
AVR4100 : AVR®マイクロ コントローラ用 32kHzクリスタルの選択と試験

序説

著者: Torbjørn Kjørlaus, Microchip Technology Inc.

この応用記述はクリスタルの基礎、PCB配置の考察、そしてあなたの応用でクリスタルを試験する方法を要約します。クリスタル選択の手引きは専門家によって検査された推奨クリスタルを示し、各種Microchip AVR®系統の様々な発振器部に対する適合を根拠とします。試験ファームウェアと様々なクリスタル供給業者からの検査報告も含まれます。



要点

- ・ クリスタル発振器の基礎
- ・ PCB設計の考察
- ・ クリスタル強化試験
- ・ ファームウェアを含めた試験
- ・ 推奨クリスタルの手引き

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

目次

序説	1
要点	1
1. クリスタル発振器の基礎	3
1.1. はじめに	3
1.2. 発振器	3
1.3. 電氣的モード	4
1.4. 等価直列抵抗(ESR)	4
1.5. Q係数と安定性	4
1.6. 始動時間	4
1.7. 温度許容誤差	5
2. PCB配置と設計の考察	5
3. クリスタル発振強度試験	5
3.1. はじめに	5
3.2. 負性抵抗試験と安全係数	7
3.3. 実効負荷容量測定	8
4. 試験ファームウェア	8
4.1. tinyAVR®	8
4.2. megaAVR®	8
4.3. XMEGA®	8
4.4. UC3	9
5. 推奨クリスタル	9
6. 発振器単位部概要	10
7. 改訂履歴	11
Microchipウェブ サイト	12
お客様への変更通知サービス	12
お客様支援	12
Microchipデバイスコード保護機能	12
法的通知	12
商標	13
DNVによって認証された品質管理システム	13
世界的な販売とサービス	14

1. クリスタル発振器の基礎

多くの読者はクリスタル発振器の理屈に精通し、これらの応用の試験方法にだけ興味があるでしょう。それらの読者は「1. クリスタル発振器の基礎」と「2. PCB配置と設計の考察」の話題を飛ばして「3. クリスタル発振強度試験」を読み始めるかもしれません。

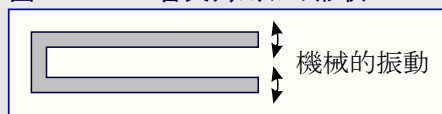
1.1. はじめに

クリスタル発振器は非常に安定なクロック信号を発生するために圧電材振動の機械的共振を使います。この周波数は通常、安定なクロック信号を提供するため、または時間の経緯を保つために使われ、従ってクリスタル発振器はRFとデジタル開路で広範囲に使われます。

クリスタルは色々な形状と大きさとで様々な供給業者から入手可能で、性能と仕様に於いて非常に広範囲で有り得ます。温度、湿度、電源、そして経過での変化に渡って強力な応用の安定のためにパラメータと発振回路の理解が重要です。

全ての物理的な物は自然の振動周波数を持ち、その振動周波数はその形状、大きさ、弾性、そしてその材料に於ける音の速度によって決められます。圧電材料は電界が印加された時に歪み、それが元の形状に戻る時に電界を発生します。電気回路に使われる最も一般的な圧電材料は水晶クリスタルですが、(通常、安価またはタイミングが重要でない応用で)セラミック振動子も使われます。32kHz (32768Hz)クリスタルは通常、音叉の形状で切り出され、非常に正確な周波数を確立することができます。

図1-1. 32kHz音叉クリスタルの形状



1.2. 発振器

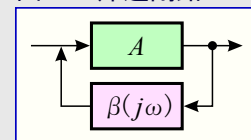
バルクハウゼン(Barkhausen)安定基準は電気回路が発振する時を決めるのに用いられる2つの条件です。それらは A が回路に於ける増幅要素の利得で、 $\beta(j\omega)$ が帰還経路の伝達関数の場合に、回路は以下に関する周波数でだけ安定状態の発振を維持すると述べています。

閉路利得は絶対的な大きさとで1に等しい、 $|\beta A|=1$

閉路を回る位相ずれは0または 2π の整数倍、換言すると、 $\angle\beta A=2\pi n$, $n \in 1, 2, 3, \sim$

最初の基準は一定振幅の信号を保証します。1よりも小さい数値は信号を0に減らし、1よりも大きな数値は信号を無限に増幅します。2つ目の基準は安定な周波数を保証します。他の位相ずれ値に関しては、帰還閉路のために正弦波出力が打ち消されます。

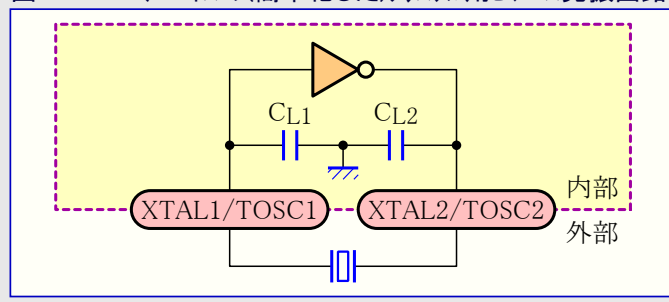
図1-2. 帰還閉路



Microchip AVR[®]マイクロコントローラの32kHz発振器は図1-3.で示され、反転増幅器(内部)とクリスタル(外部)から成ります。殆どのAVRマイクロコントローラは内部容量性負荷($CL1$ と $CL2$)を持ち、故に外部容量は通常必要とされません。けれども、いくつかの場合で、クリスタルの仕様に合わせるために外部負荷が追加されなければなりません。いくつかのAVRマイクロコントローラはCKOPTヒューズで内部容量が接続されるべきかまたは接続されないべきかのどちらかを選ぶことができます。より多くの詳細はAVRデバイスのデータシートで得られます。

