
8ビットAVR[®]コアのデジタル信号処理性能

序説

著者: Lloyd D. Clark, Ph.D., Microchip Technology Inc.

8ビットAVR[®]マイクロコントローラは100を超える別個の命令でそれらの多くを単一クロック周期で実行することができます。AVR[®]コアの最近の実装は(megaAVR[®]デバイスだけでなく、tinyAVR[®] 0と1系統デバイスも)2周期ハードウェア乗算器を含みます。けれども、特に高位言語で書いてコンパイルするコードの影響が含まれる時に処理能力が現実世界での応用の性能にどう変換されるかは必ずしも明らかではありません。この白書はAVR[®]コアのいくつかのデジタル信号処理(DSP: Digital Signal Processing)応用を考察し、それらがどれ位のプロセッサ利用を必要とするかの数値を提供します。これらの応用はやって来るアナログ信号を周期的に採取するためにチップ上のA/D変換器(ADC)を使い、デジタル化した信号の処理を実行するのにAVR[®]コアを使います。これは応用が実時間で動いて到着採取速度について行かなければならないことを意味します。応用コードはCから呼ばれるいくつかのアセンブリ言語の16ビット×16ビット乗算関数を除いてCで書かれています。

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

序説	1
1. 関連デバイス	3
1.1. tinyAVR® 0系統	3
1.2. tinyAVR® 1系統	3
1.3. megaAVR® 0系統	3
2. 可聴周波数偏移変調復調器	4
3. 2倍採取速度とデジタル濾波器を持つASFK復調器	4
4. 8倍採取速度とデジタル濾波器を持つ近超音波FSK復調器	5
5. 結び	6
6. 改訂履歴	6
Microchipウェブサイト	7
お客様への変更通知サービス	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
DNVによって認証された品質管理システム	8
世界的な販売とサービス	9

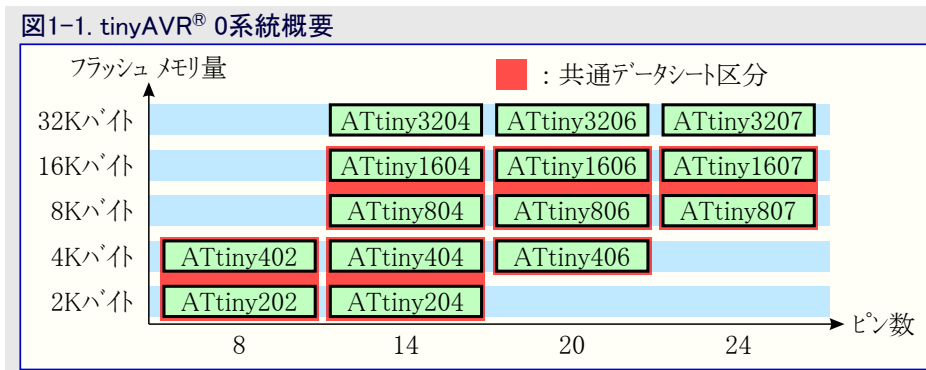
1. 関連デバイス

本章はこの資料に関連するデバイスを一覧にします。

1.1. tinyAVR[®] 0系統

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してtinyAVR[®] 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、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、従って利用可能な機能を減らします。

