

16Kバイト実装書き込み可能フラッシュメモリ付き
Atmel 8ビット tinyAVR マイクロコントローラ

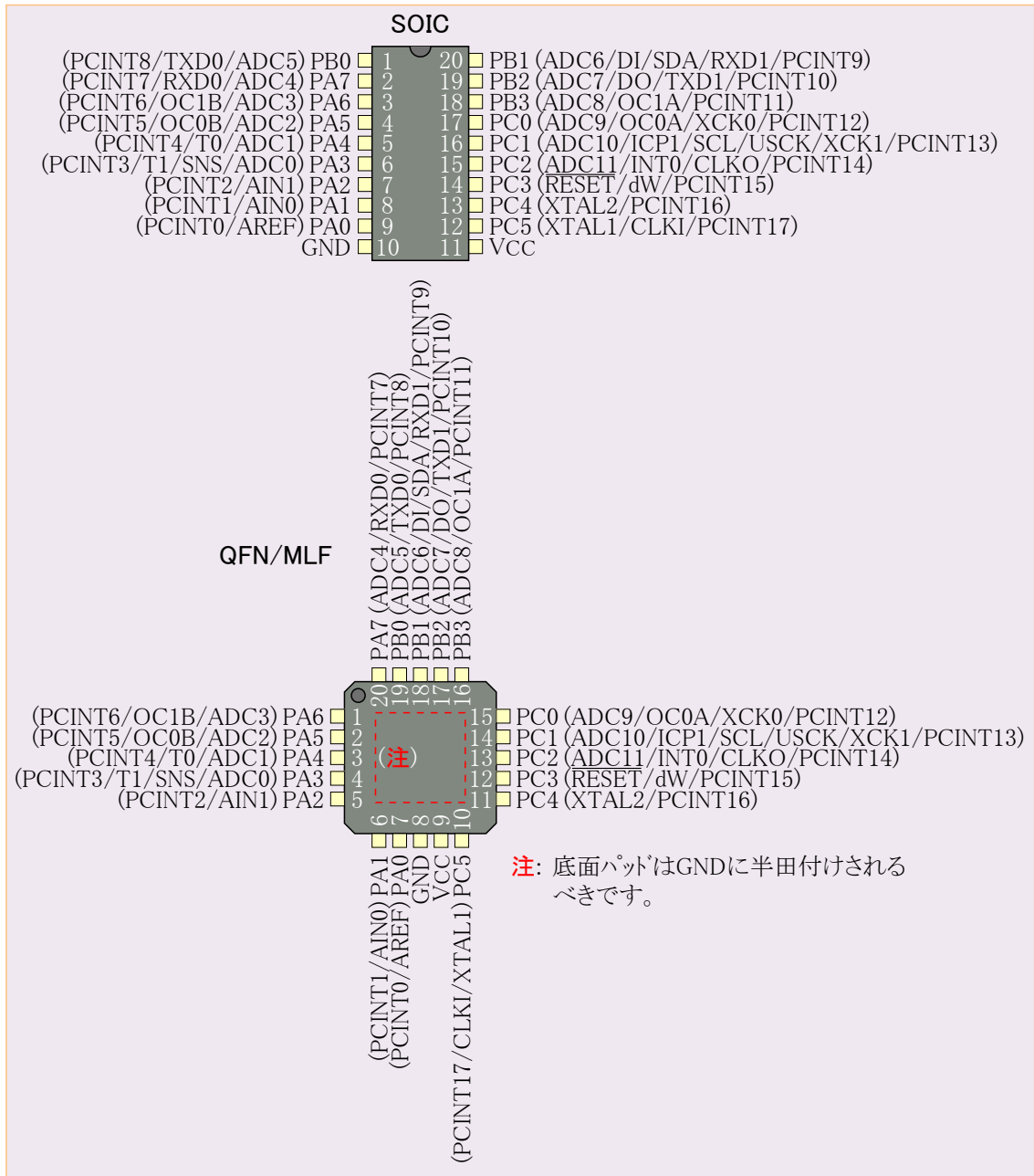
データシート

特徴

- 高性能、低電力AVR® 8ビット マイクロコントローラ
- 進化したRISC構造
 - 強力な125命令(多くは1クロック周期実行)
 - 32個の1バイト長汎用レジスタ
 - 完全なスタティック動作
 - 12MHz時、12MIPSに達する高速動作
- 高耐久性、不揮発性メモリ部
 - 実装自己書き換え可能な16Kバイト(8K語)フラッシュメモリ内蔵
 - 10,000回の書き換え耐久性
 - 実装書き換え可能な256バイトのEEPROM
 - 100,000回の書き換え耐久性
 - 1Kバイトの内蔵SRAM
 - データ保持力: 20年/85°C, 100年/25°C
 - 自己プログラミング フラッシュ&EEPROMデータ保護用プログラミング施錠
- 内蔵周辺機能
 - 容量性接触感知用の専用ハードウェアとQTouch®ライブラリ支援
 - 各々2つのPWM出力を持つ1つの8ビットタイマ/カウンタと1つの16ビットタイマ/カウンタ
 - 12チャンネルの10ビット A/D変換器
 - チップ上のアナログ比較器
 - 開始フレーム検出を持つ2つの全2重USART
 - 多用途直列インターフェース(USI)
 - 従装置I²C直列インターフェース
- 特殊マイクロコントローラ機能
 - デバッグWIRE内蔵デバッグ機能
 - SPIポート経由の実装書き込み
 - 内部及び外部の割り込み
 - 18ピンでのピン変化割り込み
 - アイドル、A/D変換雑音低減、スタンバイ、パワーダウンの4つの低消費動作
 - 強化した電源ONリセット回路
 - 供給電圧採取での設定可能な低電圧検出器(BOD)回路
 - 温度校正任意選択を持つ校正付き8MHz発振器
 - 校正付き32kHz超低電力発振器
 - チップ上の温度感知器
- I/Oと外圍器
 - 18ビットの設定変更可能なI/O
 - 20ピンSOIC、20ピンQFN/MLF
- 動作電圧
 - 1.8~5.5V
- 動作速度
 - 0~2MHz/1.8~5.5V
 - 0~8MHz/2.7~5.5V
 - 0~12MHz/4.5~5.5V
- 温度範囲: -40~+105°C
- 低消費電力
 - 活動動作: 200µA (1MHz, 1.8V)
 - アイドル動作: 30µA (1MHz, 1.8V)
 - パワーダウン動作: 1µA (1.8V, WDT許可)、0.1µA (1.8V, WDT禁止)

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、Atmel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。

1. ピン配置



1.1. ピン説明

1.1.1. VCC

電源ピン。

1.1.2. GND

接地ピン。

1.1.3. XTAL1

発振器の反転増幅器と内部クロック回路への入力。これはPC5の交換ピン構成設定です。

1.1.4. XTAL2

発振器の反転増幅器からの出力。PC4の交換ピン構成設定。

1.1.5. $\overline{\text{RESET}}$

リセット入力。 $\overline{\text{RESET}}$ ピンが禁止されていないければ、例えクロックが走行していなくても、最小パルス幅より長いこのピンのLowレベルはリセットを生成します。最小パルス幅は165頁の表24-5.で与えられます。より短いパルスはリセットの生成が保証されません。

$\overline{\text{RESET}}$ ピンは((駆動能力の弱い)入出力ピンとしても使えます。

1.1.6. PA7~PA0 (ポートA)

これは(各ビットに対して選ばれる)内蔵プルアップ抵抗を持つ8ビット双方向入出力ポートです。出力緩衝部は以下の駆動特性を持ちます。

- PA7,PA4~PA0 : 対称、標準的な吸い込みと吐き出しの能力を持つ
- PA6,PA5 : 非対称、高い吸い込みと標準的な吐き出しの能力を持つ

入力するとき、プルアップ抵抗が有効の場合、外部的にLowへ引き込まれたポートピンには吐き出し電流が流れます。リセット条件が有効になると、クロックが走行していなくても、ポートピンはHi-Zにされます。

このポートはデバイスの様々な特殊機能のための交換ピン機能を持ちます。46頁の「[ポートAの交換機能](#)」をご覧ください。

1.1.7. PB3~PB0 (ポートB)

これは(各ビットに対して選ばれる)内蔵プルアップ抵抗を持つ4ビット双方向入出力ポートです。出力緩衝部は以下の駆動特性を持ちます。

- PB3 : 非対称、高い吸い込みと標準的な吐き出しの能力を持つ
- PB2~PB0 : 対称、標準的な吸い込みと吐き出しの能力を持つ

入力するとき、プルアップ抵抗が有効の場合、外部的にLowへ引き込まれたポートピンには吐き出し電流が流れます。リセット条件が有効になると、クロックが走行していなくても、ポートピンはHi-Zにされます。

このポートはデバイスの様々な特殊機能のための交換ピン機能を持ちます。48頁の「[ポートBの交換機能](#)」をご覧ください。

1.1.8. PC5~PC0 (ポートC)

これは(各ビットに対して選ばれる)内蔵プルアップ抵抗を持つ6ビット双方向入出力ポートです。出力緩衝部は以下の駆動特性を持ちます。

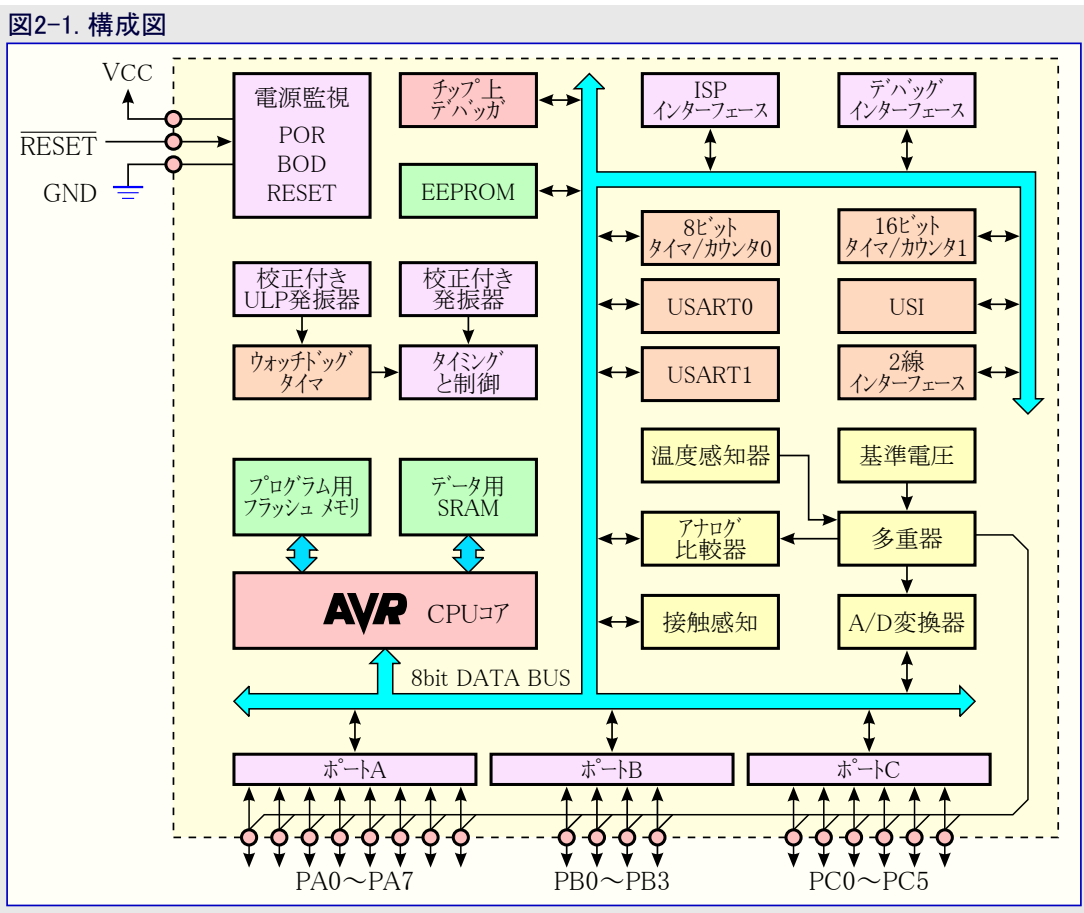
- PC5~PC1 : 対称、標準的な吸い込みと吐き出しの能力を持つ
- PC0 : 非対称、高い吸い込みと標準的な吐き出しの能力を持つ

入力するとき、プルアップ抵抗が有効の場合、外部的にLowへ引き込まれたポートピンには吐き出し電流が流れます。リセット条件が有効になると、クロックが走行していなくても、ポートピンはHi-Zにされます。

このポートはデバイスの様々な特殊機能のための交換ピン機能を持ちます。50頁の「[ポートCの交換機能](#)」をご覧ください。

2. 概要

ATtiny1634はAVR強化RISC構造を基にした低消費CMOS 8ビットマイクロコントローラです。1周期での強力な命令の実行によってATtiny1634はMHzあたり1 MIPSに達する単位処理量を成し遂げ、処理速度対消費電力の最適化を設計者に許します。



AVRコアは32個の汎用作業レジスタと豊富な命令群の組み合わせです。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10倍以上の単位処理量向上効果があります。

ATtiny1634は以下の機能を提供します。

- 16Kバイトの実装書き込み可能なフラッシュメモリ
- 1KバイトのSRAMデータメモリ
- 256バイトのEEPROMデータメモリ
- 18本の汎用入出力線
- 32個の汎用作業レジスタ
- 2つのPWMチャネルを持つ1つの8ビットタイマ/カウンタ
- 2つのPWMチャネルを持つ1つの16ビットタイマ/カウンタ
- 内部及び外部の割り込み
- 5つの内部と12個の外部チャネルを持つ10ビットA/D変換器
- 内蔵発振器付き超低電力の設定可能なウォッチドッグタイマ
- 開始フレーム検出を持つ2つの設定可能なUSART
- 従装置2線インターフェース(TWI)
- 開始条件検出器を持つ多用途直列インターフェース(USI)
- 校正付き8MHz発振器
- 校正付き32kHz超低電力発振器
- ソフトウェア選択可能な4つの節電動作形態

デバイスは節電用の以下の動作形態を含みます。

- **アイドル動作**：CPUを停止し、一方タイマ/カウンタ、A/D変換器、アナログ比較器、SPI、TWI、割り込み機構に機能の継続を許します。
- **A/D変換雑音低減動作**：A/D変換器を除く全I/O部とCPUを停止することによってA/D変換中の切り替え雑音を最小にします。
- **パワーダウン動作**：レジスタがそれらの内容を保ち、以降の割り込みまたはハードウェアリセットまで、全チップ機能が禁止されます。
- **スタンバイ動作**：発振器が走行する一方でデバイスの残りが休止し、低消費電力と組み合わせた非常に速い起動を許します。

本デバイスはAtmelの高密度不揮発性メモリ技術を使って製造されます。プログラム用フラッシュメモリは通常の不揮発性メモリ書き込み器による直列インターフェースを通して、またはAVRコアで走行するチップ上のブートコードによって実装書き換えすることができます。

ATtiny1634 AVRはCコンパイラ、マクロアセンブラ、プログラムデバッガ/シミュレータ、評価キットを含む完全なプログラム及びシステム開発ツールで支援されます。

3. 一般情報

3.1. 資料

包括的なデータシート、応用記述、ドライバ群と開発ツールの説明は<http://www.atmel.com/avr>でのダウンロードで利用可能です。

3.2. コード例

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。

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。これは代表的に**SBRS**, **SBRC**, **SBR**, **CBR**命令と組み合わせた**LDS**, **STS**命令を意味します。全てのAVRデバイスが拡張I/O領域を含むとは限らないことに注意してください。

3.3. 容量性接触感知

Atmel QTouchライブラリはAtmel 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の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。

接触感知は接触チャネルと感知器を定義することで応用プログラミングインターフェース(API)を用いてQTouchライブラリをリンクすることによってどの応用にも容易に追加されます。そして応用はチャネル情報を取得して接触感知器の状態を決めるためにAPIを呼び出します。

QTouchライブラリは無料でAtmelのウェブサイトからダウンロードすることができます。より多くの情報と実装の詳細についてはAtmelの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。

3.4. 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。

4. CPU コア

本章はAVRコア構造を一般的に説明します。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。

4.1. 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16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て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われます。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する能力があります。殆どのAVR命令は単一16ビット語(ワード)形式ですが、32ビット幅の命令も存在します。実際の命令1式はいくつかのデバイスが(全)命令1式の部分だけを実装するようになります。

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SRAM容量とSRAM使用量でのみ制限されます。全てのユーザー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4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や他の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メモリはデータ空間位置\$0000~\$003Fとしてアクセスできます。加えて、ATtiny1634はST/STS/STDとLD/LDS/LDDの命令だけを使うことができるデータ空間内の\$0060~\$00FFの拡張I/O空間を持ちます。

4.2. ALU (Arithmetic Logic Unit)

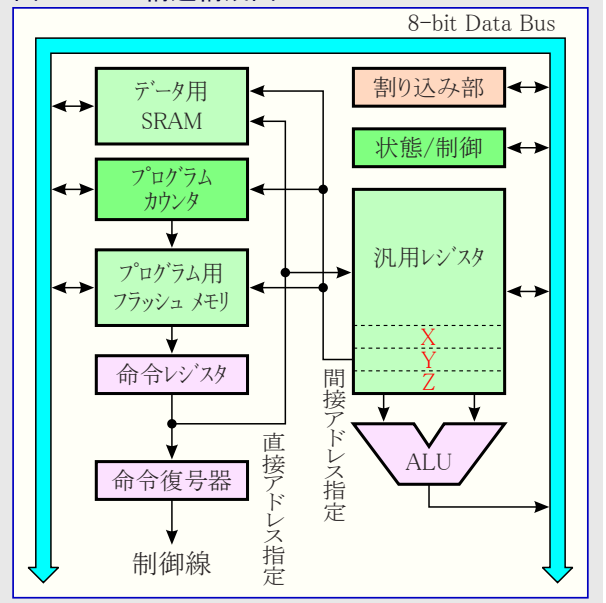
高性能なAVRのALUは32個全ての汎用レジスタに直接接続され動作します。汎用レジスタ間または汎用レジスタと即値間の演算操作は単一クロック周期内で実行されます。ALU操作は算術演算、論理演算、ビット操作の3つの主要な種類に大別されます。符号付きと符号なし両方の乗算と固定小数点形式を支援する乗算器(乗算命令)も提供する構造の実装(製品)もあります。より多くの情報については外部文書の「AVR命令一式」と197頁の「命令要約」章をご覧ください。

4.3. 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。より多くの情報については外部文書の「AVR命令一式」と197頁の「命令要約」章をご覧ください。

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。

図4-1. AVR構造構成図



4.4. 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4-2.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4-2.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4-2. 汎用レジスタ構成図

7	0	アドレス	特殊機能
		R0	\$00
		R1	\$01
		R2	\$02
		⋮	
		R13	\$0D
		R14	\$0E
		R15	\$0F
		R16	\$10
		R17	\$11
		⋮	
		R26	\$1A
		R27	\$1B
		R28	\$1C
		R29	\$1D
		R30	\$1E
		R31	\$1F

Xレジスタ	下位8ビット	上位8ビット
	下位8ビット	上位8ビット
Yレジスタ	下位8ビット	上位8ビット
	下位8ビット	上位8ビット
Zレジスタ	下位8ビット	上位8ビット
	下位8ビット	上位8ビット

4.4.1. 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4-3.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4-3. 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)

4.5. スタック ポインタ

スタックは主に一時データ、局所変数、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(SPHとSPL)レジスタは常にこのスタックの先頭(訳注:次に使われるべき位置)を指し示します。スタックが高位メモリから低位メモリへ伸長することに注意してください。これはPUSH命令がスタック ポインタ値を減少し、POP命令が増加することを意味します。

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置かれるデータSRAMのスタック領域を指し示します。このスタック空間はどのサブルーチン呼び出しの実行や割り込みの許可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。

このポインタはPUSH命令でデータがスタックに格納されると-1され、POP命令でデータがスタックから引き出されると+1されます。それは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-2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+2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。スタック ポインタの幅と実装されるビット数はデバイス依存です。いくつかのAVRデバイスでは全てのデータ メモリがSPLだけを使ってアドレス指定することができます。この場合、SPHレジスタは実装されません。

スタック ポインタはSRAMの最低アドレスである最低値、I/Oレジスタ領域の上の位置に設定されなければなりません。12ページの表5-2.をご覧ください。

4.6. 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4-4.はハーバード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4-5.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4-4. 命令の取得と実行の並列動作

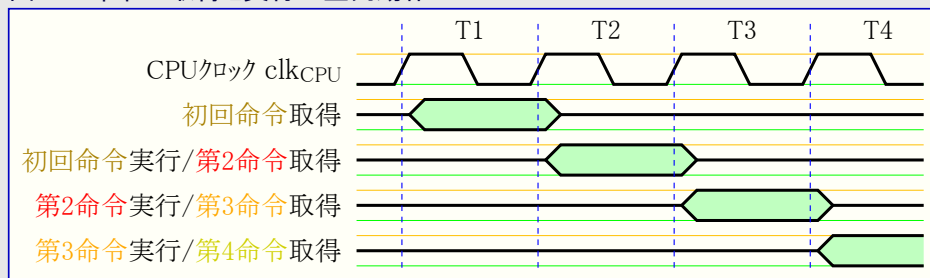
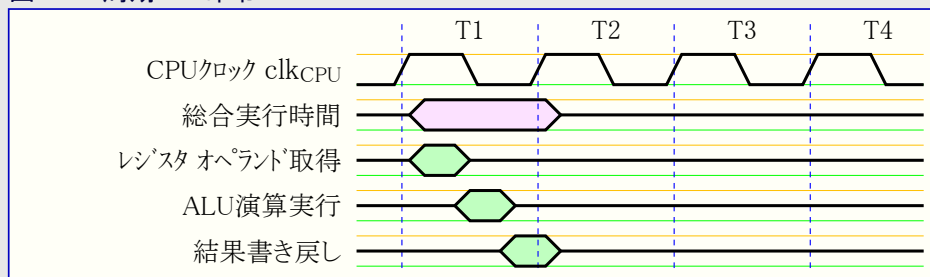


図4-5. 1周期ALU命令



4.7. 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。

プログラムメモリ空間の最下位アドレスは既定によってリセットと割り込みベクタとして定義されます。ベクタの完全な一覧は34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も解除(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 */
_cli();               /* 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 */
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

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せん。

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

```
_sei();  /* 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。

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

4.7.1. 割り込み応答時間

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4クロック周期です。4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4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4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4クロック周期要します。これらの4クロック周期中、プログラムカウンタ(PC:2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(+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)されます。

4.8. コア関係レジスタ

4.8.1. CCP – 構成設定変更保護レジスタ (Configuration Change Protection Register)

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

● ビット7～0 – CCP7～0 : 構成設定変更保護 (Configuration Change Protection)

保護されたI/Oレジスタの内容を変更するため、CCPレジスタは最初に正しい識票を書かれなければなりません。CCPが書かれた後、保護されたI/Oレジスタは次からの4CPU命令周期中に書けます。これらの周期中は全ての割り込みが無視されます。これらの周期後に割り込みはCPUによって自動的に再び取り扱われて、どの保留割り込みもそれらの優先権に従って実行されます。

保護されたI/Oレジスタの識票が書かれると、CCP0は保護機能が許可されている限り1として読みます。CCP7～1は常に0として読みます。

表4-1. は認証に於ける識票を示します。

表4-1. 構成設定変更保護レジスタによって認証される識票

識票	適用群	説明
\$D8	CLKSR, CLKPR, WDTCR (注)	保護されたI/Oレジスタ

注: WDTCRではWDEとWDP3～0のビットだけが保護されます。

4.8.2. SPH,SPL (SP) – スタックポインタ (Stack Pointer)

ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$3E (\$5E)	–	–	–	–	–	SP10	SP9	SP8	SPH
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
初期値	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	
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	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	RAMEND	

● ビット10～0 – SP10～0 : スタックポインタ (Stack Pointer)

スタックポインタレジスタは上位側メモリ位置から下位側メモリ位置へ伸長するように実行されるスタックの先頭を指し示します。従ってスタックへのPUSH命令はスタックポインタを減らします。

データSRAM内のスタック空間は、どのサブルーチン呼び出し実行や割り込み許可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。

(訳補) ATtiny1634の内蔵SRAMは1Kバイト(\$0100～\$04FF)です。従って、SRAM最終位置は\$04FF(0000 0100 1111 1111)です。

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

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「**命令一式記述**」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「**命令一式記述**」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「**命令一式記述**」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「**命令一式記述**」記述をご覧ください。

● ビット1 – Z : ゼロフラグ (Zero Flag)

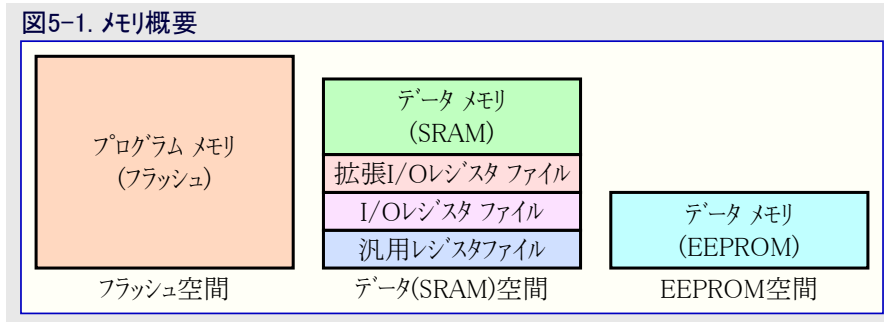
ゼロ(Z)フラグは算術及び論理操作でのゼロ(0)の結果を示します。詳細情報については「**命令一式記述**」記述をご覧ください。

● 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「**命令一式記述**」記述をご覧ください。

5. メモリ

AVR構造は独立したアドレス空間に各メモリ形式を配置して、プログラムメモリとデータメモリを区別します。実行可能なコードは不揮発性プログラムメモリ(フラッシュ)に置かれ、一方データは揮発性(SRAM)または不揮発性メモリ(EEPROM)のどちらにも置くことができます。下の図5-1をご覧ください。



全てのメモリ空間は直線的で規則的です。

5.1. プログラムメモリ(フラッシュ)

ATtiny1634はプログラム保存用に実装書き換え可能なチップ上の16Kバイトのフラッシュメモリを含みます。フラッシュメモリは不揮発性、換言するとそれらは例え給電されない時でも格納された情報を維持します。

全てのAVR命令が16または32ビット幅のため、フラッシュメモリは8192×16ビットとして構成されます。プログラムカウンタ(PC)は13ビット幅で、従って、下の表5-1で説明されるように、プログラムの全8192位置をアドレス指定する能力があります。

定数表はプログラムメモリのアドレス空間全体に置くことができます。198頁の「命令要約」でLPM(プログラムメモリ取得)とSPM(プログラムメモリ格納)の命令をご覧ください。プログラム用フラッシュメモリは153頁の「外部プログラミング」で記述されるように、外部装置からもプログラミングすることができます。

命令の取得と実行のタイミング図は8頁の「命令実行タイミング」で示されます。

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を持ちます。

表5-1. プログラムメモリ(フラッシュ)の大きさ

デバイス	フラッシュ容量	アドレス範囲
ATtiny1634	16Kバイト	8192語

5.2. データメモリ(SRAM)とレジスタファイル

表5-2はATtiny1634のデータメモリとレジスタファイルがどう構成されるかを示します。これらのメモリ領域は揮発性、換言すると、それらは電力が取り去れる時に情報を維持しません。

表5-2. データメモリとレジスタファイルの配置

デバイス	メモリ領域	容量	長アドレス(注1)	短アドレス(注2)
ATtiny1634	汎用レジスタファイル	32バイト	\$0000~\$001F	(利用不可)
	I/Oレジスタファイル	64バイト	\$0020~\$005F	\$00~\$3F
	拡張I/Oレジスタファイル	160バイト	\$0060~\$00FF	(利用不可)
	データ用SRAM	1024バイト	\$0100~\$04FF	(利用不可)

注1: データアドレスとしても知られます。このアドレス指定の形態はデータメモリとレジスタファイル全体を網羅します。アドレスは2語命令の16ビット領域に含まれます。

注2: 直接I/Oアドレスとしても知られます。このアドレス指定の形態はI/Oレジスタ領域の一部だけを網羅します。これはアドレスが命令語に組み込まれた命令によって使われます。

1280個のメモリ位置は汎用レジスタファイル、I/Oレジスタ、拡張I/Oレジスタ、内部データメモリ(SRAM)を含みます。

将来のデバイスとの互換性のため、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。予約された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。

5.2.1. 汎用レジスタファイル

最初の32位置は汎用レジスタファイル用に予約されます。これらのレジスタは7頁の「汎用レジスタファイル」で詳細に記述されます。

5.2.2. I/Oレジスタファイル

汎用レジスタファイルに後続する次の64位置はI/Oレジスタ用に予約されます。この領域内のレジスタは主にデバイスのI/Oと周辺機能部との通信に使われます。データはIN, OUT, LD, STとその派生のような命令を用いて、I/O空間とレジスタファイル間で転送することができます。

この領域内の全てのI/OレジスタはINとOUTの命令でアクセスすることができます。これらのI/O特有命令はI/Oレジスタ内の先頭位置を\$00とし、最後を\$3Fとしてアドレス指定します。

下位32個のレジスタ(アドレス範囲\$00~\$1F)はいくつかのビット特有命令によってアクセス可能です。これらのレジスタではSBIとCBIを用いてビットが容易に設定(1)と解除(0)が行われ、一方ビット条件分岐はSBIC,SBIS,SBRC,SBRSの命令を用いて容易く作成されます。

この領域のレジスタはLD/LDD/LDS/(LDI)とST/STD/STSの命令でアクセスすることもできます。これらの命令は揮発性メモリ全体を1つのデータ空間として扱い、従ってI/Oレジスタを\$0020で始まるアドレスで指定します。

197頁の「命令要約」をご覧ください。

ATtiny1634はどんな情報の格納にも使うことができる3つの汎用I/Oレジスタも含まれます。195頁の「レジスタ要約」でGPIOR0、GPIOR1、GPIOR2をご覧ください。これらの汎用I/OレジスタはそれらがSBI,CBI,SBIC,SBIS,SBRC,SBRSのようなビット特有命令でアクセス可能なため、全域変数や状態フラグの格納に著しく有用です。

5.2.3. 拡張I/Oレジスタ ファイル

標準I/Oレジスタ ファイルに後続する次の160位置は拡張I/Oレジスタ用に予約されます。ATtiny1634はINとOUTの命令でアドレス指定することができるよりも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。拡張I/O領域内のレジスタはLD/LDD/LDSとST/STD/STSの命令を用いてアクセスされなければなりません。197頁の「命令要約」をご覧ください。

I/Oレジスタの一覧については195頁の「レジスタ要約」をご覧ください。

5.2.4. データ メモリ (SRAM)

汎用レジスタ ファイルとI/Oレジスタ ファイルに後続する残りの1024位置は内部データSRAM用に予約されます。

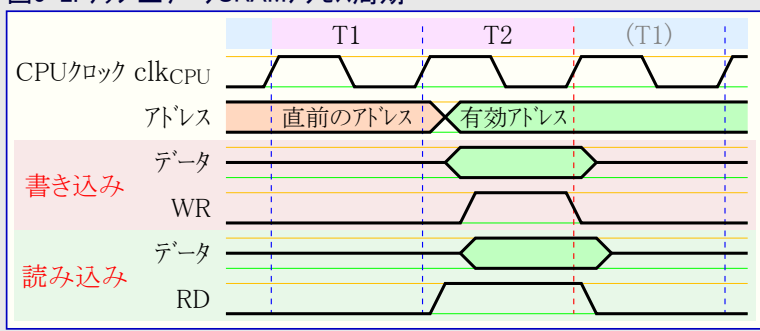
5つの利用可能なアドレス指定形態があります。

- 直接：このアドレス指定形態はデータ空間全体に届きます。
- 間接
- 変位付き間接：このアドレス指定形態はYまたはZのレジスタによって与えられる基本アドレスから63アドレス位置に届きます。
- 事前減少付き間接：この形態ではアクセス前にアドレスレジスタが自動的に減少(-1)されます。アドレス ポインタレジスタ(X,Y,Z)は汎用レジスタ ファイルでレジスタR26~R31内に置かれます。7頁の「汎用レジスタ ファイル」をご覧ください。
- 事後増加付き間接：この形態ではアクセス後にアドレスレジスタが自動的に増加(+1)されます。アドレス ポインタレジスタ(X,Y,Z)は汎用レジスタ ファイルでレジスタR26~R31内に置かれます。7頁の「汎用レジスタ ファイル」をご覧ください。

全てのアドレス指定形態は汎用レジスタ ファイル、I/Oレジスタ ファイル、データ メモリを含む揮発性メモリ全体で使うことができます。内部SRAMは下の図5-2.で図解されるように、2 clkCPU周期でアクセスされます。

(訳補) 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で実際の実行が行われます。後続する(T1)は次の命令のT1です。

図5-2. チップ上データSRAMアクセス周期



5.3. データ メモリ (EEPROM)

ATtiny1634は256バイトの不揮発性データメモリを含みます。このEEPROMは単一バイトで読み書きすることができる独立したデータ空間として構成されます。全てのアクセスレジスタはI/O空間に置かれます。

EEPROM配置は下の表5-3.で要約されます。

EEPROM操作計時に内部8MHz発振器が使われます。この発振器の周波数は23頁の「OSCCAL0 - 発振器校正レジスタ」で記述される必要条件内でなければなりません。

激しく濾波した供給によって給電される時に供給電圧(VCC)は電力上昇と電力下降で緩やかに上昇または下降しそうです。緩やかな上昇と下降の時間はデバイスが指定されるよりも低い供給電圧で走る状態に置かれるかもしれません。このような状況での問題を避けるために15頁の「EEPROM化けの防止」をご覧ください。

EEPROMは最低100,000回の消去/書き込み回数の耐久性を持ちます。

表5-3. 不揮発性データメモリ(EEPROM)の大きさ

デバイス	EEPROM容量	アドレス範囲
ATtiny1634	256バイト	\$00~\$FF

5.3.1. プログラミング方法

EEPROMプログラミングには以下のように2つの方法があります。

- 非分離バイトプログラミング。これは単一操作で目標位置が消去されて書かれる単純なプログラミング動作形態です。この動作形態では常に目標が書き込み前に消去されることを保証されますが、プログラミング時間がより長くなります。
- 分離バイトプログラミング。2つの違う操作で消去と書き込みを分けることが可能です。これは短いアクセス時間が必要とされる、例えば供給電圧が降下する時に有用です。この方法を利用するために、目標位置はそれらへ書く前に消去されなければなりません。これはシステムが時間に重要な操作を許す、代表的に始動と初期化時に時々行うことができます。

プログラミング方法はEEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラミング種別(EPPM1,0)ビットを用いて選ばれます。表5-4をご覧ください。書き込みと消去の時間はこの同じ表で与えられます。

EEPROMプログラミングは幾許かの時間がかかるため、応用は次を開始する前に1つの操作の完了を待たなければなりません。これはEEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラム許可(EPE)ビットのポーリング、またはEEPROM操作可割り込み経由のどちらによって行うことができます。EEPROM割り込みはECCRのEEPROM操作可割り込み許可(EERIE)ビットによって制御されます。

5.3.2. 読み込み

EEPROM位置を読むには下の手続きに従ってください。

1. 他のEEPROM操作が進行中でないことを確実にするためにEEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラム許可(EPE)ビットをポーリングしてください。
2. EEPROMアドレスレジスタ(EEARH/EEARL)に目的アドレスを書いてください。
3. EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROM読み込み許可(EERE)ビットを設定(1)することによって読み込み操作を開始してください。読み込み操作中、CPUは次の命令を実行する前に4クロック周期間停止されます。
4. EEPROMデータレジスタ(EEDR)からデータを読んでください。

5.3.3. 消去

予期せぬEEPROM書き込みを防ぐため、メモリ位置を消去するのに特別な手続きに従わなければなりません。EEPROM位置を消去するには下の手続きに従ってください。

1. 他のEEPROM操作が進行中でないことを確実にするためにEEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラム許可(EPE)ビットをポーリングしてください。設定(1)の場合、解除(0)を待ってください。
2. EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラミング種別(EPPM1,0)ビットを書くことによって消去のためのプログラミング形態を設定してください。
3. EEPROMアドレスレジスタ(EEARH/EEARL)に目的アドレスを書いてください。
4. EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROM主プログラム許可(EEMPE)を設定(1)することによって消去を許可してください。4クロック周期内に、EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラム許可(EPE)ビットを設定(1)することによって消去操作を開始してください。消去操作中、CPUは次の命令を実行する前に2クロック周期間停止されます。

EPEビットは消去操作が完了されるまで設定(1)に留まります。デバイスがプログラミングで多忙の間、他のどのEEPROM操作を実行することも不可能です。

5.3.4. 書き込み

予期せぬEEPROM書き込みを防ぐため、メモリ位置を書くのに特別な手続きに従わなければなりません。

EEPROMにデータを書く前に目的位置は消去されなければなりません。これは同じ操作で、または分離操作の一部としてのどちらかで行うことができます。未消去EEPROM位置への書き込みは不正なデータに終わるでしょう。

EEPROM位置を書くには下の手続きに従ってください。

1. 他のEEPROM操作が進行中でないことを確実にするためにEEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラム許可(EPE)ビットをポーリングしてください。設定(1)の場合、解除(0)を待ってください。
2. EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラミング種別(EPPM1,0)ビットを書くことによって書き込みのためのプログラミング形態を設定してください。二者選択で、データは1操作で書くことができるか、または書き込み手続きを消去のみと書き込みのみに分割することができます。
3. EEPROMアドレスレジスタ(EEARH/EEARL)に目的アドレスを書いてください。
4. EEPROMデータレジスタ(EEDR)に目的データを書いてください。
5. EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROM主プログラム許可(EEMPE)を設定(1)することによって書き込みを許可してください。4クロック周期内に、EEPROM制御レジスタ(ECCR)のEEPROMプログラム許可(EPE)ビットを設定(1)することによって書き込み操作を開始してください。書き込み操作中、CPUは次の命令を実行する前に2クロック周期間停止されます。

EPEビットは書き込み操作が完了されるまで設定(1)に留まります。デバイスがプログラミングで多忙の間、他のどのEEPROM操作も行うことが不可能です。

5.3.5. EEPROM化けの防止

低VCCの間中、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。

低供給電圧でEEPROM内のデータは以下の2つの点で不正にされ得ます。

- その他正当なEEPROMプログラミング手順の正しい動作を維持するのに供給電圧が低すぎます。
- CPUに対して供給電圧が低すぎて、命令が不正に実行されるかもしれません。

EEPROMデータ化けは不十分な供給電源電圧の期間中、デバイスをリセットに保つことによって避けられます。これは内部**低電圧検出器(BOD)**を許可することによって容易に行えます。BOD検出電圧が設計に対して不十分な場合、外部低VCCリセット回路を使うことができます。

供給電圧が充分なら、例えリセットが起きても、EEPROM書き込み操作は完了されます。

5.3.6. プログラム例

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。

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<<EEP1) | (0<<EEP0) ;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アドレス上位設定 (訳注:無効)
             OUT    EEARL, R17               ;EEPROMアドレス下位設定
             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 ucAddress, 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<<EEP1) | (0<<EEP0); /* 対応プログラミング種別設定 */
    EEAR = ucAddress; /* 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 */
}
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

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アドレス上位設定 (訳注:無効)
             OUT    EEARL, R17               ;EEPROMアドレス下位設定
             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 ucAddress)
{
    while (EECR & (1<<EEPE)); /* 以前のEEPROMプログラミング完了まで待機 */
    EEAR = ucAddress; /* 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 */
}
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

5.4. メモリ関係レジスタ

5.4.1. EEARL – EEPROMアドレスレジスタ (EEPROM Address Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1E (\$3E)	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7~0 – EEAR7~0 : EEPROMアドレス (EEPROM Address)

EEPROMアドレスレジスタはアクセスされつつあるメモリ位置を示すのに読み/書き操作で必要とされます。

EEPROMデータバイトはメモリ範囲全体(0~(256-1))に渡って直線的にアドレス指定されます。これらのビットの初期値は未定義で従ってEEPROMがアクセスされる前に正当な値がこのレジスタに書かれなければなりません。

256バイトまたはそれ以下のEEPROMを持つデバイスは上位アドレスレジスタ(EEARH)が不要です。従ってこのようなデバイスで上位アドレスレジスタが省かれますが、互換性の問題のため、残りのレジスタは未だEEPROMアドレスレジスタの下位バイト(EEARL)として参照されます。

アドレスバイト全体を満たさないデバイス、換言すると256に等しくないEEPROMの大きさを持つデバイスは未使用位置に読み込み専用ビットを実装します。未使用ビットはアドレスレジスタの上位側に置かれ、それらは常に0を読みます。

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

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1D (\$3D)	(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)で与えられたEEPROMアドレス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によって与えられたEEPROMアドレスから読み出したデータを含みます。

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

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1C (\$3C)	–	–	EEP1	EEP0	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を読みます。

● ビット5,4 – EEP1,0 : 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はEEPROMプログラム許可(EEPE)が書かれる時に起動される活動を定義します。データは新しいデータが書かれる前に前の値が自動的に消去される単一非分離操作で書くことができ、または消去と書き込みが2つの異なる操作に分けることができます。各種動作形態に対するプログラミング時間が表5-4.で示されます。

EEPE設定(1)時、EEP1nへのどの書き込みも無視されます。

リセット中、EEP1nビットはEEPROMがプログラミング多忙を除いて'00'にリセットされます。

表5-4. EEPROMプログラミング種別

EEP1	EEP0	プログラミング時間	動作
0	0	3.4ms	1操作での非分離操作(消去と書き込み)
0	1	1.8ms	消去のみ
1	0	1.8ms	書き込みのみ
1	1	–	(予約)

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

このビットの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)されているならば、EEPROM操作可割り込みを許可し、不揮発性メモリがプログラミング準備可の時にEEPROM操作可割り込みが起動されます。

このビットの0書き込みはEEPROM操作可割り込みを禁止します。

● 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書き込みが有効か否かのどちらかを決めます。

EEMPEが設定(1)されて4クロック周期内にEEPE書かれる(1)と、選んだアドレスでEEPROMがプログラミングされます。4クロック周期後にハードウェアがEEMPEビットを0に解除します。

EEMPEが0なら、EEPEビットは無効です。

● **ビット1 – EEPE : EEPROMプログラミング許可 (EEPROM Program Enable)**

これはEEPROMのプログラミング許可信号です。EEPEが(1)書かれる前にEEPROM主プログラム許可(EEMPE)ビットが設定(1)されなければならず、さもなければEEPROMはプログラミングされません。

EEPEが(1)書かれると、EEPROMはEEPMMnビット設定に従ってプログラミングされます。EEPEが設定(1)されてしまうと、CPUは次の命令が実行される前に2周期間停止されます。書き込み(プログラミング)アクセス時間経過後、EEPEビットはハードウェアによって解除(0)されます。

EEPROM書き込み操作がフラッシュ、ヒューズビット、施錠ビットの全ての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。

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

これはEEPROMの読み込みストロブです。目的アドレスがEEPROMアドレスレジスタ(EEAR)で構成設定されてしまうと、EEPROM読み込み操作を起動するためにEEREビットが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命令かかり、要求したデータは直ちに利用可能です。EEPROMが読まれる時にCPUは次の命令が実行される前に4周期間停止されます。

使用者は読み込み操作を開始する前にEEPEビットをホーリングすべきです。書き込み(プログラミング)操作が進行中の場合、EEPROMを読むことやアドレスレジスタ(EEAR)を変更することは不可能です。

5.4.4. 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	
\$16 (\$36)	(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	

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

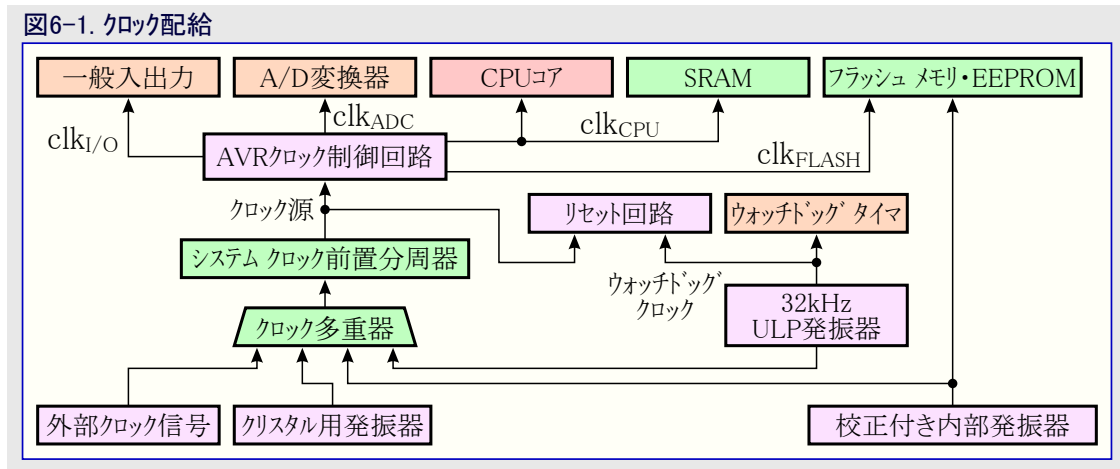
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$15 (\$35)	(MSB)							(LSB)	GPIOR1
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

5.4.6. 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	
\$14 (\$34)	(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	

6. クロック体系

図6-1.はATtiny1634に於ける主要なクロックシステム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。消費電力低減のため、25頁の「電力管理と休止形態動作」で記述されるように、各種休止動作形態と電力削減レジスタビットを使うことによって、使われていない単位部へのクロックを停止することができます。クロック体系は下で詳述されます。



6.1. クロック副系統

クロック副系統が以下の項で詳述されます。

6.1.1. 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。

6.1.2. I/O クロック - clk_{I/O}

I/Oクロックはタイマ/カウンタのような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。

6.1.3. 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。

6.1.4. 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る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。

6.2. クロック元

このデバイスはシステムクロック用に以下のどれも使うことができます。

- 外部クロック信号 (19頁をご覧ください。)
- 校正付き内部8MHz発振器 (19頁をご覧ください。)
- 内部32kHz超低電力(ULP)発振器 (19頁をご覧ください。)
- クリスタル/セラミック用発振器 (19頁をご覧ください。)

クロック元はクロック設定レジスタ(CLKSR)のクロック選択(CKSEL)ビットまたはCKSELヒューズのどちらかを使って選ばれます。CKSELのヒューズとビットの違いはデバイスの電源ONまたはリセットでCKSELヒューズが自動的にCKSELビットに設定されることです。CKSELビットの初期値は従ってCKSELヒューズによって決められます。

CKSELヒューズビットはファームウェアによって読むことができますが(151頁の「ソフトウェアからの施錠、ヒューズ、識票データの読み出し」をご覧ください)、ファームウェアはヒューズビットを書きできません。従って、走行時にシステムクロック元が変更されることが必要なら、CKSELビットが使われなければなりません。クロックシステムはクロック元切り替え時に異常なし動作を保証するように設計されています。21頁の「CLKSR - クロック設定レジスタ」をご覧ください。

デバイスがパワーダウンから起き上がる時に、命令実行開始前の安定な発振器動作を保証するために、始動時間に選んだクロック元が使われます。CPUがリセットから始まる時に、通常のデバイス動作が開始される前に安定な水準に達することを供給電圧に許す、付加遅延を生成するのに内部32kHz発振器が使われます。

システムクロック代替は以下の項で検討されます。

6.2.1. 外部クロック信号

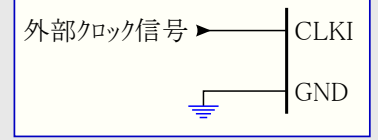
外部クロック元からデバイスを駆動するには、[図6-2](#)で示されるようにCLKIが接続されるべきです。

外部クロック周波数での急な変化を避けるためにMCUの安定動作を保証す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%よりも大きな周波数での変化は予測されない動きを引き起こし得ます。クロック周波数でのこのような変化中、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。

システムクロックでの大きな段階の変更に対する安定な操作はシステムクロック前置分周器を使う時に保証されます。「[システムクロック前置分周器](#)」をご覧ください。

このクロック元に対する始動時間は[表6-2](#)で示されるように、[始動時間\(SUT\)ビット](#)によって決められます。

図6-2. 外部クロック駆動構成設定



6.2.2. 校正付き内部8MHz発振器

内部8MHz発振器は外部部品なしで動作し、既定によって概ね8MHzの周波数を持つクロック元を提供します。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非常に正確に校正することができます。より多くの詳細については164頁の[表24-2](#)と193頁の[図26-64](#)と[図26-65](#)をご覧ください。

リセット中、ハードウェアが発振器校正(OSCCAL0)レジスタ内に予めプログラムされた校正値を設定し、これによって発振器を自動的に校正します。この校正の精度は[表24-2](#)で“工場校正”として参照されます。予めプログラムされた校正値の自動設定のより多くの情報については151頁の“[校正バイト](#)”項をご覧ください。

特に応用が狭い範囲の温度と電圧を許す時に、工場既定よりも高い精度に達することが可能です。ファームウェアは始動時や走行中のどちらでもOSCCAL0に校正データを再設定することができます。継続的な走行時校正法は電圧と温度の監視と検出したどの変化の補償もファームウェアに許します。「[OSCCAL0 - 発振器校正レジスタ](#)」、139頁の「[温度測定](#)」、140頁の[表19-3](#)をご覧ください。この校正の精度は[表24-2](#)で“使用者校正”として参照されます。

発振器温度校正レジスタ(OSCTCAL0AとOSCTCAL0B)は発振器周波数の一時的な温度校正に使うことができます。「[OSCTCAL0A - 発振器温度校正レジスタA](#)」と「[OSCTCAL0B - 発振器温度校正レジスタB](#)」をご覧ください。リセット中、ハードウェアがOSCTCAL0AとOSCTCAL0Bのレジスタ内に予めプログラムされた校正値を設定します。

このクロック元に対する始動時間は[表6-2](#)で示されるように、[始動時間\(SUT\)ビット](#)によって決められます。

デバイスをこのクロック周波数で走行するために供給電圧制限が適用されます。164頁の「[速度](#)」をご覧ください。

6.2.3. 内部32kHz超低電力(ULP)発振器

内部32kHz発振器は外部部品なしで動作する低電力発振器です。概ね32kHzの周波数を持つクロック元を提供します。周波数は供給電圧、温度と一群の変化に依存します。精度の詳細については164頁の[表24-3](#)をご覧ください。

リセット中、ハードウェアが発振器校正(OSCCAL1)レジスタ内に予めプログラムされた校正値を設定し、これによって発振器を自動的に校正します。この校正の精度は[表24-3](#)で“工場校正”として参照されます。予めプログラムされた校正値の自動設定のより多くの情報については151頁の“[校正バイト](#)”項をご覧ください。

この発振器がチップクロックとして使われる時に、未だウォッチドッグタイムとリセット時間超過に使われます。

このクロック元に対する始動時間は[表6-2](#)で示されるように、[始動時間\(SUT\)ビット](#)によって決められます。

6.2.4. クリスタル/セラミック用発振器

XTAL1とXTAL2は[図6-3](#)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することができる反転増幅器の各々、入力と出力です。クリスタル発振器またはセラミック振動子のどちらでも使えます。

図6-3. クリスタル発振器接続図

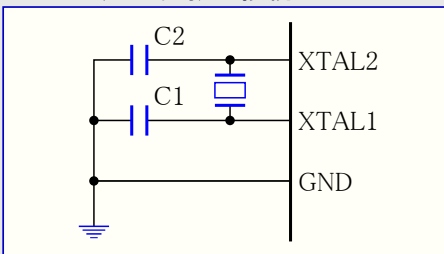


表6-1. クリスタル用発振器動作形態

周波数範囲	推奨C1,2容量	注意
<1MHz	-	セラミック振動子ではなく、クリスタル発振器専用
>1MHz	12~22pF	

C1とC2のコンデンサはクリスタル発振器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器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。クリスタル発振器での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上の[表6-1](#)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。

発振器は指定された周波数範囲に各々最適化される各種形態で動作することができます。[表6-4](#)をご覧ください。

このクロック元に対する始動時間は[表6-2](#)で示されるように、[始動時間\(SUT\)ビット](#)によって決められます。

6.2.5. 既定クロック設定

このデバイスは以下のヒューズ設定で出荷されます。

- 校正付き内部8MHz発振器 (CKSELビットをご覧ください。)
- 可能な最長始動時間 (SUTビットをご覧ください。)
- システム クロック前置分周器を8に設定 (150ページのCKDIV8ヒューズをご覧ください。)

既定設定は1MHzシステム クロックを与え、全ての使用者が実装または高電圧の書き込み器を使ってそれらを望むクロック元設定にすることができるのを保証します。

6.3. システム クロック前置分周器

ATtiny1634のシステム クロックは「CLKPR – クロック前置分周レジスタ」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役立ちます。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。clkCPU、clkFLASH、clkI/O、clkADCは表6-4.で示された値によって分周されます。

6.3.1. 切り替え時間

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ップル 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 $T1+T2 \sim T1+2 \times T2$ 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。

6.4. クロック出力緩衝部 (外部クロック出力)

本デバイスはシステム クロックをCLKOピンに出力することができます。この出力を許可するには、**クロック出力(CKOUT_IO)ビット**が設定(0)されなければなりません。**CKOUTヒューズ**はデバイスが通電またはリセットされる時にクロック設定レジスタ(CLKSR)に設定されるCKOUT_IOビットの初期値を決めます。クロック出力は「CLKSR – クロック設定レジスタ」節で記述されるようにCKOUT_IOビットの設定によって走行時に切り換えることができます。

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に適します。このヒューズがプログラム(0)された時にI/Oピンの標準動作が無視され、このクロックがリセット間に出力されないことに注意してください。クロックがCLKOに出力される時は校正付き内部発振器を含むどのクロック元も選べます。**システム クロック前置分周器**が使われると、出力されるのは分周されたシステム クロックです。

6.5. クロック関係レジスタ

6.5.1. CLKSР – クロック設定レジスタ (Clock Setting Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$32 (\$52)	OSCRDY	CSTR	CKOUT_IO	SUT	CKSEL3	CKSEL2	CKSEL1	CKSEL0	CLKSR
Read/Write	R	W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初期値	0	0			ビット記述をご覧ください。				

● ビット7 – OSCRDY : 発振器準備可 (Oscillator Ready)

このビットは発振器(始動)時間経過完了時に設定(1)されます。OSCRDYが設定(1)される時に発振器は安定でクロック元は安全に変更することができます。

● ビット6 – CSTR : クロック選択起動 (Clock Select Trigger)

このビットはクロック選択を起動します。発振器が安定する前に予め発振器を許可してクロック元を選ぶのに使うことができます。

CSTRがクロック選択(CKSEL)ビットが書かれるのと同じ時に設定(1)される場合、内容が直接CKSELに複写され、システムクロックは直ちに切り換えられます。

CSTRの設定(1)なしでCKSELが書かれる場合、CKSELビットによって選ばれた発振器が許可されますが、システムクロックは未だ切り換えられません。

● ビット5 – CKOUT_IO : クロック出力 (Clock Output)

このビットはクロック出力緩衝部を許可します。CKOUTヒューズはデバイスが給電またはリセットされる時にCLKSRレジスタに設定されるCKOUT_IOビットの初期化を決めます。

● ビット4 – SUT : 始動時間 (Start-Up Time)

SUTとクロック選択(CKSEL)のビットは下の表6-2.で示されるように、デバイスの始動時間を定義します。SUTビットの初期値はSUTヒューズによって決められます。SUTヒューズはデバイスが給電またはリセットされる時にSUTビットに設定されます。

表6-2. デバイス始動時間

SUT	CKSEL3~0	クロック元	パワーダウンから (注1,2)	リセットから (注3)
0 (注4)	0000	外部クロック信号	6×CK	22×CK+16ms
	0010 (注4)	内部8MHz発振器	6×CK	20×CK+16ms
	0100	内部32kHz発振器	6×CK	22×CK+16ms
	00x1,0101~0111	(予約)		
	1xx0	セラミック振動子用発振器 (注5)	258×CK (注6)	274×CK+16ms
	1xx1	クリスタル発振子用発振器	16K×CK	16K×CK+16ms
1	0000~0111,1xx1	(予約)		
	1xx0	セラミック振動子用発振器	1K×CK (注7)	1K×CK+16ms

注1: パワーダウン休止動作形態からのデバイス始動時間。

注2: 低電圧検出器(BOD)がソフトウェアによって禁止されていると、MCUがコード実行を続ける前にBODが正しく動作するのを保証するために、休止形態からの起き上がり時間は概ね60μsになります。

注3: リセット後のデバイス始動時間。

注4: デバイスはこの任意選択が選ばれて出荷されます。

注5: この任意選択はクリスタルでの使用に適合しません。

注6: この任意選択はデバイスの最高周波数付近での動作時に使われるべきでなく、応用に対して始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。

注7: これらの任意選択はセラミック振動子での使用を意図され、始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時で、応用に対して始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で使うこともできます。

● ビット3~0 – CKSEL3~0 : クロック選択 (Clock Select Bits)

これらのビットはシステムクロックのクロック元を選び、走行時に書くことができます。クロックシステムはクロック元の異常なし切り替えを保証します。CKSELヒューズはデバイスが給電またはリセットされる時のCKSELビットの初期化を決めます。

クロック代替は次の表6-3.で示されます。

表6-3. デバイス クロック駆動任意選択

CKSEL3~0 (注1)	周波数	デバイス クロック駆動任意選択
0000	何れも	外部クロック信号
0010	8MHz	校正付き内部8MHz発振器 (19頁をご覧ください。) (注2)
0100	32kHz	内部32kHz超低電力(ULP)発振器 (19頁をご覧ください。)
00x1,0101~0111	-	(予約)
100x	0.4~0.9MHz	クリスタル発振子/セラミック振動子用発振器 (19頁をご覧ください。)
101x	0.9~3MHz	
110x	3~8MHz	
111x	8~MHz	

注1: 全てのヒューズについて“1”は非プログラム、“0”はプログラムを意味します。

注2: これが既定設定です。デバイスはこのヒューズの組み合わせで出荷されます。

クロック元の意図されない切り替えを避けるため、CKSELビットを変更するのに以下のように保護された変更手順に従わなければなりません。

1. 構成設定変更保護(CCP)レジスタに保護されたI/Oレジスタの変更許可用の識票を書いてください。
2. 4命令周期内に望む値でCKSELビットを書いてください。

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

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$33 (\$53)	-	-	-	-	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	CLKPR
Read/Write	R	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7~4 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

● 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 クロック間の分周係数を定義します。これらのビットは応用の必要条件に合わせてクロック周波数を変えるために走行時に書くことができます。前置分周器はMCUへの主クロック入力を分周するため、これによって全ての同期周辺機能の速度が減じられます。分周係数は表6-4.で与えられます。

予期せぬクロック周波数の変更を防ぐため、CLKPSビットの変更するには保護された変更手順に従わなければなりません。

1. 保護されたI/Oレジスタの変更許可用の識票を構成設定変更保護(CCP)レジスタに書いてください。
2. 4命令周期内に望む値でCLKPSビットを書いてください。

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。

表6-4. クロック前置分周器選択

CLKPS3	0								1								
	0				1				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 (注1)	2	4	8 (注2)	16	32	64	128	256	(予約)							

注1: これはCKDIV8ヒューズが非プログラム(1)にされた時の初期値です。

注2: これはCKDIV8ヒューズがプログラム(0)された時の初期値です。デバイスはCKDIV8ヒューズがプログラム(0)されて出荷されます。

クロック前置分周ビットの初期値はCKDIV8ヒューズによって決められます(150頁の表22-5.をご覧ください)。CKDIV8が非プログラム(1)にされる時にシステム クロック前置分周器は1に、プログラム(0)される時に8に設定されます。どの値もCKDIV8ヒューズ ビット設定に拘らずCLKPSビットに書くことができます。

CKDIV8がプログラム(0)される時にCLKPSビットの値は始動での8分周クロック係数を与えます。これは選んだクロック元が現在の動作条件下で許されるよりも高い周波数を持つ時に有用です。164頁の「速度」をご覧ください。

6.5.3. OSCCAL0 – 発振器校正レジスタ (Oscillator Calibration Register)

ビット (\$63)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	CAL07	CAL06	CAL05	CAL04	CAL03	CAL02	CAL01	CAL00	OSCCAL0
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								

温度傾斜と周波数が発振器温度校正レジスタ(OSCTCAL0AとOSCTCAL0B)によって幾分制御されるとは言え、単にこのレジスタだけに書くことによって工場校正を置き換えることが可能です。最適な精度はOSCCAL0、OSCTCAL0A、OSCTCAL0Bが共に校正される時に達成されます。

● ビット7~0 – CAL07~0 : 発振器校正値 (Oscillator Calibration Value)

発振器校正レジスタは内部8MHz発振器の調整と発振器周波数からの変化除去処理に使われます。チップのリセット中に164頁の表24-2で指定される工場校正された周波数を与える予めプログラムされた校正値が自動的にこのレジスタに書かれます。

応用ソフトウェアは発振器周波数を変更するために、このレジスタを書くことができます。この発振器は表24-2で指定される周波数に校正することができます。この範囲外への校正は保証されません。

最低発振器周波数はこれらのビットを0に設定することによって達成されます。レジスタ値の増加は発振器周波数を増加します。代表的な周波数応答曲線が193頁の図26-63で示されます。

この発振器がEEPROMとフラッシュメモリの書き込みアクセスに使われ、それによって書き込み時間が影響を及ぼされますことに注意してください。EEPROMやフラッシュメモリが書かれる場合、8.8MHz以上に校正しないでください。さもないと、EEPROMやフラッシュメモリの書き込みが失敗するかもしれません。

MCUの安定な動作を保証するため、校正値は小さな間隔で変更されるべきです。或る周回から次へ2%以上の周波数での段階変更は予測不能な動きを引き起こし得ます。また、連続する2つのレジスタ値の差は\$20を超えるべきではありません。これらの限度を超える場合、MCUはクロック周波数変更の間にリセットを保たれなければなりません。

6.5.4. OSCTCAL0A – 発振器温度校正レジスタA (Oscillator Temperature Calibration Register A)

ビット (\$64)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	発振器温度校正データ								OSCTCAL0A
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								

このレジスタは内部8MHz発振器の温度傾斜と周波数の変更に使われます。164頁の表24-2で指定される工場校正周波数を与える予めプログラムされた値がチップリセット中にこのレジスタへ自動的に書かれます。

発振器校正レジスタ(OSCCAL0)、発振器温度校正レジスタA(OSCTCAL0A)、発振器温度校正レジスタB(OSCTCAL0B)が共に校正される時に最適精度が達成されますが、OSCCAL0に工場既定が上書きされる場合にこのレジスタは更新の必要はありません。

● ビット7 – 発振器温度校正値の符号 (Sign of Oscillator Temperature Calibration Value)

これは校正データの符号ビットです。

● ビット6~0 – 発振器温度校正値 (Oscillator Temperature Calibration Value)

これらのビットは校正データの数値を含みます。

6.5.5. OSCTCAL0B – 発振器温度校正レジスタB (Oscillator Temperature Calibration Register B)

ビット (\$65)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	発振器温度校正データ								OSCTCAL0B
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								

このレジスタは内部8MHz発振器の温度傾斜と周波数の変更に使われます。164頁の表24-2で指定される工場校正周波数を与える予めプログラムされた値がチップリセット中にこのレジスタへ自動的に書かれます。

発振器校正レジスタ(OSCCAL0)、発振器温度校正レジスタA(OSCTCAL0A)、発振器温度校正レジスタB(OSCTCAL0B)が共に校正される時に最適精度が達成されますが、OSCCAL0に工場既定が上書きされる場合にこのレジスタは更新の必要はありません。

● ビット7 – 温度補償許可 (Temperature Compensation Enable)

このビットが設定(1)されると、発振器温度校正レジスタAとB(OSCTCAL0A, OSCTCAL0B)の内容が校正に使われます。このビットが解除(0)されると、温度補償ハードウェアが禁止され、OSCTCAL0AとOSCTCAL0Bのレジスタは内部8MHz発振器の周波数に影響しません。

温度補償は発振器周波数に大きな影響を持ち、従って、許可または禁止時にこの影響を補償するために発振器校正(OSCCAL0)レジスタも補正されなければなりません。

● ビット6~0 – 発振器補償段階補正 (Temperature Compensation Step Adjust)

これらのビットはOSCTCALA内の校正データの段階量を制御します。最大段階量は\$00で、最小段階量は\$7Fで得られます。

6.5.6. OSCCAL1 – 発振器校正レジスタ (Oscillator Calibration Register)

ビット (\$66)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	-	-	CAL11	CAL10	OSCCAL1
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
初期値	デバイス固有の校正値								

- ビット7~2 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

- ビット1,0 – CAL11~0 : 発振器校正値 (Oscillator Calibration Value)

この発振器校正レジスタは内部32kHz発振器の調整と発振器周波数からの変化除去処理に使われます。チップのリセット中に164頁の表24-3で指定される工場校正された周波数を与える予めプログラムされた校正値が自動的にこのレジスタに書かれます。

応用ソフトウェアは発振器周波数を変更するために、このレジスタを書くことができます。この発振器は表24-3で指定される周波数に校正することができます。この範囲外への校正は保証されません。

最低発振器周波数はこれらのビットを0に設定することによって達成されます。レジスタ値の増加は発振器周波数を増加します。

7. 電力管理と休止形態動作

高機能と産業的に先行するコード効率性は低電力の応用に対してAVRマイクロコントローラを理想的に選ばせます。加えて休止形態動作は応用で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は応用に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動作を提供します。

7.1. 休止形態動作種別

18頁の図6-1はATtiny1634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動作選択の助けになります。表7-1は異なる休止形態動作と起き上がりに使える起動元を示します。

表7-1. 各休止形態動作に於ける動作クロック範囲と復帰起動要因

休止形態種別	発振器動作 許可された 主クロック 供給元	動作クロック範囲				復帰起動要因 (割り込み)							
		clk CPU	clk FLASH	clk IO	clk ADC	ウォッチ ドッグ	INT0 ピン変化	USART	USI	従装置 TWI	A/D変換 完了	SPM/ EEPROM 準備可	その他 I/O
アイドル	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A/D変換雑音低減	○				○	○	①	②	③	④	○	○	
スタンバイ	○					○	①	②	③	④			
パワーダウン						○	①	②	③	④			

①: INT0についてはレベル割り込みのみです。

②: フレーム開始検出のみです。

③: 開始条件のみです。

④: アドレス一致割り込みのみです。

休止形態動作へ移行するにはMCU制御レジスタ(MCUCR)の休止許可(SE)ビットが設定(1)され、SLEEP命令が実行されなければなりません。MCUCRの休止形態種別選択(SMn)ビットはSLEEP命令によって活性(有効)にされる休止形態のどれかを選びます。一覧については表7-2をご覧ください。

MCUが休止形態動作中に許可した割り込みが起こると、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。デバイスが休止状態から起動するとき、レジスタファイルとSRAMの内容は変更されません。休止形態動作中にリセットが起こると、MCUは起動し、リセットベクタから実行します。

レベルで起動した割り込みが起動復帰に使われる場合、MCUを起動(とMCUがその割り込み処理ルーチンへ移行)するには、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36頁の「外部割り込み」を参照してください。

7.1.1. アイドル動作

この休止形態は基本的にclkCPUとclkVNMを停止する一方、他のクロックに走行を許します。アイドル動作ではCPUが停止されますが、以下の周辺機能は動作を続けます。

- ウォッチドッグと割り込み機構
- アナログ比較器とA/D変換器
- USART、TWI、タイマ/カウンタ

アイドル動作はMCUにタイマ溢れ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き上がりも許します。アナログ比較器割り込みからの起き上がりが必要とされないなら、アナログ比較器はACSRAのアナログ比較器禁止(ACD)ビットを設定(1)することによって電源断にすることができます。131頁の「ACSRA - アナログ比較器制御/状態レジスタ」をご覧ください。これはアイドル動作での消費電力を削減します。

A/D変換が許可されているなら、この動作に移行すると自動的に変換が始まります。

7.1.2. A/D変換雑音低減動作

この休止形態は基本的にclkI/O、clkCPU、clkNVMを停止する一方、他のクロックの走行を許します。A/D変換雑音低減動作ではCPUが停止されますが、以下の周辺機能は動作を続けます。

- (許可されていれば)ウォッチドッグと外部割り込み
- A/D変換器
- USARTフレーム開始検出部とTWI

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許します。A/D変換器が許可されている場合、この動作に移行すると、変換が自動的に始まります。

以下の事象がMCUを起き上がらせ得ます。

- ウォッチドッグリセット、外部リセット、低電圧検出(BOD)リセット
- INT0の外部レベル割り込み、ピン変化割り込み
- A/D変換完了割り込み、SPM/EEPROM準備可割り込み
- USI開始条件、USARTフレーム開始検出、TWIアドレス一致

7.1.3. パワーダウン動作

この休止形態は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。パワーダウン動作では発振器が停止される一方で以下の周辺機能は動作を続けます。

- (許可されていれば)ウォッチドッグ、外部割り込み

以下の事象がMCUを起き上がらせ得ます。

- ウォッチドッグ リセット、外部リセット、低電圧検出(BOD)リセット
- INT0の外部レベル割り込み、ピン変化割り込み
- USI開始条件、USARTフレーム開始検出、TWIアドレス一致

7.1.4. スタンバイ動作

スタンバイ動作は発振器が走行(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。スタンバイ動作からは6クロック周期でデバイスが起き上がります。

7.2. 電力削減レジスタ

電力削減レジスタ(28頁の「[PRR – 電力削減レジスタ](#)」参照)は個別周辺機能へのクロックを停止することにより、消費電力を削減方法を提供します。周辺機能へのクロックが停止されると、以下のようになります。

- 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通常動作とアイドル動作で使えます。その他の休止形態動作ではクロックが予め停止されます。

7.3. 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。一般的に休止形態動作は可能な限り多く使われるべきで、休止形態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時、特別な考慮を必要とするでしょう。

7.3.1. A/D変換器 (ADC)

許可したなら、A/D変換器は全ての休止形態動作で許可されます。節電するため、休止形態動作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134頁の「[A/D変換器](#)」をご覧ください。

7.3.2. アナログ比較器

アイドル動作移行時に未使用ならばアナログ比較器は禁止されるべきです。A/D変換雑音削減動作移行時にアナログ比較器は禁止されるべきです。その他の休止形態動作ではアナログ比較器が自動的に禁止されます。けれども、アナログ比較器が入力として内部基準電圧を使うように構成設定される場合、アナログ比較器は全ての休止動作形態で禁止されるべきです。さもないと、休止動作形態と無関係に内部基準電圧が許可されます。アナログ比較器の構成設定方法の詳細については131頁の「[アナログ比較器](#)」をご覧ください。

7.3.3. 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BODPDヒューズによって許可されていると全休止形態動作で許可され、故に常時電力を消費します。これはより深い休止形態動作での総消費電流にとって重要な一因になります。応用に於いて低電圧検出器が必要とされる場合、この単位部は節電のために採取BOD動作形態に設定することもできます。低電圧検出器(BOD)設定法の詳細については30頁の「[低電圧検出 \(BOD\)](#)」をご覧ください。

7.3.4. 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、またはA/D変換器によって必要とされる時に許可されます。これらの単位部が上の項で記述されるように禁止されるなら、内部基準電圧は禁止され、電力を消費しません。再びONに切り替わる時に、この出力が使われる前に使用者はこの基準電圧に始動を許さなければなりません。基準電圧が休止動作形態でONを維持されるなら、この出力は直ちに使うことができます。始動時間の詳細については165頁の表24-5内の内部バンドギャップ基準をご覧ください。

7.3.5. 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動作で許可され、故に常時電力を消費します。これはより深い休止形態動作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31頁の「[ウォッチドッグ タイマ](#)」をご覧ください。

7.3.6. ポートピン

休止形態動作へ移行するとき、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変換器クロック(clk_{ADC})の両方が停止される休止形態動作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42頁の「[デジタル入力許可と休止形態動作](#)」をご覧ください。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(DIDR0~2)の書き込みによって禁止できます。詳細については133頁と142頁の「[DIDR0 - デジタル入力禁止レジスタ0](#)」をご覧ください。

7.3.7. チップ上デバッグ システム

チップ上デバッグ システムがDWENヒューズによって許可され、チップが休止動作形態へ移行した場合、主クロック元が許可され、従って常に電力を消費します。これはより深い休止形態動作での総消費電流にとって重要な一因になります。

7.4. 電力管理用レジスタ

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

このMCU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	
\$36 (\$56)	–	SM1	SM0	SE	–	–	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	R	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7,3,2 – Res : 予約 (Reserved)**

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

- **ビット6,5 – SM1,0 : 休止形態種別選択 (Sleep Mode Select Bit 1 and 0)**

これらのビットは表7-2.で示される利用可能な休止形態動作を選びます。

表7-2. 休止形態動作種別選択

SM1	SM0	休止形態動作種別
0	0	アイドル動作
0	1	A/D変換雑音低減動作
1	0	パワーダウン動作
1	1	スタンバイ動作 (注)

注: クロック元として外部のクリスタルまたはセラミック振動子での選択でだけ推奨されます。

- **ビット0 – SE : 休止許可 (Sleep Enable)**

SLEEP命令が実行される時にMCUを休止形態動作へ移行させるには、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の目的外休止形態動作移行を避けるため、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。

7.4.2. PRR – 電力削減レジスタ (Power Reduction Register)

電力削減レジスタは周辺機能クロック信号が禁止されることを許すことによって電力消費を減らす方法を提供します。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$34 (\$54)	–	PRTWI	PRTIM1	PRTIM0	PRUSI	PRUSART1	PRUSART0	PRADC	PRR
Read/Write	R	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 – Res : 予約 (Reserved)**

このビットは予約されており、常に0を読みます。

- **ビット6 – PRTWI : TWI電力削減 (Power Reduction Two-Wire Interface)**

このビットへの1書き込みは2線インターフェース(TWI)部を停止します。

- **ビット5 – 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4 – 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3 – PRUSI : USI電力削減 (Power Reduction USI)**

このビットへの1書き込みはこの単位部へクロックを停止することによって多用途直列インターフェース(USI)部を停止します。再びUSIを起き上がらせる時に正しい動作を保証するためにUSIは再初期化されるべきです。

- **ビット2 – PRUSART1 : USART1電力削減 (Power Reduction USART1)**

このビットへの1書き込みはこの単位部へクロックを停止することによってUSART1部を停止します。USART1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1 – PRUSART0 : USART0電力削減 (Power Reduction USART0)**

このビットへの1書き込みはこの単位部へクロックを停止することによってUSART0部を停止します。USART0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。

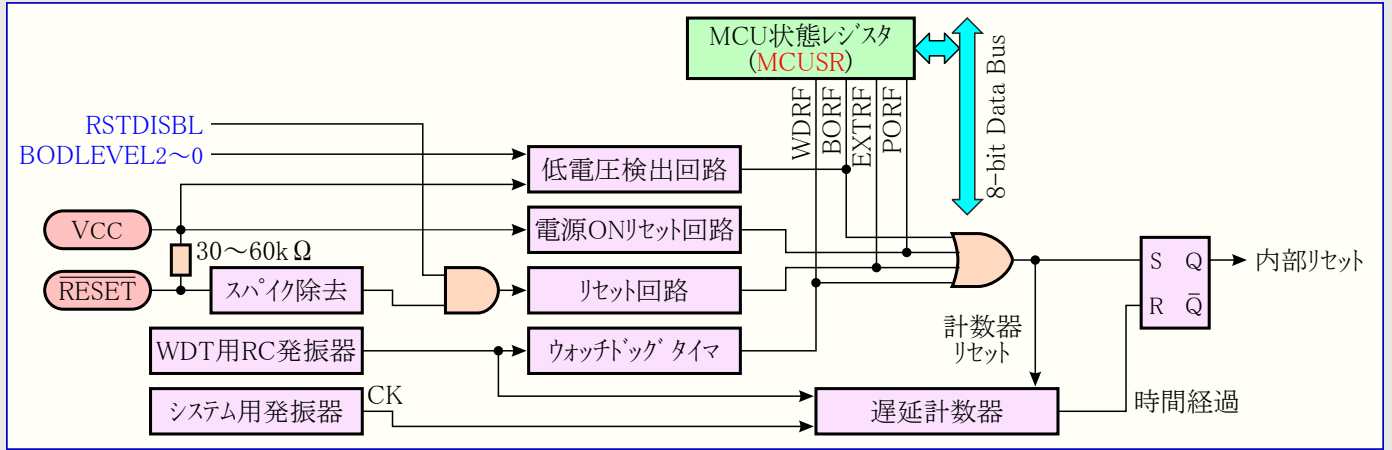
8. システム制御とリセット

8.1. 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、例え他の1または2語命令が使えたとしても、リセット処理ルーチンへの無条件絶対分岐(JMP)2語命令であるべきです。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が配置できます。

図8-1.の回路構成図はリセット論理回路を示します。リセット回路の電気的特性は165頁の「システムとリセット」項で定義されます。

図8-1. リセット回路構成



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。

8.2. リセット元

ATtiny1634には次の4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_{POA})**以下でMCUがリセットされます。
- **外部リセット** RESET機能許可時に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** ... ウォッチドッグリセット動作が許可され、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** 低電圧検出器(BOD)が許可され、供給電圧(VCC)が**低電圧検出電圧(V_{BODT})**以下でMCUがリセットされます。

8.2.1. 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り、生成されます。検出電圧は165頁の「システムとリセット」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_{POR})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8-2. MCU始動、VCCに繋がれたRESET

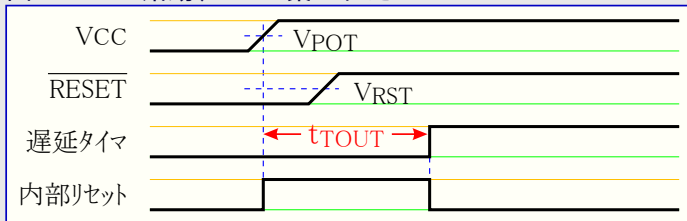
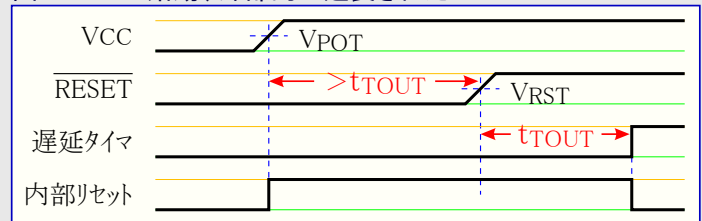


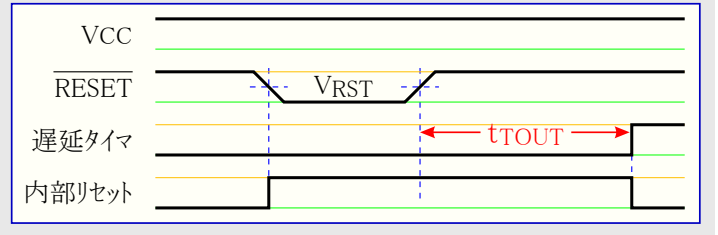
図8-3. MCU始動、外部的に延長されたRESET



8.2.2. 外部リセット

外部リセットは $\overline{\text{RESET}}$ ピンのLowレベルによって生成されます。クロックが動いていなくても、最小パルス幅(165頁の「システムとリセット」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(遅延タイマを起動し)、遅延タイマは遅延時間(t_{TOUT})経過後にMCUを始動します。電源ON始動計数中は外部リセットが無視されます。内部電源ON遅延計数完了時に $\overline{\text{RESET}}$ ピンがLowの場合にだけ、電源ONリセット後に内部リセットが延長されます。29頁の図8-2と図8-3をご覧ください。

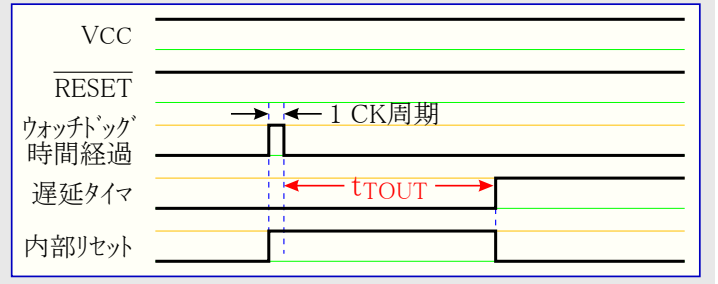
図8-4. 動作中の外部リセット



8.2.3. ウォッチドッグリセット

ウォッチドッグ時間経過時に(内部で)短いリセットパルスを生成します。遅延タイマはこのパルスの下降端で遅延時間(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31頁を、リセット遅延時間については165頁の表24-5をご覧ください。

図8-5. 動作中のウォッチドッグリセット



8.2.4. 低電圧(ブラウンアウト)検出リセット

低電圧検出(BOD)回路はVCC水準が構成設定可能な検出基準(V_{BOT})以上を維持することを監視します。BOD許可時、VCCが下降して検出時間の長さ(t_{BOD})の間、検出基準以下に留まる時にBODリセットが与えられます。このリセットはVCCが再び検出基準以上に上昇するまで活性を維持します。

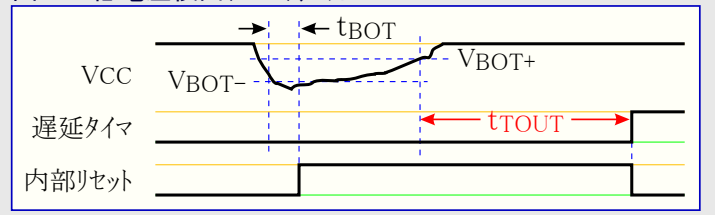
BOD回路は電圧が検出時間(t_{BOD})の間、検出基準以下に留まらなければ、VCCの降下を検出しません(165頁の「システムとリセット」をご覧ください)。

BOD回路は以下のように3つの動作形態を持ちます。

- **禁止:** この動作形態ではVCCが監視されず、従って供給電力が安定を維持する応用だけに推奨されます。
- **許可:** この動作形態ではVCC水準が継続的に監視されます。VCCが最低 t_{BOD} 間、 V_{BOT} 以下へ降下した場合に低電圧(Brown-out)リセットが生成されます。
- **採取:** この動作形態ではVCCが32kHz超低電力(ULP)発振器から配給される1kHzクロックの各負端で採取されます。各採取間でBODはOFFされます。この動作種別はBODが継続的に許可される動作形態に比べて消費電力を減らしますが、1kHzクロックの2つの正端間のVCCでの降下検出を怠ります。この動作形態で低電圧(Brown-out)が検出された場合、VCCが V_{BOT} 以上に上昇するまでデバイスがリセットを維持するのを保証するために、BOD回路が許可動作形態に設定されます。BODはリセットが開放されてヒューズが読み込まれた後で採取動作形態に戻ります。

BOD動作形態はBODACTとBODPDのヒューズビットを用いて選ばれます。BODACTヒューズビットは表8-1.で示されるように、活動動作とアイドル動作でBODがどう動作するかを決めます。

図8-6. 低電圧検出(BOD)リセット



BODPDヒューズビットは表8-2.で示されるように、アイドル動作を除く全ての休止形態動作でBODがどう動作するかを決めます。

149頁の「ヒューズビット」をご覧ください。

表8-1. 活動とアイドルの動作でのBOD動作構成設定

BODACT1	BODACT0	動作形態
0	0	(予約)
0	1	採取動作: 採取動作でBOD許可
1	0	許可動作: 継続的にBOD許可
1	1	禁止動作: BOD禁止

表8-2. アイドル以外の休止形態でのBOD動作構成設定

BODPD1	BODPD0	動作形態
0	0	(予約)
0	1	採取動作: 採取動作でBOD許可
1	0	許可動作: 継続的にBOD許可
1	1	禁止動作: BOD禁止

8.3. 内部基準電圧

ATtiny1634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。バントギャップ電圧は供給電圧と温度で変化します。

8.3.1. 基準電圧許可信号と起動時間

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、165頁の「システムとリセット」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 (30頁の「低電圧(ブラウンアウト)検出リセット」をご覧ください。)
2. アナログ比較器内部基準電圧接続時 (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(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。

8.4. ウォッチドッグ タイマ

ウォッチドッグ タイマは32kHz超低電力(ULP)発振器からクロック駆動されず(19頁をご覧ください)。ウォッチドッグ タイマ前置分周器の制御によってウォッチドッグ リセット間隔は33頁の表8-5.で示されるように調整できます。ウォッチドッグ リセット (WDR)命令はウォッチドッグ タイマをリセットします。ウォッチドッグ タイマはそれが禁止される時とチップ リセットが起こる時もリセットされます。このリセット周期を決めるのに10種の異なるクロック周期時間を選べます。別のウォッチドッグ リセットなしにリセット周期が経過すると、ATtiny1634はリセットしてリセット ベクタから実行します。ウォッチドッグ リセットの詳細タイミングについては33頁の表8-5.を参照してください。

ウォッチドッグ タイマはリセットの代わりに割り込みを生成する設定にもできます。これは「パワーダウン動作」から起動するのにウォッチドッグを使う時に大変有用となり得ます。

予期せぬウォッチドッグ禁止や予期せぬ計時終了周期変更を防ぐため、2つの異なる安全基準が表8-3.で示されるWDTON構成設定ビットによって選ばれます。詳細については次の「ウォッチドッグ タイマ構成設定変更手順」を参照してください。

図8-7. ウォッチドッグ タイマ構成図 (訳注:内容に合せ修正)

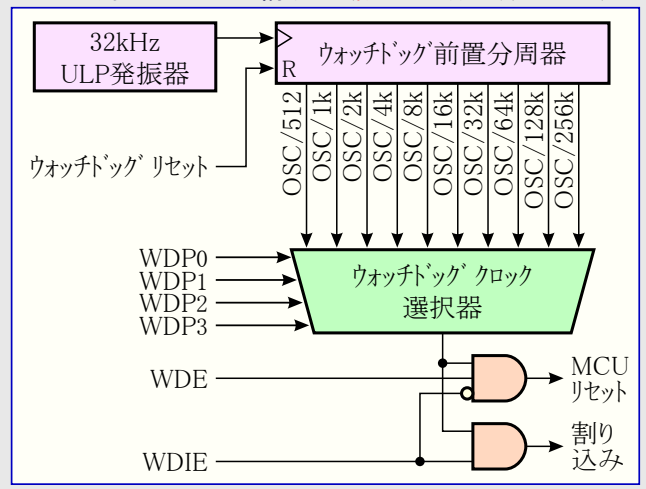


表8-3. WDTON構成設定ビットの設定によるウォッチドッグ機能設定

WDTON構成設定ビット	安全基準	WDT初期状態	WDT禁止方法	計時完了時間変更方法
非プログラム(1)	1	禁止	時間制限変更手順	なし(常時可)
プログラム(0)	2	許可	なし(常時許可)	時間制限変更手順

8.4.1. ウォッチドッグ タイマ構成設定変更用時間制限手順

ウォッチドッグ構成設定変更手順は安全基準間で僅かに異なります。各レベルに対して独立した手順が記述されます。

8.4.1.1. 安全基準1

この動作種別ではウォッチドッグ タイマが初めに禁止されますが、どんな制限もなくウォッチドッグ許可(WDE)ビットに1を書くことによって許可できます。許可したウォッチドッグ タイマを禁止する時に時間制限手順が必要とされます。許可したウォッチドッグ タイマを禁止するには次の手順に従わなければなりません。

1. 保護されたI/Oレジスタの変更許可用の識票を構成設定変更保護(CCP)レジスタに書いてください。
2. (次からの)4命令周期内に同じ操作(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)ビットを書いてください。

8.4.1.2. 安全基準2

この動作種別ではウォッチドッグ タイマが常に許可され、WDEビットは常に1として読みます。ウォッチドッグ計時完了周期を変更する時に時間制限された変更が必要とされます。ウォッチドッグ計時完了周期を変更するには次の手順に従わなければなりません。

1. 保護されたI/Oレジスタの変更許可用の識票を構成設定変更保護(CCP)レジスタに書いてください。
2. (次からの)4命令周期内に同じ操作(命令)でWDP2~0ビットを書いてください。WDEビットに書かれた値は無関係です。

8.4.2. コード例

次のコード例はウォッチドッグ(WDT)をOFFに切り替える方法を示します。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:    WDR                ;ウォッチドッグ タイムリセット
            IN      R16, MCUSR   ;現MCUSR値を取得
            ANDI   R16, ~(1<<WDRF) ;WDRFビットのみ0値を取得
            OUT    MCUSR, R16   ;MCUSRのWDRFを解除(0)
            LDI   R16, $D8      ;変更許可識別値を取得
            OUT    CCP, R16     ;構成設定変更許可手順開始
            LDI   R16, (0<<WDE) ;WDE論理0値を取得
            OUT    WDTCSR, R16  ;ウォッチドッグ禁止
            RET                  ;呼び出し元へ復帰
    
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

8.5. リセット関係レジスタ

8.5.1. 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	
\$35 (\$55)	–	–	–	–	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	MCUSR
Read/Write	R	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7~4 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

- 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。

8.5.2. WDTCSR – ウォッチドッグ タイマ制御/状態レジスタ (Watchdog Timer Control and Status Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$30 (\$50)	WDIF	WDIE	WDP3	–	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	WDTCSR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	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 : ウォッチドッグ時間超過割り込み要求フラグ (Watchdog Timeout 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)されていると、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 : ウォッチドッグ時間超過割り込み許可 (Watchdog Timeout Interrupt Enable)

このビットが1を書かれ、ウォッチドッグ リセット許可(WDE)ビットが解除(0)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)されると、ウォッチドッグ時間超過割り込みが許可されます。この動作形態ではウォッチドッグ タイマで時間超過が起きた場合にリセットの代わりに対応する割り込みが実行されます。

WDEが設定(1)されると、時間経過発生時にハードウェアによってWDIEが自動的に解除(0)されます。これはウォッチドッグ リセット保護を維持すると同時に割り込みを使うのに有用です。WDIEビット解除(0)後、次の時間経過がリセットを生成します。ウォッチドッグ リセットを避け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。

表8-4. ウォッチドッグ タイマ構成設定

WDE	WDIE	ウォッチドッグ タイマの状態	時間超過での活動
0	0	停止	なし
0	1	走行	割り込み
1	0	走行	リセット
1	1	走行	割り込み

● ビット4 – Res : 予約 (Reserved)

このビットは予約されており、常に0を読みます。

● ビット3 – WDE : ウォッチドッグ許可 (Watchdog Enable)

このビットはウォッチドッグ タイマの許可と禁止を行います。31頁の「ウォッチドッグ タイマ構成設定変更用時間制限手順」をご覧ください。

● 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)

WDP3~0ビットはウォッチドッグ タイマが許可される時のウォッチドッグ タイマ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8-5.で示されます。

表8-5. ウォッチドッグ前置分周器選択

WDP3	0								1							
	0				1				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	512	1k	2k	4k	8k	16k	32k	64k	128k	256k	(予約)(注)					
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						

注: 選んだなら、1010未満の有効設定の1つが使われます。

9. 割り込み

本章はATtiny1634によって実行されるような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8頁の「リセットと割り込みの扱い」をご覧ください。

9.1. 割り込みベクタ

ATtiny1634の割り込みベクタは下の表9-1.で記述されます。

表9-1. 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	ラベル表記	割り込み元
1	\$0000	RESET	電源ON, WDT, BOD等の各種リセット
2	\$0002	INT0	外部割り込み要求0
3	\$0004	PCINT0 (PCI0)	ピン変化0群割り込み要求
4	\$0006	PCINT1 (PCI1)	ピン変化1群割り込み要求
5	\$0008	PCINT2 (PCI2)	ピン変化2群割り込み要求
6	\$000A	WDT	ウォッチドッグ計時完了
7	\$000C	TIM1_CAPT	タイマ/カウンタ1捕獲発生
8	\$000E	TIM1_COMPA	タイマ/カウンタ1比較A一致
9	\$0010	TIM1_COMPB	タイマ/カウンタ1比較B一致
10	\$0012	TIM1_OVF	タイマ/カウンタ1溢れ
11	\$0014	TIM0_COMPA	タイマ/カウンタ0比較A一致
12	\$0016	TIM0_COMPB	タイマ/カウンタ0比較B一致
13	\$0018	TIM0_OVF	タイマ/カウンタ0溢れ
14	\$001A	ANA_COMP	アナログ比較器出力遷移
15	\$001C	ADC_READY	A/D変換完了
16	\$001E	USART0_RXS	USART0受信開始
17	\$0020	USART0_RXC	USART0受信完了
18	\$0022	USART0_DRE	USART0データレジスタ空
19	\$0024	USART0_TXC	USART0送信完了
20	\$0026	USART1_RXS	USART1受信開始
21	\$0028	USART1_RXC	USART1受信完了
22	\$002A	USART1_DRE	USART1データレジスタ空
23	\$002C	USART1_TXC	USART1送信完了
24	\$002E	USI_STR	USI開始
25	\$0030	USI_OVF	USI溢れ
26	\$0032	TWI	2線インターフェース
27	\$0034	EE_RDY	EEPROM操作可
28	\$0036	QTRIP	QTRIP QTouch (接触感知)

プログラムが決して割り込み元を許可しない条件では、割り込みベクタは使われず、結果としてこれらの位置に通常のプログラムコードを置くことができます。

ATtiny1634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は下のプログラム例で示されます。

アドレス	ラベル	命令	注釈
		. ORG \$0000	;次命令行開始アドレス
\$0000		JMP RESET	;各種リセット
\$0002		JMP INTO_ISR	;外部割り込み要求0
\$0004		JMP PCINT0_ISR	;ピン変化0群割り込み要求
\$0006		JMP PCINT1_ISR	;ピン変化1群割り込み要求
\$0008		JMP PCINT2_ISR	;ピン変化2群割り込み要求
\$000A		JMP WDT_ISR	;ウォッチドッグ計時完了
\$000C		JMP TIM1_CAPT_ISR	;タイマ/カウンタ1捕獲発生
\$000E		JMP TIM1_COMP_A_ISR	;タイマ/カウンタ1比較A一致
\$0010		JMP TIM1_COMP_B_ISR	;タイマ/カウンタ1比較B一致
\$0012		JMP TIM1_OVF_ISR	;タイマ/カウンタ1溢れ
\$0014		JMP TIM0_COMP_A_ISR	;タイマ/カウンタ0比較A一致
\$0016		JMP TIM0_COMP_B_ISR	;タイマ/カウンタ0比較B一致
\$0018		JMP TIM0_OVF_ISR	;タイマ/カウンタ0溢れ
\$001A		JMP ANA_COMP_ISR	;アナログ比較器出力遷移
\$001C		JMP ADC_ISR	;A/D変換完了
\$001D		JMP USART0_RX_ISR	;USART0受信開始
\$0020		JMP USART0_RXC_ISR	;USART0受信完了
\$0022		JMP USART0_DRE_ISR	;USART0データレジスタ空
\$0024		JMP USART0_TXC_ISR	;USART0送信完了
\$0026		JMP USART1_RX_ISR	;USART1受信開始
\$0028		JMP USART1_RXC_ISR	;USART1受信完了
\$002A		JMP USART1_DRE_ISR	;USART1データレジスタ空
\$002C		JMP USART1_TXC_ISR	;USART1送信完了
\$002E		JMP USI_START_ISR	;USI開始
\$0030		JMP USI_OVF_ISR	;USI溢れ
\$0032		JMP TWI_ISR	;2線インターフェース
\$0034		JMP EE_RDY_ISR	;EEPROM操作可
\$0036		JMP QTRIP_ISR	;QTRIP QTouch (接触感知)
		;	
\$0038	RESET:	LDI R16, HIGH (RAMEND)	;RAM最終アドレス上位を取得
\$0039		OUT SPH, R16	;スタックポインタ上位を初期化
\$003A		LDI R16, LOW (RAMEND)	;RAM最終アドレス下位を取得
\$003B		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

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

9.2. 外部割り込み

外部割り込みはINT0ピンまたはPCINT0～17ピンの何れかによって起動されます。許可したなら、例えINT0またはPCINT0～17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。

ピン変化割り込みは以下のように起動します。

- **ピン変化0群割り込み(PCI0)**は許可したPCINT0～7ピンの何れかが切り替わる場合に起動します。
- **ピン変化1群割り込み(PCI1)**は許可したPCINT8～11ピンの何れかが切り替わる場合に起動します。
- **ピン変化2群割り込み(PCI2)**は許可したPCINT12～17ピンの何れかが切り替わる場合に起動します。

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。

PCINT0～17でのピン変化割り込みは非同期に検知され、そしてそれはそれらの割り込みがアイドル動作以外の休止形態動作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。

INT0外部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。次ページの「MCUCR – MCU制御レジスタ」をご覧ください。INT0がレベル起動として構成設定されて許可されると、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。

INT0の上昇端または下降端の割り込みの認知は18頁の「クロック体系」で記述されるようにI/Oクロックの存在を必要とすることに注意してください。

9.2.1. Lowレベル割り込み

INT0のLowレベル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動作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動作で停止されます。

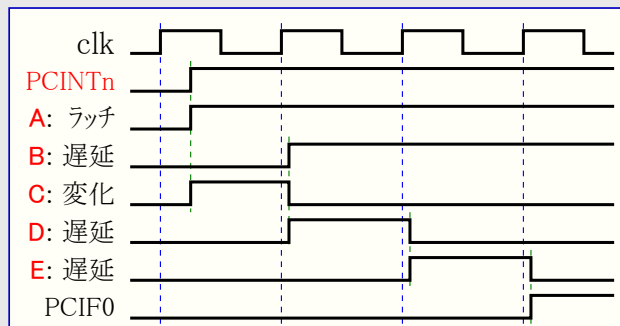
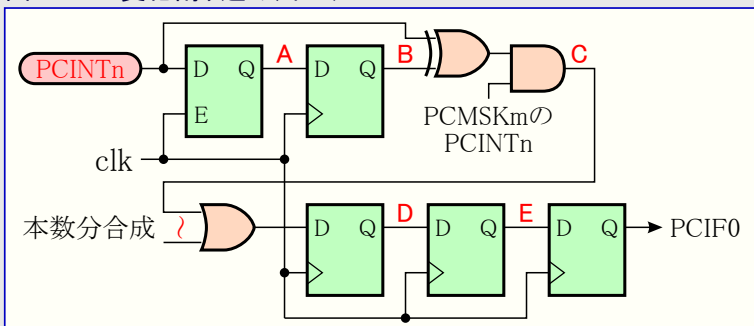
レベル起動割り込みがパワーダウン動作からの起動に使われる場合、この必要としたレベルはレベル割り込みを起動する完全な起動復帰のため、MCUに対して充分長く保持されなければならないことに注意してください。このレベルが起動時間の最後に先立って消滅すると、MCUは今までどおり起動しますが、割り込みが生成されません。起動時間は18頁の「クロック体系」で示されるようにSUTとCKSELのヒューズによって定義されます。

デバイスが起動復帰する前に割り込みピン上のLowレベルが取り去られると、プログラム実行は割り込み処理ルーチンへ転換されませんが、SLEEP命令に続く命令から継続します。

9.2.2. ピン変化割り込みタイミング

ピン変化割り込みのタイミング例は図9-1.で示されます。

図9-1. ピン変化割り込みタイミング



9.3. 割り込み用レジスタ

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

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$36 (\$56)	-	SM1	SM0	SE	-	-	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	R	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1,0 – ISC01,0 : 外部割り込み0判断制御 (Interrupt Sense Control 0 bit 1 and 0)

外部割り込み0はステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと対応する割り込み許可が設定(1)される場合のINT0ピンの活動によって起動されます。割り込みを起動するのに必要とされる条件は表9-2.で定義されます。

表9-2. 外部割り込み0(INT0)判断制御

ISC01	ISC00	説明
0	0	INT0ピンのLowレベルが割り込み要求を生成します。 (注1)
0	1	INT0ピンのどの論理変化(両端)も割り込み要求を生成します。 (注2)
1	0	INT0ピンの下降端が割り込み要求を生成します。 (注2)
1	1	INT0ピンの上昇端が割り込み要求を生成します。 (注2)

注1: Lowレベル割り込みが選ばれる場合、そのLowレベルは割り込みを生成するの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。

注2: INT0ピンの値は端(エッジ)検出に先立って採取されます。端または論理変化割り込みが選ばれる場合、1クロック周期よりも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生成が保証されません。

9.3.2. GIMSK – 一般割り込み許可レジスタ (General Interrupt Mask Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3C (\$5C)	-	INT0	PCIE2	PCIE1	PCIE0	-	-	-	GIMSK
Read/Write	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

- ビット7,2~0 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

- ビット6 – INT0 : 外部割り込み0許可 (External Interrupt Request 0 Enable)

ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとこのビットが設定(1)される時にINT0外部ピン割り込みが許可されます。起動条件はMCU制御レジスタ(MCUCR)の割り込み判断制御0のビット(ISC0n)で設定されます。

例えばINT0ピンが出力として設定されても、このピンの活動が割り込み要求を引き起こします。

- ビット5 – 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)ビットとこのビットが設定(1)される時にピン変化割り込み2が許可されます。許可したPCINT12~17ピンの何れかの変化が割り込みを引き起こします。34頁の表9-1.をご覧ください。

各ピンは個別に許可することができます。次頁の「PCMSK2 – ピン変化割り込み許可レジスタ2」をご覧ください。

- ビット4 – 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)ビットとこのビットが設定(1)される時にピン変化割り込み1が許可されます。許可したPCINT8~11ピンの何れかの変化が割り込みを引き起こします。34頁の表9-1.をご覧ください。

各ピンは個別に許可することができます。次頁の「PCMSK1 – ピン変化割り込み許可レジスタ1」をご覧ください。

- ビット3 – 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)ビットとこのビットが設定(1)される時にピン変化割り込み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引き起こします。34頁の表9-1.をご覧ください。

各ピンは個別に許可することができます。39頁の「PCMSK0 – ピン変化割り込み許可レジスタ0」をご覧ください。

9.3.3. GIFR – 一般割り込み要求フラグレジスタ (General Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3B (\$5B)	–	INTF0	PCIF2	PCIF1	PCIF0	–	–	–	GIFR
Read/Write	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7,2~0 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

● ビット6 – INTF0 : 外部割り込み0要求フラグ (External Interrupt Flag 0)

このビットはINT0ピン上の活動が割り込み要求を起動する時に設定(1)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)の外部割り込み0許可(INT0)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実行される時に解除(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。

INT0がレベル割り込みとして構成設定される時にこのフラグは常に解除(0)されます。

● ビット5 – PCIF2 : ピン変化2群割り込み要求フラグ (Pin Change Interrupt Flag 2)

このビットはPCINT12~17ピンの何れかの論理変化が割り込み要求を起動する時に設定(1)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)のピン変化2群割り込み許可(PCIF2)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時に解除(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4 – PCIF1 : ピン変化1群割り込み要求フラグ (Pin Change Interrupt Flag 1)

このビットはPCINT8~11ピンの何れかの論理変化が割り込み要求を起動する時に設定(1)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)のピン変化1群割り込み許可(PCIF1)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時に解除(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3 – PCIF0 : ピン変化0群割り込み要求フラグ (Pin Change Interrupt Flag 0)

このビットは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時に設定(1)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットと一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)のピン変化0群割り込み許可(PCIF0)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時に解除(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。

9.3.4. PCMSK2 – ピン変化割り込み許可レジスタ2 (Pin Change Mask Register 2)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$29 (\$49)	–	–	PCINT17	PCINT16	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCMSK2
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	

● 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を読みます。

● ビット5~0 – PCINT17~PCINT12 : ピン変化割り込み17~12許可 (Pin Change Enable Mask 17~12)

各PCINTnビットは対応するI/Oピンのピン変化割り込みが許可されるかどうかを選びます。ピンでのピン変化割り込みはピンに対する許可ビット(PCINTn)と一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)の対応する群許可(PCIFn)ビットの設定(1)によって許可されます。

このビットが解除(0)されると、対応するピンのピン変化割り込みが禁止されます。

9.3.5. PCMSK1 – ピン変化割り込み許可レジスタ1 (Pin Change Mask Register 1)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$28 (\$48)	–	–	–	–	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	PCMSK1
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7~4 – Res : 予約 (Reserved)

これらのビットは予約されており、常に0を読みます。

● ビット3~0 – PCINT11~PCINT8 : ピン変化割り込み11~8許可 (Pin Change Enable Mask 11~8)

各PCINTnビットは対応するI/Oピンのピン変化割り込みが許可されるかどうかを選びます。ピンでのピン変化割り込みはピンに対する許可ビット(PCINTn)と一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)の対応する群許可(PCIEEn)ビットの設定(1)によって許可されます。

このビットが解除(0)されると、対応するピンのピン変化割り込みが禁止されます。

9.3.6. PCMSK0 – ピン変化割り込み許可レジスタ0 (Pin Change Mask Register 0)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$27 (\$47)	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PCINTnビットは対応するI/Oピンのピン変化割り込みが許可されるかどうかを選びます。ピンでのピン変化割り込みはピンに対する許可ビット(PCINTn)と一般割り込み許可レジスタ(GIMSK)の対応する群許可(PCIEEn)ビットの設定(1)によって許可されます。

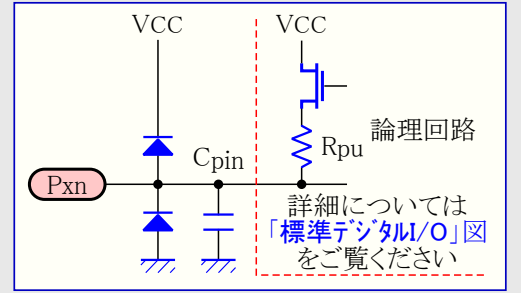
このビットが解除(0)されると、対応するピンのピン変化割り込みが禁止されます。

10. 入出力ポート

10.1. 概要

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向をも無意識に変更することなく、1つのポートピンの方向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。殆どの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、一方いくつかは非対称で高い引き込みと標準的な吐き出しの能力を持ちます。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ちます。全てのI/Oピンは図10-1.で示されるように、VCCとGNDの両方に保護ダイオードがあります。各値の完全な一覧については163頁の「電気的特性」を参照してください。

図10-1. 入出力ピン等価回路



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PORTxn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52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)、プルアップ許可レジスタ(PUEx)、入力レジスタ(PINx)の各ポートに対して、4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、方向レジスタ、プルアップ許可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。

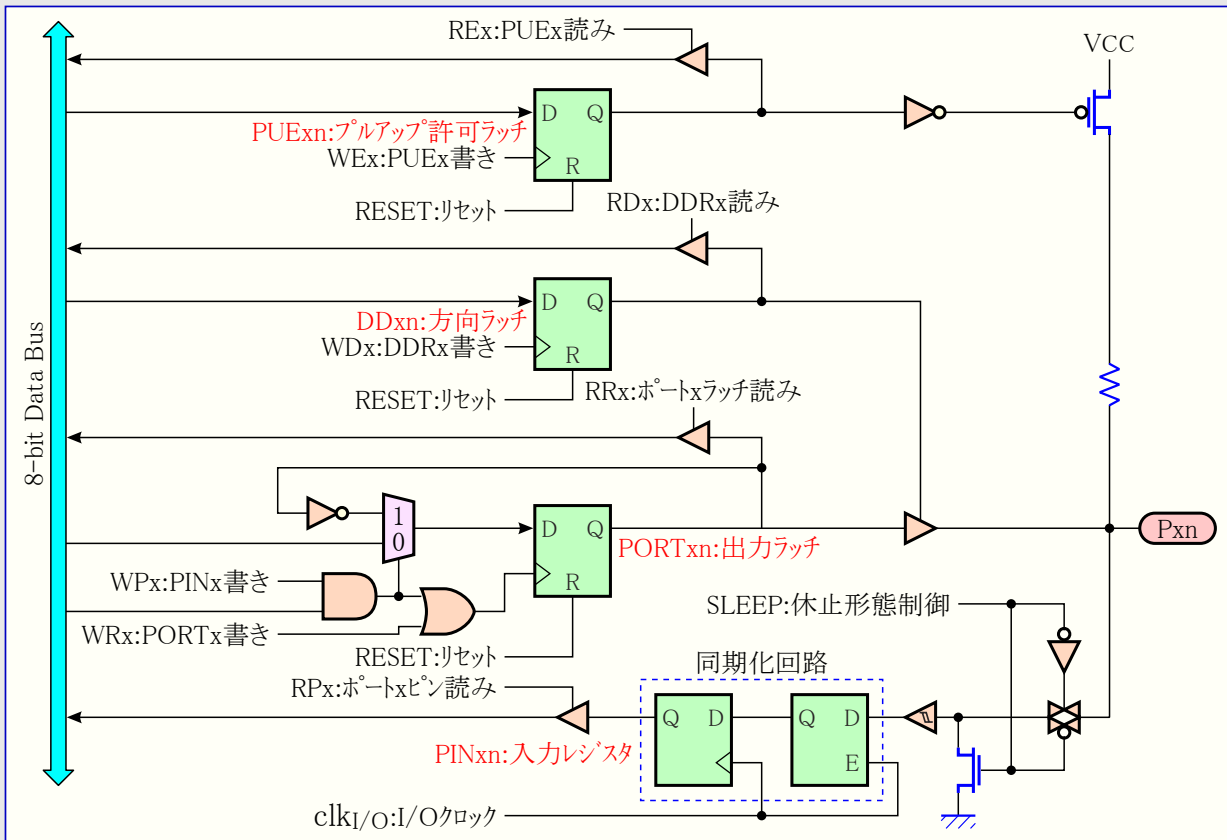
標準デジタルI/OとしてのI/Oポートの使用は次の「標準デジタル入出力としてのポート」で記述されます。多くのポートピンはデバイスの周辺機能用の交換機能と多重化されます。ポートピンとの各交換機能のインターフェース法は44頁の「交換ポート機能」で記述されます。交換機能の完全な記述については個別機能部項目を参照してください。

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。

10.2. 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10-2.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10-2. 標準デジタル入出力回路構成



注: WEx, WRx, WPx, WDX, REx, RRx, RPx, RDXは同一ポート内の全ピンで共通です。
clkI/OとSLEEPは全ポートで共通です。

10.2.1. ピンの構成設定

各ポートピンはDDxn、PUExn、PORTxn、PINxnの4つのレジスタビットから成ります。52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位置、PUExnビットはPUEx I/O位置、PORTxnビットはPORTx I/O位置、PINxnビットはPINx I/O位置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。

PUExnが論理1を書かれた場合に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PUExnが論理0を書かれなければなりません。

表10-1. はピン値に対する制御信号を要約します。

DDxn	PORTxn	PUExn	入出力	プルアップ抵抗	備考
0	x	0	入力	なし	高インピーダンス (Hi-Z)
0	x	1	入力	あり	外部的にLowへ引かれた場合に電流を吐き出します。
1	0	0	出力	なし	Low (吸い込み)出力
1	0	1	出力	あり	非推奨: Low (吸い込み)出力、内部プルアップ活性(有効) 内部プルアップ抵抗を通して電流を吐き出し、常に電力を消費します。
1	1	0	出力	なし	High (吐き出し)出力
1	1	1	出力	あり	High (吐き出し)出力、内部プルアップ活性(有効)

ポートピンは例え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。

10.2.2. ピンの出力交互切り替え

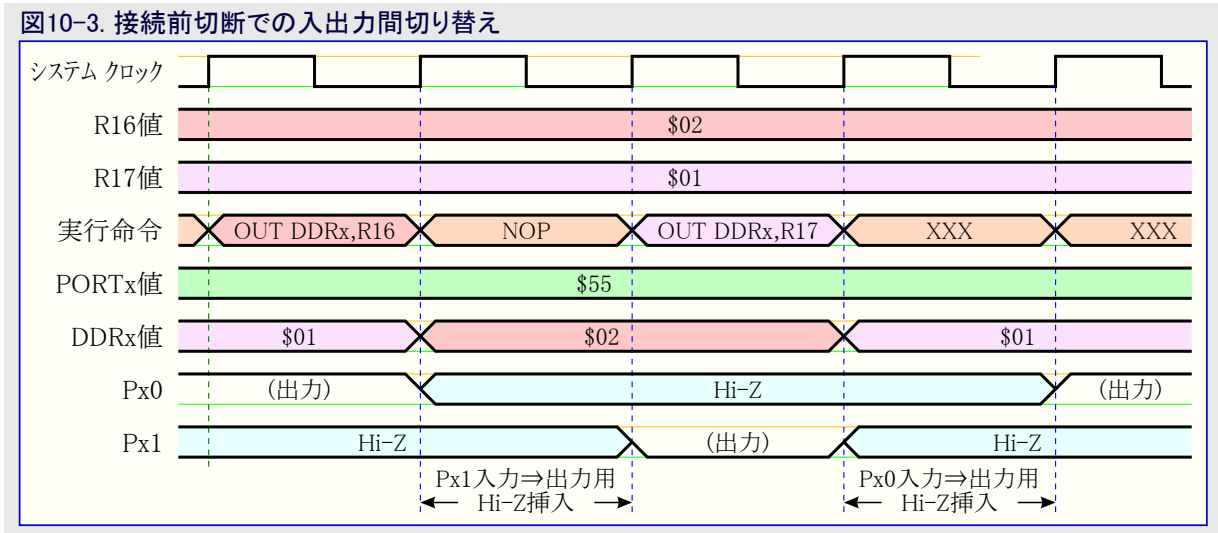
PINxnへの論理1書き込みはDDRxnの値に拘らず、PORTxnの値を反転切り替えます。SBI命令がポート内の1ビットの反転切り替えに使えることに注目してください。

10.2.3. 接続前切断(Break-Before-Make)切り替え

接続前切断動作ではDDRxnを入力から出力へ切り換える時に1システムクロック持続する隣接Hi-Z区間が図10-3.で示されるように導入されます。例えば、システムクロックが4MHzでDDRxnが出力にできるように書かれた場合、PORTxnの値がポートピンで見える前に250nsの隣接Hi-Z区間が導入されます。

異常を避けるため、DDRxn最大切り替え周波数は2システムクロックが推奨されます。この接続前切断はポート単位動作で、ポート単位の接続前切断許可(BBMx)ビットによって活性(有効)にされます。BBMxビットの詳細については52頁の「PORTCR - ポート制御レジスタ」をご覧ください。

DDRxnビットを出力から入力に切り替える時に隣接Hi-Z区間は導入されません。



10.2.4. 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みます。図10-2.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10-4.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10-4.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10-5.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10-4. 外部供給ピン値読み込み時の同期化

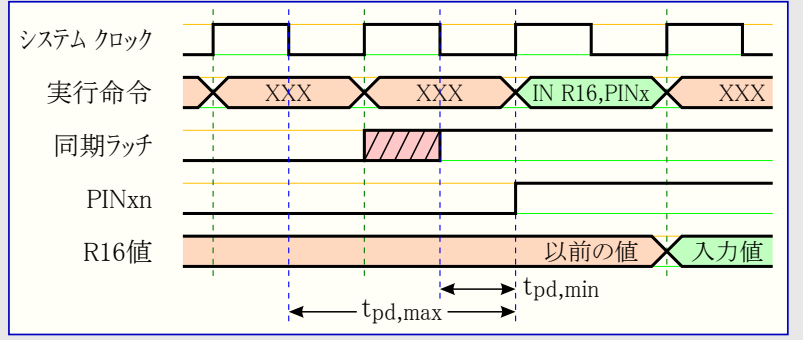
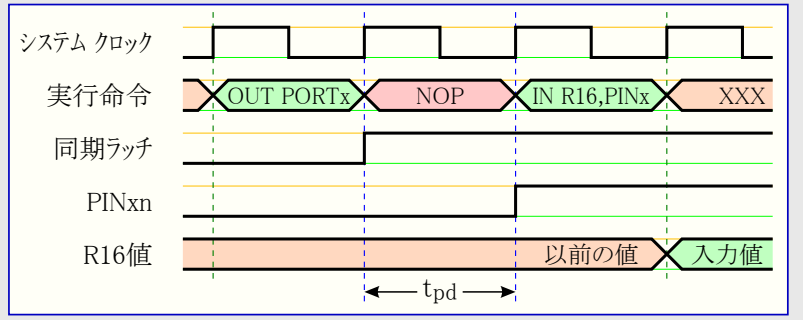


図10-5. プログラムで設定したピン値読み戻し時の同期化



10.2.5. デジタル入力許可と休止形態動作

図10-2.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、パワーダウン動作とスタンバイ動作で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44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動作から(復帰)再開する時に、これらの休止形態動作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。

10.2.6. 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ことの保証が推奨されます。例え上記のような深い休止形態動作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、通常動作、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、外部の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。

10.2.7. プログラム例

次のコード例はポートAピンの0と1をHigh出力、2と3をLow出力、4をプルアップ指定として4と5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。(訳注:以下の例は原書に対して修正されています。)

アセンブリ言語プログラム例

