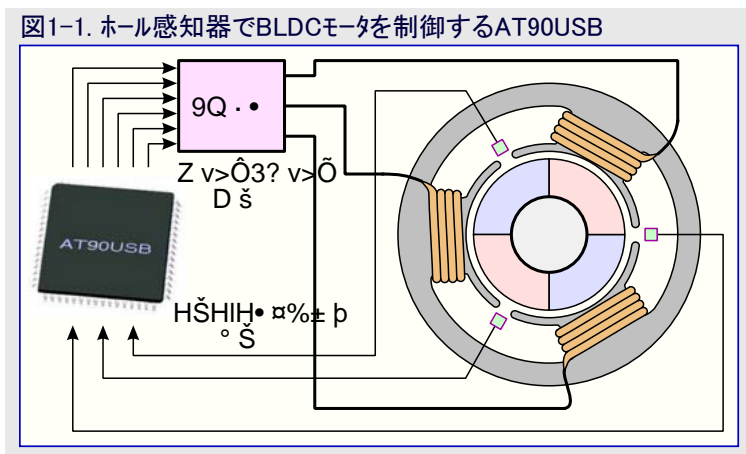


H'H,H†HŠHIHhwH>δ>iH•HIH|F÷FÿHˆHŠH"HxçFÜ GFçFÔ%•6ëF÷"@#.\$xçFÜHvHnH•G" K)FFéG FäFøFÜG FóFö Z v>Ô3? v>ÖG"  
 D šFçG FéF'7Á ¼ S B"@Fÿ Z v>Ô3? v>ÖFéG iFÜFòFÔFòFp \_ G" f jFéG )\*( ±%± p ° ŠF, G  
 FiFÿHvHnH•F÷#Ô BFâG G 3ë2s7Á ŠFp Q#ÝFpFüFñG FÛG" âFñ "G FéF' )\*( ±%± pFÿ -HÈH•HtFÜ ±  
 FÿFß š iFéG Â#ÝG F, ±FÿFú 6 †HÈH•HtFÜ ²0[FøFâG G Â#ÝF÷8-)¼Fû Q#ÝFâG G FéF' )\*( ±%± p  
 FÿH•HIH|FÜ )\*( ôG Fû Q#ÝFâG G Â#ÝF÷G ØF» Q#ÝFâG G FéF' ±%± pFüFç>i>ø>ð>i D šFÿ 6 †HÈH•  
 HtFÜFÖG G š iFçFúFÔ iG F, )\*( D šFÜ @% FâG FúFÔ œF, [FØG HˆHcH™Fü ŠFÔFöF, ØF» Q#ÝFâ  
 G G FéF'  
 FâFp Â#Ý0°3ÛFÿ>Ô "FûHŠHIH• ±%± pFøFçFö g!·FâG G >ÖHŠHIHˆ Ý )\*( ±%± pF÷Fp>i>ø>ð>iH•HIH|Fp D  
 šG"0°3ÛFçG FéF'FâFp /æFÿ g %ø ¥Fø6ä2°3ÿ Ø D šG" µG G FéF'

