

---

---

## ATmegaS128耐放射線MCUを使うSPIポート拡張器応用

---

---

### 序説

この応用記述は宇宙適格AVR<sup>®</sup>マイクロコントローラ(MCU)のATmegaS系統で直列周辺インターフェース(SPI)を使う耐放射線ポート拡張器応用の実装を記述します。目標はMCP23S17を機能的に模倣することです。ATmegaS128はATmega128民生部品の機能とピンが同じ変種で、完全なコードとツールチェーンの互換性を保証します。

ポート拡張器は制限された資源や性能の応用に自律的な追加出力能力を提供するのに使われます。これらは反復的な信号監視の主MCU作業を減らして基本的な選別操作を提供し、過度の中断なしにより多くの集中的な作業の処理に専念することを主MCU許します。何処にでも在るSPIインターフェースは便利で軽量の直列インターフェースを提供し、現在のMCU系統の殆どのデバイスに存在します。

### 前提条件

簡単な開発手順の採用を齎すにはMicrochip AVRデバイスとそれらに関連するツールチェーンの基本的な習熟が必要です。AVR megaS耐放射線MCUを使うことはMicrochipと一般的なウェブの両方で利用可能なこの良く知られている8ビットMCUの数十年の使用に渡って開発された膨大な知識に基づく資源からの恩恵があります。

### 参考文献

以下はより多くの情報のための参考文献です。

- ATmegaS128 : <https://www.microchip.com/en-us/product/ATMEGAS128>
- MCP23S17 : <https://www.microchip.com/en-us/product/MCP23S17>
- AVR<sup>®</sup>とSAMデバイス用Microchip Studio : <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/microchip-studio>
- MPLAB<sup>®</sup> X統合開発環境(IDE): <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide>
- ATMEL-ICE : <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/ATATMEL-ICE>
- STK600 : <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/ATSTK600>
- STK600-RC064M-9 : <http://www.microchip.com/developmenttools/ProductDetails.aspx?PartNO=ATSTK600-RC09>
- STK600-TQFP64 : <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/ATSTK600-SC02>
- AVR151応用基準 : [https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/Atmel-2585-Setup-and-Use-of-the-SPI\\_ApplicationNote\\_AVR151.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/Atmel-2585-Setup-and-Use-of-the-SPI_ApplicationNote_AVR151.pdf)