```
~
LDI    R16, (1<<PA4)                ; PA4プルアップ指定値取得
LDI    R17, (1<<PA1) | (1<<PA0)     ; PA2,3=0,PA0,1=1出力ビット値取得
LDI    R18, (1<<DDA3) | (1<<DDA2) | (1<<DDA1) | (1<<DDA0) ; PA0,1,2,3出力指定値取得
OUT    PUEA, R16                    ; PA4プルアップ設定
OUT    PORTA, R17                   ; PA2,3=0,PA0,1=1出力ビット値設定
OUT    DDRA, R18                    ; 入出力方向を設定
NOP                                     ; 同期化遅延対処
IN     R16, PINA                    ; ピン値読み戻し
~
;
```

C言語プログラム例

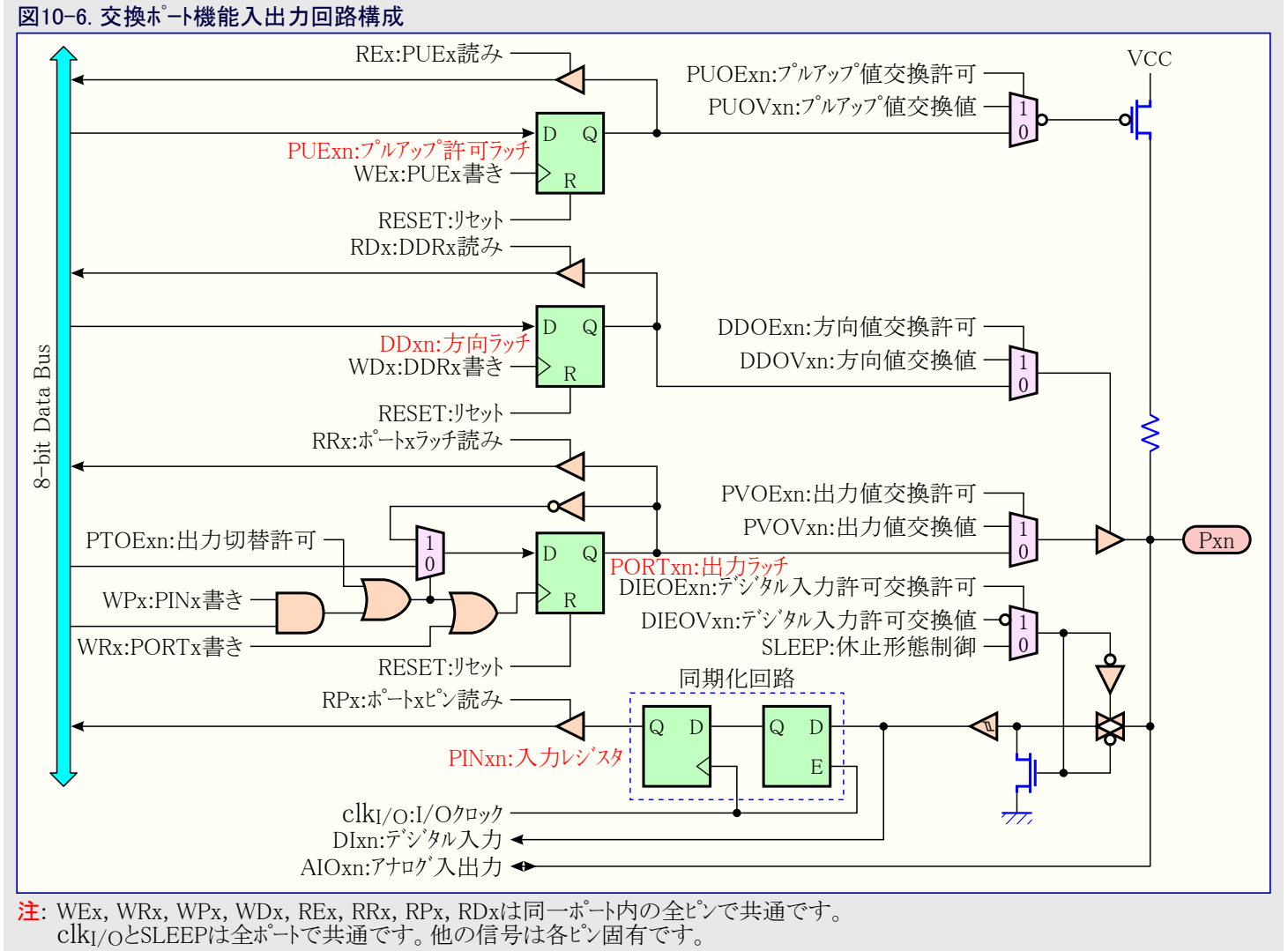
```
unsigned char i;
~
PUEA = (1<<PA4);                /* */
PORTA = (1<<PA1) | (1<<PA0);    /* PA4プルアップ設定 */
DDRA = (1<<DDA3) | (1<<DDA2) | (1<<DDA1) | (1<<DDA0); /* PA2,3=0,PA0,1=1出力ビット値設定 */
__no_operation();              /* 入出力方向を設定 */
i = PINA;                       /* 同期化遅延対処 */
~
/* */
```

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4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3つの一時レジスタが使われます。

注: 5ページの「コード例」をご覧ください。

10.3. 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。下の図10-6は単純化された40頁の図10-2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系統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。



上の図の図解はAVRマイクロコントローラ系統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。いくつかの重複信号は全てのポートピンに存在しないかもしれませんが。

表10-2は重複(交換)信号の機能一覧を示します。図10-6.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10-2. 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、PUExn=1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、PUExnレジスタビット設定に関係なく、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なら、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、休止形態動作)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、休止形態動作)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。本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。

10.3.1. ポートAの交換機能

交換機能を持つポートAピンは表10-3.で示されます。

表10-3. ポートA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
PA7	ADC4 (A/D変換チャンネル4入力) RXD0 (USART0 受信データ入力) PCINT7 (ピン変化割り込み7入力)	PA3	ADC0 (A/D変換チャンネル0入力) SNS (容量性測定用感知線) T1 (タイマ/カウンタ1 外部クロック入力) PCINT3 (ピン変化割り込み3入力)
PA6	ADC3 (A/D変換チャンネル3入力) OC1B (タイマ/カウンタ1 比較B一致出力) PCINT6 (ピン変化割り込み6入力)	PA2	AIN1 (アナログ比較器反転入力) PCINT2 (ピン変化割り込み2入力)
PA5	ADC2 (A/D変換チャンネル2入力) OC0B (タイマ/カウンタ0 比較B一致出力) PCINT5 (ピン変化割り込み5入力)	PA1	AIN0 (アナログ比較器非反転入力) PCINT1 (ピン変化割り込み1入力)
PA4	ADC1 (A/D変換チャンネル1入力) T0 (タイマ/カウンタ0 外部クロック入力) PCINT4 (ピン変化割り込み4入力)	PA0	AREF (A/D変換外部アナログ基準電圧) PCINT0 (ピン変化割り込み0入力)

- **ポートA ビット7 : PA7 – ADC4/RXD0/PCINT7**
 - ADC4 : A/D変換器チャンネル4入力。
 - RXD0 : [USART0](#)の受信データ入力。
 - PCINT7 : ピン変化割り込み元7入力。PA7ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- **ポートA ビット6 : PA6 – ADC3/OC1B/PCINT6**
 - ADC3 : A/D変換器チャンネル3入力。
 - OC1B : タイマ/カウンタ1の比較B一致出力。PA6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、PA6ピンは出力として構成設定([DDA6=1](#))されなければなりません。OC1Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。
 - PCINT6 : ピン変化割り込み元6入力。PA6ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- **ポートA ビット5 : PA5 – ADC2/OC0B/PCINT5**
 - ADC2 : A/D変換器チャンネル2入力。
 - OC0B : タイマ/カウンタ0の比較B一致出力。PA5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、PA5ピンは出力として構成設定([DDA5=1](#))されなければなりません。OC0Bピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。
 - PCINT5 : ピン変化割り込み元5入力。PA5ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- **ポートA ビット4 : PA4 – ADC1/T0/PCINT4**
 - ADC1 : A/D変換器チャンネル1入力。
 - T0 : [タイマ/カウンタ0](#)の外部クロック入力。
 - PCINT4 : ピン変化割り込み元4入力。PA4ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- **ポートA ビット3 : PA3 – ADC0/T1/PCINT3**
 - ADC0 : [A/D変換器](#)チャンネル0入力。
 - SNS : QTouch技術を用いる容量性測定用感知線。Csに接続してください。
 - T1 : [タイマ/カウンタ1](#)の外部クロック入力。
 - PCINT3 : ピン変化割り込み元3入力。PA3ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- **ポートA ビット2 : PA2 – AIN1/PCINT2**
 - AIN1 : アナログ比較器の反転入力。アナログ比較器の機能を妨げるデジタルポート機能为了避免のため、内部プルアップをOFFにした入力としてポートピンを構成設定してください。
 - PCINT2 : ピン変化割り込み元2入力。PA2ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- **ポートA ビット1 : PA1 – AIN0/PCINT1**
 - AIN0 : [アナログ比較器](#)の非反転入力。アナログ比較器の機能を妨げるデジタルポート機能为了避免のため、内部プルアップをOFFにした入力としてポートピンを構成設定してください。
 - PCINT1 : ピン変化割り込み元1入力。PA1ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

• ホートAビット0 : PA0 - AREF/PCINT0

- AREF : A/D変換器用外部アナログ基準電圧。この外部基準電圧またはAREFピンでの外部容量(コンデンサ)を持つ内部基準電圧として使われる時にPA0でプルアップと出力駆動部が禁止されます。
- PCINT0 : ピン変化割り込み元0入力。PA0ピンはピン変化0群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

表10-4.と表10-5.はポートAの交換機能を44頁の図10-6.で示される交換信号に関連付けます。

表10-4. ホートA7~4の交換機能用交換信号

信号名	PA7/ADC4/RXD0/PCINT7	PA6/ADC3/PCINT6	PA5/ADC2/OC0B/PCINT5	PA4/ADC1/T0/PCINT4
PUOE	RXD0_OE	0	0	0
PUOV	PUEA7	0	0	0
DDOE	RXD0_EN	0	0	0
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	OC1B許可	OC0B許可	0
PVOV	0	OC1B	OC0B	0
PTOE	0	0	0	0
DIEOE	(PCIE0・PCINT7)+ADC4D	(PCIE0・PCINT6)+ADC3D	(PCIE0・PCINT5)+ADC2D	(PCIE0・PCINT4)+ADC1D
DIEOV	PCIE0・PCINT7	PCIE0・PCINT6	PCIE0・PCINT5	PCIE0・PCINT4
DI	RXD0/PCINT7入力	PCINT6入力	PCINT5入力	T0/PCINT4入力
AIO	ADC4入力	ADC3入力	ADC2入力	ADC1入力

表10-5. ホートA3~0の交換機能用交換信号

信号名	PA3/ADC0/SNS/T1/PCINT3	PA2/AIN1/PCINT2	PA1/AIN0/PCINT1	PA0/PCINT0
PUOE	0	0	0	RESET+(REFS1・REFS0 +REFS1・REFS0)
PUOV	0	0	0	0
DDOE	0	0	0	RESET+(REFS1・REFS0 +REFS1・REFS0)
DDOV	0	0	0	0
PVOE	0	0	0	RESET+(REFS1・REFS0 +REFS1・REFS0)
PVOV	0	0	0	0
PTOE	0	0	0	0
DIEOE	(PCIE0・PCINT3)+ADC0D	PCIE0・PCINT2+AIN1D	PCIE0・PCINT1+AIN0D	PCIE0・PCINT0+AREFD
DIEOV	PCIE0・PCINT3	PCIE0・PCINT2	PCIE0・PCINT1	PCIE0・PCINT0
DI	T1/PCINT3入力	PCINT2入力	PCINT1入力	PCINT0入力
AIO	ADC0またはSNS入力	アナログ比較器反転入力	アナログ比較器非反転/入力	アナログ基準電圧

(訳注) 原書の表10-4.~6.は表10-4.と表10-5.に再合成しました。

10.3.2. ポートBの交換機能

交換機能を持つポートBピンは表10-7.で示されます。

表10-7. 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
PB3	ADC8 (A/D変換チャンネル8入力) OC1A (タイマ/カウンタ1 比較A一致出力) PCINT11 (ピン変化割り込み11入力)	PB1	ADC6 (A/D変換チャンネル6入力) RXD1 (USART1 受信データ入力) DI (USI データ入力:3線動作) SDA (USI データ入力:2線動作) PCINT9 (ピン変化割り込み9入力)
PB2	ADC7 (A/D変換チャンネル7入力) TXD1 (USART1 送信データ出力) DO (USI データ出力:3線動作) PCINT10 (ピン変化割り込み10入力)	PB0	ADC5 (A/D変換チャンネル5入力) TXD0 (USART0 送信データ出力) PCINT8 (ピン変化割り込み8入力)

• ポートB ビット3 : PB3 – ADC8/OC1A/PCINT11

- ADC8 : A/D変換器チャンネル8入力。
- OC1A : タイマ/カウンタ1の比較A一致出力。PB3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構成設定(DDB3=1)されなければなりません。これはタイマ機能のPWM動作用出力ピンでもあります。
- PCINT11 : ピン変化割り込み元11入力。PB3ピンはピン変化1群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

• ポートB ビット2 : PB2 – ADC7/TXD1/DO/PCINT10

- ADC7 : A/D変換器チャンネル7入力。
- TXD1 : USART1の送信データ出力。
- DO : USI 3線動作でのデータ出力。データ出力(DO)はPORTB2値を無効にし、データ方向ビット(DDB2)が設定(1)される時にポートへ駆動されます。けれどもPORTB2ビットは未だプルアップを制御し、方向が入力でPORTB2が設定(1)される場合にプルアップを許可します。
- PCINT10 : ピン変化割り込み元10入力。PB2ピンはピン変化1群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

• ポートB ビット1 : PB1 – ADC6/RXD1/DI/SDA/PCINT9

- ADC6 : A/D変換器チャンネル6入力。
- RXD1 : USART1の受信データ入力。
- DI : USI 3線動作でのデータ入力。USI 3線動作は標準ポート機能を無効にせず、故にピンはDI機能用に入力として構成設定されなければなりません。
- SDA : USI 2線動作での直列インターフェース データ。
- PCINT9 : ピン変化割り込み元9入力。PB1ピンはピン変化1群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

• ポートB ビット0 : PB0 – ADC5/TXD0/PCINT8

- ADC5 : A/D変換器チャンネル5入力。
- TXD0 : USART0の送信データ出力。
- PCINT8 : ピン変化割り込み元8入力。PB0ピンはピン変化1群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

表10-8.はポートBの交換機能を44頁の図10-6.で示される交換信号に関連付けます。

表10-8. ポートB3~0の交換機能用交換信号

信号名	PB3/ADC8/OC1A /PCINT11	PB2/ADC7/TXD1/DO /PCINT10	PB1/ADC6/RXD1/DI/SDA /PCINT9	PB0/ADC5/TXD0/PCINT8
PUOE	0	TXD1_OE	RXD1_OE	TXD0_OE
PUOV	0	0	PUEB1	0
DDOE	0	TXD1_OE	RXD1_EN+USI_2線動作	TXD0_OE
DDOV	0	0	$\overline{\text{RXD1_EN}} \cdot (\text{SDA} + \text{PORTB1}) \cdot \text{DDB1}$	0
PVOE	OC1A許可	TXD1_OE+USI_3線動作	$\overline{\text{RXD1_EN}} \cdot \text{USI_2線動作} \cdot \text{DDB1}$	TXD0_OE
PVOV	OC1A	$(\text{TXD1_OE} \cdot \text{TXD_PVOV}) + (\overline{\text{TXD1_OE}} \cdot \text{DO})$	0	TXD0_PVOV
PTOE	0	0	0	0
DIEOE	(PCIE1・PCINT11)+ADC8D	(PCIE1・PCINT10)+ADC7D	USISIE+ (PCIE1・PCINT9)+ADC6D	(PCIE1・PCINT8)+ADC5D
DIEOV	PCIE1・PCINT11	PCIE1・PCINT10	USISIE+(PCIE1・PCINT9)	PCIE1・PCINT8
DI	PCINT11入力	PCINT10入力	RXD1/DI/SDA/PCINT9入力	PCINT8入力
AIO	ADC8入力	ADC7入力	ADC6入力	ADC5入力

(訳注) 原書の表10-8.と表10-9.は表10-8.として纏めました。

10.3.3. ポートCの交換機能

交換機能を持つポートCピンは表10-10.で示されます。

表10-10. ポートC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
PC5	PCINT17 (ピン変化割り込み17入力)	PC1	ADC10 (A/D変換チャンネル10入力)
	XTAL1 (クリスタル用発振器入力)		XCK1 (USART1 転送クロック:同期動作)
CLKI (外部クロック信号入力)	USCK (USI クロック:3線動作)		
PC4	PCINT16 (ピン変化割り込み16入力)		SCL (USI クロック:2線動作)
	XTAL2 (クリスタル用発振器出力)		ICP1 (タイマ/カウンタ1 捕獲起動入力)
PC3	PCINT15 (ピン変化割り込み15入力)		PCINT13 (ピン変化割り込み13入力)
	RESET (外部リセット入力)		
PC2	dW (デバッグWIRE入出力)	PC0	ADC9 (A/D変換チャンネル9入力)
	ADC11 (A/D変換チャンネル11入力)		XCK0 (USART0 転送クロック:同期動作)
	INT0 (外部割り込み0入力)		OC0A (タイマ/カウンタ0 比較A一致出力)
	PCINT14 (ピン変化割り込み14入力)		PCINT12 (ピン変化割り込み12入力)
	CLKO (システムクロック出力)		

• ポートC ビット5 : PC5 – PCINT17/XTAL1/CLKI

- PCINT17 : ピン変化割り込み元17入力。PC5ピンはピン変化2群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- XTAL1 : チップ クロック発振器の入力。校正付き内部発振器除く全てのチップ クロック元として使用。クロックピンとして使用時、このピンは入出力ピンとして使えません。チップ クロック元として校正付き内部発振器使用時、PC5は通常の入出力ピンとして扱います。
- CLKI : 外部クロック元からのクロック信号入力。19頁の「外部クロック信号」をご覧ください。

• ポートC ビット4 : PC4 – PCINT16/XTAL2

- PCINT16 : ピン変化割り込み元16入力。PC4ピンはピン変化2群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- XTAL2 : チップ クロック発振器の出力。校正付き内部発振器と外部クロック信号を除く全てのチップ クロック元として使用。クロックピンとして使用時、このピンは入出力ピンとして使えません。チップ クロック元として校正付き内部発振器使用時、PC4は通常の入出力ピンとして扱います。

• ポートC ビット3 : PC3 – PCINT15/RESET/dW

- PCINT15 : ピン変化割り込み元15入力。PC3ピンはピン変化2群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- RESET : 外部リセット入力はLow活性で、RSTDISBLピンの非プログラム(1)にされることによって許可されます。このピンがRESETピンとして使われると、プルアップが活性にされて出力駆動部とデジタル入力が非活性にされます。
- dW : デバッグWIRE許可(DWEN)ピンの非プログラム(0)され、施錠ビットが非プログラム(1)にされると、目的対象デバイス内のデバッグWIREシステムが活性にされます。RESETポートピンは許可されたプルアップを持つワイヤードAND(オープンドレイン)双方向入出力ピンとして構成設定され、目的対象とエミュレータ間の通信交換機になります。

• ポートC ビット2 : PC2 – ADC11/INT0/PCINT14/CLKO

- ADC11 : A/D変換器チャンネル11入力。
- INT0 : 外部割り込み0入力。
- PCINT14 : ピン変化割り込み元14入力。PC2ピンはピン変化2群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。
- CLKO : システムクロック出力。システムクロックはPC2ピンに出力することができます。システムクロックはCKOUTピンの非プログラム(0)された場合にPORTC2とDDC2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。

• ポートC ビット1 : PC1 – ADC10/XCK/USCK/SCL/ICP1/PCINT13

- ADC10 : A/D変換器チャンネル10入力。
- XCK1 : 同期転送動作でだけ使われるUSART1転送クロック。
- USCK : 3線動作多用途直列インターフェース(USI)クロック。
- SCL : USI 2線動作作用2線動作直列クロック。
- ICP1 : タイマ/カウンタ1の捕獲起動入力。PC1ピンはタイマ/カウンタ1用捕獲起動入力ピンとして動くことができます。
- PCINT13 : ピン変化割り込み元13入力。PC1ピンはピン変化2群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

• ホートCビット0 : PC0 - ADC9/XCK0/OC0A/PCINT12

- ADC9 : A/D変換器チャンネル9入力。
- XCK0 : 同期転送動作でだけ使われるUSART0転送クロック。
- OC0A : タイマ/カウンタ0の比較A一致出力。PC0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構成設定(DDC0=1)されなければなりません。OC0Aピンはタイマ機能のPWM動作出力ピンでもあります。
- PCINT12 : ピン変化割り込み元12入力。PC0ピンはピン変化2群割り込みに対する外部割り込み元として扱えます。

表10-11と表10-12はポートCの交換機能を44頁の図10-6.で示される交換信号に関連付けます。

表10-11. ホートC5~3の交換機能用交換信号

信号名	PC5/PCINT17/XTAL1/CLKI	PC4/PCINT16/XTAL2	PC3/PCINT15/RESET/dW
PUOE	EXT_CLOCK+EXT_OSC	EXT_OSC	RSTDISBL+デバッグWIRE許可
PUOV	0	0	1
DDOE	EXT_CLOCK+EXT_OSC	EXT_OSC	RSTDISBL+デバッグWIRE許可
DDOV	0	0	デバッグWIRE許可・デバッグWIRE送信
PVOE	EXT_CLOCK+EXT_OSC	EXT_OSC	RSTDISBL+デバッグWIRE許可
PVOV	0	0	0
PTOE	0	0	0
DIEOE	EXT_CLOCK+EXT_OSC +(PCIE2・PCINT17)	EXT_OSC+(PCIE2・PCINT16)	RSTDISBL+デバッグWIRE許可 +(PCIE2・PCINT15)
DIEOV	(EXT_CLOCK・PWR_DOWN) +(EXT_CLOCK・PCIE2・PCINT17)	EXT_OSC・PCIE2・PCINT16	デバッグWIRE許可+ (RSTDISBL・PCIE2・PCINT15)
DI	クロック/PCINT17入力	PCINT16入力	dW/PCINT15入力
AIO	XTAL1入力	XTAL2出力	-

注: • RSTDISBLはそのヒューズが0(プログラム)の時に1です。

- EXT_CLOCKはシステムクロックとして外部クロックが選ばれた時に1です。
- EXT_OSCはシステムクロックとしてクリスタル用発振器または低周波数クリスタル用発振器が選ばれた時に1です。
- デバッグWIREはDWENヒューズがプログラム(0)され、施錠ビットが非プログラム(1)にされる時に許可されます。

表10-12. ホートC2~0の交換機能用交換信号

信号名	PC2/ADC11/INT0/PCINT14/CLKO	PC1/ADC10/XCK1/USCK/SCL /ICP1/PCINT13	PC0/ADC9/XCK0/OC0A/PCINT12
PUOE	CKOUT	USI_2線動作	0
PUOV	0	0	0
DDOE	CKOUT	USI_2線動作	0
DDOV	1	(USI_SCL保持+PORTC1)・DDC1	0
PVOE	CKOUT	XCKO1_PVOE+USI_2線動作・DDC1	XCKO0_PVOE+OC0A許可
PVOV	CKOUT・システムクロック	XCKO1_PVOV	XCKO0_PVOV+OC0A
PTOE	0	USI_PTOE	0
DIEOE	INT0+(PCIE2・PCINT14)+ADC11D	XCK1入力許可+USISIE +(PCIE2・PCINT13)+ADC10D	XCK0入力許可 +(PCIE2・PCINT12)+ADC9D
DIEOV	INT0+(PCIE2・PCINT14)	USISIE+(PCIE2・PCINT13)	PCIE2・PCINT12
DI	INT0/PCINT14入力	XCK1/USCK/SCL/ICP1 /PCINT13入力	XCK0/PCINT12入力
AIO	ADC11入力	ADC10入力	ADC9入力

注: • CKOUTはそのヒューズが0(プログラム)の時に1です。

10.4. I/Oポート用レジスタ

10.4.1. PORTCR – ポート制御レジスタ (Port Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$13 (\$33)	–	–	–	–	–	BBMC	BBMB	BBMA	PORTCR
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を読みます。

- ビット2 – BBMC : ポートC接続前切断動作許可 (Break-Before-Make Mode Enable)

このビットが設定(1)されると、ポートC全体に対して接続前切断動作が活性(有効)にされます。そして出力にするためのDDRCn書き込み時に中間のHi-Z周期が挿入されます。更なる情報については41頁の「接続前切断切り替え」をご覧ください。

- ビット1 – BBMB : ポートB接続前切断動作許可 (Break-Before-Make Mode Enable)

このビットが設定(1)されると、ポートB全体に対して接続前切断動作が活性(有効)にされます。そして出力にするためのDDRBn書き込み時に中間のHi-Z周期が挿入されます。更なる情報については41頁の「接続前切断切り替え」をご覧ください。

- ビット0 – BBMA : ポートA接続前切断動作許可 (Break-Before-Make Mode Enable)

このビットが設定(1)されると、ポートA全体に対して接続前切断動作が活性(有効)にされます。そして出力にするためのDDRAn書き込み時に中間のHi-Z周期が挿入されます。更なる情報については41頁の「接続前切断切り替え」をご覧ください。

10.4.2. PUEA – ポートAプルアップ許可制御レジスタ (Port A Pull-up Enable Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$12 (\$32)	PUEA7	PUEA6	PUEA5	PUEA4	PUEA3	PUEA2	PUEA1	PUEA0	PUEA
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	

10.4.3. 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	
\$11 (\$31)	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	

10.4.4. 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	
\$10 (\$30)	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	

10.4.5. 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	
\$0F (\$2F)	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	

10.4.6. PUEB – ポートBプルアップ許可制御レジスタ (Port B Pull-up Enable Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0E (\$2E)	–	–	–	–	PUEB3	PUEB2	PUEB1	PUEB0	PUEB
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	

10.4.7. 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	
\$0D (\$2D)	–	–	–	–	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	PORTB
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	

10.4.8. 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	
\$0C (\$2C)	–	–	–	–	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	DDRB
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	

10.4.9. 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	
\$0B (\$2B)	–	–	–	–	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	PINB
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	

10.4.10. PUEC – ポートCプルアップ許可制御レジスタ (Port C Pull-up Enable Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0A (\$2A)	–	–	PUEC5	PUEC4	PUEC3	PUEC2	PUEC1	PUEC0	PUEC
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	

10.4.11. 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	
\$09 (\$29)	–	–	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	PORTC
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	

10.4.12. 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	
\$08 (\$28)	–	–	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	DDRC
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	

10.4.13. 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	
\$07 (\$27)	–	–	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	PINC
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	

11. PWM付き8ビット タイマ/カウンタ

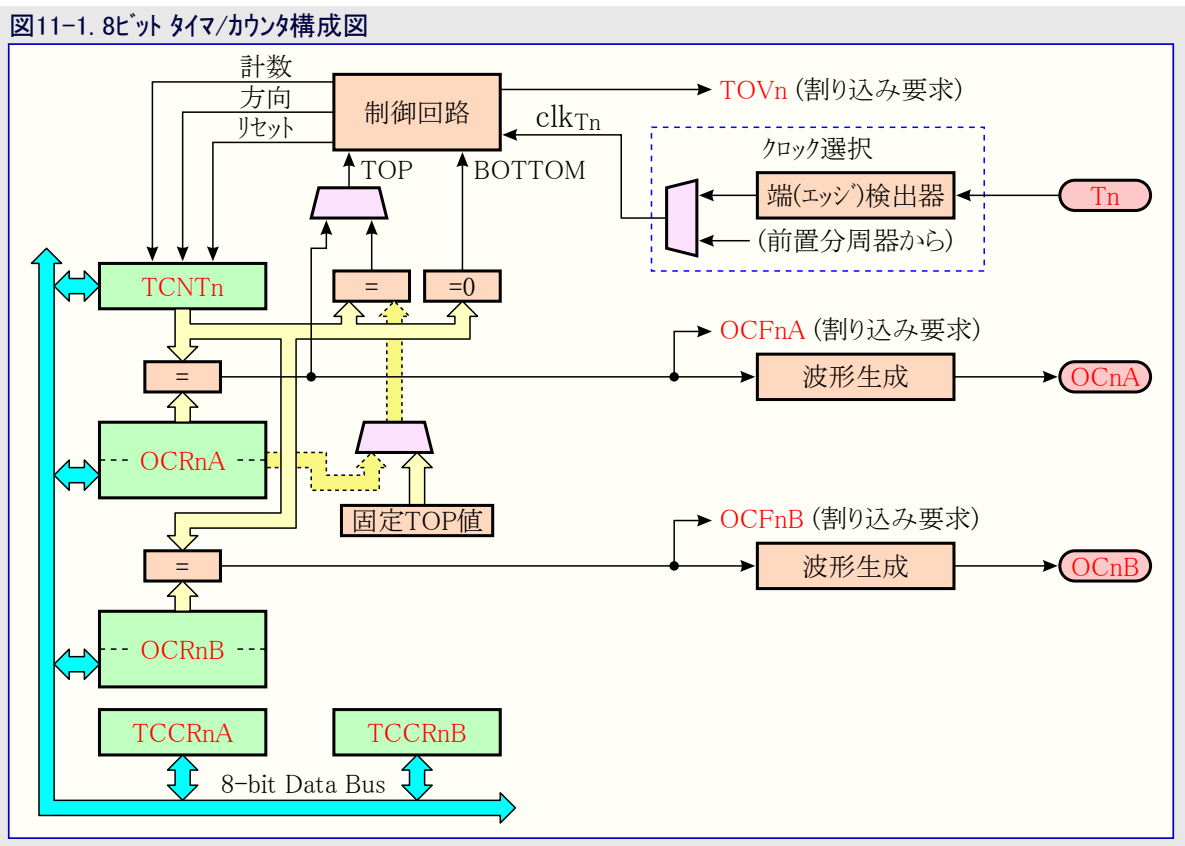
11.1. 特徴

- 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)

11.2. 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。

この8ビット タイマ/カウンタの単純化した構成図は図11-1.で示されます。I/Oピンの実際の配置については2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62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。



11.2.1. 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/カウンタ割り込み要求レジスタ(TIFR)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(TIMSK)で個別に遮蔽(禁止)されます。TIFRとTIMSKは本図で示されません。

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56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。

11.2.2. 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(例えばタイマ/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11-1.の定義は本文書を通して広範囲に渡って使われます。

表11-1. 用語定義

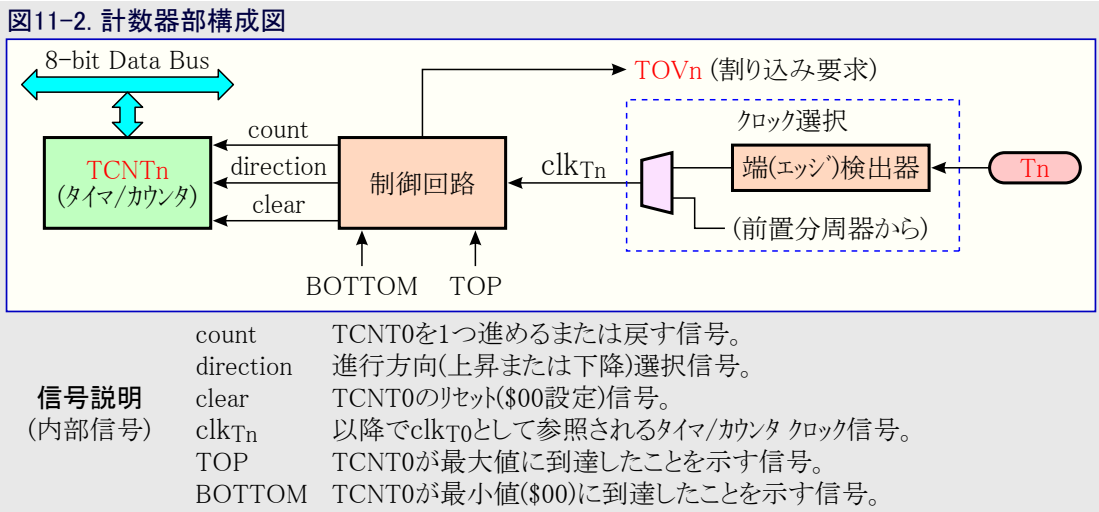
用語	意味
BOTTOM	タイマ/カウンタが\$00に到達した時。
MAX	タイマ/カウンタが\$FF(255)に到達した時。
TOP	タイマ/カウンタが指定された固定値(\$FF)またはOCR0A値に到達した時。この指定(TOP)値は動作種別に依存します。

11.3. クロック元

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85頁の「タイマ/カウンタ前置分周器」をご覧ください。

11.4. 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11-2.は、このカウンタとその周辺環境の構成図を示します。



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(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OC0A/OC0B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58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。

11.5. 比較出力部

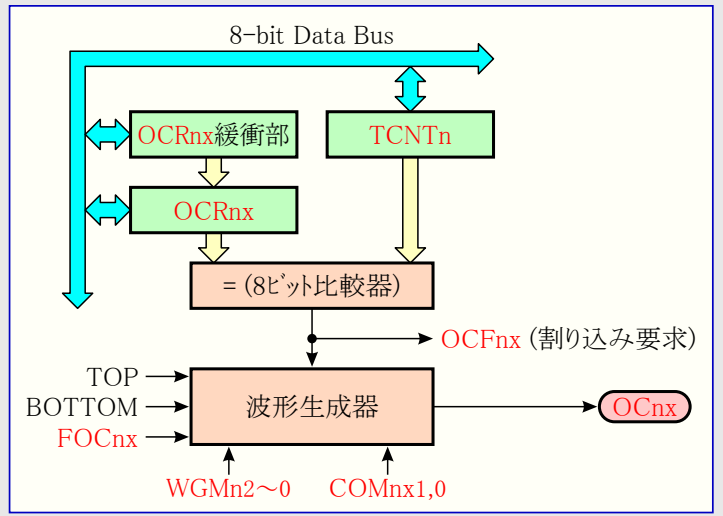
この8ビット比較器はTCNT0と比較レジスタ(OCR0AとOCR0B)を継続的に比較します。TCNT0がOCR0AまたはOCR0Bと等しければ、比較器は一致を指示します。この一致は次のタイマ/カウンタクロック周期で比較割り込み要求フラグ(OCF0AまたはOCF0B)を設定(1)します。対応する割り込みが許可(I=1, OCIE0AまたはOCIE0B=1)されているならば、その比較割り込み要求フラグは比較割り込みを発生します。比較割り込み要求フラグは割り込みが実行されると自動的に解除(0)されます。代わりにこのフラグはこのI/Oビット位置に論理1を書くことによってソフトウェアでも解除(0)できます。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(58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11-3.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11-3. 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。

11.5.1. 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)。

11.5.2. 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。

11.5.3. 比較一致部の使用

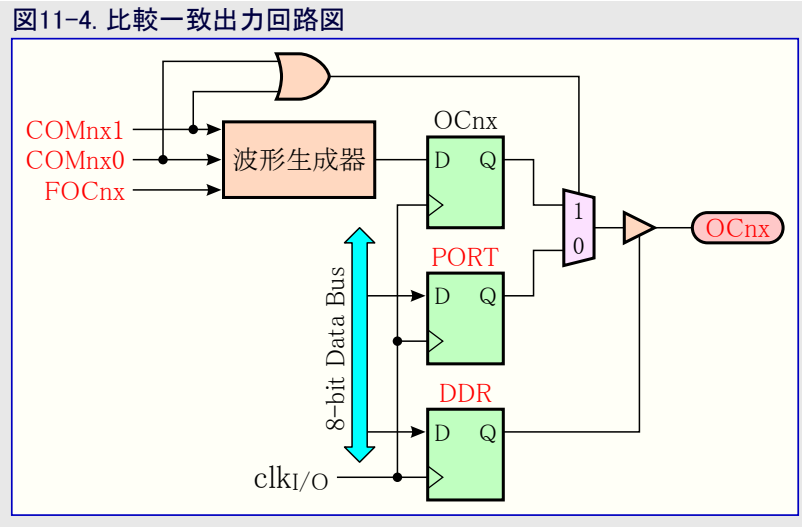
どの動作種別でのTCNT0書き込みでも1タイマ/カウンタクロック周期間、全ての比較一致を妨げるため、タイマ/カウンタが走行中であるか否かに拘らず、比較出力部を使う場合、TCNT0を変更する時に危険を伴います。TCNT0に書かれた値がOCR0x値と同じ場合に比較一致は失われ(一致が発生せず)、不正な波形生成に終わります。同様にタイマ/カウンタが下降計数のとき、BOTTOMに等しいTCNT0値を書いてはいけません。

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。

11.6. 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11-4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。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こると、OC0xレジスタは'0'にリセットされます。



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。62頁の「8ビットタイマ/カウンタ0用レジスタ」をご覧ください。

11.6.1. 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62頁の表11-2と表11-5を参照してください。高速PWM動作については62頁の表11-3と表11-6、位相基準PWMについては62頁の表11-4と表11-7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。

11.7. 動作種別

動作種別、換言するとタイマ/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、されないべきか(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(57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61頁の「タイマ/カウンタのタイミング」を参照してください(訳注:原文中の図番号省略)。

11.7.1. 標準動作

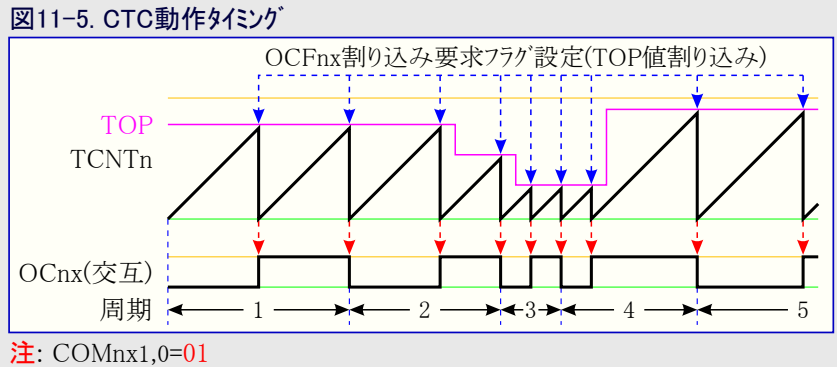
最も単純な動作種別が標準動作(WGM02~0=000)です。この動作種別での計数方向は常に上昇(+)で、カウンタ解除は実行されません。カウンタは8ビット最大値(TOP=\$FF)を通過すると単に範囲を超え、そして\$00(BOTTOM)から再び始めます。通常動作でのタイマ/カウンタ溢れ(TOV0)フラグはTCNT0が\$00になる時と同じタイマ/カウンタクロック周期で設定(1)されます。この場合のTOV0フラグは設定(1)のみで解除(0)されないことを除いて第9ビットのようになります。けれどもTOV0フラグを自動的に解除(0)するタイマ/カウンタ溢れ割り込みと組み合わせたタイマ/カウンタの分解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。

11.7.2. 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と一致する時にカウンタが\$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11-5.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、そしてその後にカウンタ(TCNT0)は解除(\$00)されます。



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)ビットを交互动作(=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。

$$f_{OCnx} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times (1 + OCRnx)}$$

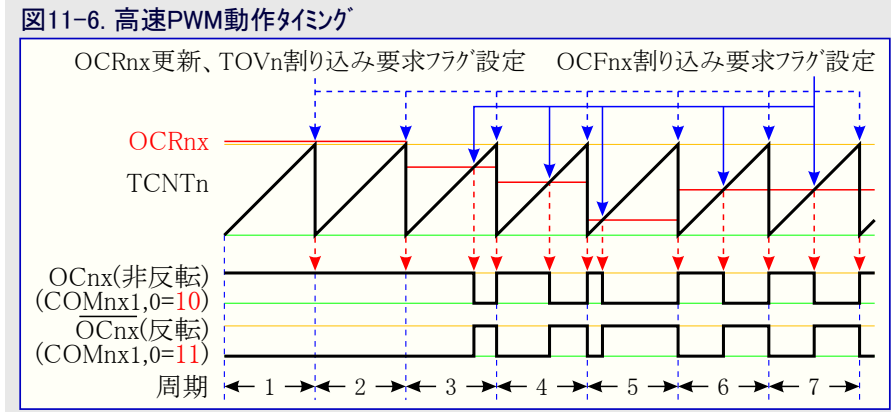
変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

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。

11.7.3. 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から再び始まります。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11-6.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)。



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、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(62頁の表11-3と表11-6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ます。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。

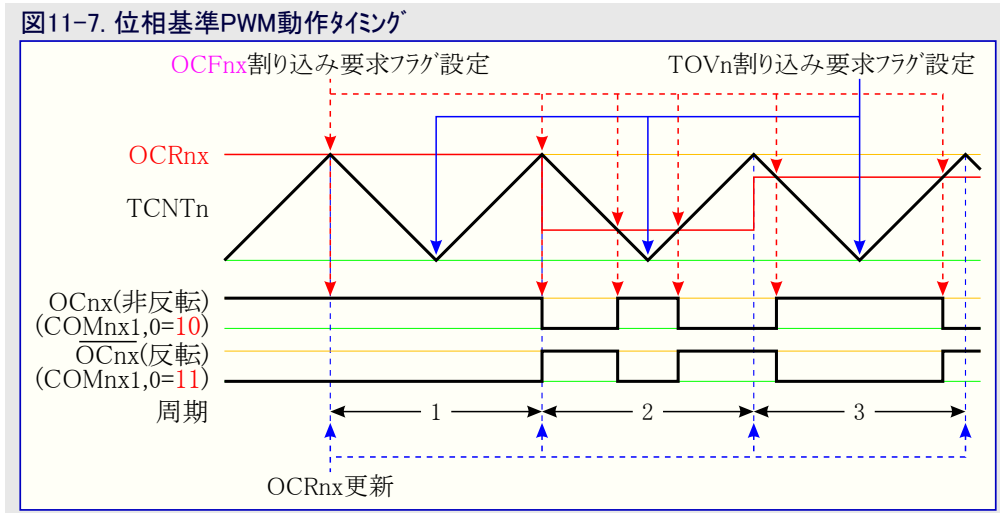
OCR0xの両端値は高速PWM動作でPWM波形出力を生成する時の特別な場合にあたります。OCR0xがBOTTOM(\$00)と等しく設定されると、出力はTOP+1 タイマ/カウンタクロック周期毎の狭いスパイク(パルス)になるでしょう。OCR0xがTOPに等しく設定されると、(COM0x1,0ビットによって設定される出力極性に依存して)定常的なLowまたはHigh出力に終わるでしょう。

(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。

11.7.4. 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11-7.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(62頁の表11-4.と表11-7.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11-7.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11-7.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。)

11.8. 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11-8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11-8. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ タイミング

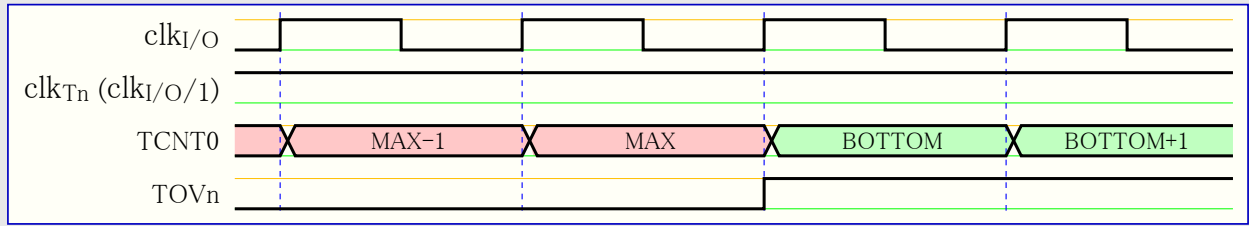


図11-9. は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図11-9. 前置分周器($f_{clk_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ タイミング

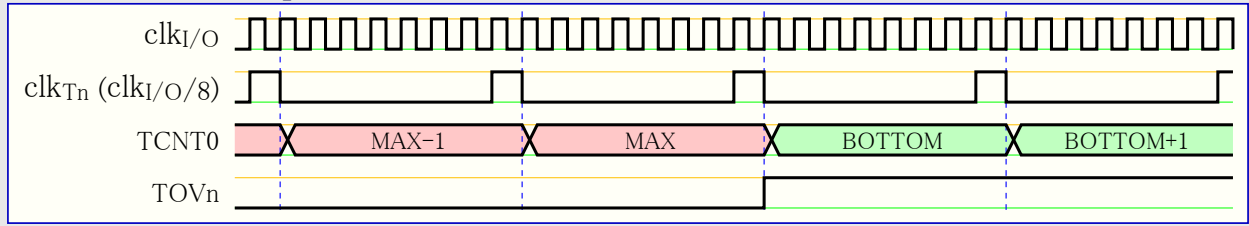


図11-10. はCTC動作とOCR0AがTOPのPWM動作を除く全動作種別でのOCF0Aと全動作種別でのOCF0Bの設定を示します。

図11-10. 前置分周器($f_{clk_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、OCF0x設定 タイミング

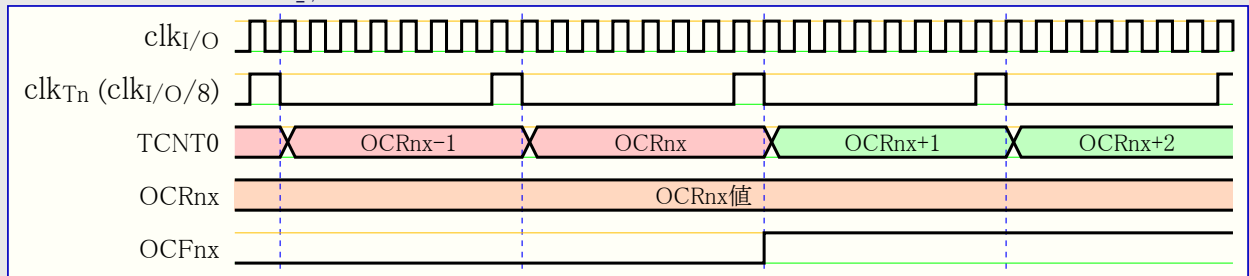
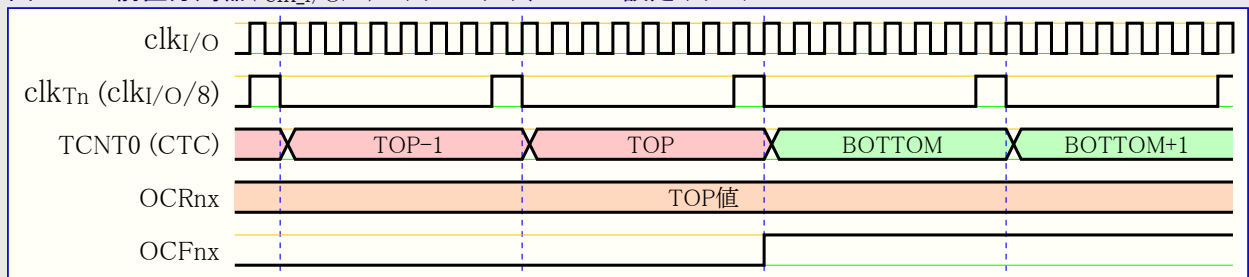


図11-11. はOCR0AがTOPの高速PWM動作と、CTC動作でのTCNT0の解除とOCF0Aの設定を示します。

図11-11. 前置分周器($f_{clk_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、OCF0A設定 タイミング



11.9. 8ビット タイマ/カウンタ0用レジスタ

11.9.1. TCCR0A – タイマ/カウンタ0制御レジスタA (Timer/Counter 0 Control Register A)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1B (\$3B)	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11-2.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11-3.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11-4.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11-2. 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11-3. 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)

表11-4. 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

● 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11-5.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11-6.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11-7.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11-5. 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11-6. 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)

表11-7. 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

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59頁の「高速PWM動作」または60頁の「位相基準PWM動作」をご覧ください。(表11-3.,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11-8参照)。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。58頁の「動作種別」をご覧ください。

表11-8. 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。

11.9.2. 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	
\$1A (\$3A)	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COM0A1,0ビットに存在する値です。

FOC0Aスロープ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COM0B1,0ビットに存在する値です。

FOC0Bスロープ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)

62頁の「TCCR0A – タイマ/カウンタ0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11-9. 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。

11.9.3. TCNT0 – タイマ/カウンタ0 (Timer/Counter0)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$19 (\$39)	(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。

11.9.4. 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	
\$18 (\$38)	(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。

11.9.5. 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	
\$17 (\$37)	(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。

11.9.6. TIMSK – タイマ/カウンタ割り込み許可レジスタ (Timer/Counter Interrupt Mask Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3A (\$5A)	TOIE1	OCIE1A	OCIE1B	–	ICIE1	OCIE0B	TOIE0	OCIE0A	TIMSK
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4 – Res : 予約 (Reserved)

このビットは予約されており、常に0を読みます。

● ビット2 – OCIE0B : タイマ/カウンタ0比較B割り込み許可 (Timer/Counter 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(TCNT0)で比較一致が起こる、換言するとタイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)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 – TOIE0 : タイマ/カウンタ0溢れ割り込み許可 (Timer/Counter 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(TCNT0)溢れが起こる、換言するとタイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)でタイマ/カウンタ溢れ割り込み要求(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。

● ビット0 – OCIE0A : タイマ/カウンタ0比較A割り込み許可 (Timer/Counter 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(TCNT0)で比較一致が起こる、換言するとタイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)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。

11.9.7. TIFR – タイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ (Timer/Counter Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$39 (\$59)	TOV1	OCF1A	OCF1B	–	ICF1	OCF0B	TOV0	OCF0A	TIFR
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4 – Res : 予約 (Reserved)

このビットは予約されており、常に0を読みます。

● 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/Counter, 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/カウンタ割り込み許可レジスタ(TIMSK)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 – TOV0 : タイマ/カウンタ0溢れ割り込み要求フラグ (Timer/Counter 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/カウンタ割り込み許可レジスタ(TIMSK)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。

このフラグの設定(1)はWGM02~0設定に依存します。63頁の「表11-8. 波形生成種別選択」を参照してください。

● ビット0 – OCF0A : タイマ/カウンタ0比較A割り込み要求フラグ (Timer/Counter, 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/カウンタ割り込み許可レジスタ(TIMSK)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。

12. 16ビット タイマ/カウンタ

12.1. 特徴

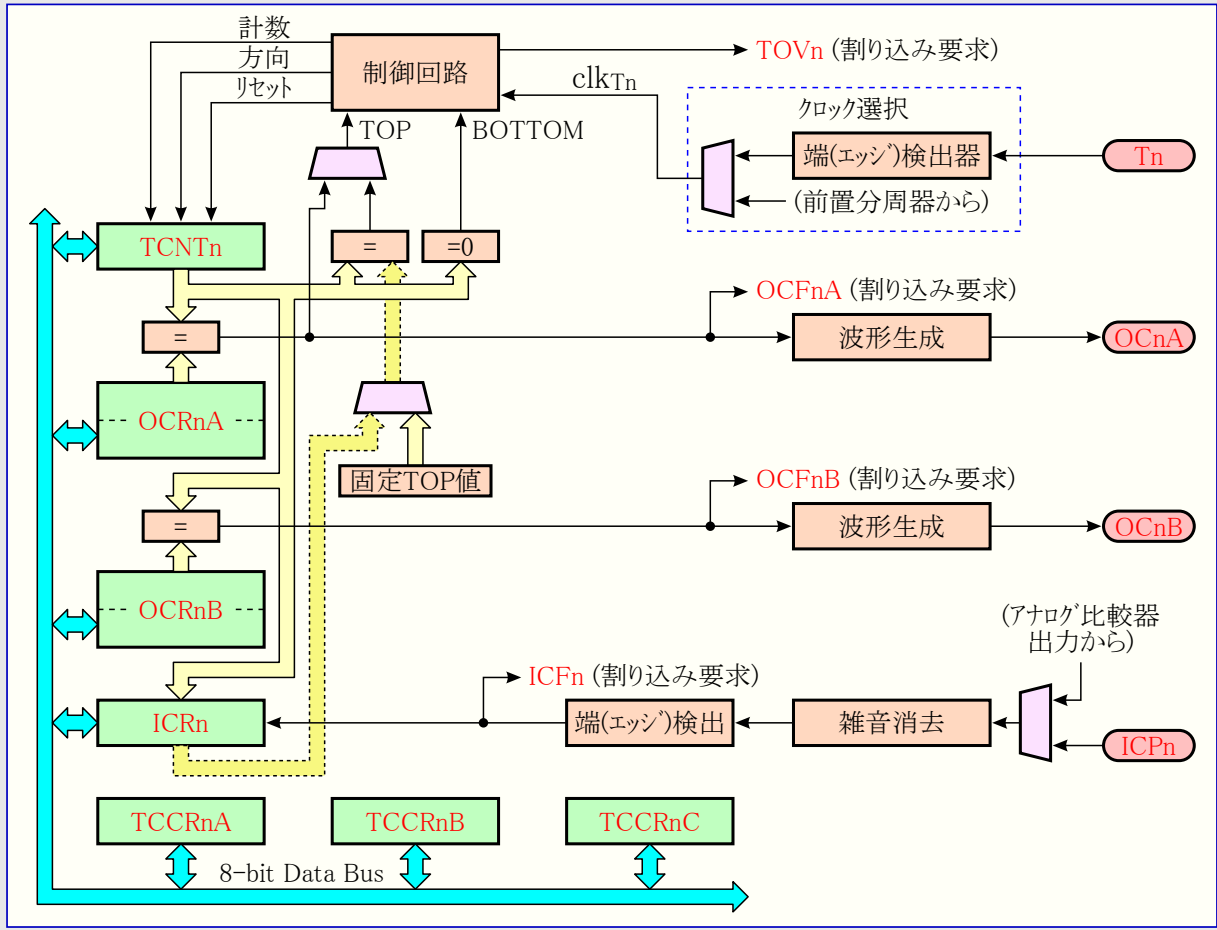
- 真の16ビット設計 (換言すれば16ビットPWMの許容)
- 2つの独立した比較出力部
- 2重緩衝の比較レジスタ
- 1つの捕獲入力部
- 捕獲入力雑音消去器
- 比較一致でのタイマ/カウンタ解除 (自動再設定)
- 不具合なしで正しい位相のパルス幅変調器 (PWM)
- 可変PWM周期
- 周波数発生器
- 外部事象計数器
- 4つの独立した割り込み (TOV1,OCF1A,OCF1B,ICF1)

12.2. 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。

この16ビット タイマ/カウンタの簡便化した構成図は図12-1.で示されます。実際のI/Oピンの配置については2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80頁の「16ビット タイマ/カウンタ用レジスタ」で示されます。

図12-1. 16ビット タイマ/カウンタ構成図



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)。

12.2.1. 関係レジスタ

タイマ/カウンタ(TCNT1)、比較レジスタ(OCR1A,OCR1B)、捕獲レジスタ(ICR1)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78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1制御レジスタ(TCCR1A,TCCR1B,TCCR1C)は8ビットレジスタで、CPUアクセスの制限はありません。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(TIFR)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(TIMSK)で個別に遮蔽(禁止)されます。TIFRとTIMSK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T1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(clkT1)として参照されます。

2重緩衝した比較レジスタ(OCR1A,OCR1B)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(OC1A,OC1B)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。70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(OCF1A,OCF1B)も設定(1)します。

捕獲レジスタ(ICR1)は捕獲起動(ICP1)ピンまたはアナログ比較器出力(131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器(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、OCR1A、ICR1、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OCR1Aを使うと、OCR1AはPWM出力生成用に使いません。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重緩衝にします。固定的なTOP値が必要とされる場合、ICR1が代わりに使え、PWM出力として使われるべきOCR1Aを開放します。

12.2.2. 定義

次の定義は本文書を通して広範囲に使われます。

表12-1. 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)、OCR1A値、ICR1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。表12-5をご覧ください。

12.2.3. 互換性

この16ビットタイマ/カウンタは旧版の16ビット AVR タイマ/カウンタから改良更新されてしまっています。この16ビットタイマ/カウンタは次の点に関して以前の版と完全な互換性があります。

- タイマ/カウンタ割り込み関係レジスタを含め、16ビットタイマ/カウンタに関連する全てのI/Oレジスタアドレスの位置。
- タイマ/カウンタ割り込み関係レジスタを含め、16ビットタイマ/カウンタに関連する全てのI/Oレジスタ内のビット位置。
- 割り込みベクタ。

次の制御ビットは改名されてしまっていますが、同じ機能とレジスタ位置を維持されています。

- PWM10はWGM10に変更。
- PWM11はWGM11に変更。
- CTC1はWGM12に変更。

次の制御ビットが16ビットタイマ/カウンタ制御レジスタ内に追加されてしまっています。

- FOC1AとFOC1BがTCCR1Aに追加。
- WGM13がTCCR1Bに追加。

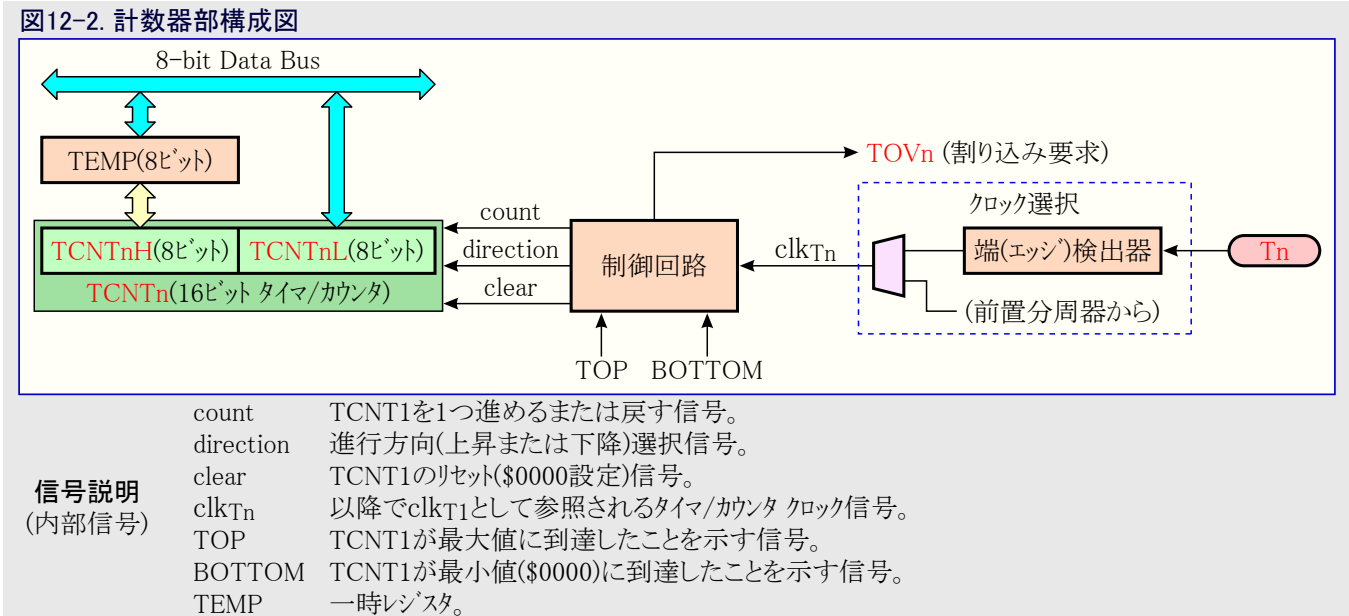
この16ビットタイマ/カウンタにはいくつかの特別な状況で過去との互換性に影響を及ぼす改良点があります。

12.3. タイマ/カウンタのクロック元

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(TCCR1B)に配置されたクロック選択(CS12~0)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85頁の「タイマ/カウンタの前置分周器」をご覧ください。

12.4. 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12-2はこのカウンタとその周辺の構成図を示します。



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(TCNT1H)と下位8ビットを含むカウンタ下位(TCNT1L)の2つの8ビット I/Oメモリ位置に配置されます。TCNT1H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TCNT1H 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TCNT1Lが読まれる時にTCNT1H値で更新され、TCNT1Lが書かれる時にTCNT1Hは一時レジスタ値で更新されます。これは8ビット データパス経由で1クロック周期内の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TCNT1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って、カウンタは各タイマ/カウンタ クロック(clkT1)でリセット(\$0000)、増加(+1)、または減少(-1)されます。clkT1はクロック選択(CS12~0)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(CS12~0=000)時にカウンタは停止されます。けれどもTCNT1値はタイマ/カウンタ クロック(clkT1)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)。

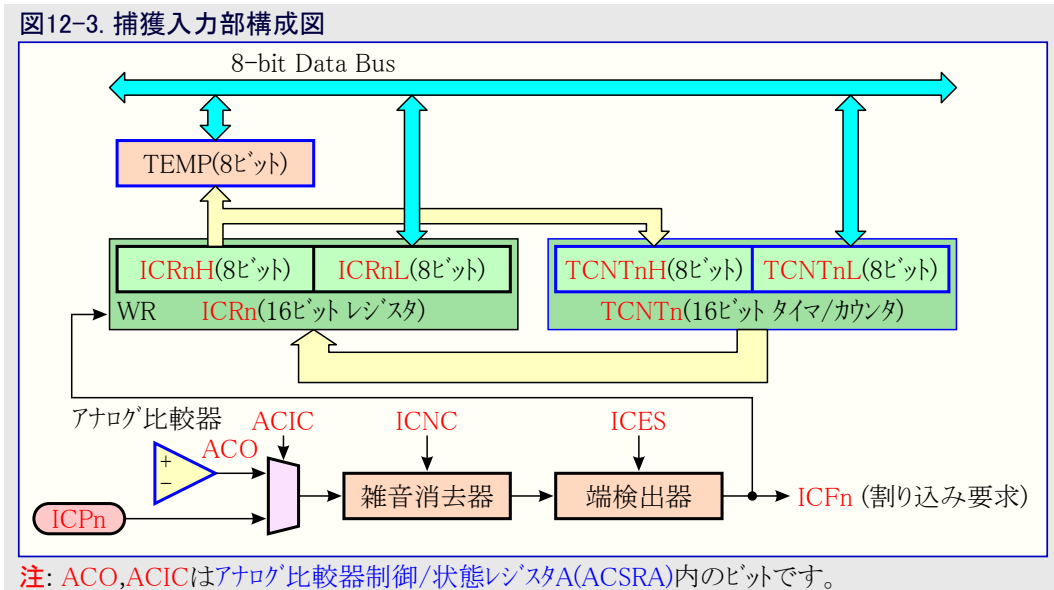
計数順序(方法)はタイマ/カウンタ制御レジスタA(TCCR1A)とタイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCR1B)に配置された波形生成種別(WGM13~0)ビットの設定によって決定されます。これらはカウンタ動作(計数)方法と波形がOC1x比較出力に生成される方法間の接続に近いものです。進化した計数順序と波形生成についてより多くの詳細に対しては73頁の「動作種別」をご覧ください。

タイマ/カウンタ溢れ(TOV1)フラグはWGM13~0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。TOV1はCPU割り込み発生に使えます。

12.5. 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ICP1ピンまたは代わりにアナログ比較器部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12-3.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。



捕獲起動入力(ICP1)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(TCNT1)の16ビット値が捕獲レジスタ(ICR1)に書かれます。捕獲割り込み要求フラグ(ICF1)はTCNT1値がICR1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, ICIE1=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。ICF1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(ICR1)の16ビット値読み込みは、初めに下位バイト(ICR1L)、その後に上位バイト(ICR1H)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ICR1H I/O位置を読むと、この一時レジスタをアクセスします。

ICR1はカウンタのTOP値定義にICR1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ICR1に書かれ得る前に波形生成種別(WGM13~0)ビットが設定されなければなりません。ICR1に書く時は下位バイトがICR1Lに書かれる前に、上位バイトがICR1H 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78頁の「16ビットレジスタのアクセス」を参照してください。

12.5.1. 捕獲起動元

捕獲入力部用の主な起動元は捕獲起動入力(ICP1)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(ACSRA)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(ICF1)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(ICP1)ピンとアナログ比較器出力(ACO)の両入力は、T1ピン(85頁の図13-2.参照)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。けれども雑音除去が許可されると、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ICR1を使う波形生成種別に設定されないなら、雑音除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ICP1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。

12.5.2. 雑音除去器

雑音除去器は雑音耐性を改善するために簡単なデジタル濾波器機構を使います。連続する採取が4段の深さのパイプラインで監視されます。信号は4つ全ての採取が等しい時にだけ変更を許される端検出器に行きます。

雑音除去器はタイマ/カウンタ制御レジスタB(TCCR1B)の捕獲入力雑音除去許可(ICNC1)ビットの設定(1)によって許可されます。許可時、雑音除去器はICR1が更新される前に入力に印加される変更に対して4システムクロック周期の追加遅延をもたらします。

雑音除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を及ぼされません。

12.5.3. 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として、次の出来事が起こる前に捕獲した**捕獲レジスタ(ICR1)**の値をプロセッサが読めなかった場合、ICR1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ICR1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。

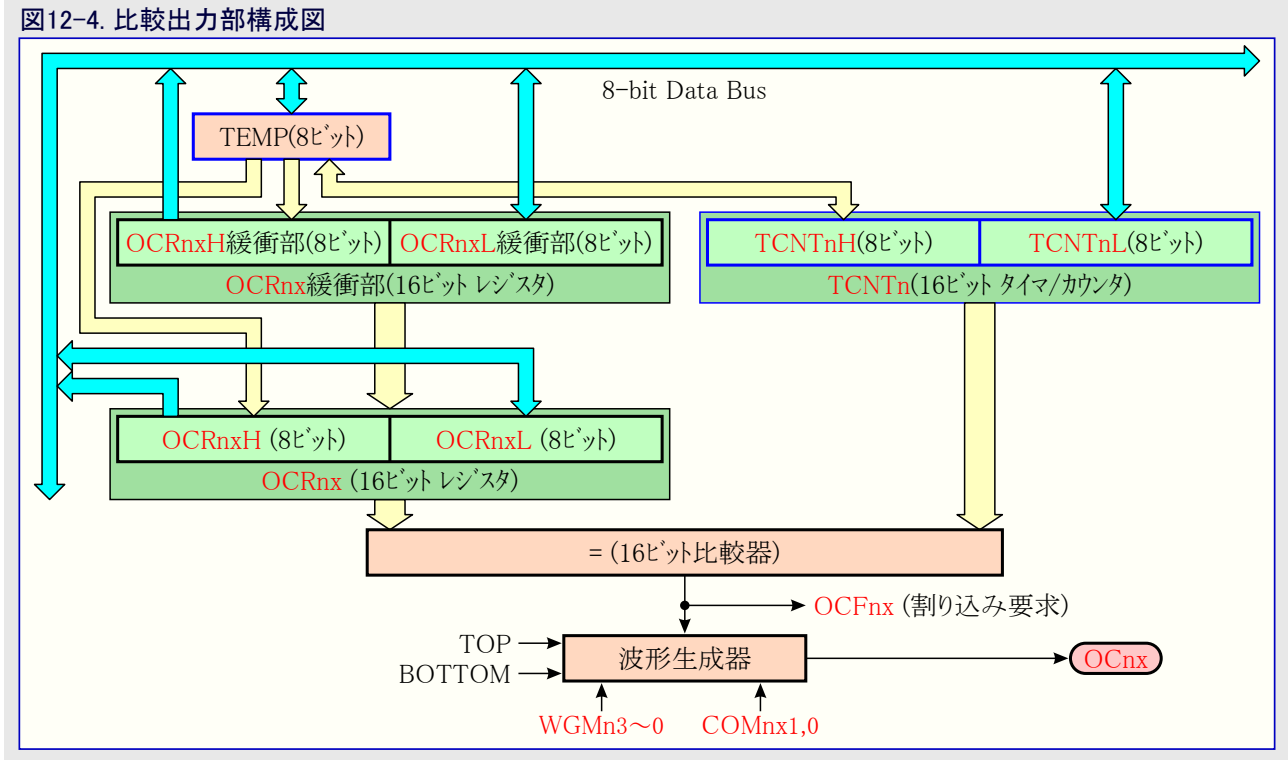
外部信号のデューティ比測定は各捕獲後に起動端が変更されることを必要とします。検出端の変更はICR1が読まれてしまった後に可能な限り早く行われなければなりません。端(エッジ)の変更後、**捕獲割り込み要求フラグ(ICF1)**はソフトウェア(I/Oビット位置への論理1書き込み)によって解除(0)されなければなりません(訳補:端変更によってICF1が設定(1)されることを想定)。周波数のみの測定について(割り込み処理が使われる場合)、ICF1の解除(0)は必要とされません。

12.6. 比較出力部

この16ビット比較器は**TCNT1**と**比較レジスタ(OCR1x)**を継続的に比較します。TCNT1とOCR1x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(OCF1x)**を設定(1)します。許可(I=1, OCIE1x=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。OCF1x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OCF1x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(WGM13~0)ビット**と**比較出力選択(COM1x1,0)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(73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(換言するとカウンタの分解能)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12-4.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またはB)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。



OCR1x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OCR1x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。

OCR1x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OCR1x緩衝部をアクセスし、禁止されるとOCR1xレジスタを直接アクセスします。OCR1x(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TCNT1やICR1のようにOCR1xを自動的に更新しません)。従ってOCR1x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。OCR1x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(OCR1xH)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。その後下位バイト(OCR1xL)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OCR1x緩衝部またはOCR1x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78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。

12.6.1. 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(FOC1x)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(OCF1x)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、OC1x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(COM1x1,0ビット設定がOC1xピンの設定(1)、解除(0)、1/0交互のどれかを定義)。

12.6.2. TCNT1書き込みによる比較一致妨害

TCNT1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、TCNT1と同じ値に初期化されることをOCR1xに許します。

12.6.3. 比較一致部の使用

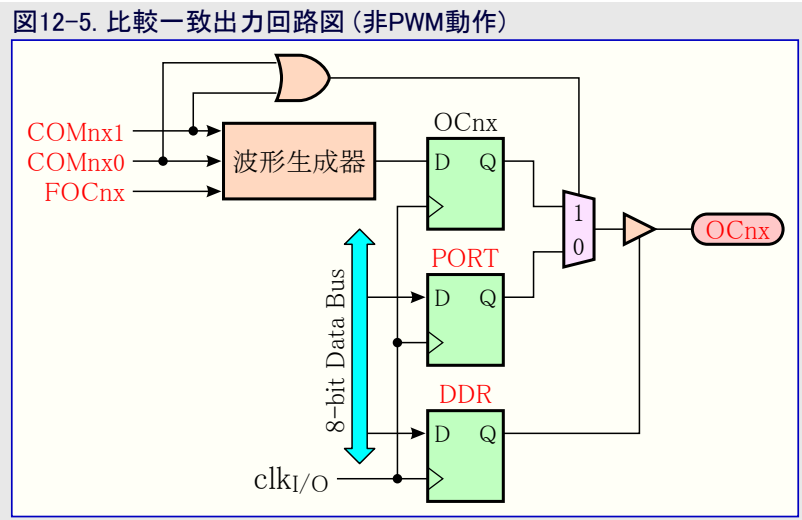
どの動作種別でのTCNT1書き込みでも1タイマ/カウンタクロック周期間、全ての比較一致を妨げるため、タイマ/カウンタが走行中であるか否かに拘らず、何れかの比較出力部を使う場合、TCNT1を変更する時に危険を伴います。TCNT1に書かれた値がOCR1x値と同じ場合、比較一致は失われ(一致が発生せず)、不正な波形生成に終わります。可変TOP値のPWM動作でTOPに等しいTCNT1を書いてはいけません。(行った場合)TOPに対する比較一致は無視され、カウンタは\$FFFFへ(計数を)続けます。同様にカウンタが下降計数のとき、BOTTOMに等しいTCNT1値を書いてはいけません。

OC1x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。OC1x値を設定する一番簡単な方法は標準動作で強制変更(FOC1x)スト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、OC1x(内部)レジスタはその値を保ちます。

比較出力選択(COM1x1,0)ビットが比較値(OCR1x)と共に2重緩衝されないことに気付いてください。COM1x1,0ビットの変更は直ちに有効となります。

12.7. 比較一致出力部

比較出力選択(COM1x1,0)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(OC1x)状態の定義にCOM1x1,0ビットを使います。次にCOM1x1,0ビットはOC1xピン出力元を制御します。図12-5はCOM1x1,0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。COM1x1,0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。OC1xの状態を参照するとき、その参照はOC1xピンでなく内部OC1xレジスタに対してです。システムリセットが起こると、OC1xレジスタは0にリセットされます。



COM1x1,0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(OC1x)によって無効にされます。けれどもOC1x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。OC1xピンに対するポート方向レジスタのビット(DDR_OC1x)はOC1x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。このポートの兼用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12-2、表12-3、表12-4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OC1x状態の初期化を許します。いくつかのCOM1x1,0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。80頁の「16ビットタイマ/カウンタ用レジスタ」をご覧ください。

COM1x1,0ビットは捕獲入力部での何の効果もありません。

12.7.1. 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COM1x1,0ビットを違うふうに使います。全ての動作種別に対してCOM1x1,0=00設定は次の比較一致で実行すべきOC1x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80頁の表12-2を参照してください。高速PWM動作については80頁の表12-3、位相基準PWMと位相/周波数基準PWMについては80頁の表12-4を参照してください。

COM1x1,0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(FOC1x)ス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。

12.8. 動作種別

動作種別、換言するとタイマ/カウンタと比較出力ピンの動作は波形生成種別(WGM13~0)ビットと比較出力選択(COM1x1,0)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。COM1x1,0ビットは生成されたPWM出力が反転されるべきか、されないべきか(反転または非反転PWM)のどちらかを制御します。非PWM動作に対するCOM1x1,0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。72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77頁の「タイマ/カウンタのタイミング」を参照してください。

12.8.1. 標準動作

最も単純な動作種別が標準動作(WGM13~0=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(TOV1)フラグはTCNT1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TOV1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TOV1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。

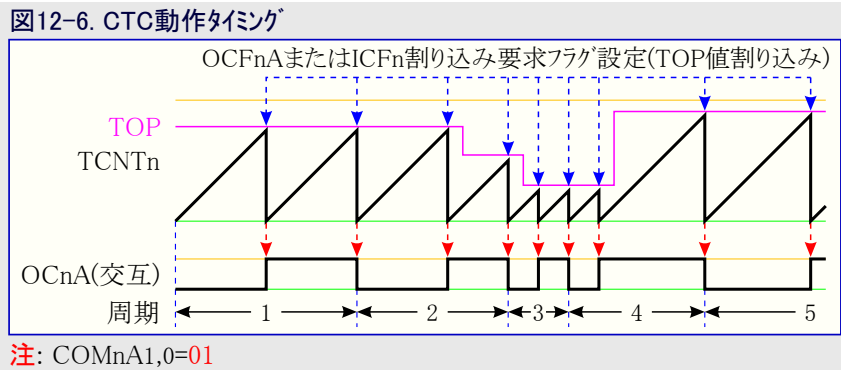
捕獲入力部は標準動作での使用が容易です。けれども外部の事象間の最大間隔がタイマ/カウンタの分解能(16ビット長)を越えてはならないことに気付いてください。事象間の間隔が長すぎる場合、捕獲部に対して分解能を拡張するために、タイマ/カウンタ溢れ割り込みまたは前置分周器が使われなければなりません。

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。

12.8.2. 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(WGM13~0=0100または1100)ではOCR1AまたはICR1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(TCNT1)値がOCR1A(WGM13~0=4)またはICR1(WGM13~0=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。OCR1AまたはICR1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12-6.で示されます。カウンタ(TCNT1)値はOCR1AまたはICR1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(TCNT1)は解除(\$0000)されます。



TOP値を定義するのに使われるレジスタに対してOCR1AまたはICF1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。けれども前置分周値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。OCR1AまたはICR1に書かれた新しい値がTCNT1の現在値よりも低い(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。OCR1Aが2重緩衝されるので、代替はTOPを定義するのにOCR1Aを用いる高速PWM動作(WGM13~0=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、OC1A出力は比較出力選択(COM1A1,0)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。OC1A値はそのピンに対するデータ方向が出力(DDR_OC1A=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OCR1Aが0(\$0000)に設定される時に $f_{OC1A} = f_{clk_I/O} / 2$ 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(TOV1)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。

12.8.3. 高速PWM動作

高速パルス幅変調(PWM)動作(WGM13~0=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(COM1x1,0=10)での比較出力(OC1x)はTCNT1とOCR1x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(COM1x1,0=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OCR1AかICR1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(OCR1AまたはICR1が\$0003設定)、最大分解能は16ビット(OCR1AまたはICR1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。

$$R_{FPWM} = \frac{\log(TOP+1)}{\log 2}$$

高速PWM動作でのカウンタはカウンタ値が固定値\$00FF,\$01FF,\$03FF(WGM13~0=0101,0110,0111)、ICR1値(WGM13~0=1110)またはOCR1A値(WGM13~0=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12-7で示されます。本図はOCR1AかICR1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。TCNT1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OCR1x値を示し、TCNT1値との交点(接点)がTCNT1とOCR1x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(OCF1x)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(TOV1)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、OCR1AかICR1のどちらかがTOP値を定義するのに使われると、OCF1AまたはICF1割り込み要求フラグはTOV1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、TCNT1とそのOCR1x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OCR1x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。

ICR1がTOP値を定義するのに使われるとき、ICR1を更新する手順はOCR1Aの更新と異なります。ICR1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ICR1が小さな値に変更される場合、書かれた新しいICR1値がTCNT1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ことです。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りません。けれども、OCR1A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OCR1AのI/O位置に許します。OCR1A I/O位置が書かれると、書かれた値はOCR1A緩衝部に置かれます。OCR1A(比較)レジスタはその後にTCNT1がTOPと一致した次のタイマ/カウンタクロック周期にOCR1A緩衝部の値で更新されます。この更新はTCNT1の解除(\$0000)やTOV1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ICR1を使うことは決まったTOP値を使う時に上手くなります。ICR1を使うことにより、OC1AでのPWM出力を生成するためにOCR1A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、OCR1Aが2重緩衝機能のため、TOPとしてOCR1A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OC1xピンでのPWM波形の生成を許します。COM1x1,0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COM1x1,0を'11'に設定することで生成できます。80頁の表12-3をご覧ください。実際のOC1x値はそのポートピンに対するデータ方向が出力(DDR_OC1x=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TCNT1とOCR1x間の比較一致でOC1x(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OC1x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。

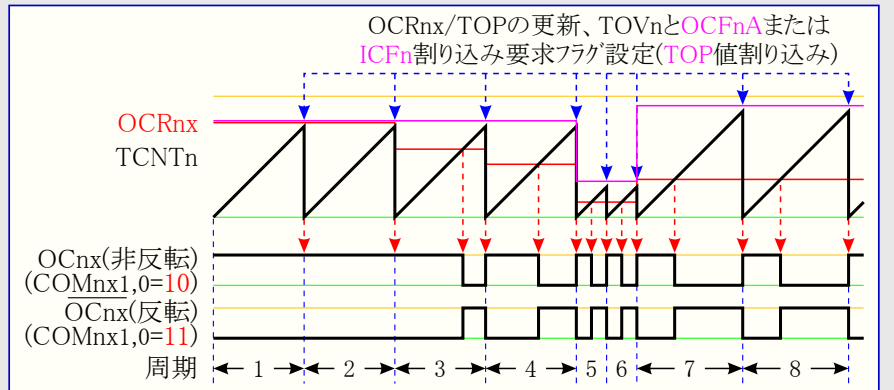
PWM出力周波数は次式によって計算できます。変数Nは前置分周数(1,8,64,256,1024)を表します。

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \times (1 + TOP)}$$

OCR1x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。OCR1x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OCR1x設定は(COM1x1,0ビットによって設定される出力極性に依存して)定期的な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OC1A設定(COM1A1,0=01)によって達成できます。これはTOP値を定義するのにOCR1Aが使われる(WGM13~0=1111)の場合にだけ適用されます。生成された波形はOCR1Aが0(\$0000)に設定される時に $f_{OC1A} = f_{clk_I/O} / 2$ 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OC1A交互出力(COM1A1,0=01)と同じです。

図12-7. 高速PWM動作タイミング



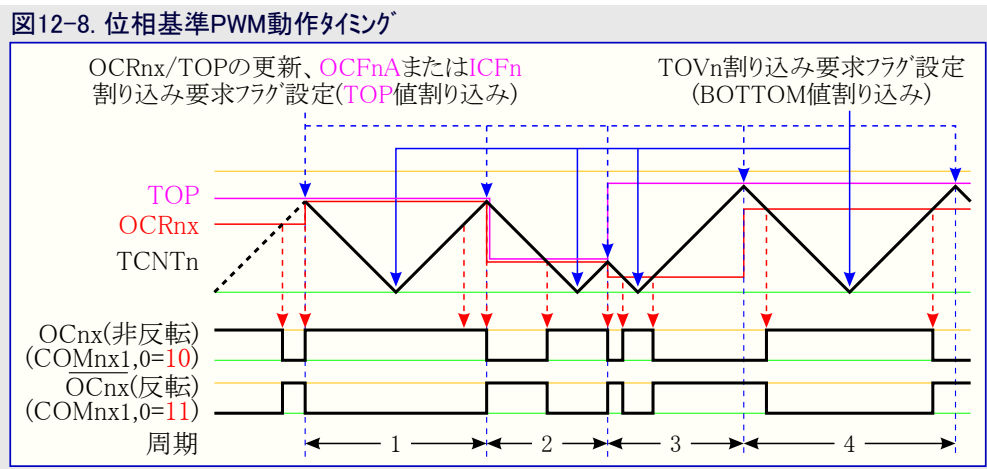
12.8.4. 位相基準PWM動作

位相基準パルス幅変調(PWM)動作(WGM13~0=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(COM1x1,0=10)での比較出力(OC1x)は上昇計数中のTCNT1とOCR1x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(COM1x1,0=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OCR1AかICR1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(OCR1AまたはICR1が\$0003設定)、最大分解能は16ビット(OCR1AまたはICR1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(WGM13~0=0001,0010,0011)、ICR1値(WGM13~0=1010)またはOCR1A値(WGM13~0=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TCNT1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12-8.で示されます。この図はOCR1AかICR1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。TCNT1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OCR1x値を示し、TCNT1値との交点(接点)がTCNT1とOCR1x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(OCF1x)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(TOV1)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。OCR1AかICR1のどちらかがTOP値を定義するのに使われるとき、OCF1AまたはICF1割り込み要求フラグはOCR1x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、TCNT1とそのOCR1x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OCR1x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12-8.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OCR1xレジスタの更新時に見出せます。OCR1x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OC1xピンでのPWM波形の生成を許します。COM1x1,0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COM1x1,0を'11'に設定することで生成できます(80頁の表12-4.をご覧ください)。実際のOC1x値はそのポートピンに対するデータ方向が出力(DDR_OC1x=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TCNT1とOCR1x間の比較一致でOC1x(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TCNT1とOCR1x間の比較一致でOC1x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。

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times TOP}$$

OCR1x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あたります。非反転PWM動作ではOCR1x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OCR1Aが使われ(WGM13~0=1011)、COM1A1,0=01なら、OC1A出力はデューティ比50%で交互に変化します。

12.8.5. 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(WGM13~0=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(COM1x1,0=10)での比較出力(OC1x)は上昇計数中のTCNT1とOCR1x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(COM1x1,0=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OCR1xレジスタがOCR1x緩衝部によって更新される時(訳補:TOPとBOTTOM)です(図12-8と図12-9参照)。

位相/周波数基準PWM動作のPWM分解能はOCR1AかICR1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(OCR1AまたはICR1が\$0003設定)、最大分解能は16ビット(OCR1AまたはICR1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ICR1値(WGM13~0=1000)かOCR1A値(WGM13~0=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TCNT1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/周波数基準PWM動作のタイミング図は図12-9で示されます。この図はOCR1AかICR1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。TCNT1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OCR1x値を示し、TCNT1値との交点(接点)がTCNT1とOCR1x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(OCF1x)は比較一致が起こると設定(1)されます。

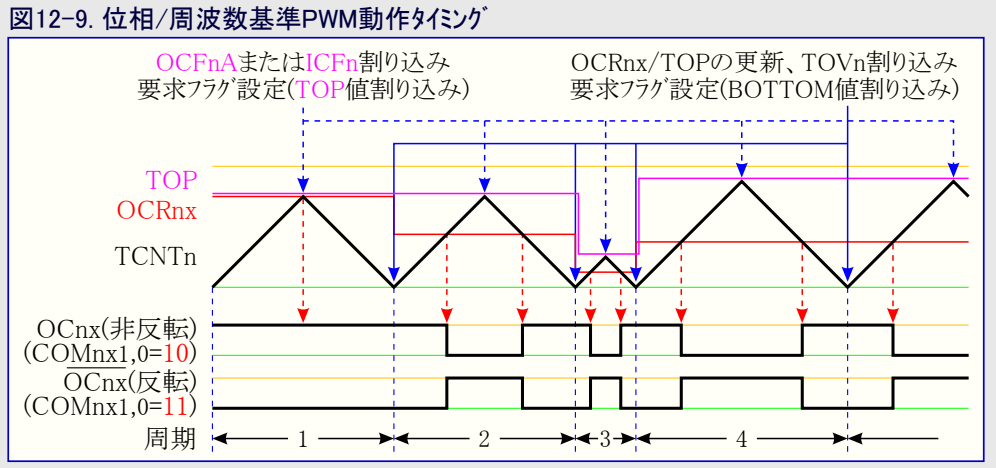


図12-9. 位相/周波数基準PWM動作タイミング

タイマ/カウンタ溢れ(TOV1)フラグはOCR1x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設定(1)されます。OCR1AかICR1のどちらかがTOP値を定義するのに使われるとき、OCF1AまたはICF1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、TCNT1とそのOCR1x間で比較一致は決して起きません。

図12-9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。OCR1x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ICR1を使うことは決まったTOP値を使う時に上手くいきます。ICR1を使うことにより、OC1AでのPWM出力を生成するためにOCR1A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、OCR1Aが2重緩衝機能のため、TOPとしてOCR1A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OC1xピンでのPWM波形の生成を許します。COM1x1,0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COM1x1,0を'11'に設定することで生成できます(80頁の表12-4をご覧ください)。実際のOC1x値はそのポートピンに対するデータ方向が出力(DDR_OC1x=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TCNT1とOCR1x間の比較一致でOC1x(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TCNT1とOCR1x間の比較一致でOC1x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。

$$f_{OCnxPFCPWM} = \frac{f_{clk,I/O}}{2 \times N \times TOP}$$

OCR1x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当たります。非反転PWM動作ではOCR1x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OCR1Aが使われ(WGM13~0=1001)、COM1A1,0=01なら、OC1A出力はデューティ比50%で交互に変化します。

12.9. 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_{T1})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 $OCR1x$ レジスタが $OCR1x$ 緩衝値で更新される時(2重緩衝を使う動作種別のみ)の情報を含みます。図12-10は $OCF1x$ の設定についてのタイミング図を示します。

図12-10. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ、 $OCF1x$ 設定 タイミング

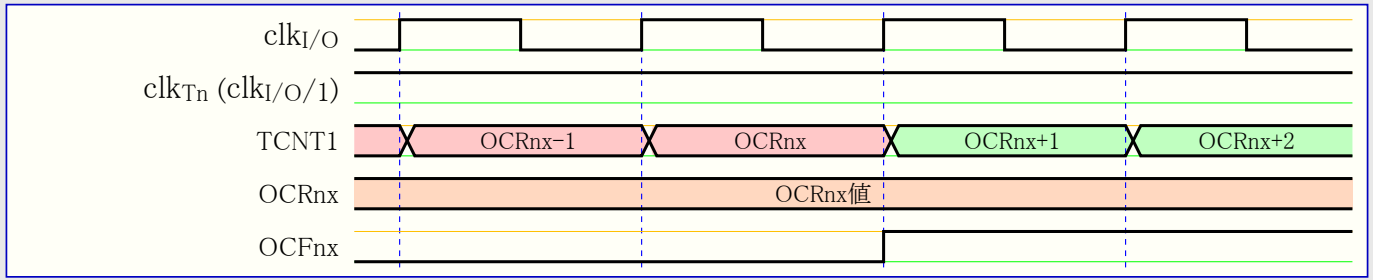


図12-11.は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図12-11. 前置分周器($f_{clk_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、 $OCF1x$ 設定 タイミング

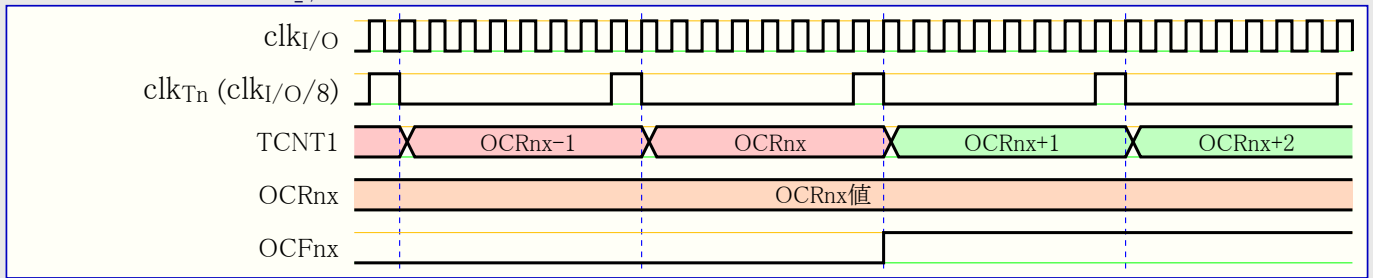


図12-12.は各動作種別でのTOP近辺の計数手順を示します。位相/周波数基準PWM動作使用時の OCR_{nx} レジスタはBOTTOMで更新されます。タイミング図は同じになりますが、当然TOPはBOTTOMで、TOP-1はBOTTOM+1でどのように置き換えられます。BOTTOMで $TOV1$ を設定(1)する動作種別についても、同様な名称変更が適用されます。

図12-12. 前置分周なし(1/1)のタイマ/カウンタ、TOP近辺 タイミング

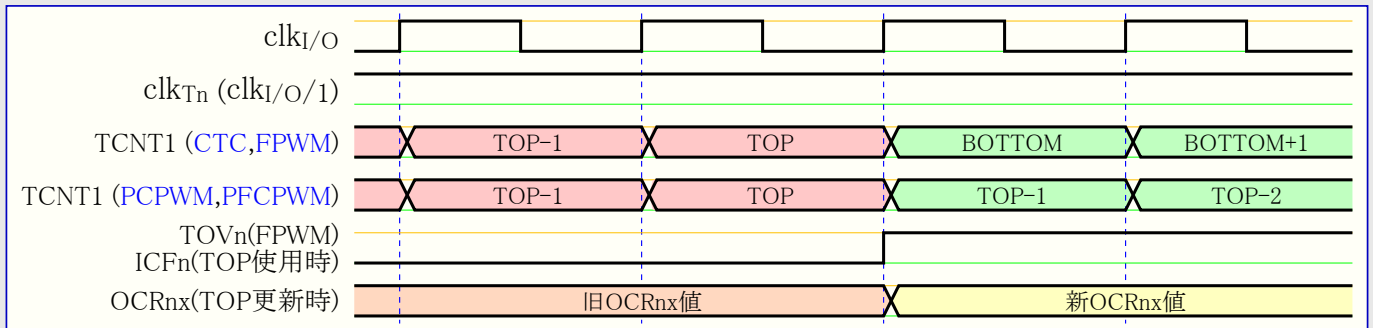
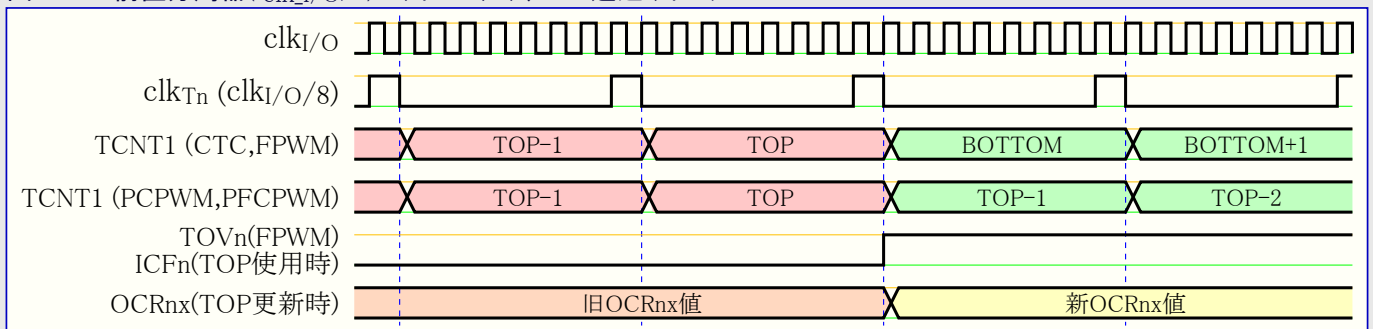


図12-13.は同じタイミング データを示しますが、前置分周器が許可されています。

図12-13. 前置分周器($f_{clk_{I/O}/8}$)のタイマ/カウンタ、TOP近辺 タイミング



12.10. 16ビットレジスタのアクセス

TCNT1, OCR1A, OCR1B, ICRI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。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、この同じ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。OCR1AとOCR1B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。OCR1A, OCR1B, ICRI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