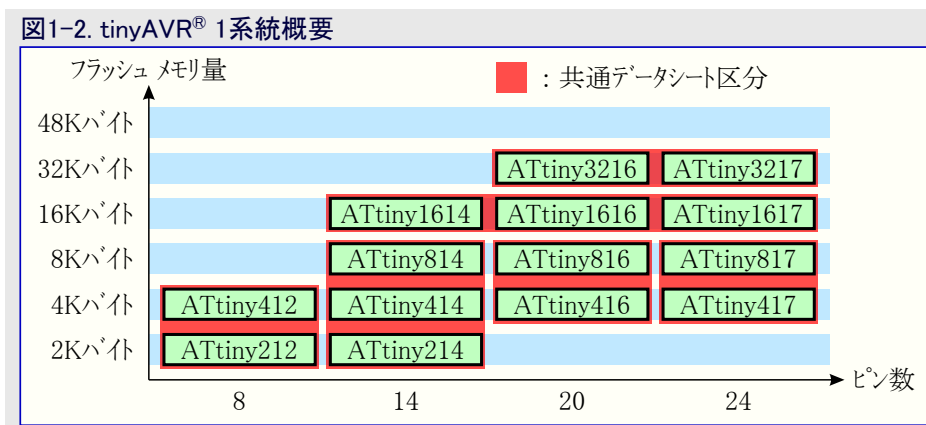


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.2. tinyAVR[®] 1系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してtinyAVR[®] 1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、垂直上方向移植はコード変更なしに可能です。下方向移植はより少ない利用可能ないくつかの周辺機能の実体のためにコード変更が必要かもしれません。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

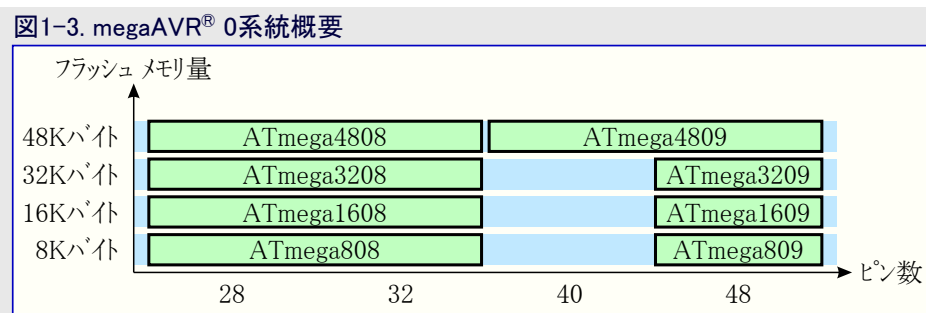


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.3. megaAVR[®] 0系統

右図はピン配置変種とメモリ量を展開してmegaAVR[®] 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、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、従って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の量を持ちます。

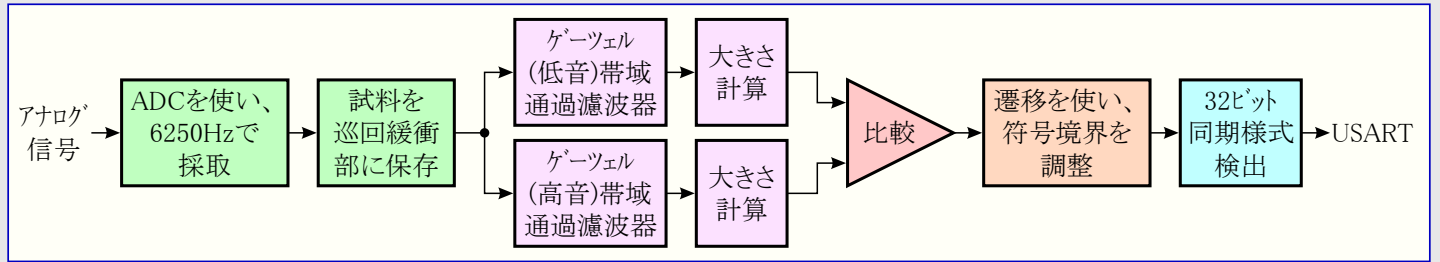
2. 可聴周波数偏移変調復調器

考察する最初の応用はAVR® ATmega328Pマイクロコントローラで動く特定領域メッセージ符号化(SAME: Specific Area Message Encoding)規約用の可聴周波数偏移変調(AFSK: Audio Frequency Shift Keying)です。規約と復調器設計の詳細な説明だけでなく、開始点として使われた第三者のCソースコードも以下のURL:<http://swfitek.com/avr/SAME/>で見つけることができます。

