

AVR104：緩衝された割り込み制御EEPROM書き込み

要点

- 柔軟な複数バイトEEPROM緩衝部
- 電力効率的なEEPROM入出力
- 緩衝部上の入出力制御
- EEPROM緩衝部再書き込み

序説

多くの応用はシステムから電力が取り去られる時にシステム情報を保護し、それ故回復するためにAVRの組み込みEEPROMを使います。チップ上のEEPROMにデータの単一バイトを格納するためのプログラミング時間は3～8.5msで、従って書き込みはこの書き込み時間によって強制されます。代表的に、EEPROM書き込み実装はEEPROM書き込みが完了される時を決定するのにポーリング法を利用します。本応用記述はポーリング実装と比べてかなり一般的な性能を増し、電力消費を減らす、緩衝された割り込み駆動近接手法を示します。

改善された性能と低減された電力消費は、ポーリングルーチンに対する割り込み駆動EEPROMルーチン実装時に必要な実行付随作業の低減に直接関連します。ポーリングEEPROM書き込みの実装時、(割り込み駆動のものを除いて)全ての処理資源がポーリングによって占有されます。割り込み駆動近接手法は何れかのコードを実行するためにMCUコアを自由にしておくと同時に、直前の書き込みが完了されると直ぐに処理ルーチンを起動するためのEEPROM割り込みを待ちます。従って、割り込み駆動のEEPROM書き込みは、ポーリング使用と比べて書かれるバイト毎に8.5msまでの処理時間を自由にします(使うデバイスのプログラミング時間とシステムクロック周波数に依存)。

動作の理屈

AtmelのAVRデバイスはポーリングによってまたは割り込み駆動手法のどちらかを通してチップ上のEEPROMに書く能力を持ちます。両方の方法はそれらの優位性を持ちますが、総合的な処理能力と/または単位時間処理力に関する限り、割り込み駆動手法が選り抜きの方法です。

ポーリング法

ポーリング サブルーチンは読み書きの両方で直前の書き込み周期が完了されたことを検証するためにEWE状態ビットをポーリングします。書き込み周期が未だ処理中なら、MCUは処理解除を待つ状態ビットを絶えずポーリングする繰り返して待ちます。自己プログラミング操作が活動かそうでないかを調べる必要もあります。自己プログラミングが未使用なら、この段階は省略できます。一旦解除が許可されると、次のEEPROM操作が始められます。ポーリング実装の優位点は簡潔なコードで、一方不利な点はMCUがEEPROM書き込みに対して実行可能になるのを待つことに費やす時間、または付随作業です。参照用に代表的な単一バイト書き込みサブルーチンが以下で一覧されます。

* EEPROM書き込みサブルーチン *

```
EEPROM_WR: SBIC    EECR, EWE    ; EWE=0でスキップ
             RJMP    EEPROM_WR ; 直前書き込み完了まで待機
;
;           (自己プログラミング未使用なら以下2行削除)
SPM_BUSY:  SBIC    SPMCR, SPEN  ; SPEN=0でスキップ
             RJMP    SPM_BUSY  ; SPM操作完了まで待機
;
             OUT    EEARH, R18 ; アドレス上位バイト設定
             OUT    EEARL, R17 ; アドレス下位バイト設定
             OUT    EEDR, R16  ; データバイト設定
             CLI     ; 全割り込み禁止
             SBI    EECR, EEMWE ; 主書き込み許可
             SBI    EECR, EWE   ; EEPROM書き込み開始(要4クロック周期)
             SEI     ; 全割り込み許可
             RET    ; 呼び出し元へ復帰
```



8-bit **AVR**[®]
マイクロコントローラ

応用記述

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、Atmel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。

