

# AN3408

## 12ビットADCでの圧力感知抵抗器の使い方

#### 要点

- ・変換当たり1024採取までのADC採取累積
- ・集中動作を使うハートウェア平均
- ・ ADC 自由走行動作
- ・PC端末へのADC結果送信
- ・Bluetooth®通信上でのADC結果送信
- ・4×4 RGB Click board™での表示様式

#### 序説

著者: Rupali Honrao, Microchip Technology Inc.

この応用記述は圧力感知抵抗器(FSR:Force Sensitive Resistor)を測定するのにtinyAVR<sup>®</sup> 2系マイクロコントローラのA/D 変換器(ADC)をどう使うかを記述します。この例応用ではRN4870 Click基板を使ってADC結果がBluetooth通信上で Android<sup>™</sup>/iOS<sup>®</sup>アプリに送られます。ADC結果はシリアル端末にも送られ、Force Click基板の圧力感知器に印加された 圧力に従って各種LEDを点灯するのに4×4 RGB Click基板が使われます。ADCは構成設定可能な変換結果数が単 一のADC結果に累積される(採取累積)集中での採取を支援します。この機能は例応用で1024採取を累積して平均を 実行するのに使われます。

実演にはCuriosity Nano Baseと共にATtiny1627 Curiosity Nano基板が使われます。この応用記述で記述された結果を再現しているコード例はAtmel STARTから入手可能です。

 tinyAVR系ADCでの圧力感知抵抗器 (Force Sensitive Resistor with tinyAVR Family ADC)
 start.atmel.com/#example/Atmel%3AApplication\_AVR\_Examples%3A1.0.0%3A%3AApplication%3AForce\_Sensitive\_ Resistor\_with\_12\_bit\_ADC%3A

(Atmel STARTドライバを使わない)空からの例はここから入手可能です。



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。

応用についてより多くの情報は「2. 実演操作」章と「6.2. 実演実装」項で記述されます。 ADC性能と一般的な構成設定での付加的詳細はデベイスのデータシートで利用可能です。

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。

日	次
н	~~

$f e_{f h}$ ···································
₹説・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Ⅰ. 構成図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2. 実演操作 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
3. ハードウェア事前要件 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<mark>ዛ. ሃን</mark> ኑሳェア事前要件 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••
5. ハードウェア設定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
タ. ソース コード概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<b>6.1. 流れ図 ······</b> 7
<b>6.2. 実演実装 ·······························</b> 7
7. Atmel STARTからのコード例取得 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
3. GitHubからのコード例取得 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
9. 改訂履歴 ••••••••••••••••••••••••••••
licrochipካェブ サイト ···································
製品変更通知サ−ビス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
S客様支援・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
licrochipデバイス コ−ド保護機能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<b>长的通知</b> ····································
<b></b> 9標
品質管理システム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<b>±界的な販売とサービス ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</b>

## 1. 構成図

下図は応用の構成図を図解します。



## 2. 実演操作

この実演ではForce Click基板上の圧力感知抵抗器(FSR:Force Sensitive Resistor)を使ってADC測定が行われます。Force Click基板上のFSRに力が加えられると、加えられた力に比例したADC結果が読めます。

注: 試験設定ではVDD=3.3V、ADC参照基準はVDDです。圧力感知器に最大圧力が加えられると、ADCビンの電圧は100%の力である3.247Vです。これは装置毎に変わるかもしれません。

#### ハードウェアとソフトウェアの準備

- 1. 「5. ハートウェア設定」で言及されるように基板を接続してください。
- 2. 「4. ソフトウェア事前要件」で示されるAndroidまたはiOSのアプリをダウンロードしてインストールしてください。
- 3. 応用(「7. Atmel STARTからのコート'例取得」または「8. GitHunからのコート'例取得」を参照)をダウンロート'してATtiny1627 Curiosity Nanoを書いてください。

#### 4×4 RGB Click、Force Click、データ可視器

- 1. 通電で、4×4 RGB Click基板が各種色模様で照らされるのを観察してください。これは赤、緑、白の順で色を表示し、その後に 消灯に戻ります。
- 2. Force Click基板上のFSRを押してLEDを観察してください。

