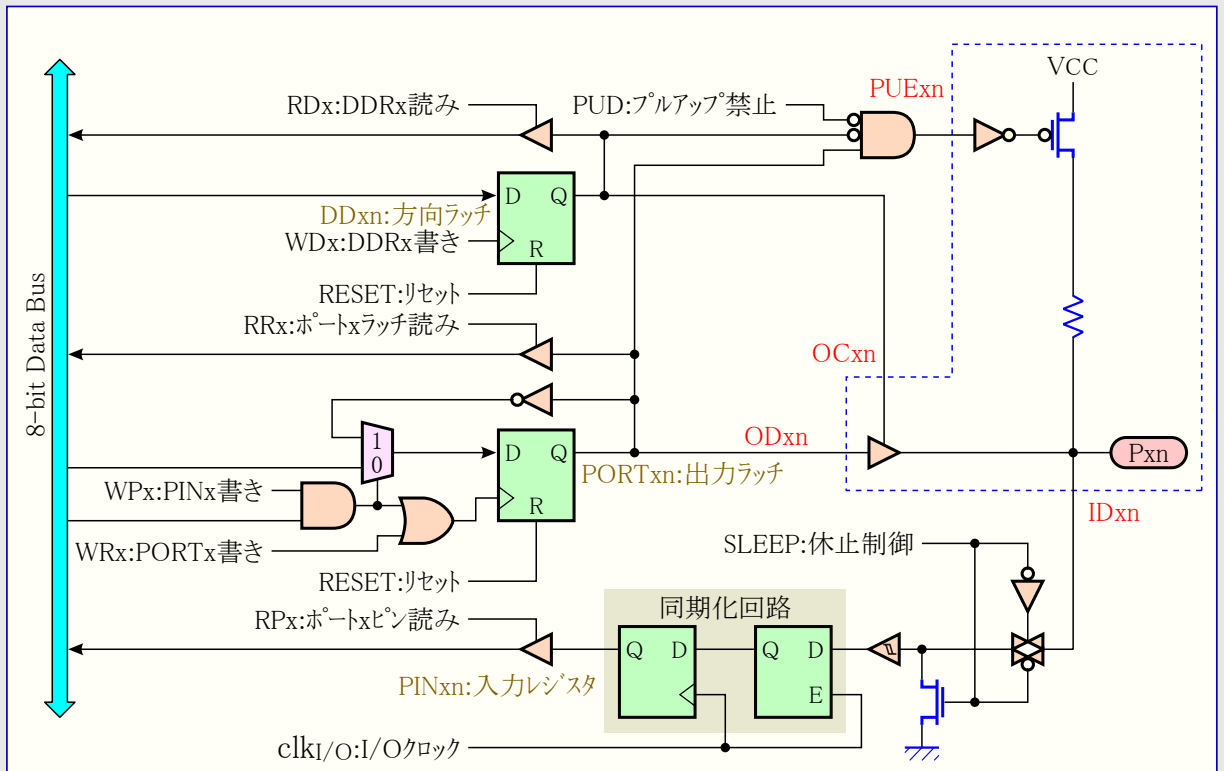


図27-4. 標準ポートピン構成図

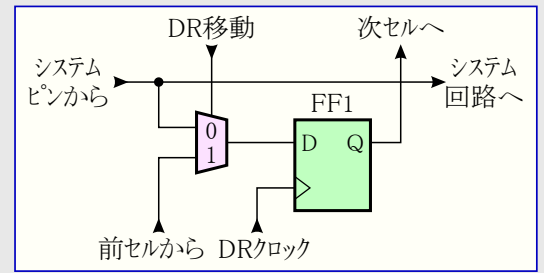


注: 詳細については境界走査(Boundary-Scan)をご覧ください。

27.5.2. RESETピンの走査

RESETピンは標準リセット動作について5V負論理(Low有効)、高電圧並列プログラミングについて12V正論理(High有効)を受け入れます。図27-5.で示される監視専用セルが5Vリセット信号(RSTT)と12Vリセット信号(RSTHV)の両方に挿入されます。

図27-5. 監視専用境界走査セル構成図



27.6. JTAG用レジスタ

27.6.1. MCUCR – MCU制御レジスタ (MCU Control Register)

MCU制御レジスタは一般MCU機能制御ビットを含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$35 (\$55)	JTD	–	–	PUD	–	–	IVSEL	IVCE	MCUCR
Read/Write	R/W	R	R	R/W	R	R	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – JTD : JTAGインターフェース禁止 (JTAG interface disable)

このビットが0の時にJTAGENヒューズがプログラム(0)されていれば、JTAGインターフェースが許可されます。このビットが1の場合、JTAGインターフェースは禁止されます。JTAGインターフェースの予期せぬ許可や禁止を避けるためにこのビットを変更する時は時間制限手順に従わなければなりません。この値を変更するために応用ソフトウェアは4周期以内に希望する値をこのビットへ2回書き込まなければなりません。内蔵デバッグシステム使用時、このビットが切り替えられてはならないことに注意してください。

JTAGインターフェースが他のJTAG回路に接続されないままにされる場合、このJTDビットは1に設定されるべきです。この理由はJTAGインターフェースのTDOピンの静止時電流を避けるためです。(訳注:共通性から前2行追加)

27.6.2. MCUSR – MCU状態レジスタ (MCU Status Register)

MCU状態レジスタはMCUリセットを起こしたリセット元の情報を提供します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$34 (\$54)	–	–	–	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	MCUSR
Read/Write	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	内容参照	内容参照	内容参照	内容参照	内容参照	

● ビット4 – JTRF : JTAG リセット フラグ (JTAG Reset Flag)

このビットはJTAG命令AVR_RESETによって選んだJTAG リセット レジスタ内の論理1でリセットが起こされると設定(1)されます。このビットは電源ONリセットまたはこのフラグへの論理0書き込みによってリセット(0)されます。

27.7. ATmega640/1280/1281/2560/2561の境界走査(Boundary-Scan)順

表27-1と表27-2は境界走査チェーンがデータ経路として選ばれる時のTDIとTDO間の走査順を示します。ビット0が最下位ビットで走査の最初に出力されます。走査順は可能な限りピン配置順に従います。このためにポートAのビットは他のポートと違うビット順で走査されます。この規則の例外はアナログ回路が接続される物理ピンに関係なく走査チェーンの最上位を構成するアナログ回路用走査チェーンです。図27-3.上で、Pxn出力はFF0、Pxn制御はFF1、Pxnプルアップ許可はFF2に各々対応します。ポートFのビット4,5,6,7はJTAG許可時にTAPピンを構成するので走査チェーンには存在しません。

27.8. 境界走査記述言語(Boundary-Scan Description Language)ファイル

境界走査記述言語(BSDL)ファイルは境界走査が可能なデバイスを自動検査生成ソフトウェアによって使われる標準形式で記述します。境界走査データレジスタ内のビットの順番と機能がこの記述内に含まれます。ATmega1281/2561とATmega640/1280/2560用のBSDLファイルは入手可能です。

表27-1. ATmega640/1280/2560(100ピン)境界走査(Boundary-Scan)順

ビット	信号名	基本単位	ビット	信号名	基本単位	ビット	信号名	基本単位
164	PG5.Data	ポートG	117	PB7.Control	ポートB	70	PC1.Control	
163	PG5.Control		116	PH7.Data	ポートH	69	PC2.Data	
162	PE0.Data		115	PH7.Control		68	PC2.Control	
161	PE0.Control		114	PG3.Data	ポートG	67	PC3.Data	ポートC
160	PE1.Data		113	PG3.Control		66	PC3.Control	
159	PE1.Control		112	PG4.Data		65	PC4.Data	
158	PE2.Data		111	PG4.Control		64	PC4.Control	
157	PE2.Control	ポートE	110	RSTT	リセット(監視専用)	63	PC5.Data	
156	PE3.Data		109	PL0.Data		62	PC5.Control	
155	PE3.Control		108	PL0.Control		61	PC6.Data	
154	PE4.Data		107	PL1.Data		60	PC6.Control	
153	PE4.Control		106	PL1.Control		59	PC7.Data	
152	PE5.Data		105	PL2.Data		58	PC7.Control	
151	PE5.Control		104	PL2.Control		57	PJ0.Data	
150	PE6.Data		103	PL3.Data		56	PJ0.Control	
149	PE6.Control		102	PL3.Control		55	PJ1.Data	
148	PE7.Data		101	PL4.Data		54	PJ1.Control	
147	PE7.Control		100	PL4.Control		53	PJ2.Data	ポートJ
146	PH0.Data		99	PL5.Data		52	PJ2.Control	
145	PH0.Control		98	PL5.Control		51	PJ3.Data	
144	PH1.Data		97	PL6.Data		50	PJ3.Control	
143	PH1.Control	ポートH	96	PL6.Control		49	PJ4.Data	
142	PH2.Data		95	PL7.Data		48	PJ4.Control	
141	PH2.Control		94	PL7.Control		47	PJ5.Data	
140	PH3.Data		93	PD0.Data		46	PJ5.Control	
139	PH3.Control		92	PD0.Control		45	PJ6.Data	
138	PH4.Data		91	PD1.Data		44	PJ6.Control	
137	PH4.Control		90	PD1.Control	ポートD	43	PG2.Data	ポートG
136	PH5.Data		89	PD2.Data		42	PG2.Control	
135	PH5.Control		88	PD2.Control		41	PA7.Data	
134	PH6.Data		87	PD3.Data		40	PA7.Control	
133	PH6.Control		86	PD3.Control		39	PA6.Data	
132	PB0.Data		85	PD4.Data		38	PA6.Control	
131	PB0.Control		84	PD4.Control		37	PA5.Data	
130	PB1.Data		83	PD5.Data		36	PA5.Control	
129	PB1.Control		82	PD5.Control		35	PA4.Data	ポートA
128	PB2.Data		81	PD6.Data		34	PA4.Control	
127	PB2.Control		80	PD6.Control		33	PA3.Data	
126	PB3.Data	ポートB	79	PD7.Data		32	PA3.Control	
125	PB3.Control		78	PD7.Control		31	PA2.Data	
124	PB4.Data		77	PG0.Data	ポートG	30	PA2.Control	
123	PB4.Control		76	PG0.Control		29	PA1.Data	
122	PB5.Data		75	PG1.Data		28	PA1.Control	
121	PB5.Control		74	PG1.Control		27	PA0.Data	
120	PB6.Data		73	PC0.Data	ポートC	26	PA0.Control	ポートJ
119	PB6.Control		72	PC0.Control		25	PJ7.Data	
118	PB7.Data		71	PC1.Data		24	PJ7.Control	

次ページへ続く

表27-1 (続き). ATmega640/1280/2560(100ピン)境界走査(Boundary-Scan)順

ビット	信号名	基本単位	ビット	信号名	基本単位	ビット	信号名	基本単位
23	PK7.Data	ポートK	15	PK3.Data	ポートK	7	PF3.Data	ポートF
22	PK7.Control		14	PK3.Control		6	PF3.Control	
21	PK6.Data		13	PK2.Data		5	PF2.Data	
20	PK6.Control		12	PK2.Control		4	PF2.Control	
19	PK5.Data		11	PK1.Data		3	PF1.Data	
18	PK5.Control		10	PK1.Control		2	PF1.Control	
17	PK4.Data		9	PK0.Data		1	PF0.Data	
16	PK4.Control		8	PK0.Control		0	PF0.Control	

表27-2. ATmega1281/2561(64ピン)境界走査(Boundary-Scan)順

ビット	信号名	基本単位	ビット	信号名	基本単位	ビット	信号名	基本単位
100	PG5.Data	ポートG	66	PG3.Data	ポートG	32	PC4.Control	ポートC
99	PG5.Control		65	PG3.Control		31	PC5.Data	
98	PE0.Data		64	PG4.Data		30	PC5.Control	
97	PE0.Control		63	PG4.Control		29	PC6.Data	
96	PE1.Data		62	RSTT	リセット(監視専用)	28	PC6.Control	
95	PE1.Control		61	PD0.Data	ポートD	27	PC7.Data	ポートG
94	PE2.Data		60	PD0.Control		26	PC7.Control	
93	PE2.Control	ポートE	59	PD1.Data		25	PG2.Data	
92	PE3.Data		58	PD1.Control		24	PG2.Control	
91	PE3.Control		57	PD2.Data		23	PA7.Data	ポートA
90	PE4.Data		56	PD2.Control		22	PA7.Control	
89	PE4.Control		55	PD3.Data		21	PA6.Data	
88	PE5.Data	ポートB	54	PD3.Control		20	PA6.Control	
87	PE5.Control		53	PD4.Data	ポートG	19	PA5.Data	
86	PE6.Data		52	PD4.Control		18	PA5.Control	
85	PE6.Control		51	PD5.Data		17	PA4.Data	
84	PE7.Data		50	PD5.Control		16	PA4.Control	
83	PE7.Control		49	PD6.Data	ポートC	15	PA3.Data	ポートF
82	PB0.Data	ポートB	48	PD6.Control		14	PA3.Control	
81	PB0.Control		47	PD7.Data		13	PA2.Data	
80	PB1.Data		46	PD7.Control		12	PA2.Control	
79	PB1.Control		45	PG0.Data		11	PA1.Data	
78	PB2.Data		44	PG0.Control		10	PA1.Control	
77	PB2.Control		43	PG1.Data	ポートG	9	PA0.Data	
76	PB3.Data	ポートB	42	PG1.Control		8	PA0.Control	
75	PB3.Control		41	PC0.Data	ポートC	7	PF3.Data	ポートF
74	PB4.Data		40	PC0.Control		6	PF3.Control	
73	PB4.Control		39	PC1.Data		5	PF2.Data	
72	PB5.Data		38	PC1.Control		4	PF2.Control	
71	PB5.Control		37	PC2.Data		3	PF1.Data	
70	PB6.Data	ポートB	36	PC2.Control		2	PF1.Control	
69	PB6.Control		35	PC3.Data	ポートC	1	PF0.Data	
68	PB7.Data		34	PC3.Control		0	PF0.Control	
67	PB7.Control		33	PC4.Data				

28. ブート ロード 支援 – 書き込み中読み出し可能な自己プログラミング

ブート ロード 支援はMCU 自身によるプログラム コードのダウンロードとアップロード用の真の書き込み中の読み出しが可能な自己プログラミング機構を提供します。この特徴はフラッシュ メモリに常駐するブート ロード プログラムを使うMCUによって制御される柔軟な応用ソフトウェア更新を可能にします。ブート ロード プログラムはフラッシュ メモリ内にコードを書き(プログラム)、コードを読み、またはプログラム メモリからコードを読むのに、利用可能なデータ インターフェースと関連する規約のどれもが使えます。ブート ロード 領域内のプログラム コードはブート ロード メモリを含むフラッシュ メモリ全体を書く能力を持ちます。従ってブート ロード は自身をも変更でき、この機能がそれ以上必要とされないなら、そのコードから自身を消去することもできます。ブート ロード メモリの容量はヒューズで設定可能で、ブート ロード は個別に設定可能な2組の独立したブート 施錠ビットを持ちます。これは異なる保護レベルを選ぶ独特な柔軟性を使用者に与えます。

28.1. 特徴

- ・ 書き込み中読める(Read-While-Write)自己プログラミング
- ・ 柔軟性のあるブート ロード メモリ容量
- ・ 高い安全性 (柔軟な保護用の独立したブート 施錠ビット)
- ・ リセット ベクタ選択用の独立したヒューズ
- ・ 最適化されたページ容量 (注1)
- ・ 効率的なコード手法
- ・ 効率的な読み-変更-書き(リット モデファイ ライト)支援

注1: ページはプログラミング中に使われる多数のバイトから成るフラッシュ メモリの区画です(220頁の表29-7参照)。このページ構成は通常動作に影響を及ぼしません。

28.2. フラッシュ メモリの応用領域とブート ロード 領域

フラッシュ メモリは応用領域とブート ロード 領域の2つの主な領域で構成されます(図28-2参照)。各領域の容量は216頁の表28-7と図28-2で示されるようにBOOTSZヒューズによって設定されます。これら2つの領域は個別の施錠ビットの組を持つため、異なる保護レベルを持てます。

28.2.1. 応用領域

応用領域は応用コードを格納するのに使われるフラッシュ メモリの領域です。応用領域用保護レベルは応用ブート 施錠ビット(ブート 施錠ビット0)によって選べます(210頁の表28-2参照)。応用領域から実行される時にSPM命令が禁止されるので、応用領域はどんなブート ロード コードも決して格納し得ません。

28.2.2. ブート ロード 領域 (BLS)

応用領域が応用コード格納用に使われるのに対して、SPM命令はBLSから実行する時にだけプログラミングを始められるので、ブート ロード ソフトウェアはBLSに格納されなければなりません。SPM命令はBLS自身を含む全てのフラッシュ メモリにアクセスできます。ブート ロード 領域用保護レベルはブート ロード 施錠ビット(ブート 施錠ビット1)によって選べます(210頁の表28-3参照)。

28.3. フラッシュ メモリの書き込み中に読み出し可能な領域と不能な領域

どちらのアドレスがプログラミングされるかによって、CPUが書き込み中の読み出しを支援するか、ブート ロード ソフトウェアが更新中にCPUが停止されるかのどちらです。上で記述されるようなBOOTSZヒューズによって設定可能な2つの領域に加え、フラッシュ メモリは書き込み中読み出し可能な(RWW)領域と書き込み中読み出し不能な(NRWW)領域の2つの固定領域にも分けられます。RWWとNRWW領域間の境界は209頁の図28-1と216頁の表28-8で与えられます。この2つの領域間の主な違いを次に示します。

- ・ RWW領域側に配置されたページを消去または書くとき、NRWW領域はその動作中に読むことができます。
- ・ NRWW領域側に配置されたページを消去または書くとき、その全ての動作中にCPUは停止されます。

ブート ロード ソフトウェア動作中、使用者ソフトウェアがRWW領域側に配置されるどのコードも決して読めないことに注意してください。「書き込み中読み出し可能領域」という記述はプログラミング(消去または書き込み)される領域としての引用で、ブート ロード ソフトウェアが更新中に実際に読まれる領域ではありません。

(訳補) 上の記述はNRWW領域からRWW領域をプログラミングするという前提で、消去または書き込みを行う側ではなく、行われる側でこの名称が定義されていることを意味します。即ち、NRWW領域からRWW領域をプログラミングすると、NRWW領域のプログラムは通常通り動作する(即ち読める)ので、プログラミングされる側はRWW領域と名付けられ、この逆ではCPUが停止する(即ち読めない)ので、NRWW領域と名付けられているという意味です。

28.3.1. RWW – 書き込み中読み出し可能領域

ブートローダソフトウェア更新がRWW領域側のページをプログラミングする場合、フラッシュメモリからコードを読むことが可能ですが、NRWW領域に配置されるコードだけです。プログラミング実行中、そのソフトウェアはRWW領域が決して読まれないことを保証しなければなりません。使用者ソフトウェアがプログラミング中に(例えば、CALL, JMP, (E)LPM系命令または割り込みによって)RWW領域側に配置されるコードを読むとすると、そのソフトウェアは未知の状態へ行き着くかもしれません。これを避けるために割り込みは禁止またはブートローダ領域へ移動のどちらかにされるべきです。ブートローダ領域は常にNRWW領域に配置されます。RWW領域が読み出しに対して妨げられている限り、SPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)のRWW領域多忙(RWWSB)ビットは論理1として読みます。プログラミングが完了した後、RWW領域に配置したコードを読む前にRWWSBはソフトウェアによって解除(0)されなければなりません。RWWSBを解除(0)する方法の詳細については217頁の「SPMCSR – SPM命令制御/状態レジスタ」をご覧ください。

28.3.2. NRWW – 書き込み中読み出し不能領域

NRWW領域に配置したコードはブートローダソフトウェアがRWW領域内のページを更新する時に読めます。ブートローダコードがNRWW領域を更新するとき、全てのページ消去またはページ書き込み動作中にCPUが停止されます。

表28-1. 書き込み中読み出し可能機能

プログラミング中にZポインタで指定される領域	プログラミング中に読める領域	CPU動作	RWW機能支援
RWW領域	NRWW領域	通常動作	あり
NRWW領域	なし	停止	なし

図28-1. RWW領域とNRWW領域の関係

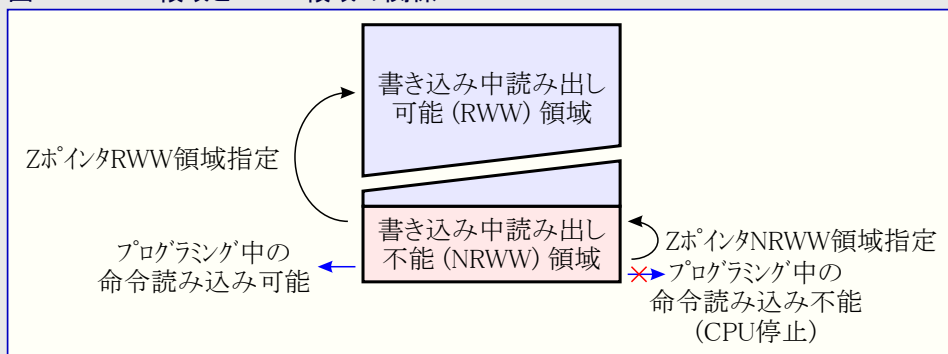
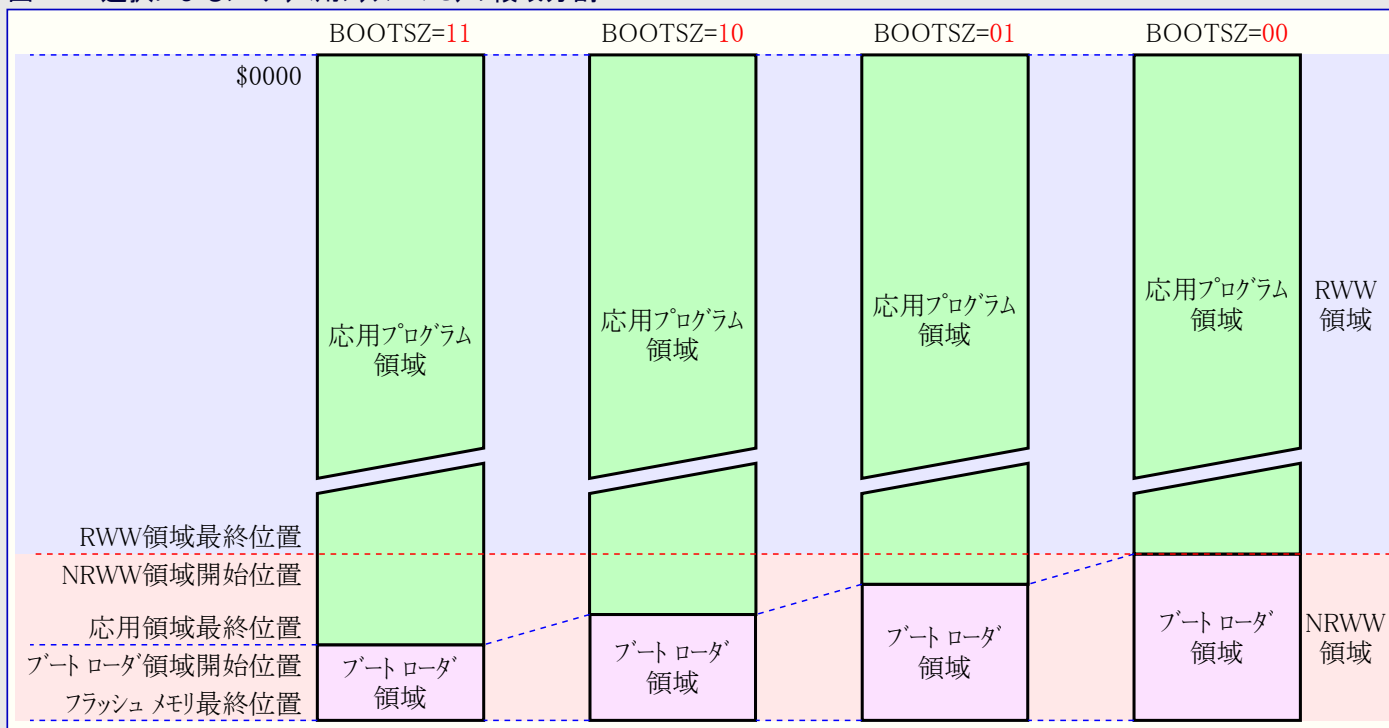


図28-2. 選択によるプログラム用フラッシュメモリの領域分割



注: 図内の各パラメータについては216頁の表28-7.で与えられます。

28.4. ブート ロータ 施錠ビット

ブート ロータ 能力が必要とされないなら、フラッシュ メモリ全体が応用コード用に利用可能です。ブート ロータは個別に設定可能な独立した2組のブート施錠ビットを持ちます。これは異なる保護レベルを選ぶ独特な柔軟性を使用者に与えます。

使用者は以下を選べます。

- MCUによって更新するソフトウェアからフラッシュ メモリ全体を保護
- MCUによって更新するソフトウェアからフラッシュ メモリのブート ロータ 領域だけを保護
- MCUによって更新するソフトウェアからフラッシュ メモリの応用領域だけを保護
- フラッシュ メモリ全体で更新するソフトウェアを許可

より多くの詳細については表28-2と表28-3をご覧ください。ブート施錠ビットはソフトウェアと直列または並列のプログラミング動作で設定(0)できますが、これらのビットはチップ消去指令によってのみ解除(1)できます。一般書き込み禁止(LB動作種別2)はSPM命令によるフラッシュ メモリのプログラミングを制御しません。同様に、試みられたなら、一般読み書き禁止(LB動作種別3)は(E)LPM命令とSPM命令による読み込みも書き込みも制御しません。(訳補:一般LBは(E)LPM/SPM命令に関して無関係の意)

表28-2. 応用領域に対する保護種別 (0=プログラム、1=非プログラム)

BLB0 動作種別	BLB02	BLB01	保護種別
1	1	1	(E)LPM, SPM命令が応用領域をアクセスすることに対して制限はありません。
2	1	0	SPM命令は応用領域に書くことを許されません。
3	0	0	SPM命令による応用領域への書き込みと、ブート ロータ 領域での(E)LPM命令による応用領域からの読み込みが許されません。(注)
4	0	1	ブート ロータ 領域での(E)LPM命令による応用領域からの読み込みが許されません。(注)

注: BLB02=0で、割り込みベクタがブート ロータ 領域に配置されていると、応用領域での実行時に割り込みが禁止されます。

表28-3. ブート ロータ 領域に対する保護種別 (0=プログラム、1=非プログラム)

BLB1 動作種別	BLB12	BLB11	保護種別
1	1	1	(E)LPM, SPM命令がブート ロータ 領域をアクセスすることに対して制限はありません。
2	1	0	SPM命令はブート ロータ 領域に書くことを許されません。
3	0	0	SPM命令によるブート ロータ 領域への書き込みと、応用領域での(E)LPM命令によるブート ロータ 領域からの読み込みが許されません。(注)
4	0	1	応用領域での(E)LPM命令によるブート ロータ 領域からの読み込みが許されません。(注)

注: BLB12=0で、割り込みベクタが応用領域に配置されていると、ブート ロータ 領域での実行時に割り込みが禁止されます。

28.4.1. ブート ロータ プログラムへの移行

ブート ロータ への移行は応用プログラムから分岐(Jump)または呼び出し(Call)によって行います。これはUSARTやSPIインターフェース経由で受信した指令のような起点によって始められるかもしれません。代わりに、リセット後にリセット ベクタがブート ロータ 領域開始アドレスを指示するようにブート リセット(BOTRST)ヒューズをプログラム(0)できます。この場合、ブート ロータ がリセット後に開始されます。応用コードが設定された(書かれた)後、そのプログラム(ブート ロータ)は応用コードの実行を始めることができます。このヒューズがMCU自身によって変更できないことに注意してください。これは一旦ブート リセット ヒューズがプログラム(0)されると、リセット ベクタは常にブート ロータ リセットを指示し、このヒューズが直列プログラミング、並列プログラミングまたはJTAGインターフェースを通してのみ変更できることを意味します。

表28-4. ブート リセット ヒューズ (0=プログラム、1=非プログラム)

BOTRST	リセット後実行開始アドレス (リセット ベクタ)	
0	ブート ロータ リセット	ブート ロータ 開始アドレス(216頁の表28-7.参照)
1	応用リセット	\$0000

28.5. 自己プログラミング中のフラッシュメモリのアドレス指定

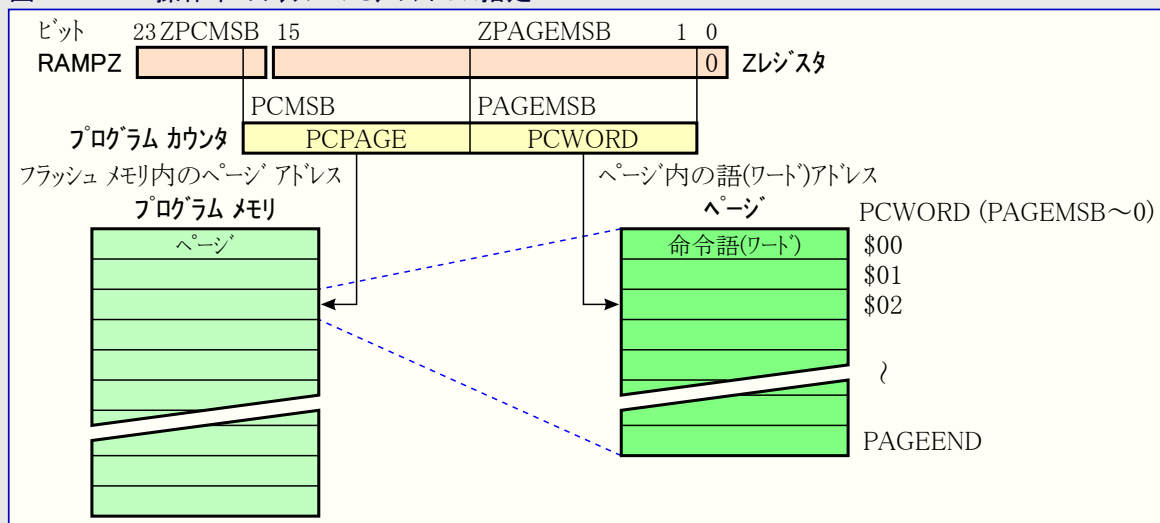
RAMPZと共にZポインタ(レジスタ)がSPM命令でのアドレス指定に使われます。ZポインタはレジスタファイルのZH,ZLとI/O空間のRAMPZレジスタから成ります。RAMPZレジスタは64Kバイトよりも大きなプログラム空間の場合にだけ実装されることに注意してください。

ビット	23	22	21	20	10	18	17	16
RAMPZ	RAMPZ7	RAMPZ6	RAMPZ5	RAMPZ4	RAMPZ3	RAMPZ2	RAMPZ1	RAMPZ0
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
ZH (R31)	Z15	Z14	Z13	Z12	Z11	Z10	Z9	Z8
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
ZL (R30)	Z7	Z6	Z5	Z4	Z3	Z2	Z1	Z0

フラッシュメモリがページで構成されるため(220頁の表29-7.参照)、プログラムカウンタ(アドレスポインタ)は2つの違う領域を持つように扱われます。1つの領域は下位側ビットから成り、ページ内の語(ワード)をアドレス指定し、一方上位側ビットはそのページをアドレス指定します。これは図28-3.で示されます。ページ消去とページ書き込み操作が個別にアドレス指定されることに注意してください。従ってブートローダソフトウェアはページ消去とページ書き込み操作の両方で同じページをアドレス指定することが最も重要です。一旦プログラミング操作が開始されると、このアドレスはラッチされ、Zポインタ(RAMPZ,ZH,ZL)は他の操作に使えます。

(E)LPM命令はアドレスを格納するのにZポインタを使います。この命令はフラッシュメモリのバイト単位をアドレス指定するので、Zポインタの最下位ビット(Z0)も使われます。

図28-3. SPM操作中のフラッシュメモリのアドレス指定



注: 図内で使った各変数は216頁の表28-9.で一覧されます。
PCPAGEとPCWORDは220頁の表29-7.で一覧されます。(訳注:共通性から追加)

28.6. フラッシュメモリの自己プログラミング

プログラムメモリはページ単位形式で更新されます。ページ一時緩衝部へ格納したデータでページを書く前にそのページが消去されなければなりません。ページ一時緩衝部はSPM命令使用時毎の1語(ワード)で満たされ、この緩衝部はページ消去命令前、またはページ消去とページ書き込み操作間のどちらかで満たすことができます。

手段1 (ページ消去前の一時緩衝部格納)

- ・ページ一時緩衝部を満たしてください。
- ・ページ消去を実行してください。
- ・ページ書き込みを実行してください。

手段2 (ページ消去後の一時緩衝部格納)

- ・ページ消去を実行してください。
- ・ページ一時緩衝部を満たしてください。
- ・ページ書き込みを実行してください。

ページの一部の変更だけが必要な場合、消去前にページの残す部分は(例えばページ一時緩衝部に)保存されなければならない、その後改めて書かれます。手段1.を使う場合、初めにページを読んで必要な変更を行い、その後に変更したデータを書き戻すことを使用者ソフトウェアに許す効率的な読み-修正-書き(リード-モディファイ-ライト)機能をブートローダが提供します。手段2.が使われる場合、ページが既に消去されているため、格納中の旧データを読むことができません。ページ一時緩衝部は乱順でアクセスできます。ページ消去とページ書き込み操作の両方で使われるページアドレスは同じページをアドレス指定することが非常に重要です。アセンブリ言語でのコード例については215頁の「アセンブリ言語による簡単なブートローダ例」をご覧ください。

28.6.1. SPM命令によるページ消去の実行

ページ消去を実行するにはZポインタにアドレスを設定してSPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)に'X0000011'を書き、SPMCSR書き込み後4クロック周期内にSPM命令を実行してください。R1とR0のデータは無視されます。ページアドレスはZポインタのPCPAGEに書かれなければならない。この操作中、Zポインタの他のビットは無視されます。

- ・RWW領域のページ消去：ページ消去中、NRWW領域は読めます。
- ・NRWW領域のページ消去：ページ消去中、CPUは停止されます。

28.6.2. ページ一時緩衝部の設定 (ページ設定)

命令語(ワード)を(ページ一時緩衝部に)書くにはZポインタにアドレス、R1:R0にデータを設定してSPMCSRに'00000001'を書き、SPMCSR書き込み後4クロック周期内にSPM命令を実行してください。ZポインタのPCWORDの内容は一時緩衝部のデータのアドレスに使われます。一時緩衝部はページ書き込み操作後、またはSPMCSRのRWWSREビット書き込みによって自動的に消去されます。システムリセット後も消去されています。一時緩衝部を消去せずに各アドレスへ複数回書くことができないことに注意してください。

注: SPMページ設定操作の途中でEEPROMが書かれると、設定した全データが失われます。

28.6.3. ページ書き込みの実行

ページ書き込みを行うにはZポインタにアドレスを設定してSPMCSRに'X0000101'を書き、SPMCSR書き込み後4クロック周期内にSPM命令を実行してください。R1とR0のデータは無視されます。ページアドレスは(Zポインタの)PCPAGEに書かれなければならない。この操作中にZポインタの他のビットは0を書かれなければならない。

- ・RWW領域のページ書き込み：ページ書き込み中、NRWW領域は読めます。
- ・NRWW領域のページ書き込み：ページ書き込み中、CPUは停止されます。

28.6.4. SPM操作可割り込みの使用法

SPM操作可割り込みが許可されると、SPMCSRのSPMENビットが解除(0)されている時にSPM操作可割り込みが継続的に発生します。これはソフトウェアでSPMCSRをポーリングする代わりにこの割り込みが使えることを意味します。SPM操作可割り込みを使うとき、割り込みが読み出しに対して防がれる時にRWW領域をアクセスするのを避けるために、割り込みベクタはブートローダ領域(BLS)へ移動されるべきです。割り込み(ベクタ)の移動法は46頁の「割り込み」で記述されます。

28.6.5. ブートローダ領域更新中の考慮

ブート施錠ビット11(BLB11)が非プログラム(1)にされたままとすることによって使用者がブートローダ領域に更新を許す場合、特別な注意が祓われなければならない。ブートローダ自身への予期せぬ書き込みはブートローダ全体を不正にし得て、更にソフトウェアの更新が不可能になるかもしれません。ブートローダ自体の変更が必要ないなら、内部ソフトウェアのどんな変更からもブートローダを保護するためにブート施錠ビット11(BLB11)をプログラム(0)することが推奨されます。

28.6.6. 自己プログラミング中のRWW領域読み込みの防止

自己プログラミング中(ページ消去もページ書き込みも)、RWW領域は読み出しに対して常に防がれます。使用者ソフトウェアそれ自身が自己プログラミング操作中にこの領域がアドレス指定されるのを防止しなければならない。SPMCSRのRWWSBはRWW領域が多忙である限り設定(1)されます。自己プログラミング中の割り込みベクタ表は46頁の「割り込み」で記述されるようにブートローダ領域(BLS)へ移動されるべきか、または割り込みが禁止されなければならない。プログラミングが完了した後にRWW領域をアドレス指定する前に、使用者ソフトウェアはRWWSREの書き込みによってRWWSBを解除(0)しなければならない。例については215頁の「アセンブリ言語による簡単なブートローダ例」をご覧ください。

28.6.7. SPM命令によるブートローダ施錠ビットと一般施錠ビットの設定

ブートローダ施錠ビットと一般施錠ビットを解除(0)するには希望したデータをR0に設定してSPMCSRに'X0001001'を書き、SPMCSR書き込み後4クロック周期内にSPM命令を実行してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
R0	1	1	BLB12	BLB11	BLB02	BLB01	LB2	LB1

フラッシュメモリのアクセスに影響を及ぼすブートローダ施錠ビットの各種設定法については表28-2と表28-3をご覧ください。

R0のビット5～0が解除(0)される場合、SPMCSRでSPMENとブート施錠ビット設定(BLBSET)ビットが設定(1)された後4クロック周期内にSPM命令が実行されると、対応する施錠ビットがプログラム(0)されます。この操作中、Zポインタは関係ありませんが、将来との共通性のため、(施錠ビット読み出しに使われるのと同じ)\$0001でZポインタを設定することが推奨されます。将来との共通性のため、施錠ビット書き込み時にR0のビット7,6は1に設定することも推奨されます。施錠ビットをプログラミングするとき、この操作中に全てのフラッシュメモリは読むことができます。

28.6.8. SPM命令での書き込み時のEEPROM書き込みによる妨害

EEPROM書き込み動作がフラッシュメモリへの全ソフトウェアプログラミングを妨げることに注意してください。ソフトウェアからのヒューズと施錠ビット読み出しもEEPROM書き込み動作中、妨げられます。使用者はEEPROM制御レジスタ(EECR)のEEPROMプログラム許可(EEPE)ビットを検査し、SPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)へ書く前にこのビットが解除(0)されているのを確認することが推奨されます。

28.6.9. ソフトウェアからのヒューズビットと施錠ビットの読み出し

ソフトウェアからヒューズと施錠ビットの両方を読めます。施錠ビットを読むにはZポインタに\$0001を設定してSPMCSRのSPMENとブート施錠ビット設定(BLBSET)ビットを設定(1)してください。SPMENとBLBSETビットがSPMCSRに設定された後、3 CPU周期内に(E)LPM命令が実行されると、施錠ビットの値が転送先レジスタに格納されます。SPMENとBLBSETビットは施錠ビット読み出しの完了で、または3 CPU周期内に(E)LPM命令が実行されないか、または4 CPU周期内にSPM命令が実行されない場合、自動的に施錠(0)されます。SPMENとBLBSETビットが解除(0)されると、(E)LPMは命一式手引書で記述されるように動作します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	—	—	BLB12	BLB11	BLB02	BLB01	LB2	LB1

ヒューズ下位ビットを読む手順は上記の施錠ビット読み出しと同様です。ヒューズ下位ビットを読み出すにはZポインタに\$0000を設定してSPMCSRのSPMENとBLBSETビットを設定(1)してください。SPMENとBLBSETビットがSPMCSRに設定された後、3 CPU周期内に(E)LPM命令が実行されると、以下で示されるようにヒューズ下位ビット(FLB)の値が転送先レジスタに格納されます。ヒューズ下位ビットの配置と詳細な記述については219頁の表29-5を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	FLB7	FLB6	FLB5	FLB4	FLB3	FLB2	FLB1	FLB0

同様に、ヒューズ上位ビットを読むにはZポインタに\$0003を設定してください。SPMENとBLBSETビットがSPMCSRで設定(1)された後、3周期内に(E)LPM命令が実行されると、以下で示されるようにヒューズ上位ビット(FHB)の値が転送先レジスタに格納されます。ヒューズ上位ビットの配置と詳細な記述については219頁の表29-4を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	FHB7	FHB6	FHB5	FHB4	FHB3	FHB2	FHB1	FHB0

拡張ヒューズビットを読む時はZポインタに\$0002を設定してください。SPMENとBLBSETビットがSPMCSRで設定(1)された後、3周期内に(E)LPM命令が実行されると、以下で示されるように拡張ヒューズビット(EFB)の値が転送先レジスタに格納されます。拡張ヒューズビットの配置と詳細な記述については219頁の表29-3を参照してください。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	—	—	—	—	—	EFB2	EFB1	EFB0

プログラム(0)されたヒューズと施錠ビットは0として読みます。非プログラム(1)にされたヒューズと施錠ビットは1として読みます。

28.6.10. ソフトウェアからの識別列読み出し

ソフトウェアから識別列を読むには表28-5で与えられる識別バイトアドレスをZポインタに設定し、SPMCSRのSPMENと識別列読み出し(SIGRD)ビットを設定(1)してください。SPMENとSIGRDビットがSPMCSRに設定された後、3 CPU周期内に(E)LPM命令が実行されると、識別バイト値が転送先レジスタに格納されます。SPMENとSIGRDビットは識別バイト読み出しの完了で、または3 CPU周期内に(E)LPM命令が実行されない場合、自動的に解除(0)されます。SPMENとSIGRDビットが解除(0)されると、(E)LPMはAVR命令一式説明で記述されるように動作します。

表28-5. 識別列アドレス一覧

識別バイト	Zポインタアドレス
デバイス識別バイト 1	\$0000
デバイス識別バイト 2	\$0002
デバイス識別バイト 3	\$0004
RC発振器校正値	\$0001

注: 他の全てのアドレスは将来の使用に
対して予約されています。

28.6.11. フラッシュ メモリ データ化けの防止

低VCCの期間中、CPUとフラッシュ メモリの正しい動作に対して供給電圧が低すぎるためにフラッシュ メモリのプログラムが不正にされ得ます。これらの問題はフラッシュ メモリを使う基板段階の装置と同じで、同じ設計上の解決策が適用されるべきです。

フラッシュ メモリのプログラム化けは電圧が低すぎる時の2つの状態によって起こされます。1つ目としてフラッシュ メモリへの通常の書き込み手順は正しく動作するための最低電圧が必要です。2つ目として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。

フラッシュ メモリ化けは次の推奨設計によって容易に避けられます(1つは必須)。

- そのシステムでブート ローダ更新が必要ない場合、どんなブート ローダ ソフトウェア更新をも防ぐためにブート ローダ施錠ビットをプログラム(0)してください。
- 不十分な供給電源電圧の期間中、AVR RESETを活性(Low)に保ってください。これは動作電圧が検出電圧と一致するなら、内部低電圧検出器(BOD)を許可することによって行えます。そうでなければ外部低VCCリセット保護回路が使えます。書き込み操作進行中にリセットが起こると、その書き込み動作は供給電源電圧が充分であれば完了されます。
- 低VCCの期間中、AVRコアをパワーダウン休止動作に保ってください。これはCPUが命令の復号と実行を試みるのを防ぎ、SPMCSR 従ってフラッシュ メモリを予期せぬ書き込みから効果的に保護します。

28.6.12. SPM命令使用時のフラッシュ メモリ用プログラミング(書き込み)時間

校正された内蔵RC発振器がフラッシュ メモリ アクセス時間に使われます。表28-6はCPUからのフラッシュ メモリ アクセスに対する代表的なプログラミング時間を示します。

表28-6. SPM命令によるフラッシュ メモリのプログラミング時間

項目	最小	最大
SPM命令によるフラッシュ書き込み (ページ消去、ページ書き込み、施錠ビット書き込み)	3.7ms	4.5ms

28.6.13. アセンブリ言語による簡単なブートローダ例

このルーチンはRAMからフラッシュメモリへ1ページのデータを書きます。RAM内の最初のデータ位置はYレジスタによって指示され、フラッシュメモリ内の最初のデータ位置はZレジスタによって指示されます。異常処理は含まれません。このルーチン(少なくともSPMJサブルーチン)はブートローダ領域側に配置されなければなりません。NRWW領域側のコードだけが自己プログラミング(ページ消去とページ書き込み)中に読めます。使用レジスタはR0,R1,TMP,CNTL,CNTH,SPMCで、レジスタの保存と復帰はこのルーチン内に含まれず、使用レジスタはコード量を犠牲にすれば最適化できます。割り込み表がブートローダ領域に移動されるか、割り込みが禁止されるかのどちらかが前提です。

ページ内データが256バイト以下の場合には計数器上位が不要になります。また関連する命令も変更になります。これらの部分を赤字で示します(訳注:本行は以下のプログラム補正に対応して追加しました)。RAMPZは予め設定されている前提です。

