

内部高周波数オシレータの自動調整機能による校正

はじめに

著者: Ioan Pop, Microchip Technology Inc.

本書では、AVR® DA MCU (AVR DA)ファミリの内部高周波数オシレータ(OSCHF)の自動調整機能の詳細と、この機能を有効にする方法について説明します。自動調整機能を使うと、OSCHFの周波数を外付けの32.768 kHz水晶振動子との比較によって調整して目的の値に近づける事ができます。

本書では内部高周波数オシレータを使ってメインクロックを駆動する4つのユースケースを説明します。ユースケースごとに2つのシナリオを用意しています。最初の3つのユースケースの2つのシナリオは自動調整機能を有効にした場合と自動調整機能を無効にした場合です。最後のユースケースの目的はユーザが提供した不正な調整値に対して自動調整機能をチェックする事です。そのため、最後のユースケースの2つのシナリオは不正な調整値設定と自動調整を有効にした場合です。2つのシナリオ間の切り換えはPC7ピン(AVR128DA48 Curiosity Nanoボードに実装されたSW0ボタン)を使って行われます。さらに、自動調整機能によるOSCHFの出力周波数精度の向上を評価するため、メインクロックをCLKOUTピン(PA7)に出力します。本書に記載するユースケースを以下にまとめます。

- **OSCHFを1 MHz動作に設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換える:**
本ユースケースの目的は、OSCHFが1 MHzで動作してメインクロックを駆動するよう設定し、CLKOUTピンへの周波数出力を有効にする事です。オシロスコープを使ってCLKOUTピンの周波数計測を2回行います(自動調整機能を有効にした場合と無効にした場合)
- **OSCHFを4 MHz動作に設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換える:**
本ユースケースの目的は、OSCHFが4 MHzで動作してメインクロックを駆動するよう設定し、CLKOUTピンへの周波数出力を有効にする事です。オシロスコープを使ってCLKOUTピンの周波数計測を2回行います(自動調整機能を有効にした場合と無効にした場合)
- **OSCHFを24 MHz動作に設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換える:**
本ユースケースの目的は、OSCHFが24 MHzで動作してメインクロックを駆動するよう設定し、CLKOUTピンへの周波数出力を有効にする事です。オシロスコープを使ってCLKOUTピンの周波数計測を2回行います(自動調整機能を有効にした場合と無効にした場合)
- **不正な調整値を使ってOSCHFを4 MHz動作に設定する:**
本ユースケースの目的は、OSCHFが4 MHzで動作してメインクロックを駆動するよう設定し、CLKOUTピンへの周波数出力を有効にする事です。調整レジスタにエラーを注入し、自動調整機構で修正できるかチェックします。オシロスコープを使ってCLKOUTピンの周波数計測を2回行います(不正な周波数調整入力を使った場合と自動調整機能を有効にした場合)。

Note: 本書で実施および記載したテストにはAVR128DA48 Curiosity Nanoを使用しました。

目次

はじめに	1
1. 対応デバイス	3
1.1 AVR® DAファミリの概要	3
2. 概要	4
3. 自動調整機能の有効化とテスト	5
4. OSCHFを1 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え	7
5. OSCHFを4 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え	10
6. OSCHFを24 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え	12
7. OSCHFを4 MHzに設定し、不正な調整値を設定	14
8. まとめ	16
9. 参考文献	17
10. 補遺	18
11. 改訂履歴	19
Microchip社のウェブサイト	20
お客様への通知サービス	20
お客様サポート	20
Microchip社のデバイスコード保護機能	20
法律上の注意点	21
商標	21
品質管理システム	22
各国の営業所とサービス	23

1. 対応デバイス

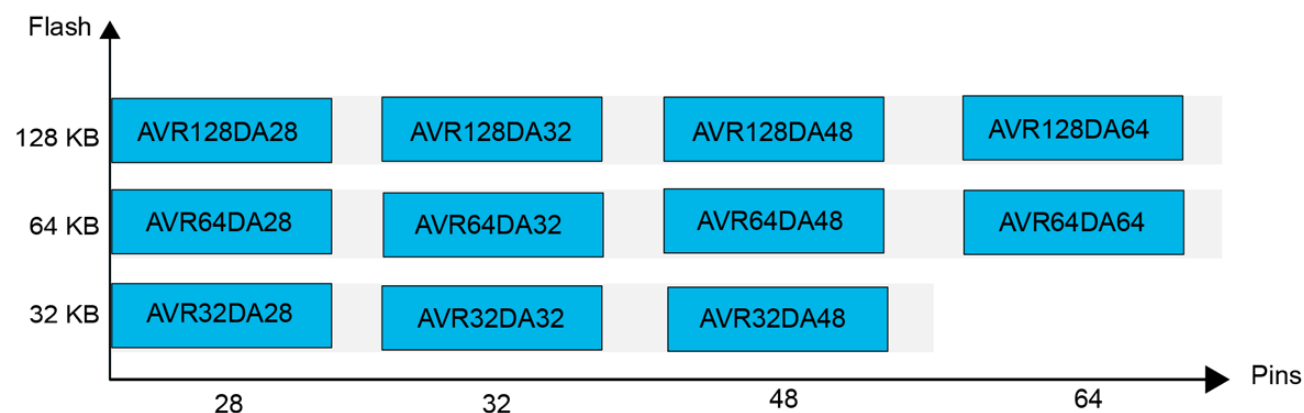
以下に、本書に対応するデバイスを記載します。

1.1 AVR® DAファミリの概要

下図に、ピン数とメモリ容量に基づくAVR DAデバイスのラインアップを示します。

- 縦方向のデバイスへの移行にはコードの変更は不要です。ピンと機能が完全に互換です。
- 横方向の下位デバイス (メモリ容量が同じ少ピンデバイス)へ移行する場合、一部の機能が利用できなくなります。

図1-1.AVR® DAファミリの概要



フラッシュメモリ容量が異なるデバイスでは、通常SRAMの容量も異なります。

2. 概要

自動調整機能を有効にするには、内部高周波数オシレータの制御A (CLKCTRL.OSCHFCTRLA)レジスタのAUTOTUNEビットをセットします。このビットがセットされている間、自動調整機能は内部高周波数オシレータを外付け水晶振動子から分周した1.024 kHz基準と比較します。校正が実行された場合、自動調整システムは64 msごとにクロックドリフトをチェックします。自動調整機能がOFFになると、調整に必要な値は内部高周波数オシレータの周波数調整(CLKCTRL.OSCHFTUNE)レジスタに格納されます。