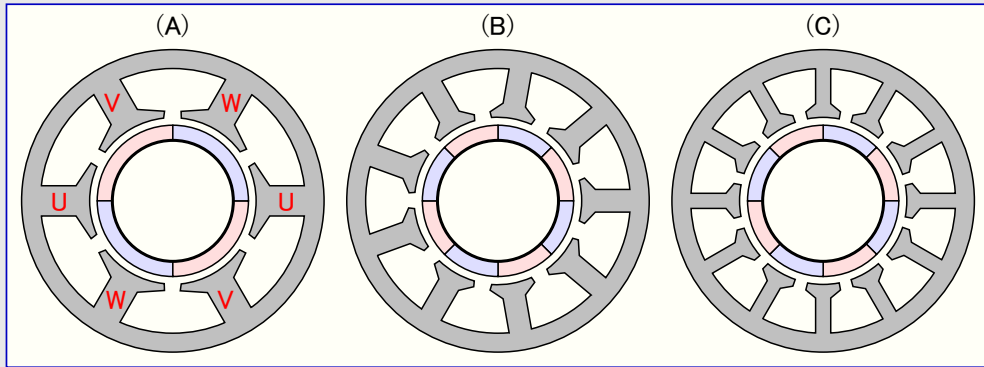


## 2. 動作の理屈

)\*( ±%± pFøF÷Fp>i>ø>ð>iH•HIH|Fp D šFÿ>i>Û>ð š n p>Ô>i>ð>i>ÖFø>ü? >ù ŠG" âFòH|HnH<ÛHrHoH™H|FpG FÖ  
 Fû ö •\$xçFÜ†HIHÈHšHoHfHm Ø3¶ µ+ G" | ©FøFéG ~ (Fû | ŠFúH<HnHtH—>ÏHvH™HÈH—HIH"F÷ /æFéG FäFøFÜF÷Fÿ  
 G FéF'>i? >ù>ñ>øFp>i? >â>Û? >ÿ>iFÿ>i>ø>ð>iH•HIH| D šFû PFéG ²0[ ² óG", òFû)Y\*6FçF, •Fð ÚFp 8  
 G" + FûFéG 2( ;G" âFñG FéF' ÚFp6ø4 8 Fÿ [FØG F,? >ÿ>i>ø>ÿ>ü>ð>ø? >i>p? >ø? ? >ð0d(ÛG" Q#ÝFç  
 Fö3û ™G"/œFÖFäFøFÜF÷FÿG FéF'  
 >ß%&>i>ø>ð>iFÿFÔßFôFÜFpHvHnH•G" âFò [ ÉFÜG BG G FéF' ö •\$xçFü>ß%&>i>ø>ð>iH•HIH|Fÿ>ßFôFpHvHnH•  
 G" âFñG FøÖ-1.G" Fä0tFßFðFâFÔ>ÖF' M+â\$çFüFâFp>ßFôFpHvHnH•Fÿ? >ø? >ø? FøFçFö g!·FâG G FéF' "Fß  
 FpH•HIH|F÷FÿF, G G `FâFú G3? •7uFøG G `FâFúHÈH•Ht, G FpG" âFòG FÖFû ö •HvHnH• XFÜ "5 iFâG  
 G FéF'  
 >i>ø>ð>iH•HIH|Fp G3? ÊFÿ XFp ì, &"%¼FÜG BG G FéF' G3? ÊFp&" XG H•HIH|Fp •7u5 FøHÈH•Ht  
 ,G FpFü s8jG" iG FçG FéF'G G "FßFp FÜG G `FâFú •7uFø aFúFÔHÈH•Ht, G Fp #ÖFèG FéF'  
 2-1.Fÿ>Ý) è VFp ö •HvHnH•Fø " XFp G" âFò ' H•HIH|Fp g ÂG"&gFçG FéF'