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。

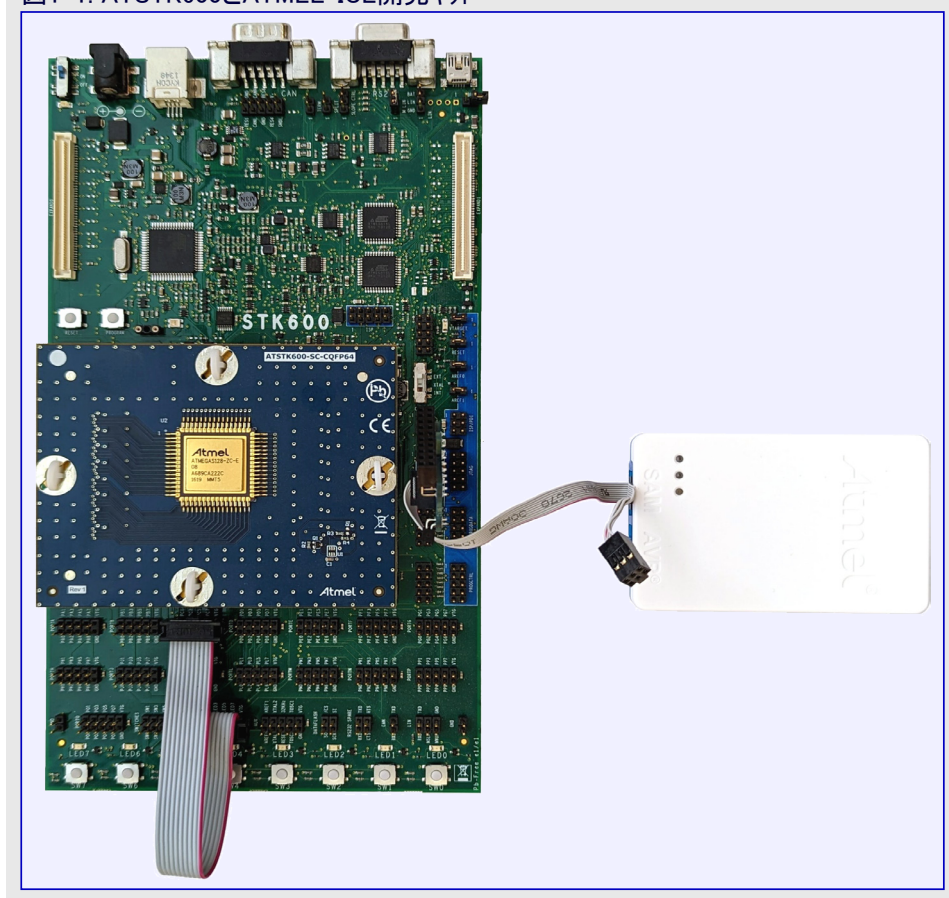
## 目次

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 序説                    | 1 |
| 前提条件                  | 1 |
| 参考文献                  | 1 |
| 1. システム要件             | 3 |
| 1.1. ハードウェア           | 3 |
| 1.2. ソフトウェア開発ツール      | 3 |
| 2. 応用                 | 3 |
| 3. 機能的な詳細             | 4 |
| 3.1. SPI連結パラメータ       | 4 |
| 3.2. SPI連結規約          | 4 |
| 3.3. SPI手順例           | 5 |
| 3.4. 模倣制限             | 5 |
| 3.5. 応答タイミング          | 5 |
| 3.6. 模倣されないMCP23S17機能 | 6 |
| 4. ハードウェアピン等価表        | 6 |
| 5. 改訂履歴               | 6 |
| Microchip情報           | 7 |
| Microchipウェブ サイト      | 7 |
| 製品変更通知サービス            | 7 |
| お客様支援                 | 7 |
| Microchipデバイスコード保護機能  | 7 |
| 法的通知                  | 7 |
| 商標                    | 8 |
| 品質管理システム              | 8 |
| 世界的な販売とサービス           | 9 |

## 1. システム要件

右図はATMEL-ICEデバッグと共にATmega128 RC-09配線基板とTQFP SC02ソケットカードで構成されたSTK600開発環境を示します。

図1-1. ATSTK600とATMEL-ICE開発キット



### 1.1. ハードウェア

この文書は以下のハードウェアの使用が前提です。

- Microsoft Windows®で走行しているコンピュータ
- ATSTK600 + ATSTK600-SC-TQFP64 (またはATSTK600-SC02)
- ATATMEL-ICEデバッグ

### 1.2. ソフトウェア開発ツール

AVR製品に対してはMicrochipから入手可能な次の2つ可能性がある統合開発環境(IDE)があります。

- 受け継がれたMicrochip Studio IDE: <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/microchip-studio>
- 最新のMPLAB-X IDE: <https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>

両方共に8ビットMCU用のMPLAB XC8コンパイラと共に働くことができます。: <https://www.microchip.com/mplab/compilers>

## 2. 応用

この企画の意図はATmegaS128耐放射線AVRマイクロコントローラのハードウェアとソフトウェアの資源を使ってポート拡張器の能力の実装のための基本的なソフトウェア枠組みを提供することです。機能的な基本として、直列インターフェースを持つMicrochipのMCP23S17 16ビットSPI入出力拡張器をソフトウェアで厳密に模倣します。詳細な機能的な記述についてはデバイスのデータシートを参照してください。

### 3. 機能的な詳細

以下の話題はSPIポート拡張器応用の機能的な詳細を説明します。

#### 3.1. SPI連結パラメータ

**SCK速度:** ATmegaS128のSPIハードウェアはやって来るSPIデータを正確に記録するのに最低4システムクロック周期が必要です。ATmegaS128の推奨される最大クロック周波数は3.3V供給基準で8MHzなので、SPIインターフェースのHighとLowの時間は250nsよりも大きくなければなりません。良好な細動余力を与えるため1MHzの最大主装置SPIクロック時間が推奨されます。

