

---

---

## 電流測定と電池監視

---

---

### 要点

- ・ 電流と電圧の測定理論
- ・ ATtiny1627 Curiosity Nanoでの応用例
- ・ Curiosityの仮想COMポートを通して測定値送付
- ・ MPLAB®データ可視器(Data Visualizer)を使うデータ可視化

### 序説

著者: Marcus Young, Amund Aune, Microchip Technology Inc.

この応用記述は設定可能な利得増幅器(PGA:Programmable Gain Amplifier)を持つ12ビットA/D変換器(ADC)を使う電気回路内での電流測定実行と電池監視の方法を示します。電流測定と電池管理の両方が理論段階で説明され、ADCを使う優位性の紹介が続きます。

ATtiny1627 Curiosity Nanoを使う応用実演が提示されます。この実演では複数の電圧が測定され、対応する電流が計算されます。その後全ての指標がUSARTを通し、それらが実時間で作図されるMPLAB®データ可視器(Data Visualizer)へ送られます。

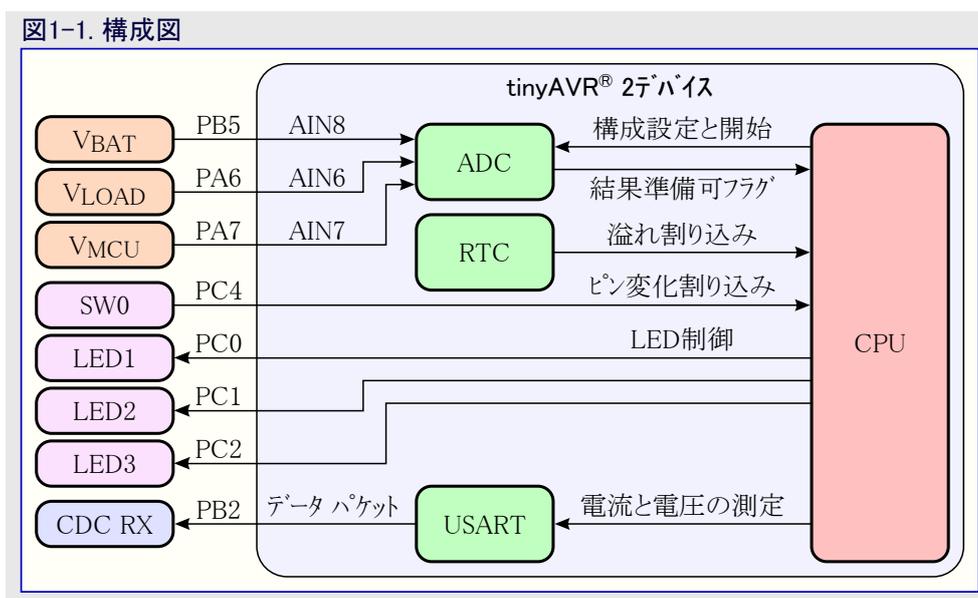
本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、Microchip社とは無関係であることを御承知ください。しおりの[はじめに]での内容にご注意ください。

## 目次

要点	1
序説	1
1. 構成図	3
2. 動作の理屈	3
2.1. 電流測定	3
2.2. 電池監視	4
3. 12ビットADCとPGAでの優位性	5
4. 実演動作	5
4.1. ハードウェア要件	5
4.2. ソフトウェア要件	5
4.3. 例の走行	6
5. ソースコード概要	6
5.1. ソースコード概要	6
5.2. コード実装	6
6. MPLAB®データ可視器での作図	8
7. GitHubからのコード例取得	11
8. 改訂履歴	11
Microchip情報	12
Microchipウェブ サイト	12
製品変更通知サービス	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
品質管理システム	13
世界的な販売とサービス	14

## 1. 構成図

下の構成図はATtiny1627 Curiosity Nanoを使う応用例の概要を示します。基板機能への接続とそれらがtinyAVR®デバイスのCPUと周辺機能でどう相互作用するかを示します。



## 2. 動作の理屈

### 2.1. 電流測定

電流はADCを使って直接測定されます。ADCが電圧を測定し、オームの法則に従うので、結果は電流を反映するために回路の抵抗値によって除算されなければなりません。電流は定数を持つ回路と既知の抵抗値、例えば直列抵抗器を持つ単純なLEDに関して容易に計算することができます。けれども、もっと複雑な応用で、回路抵抗が定数や既知でないことが度々あります。

変化する抵抗を持つ系に対しては、測定するために回路と直列に抵抗器を追加することができます。回路を通る全ての電流がこの抵抗器を通ります。従って、おそらく電流はそれの両端電圧とその抵抗値に基づいて計算できます。通常、この抵抗器はシャント抵抗器(RSHUNT)と呼ばれます(訳補: 日本では一般的にその目的から電流検出抵抗とも呼ばれます)。

#### 2.1.1. シャント抵抗設定

おそらくシャント抵抗は測定のために負荷のどちらかの側に配置されます。High側測定はシャントの1つの側がHigh電力源(VCC)に繋がる場合に実行されます。シャントが接地に繋がる場合、Low側測定が使われます。これらの技法は利点と欠点の両方を持ちます。

High側測定は未だ負荷が直接接地に接続される利点を持ちます。経路に近い接地面と接地基準の部品外装を含む殆どのPCBの物理的性質のため、接地への短絡は違う電圧への短絡よりも起こる可能性が高くなります。Low側測定で負荷が接地と短絡する場合、短絡の高電流が電流測定シャント抵抗器周辺に流れ、その短絡は測定できないかもしれません。図2-1をご覧ください。図2-2で示されるように、High側測定での負荷短絡はRSHUNTでのより高い電流測定を引き起こし、検出することができます。

図2-1. Low側測定での接地への短絡

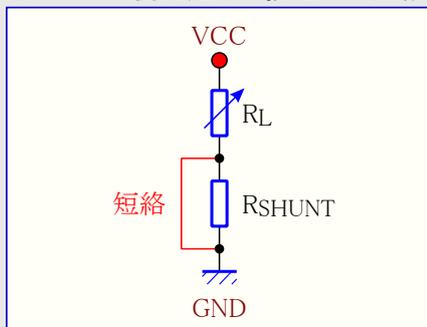
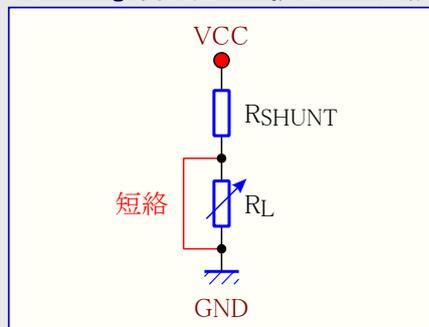