図2-1. BLDCモータの各種形式

モータ(A)は2組の基本コイルと4つの(磁)極を持ち、(B)は3組のコイルと8極を持ち、(C)は4組のコイルと8極を持ちます。



コイルが停まる一方で磁石が回転する事実はコイルが回転子に配置される伝統的なユニバーサルDCモータよりも軽いBLDCモータの回転子にします。

## 2.1. 基本BLDCモータの操作

3相BLDCモータをどう動かすかの説明を簡単にするため、3つのコイルと2つの磁極だけを持つ基本BLDCが考察されます。

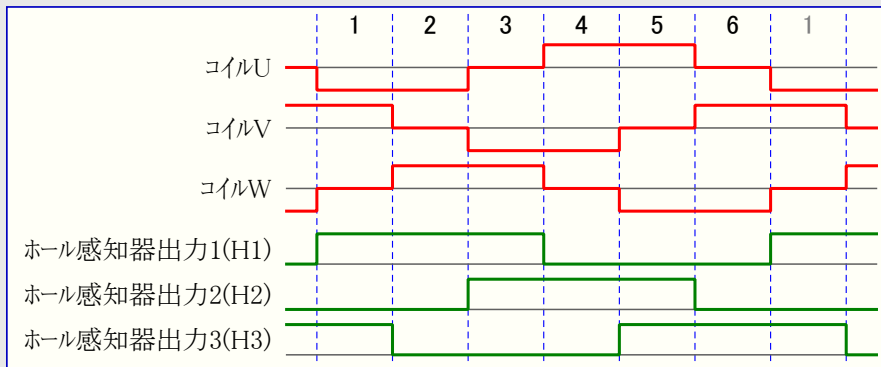
モータを回転させるためにコイルは予め定められた流れ(順序)で励磁(または活性化)され、時計回りと呼ぶ1方向でモータを回します。逆順での流れを行うと、モータは逆方向で動きます。この流れ(手順)がコイルに於ける電流の流れの方向を定義し、それによって磁界が個別コイルによって生成されることを理解すべきです。電流の方向はコイルによって生成される磁界の向きを決めます。磁界は回転子の永久磁石を引き付け、そして退けます。コイルでの電流の流れ、それによって正にその瞬間で磁界の極性を(正しい手順で)変更することによってモータは回転します。回転子を回すためのコイルを通る電流の流れ切り替えは整流(転流)として参照されます。

3相BLDCモータには6つの整流(転流)状態があります。整流(転流)に於ける6つ全ての状態が実行される時のその手順が回転を続けるために繰り返されます。この手順が完全な電氣的1回転を表します。多極モータについては電氣的な回転が機械的な回転に対応しません。4極BLDCモータは機械的な1回転のために電氣的な2回転周回を費やします。

BLDCモータに使用される最も基本的な整流(転流)駆動方法はON/OFFの仕組みです。コイルは(或るまたは別の方向で)導電するか、または導電しないかのどちらかです。コイルを電力に接続し、そして本来の主線が電流の流れを誘引します(駆動段を使用して達成されます)。これは正弦波整流(転流)または方形(ブロック)整流(転流)として参照されます。代わりの方法は正弦状波形を使用することです。この応用記述は方形(ブロック)整流(転流)法を網羅します。

磁界の強さがモータのトルクと速度を決めます。コイルを通る電流の流れを変えることにより、モータの速度とトルクを変えることができます。電流の流れを制御するための最も一般的な方法はコイルを通る(平均)電流の流れを制御することです。これはコイルに対する供給電圧のONとOFFを(高速で)切り替えることによって達成することができ、このためにON時間とOFF時間の間の関連がコイル上の平均電圧、そしてそれによる平均電流を定義します。

図2-2. BLDCモータ用の6つの整流(転流)状態に於ける、コイルを通る電流の流れ/U,V,Wのコイルによって生成される磁界。ホール感知器出力も示されます。

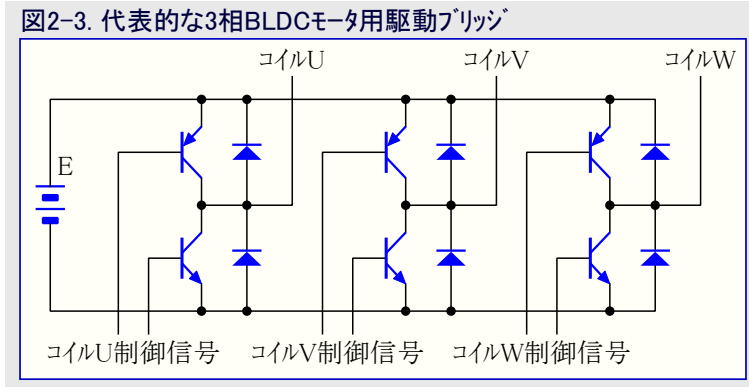


BLDCモータに関しては整流(転流)制御が電気構成物によって扱われます。整流(転流)を制御するための最も簡単な方法はモータ内側の位置感知器の組からの出力に従って整流(転流)することです。通常、ホール感知器が使用されます。ホール感知器は整流(転流)が変更されるべき時にそれらの出力を変えます(図2-2をご覧ください)。