注: LEDが青色で灯されます。灯されるLED数とLEDの明るさは加えられた力に比例します。

- 3. FSRでの力を増して灯されるLED数と明るさの水準が増されるのを観察してください。
- 4. PCでデータ可視器(Data Visualizer)または他のシリアル端末を開いてください。
- 5. mEDBG COMポートを接続してボーレートを115200に構成設定してください。

isualizer	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
DGI Control Panel	
Curiosity Data Gateway Interface ATML3258011800000004	Cone  Star
	ADP Logging V Autodetect protocols Show Config search path Reset
Interfaces:	
Serial Port Control Panel	
Curiosity Virtual COM Port (COM154)	Disconnect
Baud rate Parity Stop bits	Open Terminal  Autodated protocols
115200 None • 1 bit • 💕	Autodetect protocols
Terminal 8	
Strength:81.6625% Strength:81.6873%	
Strength:81.8362%	
Strength:81.8610%	
Strength:82.0596% Strength:82.1836%	
Strength:82.2829%	
Strength:82.4566% Strength:82.5558%	
Characterized Control	
Strength:02.5550%	
Strength:82.5310% Strength:82.5310%	
Strength:02.5506% Strength:82.5310% Strength:82.5310%	
Strength: 32, 5310% Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5508%	
Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5310% Strength: 82, 5962% Strength: 82, 5558%	
Strength: 82.5310% Strength: 82.5310% Strength: 82.5310% Strength: 82.5962% Strength: 82.558%	
Strength:82.5310% Strength:82.5310% Strength:82.5310% Strength:82.5062% Strength:82.5558%	

- 6. Force Click基板上のFSRを押して百分率での印加圧力を観察してください。
  - **注**: FSRで100%の圧力が加えられると、4×4 RGB Click基板上の全てのLEDが各色で閃光し続けます。閃光色は赤、緑、青、赤紫、黄、青緑、白です。

#### Bluetooth通信

- 1. Microchip Bluetooth Dataアプリをインストールして開いてください。
- 2. BM70 BLE UARTをクリックしてください。



4. 装置を一覧するにはSCANタブをクリックしてください。

5.4、5秒間待ち、その後に走査を取り消すためCancel(取り消し)をクリックしてください。

注: 走査取り消し後、Buletooth単位部名のtiny2AVR-DEMOが画面で一覧にされるでしょう。名前 が一覧にされない場合、段階2.へ行き、走査を繰り返してください。









#### 図2-5. 走査取り消し



#### 6. tiny2AVR-DEMOをクリックしてください。

名: tiny2A	VR-DEMO
* *	🗑 🛜 📶 47% 🖥 13:32
tiny2AVR-DEMO	
D8:80:39:F7:9F:F1	bonded
ARA-PC	
24:EC:99:3F:24:5F	bonded
DEMO1	
00:00:00:00:00	bonded
NOT-LT-M43914	
A0:A8:CD:B0:01:43	bonded
TAG0	
D8:80:39:F1:79:24	bonded
SCAN	UUID

図2-7.装置ヘデータ転送

tiny2AVR-DEMO

図2-6. Bluetooth単位部

7. 接続を待ってください。

- 8. Transter data to device(装置へデータを転送)をクリックしてください。
- 9. Force Click基板上のFSRを押してアプリに於いて加えられた圧力を百分率で観察してください。
  注: iOSアプリが使われる場合、アプリでデータを可視化するにはDisplay data(データを表示)チェック印を 許可してください。



## 3. ハート・ウェア事前要件

- ATtiny1627 Curiosity Nano
  : www.microchip.com/developmenttools/ProductDetails/DM080104
- Curiosity Nano Base : www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/AC164162
- RN4870 Click : www.mikroe.com/rn4870-click
- 注: RN4871 Click基板もコート 互換のため使うことができます。
- Force Click : www.mikroe.com/force-click
- ・4×4 RGB Click基板(任意選択): www.mikroe.com/4x4-rgb-click

## 4. ソフトウェア事前要件

- Atmel Studio 7 (7.0.1931版) : www.microchip.com/mplab/avr-support/atmel-studio-7
- ・AndroidまたはIOSのMicrocip Bluetooth Dataアプリ:
- Android : https://play.google.com/store/apps/details?id=com.microchip.bluetooth.data&hl=en
- iOS : itunes.apple.com/us/app/microchip-bluetooth-data/id1319166097?mt=8

## 5. ハート・ウェア設定

本章は下の図と表で示されるようにハートウェア設定とピン構成設定の情報を提 供します。

表5-1. ピン構成設定とClick基板			
Curiosity Nano Baseソケット	Click基板	Curiosity Nano Baseピン名	MCU ピン名
	RN4870 Click	RST1(ハート゛ウェア リセット)	PB6
ソケット1	または	RX1	PA2
	RN4871 Click	TX1	PA1
<u>ソケット2</u>	Force Click	AN2	PA6
ソケット3	$4 \times 4$ RGB Click	CS3 (Click基板の切替器位置IN2)	PC5