図2-2. High側測定での接地への短絡



Low側測定は低い同相電圧の利点を持ちます。ADCが測定する回路と同じ接地を参照する限り、シャントの負荷側の電圧測定は全体の電圧低下を表します。一方で、High側測定では、シャント抵抗器の両側は0V越えが測定され、電圧差は電流を反映します。ADCの差動変換走行は電圧間の差だけを採取し、0Aの電流に対応する0VでADCの全範囲を利用します。

### 2.1.2. 採取分解能

電流測定の採取分解能は様々な要素を信頼します。ADC分解能は達成可能な結果の上限を定めるための1つの要素です。別の要素は選ばれた測定範囲です。シャントは原理的に無限電流を測定できますが、ADCが限定された数の異なる結果だけを支援するため、より現実的な範囲が選ばれなければなりません。例えば、12ビットADCを使う場合、4096の測定段階があります。4.096Aの最大電流を選ぶと、ADCの各段階は最良の場合で1mAに対応します。

別の要素はADC範囲の適合です。ADCは0Vで最低結果を達成します。差動測定で、これは電流が回路を通らないことを意味します。けれども、最高ADC値は参照基準電圧(VREF)によって決められます。シャント抵抗器端の電圧がI<sub>MAX</sub>で可能な限りVREFに近づくことを確実にしてください。それよりも低い場合、この電圧を超えて有り得る全ての採取には決して達せず、ADCの分解能はその結果としてより低くなります。最大入力電圧を可能な限りVREFに近づけるため増幅するために度々利得段が使われます。

### 2.1.3. シャント抵抗

シャント抵抗器が負荷と直列なため、可能な限り低い抵抗を選んでください。シャント抵抗器端の電圧はその抵抗値に直接比例し、この電圧降下は回路の残りを渡る電圧を低下させます。負荷に対するより低い電圧供給は負荷に対するより低い最大電力消費(P<sub>MAX</sub>)をもたらします。

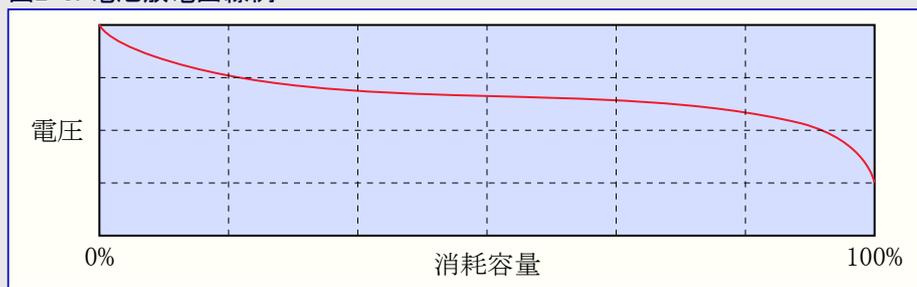
## 2.2. 電池監視

電池電圧の経緯維持は最も簡単な形式での電池監視です。システムは電圧が与えられた値未満に落ちた場合に電力OFFか、または応用が電池交換か電池の再充電を通知します。電池に関して受け入れ可能な最低電圧は指定された電池電圧範囲または或る電圧水準未満で動作できないシステム内の部分によって決められます。

システムに依存して、各種部分を渡る電圧は電池電圧よりもっと多くの要素に基づいて変わるかもしれません。例えば、電流を監視しているシステムではシャント抵抗器端の電圧低下はそれらを通る電流に比例します。これらの場合、全ての部分が十分な電圧を供給されるのを確実にするために、おそらく電圧は複数の場所で測定されるか、または電流測定と組み合わせられます。

殆どの電池では放電された容量は電圧に対して直接比例しません。下図もご覧ください。

図2-3. 電池放電曲線例



残りの電池寿命を予測する時に電圧と容量の間のこの関係が考慮されなければなりません。ADCが3Vを読み、電池の最大電圧が6Vの場合、残容量は必ずしも50%ではありません。

特定の電池に対する放電曲線を探すことは望む精度に応じて違う方法で行うことができます。高精度の必要がなければ、その動きを近似するのに同型の電池の放電特性を使ってください。より高い精度が必要とされるなら、使われる特定の電池の放電曲線を生成するために予期する一定の負荷を印加してその放電として電圧を監視することによって電池を検査してください。

ここで、電池の充電状態(SoC: State-of-Charge)を監視するための2つの方法を検討します。

1つ目の方法はSoCを推定するのに電圧を使うことです。この方法はSoCを得るために参照表(LUT)をアクセスするのに測定した電圧を使います。この方法は簡単ですが、放電曲線の中央部が平坦な場合に貧弱なSoCの推定を与えます。

2つ目の方法は電流監視との組み合わせで電圧監視を使います。電流監視に広く使われる方法はクーロン計数で、これはSoCを得るために消費電流の積分を伴います。放電曲線の上側と下側の平坦でない部分に対して電圧監視を、放電曲線の平坦な中央領域に対して電流監視を使うと、SoCに関して高い精度を達成することができます。けれども、この方法は実装に対して(1つ目の)電圧監視(法)よりもっと複雑にされます。

電池特性は使い方と時間の経過と共に変わり、従って定期的に再校正が必要です。異なる容量の推定方法は様々な校正方法を必要とするかもしれません。完全な充電周期(空から満充電へ)とその後の放電周期(満充電から空へ)を通して電池を動かすことが簡単な校正方法です。もっと正確な校正を達成するため、各周期後に電池を休ませて冷やします。これを行うことにより、放電曲線を更新するための新しい値を得ます。

### 3. 12ビットADCとPGAでの優位性

12ビットADCは色々な点で電流測定に良く適合します。その12ビット分解能は電流測定用の高分解能を得るための良い開始点を与えます。更に、PGAは外部部品の必要なしでシャント抵抗器端で測定される電圧の増幅を許します。PGAは電圧を16倍まで増幅することができます。

ADCはシャント抵抗器がHigh側またはLow側のどちらに接続されても、この抵抗器の電圧低下だけを測定するのが必要なことを保証する差動測定を実装します。High側とLow側の測定を実行するには、このADCにその能力がある、VDD超えとVSS未満を測定できる必要があります。差動の結果は電流の流れなしで0で、電流に比例して増加します。