調整レジスタは6ビットで、周波数調整のために64のステップを提供します。上下調整用のビットは2の補数形式で格納されます。OSCHFTUNEレジスタは8ビットで、LSB側5ビットは調整値を表し、6ビット目は符号、7～8ビット目は符号の拡張部です。調整レジスタは既定値0x00から開始します。1ステップは、クロック速度をクロックの何%かずつ上昇または低下させます。基準とクロックとの誤差が1ステップより小さい場合、自動調整機能は動作しません。誤差がそれより大きい場合は自動調整機能が動作し、次のステップの近似値を出します。例えば、クロックの既定値が正しい値に近い場合は自動調整機能は既定値を変更しませんが、クロックが目標よりズレている場合は調整レジスタを既定値から1ステップずらす(例えば、0x00を0x01にする)等です。

3. 自動調整機能の有効化とテスト

自動調整機能を使うには、外付けの高精度な32.768 kHz水晶振動子が必要です。

この機能を有効にするためにセットする必要のあるビットはCCP(設定変更保護)によって保護されています。これらはI/Oレジスタのため、I/Oシグネチャである0xD8を設定変更保護(CPU.CCP)レジスタに書き込む必要があります。

I/O CCP(設定変更保護)によって保護されたレジスタに書き込むには_PROTECTED_WRITEマクロを使う必要があります。このマクロはCPU.CCPレジスタにシグネチャを書き込んだ後、その値を目的のレジスタに書き込みます。

```
_PROTECTED_WRITE (register, value);
```

「register」は書き込み先のレジスタ、「value」は書き込む値に置き換えてください。

Note: Atmel Studioのプロジェクト設定でコンパイラの最適化レベルをO1以上に設定しておく必要があります。そうでない場合、マクロは値を書き込めません。

32.768 kHz水晶振動子の制御A (CLKCTRL.XOSC32KCTRLA)レジスタのイネーブルビットに「1」に書き込んで、この水晶振動子を有効にする必要があります。水晶振動子を有効にするコードは以下の通りです。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.XOSC32KCTRLA, CLKCTRL_ENABLE_bm);
```

上記を実行したら、内部高周波数オシレータの制御A (CLKCTRL.OSCHFCTRLA)レジスタのAUTOTUNEビット(bit 0)をセットして、自動調整機能を有効にする必要があります。このレジスタにはその他に2つの機能があります。RUNSTDBYビット(bit 7)はスタンバイモードでの実行を有効にし、FRQSELビットフィールド(bit 2~5)は水晶振動子の周波数を設定します。自動調整機能を有効にし、周波数を1 MHzに設定するコードを以下に示します。この周波数は、本書で後述する別の値を指定する事で変更できます。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, (CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc | CLKCTRL_AUTOTUNE_bm));
```

内部高周波数オシレータをメインクロックとして選択する必要があります。そのためには、メインクロックの制御A (CLKCTRL.MCLKCTRLA)レジスタのCLKSELビットフィールドに、内部高周波数オシレータを選択する値を書き込みます。このレジスタのCLKOUTビットをセットすると、PA7ピンにクロック信号が出力されます。以下の2行のコードは内部高周波数オシレータを選択する方法とクロック出力信号を有効にする方法を示しています。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, CLKCTRL_CLKSEL_OSCHF_gc);
```

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, (CLKCTRL_CLKSEL_OSCHF_gc | CLKCTRL_CLKOUT_bm));
```

Note: 既定値の起動オシレータはFUSE.OSCCFGヒューズを使って設定します。既定値で内部高周波数オシレータが既に設定されている場合、このステップは省略できます。ヒューズ設定の詳細は、『AVR128DA48 Data Sheet』の「FUSE - Configuration and User Fuses」を参照してください。

自動調整機能をONにする事のみが要件の場合、以下のコードでこの機能を提供できます。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.XOSC32KCTRLA, CLKCTRL_ENABLE_bm);
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, CLKCTRL_CLKSEL_OSCHF_gc);
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, (CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc | CLKCTRL_AUTOTUNE_bm));
```

Note: 必要な周波数もOSCHFCTRLAレジスタで設定されるため、値を目的のものに変更する必要があります。上記のレジスタ設定では1 MHzに設定されます。

自動調整機能を分かりやすく示すため、周波数を変えて複数のテストを実行した結果を各ユースケースの章に示します。

画像キャプチャはTektronix社のミックスド ドメイン オシロスコープMDO3024を以下の設定で使って取得しました。

- [Gating]を[Screen]に設定

- [High-Low Method]を[Histogram]に設定
- [Coupling]を[DC]に設定
- [Bandwidth]を[Full]に設定

テスト手法では、レジスタを正しい周波数に設定し、自動調整機能を有効にして1秒待機してから停止するボタンを使います。その後、調整(CLKCTRL.OSCHFTUNE)レジスタをデバッグモードで読み出し、自動調整機能によってそのレジスタに入力された値をチェックします。

100個のサンプルを使って平均値と標準偏差を計算しました。クロック周波数を最も適切に表現する値は平均値です。なぜなら、高周波数では環境からのランダムノイズによって瞬時値が不正確になるためです。

4. OSCHFを1 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え

以下のサンプルコードは内部高周波数オシレータを目的とする周波数で起動し、ボタンからの信号の立ち上がりで割り込みを設定します。割り込みがトリガされると、自動調整機能が有効になり、マイクロコントローラは1秒待機した後、自動調整機能が調整レジスタに格納した値をチェックするために自動調整機能を無効にします。