ラベル	命令	注釈
	. EQU PGSZB = PAGESIZE*2	; PGSZBはページ内のバイト数です。(PAGESIZEは語(ワート)数)
	. ORG SMALLBOOTSTART	;
WRPG:	LDI SPMC, (1<<PGERS)+(1<<SPMEN)	; [ページ消去]
	CALL SPMJ	; ページ消去SPMCSR値を取得
		; ページ消去
	LDI SPMC, (1<<RWWSRE)+(1<<SPMEN)	; [RWW領域読み出し再許可]
	CALL SPMJ	; RWW領域読み出し許可SPMCSR値を取得
		; RWW領域読み出し許可
	LDI CNTL, LOW (PGSZB)	; [RAMからフラッシュページ一時緩衝部へ転送]
	LDI CNTH, HIGH (PGSZB)	; バイト計数器を初期化
	LD R0, Y+	; (削除)
	LD R1, Y+	; RAM上の下位データを取得(ポインタ進行)
	LDI SPMC, (1<<SPMEN)	; RAM上の上位データを取得(ポインタ進行)
	CALL SPMJ	; ページ一時緩衝部書き込みSPMCSR値を取得
	ADIW ZH:ZL, 2	; 対応語(ワート)データをページ一時緩衝部に設定
	SBIW CNTH:CNTH, 2	; ページ一時緩衝部ポインタ進行
	BRNE WLP	; 計数器を減数 (SUBI)
		; 指定バイト数分継続
	SUBI ZL, LOW (PGSZB)	; [ページ書き込み]
	SBCI ZH, HIGH (PGSZB)	; ページ一時緩衝部先頭にポインタを復帰
	LDI SPMC, (1<<PGWRT)+(1<<SPMEN)	; (削除)
	CALL SPMJ	; フラッシュ書き込みSPMCSR値を取得
		; フラッシュメモリページ書き込み
	LDI SPMC, (1<<RWWSRE)+(1<<SPMEN)	; [RWW領域読み出し再許可]
	CALL SPMJ	; RWW領域読み出し許可SPMCSR値を取得
		; RWW領域読み出し許可
	LDI CNTL, LOW (PGSZB)	; [読み戻し照合 (任意)]
	LDI CNTH, HIGH (PGSZB)	; バイト計数器を初期化
	SUBI YL, LOW (PGSZB)	; (削除)
	SBCI YH, HIGH (PGSZB)	; RAMデータ先頭にポインタを復帰
	ELPM R0, Z+	;
	LD R1, Y+	; フラッシュメモリから1バイト取得(ポインタ進行)
	CPSE R0, R1	; RAMから1バイトデータを取得(ポインタ進行)
	JMP ERROR	; 値一致でスキップ
		; 不一致で異常処理へ
;		
	SBIW CNTH:CNTH, 1	; 計数器を減数 (SUBI)
	BRNE RLP	; 指定バイト数分継続
		; [RWW領域へ復帰]
RTN:	IN TMP, SPMCSR	; SPM命令制御/状態レジスタ値を取得
	SBRS TMP, RWWSB	; RWW領域多忙でスキップ
	RET	; 準備可で呼び出し元へ復帰
;		; [RWW領域読み出し再許可]
	LDI SPMC, (1<<RWWSRE)+(1<<SPMEN)	; RWW領域読み出し許可SPMCSR値を取得
	CALL SPMJ	; RWW領域読み出し許可
	RJMP RTN	; RWW領域準備可まで待機へ
		; [SPM命令実行サブルーチン]
SPMJ:	IN TMP, SPMCSR	; SPM命令制御/状態レジスタ値を取得
	SBRC TMP, SPMEN	; 操作可能(直前のSPM完了)でスキップ
	RJMP SPMJ	; 操作可まで待機
;		
	IN TMP, SREG	; ステータスレジスタ値を保存
	CLI	; 全割り込み禁止
WAIT:	SBIC EECR, EWE	; EEPROM書き込み中以外でスキップ
	RJMP WAIT	; EEPROM書き込み完了まで待機
;		
	OUT SPMCSR, SPMC	; SPM動作指定
	SPM	; 対応SPM動作実行
	OUT SREG, TMP	; ステータスレジスタ値を復帰
	RET	; 呼び出し元へ復帰

28.6.14. ATmega640/1280/1281/2560/2561用ブート ロードのパラメータ

自己プログラミングの記述で使ったパラメータは表28-7.~9.で与えられます。

表28-7. 応用領域とブート ロード領域の分割設定 (上段:ATmega640,中段:ATmega1280/1281,下段:ATmega2560/2561)

BOOTSZ1	BOOTSZ0	ブート ロード領域		アドレス範囲		
		容量 (語)	ページ数	応用プログラム領域	ブート ロード プログラム領域	ブート リセット アドレス
1	1	512	4	\$0000~\$7DFF \$0000~\$FDFF \$00000~\$1FDFF	\$7E00~\$7FFF \$FE00~\$FFFF \$1FE00~\$1FFFF	\$7E00 \$FE00 \$1FE00
1	0	1024	8	\$0000~\$7BFF \$0000~\$FBFF \$00000~\$1FBFF	\$7C00~\$7FFF \$FC00~\$FFFF \$1FC00~\$1FFFF	\$7C00 \$FC00 \$1FC00
0	1	2048	16	\$0000~\$77FF \$0000~\$F7FF \$00000~\$1F7FF	\$7800~\$7FFF \$F800~\$FFFF \$1F800~\$1FFFF	\$7800 \$F800 \$1F800
0	0	4096	32	\$0000~\$6FFF \$0000~\$EFFF \$00000~\$1EFFF	\$7000~\$7FFF \$F000~\$FFFF \$1F000~\$1FFFF	\$7000 \$F000 \$1F000

注: 各種BOOTSZヒューズ設定は図28-2.で示されます。

表28-8. RWW領域とNRWW領域の範囲 (上段:ATmega640,中段:ATmega1280/1281,下段:ATmega2560/2561)

領域	ページ数	アドレス範囲
書き込み中読み出し可能(RWW)領域	224	\$0000~\$6FFF
	480	\$0000~\$EFFF
	992	\$00000~\$1EFFF
書き込み中読み出し不能(NRWW)領域	32	\$7000~\$7FFF
		\$F000~\$FFFF
		\$1F000~\$1FFFF

注: これら2つの領域についての詳細に関しては209頁の「RWW – 書き込み中読み出し可能領域」と「NRWW – 書き込み中読み出し不能領域」をご覧ください。

表28-9. 図28-3.で使った各変数説明とZポイントの配置 (上段:ATmega640,中段:ATmega1280/1281,下段:ATmega2560/2561)

変数名	対応値		意味 (注1)
	PC	Zポイント (注2)	
PCMSB	PC14 PC15 PC16		(プログラム カウンタは15ビット、PC14~0) プログラム カウンタの最上位ビット。(プログラム カウンタは16ビット、PC15~0) (プログラム カウンタは17ビット、PC16~0)
PAGEMS	PC6		1ページ内に使われる語(ワード)アドレスの最上位ビット。 (ページ内の128語(ワード)には7ビット PC6~0が必要)
ZPCMSB		Z15 Z16 (注3) Z17:Z16 (注3)	PCMSBに配置される(対応する)Zレジスタ内のビット。 (Z0が使われないため、ZPCMSB=PCMSB+1)
ZPAGEMS		Z7	PAGEMSに配置される(対応する)Zレジスタ内のビット。 (Z0が使われないため、ZPAGEMS=PAGEMS+1)
PCPAGE	PC14~7 PC15~7 PC16~7	Z15~8 Z16~8 Z17~8	プログラム カウンタ ページ アドレス: ページ消去とページ書き込み用のページ選択
PCWORD	PC6~0	Z7~1	プログラム カウンタ 語(ワード)アドレス: 一時緩衝部格納用語(ワード)選択 (ページ書き込み操作中は0でなければなりません。)

注1: Z0: 全てのSPM命令に対して0であるべきで、(E)LPM命令に対するバイト選択です。

注2: 自己プログラミング中のZポイントの使用についての詳細に関しては211頁の「自己プログラミング中のフラッシュ メモリのアドレス指定」をご覧ください。

注3: Zレジスタは16ビット幅だけです。ビット16以上はI/O空間内のRAMPZレジスタに配置されます。

(訳注) 原書の表29-7.~15.は表28-7.~9.として纏めました。

28.7. ブート ロード用レジスタ

28.7.1. SPMCSR – SPM命令制御/状態レジスタ (Store Program Memory Control and Status Register)

このレジスタはブート ロード動作を制御するために必要とされる制御ビットを含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$37 (\$57)	SPMIE	RWWSB	SIGRD	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	SPMCSR
Read/Write	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – SPMIE : SPM操作可割り込み許可 (SPM Interrupt Enable)

SPMIEビットが1を書かれ、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されているなら、SPM操作可割り込みが許可されます。SPM操作可割り込みはSPMCSRのSPM操作許可(SPMEN)ビットが解除(0)されている限り実行されます。

● ビット6 – RWWSB : RWW領域多忙 (Read-While-Write Section Busy)

RWW領域に自己プログラミング(ページ消去またはページ書き込み)操作が開始されると、RWWSBがハードウェアによって設定(1)されます。RWWSBビットが設定(1)されると、RWW領域はアクセスできません。自己プログラミングが完了された後にRWWSREビットが1を書かれると、このRWWSBビットは解除(0)されます。同様に、ページ設定操作が開始されると、RWWSBビットは自動的に解除(0)されます。

● ビット5 – SIGRD : 識票列読み出し (Signature Row Read)

このビットがSPMENと同時に1を書かれると、次の3クロック周期内のLPM命令は識票列からバイトを転送先レジスタに読みます。詳細については213頁の「ソフトウェアからの識票列読み出し」をご覧ください。SIGRDとSPMENが設定(1)された後の4クロック周期内のSPM命令は無効です。この操作は将来の使用に対して予約されており、使われるべきではありません。

● ビット4 – RWWSRE : RWW領域読み出し許可 (Read-While-Write Section Read Enable)

RWW領域にプログラミング(ページ消去またはページ書き込み)すると、RWW領域は(RWWSBがハードウェアによって設定(1)され)読み出しに対して防がれます。RWW領域を再許可するために使用者ソフトウェアはプログラミングが完了(SPMENが解除(0))されるまで待たねばなりません。その後、RWWSREビットがSPMENと同時に1を書かれると、次の4クロック周期内のSPM命令がRWW領域を再許可します。ページ消去またはページ書き込みでフラッシュメモリが多忙(SPMEN=1)の間、RWW領域は再許可できません。フラッシュメモリが設定されている間にRWWSREビットが書かれると、フラッシュメモリ設定操作は失敗し、設定したデータが失われます。

● ビット3 – BLBSET : ブート施錠ビット設定 (Boot Lock Bits Set)

このビットがSPMENと同時に1を書かれると、次の4クロック周期内のSPM命令はR0のデータに従ったブート施錠ビットを設定します。R1のデータとZポインタのアドレスは無視されます。BLBSETビットは施錠ビットの設定完了で、または4クロック周期内にSPM命令が実行されない場合、自動的に解除(0)されます。

SPMCSRでBLBSETとSPMENが設定(1)された後の3クロック周期内の(E)LPM命令は(ZポインタのZ0によって)ヒューズビットまたは施錠ビットのどちらかを転送先レジスタに読みます。詳細については213頁の「ソフトウェアからのヒューズビットと施錠ビットの読み出し」をご覧ください。

● ビット2 – PGWRT : ページ書き込み (Page Write)

このビットがSPMENと同時に1を書かれると、次の4クロック周期内のSPM命令は一時緩衝部に格納したデータでページ書き込みを実行します。ページアドレスはZポインタの上位部から取得されます。R1とR0のデータは無視されます。PGWRTビットはページ書き込みの完了で、または4クロック周期内にSPM命令が実行されない場合、自動的に解除(0)されます。NRWW領域がアドレス指定されると、ページ全体の書き込み動作中にCPUは停止されます。

● ビット1 – PGERS : ページ消去 (Page Erase)

このビットがSPMENと同時に1を書かれると、次の4クロック周期内のSPM命令はページ消去を実行します。ページアドレスはZポインタの上位部から取得されます。R1とR0のデータは無視されます。PGERSビットはページ消去の完了で、または4クロック周期内にSPM命令が実行されない場合、自動的に解除(0)されます。NRWW領域がアドレス指定されると、ページ全体の消去中にCPUは停止されます。

● ビット0 – SPMEN : SPM操作許可 (Store Program Memory Enable)

このビットは次の4クロック周期間のSPM命令を許可します。このビットがRWWSRE、BLBSET、PGWRT、PGERSのどれかと共に1を書かれると、続くSPM命令は特別な意味を持ちます(上の記述をご覧ください)。SPMENだけが書かれると、続くSPM命令はZポインタによってアドレス指定したページ一時緩衝部へR1:R0の値を格納します。Zレジスタの最下位ビットは無視されます。SPMENビットはSPM命令の完了で、または4クロック周期内にSPM命令が実行されない場合、自動的に解除(0)されます。ページ消去とページ書き込み中、SPMENビットはその動作が完了されるまで1に留まります。

下位6ビットに100001, 010001, 001001, 000101, 000011, 000001以外のどんな組み合わせを書いても無効です。

29. メモリ プログラミング

29.1. プログラム メモリとデータ メモリ用施錠ビット

ATmega640/1280/1281/2560/2561は非プログラム(1)のままか、表29-2.で一覧される付加機能を得るためにプログラム(0)できる6つの施錠ビットを提供します。この施錠ビットはチップ消去指令でのみ1に消去できます。

表29-1. 施錠ビット バイトの内容

名称	ビット番号	意味	既定値 (注)
—	7		1 (非プログラム)
—	6		1 (非プログラム)
BLB12	5	ブート ロータ領域に対する保護用ブート施錠ビット	1 (非プログラム)
BLB11	4		1 (非プログラム)
BLB02	3	応用領域に対する保護用ブート施錠ビット	1 (非プログラム)
BLB01	2		1 (非プログラム)
LB2	1	フラッシュとEEPROMメモリに対する一般保護用施錠ビット	1 (非プログラム)
LB1	0		1 (非プログラム)

注: 0はプログラム、1は非プログラムを意味します。

表29-2. 施錠ビットの保護種別

メモリ施錠ビット			保護種別
LB 種別	LB2	LB1	直列、並列、またはJTAG経由プログラミングに対する保護
1	1	1	メモリ施錠機能は機能しません。
2	1	0	フラッシュ、EEPROMの更なるプログラミング(書き込み)が禁止されます。ヒューズビットが固定されます。(注1)
3	0	0	フラッシュ、EEPROMの更なるプログラミング(書き込み)と照合(読み出し)が禁止されます。ヒューズビットとブート施錠ビットが固定されます。(注1)
LB0 種別	BLB02	BLB01	フラッシュ メモリの応用プログラム領域に対する保護
1	1	1	(E)LPM, SPM命令が応用領域をアクセスすることに対して制限はありません。
2	1	0	SPM命令は応用領域に書くことを許されません。
3	0	0	SPM命令による応用領域への書き込みと、ブート ロータ領域での(E)LPM命令による応用領域からの読み込みが許されません。(注2)
4	0	1	ブート ロータ領域での(E)LPM命令による応用領域からの読み込みが許されません。(注2)
LB1 種別	BLB12	BLB11	フラッシュ メモリのブート ロータ プログラム領域に対する保護
1	1	1	(E)LPM, SPM命令がブート ロータ領域をアクセスすることに対して制限はありません。
2	1	0	SPM命令はブート ロータ領域に書くことを許されません。
3	0	0	SPM命令によるブート ロータ領域への書き込みと、応用領域での(E)LPM命令によるブート ロータ領域からの読み込みが許されません。(注3)
4	0	1	応用領域での(E)LPM命令によるブート ロータ領域からの読み込みが許されません。(注3)

注: 0はプログラム、1は非プログラムを意味します。

注1: 施錠ビットを書く前にヒューズビットとブート施錠ビットを書いてください。

注2: BLB02=0で、割り込みベクタがブート ロータ領域に配置されていると、応用領域での実行時に割り込みが禁止されます。

注3: BLB12=0で、割り込みベクタが応用領域に配置されていると、ブート ロータ領域での実行時に割り込みが禁止されます。

29.2. ヒューズ ビット

ATmega640/1280/1281/2560/2561には3つのヒューズ バイトがあります。表29-3.~5.は全てのヒューズの概略機能とヒューズ バイト内でどのように配置されるかを示します。ヒューズはプログラムされると、論理0として読まれることに注意してください。

表29-3. 拡張ヒューズ バイト一覧

名称	ビット	意味	既定値
—	7		1 (非プログラム)
—	6		1 (非プログラム)
—	5		1 (非プログラム)
—	4		1 (非プログラム)
—	3		1 (非プログラム)
BODLEVEL2	2		1 (非プログラム)
BODLEVEL1	1	低電圧検出(BOD)リセットの制御と検出電圧選択。 (注1)	1 (非プログラム)
BODLEVEL0	0		1 (非プログラム)

注1: BODLEVELヒューズの符号化については242頁の「システムとリセットの特性」をご覧ください。

表29-4. ヒューズ 上位バイト一覧

名称	ビット	意味	既定値
OCDEN (注4)	7	内蔵デバッグ機能(OCD)許可。	1 (非プログラム) OCD禁止
JTAGEN (注5)	6	JTAGインターフェース許可。	0 (プログラム) JTAG許可
SPIEN (注1)	5	直列プログラミング許可。	0 (プログラム) 直列プログラミング許可
WDTON (注3)	4	ウォッチドッグ タイマ常時有効。	1 (非プログラム) WDTはWDTCSRで許可
EESAVE	3	チップ消去からEEPROM内容を保護。	1 (非プログラム) EEPROMは未保護
BOOTSZ1	2	ブート ローダ容量選択。(表28-7.参照) (注2)	0 (プログラム)
BOOTSZ0	1		0 (プログラム)
BOOTRST	0	リセット ベクタ(応用領域またはブート ローダ領域)選択。	1 (非プログラム) 応用領域

注1: SPIENヒューズは直列プログラミングでアクセスできません。

注2: BOOTSZ1,0既定値は最大ブート ローダ容量になります。216頁の表28-7.をご覧ください。

注3: 詳細については45頁の「WDTCSR – ウォッチドッグ タイマ制御レジスタ」をご覧ください。

注4: 施錠ビットやJTAGENヒューズの設定に拘らず、OCDENヒューズがプログラム(0)された製品の出荷は決してありません。プログラム(0)されたOCDENヒューズは全休止形態でクロック系の一部を許可します。これは消費電力の増加になってしまいます。

注5: JTAGインターフェースが未接続のままにされる場合、JTAGENヒューズは可能ならば禁止されるべきです。これはJTAGインターフェースのTDOピンの静止時電流を避けるためです。

表29-5. ヒューズ 下位バイト一覧

名称	ビット	意味	既定値
CKDIV8 (注4)	7	システム クロック 8分周選択。	0 (プログラム) 8分周
CKOUT (注3)	6	システム クロック出力許可。	1 (非プログラム) 不許可
SUT1	5	起動時間選択。 (注1)	1 (非プログラム)
SUT0	4		0 (プログラム)
CKSEL3	3	クロック種別選択。 (注2)	0 (プログラム)
CKSEL2	2		0 (プログラム)
CKSEL1	1		1 (非プログラム)
CKSEL0	0		0 (プログラム)

注1: SUT1,0の既定値は最大起動時間になります。詳細については32頁の表9-10.をご覧ください。

注2: CKSEL3~0の既定設定は8MHz校正付き内蔵RC発振器になります。詳細については29頁の表9-1.をご覧ください。

注3: CKOUTはポートE7に出力することをシステム クロックに許します。詳細については33頁の「クロック出力緩衝部」をご覧ください。

注4: 詳細については33頁の「システム クロック前置分周器」をご覧ください。

ヒューズ ビットの状態はチップ消去によって影響されません。施錠ビット1(LB1)がプログラム(0)されると、ヒューズ ビットが固定されることに注意してください。施錠ビットをプログラム(0)する前にヒューズ ビットをプログラミング(書き込み)してください。

29.2.1. ヒューズのラッチ

ヒューズ値はデバイスがプログラミング動作へ移行する時にラッチされ、ヒューズ値の変更はデバイスがプログラミング動作を去るまで無効です。これは一旦プログラム(0)されると直ぐに効果があるEESAVEヒューズには適用されません。ヒューズは通常動作での電源投入でもラッチされません。

29.3. 識票バイト

このマイクロコントローラはデバイスを識別する3バイトの識票符号を持っています。この符号は直列と並列の両プログラミング動作で、またデバイスが施錠されていても読めます。この3バイトは分離された空間に存在します。ATmega640/1280/1281/2560/2561用の識票バイトは表29-6. で与えられます。

表29-6. デバイスとJTAGの識別番号(ID)

部品番号	識票バイト アドレス			JTAG	
	\$0000	\$0001	\$0002	部品番号	製造者ID
ATmega640	\$1E	\$96	\$08	\$9608	\$01F
ATmega1280	\$1E	\$97	\$03	\$9703	\$01F
ATmega1281	\$1E	\$97	\$04	\$9704	\$01F
ATmega2560	\$1E	\$98	\$01	\$9801	\$01F
ATmega2561	\$1E	\$98	\$02	\$9802	\$01F

29.4. 校正バイト

ATmega640/1280/1281/2560/2561は内蔵RC発振器用に1バイトの校正値を持ちます。このバイトは識票アドレス空間でアドレス\$0000の上位バイトにあります。リセット中、校正付き内蔵RC発振器の正しい周波数を保証するために、このバイトが発振校正(OSCCAL)レジスタへ自動的に書かれます。

29.5. ページ容量

表29-7. フラッシュメモリのページ数とページの語数

デバイス	全容量	ページ容量	PCWORD	ページ数	PCPAGE	PCMSB
ATmega640	32K語 (64Kバイト)	128語	PC6~0	256	PC14~7	14
ATmega1280/1281	64K語 (128Kバイト)			512	PC15~7	15
ATmega2560/2561	128K語 (256Kバイト)			1024	PC16~7	16

表29-8. EEPROMメモリのページ数とページの語数

デバイス	全容量	ページ容量	PCWORD	ページ数	PCPAGE	EEAMSB
ATmega640	4Kバイト	8バイト	EEA2~0	512	EEA11~3	11
ATmega1280/1281						
ATmega2560/2561						

29.6. 並列プログラミング

本項はATmega640/1280/1281/2560/2561のプログラム用フラッシュメモリ、データ用EEPROM、メモリの**施錠ビット**、**ヒューズビット**の並列プログラミングと照合の方法を記述します。特記事項を除いて、パルス幅は最低250nsと仮定されます。

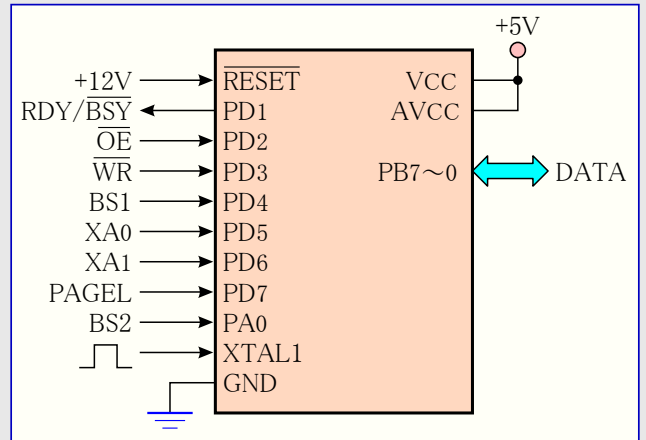
29.6.1. 信号名

本章でATmega640/1280/1281/2560/2561のいくつかのピンは並列プログラミング中の機能を表す信号名で参照されます。**図29-1**と**表29-9**をご覧ください。後続の表で示されないピンはピン名によって参照されます。

XA0とXA1ピンはXTAL1ピンが正パルスを与えられる時に実行される動作を決めます。このビット符号化は**表29-12**で示されます。

\overline{WR} または \overline{OE} パルス送出時、設定された指令が決める動作が実行されます。各種指令は**表29-13**で示されます。

図29-1. 並列プログラミング構成図



注：未使用ピンは浮き状態のままにすべきです。

表29-9. 信号名とピン名の関係

信号名	ピン名	入出力	機能
RDY/ \overline{BSY}	PD1	出力	0(Low)：多忙(プログラミング中) 1(High)：準備可(指令受付可)
\overline{OE}	PD2	入力	出力許可(負論理)
\overline{WR}	PD3	入力	書き込みパルス(負論理)
BS1	PD4	入力	バイト選択1 (表29-10参照)
XA0	PD5	入力	XTAL動作ビット0
XA1	PD6	入力	XTAL動作ビット1
PAGEL	PD7	入力	プログラムメモリとEEPROMデータをページ一時緩衝部に設定
BS2	PA0	入力	バイト選択2 (表29-10参照)
DATA	PB7~0	入出力	双方向データバス (\overline{OE} =Low時出力)

表29-10. BS2とBS1の符号化(機能)

	BS2	BS1	機能
BS2	1	1	0
BS1	1	0	1
フラッシュ/EEPROMアドレス設定	(予約)	拡張上位バイト	上位バイト 下位バイト
フラッシュメモリデータ設定/読み出し	(予約)	(予約)	上位バイト 下位バイト
ヒューズ書き込み	(予約)	拡張ヒューズバイト	ヒューズ上位バイト ヒューズ下位バイト
ヒューズ/施錠ビット読み出し	ヒューズ上位バイト	拡張ヒューズバイト	施錠ビット ヒューズ下位バイト

表29-11. プログラミング動作移行時のピン値

ピン名	シンボル	値
PAGEL	Prog_enable[3]	0
XA1	Prog_enable[2]	0
XA0	Prog_enable[1]	0
BS1	Prog_enable[0]	0

表29-12. XA0とXA1の符号化(機能)

XA1	XA0	XTAL1パルス時の動作
0	0	フラッシュまたはEEPROMのアドレス設定 (上位/下位はBS1,2で指定)
0	1	データ設定 (フラッシュの上位/下位はBS1で指定)
1	0	指令設定
1	1	アイドル (動作なし)

表29-13. 指令バイトのビット符号化

指令バイト	指令の機能	指令バイト	指令の機能
\$80 (1000 0000)	チップ消去	\$08 (0000 1000)	識別バイト、校正バイト読み出し
\$40 (0100 0000)	ヒューズビット書き込み	\$04 (0000 0100)	ヒューズビット、施錠ビット読み出し
\$20 (0010 0000)	施錠ビット書き込み	\$02 (0000 0010)	フラッシュメモリ読み出し
\$10 (0001 0000)	フラッシュメモリ書き込み	\$03 (0000 0011)	EEPROM読み出し
\$11 (0001 0001)	EEPROM書き込み		

29.7. 並列プログラミング手順

29.7.1. 並列プログラミング動作への移行

次に示す方法がデバイスを並列プログラミング動作にします。

- ① VCCとGND間に4.5～5.5Vを印加し、最低100μs待ちます。
- ② RESETをLow(0)にし、XTAL1を少なくとも6回、交互に(High/Low)切り替えます。
- ③ 221頁の表29-11.で一覧されるProg_enableピンを全てLow(0)に設定し、最低100ns待ちます。
- ④ RESETに11.5～12.5Vを印加します。+12VがRESETに印加されてしまった後100ns以内のProg_enableピンのどんな動きも、デバイスのプログラミング動作への移行を失敗させます。
- ⑤ 新規指令送出前に少なくとも50μs間待ちます。

29.7.2. 効率的なプログラミングへの考慮

設定した指令とアドレスはプログラミング中、維持されます。効率的なプログラミングを行うために次を考慮すべきです。

- ・複数のメモリ領域を読み書きする時に指令設定は一度だけ必要です。
- ・チップ消去後のフラッシュメモリと(EESAVEヒューズがプログラム(0)されている場合を除き)EEPROM全体の内容は\$FFなので、値が\$FFのデータ書き込みを飛ばします。
- ・アドレス上位バイトはフラッシュメモリで新規256語(ワード)枠、EEPROMで新規256バイト枠の読み書き前に一度だけ必要です。この考慮は識票バイト読み出しにも適用されます。

29.7.3. チップ消去

チップ消去はフラッシュメモリ、EEPROM(注1)、施錠ビットを消去します。施錠ビットはプログラムメモリが完全に消去されてしまうまでリセット(消去)されません。ヒューズビットは変更されません。チップ消去はフラッシュメモリやEEPROMが再書き込みされる前に実行されなければなりません。

注1: EESAVEヒューズがプログラム(0)されていると、EEPROMはチップ消去中、保護されます。

「チップ消去」指令設定

- ① XA1をHigh(1)、XA0をLow(0)に設定します。これは指令設定を許可します。
- ② BS1をLow(0)に設定します。
- ③ DATAを\$80(1000 0000)に設定します。これはチップ消去指令です。
- ④ XTAL1に正パルスを与えます。これはチップ消去指令を設定します。
- ⑤ WRに負パルスを与えます。これはチップ消去を開始します。RDY/BSYがLow(0)になります。
- ⑥ 次の指令を設定する前にRDY/BSYがHigh(1)になるまで待ちます。

29.7.4. フラッシュ メモリ書き込み (図29-3.タイミングを参照)

フラッシュ メモリはページで構成されます(220頁の表29-7.参照)。フラッシュ メモリへ書く時にプログラム データはページ緩衝部にラッチされます。これは同時に書かれることをプログラム データの1ページに許します。次の手順は完全なフラッシュ メモリの書き込み方法を記述します。

A. 「フラッシュ メモリ書き込み」指令設定

- ① XA1をHigh(1)、XA0をLow(0)に設定します。これは指令設定を許可します。
- ② BS1をLow(0)に設定します。
- ③ DATAを\$10(0001 0000)に設定します。これはフラッシュ メモリ書き込み指令です。
- ④ XTAL1に正パルスを与えます。これはフラッシュ メモリ書き込み指令を設定します。

B. アドレス下位バイト (アドレスビット7~0) 設定

- ① XA1をLow(0)、XA0をLow(0)に設定します。これはアドレス設定を許可します。
- ② BS2をLow(0)、BS1をLow(0)に設定します。これは下位アドレス(バイト)を選びます。
- ③ DATAにアドレス下位バイト(\$00~\$FF)を設定します。
- ④ XTAL1に正パルスを与えます。これはアドレス下位バイトを設定します。

C. データ下位バイト設定

- ① XA1をLow(0)、XA0をHigh(1)に設定します。これはデータ設定を許可します。
- ② DATAにデータ下位バイト(\$00~\$FF)を設定します。
- ③ XTAL1に正パルスを与えます。これはデータ下位バイトを設定します。

D. データ上位バイト設定

- ① BS1をHigh(1)に設定します。これは上位バイトを選びます。
- ② XA1をLow(0)、XA0をHigh(1)に設定します。これはデータ設定を許可します。
- ③ DATAにデータ上位バイト(\$00~\$FF)を設定します。
- ④ XTAL1に正パルスを与えます。これはデータ上位バイトを設定します。

E. 語(ワート)データをページ一時緩衝部に設定

- ① BS1をHigh(1)にします。これは上位バイトを選びます。
- ② PAGELに正パルスを与えます。これは語データをページ一時緩衝部にラッチ(設定)します。

F. 緩衝部全体が満たされるか、または(必要な)全てのデータが緩衝部内に設定されるまで、B~Eを繰り返し

アドレス内の下位ビットがページ内の語位置を指示する一方、上位ビットがフラッシュ メモリ内のページをアドレス指定します。これは図29-2.で図示されます。ページ内の語アドレスに8ビット未満が必要とされる場合(ページ容量<256)、アドレス下位バイトの最上位(側)ビットがページ書き込み実行時のページ アドレスに使われることに注意してください。

G. アドレス上位バイト (アドレスビット15~8) 設定

- ① XA1をLow(0)、XA0をLow(0)に設定します。これはアドレス設定を許可します。
- ② BS2をLow(0)、BS1をHigh(1)に設定します。これは上位アドレス(バイト)を選びます。
- ③ DATAにアドレス上位バイト(\$00~\$7F/\$FF)を設定します。
- ④ XTAL1に正パルスを与えます。これはアドレス上位バイトを設定します。

H. アドレス上位拡張バイト (アドレスビット23~16) 設定

- ① XA1をLow(0)、XA0をLow(0)に設定します。これはアドレス設定を許可します。
- ② BS2をHigh(1)、BS1をLow(0)に設定します。これは上位拡張アドレス(バイト)を選びます。
- ③ DATAにアドレス上位バイト(\$00~\$01)を設定します。
- ④ XTAL1に正パルスを与えます。これはアドレス上位拡張バイトを設定します。

I. ページ書き込み

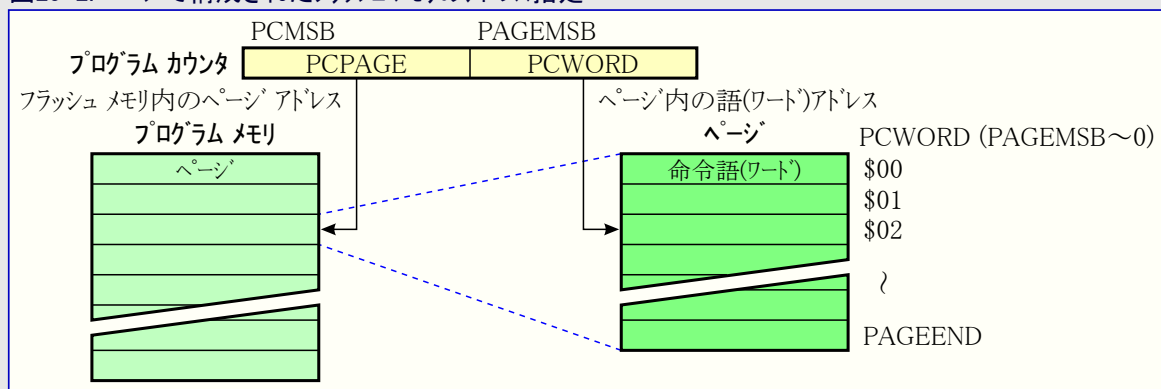
- ① BS1をLow(0)に設定します。
- ② \overline{WR} に負パルスを与えます。これはデータのページ全体の書き込みを開始します。RDY/ \overline{BSY} がLow(0)になります。
- ③ RDY/BSYがHigh(1)になるまで待ちます。

J. フラッシュ メモリ全部が書かれるか、または(必要な)全データが書かれてしまうまで、B~Iを繰り返し

K. ページ書き込み終了

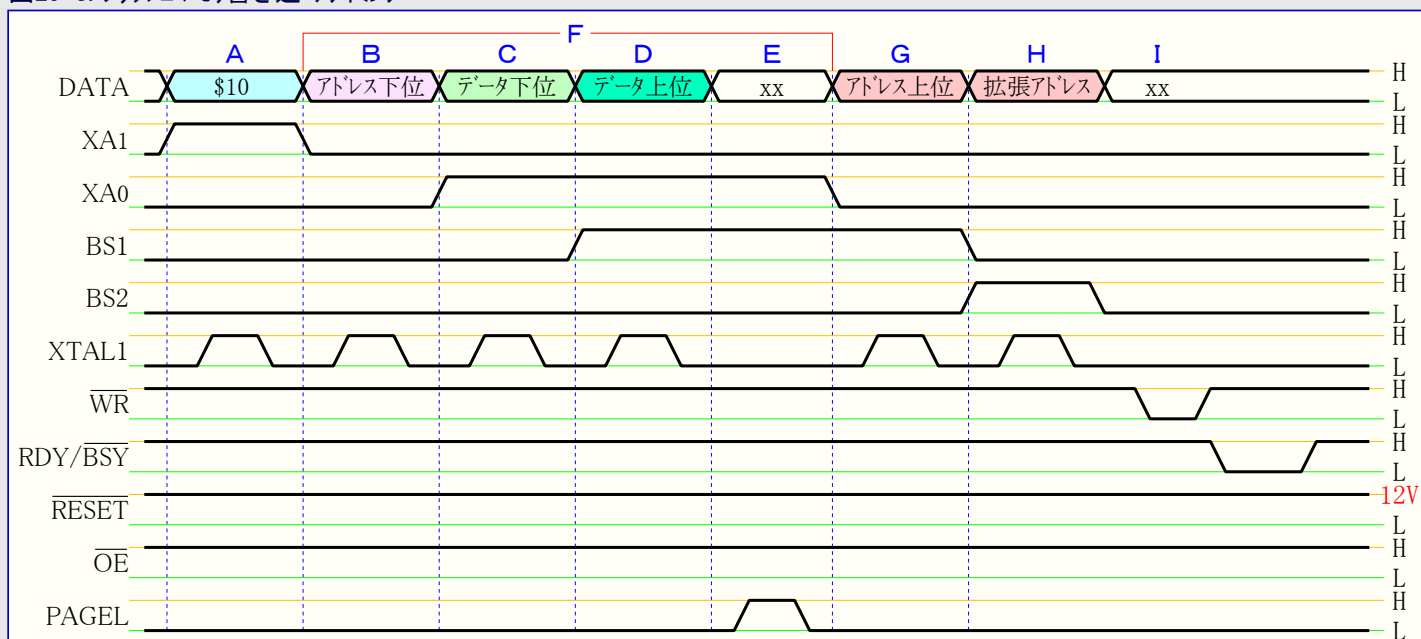
- ① XA1をHigh(1)、XA0をLow(0)に設定します。これは指令設定を許可します。
- ② DATAを\$00(0000 0000)にします。これは無操作指令です。
- ③ XTAL1に正パルスを与えます。これは無操作指令を設定し、内部書き込み信号がリセットされます。

図29-2. ページで構成されたフラッシュメモリのアドレス指定



注: PCPAGEとPCWORDは220頁の表29-7.で一覧されます。

図29-3. フラッシュメモリ書き込みタイミング



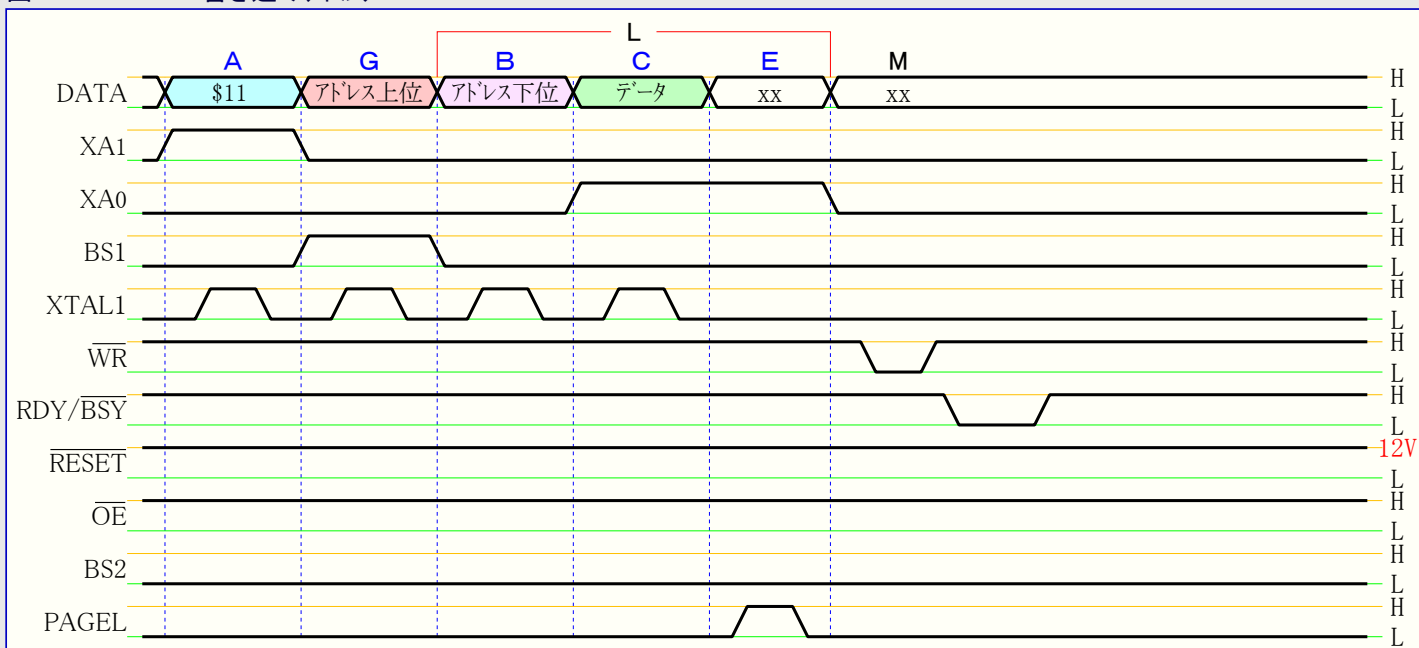
注: xx値は無関係です。A～Iは前記プログラミングを参照してください。

29.7.5. EEPROM書き込み

EEPROMはページで構成されます(220頁の表29-8参照)。EEPROMを書く時にデータはページ緩衝部にラッチされます。これは同時に書かれることをデータの1ページに許します。データ用EEPROMメモリの書き込み方法は次のとおりです。(指令、アドレス、データ設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照。図29-4タイミング参照)

1. EEPROM書き込み指令\$11(0001 0001)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のAを参照)
2. アドレス上位バイト(\$00~\$0F)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のGを参照)
3. アドレス下位バイト(\$00~\$FF)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のBを参照)
4. データバイト(\$00~\$FF)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のCを参照)
5. データをラッチします(PAGELに正パルスを与えます)。(「フラッシュメモリ書き込み」のEを参照)
- L. 緩衝部全体が満たされるまで3~5を繰り返します。
- M. EEPROMページ書き込み
 - ① BS2をLow(0)、BS1をLow(0)に設定します。
 - ② WRに負パルスを与えます。これはEEPROMページ書き込みを開始します。RDY/BSYがLow(0)になります。
 - ③ 次のページを書く前に、RDY/BSYがHigh(1)になるまで待ちます。

図29-4. EEPROM書き込みタイミング



29.7.6. フラッシュメモリ読み出し

フラッシュメモリの読み出し方法は次のとおりです。(指令とアドレス設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. フラッシュメモリ読み出し指令\$02(0000 0010)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のAを参照)
2. アドレス拡張バイト(\$00~\$01)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のHを参照)
3. アドレス上位バイト(\$00~\$7F/\$FF)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のGを参照)
4. アドレス下位バイト(\$00~\$FF)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のBを参照)
5. BS1をLow(0)、OEをLow(0)に設定します。フラッシュメモリ語(ワード)の下位バイトが直ぐにDATAで読めます。
6. BS1をHigh(1)に設定します。フラッシュメモリ語(ワード)の上位バイトが直ぐにDATAで読めます。
7. OEをHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

29.7.7. EEPROM読み出し

EEPROMの読み出し方法は次のとおりです。(指令とアドレス設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. EEPROM読み出し指令\$03(0000 0011)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のAを参照)
2. アドレス上位バイト(\$00~\$0F)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のGを参照)
3. アドレス下位バイト(\$00~\$FF)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のBを参照)
4. BS1をLow(0)、OEをLow(0)に設定します。EEPROMのバイトデータが直ぐにDATAで読めます。
5. OEをHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

29.7.8. ヒューズビット書き込み (訳注:原書での拡張/上位/下位ヒューズ項を1つに纏めました。)

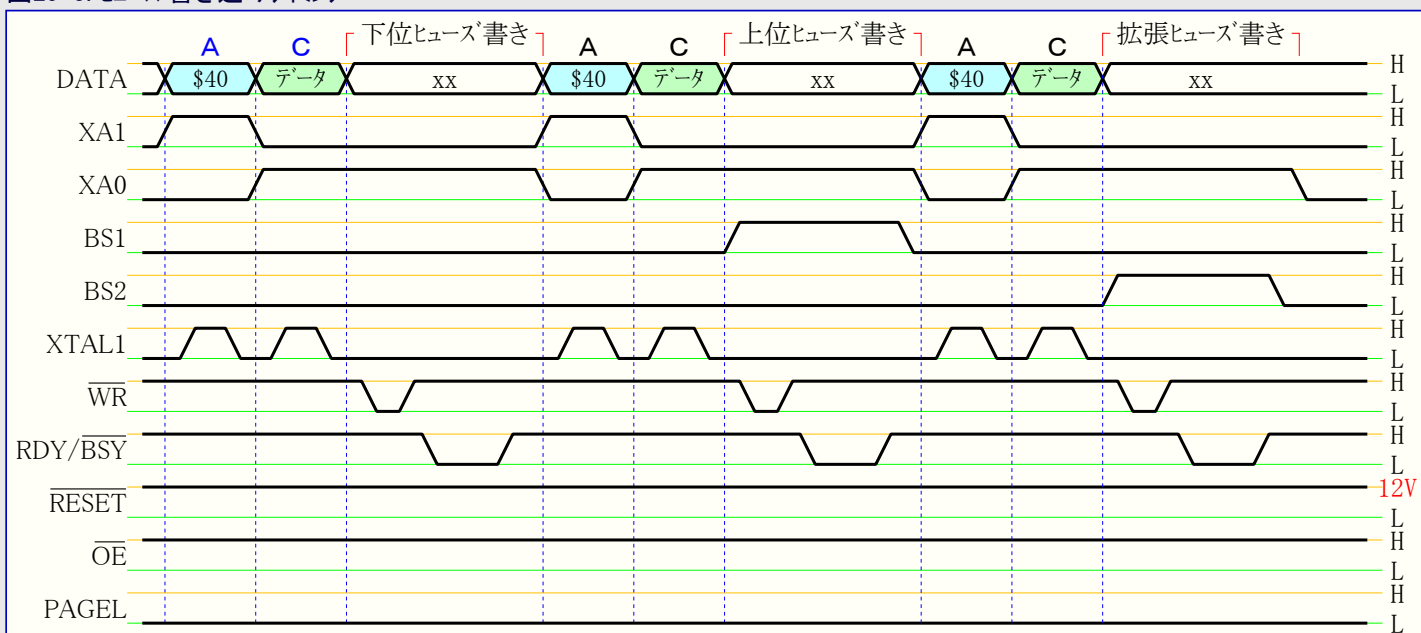
各ヒューズビットの書き込み方法は次のとおりです。(指令とデータ設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. ヒューズビット書き込み指令\$40(0100 0000)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のAを参照)
2. データ下位バイトを設定します。0=プログラム,1=非プログラム(消去)です。(「フラッシュメモリの書き込み」のCを参照)
3. BS1とBS2を右表の目的バイトに対応する設定にします。
4. \overline{WR} に負パルスを与え、RDY/BSYがHighになるまで待ちます。
5. 3.でHighに設定したBS1、BS2をLow(0)に戻します。これはデータ下位バイトを選びます。

表A. ヒューズビット対応BS1,BS2設定

ヒューズビット	BS1	BS2
拡張バイト	Low(0)	High(1)
上位バイト	High(1)	Low(0)
下位バイト	Low(0)	Low(0)

図29-5. ヒューズ書き込みタイミング



29.7.9. 施錠ビット書き込み

施錠ビットの書き込み方法は次のとおりです。(指令とデータ設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. 施錠ビット書き込み指令\$20(0010 0000)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のAを参照)
2. データ下位バイト(としてデータ)を設定します。0=プログラム,1=無変化です。LB保護種別3が設定(LB1とLB2がプログラム(0))されると、どの外部的なプログラミング動作種別によってもブート施錠ビットはプログラミングできません。(「フラッシュメモリの書き込み」のCを参照)
3. \overline{WR} に負パルスを与え、RDY/BSYがHighになるまで待ちます。