反転増幅器は π ラジアン(180°)の位相ずれを与え、残りの π ラジアン位相ずれは32768Hzでのクリスタルと容量性負荷によって提供され、合計 2π ラジアン位相ずれにさせます。始動中、増幅器の出力は閉路利得1で安定状態の発振が確立されるまで増加し、完全なバルクハウゼン基準にさせます。これはAVRマイクロコントローラの発振器回路によって自動的に制御されます。

図1-3. AVRデバイスの(簡単化した)クリスタル用ピアース発振回路



1.3. 電気的模式

クリスタルの等価電気回路が図1-4.で示されます。この直列RLC網は直列腕木と呼ばれ、クリスタルの機械的な動きの電気的な説明を与え、ここでC1は水晶の弾性を表し、L1は振動量を表し、そしてR1は制するための損失を表します。C0は並列容量または静的容量と呼ばれ、クリスタルの筐体と電極のための電気的な寄生容量の総和です。クリスタル容量を測定するのに容量計が使われた場合、C0だけが測定されます(C1は無効です)。

ラプラス変換を用いることにより、この網で2つの共振周波数が得られます。直列共振周波数 f_s はC1とL1にだけ依存し、並列または反共振周波数 f_p はC0も含みます。リアクタンス対周波数特性は図1-5.で得られます。

式1-1. 直列共振周波数

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$$

式1-2. 並列共振周波数

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} \sqrt{1 - \frac{C_1}{C_0}}$$

30MHz以下のクリスタルは直列と並列の共振周波数間のどの周波数でも動作することができ、これはそれらが動作に於いて誘導性であることを意味します。30MHz以上の高周波数クリスタルは通常、直列共振周波数か、または本来の周波数の倍数で起こる倍音周波数で動作します。クリスタルに容量性負荷CLを付加することで式1-3.によって与えられる周波数に於いて移動を引き起こします。クリスタル周波数は負荷容量の変化によって調整することができ、これは周波数可変と呼ばれます。

式1-3. 移動した並列共振周波数

$$\Delta f = f_s \left(\frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \right)$$

図1-4. クリスタル発振子等価回路

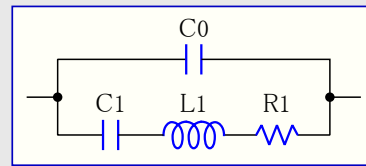
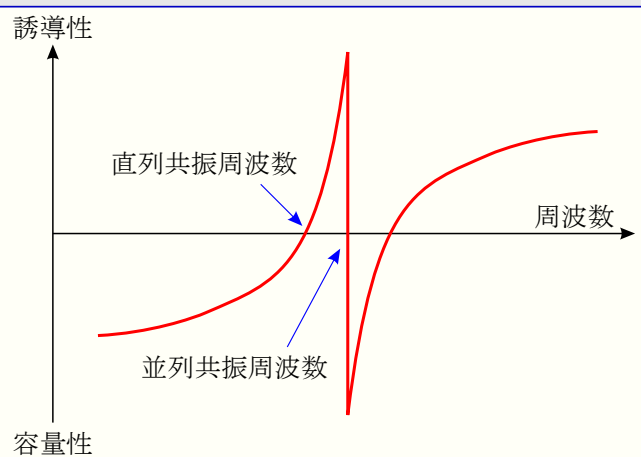


図1-5. クリスタルのリアクタンス特性



1.4. 等価直列抵抗(ESR)

等価直列抵抗(ESR)は機械的な損失の電気的表現で、直列共振周波数 f_s に於いて電気的模式でのR1と等価です。ESRは非常に重要なパラメータで、クリスタルのデータシートで得られます。ESRは通常、クリスタルの物理的な大きさに依存し、小さいクリスタル(特に小さなSMDクリスタル)はより大きなクリスタルよりも代表的により高い損失とESR値を持ちます。

より高いESR値は反転増幅器により負荷を掛け、高すぎるESRは不安定な発振動作を引き起こすかもしれません。利得1は達成されず、バルクハウゼン基準が完全に満たされないでしょう。

1.5. Q係数と安定性

クリスタルの周波数安定性はQ係数で与えられます。Q係数はクリスタル内に蓄えられたエネルギーとエネルギー損失の総和間の比率です。代表的に、LC発振器に対する100程度に比べ、時計用クリスタルは10,000~100,000の範囲のQを持ちます。セラミック振動子は水晶クリスタルよりも低いQを持ち、容量性負荷にもっと敏感です(可変能力がより高い)。

式1-4. Q係数

$$Q = \frac{\text{格納エネルギー}}{\Sigma \text{損失エネルギー}}$$

多数の要素が周波数安定性に影響を及ぼし得ます。据付によって誘発される機械的な圧力、衝撃や振動圧力、電源の変化、負荷インピーダンス、温度、磁界と電界、それとクリスタルの経時は全て影響を及ぼすかもしれません。クリスタル供給業者は通常、それらのデータシートでそのようなパラメータを一覧にします。