```
~ ;
; [16ビット($01FF)書き込み]
LDI R17, $01 ; $01FFの上位バイト値取得
LDI R16, $FF ; $01FFの下位バイト値取得
OUT TCNT1H, R17 ; 上位バイト設定(一時レジスタ)
OUT TCNT1L, R16 ; 下位バイト設定(一時レジスタ⇒上位バイト)
; [16ビット読み込み]
IN R16, TCNT1L ; 下位バイト取得(上位バイト⇒一時レジスタ)
IN R17, TCNT1H ; 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;
~ /* */
TCNT1 = 0x1FF; /* 16ビット($01FF)書き込み */
i = TCNT1; /* 16ビット読み込み */
~ /* */
```

注: 5頁の「コード例」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TCNT1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TCNT1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、OCR1A,OCR1B,ICR1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_TCNT1:   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, TCNT1L        ;TCNT1下位バイト取得(上位バイト⇒一時レジスタ)
            IN      R17, TCNT1H        ;TCNT1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_TCNT1(void)
{
    unsigned char sreg;                /* ステータスレジスタ一時保存変数定義 */
    unsigned int i;                   /* TCNT1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 */
    _CLI();                           /* 全割り込み禁止 */
    i = TCNT1;                        /* TCNT1値を取得 */
    SREG = sreg;                      /* 全割り込み許可フラグ(I)を復帰 */
    return i;                         /* TCNT1値で呼び出し元へ復帰 */
}
```