#### 図5-1. ハート・ウェア設定の視覚的表現



## 6. ソースコート 概要

以下はATtiny1627を使うソースコードの概要です。

- CPUクロック : 10MHz
- ・使った周辺機能:
  - ADC
    - ・ADC入力チャネルはAIN6: PA6ピン
    - ・ ADC 参照基準電圧 : VDD
    - $: 2.5 MHz (f_{CPU}/4)$ • ADCクロック
  - USART1
    - TXD : PA1 : PA2
    - RXD
  - ・ボーレート :115200、ADC結果がBluetooth上で送られます。
  - USARTO
    - TXD
    - RXD
  - ・ボーレート :115200、ADC結果がシリアル端末へ送られます。
- GPIO
  - ・PC5ピン :4×4 RGB Click基板入力

: PB2

: PB3

• PB6ピン : RN4870/71 Clickハート ウェア リセット

Atmel STARTで構成設定されたプロジェクトは周辺機能ドライハ 関数とファイルだけでなく、全てのドライハ を初期化する'main() 関数も生 成します。

・トッライハ、のヘッタ、とソースのファイルはsrcとincludeのフォルタです。

・atmel\_start.c7ァイルで'atmel\_start\_init()'関数はプロジェクトのMCU、ドライハ、、ミドルウェア(中間ソフトウェア)を初期化します。

#### 6.1. 流れ図

下の流れ図は応用を図解します。

#### 図6-1. 流れ図



#### 6.2. 実演実装

#### RGB LED表示

- ・通電で4×4 RGB Click基板は各種色模様で照らされます。それは赤、緑、白で表示され、その後に消灯に戻ります。
  - rgb\_pattern\_MixColor()は混合色でLEDを灯します。
  - rgb\_pattern\_Red\_Green\_White()は順に赤、緑、白を灯します。

#### ADC

- ・Force Click基板上のFSRはADCを使って測定されます。
- ・FSRは力、圧力、または機械的な圧迫が加えられると抵抗を変えます。FSRが押されると、2つの膜間の隙間が閉じられます。この過程が2つの膜間を加えられた力に比例する抵抗で共に短絡し、従って、アナログビンの電圧が印加された力の基準になります。
- この例応用でADCはsrcフォルダ下のadc\_basic.cのADC\_0\_init()で初期化されます。

ADCは1024採取を累積するために集中動作で構成設定されます。

集中動作では単一起動後可能な限り早く累積されたn個の集中変換と変換された結果が単一のADC結果に累積されます。

ADC変換周回が継続的に繰り返される自由走行動作は最初の変換を始める前に制御F(ADCn.CTRLF)レジスタの自由走行(FREE RUN)ビットに'1'を書くことによって許可されます。

ADCO. CTRLF	$ = 1 \ll ADC_FREERUN_bp;$	/* ADC自由走行動作: 許可 */

変換はmain.cでwhile(1)の前で以下を走らせることによって開始されます。

ADCO. COMMAND |= ADC\_START\_IMMEDIATE\_gc; /\* 自由走行変換開始 \*/

自由走行動作を許可することにより、採取(ADCn.SAMPLE)レジスタで結果が利用可能になった直後に新しいADC変換が開始されます。

SAMPNUM採取を累積する集中累積に対する総変換時間は以下によって計算されます。

総変換時間 = 初期化 +  $\frac{(SAMPDUR + 13.5) \times SAMPNUM + 2}{f_{CLK ADC}}$ 

ここで、SAMPNUM=1024、SAMPDUR=20、f<sub>CLK\_ADC</sub>=2.5MHz、初期化=60µsです。

# 総変換時間 = $60\mu s + \frac{(20+13.5) \times 1024 + 2}{2.5 MHz}$

故に総変換時間=0.0137秒です。これは集中採取速度が72Hzであることを意味します。 集中採取速度は累積される採取数(SAMPNUM)を減らすことによって増すことができます。 単一集中内での採取に対する変換速度(f<sub>CONV</sub>)は以下によって計算されます。

 $f_{\text{CONV}} = \frac{f_{\text{CLK\_ADC}}}{\text{SAMPDUR} + 13.5} = \sub \mathcal{CF} \mathcal{A} \mathcal{M} 174 \text{kHz} \mathcal{CF}.$ 