1.6. 始動時間

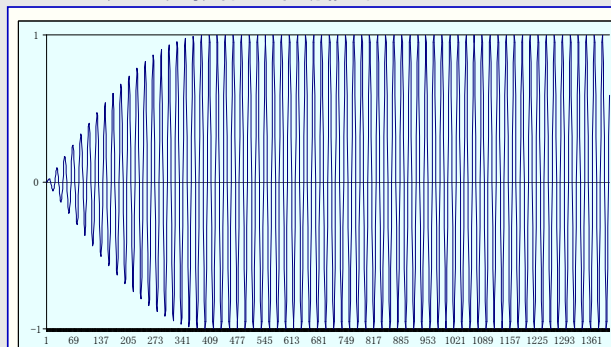
始動中、反転増幅器で雑音が増幅されます。クリスタルは帯域通過濾波器として働き、クリスタルの共振周波数成分だけを帰還し、そしてそれが増幅されます。安定状態発振が達成される前は、クリスタル/反転増幅器閉路の閉路利得が1よりも大きく、信号の振幅が増加します。安定状態に於いて、閉路利得は閉路利得1と一定振幅でバルクハウゼン基準を完全に満たします。

始動時間に影響を及ぼす要素は次のとおりです。

- ・ 高ESRクリスタルは低ESRクリスタルよりもずっとゆっくり始動します。
- ・ 高Q係数クリスタルは低Q係数クリスタルよりもずっとゆっくり始動します。
- ・ 高負荷容量は始動時間を増加します。
- ・ 発振増幅器駆動能力(「3.2. 負性抵抗試験と安全係数」で発振器許容性でより多くの詳細をご覧ください。)

加えて、クリスタル周波数は始動時間に影響を及ぼします(より速いクリスタルがより早く始動)が、このパラメータは32kHzクリスタルに関して一定にされます。

図1-6. クリスタル発振器の始動信号



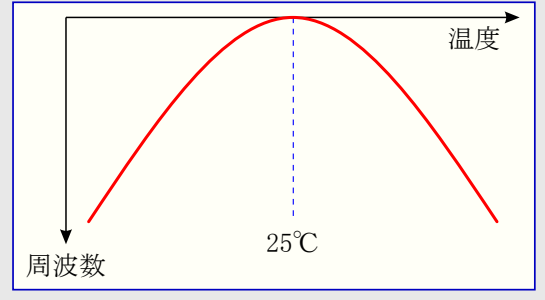
1.7. 温度許容誤差

代表的な音叉水晶は通常、25℃で公称周波数を中心に切り出されます。25℃以上と以下では図1-7.で示されるように、周波数が放物線特性で減少します。周波数変化は式1-5.で与えられ、ここでの f_0 は T_0 での目標周波数(代表的に25℃で32768Hz)、PPMは水晶のデータシートによって与えられる温度許容誤差係数です。

式1-5. 温度変化の影響

$$f = f_0(1 - PPM(T - T_0))^2$$

図1-7. 水晶の代表的な温度 対 周波数特性



2. PCB配置と設計の考察

組み立て中に用いられる配置と材料が注意深く考慮されていなければ、例え最高性能の発振器回路と高品質水晶でも上手く動かないでしょう。超低電力32kHz発振器は代表的に意味ある1μW以下を浪費し、従って回路を流れる電流は極端に小さくなります。加えて、水晶周波数は容量性負荷に大きく依存します。

発振器の強度を増すため、PCB配置中に以下のこれらの指針が推奨されます。

- XTAL1/TOSC1とXTAL2/TOSC2から水晶への信号線は、寄生容量を減らして雑音と漏話の耐性を増すために、可能な限り短くすべきです。
- GND面と保護輪で周辺を囲むことによって水晶と信号線を遮蔽してください。
- 水晶線近くでデジタル線、特にクロック線の配線を避けてください。
- 高品質のPCBと半田材料を使ってください。
- 塵と湿気は寄生容量を増して信号の絶縁を減らし、故に保護塗布が推奨されます。

3. 水晶発振強度試験

3.1. はじめに

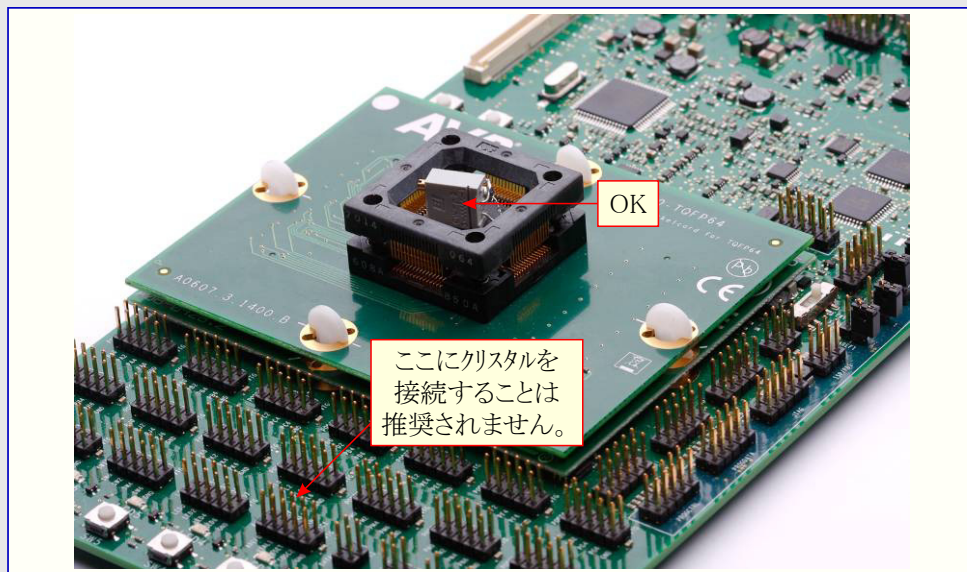
AVRマイクロコントローラの32kHz水晶発振子駆動部は非常に低い消費電力に最適化され、従って水晶駆動部の能力は制限されます。水晶駆動部の過負荷は発振器を始動させないかもしれず、または例えば、手の接近や汚染によって引き起こされる容量性負荷の増加や尖頭雑音のために影響(一時的な停止)を及ぼされるかもしれません。