注: 5頁の「コード例」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TCNT1値を戻します。

次のコード例はTCNT1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、OCR1A,OCR1B,ICR1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_TCNT1:   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     TCNT1H, R17        ;TCNT1上位バイト設定(一時レジスタ)
            OUT     TCNT1L, R16        ;TCNT1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_TCNT1(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;                   /* TCNT1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 */
    _CLI();                           /* 全割り込み禁止 */
    TCNT1 = i;                        /* TCNT1値を設定 */
    SREG = sreg;                      /* 全割り込み許可フラグ(I)を復帰 */
}
```

注: 5頁の「コード例」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TCNT1へ書かれるべき値を含むことが必要です。

12.10.1. 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。

12.11. 16ビット タイマ/カウンタ1用レジスタ

12.11.1. TCCR1A – タイマ/カウンタ1制御レジスタA (Timer/Counter1 Control Register A)

ビット (\$72)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR1A
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	–	–	WGM11	WGM10	
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 – COM1A1,0 : 比較1A出力選択 (Compare Output Mode1A bit 1 and 0)
- ビット5,4 – COM1B1,0 : 比較1B出力選択 (Compare Output Mode1B bit 1 and 0)

COM1A1,0とCOM1B1,0は各々OC1AとOC1B比較出力ピンの動作を制御します。COM1A1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OC1A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。COM1B1,0ビットの1つまたは両方が1を書かれると、OC1B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、OC1AまたはOC1B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。

OC1AまたはOC1Bがピンに接続されるとき、COM1x1,0ビットの機能はWGM13~0ビット設定に依存します。

表12-2.はWGM13~0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COM1x1,0ビット機能を示します。

表12-2. 非PWM動作での比較出力選択 (注: xはAまたはB)

COM1x1	COM1x0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC1x切断)
0	1	比較一致でOC1xピントグル(交互)出力
1	0	比較一致でOC1xピン Lowレベル出力
1	1	比較一致でOC1xピン Highレベル出力

表12-3.はWGM13~0ビットが高速PWM動作に設定される時のCOM1x1,0ビット機能を示します。

表12-3. 高速PWM動作での比較出力選択 (注: xはAまたはB, Xは0または1)

COM1x1	COM1x0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC1x切断)
0	1	WGM13~0=111X : 比較一致でOC1Aピントグル(交互)出力、OC1Bは標準ポート動作(OC1B切断) WGM13~0上記以外 : 標準ポート動作 (OC1x切断)
1	0	比較一致でLow、BOTTOMでHighをOC1xピンへ出力 (非反転動作)
1	1	比較一致でHigh、BOTTOMでLowをOC1xピンへ出力 (反転動作)

注: COM1x1が設定(1)され、OCR1x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74頁の「高速PWM動作」をご覧ください。

表12-4.はWGM13~0ビットが位相基準または位相/周波数基準PWM動作に設定される時のCOM1x1,0ビット機能を示します。

表12-4. 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: xはAまたはB, Xは0または1)

COM1x1	COM1x0	意味
0	0	標準ポート動作 (OC1x切断)
0	1	WGM13~0=10X1 : 比較一致でOC1Aピントグル(交互)出力、OC1Bは標準ポート動作(OC1B切断) WGM13~0上記以外 : 標準ポート動作 (OC1x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OC1x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OC1xピンへ出力

注: COM1x1が設定(1)され、OCR1xがTOPと等しい時に特別な状態が起きます。より多くの詳細については75頁の「位相基準PWM動作」をご覧ください。

●ビット1,0 – WGM11,0 : 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(TCCR1B)で得られるWGM13,2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12-5.参照)。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。73頁の「動作種別」をご覧ください。

表12-5. 波形生成種別選択

番号	WGM13~0	タイマ/カウンタ動作種別	TOP値	OCR1x更新時	TOV1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	OCR1A	即値	MAX
5	0 1 0 1	8ビット高速PWM動作	\$00FF	TOP	TOP
6	0 1 1 0	9ビット高速PWM動作	\$01FF	TOP	TOP
7	0 1 1 1	10ビット高速PWM動作	\$03FF	TOP	TOP
8	1 0 0 0	位相/周波数基準PWM動作	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1 0 0 1	位相/周波数基準PWM動作	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1 0 1 0	位相基準PWM動作	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1 0 1 1	位相基準PWM動作	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1 1 0 0	比較一致タイマ/カウンタ解除(CTC)動作	ICR1	即値	MAX
13	1 1 0 1	(予約)	-	-	-
14	1 1 1 0	高速PWM動作	ICR1	TOP	TOP
15	1 1 1 1	高速PWM動作	OCR1A	TOP	TOP

12.11.2. TCCR1B – タイマ/カウンタ1制御レジスタB (Timer/Counter1 Control Register B)

ビット (\$71)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR1B
	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	
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 – ICNC1 : 捕獲起動入力1雑音消去許可 (Input Capture1 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(ICP1)ピンからの入力が濾波されます。この濾波器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ICP1ピンの採取を必要とします。雑音消去器が許可されると、捕獲入力はそれによって4発振器(システムクロック)周期遅らされます。

●ビット6 – ICES1 : 捕獲起動入力端選択 (Input Capture1 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(ICP1)ピンのどちらかの端(エッジ)を選びます。ICES1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、ICES1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ICES1設定に従って起動されると、カウンタ値が捕獲レジスタ(ICR1)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(ICF1)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。

ICR1がTOP値として使われると(TCCR1AとTCCR1Bに配置されたWGM13~0ビットの記述をご覧ください)、ICP1が切り離され、従って捕獲入力機能は禁止されます。

●ビット5 – Res : 予約 (Reserved)

このビットは予約されており、常に0を読みます。

●ビット4,3 – WGM13,2 : 波形生成種別 (Waveform Generation Mode bit 3 and 2)

タイマ/カウンタ制御レジスタA(TCCR1A)で得られるWGM11,0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、使用されるべき波形生成のどの形式かを制御します。

TCCR1AのWGM11,0ビット記述をご覧ください。

● ビット2~0 - CS12~0 : クロック選択1 (Clock Select1, 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(TCNT1)によって使われるべきクロック元を選びます。図12-10と図12-11をご覧ください。

表12-6. タイマ/カウンタ1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1動作停止)
0	0	1	clkI/O (前置分周なし)
0	1	0	clkI/O/8 (8分周)
0	1	1	clkI/O/64 (64分周)
1	0	0	clkI/O/256 (256分周)
1	0	1	clkI/O/1024 (1024分周)
1	1	0	T1ピンの下降端 (外部クロック)
1	1	1	T1ピンの上昇端 (外部クロック)

タイマ/カウンタ1に対して外部ピン(クロック)動作が使われる場合、例えT1ピンが出力として設定されても、T1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制御を許します。

12.11.3. TCCR1C - タイマ/カウンタ1制御レジスタC (Timer/Counter1 Control Register C)

ビット (\$70)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR1C
	FOC1A	FOC1B	-	-	-	-	-	-	
Read/Write	W	W	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 - FOC1A : OC1A強制変更 (Force Output Compare 1A)

● ビット6 - FOC1B : OC1B強制変更 (Force Output Compare 1B)

FOC1A/FOC1BビットはWGM13~0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TCCR1Cが書かれる場合、これらのビットは0に設定されなければなりません。FOC1A/FOC1B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。OC1x出力はCOM1x1,0ビット設定に従って変更されます。FOC1A/FOC1B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。それによって強制された比較の効果を決めるのはCOM1x1,0ビットに存在する値です。

FOC1A/FOC1Bストローブは何れの割り込みの生成もTOPとしてOCR1A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(\$0000)も行いません。

FOC1A/FOC1Bビットは常に0として読みます。

● ビット5~0 - 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。

12.11.4. TCNT1H, TCNT1L (TCNT1) - タイマ/カウンタ1 (Timer/Counter1)

ビット (\$6F)	15	14	13	12	11	10	9	8	TCNT1H
	(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 (\$6E)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCNT1L
								(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2つのタイマ/カウンタ I/O位置(TCNT1HとTCNT1Lを合わせたTCNT1)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。78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(TCNT1)を変更することはOCR1xの1つとTCNT1間の比較一致消失の危険を誘発します。

TCNT1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。

12.11.5. 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 (\$6D)	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	
ビット (\$6C)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR1AL
								(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	

12.11.6. 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 (\$6B)	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	
ビット (\$6A)	7	6	5	4	3	2	1	0	OCR1BL
								(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	

この比較レジスタは継続的にカウンタ(TCNT1)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OC1x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有されます。78頁の「16ビットレジスタのアクセス」をご覧ください。

12.11.7. 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 (\$69)	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 (\$68)	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	

この捕獲レジスタはICP1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(TCNT1)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。78頁の「16ビットレジスタのアクセス」をご覧ください。

12.11.8. TIMSK – タイマ/カウンタ割り込み許可レジスタ (Timer/Counter Interrupt Mask Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$3A (\$5A)	TOIE1	OCIE1A	OCIE1B	–	ICIE1	OCIE0B	TOIE0	OCIE0A	TIMSK
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 – TOIE1 : タイマ/カウンタ1溢れ割り込み許可 (Timer/Counter1 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1溢れ割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)に配置されたタイマ/カウンタ1溢れ割り込み要求フラグ(TOV1)が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(34頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット6 – OCIE1A : タイマ/カウンタ1比較A割り込み許可 (Timer/Counter1 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1比較A一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)に配置された比較1A割り込み要求フラグ(OCF1A)が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(34頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット5 – OCIE1B : タイマ/カウンタ1比較B割り込み許可 (Timer/Counter1 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1比較B一致割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)に配置された比較1B割り込み要求フラグ(OCF1B)が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(34頁の「割り込み」参照)が実行されます。

● ビット3 – ICIE1 : タイマ/カウンタ1捕獲割り込み許可 (Timer/Counter1 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1捕獲割り込みが許可されます。タイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ(TIFR)に配置された捕獲割り込み要求フラグ(ICF1)が設定(1)されると、対応する割り込みベクタ(34頁の「割り込み」参照)が実行されます。

12.11.9. TIFR – タイマ/カウンタ割り込み要求フラグレジスタ (Timer/Counter Interrupt Flag Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$39 (\$59)	TOV1	OCF1A	OCF1B	–	ICF1	OCF0B	TOV0	OCF0A	TIFR
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 – TOV1 : タイマ/カウンタ1溢れ割り込み要求フラグ (Timer/Counter1 Overflow Flag)

このフラグの設定(1)はWGM13~0ビット設定に依存します。標準またはCTC動作でのTOV1フラグはタイマ/カウンタ1溢れ時に設定(1)されます。他のWGM13~0ビット設定を使う時のTOV1フラグ動作については81頁の表12-5を参照してください。

タイマ/カウンタ1溢れ割り込みベクタが実行されると、TOV1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もTOV1は解除(0)できます。

● ビット6 – OCF1A : タイマ/カウンタ1比較A割り込み要求フラグ (Timer/Counter1, Output Compare A Match Flag)

このフラグはカウンタ(TCNT1)値が比較Aレジスタ(OCR1A)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(FOC1A)スロープがOCF1A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、OCF1A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もOCF1Aは解除(0)できます。

● ビット5 – OCF1B : タイマ/カウンタ1比較B割り込み要求フラグ (Timer/Counter1, Output Compare B Match Flag)

このフラグはカウンタ(TCNT1)値が比較Bレジスタ(OCR1B)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(FOC1B)スロープがOCF1B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、OCF1B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もOCF1Bは解除(0)できます。

● ビット3 – ICF1 : タイマ/カウンタ1捕獲割り込み要求フラグ (Timer/Counter1, Input Capture Flag)

ICP1ピンに捕獲の事象が起こると、このフラグが設定(1)されます。捕獲レジスタ(ICR1)がWGM13~0によってTOP値として設定されると、ICF1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、ICF1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もICF1は解除(0)できます。

(注) 本頁レジスタ内のビット4は予約されており、常に0を読みます。

13. タイマ/カウンタの前置分周器

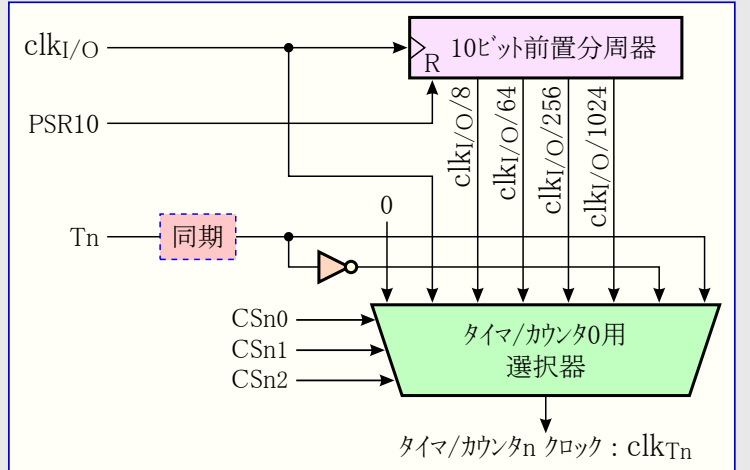
タイマ/カウンタ0とタイマ/カウンタ1は同じ前置分周器部を共有しますが、タイマ/カウンタは異なる前置分周器設定を持つことができます。以下の記述は両タイマ/カウンタに適用します。Tn (n=0,1)は一般名として使われます。

最速タイマ/カウンタ動作はタイマ/カウンタがシステムクロックによって直接クロック駆動される時に得られます。選択的にクロック元として前置分周器からの4つの引き出し点の1つを使うことができます。前置分周されるクロック引き出し点は次のとおりです。

- $f_{clk_I/O}/8$
- $f_{clk_I/O}/64$
- $f_{clk_I/O}/256$
- $f_{clk_I/O}/1024$

図13-1.はタイマ/カウンタ前置分周器の構成図を示します。

図13-1. タイマ/カウンタの前置分周器



注: 入力(Tn)ピンの同期論理回路は図13-2.で示されます。

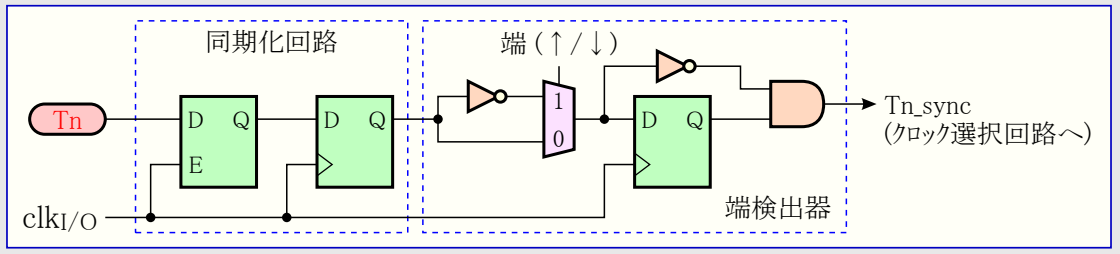
13.1. 前置分周器リセット

この前置分周器は自由走行で、換言するとタイマ/カウンタのクロック選択論理回路と無関係に動作します。前置分周器がタイマ/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場合に密接な関係を持ちます。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)時に、前置分周乱れの一例が生じます。タイマ/カウンタが許可されて最初の計数が起きる間の時間は、Nが前置分周値(8,64,256,1024)に等価とすると、1~N+1 システムクロック周期になり得ます。前置分周乱れを避けるため、タイマ/カウンタをプログラム実行に同期するのに前置分周リセットを使うことができます。

13.2. 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})として使うことができます。Tnピンはピン同期化論理回路によって毎回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13-2.はTn同期化と端検出器論理回路の構成図を示します。

図13-2. Tnピン採取



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。

タイマ/カウンタのクロック選択ビットに依存して、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。

同期化と端検出器論理回路はTnピンへ印加し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持ち込みます。

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りません。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りません。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(ナイキストの標本化定理)。然しながら、発振元(水晶発振子、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。

13.3. タイマ/カウンタ前置分周器制御用レジスタ

13.3.1. GTCCR – 一般タイマ/カウンタ制御レジスタ (General Timer/Counter Control Register)

ビット (\$67)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TSM	–	–	–	–	–	–	PSR10	GTCCR
Read/Write	R/W	R	R	R	R	R	R	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PSR10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。これはタイマ/カウンタが停止され、設定中に進行する危険なしに設定できることを保証します。TSMビットが0を書かれると、PSR10ビットはハードウェアによって解除(0)され、タイマ/カウンタが計数を始めます。

- **ビット0 – PSR10 : 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のとき、タイマ/カウンタ0とタイマ/カウンタ1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いて、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とタイマ/カウンタ1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(訳注:共通性から本行追加)。

14. I²C適合2線従装置インターフェース (TWI: I²C Compatible, Two Wire Slave Interface)

14.1. 特徴

- Phillips社I²C適合
- (条件付き)SMBus適合
- 低システム クロックで100kHzと400kHzを支援
- スレーブ制限された出力駆動部
- 雑音除去を提供する入力濾波器
- ハードウェアでの7ビットと一斉呼び出しのアドレス認証
- アドレス遮蔽または2重アドレス一致用のアドレス遮蔽レジスタ
- 10ビット アドレス指定支援
- 無制限の従装置アドレス数を提供する任意選択のソフトウェア アドレス認証
- パワーダウン動作を含む全休止形態動作での動作
- SMBusアドレス解決規約(ARP)に対する支援を許す従装置調停

14.2. 概要

2線インターフェース(TWI)は2線だけを使う双方向バス通信です。I²C適合と条件付きSMBus適合です(90頁の「SMBusとの適合性」をご覧ください)。

バスに接続されたデバイスは主装置または従装置として動作しなければなりません。主装置はバス上の従装置をアドレス指定することによってデータ転送処理を始め、データの送信または受信のどちらかを望むかを知らせます。1つのバスは多数の主装置を持って、そして同時に2つ以上の主装置が送信を試みる場合の優先権を調停手順が取り扱います。

ATtiny1634のTWI単位部は従装置の機能だけを実装しています。バス上の協調損失、異常、衝突、クロック保持はハードウェアで検出され、独立した状態フラグで示されます。

7ビットと一斉アドレス呼び出しがハードウェアで実装されています。10ビットアドレスも支援されます。専用のアドレス遮蔽レジスタは第2のアドレス一致レジスタまたはアドレスの範囲での一致のための従装置アドレスに対する遮蔽レジスタとして働くことができます。従装置論理回路はパワーダウン動作を含む全ての休止形態動作で動作を継続します。これはTWIアドレス一致での休止からの起動を従装置に許します。アドレス一致を禁止し、代わりにソフトウェアでこれを扱うことも可能です。これは多数のアドレスに対する検知と応答を従装置に許します。自動起動操作のために簡便動作を許可することができ、ソフトウェアの複雑さを低減します。

TWI単位部は開始条件、停止条件、バス衝突、バス異常を検知するための情報を収集するバス状況論理回路を含みます。バス状況論理回路はパワーダウン動作を含む全ての休止形態で動作を継続します。

14.3. 一般的なTWIバスの概念

2線インターフェース(TWI)は直列クロック線(SCL)と直列データ線(SDA)から成る簡素な2線双方向バスを提供します。この2線は開放コレクタ(トレン)線(ワイヤードAND)で、プルアップ抵抗器だけがバスを駆動するために必要とされる外部部品です。このプルアップ抵抗は接続された装置がバスを駆動しない時の信号線にHighレベルを供給します。プルアップ抵抗の代替として定電流源が使えます。

TWIバスは直列バスでの複数装置内部接続の簡単で効率的な方法です。バスに接続された装置は主または従装置にでき、主装置がバスと全ての通信を制御します。

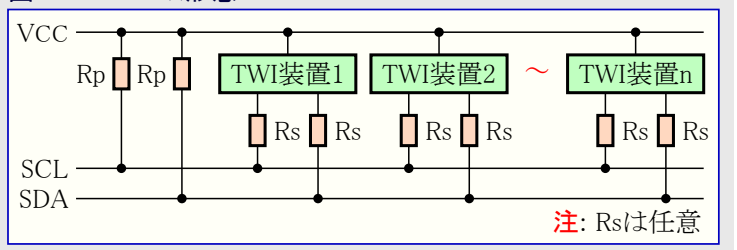
図14-1はTWIバス形態を図解します。

バスに接続した全ての従装置に固有のアドレスが割り当てられ、主装置は従装置をアドレス指定するのにこれを使ってデータ転送処理を始めます。7ビットまたは10ビットのアドレス指定が使えます。

多数の主装置が同じバスに接続でき、これは複数主装置環境と呼ばれます。与えられた時間で1つの主装置だけがバスを自身のものにできるので、主装置間のバス所有権を解決するために調停機構が提供されます。

デバイスは主装置と従装置の両論理回路を含み、2つ以上のアドレスに応答することによって複数従装置の擬似動作ができます。

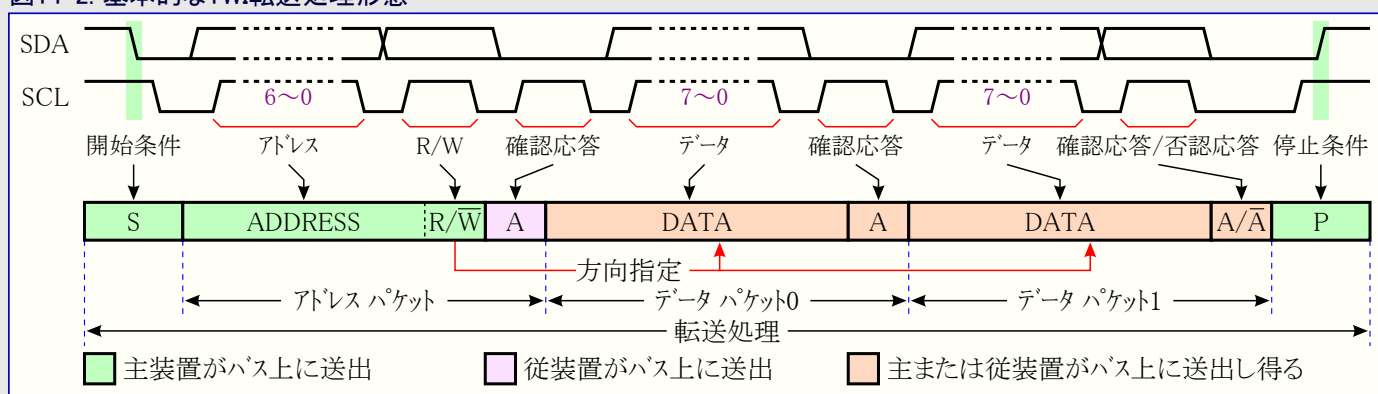
図14-1. TWIバス形態



主装置がバス上に**開始条件(S)**を発行することによって転送処理の開始を指示します。それから、従装置アドレス(ADDRESS)と主装置がデータを読みまたは書きどちらをしたいのかを示す(R/W)を持つアドレス パケットが送られます。データ パケット(DATA)が転送された後、転送処理終了のためにバス上へ**停止条件(P)**を発行します。受信側は各バイトに対して**確認応答(A)**または**否認応答(\bar{A})**を行わなければなりません。

図14-2はTWI転送処理を示します。

図14-2. 基本的なTWI転送処理形態



主装置が転送処理に対してクロック信号を供給しますが、バスに接続された装置はクロック速度を下げるためにクロックのLow区間を引き伸ばすことが許されます。

14.3.1. 電気的特性

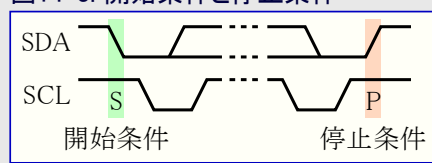
TWIはI²CとSMBusの電気的仕様とタイミングに従っています。166頁の「[2線直列インターフェース](#)」と90頁の「[SMBusとの適合性](#)」をご覧ください。

14.3.2. 開始条件と停止条件

転送処理の始まり(**開始条件**)と終り(**停止条件**)を記すために2つの独特なバス状態が使用されます。主装置はSCL線をHighに保持すると同時にSDA線でHighからLowへの遷移を示すことによって**開始条件(S)**を発行します。主装置はSCL線をHighに保持すると同時にSDA線をLowからHighへの遷移を示すことによって**停止条件(P)**を発行し、それによって転送処理を完了します。

単一転送処理の間に複数の**開始条件**が発行され得ます。**停止条件**に直接後続しない**開始条件**は**再送開始条件(Sr)**と名付けられます。

図14-3. 開始条件と停止条件

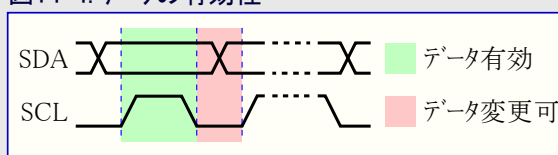


14.3.3. ビット転送

図14-4で図解されるように、SDA線で転送されるビットはSCL線のHigh区間全体に対して安定でなければなりません。従ってSDA値はクロックのLow区間の間でだけ変更できます。これはTWI単位部でのハードウェアで保証されます。

ビット転送の組み合わせがアドレスとデータの packets の編成に帰着します。これらの packets は最上位ビット先行転送の8データビット(1バイト)と**確認(ACK)**または**否認(NACK)**の応答の単一ビットから成ります。アドレス指定された装置は9クロック周期の間に、SCL線をLowに引くことによってACKで、SCL線をHighのままにして置くことによってNACKで合図します。

図14-4. データの有効性



14.3.4. アドレス パケット

開始条件後、読み/書き(R/W)ビットが後続する7ビット アドレスが送出されます。これは常に主装置によって送出されます。そのアドレスを認証する従装置は次のSCLクロックでSDA線をLowに引くことによってアドレスの**確認応答(ACK)**を行い、一方他の全ての従装置はTWI線の開放を維持して次の**開始条件**とアドレスを待ちます。7ビット アドレス、R/Wビット、応答ビットの組み合わせがアドレス パケットです。各**開始条件**に対して1つのアドレス パケットだけが与えられ、これは10ビット アドレスが使われる時です。

R/Wは転送処理の方向を指定します。R/WビットがLowなら、主装置書き込み転送処理を示し、従装置のそのアドレスの**確認応答**後に主装置はそのデータを送出します。逆の主装置読み込み操作については、従装置がそのアドレスの**確認応答**後にデータ送出を開始します。

14.3.5. データ パケット

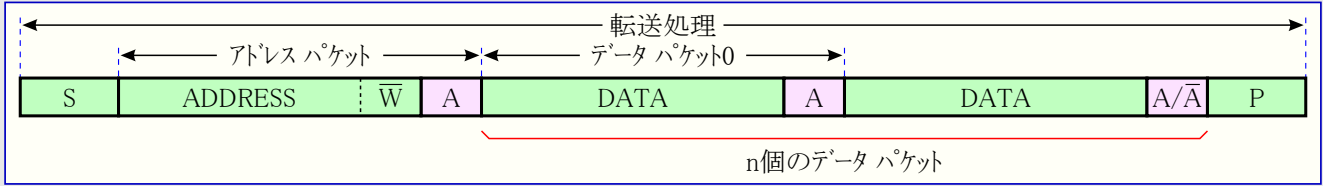
データ パケットはアドレス パケットまたは他のデータ パケットに続きます。全てのデータ パケットは1つのデータ バイトと応答ビットから成る9ビット長です。直前のアドレス パケット内の方向ビットがデータが転送される方向を決めます。

14.3.6. 転送処理

転送処理は開始条件から停止条件までの完全な転送で、その間のどの再送開始条件も含まれます。TWI規格は3つの基本転送処理種別、主装置書き込み、主装置読み込み、組み合わせの転送処理を定義しています。

図14-5は主装置書き込み転送処理を図解します。主装置は開始条件(S)によって転送処理を開始し、方向ビットを0に設定したアドレスパケット(ADDRESS+W)がそれに後続します。

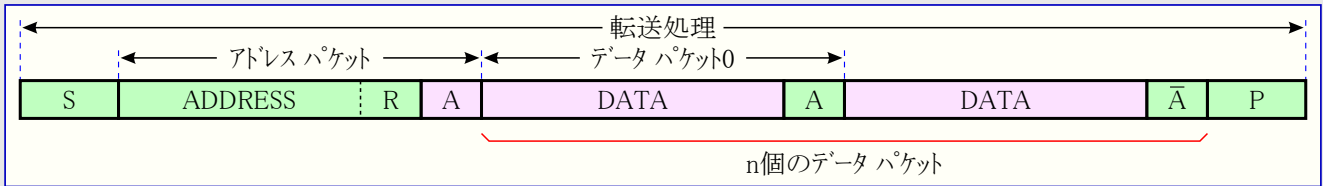
図14-5. 主装置書き込み転送処理



従装置のアドレス確認応答が与えられると、主装置はデータ(DATA)の送信を開始でき、従装置は各バイトで確認応答(ACK)または否認応答(NACK) (A/A)を行います。送信すべきデータ パケットがない場合、主装置はアドレス パケット直後に停止条件(P)を発行することによって転送処理を終了します。転送できるデータ パケット数に制限はありません。従装置がデータに否認応答(NACK)で合図した場合、主装置は従装置がこれ以上データを受信できず、転送処理を終了すると認識しなければなりません。

図14-6は主装置読み込み転送処理を図解します。主装置は開始条件(S)によって転送処理を開始し、方向ビットを1に設定したアドレスパケット(ADDRESS+R)がそれに後続します。アドレス指定された従装置は転送処理の継続を許す主装置に対してアドレスの確認応答をしなければなりません。

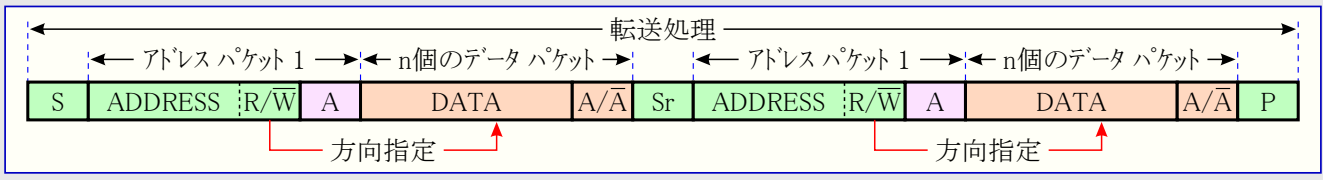
図14-6. 主装置読み込み転送処理



従装置のアドレス確認応答が与えられると、主装置は従装置からのデータ受信を開始できます。転送できるデータ パケット数に制限はありません。従装置がデータを送信する一方で、主装置は各データ バイト後に確認応答(ACK)または否認応答(NACK)で合図します。主装置は停止条件を発行する前に否認応答(NACK)で転送を終了します。

図14-7は組み合わせ転送処理を図解します。組み合わせ転送処理は再送開始条件(Sr)によって分離された多数の読み込みと書き込みの転送処理から成ります。

図14-7. 組み合わせ転送処理



14.3.7. クロックとクロック伸長

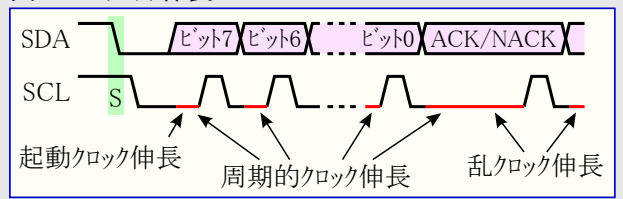
バスに接続された全ての装置はクロック周波数全体を低下するため、またはデータ処理の間に待ち状態を挿入するために、クロックのLow区間を伸長することが許されています。クロックの伸長を必要とする装置はSCL線上のLowレベル検出後にその線をLowに強制保持することによってこれを行えます。

クロック伸長は図14-8で示されるように3つの形式に定義できます。デバイスが休止形態動作で開始条件が検出された場合、クロックはデバイスに対する起動時間の間、引き伸ばされます。

従装置はビット単位で周期的にクロックを伸長することによってバス周波数を低下できます。けれども、それによってバス全体性能が低下されます。主と従の両装置は応答(ACK/NACK)ビットの前後を基本にバイト単位で任意にクロックを引き伸ばせます。これは到着処理、出力データ準備、または重要な作業の別時間実行のための時間を提供します。

従装置がクロックを伸長する場合は、従装置の準備が整うまで主装置が待ち状態を強制され、その逆も同様です。

図14-8. クロック伸長



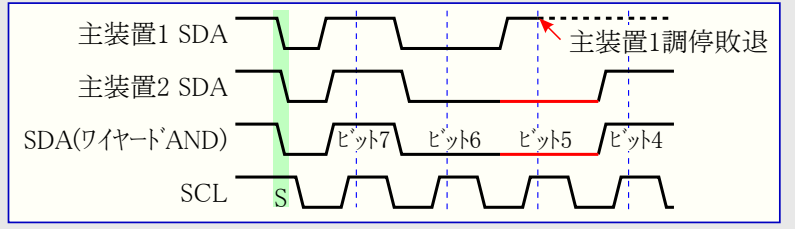
14.3.8. 調停

主装置はバスのアイドルを検出した場合にだけバス転送処理を開始できます。TWIバスが複数主装置バスなので、2つの装置が同時に転送処理を始めることが可能です。これは複数の主装置が同時にバスを所有する結果になります。これは調停の仕組みを使って解決され、そしてこれはSDA線でHighレベルを送信できなかった場合にその主装置がバスの制御を失います。調停で敗れた主装置はその後にバス所有権要求を試みる前に、バスがアイドルになるまで待たなければなりません(換言すると**停止条件待機**)。従装置は調停手順に関係しません。

図14-9.は2つのTWI主装置がバス所有権を争う例を示します。両装置が**開始条件**を発行できますが、主装置1がHighレベル(ビット5)の送信を試み、同時に主装置2がLowレベルを送信する時に主装置1が調停に敗れます。

再送開始条件とデータビット、停止条件とデータビット、または再送開始条件と停止条件の間は択一調停が許されず、ソフトウェアによる特別な扱いが必要です。

図14-9. TWI調停

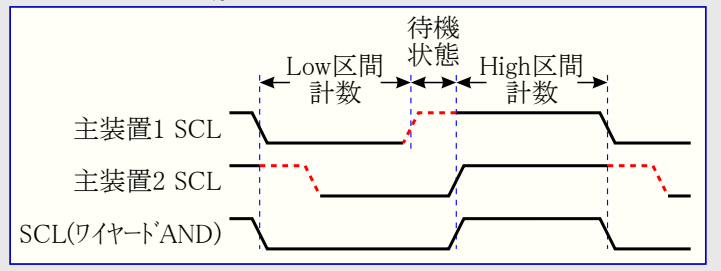


14.3.9. 同期化

複数の主装置が同時にSCL線の制御を試みる状況を解決するのにクロック同期化手法が必要です。この方法は直前に記述されたクロック伸長で使われるのと同じ原理に基づいています。図14-10.は2つの主装置がバスクロックに関する制御を競争する例を示します。SCL線は2つの主装置のクロック出力のワイヤードANDの結果です。

SCL線のHighからLowへの遷移がバス上の全ての主装置に対してLowを強制し、それらはそれぞれのクロックLow区間タイミングを開始します。このクロックLow区間のタイミング長は主装置間で変わり得ます。主装置(この場合は主装置1)はLow区間を完了すると、SCL線を開放します。けれども、SCL線は全ての主装置がSCLを解放する前にはHighになりません。従ってSCL線は最長Low区間を持つ装置(主装置2)によってLowを維持されます。より短いLow区間を持つ装置はクロックが開放されるまで待機状態を挿入しなければなりません。全ての装置でSCLが開放されてHighになる時に、全て主装置がそれらのHigh区間を始めます。最初にHigh区間を完了した装置(主装置1)がクロック線をLowに強制し、そしてこの手順が繰り返されます。その結果は最短クロック区間を持つ装置がHigh区間を決め、一方クロックのLow区間は最長クロック区間によって決められることです。

図14-10. クロック同期化



14.3.10. SMBusとの適合性

他の何れかのI²C適合インターフェースとで既知の適合性の問題があるため、TWI装置をSMBus装置に接続する前に設計者は注意すべきです。SMBus環境での使用に対して、以下が注意されるべきです。

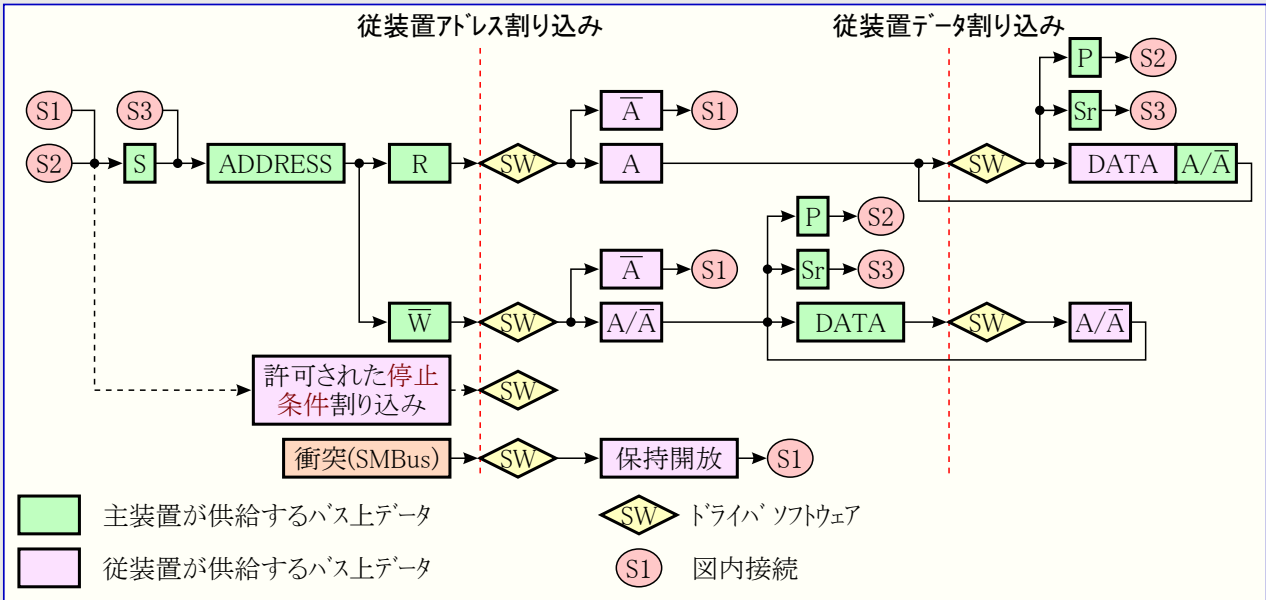
- 2線インターフェースのそれらを含むAVRの全てのI/Oピンは供給電圧とGNDの両方に保護ダイオードを持ちます。40頁の図10-1.をご覧ください。これはSMBus仕様の必要条件に矛盾します。結果として、供給電圧がAVRから取り去られてはならないか、さもなければ保護ダイオードがバス線を引き下げるでしょう。電力断と休止動作形態は供給電圧が存続するなら問題ありません。
- TWIのデータ保持時間はSMBusに対して指定されるものよりも小さい値です。
- SMBusは低速限界を持ち、一方I²Cにはありません。AVRがSMBus環境での主装置の時に、より低いバス速度がSMBus従装置で時間超過を起動するため、バス速度が仕様以下に落ちないことを確実にしなければなりません。AVRが従装置として構成設定される場合、TWI単位部が時間超過を確認しないため、バス固着の可能性がります。

14.4. TWI従装置動作

TWI従装置は各バイト後の任意選択の割り込みを持つバイト志向です。独立したデータ割り込みとアドレス/停止割り込みがあります。割り込みフラグはTWI割り込みの起動、またはポーリング操作に使うことができます。受信した(ACK)確認応答/(NACK)否認応答(TWRA)、クロック保持(TWCH)、衝突(TWC)、バス異常(TWBE)、読み/書き方向(TWDIR)を示す専用の状態フラグがあります。

割り込み要求フラグが設定(1)されると、SCL線はLowを強制されます。これは応答または何れかのデータを扱う時間を従装置に与え、殆どの場合にはソフトウェアの介入を必要とするでしょう。図14-11はTWI従装置動作を示します。菱形シンボル(SW)はソフトウェアの介入を必要とする場所を示します。

図14-11. TWI従装置動作



生成される割り込み数は殆どの条件を自動的に扱うことによって最小に保たれています。自動起動操作とソフトウェアの複雑さを低減するために**簡便動作**を許可にできます。

全てのアドレスに応答することを従装置に許すために**無差別動作(TWPME)**を許可にできます。

14.4.1. アドレス パケット受信

TWI従装置が正しく構成設定されていると、検出されるべき**開始条件**を待ちます。これが起きると、継続してアドレスバイトが受信されてアドレス一致論理回路によって調べられ、従装置は正しいアドレスに**確認応答(ACK)**します。受信したアドレスが不一致なら、従装置はアドレスに**否認応答(NACK)**せず、新しい**開始条件**を待ちます。

開始条件に後続する有効なアドレス パケットが検出される時に、**従装置アドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)**が設定(1)されます。一斉呼び出しアドレスもこのフラグを設定(1)します。

開始条件直後の**停止条件**は不正操作で、**バス異常(TWBE)フラグ**が設定(1)されます。

R/W方向(TWDIR)フラグはアドレスと共に受信された方向ビットを反映します。これは現在進行中の操作形式を決めるためにソフトウェアによって読むことができます。

R/W方向ビットとバス状況に依存して、以降のアドレス パケットで4つの別個の状態の1つ(4つの内の1つ)が起きます。異なる状態はソフトウェアで扱われなければなりません。

14.4.1.1. 状態1: アドレス パケット受け入れ - 方向ビット=1

R/W方向(TWDIR)フラグが設定(1)されている場合、これは主装置読み込み操作を示します。SCL線がLowを強制され、バス クロックを引き伸ばします。従装置によって**確認応答(ACK)**が送出される場合、従装置ハードウェアは送信のためのデータが必要なことを示す**データ割り込み要求フラグ(TWDIF)**を設定(1)します。従装置によって**否認応答(NACK)**が送出される場合、従装置は新しい**開始条件**とアドレス一致を待ちます。

14.4.1.2. 状態2: アドレス パケット受け入れ - 方向ビット=0

R/W方向(TWDIR)フラグが解除(0)されている場合、これは主装置書き込み操作を示します。SCL線がLowを強制され、バス クロックを引き伸ばします。従装置によって**確認応答(ACK)**が送出される場合、従装置は受信されるべきデータを待ちます。その後データ、**再送開始条件**、**停止条件**が受信され得ます。**否認応答(NACK)**が示された場合、従装置は新しい**開始条件**とアドレス一致を待ちます。

14.4.1.3. 状態3: 衝突

従装置がHighレベルまたは**否認応答(NACK)**を送出できない場合、**衝突(TWC)フラグ**が設定(1)され、従装置からのデータと応答の出力が禁止されます。クロック保持は開放されます。**開始条件**と**再送開始条件**は受け入れられます。

14.4.1.4. 状態4: 停止条件受信

動作は1つの例外付きで先の**状態1**または**状態2**と同じです。**停止条件**が受信されると、アドレス一致発生ではなく**停止条件**を示す**従装置アドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)**が設定(1)されます。

14.4.2. データパケット受信

従装置は解除(0)されたR/W方向ビットと共にアドレスパケットが成功裏に受信された時に知ります。これの応答後、従装置はデータを受信する準備を整えなければなりません。データパケットが受信されると、データ割り込み要求フラグ(TWDIF)が設定(1)され、従装置は**確認応答(ACK)**または**否認応答(NACK)**を示さなければなりません。NACK提示後、従装置は**停止条件**または**再送開始条件**を期待して待たなければなりません。

14.4.3. データパケット送信

従装置は設定(1)されたR/W方向ビットと共にアドレスパケットが成功裏に受信された時に知ります。その後に従装置データ(TWSD)レジスタへの書き込みによって送出手を動かします。データパケット送信が完了されると、**データ割り込み要求フラグ(TWDIF)**が設定(1)されます。主装置が**否認応答(NACK)**を提示する場合、従装置はデータ送信を停止し、**停止条件**または**再送開始条件**を期待して待たなければなりません。

14.5. TWI用レジスタ

14.5.1. TWSCRA – TWI 従装置制御レジスタA (TWI Slave Control Register A)

ビット (\$7F)	7	6	5	4	3	2	1	0	TWSCRA
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 – TWSHE : TWI SDA保持時間許可 (TWI SDA Hold Time Enable)**

このビットが設定(1)されると、デバイスがSDA線の変更を許す前に、SCLの各負遷移が追加の内部遅延を起動します。追加される遅延は概ね50nsの長さです。これはSMBusシステムで有用かもしれませんが。

- **ビット6 – 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5 – TWDIE : TWIデータ割り込み許可 (TWI Data Interrupt Enable)**

このビットが設定(1)され、割り込みが許可されていると、TWI従装置状態レジスタA(TWSSRA)の**データ割り込み要求フラグ(TWDIF)**が設定(1)される時にTWI割り込みが生成されます。

- **ビット4 – TWASIE : TWIアドレス/停止割り込み許可 (TWI Address/Stop Interrupt Enable)**

このビットが設定(1)され、割り込みが許可されていると、TWI従装置状態レジスタA(TWSSRA)の**アドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)**が設定(1)される時にTWI割り込みが生成されます。

- **ビット3 – TWEN : 2線インターフェース許可 (Two-Wire Interface Enable)**

このビットが設定(1)されると、従装置2線インターフェースが許可されます。

- **ビット2 – TWSIE : TWI停止条件割り込み許可 (TWI Stop Interrupt Enable)**

停止条件割り込み許可(TWSIE)ビットの設定(1)は**停止条件**が検出された時にTWI従装置状態レジスタA(TWSSRA)の**アドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)**を設定(1)します。

- **ビット1 – TWPME : TWI無差別動作許可 (TWI Promiscuous Mode Enable)**

このビットが設定(1)されると、従装置アドレス一致論理回路は全ての受信アドレスに応答します。このビットが解除(0)されると、アドレス一致論理回路は自身のアドレスとしてどのアドレスを認証するかを決めるのに**TWI従装置アドレス(TWSA)レジスタ**を使います。

- **ビット0 – TWSME : TWI簡便動作許可 (TWI Smart Mode Enable)**

このビットが設定(1)されると、TWI従装置は**TWI従装置データ(TWSD)レジスタ**読み込み直後に応答動作が送出される簡便動作に移行します。応答動作は**TWI従装置制御レジスタB(TWSCRb)**の**応答動作(TWAA)ビット**によって定義されます。

このビットが解除(0)されると、応答動作はTWSCRbの**TWI指令(TWCMDn)ビット**が'1x'に書かれた後で送出されます。

14.5.2. TWSCR B – TWI 従装置制御レジスタB (TWI Slave Control Register B)

ビット (\$7E)	7	6	5	4	3	2	1	0	TWSCR B
	-	-	-	-	-	TWAA	TWCMD1	TWCMD0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	W	W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7~3 – 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2 – TWAA : TWI応答動作 (TWI Acknowledge Action)

このビットは主装置からアドレスまたはデータバイトが受信された後の従装置の応用の動きを定義します。TWI従装置制御レジスタA(TWSCR A)のTWI簡便動作許可(TWSME)ビットに依存して、応答動作はTWI指令(TWCMDn)ビットへ有効な指令が書かれた時か、またはデータレジスタ(TWSD)が読まれた時のどちらかで実行されます。応答動作はアドレス一致後にTWIアドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)を、または主装置送信中にTWIデータ割り込み要求フラグ(TWDIF)を解除(0)する場合にも実行されます。詳細については表14-1をご覧ください。

表14-1. TWI従装置の応答動作

TWAA	動作	TWSME	実行時
0	ACK送出	0	TWCMDnビットが10または11を書かれる時
		1	TWSDが読まれる時
1	NACK送出	0	TWCMDnビットが10または11を書かれる時
		1	TWSDが読まれる時

● ビット1,0 – TWCMD1,0 : TWI指令 (TWI Command)

これらのビット書き込みは表14-2によって定義されるような従装置動作を起動します。動作の形式はTWI従装置割り込みフラグのTWIアドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)とTWIデータ割り込み要求フラグ(TWDIF)に依存します。応答動作は従装置が主装置からデータバイトまたはアドレスバイトを受信する時にだけ実行されます。

表14-2. TWI従装置指令

TWCMD1,0	TWDIR	動作
0 0	x	動作なし
0 1	x	(予約)
1 0	完全な転送処理に使用	
	0	応答動作を実行し、そして何れかの開始条件または再送開始条件を待ちます。
	1	何れかの開始条件または再送開始条件を待ちます。
1 1	アドレスバイト(アドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)=1)への応答で使用	
	0	応答動作を実行し、そして次バイトを受信します。
	1	応答動作を実行し、そしてデータ割り込み要求フラグ(TWDIF)を設定(1)します。
	データバイト(データ割り込み要求フラグ(TWDIF)=1)への応答で使用	
	0	応答動作を実行し、そして次バイトを受信します。
	1	動作なし

TWCMDnビット書き込みはSCL線を自動的に開放してTWIクロック保持(TWCH)ビットと従装置割り込みを解除(0)します。TWI応答動作(TWAA)とTWCMDnのビットは同時に書くことができます。その後、指令が起動される前に応答動作が実行されます。TWCMDnビットは瞬時発行され(スローブ信号)、常に0を読みます。

14.5.3. TWSSRA – TWI 従装置状態レジスタA (TWI Slave Status Register A)

ビット (\$7D)	7	6	5	4	3	2	1	0	TWSSRA
	TWDIF	TWASIF	TWCH	TWRA	TWC	TWBE	TWDIR	TWAS	
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

● ビット7 – TWDIF : TWIデータ割り込み要求フラグ (TWI Data Interrupt Flag)

このフラグはデータバイトが成功裏に受信された、換言すると動作中に衝突またはバス異常が起きない時に設定(1)されます。このフラグが設定(1)されると、従装置はSCL線をLowに強制し、TWIクロック周期を引き伸ばします。SCL線はこの割り込み要求フラグの解除(0)によって開放されます。

このビットへの1書き込みはこのフラグを解除(0)します。このフラグはTWI従装置制御レジスタB(TWSCR B)のTWI指令(TWCMDn)ビットへの有効な指令書き込み時にも自動的に解除(0)されます。

● **ビット6 – TWASIF : TWIアドレス/停止割り込み要求フラグ** (TWI Address/Stop Interrupt Flag)

このフラグは有効なアドレスが受信されたことを従装置が検知した時、または送信衝突が検出された時に設定(1)されます。このフラグが設定(1)されると、従装置はSCL線をLowに強制し、TWIクロック周期を引き伸ばします。SCL線はこの割り込み要求フラグの解除(0)によって開放されます。

TWI従装置制御レジスタ(TWSCRA)のTWIアドレス/停止割り込み許可(TWASIE)ビットが設定(1)なら、バス上の停止条件もTWASIFを設定(1)します。停止条件と開始条件間の最小バス開放時間よりもシステムクロックが速い場合に停止条件がこのフラグを設定(1)します。

このビットへの1書き込みはこのフラグを解除(0)します。このフラグはTWI従装置制御レジスタB(TWSCRB)のTWI指令(TWCMDn)ビットへの有効な指令書き込み時にも自動的に解除(0)されます。

● **ビット5 – TWCH : TWIクロック保持** (TWI Clock Hold)

このビットは従装置がSCL線をLowに保持する時に設定(1)されます。

このビットは読み込み専用で、データ割り込み要求フラグ(TWDIF)またはアドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)が設定(1)される時に設定(1)されます。このビットは割り込み要求フラグの解除(0)とSCL線の開放によって間接的に解除(0)することができます。

● **ビット4 – TWRA : TWI受信応答** (TWI Receive Acknowledge)

このビットは主装置からの最終受信応答ビットを含みます。

このビットは読み込み専用です。0の時は主装置からの最終応答ビットが確認応答(ACK)で、1の時は最終応答ビットが否認応答(NACK)です。

● **ビット3 – TWC : TWI衝突** (TWI Collision)

このビットは従装置がHighのデータビット、否認応答(NACK)ビットを転送できなかった時に設定(1)されます。衝突が検出された場合、従装置は通常動作を開始し、データと応答の出力を禁止します。Low値はSDA線上に全く移動出力されません。

このビットはこれへの1書き込みによって解除(0)されます。このビットは開始条件または再送開始条件が検出される時にも自動的に解除(0)されます。

● **ビット2 – TWBE : TWIバス異常** (TWI Bus Error)

このビットは転送中に不正なバス状態が起きた場合に設定(1)されます。不正なバス状態は再送開始条件または停止条件が検出され、直前の開始条件からのビット数が9の倍数でない場合に起きます。

このビットはこれへの1書き込みによって解除(0)されます。

検出されるべきバス異常に関して、システムクロック周波数はSCL周波数の最低4倍でなければなりません(訳注:共通性から本行追加)。

● **ビット1 – TWDIR : TWI読み/書き方向** (TWI Read/Write Direction)

このビットは主装置から受信した最後のアドレスパケットからの方向ビットを示します。このビットが1の時は主装置読み込み動作が進行中です。このビットが0の時は主装置書き込み動作が進行中です。

● **ビット0 – TWAS : TWIアドレス/停止条件** (TWI Address or Stop)

このビットはアドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)が最後に設定(1)されたのが何故かを示します。0なら、停止条件が引き起こしたTWASIFの設定(1)です。1なら、アドレス検出が引き起こしたTWASIFの設定(1)です。

14.5.4. TWSA – TWI 従装置アドレスレジスタ (TWI Slave Address Register)

ビット (\$7C)	7	6	5	4	3	2	1	0	TWSA
Read/Write	R/W	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	0

従装置アドレスレジスタは主装置が従装置をアドレス指定しているかを判断するための従装置アドレス一致論理回路によって使われるTWI従装置アドレスを含みます。7または10ビットのアドレス認証形態使用時、上位7ビット(TWSA7~1)が従装置アドレスを表し、最下位ビット(TWSA0)は一斉呼び出しアドレス認証に使われます。TWSA0の設定(1)は一斉呼び出しアドレス認証論理回路を許可します。

10ビットアドレス使用時、アドレス一致論理回路は10ビットアドレスの最初のバイトのハードウェアアドレス認証を支援するだけです。TWSA7~1='11110nn'設定で、'nn'は従装置アドレスのビット9と8を表します。次の受信バイトが10ビットアドレスのビット7~0で、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。

有効なアドレスバイトが受信されたことをアドレス一致論理回路が検知すると、アドレス/停止割り込み要求フラグ(TWASIF)が設定(1)され、読み/書き方向(TWDIR)フラグが更新されます。

従装置制御レジスタA(TWSCRA)の無差別動作許可(TWPME)ビットが設定(1)なら、アドレス一致論理回路はTWIバス上に送信された全てのアドレスに応答します。TWSAレジスタはこの動作形態で使われません。

14.5.5. TWSD – TWI 従装置データレジスタ (TWI Slave Data Register)

ビット (\$7A)	7	6	5	4	3	2	1	0	TWSD
	TWSD7	TWSD6	TWSD5	TWSD4	TWSD3	TWSD2	TWSD1	TWSD0	
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	

データ(TWSD)レジスタはデータを送受信する時に使われます。データ転送中、データはバスとTWSDレジスタ間で移動されます。従って、データレジスタはバイト転送中にアクセスできません。これはハードウェアで保護されています。データレジスタは従装置によってSCL線がLowを保持している時、換言すると**クロック保持(TWCH)フラグ**が設定(1)されている時にだけアクセスできます。

主装置が従装置からデータを読む時に送出すべきデータがTWSDレジスタに書かれなければなりません。バイト転送は主装置が従装置からデータバイトのクロック駆動を始める時に開始されます。続いて従装置は主装置からの応答ビットを受信します。そして**データ割り込み要求フラグ(TWDIF)**とTWCHが設定(1)されます。

主装置が従装置にデータを書く時に、1バイトがデータレジスタに受信された時にTWDIFとTWCHが設定(1)されます。**簡便動作**が許可の場合、データレジスタ読み込みは**TWI従装置制御レジスタB(TWSCR)**の**応答動作(TWAA)ビット**によって設定されるようにバス操作を起動します。

簡便動作でのTWSDのアクセスは従装置割り込み要求フラグとTWCHフラグを解除(0)します。

14.5.6. TWSAM – TWI 従装置アドレス遮蔽レジスタ (TWI Slave Address Mask Register)

ビット (\$7B)	7	6	5	4	3	2	1	0	TWSAM
	TWSAM7	TWSAM6	TWSAM5	TWSAM4	TWSAM3	TWSAM2	TWSAM1	TWAE	
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7~1 – ADDRMask7~1 : TWIアドレス遮蔽 (TWI Address Mask)

これらのビットはアドレス許可(TWAE)ビット設定に依存して、第2アドレス一致レジスタまたはアドレス遮蔽レジスタとして働きます。

TWAEが0に設定される場合、TWSAMは7ビットの従装置アドレス遮蔽を格納することができます。TWSAM内の各ビットは**従装置アドレス(TWSA)レジスタ**内の対応するアドレスビットを遮蔽(禁止)することができます。遮蔽ビットが1の場合に到着アドレスビットとTWSA内の対応するビット間のアドレス一致が無視されます。換言すると、遮蔽されたビットは常に一致します。

TWAEが1に設定される場合、TWSAMはTWSAレジスタに加えて第2従装置アドレスを格納することができます。この動作形態では従装置がTWSAの1つとTWSAMの別の1つで2つの独自のアドレスに一致します。

● ビット0 – TWAE : TWIアドレス許可 (TWI Address Enable)

既定によるこのビットは0で、TWSAMビットはTWSAレジスタに対するアドレス遮蔽として働きます。このビットが1に設定される場合、従装置アドレス一致論理回路はTWSAとTWSAM内の2つの独自のアドレスに回答します。

15. 多用途直列インターフェース (USI: Universal Serial Interface)

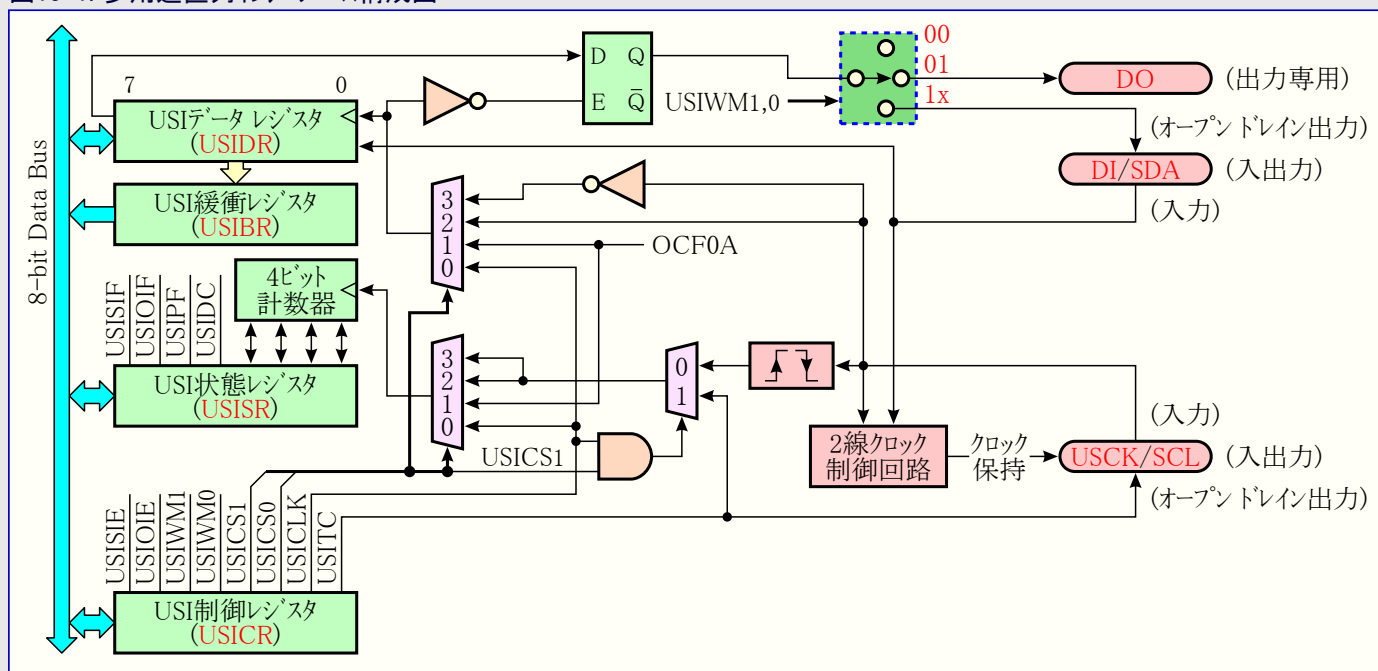
15.1. 特徴

- 2線同期データ転送 (主装置または従装置)
- 3線同期データ転送 (主装置または従装置)
- データ受信割り込み
- アイドル動作からの起動復帰
- 2線動作でのパワーダウン動作を含む全休止形態からの起動復帰
- 割り込み能力を持つ2線動作開始条件検出器

15.2. 概要

多用途直列インターフェース(USI)は直列通信に対する基本的なハードウェア資源(機能)を提供します。最低限の制御ソフトウェアとの組み合わせで、USIはソフトウェアのみを元とした方法よりも少ないコード量と重要な高い転送レートを許します。USIハードウェアはプロセッサ負荷を最小とするために割り込みも含まれます。USIの簡易化した構成図は図15-1.で示されます。

図15-1. 多用途直列インターフェース構成図



入ってくるデータと出て行くデータは8ビットのUSIデータレジスタ(USIDR)に含まれます。これはデータバス経由で直接アクセス可能ですが、その内容の複製を後で回収できるUSI緩衝レジスタ(USIBR)にも配置されます。USIDRが直接読まれる場合、データが失われないことを保証するために可能な限り早く読まなければなりません。

動作形態に依存して、USIDRの最上位ビットは2つの出力ピンの1つに接続されます。USIDRと出力ピン間のトランスペアレント(透過型)ラッチはデータ入力採取と逆のクロック端にデータ出力の変更を遅らせます。

動作形態に拘らず、直列入力は常にデータ入力(DI)ピンから採取されます。

4ビット計数器はデータバス経由で読み書きでき、溢れ割り込みを生成できます。この計数器とUSIDRは同じクロック元によって同時にクロック駆動されます。これは受信または送信したビット数を数え、転送完了時に割り込みの生成を計数器に許します。

外部クロック元が選ばれる時に、計数レジスタがデータビット数でなく、クロック端数であることを意味する、計数器が両クロック端で計数することに注意してください。クロックは以下の3つの異なるクロック元(USCKピン、タイマ/カウンタ0の比較A一致、ソフトウェア)から選ぶことができます。

- USCKピン
- タイマ/カウンタ0の比較A一致
- ソフトウェア

2線クロック制御部(回路)は2線バスで開始条件が検出された時に割り込みを生成する設定にできます。開始条件検出後または計数器溢れ後にクロックピンをLowへ保持することによって待ち状態を生成する設定にすることもできます。

USIは右の表15-1.で一覧にされるようにデバイスの入出力ピンに接続します。入出力ピン配置については2頁の「ピン配置」をご覧ください。

デバイス仕様のI/Oレジスタとビット位置は102頁の「USI用レジスタ」で一覧にされます。

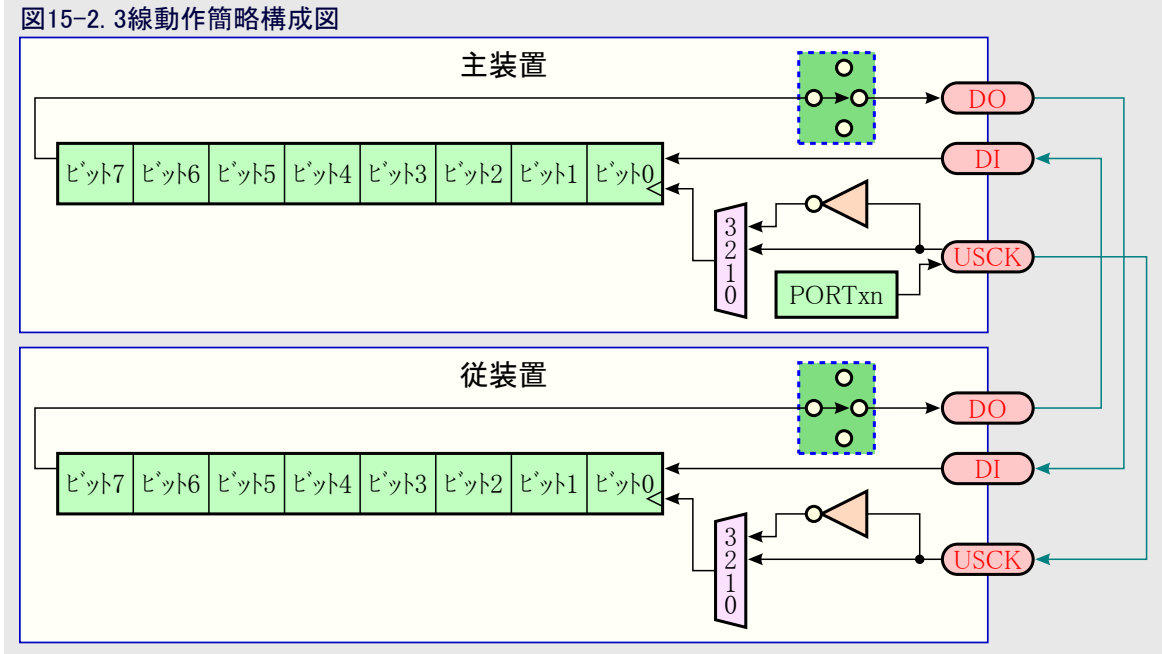
表15-1. USIピン接続

ピン	3線動作	2線動作
PB1	データ入力 (DI)	直列データ (SDA)
PB2	データ出力 (DO)	-
PC1	クロック (USCK)	直列クロック (SCL)

15.3. 3線動作

USIの3線動作は直列周辺インターフェース(SPI)の動作種別0と1に準拠していますが、従装置選択(SS)ピン機能を持ちません。けれども、この特性(機能)は必要ならばソフトウェアで実現できます。この動作で使われるピン名はDI,DO,USCKです。表15-1をご覧ください。

図15-2は3線動作での2つのUSI部(一方は主装置、他方は従装置)動作を示します。このような方法で連結された2つの移動レジスタは8 USCKクロック後、各々のレジスタのデータが交換されます。この同じクロック(USCK)がUSIの4ビット計数器も増加(+1)します。従って計数器溢れ割り込み要求フラグ(USIOIF)は転送が完了される時を決めるのに使えます。このクロックはUSCKピンの1/0交互切り替え、またはUSICRでのUSITCビットへの1書き込みによる主装置装置ソフトウェアによって生成されます。



3線動作タイミングは図15-3で示されます。図の最上部はUSCK周期参照基準です。これらの各周期に対して1ビットがUSIデータレジスタ(USIDR)に移動されます。USCKタイミングは両方の外部クロック動作について示されます。外部クロック動作0(USICS0=0)でのDIは上昇端で採取され、DOは下降端で変更(USIDRが1つ移動)されます。外部クロック動作1(USICS0=1)では逆端が使われます。換言すると下降端でデータが採取され、上昇端で出力が変更されます。USIクロック動作種別はSPIデータ動作種別0と1に対応します。

図15-3. 3線動作タイミング

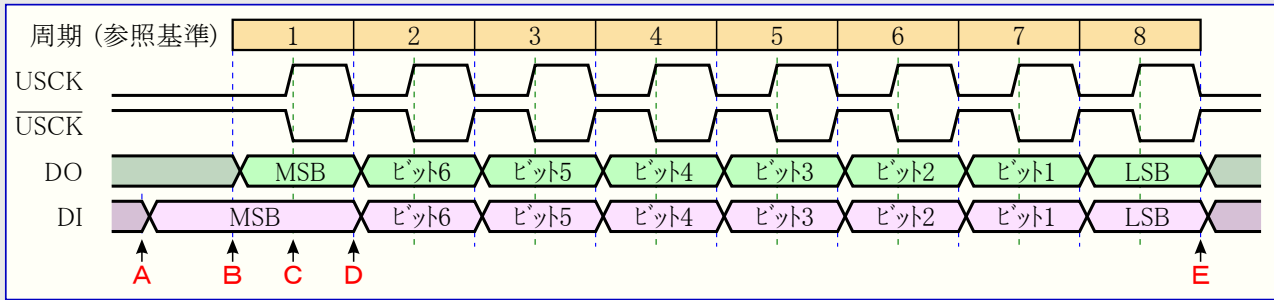


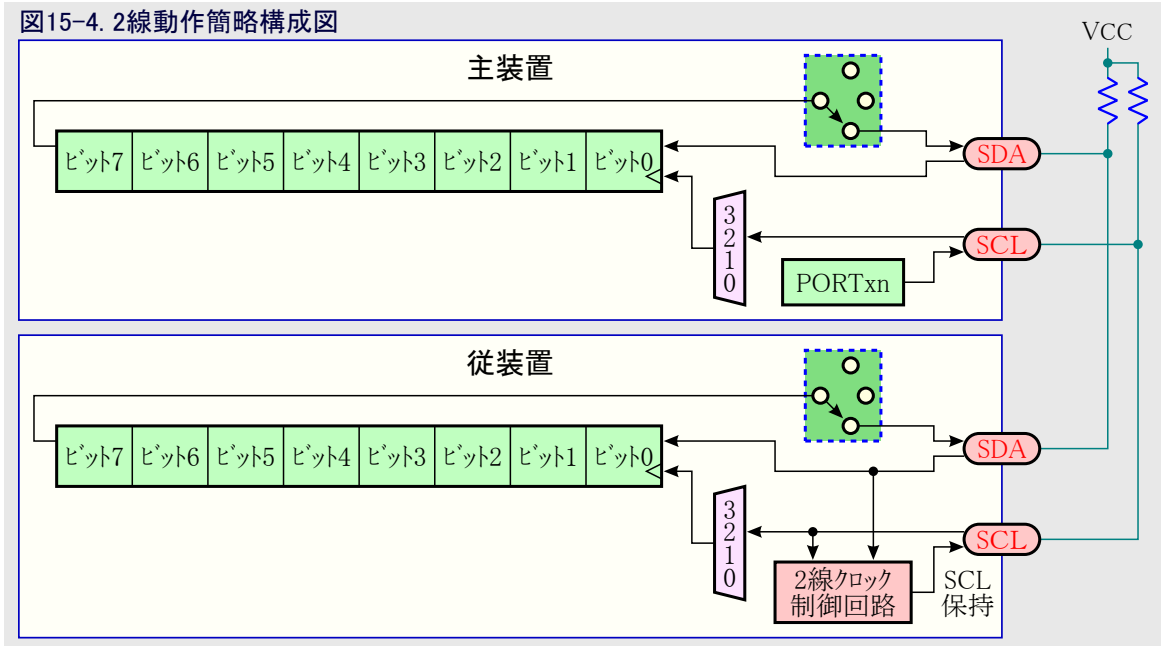
図15-3のタイミング図を参照すると、バス転送は次の手順を含みます。

1. 主装置と従装置はデータ出力を設定し、使用規約に依存して出力駆動部を許可します(AとB)。この出力はUSIDRへ送信されるべきデータ書き込みによって設定します。出力の許可はポートの方向レジスタ(DDR_x)でDOに対応するビット設定によって行います。A点とB点はどんな特別な順番もありませんが、両方共にデータが採取されるC点よりも最低1/2 USCK周期前でなければならないことに注意してください。これはデータ設定の必要条件を満足させるのを保証するために行わなければならないことです。4ビット計数器は0にリセットします。
2. 主装置はUSCK線をソフトウェアで2度切り替えることによってクロックパルスを生成します(CとD)。主装置と従装置のデータ入力(DI)ピンのビット値は最初の端(エッジ)(C)でUSIによって採取され、データ出力は逆端(D)で変更されます。4ビット計数器は両端で計数します。
3. レジスタ(バイト)転送完了のために手順2.が8回繰り返されます。
4. 8クロックパルス(換言すると16クロック端)後、計数器が溢れて転送完了を示します。USI緩衝レジスタ(USIBR)が使われない場合、転送したバイトデータは新規転送が開始され得るのに先立って直ぐに処置されなければなりません。溢れ割り込みはプロセッサがアイドル動作に設定されているなら、プロセッサを起動復帰します。使用規約に依存し、従装置は直ぐに出力をHi-Z設定にできます。

15.4. 2線動作

USIの2線動作はI²C(TWI)バス規約に準拠していますが、出力のスレーブ制限と入力雑音濾波器がありません。この動作で使われるピン名はSCLとSDAです。表15-1をご覧ください。

図15-4は2線動作での2つのUSI部(一方は主装置、他方は従装置)動作を示します。システム動作が使用通信構造に大きく依存するため、物理層だけが示されます。この段階での主装置動作と従装置動作間の主な違いは常に主装置によって行われる直列クロック生成と、従装置だけがクロック制御部(回路)を使うことです。

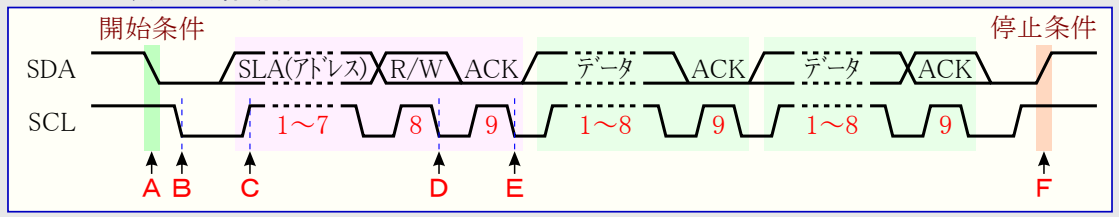


クロック生成はソフトウェアで実行されなければなりません。移動動作は両装置で自動的に行われます。データの移動に関してこの動作種別で下降端でのクロックだけを実際に使うことに注意してください。従装置はSCLクロックをLowに強制することにより、転送の開始と終了で待ち状態(ウェイト ステート)を挿入できます。これは(主装置が)上昇端を生成してしまった後に主装置はSCL線が実際に開放されたかを常に検査しなければならないことを意味します。

このクロックが(4ビット)カウンタも増加(+1)するため、**カウンタ溢れ(USIOIF)**は転送が完了されたことを示すのに使えます。このクロックは主装置によるPORTレジスタ経由のSCLピン交互切り替えによって生成されます。

データ方向は物理層によって与えられません。データの流れを制御するためにTWIバスで使ったような或る種の規約が実装されなければなりません。

図15-5. 代表的な2線動作タイミング



このタイミング図(図15-5.)を参照すると、バス転送は次の手順を含みます。

1. 開始条件は主装置によるSCL線High中のSDA線Low強制によって生成されます(A)。SDAはUSIデータレジスタ(USIDR)のビット7への0書き込みか、またはPORTレジスタで対応ビットを0に設定のどちらかによって強制実行できます。出力が許可されるにはデータ方向(DDRx)レジスタのビットが1に設定されなければならないことに注意してください。従装置の開始条件検出器論理回路(図15-6.参照)が開始条件を検出してUSISIFフラグを設定(1)します。このフラグは必要ならば割り込みを発生できます。
2. 開始条件検出器は主装置がSCL線で上昇端を強制してしまった後にSCL線をLowに保持します(B)。これはアドレスを受信するためにUSIDRを設定する前に、休止形態からの起き上がりまたは他の処理を完了することを従装置に許します。これ(保持解除)は(4ビット)カウンタをリセット(=0)して開始条件検出フラグ(USISIF)を解除(0)することによって行われます。
3. 主装置は転送されるべき最初のビットを設定してSCL線を開放します(C)。従装置はSCLクロックの上昇端でデータを採取してUSIDR内に移動します。
4. 従装置アドレスとデータ方向(R/W)を含む8ビットが転送された後、従装置の(4ビット)カウンタが溢れてSCL線がLowを強制されます(D)。従装置は主装置の1つがアドレス指定してしまわない場合、SCL線を開放して新規開始条件を待ちます。

5. 従装置がアドレス指定されると、再びSCL線をLowに保持する前の応答(ACK)周期の間中、SDA線をLowに保持します(換言するとD点でSCLを開放する前に(4ビット)計数器レジスタは14に設定されなければなりません)。R/Wビットに依存して主装置か従装置は出力を許可します。このビットが設定(1)の場合、主装置読み込み動作が進行中です(換言すると従装置がSDA線を駆動します)。従装置は応答後(E)にSCL線をLowに保持することができます。

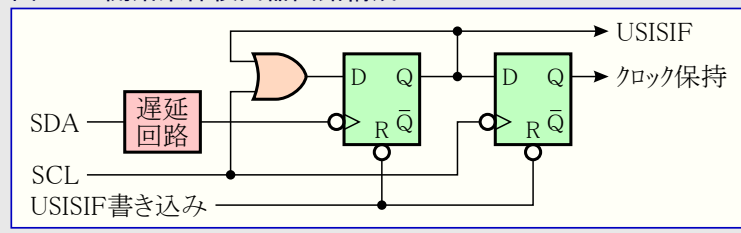
6. 主装置によって停止条件(F)か新規開始条件(再送開始条件)が与えられるまで全て同方向で複数バイトが直ぐに転送できます。従装置はより多くのデータを受信できない場合、最後に受信したバイトデータに応答しません。主装置が読み込み動作を行うとき、最後のバイトが転送された後の応答ビットをLowに強制することによってこの動作を終了しなければなりません。

15.4.1. 開始条件検出器

開始条件検出器は図15-6.で示されます。SDA線はSCL線の有効な採取を保证するために(40~100nsの範囲で)遅延されます。開始条件検出器は2線動作でだけ許可されます。

開始条件検出器は非同期に動作し、従ってパワーダウン休止動作からプロセッサを起動できます。けれども使った規約がSCL保持時間で制限を持つかもしれません。従ってこの場合にこの特徴(機能)を使う時にCKSELヒューズによって設定する発振器起動時間(18頁の「クロック元」参照)も考慮内に取り入れられなければなりません。より多くの詳細については103頁のUSISIFフラグ記述を参照してください。

図15-6. 開始条件検出器回路構成



15.4.2. クロック速度の考察

SCLとUSCKに対する最大周波数は $f_{CK}/2$ です。これは2線と3線の両動作での最大データ転送と受信速度でもあります。2線従装置動作では従装置が更にデータを受信する準備ができるまで、2線クロック制御部がSCLを保持します。これは2線動作で実データ速度を減らすかもしれません。

15.5. 代替使用

USI部を直列通信に使わないなら、柔軟な設計のため、代替処理を行うように設定できます。

15.5.1. 半二重非同期データ転送

3線動作で移動レジスタを使うことによってソフトウェアだけよりも簡潔で高性能のUART実装が可能です。

15.5.2. 4ビット計数器

4ビット計数器は溢れ割り込みとの自立型計数器として使えます。この計数器が外部的にクロック駆動される場合、両クロック端が増加(+1)を発生することに注意してください。

15.5.3. 12ビット計数器

USIの4ビット計数器とタイマ/カウンタ0の組み合わせは12ビット計数器としての使用を許します。

15.5.4. 端(エッジ)起動外部割り込み

4ビット計数器を最大値(\$F)に設定することによって追加外部割り込みとして機能できます。溢れフラグと割り込み許可ビットはこの外部割り込みに対して使われます。この特徴(機能)はUSICS1ビットによって選択(=1)されます。

15.5.5. ソフトウェア割り込み

4ビット計数器の溢れ割り込みはクロック ストローブによって起動するソフトウェア割り込みとして使えます。

15.6. プログラム例

15.6.1. 例: SPI主装置操作

次のコードはSPI主装置としてのUSI使用法を実際に示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
SPIM:    OUT    USIDR, R16                ;送信データを設定
         LDI    R16, (1<<USIOIF)        ;USIOIFビットのみ1値を取得
         OUT    USISR, R16              ;フラグ解除/計数器初期化
         LDI    R17, (1<<USIWM0) | (1<<USICS1) | (1<<USICLK) | (1<<USITC) ;3線動作クロック生成値を取得
;
SPIM_LP: OUT    USICR, R17                ;SCKクロック端発生
         IN     R16, USISR                ;USISR値取得
         SBRS   R16, USIOIF              ;計数器溢れでスキップ
         RJMP   SPIM_LP                  ;計数器溢れまで継続
;
         IN     R16, USIDR                ;受信データを取得
         RET                                ;呼び出し元へ復帰
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

このコードは8命令(+RET)のみ使用の容量最適化です。このコード例はDOとUSCKピンがデータ方向レジスタ(DDR_x)で出力として許可される仮定です。この関数が呼び出される前にR16レジスタへ格納した値は従装置に転送され、転送が完了された時に従装置から受信したデータがR16レジスタに格納されて戻ります。

最初の2つの命令は計数器溢れ割り込み要求フラグ(USIOIF)を解除(0)し、USI 4ビット計数器値を解除(=0)します。次の2つの命令は3線動作、上昇端クロック、USITCスローブ計数、USCK出力交互切り替えを設定します。転送繰り返しは16回繰り返されます。

15.6.2. 例: 全速SPI主装置

次のコードは最高速($f_{SCK}=f_{CK}/2$)でのSPI主装置としてのUSI使用法を実際に示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
SPIM_F:  OUT    USIDR, R16                ;送信データを設定
         LDI    R16, (1<<USIWM0) | (0<<USICS0) | (1<<USITC)        ;3線動作初期値を取得
         LDI    R17, (1<<USIWM0) | (0<<USICS0) | (1<<USITC) | (1<<USICLK) ;3線動作クロック生成値を取得
;
         OUT    USICR, R16                ;MSB転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;ビット6転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;ビット5転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;ビット4転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;ビット3転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;ビット2転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;ビット1転送
         OUT    USICR, R17                ;
         OUT    USICR, R16                ;LSB転送
         OUT    USICR, R17                ;
;
         IN     R16, USIDR                ;受信データを取得
         RET                                ;呼び出し元へ復帰
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

15.6.3. 例: SPI従装置操作

次のコードはSPI従装置としてのUSI使用法を実際に示します。

アセンブリ言語プログラム例

```
init:      LDI      R16, (1<<USIWM0) | (1<<USICS1)      ;3線動作,外部クロック値を取得
          OUT      USICR, R16                          ;3線動作,外部クロック設定

SPIS:      OUT      USIDR, R16                          ;送信データを設定
          LDI      R16, (1<<USIOIF)                    ;USIOIFビットのみ1値を取得
          OUT      USISR, R16                          ;フラグ解除/計数器初期化
;
SPIS_LP:   IN       R16, USISR                          ;USISR値取得
          SBRS    R16, USIOIF                          ;計数器溢れでスキップ
          RJMP   SPIS_LP                              ;計数器溢れまで継続
;
          IN       R16, USIDR                          ;受信データを取得
          RET                                           ;呼び出し元へ復帰
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

このコードは8命令(+RET)のみ使用の容量最適化です。このコード例はポートデータ方向レジスタ(DDR_x)でDOピンが出力、USCKピンが入力として設定されると仮定します。この関数が呼び出される前にR16レジスタへ格納した値は主装置に転送され、転送が完了された時に主装置から受信したデータがR16レジスタに格納されて戻ります。

最初の2つの命令は初期化用だけで、一度だけ実行されるのを必要とすることに注意してください。これらの命令は3線動作と上昇端クロックを設定します。この繰り返しはUSI計数器溢れフラグが設定(1)されるまで繰り返されます。

15.7. USI用レジスタ

15.7.1. USICR – USI制御レジスタ (USI Control Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2A (\$4A)	USISIE	USIOIE	USIWM1	USIWM0	USICS1	USICS0	USICLK	USITC	USICR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

この制御レジスタは割り込み許可制御、動作種別設定、クロック選択設定、クロック ストローブを含みます。

- **ビット7 – USISIE : 開始条件検出割り込み許可 (Start Condition Interrupt Enable)**

このビットを1に設定することが**開始条件**検出割り込みを許可します。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとUSISIEビットが1に設定され、保留割り込みありなら、割り込みが直ちに実行されます。より多くの詳細については103頁の**開始条件検出割り込み要求フラグ(USISIF)**記述を参照してください。

- **ビット6 – USIOIE : 計数器溢れ割り込み許可 (Counter Overflow Interrupt Enable)**

このビットを1に設定することが計数器溢れ割り込みを許可します。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとUSIOIEビットが1に設定され、保留割り込みありなら、割り込みが直ちに実行されます。より多くの詳細については103頁の**計数器溢れ割り込み要求フラグ(USIOIF)**記述を参照してください。

- **ビット5,4 – USIWM1,0 : 動作種別選択 (Wire Mode)**

下の表15-2. で示されるようにこれらのビットは使われるべき動作種別(2または3線動作)を設定します。

基本的に出力の機能だけがこれらのビットによって影響を及ぼされます。データとクロック入力は選んだ動作種別によって影響を及ぼされず、常に同じ機能を持ちます。従って出力が禁止される時でもUSIデータレジスタ(USIDR)とカウンタは外部的にクロック駆動でき、入力データが採取されます。

表15-2. USI操作とUSIWM1,0の関係

USIWM1	USIWM0	説明
0	0	出力、クロック保持、開始条件検出器は禁止。ポートピンは標準として動作。
0	1	3線動作。DO,DI,USCKピンを使用。 データ出力(DO)ピンはこの動作でPORTAレジスタの対応ビットを無視します。けれども対応するDDRAビットは未だデータ方向を制御します。ポートピンが入力として設定(DDxn=0)されると、そのピンのプルアップはPORTAビットによって制御されます。 データ入力(DI)と直列クロック(USCK)ピンは標準ポート操作に影響を及ぼしません。主装置として動作する時のクロックパルスはデータ方向が出力に設定されている(DDxn=1)間のPORTAレジスタの交互切り替えによってソフトウェアで生成されます。USICRのUSITCビットがこの目的に使えます。
1	0	2線動作。SDA(DI)とSCL(USCK)ピンを使用。(注1) 直列データ(SDA)と直列クロック(SCL)ピンは双方向でオープンドレイン出力駆動を使います。この出力駆動部はDDRAレジスタでSDAとSCLに対応するビットの設定(=1)によって許可されます。 SDAピンに対して出力駆動部が許可されると、出力駆動部はUSIデータレジスタ(USIDR)の出力またはPORTAレジスタの対応ビットが0ならばSDA線をLowに強制します。さもないと、SDA線は駆動されません(換言すると開放されます)。SCLピン出力駆動部が許可されると、SCL線はPORTAレジスタの対応ビットが0なら、または開始条件検出器によってLowを強制されます。さもないとSCL線は駆動されません。 SCL線は出力が許可され、開始条件検出器が 開始条件 を検出すると、Lowに保持されます。 開始条件検出フラグ(USISIF) の解除(0)がその線を開放します。SDAとSCLピン入力はこの動作の許可によって影響を及ぼされません。SDAとSCLピンのプルアップは2線動作で禁止されます。
1	1	2線動作。SDAとSCLピンを使用。 SCL線は計数器溢れが起こる時にもLowへ保持され、 計数器溢れフラグ(USIOIF) が解除(0)されるまでLowに保持されることを除いて、上の2線動作と同じ動作です。

注1: DIとUSCKピンは動作種別間での混乱を避けるため、各々直列データ(SDA)と直列クロック(SCL)に改称されます。

● **ビット3,2 – USICS1,0 : クロック選択 (Clock Source Select)**

これらのビットは移動レジスタと計数器に対するクロック元を設定します。外部クロック元(USCK/SCL)を使う時にデータ出力ラッチはデータ入力(DI/SDA)の採取の逆端で出力が変更されるのを保証します。**タイマ/カウンタ0比較A一致**またはソフトウェア ストロープが選ばれると、出力ラッチは透過で、従って出力は直ちに変更されます。

USICS1,0ビットの解除(=00)がソフトウェア ストロープ選択を許可します。この選択を使う時のUSICLKビットへの1書き込みはUSIデータ レジスタ(USIDR)と計数器の両方をクロック駆動します。外部クロック元(USICS1=1)に対してUSICLKビットはもはやstroopとして使われませんが、外部クロックとUSITCstroopビットによるソフトウェア クロック間を選びます。

表15-3.はUSIデータ レジスタ(USIDR)と4ビット計数器に対して使われるクロック元とUSICS1,0、USICLK設定間の関連を示します。

表15-3. USICS1,0とUSICLK設定との関係

USICS1	USICS0	USICLK	移動レジスタ クロック元	4ビット計数器クロック元
0	0	0	クロックなし	クロックなし
		1	ソフトウェア クロック ストロープ (USICLK)	ソフトウェア クロック ストロープ (USICLK)
	1	X	タイマ/カウンタ0比較A一致	タイマ/カウンタ0比較A一致
1	0	0	外部クロック上昇端	外部クロック両端
	1		外部クロック下降端	
	0	1	外部クロック上昇端	ソフトウェア クロック ストロープ (USITC)
	1		外部クロック下降端	

● **ビット1 – USICLK : クロック ストロープ (Clock Strobe)**

USICS1,0ビットのゼロ(=00)書き込みによってソフトウェア ストロープ任意選択が選ばれたなら、このビット位置への1書き込みはUSIデータ レジスタ(USIDR)を1段移動して計数器を1つ増加します。このクロック ストロープが実行される時、直ちに、換言すると同じ命令周期内で出力が替わります。USIデータ レジスタ(USIDR)内に移動した値は直前の命令周期で採取されます。

外部クロック元が選ばれる(USICS1=1)と、USICLK機能はクロック ストロープからクロック選択レジスタに変更されます。この場合のUSICLKビットの設定(1)は4ビット計数器に対するクロック元としてのUSITCstroopを選びます(表15-3参照)。

このビットは0として読みます。

● **ビット0 – USITC : クロック値切り替え (Toggle Clock Port Pin)**

このビット位置に1を書くことはUSCK/SCL値を0から1、または1から0のどちらかへ切り替えます。この切り替えはデータ方向レジスタでの設定と無関係ですが、PORT値がピンで見られるべきなら、**DDRビット**が出力として設定(1)されなければなりません。この特徴は主装置を実現する時の容易なクロック生成を許します。

外部クロック元が選ばれ(USICS1=1)、USICLKビットが1に設定されると、USITCstroopビットへの書き込みは直接的に4ビット計数器をクロック駆動します。これは主装置として動作する時に転送が行われる時の早い検出を許します。

このビットは0として読みます。

15.7.2. USISR – USI状態レジスタ (USI Status Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2B (\$4B)	USISIF	USIOIF	USIPF	USIDC	USICNT3	USICNT2	USICNT1	USICNT0	USISR
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	

この状態レジスタは割り込み要求フラグ、状態フラグ、計数器値を含みます。

● **ビット7 – USISIF : 開始条件検出割り込み要求フラグ (Start Condition Interrupt Flag)**

2線動作選択時に**開始条件**が検出されると、USISIFフラグが設定(1)されます。出力禁止動作または3線動作の選択時、USCKピンのどの端(エッジ)もがこのフラグを設定(1)します。

ステータス レジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとUSI制御レジスタ(USICR)で**開始条件検出許可(USISIE)**ビットが設定(1)の場合にこのフラグが設定(1)されると、割り込みが生成されます。このフラグはUSISIFビットへの論理1書き込みによってのみ解除(0)されます。このビットの解除(0)は2線動作でのSCLの**開始条件保持**を解除(開放)します。

開始条件検出割り込みは全ての**休止形態**からプロセッサを起動します。

● **ビット6 – USIOIF : 計数器溢れ割り込み要求フラグ (Counter Overflow Interrupt Flag)**

このフラグは4ビット計数器が溢れると(換言すると15から0への遷移で)設定(1)されます。SREGの全割り込み許可(I)ビットとUSICRで**計数器溢れ割り込み許可(USIOIE)**ビットが設定(1)の場合にこのフラグが設定(1)されると、割り込みが生成されます。このフラグはUSIOIFビットへの論理1書き込みによってのみ解除(0)されます。このビットの解除(0)は2線動作でのSCLの**計数器溢れ保持**を解除(開放)します。

計数器溢れ割り込みは**アイドル休止動作**からプロセッサを起動します。

● **ビット5 – USIPF : 停止条件検出フラグ (Stop Condition Flag)**

2線動作が選ばれた時に**停止条件**が検出されると、USIPFフラグが設定(1)されます。このフラグはこのビットへの1書き込みによって解除(0)されます。これが割り込み要求フラグでないことに注意してください。この合図は2線バス主装置調停の実装時に有効です。

● **ビット4 – USIDC : 出力データ衝突フラグ (Data Output Collision Flag)**

USIデータレジスタ(USIDR)のビット7(MSB)が物理ピン値と異なる時にこのビットは論理1です。このフラグは2線動作が使われる時にだけ有効です。この合図は2線バス主装置調停の実装時に有効です。

● **ビット3~0 – USICNT3~0 : 計数器値 (Counter Value)**

これらのビットは現在の4ビット計数器値を反映します。この4ビット計数器値はCPUによって直接的に読み書きできます。

この4ビット計数器は外部クロック端検出器、タイマ/カウンタ0比較A一致、USICLKまたはUSITCスロープビットを使うソフトウェアのどれかによって生成した各クロックに対して1つ増加します。このクロック元はUSICS1,0ビット設定に依存します。

外部クロック動作に対してUSITCスロープビットへの書き込みによって生成されるのをクロックに許す特別な特徴が付加されます。この特徴は外部クロック元(USICS1=1)設定とUSICLKへの1書き込みによって許可されます。

出力禁止動作(USIWM1,0=00)が選ばれている時でも、外部クロック入力(USCK/SCL)が未だ計数器によって使われることに注意してください。

15.7.3. USIDR – USIデータレジスタ (USI Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2C (\$4C)	(MSB)							(LSB)	USIDR
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	

データレジスタ(USIDR)は直接アクセスできますが、データの複製がUSI緩衝レジスタ(USIBR)でも得られます。

USI制御レジスタ(USICR)のUSICS1,0ビット設定に応じて(左)移動動作が実行され得ます。この移動動作は外部クロック端、タイマ/カウンタ0比較A一致により、またはUSICLKビット経由のソフトウェア直接で同期化できます。レジスタが書かれるのと同じ周期で直列クロックが起こると、レジスタは書いた値を含み、移動は実行されません。

2または3線動作種別が選ばれない(USIWM1,0=00)時でも、外部データ入力(DI/SDA)と外部クロック入力(USCK/SCL)の両方が未だUSIデータレジスタによって使われ得ることに注意してください。

出力ピン(DOまたはSDA、動作種別依存)は出力ラッチを経由してデータレジスタの最上位ビット(ビット7)に接続されます。このラッチは逆のクロック端でのデータ入力採取とデータ出力変更を保証します。この出力ラッチは外部クロック元が選ばれる(USICS1=1)時に直列クロック周期の前半中が透過(トランスペアレント)で、内部クロック元が使われる(USICS1=0)時に定常的な透過です。ラッチが透過である限り、新規MSBが書かれると、出力は直ちに変更されます。

USIデータレジスタからの出力データを許可するために、ピンに対応するデータ方向レジスタ(DDxn)ビットが1に設定されなければならないことに注意してください。

15.7.4. USIBR – USI緩衝レジスタ (USI Buffer Register)

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

USIデータレジスタ(USIDR)からデータを読む代わりにUSI緩衝レジスタ(USIBR)が使えます。これはUSI制御の微妙なタイミングをなくして他のプログラム処理を扱うより多くの時間をCPUに与えます。USIのフラグはUSIDRを読む時と同様に設定されます。

USIデータレジスタ(USIDR)の内容は転送が完了される時にUSI緩衝レジスタ(USIBR)へ格納されます。

16. USART (USART0,USART1)

16.1. 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生器
- 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
- 複数プロセッサ通信機能
- 倍速非同期通信動作
- フレーム開始検出

16.2. USART0とUSART1

ATtiny1634にはUSART0とUSART1の2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、本章での多くのレジスタとビットの参照は一般形で書かれています。小文字の'n'はUSART番号で置き換えます。

USART0とUSART1は195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。

16.3. 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。

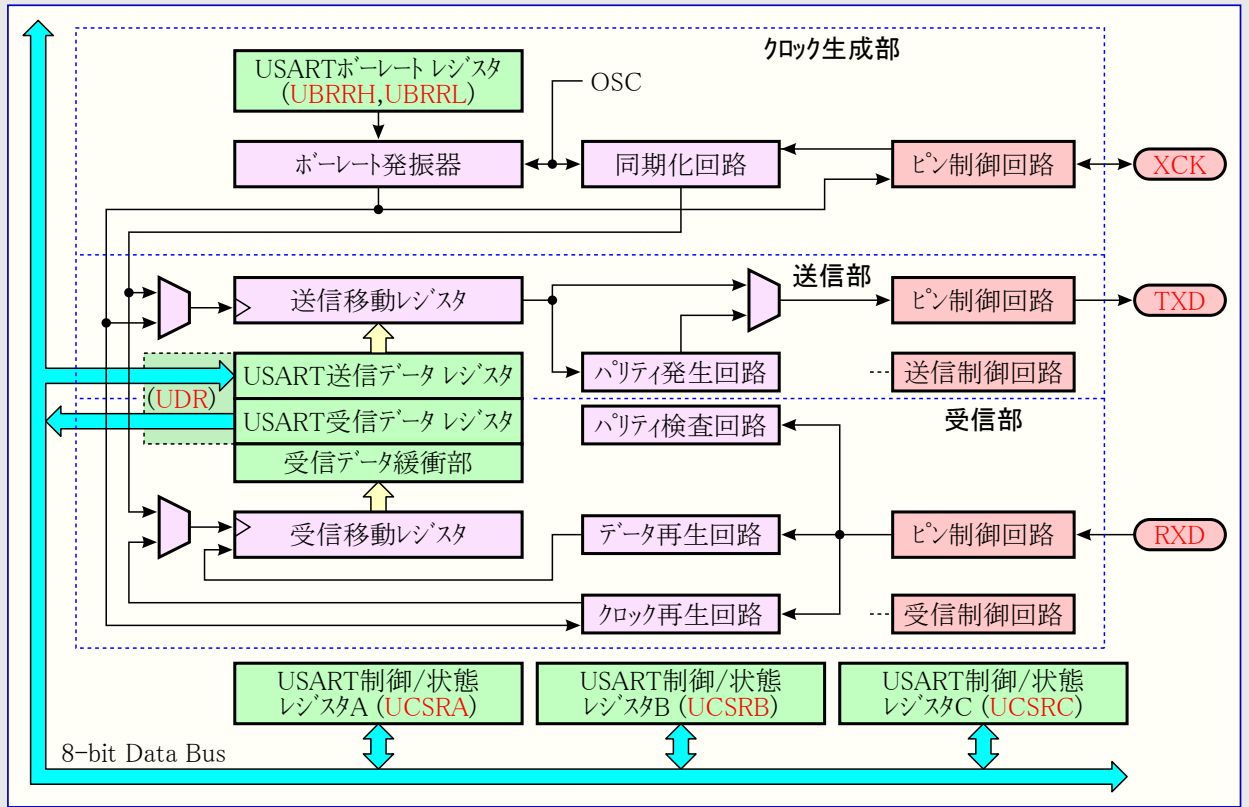
USARTの簡略構成図は図16-1.で示されます。CPUがアクセス可能なレジスタとI/Oピンは赤文字(訳注:原文は太字)で示されます。

USARTは主装置SPI動作での使用もできます。124頁の「USARTでのSPI動作」をご覧ください。

USART0部を許可するために28頁での「PRR - 電力削減レジスタ」のUSART0電力削減(PRUSART0)ビットは0を書かれなければなりません。

USART1部を許可するために28頁での「PRR - 電力削減レジスタ」のUSART1電力削減(PRUSART1)ビットは0を書かれなければなりません。

図16-1. USART構成図



USARTピン配置については2頁の「ピン配置」と44頁の「交換ポート機能」をご覧ください。

図16-1.内の構成図内の破線は(上から一覧にされる)以下のようなUSARTの3つの主要部分です。

- クロック生成部
- 送信部
- 受信部

クロック生成論理部はポーレート発生器と(同期従装置動作での外部クロック入力用の)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でだけ使われます。

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。

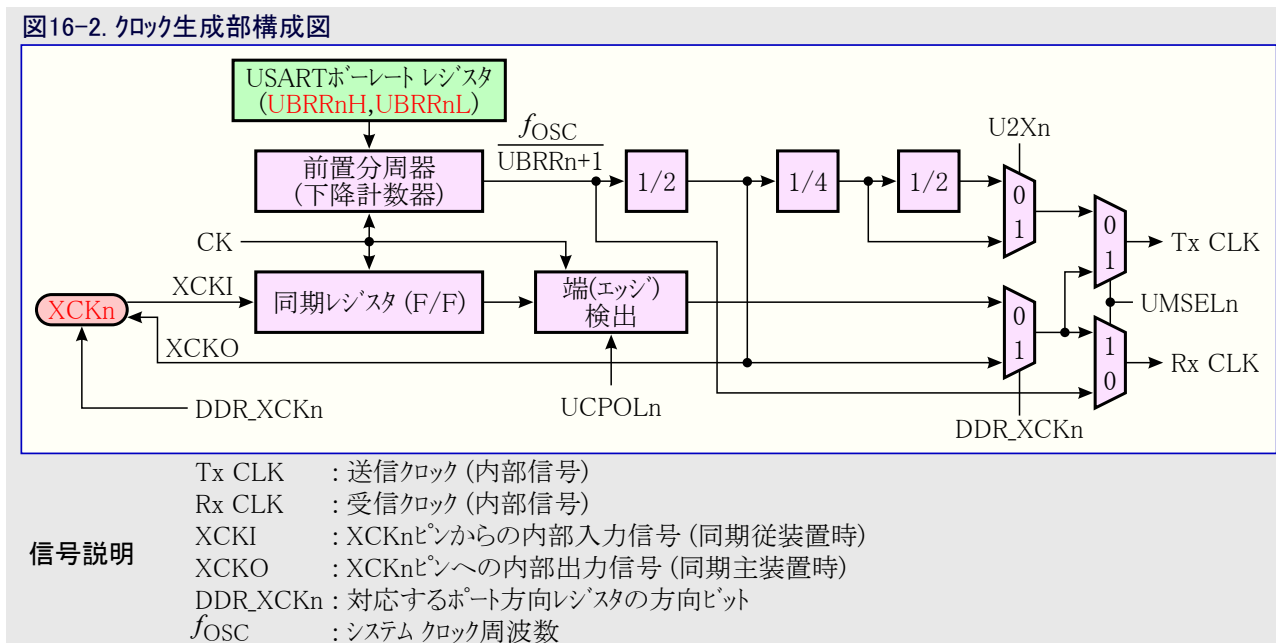
受信部はクロックとデータの再生部のため、USART部の最も複雑な部分です。再生部は非同期データ受信で使われます。再生部に加えて、受信部はパリティ検査器、制御論理回路、移動レジスタ、2重の受信緩衝部(UDRn)を含みます。受信部は送信部と同じフレーム形式を支援し、以下の異常を検出することができます。

- 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

USARTnを操作するためにUSARTn電力削減ビットが禁止されなければなりません。28頁の「PRR - 電力削減レジスタ」をご覧ください。

16.4. 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作成します。クロック生成論理回路の構成図は図16-2.で示されます。



USARTは以下のような4つのクロック動作形態を支援します。

- 標準非同期動作
- 倍速非同期動作
- 主装置同期動作
- 従装置同期動作

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を選びます。非同期動作では速度がUSART制御/状態レジスタA(UCSRnA)の倍速許可(U2Xn)ビットによって制御されます。

同期動作では、クロック元が内部(主装置動作)または外部(従装置動作)のどちらかかを、XCKnピンが配置されるデータ方向レジスタ(DDR x)内のXCKnピンの方向ビット(DDR_XCKn)が制御します。XCKnピンは同期動作でだけ活性(有効)です。

16.4.1. 内部クロック発生 - ポーレート発生器

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16-2.を参照してください。

USARTポーレート レジスタ(UBRRn(UBRRnH:UBRRnL))と下降計数器は設定可能な前置分周器またはポーレート発生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(f_{OSC})で走行する下降計数器は0への下降計数時毎またはUBRRnLが書かれる時にUBRRn値で設定されます。

1クロックは計数器が0に達する毎に生成されます。これがポーレート発生器出力で $f_{OSC}/(UBRRn+1)$ の周波数を持ちます。動作形態に依存して送信部はポーレート発生器出力を2,8,16分周します。ポーレート発生器出力は受信部クロックとデータの再生部によって直接使われます。けれども、再生部はUSART動作形態選択(UMSELn0)、倍速許可(U2Xn)、DDR_XCKnビットによって設定される動作形態に依存して2,8,16段を使う状態機構を使います。

表16-1.は内部的に生成したクロック元を使う各動作形態に於けるポーレート(bps)とUBRRn値の計算式を含みます。

表16-1. ボーレートレジスタ(UBRRn)値計算式

動作種別	ボーレート (注)	UBRRn値
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)

f_{OSC} : システム発振器クロック周波数

選んだシステム クロック周波数に対するいくつかのUBRRn値の例が117頁の「ボーレート設定例」で示されます。

16.4.2. 倍速動作

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することができます。このビットの設定は非同期動作形態でだけ有効です。同期動作形態ではこのビットが解除(0)されるべきです。

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、この場合に受信部が半分の採取数だけを使うことに注意してください。倍速動作ではデータとクロックの再生採取が16から8に減らされ、従ってより正確なボーレート設定とシステム クロックが必要とされます。

送信部についての低下要因はありません。

16.4.3. 外部クロック

外部クロックは従装置同期動作形態で使われます。不確定レベル状態(マスタフル)の機会を最少とするためにXCKnピンからの外部クロック入力同期化レジスタによって採取されます。その後同期化レジスタからの出力は送受信部で使われるのに先立って端(エッジ)検出器を通過します。この処理手順が2 CPUクロック周期の遅延を持ち込み、従って最大外部(XCKn)クロック周波数が次式によって制限されます。

$$f_{XCKn} < \frac{f_{OSC}}{4}$$

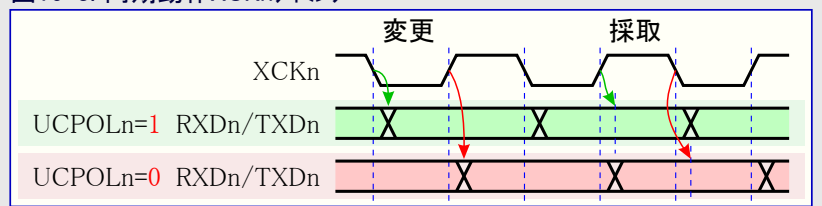
f_{OSC} がシステム クロック元の安定度に依存することに注意してください。従って周波数変動のためのデータ消失の可能性を避けるため、いくらかの余裕分を追加することが推奨されます。

16.4.4. 同期クロック動作

同期動作使用(UMSELn=1)時、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16-3.で示されるようにUCPOLnが0の時にデータは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16-3. 同期動作XCKnタイミング



16.5. フレーム形式

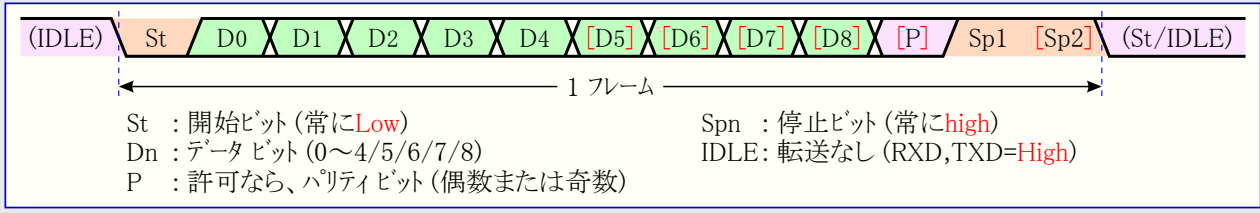
1つの直列フレームは複数のデータビットと同期ビット(開始ビット、停止ビット)、任意の異常検査用パリティビットで定義されます。USARTは有効なフレーム形式として以下の組み合わせ30種全てを受け入れます。

- 開始ビット : 1
- ビットデータ : 5、6、7、8、または9
- パリティビット : なし、奇数、または偶数パリティ
- 停止ビット : 1または2

フレームは最下位データビット(LSB)が後続する開始ビットで始まります。その後他のデータビット、最上位データビット(MSB)となる最後の1つが後続します。許可したなら、データビットの後、停止ビットの前にパリティビットが挿入されます。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)に設定され得ます。

図16-4.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16-4. 1フレームの構成



USARTによって使われるフレーム形式は以下のように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。

- USART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。
- USARTパリティ形態(UPMn1,0)ビットはパリティビットの形式を選びます。
- 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)ビットによって行われます。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。

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。

16.5.1. パリティビット計算

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。

$$PEVEN = D_0 \text{ Ex-OR } D_1 \text{ Ex-OR } D_2 \text{ Ex-OR } \sim \text{ Ex-OR } D_{n-1}$$

$$PODD = D_0 \text{ Ex-OR } D_1 \text{ Ex-OR } D_2 \text{ Ex-OR } \sim \text{ Ex-OR } D_{n-1} \text{ Ex-OR } 1$$