Rev. 2540A-07/03, 2540AJ4-03/21

割り込み法

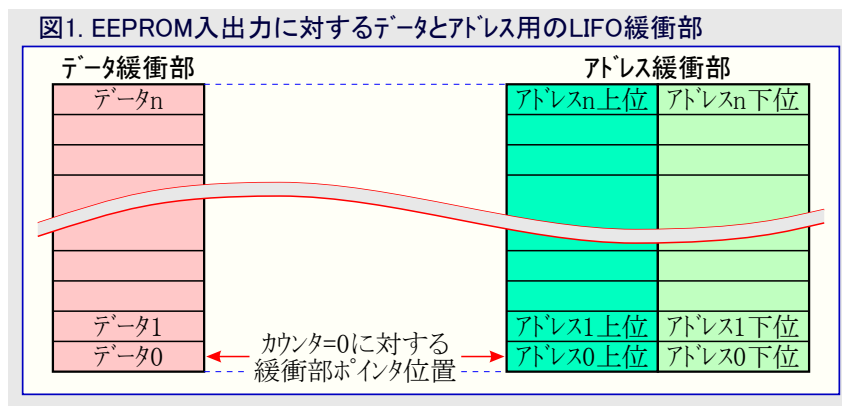
割り込み駆動法では直前の書き込み周期が完了されたかどうかを検証するためのEWE状態ビットポーリングが必要ありません。EEPROM操作可割り込みはEWE状態ビットが解除(0)されている時に絶えず起動されます。けれども、自己プログラミングが使われる場合、自己プログラミング操作が現在活動していないのを確認するために、SPMEN状態ビットのポーリングが未だ必要です。割り込み駆動手法の主な優位点は必要な時に専用ハードウェアが処理力を要求できることで、これはプロセッサ負荷を減らします。

割り込み駆動EEPROM入出力は緩衝部が使われる場合にもっと効率的にされます。緩衝部はEEPROMへ書かれるべき値を保持し、割り込み処理ルーチンが緩衝部からデータを取って来ます。

割り込み処理ルーチンの複雑さはEEPROMに書かれるバイト数に関連します。このルーチンは単一バイトの緩衝部に関してむしろ簡単ですが、複数バイトが書かれるのを必要とする時にルーチンはもっと複雑になります。複数バイトを収容するために、カウンタ変数を伴って構成される必要があるでしょう。カウンタは現在使用中の位置数を見失わないようにする責任があります。従って、カウンタは緩衝部指示ポインタとしても働きます。

緩衝部構成

複数バイト書き込み用の割り込み駆動法を簡単且つ強化するための努力で、チップ上のSRAMに属する2つの緩衝部が構成されるでしょう。2つの緩衝部はチップ上のEEPROMでのそれらの配置に先行するアドレスとデータバイトを保持する責任があります。ATmega系統での最小EEPROMは512バイトで、故に2バイトのアドレスを必要とし、従って1バイトのEEPROM緩衝部に対する総容量はチップ上のSRAMの3バイトです。



緩衝容量

緩衝されたEEPROM書き込み実装の主な考慮の1つは対応する緩衝部の容量です。緩衝容量は要求されたEEPROMアドレスが緩衝部内に既に配置されている場合、探すために緩衝部を縦走する必要があるため、性能に影響を及ぼします。そうならば、書き込みで位置を更新するか、または読み込み操作で位置の内容を返すかする必要があります。

EEPROMは最適な緩衝容量を決定することでの役割も果たします。行われている、そして/または更新された多数のEEPROMバイトとEEPROMの役割を含めて考慮がなされなければなりません。短い時間の間に多数のバイトがEEPROMに書かれる場合、緩衝部はそれらの内容をEEPROMへ書くことによって実際に位置を一掃することなく、それらの要求を収容するために充分大きくすべきです。

最適な緩衝容量を決めるために特定の方法を提供するのは、この応用記述の範囲外です。緩衝容量は応用による応用を基礎にして評価される必要があります。上で示した指針は最適な緩衝容量がどの範囲で決めるかを助けるために充分な洞察力を提供します。

緩衝の重要性

チップ上のEEPROMに書かれるべき内容を緩衝する時に、2つの特別な状態が考慮されなければなりません。最初は、EEPROMの読み書きが必要とされるが、更新された値が緩衝部内に含まれ、且つEEPROMに書かれていない時に何が起きるかを決定される必要があります。