これは応用に於いて適当な強さを保証するために水晶の選択と試験の時に注意されなければならないことを意味します。2つの重要な水晶パラメータは等価直列抵抗(ESR)と負荷容量(CL)です。

水晶で測定を行う時に、寄生容量を減らすために水晶は32kHz発振器ピンに可能な限り近く配置されるべきです。一般的に、最終応用で測定を行うことが常に推奨されます。けれども水晶の初期試験に関しては、スタートキット(例えば、STK600)の使用が都合よく行くでしょう。

図3-1.で示されるように、STK600の端でXTAL/TOSC出力ヘッダに水晶を接続することは、信号経路が雑音に対して非常に敏感になり、それによって追加の容量性負荷を付加するので推奨されません。けれどもリードへ水晶を直接半田付けすることは良好な結果を与えます。STK600上のソケットと配線からの追加の容量性負荷を避けるため、図3-2.と図3-3.で示されるように、XTAL/TOSCリードをそれらがソケットに触れないように上側に曲げることが推奨されます。(穴実装される)リード付きの水晶は処理がより簡単ですが、図3-4.で示されるように、延長ピンの使用によってSMDをXTAL/TOSCリードへの直接的な半田付けも可能です。狭いピンピッチの外圍器への水晶半田付けも図3-5.で示されるように可能ですが、僅かに滴らせることと震えない手が必要です。

図3-1. STK600の端のXTAL/TOSCヘッダにクリスタルを接続しないでください。これは寄生容量を追加して雑音と漏話に対して敏感にする非常に長い経路を与えます。



容量性負荷が発振器上で大きな影響を持つため、クリスタル測定を意図した高品質装置を持たない限り、直接クリスタルに探針を当てるべきではありません。標準的な×10のオシロスコプの探針は10～15pFの負荷を課し、測定で高い影響を持つでしょう。指や×10探針でクリスタルのピンに触れることは発振の開始や停止、または不正な結果を与えるのに充分で有り得ます。標準入出力ピンにクロック信号を出力するためのファームウェアがこの応用記述と共に供給されます。XTAL/TOSCピンと違い、入出力ピンは測定に影響を及ぼさずに標準的な×10のオシロスコプの探針を当てることができます。より多くの詳細は「4. 試験ファームウェア」で得られます。

図3-2. 曲げたXTAL/TOSCリードへのクリスタル直半田付け



図3-3. XTAL/TOSCリードがソケットに触れないことを保証

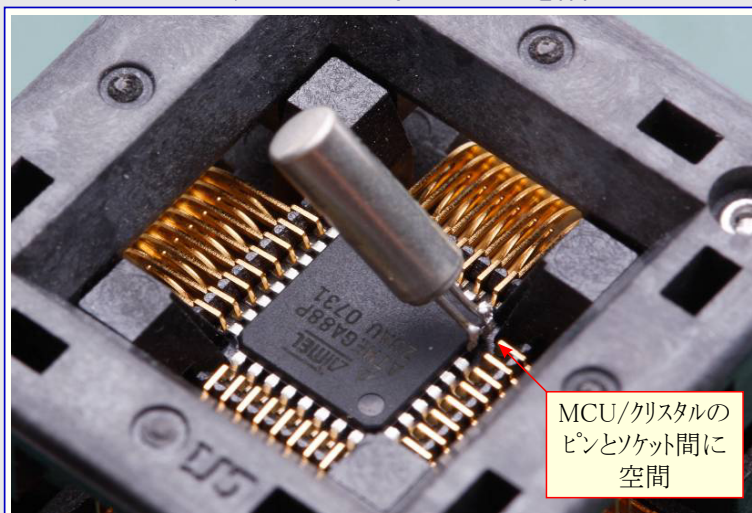


図3-4. 延長ピン使用でSMDクリスタルをMCUに直半田付け

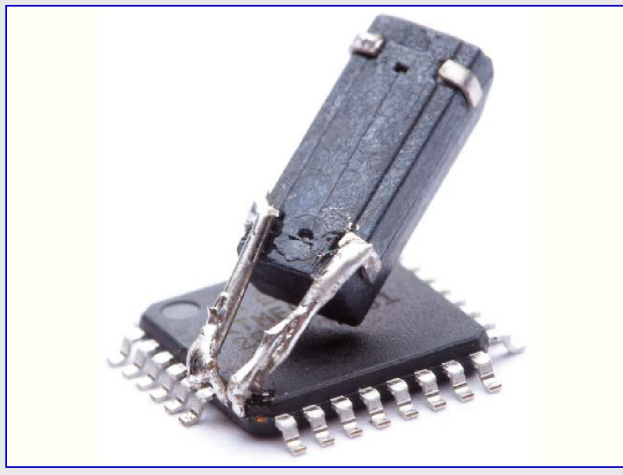


図3-5. 狭いピンピッチを持つ100ピンTQFP外囲器(例えばATmega6490, ATmega2560, ATxmega128A1)も使用可能ですが、半田付け時に震えない手が必要です。



3.2. 負性抵抗試験と安全係数

負性抵抗試験は応用で使われるクリスタル増幅器負荷と最大負荷間の余裕を見つめます。最大負荷に於いて、増幅器は抑止して発振が停止します。この点は発振許容(OA)と呼ばれます。発振許容は図3-6.で示されるように、増幅器出力(XTAL2/TOSC2)リードとクリスタル間に直列可変抵抗器を一時的に追加することによって得られます。直列抵抗はクリスタルが発振を停止するまで増加されるべきです。そして発振許容はこの直列抵抗R_{MAX}とESRの合計になります。最低ESR<R_{POT}<5×ESRの範囲を持つ可変抵抗器を使うことが推奨されます。