### 4. 実演動作

この実演ではPGA付きの12ビットADCを使って回路電流を測定して電池を監視する方法を示すのにATtiny1627 Curiosity Nanoと実験用回路板の回路を使います。回路を検査するのに、電池電圧(VBAT)はCuriosity Nanoに接続されたマイクロUSBケーブルによって供給されるVBUSで置き換えられます。更に、マイクロUSBケーブルからの供給電圧を使ってこの概念を試験するために基板上の目的対象電圧調整器から基板上テパガを切断してCuriosity NanoのVOFFピンを接地(GND)に短絡してください。その後、VTGピンでの目的対象電圧でCuriosity Nanoに供給することができます。ATtiny1627 Curiosity Nanoハードウェア使用者の手引きは詳細な記述を提供します。

実験用回路板の回路は2つのシャント抵抗器(Curiosity Nanoのピンへの接続)と3つのLEDと抵抗器で構成される可変負荷から成ります。シャント抵抗器は異なる電流を計算するのに使われます。図4-1は実験用回路板の回路の構成図を示します。この例ではR1=1ΩとR2=1.5Ω、そしてLEDを通して流れる電流と望む光強度に基づいてR3,R4,R5が選ばれます。R1またはR2の値変更を決めた場合、対応するソースコードの変更を確実にしてください。

シャント抵抗器(R1)は電池電圧と直列に置かれ、従って電池から引き出される総電流を測定するのに使うことができます。シャント抵抗器(R2)はVDDと直列に置かれ、tinyAVR® デバイスによって引き出される電流を見つけるのに使うことができます。電池から引き出される総電流からマイクロコントローラによって引き出される電流を減算することにより、可変負荷によって引き出された電流が見つかります。

下の式は供給から引き出される総電流(IBAT)、AVR®デバイスによって引き出される電流(IDD)、負荷によって引き出される電流(ILOAD)、電池電圧(VBAT)を計算する方法を示します。

式4-1. IBAT

$$IBAT = \frac{VR1}{R1}$$

式4-2. IDD

$$IDD = \frac{VR2}{R2}$$

式4-3. ILOAD

$$ILOAD = IBAT - IDD$$

式4-4. VBAT

$$VBAT = VDD + VR1R2$$

回路の各種部分の消費電流測定に加えて、電圧測定は電池を監視しなければなりません。VDDは内部VDD/10 ADCチャネルを測定してその結果に10を乗算することによって計算することができます。その後、VBATを見つけるために両シャント抵抗器端の電圧が測定され、VDDの結果に加算することができます。応用の正しい動作に対してVBATやVDDが低すぎる場合、電池を再充電してください。

必要な測定の実行後、それらはADCの結果から現実の数値に変換され、浮動小数点値としてUSARTを通して送られます。MPLAB® データ可視器(Data Visualizer)はそれらの値を受け取って実時間でそれらを作図します。3つのLEDは負荷回路に接続され、ATtiny1627 Curiosity Nano基板上の釦をクリックすることで使用者によって制御されます。これらは負荷抵抗が変更された時に電圧と電流での変化を観測するのに使われます。Curiosity Nano上のLEDは負荷回路のLEDが全てOFFの場合にONに切り替わり、最低1つがONの場合にOFFに切り替わります。

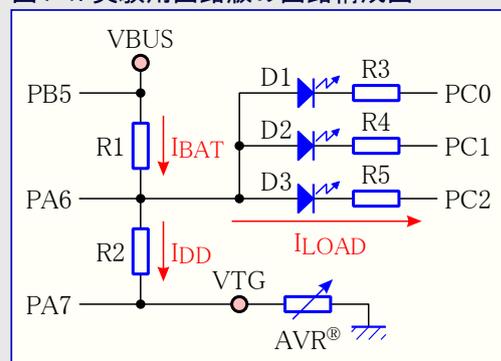
#### 4.1. ハードウェア要件

- ATtiny1627 Curiosity Nano
  - [www.microchip.com/en-us/development-tool/DM080104](http://www.microchip.com/en-us/development-tool/DM080104)
- 3つのLED、5つの抵抗器、線、マイクロUSBケーブル

#### 4.2. ソフトウェア要件

- MPLAB® X IDE (6.00またはそれ以降版)
- MPLAB® XC8コンパイラ (2.40またはそれ以降版)
- MPLAB®コード構成部(Code Configurator) (5.1.17またはそれ以降版)
- MPLAB®データ可視器(Data Visualizer) (1.3.1160またはそれ以降版)
- MPLAB® Melody Core (2.2.37またはそれ以降版)
- tinyAVR®デバイス系一括 (3.0.151またはそれ以降版)