```
#define F_CPU 1000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define DELAY_TIME 1000
#define PRESSED 1
#define NOT_PRESSED 0
#define PULL_UP_ENABLE 0x08
#define BUTTON_PIN PIN7_bm

void CLK_init(void);
void PORT_init(void);

uint8_t volatile button_event = NOT_PRESSED;

int main(void)
{
    cli();
    CLK_init();
    PORT_init();
    sei();

    while (1)
    {
        if(button_event == PRESSED)
        {
            cli();
            _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, (CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc|CLKCTRL_AUTOTUNE_bm));
            _delay_ms(DELAY_TIME);
            _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc);
            button_event = NOT_PRESSED;
            sei();
        }
    }
}

void CLK_init(void)
{
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc);
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.XOSC32KCTRLA, CLKCTRL_ENABLE_bm);
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, (CLKCTRL_CLKSEL_OSCHF_gc | CLKCTRL_CLKOUT_bm));
}

void PORT_init(void)
{
    PORTC.DIRCLR = BUTTON_PIN;
    PORTC.INTFLAGS = BUTTON_PIN;
    PORTC.PIN7CTRL = PORT_ISC_RISING_gc | PULL_UP_ENABLE;
}

ISR(PORTC_PORT_vect)
{
    button_event = PRESSED;
    PORTC.INTFLAGS = BUTTON_PIN;
}
```



View Code Example on GitHub
Click to browse repository