正しいR_{MAX}値を探すことは正確な発振許容点が存在しないため、僅かに巧妙です。発振器が停止する前に、緩やかな周波数減少を観測するかもしれませんが、開始と停止のヒステリシスもあるかもしれません。発振器停止後、発振を再開する前に10～50kΩでR_{MAX}値を減らす必要があります。可変抵抗器が増やされた後で毎回電源OFF/ONを実行することが推奨されます。そしてR_{MAX}値は電源OFF/ON後に発振器が始動しなくなる抵抗値です。発振許容点で始動時間がかかり長くなることに注意し、故に我慢してください。

式3-1. 発振許容

$$OA = R_{MAX} + ESR$$

低寄生容量の高品質可変抵抗器の使用が推奨されます(一般的にRFに適合したSMD可変抵抗器が最良の結果を与えます)。けれども、安い可変抵抗器で良好な発振許容R_{MAX}を達成できるなら、問題ありません。

最大直列抵抗が見つかり、式3-2.から安全係数を得ることができます。様々なMCUとクリスタルの製造業者は異なる推奨安全係数で動きます。安全係数は発振増幅器利得、電源と温度変動のための変化、工程変化、それと負荷容量のような各種変数の負の影響に対して余裕を追加することを意図されています。AVRマイクロコントローラの32kHz発振増幅器は温度と電力が補償され、故にこれらの変数を多少一定にすることによって他のMCU/IC製造業者と比べて安全係数の要件を減らすことができます。推奨安全係数は表3-1.で得られます。

式3-2. 安全係数

$$SF = \frac{OA}{ESR} = \frac{R_{MAX} + ESR}{ESR}$$

図3-6. 発振許容/R_{MAX}測定

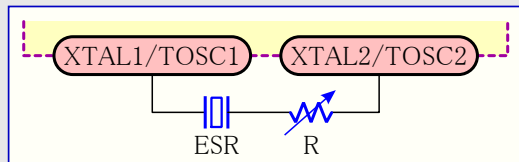


図3-7. XTAL2/TOSC2ピンとクリスタル間の直列可変抵抗器

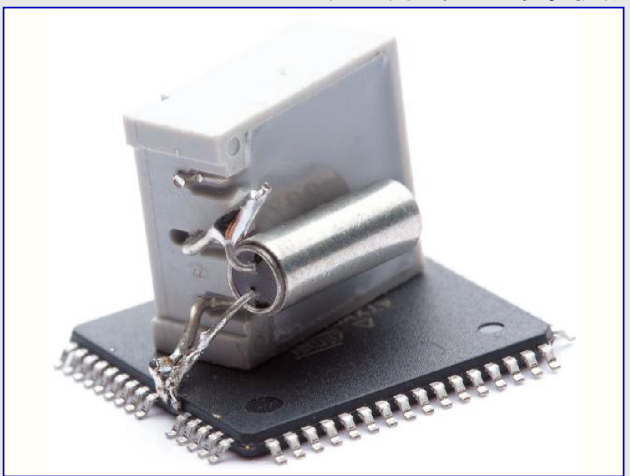


図3-8. ソケットでの許容試験

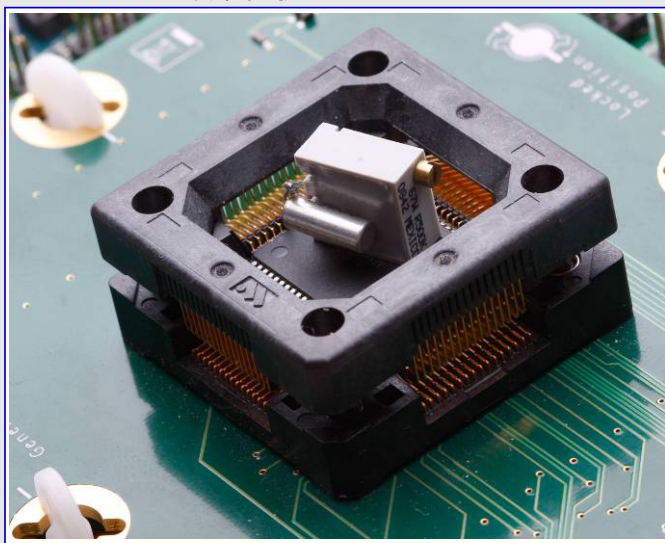


表3-1. 推奨安全係数

安全係数	推奨
5<	優秀
4	非常に良い
3	良好
<3	推奨されません。

3.3. 実効負荷容量測定

クリスタル周波数は**式1-2**によって示されるように、印加される容量性負荷に依存します。クリスタルのデータシートで指定される容量性負荷の適用は32768Hzの公称周波数に非常に近い周波数を提供します。他の容量性負荷が適用された場合、周波数が変わります。周波数は**図3-9**で示されるように、容量性負荷が減ると増加し、負荷が増すと減少します。

周波数可変能力または帯域幅(公称周波数からどれくらい離れているか、共振周波数は印加する負荷によって強制することができます。)は振動子のQ係数に依存します。帯域幅は公称周波数÷Q係数で与えられ、高Q水晶クリスタルについては使える帯域幅が非常に制限されます。測定した周波数が公称周波数から離れる場合、発振器は強くないでしょう。これは利得1を達成するために高い増幅器Aの負荷にさせる帰還閉路 $\beta(j\omega)$ 内のより高い減衰のためです(**図1-2**をご覧ください)。