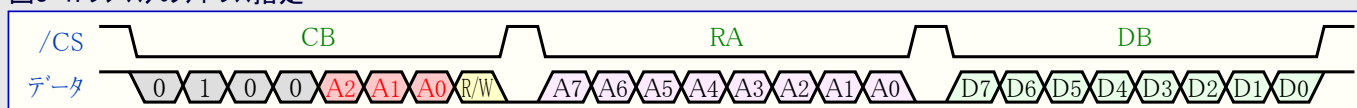
**SPI動作形態:** SPI動作形態0,0信号特性(SPI入力タイミング)についての情報に関しては[直列インターフェース付き16ビット入出力拡張器](#)のデータシートを参照)はATmegaS128のSPI従装置構成に対して採用されたCPOL=0、CPHA=0、DORD=0に対応します。

#### 3.2. SPI連結規約

MCP23S17拡張器は主装置SPI装置から、CB、RA、DBの3バイトのSPI命令手順によって駆動されます。

下図はレジスタのアドレス指定を示します。

図3-1. レジスタのアドレス指定



注: 赤文字のアドレスピン(A<sub>n</sub>)はIOCON.HAEN経由で許可/禁止されます。

##### 1. 制御バイト (CB)

SPI制御バイト形式についての情報に関しては[直列インターフェース付き16ビット入出力拡張器](#)のデータシート文書をご覧ください。

この命令手順の最初のバイトはデバイス制御バイト(CB)です。使用者定義されるハードウェアアドレスに応じて\$40~\$4Fがデバイスに対して有り得る有効な値です。このCBの最下位ビット(ビット0)は実行されつつあるのがREAD(読み込み)かまたはWRITE(書き込み)のどちらかを示します。残りの下位ニブル(ビット3~1)はATmegaS128ピンのPA2~PA0でアドレス指定するA2~0のハードウェアデバイスアドレスによって作られます。CBは有効なCBとして受け入れられるためにこのハードウェアアドレスと一致しなければなりません。無効なCBは単に破棄され、復号処理は始まりません。ATmegaS128が何れかの理由で同期を失う場合、一連の3偽装値(無効CB値)送出がこの同期を回復します。

##### 2. レジスタ アドレス (RA)

レジスタのSPIアドレス指定についての情報に関しては[直列インターフェース付き16ビット入出力拡張器](#)のデータシート文書をご覧ください。

SPI通信パケットの第2バイトはアドレス指定(読み書き)されるべきレジスタで、以下の表に対応します。

下表は制御レジスタ要約(IOCON.BANK=0)を示します。

表3-1. レジスタ要約

[制御レジスタ要約 (IOCON.BANK=0)]

