

序説

著者: Lloyd D. Clark and Erling Holten Wiken, Microchip Technology Inc.

アナログ感知器は感知されている物理的な特性の関数として既知の方法で変わる出力信号を生成します。アナログ感知器の形式に応じて、出力信号は電圧、電流、周波数、位相などで有り得ます。この応用記述は内蔵A/D変換器(ADC)周辺機能を持つマイクロコントローラ(MCU)を使ってアナログ感知器からデータを採取する2つの例を提供します。1つ目の例は温度を測定するのに測温抵抗体(RTD:Resistance Temperature Detector)の使用を実演します。2つ目の例は検出抵抗を使って回路の電流測定を実演します。両例は最小消費電力の技術を利用します。

要点

- マイクロコントローラの内蔵A/D変換器(ADC)を使うアナログ感知器データの採取
- 消費電力最小化の技法
- 2つの例
 - 測温抵抗体(RTD)測定 (電圧計測)
 - 電流測定 (電流計測)

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。

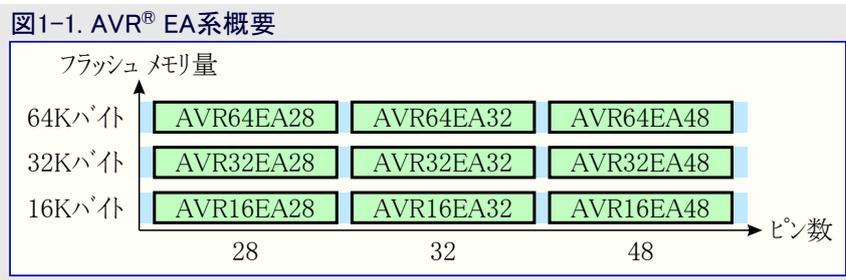
目次

序説	1
要点	1
1. 関連デバイス	3
2. 概要	4
3. RTD測定(電圧計測)例	5
3.1. ハードウェア構成図	5
3.2. 動作の原理	5
3.3. ハードウェア前提条件	5
3.4. ハードウェア設定	6
3.5. ソフトウェア前提条件	6
3.6. 実装詳細	6
3.7. ソースコード概要	7
4. 電流測定(電流計測)例	8
4.1. ハードウェア構成図	8
4.2. 動作の原理	8
4.3. ハードウェア前提条件	8
4.4. ソフトウェア前提条件	9
4.5. ハードウェア設定	9
4.6. 実装詳細	9
4.7. ソースコード概要	10
5. MPLAB Discoverからのコード例取得	11
6. 改訂履歴	12
Microchip情報	13
Microchipウェブサイト	13
製品変更通知サービス	13
お客様支援	13
Microchipデバイスコード保護機能	13
法的通知	13
商標	14
品質管理システム	14
世界的な販売とサービス	15

1. 関連デバイス

本章はこの文書に関連するデバイスを一覧にします。下図はピン数の変種とメモリ量を展開して各種系統デバイスを示します。

- これらのデバイスがピン互換で同じまたはより多くの機能を提供するため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数と利用可能な機能を減らします。
- 異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMも持ちます。



2. 概要

多くのシステムは定期的に調査されなければならない1つ以上のアナログ感知器を含みます。電圧または電流の出力を生成するアナログ感知器がかなり一般的です。これらの信号はマイクロコントローラのA/D変換器(ADC)周辺機能を使って測定することができます。電池給電のシステムでは例えばマイクロコントローラを測定間に休止動作に置くような技法を使って消費電力を最小化することが重要です。

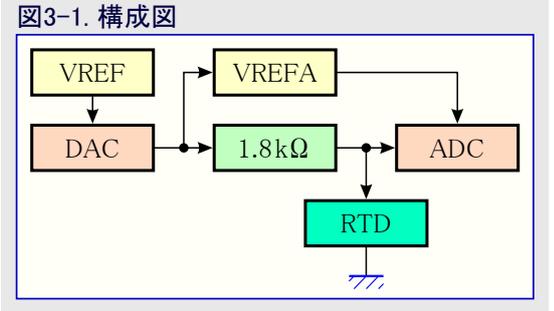
この応用記述はAVR[®] EA系マイクロコントローラを使って低電力アナログ感知器測定の2つの例を記述します。1つ目の例は温度を測定するために温度抵抗体(RTD)の使用を実演します。2つ目の例は検出抵抗を使って回路の電流測定を示します。