PEVEN : 偶数パリティを使うパリティビット
 PODD : 奇数パリティを使うパリティビット
 Dn : データビットn

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。

16.6. 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操作に対して、[ステータスレジスタの全割り込み許可\(I\)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、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(UCSRnA)の送信完了(TXCn)フラグは送信部の全転送完了検査に使い、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。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

```
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: 5頁の「コード例」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。

16.7. データ送信 – USART送信部

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。何かの送信を行う前に一度はポーレート、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。

16.7.1. 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)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そこへ移されます。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、ポーレートレジスタ(UBRRnH:UBRRnL)と倍速許可(U2Xn)ビット、また動作形態によっては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時にUDRnへ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: 5頁の「コード例」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内に書きます。

16.7.2. 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、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。UCSRnB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。

5頁の「コード例」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。

16.7.3. 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、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時に、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時に自動的に解除(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用です。

UCSRnBで送信完了割り込み許可(TXCIEn)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。送信完了割り込み使用時、割り込み実行時にこれが自動的に行われるため、割り込み処理ルーチンはTXCnフラグを解除(0)しなくても構いません。

16.7.4. 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。

16.7.5. 送信の禁止

UCSRnBのUSART送信許可(TXENn)ビットの解除(0)は送信部を禁止しますが、その変更は進行中と保留中のどの送信も完了される、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が全く無いのに先立って有効にはなりません。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。

16.8. データ受信 - USART受信部

USART受信部はUSART制御/状態レジスタB(UCSRnB)で受信許可(RXENn)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ポーレート、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。

16.8.1. 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ポーレートまたはXCKnクロックで採取され、その後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、換言すると、受信移動レジスタに完全なフレームが存在すると、その内容が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)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時に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: 5頁の「コード例」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。

16.8.2. 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、USARTデータレジスタ(UDR_n)から下位バイ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(UCSR_nB)の受信データビット8(RXB8_n)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(FE_n)、オーバーラン発生(DOR_n)、パリティ誤り(UPE_n)状態フラグにも適用されます。UDR_n読み込みが受信緩衝部FIFOの状態、その結果、RXB8_n,FE_n,DOR_n,UPE_nビットの状態を変更する(切り替える)ため、UDR_nからのデータに先立って状態ビットが読まれなければなりません。

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: 5頁の「コード例」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。

16.8.3. 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(RXC_n)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設定(1)され、受信緩衝部が空の(換言すると、何も未読データを含まない)時に解除(0)されます。受信部が禁止される場合(RXEN_n=0)、受信緩衝部が破棄され、その結果としてRXC_nフラグは0になります。

USART制御/状態レジスタB(UCSR_nB)でUSART受信完了割り込み許可(RXCIE_n)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)RXC_n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時に、受信完了割り込みルーチンはRXC_nフラグを解除(0)するためにUSARTデータレジスタ(UDR_n)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。

16.8.4. 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(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置かれることです。異常フラグが緩衝されるため、USARTデータレジスタ(UDRn)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)の前に読まなければならない。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が書かれる時に全てのフラグは0に設定されなければならない。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に書く時は常にこのビットを0に設定してください。

データオーバラン発生(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に書く時は常にこのビットに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に書く時は常にこのビットを0に設定してください。より多くの詳細については108頁の「パリティビット計算」と次の「パリティ検査器」をご覧ください。

16.8.5. 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。

パリティ検査が許可される場合、受信緩衝部から読むことができる次のフレームが受信時にパリティ異常を持つなら、UPEnフラグが設定(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。

16.8.6. 受信の禁止

送信部と違い、受信部は直ちに禁止され、受信進行中のどのデータも失われます。禁止(USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)のUSART受信許可(RXENn)ビット=0)されると、受信部はもはやRXDnポートピンの標準機能を無効にせず、FIFO緩衝部が破棄され、緩衝部内の残データが失われます。

16.8.7. 受信緩衝部の破棄

受信緩衝部FIFO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。例えば異常状態のため、通常動作中に緩衝部を破棄するには、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)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: 5頁の「コード例」をご覧ください。

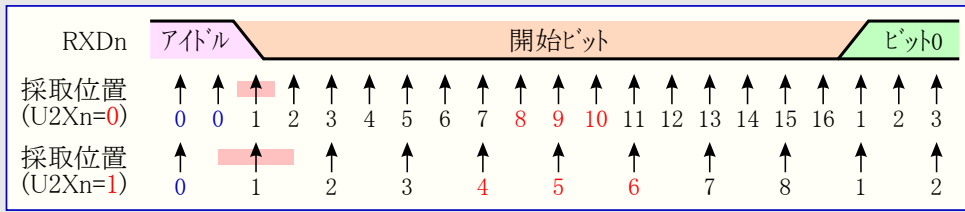
16.9. 非同期受信

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ために使われます。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。

16.9.1. 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16-5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数を図示します。倍速動作(U2Xn=1)を使う時の広い変数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(換言すると、通信の動きなし)の時に行われる採取です。

図16-5. 開始ビットの採取

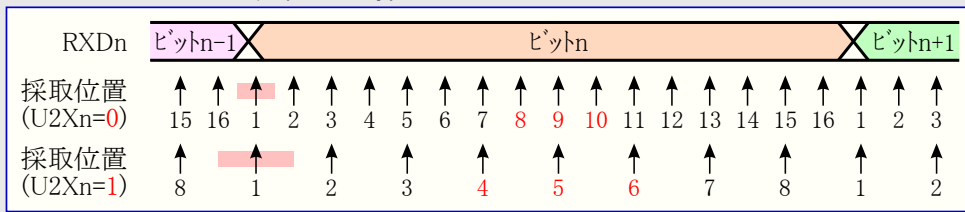


クロック再生論理回路がRXDn信号線でHigh(アイドル)からLow(開始)の遷移を検出すると、開始ビット検出手順が開始されます。図16-5で採取は赤数字(訳注:原文は箱枠内)の番号で示され、採取1は最初のLow採取を意味します。その後にクロック再生回路は有効な開始ビットが受信されるかを決定するのに、(標準速動作で)採取8,9,10、(倍速動作で)採取4,5,6を使います。これら3回で2回以上の採取が論理Highレベルの場合(多数決)、この開始ビットは尖頭雑音として捨てられ、受信部は次のHighからLowの遷移を探し始めます。けれども有効な開始ビットが検出された場合、クロック再生論理回路は同期化され、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。

16.9.2. 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められます。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16-6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16-6. 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によって行われます。図に於ける中央の3採取は赤数字(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16-7は停止ビットの採取と次の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16-7. 停止ビットの採取と次の開始ビットの採取



停止ビットはフレーム内の他のビットと同じ多数決に従わなければなりません。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。標準速動作に於ける最初のLowレベル採取は図16-7のA点で有り得ます。倍速動作に於ける最初の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。

16.9.3. 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基準周波数(表16-2参照)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。

$$R_{slow} = \frac{(D+1) \times S}{S-1+D \times S+S_F} \quad R_{fast} = \frac{(D+2) \times S}{(D+1) \times S+S_M}$$

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16-2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16-2. 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16-2に標準速、表16-3に倍速を記載していますが、比較が容易なように表16-2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仮定で作られています。

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。
- 2つ目の誤差元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値が使われるべきです。

16.9.4. フレーム開始検出

USARTフレーム開始検出器は開始ビット検出時にパワーダウン、スタンバイ、A/D変換雑音低減の休止動作形態からMCUを起こすことができます。

RXDnピンでHighからLowへの遷移が検出されると、内部8MHz発振器が給電されUSARTクロックが許可されます。ボーレートが内部8MHz発振器始動時間に関して充分遅ければ、始動後にデータフレームの残りを受信することができます。内部8MHz発振器の始動時間は供給電圧と温度で変化します。

USARTフレーム開始検出は非同期と同期の両動作形態で動きます。これはUSART制御/状態レジスタD(UCSRnD)のフレーム開始検出許可(SFDEN)ビットを(1)に書くことによって許可されます。USART開始割り込み許可(RXSIEN)ビットが設定(1)されるなら、開始検出時直ちにUSART受信開始割り込みが生成されます。

開始割り込みなしでこの機能使用時、開始検出論理回路は内部8MHz発振器とUSARTクロックを活性化し、同時にフレームが受信されつつあるだけです。他のクロックは受信完了割り込みがMCUを起こすまで停止されたままです。

同期動作形態での最大ボーレートは以下のようにデバイスが起こされる休止動作形態に依存します。

- アイドルまたはA/D変換雑音低減動作 : システムクロック周波数/4
- スタンバイまたはパワーダウン動作 : 500kbps

非同期動作形態での最大ボーレートは以下のようにデバイスが起こされる休止動作形態に依存します。

- アイドル動作 : 活動動作と同じ
- 他の休止動作 : 表16-4と表16-5をご覧ください。

表16-4. 標準動作での最大総ホーレート誤差

ホーレート	フレームの大きさ					
	5ビット	6ビット	7ビット	8ビット	9ビット	10ビット
0~28.8kbps	+6.67~-5.88	+5.79~-5.08	+5.11~-4.48	+4.58~-4.00	+4.14~-3.61	+3.78~-3.30
38.4kbps	+6.63~-5.88	+5.75~-5.08	+5.08~-4.48	+4.55~-4.00	+4.12~-3.61	+3.76~-3.30
57.6kbps	+6.10~-5.88	+5.30~-5.08	+4.69~-4.48	+4.20~-4.00	+3.80~-3.61	+3.47~-3.30
76.8kbps	+5.59~-5.88	+4.85~-5.08	+4.29~-4.48	+3.85~-4.00	+3.48~-3.61	+3.18~-3.30
115.2kbps	+4.57~-5.88	+3.97~-5.08	+3.51~-4.48	+3.15~-4.00	+2.86~-3.61	+2.61~-3.30

表16-5. 倍速動作での最大総ホーレート誤差

ホーレート	フレームの大きさ					
	5ビット	6ビット	7ビット	8ビット	9ビット	10ビット
0~57.6kbps	+5.66~-4.00	+4.92~-3.45	+4.35~-3.03	+3.90~-2.70	+3.53~-2.44	+3.23~-2.22
76.8kbps	+5.59~-4.00	+4.85~-3.45	+4.29~-3.03	+3.85~-2.70	+3.48~-2.44	+3.18~-2.22
115.2kbps	+4.57~-4.00	+3.97~-3.45	+3.51~-3.03	+3.15~-2.70	+2.86~-2.44	+2.61~-2.22

16.10. 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由で通信する複数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。

主MCUとして動作するMCUについては**9ビットデータフレーム形式**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) ATtiny1634ではUCSRnAのI/Oアドレスが**SBI**,**CBI**命令適用範囲外なので上記記述は不適切です。但し、命令の組み合わせによる同様処理の場合に対して、上記注意の本意は適切(有効)です。

16.11. ホーレート設定例

非同期動作に対して一般的に使われるホーレートは表16-6のUBRRn設定を使うことによって生成することができます。目的のホーレートに対して設定誤差1.5%(標準速:U2Xn=0)、1.0%(倍速:U2Xn=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(115頁の「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。

$$\text{誤差率(\%)} = \left(\frac{\text{UBRRn設定ホーレート(最近似値)}}{\text{目的のホーレート}} - 1 \right) \times 100(\%)$$

表16-6. Xtal、ホーレート対UBRRnH,UBRRnL設定 (UBRR=UBRRnH:UBRRnL)

ホーレート (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	

ホーレート (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16-6.~9.となっていますが、共通性から纏めて表16-6.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16-6 (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。

16.12. USART用レジスタ

16.12.1. 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	
\$20 (\$40)	R/TXB7	R/TXB6	R/TXB5	R/TXB4	R/TXB3	R/TXB2	R/TXB1	R/TXB0	UDR0
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	5	4	3	2	1	0	
(\$73)	R/TXB7	R/TXB6	R/TXB5	R/TXB4	R/TXB3	R/TXB2	R/TXB1	R/TXB0	UDR1
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受信データ緩衝とUSART送信データ緩衝のレジスタはUSARTデータレジスタまたはUDRnとして参照されます。UDRnへのデータ書き込みは送信データ緩衝レジスタ(TXB)へ行き、UDRn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ビットデータに対する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)される時にだけ書くことができます。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こへデータを設定(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と必ず状態を切り替えます。この受信緩衝部の動きのため、この位置をアクセスするのに読み-修正-書き(リード-モディファイ-ライト)命令(SBIとCBI)が使われるべきではありません。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にも注意されるべきです(訳注:本レジスタがこれらの命令の適用可能アドレス範囲外のため、この注意は不適切ですが、複数命令で同様動作を行う場合は注意が必要です)。

16.12.2. UCSRnA – USART制御/状態レジスタ (USART Control and Status Register A)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$26 (\$46)	RXC0	TXC0	UDRE0	FE0	DOR0	UPE0	U2X0	MPCM0	UCSR0A
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	6	5	4	3	2	1	0	
(\$79)	RXC1	TXC1	UDRE1	FE1	DOR1	UPE1	U2X1	MPCM1	UCSR1A
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(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。このフラグは受信完了割り込みを発生するのに使うことができます(USART制御/状態レジスタB(UCSRnB)の受信完了割り込み許可(RXCIE)n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時に自動的に解除(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)することができます。このフラグは送信完了割り込みを発生することができます(UCSRnBの送信完了割り込み許可(TXCIE)n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)

このフラグは送信緩衝部(UDRn)が新規データを受け取り準備可を示します。UDRENが1ならば緩衝部は空で、従って書かれる準備可です。UDRENフラグは送信データレジスタ空き割り込みを発生することができます(UCSRnBの送信データレジスタ空き割り込み許可(UDRIEn)nビットをご覧ください)。

送信部が準備可であることを示すため、UDRENはリセット後に設定(1)されます。

● ビット4 – FEn : フレーミング異常フラグ (Framing Error)

このフラグは受信緩衝部内の次データが受信時にフレーミング異常の場合(換言すると、受信緩衝部内で次データの最初の(第1)停止ビットがLowの時に)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。

レジスタ書き込み時に常にこのビットを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場合に設定(1)されます。データ オーバーランは受信緩衝部(2フレーム分)が一杯で、受信移動レジスタ内で新規フレームが待機中に新規開始ビットが検出される時に起きます。このビットは受信緩衝部(UDRn)が読まれるまで有効です。

レジスタ書き込み時に常にこのビットを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)**

このビットは受信緩衝部内の次データが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。このビットは受信緩衝部(UDRn)が読まれるまで有効です。

レジスタ書き込み時に常にこのビットを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。同期動作使用時、このビットに0を書いてください。

このビットの1書き込みはボーレート分周器の分周値を16から8に減らし、事実上、非同期通信に対して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。このビットが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が無視されます。送信部はMPCMnによって影響を及ぼされません。より多くの詳細情報については116頁の「複数プロセッサ通信動作」をご覧ください。

16.12.3. 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	
\$25 (\$45)	RXCIE0	TXCIE0	UDRIE0	RXEN0	TXEN0	UCSZ02	RXB80	TXB80	UCSR0B
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	6	5	4	3	2	1	0	
(\$78)	RXCIE1	TXCIE1	UDRIE1	RXEN1	TXEN1	UCSZ12	RXB81	TXB81	UCSR1B
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 – 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、ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビットとUCSRnAの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、SREGの全割り込み許可(I)ビットとUCSRnAの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USART受信(部)を許可します。許可されると、受信部はRXDnピンに対する標準ポート動作を無効にします。

このビットへの0書き込みは受信(部)を禁止します。受信の禁止は受信緩衝部を破棄し、フレーミング異常(FEn)、オーバーラン(DORn)、パリティ誤り(UPEn)のフラグを無効にします。

● **ビット3 – TXENn : 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。許可されると、送信部はTXDnピンに対する標準ポート動作を無効にします。

このビットへの0書き込みは送信(部)を禁止します。送信禁止は進行中と保留中の送信が完了された後、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に有効になります。禁止されると、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 – UCSZn2 : データビット長選択2 (Character Size)**

USART制御/状態レジスタC(UCSRnC)のUCSZn1,0ビットと組み合わせたUCSZn2ビットは送信部と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 – RXB8n : 受信データビット8 (Receive Data Bit 8)

RXB8n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。UDRnから下位ビットを読む前に読まれなければなりません。

● ビット0 – TXB8n : 送信データビット8 (Transmit Data Bit 8)

TXB8n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。UDRnへ下位ビットを書く前に書かれなければなりません。

16.12.4. 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	
\$24 (\$44)	UMSEL01	UMSEL00	UPM01	UPM00	USBS0	UCSZ01	UCSZ00	UCPOL0	UCSR0C
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	5	4	3	2	1	0	
(\$77)	UMSEL11	UMSEL10	UPM11	UPM10	USBS1	UCSZ11	UCSZ10	UCPOL1	UCSR1C
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 – UMSELn1,0 : USART動作選択 (USART Mode Select)

これらのビットは表16-10.で示されるようにUSART動作形態を選びます。

表16-10. UMSELnビット設定

UMSELn1	UMSELn0	動作種別
0	0	非同期USART
	1	同期USART
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124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形式を設定します。許可した場合、送信部は各フレーム内で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に対してパリティ値を生成し、それをUPMn0設定と比較します。不一致が検出された場合、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16-11. パリティ動作選択

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(訳補:常に第1停止ビットだけが有効)。

表16-12. USBSnビット設定

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ビットは送信部と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16-13.をご覧ください。

表16-13. UCSZnビット設定

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だけ使われます。非同期動作が使われる時はこのビットに0を書いてください。UCPOLnビットはデータ出力変更、データ入力採取、同期クロック(XCKn)間の関係を設定します。

表16-14. クロック極性設定

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

16.12.5. UCSRnD – USART制御/状態レジスタD (USART Control and Status Register D)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$23 (\$43)	RXSIE0	RXS0	SFDE0	–	–	–	–	–	UCSR0D
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	1	0	0	0	0	0	

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$76)	RXSIE1	RXS1	SFDE1	–	–	–	–	–	UCSR1D
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	1	0	0	0	0	0	

● **ビット7 – RXSIE_n : 受信開始割り込み許可 (USART RX Start Interrupt Enable)**

このビットへの1書き込みは受信開始(RXS_n)フラグでの割り込みを許可します。休止動作形態でこのビットは、RXD_nピンで開始条件が検出された時にMCUを起こすことができるフレーム開始割り込みを許可します。

USART受信開始割り込みはRXSIE_nビット、**ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(I)ビット**とUCSR_nDのRXS_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 – RXS_n : 受信開始 (USART RX Start)**

このフラグはRXD_nピンで開始条件が検出された時に設定(1)されます。受信開始割り込み許可(RXSIE_n)ビットとSREGの全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されていれば、このフラグが設定(1)される時に受信開始割り込みが生成されます。このフラグはRXS_nビット位置に論理1を書くことによって解除(0)することができます。

フレーム開始検出器が許可され、全割り込み許可(I)ビットが設定(1)されていれば、受信開始割り込みは全ての休止動作形態からMCUを起こします。

● **ビット5 – SFDE_n : フレーム開始検出許可 (Start Frame Detection Enable)**

このビットへの1書き込みはUSARTフレーム開始動作を許可します。フレーム開始検出器は開始条件、換言すると、RXD_nピンでHigh(アイドル)からLow(開始)への遷移が検出される時に休止動作形態からMCUを起こすことができます。

表16-15. USARTフレーム開始検出動作

SFDE _n	RXSIE _n	RXCIE _n	説明
0	x	x	フレーム開始検出禁止。
1	0	0	(予約)
1	0	1	フレーム開始検出許可。RXC _n フラグは全ての休止動作形態からMCUを起こします。
1	1	0	フレーム開始検出許可。RXS _n フラグは全ての休止動作形態からMCUを起こします。
1	1	1	フレーム開始検出許可。RXC _n とRXS _n の両フラグは全ての休止動作形態からMCUを起こします。

より多くの情報については115頁の「**フレーム開始検出**」をご覧ください。

● **ビット4~0 – 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。

16.12.6. 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	
\$22 (\$42)	–	–	–	–	UBRR011	UBRR010	UBRR09	UBRR08	UBRR0H
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	
\$21 (\$41)	UBRR07	UBRR06	UBRR05	UBRR04	UBRR03	UBRR02	UBRR01	UBRR00	UBRR0L
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	14	13	12	11	10	9	8	
(\$75)	–	–	–	–	UBRR111	UBRR110	UBRR19	UBRR18	UBRR1H
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	
(\$74)	UBRR17	UBRR16	UBRR15	UBRR14	UBRR13	UBRR12	UBRR11	UBRR10	UBRR1L
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 – 予約 (Reserved)

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、これらのビットはUBRRnHが書かれる時に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)

これは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。

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。送信部と受信部によって進行中の転送はボーレートが変更される時に不正にされます。

17. USARTでのSPI動作

17.1. 特徴

- 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)
- 高分解能ホーレート発振器
- 高速動作($f_{XCK_{max}}=f_{CK}/2$)
- 柔軟な割り込み生成

17.2. 概要

USART(Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter)は主装置SPI互換動作に設定できます。

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。この動作形態での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、ホ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形態で全く同じです。

I/Oレジスタ位置は両動作形態で同じです。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。

17.3. クロック生成

クロック生成論理回路は送信部と受信部に対する基準クロックを生成します。USARTのMSPIM動作形態に対しては内部クロック生成(換言すると主装置動作)だけが支援されます。従って、USARTでMSPIMを正しく動かすにはXCKnピンが配置されたデータ方向レジスタ(DDR_x)が出力(DDR_XCKn=1)として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(換言するとTXENnとRXENnが設定(1))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。従ってホーレートやUBRRn設定は同じ式を使って計算できます。表17-1をご覧ください。

表17-1. ホーレートレジスタ(UBRRn)値計算式

動作種別	ホーレート計算 (注)	UBRRn値計算
同期主装置動作	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2 \times (UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{2 \times BAUD} - 1$

注: ホーレートは転送速度(ビット/1秒)で定義されます。

BAUD : ホーレート (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

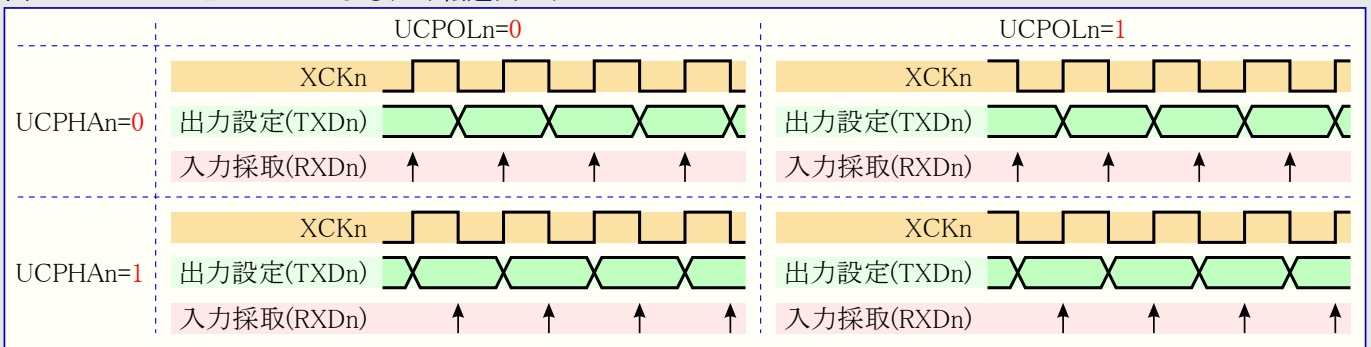
17.4. SPIデータ形態とタイミング

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17-1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17-2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17-2. 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17-1. UCPHAnとUCPOLnによるデータ転送タイミング



17.5. 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、それによって最上位(MSB)または最下位(LSB)データビットで終わる合計8ビットまで続きます。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。

17.5.1. 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、主装置動作構成設定、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せん。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: XCKn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(UBRRn)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、UBRRn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に行なわれるなら、UBRRnが0にリセットされているので、送信部許可前にUBRRn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(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TXCn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。この例はボーリングを使う(割り込み不許可)と仮定します。ボーレート(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: 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);
    ;動作種別0設定 */
    UCSRnB = (1<<RXENn) | (1<<TXENn);
    ;送受信許可 */
    UBRRn = baud;            /* ボーレート設定 */
}
```

注: 5頁の「コード例」をご覧ください。

17.6. 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、換言すると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が読まれない限りなりません。入力緩衝部操作は通常のUSART動作と同じで、換言すると、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MSPIM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: 5ページの「コード例」をご覧ください。

17.6.1. 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を読みます。

17.6.2. 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。

17.7. AVR SPIとの互換性

USARTでのMSPI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MSPI動作がUSART資源を再使用するため、USARTでのMSPI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MSPI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MSPI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MSPI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MSPI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MSPI動作が主装置動作だけのため、ピン制御が異なります。

USARTのMSPI動作とSPIでのピンは表17-3.で示されます。

表17-3. USARTでのMSPIMとSPIのピン比較

USART MSPIM	SPI	注釈
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	\overline{SS}	USARTでのMSPIMで未支援

17.8. 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。

17.8.1. 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。119頁の「UDRn – USARTデータレジスタ」をご覧ください。

17.8.2. 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	
\$26 (\$46)	RXC0	TXC0	UDRE0	–	–	–	–	–	UCSR0A
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	1	0	0	0	0	0	

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$79)	RXC1	TXC1	UDRE1	–	–	–	–	–	UCSR1A
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R	R	
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)されます。このフラグは受信緩衝部が空の(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、その結果このフラグが0になります。

このフラグは受信完了割り込みを発生するのに使うことができます(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)内に新規データ全くない時に設定(1)されます。このフラグは送信完了割り込みが実行される時に自動的に解除(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)することができます。

このフラグは送信完了割り込みを発生することができます(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)

このフラグは送信緩衝部(UDRn)が新規データを受け取り準備可であることを示します。このフラグが1ならば緩衝部は空で、書かれる準備が整っています。このフラグは送信部が準備可であることを示すためにリセット後に設定(1)されます。

このフラグは送信緩衝部空き割り込みを発生することができます(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)。

● ビット4~0 – 予約 (Reserved in MSPI mode)

MSPI動作に於いて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0を書かれなければなりません。

17.8.3. 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	
\$25 (\$45)	RXCIE0	TXCIE0	UDRIE0	RXEN0	TXEN0	–	–	–	UCSR0B
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$78)	RXCIE1	TXCIE1	UDRIE1	RXEN1	TXEN1	–	–	–	UCSR1B
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	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。許可されると、受信部はRXDnピンの標準ポート動作を無効にします。

受信禁止は受信緩衝部を破棄します。

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、受信(部)だけを許可して送信(部)を禁止のままにすることはMSPI動作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。許可されると、送信部はTXDnピンの標準ポート動作を無効にします。

送信禁止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。禁止時、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 – 予約** (Reserved in MSPI mode)

MSPI動作で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0を書かれなければなりません。

17.8.4. UCSRnC – USART MSPIM制御/状態レジスタC (USART Control nad Status Register C)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$24 (\$44)	UMSEL01	UMSEL00	–	–	–	UDORD0	UCPHA0	UCPOL0	UCSR0C
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	5	4	3	2	1	0	
(\$77)	UMSEL11	UMSEL10	–	–	–	UDORD1	UCPHA1	UCPOL1	UCSR0C
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17-4.で示されるようにUSART動作種別を選びます。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。

通常USART操作の完全な記述については121頁の「**UCSRnC – USART制御/状態レジスタC**」をご覧ください。

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17-4. UMSELnビット設定

UMSELn1	UMSELn0	動作形態
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 – 予約** (Reserved in MSPI mode)

MSPI動作で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0を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)

設定(1)時、データ語のLSBが最初に転送されます。

解除(0)時、データ語のMSBが最初に転送されます。

詳細については125頁の「**フレーム形式**」をご覧ください。

● **ビット1 – UCPHAn : クロック位相選択** (Clock Phase)

このビットはデータが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124頁の「**SPIデータ形態とタイミング**」をご覧ください。

● **ビット0 – UCPOLn : クロック極性選択** (Clock Polarity)

このビットは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124頁の「**SPIデータ形態とタイミング**」をご覧ください。

17.8.5. 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。123頁の「[UBRRnH, UBRRnL \(UBRRn\) – USARTボーレートレジスタ](#)」をご覧ください。

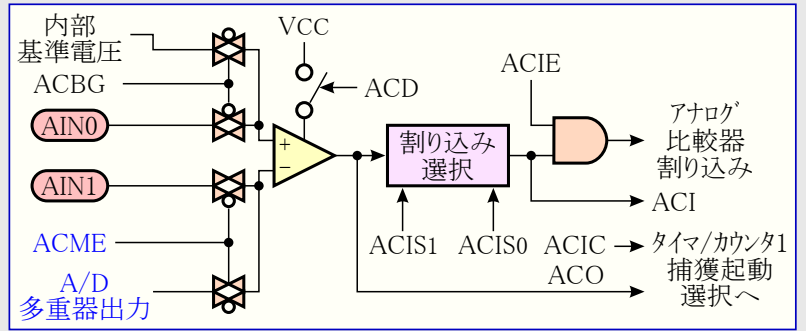
18. アナログ比較器

アナログ比較器は非反転入力AIN0(PA1)ピンと反転入力AIN1(PA2)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ACSRA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18-1.で示されます。

ピン配置については2頁の「ピン配置」をご覧ください。

ADC入力多重器を使うにはA/D変換器電力削減(PRADC)ビットが禁止されなければなりません。これは電力削減レジスタ(PRR)内のPRADCビットを解除(0)することによって行われます。より多くの詳細については28頁の「PRR - 電力削減レジスタ」をご覧ください。

図18-1. 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18-1.をご覧ください。

18.1. アナログ比較器入力選択

A/D変換器(ADC)がシングルエンドとして設定される時、アナログ比較器への反転入力を取り替えるのにADC11~0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、結果としてA/D変換器はこの機能を利用するためにOFFに切り換えられなければなりません。アナログ比較器制御/状態レジスタB(ACSRB)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変換器がOFFに切り換えられた(A/D変換制御/状態レジスタA(ADCSRA)のA/D許可(ADEN)ビットが0)の場合、表18-1.で示されるように、A/D変換多重器選択(ADMUX)レジスタのチャネル選択(MUX3~0)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)される場合、AIN1がアナログ比較器の反転入力に印加されます。

表18-1. アナログ比較器多重化入力

ACME	ADEN	アナログ比較器反転入力
0	x	AIN1
1	0	ADC多重器。140頁の表19-4.をご覧ください。
	1	AIN1

18.2. アナログ比較器用レジスタ

18.2.1. ACSRA - アナログ比較器 制御/状態レジスタA (Analog Comparator Control and Status Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	ACSRA
\$06 (\$26)	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	
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)することができます。これは通常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ACSRA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、固定の内部基準電圧(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。このビットが解除(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。31頁の「内部基準電圧」をご覧ください(訳注:共通性から本行追加)。

● 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ACSRA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。ACSRA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。その場合、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消去機能と端(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/カウンタ割り込み許可レジスタ(TIMSK)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のかを決めます。各種設定は表18-2.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18-2. ACIS1,0設定

ACIS1	ACIS0	割り込み形態
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

18.2.2. ACSR B – アナログ比較器 制御/状態レジスタB (Analog Comparator Control and Status Register B)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$05 (\$25)	HSEL	HLEV	ACLP	–	ACCE	ACME	ACIRS1	ACIRS0	ACSRB
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 – HSEL : ヒステリシス許可 (Hysteresis Select)**

このビットが論理1を書かれると、アナログ比較器のヒステリシスが許可されます。ヒステリシス基準はHLEVビットによって選ばれます。

● **ビット6 – HLEV : ヒステリシス基準選択 (Hysteresis Level)**

ヒステリシス許可(HSEL)ビット経由で許可されると、ヒステリシス基準は表18-3.で示されるように、HLEVビットを使って設定することができます。

表18-3. アナログ比較器ヒステリシス基準選択

HSEL	HLEV	アナログ比較器のヒステリシス
0	x	不許可
1	0	20mV
	1	50mV

● **ビット5 – ACLP :**

このビットはQTouch用に予約されており、常に0として書いてください。

● **ビット4 – 予約 (Reserved)**

このビットは予約されており、常に0を読みます。

● **ビット3 – ACCE :**

このビットはQTouch用に予約されており、常に0として書いてください。

● **ビット2 – 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前頁の「**アナログ比較器入力選択**」をご覧ください。

● **ビット1 – ACIRS1 :**

このビットはQTouch用に予約されており、常に0として書いてください。

● **ビット0 – ACIRS0 :**

このビットはQTouch用に予約されており、常に0として書いてください。

18.2.3. DIDR0 – デジタル入力禁止レジスタ0 (Digital Input Disable Register 0)

ビット (\$60)	7	6	5	4	3	2	1	0	DIDR0
	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	AIN1D	AIN0D	AREFD	
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2,1 – 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。

19. A/D変換器

19.1. 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
- 13μsの変換時間
- 最大分解能で15kSPS(採取/s)
- 12チャンネルのシングルエンド入力多重器内蔵
- 温度感知器入力チャンネル
- 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
- 1.1V 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
- 休止動作雑音低減機能

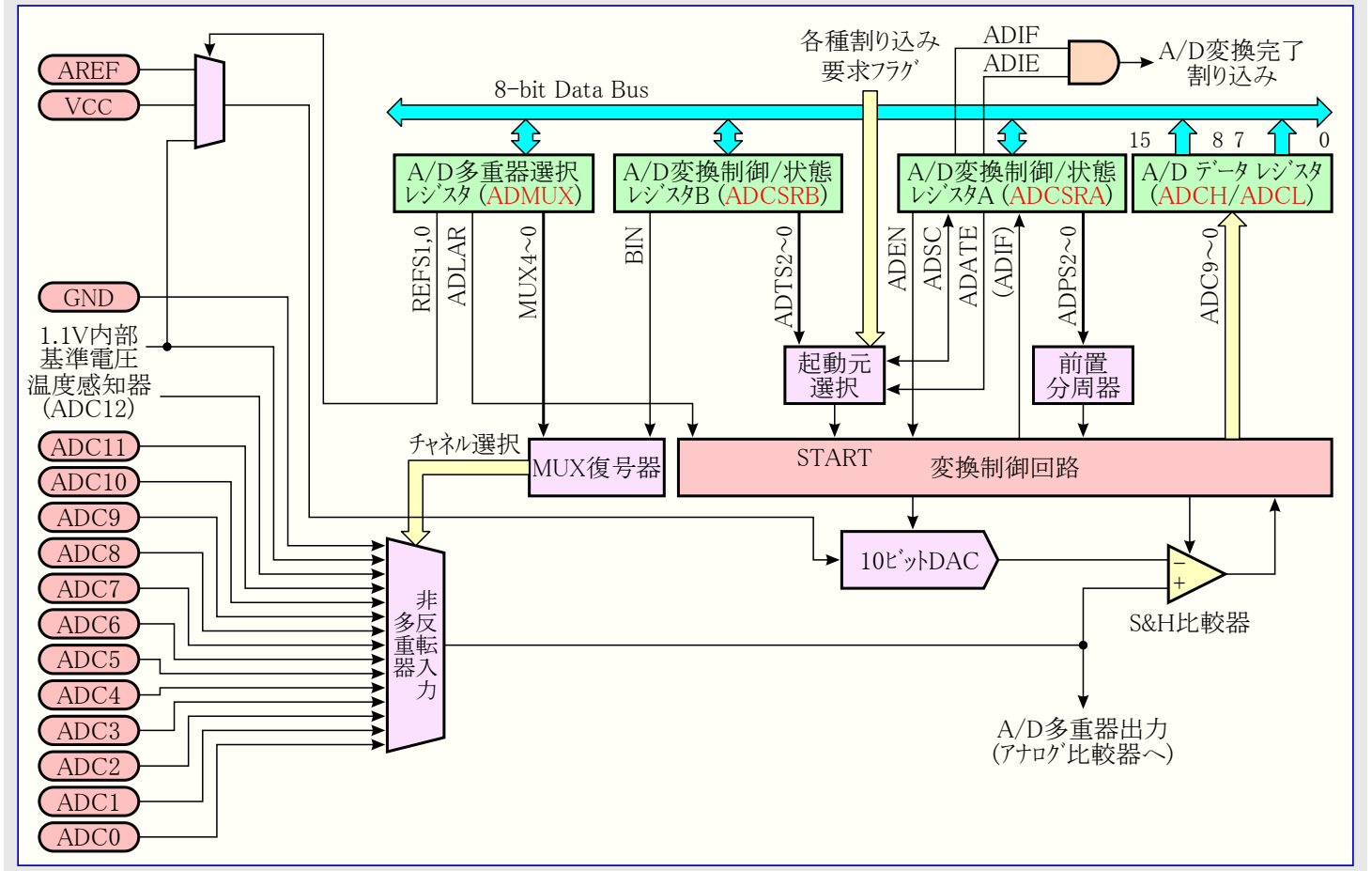
19.2. 概要

ATtiny1634は10ビット逐次比較A/D変換器(ADC)が特徴です。ADCは12のシングルエンド入力ピンと、内部温度感知器から来るシングルエンド電圧チャンネルの1つの内部からの電圧測定をADCに許す13チャンネルのアナログ多重器に配線されています。シングルエンド電圧入力は0V(GND)が基準です。

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19-1.で示されます。

公称1.1Vの内部基準電圧がチップ上で提供されます。代わりにシングルエンドチャンネルに対する基準電圧としてVCCを使うことができます。内部基準電圧をOFFにして外部基準電圧を使う任意選択もあります。

図19-1. A/D変換器部構成図



19.3. 操作

A/D変換部を使えるようにするため、ADC電力削減(PRADC)ビットが禁止されなければなりません。これは電力削減レジスタ(PRR)のPRADCビットを解除することによって行われます。より多くの詳細については28頁の「PRR - 電力削減レジスタ」をご覧ください。

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変換部が電力を消費しないので、節電をする休止動作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、最大値は基準電圧を表します。A/D変換器基準電圧はA/D多重器選択レジスタ(ADMUX)の基準電圧選択(REFS1,0)ビット書き込みによって選ばれます。選択はVCC供給ピン、AREFピン、1.1V内部基準電圧です。

アナログ入力チャネルはA/D多重器選択(ADMUX)レジスタのチャネル選択(MUX3~0)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(VBG))だけでなく、どのADC入力ピンもA/D変換器のシングルエンド入力として選べます。

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、この結果は右揃え(16ビットのビット0側10ビット)で表されますが、A/D変換制御/状態レジスタB(ADCSRB)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だけを読むことで足りる。さもなければ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。

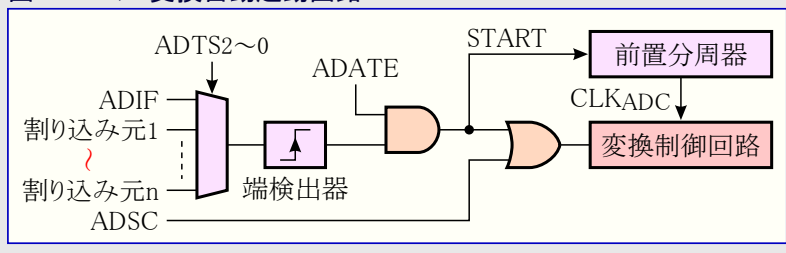
A/D変換部には変換完了時に起動できる自身の割り込みがあります。A/DデータレジスタへのA/D変換器アクセスがADCLとADCHの読み込み間で禁止されている場合、例えその変換結果が失われても割り込みは起動します。

19.4. 変換の開始

電力削減レジスタ(PRR)のA/D変換電力削減(PRADC)ビットを解除(0)することによってADCが給電されることを保証してください(28頁の「PRR - 電力削減レジスタ」をご覧ください)。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、変換が完了される時に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。

図19-2. A/D変換自動起動回路



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。そのためにA/D変換器は連続動作で動き、継続的な採取(変換)とA/Dデータレジスタ更新を行います。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)されるかどうかにかかわらず、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138頁の「雑音低減機能」をご覧ください。(訳注:共通性から2行追加)

19.5. 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200kHzよりも高くできます。1MHzよりも高い入力クロック周波数の使用は推奨されません。

図19-3.で図解されるように、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(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)される限り走行を維持し、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。

通常の変換は次ページの表19-1.で要約されるように、13変換クロック周期で行われます。

下の図19-4.で示されるように、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。

図19-3. A/D変換前置分周器部構成

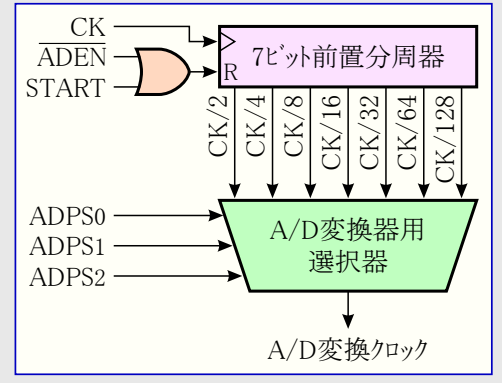
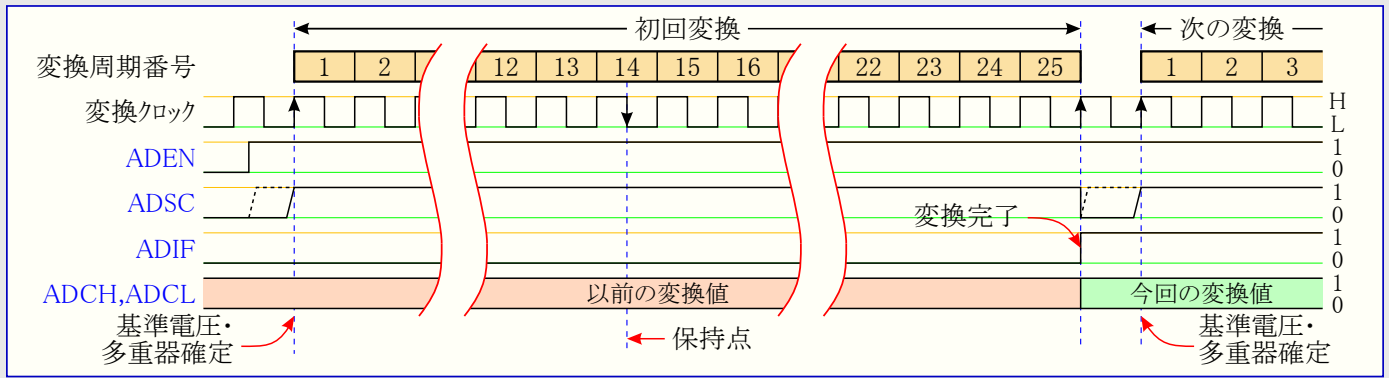
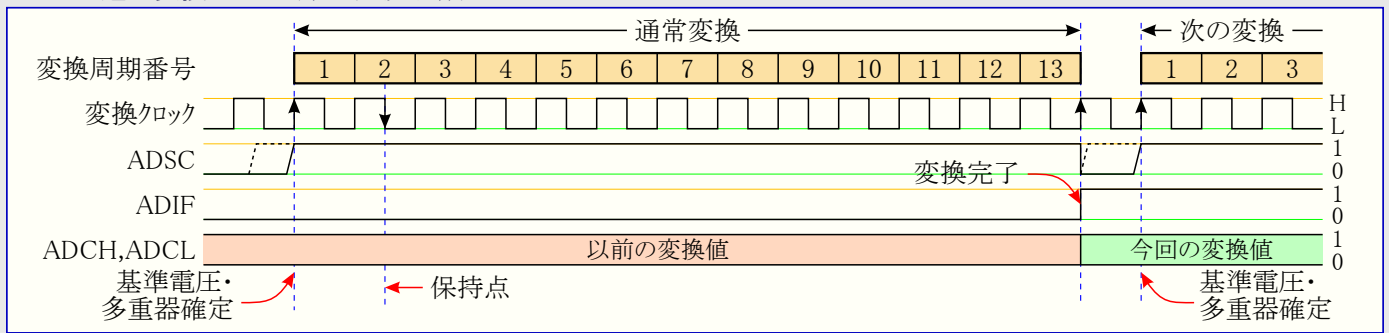


図19-4. 初回変換タイミング (単独変換動作)



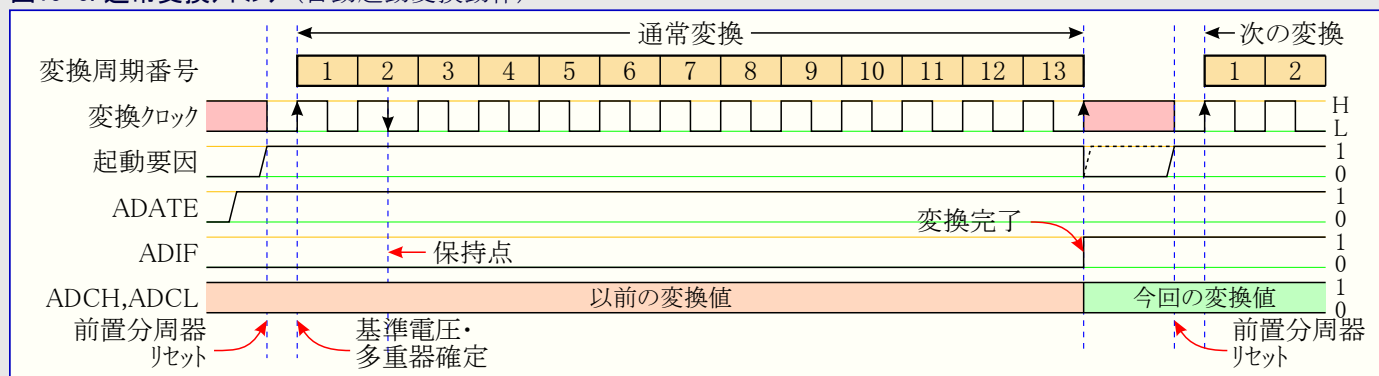
実際の採取&保持(保持開始点)は通常変換の開始後1.5変換クロック周期、初回変換の開始後13.5変換クロック周期で行われます。図19-5.をご覧ください。変換が完了すると、結果がA/Dデータレジスタ(ADCH,ADCL)に書かれ、ADCSRAのA/D変換完了割り込み要求フラグ(ADIF)が設定(1)されます。単独変換動作(ADATE=0)では同時にADCSRAのA/D変換開始(ADSC)ビットが解除(0)されます。その後ソフトウェアは再びADSCを設定(1)でき、新規変換は変換クロックの最初の上昇端で開始されます。

図19-5. 通常変換タイミング (単独変換動作)



自動起動が使われると、下の図19-6.で示されるように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。

図19-6. 通常変換タイミング (自動起動変換動作)



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。図19-7.をご覧ください。変換時間の要約については表19-1.をご覧ください。

図19-7. 連続変換動作タイミング

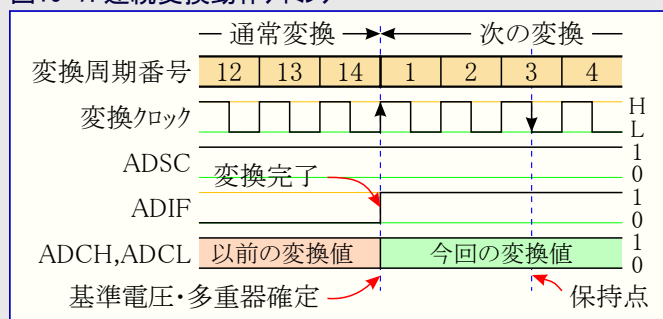


表19-1. A/D変換時間

変換種別	保持点	変換時間
初回変換	13.5	25
通常変換	1.5	13
自動起動変換	2	13.5
連続変換	2.5	14

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。

19.6. チャネル変更と基準電圧選択

A/D多重器選択レジスタ(ADMUX)のチャネル選択(MUX3~0)ビットと基準電圧選択(REFS1,0)ビットはCPUが不規則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うのを保証します。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(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を基準にされるかを知ることができません。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。

19.6.1. 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の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が。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が。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。

19.6.2. A/D変換基準電圧

このA/D変換基準電圧(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 エンド入力チャネルは\$3FFで打ち切る符号に帰着します。VREFはVCC、1.1V内部基準電圧、外部AREFピンのどれかとして選べます。1.1V内部基準電圧は内部増幅器を通して内部バンドギャップ基準電圧(VBG)から生成されます。

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。

19.7. 雑音低減機能

A/D変換部は**休止動作**中の変換を可能にする雑音低減機能が特徴です。これはCPUコアと他の周辺I/Oが誘導した雑音を減らします。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通常動作に留まります。

アイドル動作とA/D変換雑音低減動作を除く他の休止動作へ移行する時に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、このような休止動作へ移行する前にADENへ**0**を書くことが推奨されます。

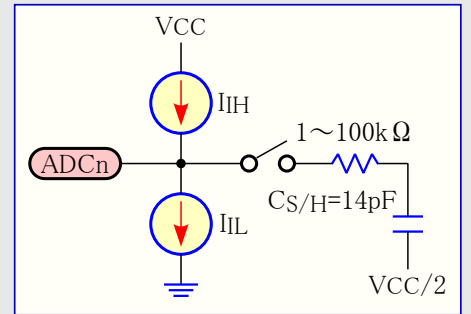
19.8. アナログ入力回路

シングル エンド入力チャネルのアナログ回路は**図19-8**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るため、使用者は緩やかに変化する信号を持つ低インピーダンス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19-8. アナログ入力回路



注: 図内のコンデンサ容量はS/Hコンデンサとデバイス内の何れかの浮遊容量または寄生容量を含む合計容量を叙述します。与えられた値は最悪(最大)値です。

19.9. 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の精度に影響を及ぼすかもしれないEMIを発生します。変換精度が重要なとき、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。

- アナログ信号経路を可能な限り最短にしてください。
- アナログ信号経路がアナログGND面上を走ることを確認してください。
- アナログ信号経路を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。
- 何れかのADCポートピンがデジタル出力として使われる場合、これらを変換進行中に決して切り替えてはなりません。
- 可能な限りVCCとGNDピンの近くにパコンを配置してください。

高いA/D変換精度が必要とされるとき、「**雑音低減機能**」で記述されるようにA/D変換雑音低減動作の使用が推奨されます。これは特にシステムクロック周波数が1MHz以上、または「**温度測定**」で記述されるようにA/D変換が内部温度感知器読み込みに使われる場合です。正しい外部パコン配置での良いシステム設計はA/D変換雑音低減動作の必要性を低減します。

19.10. 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19-9.

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19-10.

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19-11.

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19-12.

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19-9. 変位(オフセット)誤差

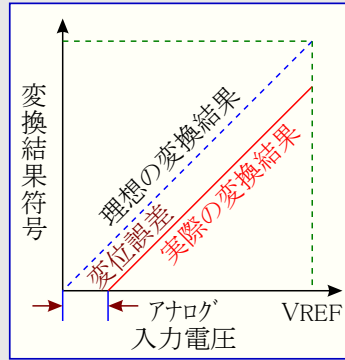


図19-10. 利得誤差

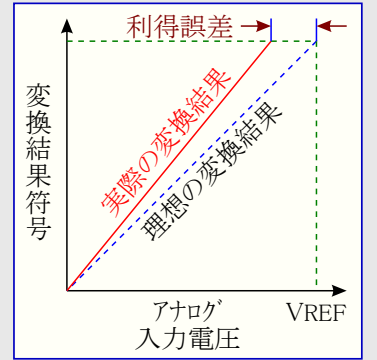


図19-11. 積分非直線性誤差

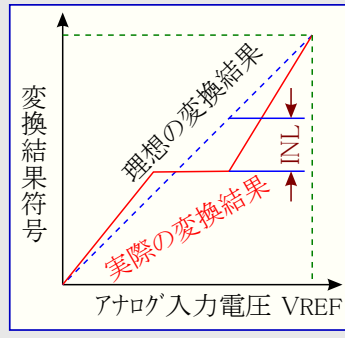
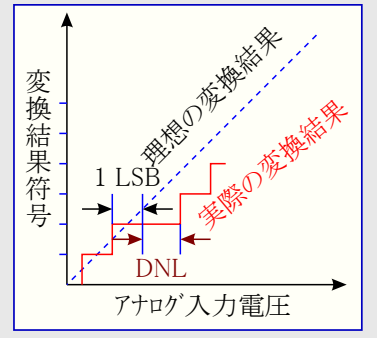


図19-12. 微分非直線性誤差



19.11. 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。

シングルエンド変換に対する結果は右です。

$$ADC = \frac{V_{IN} \times 1024}{V_{REF}}$$

ここでの V_{IN} は選んだ入力ピンの電圧で、 V_{REF} は選んだ基準電圧です(140頁の表19-3と表19-4をご覧ください)。\$000はアナログGNDを表し、\$3FFは選んだ基準電圧-1 LSBを表します。結果は\$03FF~\$0000の片側形式で表されます(訳補:±ではありません)。

19.12. 温度測定

温度測定はシングルエンドADCチャネルに連結されるチップ上の感知器に基づきます。温度感知器はADC12チャネルがA/D多重器選択(ADMUX)レジスタから選ばれる時に許可されます。温度測定時、ADC基準電圧供給元として内部基準電圧が選ばれなければなりません。許可時、A/D変換器は温度感知器上の電圧を測定するのに単独変換動作(ADATE=0)で使うことができます。

測定した電圧は表19-2.で示されるように温度に対して直線関係を持ちます。感度は概ね1 LSB/°Cで、精度は使用者校正に依存します。妥当な精度を得るために温度感知器はファームウェアによって校正されるべきです。代表的には、室温校正との仮定で、1点温度校正後の測定精度は $\pm 10^\circ\text{C}$ です。より良い精度は校正に対して2つの温度点を使うことで達せられます。

表19-2.に記載した値は代表値ですが、製法変化のため、温度感知器の出力電圧は或るチップと別のチップで変化します。より正確な結果を達成するために、温度測定は応用ソフトウェアで校正できます。校正ソフトウェアは次式を使って行なえます。

$$T(\text{温度}) = k \times (\text{ADCH} \ll 8 | \text{ADCL}) - T_{OS}$$

ここでのADCH:ADCLはA/D変換器データレジスタ、 k は固定傾斜係数、 T_{OS} は温度感知器変位(オフセット)値です。代表的に係数 k は1.0に大変近く、1点校正ではこの係数を省略できるかもしれません。

工場校正値は温度感知器データの校正に使うことができます。利得係数 k は符号なし固定小数点での2の補数、変位 T_{OS} は符号付き2の補数整数として格納されます。150頁の「デバイス識票銘刻部」をご覧ください。

表19-2. 温度対感知器出力電圧 (代表値)

温度(°C)	-40°C	+25°C	+85°C	+105°C
A/D変換値(LSB)	235	300	360	375

19.13. A/D変換用レジスタ

19.13.1. ADMUX – A/D多重器選択レジスタ (ADC Multiplexer Select Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$04 (\$24)	REFS1	REFS0	REFEN	ADCOEN	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 Selection Bits)

これらのビットは表19-3.で示されるようにA/D変換器の基準電圧を選びます。

表19-3. A/D変換部の基準電圧選択

REFS1	REFS0	基準電圧
0	0	基準電圧にVCC使用 (AREF(PA0)ピン切断。)
0	1	AREF(PA0)ピンの外部基準電圧 (内部1.1V基準電圧OFF。)
1	0	内部1.1V基準電圧 (AREF(PA0)ピン切断。)
1	1	(予約)

これらのビットが変換中に変更されると、その変更はこの変換が完了する(ADCSRAのADIF=1)まで実施しません。これらのビットが変更された時に次の変換が25A/D変換クロック周期かかることにも注意してください。

多重器や基準電圧設定の変更時にA/D変換器に長い変換を強制することが推奨されます。これは最初にA/D変換器をOFFにし、その後に関連設定を変更し、そしてA/D変換器をONに切り換えることによって行うことができます。代わりに、関連設定変更後の最初の変換結果は破棄されるべきです。

内部基準電圧任意選択は外部電圧がAREFピンに印加されている場合に使うことができません。

● ビット5 – REFEN :

このビットはQTouch用に予約されており、常に0として書いてください。

● ビット4 – ADC0EN :

このビットはQTouch用に予約されており、常に0として書いてください。

● ビット3~0 – MUX3~0 : A/Dチャネル選択 (Analog Channel Select Bits 3~0)

これらのビットの値は表19-4.で示されるように、A/D変換器に接続されるアナログ入力を選びます。ADC12チャネル選択は温度測定を許可します。詳細については表19-4.をご覧ください。

表19-4. シングルエンド入力チャネル選択

MUX3~0	アナログ入力チャネル	MUX3~0	アナログ入力チャネル	MUX3~0	アナログ入力チャネル	MUX3~0	アナログ入力チャネル
0000	ADC0 (PA3)	0100	ADC4 (PA7)	1000	ADC8 (PB3)	1100	0V (GND)
0001	ADC1 (PA4)	0101	ADC5 (PB0)	1001	ADC9 (PC0)	1101	1.1V (V _{BG}) (注1)
0010	ADC2 (PA5)	0110	ADC6 (PB1)	1010	ADC10 (PC1)	1110	ADC12 (温度) (注2)
0011	ADC3 (PA6)	0111	ADC7 (PB2)	1011	ADC11 (PC2)	1111	(予約)

注1: 内部基準電圧への切り換え後、A/D変換器は測定が安定する前に1msの安定時間が必要です。これ以前に開始された変換は信頼できません。A/D変換器は安定時間中に許可されなければなりません。

注2: 139ページの「温度測定」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、その変更はこの変換が完了する(ADCSRAのADIF=1)まで実施しません。

19.13.2. ADCSRA – A/D制御/状態レジスタA (ADC Control and Status Register A)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$03 (\$23)	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**が書かれると、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(ADCSR B)のA/D変換起動元選択(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変換が完了してA/Dデータレジスタが更新される時にこのフラグが設定(**1**)されます。ステータスレジスタ(SREG)の全割り込み許可(**1**)ビットとA/D変換完了割り込み許可(ADIE)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**)されません。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。

● **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**が書かれ、SREGの全割り込み許可(**1**)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19-5. A/D変換器前置分周器選択

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
分周係数	2	2	4	8	16	32	64	128

19.13.3. ADCSRB – A/D変換 制御/状態レジスタB (ADC Control and Status Register B)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$02 (\$22)	V DEN	V DP D	-	-	ADLAR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADCSR B
Read/Write	R/W	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 – V DEN :**

このビットはQTouch用に予約されており、常に**0**として書いてください。

● **ビット6 – V DP D :**

このビットはQTouch用に予約されており、常に**0**として書いてください。

● **ビット5,4 – Res : 予約 (Reserved Bits)**

これらは予約ビットです。将来のデバイスとの共通性のため、常にこれらのビットへ**0**を書いてください。

● **ビット3 – 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次ページの「A/Dデータレジスタ」をご覧ください。

● **ビット2~0 – ADTS2~0 : A/D変換自動起動元選択 (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**が書かれると、これらのビット値はどの起動元がA/D変換を起動するのかわを選びます。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19-6. A/D変換自動起動元選択

ADTS2	ADTS1	ADTS0	起動元	ADTS2	ADTS1	ADTS0	起動元
0	0	0	連続変換動作	1	0	0	タイマ/カウンタ0溢れ
0	0	1	アナログ比較器	1	0	1	タイマ/カウンタ1比較B一致
0	1	0	外部割り込み要求0	1	1	0	タイマ/カウンタ1溢れ
0	1	1	タイマ/カウンタ0比較A一致	1	1	1	タイマ/カウンタ1捕獲要求

19.13.4. ADCH,ADCL – A/Dデータレジスタ (ADC Data Register)

ADLAR=0時									
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$01 (\$21)	-	-	-	-	-	-	ADC9	ADC8	ADCH
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$00 (\$20)	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
初期値	0	0	0	0	0	0	0	0	
ADLAR=1時									
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8	
	ADC9	ADC8	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADCH
ビット	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2つのレジスタで得られます。

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ります。さもなければADCLが先に、その後にADCHが読まれなければなりません。

A/D変換制御/状態レジスタB(ADCSR)の左揃え選択(ADLAR)ビットとA/D多重器選択レジスタ(ADMUX)のA/Dチャンネル選択(MUX3~0)ビットは、この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)されると結果は左揃えにされます。ADLARが解除(0)されると(既定)、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139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。

19.13.5. DIDR0 – デジタル入力禁止レジスタ0 (Digital Input Disable Register 0)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
(\$60)	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	AIN1D	AIN0D	AREFD	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7~3 – ADC4D~ADC0D : ADC4~0 デジタル入力禁止 (ADC4~0 Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、対応するADCn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ADCn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に、そのビットは論理1を書かれるべきです。

● ビット0 – AREFD : AREF デジタル入力禁止 (AREF Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、AREF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AREF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に、そのビットは論理1を書かれるべきです。

19.13.6. DIDR1 – デジタル入力禁止レジスタ1 (Digital Input Disable Register 1)

ビット (\$61)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	ADC8D	ADC7D	ADC6D	ADC5D	DIDR1
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3~0 – ADC8D~ADC5D : ADC8~5 デジタル入力禁止 (ADC8~5 Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、対応するADCn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ADCn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に、そのビットは論理1を書かれるべきです。

19.13.7. DIDR2 – デジタル入力禁止レジスタ2 (Digital Input Disable Register 2)

ビット (\$62)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	-	ADC11D	ADC10D	ADC9D	DIDR2
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2~0 – ADC11D~ADC9D : ADC11~9 デジタル入力禁止 (ADC11~9 Digital Input Disable)

このビットが論理1を書かれると、対応するADCn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ADCn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に、そのビットは論理1を書かれるべきです。

20. デバッグWIRE 内蔵デバッグ システム

20.1. 特徴

- 完全なプログラムの流れ制御
- RESETピンを除くデジタルとアナログ両方でのチップ全機能のエミュレート
- 実時間(リアルタイム)動作
- シンボリック デバッグ支援 (アセンブリ及びC言語または他の高位言語)
- 無制限数のプログラム中断点(ブレークポイント: ソフトウェア中断点使用)
- 邪魔しない動作
- 実デバイスと同じ電気的特性
- 自動設定システム
- 高速動作
- 不揮発性メモリのプログラミング

20.2. 概要

デバッグWIRE内蔵デバッグ システムはCPUでのAVR命令実行、プログラムの流れ制御、各種不揮発性メモリのプログラミングのための1本線の双方向インターフェースを使います。

20.3. 物理インターフェース

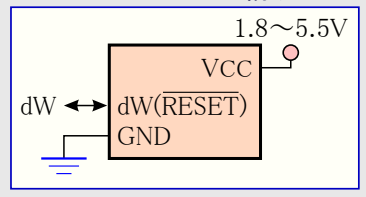
デバッグWIRE許可(DWEN)ヒューズがプログラム(0)され、施錠ビットが非プログラム(1)にされると、対象デバイス内のデバッグWIREシステムが活性(有効)にされます。RESETポートピンはプルアップ許可のANDタイ(オープンドレイン)双方向I/Oピンとして設定され、対象デバイスとエミュレータ間の通信路になります。

図20-1.はエミュレータと許可したデバッグWIREでの対象MCUとの接続の図を示します。システムクロックはデバッグWIREによって影響を及ぼされず、常にCKSELヒューズで選んだクロック元です。

デバッグWIREが使われるシステムの設計時、正しい動作のために次の注意点が厳守されなければなりません。

- dW/(RESET)線のプルアップ抵抗は10k~20kΩの範囲でなければなりません。けれどもこのプルアップ抵抗は任意です。
- RESETピンのVCCへの直接的な接続では動作しません。
- RESETピンに挿入したコンデンサはデバッグWIRE使用時、切断されなければなりません。
- 全ての外部リセット元は切断されなければなりません。

図20-1. デバッグWIRE構成図



20.4. ソフトウェア中断点 (ブレークポイント)

デバッグWIREはAVRのBREAK命令によってプログラムメモリの中断点を支援します。AVR Studio®での中断点設定はプログラムメモリにBREAK命令を挿入します。BREAK命令で置換した(元の)命令は保存されます。プログラム実行が継続される時、プログラムメモリから継続される前に保存した命令が実行されます。一時停止(ブレーク)はプログラムにBREAK命令を置くことによって手動で挿入できます。

フラッシュメモリは中断点の変更される度に書き換えされなければなりません。これはデバッグWIREインターフェースを通してAVR Studioによって自動的に操作されます。従って中断点の使用はフラッシュメモリのデータ保持力を低下させます。デバッグ目的に使ったデバイスは最終顧客へ出荷すべきではありません。

20.5. デバッグWIREの制限

デバッグWIRE通信(dW)ピンは物理的に外部リセット(RESET)と同じピンに配置されます。従ってデバッグWIREが許可されると、外部リセット元が支援されません。

デバッグWIREシステムは全速度、換言するとCPUのプログラムが走行する時に全I/O機能を正確エミュレートします。CPUが停止される時にデバッグ(AVR Studio)経由でいくつかのI/Oレジスタをアクセスする間、注意が妨げられなければなりません。この制限の詳細説明についてはデバッグWIRE資料をご覧ください。

デバッグWIREインターフェースはデバッグがシステムクロックに同期する必要があることを意味する、非同期です。システムクロックがソフトウェア(例えばCLKPSビット書き込み)によって変更されると、デバッグWIRE経由通信は失敗するかもしれません。また、100kHz未満のクロック周波数は通信問題を引き起こすかもしれません。

プログラム(0)にしたDWENヒューズは全休止形態でクロック系のいくつかの部分の走行を許可します。これは休止間中の消費電力を増加します。従ってDWENヒューズはデバッグWIREが使われない場合、禁止されるべきです。

20.6. デバッグWIRE用レジスタ

次項はデバッグWIREで使うレジスタを記述します。

20.6.1. DWDR – デバッグWIRE データレジスタ (debugWIRE Data Register)

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2E (\$4E)	(MSB)							(LSB)	DWDR
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	

DWDRはMCU内で走行する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。このレジスタはデバッグWIREでだけアクセス可能で、従って通常動作で一般目的レジスタとして使えません。

21. 自己プログラミング

21.1. 特徴

- 自己プログラミングはMCUに 응용メモリの消去、書き込み、再書き込みを許します。
- 効率的な読み-変更-書き支援
- 施錠ビットは 응용メモリに更なるアクセスに対する閉鎖保護を許します。

21.2. 概要

デバイスはMCU自身によってプログラムコードのダウンロードとアップロード用の自己プログラミング機構を提供します。自己プログラミングはプログラムメモリ内にコードを書いてコードを読むのに利用可能などんなインターフェースと関連規約も使うことができます。

21.3. 施錠ビット

プログラムメモリは内部または外部のアクセスから保護することができます。149頁の「施錠ビット」をご覧ください。

21.4. 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。一時ページ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は消去されなければなりません。一時ページ緩衝部はSPM命令を用いて一度に1語(ワード)ずつ満たされ、この緩衝部は4ページ消去命令前、または4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 (4ページ消去前の緩衝部格納)

- a. 一時ページ緩衝部を満たしてください。
- b. 4ページ消去を実行してください。
- c. ページ書き込みを実行してください。

手段2 (4ページ消去後の緩衝部格納)

- a. 4ページ消去を実行してください。
- b. 一時ページ緩衝部を満たしてください。
- c. ページ書き込みを実行してください。

4ページ消去命令は同時に4つのプログラムメモリページを消去します。この区分の1部だけが変更を必要とされる場合、残りは消去前に格納されてその後に再書き込みされなければなりません。

一時ページ緩衝部は乱手順でアクセスできます。

SPM命令は既定で禁止ですが、SELFPRGENヒューズを(0)にプログラミングすることで許可することができます。

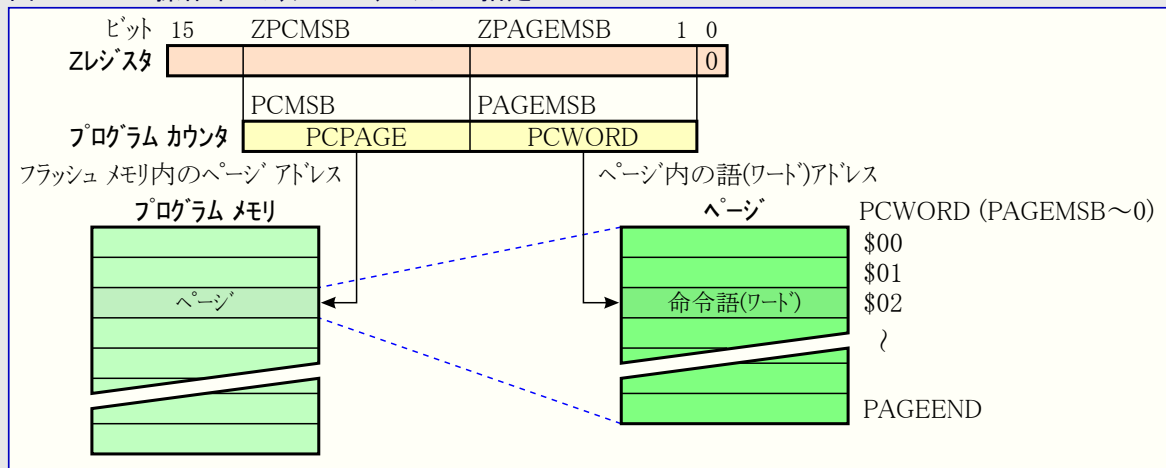
21.4.1. 自己プログラミング中のフラッシュメモリのアドレス指定

Zポインタ(レジスタ)はSPM命令でのアドレス指定に使われます。

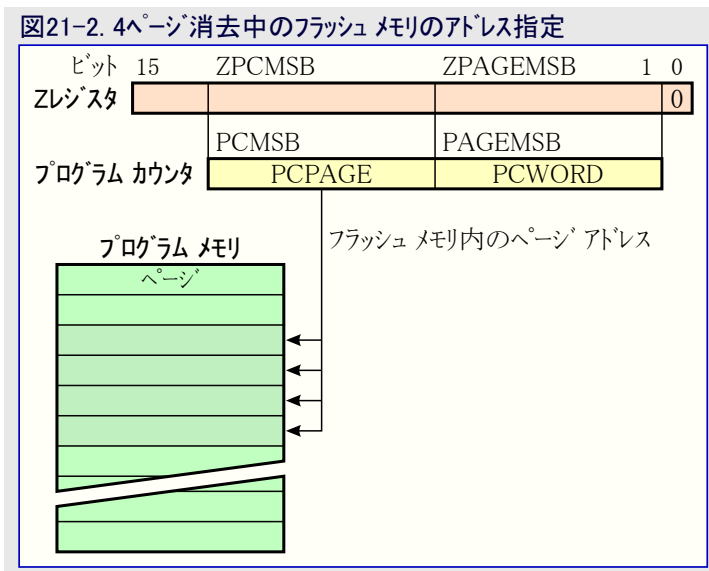
ビット	15	14	13	12	11	10	9	8
ZH (R31)	Z15	Z14	Z13	Z12	Z11	Z10	Z9	Z8
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
ZL (R30)	Z7	Z6	Z5	Z4	Z3	Z2	Z1	Z0

フラッシュメモリがページで構成されるため(153頁の表23-1.をご覧ください。)、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なり取り扱われます。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。これは下の図21-1.で示されます。

図21-1. SPM操作中のフラッシュメモリのアドレス指定



4ページ消去命令は下の図21-2.で示されるように、別々のプログラム メリ ページをアドレス指定します。



上図で使われる変数は下の表21-1.で説明されます。

表21-1. フラッシュ メリ アドレス指定で使われた変数

変数	説明
PCPAGE	プログラム カウンタ ページ アドレス。ページ設定とページ書き込みの命令に対するプログラム メリ ページを選びます。4ページ消去操作に対するプログラム メリ の塊を選びます。 153頁の表23-1.をご覧ください。
PCMSB	プログラム カウンタの最上位ビット。 153頁の表23-1.をご覧ください。
ZPCMSB	PCMSBに割り当てられるZレジスタ内のビット。Z0が使われないため、ZPCMSB=PCMSB+1。ZPCMSBを超えるZレジスタのビットは無視されます。
PCWORD	プログラム カウンタ語(ワード) アドレス。ページ内の語を選びます。これは一時緩衝部を満たすのに使われ、ページ書き込み操作中は0でなければなりません。 153頁の表23-1.をご覧ください。
PAGESMSB	ページ内の語をアドレス指定するのに使われる最上位ビット。
ZPAGESMSB	PAGESMSBに割り当てられるZレジスタ内のビット。Z0が使われないため、ZPAGESMSB=PAGESMSB+1。

4ページ消去とページ書き込みの操作が独立してメモリをアドレス指定することに注意してください。従ってソフトウェアは4ページ消去命令によって先に消去されたページをページ書き込み命令がアドレス指定するのを確実にしなければなりません。

SPM命令に対してZレジスタの最下位ビット(Z0)が0にされるべきとは言え、LPM命令がフラッシュ メリ をバイト単位でアドレス指定し、Z0をバイト選択ビットとして使うことに注意すべきです。

一旦プログラミング操作が開始されると、アドレスはラッチされ、Zポインタは他の操作に使うことができます。

21.4.2. 4ページ消去

この命令はプログラム メリ の4ページを消去します。4ページ消去を実行するのは次のとおりです。

- Zポインタにアドレスを設定してください。
- SPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)に'00000011'を書いてください。
- 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レジスタのPCPAGEに書かれなければなりません。PCPAGE1,0はZポインタの他の無効ビットのように無視されます。

上の時間制限手順中に割り込みが起こる場合に4周期アクセスを保証することができません。非分断操作を保証するためにSPMCSR書き込み前に割り込みが禁止されるべきです。

4ページ消去中にCPUは停止されます。

21.4.3. ページ設定

命令語(ワート)を書くのは次のとおりです。

- Zポインタにアドレスを設定してください。
- R1:R0にデータを設定してください。
- SPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)に'00000001'を書いてください。
- 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レジスタでのPCWORDの内容は一時緩衝部内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の一時ページ緩衝部解除(CTPB)ビット(=1)書き込みによって自動消去されます。システムリセット後も消去されます。

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。

SPMページ設定操作の途中でEEPROMが書かれる場合、設定した全てのデータが失われます。

21.4.4. ページ書き込み

ページ書き込み実行するのは次のとおりです。

- Zポインタにアドレスを設定してください。
- SPMCSRに'00000101'を書いてください。
- 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りません。この操作中、Zポインタの他のビットは0を書かれなければなりません。

ページ書き込み操作中にCPUは停止されます。

21.4.5. EEPROMプログラミング時にSPMCSR書き込み不可

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書き込み動作中に妨げられます。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。

21.5. 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)。

- 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。

21.6. SPM命令使用時のフラッシュメモリ用プログラミング時間

フラッシュメモリアクセスは内部の校正付き8MHz発振器を用いて計時されます。CPUに対する代表的なフラッシュメモリプログラミング時間は表21-2.で示されます。

表21-2. SPMプログラミング時間

操作	最小 (注)	最大 (注)
SPM : フラッシュ 4ページ消去、フラッシュ ページ書き込み、施錠ビット書き込み	3.7ms	4.5ms

注: 最小と最大のプログラミング時間は(項目の)個別操作毎に対してです。

21.7. 自己プログラミング用レジスタ

21.7.1. SPMCSR – SPM命令制御/状態レジスタ (Store Program Memory Control and Status Register)

このレジスタはプログラムメモリ操作を制御するために必要とする制御ビットを含みます。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$37 (\$57)	–	–	RSIG	CTPB	RFLB	PGWRT	PGERS	SPMEN	SPMCSR
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	

● ビット7,6 – Res : 予約 (Reserved Bits)

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 – RSIG : デバイス識票銘刻読み込み (Read Device Signature Imprint Table)

SPMCSRでRSIGとSPMENが設定(1)された後の3クロック周期内のLPM命令実行はデバイス識票銘刻部から(Zポインタ値に依存する)選んだデータを転送先レジスタ内に返します。詳細については150頁の「デバイス識票銘刻部」をご覧ください。

● ビット4 – CTPB : 一時ページ緩衝部解除 (Clear Temporary Page Buffer)

一時ページ緩衝部を満たしている間にCTPBビットが1を書かれると、一時ページ緩衝部は解除され、データが失われます。

● ビット3 – RFLB : ヒューズ/施錠ビット読み込み (Read Fuse and Lock Bits)

SPMCSRでRFLBとSPMENが設定(1)された後の3クロック周期内のLPM命令は(ZポインタのZ0に依存して)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151頁の「ソフトウェアからのヒューズ、施錠、識票データの読み出し」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、自動解除(0)されます。ページ全体の書き込み動作の間、CPUは停止されます。

● ビット1 – PGERS : ページ消去 (Page Erase)

PGERSとSPMENの4クロック周期内のSPM命令は4ページ消去の開始に設定します。ページアドレスはZポインタの上位部から取られます。R1とR0のデータは無視されます。このビットは4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、自動解除(0)されます。4ページ消去操作全体の間、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、SPM命令を許可します。このビットがRSIG,CTPB,RFLB,PGWRT,PGERSのどれかと共に1に設定されると、別のところで記述されるように続くSPM命令は特別な意味を持ちます。

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、自動解除(0)されます。4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。

22. 施錠ビット、ヒューズビット、デバイス識別

22.1. 施錠ビット

ATtiny1634は表22-1.で一覧にされるプログラムとデータのメモリ施錠ビットを提供します。

表22-1. 施錠ビットバイト

名称	ビット番号	説明	参照	既定値 (注)
-	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)
-	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	下	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。

施錠ビットは非プログラム(1)のままにする、または表22-2.で一覧される付加機能を得るためにプログラム(0)にすることができます。

表22-2. 施錠ビット保護形態

メモリ施錠ビット			保護形態
種別番号	LB2 (注1)	LB1 (注1)	直列、並列、またはデバッグWIRE経由プログラミングに対する保護
1	1	1	メモリ施錠機能は全く許可されません。
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2)
-	0	1	(予約)
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。ヒューズビットが固定されます。(注2)

注1: 0はプログラム、1は非プログラムを意味します。

注2: 施錠ビットを書く前にヒューズビットを書いてください

施錠ビットをプログラミングする時に、保護形態は増加することだけができます。同じまたはより低い保護形態の書き込みは自動的に最大保護に帰着します。

施錠ビットはチップ消去指令でだけ'1'に消去することができます。

ATtiny1634は独立したブートローダ領域を持ちません。自己プログラミング許可(SELFPRGEN)ヒューズがプログラム(0)される場合にSPM命令はフラッシュメモリ全体に対して許可され、さもなければ禁止されます。

22.2. ヒューズビット

ヒューズビットは表22-3.、表22-4.、表22-5.で記述されます。プログラムされたヒューズが0として読まれることに注意してください。

表22-3. 拡張ヒューズバイト

名称	ビット	使用	参照	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)
BODPD1	4	デバイスがアイドル以外の休止動作形態の時の低電圧検出(BOD)動作形態を設定	30頁	1 (非プログラム)
BODPD0	3			1 (非プログラム)
BODACT1	2	デバイスが活動またはアイドル動作時の低電圧検出(BOD)動作形態を設定	30頁	1 (非プログラム)
BODACT0	1			1 (非プログラム)
SELFPRGEN	0	SPM命令を許可	145頁	1 (非プログラム)

表22-4. ヒューズ 上位バイト

名称	ビット	使用	参照	既定値
RSTDISBL	7	外部リセットを禁止 (注1)	30頁	1 (非プログラム)
DWEN	6	デバッグWIREを許可 (注1)	144頁	1 (非プログラム)
SPIEN	5	デバイスへの直列プログラミングを許可 (注2)		0 (プログラム) (注3)
WDTON	4	ウォッチドッグ タイマを定常的にON設定	31頁	1 (非プログラム)
EESAVE	3	チップ消去操作中にEEPROM内容を保護	154頁	1 (非プログラム) (注4)
BODLEVEL2	2	低電圧検出(BOD)リセット検出電圧設定	165頁	1 (非プログラム)
BODLEVEL1	1			1 (非プログラム)
BODLEVEL0	0			1 (非プログラム)

注1: このヒューズ ビットのプログラム(0)はRESETの機能を変更し、直列インターフェース経由の更なるプログラミングの可能性を放棄します。このヒューズ ビットは並列プログラミング法を使って非プログラム(1)にすることができます(153頁をご覧ください)。

注2: このヒューズ ビットは直列プログラミング形態でアクセスできません。

注3: この設定はSPI(直列)プログラミングを許可します。

注4: この設定はEEPROMを保護しません。

表22-5. ヒューズ 下位バイト

名称	ビット	使用	参照	既定値
CKDIV8	7	クロックを8分周 (注1)	20頁	0 (プログラム)
CKOUT	6	ポートピンでシステム クロックを出力	20頁	1 (非プログラム)
-	5	-		1 (非プログラム)
SUT	4	システム始動時間を設定	21頁	0 (プログラム) (注2)
CKSEL3	3	クロック元を選択	21頁	0 (プログラム) (注3)
CKSEL2	2			0 (プログラム) (注3)
CKSEL1	1			1 (非プログラム) (注3)
CKSEL0	0			0 (プログラム) (注3)

注1: 低電圧でのこのヒューズの非プログラム(1)は過剰クロック駆動に帰着するかもしれません。デバイス速度対供給電圧については164頁の「速度」項をご覧ください。

注2: この設定は既定クロック元に対する最大始動時間に帰着します。

注3: この設定は校正付き内部8MHz発振器を選びます。

ヒューズ ビットは施錠ビット1(LB1)がプログラム(0)される時に固定されます。従って、ヒューズ ビットは施錠ビットの前にプログラミング(書き込み)されなければなりません。

ヒューズ ビットはチップ消去によって影響を及ぼされません。

22.2.1. 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。ヒューズは標準動作形態での電源投入でもラッチされます。

22.3. デバイス識票銘刻部

デバイス識票銘刻部はデバイス識票と発振器校正データのような種々雑多なデバイス情報の格納に使われる専用のメモリ領域です。表22-6で略述されるように、このメモリ領域の殆どは内部使用に予約されています。

デバイス自身がLPM命令でデータを読む時にはバイトアドレスが使われます。外部書き込み装置は語(ワード)アドレスを使わなければなりません。

表22-6. デバイス識票銘刻部の内容

語アドレス (外部)	バイトアドレス (内部)	説明
\$00	\$00	識票バイト0 (注1)
	\$01	内部8MHz発振器用校正データ (OSCCAL0) (注2)
\$01	\$02	識票バイト1 (注1)
	\$03	発振器温度校正データ (OSCTCAL0A)
\$02	\$04	識票バイト2 (注1)
	\$05	発振器温度校正データ (OSCTCAL0B)
\$03	\$06	(予約)
	\$07	内部32kHz発振器用校正データ (OSCCAL1) (注2)
\$04~\$15	\$08~	(予約)
	~\$2B	(予約)
\$16	\$2C	温度感知器用校正データ (利得) (注3,4)
	\$2D	温度感知器用校正データ (変位(オフセット)) (注3,5)
\$17~\$3F	\$2E~	(予約)
	~\$7F	(予約)

注1: より多くの情報については下の「識票バイト」をご覧ください。

注2: より多くの情報については下の「校正バイト」をご覧ください。

注3: 139頁の「温度測定」をご覧ください。

注4: 符号なし2の補数固定小数点 [0~(255/128)]

注5: 符号付き2の補数整数 [-127~+128]

22.3.1. 識票バイト

全てのAtmelマイクロ コントローラはデバイス識別する3バイトの識票符号を持ちます。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る時も読むことができます。

識票バイトはデバイスファームウェアによって読むこともできます。「ソフトウェアからの施錠、ヒューズ、識票データの読み出し」項をご覧ください。

この3バイトの識票バイトはデバイス識票銘刻部と呼ばれる分離された空間に存在します。ATtiny1634用の識票バイトは表22-7.で与えられます。

表22-7. デバイス識票バイト

部品番号	識票バイト		
	0	1	2
ATtiny1634	\$1E	\$94	\$12

22.3.2. 校正バイト

表22-6.で示されるようにATtiny1634のデバイス識票銘刻部は内部発振器用の校正データを含みます。リセット中、校正付き発振器の正しい周波数を保証するために、校正データが校正レジスタ(OSCCAL0,OSCCAL1)へ自動的に複写されます。23頁の「OSCCAL0 - 発振器校正レジスタ」と24頁の「OSCCAL1 - 発振器校正レジスタ」をご覧ください。

校正バイトはデバイスファームウェアによって読むこともできます。「ソフトウェアからの施錠、ヒューズ、識票データの読み出し」項をご覧ください。

22.4. ソフトウェアからの施錠、ヒューズ、識票データの読み出し

ヒューズと施錠ビットはデバイスファームウェアによって読むことができます。プログラム(0)されたヒューズと施錠ビットは0を、非プログラム(1)にされたものは1として読みます。149頁の「施錠ビット」と149頁の「ヒューズビット」をご覧ください。

加えて、ファームウェアはデバイス識票銘刻部からデータを読むこともできます。150頁の「デバイス識票銘刻部」をご覧ください。

22.4.1. 施錠ビット読み出し

SPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)でフラッシュ/施錠ビット読み込み(RFLB)とSPM操作許可(SPMEN)のビットが設定(1)された後の3 CPU周期内でLPM命令が発行された後、転送先レジスタ内に施錠ビット値が返されます。RFLBとSPMENのビットは施錠ビット読み出しの完了で、または3 CPU周期内でLPM命令が実行されない、または4 CPU周期内でSPM命令が実行されない場合、自動的に解除(0)されます。通常、RFLBとSPMENのビットが解除(0)されるのはLPMの作用です。

施錠ビットを読むには以下の手続きに従ってください。

1. Zポインタに\$0001を格納してください。
2. SPMCSRでRFLBとSPMENのビットを設定(1)してください。
3. 3クロック周期内にLPM命令を発行してください。
4. LPM転送先レジスタから施錠ビット値を読んでください。

成功なら、転送先レジスタの内容は次のとおりです。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	-	-	-	-	-	-	LB2	LB1

より多くの情報については149頁の「[施錠ビット](#)」をご覧ください。

22.4.2. ヒューズビット読み出し

ヒューズバイトを読む方法はアドレスが異なるだけで上記の施錠ビット読み出しと同様です。

ヒューズ下位バイト(FLB)を読むには以下の手続きに従ってください。

1. Zポインタに\$0000を格納してください。
2. SPMCSRでRFLBとSPMENのビットを設定(1)してください。
3. 3クロック周期内にLPM命令を発行してください。
4. LPM転送先レジスタからFLB値を読んでください。

成功なら、転送先レジスタの内容は次のとおりです。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	FLB7	FLB6	-	FLB4	FLB3	FLB2	FLB1	FLB0