図4-1. 実験用回路板の回路構成図



### 4.3. 例の走行

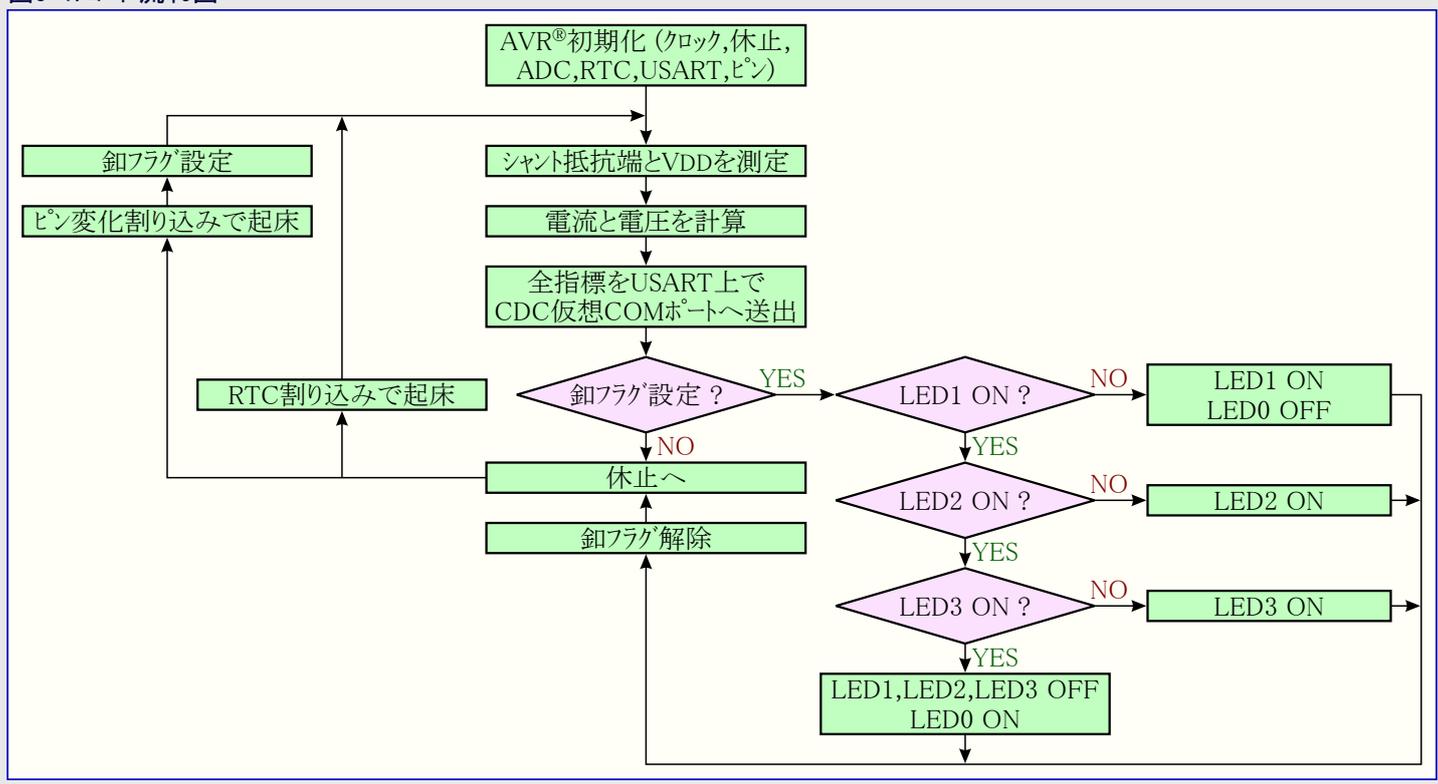
- ・「7. GitHubからのコード例取得」章で説明したように応用をダウンロードしてそれをATtiny1627 Curiosity Nanoに書いてください。
- ・図4-1.で示されるようにLEDと抵抗器を接続してください。
- ・コンピュータとCuriosity Nano間をマイクロUSBケーブルで接続してください。
- ・MPLAB® X IDEまたは自立型MPLAB®データ可視器(Data Visualizer)を開いて「6. MPLAB®データ可視器での作図」章で説明されるように作図を構成設定してください。
- ・電流と電圧の図の変化を見るのにLEDの状態を変更するため、Curiosity Nano上の釦を押してください。

## 5. ソースコード概要

### 5.1. ソースコード概要

以下の流れ図は高位のコード実行を示します。

図5-1. コード流れ図



### 5.2. コード実装

#### ADC初期化

この応用で使われる周辺機能はMPLAB®コード構成部(MCC)で構成設定されます。ADCが注目の周辺機能なのでADC初期化だけが検討されます。ADCは初期化構成が下で一覧にされます。

- ・集中累積動作
- ・256採取累積
- ・VREF: 1.024V
- ・採取持続時間: 65 CLK\_ADC周期
- ・スタンバイ動作で走行

**注:** MCCはこの一覧で示される他にADCに対する他の設定も構成設定します。それらの設定はADCが開始される前に応用コードによって再構成設定されるので除外されます。

## シャント抵抗測定

下の関数はシャント抵抗を測定する時に走行します。この関数は引数としてADCチャネル構成設定と共に呼ばれます。

```
#define OFFSET      0
#define REFERENCE   1.024
#define SAMPLES     256

float adc_diff_16x(ADC_MUXPOS_t muxpos_config, ADC_MUXNEG_t muxneg_config)
{
    /* 16倍利得 */
    ADC0.PGACTRL = ADC_GAIN_16X_gc | ADC_PGAEN_bm;

    /* 正入力ピン設定 */
    ADC0.MUXPOS = ADC_VIA_PGA_gc | muxpos_config;

    /* 差動動作許可、起動をMUXNEG書き込みに設定 */
    ADC0.COMMAND |= ADC_DIFF_bm | ADC_START_MUXNEG_WRITE_gc;

    /* 負入力ピン設定。この書き込みは集中変換も開始します。 */
    ADC0.MUXNEG = ADC_VIA_PGA_gc | muxneg_config;

    /* 結果準備可待機 */
    while(!(ADC0.INTFLAGS & ADC_RESRDY_bm));

    /* 平均ADC結果を返す。 */
    /* 利得値(16)で除算した増幅累積結果、分解能(±2048)と測定した電圧低下を反映するための採取数 */
    return (((int32_t) ADC0.RESULT) + OFFSET) * ((REFERENCE / 16.0) / 2048.0) / SAMPLES;
}
```

PGAが有効にされて16倍利得に設定され、差動動作が許可され、チャネルが設定され、集中変換が開始されます。返される値は生の累積したADC結果から計算したシャント抵抗端で測定した電圧降下です。

## VDD測定

下の関数はVDDを測定する時に走行します。この関数は引数としてVDD/10チャネルと共に呼ばれます。

```
#define OFFSET      0
#define REFERENCE   1.024
#define SAMPLES     256

float adc_single_2x(ADC_MUXPOS_t muxpos_config)
{
    /* 2倍利得 */
    ADC0.PGACTRL = ADC_GAIN_2X_gc | ADC_PGAEN_bm;

    /* ADCチャネル設定 */
    ADC0.MUXPOS = ADC_VIA_PGA_gc | muxpos_config;

    /* シングルエンド動作許可、起動を直ちに開始に設定 */
    ADC0.COMMAND = ADC_MODE_BURST_gc | ADC_START_IMMEDIATE_gc;

    /* 結果準備可待機 */
    while(!(ADC0.INTFLAGS & ADC_RESRDY_bm));

    /* 平均ADC結果を返す。 */
    /* 利得値(2)で除算した増幅累積結果、分解能(4096)と測定した電圧低下を反映するための採取数 */
    /* 測定した電圧がVDD/10のため、結果も10で乗算されます。 */
    return (((int32_t) ADC0.RESULT) + OFFSET) * 10 * ((REFERENCE / 2.0) / 4096.0) / SAMPLES;
}
```

PGAはこの関数で有効にされますが、推定される結果がより高く、測定される精度に対して増幅が少ししか必要ないため、2倍の利得にだけ設定されます。前の関数のように、返される値はADC結果から計算した測定電圧です。

ADCの測定結果を電圧に変換するには次の計算を使ってください。

#### 式5-1. ADC電圧計算

$$V = \frac{\text{ADCn.RESULT} + \text{OFFSET}}{\text{SAMPNUM}} \times \frac{V_{\text{REF}}}{\text{GAIN} \times \text{RESOLUTION}}$$