3. RTD測定(電圧計測)例

この例では、電流で温測抵抗体(RTD)を定期的に駆動してRTDを渡る電圧を測定し、RTDの抵抗と温度の両方を計算するのにAVR EAマイクロコントローラが使われます。マイクロコントローラに加えて必要とされる唯一のハードウェアは1.8kΩ固定抵抗器とRTDそれ自身です。使ったRTDの型式はプラチナで作られ、0°Cで100Ωの抵抗を持つことを意味するPt100です。

3.1. ハードウェア構成図

右図はRTD測定に使った周辺機能と部品とそれらがどう接続されるかを示す高位のハードウェア構成図です。



3.2. 動作の原理

RTDを測定するには概ね1.8Vの出力を生成するためにD/A変換器(DAC)が許可されます。AVR EAのDACは低インピーダンス負荷を駆動できるように緩衝されています。このDAC電圧がRTCと直列の1.8kΩ固定抵抗に印加されるため、RTDを通して流れる電流は1mA未満です。RTDのデータシートは通常、最大電流に対する手引きを提供しますが、かなりの自己発熱からRTDを守るため、一般的に1mA未満の電流が推奨されます。RTDを渡る電圧を測定するのにADCが使われ、それは感知器抵抗、従ってその温度に変換されます。

RTDの抵抗は以下の式によって温度(T)の関数として既知の方法で変わり、ここで R_0 は0°Cの温度でのRTDの抵抗、 A, B, C はRTD製造業者によって提供される定数です。

0°C以上の T については、 $R(T) = R_0(1+AT+BT^2)$

-200°C~0°Cの T については、 $R(T) = R_0(1+AT+BT^2+CT^3(T-100))$

RTDの抵抗が既知なら、温度を確定するのに上の式を使うことができます。

ここはRTDの抵抗を測定するための関連する式です。

最初に、RTDを渡る電圧は分圧器の式によって決められ、ここで R_F は固定抵抗の抵抗値、 R_{TD} はRTDの抵抗値です。

$$V_{RTD} = \left(\frac{R_{TD}}{R_F + R_{TD}} \right) \times V_{REF}$$

ADCが差動動作で使われた時のADCのデジタルの結果(x)は次式によって決められ、ここで G_{PGA} はPGAの利得です。

$$x = \left(\frac{V_{RTD} \times G_{PGA}}{V_{REF}} \right) \times 2048$$

上の分圧器の式は V_{RTD} に代入することができ、 V_{REF} を抹消させます。

$$x = \left(\frac{R_{TD}}{R_F + R_{TD}} \right) \times G_{PGA} \times 2048$$

この式はRTDの抵抗値である R_{TD} を解決することができます。

$$R_{TD} = \left(\frac{x \times R_F}{G_{PGA} \times 2048 - x} \right)$$

V_{REF} がこの式に現れず、故に参照基準電圧値の誤差が結果に影響を及ぼさないことに注意してください。RTD抵抗を計算するのに必要とされる要素は固定抵抗器の抵抗値、ADCの結果、PGAの利得値だけです。

3.3. ハードウェア前提条件

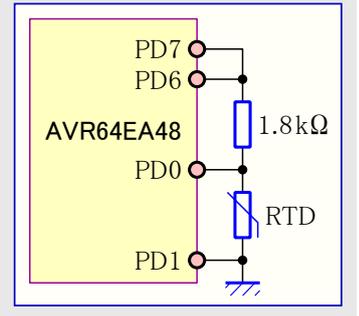
- AVR64EA48 Curiosity Nano (CNANO) 開発基板
- RTD (Pt100) 感知器
- 1.8kΩ 抵抗器

3.4. ハードウェア設定

ハードウェア接続は次のとおりです。

- デバイスのDAC0_OUT(AVR EAのPD6)ピンはデバイスのVREF(AVR EAのPD7)ピンに接続されなければならない、故にDAC出力がADCに対する参照基準電圧を提供します。
- 1.8kΩ固定抵抗器はDAC0_OUT(AVR EAのPD6)ピンからADC0のAIN0(AVR EAのPD0)ピンに接続されなければなりません。
- RTDはADC0のAIN0(AVR EAのPD0)ピンから接地(GND)に接続されなければなりません。
- ADC0のAIN1(AVR EAのPD1)ピンは直接接地(GND)に接続されなければなりません。