| レジスタ名    | アドレス | ビット7   | ビット6   | ビット5   | ビット4   | ビット3   | ビット2   | ビット1   | ビット0   | POR/RST値  |
|----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| IODIRA   | \$00 | IO7    | IO6    | IO5    | IO4    | IO3    | IO2    | IO1    | IO0    | 1111 1111 |
| IODIRB   | \$01 | IO7    | IO6    | IO5    | IO4    | IO3    | IO2    | IO1    | IO0    | 1111 1111 |
| IPOLA    | \$02 | IP7    | IP6    | IP5    | IP4    | IP3    | IP2    | IP1    | IP0    | 0000 0000 |
| IPOLB    | \$03 | IP7    | IP6    | IP5    | IP4    | IP3    | IP2    | IP1    | IP0    | 0000 0000 |
| GPINTENA | \$04 | GPINT7 | GPINT6 | GPINT5 | GPINT4 | GPINT3 | GPINT2 | GPINT1 | GPINT0 | 0000 0000 |
| GPINTENB | \$05 | GPINT7 | GPINT6 | GPINT5 | GPINT4 | GPINT3 | GPINT2 | GPINT1 | GPINT0 | 0000 0000 |
| DEFVALA  | \$06 | DEF7   | DEF6   | DEF5   | DEF4   | DEF3   | DEF2   | DEF1   | DEF0   | 0000 0000 |
| DEFVALB  | \$07 | DEF7   | DEF6   | DEF5   | DEF4   | DEF3   | DEF2   | DEF1   | DEF0   | 0000 0000 |
| INTCONA  | \$08 | IOC7   | IOC6   | IOC5   | IOC4   | IOC3   | IOC2   | IOC1   | IOC0   | 0000 0000 |
| INTCONB  | \$09 | IOC7   | IOC6   | IOC5   | IOC4   | IOC3   | IOC2   | IOC1   | IOC0   | 0000 0000 |
| IOCON    | \$0A | BANK   | MIRROR | SEQOP  | DISSLW | HAEN   | ODR    | INTPOL | -      | 0000 0000 |
| IOCON    | \$0B | BANK   | MIRROR | SEQOP  | DISSLW | HAEN   | ODR    | INTPOL | -      | 0000 0000 |
| GPPUA    | \$0C | PU7    | PU6    | PU5    | PU4    | PU3    | PU2    | PU1    | PU0    | 0000 0000 |
| GPPUB    | \$0D | PU7    | PU6    | PU5    | PU4    | PU3    | PU2    | PU1    | PU0    | 0000 0000 |
| INTFA    | \$0E | INT7   | INT6   | INT5   | INT4   | INT3   | INT2   | INT1   | INT0   | 0000 0000 |
| INTFB    | \$0F | INT7   | INT6   | INT5   | INT4   | INT3   | INT2   | INT1   | INT0   | 0000 0000 |
| INTCAPA  | \$10 | ICP7   | ICP6   | ICP5   | ICP4   | ICP3   | ICP2   | ICP1   | ICP0   | 0000 0000 |
| INTCAPB  | \$11 | ICP7   | ICP6   | ICP5   | ICP4   | ICP3   | ICP2   | ICP1   | ICP0   | 0000 0000 |
| GPIOA    | \$12 | GP7    | GP6    | GP5    | GP4    | GP3    | GP2    | GP1    | GP0    | 0000 0000 |
| GPIOB    | \$13 | GP7    | GP6    | GP5    | GP4    | GP3    | GP2    | GP1    | GP0    | 0000 0000 |
| OLATA    | #14  | OL7    | OL6    | OL5    | OL4    | OL3    | OL2    | OL1    | OL0    | 0000 0000 |
| OLATB    | #15  | OL7    | OL6    | OL5    | OL4    | OL3    | OL2    | OL1    | OL0    | 0000 0000 |

注: この版の模倣ソフトウェアでは”IOCON.BANK=0”だけが模倣されます。

### 3. データバイト (DB)

手順の第3バイトは書き込み操作(制御バイトのビット0=0)の場合にSPI主装置によってアドレス指定したレジスタへ書かれるデータ値か、またはSPI従装置(ATmegaS128)からの応答バイトを読み戻す目的の偽装バイトのどちらかです。この応答バイトは有効なCB読み込み操作(CBのビット0=1)と共に2つ目のレジスタアドレスの受信に従って従装置によって準備されます。従装置が応答を供給するのに必要なレジスタ読み込み操作を完了する前に必要な僅かな遅延(<100µs)が当然あります。

**注:** MCP23S17のSPI連続書き込み/読み込み操作の模倣をしようとはしていません。バイト動作だけが模倣されます(バイト動作についての情報に関しては直列インターフェース付き16ビット入出力拡張器のデータシート文書をご覧ください)。

### 3.3. SPI手順例

IODIRBへのレジスタ書き込み手順例(デバイスアドレス '000'):

SPI MOSI = [\$40], [\$01], [\$0F]

SPI MISO = [\$xx], [\$xx], [\$xx] 即ち、気にしないで、応答は期待されません。

IODIRB = \$0F = GPIOB7~4は出力、GPIOB3~0は入力

GPIOAに対するレジスタ読み込み手順例(デバイスアドレス '000'):

SPI MOSI = [\$41], [\$12], 遅延 [\$xx] 即ち、\$xx=偽装値

SPI MISO = [\$xx], [\$xx], 遅延 [\$ZZ] 即ち、ZZ=GPIOAピン値

GPIOA入力ポートピン値読み込み

### 3.4. 模倣制限

ハードウェア デバイスのソフトウェア模倣は当然、速度と遅延の制限を与えます。これはシステム運用時に考慮されなければなりません。模倣は有用で高速ですが、(SPI経由の)命令実行時間が数10µsであることを理解しなければなりません。タイミング許容量はこれらのソフトウェア遅延に対して、SPI連結上のデータの転送でSPI主装置によって作られなければなりません。ソフトウェアのどの再コンパイルも結果としての実行コードのタイミングに影響を及ぼすことも理解されなければならず、故にSPI主装置の遅延タイミングを適度に大きく(長く)することが推奨されます。参照基準のため、XC8コンパイラの無料版で得られた結果でのいくつかのタイミング例が下で与えられます。