式の最初の部分は全採取からの平均で累積結果を除算します。理想ADCでは最初の符号遷移は入力電圧が0.5 LSBに等しい時に起き、結果として変位(OFFSET)は0ですが、実際のADCの場合は必ずしもそうとは限りません。この変位は理想的な最初の符号遷移と(実際の)最初の符号遷移間の偏移値を保持します。変位に関してADCを校正する様々な既存の方法があります。その後平均したADC結果はLSBに対する電圧の係数で乗算することによって電圧に変換されます。

## 6. MPLAB®データ可視器での作図

MPLABデータ可視器(Data Visualizer)は走行している組み込み目的対象からのデータを処理して可視化し、プラグインまたは自立型プログラムとしてアクセスすることができ、走行している組み込み目的対象からのデータを処理して可視化するためのプログラムです。この応用記述はUSART上で受け取ったADC採取を作図するためのデータ可視器の構成設定を記述します。この構成設定は保存した作業空間を使って行われ、データ表示の基本が説明されます。作業空間の設定方法の詳細な手引きについてはMPLABデータ可視器でDocumentation(文書)鈕をクリックしてください。



**すること:** 受信したADC採取を作図するためにMPLABデータ可視器を構成設定してください。

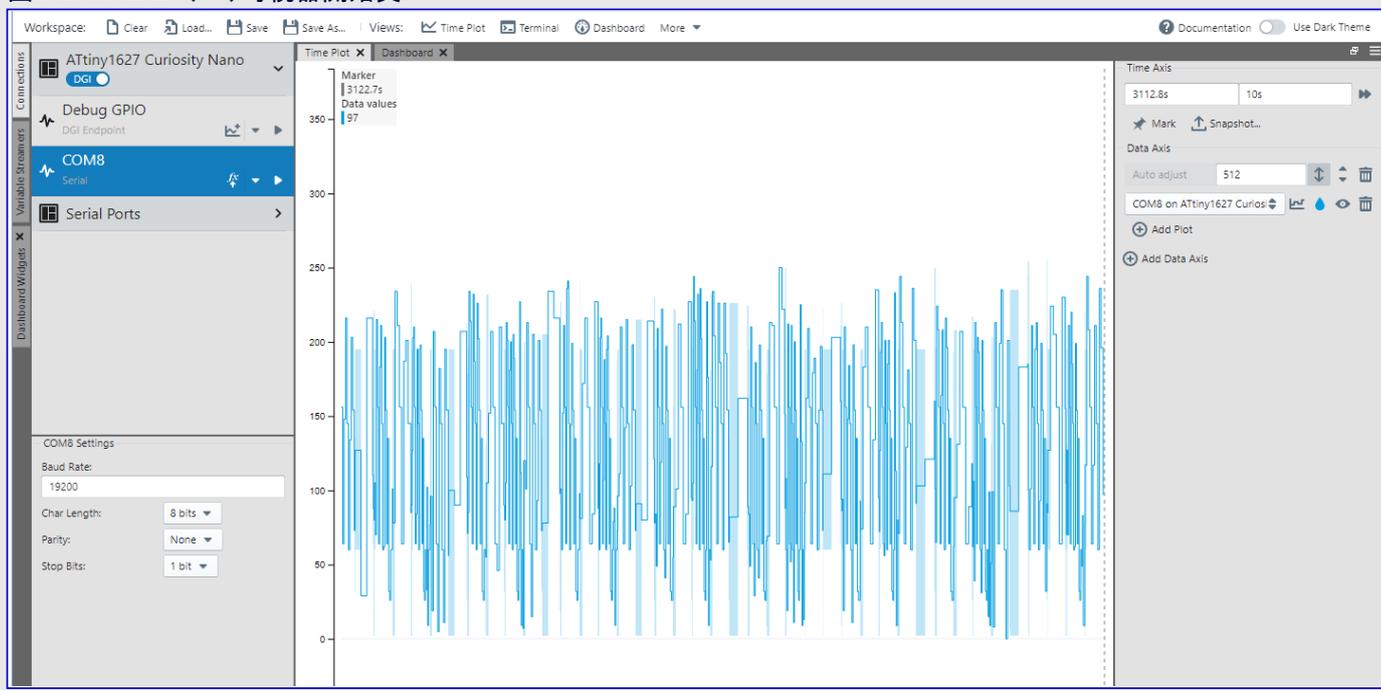
1. MPLAB® X IDEは内部的にデータ可視器を持ちます。それを開くために上部でDV鈕をクリックしてください。この鈕がない場合、データ可視器をインストールするためにTools(ツール)⇒Plugins(プラグイン)へ行ってください。

図6-1. MPLAB® X IDEでデータ可視器を開く



2. このプログラムを開き、既に入力したデバイスに繋いでください。USART通信に使用されるCOMポートが既に使用中でないことを確実にしてください。描かれた作図とは別に、開始画面が図6-2のものと同様に見えるでしょう。