分離された読み書きルーチンは作成を必要とし、そしてそれは求められた位置が緩衝部内に含まれているかどうかを調べるために最初に緩衝部を縦走します。求められた位置が緩衝部内に存在する場合、読み書き命令が終わったなら各々、データが返されるか、または更新されるでしょう。その位置が緩衝部内に存在しない場合、読み込み命令はEEPROMにアクセスして要求された値を返します。けれども、書き込み命令が出される場合、データは未使用緩衝部位置に置かれ、EEPROM書き込みに対する順番待ちにされます。

EEPROM使用に関する一般

EEPROM書き込みに緩衝割り込み駆動適用の主要な危険性は電力不足にあります。システムが緩衝割り込み駆動法を利用し、電力損失が起ると、SRAMなので緩衝部全体が完全に失われ、それにより、EEPROM用のデータとアドレスの緩衝部が電力損失によって解除されます。従って、電力損失の結果は注意深く分析されるべきで、不揮発性データの損失を避ける方法の考慮がなされなければなりません。

AVRの休止形態は、デバイスが休止から起動復帰する時にレジスタファイルとSRAMの内容が無変化にされるため、緩衝部の内容に影響を及ぼしません。けれども、EEPROM操作可割り込み処理ルーチン(EE_RDY ISR)はAVRの休止形態使用時に追加の考慮をされなければなりません。EEPROM操作可割り込み処理ルーチンはMCUがアイドルまたはA/D変換雑音低減動作のどちらかの時にデバイスを起動復帰しますが、他の休止形態からは行いません。応用内で他の休止形態使用の可能性を標準で加えるため、データがEEPROM緩衝部内に置かれている場合に休止形態が変更されます。休止形態は緩衝部が空にされる時にその直前の状態に戻されます。これは当然、EEPROM緩衝部がデータを含んでいる間、休止形態は変更されるべきでないことを意味します。これはEEPROM書き込みの必要条件に合致するために(形態)種別が変更されるかの考慮なしでのSLEEP命令実行を応用の残りに許します。

実際にEEPROM書き込み操作を実行する時を決める予防処置が取られなければなりません。自己プログラミング活動中はEEPROM書き込みが不可能です。従って、EEPROM書き込みは自己プログラミングが終了されるまで留保されます。更にEEPROM化けを避けるために、低VCC期間での書き込みを避けることが推奨されます(更なる詳細についてはデバイスのデータシートをご覧ください)。