SAME AFSK規約ではビットが1.92msの持続時間で送信され、従って520.83bpsのビット速度です。論理レベルの0は1562.5Hzの可聴音の3周期で表され、論理レベルの1は2083.3Hzの可聴音の4周期で表されます。データ送信開始に先立って受信部がビット間の境界を容易に見つけることを許すために、送信の始めに16バイトの前置き部が送られます。

復調器が元々16MHzのクロック周波数で走行するATmega328Pデバイスでの実装だったとは言え、これは他のAVR®デバイスに対して容易に適合することができます。デバイスのタイマ/カウンタとADCは論理レベル0の周波数の4倍、論理レベル1の周波数の3倍、または6250Hzでやって来る可聴信号を採取するように構成設定されます。これは各ADC採取を処理するのに利用可能な(16MHz/6250Hz)=2560 CPU周期があることを意味します。復調器の構成図は下図で提供されます。

図2-1. 復調器構成図



新しいADC採取が受け取られる毎に、それは最近12個のADC採取(試料)の巡回緩衝部に追加されます。1つは論理レベル0の周波数を中心とし、他は論理レベル1の周波数を中心とする、2つのゲーツェル(Goertzel)帯域通過濾波器がその後に最近12個のADC試料で走行し、各濾波器に対する出力の大きさ計算が後続します。2つの濾波器の出力の大きさは受信した信号が論理レベル0または論理レベル1のどちらを表すかを判断するために比較されます。前置き部のビット遷移を見つけるのとそれらに対して同期するためにいくつかの追加処理が実行されます。同期が達成された後、復調されたADC文字がUSARTに出力されます。

AVR®コアの性能はAtmel Studio 7.01645を用いてATmega328P Xplained Mini評価キットでそれを走らせることによって決められました。プロセッサ使用率を測定するためのいくつかの計算を含むのと、送信部での周波数誤差の許容をより多くするためにコードに対していくつかの些細な変更が行われました。(変更したコードだけでなく、この資料の後の章で使われるコードも、Microchipウェブサイトのこの白書と連携する[FSK_demod_code_for_AVR_core.zip](#)ファイルで見つけることができます。)最悪の場合、ADC試料を得て処理するのに749 CPUクロック周期が必要とされることが分かりました。この数値は濾波と同期の動作だけでなく、復調された文字のUSARTでの送出手間も含まれます。ADC採取(試料)当たり2560 CPU周期あることが与えられると、これは(749/2560)×100=29.3%のCPU使用率です。

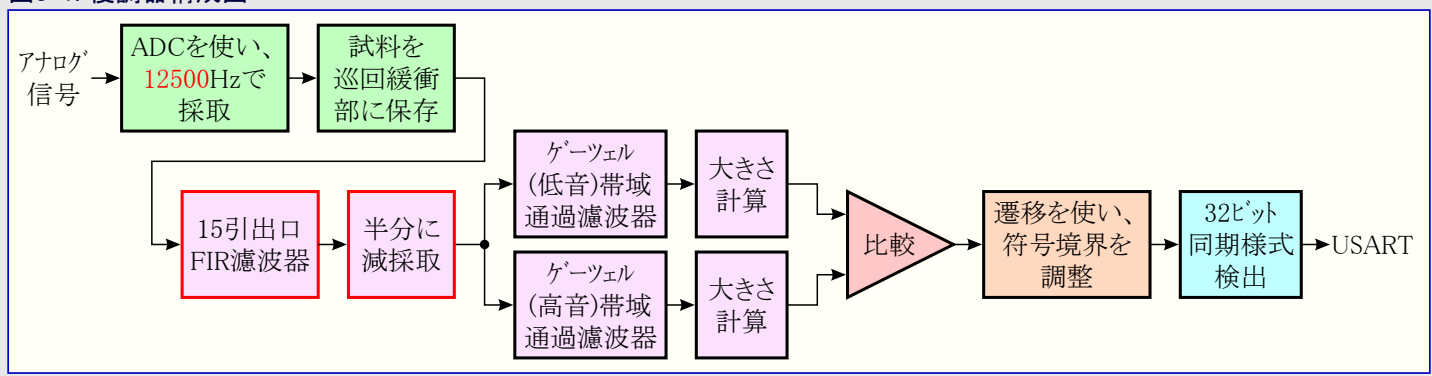
この結果を解釈するのにいくつかの異なる見方があります。これは応用に追加機能を加えることが望まれた場合に概ね70%のAVR®コア処理能力が未だ利用可能であることを意味します。別の解釈はAFSK復調器の機能を妥協することなく電力消費を減らすためにCPUクロック周波数を16MHzから4.8MHzに落とすことができることです。更に別の解釈は、CPUクロックが16MHzに留まるなら、最大1.77 kbpsのビット速度を達成するために最大3.4倍の係数によってAFSKビット速度、可聴周波数、ADC採取速度のパラメータを調整することができることです。