Tip: サンプルコード全体は「10. 補遺」にも記載しています。

PORT_init()関数はポートCピン7 (PC7)を入力として設定し、ボタン押下等の外部GPIOイベント用に内部プルアップとPORTC割り込みを有効にします。

CLK_init()関数は1 MHz動作用にメインクロックを選択し、外付けの32.768 kHz水晶振動子を有効にし、CLKOUTピン(PA7)でメインクロック出力を有効にする全てのレジスタを設定します。

ボタンのISR(割り込みサービスルーチン)はメインループ内でポーリングされるフラグを設定します。

sei()コマンドはグローバル割り込みを有効にし、cli()はこれらを無効にします。これは不要な割り込みによって_PROTECTED_WRITEマクロが中断するのを防ぐために行います。

メインループは自動調整機能を1秒間有効にしてから無効にします。これにより、誤差を修正して最後に値を調整レジスタに格納するのに十分な時間が確保されます。外付けの32.768 kHz水晶振動子とマイクロコントローラ間のインターフェイスに存在するノイズによっては、調整時間が1秒を超える事もありますが、実用上はほとんどの通常条件下で1秒で十分です。トレースやマイクロコントローラのピンに指を置いた時等、信号の歪みが過度に大きい場合、自動調整機能は正常に動作しません。

以下の図はオシロスコープを使って取得しました。図4-1は通常の起動周波数、図4-2は自動調整機能を有効にした後です。

正しい周波数に設定するコードは以下の通りです。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc);
```

自動調整機能を開始するコードは以下の通りです。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, ((CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc) | (CLKCTRL_AUTOTUNE_bm)));
```

図4-1.1 MHzクロック、自動調整なし

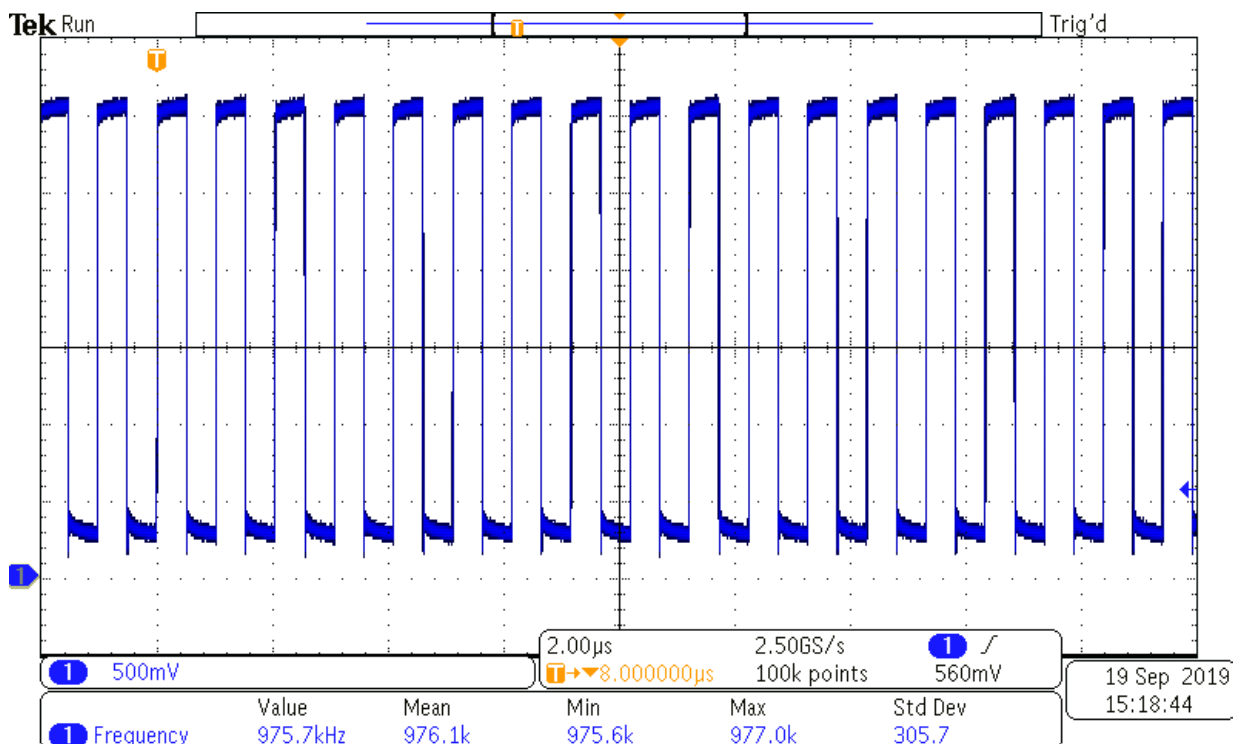
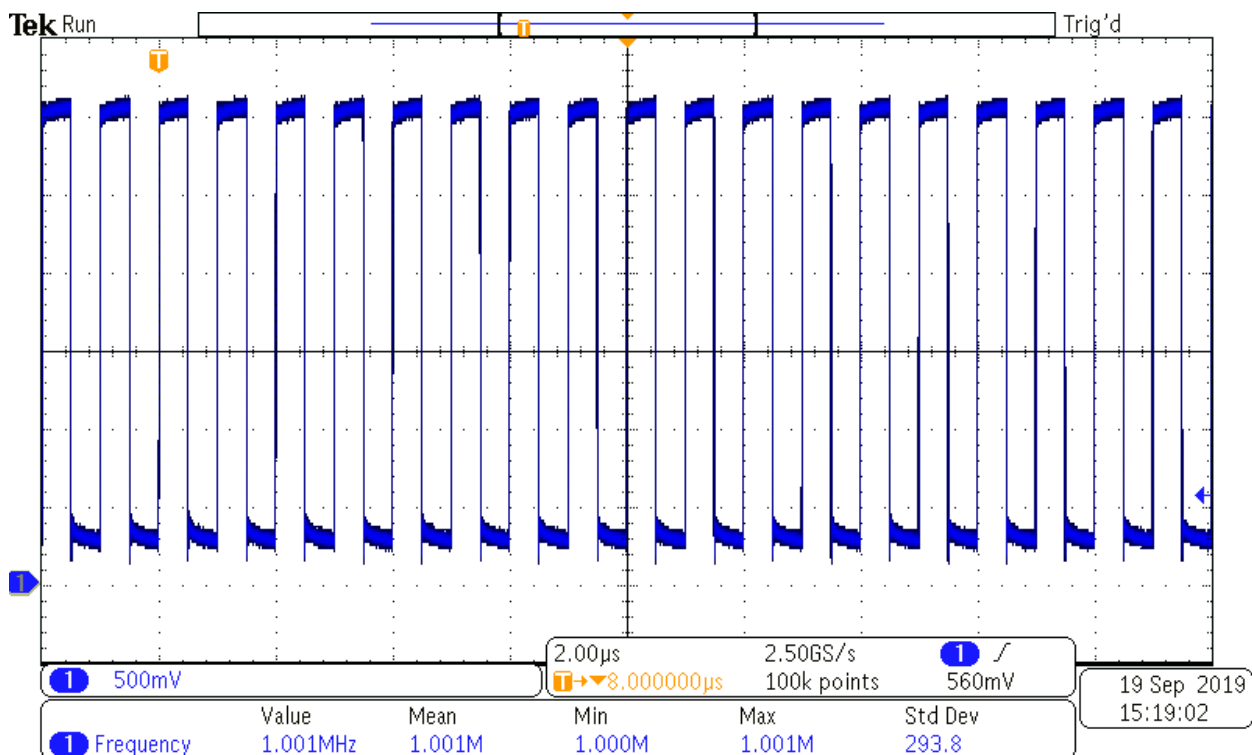


図4-2.1 MHzクロック、自動調整あり



自動調整プロセス終了時のOSCHFTUNEレジスタの値は0x06です。

これらの画像から、誤差が修正されて値が必要な1 MHzに以前よりかなり近づいている事が分かります。

5. OSCHFを4 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え

内部高周波数オシレータの既定の周波数値設定は4 MHzです。

以下のコードで4 MHzで動作するようにOSCHFを設定します。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_4M_gc);
```