### 3.5. 応答タイミング

試供ソフトウェアはXC8 2.31版で次の任意選択でコンパイルされています。

```
-mcpu=ATmega128A -mdfp="C:\Program Files(x86)\Atmel\Studio\7.0\Packs\atmel\ATmega_DFP\1.6.364\
xc8" -c -x c -funsigned-char -funsigned-bitfields -mext=cci -D__ATmega128A__ -DDEBUG -O2
-ffunction-sections -fdata-sections -fpack-struct -fshort-enums -g3 -Wall
-MD -MP -MF "$(@:%.o=%.d)" -MT"$(@:%.o=%.d)" -MT"$(@:%.o=%.o)"
```

予めコンパイルされて供給された2進HEXファイルで作業せず、供給されたソースファイルの再コンパイルや編集を選ぶ場合、それらの評価された機能的なタイミングのいくつかを変えるかもしれません。多少の許された安全なタイミング余力を持ちますが、それらは指標だけで、新しい条件下でのどの編集や再コンパイルもタイミング結果を変え得ます。

推奨された8MHzのクロック速度でATmegaS128を動かすと仮定されます。SPIがハンドシェイク機構を持たないため、例えATmegaS128のSPI受信レジスタが2重緩衝されていても、速すぎる命令手順送出によってSPI従装置ハードウェアを溢れさせないことが重要です。

従装置SPIリセットから(妥当な安全性のためリセットから最低1msを許す)準備可まで250周期

書き込み操作は素早い連続での3つのSPI文字命令手順を読むために最適化されます。

読み込み操作は素早い連続で2つのSPI文字を取ることができますが、従装置からの応答を(正常に)終えるため、3つ目のSPI文字を送るのに先立ち、ATmegaS128によって準備される応答を待たなければなりません。

命令バイトは13周期処理します(レジスタアドレスバイトを送る前に5µs許すことを推奨)。

→ 5µs

レジスタアドレスバイトは10周期処理します(書き込みデータバイトを送る前に5µs許すことを推奨)。

→ 5µs

書き込み命令実行

→ 100µs (新しい命令手順を開始する前に更新されるレジスタとハードウェア待ち)

または、

→ 100µs (取得されるレジスタ内容待ち)

読み込み命令実行

→ 5µs (新しい命令手順を開始する前に一巡して元に戻るソフトウェア復号部待ち)