図3-2. 回路図



3.5. ソフトウェア前提条件

MPLAB®版

- MPLAB X IDE v6.05またはそれ以降版
- Microchip AVR64EA48デバイス支援一括AVR-Ex_DFP v2.4.168またはそれ以降版
- MPLAB XC8コンパイラ v2.41またはそれ以降版
- MPLABコード構成部(MCC)
 - MCCプラグイン v5.3.0またはそれ以降版
 - MCCコア v5.5.0またはそれ以降版

Microchip Studio版

- AVRとSAMデバイス用Microchip Studio v7.0.2542またはそれ以降版
- Microchip AVR64EA48デバイス支援一括AVR-Ex_DFP v2.2.56またはそれ以降版
- AVR GCCコンパイラ v5.4.0またはそれ以降版 (Microchip Studioで自動的にインストールされます。)

デバッグ目的用、MPLABデータ可視器(Data Visualizer)のインストールが有用で有り得ます。

- MPLABデータ可視器(Data Visualizer)

3.6. 実装詳細

消費電力を最小化するため、AVR EAは測定が進行中でない時は必ずパワーダウン休止動作に留まるように構成設定されます。この休止動作ではAVR EAの消費は(VDD=3.3Vで)概ね0.9μAと測定されました。RTC(実時間計数機)の一部であるPIT(周期的割り込み計時器)はデバイスを休止動作外にさせるために定期的に割り込みを生成するように設定されます。これが起こると、DACは1.8Vの出力電圧を生成するために許可され、ADCが再許可されます。ADCは直ちに差動変換を開始するように指示されます。ADC変換が進行中の間、CPUは直前のADC値を抵抗と温度に変換するのに必要な計算を実行します。ADC変換が完了して結果が保存されると直ぐにDACとADCが禁止されてデバイスは元の休止に戻されます。

デバイスが休止外に来た後でDACとADCが許可されます。DAC出力はADCが最初の変換を開始する準備が整う前に安定にさせ、故にソフトウェアでの追加遅延の必要があります。

消費電力を最小化するために様々な戦略(より高い/より低いCPUとADCのクロック速度、より少ない/より多い変換でのPGA ON/OFF)が試験されました。しかし、この場合、最も重要な問題はA/D変換が進行中の間にRTD感知器に1mA近くの電流を供給しなければならない事実です。従って、最良の戦略はDACが1mAを供給しなければならない時間が最小化されるように、CPUとADCの両方を最大PGA利得で可能な限り速く(各々、10MHzと5MHzのクロックで)動かすことです。パワーダウン休止動作の間、10MHzのクロック元は禁止され、内部32kHz発振器とRTCクロック元だけが動きます。この構成設定で、集中での16 ADC変換は155μsしかかかりません。

DAC許可で155μsの変換時間の間、マイクロコントローラは測定された4.7mAの電流を供給されます(これはVDD=3.3VでRTDを駆動するために必要とされるDAC分も含みます)。1秒毎に1回の変換がある場合、平均電流は(155μs/1s)×4.7mA=1.55e-4×4.7mA=0.73 μAです。

従って平均消費電流は0.9μAの休止電流+(0.73μA)×n、ここでnは秒毎のRTD温度測定回数です。

n	秒毎に2回	秒毎に4回	秒毎に8回	秒毎に16回	秒毎に32回	秒毎に64回
測定した平均消費電流 (VDD=3.3V)	2.4μA	3.7μA	6.6μA	12μA	24μA	47μA