3. 2倍採取速度とデジタル濾波器を持つAFSK復調器

前の章で検討されたAFSK復調器は採取速度の半分以上の周波数(6250Hz/2=3125Hz)の折り返し歪(エイリアシング)を防ぐためのどんなデジタル濾波器も持ちません。例えば、4687.5Hzの周波数でやって来るアナログ信号で音調妨害があると想像してください。採取速度が6250Hzのため、一旦4687.5Hzのアナログ音調が採取されると、それは(6250-4687.5)Hz=1562.5Hzの折り返し歪周波数でデジタル領域に現れるでしょう。これがFSK論理レベル0信号と同じ周波数のため、FSK復調器を妨害し、正しい機能を妨げます。この妨害を防ぐために前の復調器コードが持つ唯一の選択は、3125Hz以上の信号周波数を減衰するためにADC入力に先立ってハードウェアでアナログ濾波器を追加することです。

代替手法はより高い速度でアナログ信号を採取し、3125Hz以上の周波数を減衰するためにいくつかのデジタル濾波を実行し、その後に信号を減採取(ダウン サampling)することです。減採取された信号はその後に前のように復調することができます。前章で記述されたAFSK復調器コードは開始点として取られ、その後にこの手法を使うように変更されました。この変更された復調器の構成図が次図で提供されます。

図3-1. 復調器構成図



変更されたコードは以前の6250Hzの採取速度の倍の12500Hzでやってくるアナログ信号を採取するのにADCを使います。12500Hzの試料は3125Hzの切断周波数の向こう側を44dBよりも大きな減衰を持つように設計された15引出口の有限インパルス応答(FIR:Finite Impulse Response)濾波器を通して渡されます。FIR濾波器の引出口は10ビット精度で実装され、ADC値は10ビット分解能を持ち、故にFIR濾波器の実装では16ビット×16ビット乗算が使われます。FIR濾波器の出力は元の6250Hzの採取速度での信号を作り出すために2の係数によって減採取され、その後これが6250Hz採取速度用に設計された元のFSK復調器コードに供給されます。

4687.5Hzで妨害する正弦波信号とで今や何が起こるかを考察してください。それが12500Hzで採取されるので折り返し歪にされず、これは採取された信号の版に於いて4687.5Hzで現れます。FIR濾波器が3125Hz以上の周波数で44dbより大きな減衰を持つので、妨害信号はFIR濾波器の出力で元の振幅の1%未満に減らされます。信号が6250Hzに減採取された後、折り返し歪がその後起きて信号が1562.5Hzで現れますが、これはせいぜいFSK復調器性能で無視できる程の影響しか持たない程度に振幅に於いて減らされています。

16MHzのAVR[®]コアクロックで12500Hzへ採取速度を倍にすることは、今やADC採取毎に $(16\text{MHz}/12500\text{Hz})=1280$ CPU周期数が利用可能であることを意味します。このコードのCPU使用率はADC採取当たり多くても792採取で、 $(792/1280) \times 100=62\%$ のAVR[®]コア使用率であることが分かりました。