以下のコードで自動調整機能を有効にします。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, ((CLKCTRL_FREQSEL_4M_gc) | (CLKCTRL_AUTOTUNE_bm)));
```

図5-1.4 MHzクロック、自動調整なし

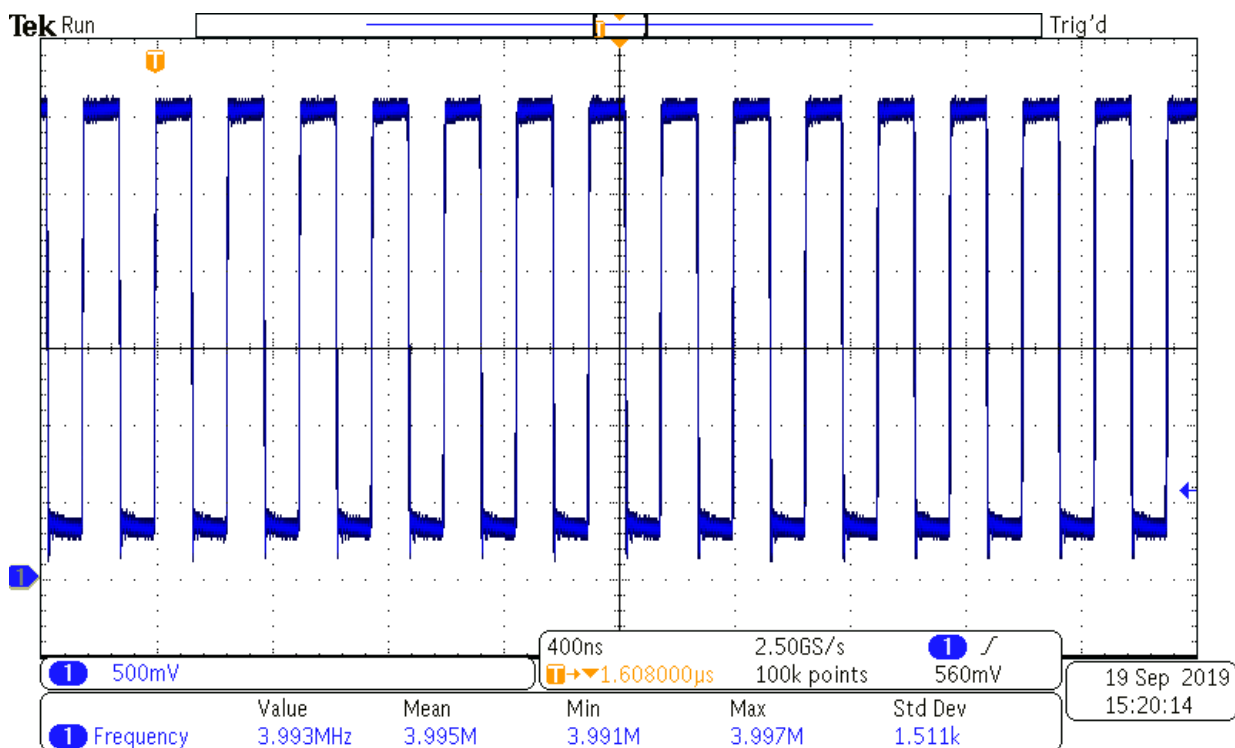
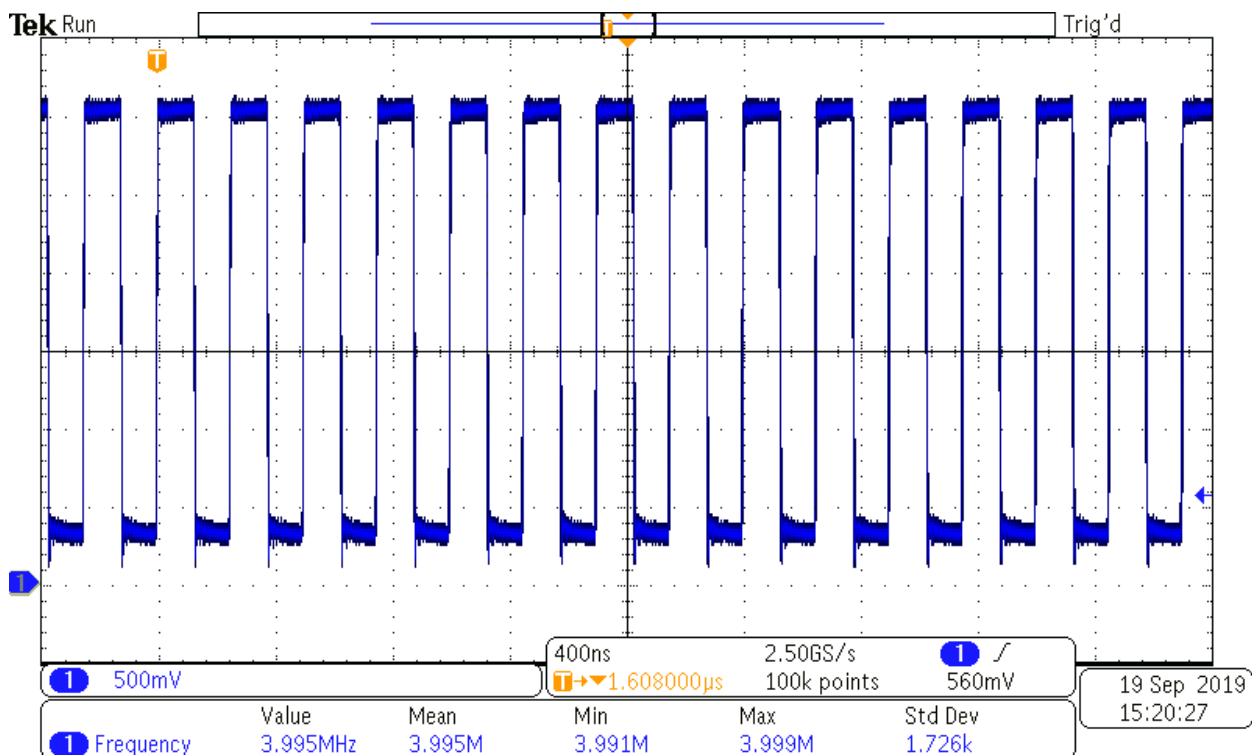


図5-2.4 MHzクロック、自動調整後



図から分かるように、誤差が小さ過ぎて自動調整機能では修正できません。調整レジスタの値は0x00(開始時の既定値)です。

Note: 4 MHz周波数は製造時に校正されています。これより高い値は4 MHzから派生し、また校正もされています。

6. OSCHFを24 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え

24 MHzクロックは内部高周波数オシレータの最も高いベース周波数です。

以下のコードでOSCHFのクロック速度を24 MHzに設定します。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_24M_gc);
```