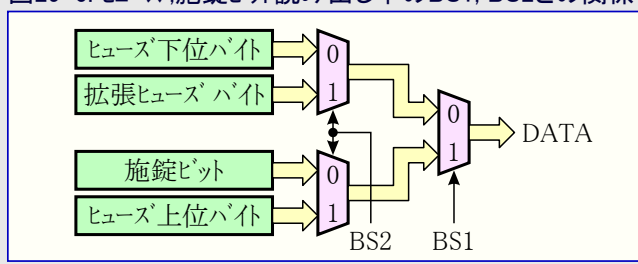
施錠ビットはチップ消去の実行によってのみ解除(1)できます。

29.7.10. ヒューズビットと施錠ビットの読み出し

ヒューズビットと施錠ビットの読み出し方法は次のとおりです。(指令設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. ヒューズビットと施錠ビットの読み出し指令\$04(0000 0100)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のAを参照)
2. BS1とBS2をLow(0)、 \overline{OE} をLow(0)に設定します。ヒューズ下位ビットの状態が直ぐにDATAで読めます。(0=プログラム)
3. BS1とBS2をHigh(1)、 \overline{OE} をLow(0)に設定します。ヒューズ上位ビットの状態が直ぐにDATAで読めます。(0=プログラム)
4. BS1をLow(0)、BS2をHigh(1)、 \overline{OE} をLow(0)に設定します。拡張ヒューズビットの状態が直ぐにDATAで読めます。(0=プログラム)
5. BS1をHigh(1)、BS2をLow(0)、 \overline{OE} をLow(0)に設定します。施錠ビットの状態が直ぐにDATAで読めます。(0=プログラム)
6. \overline{OE} をHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

図29-6. ヒューズ、施錠ビット読み出し中のBS1, BS2との関係



29.7.11. 識票バイト読み出し

識票バイトの読み出し方法は次のとおりです。(指令とアドレス設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. 識票バイト読み出し指令\$08(0000 1000)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のAを参照)
2. アドレス下位バイト(\$00～\$02)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のBを参照)
3. BS1をLow(0)、 \overline{OE} をLow(0)に設定します。選んだ識票バイトが直ぐにDATAで読めます。
4. \overline{OE} をHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

29.7.12. 校正バイト読み出し

校正バイトの読み出し方法は次のとおりです。(指令とアドレス設定の詳細については223頁の「フラッシュメモリの書き込み」を参照)

1. 校正バイト読み出し指令\$08(0000 1000)を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のAを参照)
2. アドレス下位バイトに\$00を設定します。(「フラッシュメモリの書き込み」のBを参照)
3. BS1をHigh(1)、 \overline{OE} をLow(0)に設定します。校正バイトが直ぐにDATAで読めます。
4. \overline{OE} をHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

29.7.13. 並列プログラミング特性

図29-7. 並列プログラミング タイミング (一般的な必要条件)

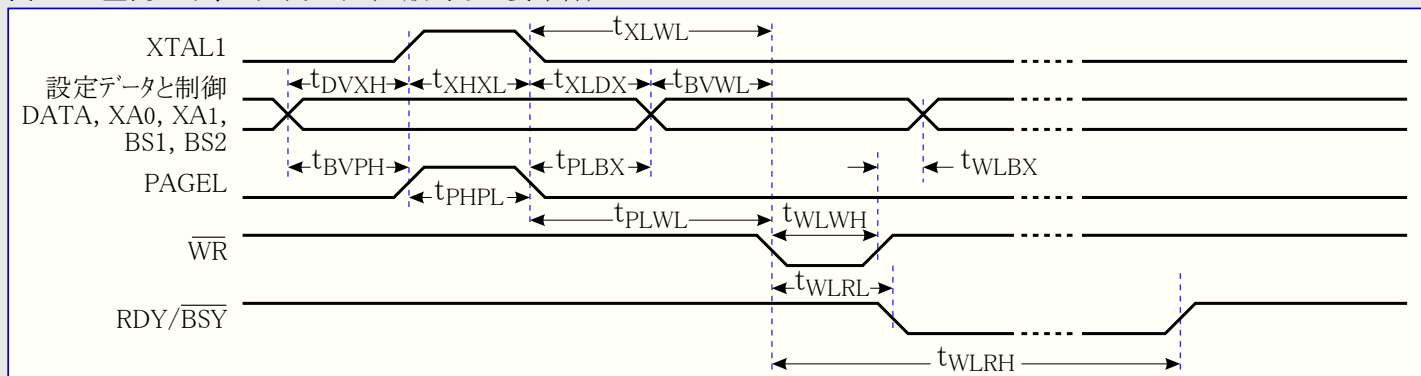
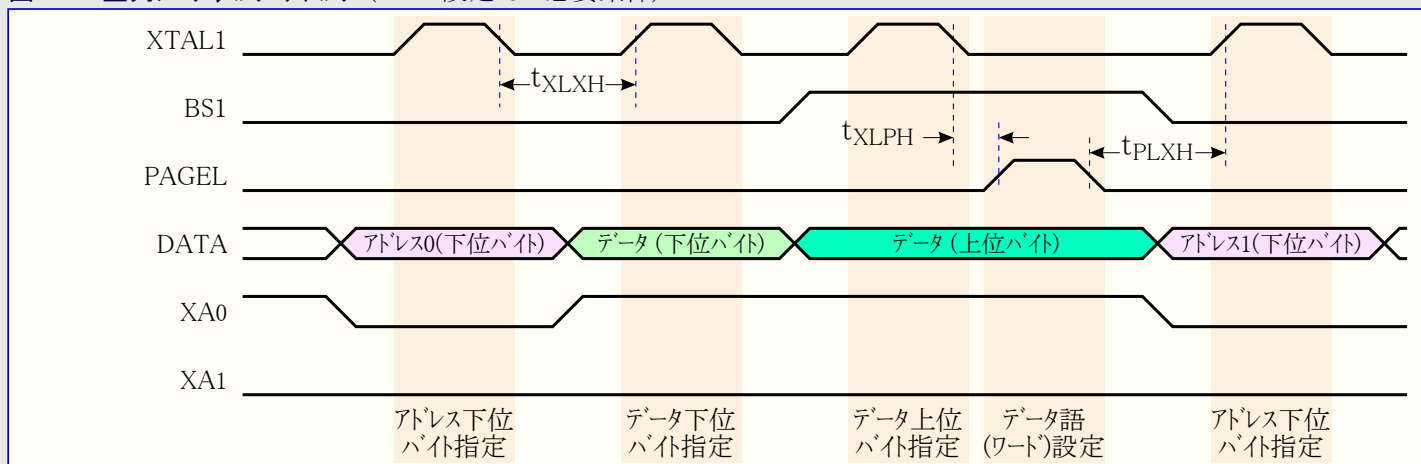
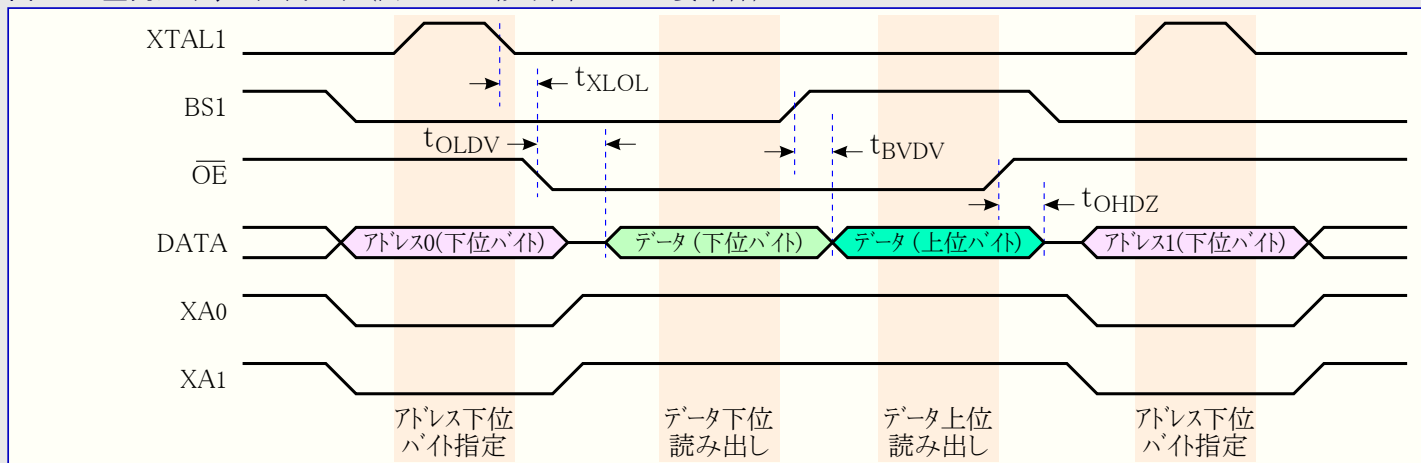


図29-8. 並列プログラミング タイミング (ページ設定での必要条件)



注: 図29-7.で示されるタイミング必要条件(即ち、 t_{DVXH} 、 t_{XHXL} 、 t_{XLDX})は設定操作にも適用されます。

図29-9. 並列プログラミング タイミング (同一ページ読み出しでの必要条件)



注: 図29-7.で示されるタイミング必要条件(即ち、 t_{DVXH} 、 t_{XHXL} 、 t_{XLDX})は読み出し操作にも適用されます。

表29-14. 並列プログラミング特性 (VCC=5V±10%)

シンボル	項目	最小	代表	最大	単位
V _{PP}	プログラミング許可電圧	11.5		12.5	V
I _{PP}	プログラミング許可電流			250	μA
t _{DVXH}	XTAL1 ↑ に対するデータと制御の準備時間	67			
t _{XLXH}	XTAL1 ↓ から次XTAL1 ↑ までの待機時間	200			
t _{XHXL}	XTAL1 Highパルス幅	150			
t _{XLDX}	XTAL1パルス ↓ 後のデータと制御の保持時間	67			
t _{XLWL}	XTAL1パルス ↓ 後の \overline{WR} ↓ 待機時間	0			
t _{XLPH}	XTAL1パルス ↓ 後のPAGELパルス ↑ 待機時間	0			
t _{PLXH}	PAGELパルス ↓ 後のXTAL1パルス ↑ 待機時間	150			
t _{BVPH}	PAGELパルス ↑ に対するBS1準備時間	67			ns
t _{PHPL}	PAGEL Highパルス幅	150			
t _{PLBX}	PAGELパルス ↓ 後のBS1保持時間	67			
t _{WLBX}	\overline{WR} パルス ↓ 後のBS1,BS2保持時間	67			
t _{PLWL}	PAGELパルス ↓ 後の \overline{WR} パルス ↓ 待機時間	67			
t _{BVWL}	\overline{WR} パルス ↓ に対するBS1準備時間	67			
t _{WLWH}	\overline{WR} Lowパルス幅	150			
t _{WLRL}	\overline{WR} パルス ↓ 後のRDY/ \overline{BSY} ↓ 遅延時間	0		1	μs
t _{WLRH}	書き込み時間 (\overline{WR} ↓ からRDY/ \overline{BSY} ↑) (注1)	3.7		4.5	ms
t _{WLRH_CE}	チップ消去時間 (\overline{WR} ↓ からRDY/ \overline{BSY} ↑) (注2)	7.5		9	
t _{XLCL}	XTAL1パルス ↓ 後の \overline{OE} ↓ 待機時間	0			
t _{BVDV}	BS1有効からのDATA遅延時間	0		250	
t _{OLDV}	\overline{OE} ↓ 後のDATA出力遅延時間			250	ns
t _{OHZ}	\overline{OE} ↑ 後のDATA Hi-Z遅延時間			250	

注1: フラッシュ メモリ、EEPROM、ヒューズ ビット、施錠ビット書き込み指令に対して有効です。

注2: チップ消去指令に対して有効です。

29.8. 直列プログラミング

フラッシュメモリとEEPROMの両方はRESETがGNDに引かれている間に直列SPIバスを使ってプログラミングできます。この直列インターフェースはSCK入力、PDI入力、PDO出力から成ります。RESETがLowに設定された後、書き込み/消去操作が実行され得るのに先立って**プログラミング許可命令**が初めに実行されるのを必要とします。**注意**、表29-15でSPIプログラミング用のピン配置が一覧されます。全てのデバイスが内部SPIインターフェースに対する専用SPIピンを使うとは限りません。

29.8.1. 直列プログラミング用ピン配置

表29-15. 直列プログラミング用ピン配置

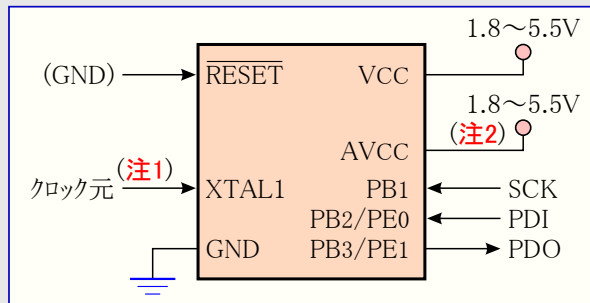
信号名	100ピン	64ピン	入出力	機能
SCK	PB1	PB1	入力	直列クロック
PDI	PB2	PE0	入力	直列データ入力
PDO	PB3	PE1	出力	直列データ出力

EEPROMをプログラミングする時に自動消去周期が自動書き込み動作内に組み入れられ(直列プログラミングのみ)、**チップ消去命令**を初めに実行する必要があります。チップ消去操作はプログラム(フラッシュメモリ)とEEPROM両方の全てのメモリ位置の内容を\$FFにします。

CKSELヒューズによる有効なクロックが与えられなければなりません。直列クロック(SCK)入力のLowとHighの区間の最小値は次のように定義されます。

$f_{CK} < 12\text{MHz}$: Low区間	> 2 CPUクロック周期	$f_{CK} < 12\text{MHz}$: High区間	> 2 CPUクロック周期
$f_{CK} \geq 12\text{MHz}$: Low区間	> 3 CPUクロック周期	$f_{CK} \geq 12\text{MHz}$: High区間	> 3 CPUクロック周期

図29-10. 直列プログラミング構成図



注1: デバイスが内蔵発振器で動作する場合、XTAL1ピンにクロック元を接続する必要はありません。

注2: $VCC - 0.3V < AVCC < VCC + 0.3V$ ですが、AVCCは常に1.8~5.5V内にすべきです。

29.9. 直列プログラミング手順 (訳注:本項の一部を矛盾回避のため修正しました。)

ATmega640/1280/1281/2560/2561に直列データを書く時にデータはSCKの上昇端で行われ、ATmega640/1280/1281/2560/2561から読む時にデータはSCKの下降端で行われます。タイミングの詳細については図29-12をご覧ください。

直列プログラミング動作でのプログラミングと照合は次の手順が推奨されます(4バイト命令形式は表29-17を参照)。

1. 電源投入手順:

RESETとSCKがLow(0)に設定されている間にVCCとGND間へ電源を印加します。いくつかのシステムで電源投入中、SCKがLowに保持されるのを書き込み器が保証できません。この場合、SCKがLow(0)に設定されてしまった後、RESETは最低2 CPUクロック周期幅の正パルスを与えられなければなりません。

2. 最低20ms待ち、PDIピンにプログラミング許可命令を送ることによって直列プログラミングを許可してください。

3. 通信が同期を外していると、直列プログラミング命令は動作しません。同期していると、プログラミング許可命令の第3バイト送出時に第2バイト(\$53)が戻ります。この戻りが正しいかどうかによらず、命令の4バイト全てが送信されなければなりません。\$53が戻らない場合、RESETに正パルスを与え、新規プログラミング許可命令を行ってください。

4. フラッシュメモリは1ページ単位で書かれます。ページ容量は220ページの表29-7で得られます。このメモリページはページ設定命令と共にアドレスの下位7+1ビットとデータを提供することによって1バイトずつ設定されます。ページが正しく設定されるのを保証するため、与えられたアドレスにデータ上位バイトが適用される前にデータ下位バイトが設定されなければなりません。プログラムメモリのページはアドレスの上位8ビット(PC15~8)を含むページ書き込み命令の設定によって(フラッシュメモリに)格納されます。この命令が行なわれる前に拡張アドレスバイト設定命令がアドレスのMSB定義に使われていることに注意してください。拡張アドレスバイトは本命令が再実行されるまで保存されます。即ち本命令は初回ページと64K語(ワード)境界を過ぎる時にだけ実行される必要があります。ポーリング(BSY/RDY)が使われない場合、使用者は次のページを行う前に最低tWD_FLASH(表29-16参照)待たなければなりません。フラッシュ書き込み操作完了前の(ポーリング以外の)直列プログラミングインターフェースでのアクセスは不正な書き込み結果になり得ます。

5. EEPROMはページ単位かバイト単位のどちらかでプログラミングできます。

バイト単位: EEPROMは適切なEEPROM書き込み命令と共にアドレスとデータを提供することによって1バイト単位で書かれます。EEPROMのメモリ位置は新規データが書かれるのに先立って始めて自動的に消去されます。ポーリング(BSY/RDY)が使われない場合、次のバイトを行う前に最低tWD_EEPROM(表29-16参照)待たなければなりません。

ページ単位: EEPROMの1ページはEEPROMページ設定命令と共にアドレスの下位3ビットとデータを提供することによって1バイトずつ設定されます。EEPROMページはアドレスの上位9ビットを含むEEPROMページ書き込み命令により(EEPROMに)格納されます。EEPROMページアクセス使用時、EEPROMページ設定命令で設定したバイト位置だけが変更されます。残りの位置は無変化で留まります。ポーリング(BSY/RDY)が使われない場合、次ページ(表29-8参照)を行う前に最低tWD_EEPROM(表29-16参照)待たなければなりません。チップ消去されたデバイスでの\$FFデータは書かれる必要がありません。

6. どのメモリ位置も選んだアドレスの内容を直列出力PDOに読み出す読み出し命令を使うことで照合できます。フラッシュメモリ読み出し時、フラッシュメモリ読み出し命令内に含まれない上位アドレスバイト定義に拡張アドレスバイト設定命令を使ってください。拡張アドレスバイトはこの命令が再実行されるまで保存されます。即ち本命令は初回ページと64K語(ワード)境界を過ぎる時にだけ実行される必要があります。

7. プログラミング作業終了時、RESETは通常動作を開始するため、High(1)に設定できます。
8. 電源OFF手順（必要とされるならば）
 - ・ RESETをHigh(1)に設定します。
 - ・ VCC電源をOFFにします。

表29-16. ヒューズ、フラッシュ、EEPROM書き込み待機時間

シンボル	最低待機時間	備考
tWD_FUSE	4.5ms	ヒューズ書き込み
tWD_FLASH	4.5ms	フラッシュメモリ書き込み
tWD_EEPROM	3.6ms	EEPROM書き込み
tWD_ERASE	9.0ms	チップ消去

29.9.1. 直列プログラミング命令一式

表29-17と次頁の図29-11は命令一式を記述します。

表29-17. 直列プログラミング命令一式

命令	命令形式				備考
	第1バイト	第2バイト	第3バイト	第4バイト	
プログラミング許可	\$AC	\$53	\$00	\$00	
チップ消去	\$AC	\$80	\$00	\$00	
多忙/準備可検査	\$F0	\$00	\$00	状態値	最下位ビットが多忙フラグ。
設定系命令					
拡張アドレス設定 (注1)	\$4D	\$00	拡張アドレス	\$00	
フラッシュ ページ内上位バイト設定	\$48	アドレス上位	アドレス下位	上位バイト	
フラッシュ ページ内下位バイト設定	\$40	アドレス上位	アドレス下位	下位バイト	
EEPROMページ内バイト設定	\$C1	\$00	ページ内位置	バイト	注: ページ内指示以外のビットは0。
読み出し命令					
フラッシュ メモリ上位バイト読み出し	\$28	アドレス上位	アドレス下位	上位バイト	
フラッシュ メモリ下位バイト読み出し	\$20	アドレス上位	アドレス下位	下位バイト	
EEPROM読み出し	\$A0	アドレス上位	アドレス下位	バイト	
施錠ビット読み出し	\$58	\$00	\$00	施錠ビット値	
識票バイト読み出し	\$30	\$00	アドレス	識票バイト	
ヒューズ下位読み出し	\$50	\$00	\$00	ヒューズ下位	
ヒューズ上位読み出し	\$58	\$08	\$00	ヒューズ上位	
拡張ヒューズ読み出し	\$50	\$08	\$00	拡張ヒューズ	
校正バイト読み出し	\$38	\$00	\$00	校正バイト	
書き込み命令					
フラッシュ ページ書き込み	\$4C	アドレス上位	アドレス下位	\$00	
EEPROMバイト書き込み	\$C0	アドレス上位	アドレス下位	バイト	
EEPROMページ書き込み	\$C2	アドレス上位	アドレス下位	\$00	注: ページ指示以外のアドレスビットは0。
施錠ビット書き込み	\$AC	\$E0	\$00	施錠ビット値	
ヒューズ下位書き込み	\$AC	\$A0	\$00	ヒューズ下位	
ヒューズ上位書き込み	\$AC	\$A8	\$00	ヒューズ上位	
拡張ヒューズ書き込み	\$AC	\$A4	\$00	拡張ヒューズ	

注1: 全命令が全デバイスで利用可能な訳ではありません。

注: 施錠ビットとヒューズ値はプログラムが0、非プログラムが1です。将来との互換性のため、未使用のヒューズと施錠ビットは非プログラム(1)にすべきです。

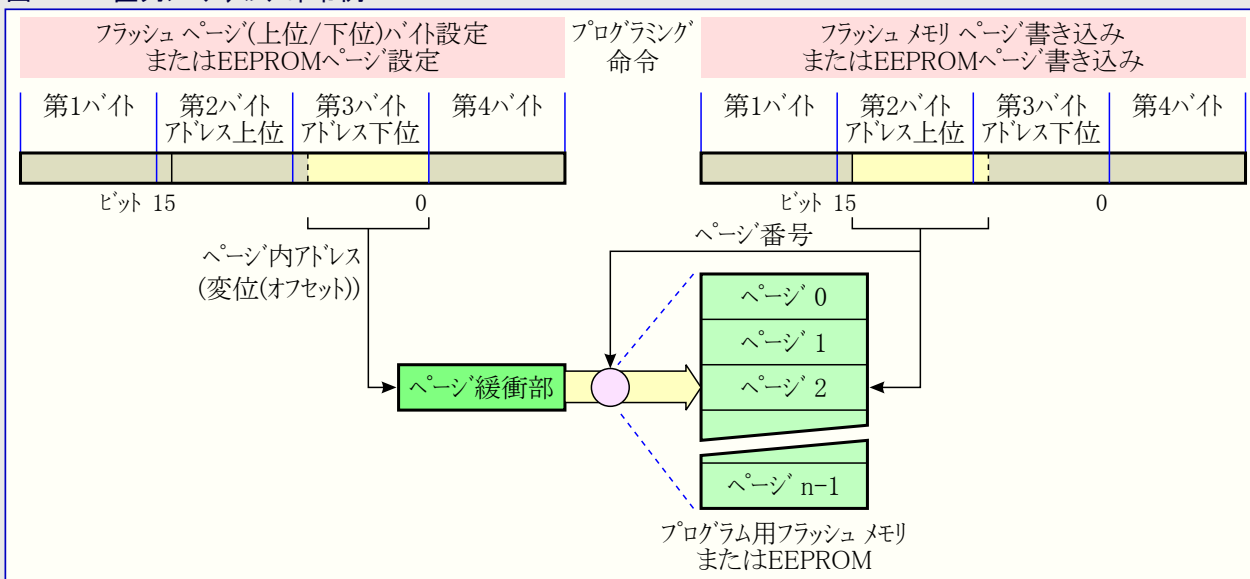
- ・ ヒューズ、施錠ビット、識票バイト、校正バイト、ページ容量については対応項目を参照してください。
- ・ プログラミングと書き込み器に関する応用記述についてはwww.microchip.comをご覧ください。
- ・ 第4バイトの赤背景はホスト読み込み(デバイス出力)を示します。

多忙/準備可検査バイトデータ出力のLSBが1なら、プログラミング操作が未だ保留(動作中)です。次の命令が実行される前に本ビットが0に戻るまで待ってください。

同じページ内で、下位バイトデータは上位バイトデータに先行して格納されなければなりません。

データがページ緩衝部に格納された後にEEPROMページをプログラムしてください。図29-11をご覧ください。

図29-11. 直列プログラミング命令例



(訳補) フラッシュメモリ、EEPROM、ページ緩衝部内のアドレス(位置)指定に使われるビットはメモリ容量とページ構成に依存します。ATmega640/1280/1281/2560/2561でのこれらの指定方法は次表で要約されます。

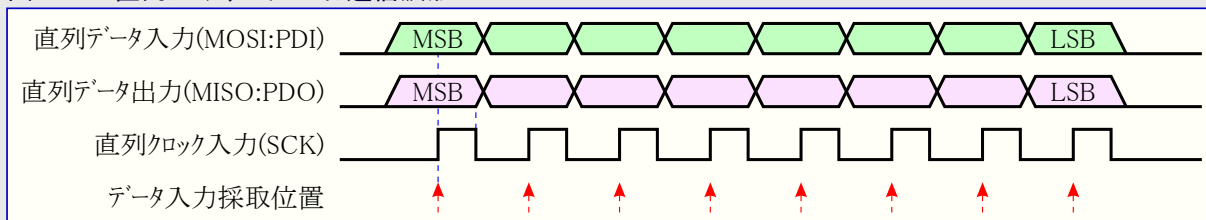
表B. アドレス(第2,3バイト)指定法

命令	第2バイト	第3バイト	備考
拡張アドレス設定	0000 0000	0000 000E	ATmega2560/2561 : E=PC16
フラッシュページ内バイト設定	0000 0000	0LLL LLLL	ATmega640/1280/1281/2560/2561 : L=PC6~0
EEPROMページ内バイト設定	0000 0000	0000 0LLL	ATmega640/1280/1281/2560/2561 : L=EEA2~0
フラッシュメモリ読み出し	0HHH HHHH HHHH HHHH	LLLL LLLL	ATmega640 : H=PC14~8, L=PC7~0 ATmega1280/1281/2560/2561 : H=PC15~8, L=PC7~0
EEPROM読み出し	0000 HHHH	LLLL LLLL	ATmega640/1280/1281/2560/2561 : H=EEA11~8, L=EEA7~0
フラッシュページ書き込み	0HHH HHHH HHHH HHHH	L000 0000	ATmega640 : H=PC14~8, L=PC7 ATmega1280/1281/2560/2561 : H=PC15~8, L=PC7
EEPROMバイト書き込み	0000 HHHH	LLLL LLLL	ATmega640/1280/1281/2560/2561 : H=EEA11~8, L=EEA7~0
EEPROMページ書き込み	0000 HHHH	LLLL L000	ATmega640/1280/1281/2560/2561 : H=EEA11~8, L=EEA7~3

29.9.2. 直列プログラミング特性

SPI部の特性については245頁の「SPIタイミング特性」を参照してください。

図29-12. 直列プログラミングバイト通信波形



29.10. JTAGインターフェース経由のプログラミング

JTAGインターフェースを通すプログラミングは4つのJTAG仕様ピン、TCK,TMS,TDI,TDOの制御が必要です。RESETピンとクロックピンの制御は必要とされません。

JTAGインターフェースが使われ得るにはJTAGENヒューズがプログラム(0)されなければなりません。このデバイスは既定でこのヒューズがプログラム(0)されて出荷されます。更にMCU制御レジスタ(MCUCR)のJTAGインターフェース禁止(JTD)ビットが解除(0)されなければなりません。JTDビットが設定(1)の場合、代わりに外部リセットを強制的なLowにできます。その後、2チップ(CPU)クロック後にJTDビットが解除(0)され、JTAGピンはプログラミングに利用できます。これはJTAGインターフェース経由実装書き込みを許すにも拘らず、一方、実行動作で標準ポートピンとしてJTAGピンを使う手段を提供します。境界走査(Boundary-Scan)や内蔵デバッグ機能にJTAGピンを使う時にこの手法が使えないことに注意してください。これらの場合のJTAGピンはその目的専用に使われなければなりません。

プログラミング中、TCK入力のクロック周波数はチップの最高周波数よりも低くなければなりません。システムクロック前置分周器はTCKクロック入力を十分に低い周波数へ分周するのには使えません。

この文書内の定義では全ての移動レジスタについて入出力ともLSBが最初に移動されます。

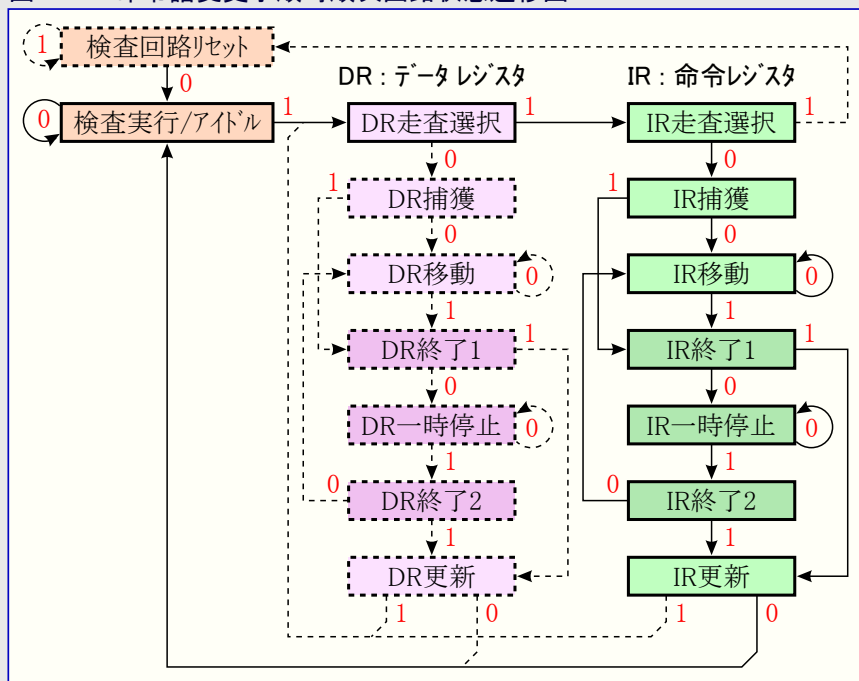
29.10.1. プログラミング特殊JTAG命令

命令レジスタ(IR)は4ビット長で、16種類までの命令を支援します。以下に示される一覧はプログラミングに有用なJTAG命令です。

各命令の命令コードは命令名後の16進形式で示されます。本文は各命令についてTDIとTDO間の経路として選ばれるデータレジスタを記述します。

検査入出力ポート(TAP)制御器の検査実行/アイドル状態は内部クロックの発生に使われます。また、JTAG手順間のアイドル状態としても使えます。命令を切り替えるための順次回路の順番は図29-13.で示されます。

図29-13. 命令語変更手順時順次回路状態遷移図



29.10.2. AVR_RESET (\$C)

AVRデバイスをリセット状態へ、またはリセット状態から開放するためのAVR固有公開JTAG命令です。この命令によって検査入出力ポート(TAP)制御器はリセットされません。1ビットのリセットレジスタがデータレジスタ(DR)として選ばれます。リセットチェーンに論理1がある限り、リセットが有効であることに注意してください。このチェーンからの出力はラッチされません。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR移動 : リセットレジスタがTCKクロック入力によって移されます。

29.10.3. PROG_ENABLE (\$4)

JTAGポート経由のプログラミングを許可するためのAVR固有公開JTAG命令です。16ビット長のプログラミング許可レジスタがデータレジスタ(DR)として選ばれます。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR移動 : プログラミング許可識別子がデータレジスタに移動入力されます。
- DR更新 : プログラミング許可識別子が正規値と比較され、識別子が有効なら、プログラミング動作に移行されます。

29.10.4. PROG_COMMANDS (\$5)

JTAGポート経由のプログラミング命令移行用のAVR固有公開JTAG命令です。15ビット長のプログラミング命令レジスタがデータレジスタ(DR)として選ばれます。本命令が有効な状態を次に示します。

- DR捕獲 : 直前の命令の結果がデータレジスタに設定されます。
- DR移動 : データレジスタがTCK入力により移され、直前の命令の結果を移動出力し、新規命令を移動入力します。
- DR更新 : プログラミング命令がフラッシュメモリ入力に適用されます。
- 検査実行/アイドル : 1つのクロック周期が生成され、適用された命令を実行します。

29.10.5. PROG_PAGELOAD (\$6)

JTAGポート経由でフラッシュメモリのページデータを直接設定するためのAVR固有公開JTAG命令です。8ビットフラッシュバイトデータレジスタがデータレジスタ(DR)として選ばれます。これは物理的にプログラミング命令レジスタの下位8ビットです。活性(有効)状態は以下です。

- ・DR移動 : フラッシュバイトデータレジスタがTCKクロック入力によって移動されます。
- ・DR更新 : フラッシュバイトデータレジスタの内容が一時レジスタに複写されます。11 TCK周期で開始される書き込み(設定)手順が一時レジスタの内容をフラッシュページ緩衝部に設定します。AVRはPROG_PAGELOAD命令移行後出会った最初のDR更新に対して下位バイトで始め、新規DR更新状態毎に上位/下位バイト書き込み間を自動的に切り替えます。プログラムカウンタは最初の書き込みバイトを除き、下位バイト書き込み前に予め増加(+1)されます。これは最初のデータがPROG_COMMANDSによって設定したアドレスに書かれ、ページ緩衝部の最終位置設定がプログラムカウンタを次ページへ増加しないことを保証します。

29.10.6. PROG_PAGEREAD (\$7)

JTAGポート経由でフラッシュメモリ内容を直接捕獲するためのAVR固有公開JTAG命令です。8ビットフラッシュバイトデータレジスタがデータレジスタ(DR)として選ばれます。これは物理的にプログラミング命令レジスタの下位8ビットです。活性(有効)状態は以下です。

- ・DR捕獲 : 選んだフラッシュメモリの内容がフラッシュバイトデータレジスタに捕獲されます。AVRはPROG_PAGEREAD命令移行後に会った最初のDR捕獲に対して下位バイトで始め、新規DR捕獲状態毎に上位/下位バイト読み込み間を自動的に切り替えます。プログラムカウンタは最初の読み込みバイトを含め、各上位バイト読み込み後に増加(+1)されます。これは最初のデータがPROG_COMMANDSによって設定した先頭アドレスから捕獲され、ページの最終位置読み込みがプログラムカウンタを次ページへ増加(進行)することを保証します。
- ・DR移動 : フラッシュバイトデータレジスタがTCKクロック入力によって移動されます。

29.10.7. データレジスタ

データレジスタ(DR)は233頁の「プログラミング特殊JTAG命令」項で記載されたJTAG命令レジスタ(IR)によって選ばれます。プログラミング操作に関連するデータレジスタを次に示します。

- ・リセット(Reset)レジスタ
- ・プログラミング許可(Programming Enable)レジスタ
- ・プログラミング命令(Programming Command)レジスタ
- ・フラッシュバイトデータ(Flash Data Byte)レジスタ

29.10.8. リセット (Reset) レジスタ

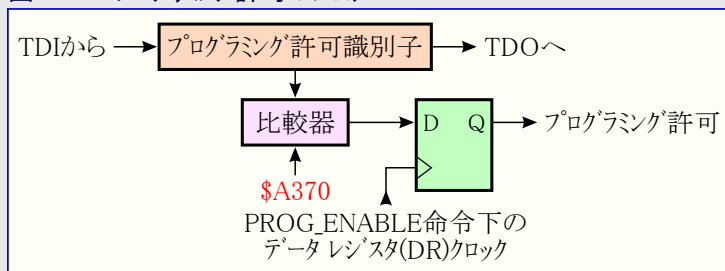
リセットレジスタはプログラミング中、デバイスをリセットするのに使われる検査データレジスタです。プログラミング動作への移行に先立ってデバイスをリセットするのに必要とされます。

リセットレジスタ内の値1は外部RESETをLowに引き込むことに相当します。リセットレジスタ内の値が1である限り、デバイスはリセットされます。リセットレジスタの開放後、デバイスはクロック種別ヒューズ設定に従ってリセット起動遅延時間(29頁の「クロック元」参照)分リセットを維持します。202頁の図27-2.で示されるようにこのデータレジスタからの出力はラッチされず、それ故リセットが直ちに起こります。

29.10.9. プログラミング許可 (Programming Enable) レジスタ

プログラミング許可レジスタは16ビット長のレジスタです。このレジスタの内容はプログラミング許可識別子\$A370(1010 0011 0111 0000)と比較されます。このレジスタの内容がプログラミング許可識別子と一致すると、JTAGポート経由のプログラミングが許可されます。このレジスタは電源ONリセットで0にリセットされ、プログラミング動作を抜ける時には常にリセットされるべきです。

図29-14. プログラミング許可 レジスタ



29.10.10. プログラミング命令 (Programming Command) レジスタ

プログラミング命令レジスタは15ビット長のレジスタです。このレジスタはプログラミング命令を連続的に移動入力し、直前のプログラミング命令の結果を連続的に移動出力するのに使われます。JTAGプログラミング命令一式は表29-18.で示されます。プログラミング命令を移動入力する時の状態順は図29-16.で図解されます。

図29-15. プログラミング命令 レジスタ

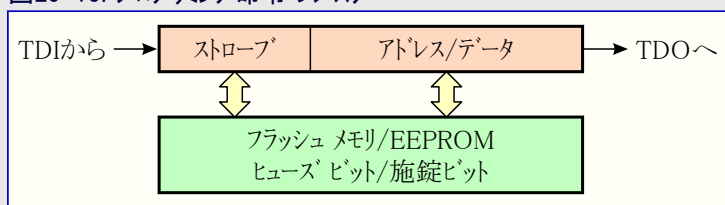


表29-18. JTAGプログラミング命令一式 (手順)

命令			TDI入力	TDO出力	備考	
チップ消去	1 ①	チップ消去	010 0011 1000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0001 1000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0011 1000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0011 1000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
フラッシュメモリ書き込み	1 ②	チップ消去完了検査	011 0011 1000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)	
	2 ①	フラッシュ書き込み移行	010 0011 0001 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
	2 ②	アドレス拡張上位バイト設定	000 0111 EEEE EEEE	xxx xxxx xxxx xxxx	(注10)	
	2 ③	アドレス上位バイト設定	000 0111 HHHH HHHH	xxx xxxx xxxx xxxx	(注10)	
	2 ④	アドレス下位バイト設定	000 0011 LLLL LLLL	xxx xxxx xxxx xxxx		
	2 ⑤	データ下位バイト設定	001 0011 WWWW WWWW	xxx xxxx xxxx xxxx		
	2 ⑥	データ上位バイト設定	001 0111 WWWW WWWW	xxx xxxx xxxx xxxx		
	2 ⑦	データラッチ	011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)	
			111 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
	2 ⑧	ページ書き込み	011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)	
			011 0101 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
	2 ⑨	ページ書き込み完了検査	011 0111 0000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)	
フラッシュ読み出し	3 ①	フラッシュ読み出し移行	010 0011 0000 0010	xxx xxxx xxxx xxxx		
	3 ②	アドレス拡張上位バイト設定	000 0111 EEEE EEEE	xxx xxxx xxxx xxxx	(注10)	
	3 ③	アドレス上位バイト設定	000 0111 HHHH HHHH	xxx xxxx xxxx xxxx	(注10)	
	3 ④	アドレス下位バイト設定	000 0011 LLLL LLLL	xxx xxxx xxxx xxxx		
	3 ⑤	データ下位/上位バイト取得	011 0010 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0110 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	下位バイト	
			011 0111 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	上位バイト	
EEPROM書き込み	4 ①	EEPROM書き込み移行	010 0011 0001 0001	xxx xxxx xxxx xxxx		
	4 ②	アドレス上位バイト設定	000 0111 HHHH HHHH	xxx xxxx xxxx xxxx	(注10)	
	4 ③	アドレス下位バイト設定	000 0011 LLLL LLLL	xxx xxxx xxxx xxxx		
	4 ④	データバイト設定	001 0011 WWWW WWWW	xxx xxxx xxxx xxxx		
	4 ⑤	データラッチ	011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)	
			111 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
	4 ⑥	EEPROM書き込み	011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)	
			011 0001 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
	4 ⑦	EEPROM書き込み完了検査	011 0011 0000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)	
EEPROM読み出し	5 ①	EEPROM読み出し移行	010 0011 0000 0011	xxx xxxx xxxx xxxx		
	5 ②	アドレス上位バイト設定	000 0111 HHHH HHHH	xxx xxxx xxxx xxxx	(注10)	
	5 ③	アドレス下位バイト設定	000 0011 LLLL LLLL	xxx xxxx xxxx xxxx		
	5 ④	EEPROM読み出し	011 0010 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx		
			011 0011 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR		

次ページへ続く

表29-18 (続き). JTAGプログラミング命令一式

命令		TDI入力	TDO出力	備考
ヒューズビット書き込み	6 ① ヒューズ書き込み移行	010 0011 0100 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	6 ② データ下位バイト設定	001 0011 WWW WWW	xxx xxxx xxxx xxxx	(注3) ビット配置は219頁の表29-3参照
	6 ③ 拡張ヒューズ書き込み	011 1011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)
		011 1001 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 1011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 1011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	6 ④ 拡張ヒューズ書き込み完了検査	011 1011 0000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)
	6 ⑤ データ下位バイト設定	001 0011 WWW WWW	xxx xxxx xxxx xxxx	(注3) ビット配置は219頁の表29-4参照
	6 ⑥ 上位側ヒューズ書き込み	011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)
		011 0101 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	6 ⑦ 上位ヒューズ書き込み完了検査	011 0111 0000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)
	6 ⑧ データ下位バイト設定	001 0011 WWW WWW	xxx xxxx xxxx xxxx	(注3) ビット配置は219頁の表29-5参照
施錠ビット書き込み	6 ⑨ 下位側ヒューズ書き込み	011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)
		011 0001 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	6 ⑩ 下位ヒューズ書き込み完了検査	011 0011 0000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)
	7 ① 施錠ビット書き込み移行	010 0011 0010 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	7 ② データ下位バイト設定	001 0011 11WW WWW	xxx xxxx xxxx xxxx	(注4) ビット配置は218頁の表29-1参照
	7 ③ 施錠ビット書き込み	011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注1)
		011 0001 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
ヒューズ/施錠ビット読み出し	7 ④ 施錠ビット書き込み完了検査	011 0011 0000 0000	xxx xxSx xxxx xxxx	(注2)
	8 ① ヒューズ/施錠ビット読み出し移行	010 0011 0000 0100	xxx xxxx xxxx xxxx	
	8 ② 拡張ヒューズ読み出し	011 1010 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注5) ビット配置は219頁の表29-3参照
		011 1011 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
	8 ③ 上位側ヒューズ読み出し	011 1110 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注5) ビット配置は219頁の表29-4参照
		011 1111 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
	8 ④ 下位側ヒューズ読み出し	011 0010 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注5) ビット配置は219頁の表29-5参照
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
	8 ⑤ 施錠ビット読み出し	011 0110 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注5) ビット配置は218頁の表29-1参照
		011 0111 0000 0000	xxx xxxx xxRR RRRR	
	8 ⑥ ヒューズ/施錠ビット読み出し	011 1010 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	(注5)
		011 1110 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
		011 0010 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
		011 0110 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
		011 0111 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
		011 0111 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
識票バイト	9 ① 識票バイト読み出し移行	010 0011 0000 1000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	9 ② アドレスバイト設定	000 0011 LLLL LLLL	xxx xxxx xxxx xxxx	
	9 ③ 識票バイト読み出し	011 0010 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
校正バイト	10 ① 校正バイト読み出し移行	010 0011 0000 1000	xxx xxxx xxxx xxxx	
	10 ② アドレスバイト設定	000 0011 LLLL LLLL	xxx xxxx xxxx xxxx	
	10 ③ 校正バイト読み出し	011 0110 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0111 0000 0000	xxx xxxx RRRR RRRR	
	11 ① 無操作設定	010 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	
		011 0011 0000 0000	xxx xxxx xxxx xxxx	

E = アドレス上位拡張バイトのビット H = アドレス上位バイトのビット L = アドレス下位バイトのビット S = 動作完了フラグ
R = 読み出しデータ (MCU出力) W = 書き込みデータ (MCU入力) x = 0か1 (無効/無意味)

注1 : この命令は直前の命令手順によって上位7ビットが正しく設定されている(通常の場合、必要ではありません)。

注2 : Sが1になるまで繰り返します。(待機)

注3 : 設定値0でプログラム、1で非プログラムです。

注4 : 設定値0でプログラム、1では施錠ビットが変化しません。

注5 : 読み出し値0でプログラム、1で非プログラムです。

(訳注) 原書での注6~9は表内備考欄に直接記載しました。

注10 : PCMSB(表29-7参照)とEEAMSB(表29-8参照)を越えるアドレスビットは無効です。

注11 : 全てのTDIとTDO手順は2進数で示されています。

29.10.11. フラッシュ バイト データ (Flash Data Byte) レジスタ

フラッシュ バイト データ レジスタはページ書き込み実行前のフラッシュ メモリ ページ緩衝部全体設定、またはフラッシュ メモリ内容の読み出しや照合の効率的な方法を提供します。順次回路はフラッシュ メモリへの制御信号を設定し、フラッシュ メモリからのスロープ信号を判断し、従って移動入出力されるためのデータ語だけがが必要です。

実際のフラッシュ バイト データ レジスタは8ビットの走査チェーンと8ビットの一時レジスタから成ります。ページ設定中、**DR更新**状態は走査チェーンによる内容を一時レジスタへ複写し、11 TCK周期内で一時レジスタの内容をフラッシュ メモリ ページ緩衝部へ設定する書き込み(設定)手順を始めます。AVRは**PROG_PAGELoad**命令移行後に会った最初の**DR更新**に対して下位バイトで始め、新規**DR更新**毎に上位/下位バイト書き込み間を自動的に切り替えます。プログラム カウンタは最初の書き込みバイトを除き、下位バイト書き込み前に予め増加(+1)されます。これは**PROG_COMMANDS**によって設定したアドレスに最初のデータが書かれ、ページ緩衝部の最終位置設定がプログラム カウンタを次ページに増加しないことを保証します。

ページ読み込み中、選んだフラッシュ メモリのバイトの内容は**DR捕獲**状態中にフラッシュ バイト データ レジスタ内に捕獲されます。AVRは**PROG_PAGEREAD**命令移行後に会った最初の**DR捕獲**に対して下位バイトで始め、新規**DR捕獲**毎に上位/下位バイト読み込み間を自動的に切り替えます。プログラム カウンタは最初の読み込みバイトを含め、各上位バイト読み込み後に増加(+1)されます。これは最初のデータが**PROG_COMMANDS**によって設定した先頭アドレスから捕獲され、ページの最終位置読み込みがプログラム カウンタを次ページに増加(進行)することを保証します。

フラッシュ バイト データ レジスタを制御する順次回路はTCKによってクロック駆動されます。通常動作中内でフラッシュ メモリの各バイトに対して8ビットが移動され、TAP制御器を通して誘導するために必要としたこのクロック周期はフラッシュ バイト データ レジスタに対し、それが使用者にとって明白に操作を完了するための十分なクロック パルス数で順次回路を自動的に送ります。けれどもページ設定中に各**DR更新**状態間で更に数ビットが移動される場合、各**DR更新**状態間の最小11 TCK周期を保証するためのいくつかのTCK周期に対し、TAP制御器は検査実行/アイドル状態に留まるべきです。