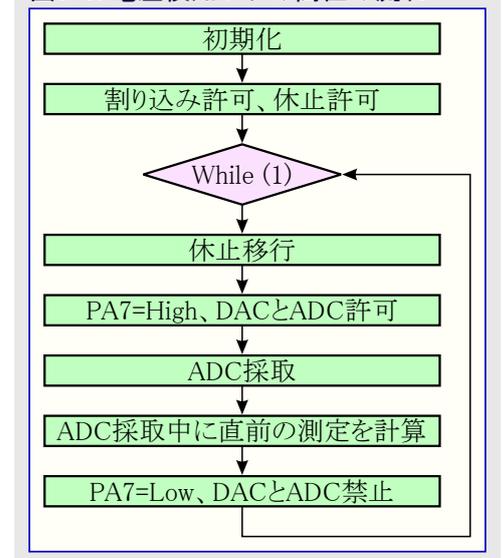
3.7. ソースコード概要

ソースコードで使った鍵となる周辺機能と要素は次のとおりです。

- ・ 主クロック(CPUと周辺機能)周波数: 10MHz
- ・ 周辺機能
 - RTC
 - ・ RTCクロック周波数: 1.024kHz
 - ・ PIT周期: 512周回 (0.5秒)
 - SLPCTRL
 - ・ 休止動作形態: パワーダウン
 - DAC
 - ・ 参照基準電圧: VDD (CNANO基板での既定によって3.3V)
 - ・ 出力電圧: 1.8V
 - ADC
 - ・ クロック周波数: 5MHz (2分周した主クロック)
 - ・ 参照基準電圧: VREFA
 - ・ 採取累積: 16
 - ・ PGA利得: 16倍
 - ・ PGAバイアス電流: 100%
- ・ 割り込み
 - RTCのPIT割り込み (RTC_PIT_vect)

右図はコードの高位の流れを示します。

図3-3. 電圧検知コードの高位の流れ



4. 電流測定(電流計測)例

いくつかのアナログ感知器、例えばフォトダイオードとフォトトランジスタは電流出力を生成します。回路内の或る点での電流を測定することも興味深いかもかもしれません。この例ではAVR EAマイクロコントローラが内蔵ADC周辺機能を使って定期的に電流を測定します。ADCが単純に電圧しか採取することができないので、電流は電流を電圧に変換するために既知の抵抗値を持つ「検出」抵抗を通して届けられます。電流はその後に測定した電圧から計算することができます。

4.1. ハードウェア構成図

この例は電流を測定するのに右のハードウェア構成を使います。

- デバイスのDAC0 OUT(AVR EAのPD6)ピンはR1抵抗経由でデバイスのADC0 AIN1(AVR EAのPD0)ピンに接続されなければなりません。
- 検出抵抗(R_{SENSE})はADC0入力のAIN1とAIN0(AVR EAのPD0とPD1)間に接続されなければなりません。
- ADC0 AIN0(AVR EAのPD1)ピンはR2抵抗経由で接地(GND)に接続されなければなりません。

この例は以下の値を使います。

$$R1=R2=100\text{k}\Omega$$

$$R_{SENSE}=10\text{k}\Omega$$

$$V_0=1\text{V}$$

4.2. 動作の原理

電流源を作成するのにDACが使われます。DACは電圧信号(V_0)を出力しますが、回路内の抵抗器が以下によって与えられる電流(I_0)を作成します。

$$I_0 = \frac{V_0}{R1 + R_{SENSE} + R2}$$

分圧器の法則が R_{SENSE} を渡る電圧降下に対して次式を与えます。

$$V_{SENSE} = V_0 \times \frac{R_{SENSE}}{R1 + R_{SENSE} + R2}$$

I_0 に対する表現が(全ての抵抗を通して流れる同じ電流で)置き換えられるなら、次の表現が得られます。

$$V_{SENSE} = I_0 \times R_{SENSE}$$

その結果これは以下をもたらします。

$$I_0 = \frac{V_{SENSE}}{R_{SENSE}}$$

R_{SENSE} が既知のため、 R_{SENSE} を渡る電圧降下測定は電流を決めることができます。

出力電圧(V_0)を1Vに設定して一覧にされたような抵抗値を使うことで、以下の結果が得られます。

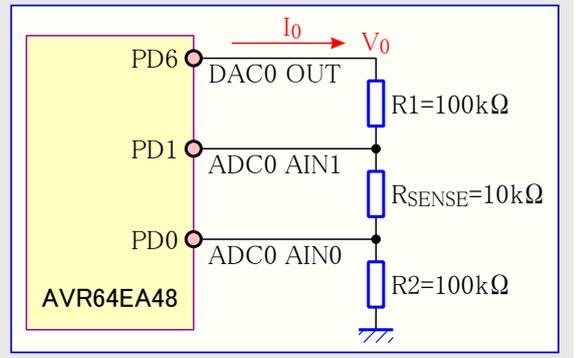
$$V_{SENSE} = V_0 \times \frac{R_{SENSE}}{R1 + R_{SENSE} + R2} = 1.0\text{V} \times \frac{10\text{k}\Omega}{100\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega} = 47.6\text{mV}$$

$$I_0 = \frac{V_{SENSE}}{R_{SENSE}} = \frac{47.6\text{mV}}{10\text{k}\Omega} = 4.8\mu\text{A}$$