ヒューズ下位バイトの詳細記述と配置については150頁の表22-5をご覧ください。

ヒューズ上位バイト(FHB)を読むにはZポインタ内のアドレスを\$0003に置き換え、上の手続きを繰り返してください。成功なら、転送先レジスタの内容は次のとおりです。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	FHB7	FHB6	FHB5	FHB4	FHB3	FHB2	FHB1	FHB0

ヒューズ上位バイトの詳細記述と配置については150頁の表22-4をご覧ください。

ヒューズ拡張バイト(FEB)を読むにはZポインタ内のアドレスを\$0002に置き換え、直前の手続きを繰り返してください。成功なら、転送先レジスタの内容は次のとおりです。

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	-	-	-	FEB4	FEB3	FEB2	FEB1	FEB0

ヒューズ拡張バイトの詳細記述と配置については149頁の表22-3をご覧ください。

22.4.3. デバイス識票銘刻部読み出し

デバイス識票銘刻部の内容を読むには以下の手続きに従ってください。

1. Zポインタに銘刻指示子を格納してください。
2. SPM命令制御/状態レジスタ(SPMCSR)でデバイス識票銘刻読み込み(RSIG)とSPM操作許可(SPMEN)のビットを設定(1)してください。
3. 3クロック周期内にLPM命令を発行してください。
4. LPM転送先レジスタから表データ値を読んでください。

成功なら、転送先レジスタの内容は150頁の「[デバイス識票銘刻部](#)」項で記述されたとおりです。

以下のプログラム例をご覧ください。

アセンブリ言語プログラム例		
DSIT_read:	LDI ZH, 0	; 表指示子上位バイト値設定
	LDI ZL, 1	; 表指示子下位バイト値設定
	LDI R17, (1<<RSIG) (1<<SPMEN)	; RSIG,SPMEN=1値取得
	OUT SPMCSR, R17	; RSIG,SPMEN=1設定
	LPM R16, Z	; \$0001位置の識票値取得
	RET	; 呼び出し元へ復帰

注: 5頁の「[コード例](#)」をご覧ください。

23. 外部プログラミング

本章はATtiny1634内のフラッシュメモリ、EEPROM、施錠ビット、ヒューズビットの書き込みと検証の方法を記述します。

23.1. メモリの要素

フラッシュメモリの要素は下の表23-1.で要約されます。

表23-1. フラッシュメモリの要素

デバイス	フラッシュ容量	ページ容量	PCWORD (注)	ページ数	PCPAGE (注)	PCMSB (注)
ATtiny1634	8K語(16Kバイト)	16語	PC3~0	512	PC12~4	12

注: 146頁の表21-1.をご覧ください。

EEPROMの要素は下の表23-2.で要約されます。

表23-2. EEPROMの要素

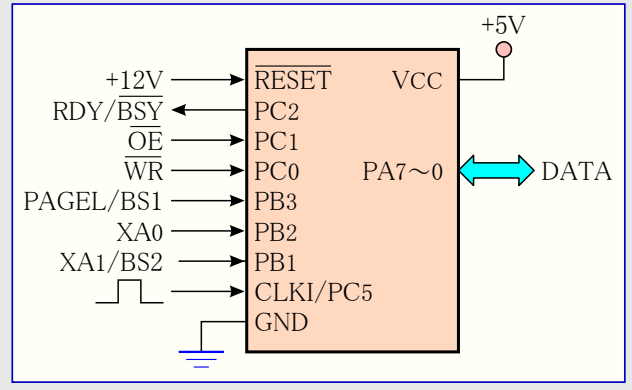
デバイス	EEPROM容量	ページ容量	PCWORD (注)	ページ数	PCPAGE (注)	EEAMSB
ATtiny1634	256バイト	4バイト	EEA1~0	64	EEA7~2	7

注: 146頁の表21-1.をご覧ください。

23.2. 並列プログラミング

並列プログラミング信号と接続は右の図23-1.で図解されます。

図23-1. 並列プログラミング信号



信号は下の表23-3.で記述されます。下表で示されないピンはピン名によって参照されます。

表23-3. プログラミング動作で使われるピンと信号の名前

信号名	ピン名	入出力	機能
RDY/BSY	PC2	出力	0(Low): 多忙(プログラミング中) 1(High): 準備可(指令受付可)
OE	PC1	入力	出力許可(負論理)
WR	PC0	入力	書き込みパルス(負論理)
PAGEL/BS1 (注)	PB3	入力	一時ページ緩衝部に設定 / 上位/下位バイト選択1 (0:下位, 1:上位) (一般用)
XA0	PB2	入力	XTAL動作ビット0
XA1/BS2 (注)	PB1	入力	XTAL動作ビット1 / 上位/下位バイト選択2 (0:下位, 1:上位) (ヒューズビット用)
DATA	PA7~0	入出力	双方向データバス (OE=Low時出力)

注: このピンは2つの異なる制御信号に対して使われます。以降の記述で、通常1つの信号(名)だけが参照されます。例えば、「BS1に正パルスを与える」は「PAGEL/BS1に正パルスを与える」と同等です。

特記事項を除いて、パルス幅は最低250nsと仮定されます。

表23-4. プログラミング動作移行時のピン値

ピン名	シンボル	値
WR	Prog_enable[3]	0
PAGEL/BS1	Prog_enable[2]	0
XA0	Prog_enable[1]	0
XA1/BS2	Prog_enable[0]	0

(訳注) 原書に於ける「並列プログラミング」項で、多重制御信号に関する殆どの記述が個別制御信号用のままになっているため、本書では多重制御信号を持つ他のデータシートに従って修正しています。

XA0とXA1ピンはCLKI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23-5.で示されます。

表23-5. XA0とXA1の符号化(機能)

XA1	XA0	CLKI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)

\overline{WR} または \overline{OE} パルスを送るとき、設定した指令が実行される動作を決めます。各種指令は表23-6.で示されます。

表23-6. 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)	識票バイト、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		

23.2.1. 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(高電圧)並列プログラミング動作にします。

- ① VCCを0V、 \overline{RESET} ピンを0V、153頁の表23-4.で一覧されるProg_enableピンを全てLow(0)に設定します。
- ② VCCとGND間に4.5~5.5Vを印加します。
- ③ 20 μ s以内にVCCが最低1.8Vに達することを保証してください。
- ④ 20~60 μ s待ち、 \overline{RESET} に11.5~12.5Vを印加します。
- ⑤ Prog_enable識別のラッチを確実にするため、高電圧が印加されてしまった後、最低10 μ s、Prog_enableピンを無変化に保ちます。
- ⑥ 如何なる並列プログラミング指令を与えるのにも先立って少なくとも300 μ s間待ちます。
- ⑦ デバイスの電源を落とすか、 \overline{RESET} ピンを0Vに持つてくることによってプログラミング動作を抜けます。

VCCの上昇時間が上で示した必要条件を完全に満たせない場合、次の代替手順が使えます。

- ① VCCを0V、 \overline{RESET} ピンを0V、153頁の表23-4.で一覧されるProg_enableピンを全てLow(0)に設定します。
- ② VCCとGND間に4.5~5.5Vを印加します。
- ③ VCCを監視し、0.9~1.1Vに達したら直ぐ、 \overline{RESET} に11.5~12.5Vを印加します。
- ④ Prog_enable識別のラッチを確実にするため、高電圧が印加されてしまった後、最低10 μ s、Prog_enableピンを無変化に保ちます。
- ⑤ 如何なる並列プログラミング指令を与えるのにも先立ってVCCが実際に4.5~5.5Vに達するまで待ちます。
- ⑥ デバイスの電源を落とすか、 \overline{RESET} ピンを0Vに持つてくることによってプログラミング動作を抜けます。

23.2.2. 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。

23.2.3. チップ消去

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。チップ消去はフラッシュメモリ、EEPROM、施錠ビットの全てを消去します。EESAVEヒューズがプログラム(0)されている場合、EEPROMは消去されません。

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」指令は以下のように設定されます。

- 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 CLKI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 \overline{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/ \overline{BSY} がLow(0)になります。
- ⑥ 次の指令を設定する前にRDY/ \overline{BSY} がHigh(1)になるまで待ちます。

23.2.4. フラッシュ メモリ書き込み

フラッシュ メモリは153頁の表23-1.で示されるようにページで構成されます。フラッシュ メモリを書く時にプログラム データは先にページ緩衝部にタッチされます。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 CLKI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 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 CLKI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 CLKI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 CLKI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. 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~Dを繰り返し

アドレス内の下位ビットがページ内の語(ワード)位置を指示する一方で、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。これは次頁の図23-2.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。

F. アドレス上位バイト設定

- 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 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~\$1F)を設定します。
- ④ CLKI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。

G. ページ書き込み

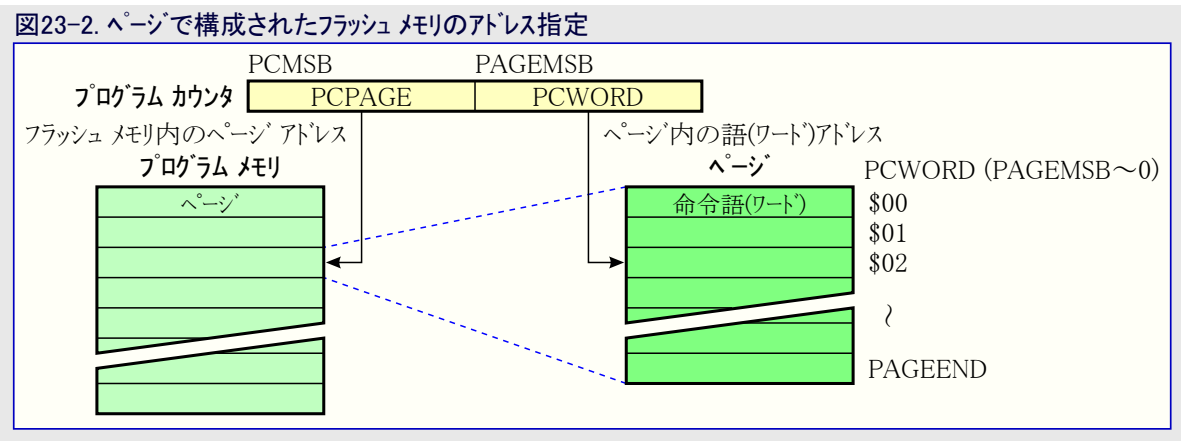
- ① BS1をLow(0)に設定します。
- ② \overline{WR} に負パルスを与えます。これはデータのページ全体の書き込みを開始します。RDY/ \overline{BSY} がLow(0)になります。
- ③ RDY/ \overline{BSY} がHigh(1)になるまで待ちます。(信号波形については次頁の図23-3.をご覧ください。)

H. 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~Gを繰り返し

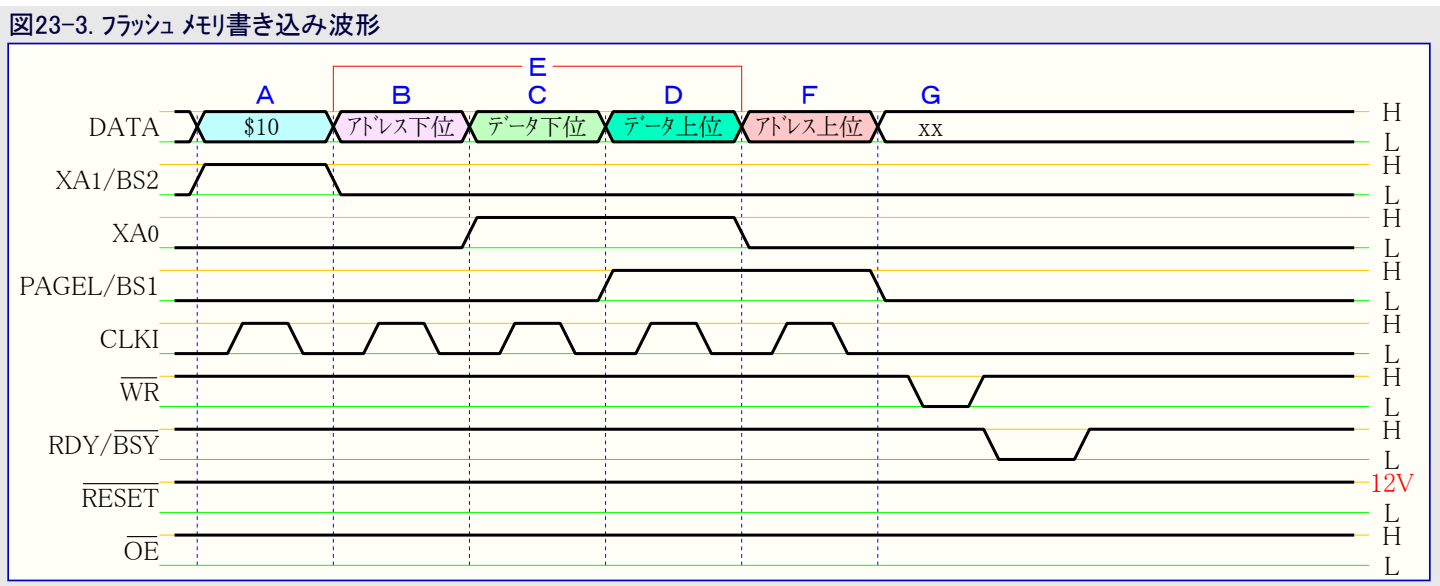
I. ページ書き込み終了

- 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 CLKI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。

フラッシュ ページのアドレス指定は下の図23-2.で図解されます。使われるシンボルは146頁の表21-1.で記述されます。



フラッシュ プログラミング波形は図23-3.で図解され、そこでのxxは“無関係”を意味し、文字は先に記述されたプログラミング段階を参照します。



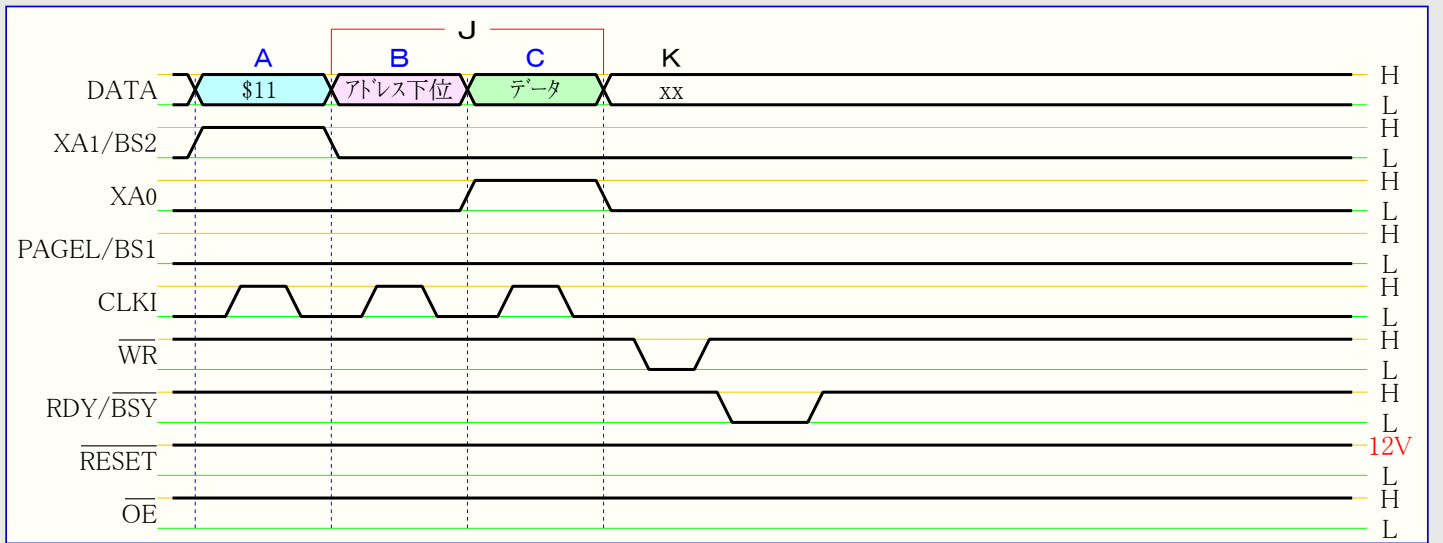
23.2.5. EEPROM書き込み

EEPROMは153頁の表23-2.で示されるようにページで構成されます。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。EEPROMデータ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155頁の「フラッシュメモリの書き込み」をご覧ください。)

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)
3. 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)
- J. 緩衝部全体が満たされるまで2~3を繰り返します。
- K. EEPROM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EEPROMページ書き込みを開始します。RDY/ \overline{BSY} がLow(0)になります。
 - ③ 次のページを書く前に、RDY/ \overline{BSY} がHigh(1)になるまで待ちます。(信号波形については図23-4.をご覧ください。)

EEPROMプログラミング波形は図23-4.で図解され、そこでのxxは“無関係”を意味し、文字は先に記述されたプログラミング段階を参照します。

図23-4. EEPROM書き込みタイミング



23.2.6. 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155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. アドレス上位バイト(\$00~\$1F)を設定します。(「フラッシュメモリ書き込み」のF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. BS1をLow(0)、 \overline{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。
5. 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。
6. \overline{OE} をHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

23.2.7. EEPROM読み出し

データ用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155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。(「フラッシュメモリ書き込み」のAを参照)
2. 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)
3. BS1をLow(0)、 \overline{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。
4. \overline{OE} をHigh(1)に設定します。DATAはHi-Zになります。

23.2.8. 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 バイ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155頁の「フラッシュ メモリの書き込み」を参照)

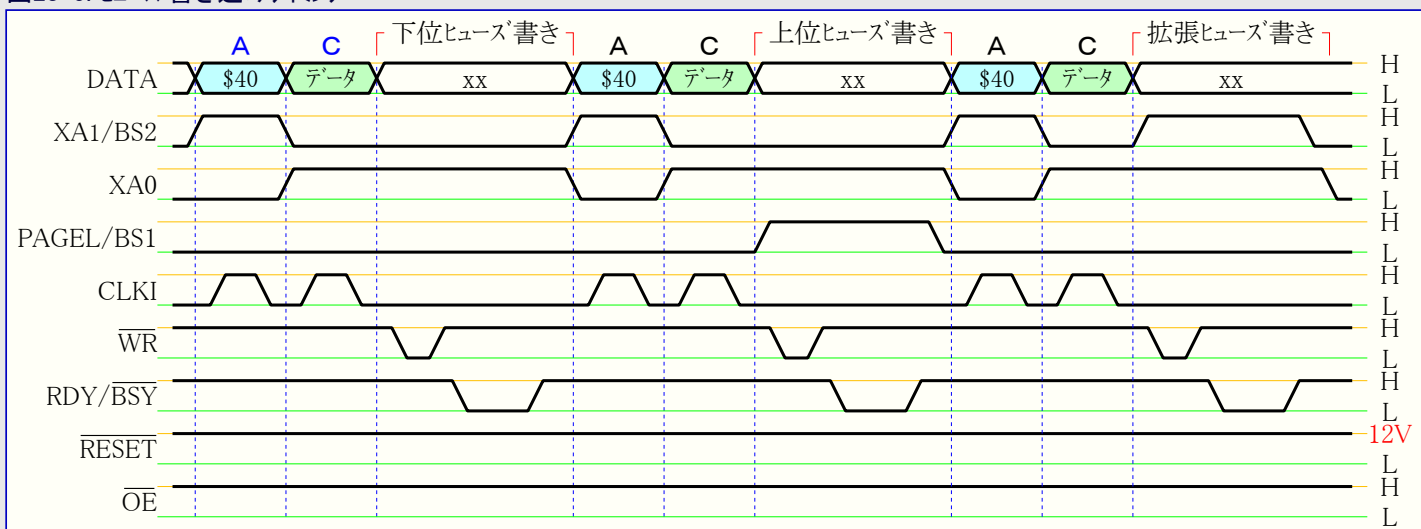
1. ヒューズ ビット書き込み指令\$40(0100 0000)を設定します。(「フラッシュ メモリ書き込み」のAを参照)
2. データ下位バイトを設定します。0=プログラム,1=非プログラム(消去)です。(「フラッシュ メモリ書き込み」のCを参照)
3. BS1とBS2を右表の目的バイトに対応する設定にします。
4. \overline{WR} に負パルスを与え、RDY/ \overline{BSY} がHighになるまで待ちます。
5. 3.でHighに設定したBS1、BS2をLow(0)に戻します。これはデータ下位バイトを選びます。

表A. ヒューズ バイト対応BS1,BS2設定

ヒューズ バイト	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)

ヒューズのプログラミング波形は図23-5.で図解され、そこでのxxは“無関係”を意味し、文字は先に記述されたプログラミング段階を参照します。

図23-5. ヒューズ書き込みタイミング



23.2.9. 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155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。LB1とLB2がプログラム(0)される場合、どんな外部的なプログラミング動作形態によっても施錠ビットをプログラミングすることができません。(「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/ \overline{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。

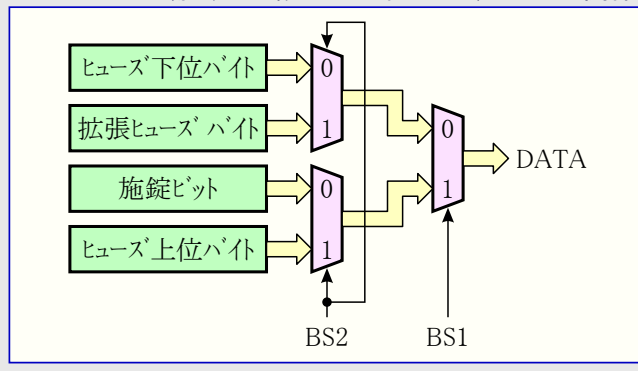
23.2.10. ヒューズ ビットと施錠ビットの読み出し

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155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。

ヒューズと施錠ビットの割り当ては下の図23-6.で図解されます。

図23-6. ヒューズ、施錠ビット読み出し中のBS1, BS2との関係



23.2.11. 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155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。

23.2.12. 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155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(\$xx)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。

23.3. 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することができます。この直列インターフェースはSCK入力、MOSI入力、MISO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ことを必要とします。

直列プログラミング信号と接続は右の図23-7.で図解されます。ピン割り当ては表23-7.で一覧にされます。

EEPROMをプログラミングする時に自動消去期間が自動書き込み動作内に組み入れられるので(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せん。

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。

- 直列クロックの最小Low区間 : 2 CPUクロック周期
- 直列クロックの最小High区間 : 2 CPUクロック周期

23.3.1. ピン配置

ピン割り当ては表23-7.で一覧にされます。全てのデバイスが内部SPIインターフェース用の専用SPIピンを使うとは限らないことに注意してください。

表23-7. 直列プログラミング用ピン配置

信号名	ピン名	入出力	機能
MOSI	PB1	入力	直列データ入力
MISO	PB2	出力	直列データ出力
SCK	PC1	入力	直列クロック

23.3.2. プログラミング手順

ATtiny1634への直列データ書き込み時、データはSCKの上昇端でクロック駆動されます。ATtiny1634からのデータ読み込み時、データはSCKの下降端でクロック駆動されます。タイミングの詳細については169頁の図24-7.と図24-8.をご覧ください。

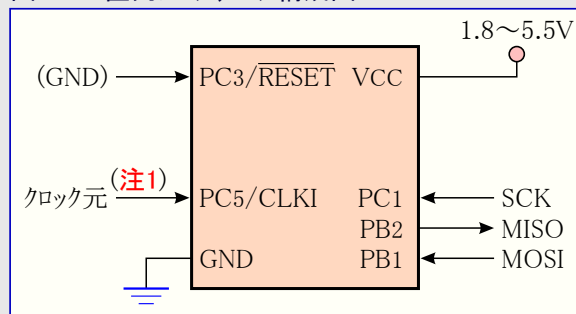
直列プログラミング動作でのATtiny1634のプログラミングと照合は次手順が推奨されます(表23-8.の命令一式をご覧ください)。

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間へ電源を印加してください。
 - 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は正パルスを与えられなければなりません。パルスの幅は最低t_{RST}+2 CPUクロック周期でなければなりません。RESETピンの最小パルス幅の定義については165頁の表24-5.をご覧ください。
2. 最低20ms待ち、MOSI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、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バイト送付時に第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153頁の表23-1.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4+1ビットとデータを供給することによって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9ビットを含む**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。
 - ホーリング(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t_{WD_FLASH}(表23-9.参照)待たねばなりません。フラッシュ書き込み操作完了前の(ホーリング以外の)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供給することによって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。ホーリング(BSY/RDY)が使われない場合、次のバイトを行う前に最低t_{WD_EEPROM}(表23-9.参照)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2ビットとデータを供給することによって1バイトずつ設定されます。EEPROMページはアドレスの上位6ビットを含む**EEPROMページ書き込み命令**によって(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。残り位置は無変化で留まります。ホーリング(BSY/RDY)が使われない場合、次ページ(表23-2.参照)を行う前に最低t_{WD_EEPROM}(表23-9.参照)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。

図23-7. 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、CLKIピンにクロック元を接続する必要はありません。

6. どのメモリ位置も選んだアドレスの内容を直列出力MISOに読み戻す読み出し命令を使うことによって照合できます。
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)に設定してください。VCC電源をOFFにしてください。

23.3.3. 直列プログラミング命令一式

表23-8と次頁の図23-8は命令一式を記述します。

表23-8. 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 (注3)	\$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 (注4)	\$AC	\$E0	\$00	施錠ビット値	
ヒューズ下位書き込み (注4)	\$AC	\$A0	\$00	ヒューズ下位	
ヒューズ上位書き込み (注4)	\$AC	\$A8	\$00	ヒューズ上位	
拡張ヒューズ書き込み (注4)	\$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2: アドレス系バイトについては次頁の表を参照してください。

注3: プログラム用メモリにアクセスする命令は語(ワード)アドレスを使います。このアドレスはページ範囲内で乱順にできます。

注4: 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。

注: ・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 <http://www.atmel.com/avr> をご覧ください。

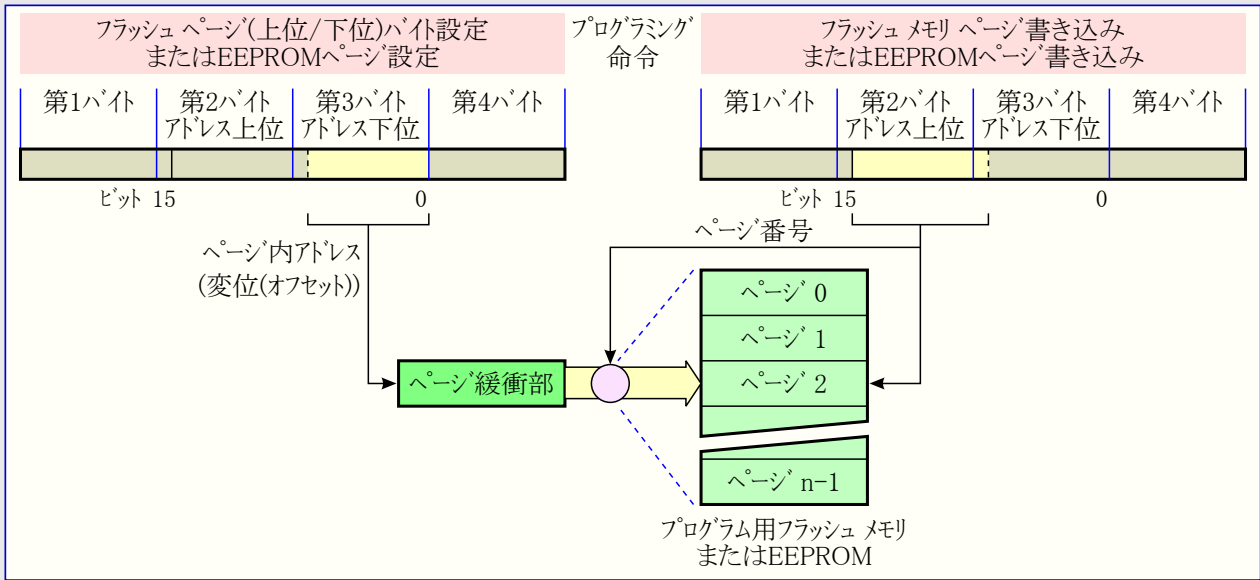
・第4バイトの赤背景はホスト読み込み(デバイス出力)を示します。

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23-8をご覧ください。

図23-8. 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。ATtiny1634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			該当命令なし
フラッシュページ内バイト設定	0000 0000	0000 LLLL	ATtiny1634 : L=PC3~0
EEPROMページ内バイト設定	0000 0000	0000 00LL	ATtiny1634 : L=EEA1~0
フラッシュメモリ読み出し	000H HHHH	LLLL LLLL	ATtiny1634 : H=PC12~8, L=PC7~0
EEPROM読み出し	0000 0000	LLLL LLLL	ATtiny1634 : L=EEA7~0
フラッシュページ書き込み	000H HHHH	LLLL 0000	ATtiny1634 : H=PC12~8, L=PC7~4
EEPROMバイト書き込み	0000 0000	LLLL LLLL	ATtiny1634 : L=EEA7~0
EEPROMページ書き込み	0000 0000	LLLL LL00	ATtiny1634 : L=EEA7~2

23.4. フラッシュとEEPROM用のプログラミング時間

フラッシュメモリとEEPROMの待ち時間は表23-9.で一覧にされます。

表23-9. ヒューズ,フラッシュ,EEPROMの次位置書き込み前の待ち時間

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

(訳注)
共通性から
tWD_FUSE
項目を追加

24. 電気的特性 - (TA=-40°C~85°C)

24.1. 絶対最大定格 (警告)

動作温度	-55°C ~ +125°C
保存温度	-65°C ~ +150°C
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。

24.2. DC特性

表24-1. DC特性 TA=-40°C~85°C

シンボル	項目	条件	最小	代表 (注1)	最大	単位
VIL	Lowレベル入力電圧	VCC=1.8~2.4V	-0.5		0.2VCC (注2)	
		VCC=2.4~5.5V	-0.5		0.3VCC (注2)	
	Lowレベル入力電圧 (RESET) (注4)	VCC=1.8~5.5V	-0.5		0.2VCC (注2)	
VIH	Highレベル入力電圧 (RESETを除く)	VCC=1.8~2.4V	0.7VCC (注3)		VCC+0.5	V
		VCC=2.4~5.5V	0.6VCC (注3)		VCC+0.5	
	Highレベル入力電圧 (RESET) (注4)	VCC=1.8~5.5V	0.9VCC (注3)		VCC+0.5	
VOL	Lレベル出力電圧 (注5) (RESETピン(注7)を除く)	標準I/O:IOL=10mA,VCC=5V			0.6	
		高吸い込みI/O:IOL=20mA,VCC=5V				
		標準I/O:IOL=5mA,VCC=3V			0.5	
		高吸い込みI/O:IOL=10mA,VCC=3V				
VOH	Hレベル出力電圧 (RESETピン(注7)を除く) (注6)	IOH=-10mA,VCC=5V	4.3			
		IOH=-5mA,VCC=3V	2.5			
IIL	I/OピンLowレベル入力漏れ電流	VCC=5.5V		<0.05	1 (注8)	μA
IiH	I/OピンHighレベル入力漏れ電流	確実なH/L範囲		<0.05	1 (注8)	
RPU	I/Oピンプルアップ抵抗	VCC=5.5V, Low入力	20		50	kΩ
	RESETピンプルアップ抵抗	VCC=5.5V, Low入力	30		60	
ICC	活動動作消費電流 (注9)	VCC=2V, 1MHz		0.23	0.4	mA
		VCC=3V, 4MHz		1.3	1.7	
		VCC=5V, 8MHz		4.3	6	
	アイドル動作消費電流 (注9)	VCC=2V, 1MHz		0.04	0.1	
		VCC=3V, 4MHz		0.26	0.4	
		VCC=5V, 8MHz		1.1	1.7	
パワーダウン動作消費電流 (注10)	VCC=3V, WDT許可		1.7	4	μA	
	VCC=3V, WDT禁止		0.1	2		

注1: 25°Cでの代表値です。

注2: Lowレベルの認識が保証される最高電圧です。

注3: Highレベルの認識が保証される最低電圧です。

注4: 製造に於いて検査されません。

注5: 各I/Oポートは安定状態(非過渡時)に於いて検査条件(VCC=5Vで10mA、VCC=3Vで5mA)よりも多くの吸い込み電流を流すことができるとは言え、(全ポートに対して)全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も関連する仕様を超えます。ピンは検査条件で一覽される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6: 各I/Oポートは安定状態(非過渡時)に於いて検査条件(VCC=5Vで10mA、VCC=3Vで5mA)よりも多くの吐き出し電流を流すことができるとは言え、(全ポートに対して)全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も関連する仕様を超えます。ピンは検査条件で一覽される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。

注7: RESETピンはプログラミング動作での操作と移行時に高電圧を許容しなければならず、その結果として標準I/Oピンと比べて弱い駆動能力を持ちます。183頁の「出力駆動部能力」をご覧ください。

注8: これらは検査環境の漏れ電流に関する検査限界量です。実デバイスの漏れ電流はより低いです。

注9と注10は次頁へ

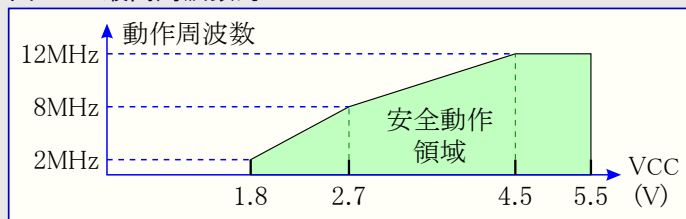
注9: 値は26頁の「消費電力の最小化」で記述された方法を使った値です。電力削減は許可(PRR=\$FF)され、I/Oの駆動は全くありません。

注10: 低電圧検出器(BOD)禁止。

24.3. 速度

デバイスの最高動作周波数は供給電圧(VCC)に依存します。供給電圧と最高動作周波数の関連は図24-1.で示されるように区分的線形です。

図24-1. 最高周波数対VCC



24.4. クロック

24.4.1. 校正付き8MHz発振器の精度

工場既定校正よりも高い精度に内部8MHz発振器を手動校正することが可能です。この発振器周波数が温度と電圧に依存することに注意してください。電圧と温度の特性は192頁の図26-61.と図26-62.で得られます。

表24-2. 校正付き内部8MHz発振器の校正精度

校正種別	目標周波数	VCC	温度	校正精度
工場校正	8.0MHz	2.7~4V	0~85°C	±2% (注1)
			25~85°C	±10% (注1)
使用者校正	7.3~8.1MHz内	1.8~5.5V内	-40~85°C内	±1% (注2)

注1: 2者選択については199頁のデバイス注文符号をご覧ください。

注2: 校正点での発振器周波数精度(固定温度と固定電圧)

24.4.2. 校正付き32kHz発振器の精度

工場既定校正よりも高い精度に内部8MHz発振器を手動校正することが可能です。この発振器周波数が温度と電圧に依存することに注意してください。電圧と温度の特性は194頁の図26-66.と図26-67.で得られます。

表24-3. 校正付き内部32kHz発振器の校正精度

校正種別	目標周波数	VCC	温度	校正精度
工場校正	32kHz	1.8~5.5V	-40~85°C	±30%

24.4.3. 外部クロック信号駆動

図24-2. 外部クロック駆動波形

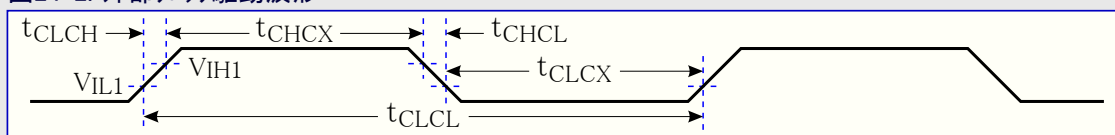


表24-4. 外部クロック駆動特性

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	12	MHz
tCLCL	クロック周期	500		125		83		
tCHCX	Highレベル時間	200		40		20		ns
tCLCX	Lowレベル時間	200		40		20		
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	%

24.5. システムとリセット

表24-5. 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}	RESETピンでの最小パルス幅	VCC=1.8V		2		μ s
		VCC=3V		0.7		
		VCC=5V		0.4		
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		μ s
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	μ s
I_{BG}	消費電流			15		μ A

24.5.1. 電源ONリセット

表24-6. 強化された電源ONリセットの特性 (TA=-40°C~85°C)

シンボル	項目	最小	代表	最大	単位
V_{POR}	電源ONリセット開放閾値電圧 (注1)	1.1	1.4	1.6	V
V_{POA}	電源ONリセット活性閾値電圧 (注2)	0.6	1.3	1.6	
SR_{ON}	電源投入時上昇率	0.01			V/ms

注: 値は指針だけです。

注1: 電圧上昇時にデバイスがリセットから開放される閾値電圧です。

注2: 供給電圧がVPOA未満でなければ電源ONリセットは動作しません(電圧下降時)。

24.5.2. 低電圧検出 (BOD)

表24-7. BODLEVELヒューズ符号化(VBOT)

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 x x	(予約)			

注: いくつかのデバイスでVBOTが公称最低動作電圧以下の可能性があります。この状態のデバイスについては、製造検査中、VCC=VBOTに落として検査されています。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)リセットが起きることを保証します。

24.6. 2線直列インターフェース

以下のデータはシミュレーションと特性付けに基づきます。表24-8.で一覧にされるパラメータは製造に於いて検査されません。シンボルは図24-3.を参照します。

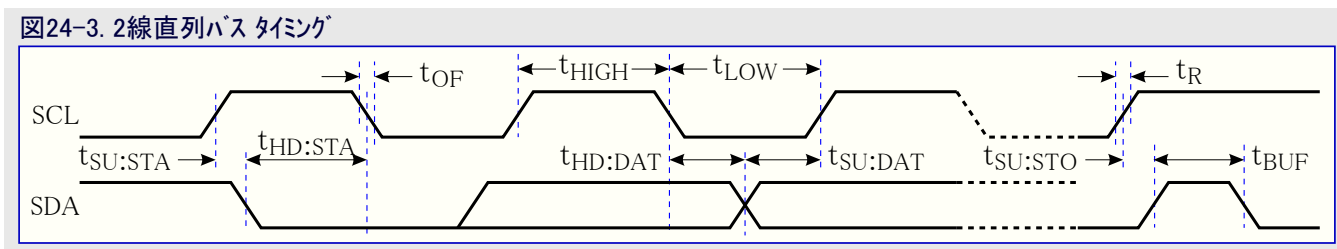


表24-8. 2線直列インターフェース特性

シンボル	項目	条件	最小	最大	単位
V _{IL}	Lowレベル入力電圧		-0.5	0.3V _{CC}	
V _{IH}	Highレベル入力電圧		0.7V _{CC}	V _{CC} +0.5	
V _{HYS}	シュミットトリガ入力ヒステリシス電圧	V _{CC} ≥ 2.7V	0.05V _{CC}	-	V
		V _{CC} < 2.7V	0	-	
V _{OL}	Lowレベル出力電圧	I _{OL} =3mA	0	0.4	
t _{SP}	入力パルス最小幅(尖頭消去濾波)		0	50	ns
f _{SCL}	SCLクロック周波数 (注)	f _{CK} > max(16f _{SCL} , 250kHz)	0	400	kHz
t _{HD:STA}	(再送)開始条件保持時間		0.6	-	
t _{LOW}	SCLクロックLowレベル時間		1.3	-	
t _{HIGH}	SCLクロックHighレベル時間		0.6	-	μs
t _{SU:STA}	再送開始条件準備時間		0.6	-	
t _{HD:DAT}	データ保持時間		0	0.9	
t _{SU:DAT}	データ準備時間		100	-	ns
t _{SU:STO}	停止条件準備時間		0.6	-	
t _{BUF}	停止条件→開始条件間バス開放時間		1.3	1.3	μs

注: f_{CK}=CPUクロック周波数

24.7. A/D変換器

表24-9. A/D変換器特性 (TA=-40°C~85°C)

シンボル	項目	条件	最小	代表	最大	単位
	分解能				10	ビット
	絶対精度	変換クロック=200kHz		2.0		LSB
	(積分非直線性、微分非直線性、量子化、利得、変位(オフセット)の各誤差を含む)	VCC=4V VREF=4V 変換クロック=1MHz		2.5		
		VCC=4V VREF=4V 変換クロック=200kHz 雑音低減動作		1.5		
		VCC=4V VREF=4V 変換クロック=1MHz 雑音低減動作		2.0		
	積分非直線性誤差(INL) (変位、利得校正後精度)			1.0		LSB
	微分非直線性誤差(DNL)	VCC=4V, VREF=4V 変換クロック=200kHz		0.5		
	利得誤差			2.0		
	(絶対)変位(オフセット)誤差			1.5		
	変換時間	連続変換動作(自由走行変換)	14		280	μs
	変換クロック周波数		50		1000	kHz
V _{IN}	入力電圧		GND		VREF	V
	入力周波数帯域			38.5		kHz
A _{REF}	外部基準電圧		2.0		VCC	V
V _{INT}	内部基準電圧		1.0	1.1	1.2	
R _{REF}	基準電圧入力インピーダンス			32		kΩ
R _{AIN}	アナログ入力インピーダンス			100		MΩ
	A/D変換出力		0		1023	LSB

24.8. アナログ比較器

表24-10. アナログ比較器特性 (TA=-40°C~85°C)

シンボル	項目	条件	最小	代表	最大	単位
VAIO	入力変位(オフセット)電圧	VCC=5V, Vin=VCC/2		<10	40	mV
ILAC	入力漏れ電流	VCC=5V, Vin=VCC/2	-50		50	nA
t _{APD}	アナログ伝播遅延 (飽和から僅かな過駆動へ)	VCC=2.7V		750		ns
		VCC=4.0V		500		
	アナログ伝播遅延 (大きな段階変化)	VCC=2.7V		100		
		VCC=4.0V		75		
t _{DPD}	デジタル伝播遅延	VCC=1.8~5.5V		1	2	clk

24.9. 温度感知器

表24-11. 工場校正での温度感知器の精度

シンボル	項目	条件	最小	代表	最大	単位
ATS	精度	VCC=4V, TA=25~85°C		10		°C

注: ・ファームウェアは工場校正値に基づいて計算します。

・最小と最大の値は保証されません。より高い精度が必要とされる場合、最寄のAtmel営業所にお問い合わせください。

24.10. 並列プログラミング (訳注:実体に合わせて内容を変更)

図24-4. 並列プログラミング タイミング (一般的な必要条件)

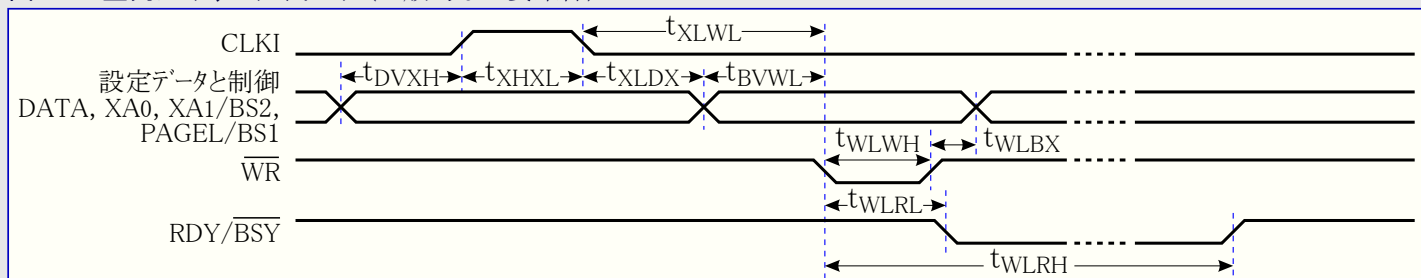
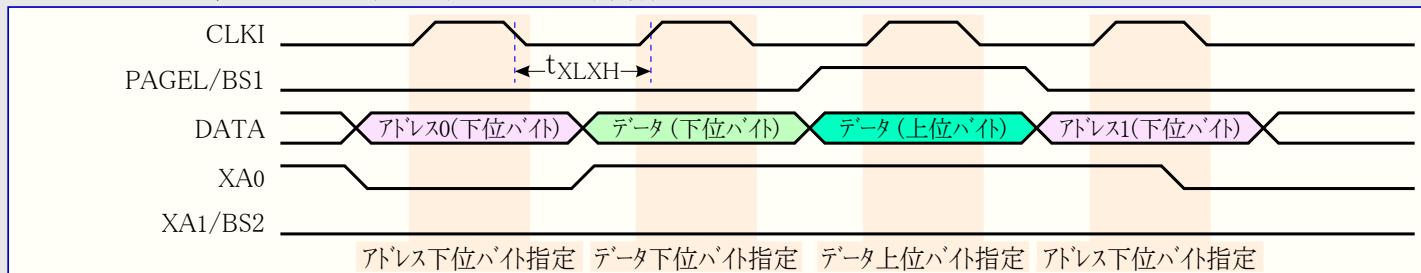
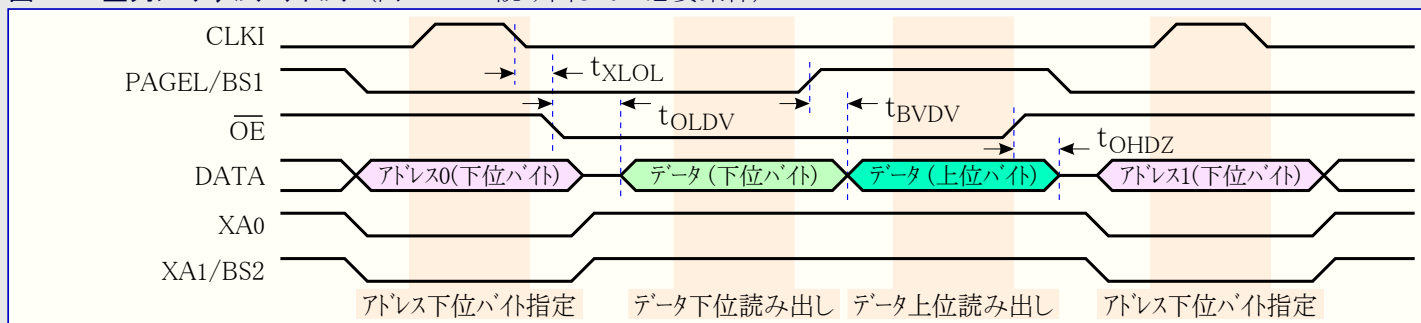


図24-5. 並列プログラミング タイミング (ページ設定での必要条件)



注: 図24-4.で示されるタイミング必要条件(即ち、 t_{DVXH} 、 t_{XHLX} 、 t_{XLDX})は設定操作にも適用されます。

図24-6. 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24-4.で示されるタイミング必要条件(即ち、 t_{DVXH} 、 t_{XHLX} 、 t_{XLDX})は読み出し操作にも適用されます。

表24-12. 並列プログラミング特性 (TA=25°C, VCC=5V)

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}	CLKI ↑ に対するデータと制御の準備時間	67			
t _{XLXH}	CLKI ↓ から次XTAL1 ↑ までの待機時間	200			
t _{XHLX}	CLKI Highパルス幅	150			
t _{XLDX}	CLKIパルス ↓ 後のデータと制御の保持時間	67			ns
t _{XLWL}	CLKIパルス ↓ 後のWR ↓ 待機時間	0			
t _{WLBX}	WRパルス ↓ 後のBS1,BS2保持時間	67			
t _{BVWL}	WRパルス ↓ に対するBS1準備時間	67			
t _{WLBH}	WR Lowパルス幅	150			
t _{WLRB}	WRパルス ↓ 後のRDY/BSY ↓ 遅延時間	0		1	μs
t _{WLRH}	書き込み時間 (WR ↓ からRDY/BSY ↑) (注1)	3.7		4.5	ms
t _{WLRH_CE}	チップ消去時間 (WR ↓ からRDY/BSY ↑) (注2)	3.7		9	ms
t _{XLCL}	CLKIパルス ↓ 後のOE ↓ 待機時間	0			
t _{BVDV}	BS1有効からのDATA遅延時間	0		250	ns
t _{OLDV}	OE ↓ 後のDATA出力遅延時間			250	ns
t _{OHDZ}	OE ↑ 後のDATA Hi-Z遅延時間			250	ns

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。

24.11. 直列プログラミング

図24-7. 直列プログラミング タイミング

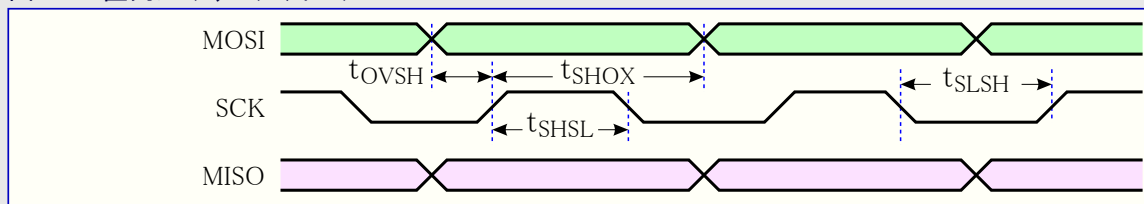


図24-8. 直列プログラミング 波形

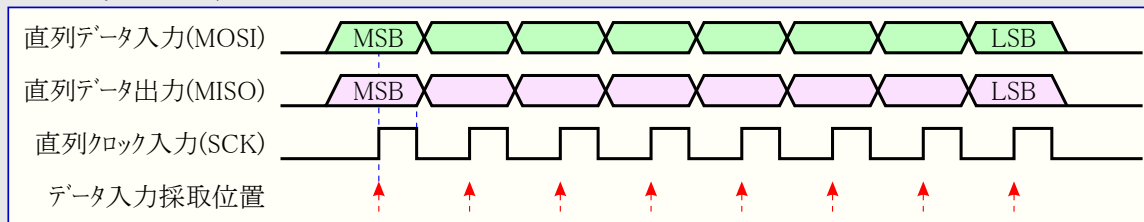


表24-13. 直列プログラミング特性 (TA=-40°C~85°C)

シンボル	項目		最小	代表	最大	単位
1/tCLCL	発振器周波数	1.8~4.5V	0		1	MHz
		4.5~5.5V	0		6	
tCLCL	発振器周期	1.8~4.5V	1000			
		4.5~5.5V	167			
tSHSL	SCKパルスHレベル幅		2tCLCL			ns
tSLSH	SCKパルスLレベル幅		2tCLCL			
tOVSH	SCK ↑ に対するMOSI準備時間		tCLCL			
tSHOX	SCK ↑ に対するMOSI保持時間		2tCLCL			

25. 電気的特性 - (TA=-40°C~105°C)

25.1. 絶対最大定格 (警告)

動作温度	-55°C ~ +125°C
保存温度	-65°C ~ +150°C
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。

25.2. DC特性

表25-1. DC特性 TA=-40°C~105°C

シンボル	項目	条件	最小	代表 (注1)	最大	単位
VIL	Lowレベル入力電圧	VCC=1.8~2.4V	-0.5		0.2VCC (注2)	
		VCC=2.4~5.5V	-0.5		0.3VCC (注2)	
	Lowレベル入力電圧 (RESET) (注4)	VCC=1.8~5.5V	-0.5		0.2VCC (注2)	
VIH	Highレベル入力電圧 (RESETを除く)	VCC=1.8~2.4V	0.7VCC (注3)		VCC+0.5	V
		VCC=2.4~5.5V	0.6VCC (注3)		VCC+0.5	
	Highレベル入力電圧 (RESET) (注4)	VCC=1.8~5.5V	0.9VCC (注3)		VCC+0.5	
VOL	Lレベル出力電圧 (注5) (RESETピン(注7)を除く)	標準I/O: IOL=10mA, VCC=5V			0.6	
		高吸い込みI/O: IOL=20mA, VCC=5V				
		標準I/O: IOL=5mA, VCC=3V			0.5	
		高吸い込みI/O: IOL=10mA, VCC=3V				
VOH	Hレベル出力電圧 (RESETピン(注7)を除く) (注6)	IOH=-10mA, VCC=5V	4.3			
		IOH=-5mA, VCC=3V	2.5			
IIL	I/OピンLowレベル入力漏れ電流	VCC=5.5V		<0.05	1 (注8)	μA
IiH	I/OピンHighレベル入力漏れ電流	確実なH/L範囲		<0.05	1 (注8)	
RPU	I/Oピンプルアップ抵抗	VCC=5.5V, Low入力	20		50	kΩ
	RESETピンプルアップ抵抗	VCC=5.5V, Low入力	30		60	
ICC	活動動作消費電流 (注9)	VCC=2V, 1MHz		0.23	0.4	mA
		VCC=3V, 4MHz		1.3	1.7	
		VCC=5V, 8MHz		4.3	6	
	アイドル動作消費電流 (注9)	VCC=2V, 1MHz		0.04	0.1	
		VCC=3V, 4MHz		0.26	0.4	
パワーダウン動作消費電流 (注10)	パワーダウン動作消費電流 (注10)	VCC=3V, WDT許可		1.7	6	μA
		VCC=3V, WDT禁止		0.1	4	

注1: 25°Cでの代表値です。

注2: Lowレベルの認識が保証される最高電圧です。

注3: Highレベルの認識が保証される最低電圧です。

注4: 製造に於いて検査されません。

注5: 各I/Oポートは安定状態(非過渡時)に於いて検査条件(VCC=5Vで10mA、VCC=3Vで5mA)よりも多くの吸い込み電流を流すことができるとは言え、(全ポートに対して)全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も関連する仕様を超えます。ピンは検査条件で一覽される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6: 各I/Oポートは安定状態(非過渡時)に於いて検査条件(VCC=5Vで10mA、VCC=3Vで5mA)よりも多くの吐き出し電流を流すことができるとは言え、(全ポートに対して)全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も関連する仕様を超えます。ピンは検査条件で一覽される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。

注7: RESETピンはプログラミング動作での操作と移行時に高電圧を許容しなければならず、その結果として標準I/Oピンと比べて弱い駆動能力を持ちます。183頁の「出力駆動部能力」をご覧ください。

注8: これらは検査環境の漏れ電流に関する検査限界量です。実デバイスの漏れ電流はより低いです。

注9と注10は次頁へ

注9: 値は26頁の「消費電力の最小化」で記述された方法を使った値です。電力削減は許可(PRR=\$FF)され、I/Oの駆動は全くありません。

注10: 低電圧検出器(BOD)禁止。

25.3. クロック

表25-2. 校正付き内部8MHz発振器の校正精度

校正種別	目標周波数	VCC	温度	校正精度
工場校正	8.0MHz	2.7~4V	-40~105°C	±10%
使用者校正	7.3~8.1MHz内	1.8~5.5V内	-40~105°C内	±1% (注)

注: 校正点での発振器周波数精度(固定温度と固定電圧)

表25-3. 校正付き内部32kHz発振器の校正精度

校正種別	目標周波数	VCC	温度	校正精度
工場校正	32kHz	1.8~5.5V	-40~105°C	±30%

表25-4. 外部クロック駆動特性

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/t _{CLCL}	クロック周波数	0	2	0	8	0	10	MHz
t _{CLCL}	クロック周期	500		125		100		
t _{CHCX}	Highレベル時間	200		40		20		ns
t _{CLCX}	Lowレベル時間	200		40		20		
t _{CLCH}	上昇時間		2.0		1.6		0.5	μs
t _{CHCL}	下降時間		2.0		1.6		0.5	
Δt _{CLCL}	隣接クロック周期間の変化率		2		2		2	%

25.4. システムとリセット

表25-5. 強化された電源ONリセットの特性

シンボル	項目	最小	代表	最大	単位
V _{POR}	電源ONリセット開放閾値電圧 (注1)	1.1	1.4	1.7	V
V _{POA}	電源ONリセット活性閾値電圧 (注2)	0.6	1.3	1.7	
S _{RON}	電源投入時上昇率	0.01			V/ms

注: 値は指針だけです。

注1: 電圧上昇時にデバイスがリセットから開放される閾値電圧です。

注2: 供給電圧がV_{POA}未満でなければ電源ONリセットは動作しません(電圧下降時)。

26. 代表特性

本章内に含まれたデータは主に同じ製法と設計法の類似デバイスの特徴付けとシミュレーションに基づいています。従って、このデータはデバイスがどう反応するかについての指標として扱われるべきです。

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。特性付けの間、デバイスは検査限界よりも高い周波数で動作していますが、それらは注文符号が示すよりも高い周波数での正しい機能が保証される訳ではありません。

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。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。

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が、**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。**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。

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) $C_L(\text{負荷容量}) \times V_{CC}(\text{動作電圧}) \times f_{SW}(\text{I/Oピンの平均切り替え周波数})$ として推測できます。

26.1. 活動動作消費電流

図26-1. 活動動作消費電流 対 低周波数 (100kHz~1MHz)

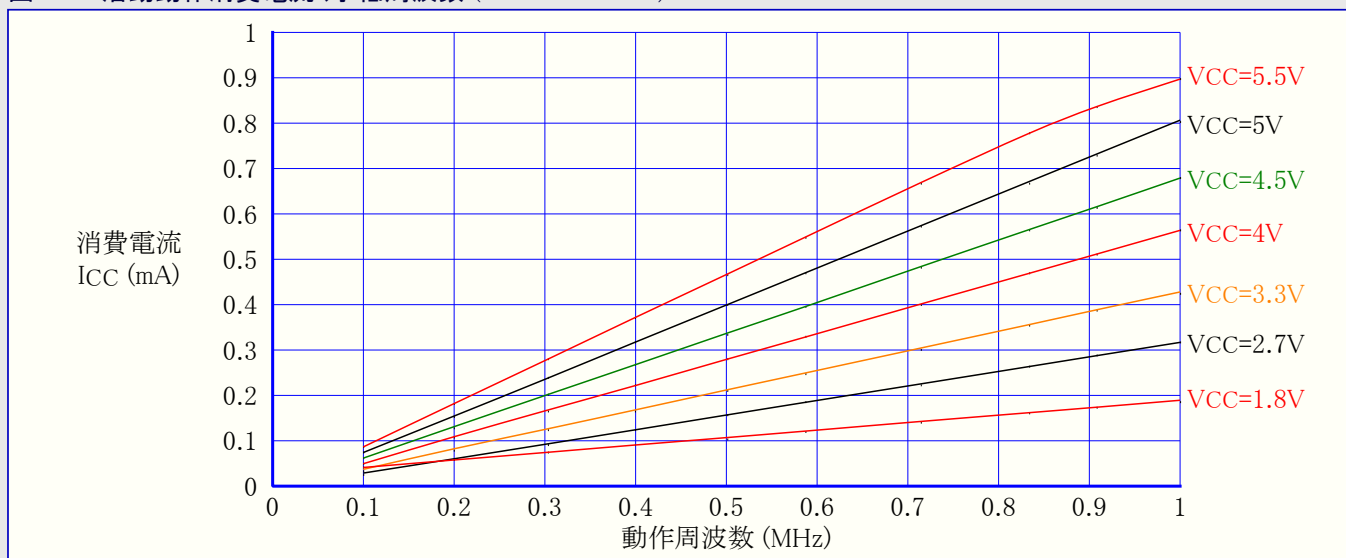


図26-2. 活動動作消費電流 対 周波数 (1MHz~12MHz)

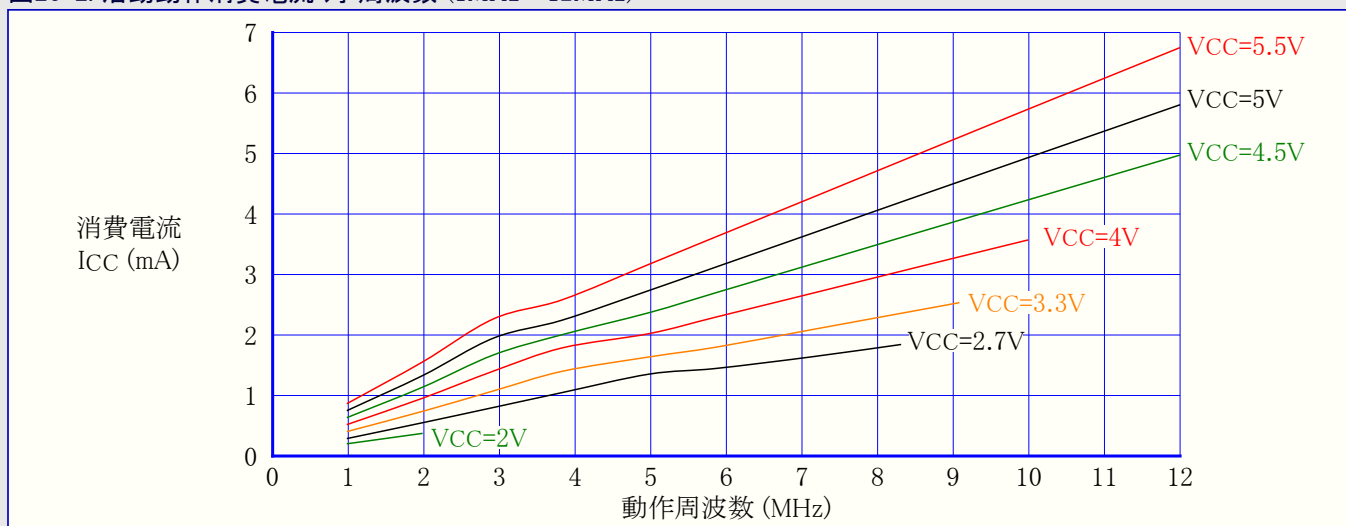


図26-3. 活動動作消費電流 対 動作電圧 (内部発振器,8MHz)

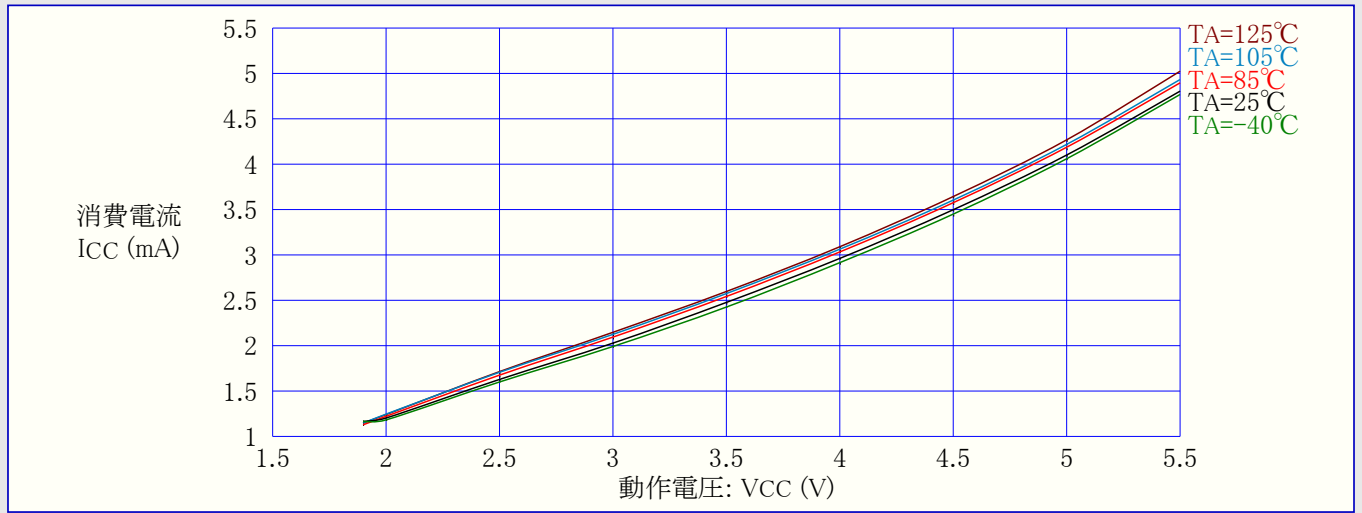


図26-4. 活動動作消費電流 対 動作電圧 (内部発振器,8MHzの8前置分周=1MHz)

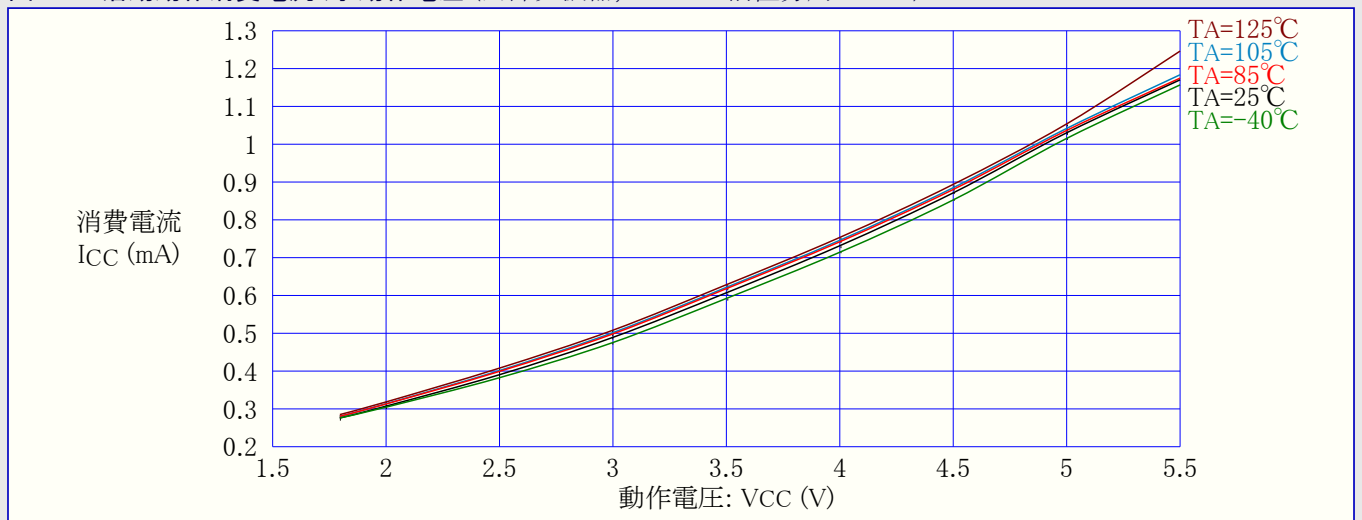
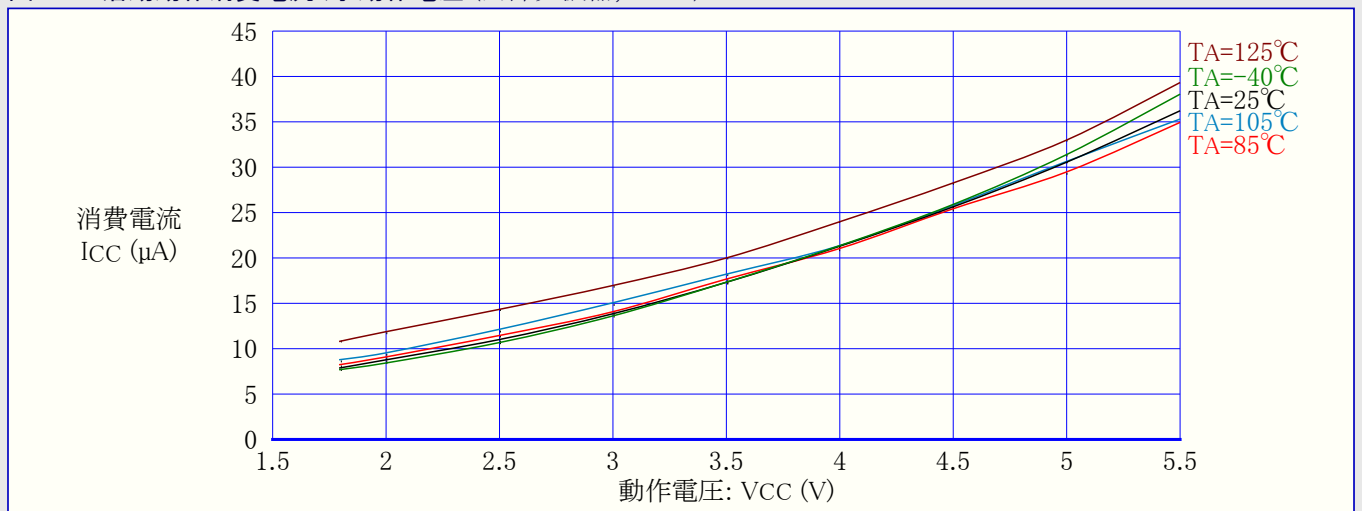


図26-5. 活動動作消費電流 対 動作電圧 (内部発振器,32kHz)



26.2. アイドル動作消費電流

図26-6. アイドル動作消費電流 対 低周波数 (100kHz~1MHz)

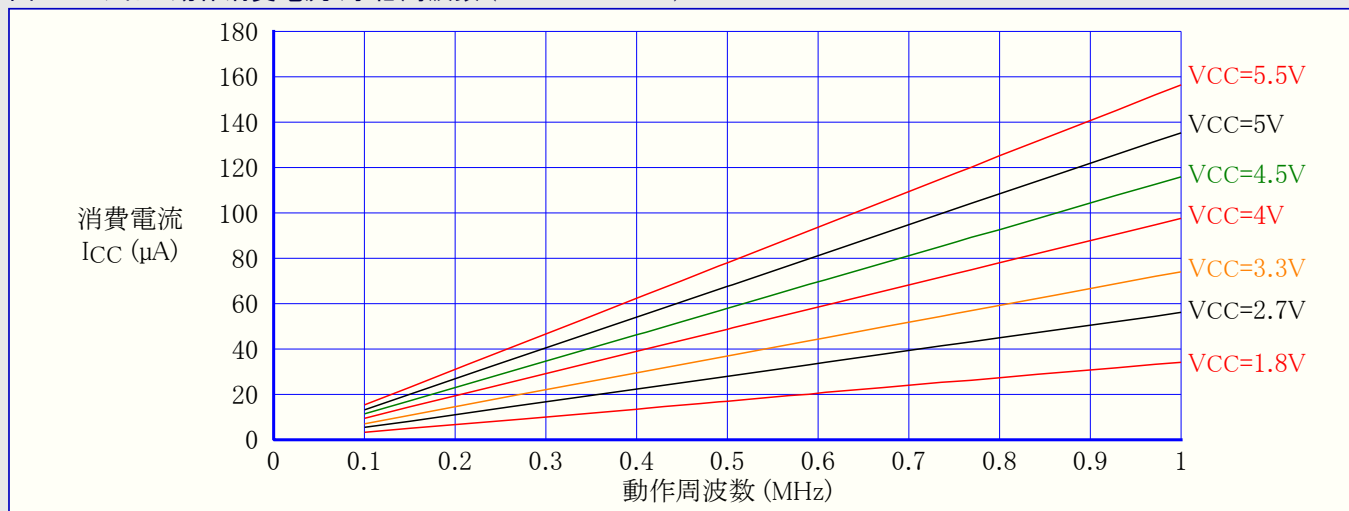


図26-7. アイドル動作消費電流 対 周波数 (1MHz~12MHz)

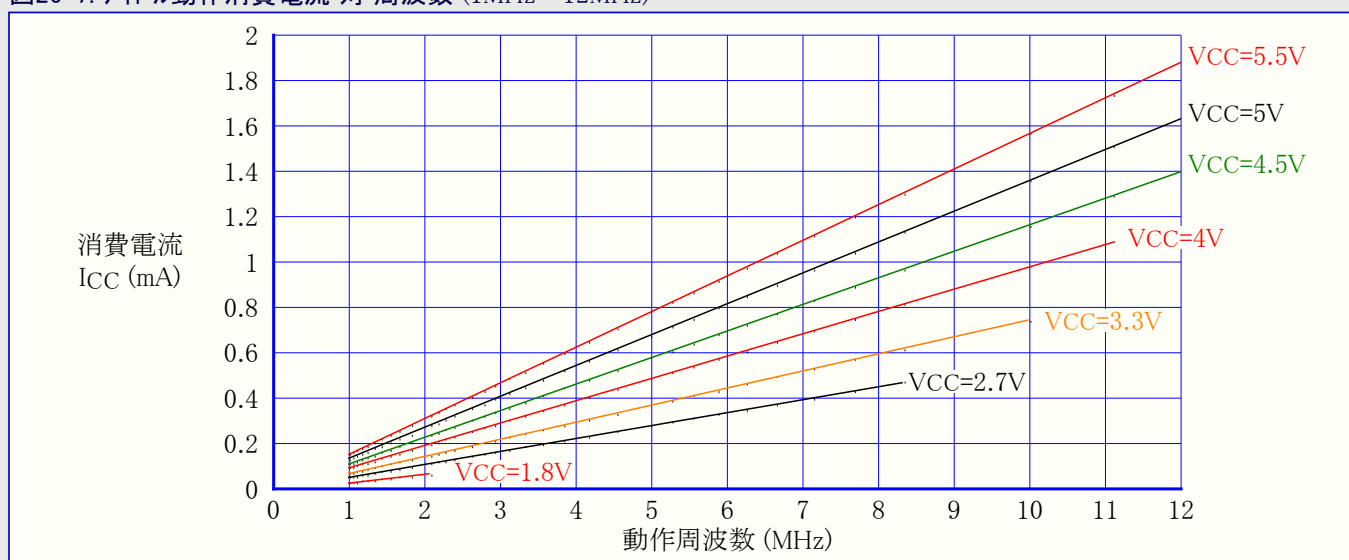


図26-8. アイドル動作消費電流 対 動作電圧 (内部発振器, 8MHz)

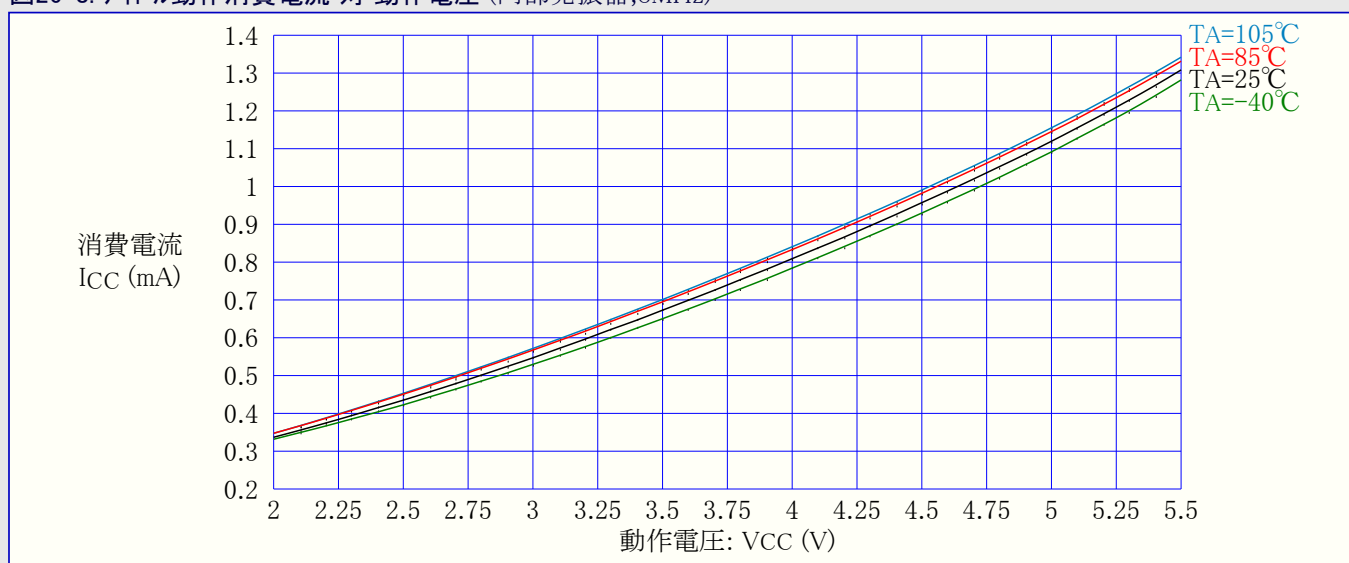


図26-9. アイドル動作消費電流 対 動作電圧 (内部発振器,8MHzの8前置分周=1MHz)

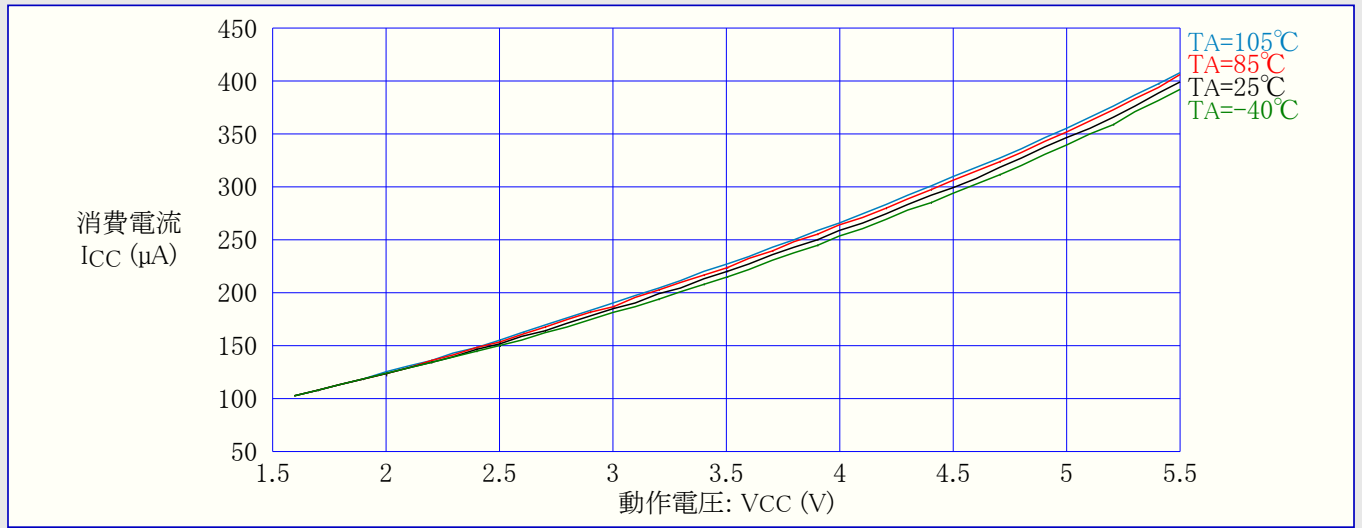
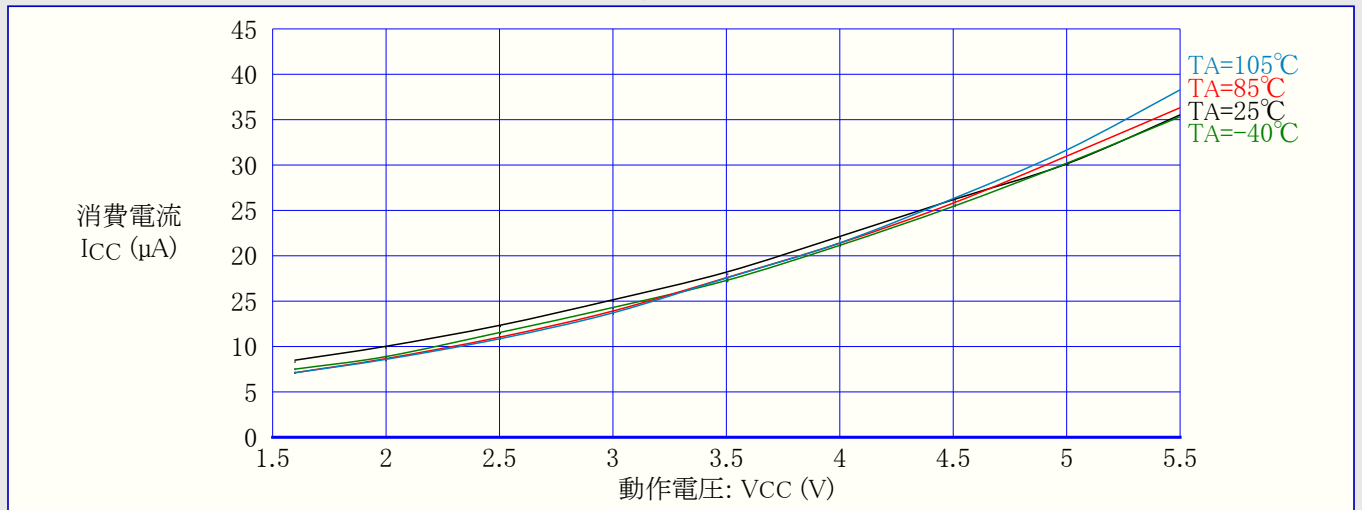
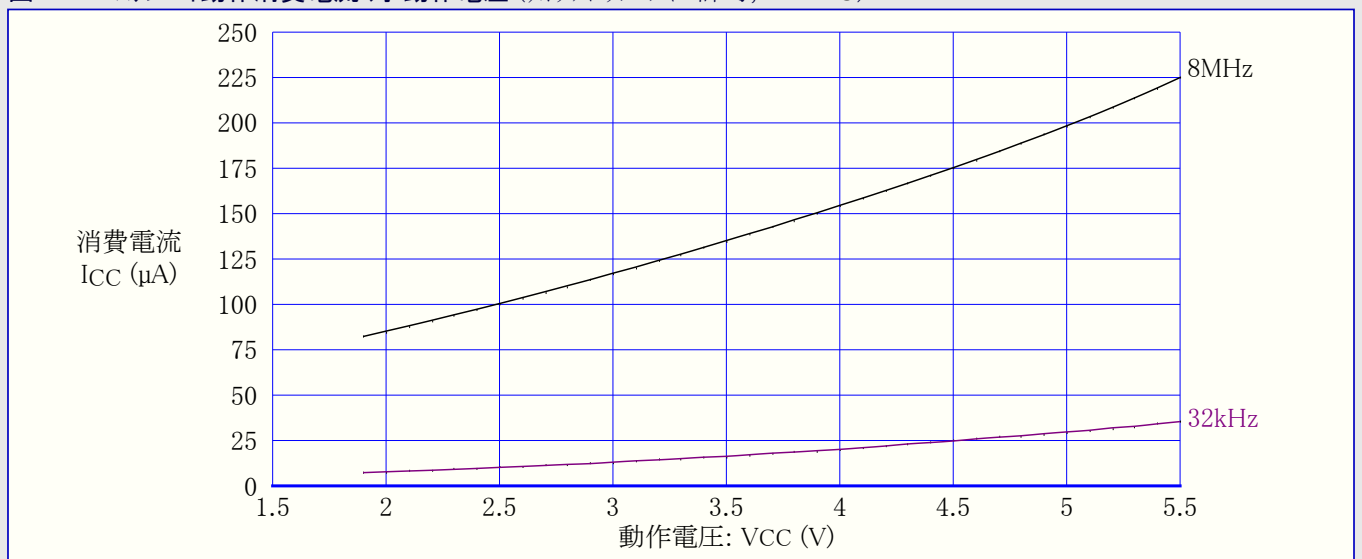