割り込み要求フラグ(ADCn.INTFLAGS)レジスタの結果準備可(RESRDY)と試料準備可(SAMPRDY)の割り込み要求フラグは各々、累積結果と単一採取(試料)の準備が整った時に設定(1)されます。

RESRDY7ラグは1024採取が累積されて結果が結果(ADCn.RESULT)レジスタで利用可能の時に設定(1)されます。

SAMPRDY7ラグは各採取が試料(ADCn.SAMPLE)レジスタで利用可能の時に設定(1)されます。

例コートではRESRDY7ラケが設定(1)される時にadc\_get\_result()関数でADC結果が読まれ、累積されたADC結果を採取数の1024で 除算するか、またはADC結果を右に10ビット移動することによって平均結果が計算されます。これは下のコートで赤文字で示されま す。

while (1)
if(ADC 0 is conversion done())
<pre>adc_t.adc_result = ADC_0_get_conversion_result();</pre>
adc_t.adc_average_result = adc_t.adc_result>>SAMPLES;
<pre>strength_percentage = (float)(adc_t.adc_average_result * MAX_FORCE_PERCENT) /</pre>
ADC_MAX_VALUE_for_FORCE_CLICK;
<pre>transmit_to_BLE(strength_percentage);</pre>
<pre>trasmit_to_terminal(strength_percentage);</pre>
rgb_display_pattern_per_force();
}

#### BluetoothとUSART

- ・BluetoothはRN4870\_Setup\_Tansparent\_UART\_service()に於いて透過UARTサービスで構成設定されます。Bluetooth単位部名もこの 関数で構成設定されます。
- ・測定したADC結果を使い、力の百分率が計算され、上のコードの塊で示されるtransmit\_to\_BLE()関数でUSART1を渡ってRN4870 Click基板を使ってBluetooth通信を渡ってAndroid/iOSアプリに送られます。
- ・試験設定ではVDD=3.3V、ADC参基準がVDDです。12ビットADC結果は3.3Vで\$0FFFです。Force Click基板の圧力感知器に最大 圧力が印加されると、ADCピンの電圧は3.261Vで、これは概ね\$0FCFのADC結果を与え、力の百分率は100%です。
- ・百分率の力(圧力)はtransmit\_to\_terminal()関数でUSART0を渡ってシリアル端末に送られます。

#### RGB LED表示

- ・4×4 RGB Click基板はrgb\_display\_pattern\_per\_force()関数でForce Click基板上のFSRに印加された力に従って各種LEDを灯すの に使われます。
- ・灯されるLED数とLEDの輝度水準は印加された力に比例します。
- ・印加された力が100%未満だと、RGB LEDは青色で灯され、輝度水準は印加された力にも比例します。力が増されると、灯される LED数と輝度水準が徐々に増えます。
- 100%の力がFSRに印加されてしまうと、4×4 RGB Click基板上の全LEDが各種色で閃光し続けます。色は順に赤、緑、青、赤紫、黄、青緑、白が閃光します。

## 7. Atmel STARTからのコート 例取得

コート・例は画像使用者インターフェース(GUI)を通して応用コート・の構成設定を許すウェブに基づくAtmel STARTを通して利用可能です。コート・は下の直接コート・例リンクまたはAtmel START先頭頁のBROWSE EXAMPLES(例検索)釦経由でAtmel Studio/MPLAB XとIAR Embe dded Workbench®用をタウンロート・することができます。

Atmel STARTウェブ ヘーン: http://start.atmel.com/

#### コード例

・tinyAVR系ADCでの圧力感知抵抗器 (Force Sensitive Resistor with tinyAVR Family ADC)

- start.atmel.com/#example/Atmel%3AApplication\_AVR\_Examples%3A1.0.0%3A%3AApplication%3AForce\_Sensitive\_ Resistor\_with\_12\_bit\_ADC%3A

例プロジェクトについての詳細と情報に関してはAtmel STARTでUser guide(使用者の手引き)をクリックしてください。User guide釦はAtm el STARTプロジェクト形態設定部内の一覧画面でプロジェクト名をクリックすることにより、例閲覧部で見つけることができます。