4.3. ハードウェア前提条件

- AVR64EA48 Curiosity Nano (CNANO) 開発基板
- 10k Ω 抵抗器
- 100k Ω 抵抗器×2本

図4-1. 回路図



4.4. ソフトウェア前提条件

MPLAB®版

- MPLAB X IDE v6.05またはそれ以降版
- Microchip AVR64EA48デバイス支援一括AVR-Ex_DFP v2.4.168またはそれ以降版
- MPLAB XC8コンパイラ v2.41またはそれ以降版
- MPLABコード構成部(MCC)
 - MCCプラグイン v5.3.0またはそれ以降版
 - MCCコア v5.5.0またはそれ以降版

Microchip Studio版

- AVRとSAMデバイス用Microchip Studio v7.0.2542またはそれ以降版
 - Microchip AVR64EA48デバイス支援一括AVR-Ex_DFP v2.2.56またはそれ以降版
 - AVR GCCコンパイラ v5.4.0またはそれ以降版 (Microchip Studioで自動的にインストールされます。)
- デバッグ目的用、MPLABデータ可視器(Data Visualizer)のインストールが有用で有り得ます。
- MPLABデータ可視器(Data Visualizer)

4.5. ハードウェア設定

ハードウェア設定は前の「ハードウェア構成図」項で説明されます。

4.6. 実装詳細

消費電力を最小化するため、AVR EAは測定が進行中でない時は必ずパワーダウン休止動作に留まるように構成設定されます。RTC (実時間計数機)の一部であるPIT(周期的割り込み計数器)はデバイスを休止動作外にさせるために秒毎に割り込みを生成するように設定されます。これが起こると、計数器が増加(訳注:流れ図では減数)され、予め定義された期間(10秒)に対して調べられます。

値がこの期間と一致する場合、DACが1.0Vの出力電圧を生成するために許可され、ADCが許可されます。ADCは直ちに差動変換を開始するように指示されます。ADC変換が進行中の間、CPUは直前のADC値を電圧と電流に変換するために必要な計算を実行します。ADC変換完了後、DACとADCは禁止され、デバイスは元の休止動作へ戻ります。

このコード例では、測定した電圧と計算した電流を端末に出力するのにUSART1を使うことができます。これを許すために”#define USART_ON”がインクルードされなければなりません。

小信号測定時、測定でより良い結果を得るために入力信号を増幅するのにおそらくPGAを許可するでしょう。この例ではPGAの利得が16倍に設定されます。最高バイアスがADC採取持続時間に最小化を許すため、PGAバイアスは最大の100%に設定されます(デバイスのデータシートをご覧ください)。

次表は(VDD=3.3V)各種構成設定を使った平均消費電流を示します。

主クロック	2MHz	3.33MHz	10MHz
PGA禁止(ADC)、平均電流	1.7μA	1.4μA	1.2μA
PGA許可(ADC)、平均電流	1.6μA	1.3μA	1.1μA

PGA許可での平均消費電流がPGAがOFFだった時よりも低かったのは、PGAを使うとより高い消費電流になると言う理論的に予測された結果に従いません。休止へ移行せずに10MHzの主クロックで(毎秒の)割り込み毎にADCを採取することによって示された試験で、結果は次のように期待どおりでした。

PGA (ADC)	PGA OFF	PGA ON
平均消費電流	3.48mA	3.50mA

これは各ADC測定とコード実行順の間の時間の組み合わせのため、最初の測定でPGAが許可される時に比べてPGAがOFFの時に測定されたより高い平均消費電流を示唆します。