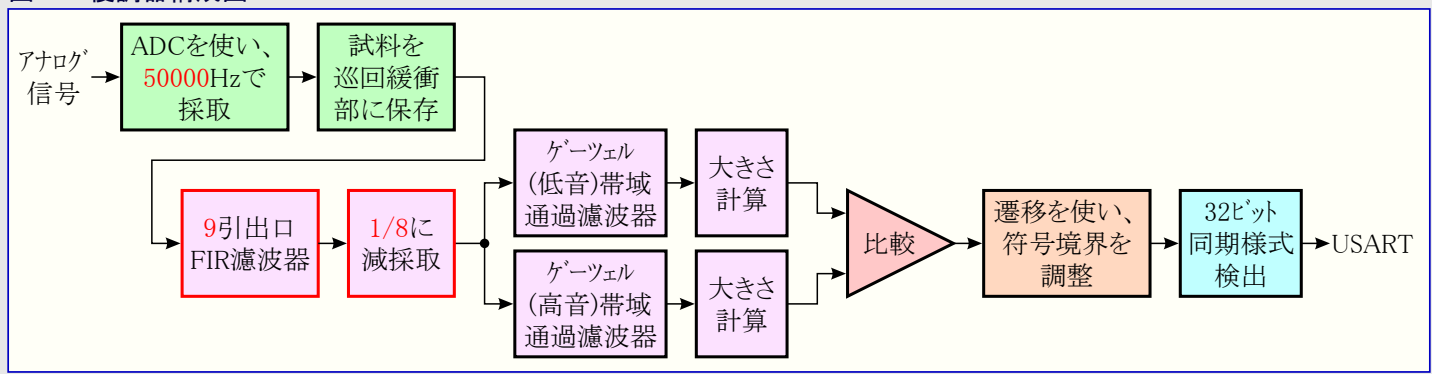
これまでのように、この数値は様々なように解釈することができます。これは応用に機能を追加するために未だコアの38%が利用可能なことを意味します。別の解釈はAFSK復調器の機能を妥協することなくCPUクロック周波数を16MHzから10MHzに落とすことです。更に別の解釈は、CPUクロックが16MHzに留まるなら、最大883bpsのFSKビット速度を達成するために最大1.6倍の係数によってAFSKビット速度、可聴周波数、ADC採取速度のパラメータを調整することができることです。

4. 8倍採取速度とデジタル濾波器を持つ近超音波FSK復調器

応用コードはもっと冒険するFSK信号、未だ1.92msの持続時間を持ちますが、論理レベル1用に16666.7Hz、論理レベル0用に17187.5Hzの近超音波周波数を復調するよう、更に変更されました。これは1.92msのビット間隔間で正確に32または33周期の正弦波に対応します。

この応用のために、デバイスのタイマ/カウンタとADCは50kHzの周波数でアナログ信号を採取するように構成設定されます。この復調器の構成図が下図で提供されます。

図4-1. 復調器構成図



割り込み処理ルーチンはやって来るADC採取(試料)をそれらが主処理繰り返しによって処理することができるように循環緩衝器に保存します。主処理繰り返しでは、信号から代表的な人の声の周波数が取り除かれるように10kHz以下を40dbよりも多く減衰するように設計された9引出口のFIR濾波器を通して50kHz採取(試料)が渡されます。FIR濾波器の引出口は10ビット精度で実装され、ADC値は10ビット分解能を持ち、故にFIR濾波器の実装では16ビット×16ビット乗算操作が使われます。

FIR濾波器の出力は6259Hzでの信号採取に帰着する、8の係数によって減採取されます。16666.7Hzと17187.5Hzの近超音波周波数は減採取された信号に於いて、各々、 $(3 \times 6250 - 16666.7) = 2083.3\text{Hz}$ と $(3 \times 6250 - 17187.5) = 1562.5\text{Hz}$ の折り返し歪にされます。これは元のFSK復調器コードがこの点から先へ未だ使うことができることを意味します。