以下のコードでOSCHFのクロック速度を24 MHzに設定し、自動調整機能を有効にします。

```
__PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, ((CLKCTRL_FREQSEL_24M_gc) | (CLKCTRL_AUTOTUNE_bm)));
```

図6-1. 24 MHzクロック、自動調整なし

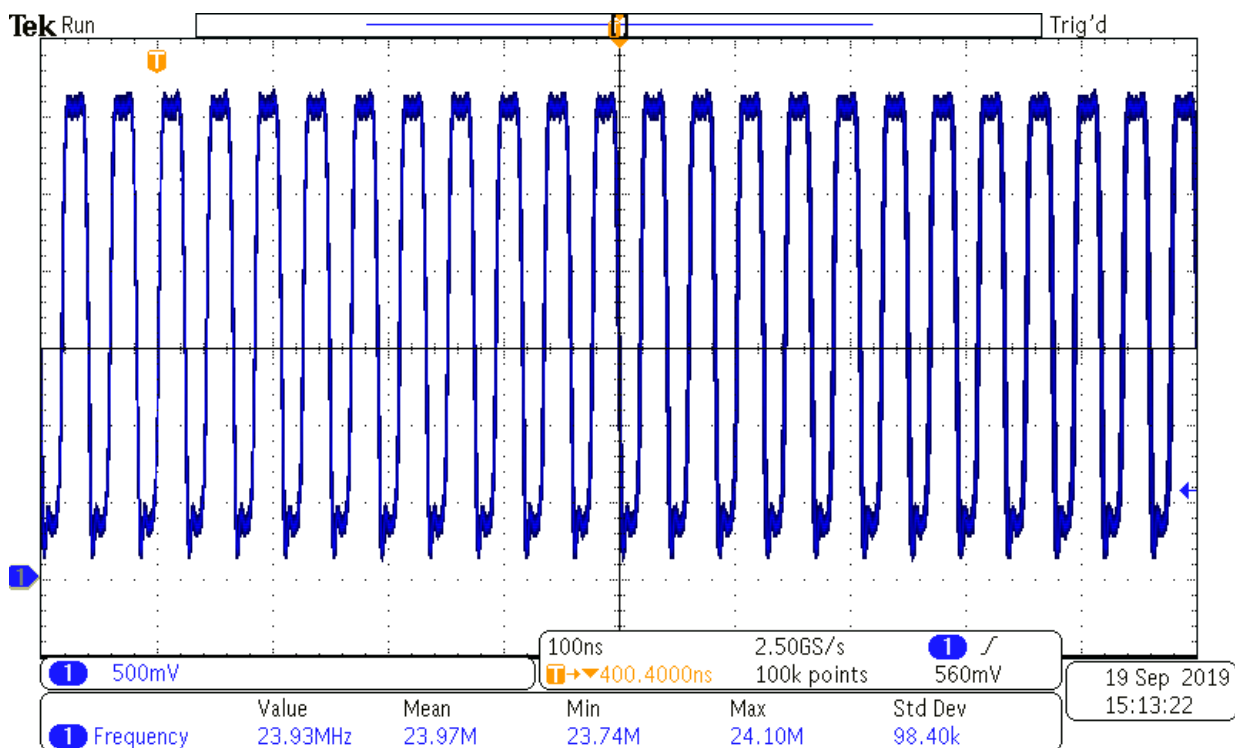
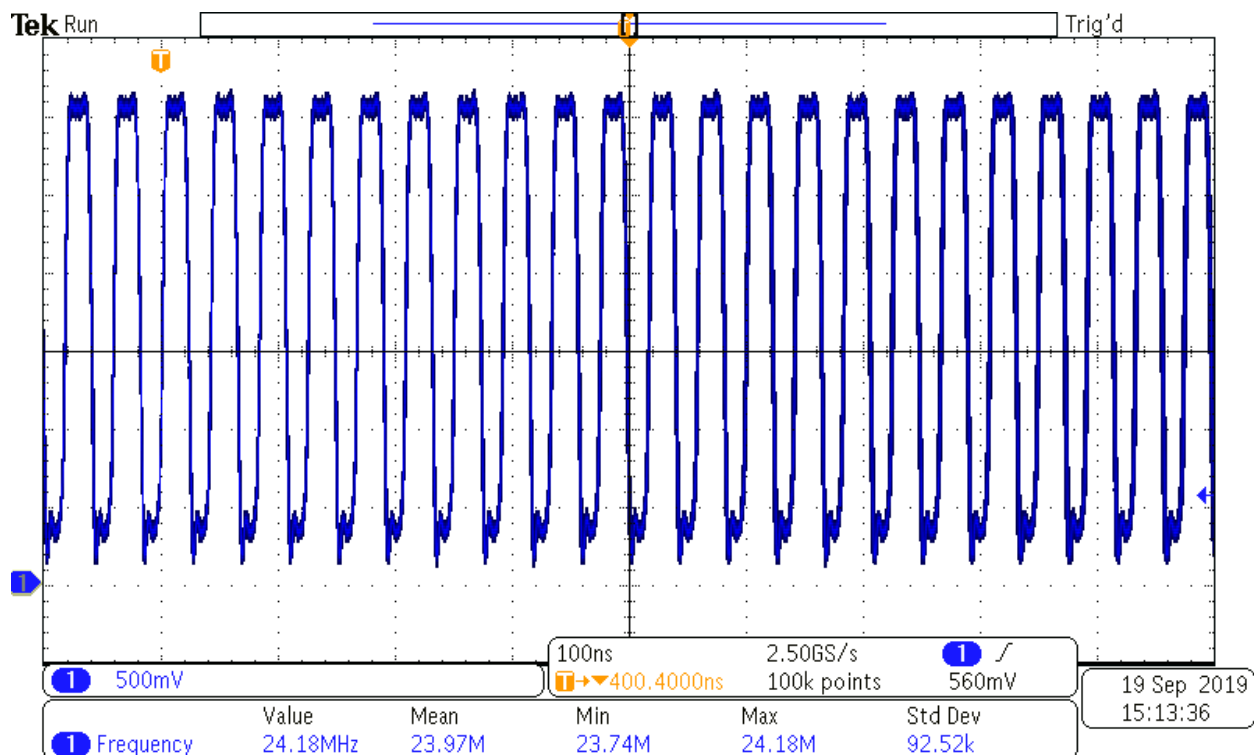


図6-2. 24 MHzクロック、自動調整後



上図から、誤差が許容値内であったため、調整レジスタは変更されなかった事が分かります。

7. OSCHFを4 MHzに設定し、不正な調整値を設定

自動調整機能をより分かりやすく説明するため、OSCHFTUNEレジスタに不正な値0x0Fを入れます。これによりクロック周波数が誤差しきい値より高くなります。以下のコードでOSCHFTUNEレジスタに目的の値を読み込みます。

```
_PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFTUNE, 0x0F);
```

図7-1にOSCHFTUNEレジスタに0x0Fが書き込まれた時のCLKOUTを示します。図7-2に自動調整機能で周波数ドリフトを補償した後のCLKOUTを示します。