図26-10. アイドル動作消費電流 対 動作電圧 (内部発振器,32kHz)



26.3. スタンバイ動作消費電流

図26-11. スタンバイ動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ許可,TA=25°C)



26.4. パワーダウン動作消費電流

図26-12. パワーダウン動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ禁止)

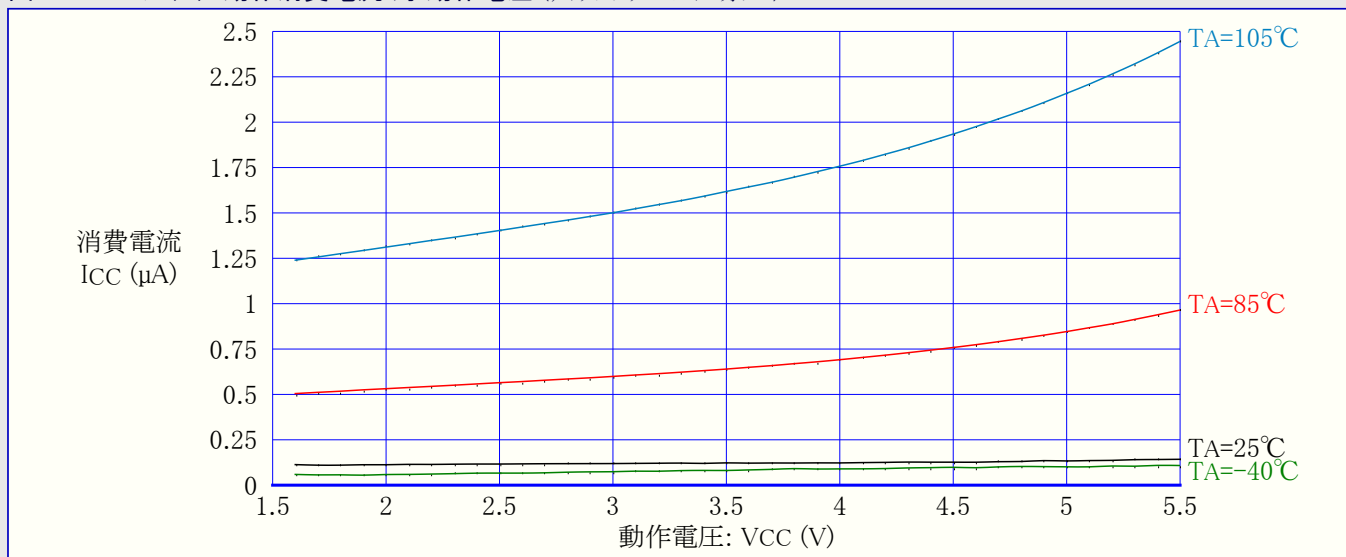
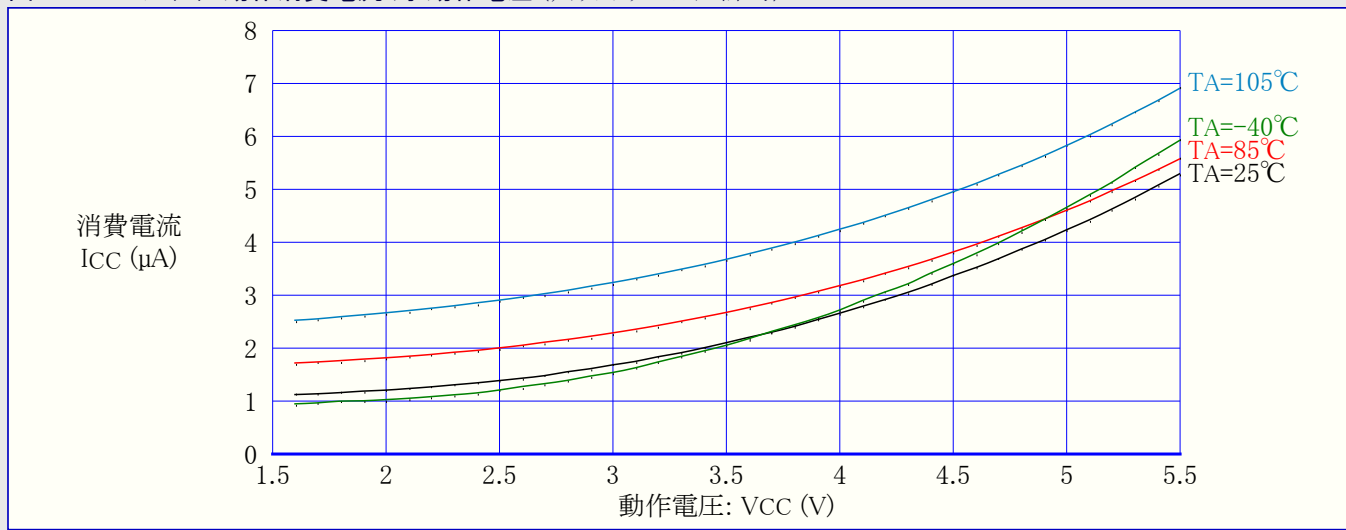


図26-13. パワーダウン動作消費電流 対 動作電圧 (ウォッチドッグ タイマ許可)



26.5. リセット消費電流

図26-14. リセット消費電流 対 周波数 (100kHz~1MHz, プルアップ電流を除く)

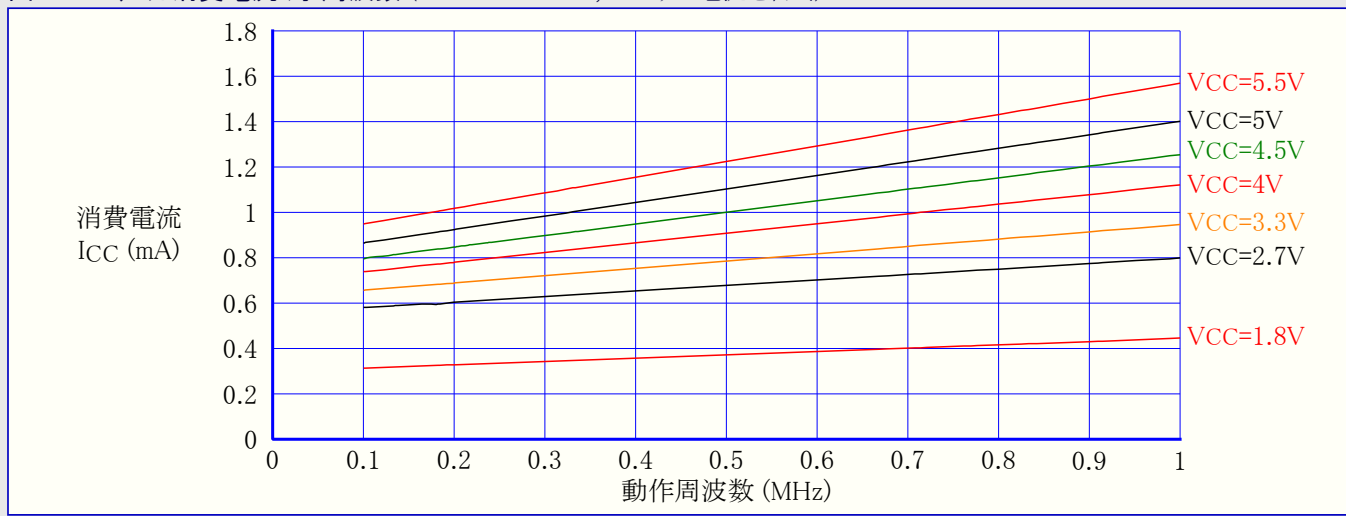


図26-15. リセット消費電流 対 周波数 (1MHz~12MHz, プルアップ電流を除く)

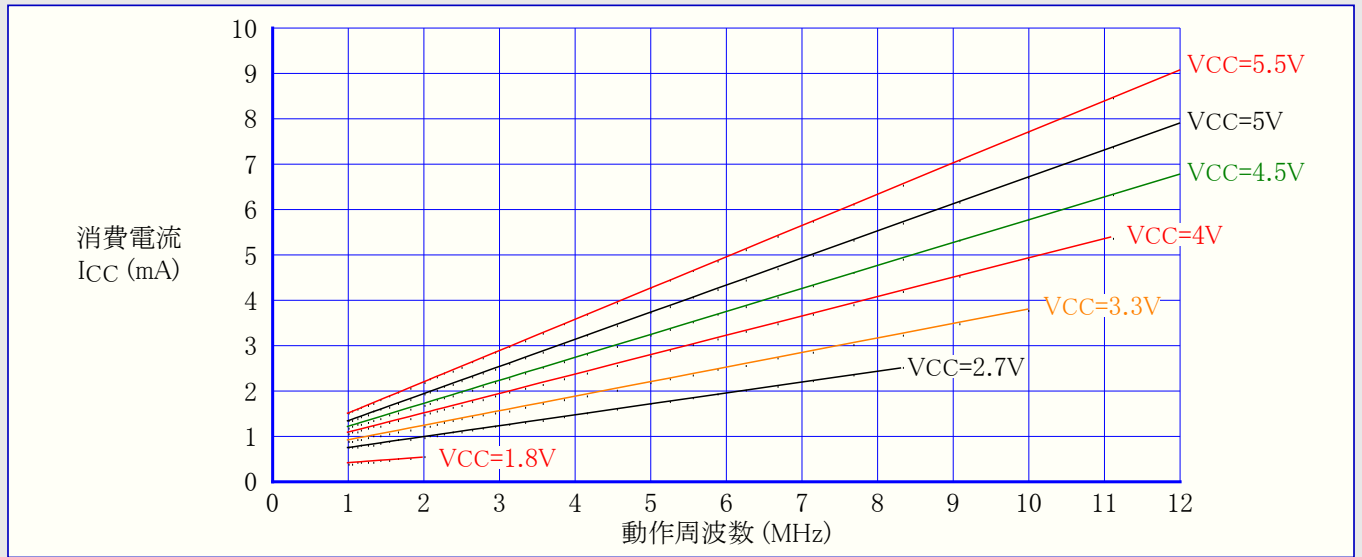
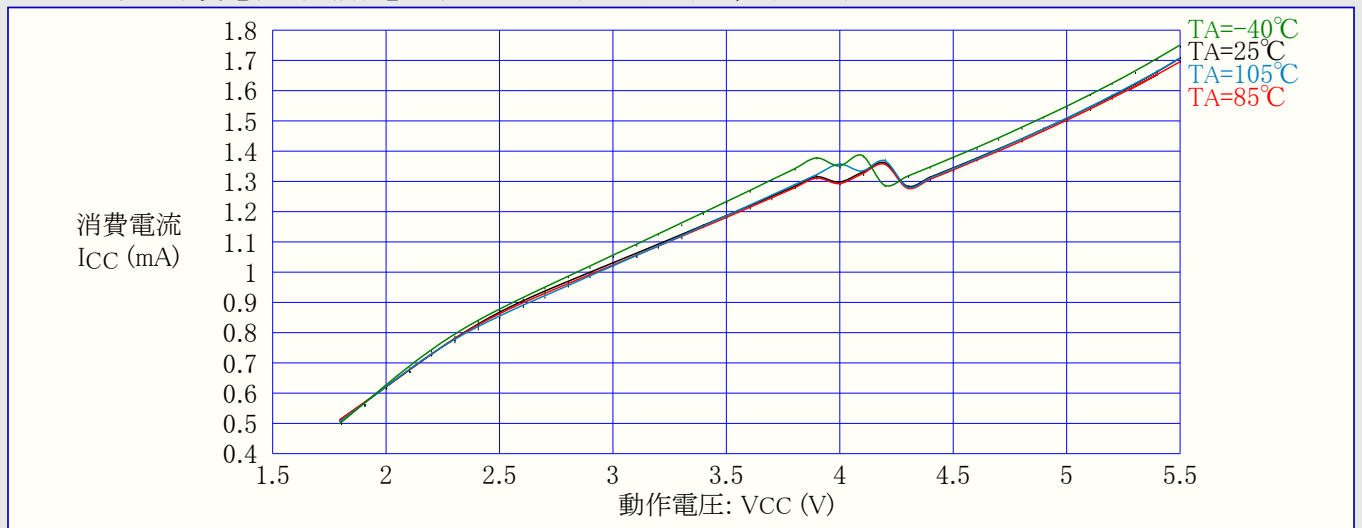


図26-16. リセット消費電流 対 動作電圧 (RESETプルアップ電流を除く, クロックなし)



26.6. 周辺機能部消費電流

図26-17. 4MHzでの周辺機能の消費電流 対 動作電圧 (TA=25°C)

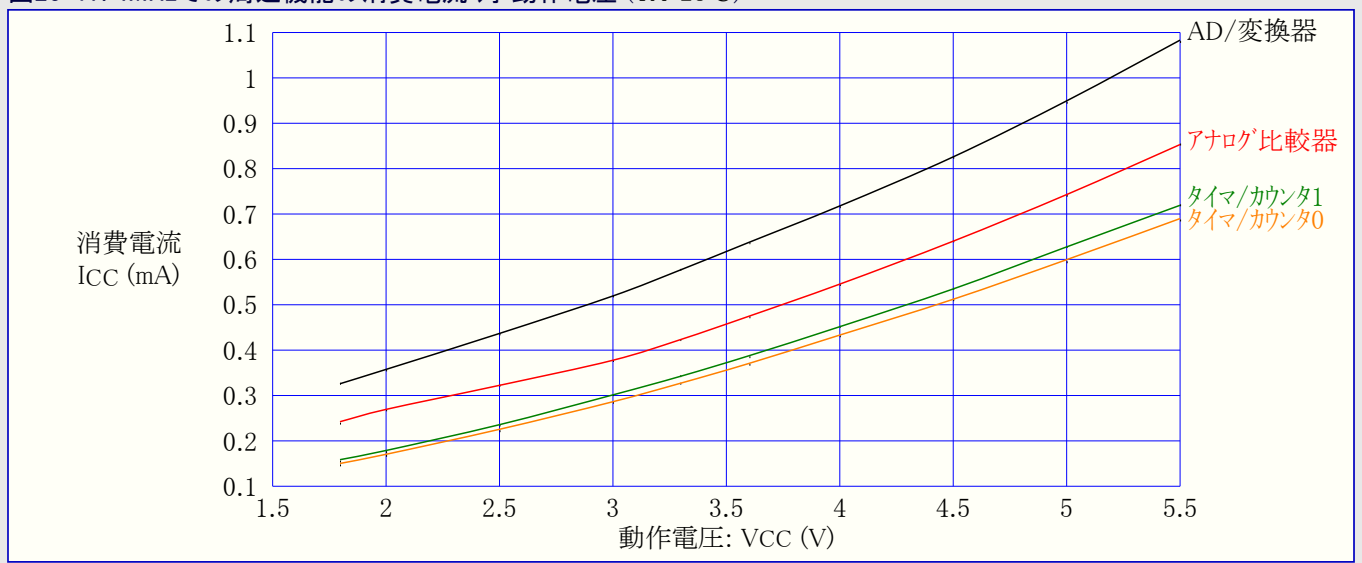


図26-18. ウォッチドッグ タイマ消費電流 対 動作電圧

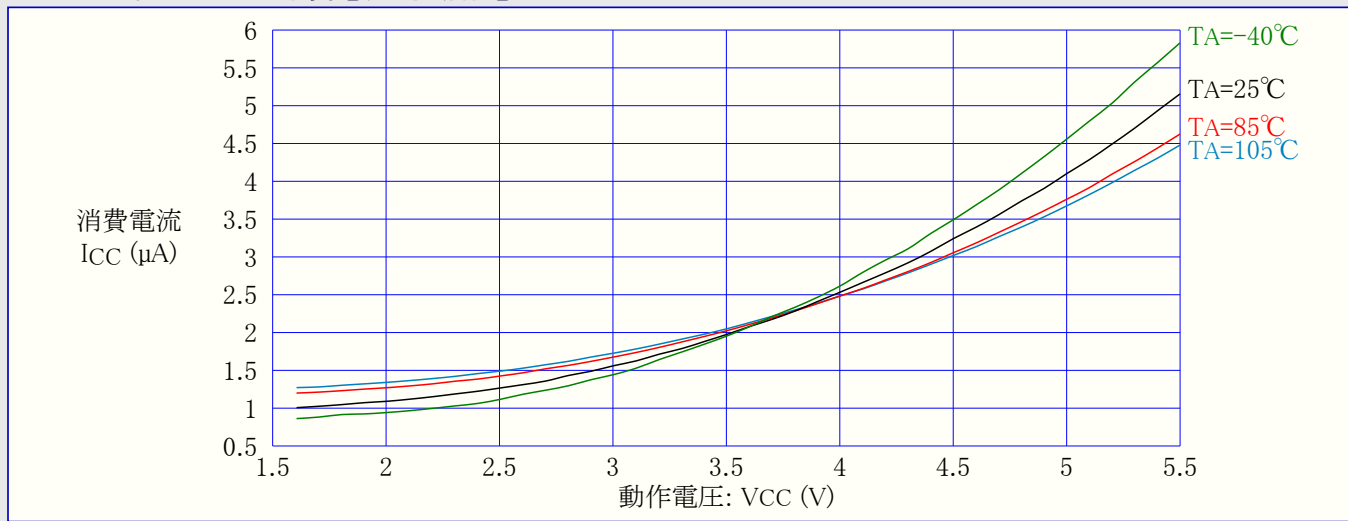


図26-19. 低電圧検出器(BOD)消費電流 対 動作電圧

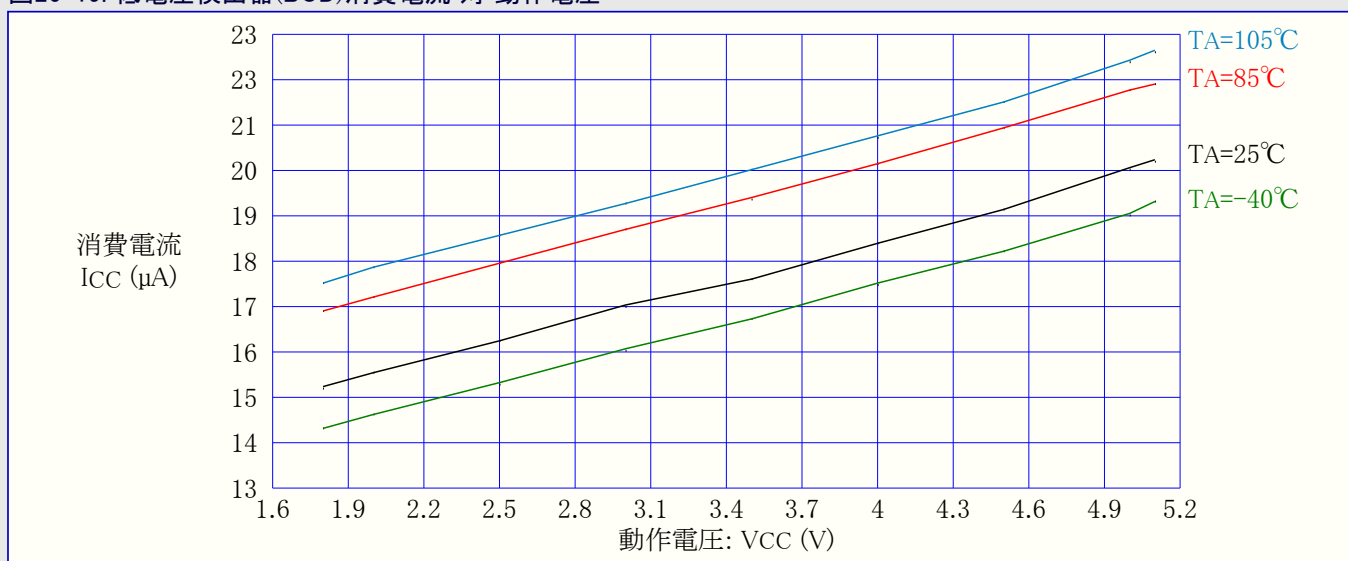


図26-20. 採取動作低電圧検出器(BOD)消費電流 対 動作電圧

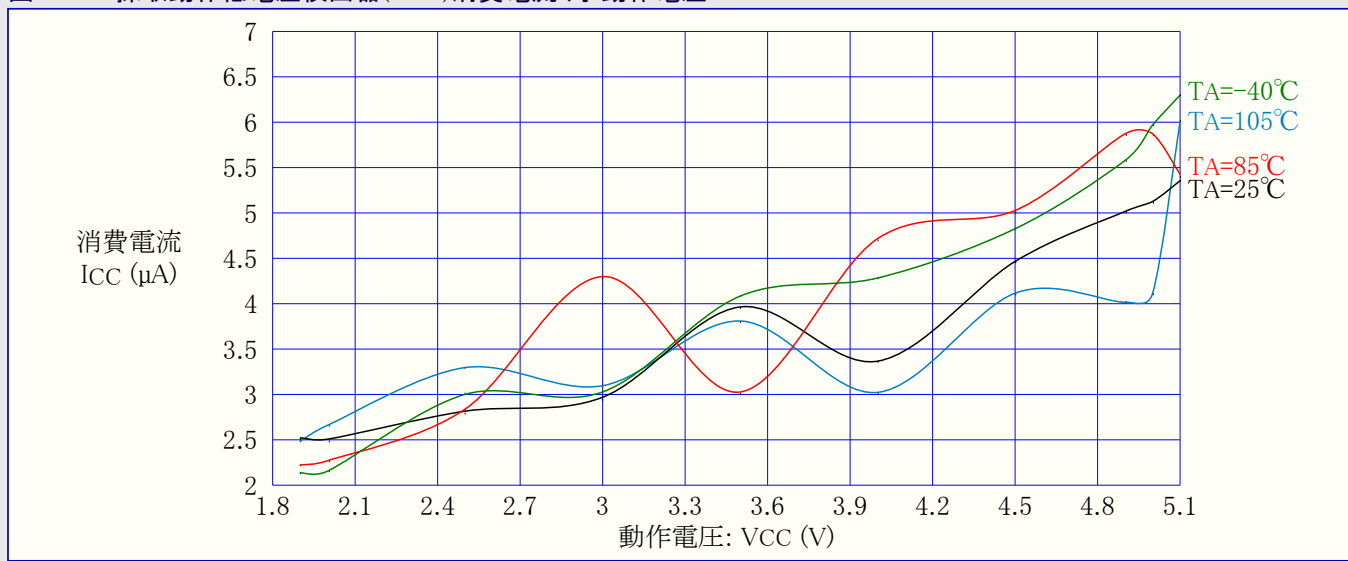
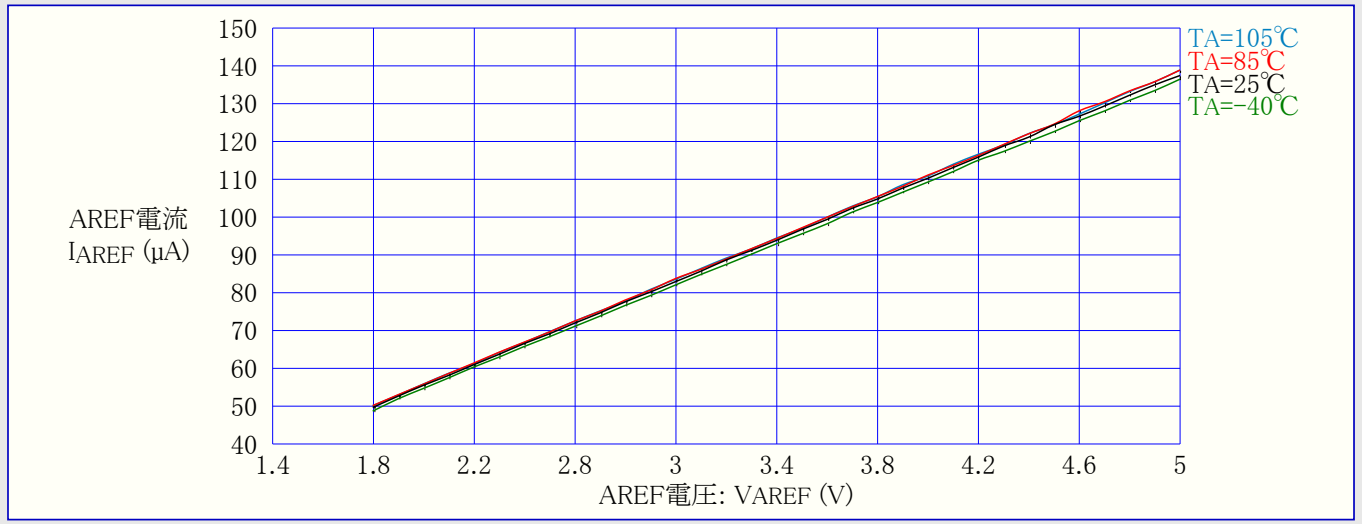


図26-21. AREF外部基準電圧ピン電流 対 電圧 (VCC=5V)



26.7. フルアップ抵抗

図26-22. I/Oピンフルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=1.8V)

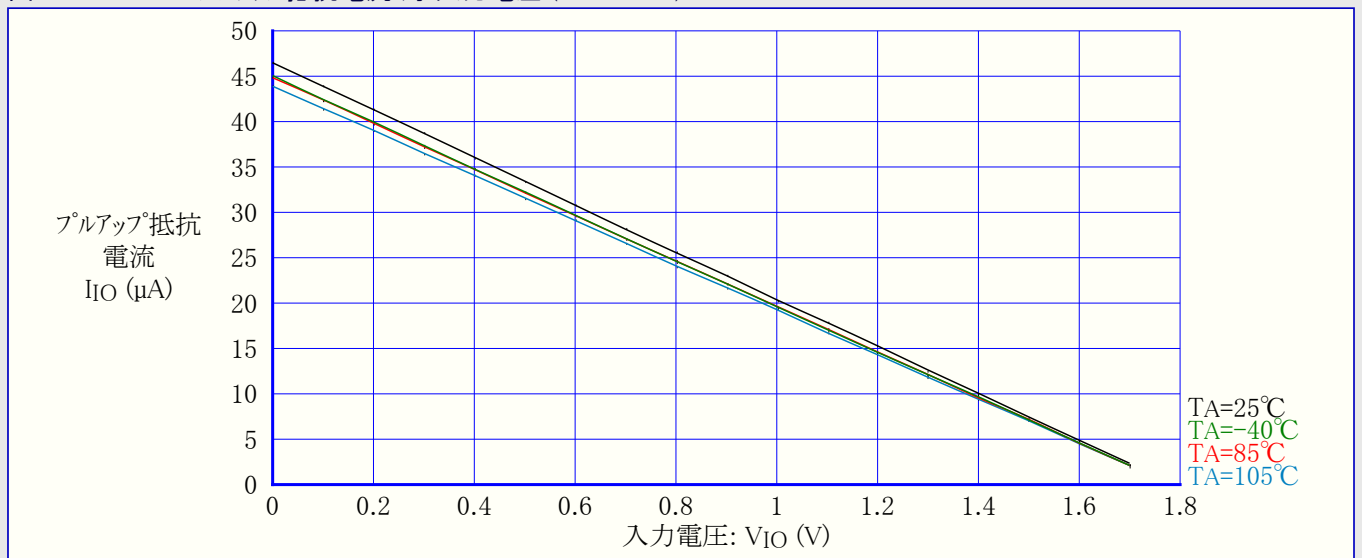


図26-23. I/Oピンフルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=2.7V)

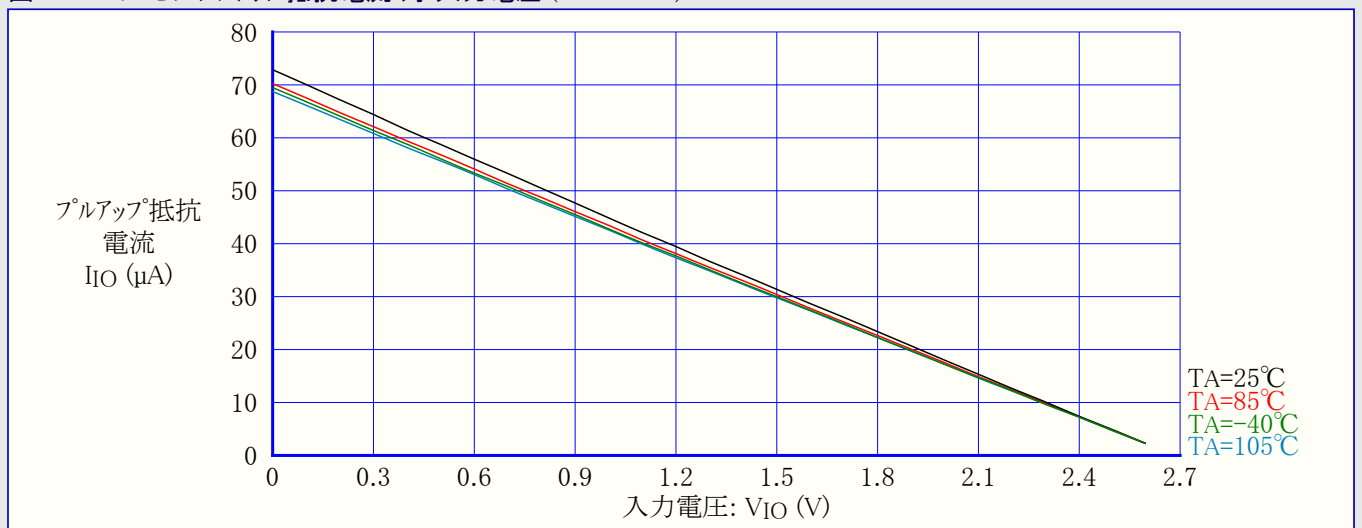


図26-24. I/Oピンプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=5V)

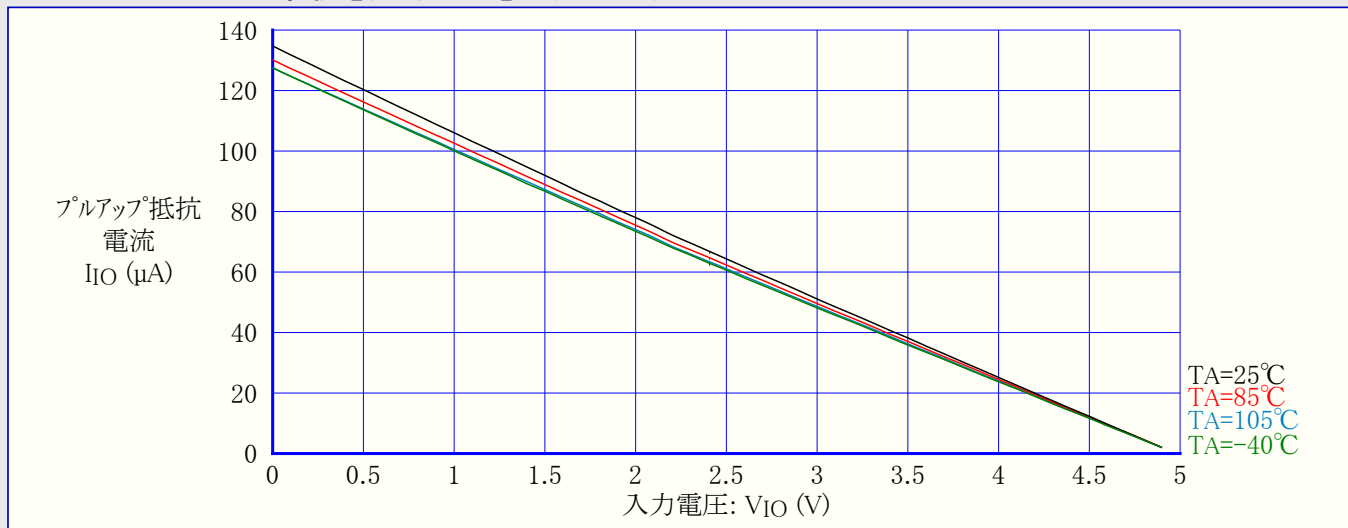


図26-25. RESETプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=1.8V)

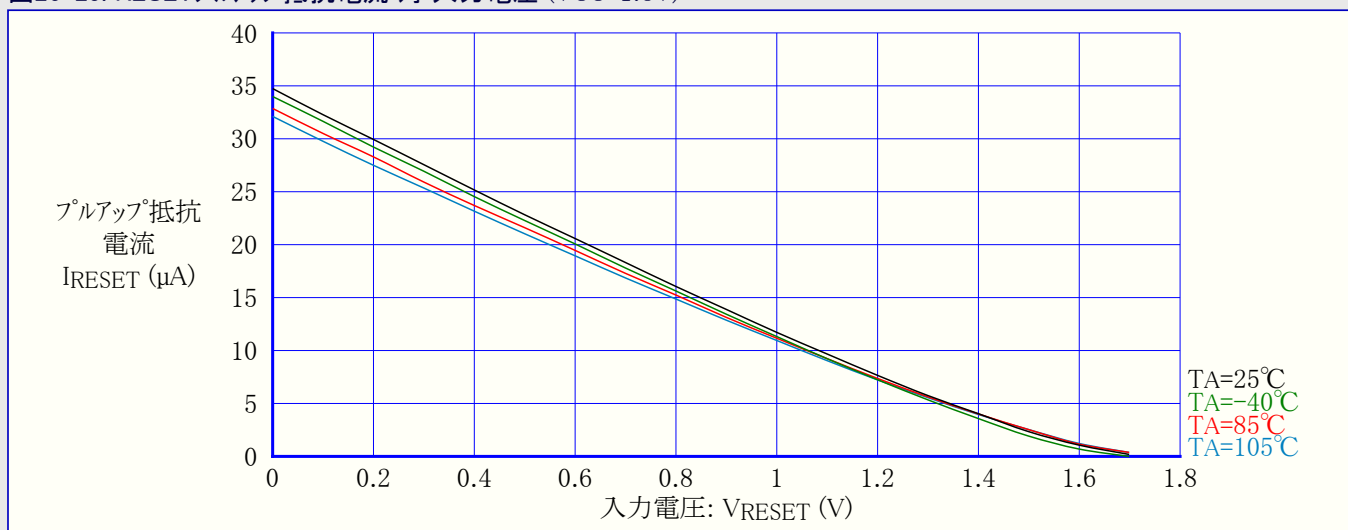


図26-26. RESETプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=2.7V)

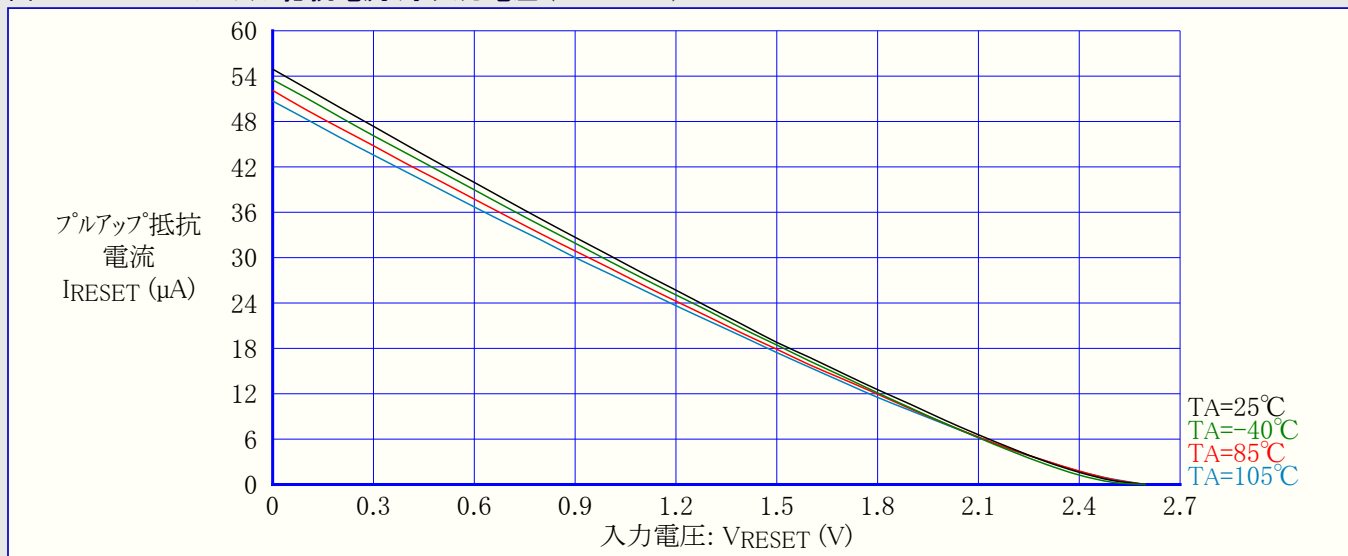
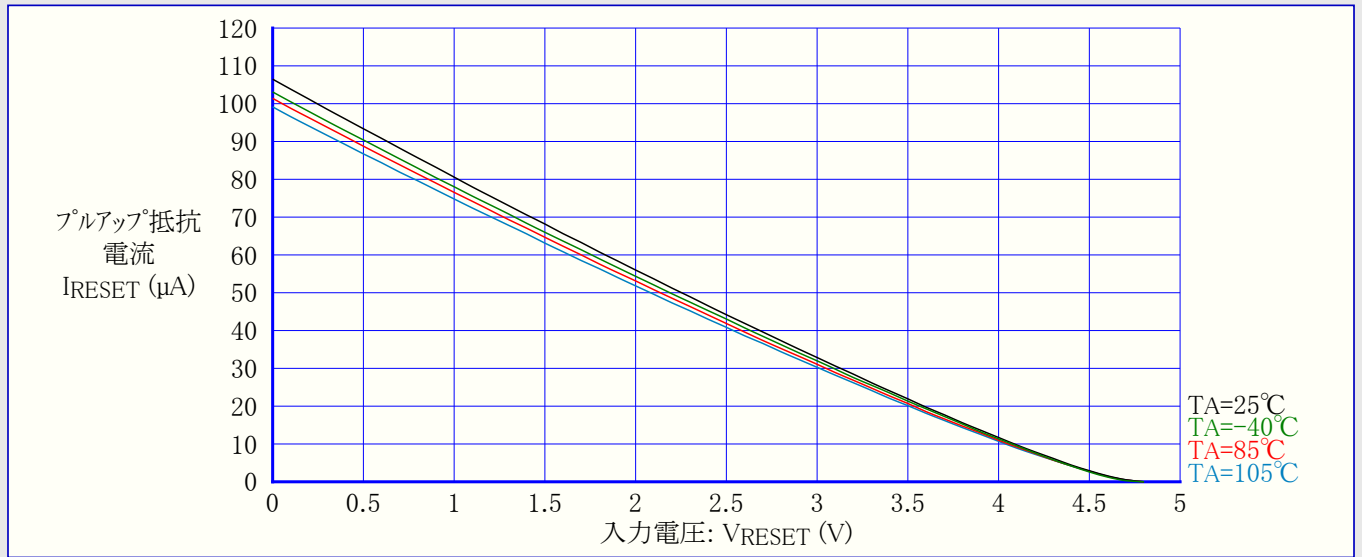


図26-27. RESETプルアップ抵抗電流 対 入力電圧 (VCC=5V)



26.8. 入力閾値

図26-28. I/Oピン入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 (VIH, 1読み値)

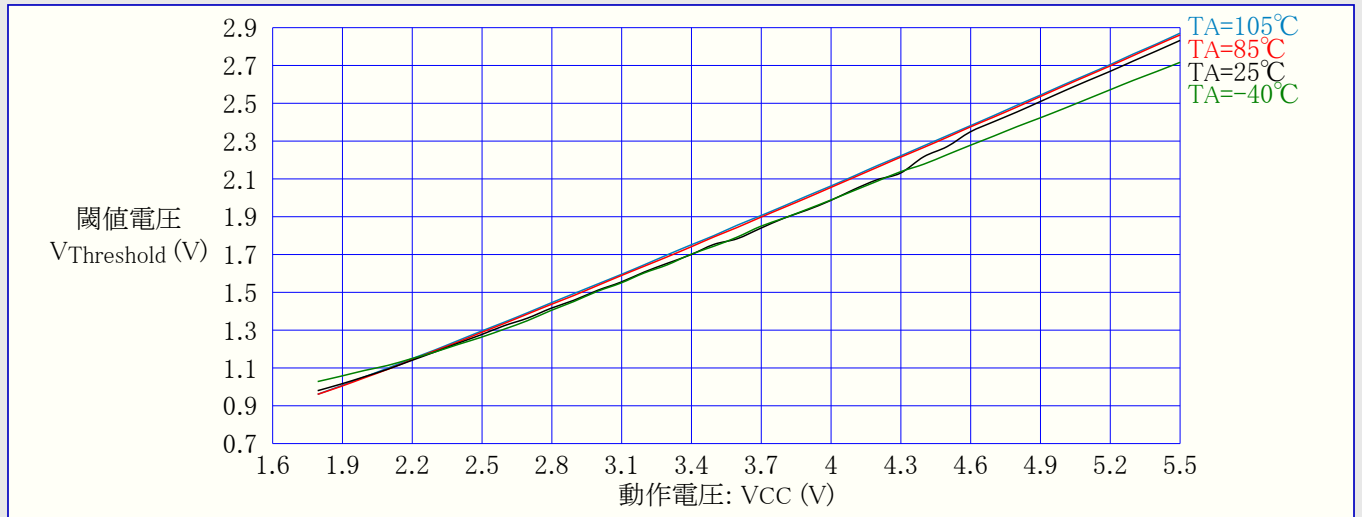


図26-29. I/Oピン入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 (VIL, 0読み値)

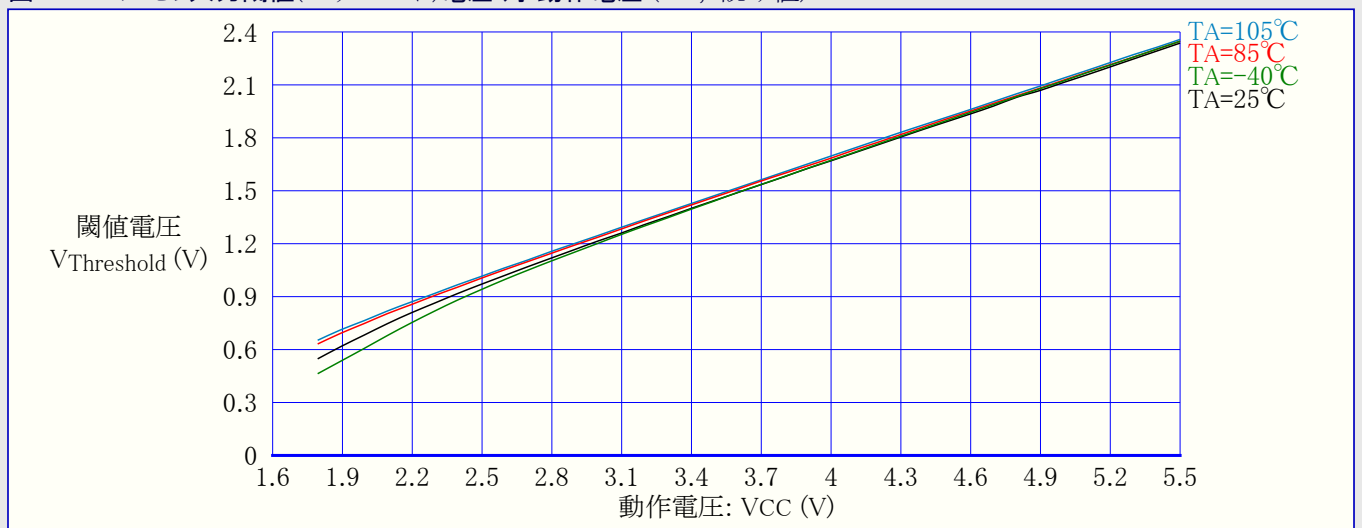


図26-30. I/Oピン入力ヒステリシス電圧 対 動作電圧

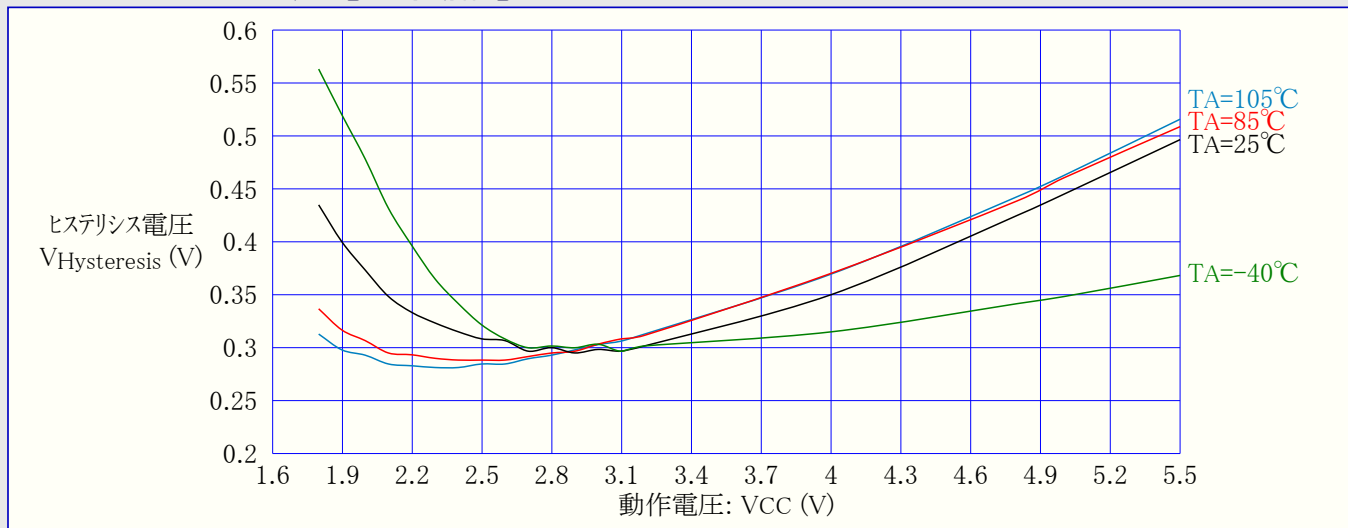


図26-31. 入出力としてのRESET入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 ($V_{IH,1}$ 読み値)

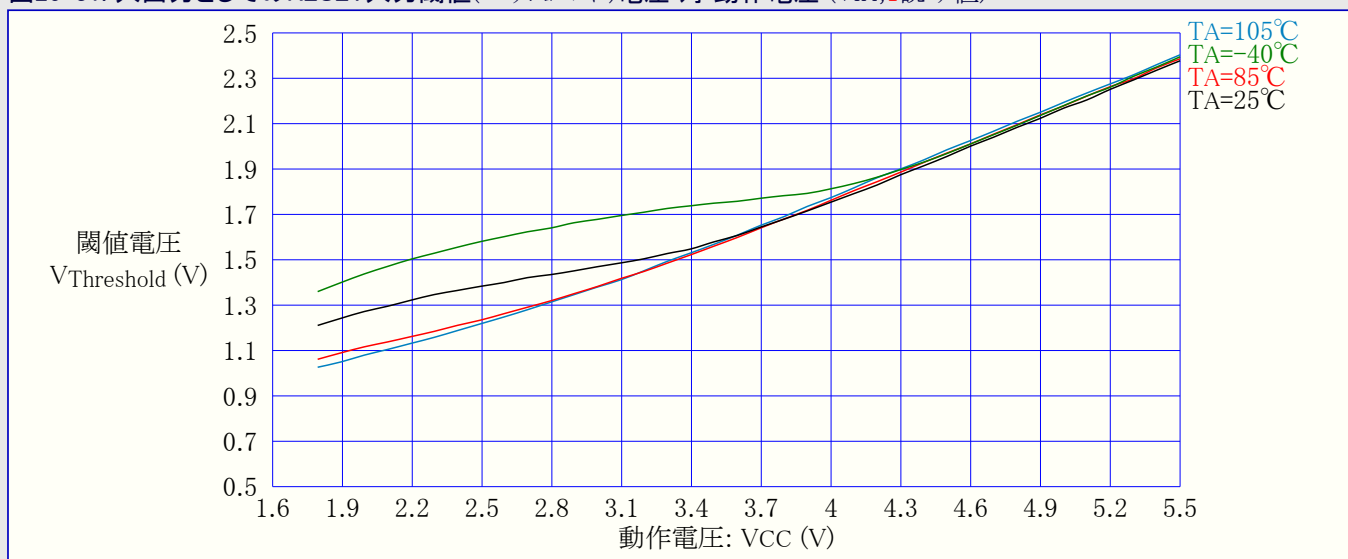


図26-32. 入出力としてのRESET入力閾値(スレッショルド)電圧 対 動作電圧 ($V_{IL,0}$ 読み値)

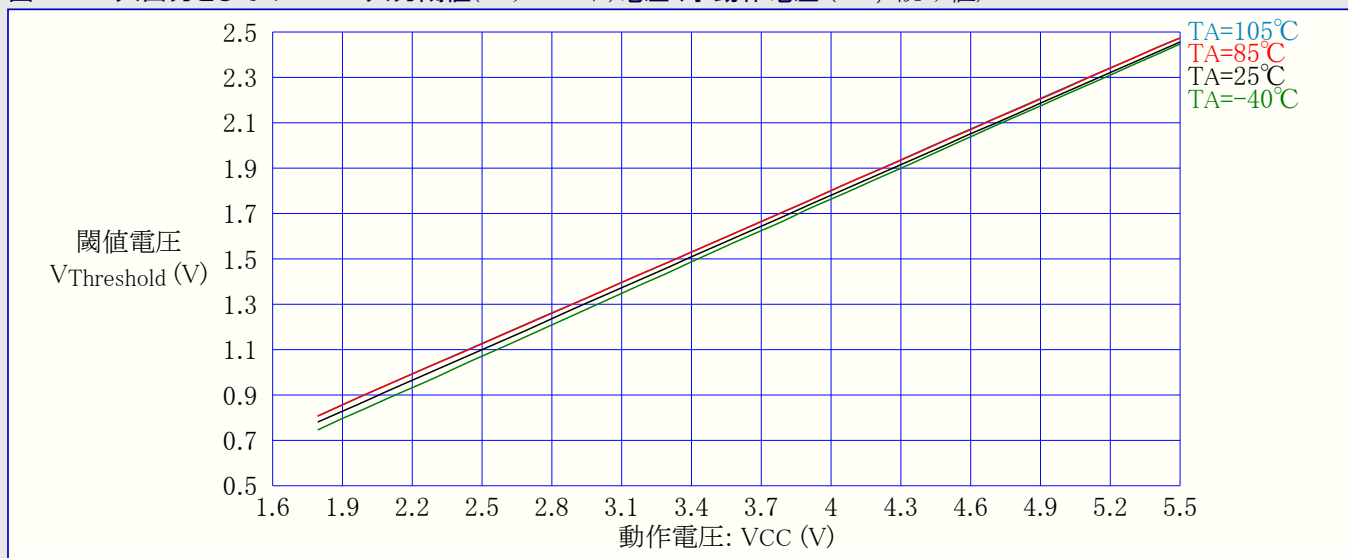
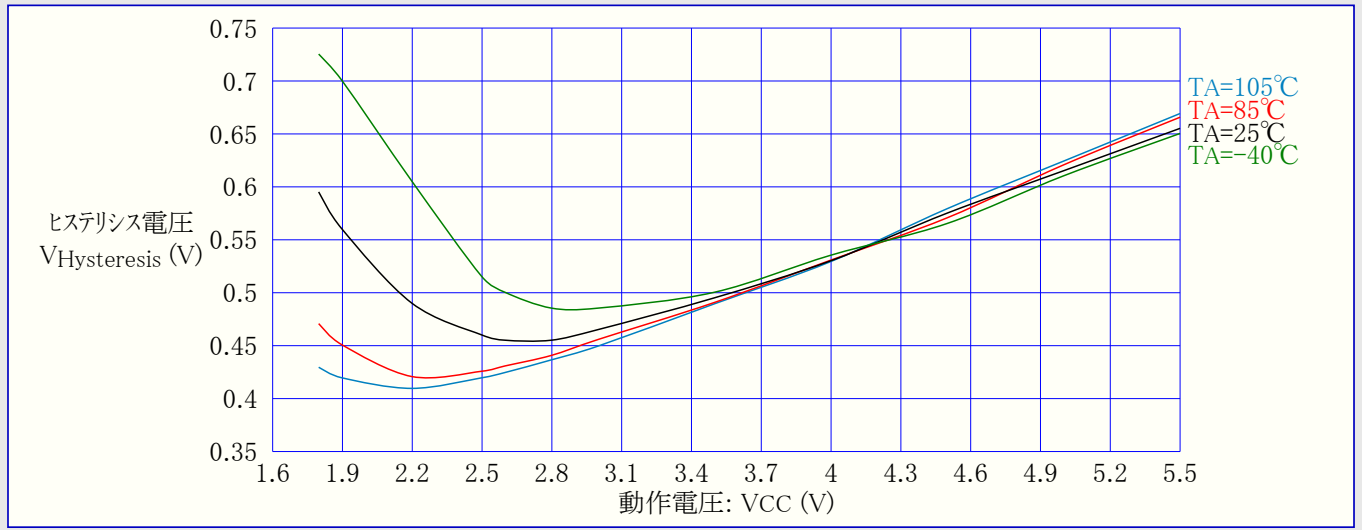


図26-33. 入出力としてのRESETピン入力ヒステリシス電圧 対 動作電圧 (I/Oとして使用時)



26.9. 出力駆動部能力

図26-34. I/Oピン出力電圧 対 吐き出し電流 ($V_{CC}=1.8V$)

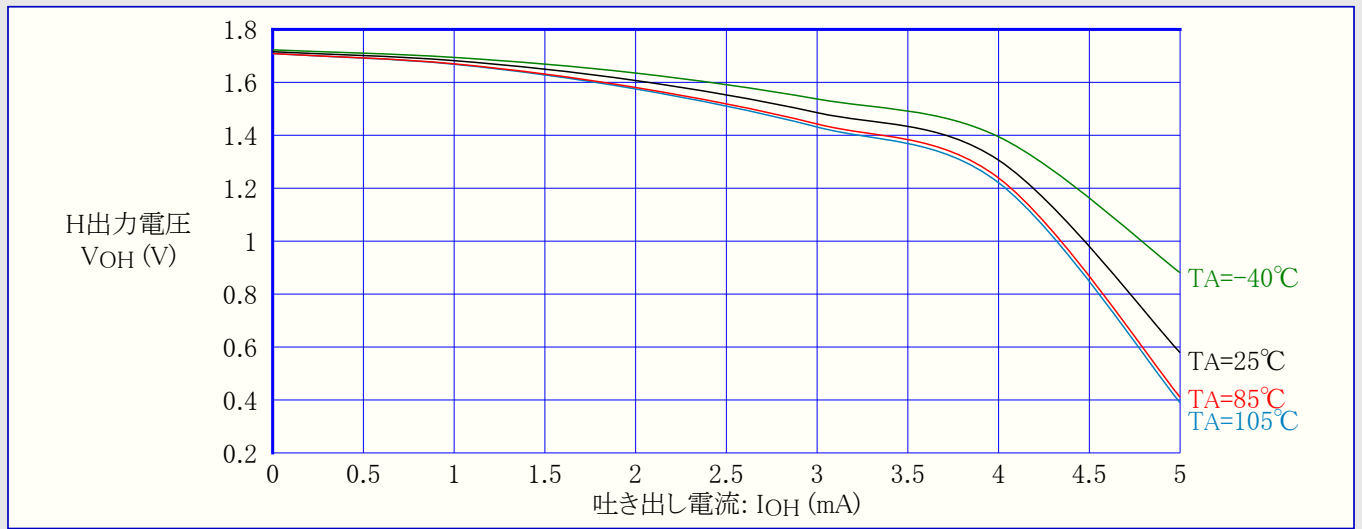


図26-35. I/Oピン出力電圧 対 吐き出し電流 ($V_{CC}=3V$)

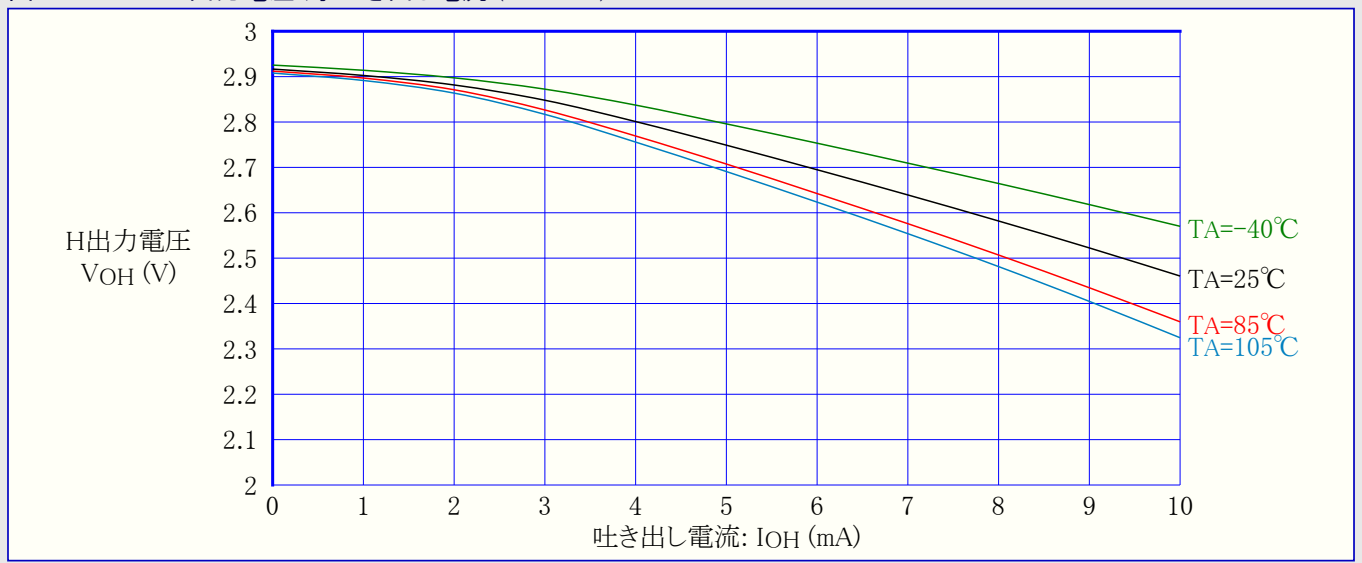


図26-36. I/Oピン出力電圧 対 吐き出し電流 (VCC=5V)

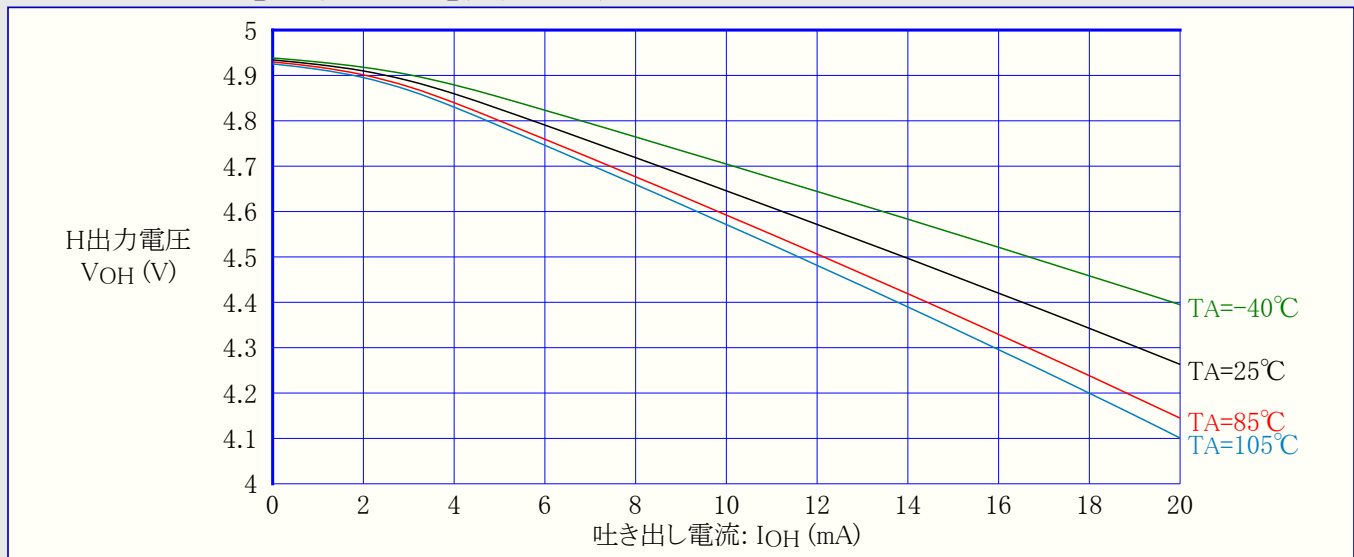


図26-37. I/Oピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=1.8V)

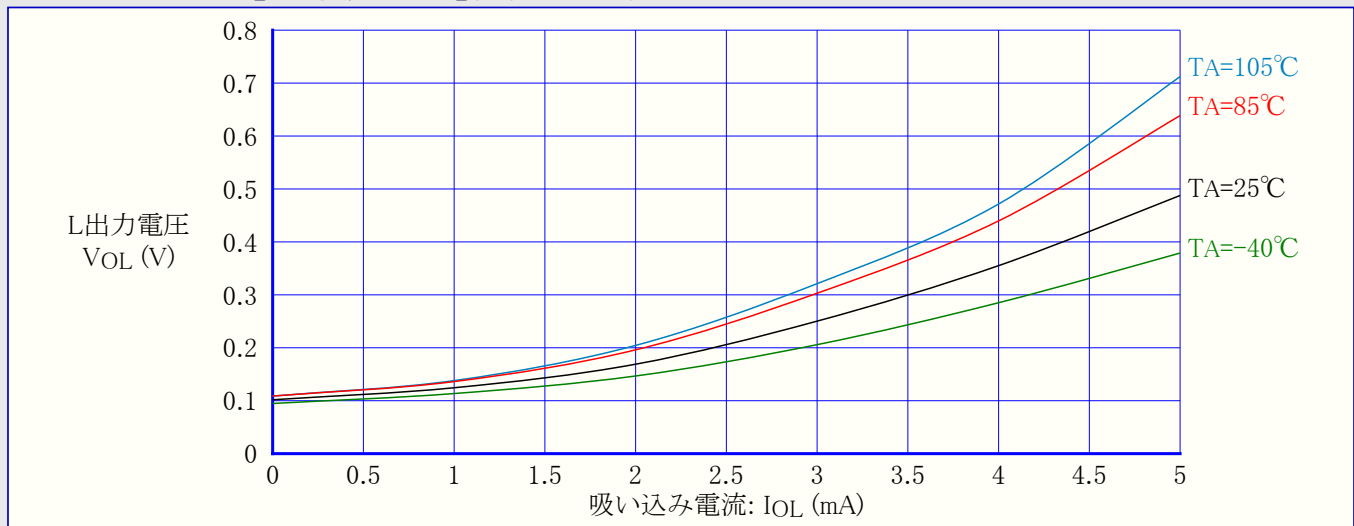


図26-38. I/Oピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=3V)

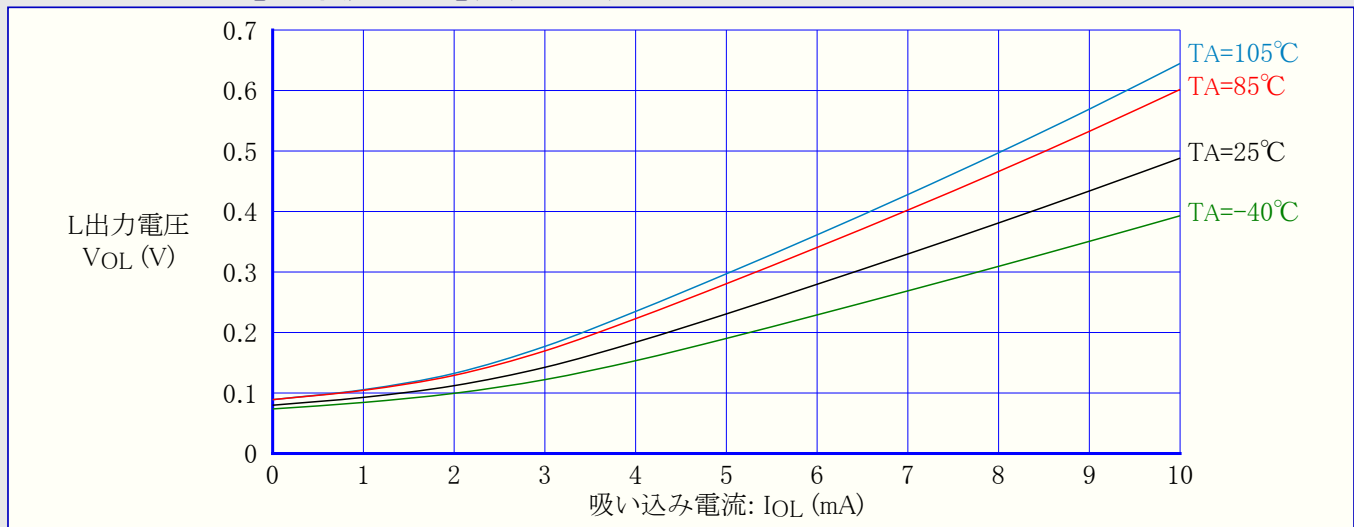


図26-39. I/Oピンの出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=5V)

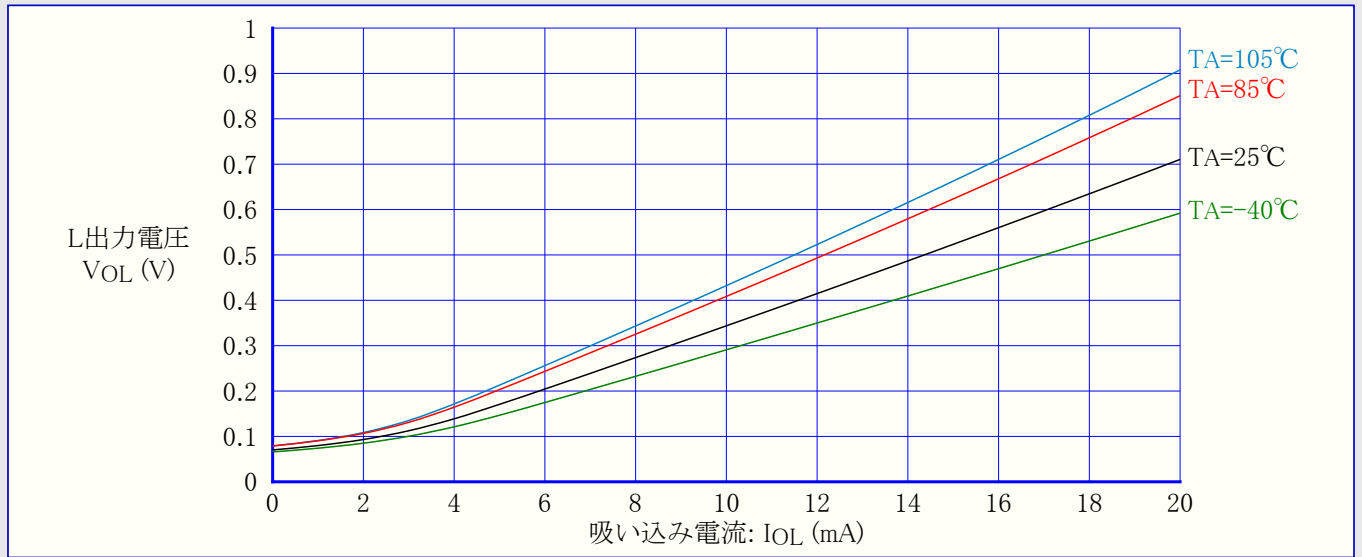


図26-40. 入出力としてのRESETピンの出力電圧 対 吐き出し電流 (VCC=1.8V)

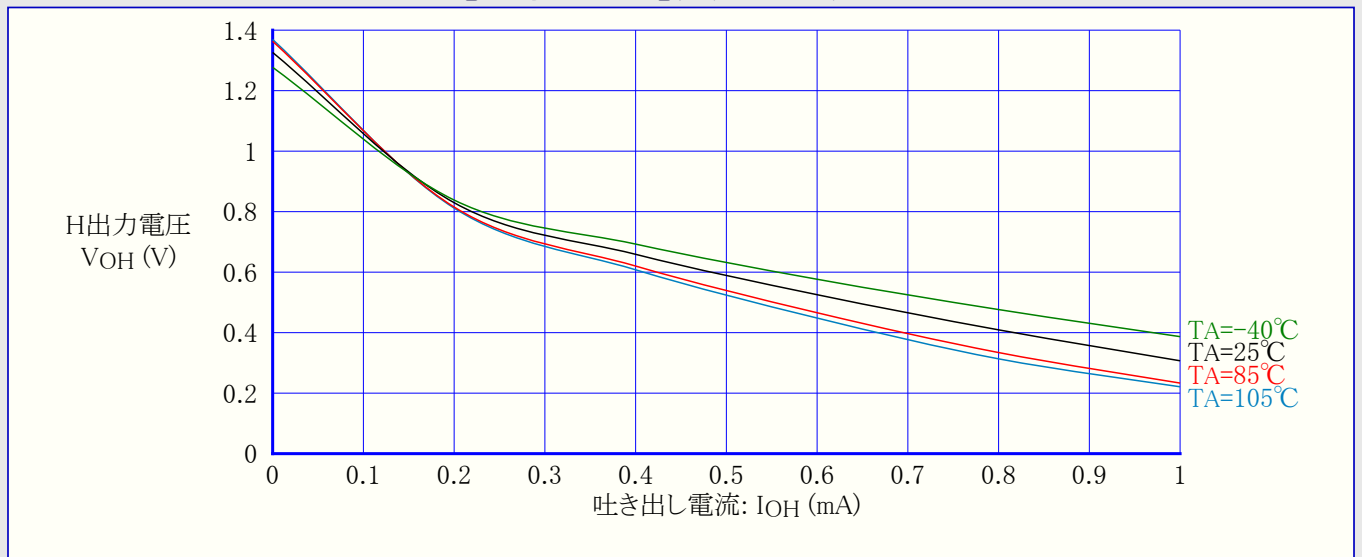


図26-41. 入出力としてのRESETピンの出力電圧 対 吐き出し電流 (VCC=3V)

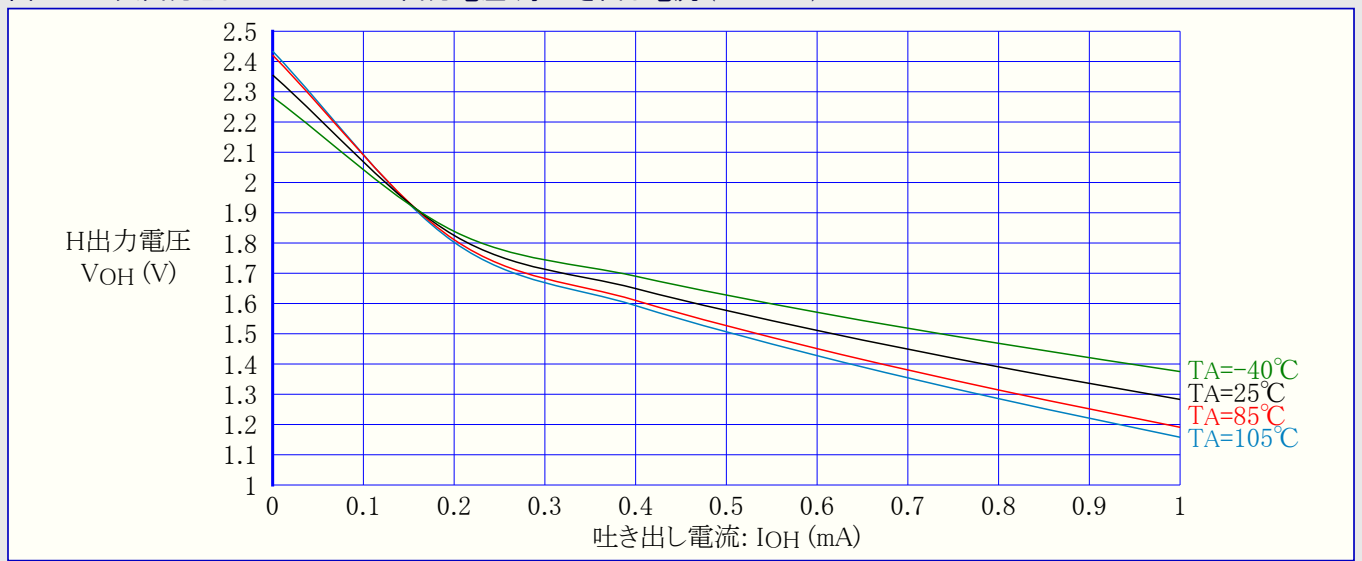


図26-42. 入出力としてのRESETピン出力電圧 対 吐き出し電流 (VCC=5V)

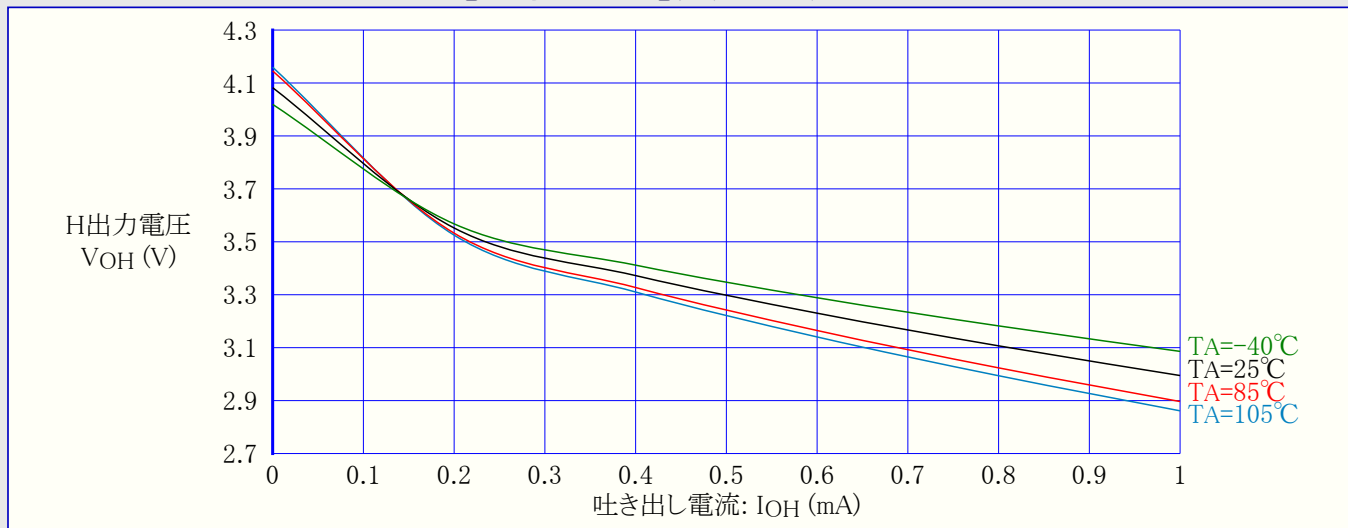


図26-43. 入出力としてのRESETピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=1.8V)

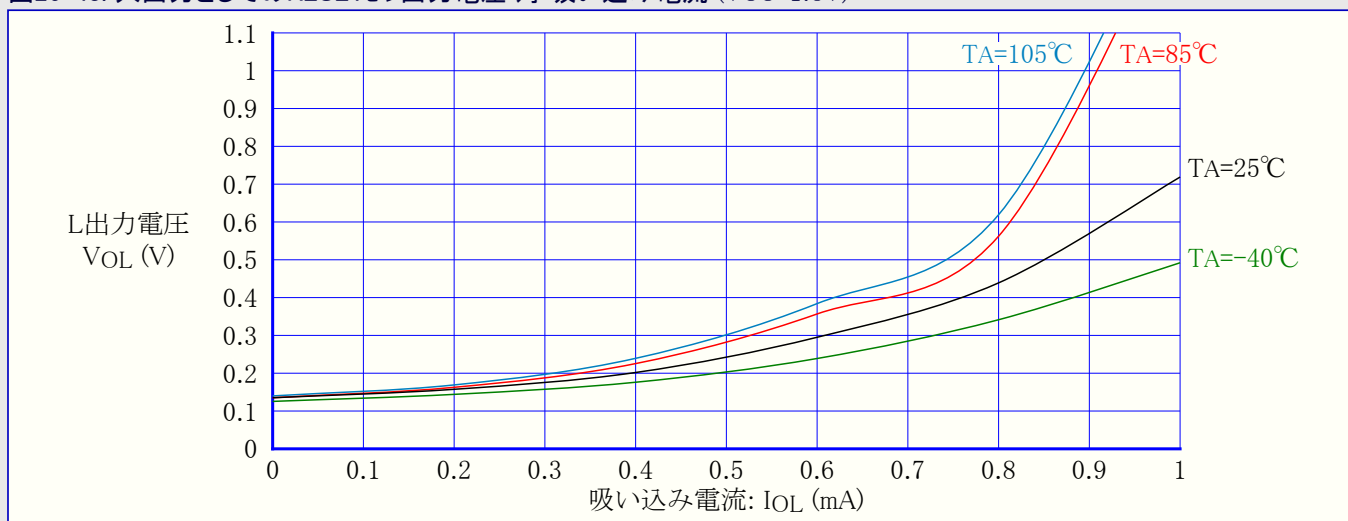


図26-44. 入出力としてのRESETピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=3V)

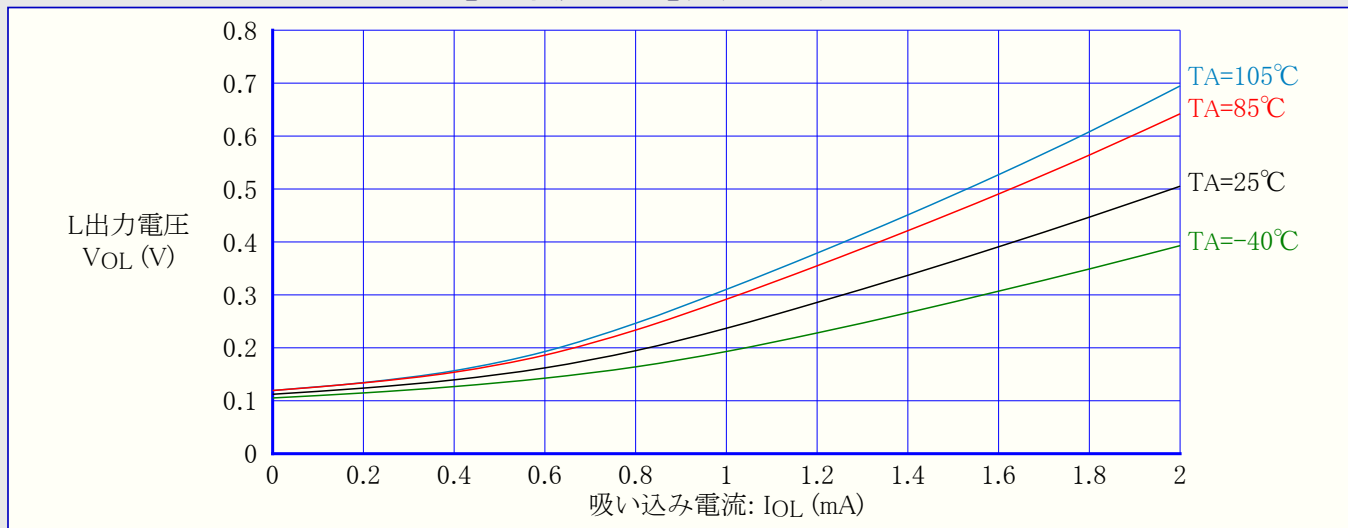
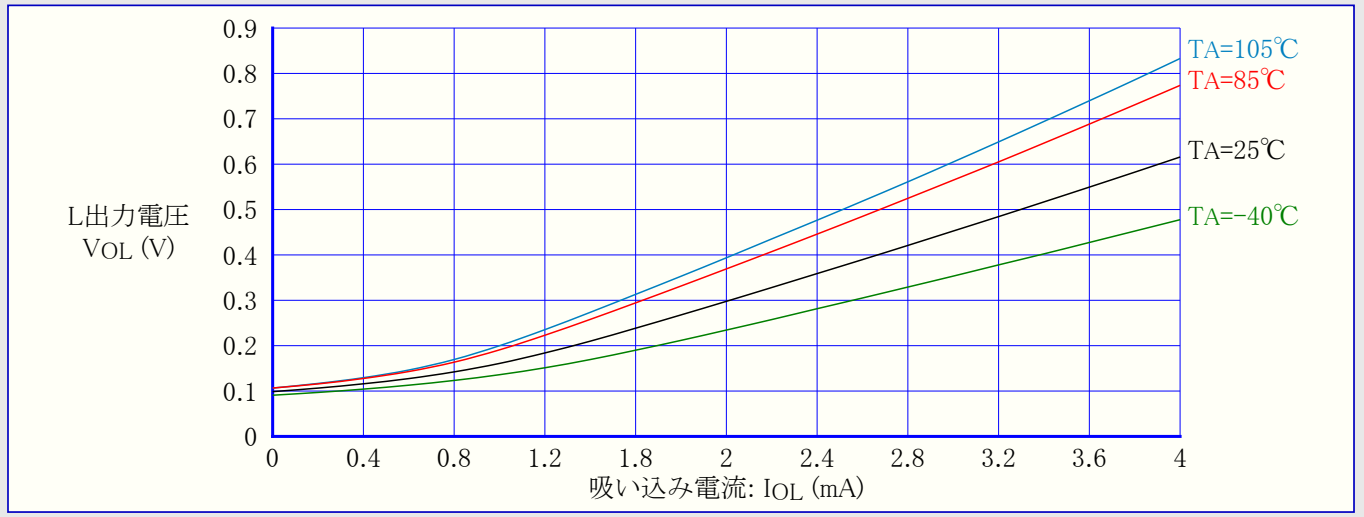