29.10.12. プログラミング手法

1①、1②形式のような以下の全ての参照は表29-18を参照してください。

29.10.13. プログラミング動作への移行

1. JTAG命令**AVR_RESET**を入力し、リセット レジスタに**1**を移動します。
2. **PROG_ENABLE**命令を入力し、プログラミング許可レジスタに**\$A370(1010 0011 0111 0000)**を移動します。

29.10.14. プログラミング動作からの抜け出し

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. 無操作命令(1①参照)により、全てのプログラミング命令を禁止します。
3. **PROG_ENABLE**命令を入力し、プログラミング許可レジスタに**\$0000(0000 0000 0000 0000)**を移動します。
4. JTAG命令**AVR_RESET**を入力し、リセット レジスタに**0**を移動します。

29.10.15. チップ消去の実行

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. チップ消去命令(1①参照)を使い、チップ消去を開始します。
3. チップ消去完了検査(1②参照)を使い、完了までポーリングするか、**tWLRH_CE**(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。

図29-16. データ語変更/読み出し手順時順次回路状態遷移図

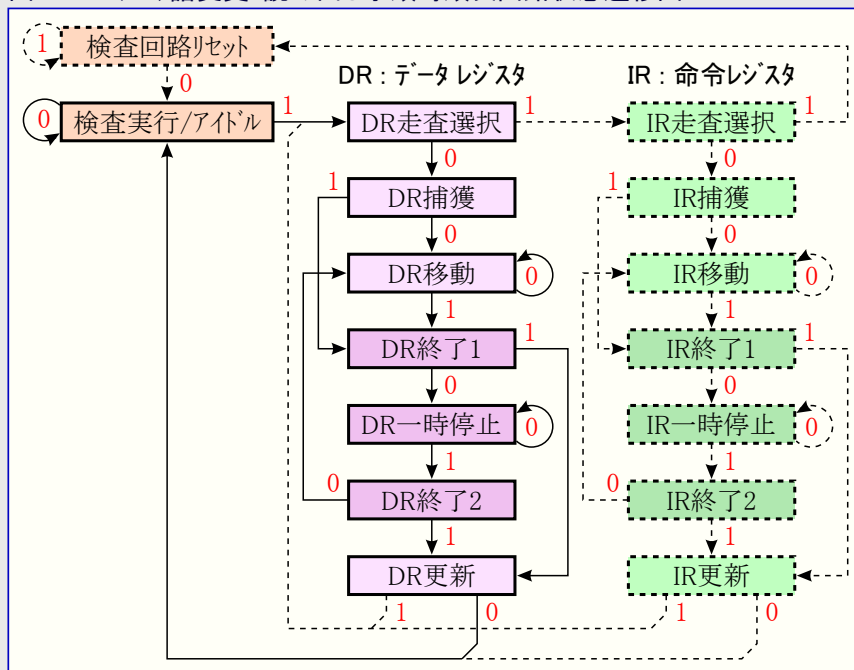
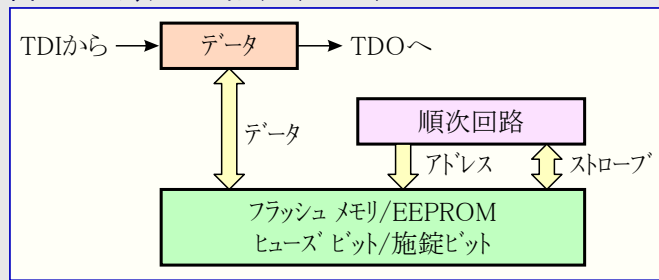


図29-17. フラッシュ バイト データ レジスタ



29.10.16. フラッシュ メモリの書き込み

フラッシュ メモリへ書き込む前にチップ消去が実行されなければなりません。237頁の「チップ消去の実行」をご覧ください。

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. フラッシュ書き込み移行命令(2①参照)を使い、フラッシュ メモリ書き込みを許可します。
3. 上位拡張アドレス設定命令(2②参照)を使い、書き込みアドレス上位バイトを設定します。
4. アドレス上位設定命令(2③参照)を使い、書き込みアドレス上位バイトを設定します。
5. アドレス下位設定命令(2④参照)を使い、書き込みアドレス下位バイトを設定します。
6. データ設定命令(2⑤, 2⑥, 2⑦参照)を使い、書き込みデータを設定します。
7. ページ内の全語(ワード)数分5.と6.を繰り返します。
8. ページ書き込み命令(2⑧参照)を使い、ページをフラッシュ メモリに書き込みます。
9. ページ書き込み完了検査(2⑨参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH_FLASH(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。
10. 全データ書き込みまで3.～9.を繰り返します。

より効率的なデータ転送は**PROG_PAGELOAD**命令を使うことで達せられます。

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. フラッシュ書き込み移行命令(2①参照)を使い、フラッシュ メモリ書き込みを許可します。
3. アドレス設定命令(2②, 2③, 2④参照)を使い、ページ アドレスを設定します。ページ内アドレスには**PCWORD**(220頁の表29-7.参照)が使われ、これらのビットは0として書かれなければなりません。
4. JTAG命令**PROG_PAGELOAD**を入力します。
5. 先頭命令のLSBから始まって最終命令のMSBで終わるページ内にバイト単位で全命令語を移動入力することによってページ全体を設定します。フラッシュ バイト データレジスタの内容をフラッシュ ページ位置に複写し、各新規語(ワード)前にプログラム カウンタを自動増加するの**にDR更新**を使います。
6. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
7. ページ書き込み命令(2⑧参照)を使い、ページをフラッシュ メモリに書き込みます。
8. ページ書き込み完了検査(2⑨参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH_FLASH(226頁の表29-14.参照)時間待機します。
9. 全データ書き込みまで3.～8.を繰り返します。

29.10.17. フラッシュ メモリの読み出し

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. フラッシュ読み出し移行命令(3①参照)を使い、フラッシュ メモリ読み出しを許可します。
3. アドレス設定命令(3②, 3③, 3④参照)を使い、読み出しアドレスを設定します。
4. データ読み出し命令(3⑤参照)を使い、データを読み出します。
5. 全データ読み出しまで3.～4.を繰り返します。

より効率的なデータ転送は**PROG_PAGEREAD**命令を使うことで達せられます。

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. フラッシュ読み出し移行命令(3①参照)を使い、フラッシュ メモリ読み出しを許可します。
3. アドレス設定命令(3②, 3③, 3④参照)を使い、ページ アドレスを設定します。ページ内アドレスには**PCWORD**(220頁の表29-7.参照)が使われ、これらのビットは0として書かれなければなりません。
4. JTAG命令**PROG_PAGEREAD**を入力します。
5. 先頭命令のLSBから始まって最終命令のMSBで終わるページ(またはフラッシュ)内で全命令語を移動出力することで、ページ(またはフラッシュ)全体を読みます。**DR捕獲**状態はフラッシュ メモリからのデータ捕獲と各語(ワード)が読まれた後にプログラム カウンタも自動増加します。**DR移動**に先立って**DR捕獲**が起きることに注意してください。従って移動出力される先頭バイトは有効なデータを含みます。
6. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
7. 全データ読み出しまで3.～6.を繰り返します。

29.10.18. EEPROMの書き込み

EEPROMへ書き込む前にチップ消去が実行されなければなりません。237頁の「チップ消去の実行」をご覧ください。

1. JTAG命令**PROG_COMMANDS**を入力します。
2. EEPROM書き込み移行命令(4①参照)を使い、EEPROMメモリ書き込みを許可します。
3. アドレス上位設定命令(4②参照)を使い、書き込みアドレス上位バイトを設定します。
4. アドレス下位設定命令(4③参照)を使い、書き込みアドレス下位バイトを設定します。
5. データ設定命令(4④, 4⑤参照)を使い、書き込みデータを設定します。
6. ページ内の全バイト数分4.と5.を繰り返します。
7. EEPROM書き込み命令(4⑥参照)を使い、データをEEPROMメモリに書き込みます。
8. EEPROM書き込み完了検査(4⑦参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。
9. 全データ書き込みまで3.～8.を繰り返します。

PROG_PAGELOAD命令がEEPROM書き込み時に使えないことに注意してください。

29.10.19. EEPROMの読み出し

1. JTAG命令PROG_COMMANDSを入力します。
2. EEPROM読み出し移行命令(5①参照)を使い、EEPROMメモリ読み出しを許可します。
3. アドレス設定命令(5②, 5③参照)を使い、読み出しアドレスを設定します。
4. データ読み出し命令(5④参照)を使い、データを読み出します。
5. 全データが読み出されてしまうまで3.～4.を繰り返します。

PROG_PAGEREAD命令がEEPROM読み出し時に使えないことに注意してください。

29.10.20. ヒューズビットの書き込み (訳注:本項は修正してあります。)

1. JTAG命令PROG_COMMANDSを入力します。
2. ヒューズ書き込み移行命令(6①参照)を使い、ヒューズ書き込みを許可します。
3. 拡張データ設定命令(6②参照)を使い、拡張ヒューズ値を設定します。(0=プログラム、1=非プログラム)
4. 拡張ヒューズ書き込み命令(6③参照)を使い、拡張ヒューズを書き込みます。
5. ヒューズ書き込み完了検査(6④参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。
6. 上位データ設定命令(6⑤参照)を使い、上位側ヒューズ値を設定します。(0=プログラム、1=非プログラム)
7. 上位ヒューズ書き込み命令(6⑥参照)を使い、上位側ヒューズを書き込みます。
8. ヒューズ書き込み完了検査(6⑦参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。
9. 下位データ設定命令(6⑧参照)を使い、下位側ヒューズ値を設定します。(0=プログラム、1=非プログラム)
10. 下位ヒューズ書き込み命令(6⑨参照)を使い、下位側ヒューズを書き込みます。
11. ヒューズ書き込み完了検査(6⑩参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。

29.10.21. 施錠ビットの書き込み

1. JTAG命令PROG_COMMANDSを入力します。
2. 施錠ビット書き込み移行命令(7①参照)を使い、施錠ビット書き込みを許可します。
3. データ設定命令(7②参照)を使い、施錠ビット値を設定します。(0=プログラム、1=無変化)
4. 施錠ビット書き込み命令(7③参照)を使い、施錠ビットに書き込みます。
5. 施錠ビット書き込み完了検査(7④参照)を使い、完了までポーリングするか、tWLRH(229頁の表29-14.参照)時間待ちます。

29.10.22. ヒューズ/施錠ビットの読み出し (訳注:本項は修正してあります。)

1. JTAG命令PROG_COMMANDSを入力します。
2. ヒューズ/施錠ビット読み出し移行命令(8①参照)を使い、ヒューズ/施錠ビット読み出しを許可します。
3. 全てのヒューズと施錠ビットを読むにはヒューズ/施錠ビット読み出し命令(8⑥参照)を使います。
拡張ヒューズビットのみを読み出す場合は拡張ヒューズ読み出し命令(8②参照)を使います。
上位側ヒューズビットだけを読むには上位ヒューズ読み出し命令(8③参照)を使います。
下位側ヒューズビットだけを読むには下位ヒューズ読み出し命令(8④参照)を使います。
施錠ビットだけを読むには施錠ビット読み出し命令(8⑤参照)を使います。

29.10.23. 識票バイトの読み出し

1. JTAG命令PROG_COMMANDSを入力します。
2. 識票読み出し移行命令(9①参照)を使い、識票読み出しを許可します。
3. アドレス設定命令(9②参照)を使い、読み出しアドレス\$00を設定します。
4. データ読み出し命令(9③参照)を使い、識票バイトを読み出します。
5. 第2、第3バイトを読むためにアドレスを\$01,\$02として各々3.～4.を繰り返します。

29.10.24. 校正バイトの読み出し

1. JTAG命令PROG_COMMANDSを入力します。
2. 校正バイト読み出し移行命令(10①参照)を使い、校正バイト読み出しを許可します。
3. アドレス設定命令(10②参照)を使い、読み出しアドレス\$00を設定します。
4. データ読み出し命令(10③参照)を使い、校正バイトを読み出します。

30. 電気的特性

30.1. 絶対最大定格 (警告)

動作温度	-55℃ ～ +125℃
保存温度	-65℃ ～ +150℃
RESETを除くピン許容電圧	-0.5V ～ VCC+0.5V
RESETピン許容電圧	-0.5V ～ +13.0V
最大動作電圧	6.0V
入出力ピン出力電流	40.0mA
消費電流	200.0mA

(警告)

絶対最大定格を超える負担はデバイスに定常的な損傷を与えます。絶対最大定格は負担の定格を示すためだけのもので、この値または、この仕様書の動作特性で示された値を超える条件で動作することを示すものではありません。長時間の最大定格での使用はデバイスの信頼性を損なう場合があります。

30.2. DC特性

TA=-40℃～85℃, VCC=1.8V～5.5V (特記事項を除く)

シンボル	項目	条件	最小	代表	最大	単位
V _{IL}	Lowレベル入力電圧 (XTAL1,RESETを除く)	VCC=1.8～2.4V	-0.5		0.2VCC (注1)	V
		VCC=2.4～5.5V	-0.5		0.3VCC (注1)	
V _{IL1}	Lowレベル入力電圧 (XTAL1)	VCC=1.8～5.5V	-0.5		0.1VCC (注1)	
V _{IL2}	Lowレベル入力電圧 (RESET)	VCC=1.8～5.5V	-0.5		0.1VCC (注1)	
V _{IH}	Highレベル入力電圧 (XTAL1,RESETを除く)	VCC=1.8～2.4V	0.7VCC (注2)		VCC+0.5	
		VCC=2.4～5.5V	0.6VCC (注2)		VCC+0.5	
V _{IH1}	Highレベル入力電圧 (XTAL1)	VCC=1.8～2.4V	0.8VCC (注2)		VCC+0.5	
		VCC=2.4～5.5V	0.7VCC (注2)		VCC+0.5	
V _{IH2}	Highレベル入力電圧 (RESET)	VCC=1.8～5.5V	0.9VCC (注2)		VCC+0.5	
V _{OL}	Lレベル出力電圧(RESETを除く) (注3)	IOL=20mA, VCC=5V			0.9	
		IOL=10mA, VCC=3V			0.6	
V _{OH}	Hレベル出力電圧(RESETを除く) (注4)	IOH=-20mA, VCC=5V	4.2			
		IOH=-10mA, VCC=3V	2.3			
I _{IL}	I/OピンLowレベル入力漏れ電流	VCC=5.5V			1	μA
I _{IH}	I/OピンHighレベル入力漏れ電流	確実なH/L範囲			1	
R _{RST}	RESETピン プルアップ抵抗		30		60	kΩ
R _{PU}	I/Oピン プルアップ抵抗		20		50	
I _{CC}	活動動作消費電流 (電力削減レジスタ(PRR0,1)全ビット=1)	VCC=2V, 1MHz		0.5	0.8	mA
		VCC=3V, 4MHz		3.2	5	
		VCC=5V, 8MHz		10	14	
	アイドル動作消費電流 (電力削減レジスタ(PRR0,1)全ビット=1)	VCC=2V, 1MHz		0.14	0.22	
		VCC=3V, 4MHz		0.7	1.1	
		VCC=5V, 8MHz		2.7	4	
	パワーダウン動作消費電流	VCC=3V, WDT有効		<5	15	μA
		VCC=3V, WDT禁止		<1	7.5	
V _{ACIO}	アナログ比較器入力変位(オフセット)電圧	VCC=5V, V _{in} =VCC/2		<10	40	mV
I _{ACLK}	アナログ比較器入力漏れ電流		-50		50	
t _{ACPD}	アナログ比較器伝播遅延時間	VCC=2.7V		750		ns
		VCC=4.0V		500		

注1: Lowレベルの認識が保証される最高電圧です。

注2: Highレベルの認識が保証される最低電圧です。

(注3)～(注4)は次頁を参照してください。

注3: 各I/Oポートは安定状態(非過渡時)に於いて検査条件(VCC=3Vで10mA,VCC=5Vで20mA)よりも多くの吸い込み電流を流すことができますが、次の条件を厳守しなければなりません。

ATmega1281/2561

1. ポートA7~0、C7~4、G2のIOLの合計が100mAを超えるべきではありません。
2. ポートB7~0、E7~0、G5~3のIOLの合計が100mAを超えるべきではありません。
3. ポートC3~0、D7~0、G1~0のIOLの合計が100mAを超えるべきではありません。
4. ポートF7~0のIOLの合計が100mAを超えるべきではありません。

ATmega640/1280/2560

1. ポートA7~0、J7~0、G2のIOLの合計が200mAを超えるべきではありません。
2. ポートB7~0、G4~3、H7~0のIOLの合計が200mAを超えるべきではありません。
3. ポートC7~0、D7~0、G1~0、L7~0のIOLの合計が200mAを超えるべきではありません。
4. ポートE7~0、G5のIOLの合計が100mAを超えるべきではありません。
5. ポートF7~0、K7~0のIOLの合計が100mAを超えるべきではありません。

IOLが検査条件を超える場合、VOLも仕様書での値を超えます。表の検査条件よりも大きな吸い込み電流を流すことは保証されません。

注4: 各I/Oポートは安定状態(非過渡時)に於いて検査条件(VCC=3Vで10mA,VCC=5Vで20mA)よりも多くの吐き出し電流を流すことができますが、次の条件を厳守しなければなりません。

ATmega1281/2561

1. ポートA7~0、C7~4、G2のIOHの合計が100mAを超えるべきではありません。
2. ポートB7~0、E7~0、G5~3のIOHの合計が100mAを超えるべきではありません。
3. ポートC3~0、D7~0、G1~0のIOHの合計が100mAを超えるべきではありません。
4. ポートF7~0のIOHの合計が100mAを超えるべきではありません。

ATmega640/1280/2560

1. ポートA7~0、J7~0、G2のIOHの合計が200mAを超えるべきではありません。
2. ポートB7~0、G4~3、H7~0のIOHの合計が200mAを超えるべきではありません。
3. ポートC7~0、D7~0、G1~0、L7~0のIOHの合計が200mAを超えるべきではありません。
4. ポートE7~0、G5のIOHの合計が100mAを超えるべきではありません。
5. ポートF7~0、K7~0のIOHの合計が100mAを超えるべきではありません。

IOHが検査条件を超える場合、VOHも仕様書での値を超えます。表の検査条件よりも大きな吐き出し電流を流すことは保証されません。

30.3. 速度勾配

最高周波数は動作電圧に依存します。図30-1.~4.で示されるように最高周波数対動作電圧曲線は1.8~2.7Vと2.7~4.5V間で直線です。

30.3.1. 8MHz

図30-1. ATmega640V/1280V/1281V/2560V/2561Vの最高周波数対VCC

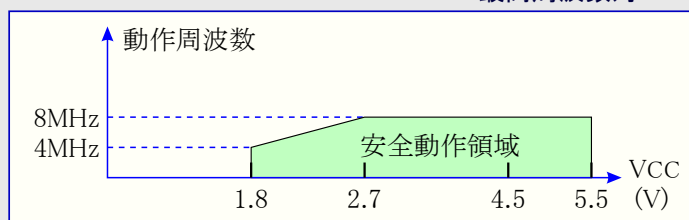
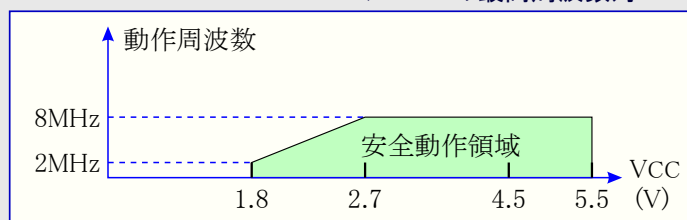


図30-2. 非RWW領域のみ使用時(注)、2560V/2561Vの最高周波数対VCC



注: プログラム メモリのRWW領域だけを使う時は低電圧でより高い速度が達成できます。アドレスについては208頁の「フラッシュメモリの書き込み中に読み出し可能な領域と不能な領域」をご覧ください。

30.3.2. 16MHz

図30-3. ATmega640/1280/1281の最高周波数対VCC

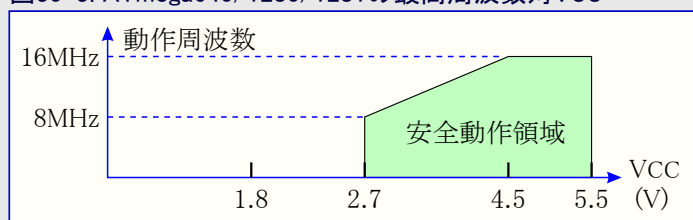
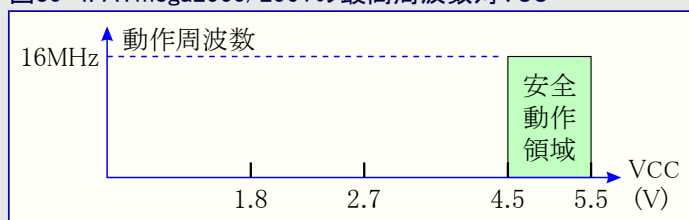


図30-4. ATmega2560/2561の最高周波数対VCC



30.4. クロック特性

表30-1. 校正付き内蔵RC発振器の校正精度

校正種別	周波数	VCC	温度	校正精度
工場校正	8.0MHz	3V	25°C	±10%
使用者校正	7.3~8.1MHz	1.8~5.5V(注1), 2.7~5.5V(注2)	-40~85°C	±1%

注1: ATmega640V/1280V/1281V/2560V/2561Vに対する電圧範囲

注2: ATmega640/1280/1281/2560/2561に対する電圧範囲

図30-5. 外部クロック駆動波形

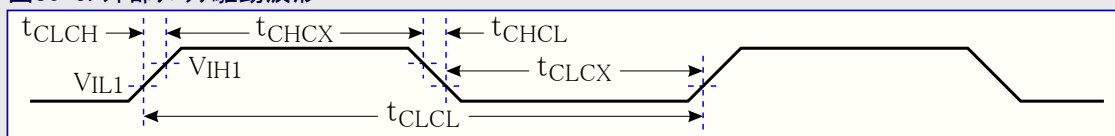


表30-2. 外部クロック特性

シンボル	項目	VCC=1.8~5.5V		VCC=2.7~5.5V		VCC=4.5~5.5V		単位
		最小	最大	最小	最大	最小	最大	
1/tCLCL	クロック周波数	0	2	0	8	0	16	MHz
tCLCL	クロック周期	500		125		62.5		
tCHCX	Highレベル時間	200		50		25		ns
tCLCX	Lowレベル時間	200		50		25		
tCLCH	上昇時間		2.0		1.6		0.5	μs
tCHCL	下降時間		2.0		1.6		0.5	
ΔtCLCL	隣接クロック周期間の変化率		2		2		2	%

注: 詳細については33頁の「外部クロック信号」を参照してください。

30.5. システムとリセットの特性

表30-3. リセット、低電圧検出(BOD)、内部基準電圧の特性

シンボル	項目	条件	最小	代表	最大	単位
V _{RST}	RESETピン閾値電圧		0.2VCC		0.9VCC	V
t _{RST}	リセットパルス幅		2.5			μs
V _{HYST}	低電圧検出ヒステリシス電圧			50		mV
t _{BOD}	最小低電圧検出時間			2		μs
V _{BG}	基準電圧	VCC=2.7V TA=25°C	1.0	1.1	1.2	V
t _{BG}	起動時間			40	70	μs
I _{BG}	消費電流			10		μA

30.5.1. 標準電源ONリセット

この電源ONリセットの実装はATmega640/1280/1281/2560/2561の初期版で存在します。下表はこの電源ONリセットの特性を記述し、以下のデバイスに対してだけ有効です。

- ATmega640 : 改訂A
- ATmega1280 : 改訂A
- ATmega1281 : 改訂A
- ATmega2560 : 改訂A~E
- ATmega2561 : 改訂A~E

表30-4. 標準電源ONリセット特性 (TA=-40°C~85°C)

シンボル	項目	最小(注1)	代表(注1)	最大(注1)	単位
V _{POT}	上昇時電源ONリセット閾値電圧(注2)	0.7	1.0	1.4	V
	下降時電源ONリセット閾値電圧(注3)	0.05	0.9	1.3	
S _{RON}	電源ON電圧傾斜率	0.01		4.5	V/ms

注1: 値は指針の意味だけです。

注2: 電圧上昇時にデバイスがリセットから開放される閾値です。

注3: 供給電圧がこの電圧以下にならないと、上昇時の電源ONリセットは動作しません。

30.5.2. 強化電源ONリセット

この電源ONリセットの実装はATmega640/1280/1281/2560/2561の新版で存在します。下表はこの電源ONリセットの特性を記述し、以下のデバイスに対してだけ有効です。

- ATmega640 : 改訂Bとそれ以降
- ATmega1280 : 改訂Bとそれ以降
- ATmega1281 : 改訂Bとそれ以降
- ATmega2560 : 改訂Fとそれ以降
- ATmega2561 : 改訂Fとそれ以降

表30-5. 強化電源ONリセット特性 (TA=-40℃～85℃)

シンボル	項目	最小 (注1)	代表 (注1)	最大 (注1)	単位
VPOT	上昇時電源ONリセット閾値電圧 (注2)	1.1	1.4	1.6	V
	下降時電源ONリセット閾値電圧 (注3)	0.6	1.3	1.6	
SRON	電源ON電圧傾斜率	0.01		10	V/ms

注1: 値は指針の意味だけです。

注2: 電圧上昇時にデバイスがリセットから開放される閾値です。

注3: 供給電圧がこの電圧以下にならないと、上昇時の電源ONリセットは動作しません。

30.5.3. 低電圧検出 (BOD)

表30-6. BODLEVELヒューズ (VBOT) 設定 (注)

BODLEVEL2～0	最小	代表	最大	単位
1 1 1	低電圧検出(BOD)リセット禁止			
1 1 0	1.7	1.8	2.0	V
1 0 1	2.5	2.7	2.9	
1 0 0	4.1	4.3	4.5	
0 0 0 ～ 0 1 1	(予約)			

注: いくつかのデバイスでVBOTが公称最低動作電圧未満かもしれません。この状態のデバイスには製造検査中、VCC(AVCC)=VBOTに落として検査されます。これはマイクロコントローラの正しい動作がもはや保証されない電圧になる前に低電圧検出(BOD)リセットが起きるのを保証します。この検査はATmega640V/1280V/1281V/2560V/2561Vの4MHz動作についてBODLEVEL=110、ATmega640/640V/1280/1280V/1281/1281V/2560/2561Vの8MHz動作についてBODLEVEL=101、ATmega640/1280/1281/2560/2561の16MHz動作についてBODLEVEL=100を使って実行されます。

30.6. 2線直列インターフェース特性

表30-7. は2線直列バスに接続した装置に対する必要条件を記述します。ATmega640/1280/1281/2560/2561の2線直列インターフェースは記載条件下で、これらの必要条件を越えるか、または合致します。

図30-6. 2線直列バス タイミング

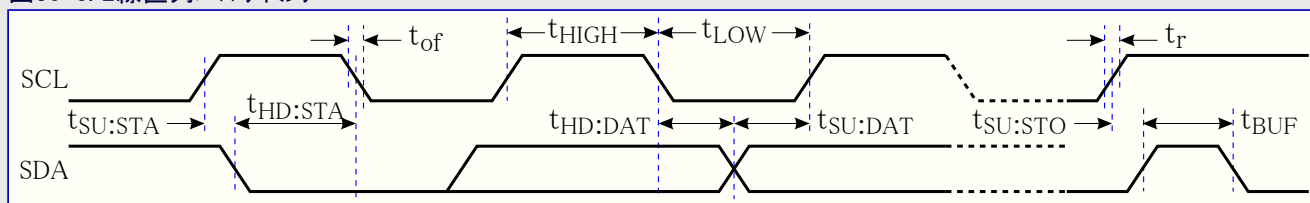


表30-7. 2線直列インターフェース必要条件

シンボル	項目	条件	最小	最大	単位
VIL	Lowレベル入力電圧		-0.5	0.3VCC	V
VIH	Highレベル入力電圧		0.7VCC	VCC+0.5	
Vhys ①	シュミットトリガ入力ヒステリシス電圧		② 0.05VCC		
VOL ①	Lowレベル出力電圧	IOL=3mA	0	0.4	
tr ①	出力上昇時間(VILmin→VIHmax)		② 20+0.1Cb ③	300	ns
tof ①	出力下降時間(VIHmin→VILmax)	10pF<Cb<400pF ③	② 20+0.1Cb ③	250	
tSP ①	入力パルス最小幅(尖頭消去濾波)		0	② 50	
Ii	入力電流(ピン単位)	0.1VCC<Vi<0.9VCC	-10	10	μA
Ci ①	ピン入力容量			10	pF
fSCL	SCLクロック周波数 ④⑤	fCK>max(16fSCL,250kHz)	0	400	kHz
Rp	プルアップ抵抗値	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	(VCC-0.4V)/3mA (VCC-0.4V)/3mA	1000ns/Cb 300ns/Cb	Ω
tHD:STA	(再送)開始条件保持時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	4.0 0.6		μs
tLOW	SCLクロックLowレベル時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	4.7 1.3		
tHIGH	SCLクロックHighレベル時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	4.0 0.6		μs
tSU:STA	再送開始条件準備時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	4.7 0.6		
tHD:DAT	データ保持時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	0 0	3.45 0.9	ns
tSU:DAT	データ準備時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	250 100		
tSU:STO	停止条件準備時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	4.0 0.6		μs
tBUF	停止条件→開始条件間バス開放時間	fSCL≤100kHz fSCL>100kHz	4.7 1.3		

① ATmega640/1280/1281/2560/2561で、この項目は特性が記載されていますが、100%検査はされていません。

② fSCL>100kHzについてのみ必要とされます。

③ Cbは1つのバス信号線の容量(pF)です。

④ fCKはCPU(システム)クロック周波数です。

⑤ この必要条件はATmega640/1280/1281/2560/2561の全ての2線直列インターフェース動作に適用します。2線直列バスに接続した他の装置は一般的なfSCL必要条件に従うことだけを必要とします。

⑥ ATmega640/1280/1281/2560/2561の2線直列インターフェースによって生成した実際のLow区間は(1/fSCL-2/fCK)で、従ってLow時間の必要条件に対してfSCL=100kHzで厳密に満たされるにはfCKが(概ね)6MHz以上でなければなりません。

⑦ ATmega640/1280/1281/2560/2561の2線直列インターフェースによって生成した実際のLow区間は(1/fSCL-2/fCK)で、従ってfCK=8MHz時、厳密にはfSCL>308kHzでLow時間の必要条件が満たされません。それにも拘らず、バスに接続されたATmega640/1280/1281/2560/2561装置は相応なtLOW許容余地のある他の装置だけでなく他のATmega640/1280/1281/2560/2561装置と最高速(400kHz)で通信できるでしょう。

30.7. SPIタイミング特性

図30-7. SPI タイミング必要条件 (主装置動作)

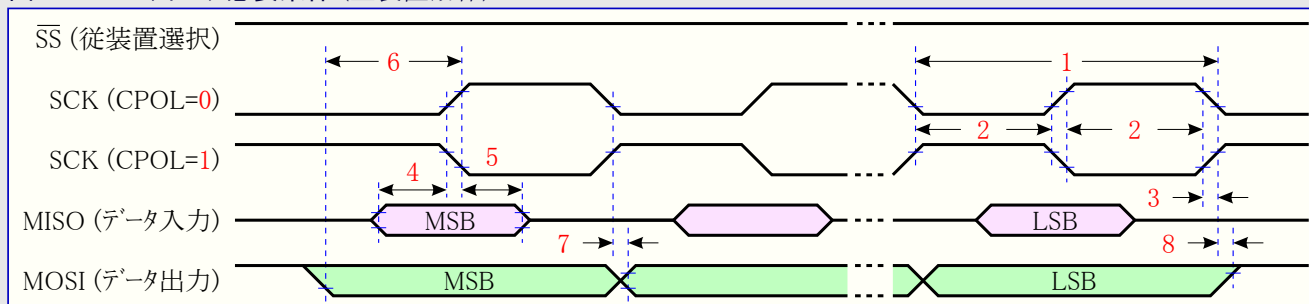


図30-8. SPI タイミング必要条件 (従装置動作)

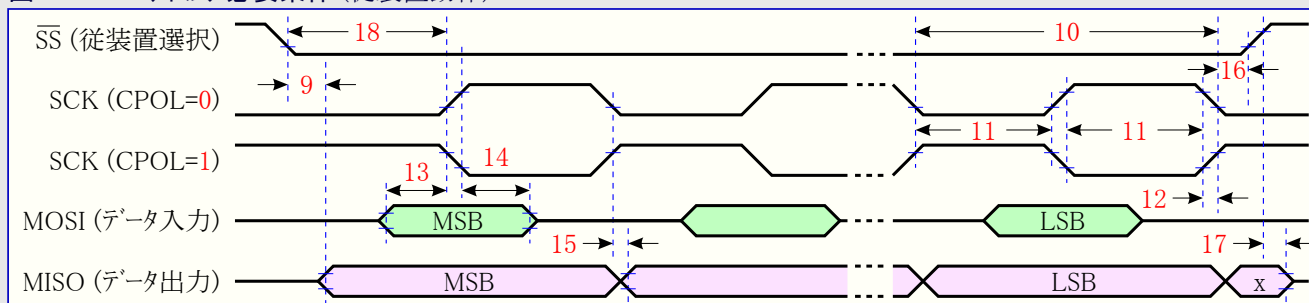


表30-8. SPI タイミング特性

番号	項目	動作種別	最小	代表	最大	単位
1	SCK周期	主装置		表20-5.参照		
2	SCK High/Low期間	主装置		50%デューティ比		
3	SCK上昇/下降時間	主装置		3.6		
4	入力データ 準備時間	主装置		10		
5	入力データ 保持時間	主装置		10		
6	出力からSCK変移時間	主装置		0.5t _{SCK}		ns
7	SCKからの出力遅延時間	主装置		10		
8	SCKからのHigh出力時間	主装置		10		
9	SS ↓ からの出力遅延時間	従装置		15		
10	SCK周期	従装置	4t _{CK}			
11	SCK High/Low期間 (注)	従装置	2t _{CK}			
12	SCK上昇/下降時間	従装置			1.6	μs
13	入力データ 準備時間	従装置	10			
14	入力データ 保持時間	従装置	t _{CK}			
15	SCKからの出力遅延時間	従装置		15		
16	SCKからのSS ↑ 遅延時間	従装置	20			ns
17	SS ↑ からの出力Hi-Z遅延時間	従装置		10		
18	SS ↓ からのSCK遅延時間	従装置	20			

注: SPIプログラミングでの最小SCK High/Low期間は、2t_{CLCL}(t_{CK} < 12MHz)、3t_{CLCL}(t_{CK} ≥ 12MHz)です。

30.8. A/D変換器特性 (暫定)

表30-9. A/D変換特性 (注: これらの値は目安だけです。)

シンボル	項目	条件		最小	代表	最大	単位
シングル エンド 入力変換	分解能				10		ビット
	絶対精度	VCC=4V	変換クロック=200kHz		2.25	2.5	LSB
	(INL,DNL,利得, 変位(オフセット),量子化 誤差を含む)	VREF=4V	変換クロック=1MHz		3		
		雑音低 減動作	変換クロック=200kHz		2		
			変換クロック=1MHz		3		
	積分非直線性誤差(INL)				1.25		
	微分非直線性誤差(DNL)	VCC=4V			0.5		
	変位(オフセット)(ゼロ)誤差	VREF=4V			-2		
	利得誤差	変換クロック=200kHz			2		
	変換クロック周波数			50		1000	kHz
	変換時間	連続変換動作		13		260	μs
	VREF 基準電圧			1.0		AVCC	V
	VIN 入力電圧			GND		VREF	
	VINT1 内蔵1.1V基準電圧			1.0	1.1	1.2	
	VINT2 内蔵2.56V基準電圧			2.4	2.56	2.8	
差動 入力変換	入力周波数帯域				38.5		kHz
	A/D変換出力			0		1023	LSB
	分解能			×1	8		ビット
				×10	8		
				×200	7		
	絶対精度 (変位(オフセット), 利得誤差校正後)			×1	18		
				×10	17		
				×200	9		
	積分非直線性誤差(INL)			×1	2.5		LSB
				×10	5		
				×200	9		
	微分非直線性誤差(DNL)	VCC=5V	×1		0.75		
		VREF=4V	×10		1.5		
		変換クロック=50~200kHz	×200		10		
	変位(オフセット)(ゼロ)誤差			×1	2		
				×10	2		
				×200	3		
	利得誤差			×1	1.7		%
				×10	1.7		
				×200	0.5 (0.2)		
	変換クロック周波数			50		200	kHz
	変換時間			65		260	μs
	VREF 基準電圧			2.7 (2.0)		AVCC-0.5	V
	VIN 入力電圧			GND		VCC	
	VDIFF 差動入力電圧差			-VREF/利得		VREF/利得	
	入力周波数帯域				4		kHz
	A/D変換出力			-512		511	LSB
共通	AVCC アナログ供給電圧			VCC-0.3		VCC+0.3	V
	VINT 内蔵2.56V基準電圧			2.3	2.56	2.8	
	RREF 基準電圧入力インピーダンス				32		kΩ
	RAIN アナログ入力インピーダンス				100		MΩ

(訳注) 原書の表31-9.と表31-10.は表30-9.として統合しました。

30.9. 外部メモリ タイミング特性

表30-11. 外部データメモリ特性 (VCC=4.5V~5.5V、待ちなし)

	シンボル	項目	8MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	16		MHz
1	tLHLL	ALE Highパルス幅	115		1.0tCLCL-10			ns
2	tAVLL	ALE ↓ 前 下位アドレス準備時間	57.5		0.5tCLCL-5		1	
3A	tLLAX,ST	ライト時 ALE ↓ 後 下位アドレス保持時間	5		5			
3B	tLLAX,LD	リード時 ALE ↓ 後 下位アドレス保持時間	5		5			
4	tAVLLC	ALE ↓ 前 上位アドレス準備時間	57.5		0.5tCLCL-5		1	
5	tAVRL	リード時 RD ↓ 前 下位アドレス有効時間	115		1.0tCLCL-10			
6	tAVWL	ライト時 WR ↓ 前 下位アドレス有効時間	115		1.0tCLCL-10			
7	tLLWL	ALE ↓ 後 WR ↓ 遅延時間	47.5	67.5	0.5tCLCL-15	0.5tCLCL+5	2	
8	tLLRL	ALE ↓ 後 RD ↓ 遅延時間	47.5	67.5	0.5tCLCL-15	0.5tCLCL+5	2	
9	tDVRH	RD ↑ 前 データ準備時間	40		40			
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		75		1.0tCLCL-50		
11	tRHDX	RD ↑ 後 データ保持時間	0		0			
12	trLRH	RD Lowパルス幅	115		1.0tCLCL-10			
13	tOVWL	WR ↓ 前 データ準備時間	42.5		0.5tCLCL-20		1	
14	tWHDX	WR ↑ 後 データ保持時間	115		1.0tCLCL-10			
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	125		1.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	115		1.0tCLCL-10			

注1: 一般式の定数はデューティ サイクル=50%(XTAL1の外部クロックのHigh時間は半周期)と仮定した値です。

注2: 一般式の定数はデューティ サイクル=50%(XTAL1の外部クロックのLow時間は半周期)と仮定した値です。

表30-12. 外部データメモリ特性 (VCC=4.5V~5.5V、SRWn1=0, SRWn0=1 (1待ち周期))

	シンボル	項目	8MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	16		MHz
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		200		2.0tCLCL-50		ns
12	trLRH	RD Lowパルス幅	240		2.0tCLCL-10			
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	250		2.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	240		2.0tCLCL-10			

表30-13. 外部データメモリ特性 (VCC=4.5V~5.5V、SRWn1=1, SRWn0=0 (2待ち周期))

	シンボル	項目	8MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	16		MHz
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		325		3.0tCLCL-50		ns
12	trLRH	RD Lowパルス幅	365		3.0tCLCL-10			
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	375		3.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	365		3.0tCLCL-10			

表30-14. 外部データメモリ特性 (VCC=4.5V~5.5V、SRWn1=1, SRWn0=1 (2&1待ち周期))

	シンボル	項目	8MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	16		MHz
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		325		3.0tCLCL-50		ns
12	trLRH	RD Lowパルス幅	365		3.0tCLCL-10			
14	tWHDX	WR ↑ 後 データ保持時間	240		2.0tCLCL-10			
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	375		3.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	365		3.0tCLCL-10			

表30-15. 外部データメモリ特性 (VCC=2.7V~5.5V、待ちなし)

	シンボル	項目	4MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	8		MHz
1	tLHLL	ALE Highパルス幅	235		1.0tCLCL-15			
2	tAVLL	ALE ↓ 前 下位アドレス準備時間	115		0.5tCLCL-10		1	
3A	tLLAX,ST	ライト時 ALE ↓ 後 下位アドレス保持時間	5		5			
3B	tLLAX,LD	リード時 ALE ↓ 後 下位アドレス保持時間	5		5			
4	tAVLLC	ALE ↓ 前 上位アドレス準備時間	115		0.5tCLCL-10		1	
5	tAVRL	リード時 RD ↓ 前 下位アドレス有効時間	235		1.0tCLCL-15			
6	tAVWL	ライト時 WR ↓ 前 下位アドレス有効時間	235		1.0tCLCL-15			
7	tLLWL	ALE ↓ 後 WR ↓ 遅延時間	115	130	0.5tCLCL-10	0.5tCLCL+5	2	ns
8	tLLRL	ALE ↓ 後 RD ↓ 遅延時間	115	130	0.5tCLCL-10	0.5tCLCL+5	2	
9	tDVRH	RD ↑ 前 データ準備時間	45		45			
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		190		1.0tCLCL-60		
11	tRHDX	RD ↑ 後 データ保持時間	0		0			
12	tRLRH	RD Lowパルス幅	235		1.0tCLCL-15			
13	tOVWL	WR ↓ 前 データ準備時間	105		0.5tCLCL-20		1	
14	tWHDX	WR ↑ 後 データ保持時間	235		1.0tCLCL-15			
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	250		1.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	235		1.0tCLCL-15			

注1: 一般式の定数はデューティサイクル=50%(XTAL1の外部クロックのHigh時間は半周期)と仮定した値です。

注2: 一般式の定数はデューティサイクル=50%(XTAL1の外部クロックのLow時間は半周期)と仮定した値です。

表30-16. 外部データメモリ特性 (VCC=2.7V~5.5V、SRWn1=0, SRWn0=1 (1待ち周期))

	シンボル	項目	4MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	8		MHz
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		440		2.0tCLCL-60		
12	tRLRH	RD Lowパルス幅	485		2.0tCLCL-15			ns
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	500		2.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	485		2.0tCLCL-15			

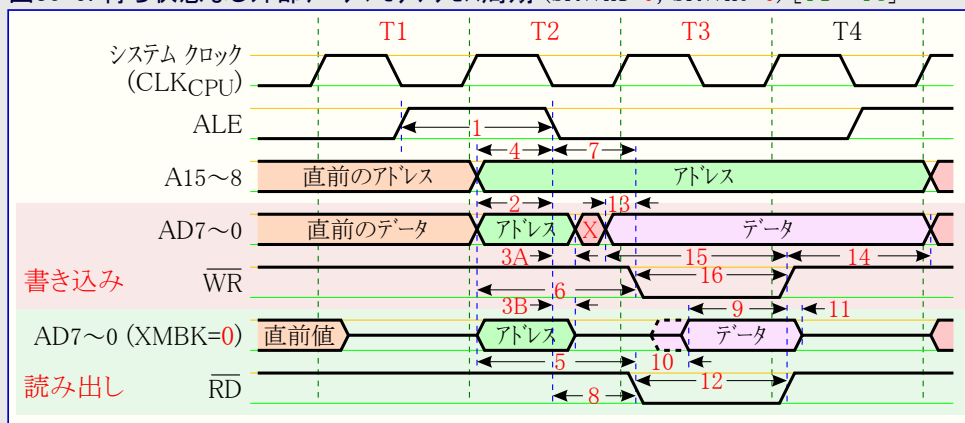
表30-17. 外部データメモリ特性 (VCC=2.7V~5.5V、SRWn1=1, SRWn0=0 (2待ち周期))

	シンボル	項目	4MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	8		MHz
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		690		3.0tCLCL-60		
12	tRLRH	RD Lowパルス幅	735		3.0tCLCL-15			ns
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	750		3.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	735		3.0tCLCL-15			

表30-18. 外部データメモリ特性 (VCC=2.7V~5.5V、SRWn1=1, SRWn0=1 (2&1待ち周期))

	シンボル	項目	4MHz時		一般式			単位
			最小	最大	最小	最大	注	
0	1/tCLCL	発振器周波数			0.0	8		MHz
10	tRLDV	RD ↓ 後 データ出力遅延時間		690		3.0tCLCL-60		
12	tRLRH	RD Lowパルス幅	735		3.0tCLCL-15			ns
14	tWHDX	WR ↑ 後 データ保持時間	485		2.0tCLCL-15			
15	tDVWH	WR ↑ 前 データ有効時間	750		3.0tCLCL			
16	tWLWH	WR Lowパルス幅	735		3.0tCLCL-15			

図30-9. 待ち状態なし外部データ メモリ アクセス周期 (SRWn1=0, SRWn0=0) [T1~T3]



共通注意事項

SRWn1はSRW11(上位領域)またはSRW01(下位領域)、SRWn0はSRW10(上位領域)またはSRW00(下位領域)です。

[T1~Tn]は図での命令実行周期範囲です。

Xは値変更区間を示します。

最終周期のALEは次命令がRAM(内部または外部)をアクセスする場合だけ存在します。また、最後の周期のアドレスとデータの変更区間の有無も同様です。

図30-10. 1待ち状態 外部データ メモリ アクセス周期 (SRWn1=0, SRWn0=1) [T1~T4]

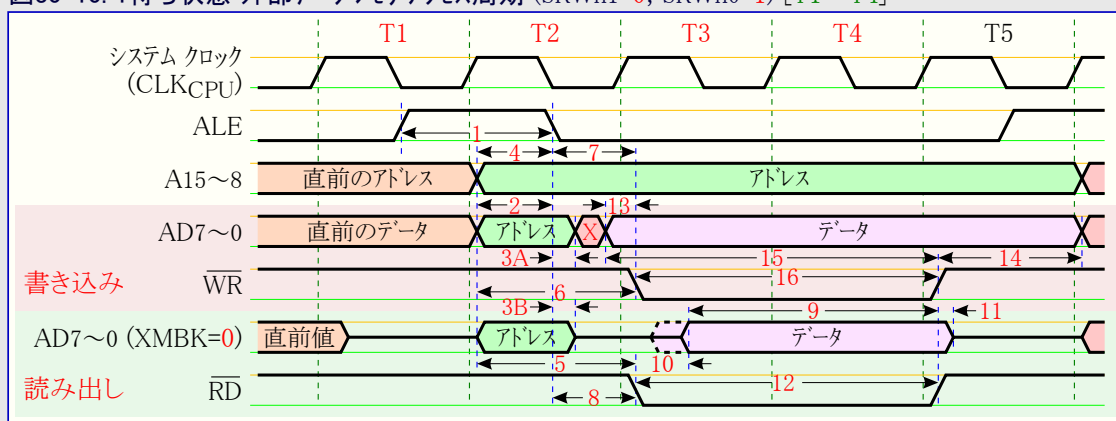


図30-11. 2待ち状態 外部データ メモリ アクセス周期 (SRWn1=1, SRWn0=0) [T1~T5]