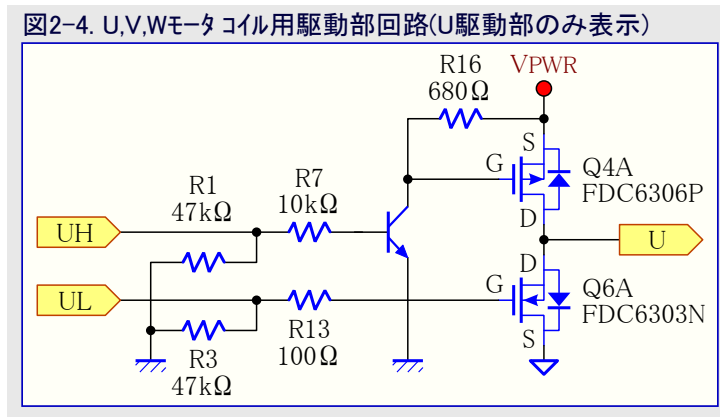
BLDCモータ制御応用に於ける電気構成物に関する2つ目の機能は開路または閉路のどちらかの制御によって望むような速度であることを保証することです。けれどもどちらの場合に於いても、停止検出(回転を妨げられたモータ)と過負荷検出を持つことが推奨されます。

## 2.2. 実装 - ホール感知器に基づくBLDCモータの制御

この実装は開路でのBLDCモータ制御です。停止と過負荷の状況に応答できるようにモータ速度が測定され、そしてモータ電流を監視することができます(未実装)。3つのPWMチャンネルがモータの速度を制御するための半ブリッジのLow側に接続されます。BLDCモータ用の代表的な駆動段は図2-3.で見ることができます。



AVRからの論理出力レベルでHigh側FETを直接制御することが不可能なことに適応するために、実際としては駆動段が僅かに異なって実装されます。図2-4.は各コイルに対する実際の駆動部実装を示します。望むなら、他の実装を用いることができます。駆動部の既定状態はOFFです。



OC1A,OC1B,OC1Cの3つのPWMチャンネルが駆動ブリッジのLow側(例えば、図2-4.でのUL)を制御します。これはタイマ/カウンタ資源の最小使用でハードウェアに基づくPWMを用いて電流の流れを制御する可能性を与えます。これはPWM出力のデューティサイクルを変えることによってモータの速度を制御し、モータの電流の流れとそれによる速度(トルク)が制御されます。

更にブリッジのHigh側もPWMに基づく制御が可能で、AT90USBのタイマ/カウンタ1に加えてタイマ/カウンタ3も必要です。この応用記述と共に配給される実装ではHigh側駆動部が汎用入出力によって制御されます。

能動ブレーキが使用される場合、FET上にもっと平等に電力損失を分配するように駆動部のHighとLowの両方の側にPWMチャンネルを用いることが望まれ得ます。けれども、殆どの応用でこれは必要とされません。

電流の流れを測定するのに1つのADCチャンネルを使用することができます(未実装)。A/D変換器(ADC)は10ビットの分解能を持ち、内部2.56V基準電圧を使用することができます。これは概ね2.4mVの精度を与え、そしてこれは0.22Ωの分圧(電流検出)抵抗上の電圧がそれを通して1A流れる時に220mVであるので、過電流検出に関して充分です。望むなら、ADCは与えられた採取周波数で、切り替えまたは継続的な走行でない時に電流を測定するためにPWMによって起動することができます。モータ速度を設定するための可変抵抗器電圧を測定するのに2つ目のADCチャンネルを使用することができます(モータの速度を制御するのにデジタル通信インターフェースが使用されない場合に有用です)。

ホール感知器出力は全てがレベル変化での割り込み(外部割り込み)を特徴とするポートEの3つのピンに接続されます。ホール感知器出力がそれらの論理レベルを変えた場合に割り込みが実行され、新しいホール感知器出力に対応する整流(転流)状態が決められます。