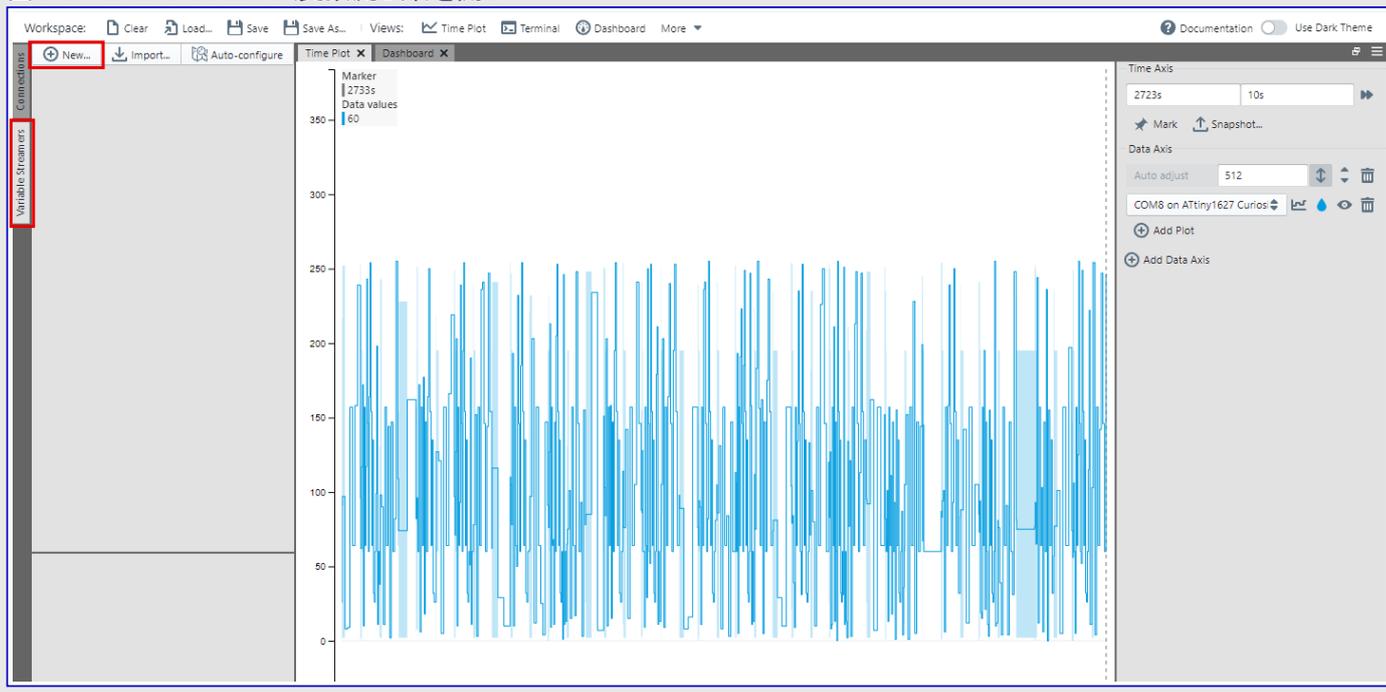
図6-2. MPLAB®データ可視器開始頁



- a. それをクリックすることによって正しいCOMポートを強調表示にしてください。
- b. Baud rate(ボーレート)を19200に設定してください。
- c. 右手側で供給元引き落としメニューからATtiny1627を選んでください。
- d. Play(再生)鈕をクリックしてください。
- e. データ可視器が図6-2のものと同様な図を作図する場合、USART構成設定は正しく設定されています。
- f. Stop(停止)鈕をクリックしてください。

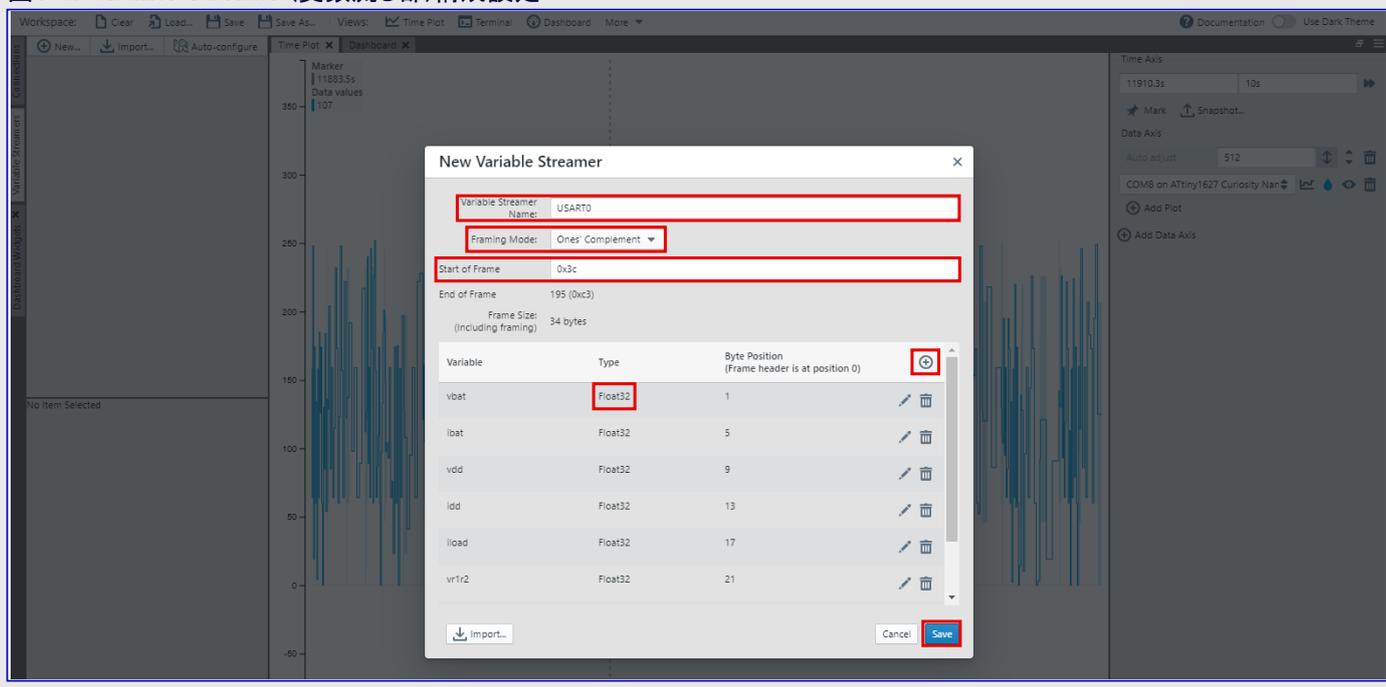
3. デバイスの流しデータ出力を作図するためにVariable Streamer(変数流し部)構成設定盤を見つけて開いてください。