式3-3. 帯域幅

$$BW = \frac{\text{共振周波数}}{Q}$$

実効負荷容量(負荷容量と寄生容量の合計)を測定する良い方法は発振器周波数を測定してそれを32768Hzの公称周波数と比較することです。測定した周波数が32768Hzに近いなら、実効負荷容量は仕様近くになるでしょう。これはこの応用記述と共に供給されるファームウェアと入出力ピンでのクロック出力で標準的なオシロスコープの×10探針を使い、可能ならばクリスタル測定用に意図された高インピーダンス探針で直接クリスタルを測定することで、行うことができます。より多くの詳細は「**4. 試験ファームウェア**」で得られます。

外部容量なしで、総負荷容量は**式3-4**で与えられます。いくつかの場合で、クリスタルのデータシートで指定された容量性負荷に合わせるために外部容量(C_{EL1}とC_{EL2})が追加されなければなりません。外部容量が使用される場合、総負荷容量は**式3-5**で与えられます。

式3-4. 外部容量なし総容量性負荷

$$\Sigma C_L = \frac{(C_{L1} - C_{P1})(C_{L2} - C_{P2})}{C_{L1} - C_{L2} - C_{P1} - C_{P2}}$$

式3-5. 外部容量付き総容量性負荷

$$\Sigma C_L = \frac{(C_{L1} - C_{P1} - C_{EL1})(C_{L2} - C_{P2} - C_{EL2})}{C_{L1} - C_{L2} - C_{P1} - C_{P2} - C_{EL1} - C_{EL2}}$$

図3-9. 周波数 対 負荷容量

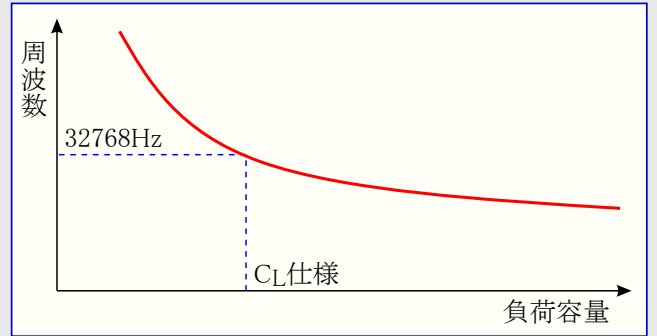
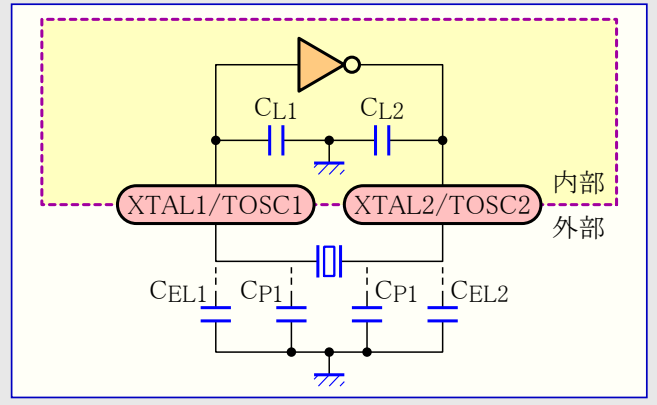


図3-10. 内部、寄生、外部の容量を持つクリスタル回路



4. 試験ファームウェア

標準的な×10探針と共に設定できる入出力ポートにクロック信号を出力するための試験ファームウェアはこの応用記述と共に配給される.zipファイルに含まれます。測定のようなことを意図した非常に高いインピーダンスの探針を持っていない場合、クリスタル電極は直接測定されるべきではありません。

ソースコードをコンパイルし、.hexファイルをデバイス内に書き込んでください。

データシートに載せられた動作範囲内のVCCを印加し、XTAL1/TOSC1とXTAL2/TOSC2間にクリスタルを接続し、そして出力ピンでクロック信号を測定してください。

比較出力ピンはデバイス毎に異なり、故にどの入出力ピンがクロック信号を出力するかを見つけるためにコードを見る必要があります。

4.1. tinyAVR®

クロック信号はポートを交互切り替えする無限while繰り返しを用いることによってポートBに出力され、従ってクロック信号は10分周されます(3276.8Hzの公称周波数)。全てのMicrochip tinyAVR®デバイスが支援されます。デバイス用のクロック元として32768Hzクリスタルを使うには、CKSELヒューズの設定によって低周波数クリスタル発振器が選択されなければなりません。詳細についてはデータシートを見てください。

4.2. megaAVR®

入出力ピンを交互切り替えするのに非同期タイマ/カウンタ溢れが使われ、従ってクロック信号は2分周されます(16384Hzの公称周波数)。全てのmegaAVR®デバイスが支援されますが、デバイスシステム定義の設定が必要です(.cファイル内の定義の一覧をご覧ください)。

4.3. XMEGA®

Microchip AVR® XMEGA®システムは入出力ポートに直接周辺機能クロックを出力するための支援を持ちます。クロック分周は全く行われません。ファームウェアはシステムクロックとして外部低周波数クリスタルを構成設定して低電力動作形態を許可します。クロック信号はPC7ポートに出力されます。