図7-1. 4 MHzクロック、不正な調整値

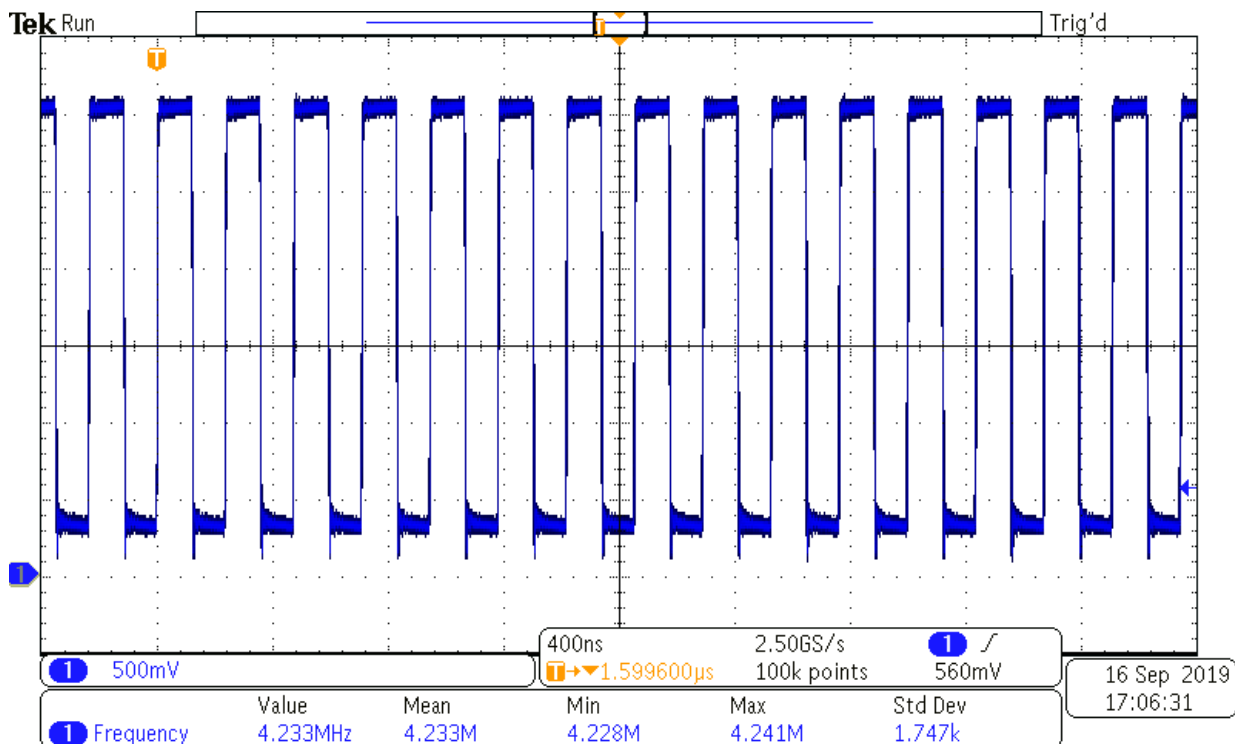
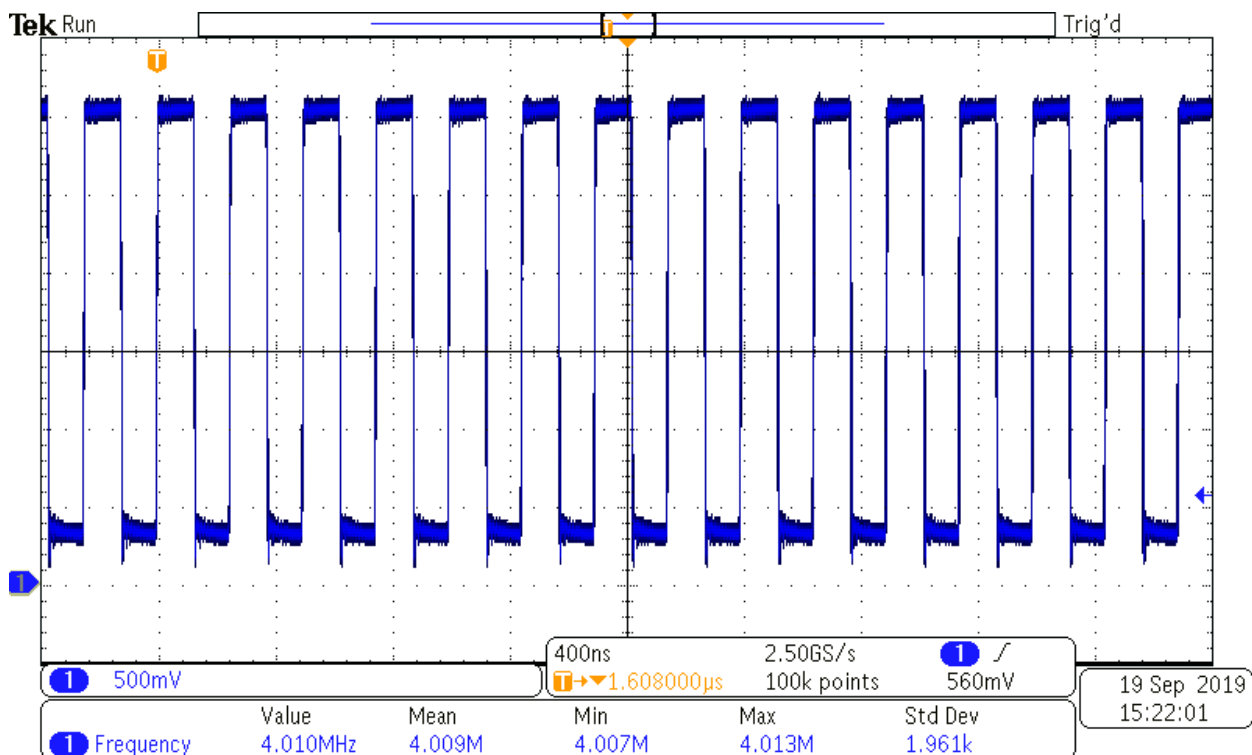


図7-2. 4 MHzクロック、不正な開始値から自動調整後



自動調整手順の終了時、調整レジスタの値は0x01になっています。これは前回のテストで0x00であったのとは異なります。「概要」で説明した通り、これは誤差が1ステップで修正できるよりも小さい場合の通常動作です。

8. まとめ

以上をまとめると、自動調整機能は内部高周波数オシレータの出力周波数の精度を向上するためのシンプルかつ効果的な方法です。CPUまたは周辺モジュールにより正確なクロック周波数を供給するためにOSCHFを使っているあらゆるプロジェクトに簡単に追加できます。

9. 参考文献

1. AVR128DA28/32/48/64 Preliminary Data Sheet
2. AVR128DA48 Curiosity Nano User' s Guide

10. 補遺

例10-1. OSCHFを1 MHzに設定し、自動調整機能の有効/無効を切り換え

```

#define F_CPU                                1000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define DELAY_TIME                           1000
#define PRESSED                              1
#define NOT_PRESSED                          0
#define PULL_UP_ENABLE                       0x08
#define BUTTON_PIN                           PIN7_bm

void CLK_init(void);
void PORT_init(void);

uint8_t volatile button_event = NOT_PRESSED;

int main(void)
{
    cli();
    PORT_init();
    CLK_init();
    sei();

    while (1)
    {
        if(button_event == PRESSED)
        {
            cli();
            _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, (CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc |
CLKCTRL_AUTOTUNE_bm));
            _delay_ms(DELAY_TIME);
            _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc);
            button_event = NOT_PRESSED;
            sei();
        }
    }
}

void CLK_init(void)
{
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_1M_gc);
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.XOSC32KCTRLA, CLKCTRL_ENABLE_bm);
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, (CLKCTRL_CLKSEL_OSCHF_gc |
CLKCTRL_CLKOUT_bm));
}

void PORT_init(void)
{
    PORTC.DIRCLR = BUTTON_PIN;
    PORTC.INTFLAGS = BUTTON_PIN;
    PORTC.PIN7CTRL = PORT_ISC_RISING_gc | PULL_UP_ENABLE;
}

ISR(PORTC_PORT_vect)
{
    button_event = PRESSED;
    PORTC.INTFLAGS = BUTTON_PIN;
}