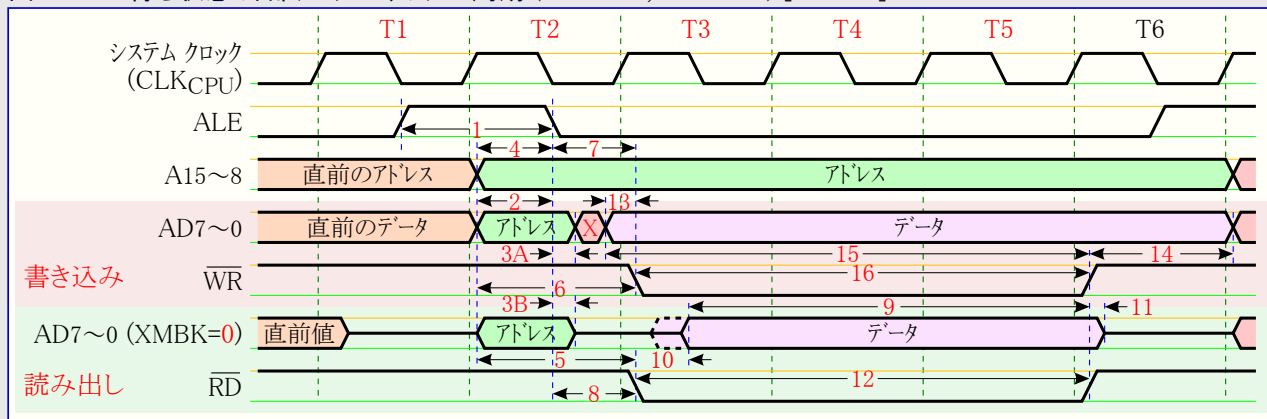
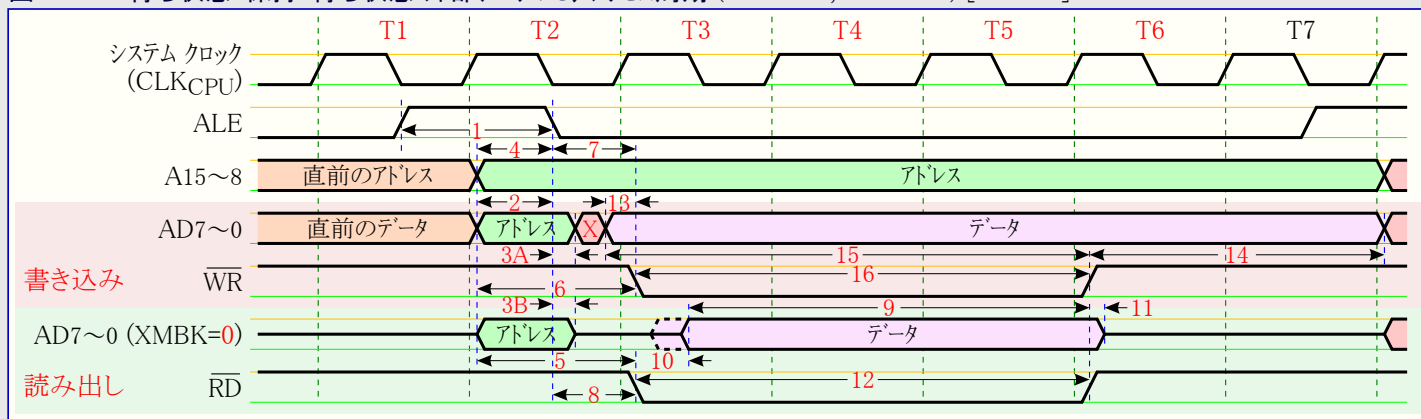


図30-12. 2待ち状態+保持1待ち状態 外部データ メモリ アクセス周期 (SRWn1=1, SRWn0=1) [T1~T6]



31. 代表特性

以下の図は代表的な特性を示します。これらの図は製造中に検査されていません。全ての消費電流測定は全I/Oピンを入力として設定した内部プルアップ許可で行われています。電源幅振幅の方形波発振器がクロック源として使われています。

活動動作とアイドル動作の消費電流測定は電力削減レジスタ(PRR)で全ビットが設定(1)で行なわれ、従って関係周辺機能部はOFFにされます。アナログ比較器もこれらの測定中に禁止されます。254頁の表31-1と表31-2はPRRによって制御される全周辺機能部に関してICCに対する追加消費電流を示します。詳細については36頁の「電力削減」をご覧ください。

パワーダウン動作での消費電力はクロック選択と無関係です。

消費電流は動作電圧、動作周波数、I/Oピンの負荷、I/Oピンの切り替え速度、命令実行、周囲温度のような様々な要素の関数です。支配的な要素は動作電圧と動作周波数です。

容量性負荷のピンの引き込み電流は(1つのピンに対して) $C_L(\text{負荷容量}) \times V_{CC}(\text{動作電圧}) \times f(\text{I/Oピンの平均切り替え周波数})$ として推測できます。

デバイスは検査範囲よりも高い周波数特性を示します。デバイスは注文番号が示す周波数よりも高い周波数での機能特性を保証されません。

ウォッチドッグタイマ許可のパワーダウン動作での消費電流とウォッチドッグタイマ禁止のパワーダウン動作での消費電流間の違いは、ウォッチドッグタイマによって引き込んだ(消費した)差電流を表します。

31.1. 活動動作消費電流

図31-1. 活動動作消費電流 対 周波数 (100kHz～1MHz)

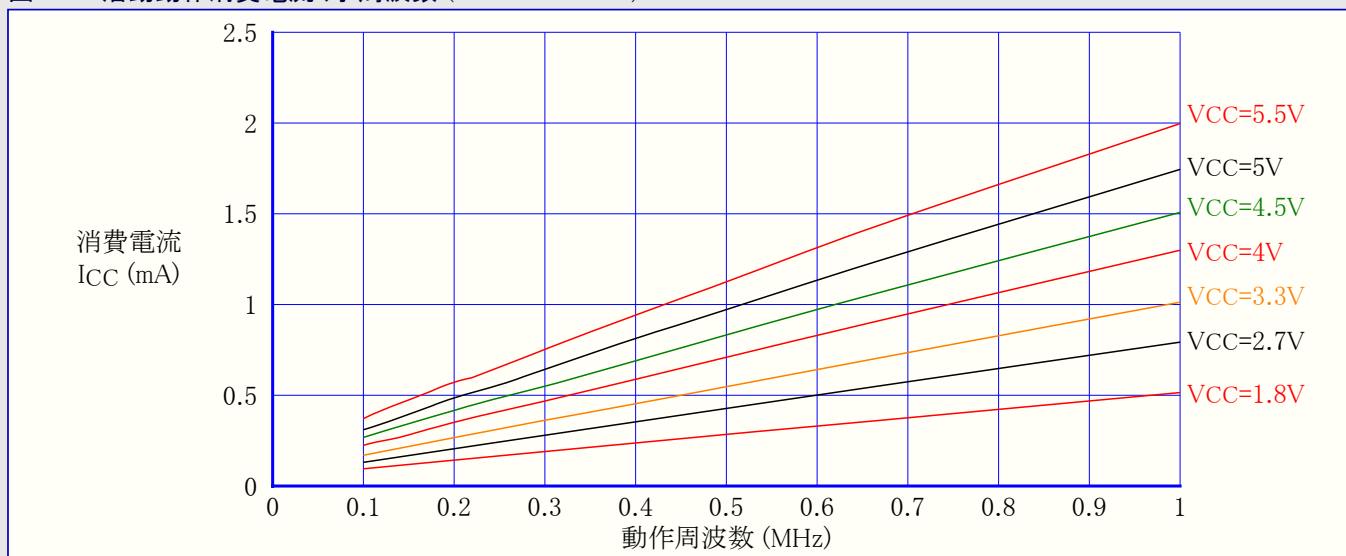


図31-2. 活動動作消費電流 対 周波数 (1MHz～16MHz)

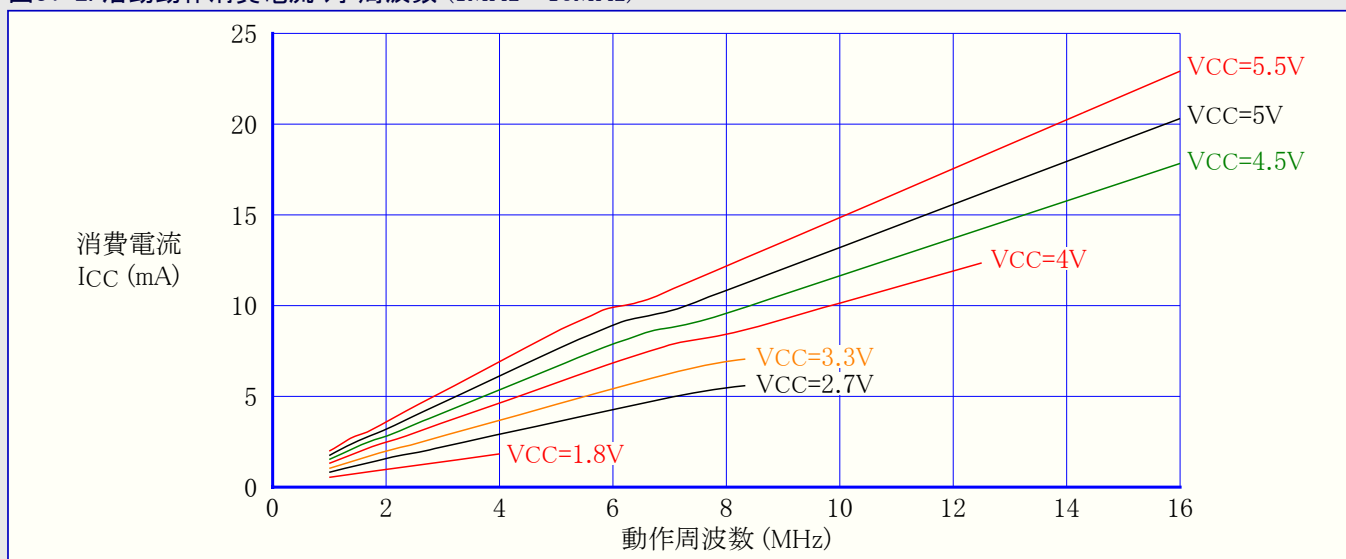


図31-3. 活動動作消費電流 対 動作電圧 (内蔵RC発振器,8MHz)

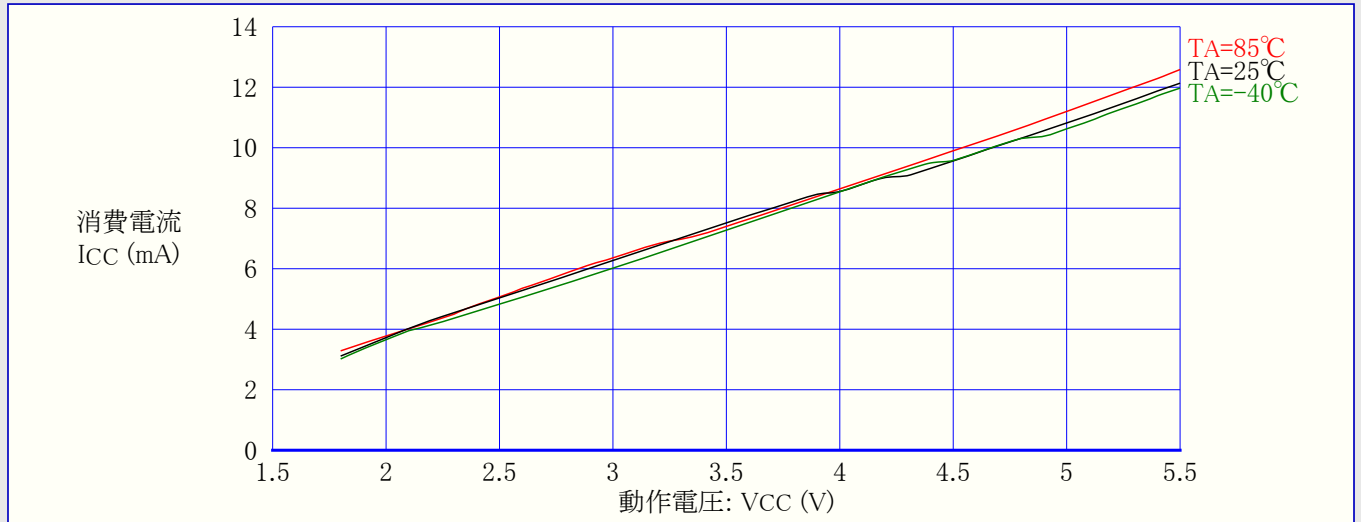


図31-4. 活動動作消費電流 対 動作電圧 (内蔵RC発振器,CKDIV8=プログラム(0),1MHz)

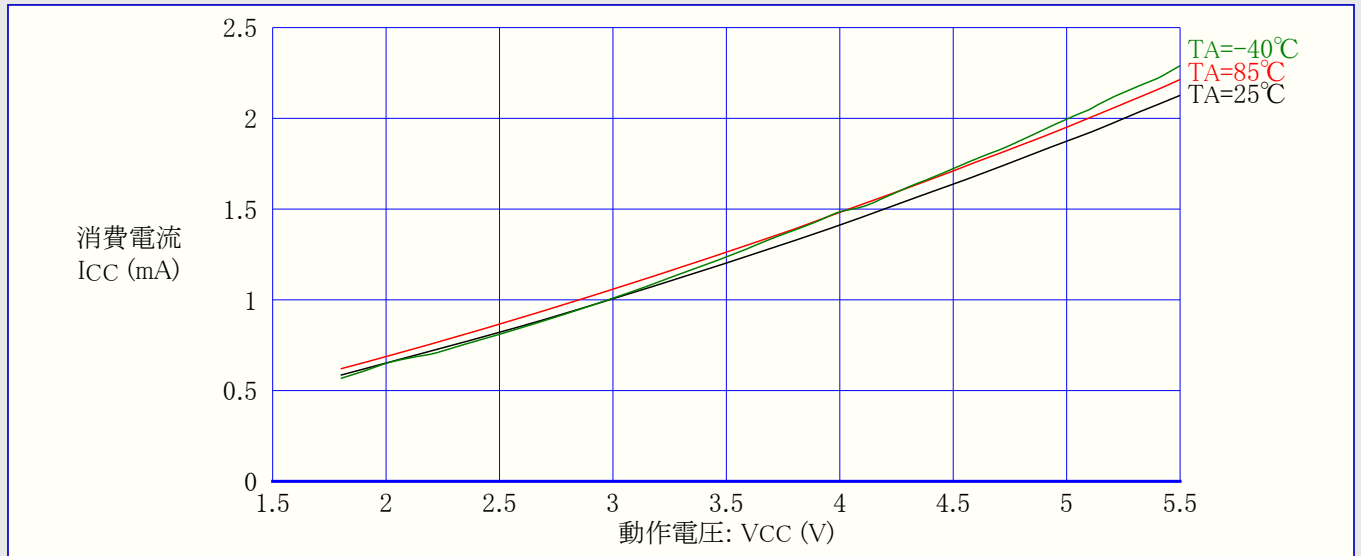
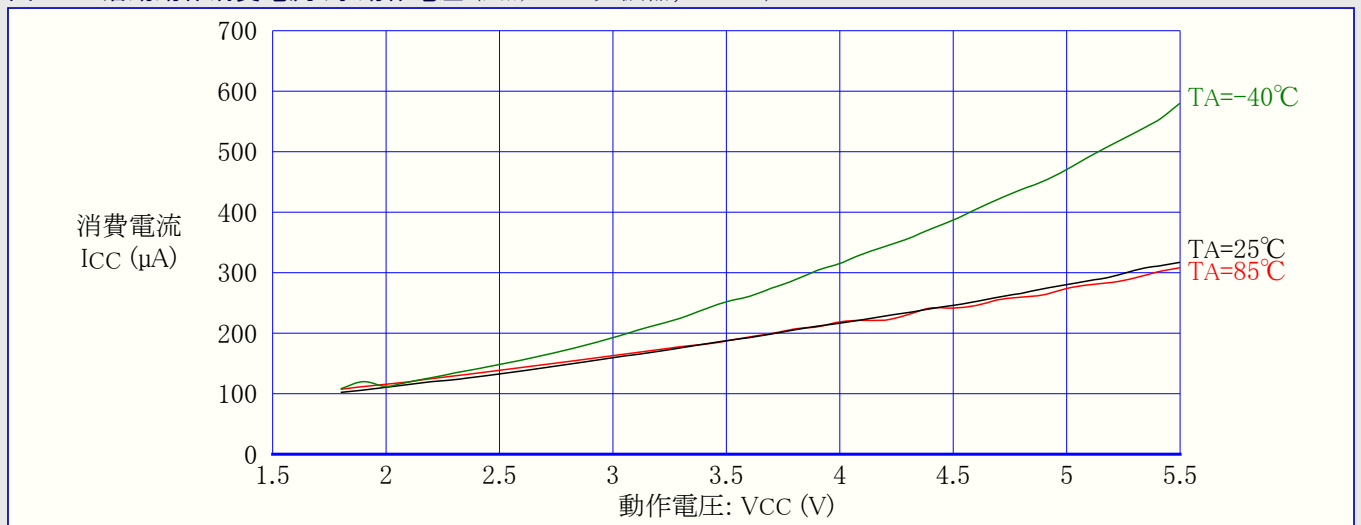


図31-5. 活動動作消費電流 対 動作電圧 (内蔵WDT発振器,128kHz)



31.2. アイドル動作消費電流

図31-6. アイドル動作消費電流 対 周波数 (100kHz～1MHz)

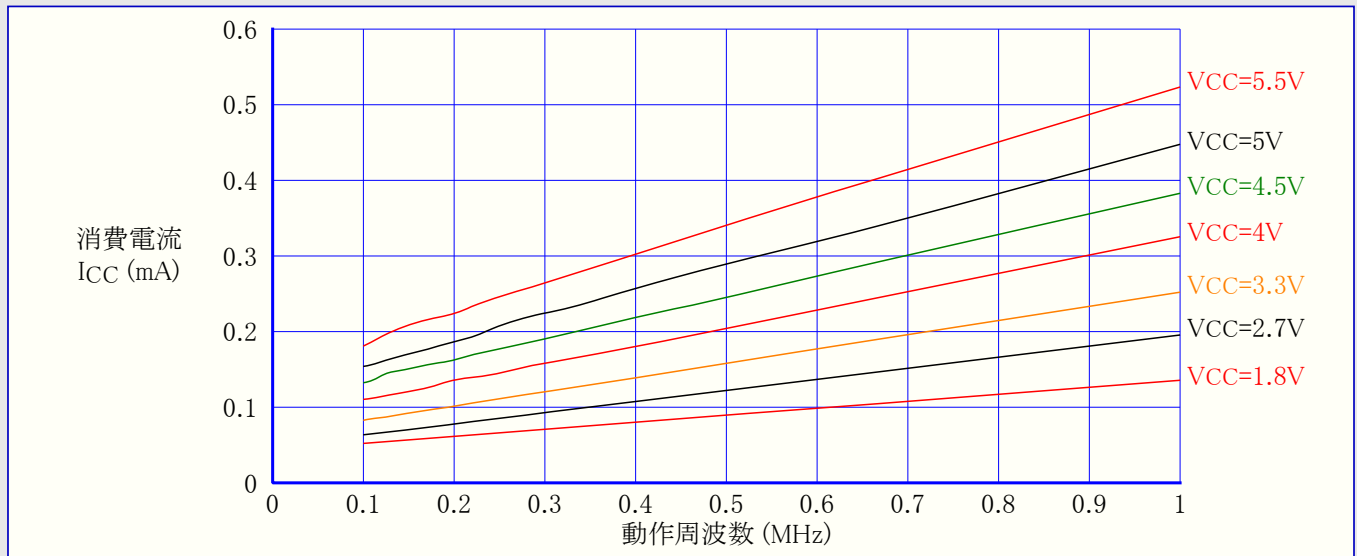


図31-7. アイドル動作消費電流 対 周波数 (1MHz～16MHz)

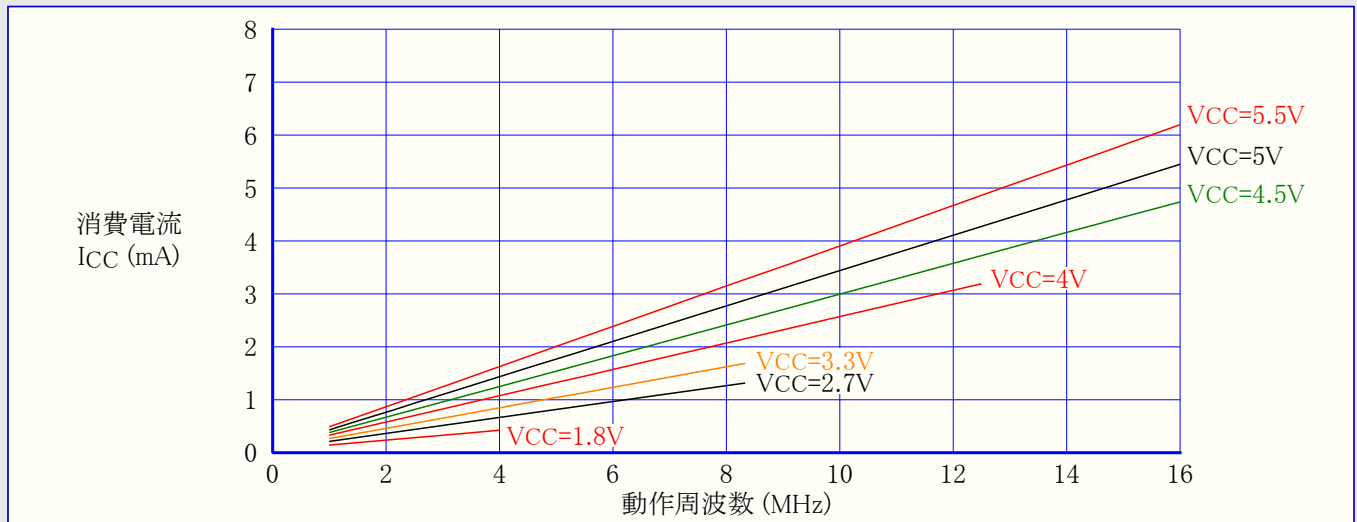


図31-8. アイドル動作消費電流 対 動作電圧 (内蔵RC発振器,8MHz)

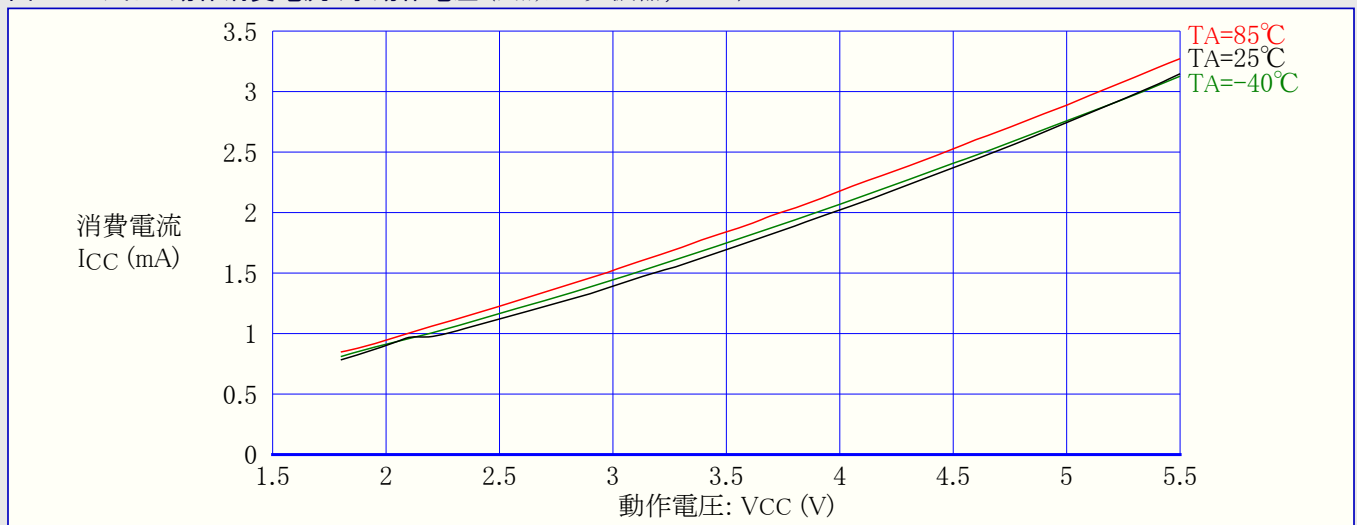


図31-9. アイドル動作消費電流 対 動作電圧 (内蔵RC発振器,CKDIV8=プログラム(0),1MHz)

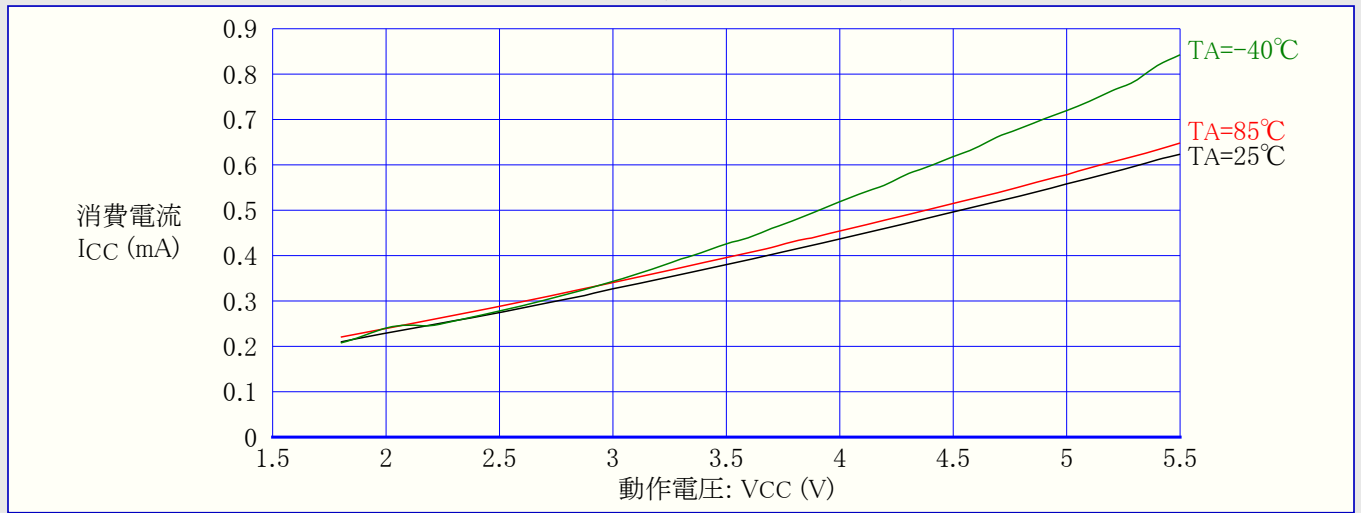
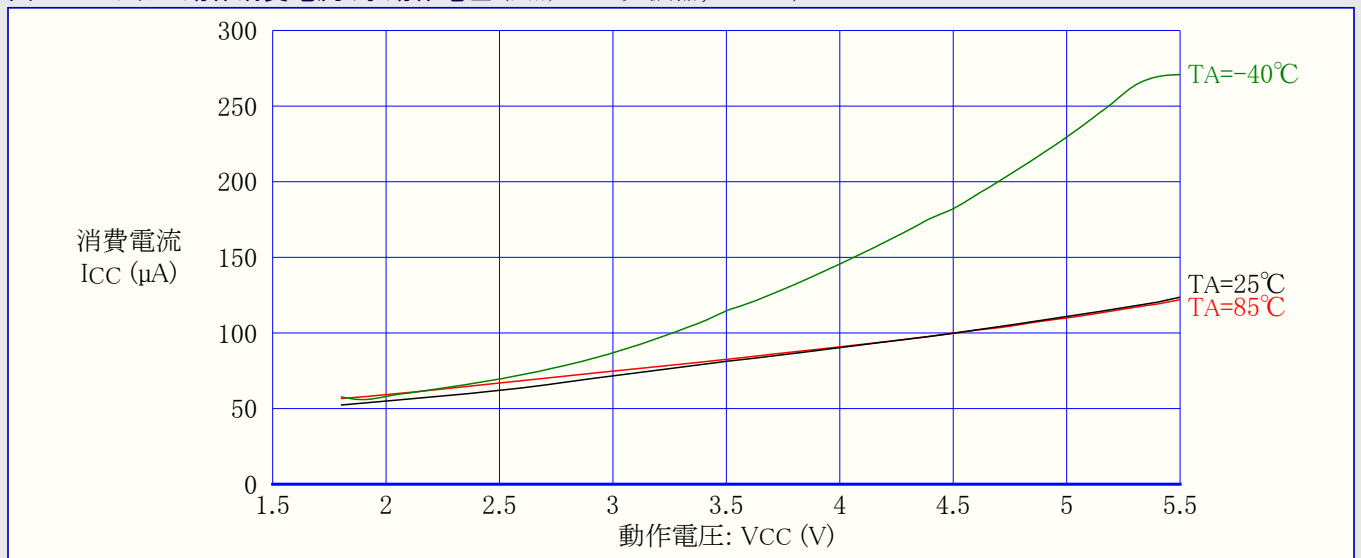


図31-10. アイドル動作消費電流 対 動作電圧 (内蔵WDT発振器,128kHz)



31.3. 周辺機能部供給電流

以下の表と式は活動動作とアイドル動作で個別周辺機能部に対する追加消費電流の計算に使えます。周辺機能部の許可や禁止は電力削減レジスタによって制御されます。詳細については36頁の「電力削減」をご覧ください。

表31-1. 各部追加消費電流 (絶対値: μA)

PRR内ビット	1MHz,2V	4MHz,3V	8MHz,5V
PRUSART3	8.0	51	220
PRUSART2	8.0	51	220
PRUSART1	8.0	51	220
PRUSART0	8.0	51	220
PRTWI	12	75	315
PRTIM5	6.0	39	150
PRTIM4	6.0	39	150
PRTIM3	6.0	39	150
PRTIM2	11	72	300
PRTIM1	6.0	39	150
PRTIM0	4.0	24	100
PRSPI	15	95	400
PRADC	12	75	315

表31-2. 各部追加消費電流 (相対値: %)

PRR内ビット	活動動作(図31-1,図31-2)	アイドル動作(図31-6,図31-7)
PRUSART3	3.0	17
PRUSART2	3.0	17
PRUSART1	3.0	17
PRUSART0	3.0	17
PRTWI	4.4	24
PRTIM5	1.8	10
PRTIM4	1.8	10
PRTIM3	1.8	10
PRTIM2	4.3	23
PRTIM1	1.8	10
PRTIM0	1.5	8.0
PRSPI	3.3	18
PRADC	4.5	24

表31-1.で一覧される以外のVCCと周波数設定については表31-2.からの数値を元に代表的な消費電流を計算できます。

例1: VCC=2V, $f=1\text{MHz}$ でUSART0, TWI, タイマ/カウンタ1が許可されたアイドル動作での予測される消費電流を計算します。表31-2.のアイドル動作列からUSART0が17%、TWIが24%、タイマ/カウンタ1が10%追加する必要があります。図31-6.を読み、VCC=2V, $f=1\text{MHz}$ でのアイドル動作消費電流が約0.15mAであることを得ます。USART0, TWI, タイマ/カウンタ1許可のアイドル動作での総消費電流を得ます。

$$\text{総消費電流} = 0.15\text{mA} \times (1 + 0.17 + 0.24 + 0.10) \approx 0.227\text{mA}$$

31.4. パワーダウン動作消費電流

図31-11. パワーダウン動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ禁止)

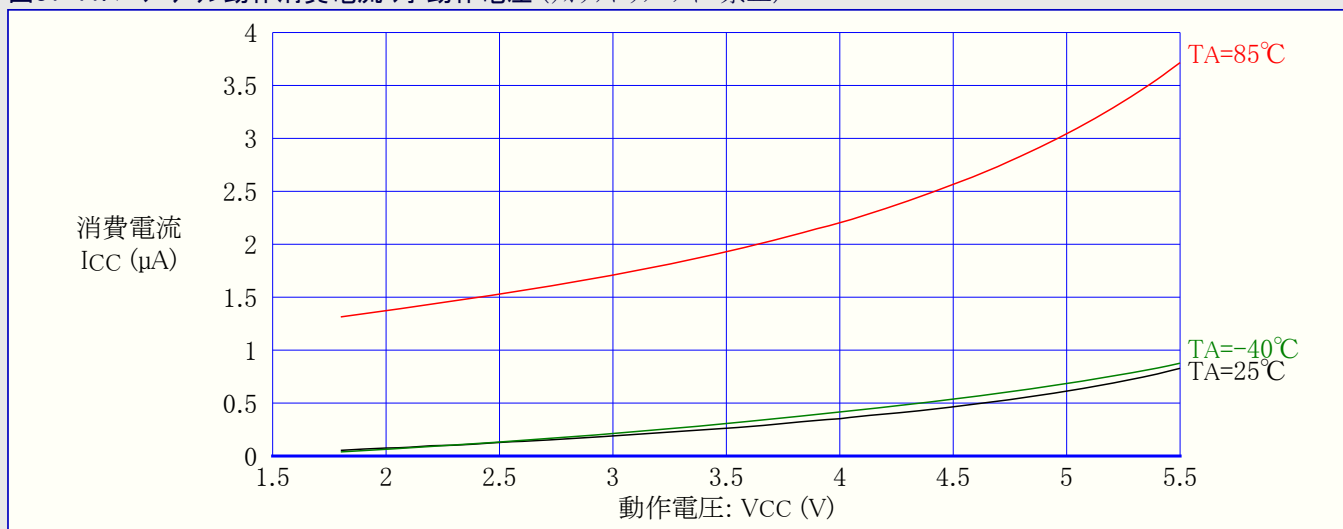
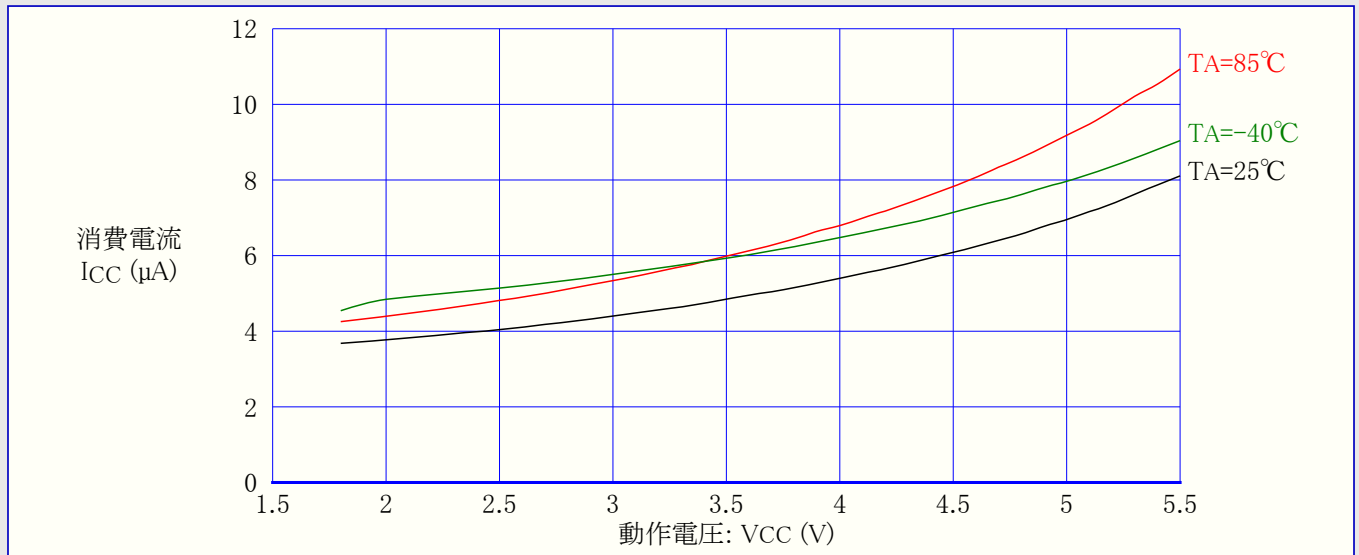


図31-12. パワーダウン動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ許可)



31.5. パワーセーブ動作消費電流

図31-13. パワーセーブ動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ禁止)

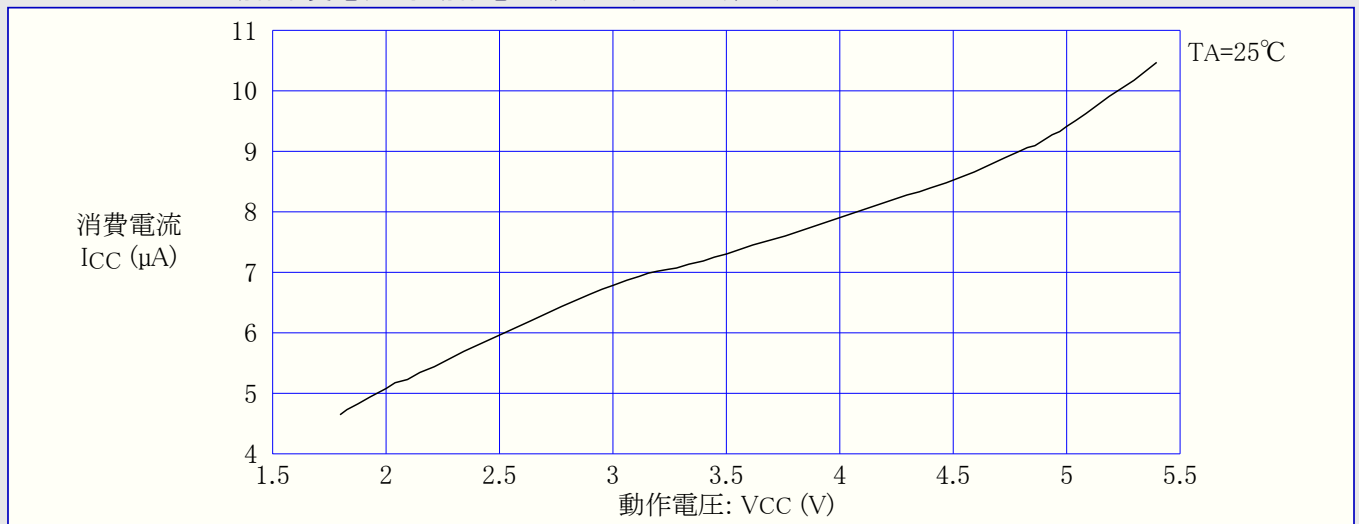
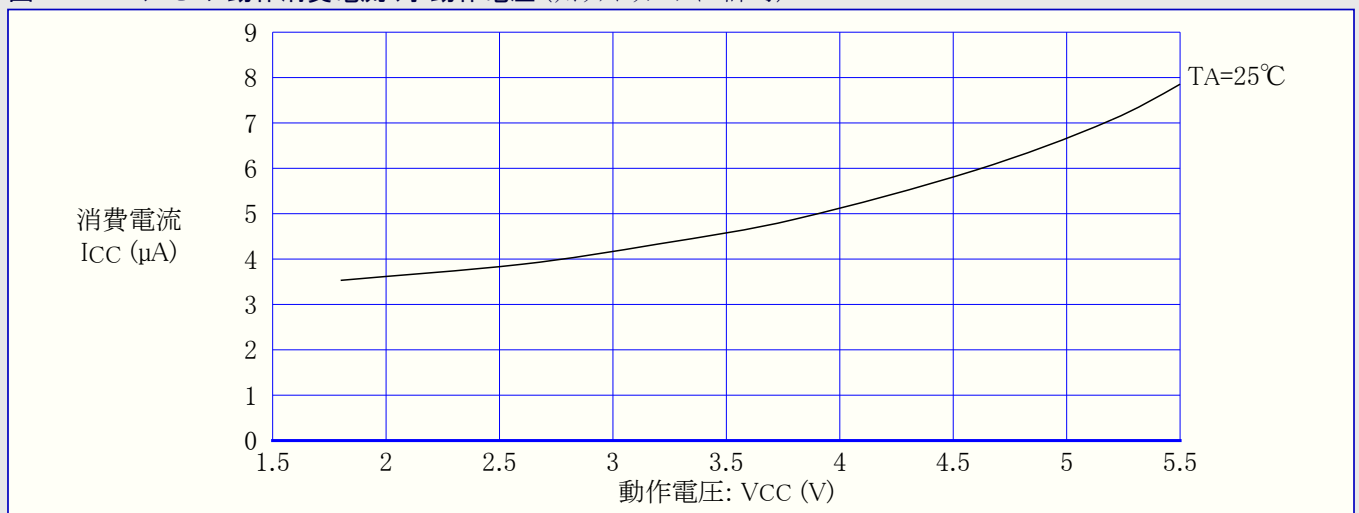
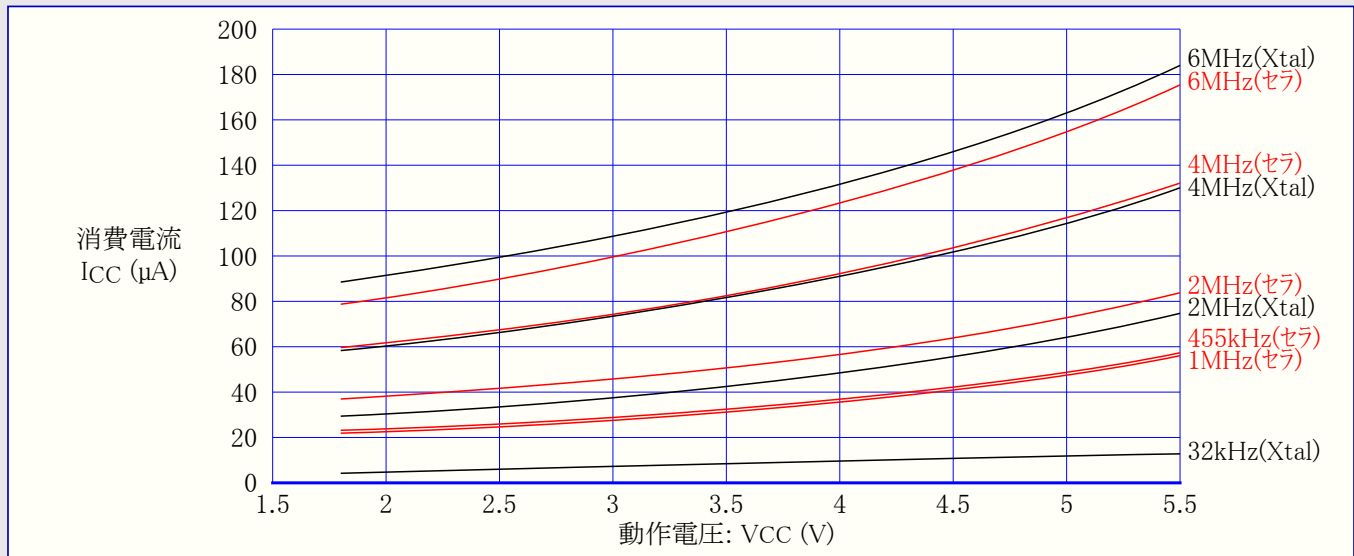


図31-14. パワーセーブ動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ許可)



31.6. スタンバイ動作消費電流

図31-15. スタンバイ動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ禁止)



注: セラはセラミック振動子

31.7. ピン プルアップ

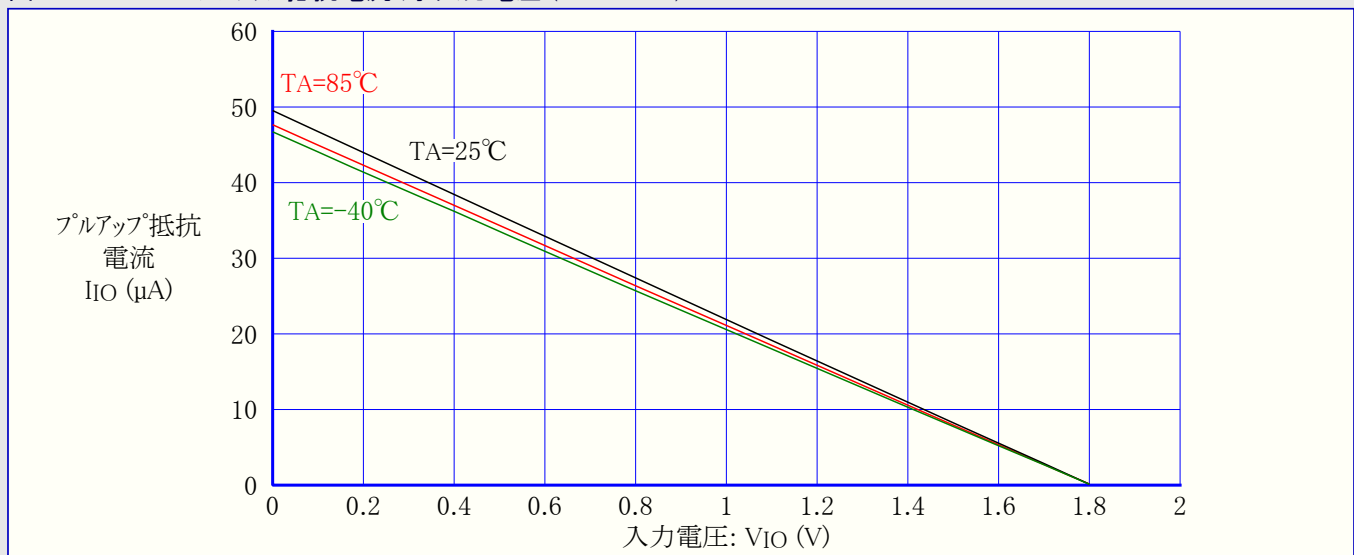
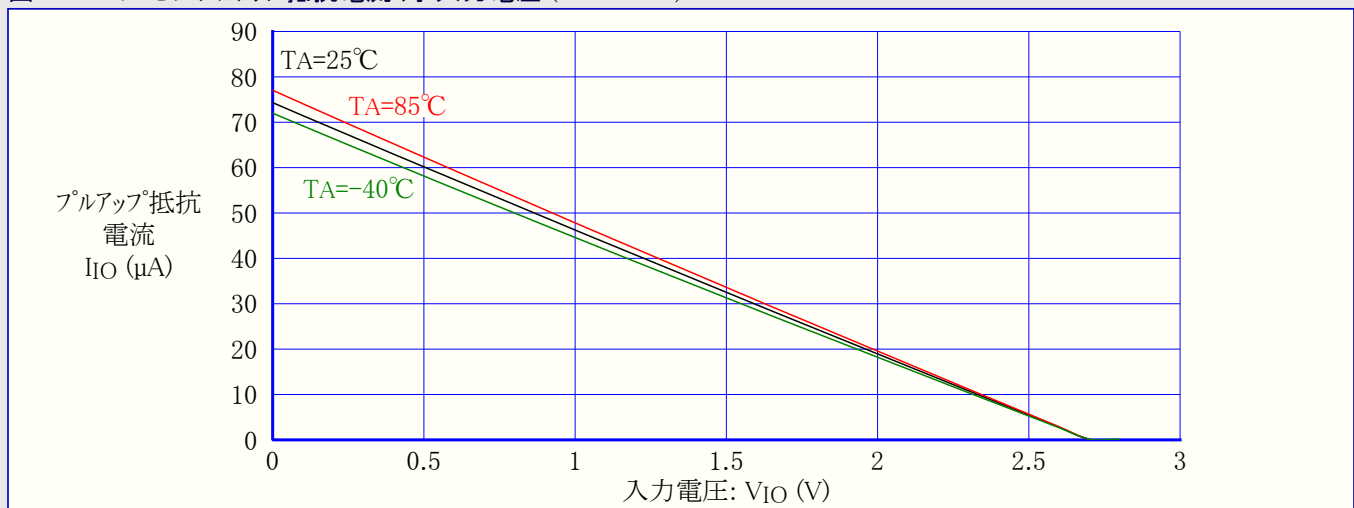
図31-16. I/Oピン プルアップ抵抗電流 対 入力電圧 ($V_{CC}=1.8V$)図31-17. I/Oピン プルアップ抵抗電流 対 入力電圧 ($V_{CC}=2.7V$)