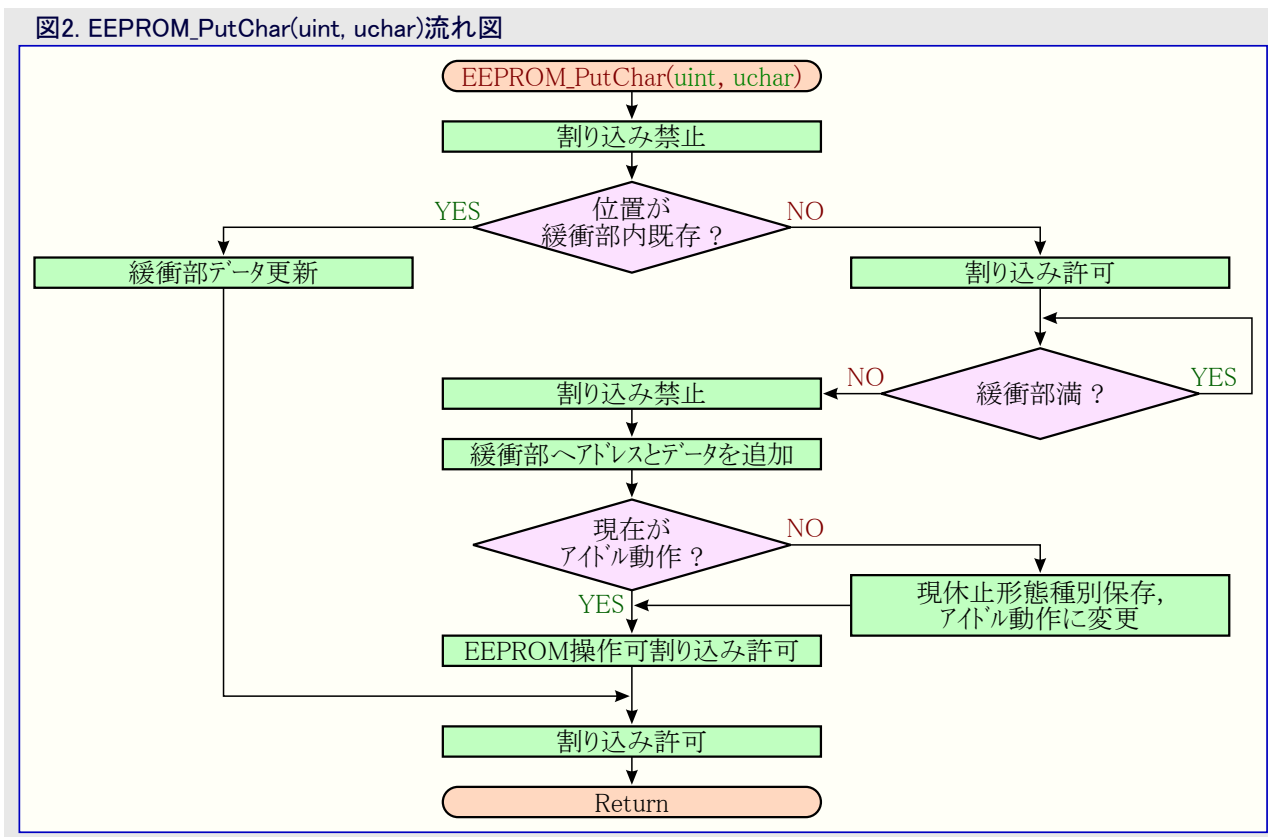
実装

緩衝割り込み制御EEPROM書き込み例の実装はIAR SystemsのEWAVR v2.28Aコンパイラが対象とされています。けれども、少しの修正だけで、ソースコードはImageCraft, CodeVisionAVRや選り抜きの他のどんなコンパイラに対しても再対象とされるでしょう。

このコード例は2つの関数と割り込み処理ルーチンから成ります。EEPROM_PutChar()はEEPROMに書かれるべく求められた内容を緩衝部内に配置します。EEPROM_GetChar()関数は求められたEEPROM位置のデータを探して持って来てそれを返します。最後に、EE_RDY割り込み処理ルーチンはEEPROM書き込みを取り扱う責任があります。