使用される資源の概要が表1.で一覧にされます。

USB,UART,SPI,TWI通信に関するハードウェア資源が必要ならば未だ利用可能なことは言及する価値があります。通信応答時間での潜在的な影響が第一に考慮されないなら、通信に対して割り込みを使用することが推奨されないことに注意してください。

表1. モータ制御に使用される資源

資源	使い方
PB5,6,7 (タイマ/カウンタ1:OC1A/B/C)	Low側駆動部制御(UL,VL,WL)
PB2,3,4	High側駆動部制御(UH,VH,WH)
PE5,5,6	ホール感知器入力(A,B,C)

### 2.3. USBインターフェース

モータの速度と方向を制御するのにHID(人装置インターフェース)クラスが使用され、それはモータの開始と停止が可能です。USBを通してモータの測定速度を取得するための特殊フレームもあります。表2.はファームウェアとインターフェースするためのUSBフレーム内容を詳述します。

表2. USB通信に使用するフレーム

形式	第1データ	第2データ	第3データ	第4データ	第5データ	活動
OUT	\$01	(無効)	(無効)	(無効)	(無効)	モータ走行
OUT	\$02	(無効)	(無効)	(無効)	(無効)	モータ停止
OUT	\$03	\$HH	\$LL	(無効)	(無効)	モータ速度設定(速度=\$HHLL)
OUT	\$04	\$xx	(無効)	(無効)	(無効)	モータ方向設定(xx=0:CCW,xx=1:CW)
IN	\$05	\$HH	\$LL	方向(\$dd)	走行/停止(\$ss)	状態取得 測定された速度=\$HHLL 方向(dd=0:CCW,dd=1:CW) 走行/停止(\$ss=\$00:停止,\$ss=\$FF:走行)

### 2.4. ファームウェア説明

全てのコードは(4Kバイトまでのバイト出力で無料の)IAR EWAVR 4.20Aコンパイラを使用してC言語で実装されています。このファームウェアはAVR328(USB標準HID実装)で記述されるHID実装に基づきます。

主な関数が下で一覧にされます。モータ制御に使用される最も重要な関数だけが一覧にされます。ホール感知器出力での変化で整流(転流)変更を処理する外部割り込みルーチンは流れ図によって記述されます。

`void Init_MC_timer1_pwm( void )`

タイマ/カウンタ1を高速PWM動作形態での走行に初期化します。

OC1xは比較一致で解除(0)されます。

`void Init_MC_Pin_Change_Interrupt( void )`

ホール感知器信号を感知するのに使用されるピンをピンのレベルが変化した(上昇と下降の両端)場合に割り込みを生成するように構成します。

`void Set_Direction( unsigned char direction )`

整流(転流)表位置指示子を時計回りまたは反時計回りの表のどちらかの点に設定します。先にモータの速度を減じることなく方向を変えることは推奨されず、完全に停止することが望まれます。

`void Set_Speed( unsigned int speed )`

PWM出力のデューティ サイクル、それによってモータの速度を制御するタイマ/カウンタ1の比較レジスタを更新します。使用される方法は全てのPWMチャンネルが同時に更新される(、そして同じデューティ サイクルを保つ)ことを保証します。

`void Init_Speed_Timer0( void )`

タイマ/カウンタ0をCk1/O/1024での溢れに初期化します。タイマ/カウンタ0(8ビット)は8MHzのクリスタルで32ms毎に溢れます。この時間基準はモータ速度の測定に使用されます。