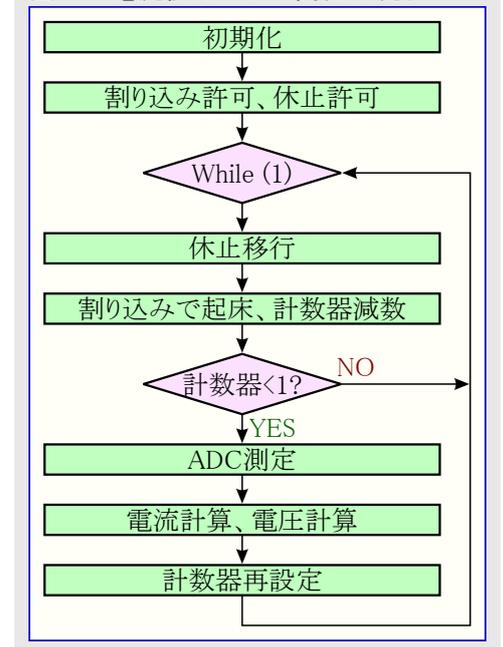
4.7. ソースコード概要

ソースコードで使った鍵となる周辺機能と要素は次のとおりです。

- ・ 主クロック(CPUと周辺機能)周波数: 10MHz
- ・ 周辺機能
 - RTC
 - ・ RTCクロック周波数: 1.024kHz
 - ・ PIT周期: 1024周回 (1秒)
 - SLPCTRL
 - ・ 休止動作形態: パワーダウン
 - DAC
 - ・ 参照基準電圧: VDD (CNANO基板での既定によって3.3V)
 - ・ 出力電圧: 1.0V
 - ADC
 - ・ クロック周波数: 1MHz (10分周した主クロック)
 - ・ 参照基準電圧: VDD (CNANO基板での既定によって3.3V)
 - ・ 採取累積: 16
 - ・ PGA利得: 16倍
 - ・ PGAバイアス電流: 100%
 - USART
 - ・ ボーレート: 115200
- ・ 割り込み
 - RTCのPIT割り込み (RTC_PIT_vect)

右図はコードの高位の流れを示します。

図4-2. 電流検知コードの高位の流れ



5. MPLAB Discoverからのコード例取得

MPLAB Discoverは複数の供給元から利用可能な資源を1つの入口に束ねます。

MPLAB Discoverウェブ頁: [MPLAB Discover](#)



コード例

- [Microchip Studio](#) 用例コード

- [MPLAB X](#) 用例コード

MPLAB Discoverから直接.zipファイルとしてコード例をダウンロードすることができます。”studio”で終わる保存場所はMicroship Studioで開くことができます。”mplab-mcc”で終わる保存場所はMPLAB Xで開くことができます。

コード例が[GitHub](#)で提供される時にMPLAB Discoverは”Open with GitHub(GitHubで開く)”リンクを提供します。そこで、例コードをダウンロードするか、または手元の保存場所複製を作成するためにPCでgitツールを使うことができます。

6. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2023年7月	初版文書公開
B	2023年8月	MPLAB Discoverへのリンクと共に置換されたGitHub貯蔵庫へのリンク。そこで現在のGitHubのリンクを見つけてください。

Microchip情報

Microchipウェブ サイト

Microchipはwww.microchip.com/で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にするのに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- **一般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip設計協力課程会員一覧
- **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

製品変更通知サービス

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

登録するにはwww.microchip.com/pcnへ行って登録指示に従ってください。

お客様支援

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

- 代理店または販売会社
- 最寄りの営業所
- 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions Engineer)
- 技術支援

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

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

Microchipデバイス コード保護機能

Microchip製品での以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- Microchipは動作仕様内で意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が安全であると考えます。
- Microchipはその知的所有権を尊重し、積極的に保護します。Microchip製品のコード保護機能を侵害する試みは固く禁じられ、デジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそのコードの安全を保証することはできません。コード保護は製品が”破ることができない”ことを当社が保証すると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。

法的通知

この刊行物と契約での情報は設計、試験、応用とのMicrochip製品の統合を含め、Microchip製品でだけ使えます。他の何れの方法でのこの情報の使用はこれらの条件に違反します。デバイス応用などに関する情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。追加支援については最寄りのMicrochip営業所にお問い合わせ頂くか、www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-servicesで追加支援を得てください。

この情報はMicrochipによって「現状そのまま」で提供されます。Microchipは非侵害、商品性、特定目的に対する適合性の何れの黙示的保証やその条件、品質、性能に関する保証を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。

如何なる場合においても、Microchipは情報またはその使用に関連するあらゆる種類の間接的、特別的、懲罰的、偶発的または結果的な損失、損害、費用または経費に対して責任を負わないものとします。法律で認められている最大限の範囲で、情報またはその使用に関連する全ての請求に対するMicrochipの全責任は、もしあれば、情報のためにMicrochipへ直接支払った料金を超えないものとします。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責することに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchip、Adaptec、AVR、AVR、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi、MOST、MOST、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、ti nyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、Hyper Light Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、WinPath、ZLは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、KoD、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、Vector Blox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、and ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

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

Adaptec、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcomは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

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

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2023年、Microchip Technology Incorporatedとその子会社、不許複製

品質管理システム

Microchipの品質管理システムに関する情報についてはwww.microchip.com/qualityを訪ねてください。

日本語© HERO 2024.

本応用記述はMicrochipのAN4886応用記述(DS00004886B-2023年8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: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - ハットバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - テルネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820
アランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ホストン 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			