図6-3. Variable Streamer(変数流し部)を開く



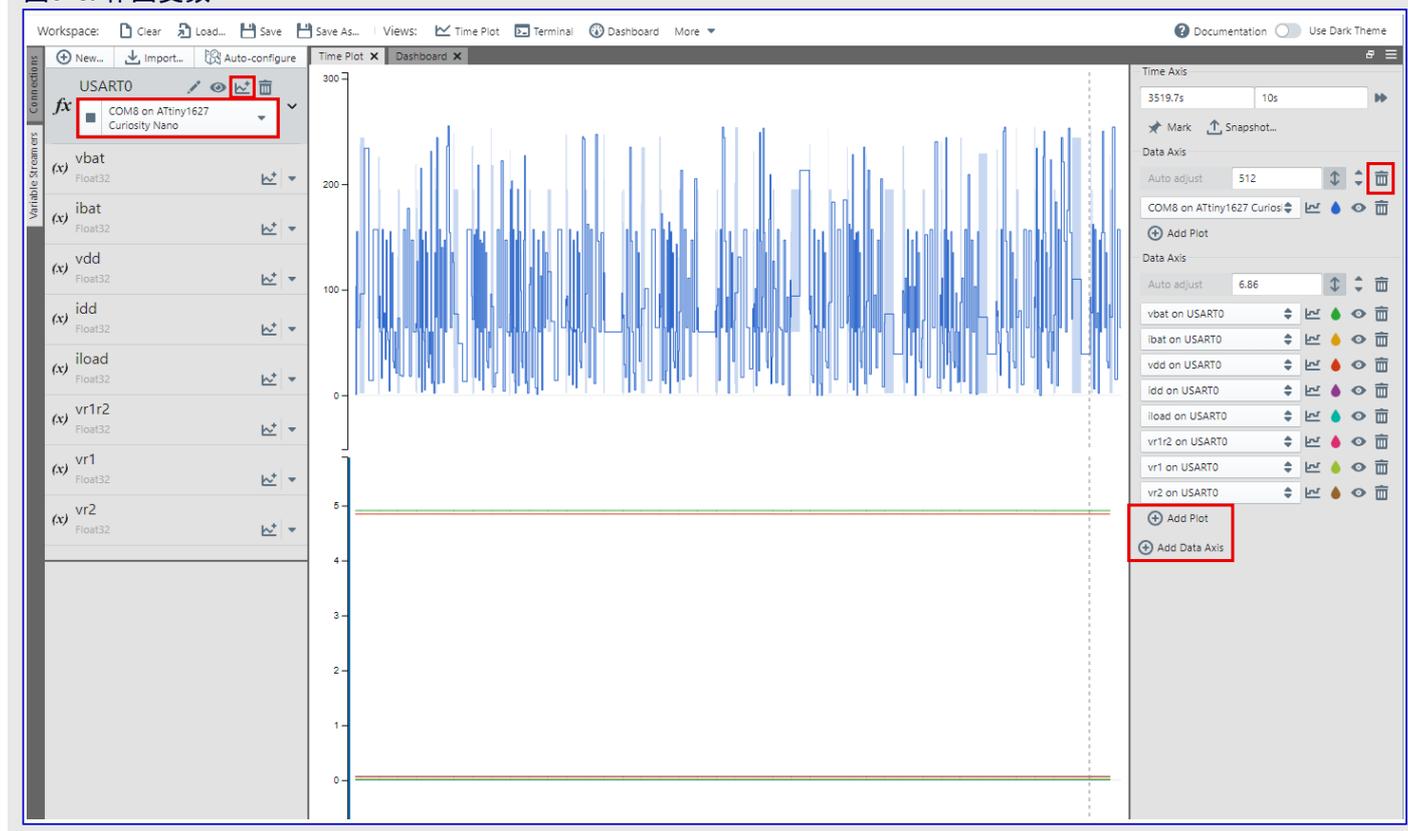
- 左手側でVariable Streamer(変数流し部)盤をクリックしてください。
  - Variable Streamer(変数流し部)構成設定盤を開くためにNew(新規)をクリックしてください。
4. 流し形式に従って流しデータ出力を復号するように変数流し部を構成設定してください。

図6-4. Variable Streamer(変数流し部)構成設定



- Variable Streamer(変数流し部)名を設定してください。
- Framing Mode(書式形態)を引き落としメニューからOnes' Complement(1の補数)を選んでください。
- Start of Frame(フレーム開始)バイトを0x3cに設定してください。
- ⊕をクリックすることによって変数を追加してください。図6-5で示されるように、それらを正しい順で追加するのを忘れないでください。
- Type(型)に対して全ての変数をFloat32に設定してください。
- 全ての変数が追加された時に右の鉤でSave(保存)をクリックしてください。