図31-18. I/Oピンプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=5V)

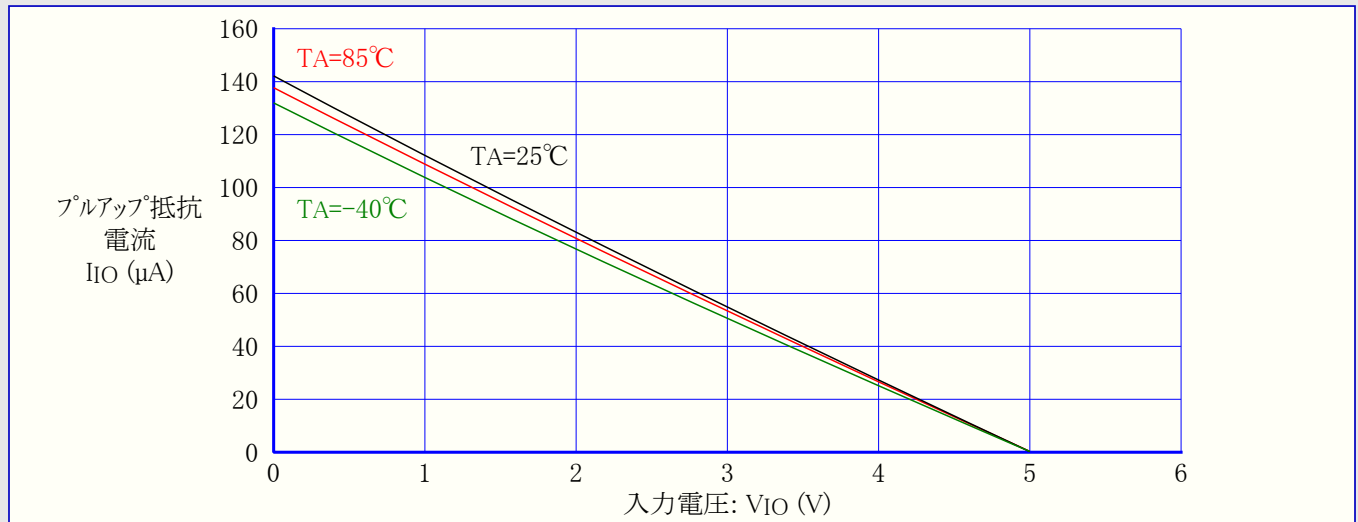


図31-19. RESETプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=1.8V)

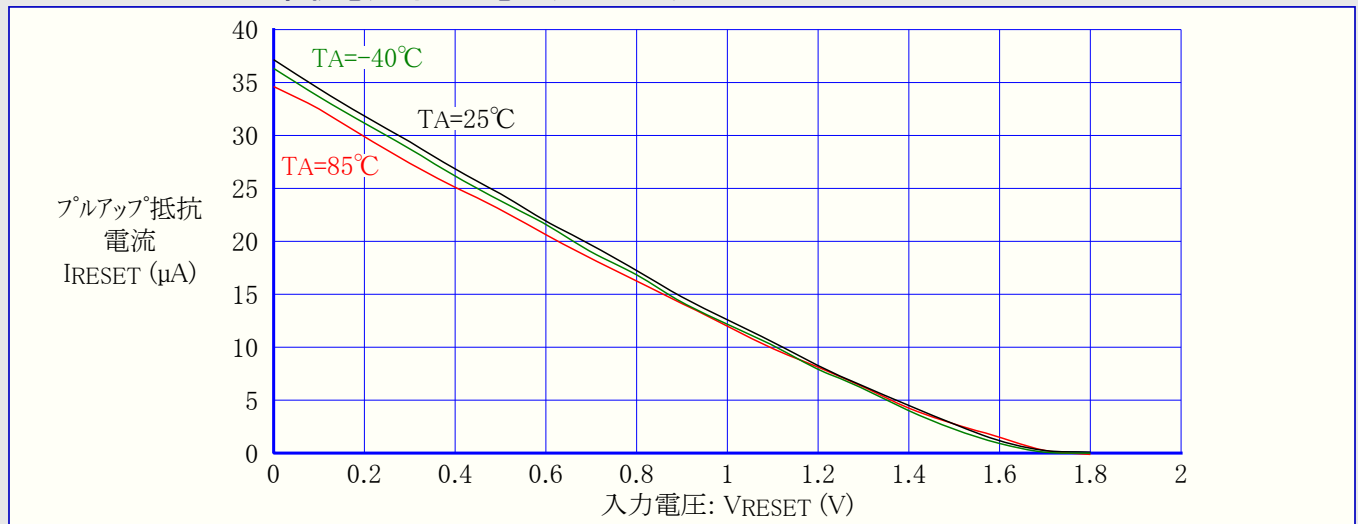


図31-20. RESETプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=2.7V)

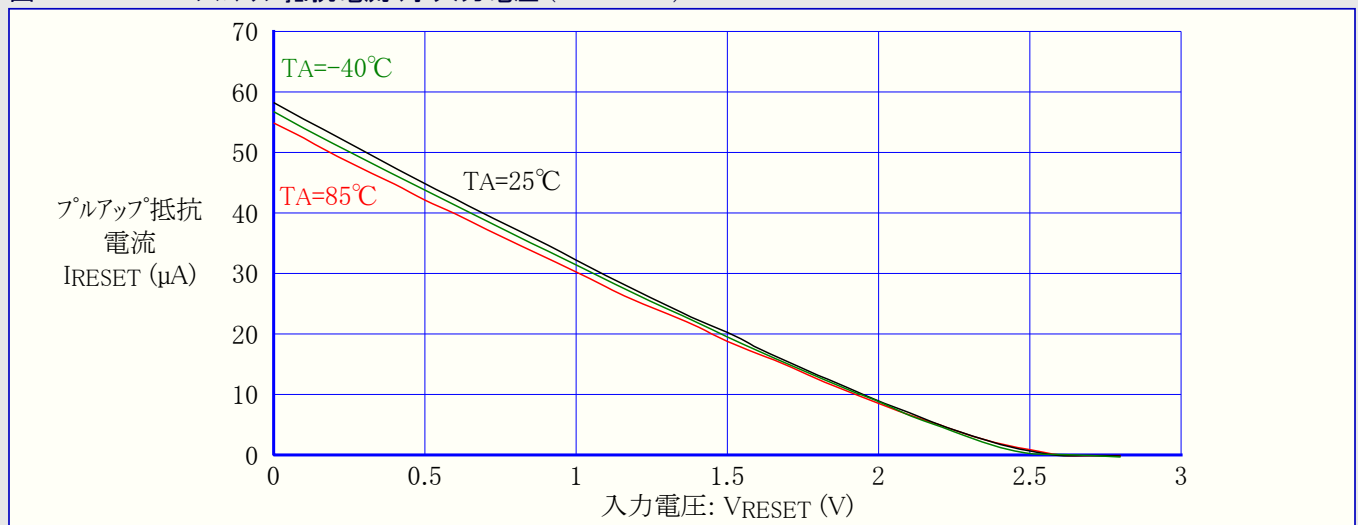
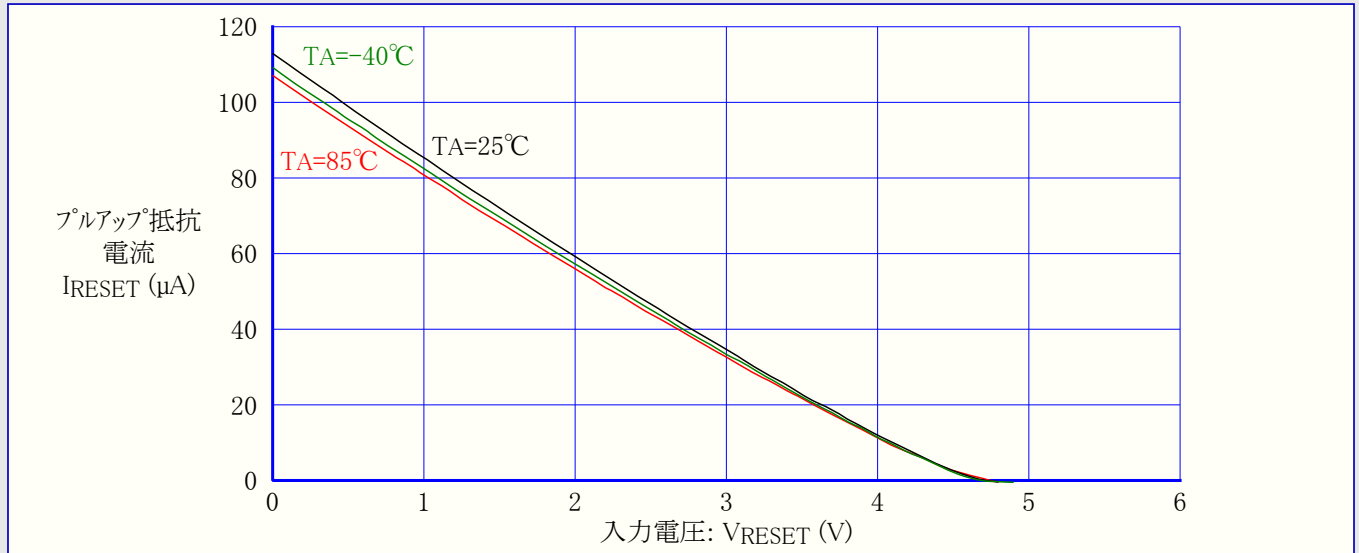


図31-21. RESETプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=5V)



31.8. ピン駆動能力

図31-22. I/Oピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=3V)

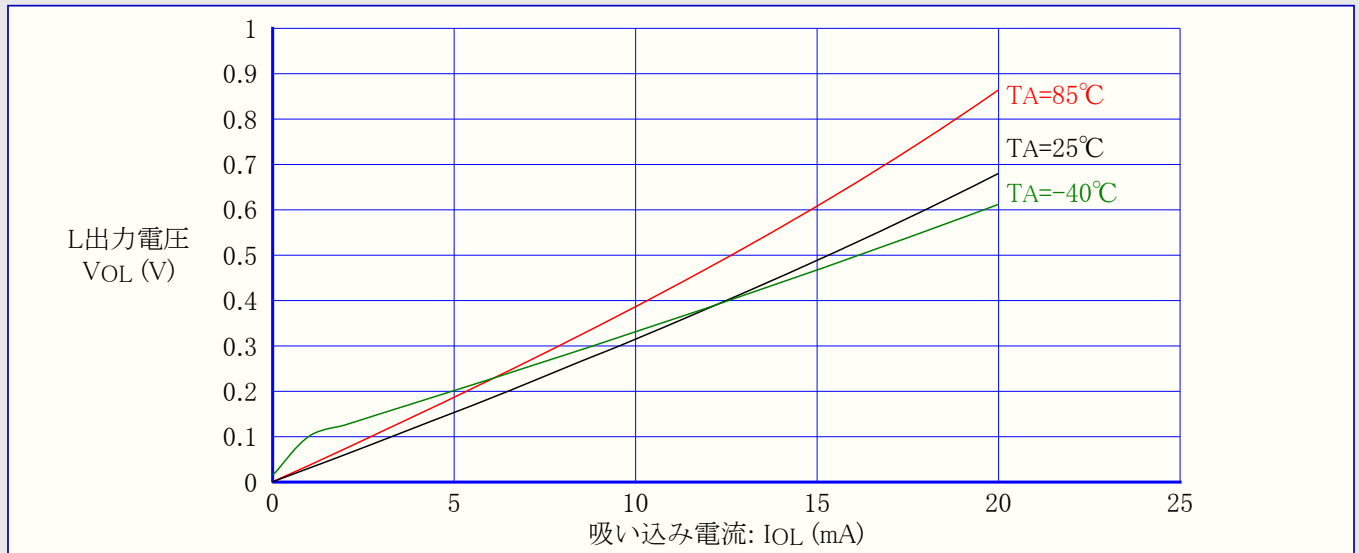


図31-23. I/Oピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=5V)

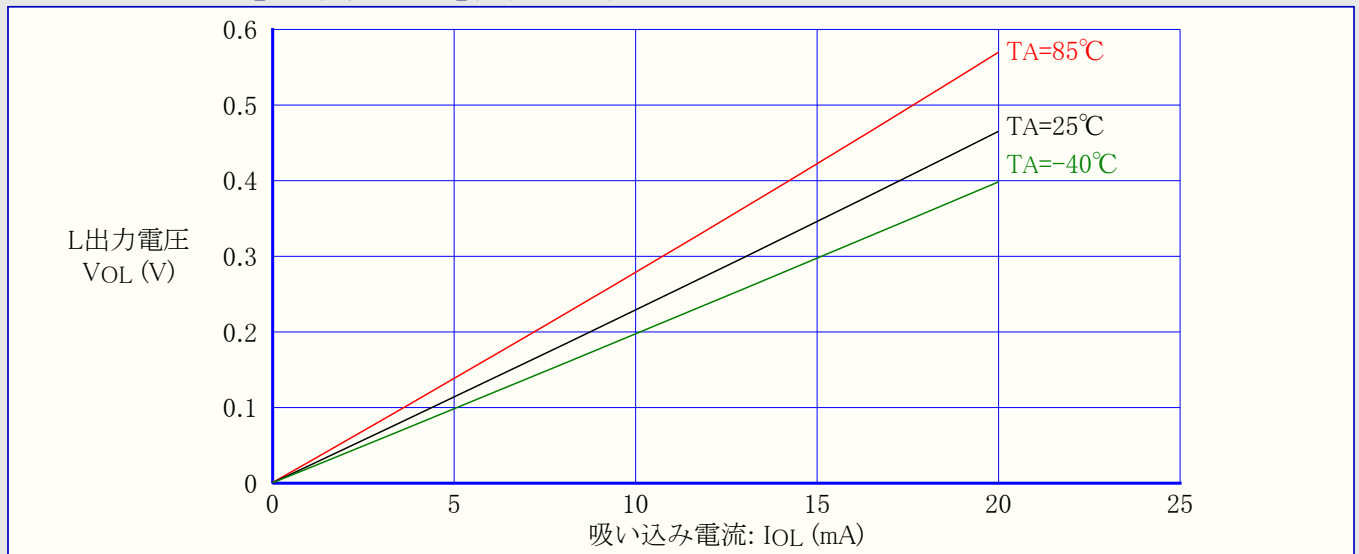


図31-24. I/Oピン出力電圧 対 吐き出し電流 (VCC=3V)

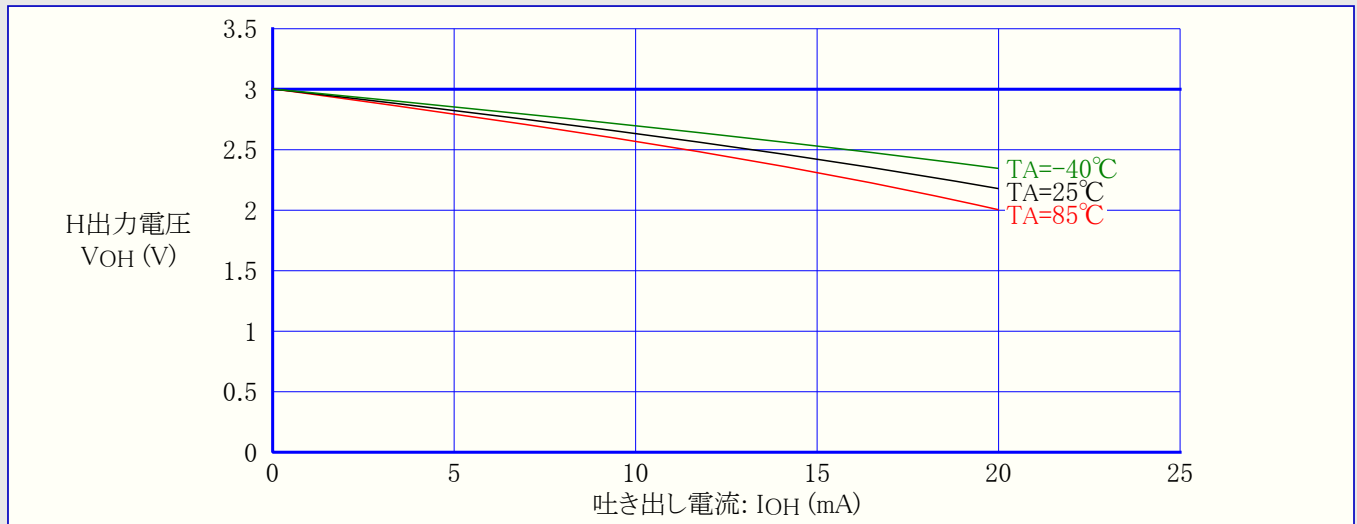
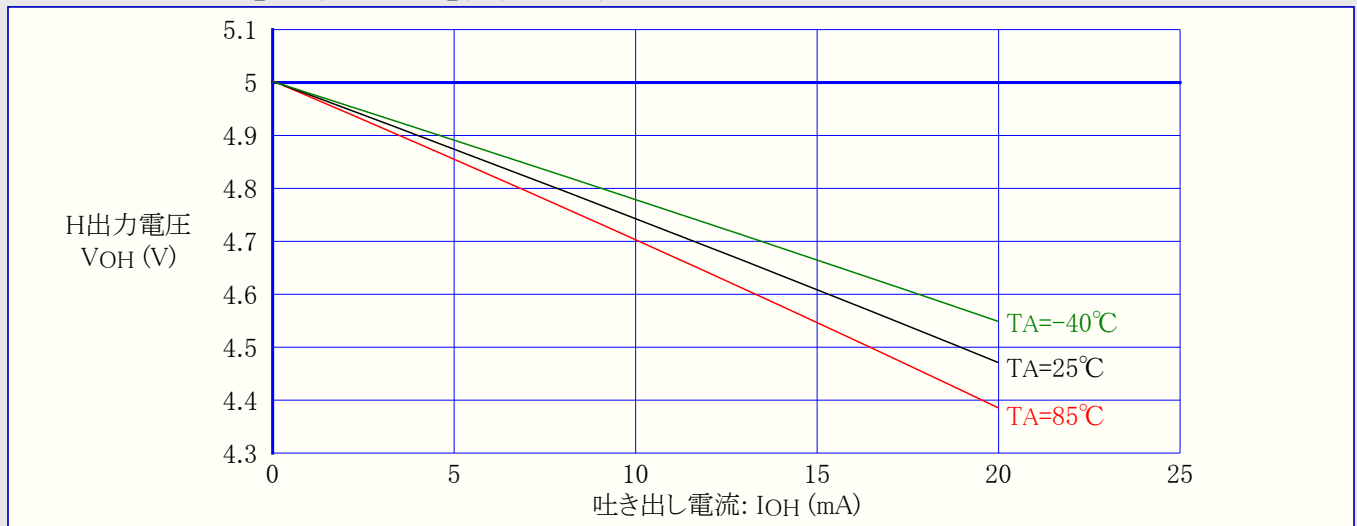


図31-25. I/Oピン出力電圧 対 吐き出し電流 (VCC=5V)



31.9. ピン 閾値とヒステリシス

図31-26. I/Oピン入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 (VIH, I読み値)

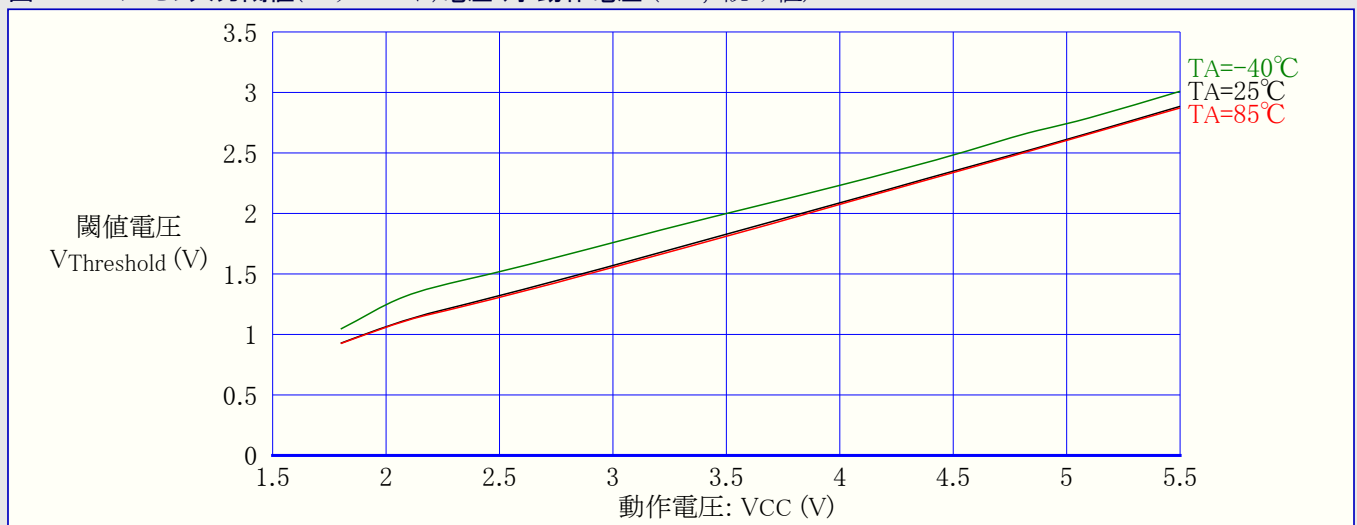


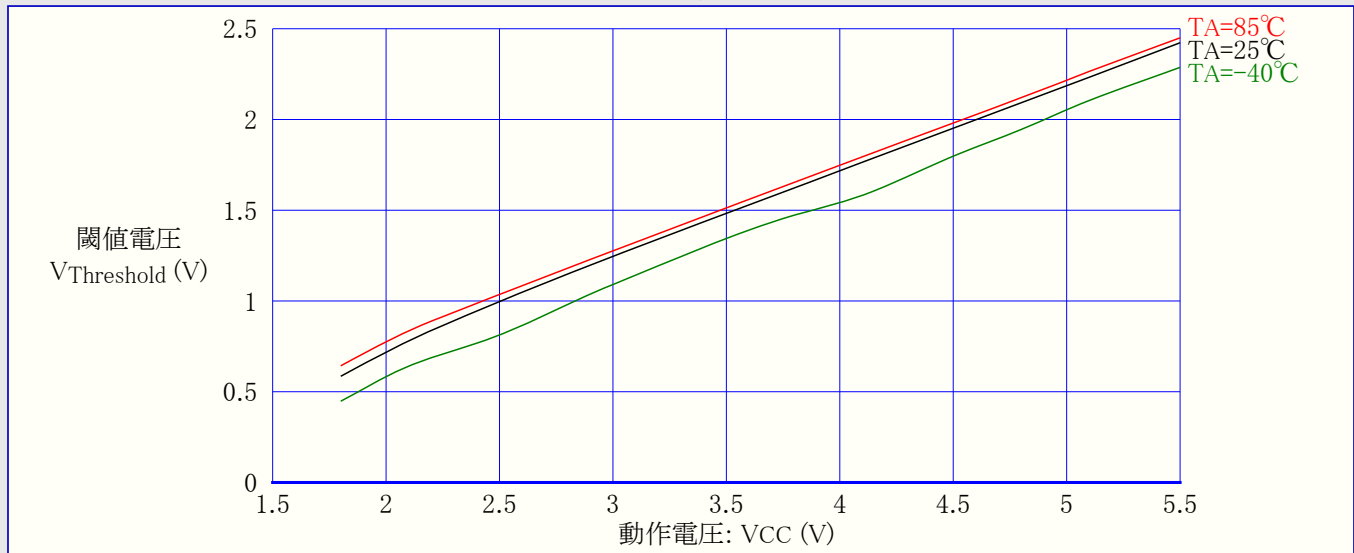
図31-27. I/Oピン入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 (V_{IL} , 0読み値)

図31-28. I/Oピン入力ヒステリシス電圧 対 動作電圧

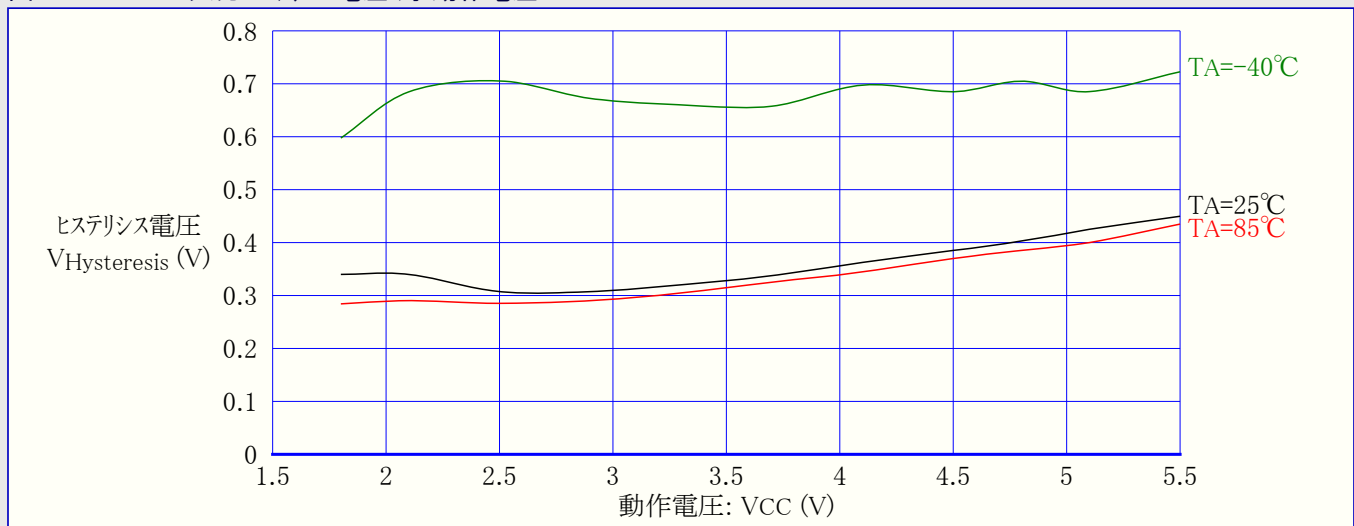
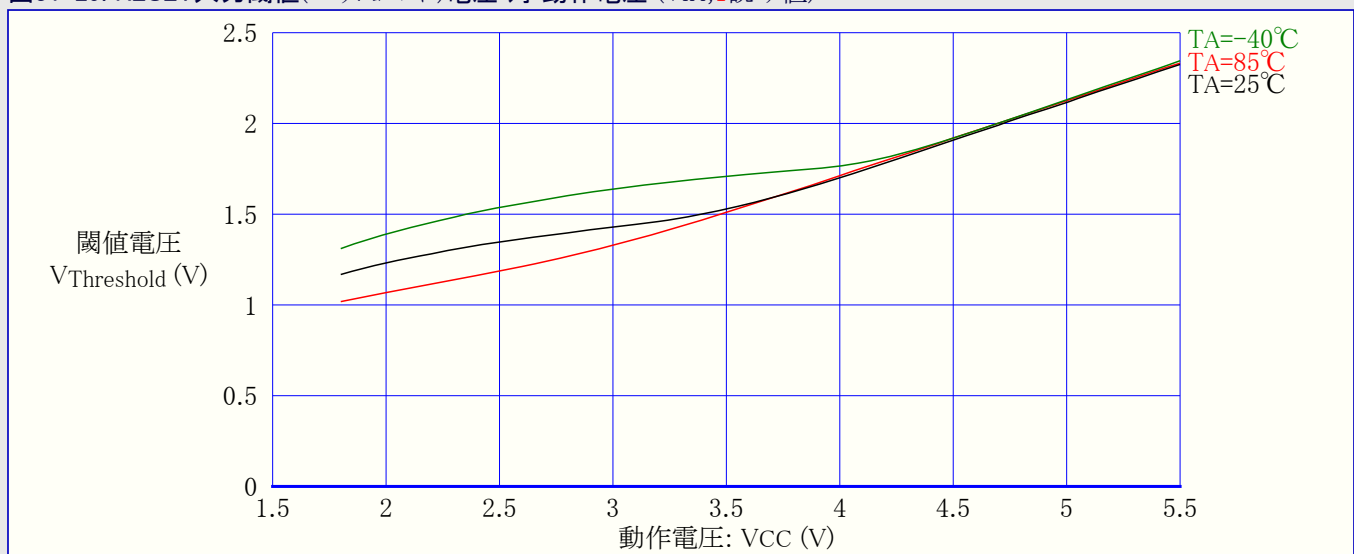
図31-29. RESET入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 (V_{IH} , 1読み値)

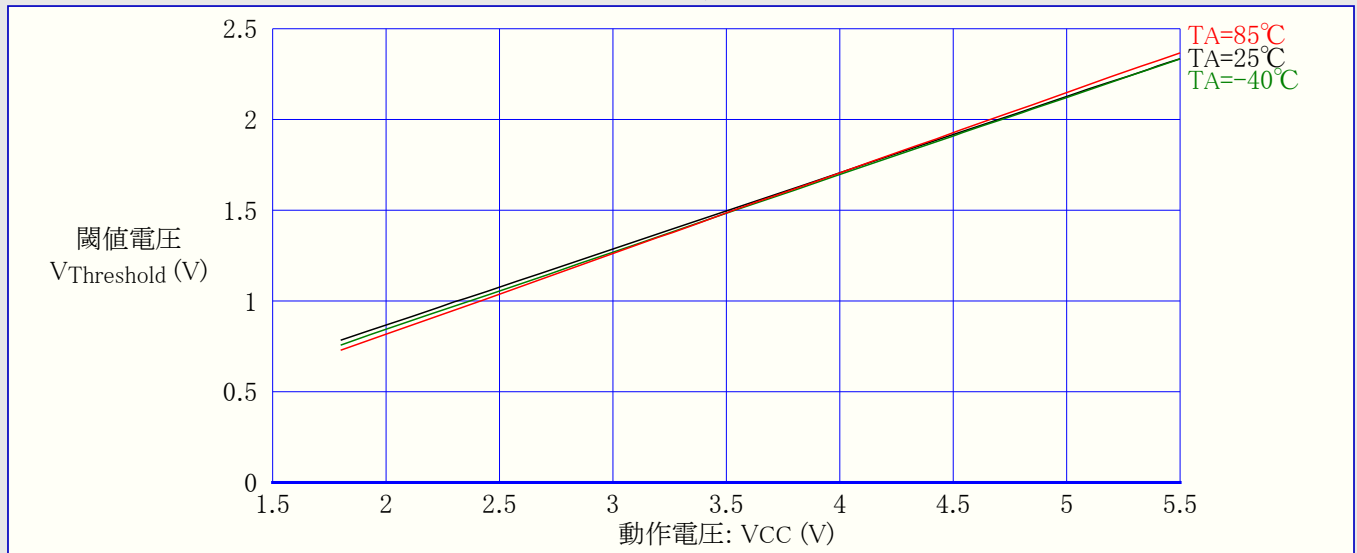
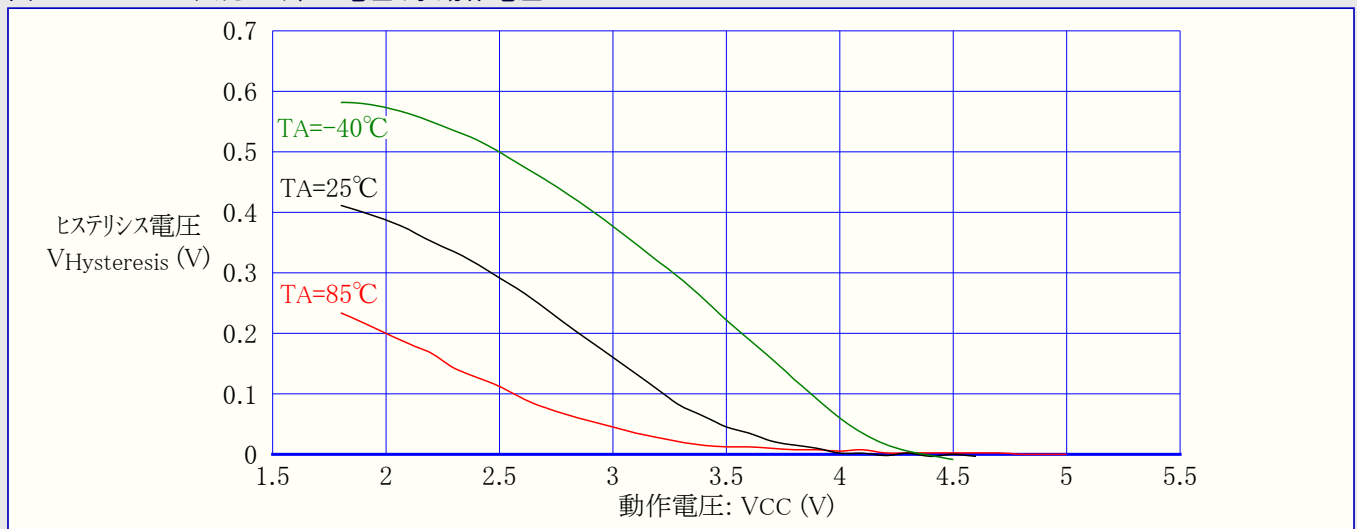
図31-30. RESET入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 ($V_{IL,0}$ 読み値)

図31-31. RESET入力ヒステリシス電圧 対 動作電圧



31.10. 低電圧検出器(BOD)閾値とアナログ比較器変位(オフセット)

図31-32. 低電圧検出器(BOD)閾値(スレッショルド)電圧 対 動作温度 (検出電圧4.3V)

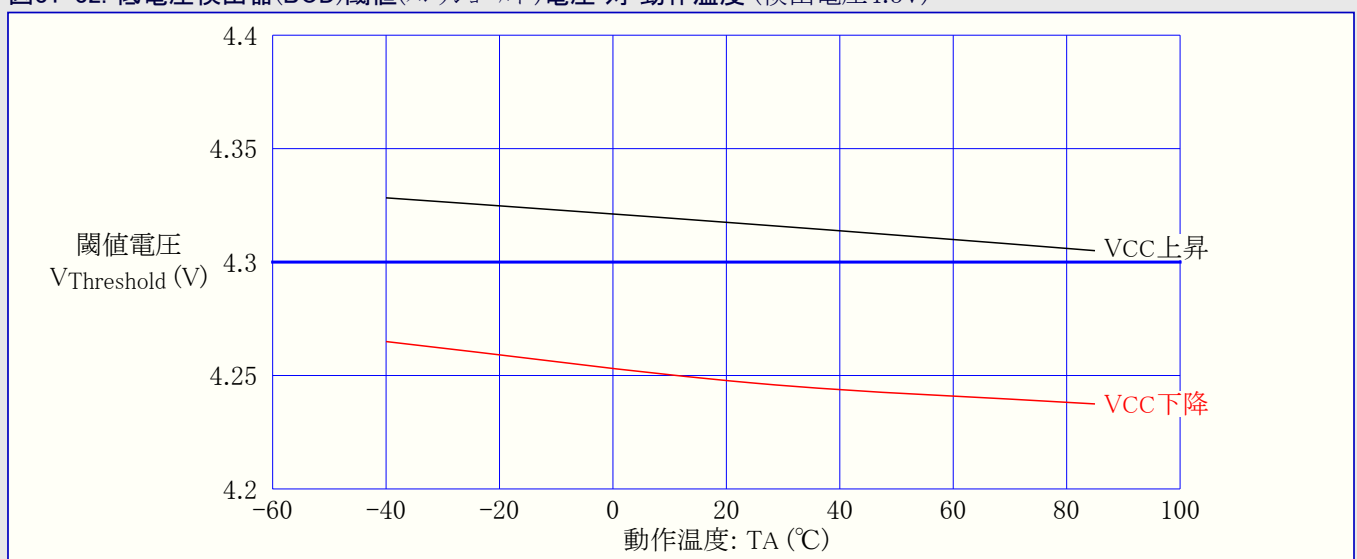


図31-33. 低電圧検出器(BOD)閾値(スレッシュホールド)電圧 対 動作温度 (検出電圧2.7V)

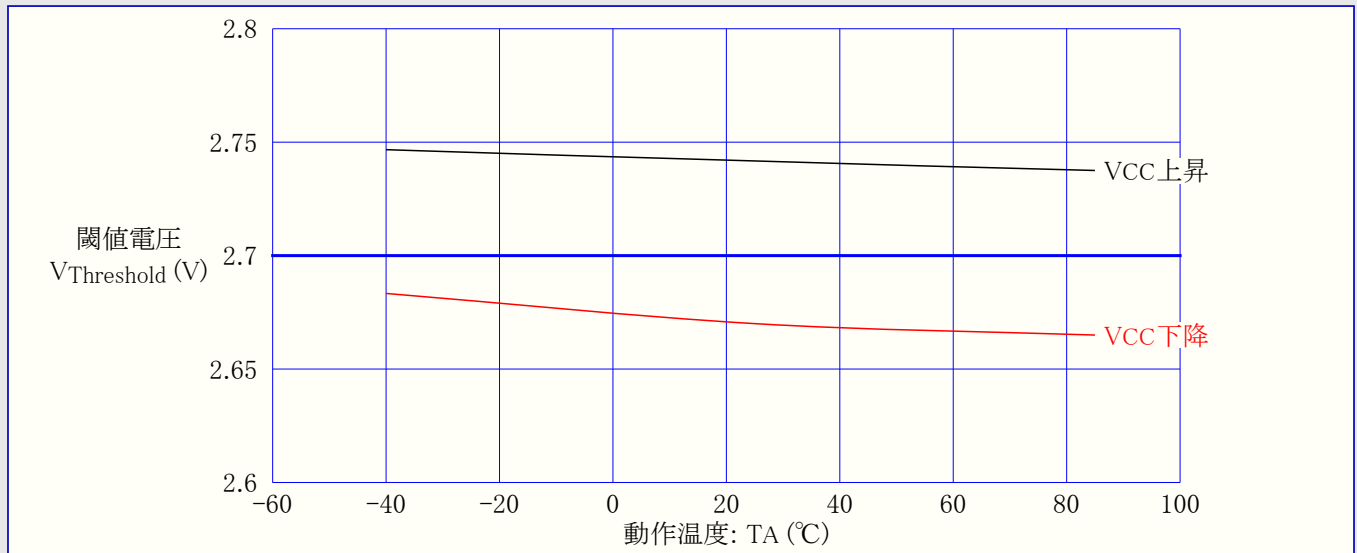
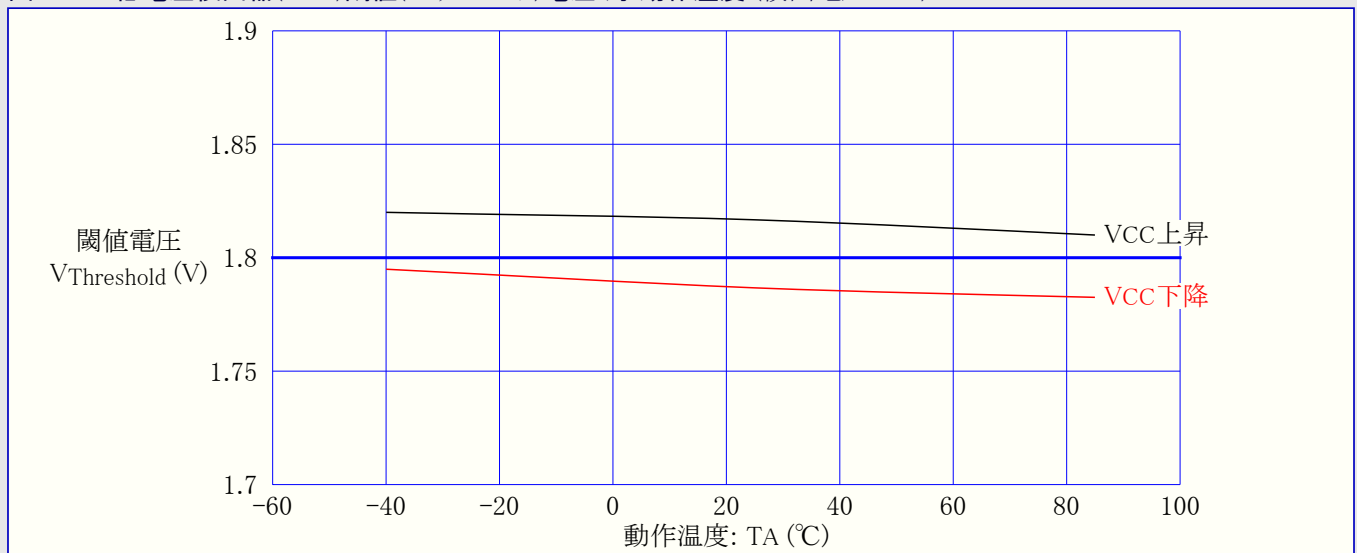


図31-34. 低電圧検出器(BOD)閾値(スレッシュホールド)電圧 対 動作温度 (検出電圧1.8V)