```

11. 改訂履歴

文書 リビジョン	日付	改訂内容
C	2020 年 05 月	最新の商標に従い、AVR® MCU DA (AVR-DA)を AVR® DA MCU に、AVR-DA を AVR DA に更新しました。
B	2020 年 03 月	リポジトリへのリンクを更新しました。 最新の商標に従い、AVR-DA を AVR® MCU DA (AVR-DA)に更新しました。
A	2020 年 02 月	初版

Microchip社のウェブサイト

Microchip社はウェブサイト(www.microchip.com)を通してオンライン サポートを提供しています。当ウェブサイトでは、お客様に役立つ情報やファイルを簡単に見つけ出せます。以下を含む各種の情報がご覧になれます。

- **製品サポート** - データシートとエラッタ、アプリケーション ノートとサンプル プログラム、設計リソース、ユーザガイドとハードウェア サポート文書、最新のソフトウェアと過去のソフトウェア
- **技術サポート** - FAQ(よく寄せられる質問)、技術サポートのご依頼、オンライン ディスカッション グループ、Microchip社のデザイン パートナー プログラムおよびメンバーリスト
- **ご注文とお問い合わせ** - 製品セレクトと注文ガイド、最新プレスリリース、セミナー/イベントの一覧、お問い合わせ先(営業所/正規代理店)の一覧

お客様への通知サービス

Microchip社のお客様への通知サービスは、お客様にMicrochip社製品の最新情報をお届けする配信サービスです。ご興味のある製品ファミリまたは開発ツールに関する変更、更新、リビジョン、エラッタ情報をいち早くメールにてお知らせします。

<http://www.microchip.com/pcn>にアクセスし、登録手続きをしてください。

お客様サポート

Microchip社製品をお使いのお客様は、以下のチャンネルからサポートをご利用頂けます。

- 正規代理店
- 技術サポート

サポートは正規代理店にお問い合わせください。本書の最後のページに各国の営業所の一覧を記載しています。

技術サポートは以下のウェブページからもご利用頂けます。

<http://www.microchip.com/support>

Microchip社のデバイスコード保護機能

Microchip 社製品のコード保護機能について以下の点にご注意ください。

- Microchip社製品は、該当するMicrochip 社データシートに記載の仕様を満たしています。
- Microchip社では、通常の条件ならびに動作仕様書の仕様に従って使った場合、Microchip 社製品のセキュリティレベルは、現在市場に流通している同種製品の中でも最も高度であると考えています。
- Microchip社はその知的財産権を重視し、積極的に保護しています。Microchip 社製品のコード保護機能の侵害は固く禁じられており、デジタル ミレニアム著作権法に違反します。
- Microchip社を含む全ての半導体メーカーで、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、Microchip 社が製品を「解読不能」として保証するものではありません。コード保護機能は常に進化しています。Microchip 社では、常に製品のコード保護機能の改善に取り組んでいます。

法律上の注意点

本書および本書に記載されている情報は、Microchip 社製品を設計、テスト、お客様のアプリケーションと統合する目的を含め、Microchip 社製品に対してのみ使う事ができます。それ以外の方法でこの情報を使う事はこれらの条項に違反します。デバイス アプリケーションの情報は、ユーザの便宜のためにのみ提供されるものであり、更新によって変更となる事があります。お客様のアプリケーションが仕様を満たす事を保証する責任は、お客様にあります。その他のサポートはMicrochip 社正規代理店にお問い合わせ頂くか、<https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services>をご覧ください。

Microchip 社は本書の情報を「現状のまま」で提供しています。Microchip 社は明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、非侵害性、商品性、特定目的への適合性の暗黙的保証、または状態、品質、性能に関する保証をはじめとするいかなる類の表明も保証も行いません。

いかなる場合もMicrochip 社は、本情報またはその使用に関連する間接的、特殊的、懲罰的、偶発的または必然的損失、損害、費用、経費のいかににかかわらず、またMicrochip 社がそのような損害が生じる可能性について報告を受けていた場合あるいは損害が予測可能であった場合でも、一切の責任を負いません。法律で認められる最大限の範囲を適用しようとも、本情報またはその使用に関連する一切の申し立てに対するMicrochip 社の責任限度額は、使用者が当該情報に関連してMicrochip 社に直接支払った額を超えません。

Microchip 社の明示的な書面による承認なしに、生命維持装置あるいは生命安全用途にMicrochip社の製品を使う事は全て購入者のリスクとし、また購入者はこれによって発生したあらゆる損害、クレーム、訴訟、費用に関して、Microchip 社は擁護され、免責され、損害をうけない事に同意するものとします。特に明記しない場合、暗黙的あるいは明示的を問わず、Microchip社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip 社の名称とロゴ、Microchip ロゴ、Adapttec、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi ロゴ、MOST、MOST ロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST ロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGA は米国とその他の国におけるMicrochip Technology Incorporated の登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control SolutionsCompany、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLightLoad、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus ロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、ZL は米国における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 ロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICKtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、RippleBlocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、TotalEndurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、ZENAは米国とその他の国におけるMicrochip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は米国におけるMicrochip Technology Incorporated のサービスマークです。

Adaptec ロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom はその他の国におけるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

GestIC は、その他の国におけるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KG (Microchip Technology Incorporated の子会社) の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2023, Microchip Technology Incorporated and its subsidiaries.

All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-6683-2434-9

品質管理システム

Microchip社の品質管理システムについてはwww.microchip.com/qualityをご覧ください。

各国の営業所とサービス

南北アメリカ	アジア/太平洋	アジア/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術サポート: http://www.microchip.com/support URL: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースティン、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 サンノゼ、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SAR 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 - 厦門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - バンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネ 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	オーストリア - ヴェルス 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 - ガーヒンク Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーゲン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイルブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドヴァ Tel: 39-049-7625286 オランダ - ドリューネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-7288-4388 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 - ヨーテボリ 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