`_interrupt void TIMER0_OVF_ISR( void )`

タイマ/カウンタ0割り込みは8MHzクリスタルで32ms毎に起き、それによってMeasured\_speed変数が更新されます。

`void Run_motor( void )`

モータを走行するためにOC1x出力を許可します。

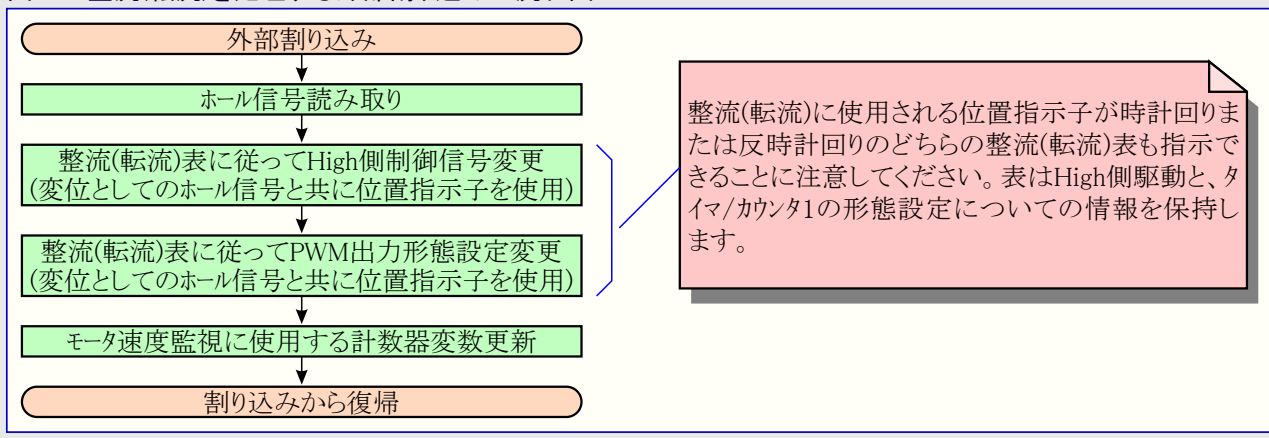
`void Stop_motor( void )`

モータを停止するためにOC1x出力を禁止し、駆動段へ接続されるAVRからの出力を浮かせませす。

`void Hall_ISR( void )`

駆動部のLow側を制御するPWM出力と駆動部のHigh側を制御するI/Oを更新します。最高の割り込み速度を保証するため、割り込みに使用される変数は(この目的だけに固定化され、)予約されたレジスタに置かれます。更に、整流(転流)を行うのに必要とされる情報は、変位(オフセット)としてホール感知器入力信号を用いて非常に効率的にアクセスすることができる表で配置されます。この割り込みは図2-5.内の流れ図によって記述されます。

図2-5. 整流(転流)を処理する外部割り込みの流れ図



## 2.5. PC ソフトウェア実行

モータの速度と方向の制御を許す(Windows2000とXP下で走行する)PCソフトウェアが利用可能で、これは測定された速度を見ることが許します(下図をご覧ください)。



## 2.6. 現実装の性能

- 速度制御に於ける10ビット分解能
- 概ね3500バイトのコード量
- ホール感知器信号変化に対する $5\mu\text{s}$ 以下の応答時間

外部割り込み(ホール感知器入力)ルーチンは概ね23CPU周期かかります。8MHzに於いてこれは電氣的な回転によって $17.25\mu\text{s}$ (23周期 $\times$ 6整流(転流)状態)を与えます。これは1分間当たり3478k電氣的回転を生じます。4対の極のモータを使用する場合、(過電流制御と通信が考慮されなければ、)これは原理的に最大869k機械的RPMを与えます。



## 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](http://www.atmel.com/literature)

お断り: 本資料内の情報はATMEL製品と関連して提供されています。本資料またはATMEL製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。ATMELのウェブサイトに表示する販売の条件とATMELの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、ATMELはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえATMELがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益の損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してATMELに責任がないでしょう。ATMELは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。ATMELはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、ATMEL製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。ATMEL製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

© Atmel Corporation 2006. 全権利予約済 ATMEL®、ロゴとそれらの組み合わせ、AVR®とその他はATMEL Corporationの登録商標または商標またはその付属物です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

## © HERO 2014.

本応用記述はATMELのAVR275応用記述(doc7672.pdf Rev.7672A-09/06)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。