後続する流れ図はEE_RDY割り込み処理ルーチンだけでなくEEPROM_PutChar()とEEPROM_GetChar()関数の詳細仕様も概説します。

図2. EEPROM_PutChar(uint, uchar)流れ図

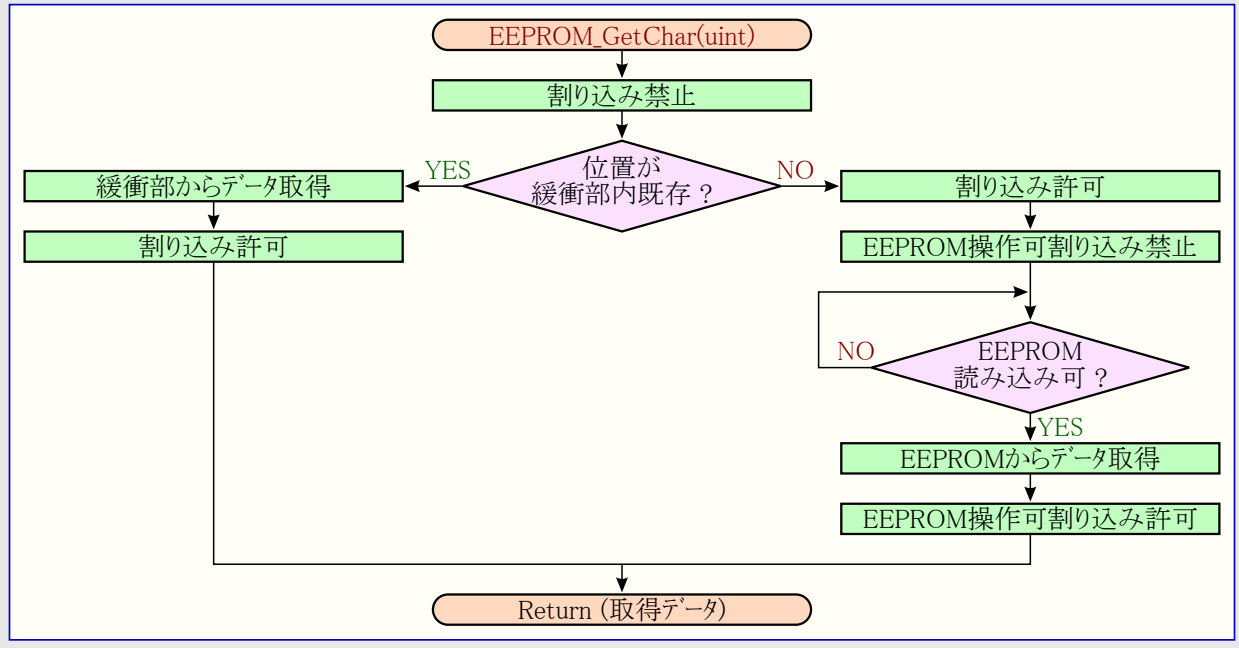


EEPROM_PutChar()ルーチンに移行すると、求められた位置検索が最初に緩衝部を縦走します。その位置が既に緩衝部内にあるなら、その位置のデータ部が新しいデータで単に更新されて主プログラムに戻ります。その位置が緩衝部内に含まれないなら、目的位置とデータ部の両方は緩衝部内に配置する必要があります。両方の場合で、修正中の間にEEPROM割り込み処理ルーチンが緩衝部を入出力しないことを保証するために、更新の間は割り込みが禁止されます。

新しい位置とデータ部を緩衝部へ配置する前に緩衝部は空きを調べられる必要があります。空気が利用可能なら、内容が追加でき、関数は主プログラムに戻ります。けれども、緩衝部が一杯なら、割り込み駆動EEPROM書き込みが開始されます。一旦書き込みが完了されて緩衝部内の位置が開放されると、求められた内容が追加され、関数は主プログラムへ戻ります。

更に、EEPROM_PutChar()関数はEEPROM操作可割り込みを許可し、主ルーチンへの復帰前に休止をアイドルでの動作に設定します。

図3. EEPROM_GetChar(uint)流れ図



一旦EEPROM_GetChar()ルーチンに移行すると、指定した位置検索が最初に緩衝部を解析します。その位置が緩衝部内で見つかり、その位置に対応するデータが取って来られて、この関数から返されます。その位置が緩衝部内で見つけれない場合、ルーチンは指定アドレスに対するEEPROMからの取得値を返します。緩衝部がEEPROMに引き渡されていない更新するEEPROMデータを含むため、最初に緩衝部が解析されます。

EE_RDY割り込み処理ルーチンで何かの活動を開始する前に、自己プログラミング操作が現在活動かを調べる必要があります。もしそうならば、EEPROM書き込みは自己プログラミング操作が完了されるまで開始できません(自己プログラミング機能を使わない設計なら、この段階が省略できます)。

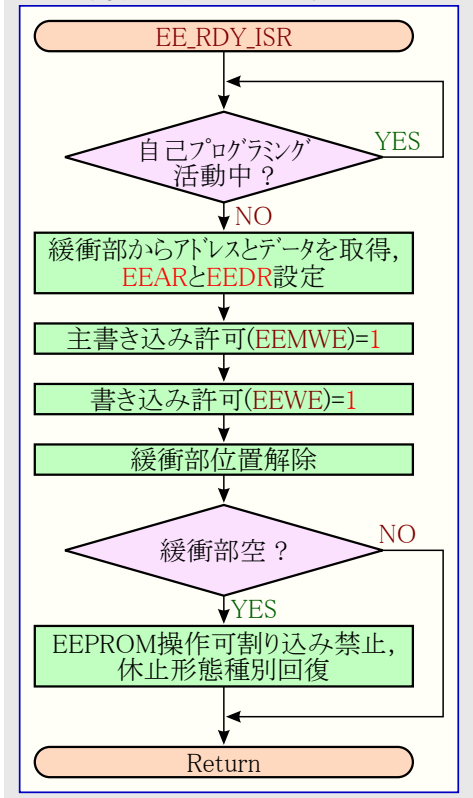
EEPROM書き込み起動可の確定後、EEPROM書き込みを開始するために以下で表される簡単な手法に従います。