図26-45. 入出力としてのRESETピン出力電圧 対 吸い込み電流 (VCC=5V)



26.10. 低電圧検出器 (BOD)

図26-46. 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4.3V)

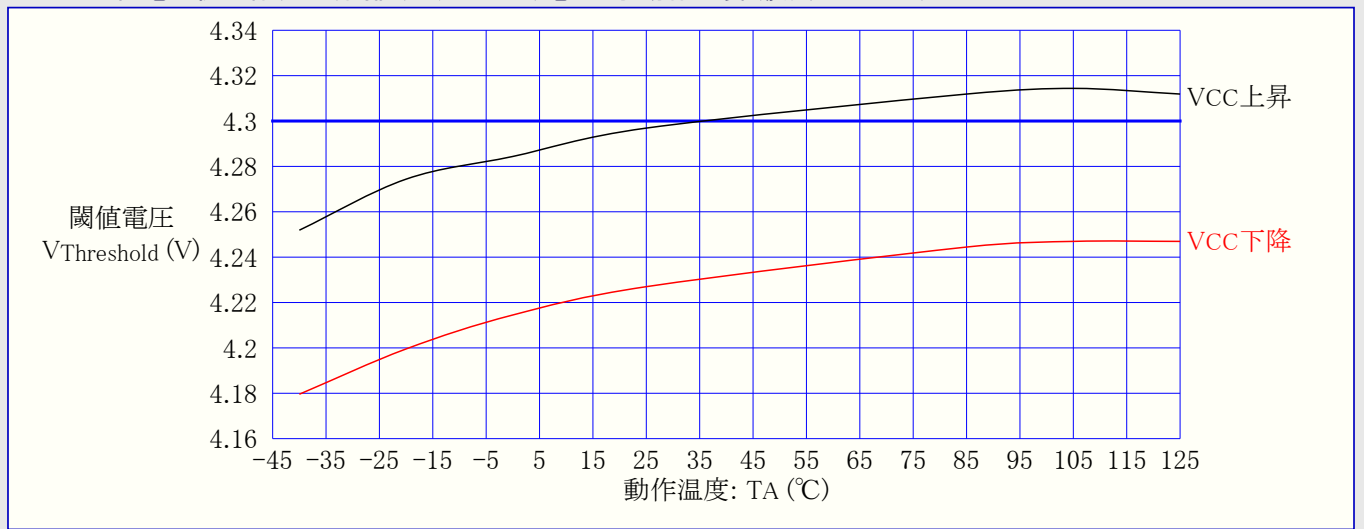


図26-47. 低電圧検出器(BOD)閾値(スレッシュホールド)電圧 対 動作温度 (検出電圧2.7V)

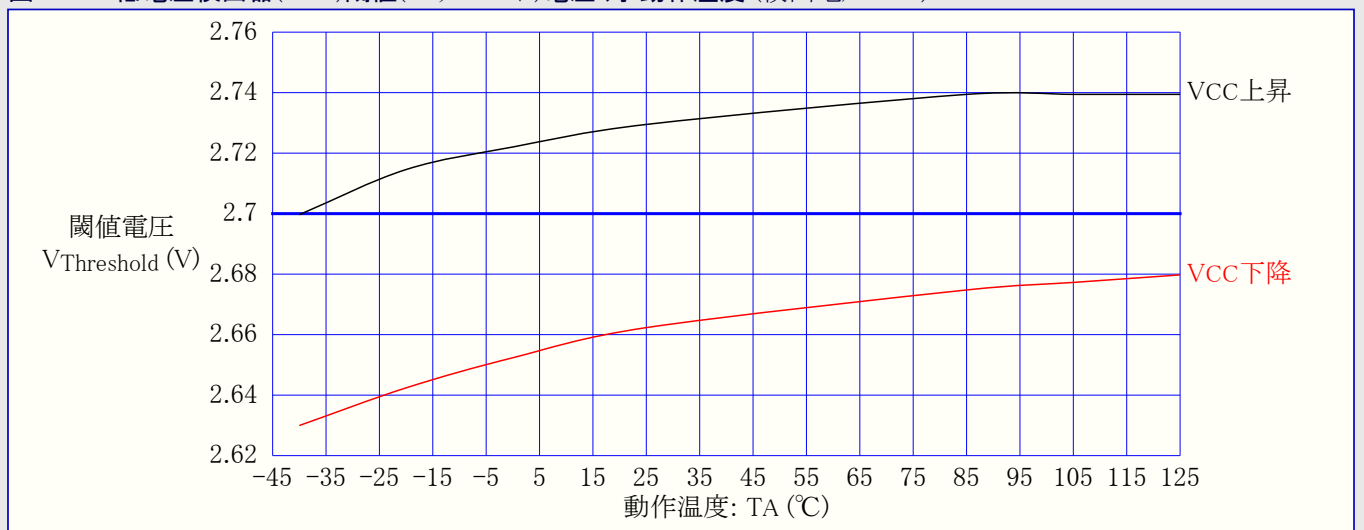


図26-48. 低電圧検出器(BOD)閾値(スレッショルド)電圧 対 動作温度 (検出電圧1.8V)

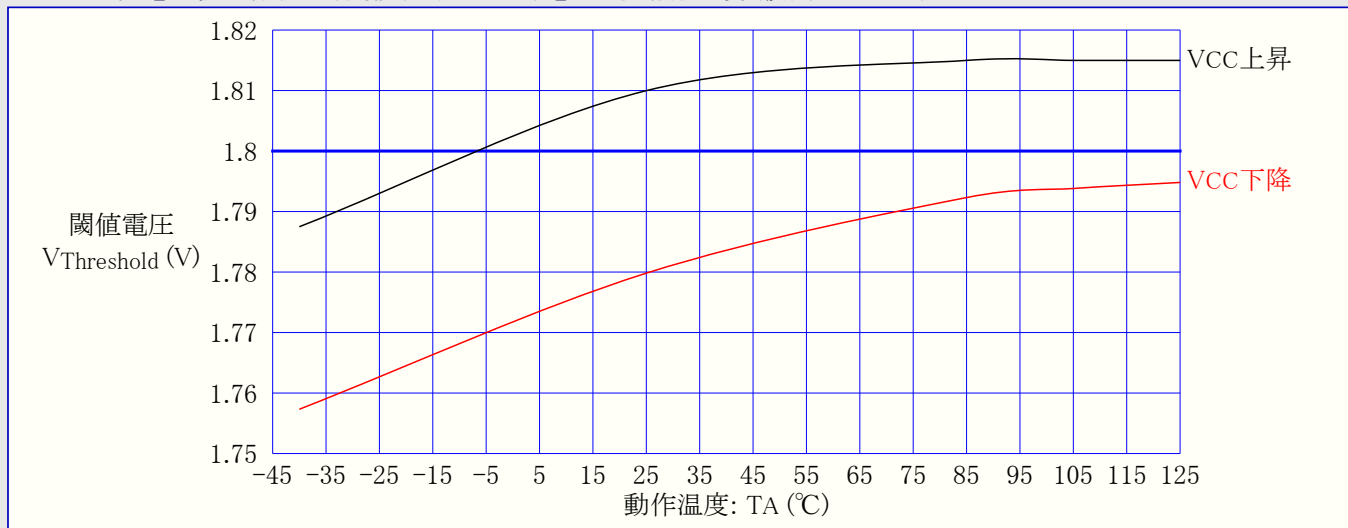


図26-49. 採取動作低電圧検出器(BOD)閾値(スレッショルド)電圧 対 動作温度 (検出電圧4.3V)

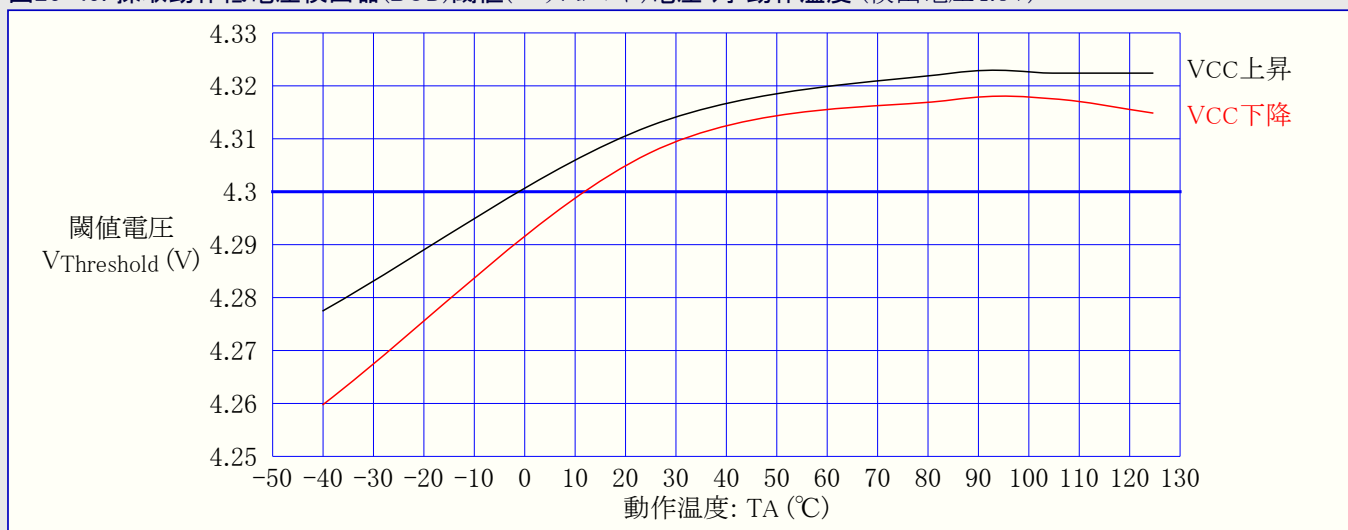


図26-50. 採取動作低電圧検出器(BOD)閾値(スレッショルド)電圧 対 動作温度 (検出電圧2.7V)

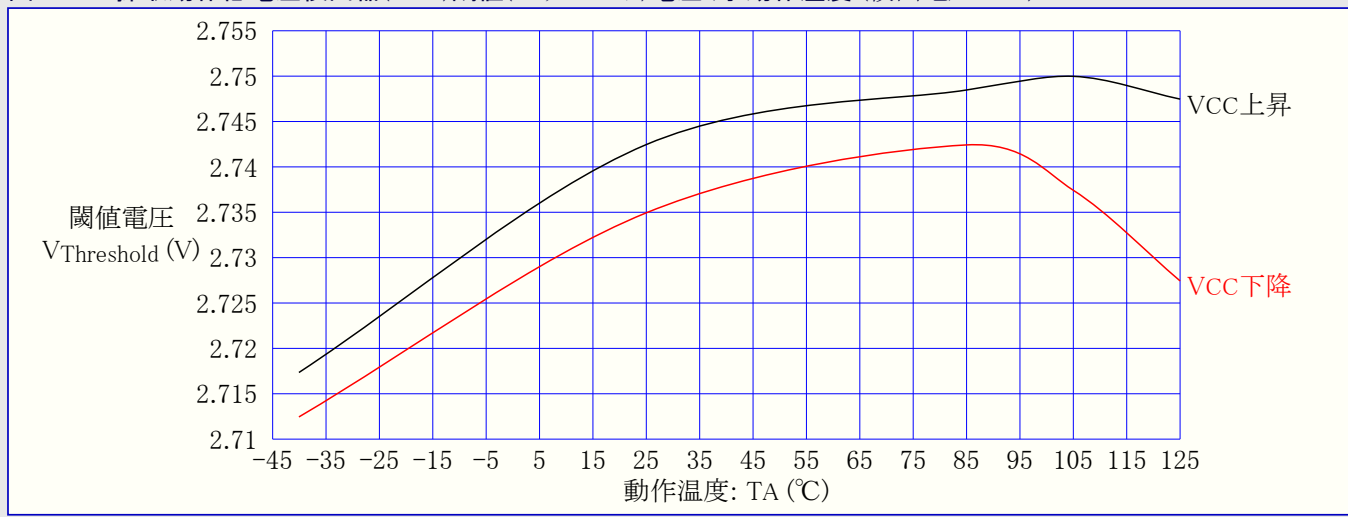
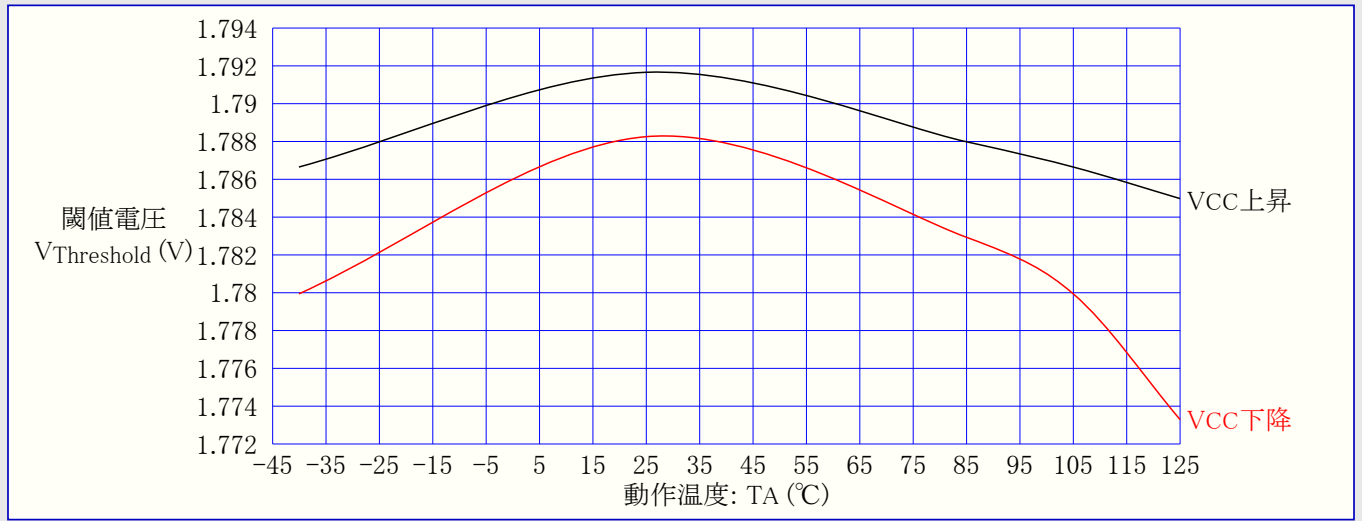


図26-51. 採取動作低電圧検出器(BOD)閾値(スレッシュホールド)電圧 対 動作温度 (検出電圧1.8V)



26.11. バンドギャップ電圧

図26-52. 内部バンドギャップ電圧 対 動作電圧

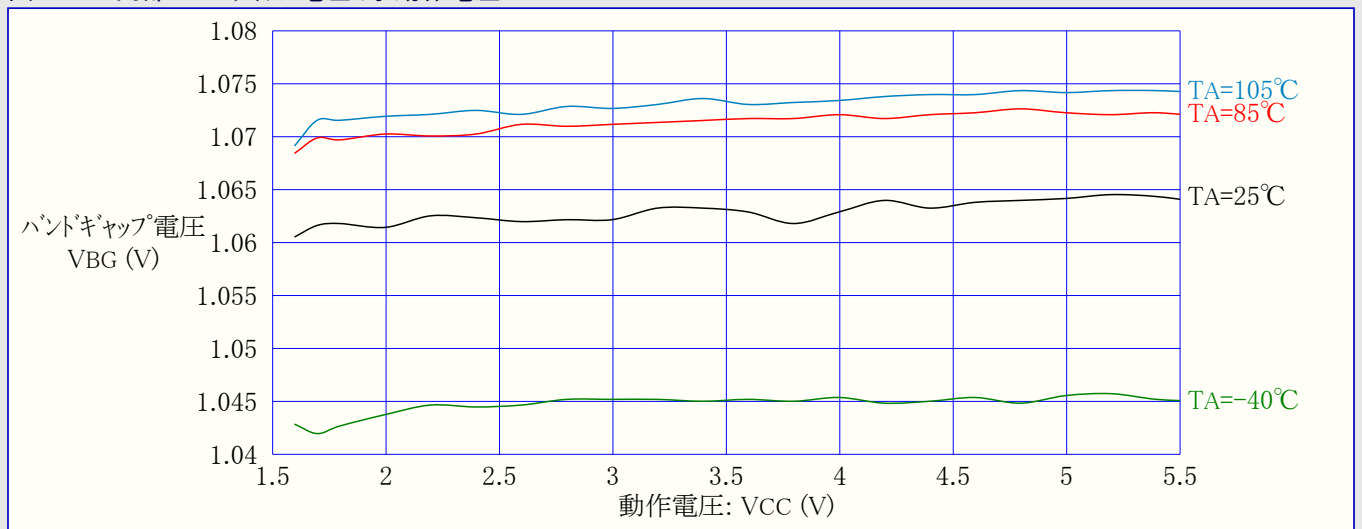
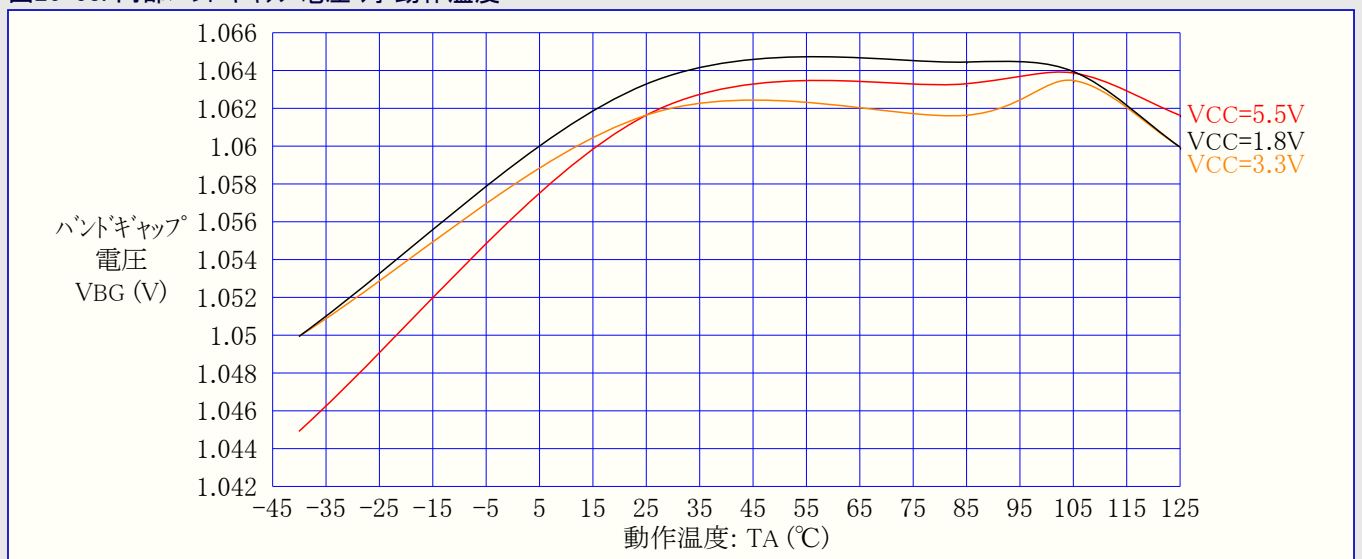


図26-53. 内部バンドギャップ電圧 対 動作温度



26.12. リセット

図26-54. RESETピン入力閾値(スレッショールド)電圧 対 動作電圧 ($V_{IH,1}$ 読み値)

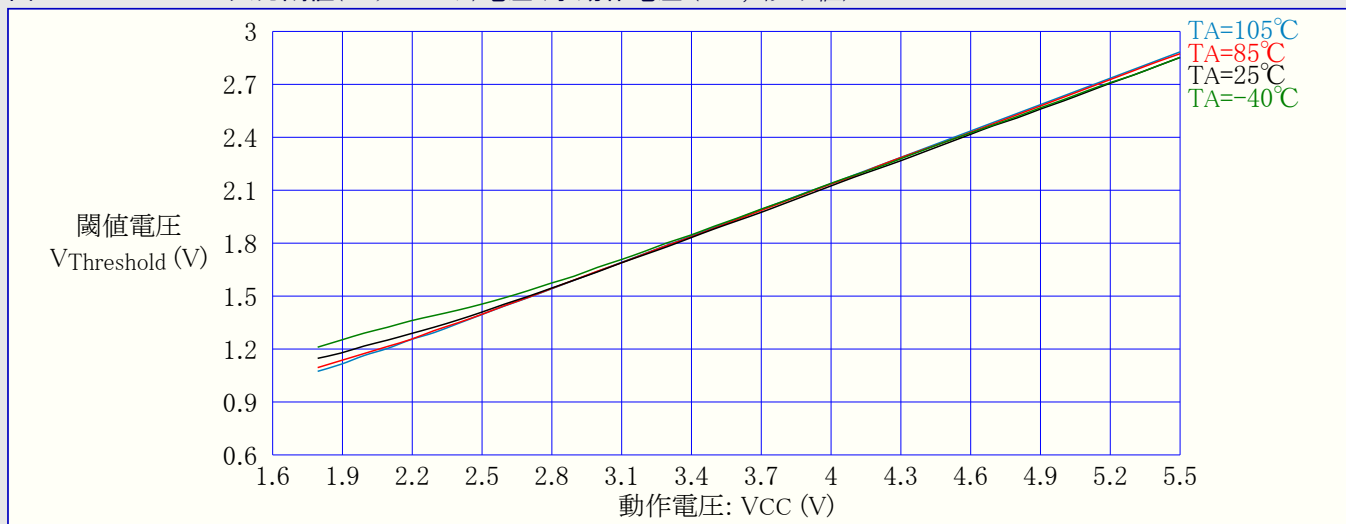


図26-55. RESETピン入力閾値(スレッショールド)電圧 対 動作電圧 ($V_{IL,0}$ 読み値)

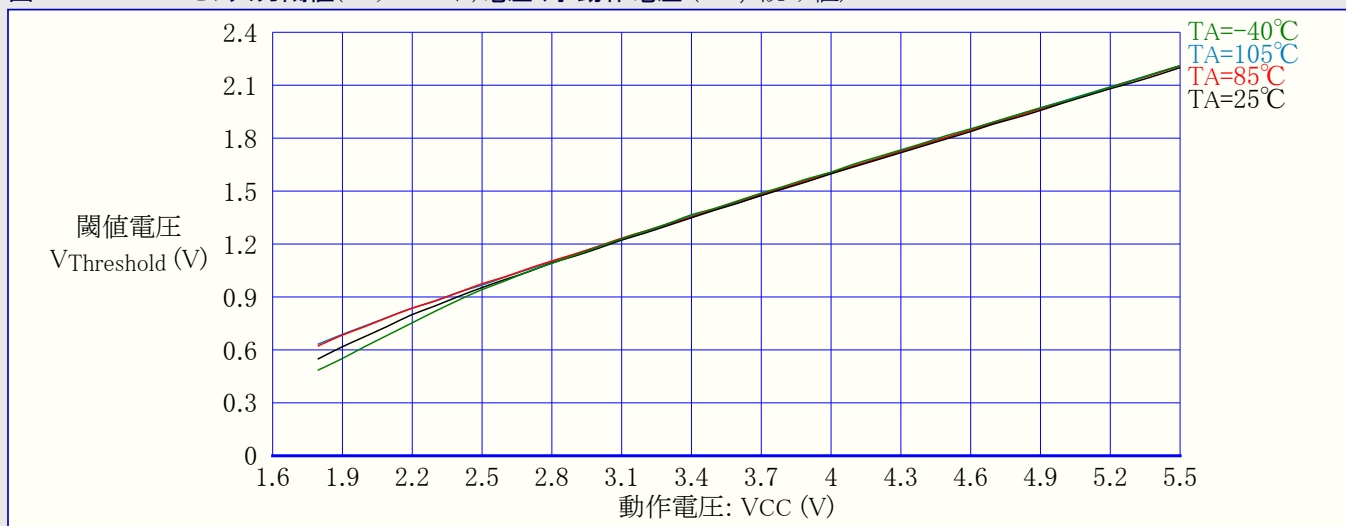


図26-56. RESET入力ヒステリシス電圧 対 動作電圧

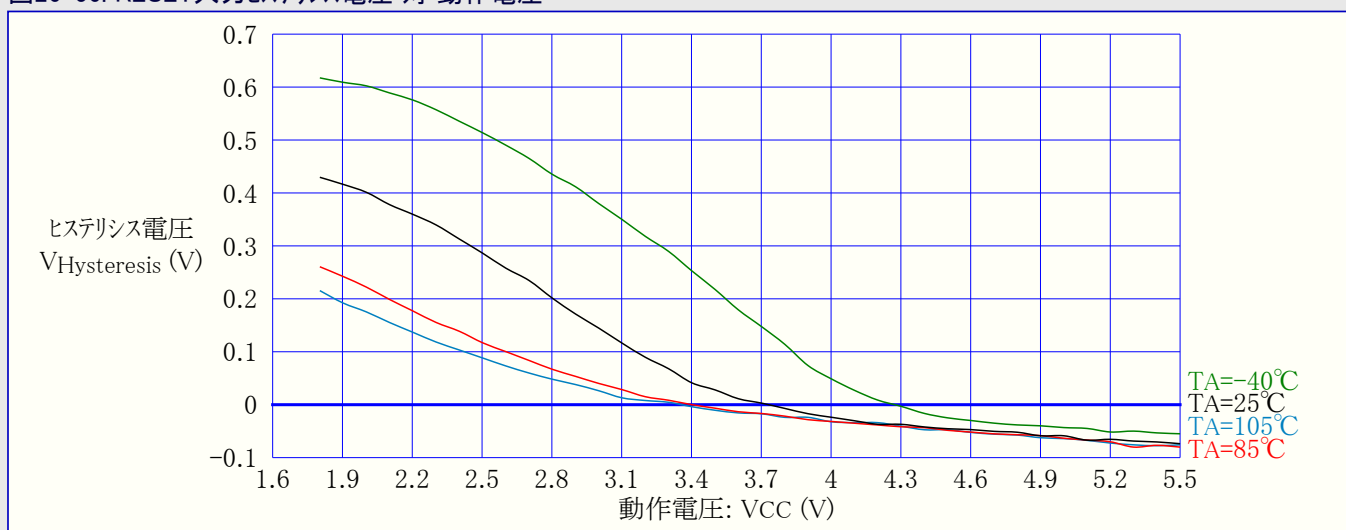
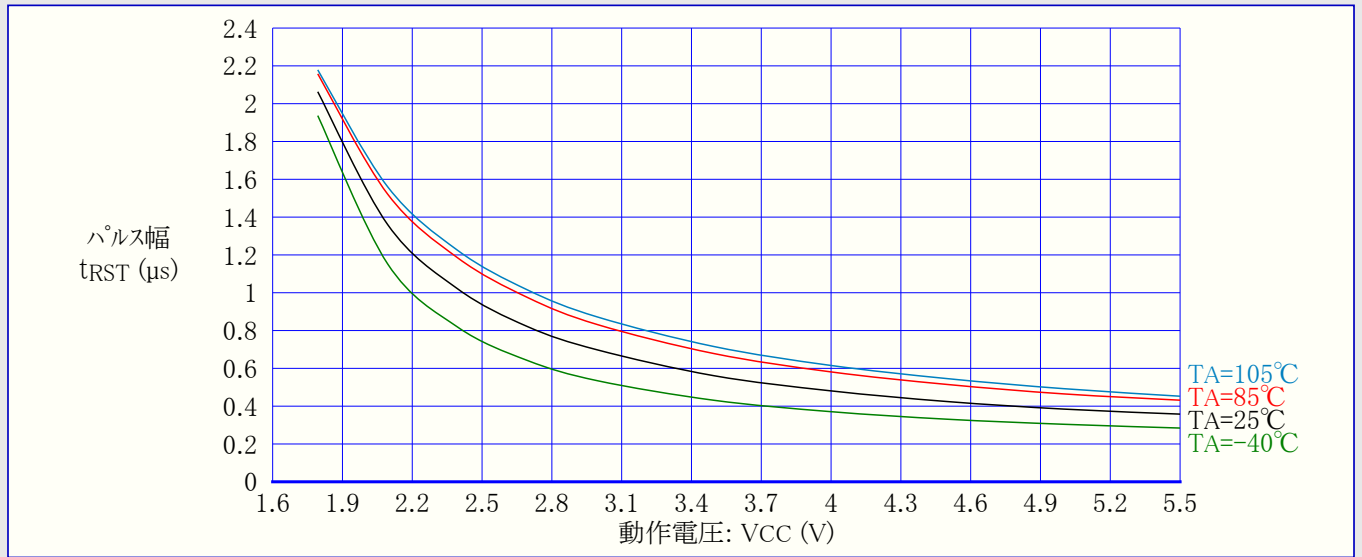


図26-57. 最小リセットパルス幅 対 動作電圧



26.13. アナログ比較器変位(オフセット)

図26-58. アナログ比較器変位(オフセット)電圧 対 入力電圧 (VCC=5V)

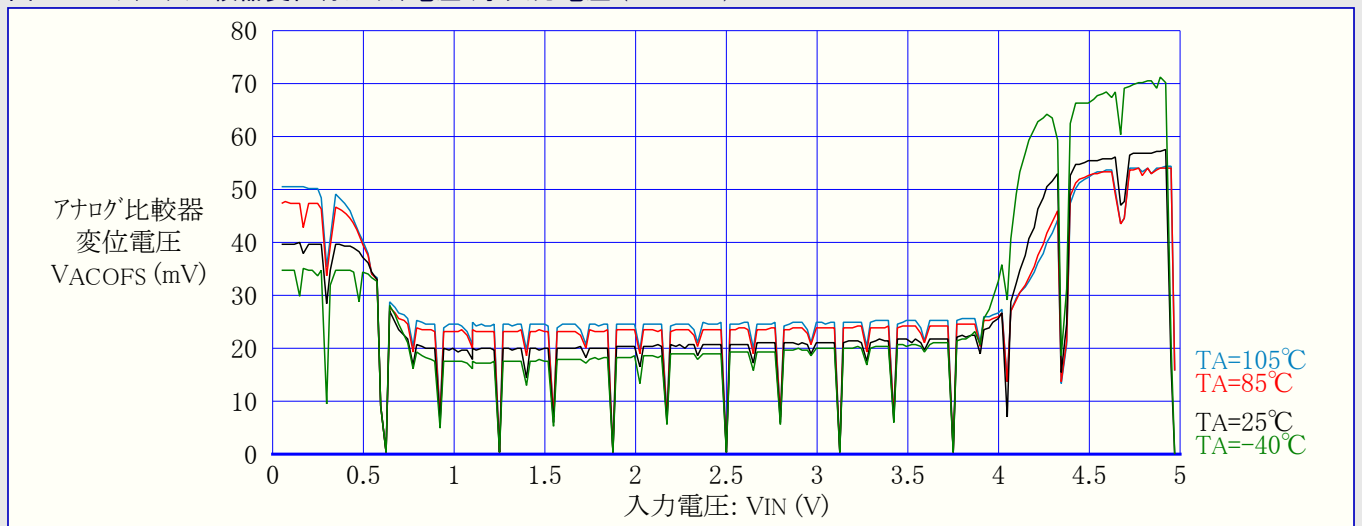


図26-59. アナログ比較器変位(オフセット)電圧 対 動作電圧 (VIN=1.1V)

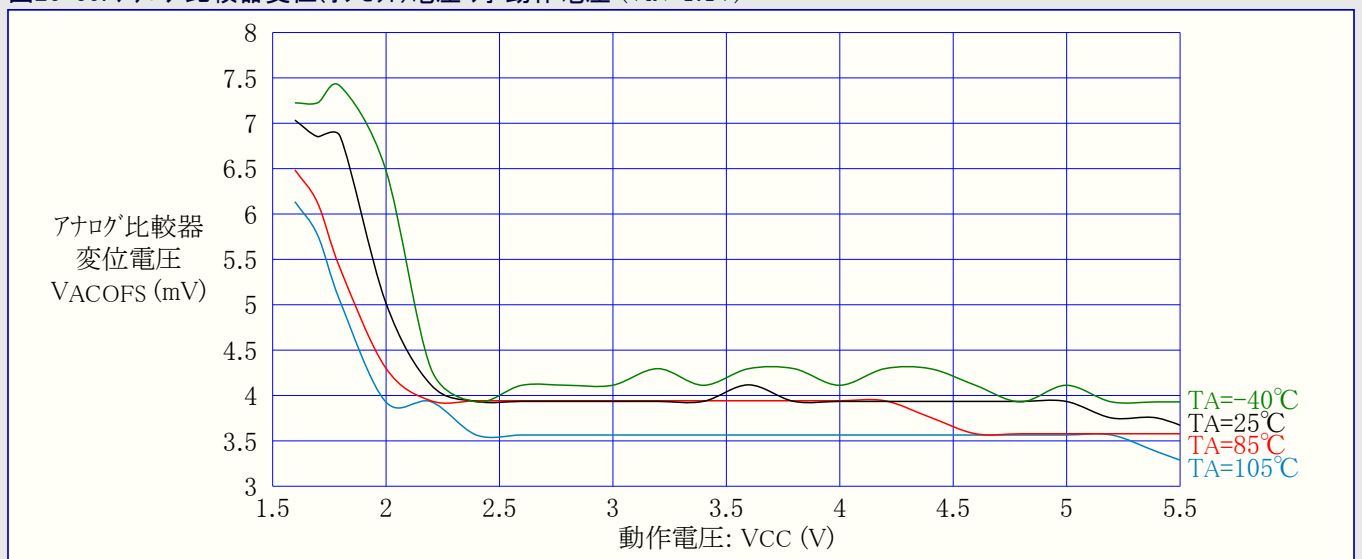
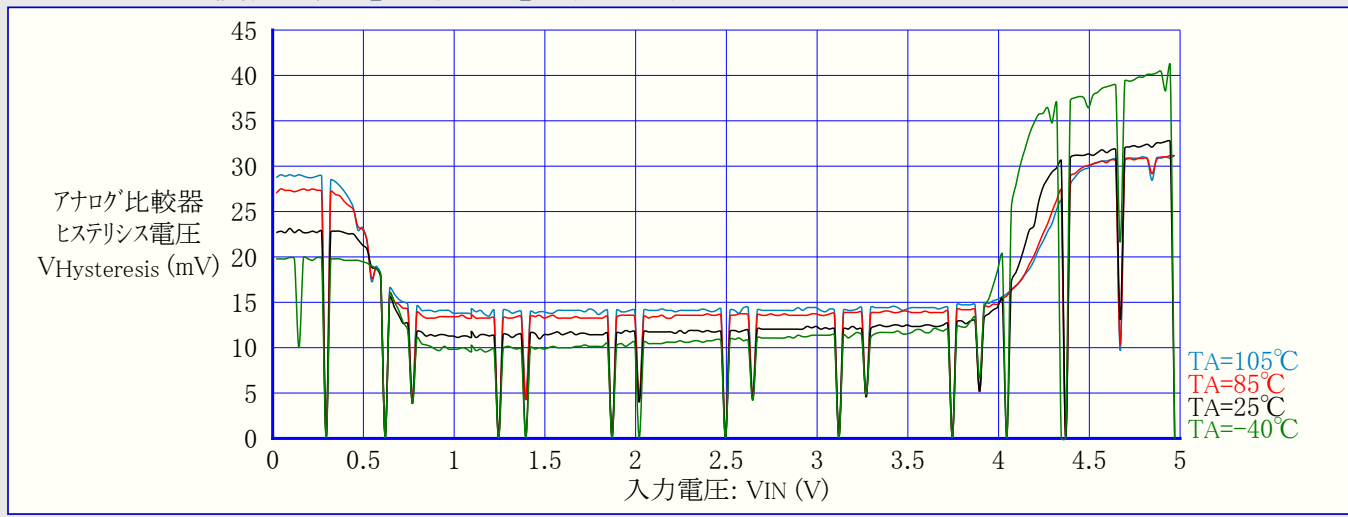


図26-60. アナログ比較器ヒステリシス電圧 対 入力電圧 (VCC=5V)



26.14. 内部発振器周波数

図26-61. 校正付き発振器周波数(公称=8MHz) 対 動作電圧

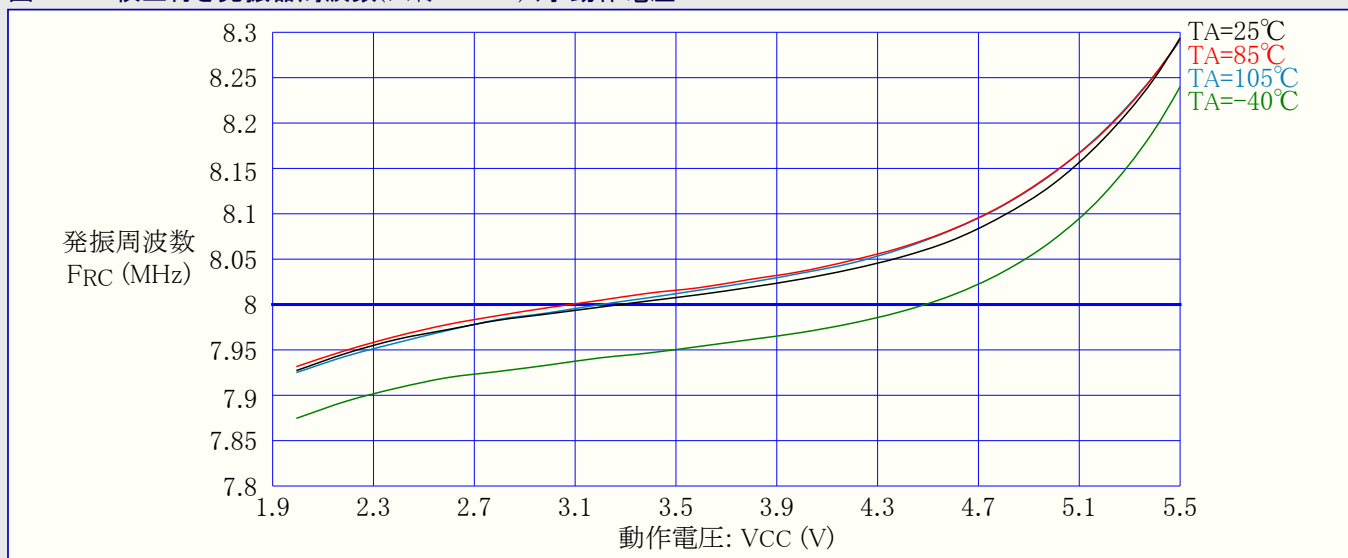


図26-62. 校正付き発振器周波数(公称=8MHz) 対 動作温度

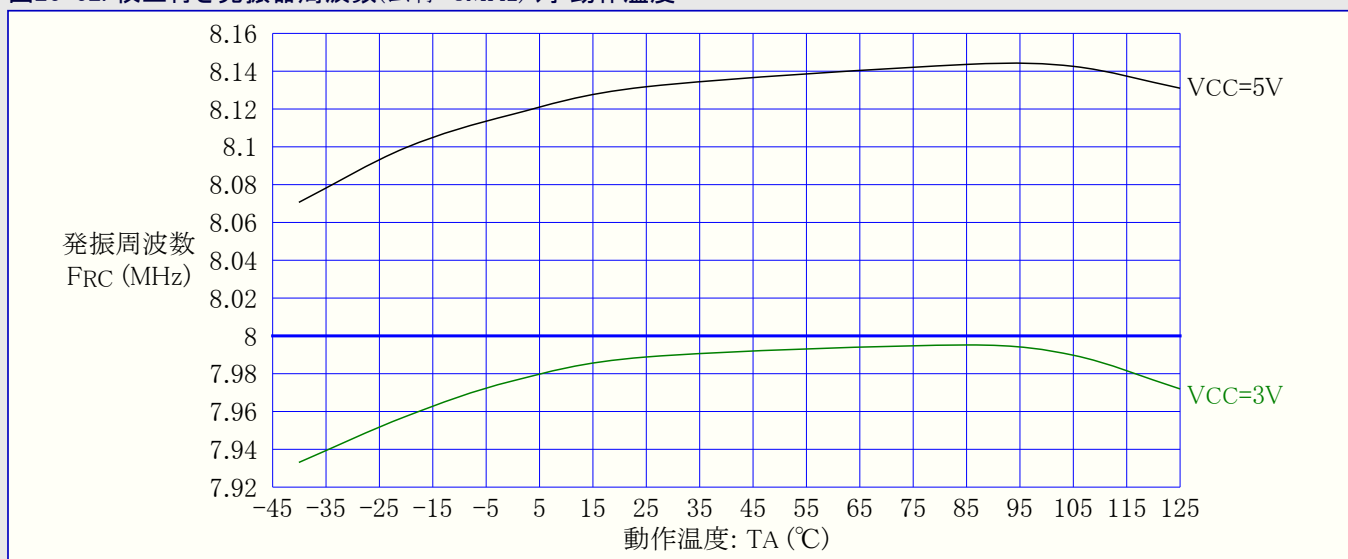


図26-63. 校正付き発振器周波数(公称=8MHz) 対 発振校正(OSCCAL0)値

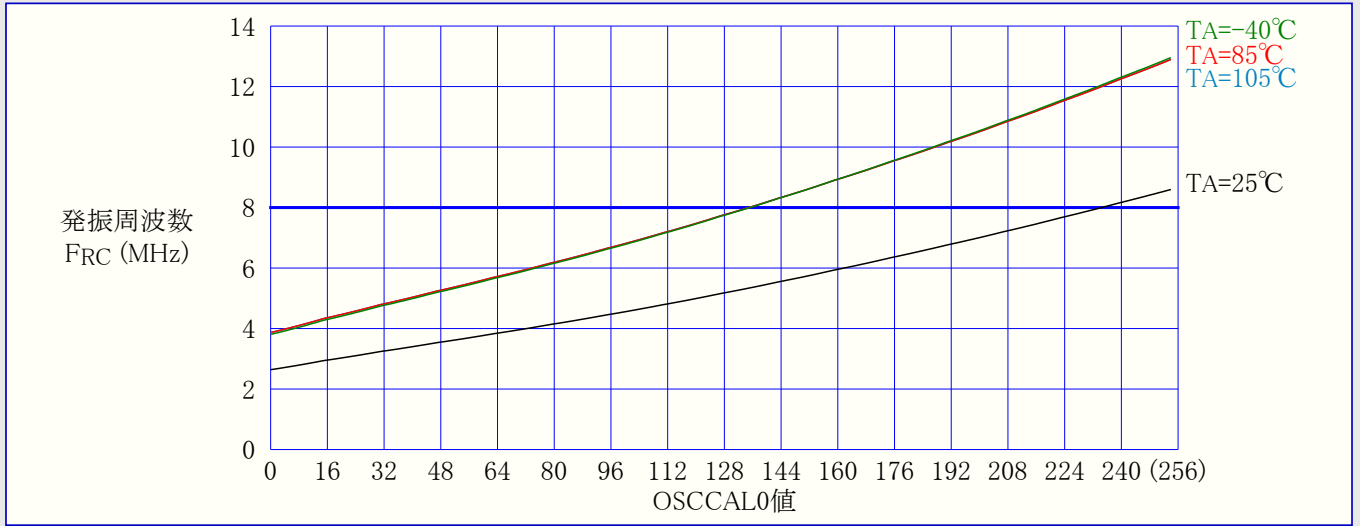


図26-64. 校正付き発振器周波数(公称=8MHzの8分周=1MHz) 対 動作電圧

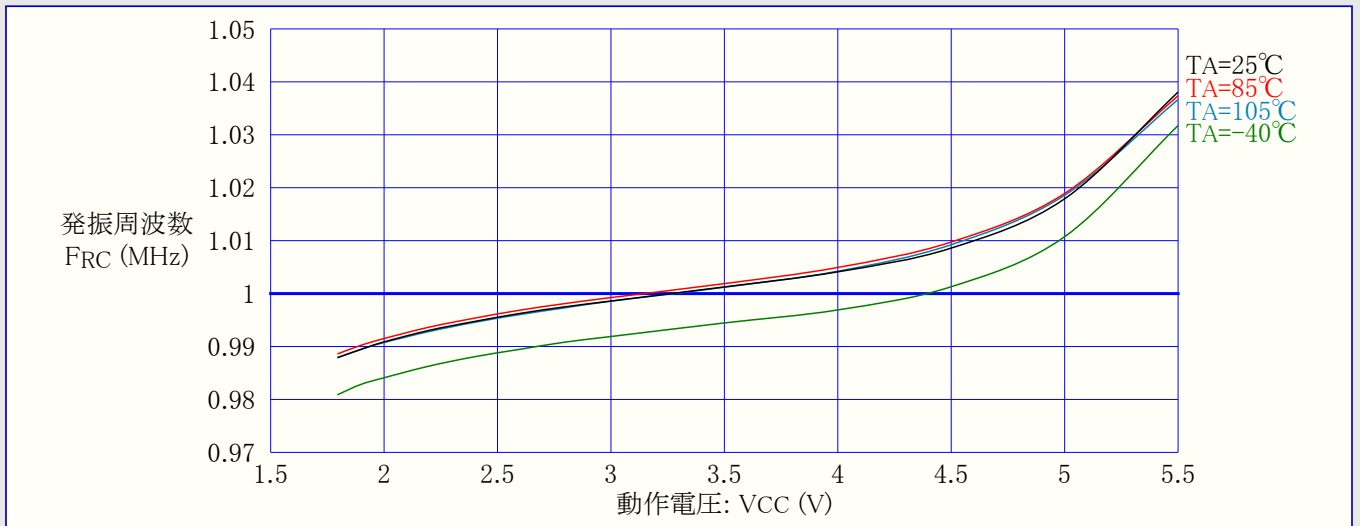


図26-65. 校正付き発振器周波数(公称=8MHzの8分周=1MHz) 対 動作温度

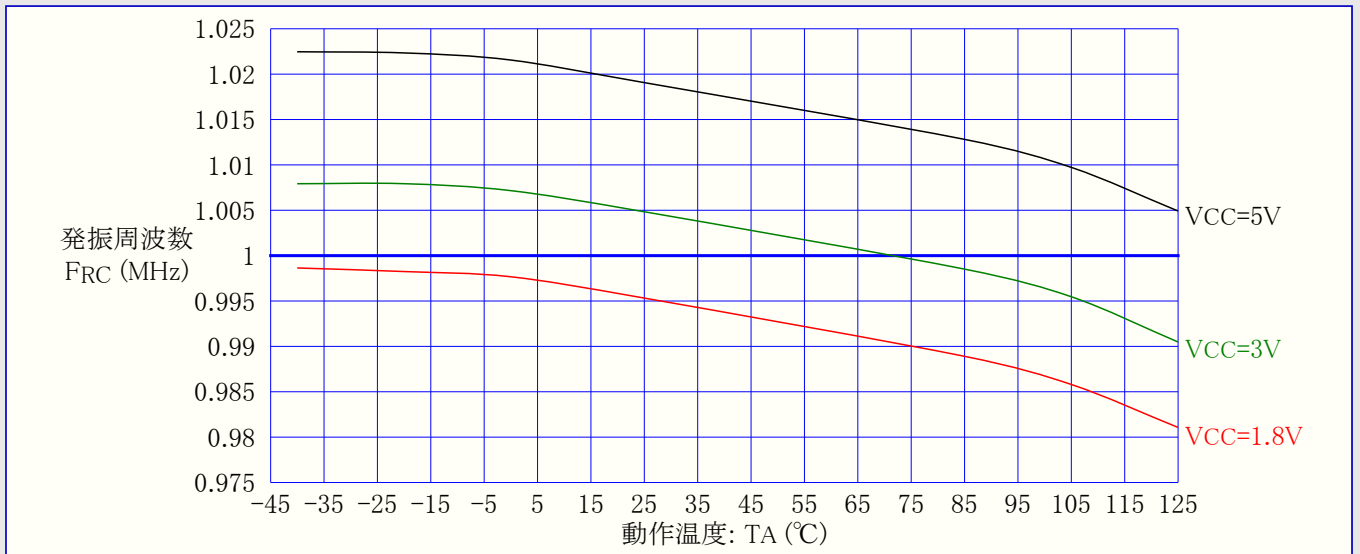


図26-66. 超低電力(ULP)発振器周波数(公称=32kHz) 対 動作電圧

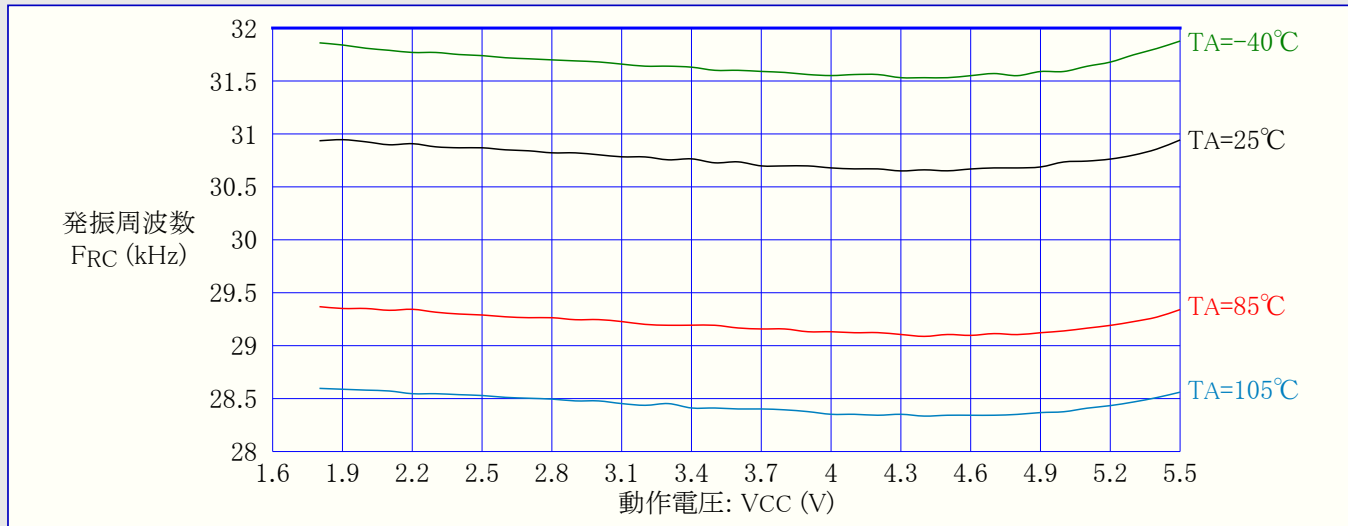
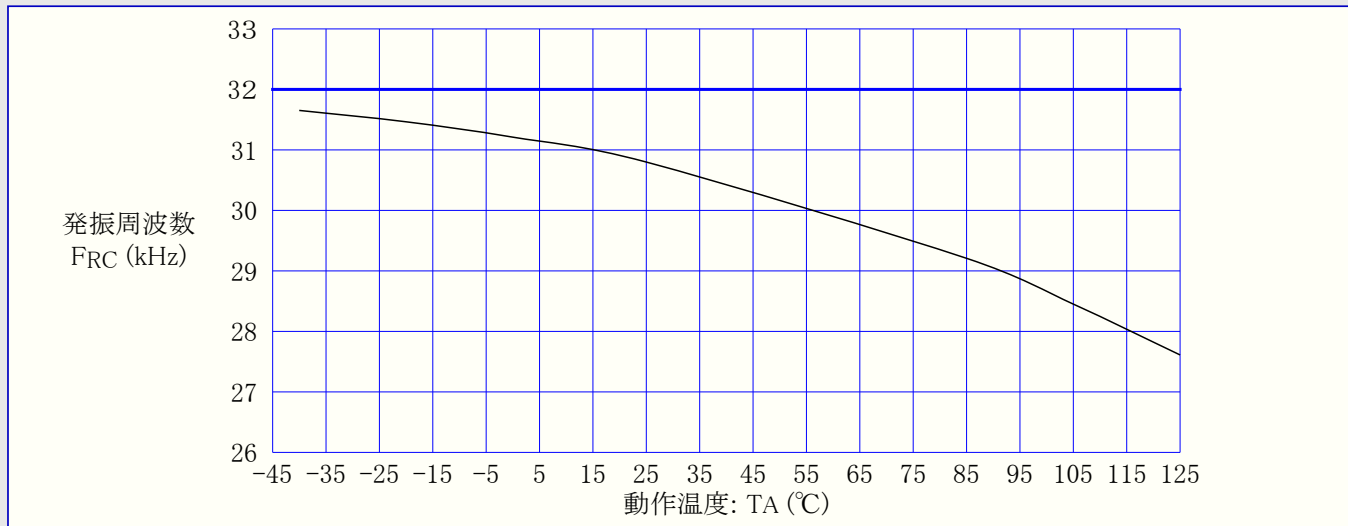


図26-67. 超低電力(ULP)発振器周波数(公称=32kHz) 対 動作温度



27. レジスタ要約

拡張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	
~\$FF)	予約										
(\$80)											
(\$7F)	TWSCRA	TWSHE	-	TWDIE	TWSIE	TWEN	TWSIE	TWPME	TWSME	92	
(\$7E)	TWSCRB	-	-	-	-	-	TWAA	TWCMD1	TWCMD0	93	
(\$7D)	TWSSRA	TWDIF	TWASIF	TWCH	TWRA	TWC	TWBE	TWDIR	TWAS	93	
(\$7C)	TWSA	TWI 従装置アドレスレジスタ								94	
(\$7B)	TWSAM	TWI 従装置アドレス遮蔽レジスタ								TWAE	95
(\$7A)	TWSD	TWI 従装置データレジスタ									95
(\$79)	UCSR1A	RXC1	TXC1	UDRE1	FE1	DOR1	UPE1	U2X1	MPCM1	119,128	
(\$78)	UCSR1B	RXCIE1	RXCIE1	UDRIE1	RXEN1	TXEN1	UCSZ12	RXB81	TXB81	120,128	
(\$77)	UCSR1C	UMSEL11	UMSEL10	UPM11	UPM10	USBS1	UCSZ11 UDORD1(注1)	UCSZ10 UCPHA1(注1)	UCPOL1	121,129	
(\$76)	UCSR1D	RXSIE1	RXS1	SFDE1	-	-	-	-	-	122	
(\$75)	UBRR1H	-	-	-	-	USART1 ホールレートレジスタ 上位 (UBRR111~8)				123,130	
(\$74)	UBRR1L	USART1 ホールレートレジスタ 下位 (UBRR17~0)									
(\$73)	UDR1	USART1 データレジスタ								119,128	
(\$72)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	-	-	WGM11	WGM10	80	
(\$71)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	81	
(\$70)	TCCR1C	FOC1A	FOC1B	-	-	-	-	-	-	82	
(\$6F)	TCNT1H	タイマ/カウンタ1 上位バイト								82	
(\$6E)	TCNT1L	タイマ/カウンタ1 下位バイト									
(\$6D)	OCR1AH	タイマ/カウンタ1 比較Aレジスタ 上位バイト								83	
(\$6C)	OCR1AL	タイマ/カウンタ1 比較Aレジスタ 下位バイト									
(\$6B)	OCR1BH	タイマ/カウンタ1 比較Bレジスタ 上位バイト								83	
(\$6A)	OCR1BL	タイマ/カウンタ1 比較Bレジスタ 下位バイト									
(\$69)	ICR1H	タイマ/カウンタ1 捕獲レジスタ 上位バイト								83	
(\$68)	ICR1L	タイマ/カウンタ1 捕獲レジスタ 下位バイト									
(\$67)	GTCCR	TSM	-	-	-	-	-	-	PSR10	86	
(\$66)	OSCCAL1	-	-	-	-	-	-	CAL11	CAL10	24	
(\$65)	OSCTCAL0B	8MHz発振器温度校正レジスタB								23	
(\$64)	OSCTCAL0A	8MHz発振器温度校正レジスタA								23	
(\$63)	OSCCAL0	CAL07	CAL06	CAL05	CAL04	CAL03	CAL02	CAL01	CAL00	23	
(\$62)	DIDR2	-	-	-	-	-	ADC11D	ADC10D	ADC9D	143	
(\$61)	DIDR1	-	-	-	-	ADC8D	ADC7D	ADC6D	ADC5D	143	
(\$60)	DIDR0	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	AIN1D	AIN0D	AREFD	142,133	

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。ATtiny1634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/ST/S TDとLD/LDS/LDD命令だけが使えます。

注1: SPI主装置動作でのUSARTです。

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	11	
\$3E (\$5E)	SPH	-	-	-	-	-	SP10	SP9	SP8	10	
\$3D (\$5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	10	
\$3C (\$5C)	GIMSK	-	INT0	PCIE2	PCIE1	PCIE0	-	-	-	37	
\$3B (\$5B)	GIFR	-	INTF0	PCIF2	PCIF1	PCIF0	-	-	-	38	
\$3A (\$5A)	TIMSK	TOIE1	OCIE1A	OCIE1B	-	ICIE1	OCIE0B	TOIE0	OCIE0A	84,65	
\$39 (\$59)	TIFR	TOV1	OCF1A	OCF1B	-	ICF1	OCF0B	TOV0	OCF0A	84,65	
\$38 (\$58)	QTCSR	QTouch制御/状態レジスタ								-	
\$37 (\$57)	SPMCSR	-	-	RSIG	CTPB	RFLB	PGWRT	PGERS	SPMEN	148	
\$36 (\$56)	MCUCR	-	SM1	SM0	SE	-	-	ICSC01	ICSC00	28,37	
\$35 (\$55)	MCUSR	-	-	-	-	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	32	
\$34 (\$54)	PRR	-	PRTWI	PRTIM1	PRTIM0	PRUSI	PRUSART1	PRUSART0	PRADC	28	
\$33 (\$53)	CLKPR	-	-	-	-	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	22	
\$32 (\$52)	CLKSR	OSCRDY	CSTR	CKOUT_IO	SUT	CKSEL3	CKSEL2	CKSEL1	CKSEL0	21	
\$31 (\$51)	予約										
\$30 (\$50)	WDTCSR	WDIF	WDIE	WDP3	-	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	33	
\$2F (\$4F)	CCP	構成設定変更保護バイト									10
\$2E (\$4E)	DWDR	デバッグWIRE データレジスタ									144
\$2D (\$4D)	USIBR	USI 緩衝レジスタ									104
\$2C (\$4C)	USIDR	USI データレジスタ									104
\$2B (\$4B)	USISR	USISIF	USIOIF	USIPF	USIDC	USICNT3	USICNT2	USICNT1	USICNT0	103	
\$2A (\$4A)	USICR	USISIE	USIOIE	USIWM1	USIWM0	USICS1	USICS0	USICLK	USITC	102	
\$29 (\$49)	PCMSK2	-	-	PCINT17	PCINT16	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	38	
\$28 (\$48)	PCMSK1	-	-	-	-	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	38	
\$27 (\$47)	PCMSK0	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	39	
\$26 (\$46)	UCSR0A	RXC0	TXC0	UDRE0	FE0	DOR0	UPE0	U2X0	MPCM0	119,128	
\$25 (\$45)	UCSR0B	RXCIE0	TXCIE0	UDRIE0	RXEN0	TXEN0	UCSZ02	RXB80	TXB80	120,128	
\$24 (\$44)	UCSR0C	UMSEL01	UMSEL00	UPM01	UPM00	USBS0	UCSZ01 UDORD0(注1)	UCSZ00 UCPHA0(注1)	UCPOL0	121,129	
\$23 (\$43)	UCSR0D	RXSIE0	RXS0	SFDE0	-	-	-	-	-	122	
\$22 (\$42)	UBRR0H	-	-	-	-	USART0 ホーレートレジスタ上位 (UBRR011~8)				123,130	
\$21 (\$41)	UBRR0L	USART0 ホーレートレジスタ下位 (UBRR07~0)									
\$20 (\$40)	UDR0	USART0 データレジスタ									119,128
\$1F (\$3F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	-	-	16	
\$1E (\$3E)	EEARL	EEPROM アドレスレジスタ下位バイト (EEAR7~0)									
\$1D (\$3D)	EEDR	EEPROM データレジスタ									16
\$1C (\$3C)	EECR	-	-	EPM1	EPM0	EERIE	EEMPE	EEPE	EERE	16	
\$1B (\$3B)	TCCR0A	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	-	-	WGM01	WGM00	62	
\$1A (\$3A)	TCCR0B	FOC0A	FOC0B	-	-	WGM02	CS02	CS01	CS00	63	
\$19 (\$39)	TCNT0	タイマ/カウンタ0									64
\$18 (\$38)	OCR0A	タイマ/カウンタ0 比較レジスタ									64
\$17 (\$37)	OCR0B	タイマ/カウンタ0 比較Bレジスタ									64
\$16 (\$36)	GPIOR2	汎用I/Oレジスタ2									17
\$15 (\$35)	GPIOR1	汎用I/Oレジスタ1									17
\$14 (\$34)	GPIOR0	汎用I/Oレジスタ0									17
\$13 (\$33)	PORTCR	-	-	-	-	-	BBMC	BBMB	BBMA	52	
\$12 (\$32)	PUEA	PUEA7	PUEA6	PUEA5	PUEA4	PUEA3	PUEA2	PUEA1	PUEA0	52	
\$11 (\$31)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	52	
\$10 (\$30)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	52	
\$0F (\$2F)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	52	
\$0E (\$2E)	PUEB	-	-	-	-	PUEB3	PUEB2	PUEB1	PUEB0	52	
\$0D (\$2D)	PORTB	-	-	-	-	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	53	
\$0C (\$2C)	DDRB	-	-	-	-	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	53	
\$0B (\$2B)	PINB	-	-	-	-	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	53	
\$0A (\$2A)	PUEC	-	-	PUEC5	PUEC4	PUEC3	PUEC2	PUEC1	PUEC0	53	
\$09 (\$29)	PORTC	-	-	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	53	
\$08 (\$28)	DDRC	-	-	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	53	
\$07 (\$27)	PINC	-	-	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	53	
\$06 (\$26)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	131	
\$05 (\$25)	ACSRB	HSEL	HLEV	ACL	-	ACCE	ACME	ACIRS1	ACIRS0	132	
\$04 (\$24)	ADMUX	REFS1	REFS0	REFEN	ADCOEN	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	140	
\$03 (\$23)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	140	
\$02 (\$22)	ADCSRB	VDEN	VDPD	-	-	ADLAR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	141	
\$01 (\$21)	ADCH	A/Dデータレジスタ上位バイト (ADC9~8またはADC9~2)									142
\$00 (\$20)	ADCL	A/Dデータレジスタ下位バイト (ADC7~0またはADC1~0)									

(訳注) 原書本位置の注意は前頁に移動しました。

28. 命令要約

ニーモニック	オペラント	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
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
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	$STACK \leftarrow PC, PC \leftarrow PC + k + 1$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
ICALL		Zレジスタ間接サブルーチン呼び出し	$STACK \leftarrow PC, PC \leftarrow Z$	I,T,H,S,V,N,Z,C	3
CALL	k	絶対サブルーチン呼び出し	$STACK \leftarrow PC, PC \leftarrow k$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4
RET		サブルーチンからの復帰	$PC \leftarrow STACK$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4
RETI		割り込みからの復帰	$PC \leftarrow STACK$	I,T,H,S,V,N,Z,C	4
CPSE	Rd,Rr	汎用レジスタ間比較、一致でスキップ	$Rd=Rr$ なら, $PC \leftarrow PC + 2or3$	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, $PC \leftarrow PC + 2or3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
SBRS	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, $PC \leftarrow PC + 2or3$	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, $PC \leftarrow PC + 2or3$	I,T,H,S,V,N,Z,C	1/2,3
SBIS	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, $PC \leftarrow PC + 2or3$	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	$SREG(s)=1$ 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	$SREG(s)=0$ 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

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)

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
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)	$SREG(s) \leftarrow 1$	I,T,H,S,V,1,I,T	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	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)	$T \leftarrow 1$	I,1,H,S,V,N,Z,C	1
CLT		一時フラグを解除(0)	$T \leftarrow 0$	I,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,H,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
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WIRE機能専用	I,T,H,S,V,N,Z,C	N/A

29. 注文情報

デバイス	速度 (注1)	電源電圧	温度範囲	外囲器 (注2)	精度 (注3)	注文符号 (注4,5)	
ATtiny1634	12MHz	1.8~5.5V	工業用 (-40°C~85°C)	20M1	±10%	ATtiny1634-MU	
					±2%	ATtiny1634R-MU	
					±10%	ATtiny1634-MUR	
				±2%	ATtiny1634R-MUR		
				20S2	±10%	ATtiny1634-SU	
			±2%		ATtiny1634R-SU		
			拡張 (-40°C~105°C)	20M1	±10%	±10%	ATtiny1634-SUR
						±2%	ATtiny1634R-SUR
						±10%	ATtiny1634-MN
						±2%	ATtiny1634R-MN
±10%	ATtiny1634-MNR						

注1: 速度対供給電圧については164頁の「速度」をご覧ください。

注2: 全ての外囲器は鉛フリー、ハロゲン化合物フリーで完全に安全で、これらは有害物質使用制限に関する欧州指令(RoHS指令)に適合します。

注3: 内部発振器の精度を示します。164頁の表24-2をご覧ください。

注4: 符号は以下を示します。

- U : 半光沢錫。
- R : テープとリール。

注5: ウェハー(チップ単体)形状で出荷することもできます。最低数量と詳細な注文情報については最寄のAtmel営業所へお問い合わせください。

外囲器形式

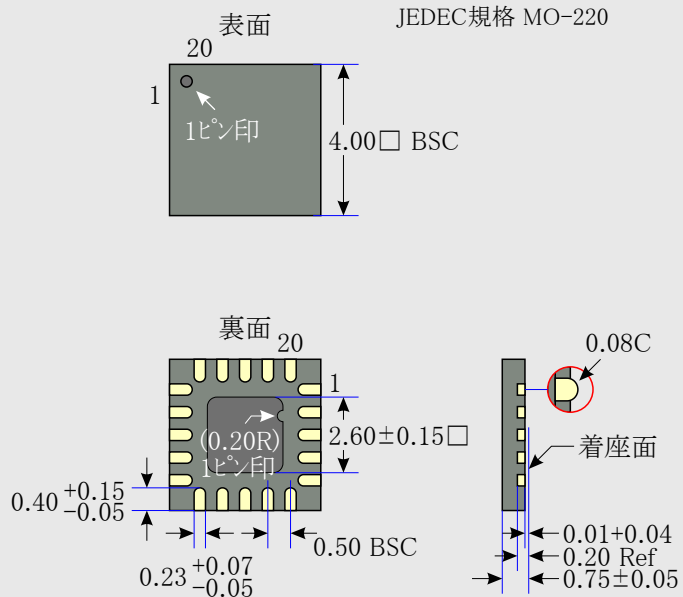
20M1	20パッド 4×4×0.8mm 0.5mmピッチ 4方向平板リードなし/小リード枠外囲器 (QFN/MLF)
20S2	20リード 300mil幅 プラスティック ガルウイング 小型外形外囲器 (SOIC)

30. 外圍器情報

30.1. 20M1

20パッド、0.5mmピッチ、4方向平板リードなし/小リード枠外圍器 (QFN/MLF)

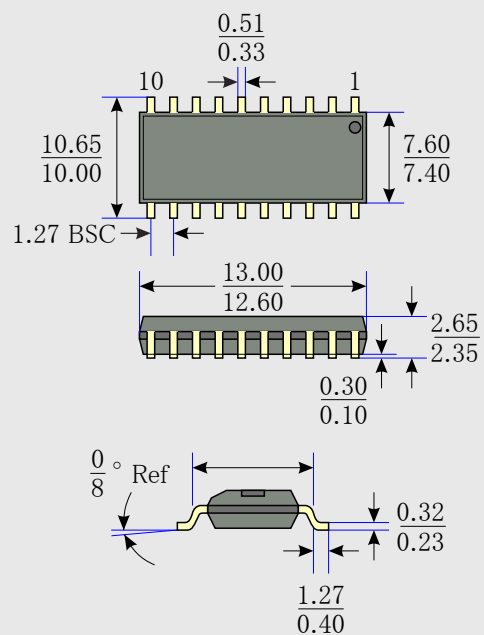
寸法: mm
JEDEC規格 MO-220



30.2. 20S1

20リード、300mil幅、プラスチック小型外形外圍器 (SOIC)

寸法: mm
JEDEC規格 MS-013 AC



31. 障害情報

この章の改訂番号は対応するATtiny1634デバイスの改訂版を参照してください。

- ULP発振器禁止時に使われるべきでないポートピン 1634-A/B/C
- 供給電圧が2.4V未満の時に書くことができないフラッシュ/EEPROM 1634-A

1. ULP発振器禁止時に使われるべきでないポートピン (1634-A/B/C)

PB3ポートピンは超低電力(ULP)発振器が走行していない時に信頼できる入力として実行することが保証されません。加えて、このピンはULP発振器が禁止される時に内部的にプルダウンされます。

対策/対処

ULP発振器は必要とされる時に自動的に活性化されます。PB3を入力として使うにはウォッチドッグ タイマを活性化してください。ウォッチドッグ タイマはULP発振器を自動的に許可します。

2. 供給電圧が2.4V未満の時に書くことができないフラッシュ/EEPROM (1634-A)

供給電圧が2.4V未満の時にフラッシュ メモリとEEPROMへの書き込み操作は失敗するかもしれません。

対策/対処

供給電圧が2.4V未満の時にフラッシュ メモリやEEPROMに書かないでください。

32. データシート改訂履歴

32.1. 改訂8303A – 2011年11月

1. 初版

32.2. 改訂8303B – 2012年3月

1. 暫定状態を削除
2. 追加:
 - 167頁の「温度感知器」
 - 172頁の「代表特性」
 - 201頁の「障害情報」の改訂B
3. 更新:
 - 2頁の「ピン配置」
 - 19頁の「校正付き内部8MHz発振器」
 - 23頁の「OSCTCAL0A – 発振器温度校正レジスタ」
 - 23頁の「OSCTCAL0B – 発振器温度校正レジスタB」
 - 92頁の「TWSCRA – TWI 従装置制御レジスタ」
 - 105頁の「USART (USART0,USART1)」
 - 139頁の表19-2.
 - 163頁の「DC特性」
 - 164頁の表24-3.
 - 164頁の表24-4.
 - 165頁の表24-5.
 - 167頁の表24-10.
 - 168頁の表24-12.
 - 169頁の表24-13.
 - 199頁の「注文情報」

32.3. 改訂8303C – 2012年3月

1. 更新:
 - 119頁の「USART用レジスタ」
 - 145頁の「自己プログラミング」

32.4. 改訂8303D – 2012年6月

1. 更新:
 - 199頁の「注文情報」
2. 追加:
 - 200頁のウェハー水準チップ尺度外囲器(WLCSP)“20U-1”

32.5. 改訂8303E – 2013年1月

1. 更新:
 - 新ロゴと新しい住所を含むAtmelの新しい品質雛形を適用

32.6. 改訂8303F – 2013年8月

1. 195頁の「レジスタ要約」でUCSR1Cのビット2を”USBSZ11”から”UCSZ11”に更新

32.7. 改訂8303G – 2013年11月

1. ウェハー水準チップ尺度外囲器(WLCSP)任意選択への参照を削除

32.8. 改訂8303H – 2014年2月

1. 更新
 - 表紙更新。温度範囲を-40~+105°Cに変更
 - 139頁表19-2。105°Cに対する375 LSBを追加
 - 170頁の「電気的特性 – (TA=-40°C~105°C)」
 - 172頁の「代表特性」に105°C特性
 - 199頁の「注文情報」。注文符号:ATtiny1634MN/MNRを追加
2. 追加:
 - 201頁の「障害情報」に改訂C

目次

特徴	1	11.8. タイマ/カウンタのタイミング	61
1. ピン配置	2	11.9. 8ビット タイマ/カウンタ0用レジスタ	62
1.1. ピン説明	3	12. 16ビット タイマ/カウンタ1	66
2. 概要	4	12.1. 特徴	66
3. 一般情報	5	12.2. 概要	66
3.1. 資料	5	12.3. タイマ/カウンタのクロック元	68
3.2. コード例	5	12.4. 計数器部	68
3.3. 容量性接触感知	5	12.5. 捕獲入力部	69
3.4. データ保持力	5	12.6. 比較出力部	70
4. CPU コア	6	12.7. 比較一致出力部	72
4.1. 構造概要	6	12.8. 動作種別	73
4.2. ALU (Arithmetic Logic Unit)	6	12.9. タイマ/カウンタのタイミング	77
4.3. ステータスレジスタ	6	12.10. 16ビットレジスタのアクセス	78
4.4. 汎用レジスタファイル	7	12.11. タイマ/カウンタ1用レジスタ	80
4.5. スタックポインタ	7	13. タイマ/カウンタの前置分周器	85
4.6. 命令実行タイミング	8	13.1. 前置分周器リセット	85
4.7. リセットと割り込みの扱い	8	13.2. 外部クロック元	85
4.8. コア関係レジスタ	10	13.3. タイマ/カウンタ前置分周器用レジスタ	86
5. メモリ	12	14. I ² C適合2線従装置インターフェース	87
5.1. プログラムメモリ (フラッシュ)	12	14.1. 特徴	87
5.2. データメモリ (SRAM)とレジスタファイル	12	14.2. 概要	87
5.3. データメモリ (EEPROM)	13	14.3. 一般的なTWIバスの概念	87
5.4. メモリ関係レジスタ	16	14.4. TWI従装置動作	91
6. クロック体系	18	14.5. TWI用レジスタ	92
6.1. クロック副系統	18	15. USI (多用途直列インターフェース)	96
6.2. クロック元	18	15.1. 特徴	96
6.3. システムクロック前置分周器	20	15.2. 概要	96
6.4. クロック出力緩衝部 (外部クロック出力)	20	15.3. 3線動作	97
6.5. クロック関係レジスタ	21	15.4. 2線動作	98
7. 電力管理と休止形態動作	25	15.5. 代替使用	99
7.1. 休止形態動作種別	25	15.6. プログラム例	100
7.2. 電力削減レジスタ	26	15.7. USI用レジスタ	102
7.3. 消費電力の最小化	26	16. USART (USART0,USART1)	105
7.4. 電力管理用レジスタ	28	16.1. 特徴	105
8. システム制御とリセット	29	16.2. USART0とUSART1	105
8.1. AVRのリセット	29	16.3. 概要	105
8.2. リセット元	29	16.4. クロック生成	106
8.3. 内部基準電圧	31	16.5. フレーム形式	107
8.4. ウォッチドッグタイマ	31	16.6. USARTの初期化	109
8.5. リセット関係レジスタ	32	16.7. データ送信 - USART送信部	110
9. 割り込み	34	16.8. データ受信 - USART受信部	111
9.1. 割り込みベクタ	34	16.9. 非同期受信	114
9.2. 外部割り込み	36	16.10. 複数プロセッサ通信動作	116
9.3. 割り込み用レジスタ	37	16.11. ホールレート設定例	117
10. 入出力ポート	40	16.12. USART用レジスタ	119
10.1. 概要	40	17. USARTでのSPI動作	124
10.2. 標準デジタル入出力としてのポート	40	17.1. 特徴	124
10.3. 交換ポート機能	44	17.2. 概要	124
10.4. I/Oポート用レジスタ	52	17.3. クロック生成	124
11. PWM付き8ビット タイマ/カウンタ0	54	17.4. SPIデータ形態とタイミング	124
11.1. 特徴	54	17.5. フレーム形式	125
11.2. 概要	54	17.6. データ転送	126
11.3. クロック元	55	17.7. AVR SPIとの互換性	127
11.4. 計数器部	55	17.8. MSPIMでのUSART用レジスタ	128
11.5. 比較出力部	56	18. アナログ比較器	131
11.6. 比較一致出力部	57	18.1. アナログ比較器入力選択	131
11.7. 動作種別	58	18.2. アナログ比較器用レジスタ	131
		19. A/D変換器	134

19.1.	特徴	134	26.4.	パワーダウン動作消費電流	176
19.2.	概要	134	26.5.	リセット消費電流	176
19.3.	操作	135	26.6.	周辺機能部消費電流	177
19.4.	変換の開始	135	26.7.	プルアップ抵抗	179
19.5.	前置分周と変換タイミング	136	26.8.	入力閾値	181
19.6.	チャネル変更と基準電圧選択	137	26.9.	出力駆動部能力	183
19.7.	雑音低減機能	138	26.10.	低電圧検出器(BOD)	187
19.8.	アナログ入力回路	138	26.11.	ハントキャップ電圧	189
19.9.	アナログ雑音低減技術	138	26.12.	リセット	190
19.10.	A/D変換の精度定義	139	26.13.	アナログ比較器変位(オフセット)	191
19.11.	A/D変換の結果	139	26.14.	内部発振器周波数	192
19.12.	温度測定	139	27.	レジスタ要約	195
19.13.	A/D変換用レジスタ	140	28.	命令要約	197
20.	デバッグWIRE内蔵デバッグ機能	144	29.	注文情報	199
20.1.	特徴	144	30.	外圍器情報	200
20.2.	概要	144	31.	障害情報	201
20.3.	物理インターフェース	144	32.	データシート改訂履歴	202
20.4.	ソフトウェア中断点	144			
20.5.	デバッグWIREの制限	144			
20.6.	デバッグWIRE用レジスタ	144			
21.	自己プログラミング	145			
21.1.	特徴	145			
21.2.	概要	145			
21.3.	施錠ビット	145			
21.4.	フラッシュメモリの自己プログラミング	145			
21.5.	フラッシュメモリデータ化けの防止	147			
21.6.	SPM命令使用時フラッシュプログラミング時間	147			
21.7.	自己プログラミング用レジスタ	148			
22.	施錠ビット、ヒューズビット、デバイス識票	149			
22.1.	施錠ビット	149			
22.2.	ヒューズビット	149			
22.3.	デバイス識票銘刻部	150			
22.4.	ソフトウェアからの施錠、ヒューズ、 識票データの読み出し	151			
23.	外部プログラミング	153			
23.1.	メモリの要素	153			
23.2.	並列プログラミング	153			
23.3.	直列プログラミング	160			
23.4.	フラッシュとEEPROM用のプログラミング時間	162			
24.	電気的特性 - (TA=40°C~85°C)	163			
24.1.	絶対最大定格	163			
24.2.	DC特性	163			
24.3.	速度	164			
24.4.	クロック	164			
24.5.	システムとリセット	165			
24.6.	2線直列インターフェース	166			
24.7.	A/D変換器	167			
24.8.	アナログ比較器	167			
24.9.	温度感知器	167			
24.10.	並列プログラミング	168			
24.11.	直列プログラミング	169			
25.	電気的特性 - (TA=40°C~105°C)	170			
25.1.	絶対最大定格	170			
25.2.	DC特性	170			
25.3.	クロック	171			
25.4.	システムとリセット	171			
26.	代表特性	172			
26.1.	活動動作消費電流	172			
26.2.	アイドル動作消費電流	174			
26.3.	スタンバイ動作消費電流	175			

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、それとその他はAtmel Corporationの登録商標または商標またはその付属物です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

お断り: 本資料内の情報はAtmel製品と関連して提供されています。本資料またはAtmel製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。Atmelのウェブサイトに表示する販売の条件とAtmelの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、Atmelはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえAtmelがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益と損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してAtmelに責任がないでしょう。Atmelは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。Atmelはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、Atmel製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。Atmel製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

安全重視、軍用、車載応用のお断り: Atmel製品はAtmelが提供する特別に書かれた承諾を除き、そのような製品の機能不全が著しく人に危害を加えたり死に至らしめることがかなり予期されるどんな応用(“安全重視応用”)に対しても設計されず、またそれらとの接続にも使用されません。安全重視応用は限定なしで、生命維持装置とシステム、核施設と武器システムの操作の装置やシステムを含みます。Atmelによって軍用等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は軍用や航空宇宙の応用や環境のために設計も意図もされていません。Atmelによって車載等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は車載応用での使用のために設計も意図もされていません。

© HERO 2022.

本データシートはAtmelのATtiny1634英語版データシート(改訂8303H-02/2014)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。