16MHzで走行するコアが与えられると、これは50kHz ADC採取間隔当たり320 CPU周期と6250Hz減採取間隔当たり2560 CPU周期があることを意味します。プロセッサ使用率は次のように判断されました。

- ・ 割り込み処理ルーチン : 50kHz当たり65周期= $(65/320) \times 100\% = 20.3\%$ CPU使用率
- ・ 9引出口FIR濾波器と付随処理 : 6250Hz減採取当たり468周期= $(468/2560) \times 100\% = 18.3\%$ CPU使用率
- ・ (USART送出手を含む)FSK復調器 : 6250Hz減採取当たり718周期= $(718/2560) \times 100\% = 28.0\%$ CPU使用率

そして総CPU使用率は $20.3\% + 18.3\% + 28.0\% = 66.6\%$ で、故に望まれるならばCPUの約1/3が未だ他の処理のために利用可能です。代わりに、復調器に影響を及ぼすことなく、プロセッサクロックを16MHzから10.7MHzに落とすことができます。プロセッサクロックが16MHzに留まるなら、FSKビット速度と周波数は最大1.5倍の係数によって比例して調整することができます。

5. 結び

AVR®コア使用率の結果が下表でようやくされます。多くのAVR®デバイスが上限としてこのクロック速度を持つため、20MHzのCPUクロック用の列も提供されます。

表5-1. AVRコア使用率の結果

復調器形式	ADC採取速度	FIR濾波器引出口数	減採取係数	AVR®コア使用率	
				16MHzクロック	20MHzクロック
AFSK	6250Hz	-	1	29.3%	23.4%
濾波器追加AFSK	12500Hz	15	1/2	61.9%	49.5%
近超音波FSK	50000Hz	9	1/8	66.6%	53.3%

これらの結果は例え応用がいくつかのデジタル信号処理を必要とし、高位言語で書かれたとしても、8ビットAVR®コアが高水準の性能の能力があることを追認します。次回、ADCでアナログ信号を採取してその信号のいくつかの処理を実行することを必要とするプロジェクトに対してマイクロコントローラを評価する時に、8ビットAVR®マイクロコントローラでそれを試作することを考慮してください。低電力消費と安価と結合したその性能はあなたを驚かさすかもしれません。

6. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
A	2018年5月	初版資料公開
B	2018年9月	文書表題変更といくつかの図更新

Microchipウェブ サイト

Microchipは<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手段として使われます。お気に入りのインターネット ブラウザを用いてアクセスすることができ、ウェブ サイトは以下の情報を含みます。

- **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相談役プログラム員一覧
- **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

お客様への変更通知サービス

Microchipのお客様通知サービスは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<http://www.microchip.com/>でMicrochipのウェブ サイトをアクセスしてください。”Support”下で”Customer Change Notification”をクリックし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
- 現場応用技術者(FAE:Field Application 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、または現場応用技術者(FAE)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<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、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- コード保護機能を破るのに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全ては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です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と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らのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を”破ることができない”として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。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。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

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれ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。Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、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**。Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。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、Mcirochipロゴ、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoqロゴ、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-Wire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、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、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。

Silicon Storage Technology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。

© 2018年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

DNVによって認証された品質管理システム

ISO/TS 16949

Microchipはその世界的な本社、アリゾナ州のチャンドラーとテンペ、オレゴン州グラシャムの設計とウェハー製造設備とカリフォルニアとインドの設計センターに対してISO/TS-16949:2009認証を取得しました。当社の品質システムの処理と手続きはPIC[®] MCUとdsPIC[®] DSC、KEELOQ符号飛び回りデバイス、直列EEPROM、マイクロ周辺機能、不揮発性メモリ、アナログ製品用です。加えて、開発システムの設計と製造のためのMicrochipの品質システムはISO 9001:2000認証取得です。

日本語© HERO 2020.

本白書はMicrochipのAN2701白書(DS00002701B-2018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。



MICROCHIP

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: http://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 - 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 - 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 - ウェルス Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4450-2828 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: 49-7131-67-3636 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 - ハドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルネン 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			