### 3.6. 模倣されないMCP23S17機能

情報については[直列インターフェース付き16ビット入出力拡張器](#)をご覧ください。

GPINTENB : なし

DEFVALB : なし

INTCONB : なし

IOCON : BANK=0, MIRROR=0, SEQOP=1, DISSLW=1, HAEN=1, その他のビットは機能します。

INTFB : なし

INTCAPB : なし

注: ATmegaS1218は8つの外部割り込み元を持つだけです。これらはGPIOA専用です。

## 4. ハードウェアピン等価表

次表はMCP23S17とATmegaS128に対する等価ハードウェアピンを一覧にします。

| 機能              | MCP23S17ピン (SOIC) | ATmegaS128ピン (QFP)             |
|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| GPIO            | GPB0 (1)          | PC0 (35)                       |
| GPIO            | GPB1 (2)          | PC1 (36)                       |
| GPIO            | GPB2 (3)          | PC2 (37)                       |
| GPIO            | GPB3 (4)          | PC3 (38)                       |
| GPIO            | GPB4 (5)          | PC4 (39)                       |
| GPIO            | GPB5 (6)          | PC5 (40)                       |
| GPIO            | GPB6 (7)          | PC6 (41)                       |
| GPIO            | GPB7 (8)          | PC7 (42)                       |
| 供給 +            | VDD (9)           | N/A (ATmegaS128データシートをご覧ください。) |
| GND             | VSS (10)          | N/A (ATmegaS128データシートをご覧ください。) |
| SPI従装置選択        | CS* (11)          | PB0/SS* (10)                   |
| SPI従装置クロック      | SCK (12)          | PB1/SCK (11)                   |
| SPI MOSI        | SI (13)           | PB2/MOSI (12)                  |
| SPI MISO        | SO (14)           | PB3/MISO (13)                  |
| 従装置アドレス選択0      | A0 (15)           | PA0/AD0 (51)                   |
| 従装置アドレス選択1      | A1 (16)           | PA1/AD1 (50)                   |
| 従装置アドレス選択2      | A2 (17)           | PA2/AD2 (49)                   |
| 全体リセット          | RESET* (18)       | RESET* (20)                    |
| 模倣されないINTB信号    | INTB (19)         | (なし)                           |
| ソフトウェア模倣のINTA出力 | INTA (20)         | PA3/AD3 (48)                   |
| GPIO/INT        | GPA0 (21)         | PD0/INT0 (25)                  |
| GPIO/INT        | GPA1 (22)         | PD1/INT1 (26)                  |
| GPIO/INT        | GPA2 (23)         | PD2/INT2 (27)                  |
| GPIO/INT        | GPA3 (24)         | PD3/INT3 (28)                  |
| GPIO/INT        | GPA4 (25)         | PD4/INT4 (6)                   |
| GPIO/INT        | GPA5 (26)         | PD5/INT5 (7)                   |
| GPIO/INT        | GPA6 (27)         | PD6/INT6 (8)                   |
| GPIO/INT        | GPA7 (28)         | PD7/INT7 (9)                   |