4.4. UC3

UC3支援はこの応用記述の将来の公開で含まれるでしょう。

5. 推奨クリスタル

表5-2は様々なAVRマイクロコントローラに対して試験して適合を得られたクリスタルの選択です。下表からのクリスタルとMCUの組み合わせの使用は良好な相性を保証し、少しのまたは限定的なクリスタル専門家である使用者に強く推奨されます。例えクリスタルとMCUの組み合わせが様々なクリスタル供給業者に於いて高度な経験のクリスタル専門家によって試験されているとは言え、配置や半田付けなどの間に問題が誘引されないことを保証するために、「3. クリスタル発振強度試験」で記述されるように未だその設計を試験することが推奨されます。

試験報告とクリスタルのデータシートについてはこの応用記述に付随した.zipファイルを参照してください。

表5-1.は各種発振器単位部の一覧を示し、これらの単位部が含まれるデバイスの一覧は「6. 発振器単位部概要」で得られます。

表5-1. AVRデバイスでの発振器の概要

番号	発振器単位部	説明
1	X32K_2v7	megaAVRデバイスで使われる2.7～5.5V発振器
2	X32K_1v8	megaAVR/tinyAVRデバイスで使われる1.8～5.5V発振器
3	X32K_1v8_ULP	megaAVR/tinyAVRのpicoPower [®] デバイスで使われる1.8～3.6V超低電力発振器
4	X32K_XMEGA	XMEGAデバイスで使われる1.6～3.6V超低電力発振器 – 標準形態発振器構成
5	X32K_XMEGA	XMEGAデバイスで使われる1.6～3.6V超低電力発振器 – 低電力形態発振器構成
6	X32K_XRTC32	電池代替支援を持つXMEGAデバイスで使われる1.6～3.6V超低電力RTC発振器
7	X32K_1v8_5v5_ULP	tinyAVR 1系とmegaAVR 0系のデバイスで使われる1.8～5.5V超低電力発振器

表5-2. 推奨32kHzクリスタル

供給業者	形式	装着	試験/認可された 発振器部署 (表5-1.参照)	許容周波数 (±PPM)	負荷容量 (pF)	等価直列抵抗 [ESR] (kΩ)
Microcrystal	CC7V-T1A	SMD	1,2,3,4,5	20/100 (注1)	7.0/9.0/12.5	50/70
Abrakon	ABS06	SMD	2	20	12.5	90
Cardinal	CPFB	SMD	2,3,4,5	20	12.5	50
Cardinal	CTF6	穴	2,3,4,5	20	12.5	50
Cardinal	CTF8	穴	2,3,4,5	20	12.5	50
Endrich Citizen	CFS206	穴	1,2,3,4	20	12.5	35
Endrich Citizen	CM315	SMD	1,2,3,4	20	12.5	70
Epson Tyocom	MC306	SMD	1,2,3	20/50	12.5 (注2)	50
Fox	FSXLF	SMD	2,3,4,5	20	12.5	65
Fox	FX135	SMD	2,3,4,5	20	12.5	70
Fox	FX122	SMD	2,3,5	20	12.5	90
Fox	FSRLF	SMD	1,2,3,4,5	20	12.5	50
NDK	NX3215SA	SMD	1,2,3	20	12.5	80
Seiko	SSP-T7-FL	SMD	3	20	6	65
Seiko	SSP-T7-F	SMD	1,2	20	12.5	65
Seiko	SSP-T7-F	SMD	4	20	7	65
Seiko	SSP-T7-FL	SMD	5	20	4.4	65

注1: 要求でのよりきつい/より広い許容周波数

注2: 12.5pF標準ですが、要求によって6pF～∞が利用可能

6. 発振器単位部概要

表6-1は様々なMicrochip megaAVR、Microchip tinyAVR®とMicrochip XMEGA®デバイスに含まれる、32kHz発振器の一覧を示します。この一覧は将来の公開でUC3デバイスで拡張されるでしょう。

表6-1. 発振器単位部概要

デバイスシステム	デバイス	発振器単位部	デバイスシステム	デバイス	発振器単位部
megaAVR	ATmega128	X32K_2v7	megaAVR	ATmega3290P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega128A	X32K_2v7	megaAVR	ATmega3290PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega1280	X32K_1v8	megaAVR	ATmega48	X32K_1v8
megaAVR	ATmega1281	X32K_1v8	megaAVR	ATmega48A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega1284P	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega48P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega16	X32K_2v7	megaAVR	ATmega48PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega16A	X32K_2v7	megaAVR	ATmega48PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega162	X32K_1v8	megaAVR	ATmega64	X32K_2v7
megaAVR	ATmega164A	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega64A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega164P	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega640	X32K_1v8
megaAVR	ATmega164PA	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega644A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega165A	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega644P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega165P	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega644PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega16PA	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega645A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168	X32K_1v8	megaAVR	ATmega645P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168A	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega6450A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168P	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega64500	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168PA	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega649	X32K_1v8
megaAVR	ATmega168PB	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega649A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169	X32K_1v8	megaAVR	ATmega649P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169A	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega6490	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169P	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega6490A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169PA	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega6490P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega2560	X32K_1v8	megaAVR	ATmega8	X32K_2v7
megaAVR	ATmega2561	X32K_1v8	megaAVR	ATmega8A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega32	X32K_2v7	megaAVR	ATmega88	X32K_1v8
megaAVR	ATmega32A	X32K_2v7	megaAVR	ATmega88A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324A	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega88P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324P	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega88PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324PA	X32K_1v8_ULP	megaAVR	ATmega88PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324PB	X32K_1v8_ULP	megaAVR 0系	ATmega3208	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR	ATmega325A	X32K_1v8_ULP	megaAVR 0系	ATmega3209	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR	ATmega325P	X32K_1v8_ULP	megaAVR 0系	ATmega4808	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR	ATmega325PA	X32K_1v8_ULP	megaAVR 0系	ATmega4809	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR	ATmega3250PA	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny2313A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega3250P	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny24	X32K_1v8
megaAVR	ATmega3250PA	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny24A	X32K_1v8
megaAVR	ATmega328	X32K_1v8	tinyAVR	ATtiny25	X32K_1v8
megaAVR	ATmega328P	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny261	X32K_1v8
megaAVR	ATmega328PA	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny261A	X32K_1v8
megaAVR	ATmega328PB	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny4313	X32K_1v8
megaAVR	ATmega329	X32K_1v8	tinyAVR	ATtiny44	X32K_1v8
megaAVR	ATmega329A	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny44A	X32K_1v8
megaAVR	ATmega329P	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny45	X32K_1v8
megaAVR	ATmega329PA	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny461	X32K_1v8
megaAVR	ATmega3290A	X32K_1v8_ULP	tinyAVR	ATtiny461A	X32K_1v8