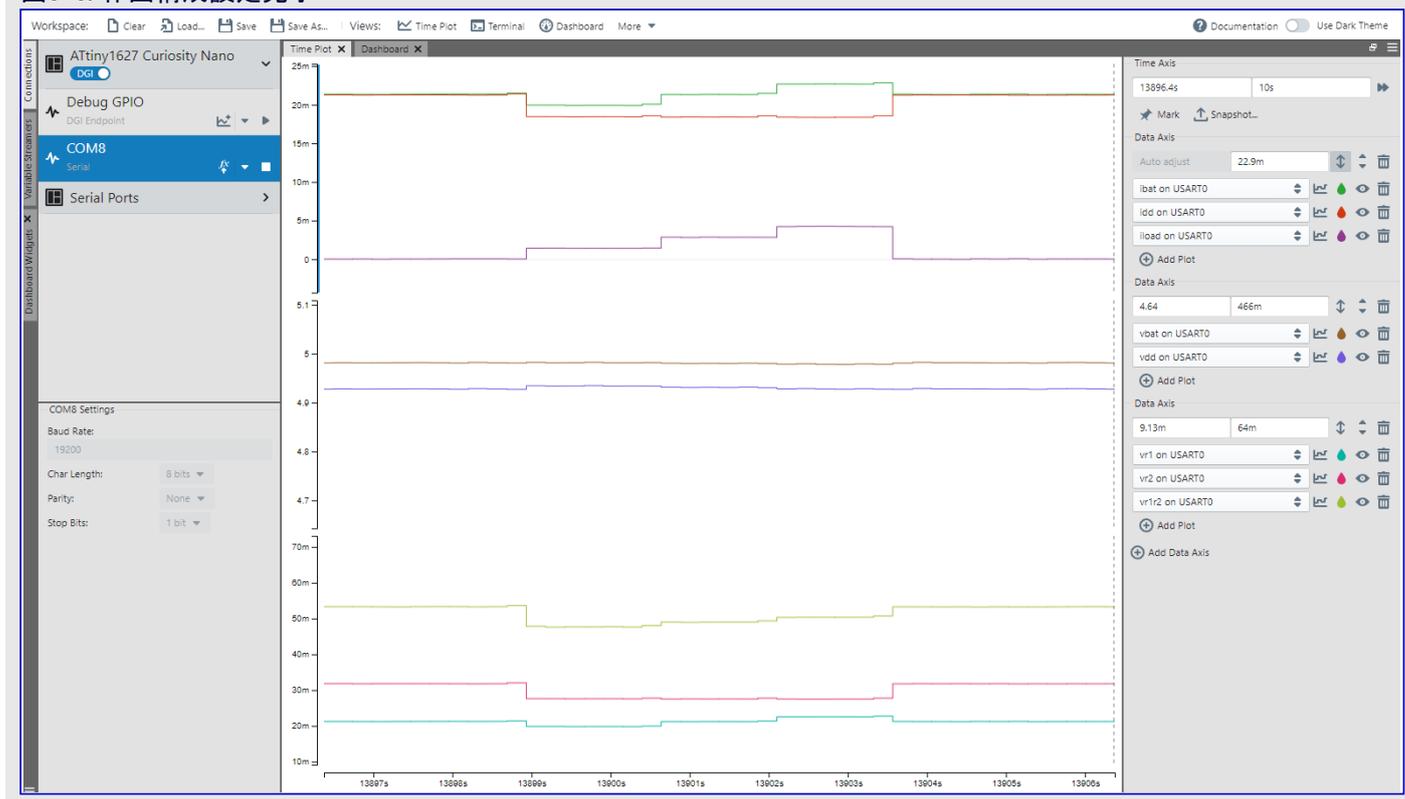
図6-5. 作図変数



- 供給元引き落としメニューから正しいCOMポートを選んでください。
  - 全変数を作図するために上部の  アイコンをクリックしてください。
  - 右手側の  をクリックすることによって配置しないデータを含むデータ軸を直ちに削除することができます。
  - Add Plot**(作図追加)は与えられたデータ軸の組に新しい供給元の追加を許します。
  - Add Data Axis**(データ軸追加)は様々な供給元を作図するために新しい軸の組の追加を許します。
  -  **図6-6**は値のより良い視覚的表現を与えるために各種軸で各種変数を分類する方法の例を示します。
5. デバイスからの実況データの作図を開始するために **Show Live Data**(実況データ表示)をクリックしてください。 **Auto adjust**(自動調整)に設定した場合、軸はUSARTからの入力に従って尺度調整されます。 **図6-6**はCuriosity Nano上の釘押下時の作図結果の例を示し、これは実験用回路板上の負荷で4つの異なる状態を通して巡回します。

 **情報:** “**Save Workspace**(作業空間保存)”をクリックすることにより、データ可視器は“**Load Workspace**(作業空間読み込み)”をクリックして生成したファイルを選ぶことによって作業空間の素早い読み込みに使うことができるファイルを生成します。

図6-6. 作図構成設定完了



結果: MPLABデータ可視器はnEDBG USART直列交換機から受け取ったデータを作図するように構成設定されました。

## 7. GitHubからのコード例取得

コード例は画一的なユーザーインターフェース(GUI:Graphical User Interface)を通して応用コードを提供するウェブに基づくサーバーであるGitHubを通して入手可能です。

GitHubウェブページ: [GitHub](#)

コード例



GitHubでコード例を見てください。  
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

Download(ダウンロード)ボタンをクリックすることによってGitHubの例ページから.zipファイルとしてコードをダウンロードしてください。またはClone(複製)ボタンをクリックすることによって貯蔵庫を複製することもできます。

## 8. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2022年12月	初版文書公開

## Microchip情報

### Microchipウェブ サイト

Microchipは[www.microchip.com/](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](http://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](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い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](http://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、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

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、VectorBlox、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。

© 2022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](http://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AN4811応用記述(DS00004811A-2022年12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
<b>本社</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: <a href="http://www.microchip.com/support">www.microchip.com/support</a> ウェブアドレス: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a> <b>アトランタ</b> Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 <b>オースチン TX</b> Tel: 512-257-3370 <b>ボストン</b> Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 <b>シカゴ</b> Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 <b>ダラス</b> Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 <b>デトロイト</b> Novi, MI Tel: 248-848-4000 <b>ヒューストン TX</b> Tel: 281-894-5983 <b>インディアナポリス</b> Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 <b>ロサンゼルス</b> Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 <b>ローリー NC</b> Tel: 919-844-7510 <b>ニューヨーク NY</b> Tel: 631-435-6000 <b>サンホセ CA</b> Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 <b>カナダ - トロント</b> Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	<b>オーストラリア - シドニー</b> Tel: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> Tel: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> Tel: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重慶</b> Tel: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 東莞</b> Tel: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 広州</b> Tel: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> Tel: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特別行政区</b> Tel: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> Tel: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青島</b> Tel: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> Tel: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 瀋陽</b> Tel: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> Tel: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 蘇州</b> Tel: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武漢</b> Tel: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> Tel: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 廈門</b> Tel: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> Tel: 86-756-3210040	<b>インド - ハンガロール</b> Tel: 91-80-3090-4444 <b>インド - ニューデリー</b> Tel: 91-11-4160-8631 <b>インド - フネー</b> Tel: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> Tel: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 東京</b> Tel: 81-3-6880-3770 <b>韓国 - 大邱</b> Tel: 82-53-744-4301 <b>韓国 - ソウル</b> Tel: 82-2-554-7200 <b>マレーシア - クアラルンプール</b> Tel: 60-3-7651-7906 <b>マレーシア - ペナン</b> Tel: 60-4-227-8870 <b>フィリピン - マニラ</b> Tel: 63-2-634-9065 <b>シンガポール</b> Tel: 65-6334-8870 <b>台湾 - 新竹</b> Tel: 886-3-577-8366 <b>台湾 - 高雄</b> Tel: 886-7-213-7830 <b>台湾 - 台北</b> Tel: 886-2-2508-8600 <b>タイ - バンコク</b> Tel: 66-2-694-1351 <b>ベトナム - ホーチミン</b> Tel: 84-28-5448-2100	<b>オーストリア - ウェルス</b> Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 <b>デンマーク - コペンハーゲン</b> Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 <b>フィンランド - エスポー</b> Tel: 358-9-4520-820 <b>フランス - パリ</b> Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 <b>ドイツ - ガルヒング</b> Tel: 49-8931-9700 <b>ドイツ - ハーン</b> Tel: 49-2129-3766400 <b>ドイツ - ハイムブロン</b> Tel: 49-7131-72400 <b>ドイツ - カールスルーエ</b> Tel: 49-721-625370 <b>ドイツ - ミュンヘン</b> Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 <b>ドイツ - ローゼンハイム</b> Tel: 49-8031-354-560 <b>イスラエル - ラーナナ</b> Tel: 972-9-744-7705 <b>イタリア - ミラノ</b> Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 <b>イタリア - パドバ</b> Tel: 39-049-7625286 <b>オランダ - デルフト</b> Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 <b>ノルウェー - トロンハイム</b> Tel: 47-72884388 <b>ポーランド - ワルシャワ</b> Tel: 48-22-3325737 <b>ルーマニア - ブカレスト</b> Tel: 40-21-407-87-50 <b>スペイン - マドリッド</b> Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 <b>スウェーデン - イェテボリ</b> Tel: 46-31-704-60-40 <b>スウェーデン - ストックホルム</b> Tel: 46-8-5090-4654 <b>イギリス - ウォーキングハム</b> Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820