1. **EEAR**に新しいEEPROMアドレスを書いてください。
2. **EEDR**に新しいEEPROMデータを書いてください。
3. **EECR**内の**EEMWE**ビットへ論理**1**を、同時に**EEWE**ビットへ論理**0**を書いてください。
4. **EEMWE**設定後の4クロック周期内に**EEWE**へ論理**1**を書いてください。

EEWEが設定(1)されると、MCUは次の命令が実行される前に2周期停止されます。書き込みアクセス時間が経過すると、**EEWE**ビットはハードウェアによって解除(0)されます。MCU停止に続いて、その後割り込み処理ルーチンはサブルーチンからの復帰に先立ってアドレスに\$FFFF、データに\$FFを書くことによって今回書かれたEEPROM緩衝部の要素を空にします。

緩衝部(全体)が空にされた場合、EEPROM操作可割り込みが禁止され、休止形態はデータが緩衝部に存在していなかった時にEEPROM_PutChar()関数の呼び出しに先行して選択されていた動作種別に設定し戻されます。

図4. EEPROM操作可(EE_RDY)割り込み処理ルーチン流れ図



コード量

緩衝割り込み制御EEPROM書き込みドライバのコード量は下表で詳述されます。

表1. コードのメモリ量

メモリ種別	最適化なし	容量最適化	速度最適化
コード (フラッシュメモリ)	440	388	418
データ (SRAM) (注)	50	50	50

注: 緩衝容量=16

強化の可能性

この設計で使った緩衝部は一般的にスタックとみなせる後入れ先出し(LIFO: Last In First Out)です。LIFO法のため、スタック緩衝法では未書き込み残留データの可能性があります。この緩衝部は先入れ先出し(FIFO: First In First Out、または待ち行列(キュー)として知られる)作成に変更できます。待ち行列緩衝部の実装はより古いデータが最初に書かれることを保証しますが、付随作業のコードでかなりの増加が必要とされるでしょう。

代わりに、データ優先化によって重要なデータがプログラムされる(書かれる)ことを保証し得ます(そしてそれは電力損失の回復で助力し得ます)。優先化の仕組みは、アドレス語の上位ビット(それらが未使用として)、または優先レベルを含むビット領域の別形式の使用のどちらかを利用することによって容易に実装できます。EEPROMへのデータ引渡しの変更で、その後の割り込みサブルーチンは最初に高優先位の値を全て、続いて低めた優先順の値を書くでしょう。



本社

Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

国外営業拠点

Atmel Asia

Unit 1-5 & 16, 19/F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2245-6100
FAX (852) 2722-1369

Atmel Europe

Le Krebs
8, Rue Jean-Pierre Timbaud
BP 309
78054 Saint-Quentin-en-Yvelines
Cedex
France
TEL (33) 1-30-60-70-00
FAX (33) 1-30-60-71-11

Atmel Japan

104-0033 東京都中央区
新川1-24-8
東熱新川ビル 9F
アトメル ジャパン株式会社
TEL (81) 03-3523-3551
FAX (81) 03-3523-7581

製造拠点

Memory

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

Microcontrollers

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3
France
TEL (33) 2-40-18-18-18
FAX (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-42-53-60-00
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR
Scotland
TEL (44) 1355-803-000
FAX (44) 1355-242-743

RF/Automotive

Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn
Germany
TEL (49) 71-31-67-0
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Biometrics

Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex
France
TEL (33) 4-76-58-47-50
FAX (33) 4-76-58-47-60

文献請求

www.atmel.com/literature

© Atmel Corporation 2003.

Atmel製品は、ウェブサイト上にあるAtmelの定義、条件による標準保証で明示された内容以外の保証はありません。本製品は改良のため予告なく変更される場合があります。いかなる場合も、特許や知的技術のライセンスを与えるものではありません。Atmel製品は、生命維持装置の重要部品などのような使用を認めておりません。

本書中の®、™はAtmelの登録商標、商標です。
本書中の製品名などは、一般的に商標です。

© HERO 2021.

本応用記述はAtmelのAVR104応用記述(doc2540.pdf Rev.2540A-07/03)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。