[次頁へ続く]

表6-1 (続き). 発振器単位部概要

デバイス系統	デバイス	発振器単位部	デバイス系統	デバイス	発振器単位部
tinyAVR	ATtiny84	X32K_1v8	XMEGA	ATxmega64A3	X32K_XMEGA
tinyAVR	ATtiny84A	X32K_1v8	XMEGA	ATxmega128A3	X32K_XMEGA
tinyAVR	ATtiny85	X32K_1v8	XMEGA	ATxmega192A3	X32K_XMEGA
tinyAVR	ATtiny861	X32K_1v8	XMEGA	ATxmega256A3	X32K_XMEGA
tinyAVR	ATtiny861A	X32K_1v8	XMEGA	ATxmega256A3B	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny212	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega16A4	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny214	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega32A4	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny412	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmegaa64A4	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny414	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega128A4	X32K_XRTC32
tinyAVR 1系	ATtiny416	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega64B1	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny417	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega128B1	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny814	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega64B3	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny816	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega128B3	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny817	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega64D3	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny1614	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega128D3	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny1616	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega192D3	X32K_XMEGA
tinyAVR 1系	ATtiny1617	X32K_1v8_5v5_ULP	XMEGA	ATxmega256D3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64A1	X32K_XMEGA	XMEGA	ATxmega16D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128A1	X32K_XMEGA	XMEGA	ATxmega32D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega192A1	X32K_XMEGA	XMEGA	ATxmega64D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega256A1	X32K_XMEGA	XMEGA	ATxmega128D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega384A1	X32K_XMEGA			

7. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
8333A	2010年8月	初版資料改訂
8333B	2010年11月	いくつかの更新と修正
8333C	2011年2月	推奨一覧更新
8333D	2011年7月	推奨一覧更新
8333E	2015年3月	1. XMEGAクロック出力をPD7からPC7に変更 2. XMEGA B追加
A	2018年2月	1. Micrchip形式に変換、Atmel資料番号8333を置換 2. tinyAVR 0と1系統に対する支援を追加
B	2018年9月	1. 表5-1を修正 2. 相互参照を修正

Microchipウェブ サイト

Microchipは<http://www.microchip.com/>で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にする手段として使われます。お気に入りのインターネット ブラウザを用いてアクセスすることができ、ウェブ サイトは以下の情報を含みます。

- ・ **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- ・ **全般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip相談役プログラム員一覧
- ・ **Microshipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

お客様への変更通知サービス

Microchipのお客様通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するには<http://www.microchip.com/>でMicrochipのウェブ サイトをアクセスしてください。”Support”下で”Customer Change Notification”をクリックして登録指示に従ってください。

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- ・ 代理店または販売会社
- ・ 最寄りの営業所
- ・ 現場応用技術者(FAE:Field Application Engineer)
- ・ 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、または現場応用技術者(FAE)に連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援は<http://www.microchip.com/support>でのウェブ サイトを通して利用できます。

Microchipデバイス コード保護機能

Microchipデバイスでの以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- ・ Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- ・ Microchipは意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- ・ コード保護機能を破るのに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全てはMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- ・ Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と共に働きたいと思います。
- ・ Microchipや他のどの半導体製造業者もそれらのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を”破ることができない”として保証すると言うことを意味しません。

コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

法的通知

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれる情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責にすることに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Mcirochipロゴ、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoqロゴ、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-Wireは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、WiperLock、Wireless DNA、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

Silicon Storage Technologyは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

GestICは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の子会社であるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KGの登録商標です。

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2018年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

DNVによって認証された品質管理システム

ISO/TS 16949

Microchipはその世界的な本社、アリゾナ州のチャンドラーとテンペ、オレゴン州グラシャムの設計とウェハー製造設備とカリフォルニアとインドの設計センターに対してISO/TS-16949:2009認証を取得しました。当社の品質システムの処理と手続きはPIC[®] MCUとdsPIC[®] DSC、KEELOQ符号飛び回りデバイス、直列EEPROM、マイクロ周辺機能、不揮発性メモリ、アナログ製品用です。加えて、開発システムの設計と製造のためのMicrochipの品質システムはISO 9001:2000認証取得です。

日本語© HERO 2021.

本応用記述はMicrochipのAN2648応用記述(DS00002648A-2018年2月)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には()内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。

世界的な販売とサービス

米国	亜細亜/太平洋	亜細亜/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: http://www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク NY Tel: 631-435-6000 サンホセ CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特別行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4450-2828 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーネ Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-67-3636 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - ハットバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルフト Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリード Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820