## 5. 改訂履歴

改訂履歴はこの文書で実装された変更を記述します。変更は最初の配給から始まる改訂によって一覧にされます。

| 文書改訂 | 日付       | 注釈 |
|------|----------|----|
| A    | 2022年11月 | 初版 |

## 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、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 2023.

本応用記述はMicrochipのAN4827応用記述(DS00004827A-2022年11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><br>2355 West Chandler Blvd.<br>Chandler, AZ 85224-6199<br>Tel: 480-792-7200<br>Fax: 480-792-7277<br>技術支援:<br><a href="http://www.microchip.com/support">www.microchip.com/support</a><br>ウェブアドレス:<br><a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>   | <b>オーストラリア - シドニー</b><br>Tel: 61-2-9868-6733<br><b>中国 - 北京</b><br>Tel: 86-10-8569-7000<br><b>中国 - 成都</b><br>Tel: 86-28-8665-5511<br><b>中国 - 重慶</b><br>Tel: 86-23-8980-9588<br><b>中国 - 東莞</b><br>Tel: 86-769-8702-9880<br><b>中国 - 広州</b><br>Tel: 86-20-8755-8029<br><b>中国 - 杭州</b><br>Tel: 86-571-8792-8115<br><b>中国 - 香港特別行政区</b><br>Tel: 852-2943-5100<br><b>中国 - 南京</b><br>Tel: 86-25-8473-2460<br><b>中国 - 青島</b><br>Tel: 86-532-8502-7355<br><b>中国 - 上海</b><br>Tel: 86-21-3326-8000<br><b>中国 - 瀋陽</b><br>Tel: 86-24-2334-2829<br><b>中国 - 深圳</b><br>Tel: 86-755-8864-2200<br><b>中国 - 蘇州</b><br>Tel: 86-186-6233-1526<br><b>中国 - 武漢</b><br>Tel: 86-27-5980-5300<br><b>中国 - 西安</b><br>Tel: 86-29-8833-7252<br><b>中国 - 廈門</b><br>Tel: 86-592-2388138<br><b>中国 - 珠海</b><br>Tel: 86-756-3210040 | <b>インド - ハンガロール</b><br>Tel: 91-80-3090-4444<br><b>インド - ニューデリー</b><br>Tel: 91-11-4160-8631<br><b>インド - フネー</b><br>Tel: 91-20-4121-0141<br><b>日本 - 大阪</b><br>Tel: 81-6-6152-7160<br><b>日本 - 東京</b><br>Tel: 81-3-6880-3770<br><b>韓国 - 大邱</b><br>Tel: 82-53-744-4301<br><b>韓国 - ソウル</b><br>Tel: 82-2-554-7200<br><b>マレーシア - クアラルンプール</b><br>Tel: 60-3-7651-7906<br><b>マレーシア - ペナン</b><br>Tel: 60-4-227-8870<br><b>フィリピン - マニラ</b><br>Tel: 63-2-634-9065<br><b>シンガポール</b><br>Tel: 65-6334-8870<br><b>台湾 - 新竹</b><br>Tel: 886-3-577-8366<br><b>台湾 - 高雄</b><br>Tel: 886-7-213-7830<br><b>台湾 - 台北</b><br>Tel: 886-2-2508-8600<br><b>タイ - バンコク</b><br>Tel: 66-2-694-1351<br><b>ベトナム - ホーチミン</b><br>Tel: 84-28-5448-2100 | <b>オーストリア - ウェルス</b><br>Tel: 43-7242-2244-39<br>Fax: 43-7242-2244-393<br><b>デンマーク - コペンハーゲン</b><br>Tel: 45-4485-5910<br>Fax: 45-4485-2829<br><b>フィンランド - エスポー</b><br>Tel: 358-9-4520-820<br><b>フランス - パリ</b><br>Tel: 33-1-69-53-63-20<br>Fax: 33-1-69-30-90-79<br><b>ドイツ - ガルヒング</b><br>Tel: 49-8931-9700<br><b>ドイツ - ハーン</b><br>Tel: 49-2129-3766400<br><b>ドイツ - ハイムブロン</b><br>Tel: 49-7131-72400<br><b>ドイツ - カールスルーエ</b><br>Tel: 49-721-625370<br><b>ドイツ - ミュンヘン</b><br>Tel: 49-89-627-144-0<br>Fax: 49-89-627-144-44<br><b>ドイツ - ローゼンハイム</b><br>Tel: 49-8031-354-560<br><b>イスラエル - ラーナナ</b><br>Tel: 972-9-744-7705<br><b>イタリア - ミラノ</b><br>Tel: 39-0331-742611<br>Fax: 39-0331-466781<br><b>イタリア - ハドバ</b><br>Tel: 39-049-7625286<br><b>オランダ - デルフト</b><br>Tel: 31-416-690399<br>Fax: 31-416-690340<br><b>ノルウェー - トロンハイム</b><br>Tel: 47-72884388<br><b>ポーランド - ワルシャワ</b><br>Tel: 48-22-3325737<br><b>ルーマニア - ブカレスト</b><br>Tel: 40-21-407-87-50<br><b>スペイン - マドリッド</b><br>Tel: 34-91-708-08-90<br>Fax: 34-91-708-08-91<br><b>スウェーデン - イェテボリ</b><br>Tel: 46-31-704-60-40<br><b>スウェーデン - ストックホルム</b><br>Tel: 46-8-5090-4654<br><b>イギリス - ウォーキングム</b><br>Tel: 44-118-921-5800<br>Fax: 44-118-921-5820 |
| <b>アトランタ</b><br>Duluth, GA<br>Tel: 678-957-9614<br>Fax: 678-957-1455<br><b>オースチン TX</b><br>Tel: 512-257-3370<br><b>ボストン</b><br>Westborough, MA<br>Tel: 774-760-0087<br>Fax: 774-760-0088<br><b>シカゴ</b><br>Itasca, IL<br>Tel: 630-285-0071<br>Fax: 630-285-0075<br><b>ダラス</b><br>Addison, TX<br>Tel: 972-818-7423<br>Fax: 972-818-2924<br><b>デトロイト</b><br>Novi, MI<br>Tel: 248-848-4000<br><b>ヒューストン TX</b><br>Tel: 281-894-5983<br><b>インディアナポリス</b><br>Noblesville, IN<br>Tel: 317-773-8323<br>Fax: 317-773-5453<br>Tel: 317-536-2380<br><b>ロサンゼルス</b><br>Mission Viejo, CA<br>Tel: 949-462-9523<br>Fax: 949-462-9608<br>Tel: 951-273-7800<br><b>ローリー NC</b><br>Tel: 919-844-7510<br><b>ニューヨーク NY</b><br>Tel: 631-435-6000<br><b>サンホセ CA</b><br>Tel: 408-735-9110<br>Tel: 408-436-4270<br><b>カナダ - トロント</b><br>Tel: 905-695-1980<br>Fax: 905-695-2078 |  |   |  |