31.11. 内部発振器周波数

図31-35. ウォッチドッグ発振器周波数 対 動作電圧

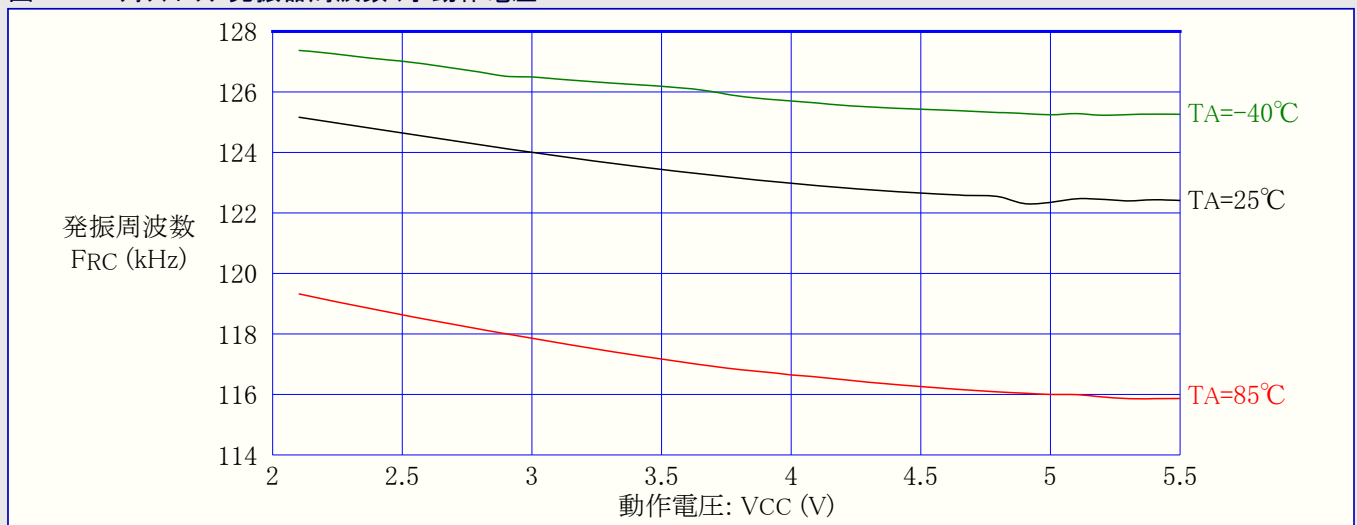


図31-36. ウォッチドッグ発振器周波数 対 動作温度

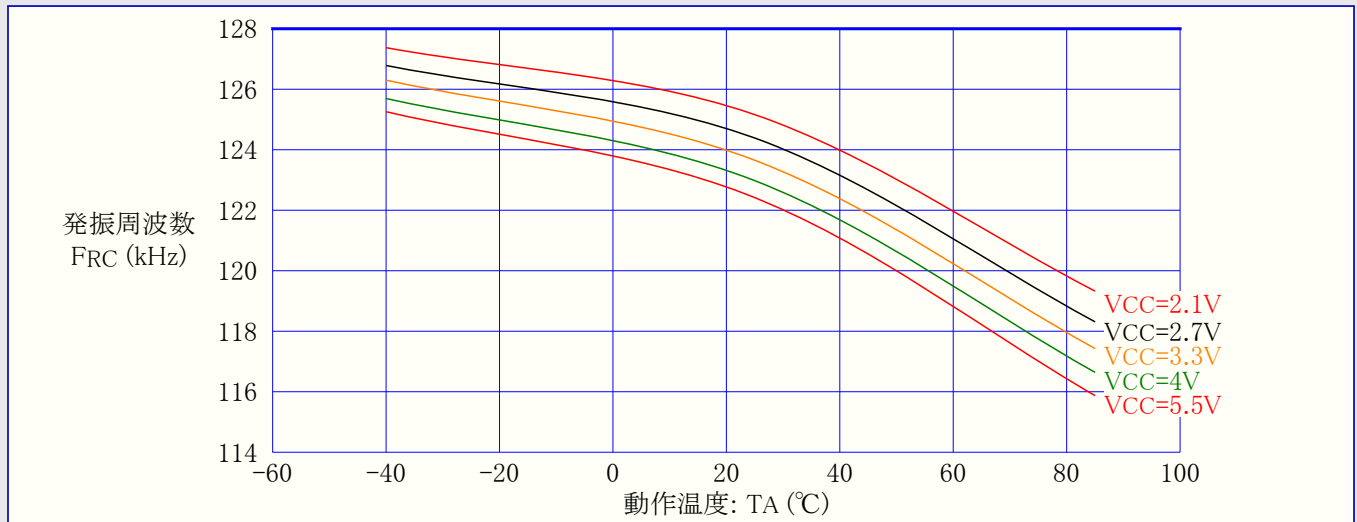


図31-37. 校正済み8MHz内蔵RC発振器周波数 対 動作電圧

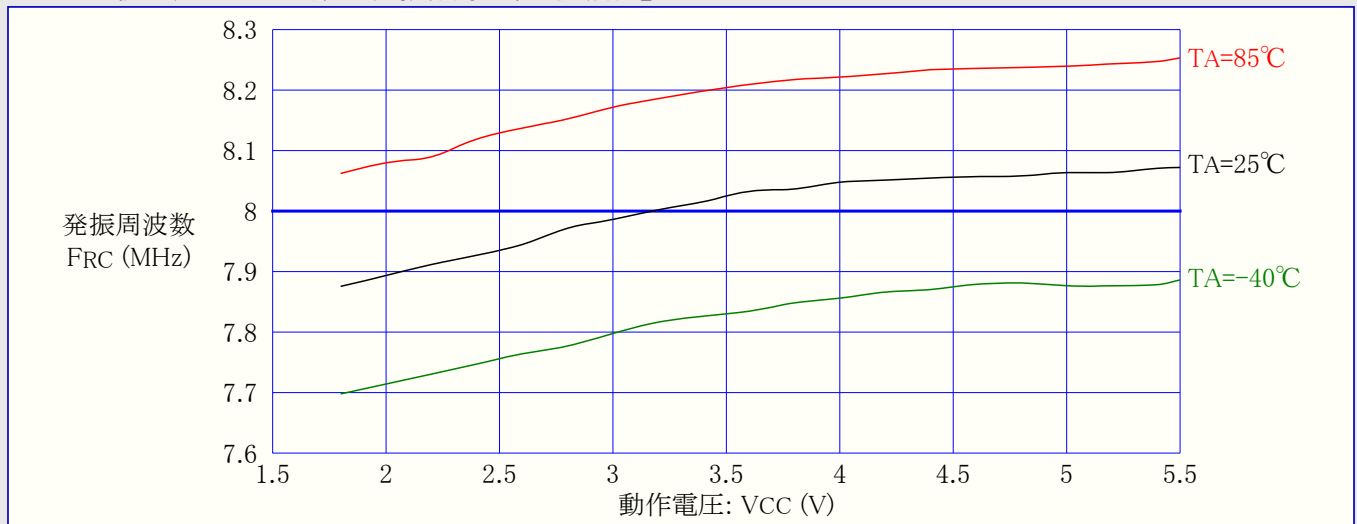


図31-38. 校正済み8MHz内蔵RC発振器周波数 対 動作温度

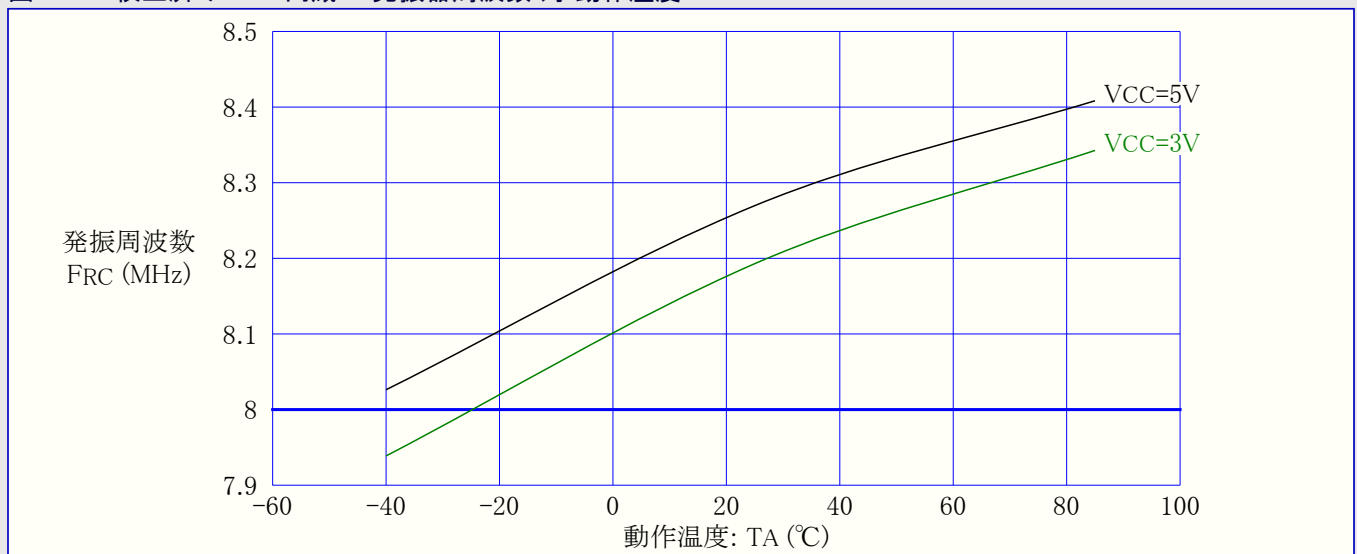
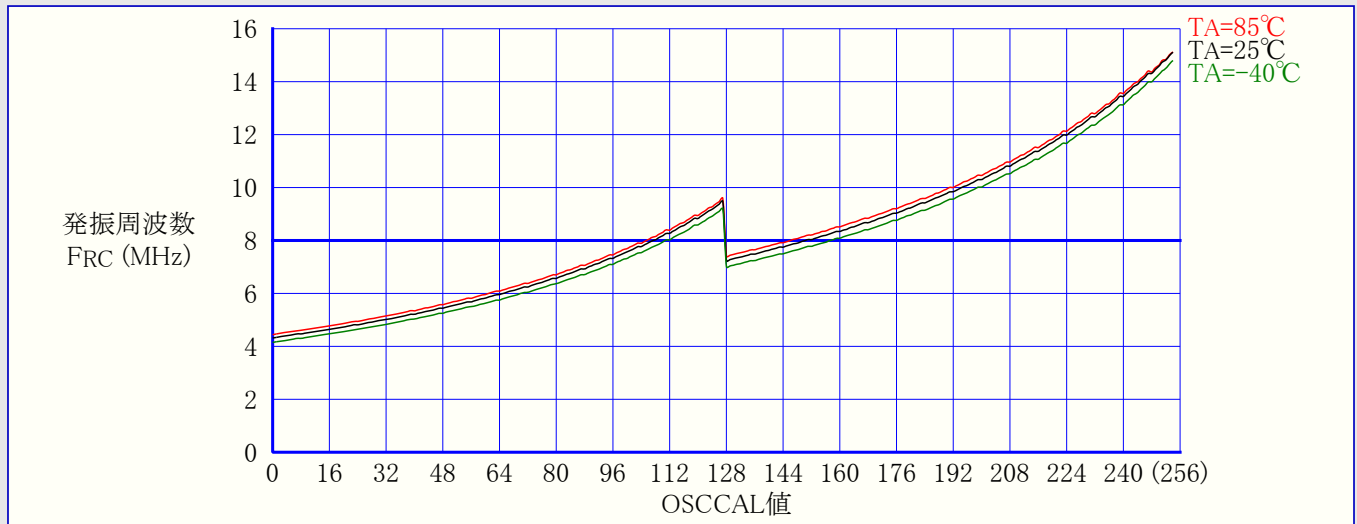


図31-39. 校正付き8MHz内蔵RC発振器周波数 対 発振校正(OSCCAL)値



31.12. 周辺機能部消費電流

図31-40. 低電圧検出器(BOD)消費電流 対 動作電圧

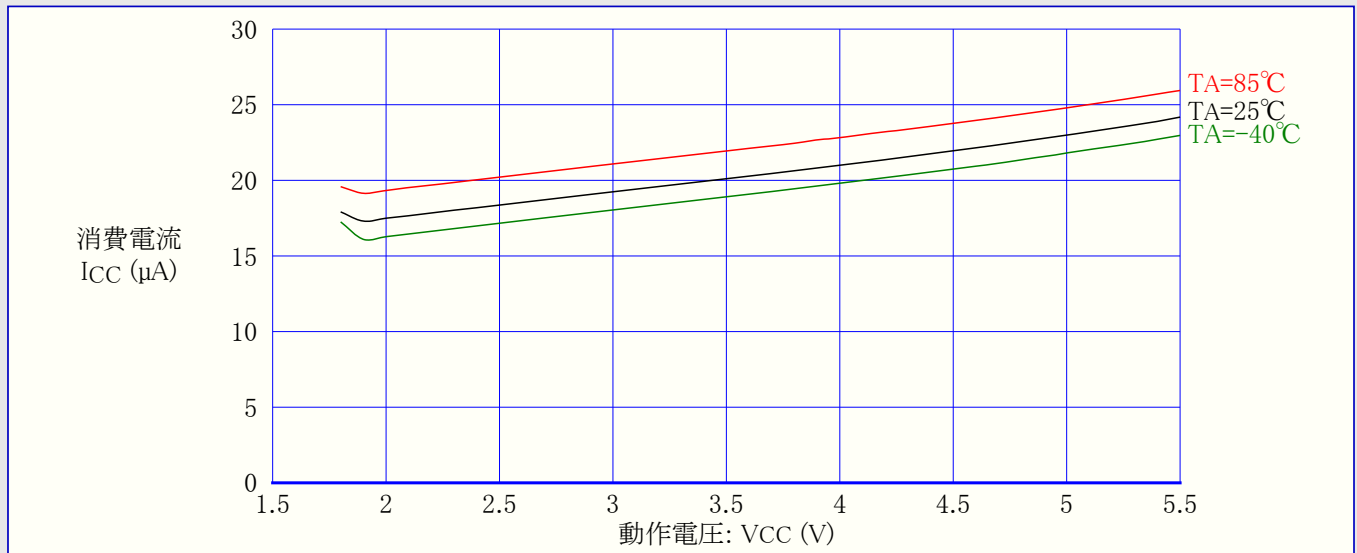


図31-41. A/D変換器消費電流 対 動作電圧 (AREF=AVCC)

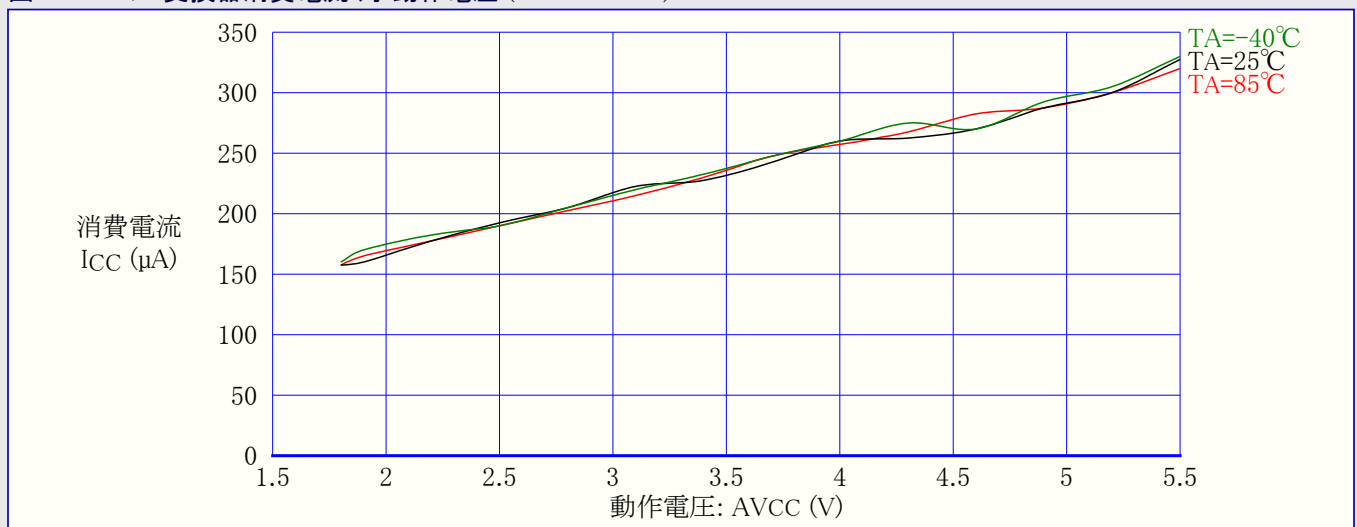


図31-42. 外部基準電圧(AREF)電流 対 動作電圧

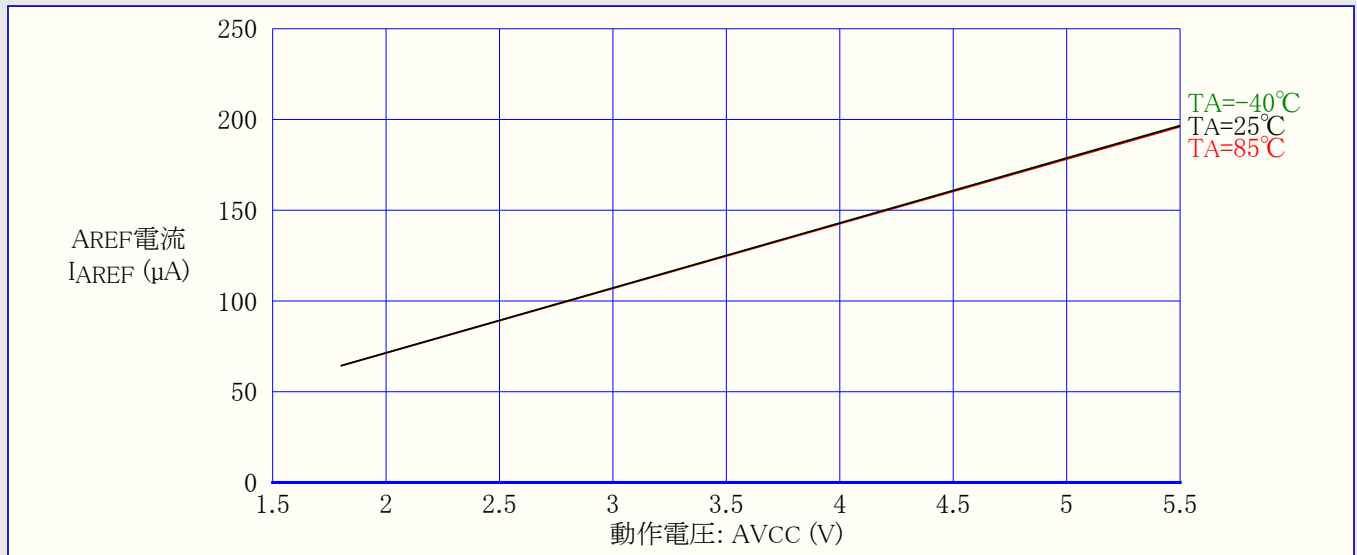


図31-43. ウォッチドッグ タイム消費電流 対 動作電圧

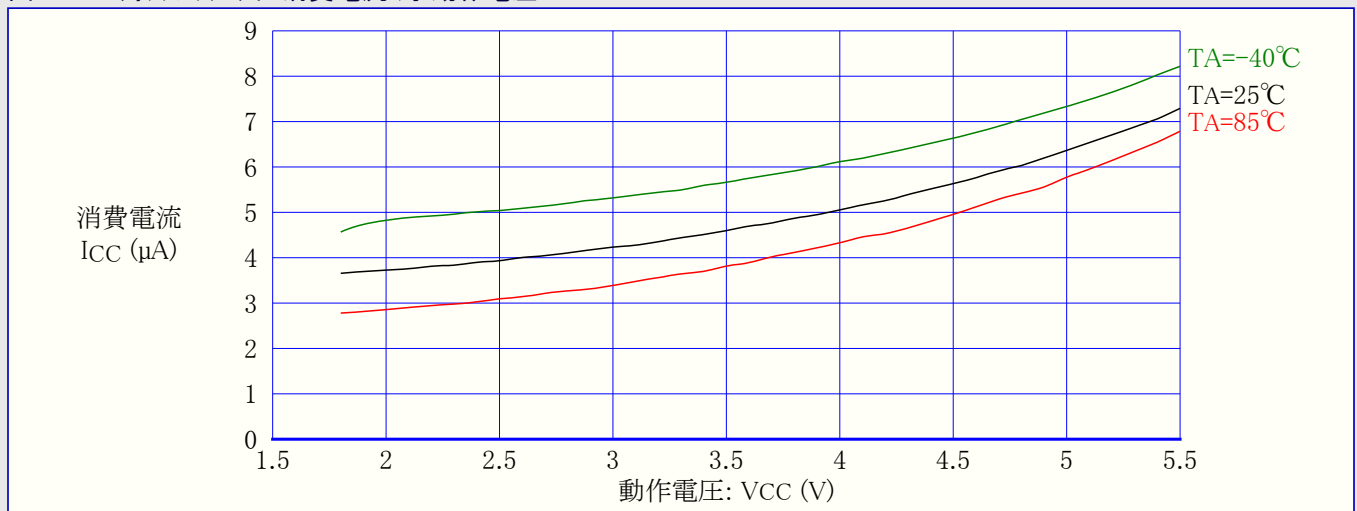


図31-44. アナログ比較器消費電流 対 動作電圧

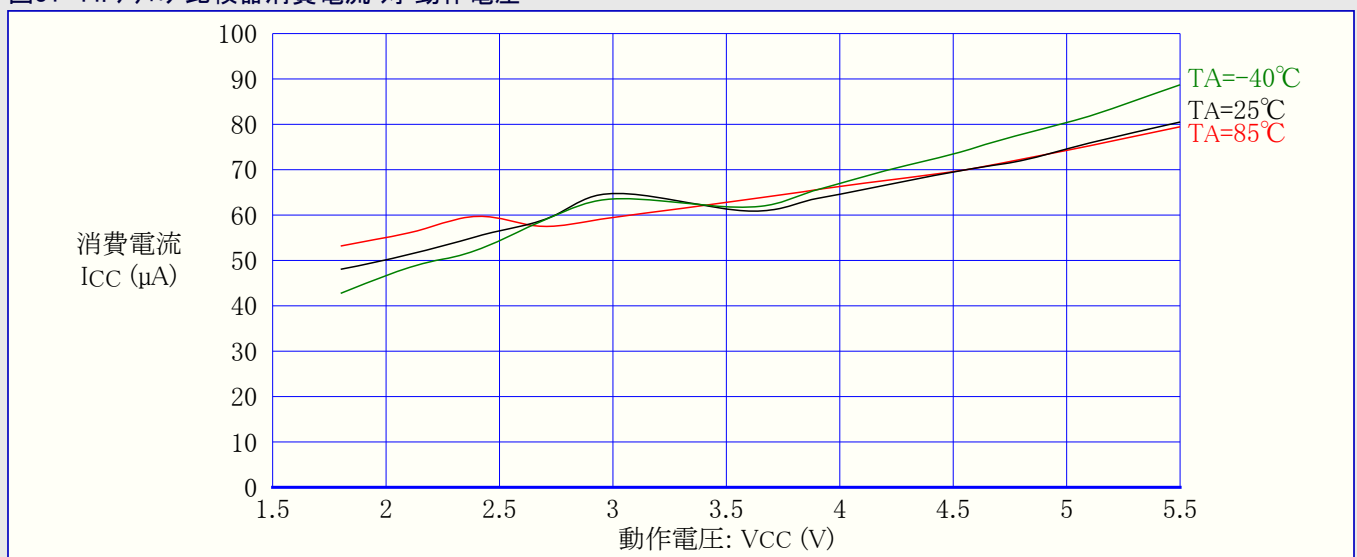
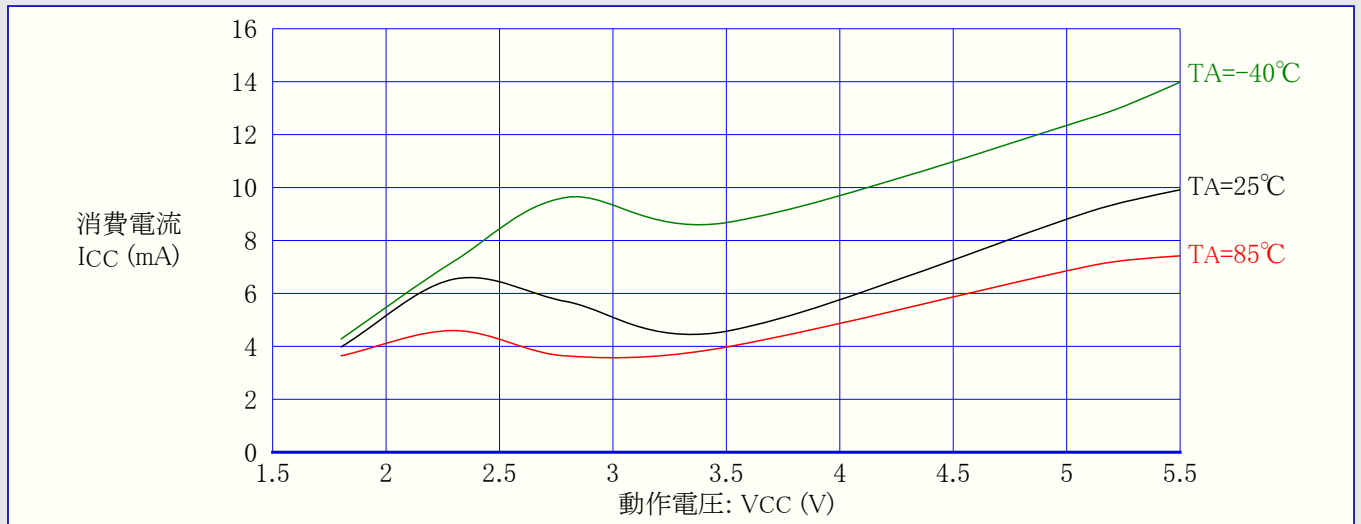


図31-45. プログラム電流 対 動作電圧



31.13. リセット消費電流とリセット パルス幅

図31-46. リセット消費(供給)電流 対 周波数 (100kHz～1MHz、RESETプルアップ電流を除く)

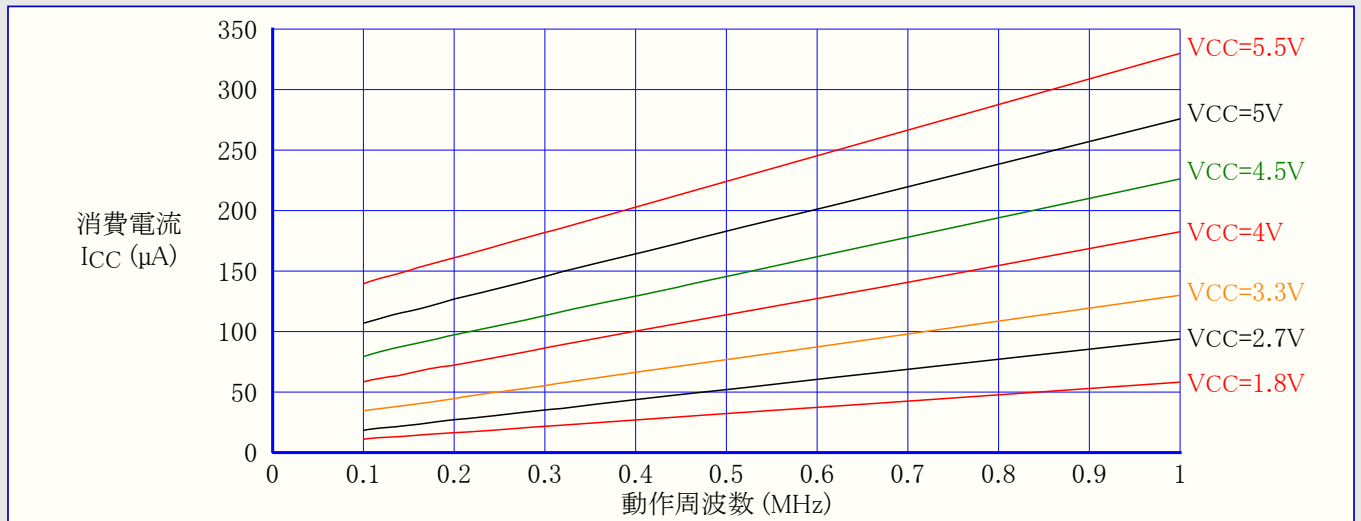


図31-47. リセット消費(供給)電流 対 周波数 (1MHz～16MHz、RESETプルアップ電流を除く)

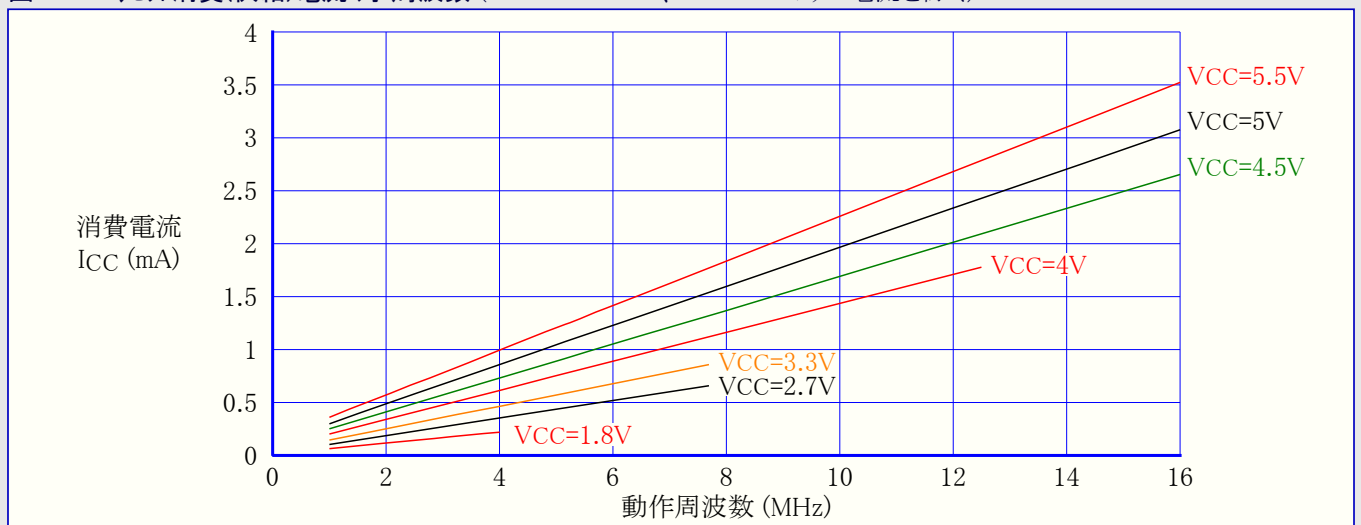
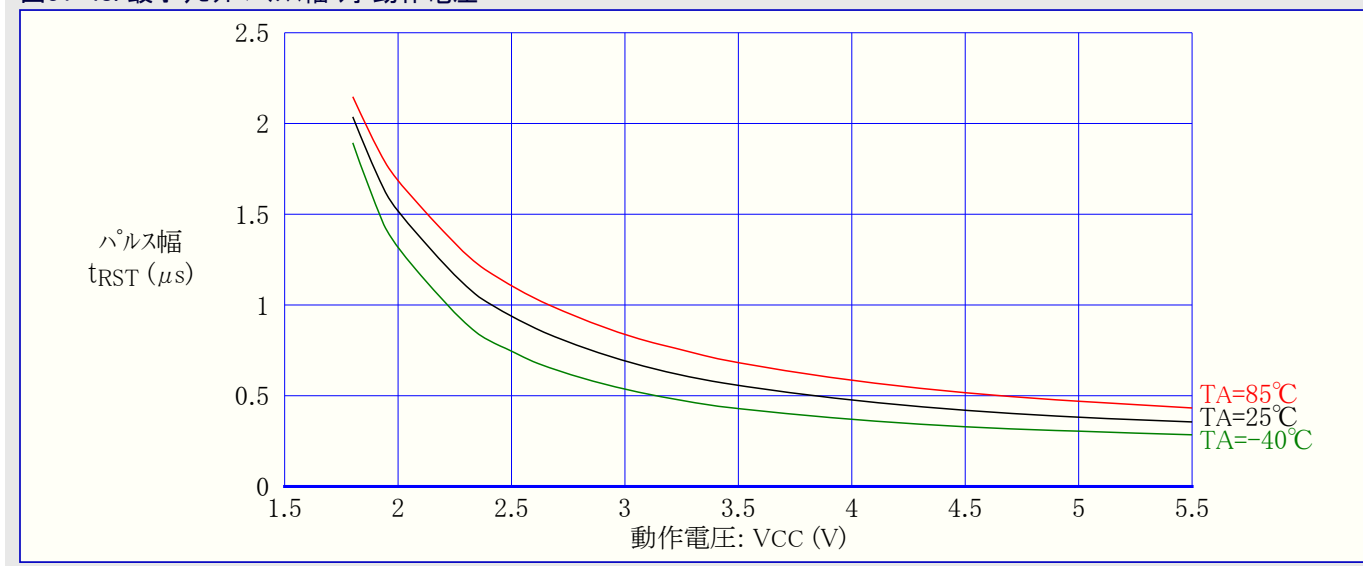


図31-48. 最小リセットパルス幅 対 動作電圧



32. レジスタ要約

拡張I/Oレジスタ領域 (1/3)

アドレス	レジスタ略称	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	頁	
～\$1FF) (\$140)	予約										
(\$13F)	予約										
(\$13E)	予約										
(\$13D)	予約										
(\$13C)	予約										
(\$13B)	予約										
(\$13A)	予約										
(\$139)	予約										
(\$138)	予約										
(\$137)	予約										
(\$136)	UDR3	USART3 データレジスタ								153	
(\$135)	UBRR3H	-	-	-	-	USART3 ホーレートレジスタ上位 (UBRR311～8)					155
(\$134)	UBRR3L	USART3 ホーレートレジスタ下位 (UBRR37～0)									
(\$133)	予約										
(\$132)	UCSR3C	UMSEL31	UMSEL30	UPM31	UPM30	USBS3	UCSZ31	UCSZ30	UCPOL3	154	
(\$131)	UCSR3B	RXCIE3	TXCIE3	UDRIE3	RXEN3	TXEN3	UCSZ32	RXB83	TXB83	154	
(\$130)	UCSR3A	RXC3	TXC3	UDRE3	FE3	DOR3	UPE3	U2X3	MPCM3	153	
(\$12F)	予約										
(\$12E)	予約										
(\$12D)	OCR5CH	タイマ/カウンタ5 比較Cレジスタ 上位バイト								114	
(\$12C)	OCR5CL	タイマ/カウンタ5 比較Cレジスタ 下位バイト									
(\$12B)	OCR5BH	タイマ/カウンタ5 比較Bレジスタ 上位バイト								114	
(\$12A)	OCR5BL	タイマ/カウンタ5 比較Bレジスタ 下位バイト									
(\$129)	OCR5AH	タイマ/カウンタ5 比較Aレジスタ 上位バイト								113	
(\$128)	OCR5AL	タイマ/カウンタ5 比較Aレジスタ 下位バイト									
(\$127)	ICR5H	タイマ/カウンタ5 捕獲レジスタ 上位バイト								115	
(\$126)	ICR5L	タイマ/カウンタ5 捕獲レジスタ 下位バイト									
(\$125)	TCNT5H	タイマ/カウンタ5 上位バイト								111	
(\$124)	TCNT5L	タイマ/カウンタ5 下位バイト									
(\$123)	予約										
(\$122)	TCCR5C	FOC5A	FOC5B	FOC5C	-	-	-	-	-	110	
(\$121)	TCCR5B	ICNC5	ICES5	-	WGM53	WGM52	CS52	CS51	CS50	109	
(\$120)	TCCR5A	COM5A1	COM5A0	COM5B1	COM5B0	COM5C1	COM5C0	WGM51	WGM50	107	
(\$11F)	予約										
(\$11E)	予約										
(\$11D)	予約										
(\$11C)	予約										
(\$11B)	予約										
(\$11A)	予約										
(\$119)	予約										
(\$118)	予約										
(\$117)	予約										
(\$116)	予約										
(\$115)	予約										
(\$114)	予約										
(\$113)	予約										
(\$112)	予約										
(\$111)	予約										
(\$110)	予約										
(\$10F)	予約										
(\$10E)	予約										
(\$10D)	予約										
(\$10C)	予約										
(\$10B)	PORTL	PORTL7	PORTL6	PORTL5	PORTL4	PORTL3	PORTL2	PORTL1	PORTL0	80	
(\$10A)	DDRL	DDL7	DDL6	DDL5	DDL4	DDL3	DDL2	DDL1	DDL0	80	
(\$109)	PINL	PINL7	PINL6	PINL5	PINL4	PINL3	PINL2	PINL1	PINL0	80	
(\$108)	PORTK	PORTK7	PORTK6	PORTK5	PORTK4	PORTK3	PORTK2	PORTK1	PORTK0	80	
(\$107)	DDRK	DDK7	DDK6	DDK5	DDK4	DDK3	DDK2	DDK1	DDK0	80	
(\$106)	PINK	PINK7	PINK6	PINK5	PINK4	PINK3	PINK2	PINK1	PINK0	80	
(\$105)	PORTJ	PORTJ7	PORTJ6	PORTJ5	PORTJ4	PORTJ3	PORTJ2	PORTJ1	PORTJ0	80	
(\$104)	DDRJ	DDJ7	DDJ6	DDJ5	DDJ4	DDJ3	DDJ2	DDJ1	DDJ0	80	
(\$103)	PINJ	PINJ7	PINJ6	PINJ5	PINJ4	PINJ3	PINJ2	PINJ1	PINJ0	80	
(\$102)	PORTH	PORTH7	PORTH6	PORTH5	PORTH4	PORTH3	PORTH2	PORTH1	PORTH0	79	
(\$101)	DDRH	DDH7	DDH6	DDH5	DDH4	DDH3	DDH2	DDH1	DDH0	79	
(\$100)	PINH	PINH7	PINH6	PINH5	PINH4	PINH3	PINH2	PINH1	PINH0	79	

注: 暗背景のレジスタとビットはATmega1281/2561で利用できません。

拡張I/Oレジスタ領域 (2/3)

アドレス	レジスタ略称	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	頁
(\$FF)	予約									
(\$E0)	予約									
(\$DF)	予約									
(\$DE)	予約									
(\$DD)	予約									
(\$DC)	予約									
(\$DB)	予約									
(\$DA)	予約									
(\$D9)	予約									
(\$D8)	予約									
(\$D7)	予約									
(\$D6)	UDR2									153
(\$D5)	UBRR2H	-	-	-	-					155
(\$D4)	UBRR2L									
(\$D3)	予約									
(\$D2)	UCSR2C	UMSEL21	UMSEL20	UPM21	UPM20	USBS2	UCSZ21	UCSZ20	UCPOL2	154
(\$D1)	UCSR2B	RXCIE2	TXCIE2	UDRIE2	RXEN2	TXEN2	UCSZ22	RXB82	TXB82	154
(\$D0)	UCSR2A	RXC2	TXC2	UDRE2	FE2	DOR2	UPE2	U2X2	MPCM2	153
(\$CF)	予約									
(\$CE)	UDR1									153
(\$CD)	UBRR1H	-	-	-	-					155
(\$CC)	UBRR1L									
(\$CB)	予約									
(\$CA)	UCSR1C	UMSEL11	UMSEL10	UPM11	UPM10	USBS1	UCSZ11	UCSZ10	UCPOL1	154
(\$C9)	UCSR1B	RXCIE1	TXCIE1	UDRIE1	RXEN1	TXEN1	UCSZ12	RXB81	TXB81	154
(\$C8)	UCSR1A	RXC1	TXC1	UDRE1	FE1	DOR1	UPE1	U2X1	MPCM1	153
(\$C7)	予約									
(\$C6)	UDR0									153
(\$C5)	UBRR0H	-	-	-	-					155
(\$C4)	UBRR0L									
(\$C3)	予約									
(\$C2)	UCSR0C	UMSEL01	UMSEL00	UPM01	UPM00	USBS0	UCSZ01	UCSZ00	UCPOL0	154
(\$C1)	UCSR0B	RXCIE0	TXCIE0	UDRIE0	RXEN0	TXEN0	UCSZ02	RXB80	TXB80	154
(\$C0)	UCSR0A	RXC0	TXC0	UDRE0	FE0	DOR0	UPE0	U2X0	MPCM0	153
(\$BF)	予約									
(\$BE)	予約									
(\$BD)	TWAMR	TWAM6	TWAM5	TWAM4	TWAM3	TWAM2	TWAM1	TWAM0	-	183
(\$BC)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	181
(\$BB)	TWDR									182
(\$BA)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	182
(\$B9)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0	182
(\$B8)	TWBR									181
(\$B7)	予約									
(\$B6)	ASSR	-	EXCLK	AS2	TCN2UB	OCR2AUB	OCR2BUB	TCR2AUB	TCR2BUB	135
(\$B5)	予約									
(\$B4)	OCR2B									133
(\$B3)	OCR2A									133
(\$B2)	TCNT2									133
(\$B1)	TCCR2B	FOC2A	FOC2B	-	-	WGM22	CS22	CS21	CS20	132
(\$B0)	TCCR2A	COM2A1	COM2A0	COM2B1	COM2B0	-	-	WGM21	WGM20	131
(\$AF)	予約									
(\$AE)	予約									
(\$AD)	OCR4CH									113
(\$AC)	OCR4CL									
(\$AB)	OCR4BH									113
(\$AA)	OCR4BL									
(\$A9)	OCR4AH									113
(\$A8)	OCR4AL									
(\$A7)	ICR4H									115
(\$A6)	ICR4L									
(\$A5)	TCNT4H									111
(\$A4)	TCNT4L									
(\$A3)	予約									
(\$A2)	TCCR4C	FOC4A	FOC4B	FOC4C	-	-	-	-	-	110
(\$A1)	TCCR4B	ICNC4	ICES4	-	WGM43	WGM42	CS42	CS41	CS40	109
(\$A0)	TCCR4A	COM4A1	COM4A0	COM4B1	COM4B0	COM4C1	COM4C0	WGM41	WGM40	107

注: 暗背景のレジスタとビットはATmega1281/2561で利用できません。

拡張I/Oレジスタ領域 (3/3)

アドレス	レジスタ略称	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	頁
(\$9F)	予約									
(\$9E)	予約									
(\$9D)	OCR3CH				タイマ/カウンタ3 比較レジスタ 上位バイト					113
(\$9C)	OCR3CL				タイマ/カウンタ3 比較レジスタ 下位バイト					
(\$9B)	OCR3BH				タイマ/カウンタ3 比較レジスタ 上位バイト					
(\$9A)	OCR3BL				タイマ/カウンタ3 比較レジスタ 下位バイト					112
(\$99)	OCR3AH				タイマ/カウンタ3 比較レジスタ 上位バイト					
(\$98)	OCR3AL				タイマ/カウンタ3 比較レジスタ 下位バイト					112
(\$97)	ICR3H				タイマ/カウンタ3 捕獲レジスタ 上位バイト					
(\$96)	ICR3L				タイマ/カウンタ3 捕獲レジスタ 下位バイト					115
(\$95)	TCNT3H				タイマ/カウンタ3 上位バイト					
(\$94)	TCNT3L				タイマ/カウンタ3 下位バイト					
(\$93)	予約									
(\$92)	TCCR3C	FOC3A	FOC3B	FOC3C	-	-	-	-	-	110
(\$91)	TCCR3B	ICNC3	ICES3	-	WGM33	WGM32	CS32	CS31	CS30	109
(\$90)	TCCR3A	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	107
(\$8F)	予約									
(\$8E)	予約									
(\$8D)	OCR1CH				タイマ/カウンタ1 比較レジスタ 上位バイト					112
(\$8C)	OCR1CL				タイマ/カウンタ1 比較レジスタ 下位バイト					
(\$8B)	OCR1BH				タイマ/カウンタ1 比較レジスタ 上位バイト					
(\$8A)	OCR1BL				タイマ/カウンタ1 比較レジスタ 下位バイト					112
(\$89)	OCR1AH				タイマ/カウンタ1 比較レジスタ 上位バイト					
(\$88)	OCR1AL				タイマ/カウンタ1 比較レジスタ 下位バイト					112
(\$87)	ICR1H				タイマ/カウンタ1 捕獲レジスタ 上位バイト					
(\$86)	ICR1L				タイマ/カウンタ1 捕獲レジスタ 下位バイト					
(\$85)	TCNT1H				タイマ/カウンタ1 上位バイト					115
(\$84)	TCNT1L				タイマ/カウンタ1 下位バイト					
(\$83)	予約									
(\$82)	TCCR1C	FOC1A	FOC1B	FOC1C	-	-	-	-	-	110
(\$81)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	109
(\$80)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	107
(\$7F)	DIDR1	-	-	-	-	-	-	AIN1D	AIN0D	185
(\$7E)	DIDR0	ADC7D	ADC6D	ADC5D	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	196
(\$7D)	DIDR2	ADC15D	ADC14D	ADC13D	ADC12D	ADC11D	ADC10D	ADC9D	ADC8D	196
(\$7C)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	193
(\$7B)	ADCSRB	-	ACME	-	-	MUX5	ADTS2	ADTS1	ADTS0	184,195
(\$7A)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	194
(\$79)	ADCH	A/Dデータレジスタ上位バイト (ADC9~8またはADC9~2)								195
(\$78)	ADCL	A/Dデータレジスタ下位バイト (ADC7~0またはADC1~0)								
(\$77)	予約									
(\$76)	予約									
(\$75)	XMCRB	XMBK	-	-	-	-	XMM2	XMM1	XMM0	28
(\$74)	XMCRB	SRE	SRL2	SRL1	SRL0	SRW11	SRW10	SRW01	SRW00	27
(\$73)	TIMSK5	-	-	ICIE5	-	OCIE5C	OCIE5B	OCIE5A	TOIE5	116
(\$72)	TIMSK4	-	-	ICIE4	-	OCIE4C	OCIE4B	OCIE4A	TOIE4	116
(\$71)	TIMSK3	-	-	ICIE3	-	OCIE3C	OCIE3B	OCIE3A	TOIE3	116
(\$70)	TIMSK2	-	-	-	-	-	OCIE2B	OCIE2A	TOIE2	134
(\$6F)	TIMSK1	-	-	ICIE1	-	OCIE1C	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	116
(\$6E)	TIMSK0	-	-	-	-	-	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	92
(\$6D)	PCMSK2	PCINT23	PCINT22	PCINT21	PCINT20	PCINT19	PCINT18	PCINT17	PCINT16	54
(\$6C)	PCMSK1	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	54
(\$6B)	PCMSK0	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	54
(\$6A)	EICRB	ISC71	ISC70	ISC61	ISC60	ISC51	ISC50	ISC41	ISC40	52
(\$69)	EICRA	ISC31	ISC30	ISC21	ISC20	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	51
(\$68)	PCICR	-	-	-	-	-	PCIE2	PCIE1	PCIE0	53
(\$67)	予約									
(\$66)	OSCCAL	内蔵RC発振器 発振校正値レジスタ								34
(\$65)	PRR1	-	-	PRTIM5	PRTIM4	PRTIM3	PRUSART3	PRUSART2	PRUSART1	39
(\$64)	PRR0	PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	-	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC	38
(\$63)	予約									
(\$62)	予約									
(\$61)	CLKPR	CLKPCE	-	-	-	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	34
(\$60)	WDTCR	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	45