#### Atmel Studio

DOWNLOAD SELECTED EXAMPLE(選んだ例をダウンロード)をクリックすることにより、Atmel STARTで例閲覧部からAtmel Studio用.at zipファイルとしてコードをダウンロート゛してください。Atmel START内からファイルをダウンロート゛するには、EXPORT PROJECT(プロジェクトをェクス ポート)に続いてDOWNLOAD PACK(一括ダウンロート゛)をクリックしてください。

ダウンロートじした.atzipファイルをダブルクリックしてください。プロジェクトがAtmel Studio 7.0にインポートされます。

#### MPLAB X

EXPORT PROJECT(プロジェクトをエクスポート)に続いてDOWNLOAD PACK(一括ダウンロート)をクリックすることによってAtmel START内で MPLAB X IDE用.atzipファイルとしてコートをダウンロートしてください。

MPLAB XでAtmel START 例を開くにはMPLAB XでメニューからFile(ファイル)⇒Import(インホート)⇒START MPLAB Project(START MPL ABプロジェクト)を選んで.atzipファイルに誘導してください。

#### IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbenchでプロジェクトをインポートする方法の情報についてはAtmel START使用者の手引きを開き、Using Atmel Star t Output in External Tools(外部ツールでAtmel START使用)とIAR Embedded Workbenchを選んでください。Atmel START使用者の 手引きへのリンクは共に頁の右上隅に置かれたAtmel START先頭頁からHelp(手助け)またはプロジェクト形態設定部内のHelp And Sup port(手助けと支援)をクリックすることによって見つけることができます。

## 8. GitHubからのコート 例取得

コート<sup>\*</sup>例は画像使用者インターフェース(GUI)を通して応用コート<sup>\*</sup>を提供するウェフ<sup>\*</sup>に基づくサーハ<sup>\*</sup>であるGitHubを通して入手可能です。コート<sup>\*</sup> 例はAtmel StudioとMPLAB Xの両方で開くことができます。MPLAB XでAtmel Studioプロジェクトを開くにはMPLAB XでメニューからFile (ファイル)⇒Import(インポ<sup>°</sup>ート)⇒START MPLAB Project(START MPLABプロジェクト)を選んで.cprojファイルに誘導してください。

#### GitHubウェフ 頁: GitHub

#### コード例

tinyAVR 2系統のデバイス用例コートを探すにはGitHub例閲覧部でデバイス名、例えば、ATtiny1627に対して検索することによって行うことができます。



GitHubでコート 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。

Clone(複製)またはdownload(ダウンロード)卸をクリックすることによってGitHub上の例頁から.zipファイルとしてコードをダウンロードしてください。

## 9. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
А	2020年9月	初版文書公開

## Microchipウェフ゛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ト・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設計協力課程会員一覧
- ・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

## 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、その製品系統が安全であると考えます。
- ・Microchipデバイスのコート、保護機能を破ろうとする試みに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社はこれらの方法が 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とされると確信しています。これらのコート、保 護機能を破ろうとする試みは、おそらく、Microchipの知的財産権に違反することなく達成することはできません。
- ・Microchipはそれのコードの完全性について心配されている何れのお客様とも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のコートの安全を保証することはできません。コート保護は製品が"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。コート保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコート保護機能を継続的 に改善することを約束します。Microchipのコート、保護機能を破る試みはデジタルシ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

この刊行物に含まれる情報はMicrochip製品を使って設計する唯一の目的のために提供されます。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。

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、Mcicrochipロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロ ゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、 maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PI C、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTracker、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於 けるMicrochip Technology Incor poratedの登録商標です。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、 IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、 SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、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、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、 CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、EC AN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet¤ ゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified¤ゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REALICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Se rial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sens e、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。

Adaptecロゴ、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。

© 2020年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、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 2020.

本応用記述はMicrochipのAN3408応用記述(DS00003408A-2020年9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訳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。



米国

## 世界的な販売とサービス

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 アトレス: 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 インデアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンセルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 D-J-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 - シト・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

亜細亜/太平洋

#### 亜細亜/太平洋 イント - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 イント - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 イント・フネー 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 ー ヘ・ナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン ー 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 ー バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム ー ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100

#### 欧州

オーストリア – ウェルス Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 テンマーク - コヘンハーケン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンラント – エスホー 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 トイツ – カルヒング Tel: 49-8931-9700 ドイツ – ハーン Tel: 49-2129-3766400 トイツ – 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 - ローセンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア ー ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア ー パドバ Tel: 39-049-7625286 オランダーデルーネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーラント゛ー 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 - マトリート Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン – イェーテホリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン – ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イキ・リス - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820