注: 暗背景のレジスタとビットはATmega1281/2561で利用できません。

標準I/Oレジスタ領域

アドレス	レジスタ略称	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	頁
\$3F (\$5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	12
\$3E (\$5E)	SPH	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	13
\$3D (\$5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	
\$3C (\$5C)	EIND	–	–	–	–	–	–	–	(EIND0)	14
\$3B (\$5B)	RAMPZ	–	–	–	–	–	–	(RAMPZ1)	(RAMPZ0)	14
\$3A (\$5A)	予約									
\$39 (\$59)	予約									
\$38 (\$58)	予約									
\$37 (\$57)	SPMCSR	SPMIE	RWWSB	SIGRD	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	217
\$36 (\$56)	予約									
\$35 (\$55)	MCUCR	JTD	–	–	PUD	–	–	IVSEL	IVCE	205,77,50
\$34 (\$54)	MCUSR	–	–	–	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	205,44
\$33 (\$53)	SMCR	–	–	–	–	SM2	SM1	SM0	SE	38
\$32 (\$52)	予約									
\$31 (\$51)	OCDR/ MONDR	OCDR7/ MOND7	OCDR6/ MOND6	OCDR5/ MOND5	OCDR4/ MOND4	OCDR3/ MOND3	OCDR2/ MOND2	OCDR1/ MOND1	OCDR0/ MOND0	200
\$30 (\$50)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	185
\$2F (\$4F)	予約									
\$2E (\$4E)	SPDR	SPI データ レジスタ								141
\$2D (\$4D)	SPSR	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	140
\$2C (\$4C)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	140
\$2B (\$4B)	GPIOR2	汎用I/Oレジスタ2								26
\$2A (\$4A)	GPIOR1	汎用I/Oレジスタ1								26
\$29 (\$49)	予約									
\$28 (\$48)	OCR0B	タイマ/カウンタ0 比較レジスタ								91
\$27 (\$47)	OCR0A	タイマ/カウンタ0 比較レジスタ								91
\$26 (\$46)	TCNT0	タイマ/カウンタ0								91
\$25 (\$45)	TCCR0B	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	90
\$24 (\$44)	TCCR0A	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	89
\$23 (\$43)	GTCCR	TSM	–	–	–	–	–	PSRASY	PSRSYNC	135,119
\$22 (\$42)	EEARH	–	–	–	–	EEAR11	EEAR10	EEAR9	EEAR8	
\$21 (\$41)	EEARL	EEPROMアドレスレジスタ下位バイト (EEAR7~0)								25
\$20 (\$40)	EEDR	EEPROMデータレジスタ								25
\$1F (\$3F)	EECR	–	–	EEPM1	EEPM0	EERIE	EEMWE	EEWE	EERE	25
\$1E (\$3E)	GPIOR0	汎用I/Oレジスタ0								26
\$1D (\$3D)	EIMSK	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	52
\$1C (\$3C)	EIFR	INTF7	INTF6	INTF5	INTF4	INTF3	INTF2	INTF1	INTF0	52
\$1B (\$3B)	PCIFR	–	–	–	–	–	PCIF2	PCIF1	PCIF0	53
\$1A (\$3A)	TIFR5	–	–	ICF5	–	OCF5C	OCF5B	OCF5A	TOV5	117
\$19 (\$39)	TIFR4	–	–	ICF4	–	OCF4C	OCF4B	OCF4A	TOV4	117
\$18 (\$38)	TIFR3	–	–	ICF3	–	OCF3C	OCF3B	OCF3A	TOV3	117
\$17 (\$37)	TIFR2	–	–	–	–	–	OCF2B	OCF2A	TOV2	134
\$16 (\$36)	TIFR1	–	–	ICF1	–	OCF1C	OCF1B	OCF1A	TOV1	117
\$15 (\$35)	TIFR0	–	–	–	–	–	OCF0B	OCF0A	TOV0	92
\$14 (\$34)	PORTG	–	–	PORTG5	PORTG4	PORTG3	PORTG2	PORTG1	PORTG0	79
\$13 (\$33)	DDRG	–	–	DDG5	DDG4	DDG3	DDG2	DDG1	DDG0	79
\$12 (\$32)	PING	–	–	PING5	PING4	PING3	PING2	PING1	PING0	79
\$11 (\$31)	PORTF	PORTF7	PORTF6	PORTF5	PORTF4	PORTF3	PORTF2	PORTF1	PORTF0	79
\$10 (\$30)	DDRF	DDF7	DDF6	DDF5	DDF4	DDF3	DDF2	DDF1	DDF0	79
\$0F (\$2F)	PINF	PINF7	PINF6	PINF5	PINF4	PINF3	PINF2	PINF1	PINF0	79
\$0E (\$2E)	PORTE	PORTE7	PORTE6	PORTE5	PORTE4	PORTE3	PORTE2	PORTE1	PORTE0	78
\$0D (\$2D)	DDRE	DDE7	DDE6	DDE5	DDE4	DDE3	DDE2	DDE1	DDE0	78
\$0C (\$2C)	PINE	PINE7	PINE6	PINE5	PINE4	PINE3	PINE2	PINE1	PINE0	78
\$0B (\$2B)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	78
\$0A (\$2A)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	78
\$09 (\$29)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	78
\$08 (\$28)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	78
\$07 (\$27)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	78
\$06 (\$26)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	78
\$05 (\$25)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	77
\$04 (\$24)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	77
\$03 (\$23)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	77
\$02 (\$22)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	77
\$01 (\$21)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	77
\$00 (\$20)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	77

注: 暗背景のレジスタとビットはATmega1281/2561で利用できません。

()付きのビットはATmega640/1280/1281で、()付きのビットはATmega640で利用できません。

- 注意:** 将来のデバイスとの共通性のため、アクセスされる場合の予約ビットは**0**を書かれるべきです。予約したI/Oメモリアドレスは決して書かれるべきではありません。
- アドレス範囲\$00～\$1F内のI/Oレジスタは**SBI**と**CBI**命令を使う直接ビットアクセスが可能です。これらのレジスタでは**SBIS**と**SBIC**命令を使うことによって単一ビット値が検査できます。
 - いくつかの状態ビットはそれらへ論理**1**を書くことによって解除(**0**)されます。他の多くのAVRと異なり、**CBI**と**SBI**命令は指定ビットだけ操作し、故にこのような状態フラグを含むレジスタで使えます。**CBI**と**SBI**命令は\$00～\$1Fのレジスタだけで動作します。
 - I/O指定命令**IN**と**OUT**を使う時はI/Oアドレス\$00～\$3Fが使われなければなりません。**LD**と**ST**命令を使ってデータ空間としてI/Oレジスタをアドレス指定する時はこれらのアドレスに\$20が加算されなければなりません。ATmega640/1280/1281/2560/2561は**IN**と**OUT**命令で予約した64位置で支援できるよりも多くの周辺部(機能)の複合マイクロコントローラです。SRAM(データ空間)内の拡張I/O空間は**ST/STS/STD**と**LD/LDS/LDD**命令だけが使えます。

33. 命令要約

ニーモニック	オペランド	意味	動作	フラグ	クロック
算術、論理演算命令					
ADD	Rd,Rr	汎用レジスタ間の加算	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
ADC	Rd,Rr	キャリーを含めた汎用レジスタ間の加算	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
ADIW	Rd,K6	即値の語(ワード)長加算	$RdH:RdL \leftarrow RdH:RdL + K6$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
SUB	Rd,Rr	汎用レジスタ間の減算	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SUBI	Rd,K	汎用レジスタから即値の減算	$Rd \leftarrow Rd - K$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SBIW	Rd,K6	即値の語(ワード)長減算	$RdH:RdL \leftarrow RdH:RdL - K6$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
SBC	Rd,Rr	キャリーを含めた汎用レジスタ間の減算	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SBCI	Rd,K	汎用レジスタからキャリーと即値の減算	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
AND	Rd,Rr	汎用レジスタ間の論理積(AND)	$Rd \leftarrow Rd \text{ AND } Rr$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
ANDI	Rd,K	汎用レジスタと即値の論理積(AND)	$Rd \leftarrow Rd \text{ AND } K$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
OR	Rd,Rr	汎用レジスタ間の論理和(OR)	$Rd \leftarrow Rd \text{ OR } Rr$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
ORI	Rd,K	汎用レジスタと即値の論理和(OR)	$Rd \leftarrow Rd \text{ OR } K$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
EOR	Rd,Rr	汎用レジスタ間の排他的論理和(Ex-OR)	$Rd \leftarrow Rd \text{ EOR } Rr$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
COM	Rd	1の補数(論理反転)	$Rd \leftarrow \$FF - Rd$	I,T,H,S,0,N,Z,1	1
NEG	Rd	2の補数	$Rd \leftarrow \$00 - Rd$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SBR	Rd,K	汎用レジスタの(複数)ビット設定(1)	$Rd \leftarrow Rd \text{ OR } K$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
CBR	Rd,K	汎用レジスタの(複数)ビット解除(0)	$Rd \leftarrow Rd \text{ AND } (\$FF - K)$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
INC	Rd	汎用レジスタの増加(+1)	$Rd \leftarrow Rd + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
DEC	Rd	汎用レジスタの減少(-1)	$Rd \leftarrow Rd - 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
TST	Rd	汎用レジスタのゼロとマイナス検査	$Rd \leftarrow Rd \text{ AND } Rd$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
CLR	Rd	汎用レジスタの全0設定(=\$00)	$Rd \leftarrow Rd \text{ EOR } Rd$	I,T,H,0,0,0,1,C	1
SER	Rd	汎用レジスタの全1設定(=\$FF)	$Rd \leftarrow \$FF$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
MUL	Rd,Rr	符号なし間の乗算	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$ (U×U)	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
MULS	Rd,Rr	符号付き間の乗算	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$ (S×S)	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
MULSU	Rd,Rr	符号付きと符号なしの乗算	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$ (S×U)	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
FMUL	Rd,Rr	符号なし間の固定小数点乗算	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \ll 1$ (U×U)	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
FMULS	Rd,Rr	符号付き間の固定小数点乗算	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \ll 1$ (S×S)	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
FMULSU	Rd,Rr	符号付きと符号なしの固定小数点乗算	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \ll 1$ (S×U)	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
分岐命令					
RJMP	k	相対無条件分岐	$PC \leftarrow PC + k + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
IJMP		Zレジスタ間接無条件分岐	$PC \leftarrow Z$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
EIJMP		拡張Zレジスタ間接無条件分岐	$PC \leftarrow \text{EIND}:Z$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
JMP	k	絶対無条件分岐	$PC \leftarrow k$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
RCALL	k	相対サブルーチン呼び出し	$\text{STACK} \leftarrow PC, PC \leftarrow PC + k + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3,4*
ICALL		Zレジスタ間接サブルーチン呼び出し	$\text{STACK} \leftarrow PC, PC \leftarrow Z$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3,4*
EICALL		拡張Zレジスタ間接サブルーチン呼び出し	$\text{STACK} \leftarrow PC, PC \leftarrow \text{EIND}:Z$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4
CALL	k	絶対サブルーチン呼び出し	$\text{STACK} \leftarrow PC, PC \leftarrow k$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4,5*
RET		サブルーチンからの復帰	$PC \leftarrow \text{STACK}$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4,5*
RETI		割り込みからの復帰	$PC \leftarrow \text{STACK}$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4,5*
CPSE	Rd,Rr	汎用レジスタ間比較、一致でスキップ	$Rd=Rr$ なら, $PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
CP	Rd,Rr	汎用レジスタ間の比較	$Rd - Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
CPC	Rd,Rr	キャリーを含めた汎用レジスタ間の比較	$Rd - Rr - C$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
CPI	Rd,K	汎用レジスタと即値の比較	$Rd - K$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SBRC	Rr,b	汎用レジスタのビットが解除(0)でスキップ	$Rr(b)=0$ なら, $PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
SBR	Rr,b	汎用レジスタのビットが設定(1)でスキップ	$Rr(b)=1$ なら, $PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
SBIC	P,b	I/Oレジスタのビットが解除(0)でスキップ	$P(b)=0$ なら, $PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
SBSI	P,b	I/Oレジスタのビットが設定(1)でスキップ	$P(b)=1$ なら, $PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
BRBS	s,k	ステータスフラグが設定(1)で分岐	$\text{SREG}(s)=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRBC	s,k	ステータスフラグが解除(0)で分岐	$\text{SREG}(s)=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BREQ	k	一致で分岐	$Z=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRNE	k	不一致で分岐	$Z=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRCS	k	キャリーフラグが設定(1)で分岐	$C=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRCC	k	キャリーフラグが解除(0)で分岐	$C=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRSH	k	符号なしの \geq で分岐	$C=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRLO	k	符号なしの $<$ で分岐	$C=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRMI	k	-(マイナス)で分岐	$N=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRPL	k	+(プラス)で分岐	$N=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRGE	k	符号付きの \geq で分岐	$(N \text{ EOR } V)=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRLT	k	符号付きの $<$ で分岐	$(N \text{ EOR } V)=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRHS	k	ハーフキャリーフラグが設定(1)で分岐	$H=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRHC	k	ハーフキャリーフラグが解除(0)で分岐	$H=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRTS	k	一時フラグが設定(1)で分岐	$T=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRTC	k	一時フラグが解除(0)で分岐	$T=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRVS	k	2の補数溢れフラグが設定(1)で分岐	$V=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRVC	k	2の補数溢れフラグが解除(0)で分岐	$V=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRIE	k	割り込み許可で分岐	$I=1$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2
BRID	k	割り込み禁止で分岐	$I=0$ なら, $PC \leftarrow PC + K + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2

*: 272頁参照

ニーモニック	オペランド	意味	動作	フラグ	クロック
データ移動命令					
MOV	Rd,Rr	汎用レジスタ間の複写	$Rd \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
MOVW	Rd,Rr	汎用レジスタ対間の複写	$Rd+1:Rd \leftarrow Rr+1:Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
LDI	Rd,K	即値の取得	$Rd \leftarrow K$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
LD	Rd,X	Xレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (X)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,X+	事後増加付きXレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (X), X \leftarrow X + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,-X	事前減少付きXレジスタ間接での取得	$X \leftarrow X - 1, Rd \leftarrow (X)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,Y	Yレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (Y)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,Y+	事後増加付きYレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (Y), Y \leftarrow Y + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,-Y	事前減少付きYレジスタ間接での取得	$Y \leftarrow Y - 1, Rd \leftarrow (Y)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LDD	Rd,Y+q	変位付きYレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (Y + q)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,Z	Zレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (Z)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,Z+	事後増加付きZレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LD	Rd,-Z	事前減少付きZレジスタ間接での取得	$Z \leftarrow Z - 1, Rd \leftarrow (Z)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LDD	Rd,Z+q	変位付きZレジスタ間接での取得	$Rd \leftarrow (Z + q)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LDS	Rd,k	データ空間(SRAM)から直接取得	$Rd \leftarrow (k)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	X,Rr	Xレジスタ間接での設定	$(X) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	X+,Rr	事後増加付きXレジスタ間接での設定	$(X) \leftarrow Rr, X \leftarrow X + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	-X,Rr	事前減少付きXレジスタ間接での設定	$X \leftarrow X - 1, (X) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	Y,Rr	Yレジスタ間接での設定	$(Y) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	Y+,Rr	事後増加付きYレジスタ間接での設定	$(Y) \leftarrow Rr, Y \leftarrow Y + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	-Y,Rr	事前減少付きYレジスタ間接での設定	$Y \leftarrow Y - 1, (Y) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
STD	Y+q,Rr	変位付きYレジスタ間接での設定	$(Y + q) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	Z,Rr	Zレジスタ間接での設定	$(Z) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	Z+,Rr	事後増加付きZレジスタ間接での設定	$(Z) \leftarrow Rr, Z \leftarrow Z + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ST	-Z,Rr	事前減少付きZレジスタ間接での設定	$Z \leftarrow Z - 1, (Z) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
STD	Z+q,Rr	変位付きZレジスタ間接での設定	$(Z + q) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
STS	k,Rr	データ空間(SRAM)へ直接設定	$(k) \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LPM		プログラム領域からZレジスタ間接での取得	$R0 \leftarrow (Z)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
LPM	Rd,Z	同上 (任意のレジスタへ)	$Rd \leftarrow (Z)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
LPM	Rd,Z+	同上 (事後増加付き)	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
ELPM		プログラム領域から拡張Zレジスタ間接で取得	$R0 \leftarrow (RAMPZ:Z)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
ELPM	Rd,Z	同上 (任意のレジスタへ)	$Rd \leftarrow (RAMPZ:Z)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
ELPM	Rd,Z+	同上 (事後増加付き)	$Rd \leftarrow (RAMPZ:Z), RAMPZ:Z \leftarrow RAMPZ:Z + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
SPM		プログラム領域へZレジスタ間接での設定	$(Z) \leftarrow R1:R0$	I,T,H,S,V,N,Z,C	-
IN	Rd,P	I/Oレジスタからの入力	$Rd \leftarrow P$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
OUT	P,Rr	I/Oレジスタへの出力	$P \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
PUSH	Rr	汎用レジスタをスタックへ保存	$STACK \leftarrow Rr$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
POP	Rd	スタックから汎用レジスタへ復帰	$Rd \leftarrow STACK$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
ビット関係命令					
SBI	P,b	I/Oレジスタのビット設定(1)	$I/O(P,b) \leftarrow 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
CBI	P,b	I/Oレジスタのビット解除(0)	$I/O(P,b) \leftarrow 0$	I,T,H,S,V,N,Z,C	2
LSL	Rd	論理的左ビット移動	$Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), Rd(0) \leftarrow 0$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
LSR	Rd	論理的右ビット移動	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), Rd(7) \leftarrow 0$	I,T,H,S,V,0,Z,C	1
ROL	Rd	キャリーを含めた左回転	$Rd(0) \leftarrow C, Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), C \leftarrow Rd(7)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
ROR	Rd	キャリーを含めた右回転	$Rd(7) \leftarrow C, Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), C \leftarrow Rd(0)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
ASR	Rd	算術的右ビット移動	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), n=0\sim6$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SWAP	Rd	ニブル(4ビット)上位/下位交換	$Rd(7\sim4) \leftrightarrow Rd(3\sim0)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
BSET	s	ステータスレジスタのビット設定(1)	$SREG(s) \leftarrow 1$	1,1,1,1,1,1,1,1	1
BCLR	s	ステータスレジスタのビット解除(0)	$SREG(s) \leftarrow 0$	0,0,0,0,0,0,0,0	1
BST	Rr,b	汎用レジスタのビットを一時フラグへ移動	$T \leftarrow Rr(b)$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
BLD	Rd,b	一時フラグを汎用レジスタのビットへ移動	$Rd(b) \leftarrow T$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SEC		キャリーフラグを設定(1)	$C \leftarrow 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
CLC		キャリーフラグを解除(0)	$C \leftarrow 0$	I,T,H,S,V,N,Z,0	1
SEN		負フラグを設定(1)	$N \leftarrow 1$	I,T,H,S,V,1,Z,C	1
CLN		負フラグを解除(0)	$N \leftarrow 0$	I,T,H,S,V,0,Z,C	1
SEZ		ゼロフラグを設定(1)	$Z \leftarrow 1$	I,T,H,S,V,N,1,C	1
CLZ		ゼロフラグを解除(0)	$Z \leftarrow 0$	I,T,H,S,V,N,0,C	1
SEI		全割り込み許可	$I \leftarrow 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
CLI		全割り込み禁止	$I \leftarrow 0$	0,T,H,S,V,N,Z,C	1
SES		符号フラグを設定(1)	$S \leftarrow 1$	I,T,H,1,V,N,Z,C	1
CLS		符号フラグを解除(0)	$S \leftarrow 0$	I,T,H,0,V,N,Z,C	1
SEV		2の補数溢れフラグを設定(1)	$V \leftarrow 1$	I,T,H,S,1,N,Z,C	1
CLV		2の補数溢れフラグを解除(0)	$V \leftarrow 0$	I,T,H,S,0,N,Z,C	1
SET		一時フラグを設定(1)	$T \leftarrow 1$	1,1,H,S,V,N,Z,C	1
CLT		一時フラグを解除(0)	$T \leftarrow 0$	1,0,H,S,V,N,Z,C	1
SEH		ハーフキャリーフラグを設定(1)	$H \leftarrow 1$	I,T,1,S,V,N,Z,C	1
CLH		ハーフキャリーフラグを解除(0)	$H \leftarrow 0$	I,T,0,S,V,N,Z,C	1

ニーモニック	オペラント	意味	動作	フラグ	クロック
MCU制御命令					
NOP		無操作		I,T,H,S,V,N,Z,C	1
SLEEP		休止形態開始	休止形態参照	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
WDR		ウォッチドッグ タイマ リセット	ウォッチドッグ タイマ参照	I,T,H,S,V,N,Z,C	1
BREAK		一時停止	内蔵デバッグ機能専用	I,T,H,S,V,N,Z,C	N/A

K6, K : 6, 8ビット定数 P : I/Oレジスタ Rd, Rr : 汎用レジスタ(R0~R31) X, Y, Z : X, Y, Zレジスタ
b : ビット(0~7) k : アドレス定数(7,12,16ビット) q : 符号なし6ビット定数(変位) s : ステータスフラグ(C,Z,N,V,X,H,T,I)

注: EICALLとEIJMP命令はATmega640/1280/1281には存在しません。

ELPM命令はATmega640には存在しません。

***** : (訳注) STACKとPC間の操作を伴う命令に対する原書の実行クロック数はATmega2560/2561だけに対する記述です。ATmega640/1280/1281についてはATmega2560/2561に対して各々-1になります。

34. 注文情報

デバイス	速度(MHz) (注3)	電源電圧	注文符号	外囲器 (注2)	動作範囲
ATmega640	8	1.8~5.5V	ATmega640V-8AU	100A	工業用 (-40°C~85°C)
			ATmega640V-8AUR (注4)		
			ATmega640V-8CU	100C1	
	16	2.7~5.5V	ATmega640-16AUR (注4)	100A	
			ATmega640-16CU	100C1	
			ATmega640-16CUR (注4)		
ATmega1280	8	1.8~5.5V	ATmega1280V-8AU	100A	工業用 (-40°C~85°C)
			ATmega1280V-8AUR (注4)		
			ATmega1280V-8CU	100C1	
	16	2.7~5.5V	ATmega1280-16AUR (注4)	100A	
			ATmega1280-16CU	100C1	
			ATmega1280-16CUR (注4)		
ATmega1281	8	1.8~5.5V	ATmega1281V-8AU	64A	工業用 (-40°C~85°C)
			ATmega1281V-8AUR (注4)		
			ATmega1281V-8MU	64M2	
	16	2.7~5.5V	ATmega1281-16AUR (注4)	64A	
			ATmega1281-16MU	64M2	
			ATmega1281-16MUR (注4)		
ATmega2560	8	1.8~5.5V	ATmega2560V-8AU	100A	工業用 (-40°C~85°C)
			ATmega2560V-8AUR (注4)		
			ATmega2560V-8CU	100C1	
	16	4.5~5.5V	ATmega2560-16AUR (注4)	100A	
			ATmega2560-16CU	100C1	
			ATmega2560-16CUR (注4)		
ATmega2561	8	1.8~5.5V	ATmega2561V-8AU	64A	工業用 (-40°C~85°C)
			ATmega2561V-8AUR (注4)		
			ATmega2561V-8MU	64M2	
	16	4.5~5.5V	ATmega2561-16AUR (注4)	64A	
			ATmega2561-16MU	64M2	
			ATmega2561-16MUR (注4)		

注: このデバイスはウェハー(チップ単体)形状でも供給できます。最低数量と詳細な注文情報については最寄のMicrochip営業所へお問い合わせください。

注2: 有害物質使用制限に関する欧州指令(RoHS指令)適合の鉛フリー製品。またハロゲン化合物フリーで完全に安全です。

注3: 速度と電源電圧の関係については241頁の「速度勾配」をご覧ください。

注4: テープとリール。

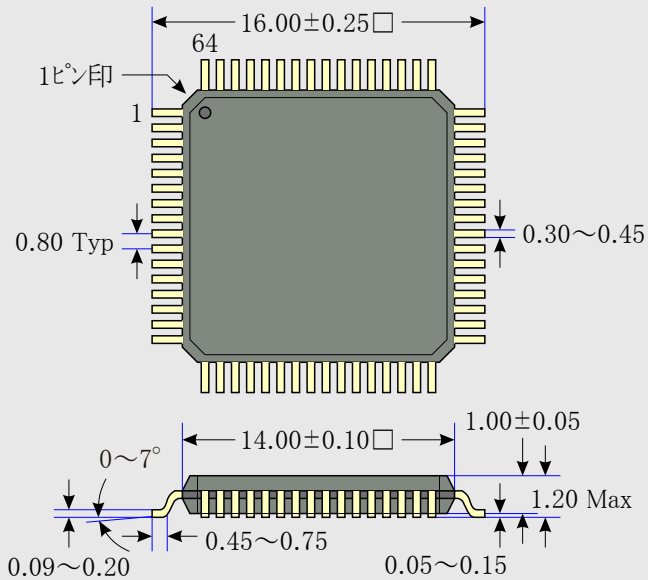
外囲器形式

64A	64リード 14×14×1.0mm厚 薄型プラスチック 4方向平板外囲器 (TQFP)
64M2	64パッド 9×9×1mm 0.5mmピッチ 7.65mm露出パッド 4方向平板リードなし/極小リード枠外囲器 (QFN/MLF)
100A	100リード 14×14×1mm 0.5mmピッチ 薄型プラスチック 4方向平板外囲器 (TQFP)
100C1	100球 9×9×1.2mm 0.8mmピッチ 削端球格子配列外囲器 (CBGA)

35. 外圍器情報

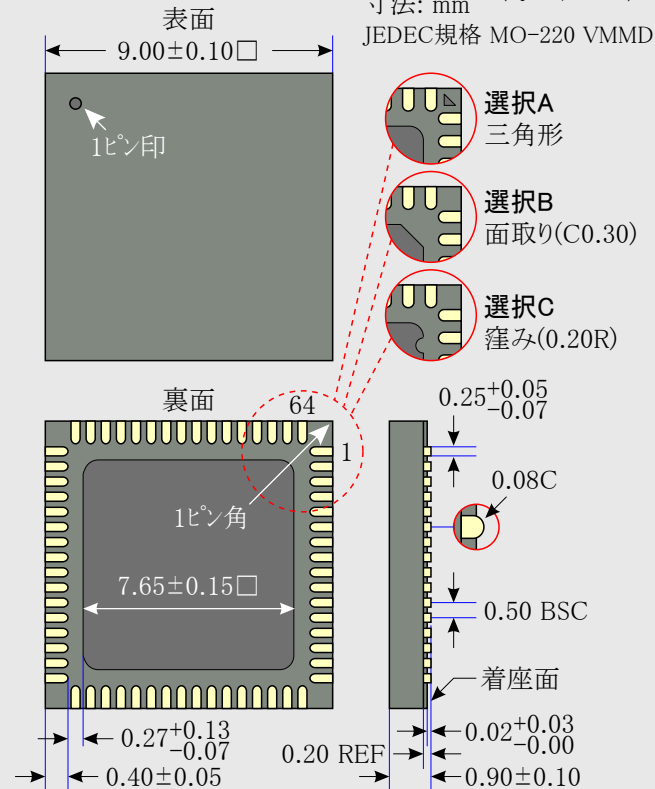
35.1. 64A

64リード 0.8mmピッチ プラスティック 4方向平板外圍器 (TQFP)
 寸法: mm
 JEDEC規格 MS-026 AEB



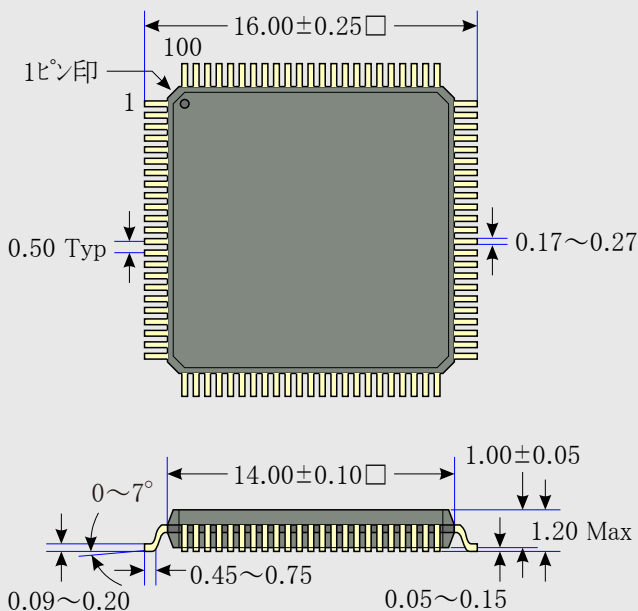
35.2. 64M2

64パッド 0.5mmピッチ 4方向平板リードなし/極小リード枠外圍器 (QFN/MLF)
 寸法: mm
 JEDEC規格 MO-220 VMMD



35.3. 100A

100リード 0.5mmピッチ プラスティック 4方向平板外圍器 (TQFP)
 寸法: mm
 JEDEC規格 MS-026 AED



35.4. 100球CBGA

100球セラミック球格子配列外周器(A3B) - 9×9mm本体 [CBGA]、Atmel旧一般外周器符号CPR

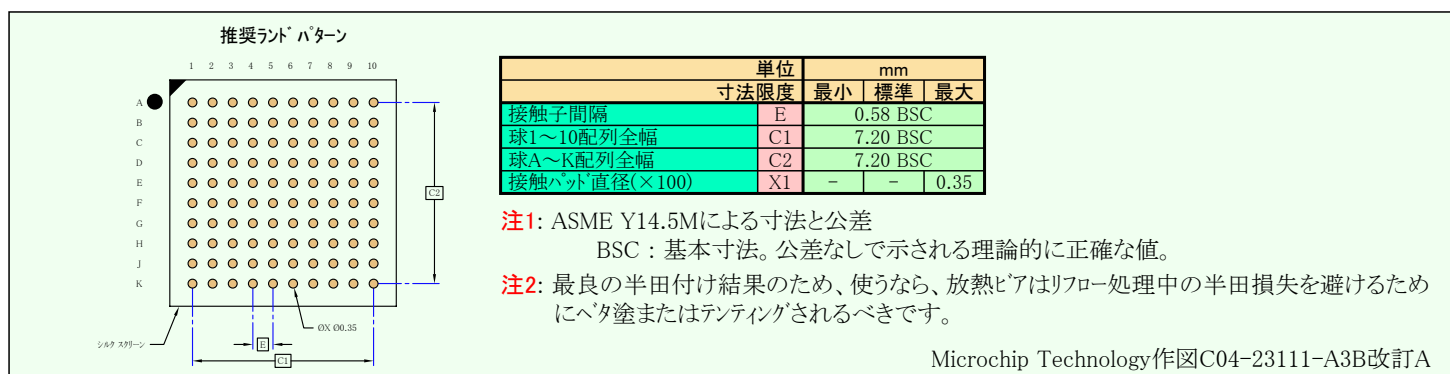
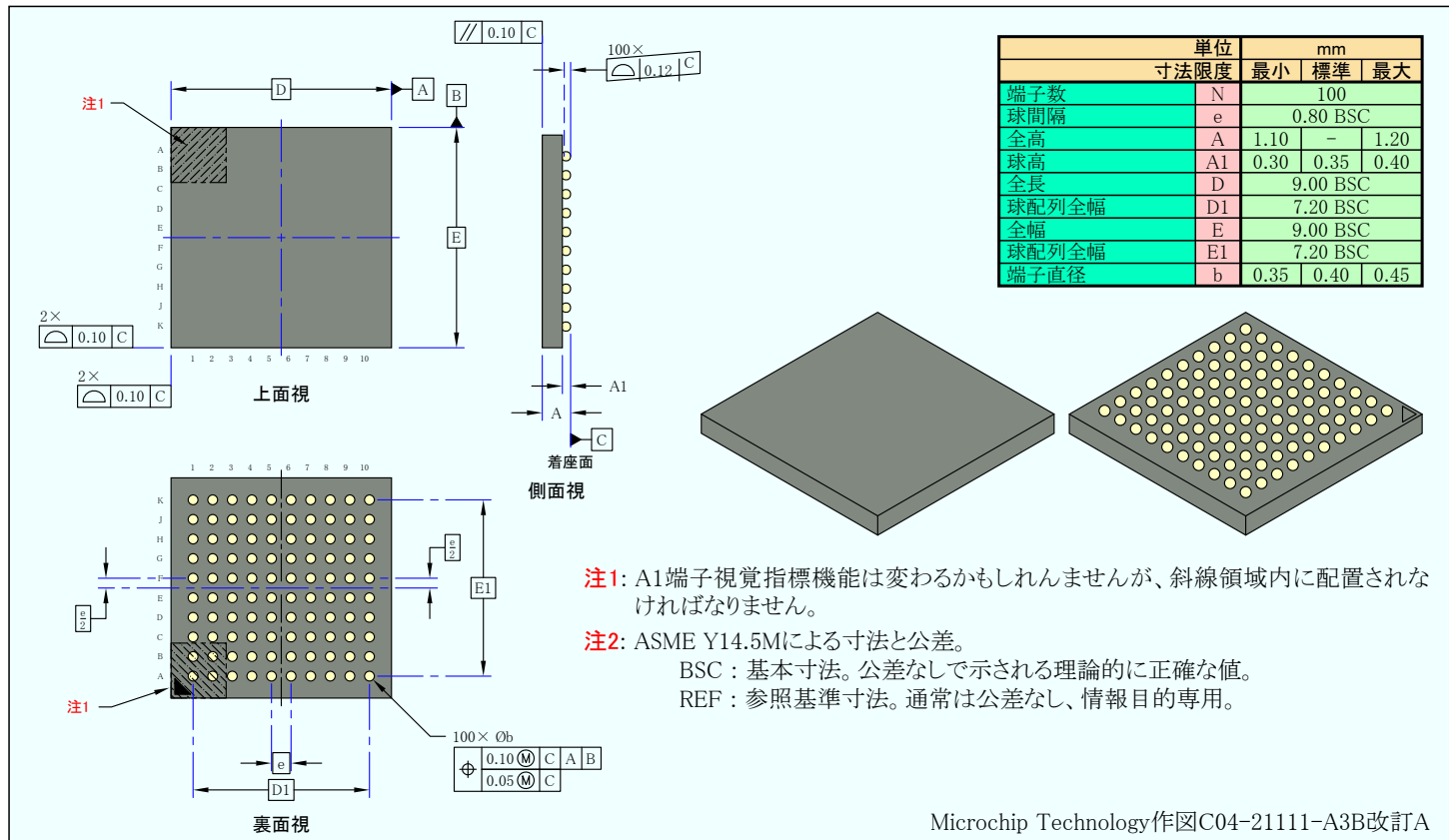


表3-1. デバイスと外周器最大重量

最大重量	500mg
------	-------

表3-2. 外周器参照基準

外周器概要作図MCHP参照基準	C04-2111
JESD97分類	E3

36. 障害情報

障害内容はwww.microchip.com/DS80001074で見つかるATmega640/1280/1281/2560/2561シリコン障害とデータシート説明の独立した文書に移されました。(訳注:本書では便宜のためこの文書の障害情報も含みます。)

36.1. シリコン問題要約

- 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								
		ATmega640		ATmega1280, ATmega1281		ATmega2560, ATmega2561				
		改訂	A (州)	B	A (州)	B	A (州)	C	E	F
デバイス	36.2.1. 2.4V未満で動かないデバイス		-	-	-	-	×	-	-	-
メモリ	36.3.1. 施錠ビット種別3で働かない応用コードからのEEPROM読み出し		-	-	-	-	×	-	-	-
	36.3.2. 外部RAMでのスタック時、2度実行されるかもしれないIN/OUT命令		-	-	-	-	×	-	-	-
電力管理	36.4.1. 休止形態での高消費電流		×	×	×	×	-	×	-	-
A/D変換器	36.5.1. 差動動作での不正確なA/D変換読み出し		-	-	-	-	×	-	-	-
	36.5.2. 低すぎるA/D変換内部基準電圧		-	-	-	-	×	-	-	-
	36.5.3. 機能しない46dB(×200)によるADC差動入力増幅		-	-	-	-	-	-	-	×
	36.5.4. 利得×200差動動作での不正確なA/D変換		×	×	×	-	-	-	-	-
ブートローダ	36.6.1. フラッシュメモリの非RWW領域機能不良		-	-	-	-	×	-	-	-

注: この版がシリコンの初公開です。

注: 以下のシリコン改訂は決して製品として公開されていません。

- ATmega640
 - 改訂C～F
- ATmega1280/1281
 - 改訂C～F
- ATmega2560/2561
 - 改訂B,D

37. データシート改訂履歴

この章内の参照頁番号はこの文書が参照されていることに注意してください。この章内の改訂番号は文書の改訂番号を参照してください。

37.1. 改訂2549A – 2005年3月

1. 初版

37.2. 改訂2549B – 2005年5月

1. ATmega640用JTAG ID/識票バイトを更新:\$9608
2. 61頁の表14-7を更新
3. 231頁の「直列プログラミング命令一式」を更新
4. 279頁の「障害情報」を更新

37.3. 改訂2549C – 2005年9月

1. 1頁の「特徴」節で速度種別を更新
2. 10頁に「資料」を追加
3. 136頁の「直列周辺インターフェース (SPI)」更新 (従装置動作でSPIクロックのHigh/Low時間は2 CPU周期よりも長くなければならない)
4. 167頁の「ビット速度発生器」を更新
5. 241頁の「速度勾配」を更新
6. 276頁の「注文情報」を更新
7. 277頁の「外圍器情報」を更新 (64M1外圍器を64M2で置換)
8. 279頁の「障害情報」を更新

37.4. 改訂2549D – 2005年12月

1. 新製品情報状態を暫定へ変更
2. I/Oポート数を51から54に変更
3. 89頁で「TCCR0A – タイマ/カウンタ0制御レジスタA」の誤植更新
4. 186頁の「A/D変換器」内の特徴を更新
5. 186頁の「A/D変換器」内の操作を更新
6. 189頁の「チャネル変更と基準電圧選択」で安定時間を更新
7. 186頁の図25-1、191頁の図25-9と図25-10を更新
8. 195頁の「ADCSRB – A/D変換制御/状態レジスタB」内の文章を更新
9. 30頁の表9-3に対する注、65頁の表14-15、193頁の表25-3、195頁の表25-6を更新
10. 246頁の表30-9を更新
11. 212頁の「ページ一時緩衝部の設定(ページ設定)」を更新
12. 250頁からの「代表特性」を更新
13. 277頁の「外圍器情報」を更新
14. 279頁からの「障害情報」を更新

37.5. 改訂2549E – 2006年4月

1. 1頁の「特徴」を更新
2. 243頁の表30-6を更新
3. 243頁の表30-6に対する注を更新
4. 185頁の「ビット6 – ACBG : 内部基準電圧選択」を更新
5. 188頁の「前置分周と変換タイミング」を更新
6. 241頁の「速度勾配」を更新
7. 276頁の「注文情報」を更新

37.6. 改訂2549F – 2006年4月

1. 23頁の図8-6、図8-7、図8-8を更新
2. 131頁の表19-2と表19-3を更新
3. 186頁の「A/D変換器」で特徴を更新
4. 219頁の「ヒューズビット」を更新

37.7. 改訂2549G – 2006年6月

1. 1頁の「特徴」を更新
2. 5頁と6頁にCBGAピン配置図と表1-1.を追加
3. 32頁の「校正付き内蔵RC発振器」を更新
4. 35頁の「電力管理と休止形態」を更新
5. 45頁の表11-1.の注を更新
6. 191頁の図25-9.と図25-10.を更新
7. 212頁の「SPM命令による一般施錠とフートローダ施錠ビットの設定」を更新
8. 276頁の「注文情報」を更新
9. 277頁に“100C1”外圍器情報を追加
10. 279頁の「障害情報」を更新

37.8. 改訂2549H – 2006年6月

1. 32頁の「校正付き内蔵RC発振器」を更新
2. 34頁の「OSCCAL – 発振校正レジスタ」を更新
3. 242頁に表30-1.を追加

37.9. 改訂2549I – 2006年7月

1. 89頁の表15-3., 表15-6., 90頁の表15-8., 102頁の表16-2., 108頁の表16-4., 109頁の表16-5., 131頁の表19-3., 表19-6., 132頁の表19-8.を更新
2. 104頁の「高速PWM動作」を更新

37.10. 改訂2549J – 2006年9月

1. 32頁の「校正付き内蔵RC発振器」を更新
2. 50頁の「応用領域とフート領域間のベクタ移動」でコード例を更新
3. 130頁の「タイマ/カウンタ2の前置分周器」を追加
4. 201頁の「デバイス識別レジスタ」を更新
5. 220頁の「識別バイト」を更新
6. 273頁の「命令要約」を更新

37.11. 改訂2549K – 2007年1月

1. 6頁の表1-1.を更新
2. 8頁の「ピン概要」を更新
3. 13頁の「スタックポインタ」を更新
4. 26頁の「ビット1 – EEPROMプログラム許可」を更新
5. 42頁の「ウォッチドッグタイマ」内のアセンブリコード例を更新
6. 52頁の「EIMSK – 外部割り込み許可レジスタ」を更新
7. 53頁の「PCIFR – ピン変化割り込み要求フラグレジスタ」のビット記述を更新
8. 145頁の「USARTの初期化」のコード例を更新
9. 191頁の図25-8.を更新
10. 240頁の「DC特性」を更新

37.12. 改訂2549L – 2007年8月

1. 32頁の表9-10.を更新
2. 30頁の表9-3., 31頁の表9-5., 32頁の表9-8.を更新
3. 240頁の「DC特性」を更新
4. 242頁の「クロック特性」を更新
5. 242頁の表30-2.を更新(注削除)
6. 242頁に「システムとリセットの特性」を追加
7. 245頁の「SPIタイミング特性」を更新
8. 246頁の「A/D変換器特性」を更新
9. 276頁の「ATmega1280」内で注文コードを更新

37.13. 改訂2549M – 2010年9月

1. 6頁の表1-1.の下に注を追加
2. 31頁の「低周波数クリスタル用発振器」を更新
3. 36頁の「電力削減レジスタ」内の文章を更新
4. 89頁の“COM0A1,0”を“COM0B1,0”に修正
5. 186頁の「特徴」の最初の文節で“ポートA”を“ポートK”に変更
6. 191頁の図25-9と図25-10.で誤植を更新
7. 191頁の図25-9.と図25-10.でインダクタ値を10μHに変更
8. 219頁の表29-3.の最初の列の文章を“ヒューズ下位バイト”から“拡張ヒューズ バイト”に変更
9. 231頁の表29-16.でtWD_EEPROMに対する最小待ち遅れを9.0mSから3.6msに変更
10. 242頁の表30-2.に対する数値文を変更
11. 242頁の表30-3.でtRSTとtBODに対する単位を変更
12. 246頁の表30-9.と表30-10.で“代表特性”に対する値を丸め(訳注:実際は無変化)
13. 277頁の「64M2」に寸法A3を追加(訳注:実際は無変化、改訂Nで実施)
14. 多数の参照(リンク)を修正
15. いくつかの図と表の番号を修正

37.14. 改訂2549N – 2011年5月

1. QTouchライブラリ支援とQTouch感知能力の特徴を追加
2. 45頁の「ビット5.2~0 – WDP3~0 : ウォッチドッグ タイマ前置分周選択」でリンク参照を更新
3. 145頁の「USART初期化」でアセンブリコードを更新
4. 242頁に「標準電源ONリセット」を追加
5. 243頁に「強化電源ONリセット」を追加
6. 255頁の図31-13.を更新
7. テープとリール製品を含めるように276頁の「注文情報」を更新

37.15. 改訂2549O – 2012年5月

1. データシートの状態を暫定から完了へ変更。表紙から“暫定”を削除
2. 31頁の図10-3.を新しいもので置換
3. Atmel JAPANの新住所を含み最終頁を更新

37.16. 改訂2549P – 2012年10月

1. 277頁で「35.2. 64M2」の図を置換
2. 前の(原書の)442頁はその頁の内容がそこにあるべきでないため(最終頁と同じ頁なので)削除
3. 構成設定でのいくつかの小さな修正

37.17. 改訂2549Q – 2014年2月

1. 40頁の「リセット元」を更新。低電圧リセット:低電圧検出が許可され、アナログ供給電圧(AVCC)が低電圧検出電圧(VBOT)以下でMCUがリセットされます。
2. 40頁の図12-1.を更新。低電圧検出(BOD)リセット回路は今やVCCではなくAVCCに接続されます。
3. 41頁の「低電圧(ブラウンアウト)検出リセット」の内容を更新。項全体を通してVCCをAVCCに置換
4. 41頁の図12-5.を更新。VCCをAVCCに置換
5. 51頁の「外部割り込み」を更新。「INT7~4の上昇端または下降端割り込みの認知は～」の文を削除
6. 54頁の「PCMSK1 – ピン変換割り込み許可レジスタ」の説明を更新。「EIMSKのPCIE1」説明記載。これを「PCICRのPCIE1」に修正
7. 276頁の「注文情報」のATmega2561を更新
8. 279頁の「障害情報」でATmega1280とATmega1281の改訂Bから「×200利得の差動での不正確なA/D変換」を削除
9. 279頁の「障害情報」でATmega2560とATmega2561の改訂Fを更新
10. 新しいAtmelの商標(新しいロゴと住所)でデータシートを更新

37.18. 改訂DS40002211A – 2020年5月

1. 文書をMicrochip雛形に移動。Atmel 2549版を置換。技術的な内容変更なし。

開発支援

Microchipの受賞歴のある開発ツールで設計を構想から製造へ記録的な速さで行動してください。Microchipのツールはどの計画に対しても最新のデバッグを提供するために無料のMPLAB®XおよびAtmel Studio統合開発環境 (IDE) での使い易い画像使用者インターフェース (GUI) とコード生成ツールと共に動きます。究極に使い易い体験を提供するMicrochipの書き込み器、デバッグ、エミュレータは当社のソフトウェア ツールと共に継ぎ目なく動きます。Microchipの開発基板は応用に最適なシリコン デバイスの評価に役立ち、同時に当社の第三者のツール群は包括的な開発ツール解決策を完成させます。

MicrochipのMPLAB XとAtmel Studio協業系はPIC® MCU、AVR® MCU、SAM MCU、dsPIC® DSCのような多数のデバイスを支援する、考慮すべき様々な組み込み設計ツールを提供します。MPLAB XツールはWindows®、Linux®、Mac®オペレーティング システムに適合し、一方でAtmel StudioツールはWindowsに適合します。

より多くの情報と詳細については次のウェブサイトへ行ってください。

<https://www.microchip.com/development-tools/>

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手段として使われます。お気に入りのインターネット ブラウザを用いてアクセスすることができ、ウェブサイトは以下の情報を含みます。

- **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- **全般的な技術支援** – 良くある質問 (FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip相談役プログラム員一覧
- **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- 代理店または販売会社
- 最寄りの営業所
- 現場応用技術者 (FAE: Field Application Engineer)
- 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、または現場応用技術者 (FAE) に連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援は<http://microchip.com/support>でのウェブサイトを通して利用できます。

お客様への変更通知サービス

Microchipのお客様通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するにはwww.microchip.comでMicrochipのウェブサイトアクセスしてください。"Support" 下で "Customer Change Notification" をクリックして登録指示に従ってください。

Microchipデバイスでの以下のコード保護機能の以下の詳細に注意してください。

- Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- Microchipは意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- コード保護機能を破るのに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全てはMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と共に働きたいと思います。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそれらのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を"破ることができない"として保証すると言うことを意味しません。

コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタルミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれる情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。**Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。**Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責にすることに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchipロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、ZLは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、Pictail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSense、WiperLock、Wireless DNA、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

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

© 2020年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

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 2023.

本データシートはMicrochipのATmega640/1280/1281/2560/2561英語版データシート(DS40002211A-2020年5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

本社

2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200

Fax: 480-792-7277

技術支援:

[http://www.microchip.com/
support](http://www.microchip.com/support)

ウェブアドレス:

www.microchip.com

アトランタ

Duluth, GA
Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

オースチン TX

Tel: 512-257-3370

ボストン

Westborough, MA
Tel: 774-760-0087
Fax: 774-760-0088

シカゴ

Itasca, IL
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075

ダラス

Addison, TX
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924

デトロイト

Novi, MI
Tel: 248-848-4000

ヒューストン TX

Tel: 281-894-5983

インディアナポリス

Noblesville, IN
Tel: 317-773-8323
Fax: 317-773-5453
Tel: 317-536-2380

ロサンゼルス

Mission Viejo, CA
Tel: 949-462-9523
Fax: 949-462-9608
Tel: 951-273-7800

ローリー NC

Tel: 919-844-7510

ニューヨーク NY

Tel: 631-435-6000

サンホセ CA

Tel: 408-735-9110
Tel: 408-436-4270

カナダ - トロント

Tel: 905-695-1980
Fax: 905-695-2078

亜細亜/太平洋

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

亜細亜/太平洋

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

欧州

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 - デルフト

Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

ノルウェー - トロンハイム

Tel: 47-72884388

ポーランド - ワルシャワ

Tel: 48-22-3325737

ルーマニア - ブカレスト

Tel: 40-21-407-87-50

スペイン - マドリード

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 - ウォーキングハム

Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820