

# AVR448 : 高電圧3相BLDCモータの制御

## 要点

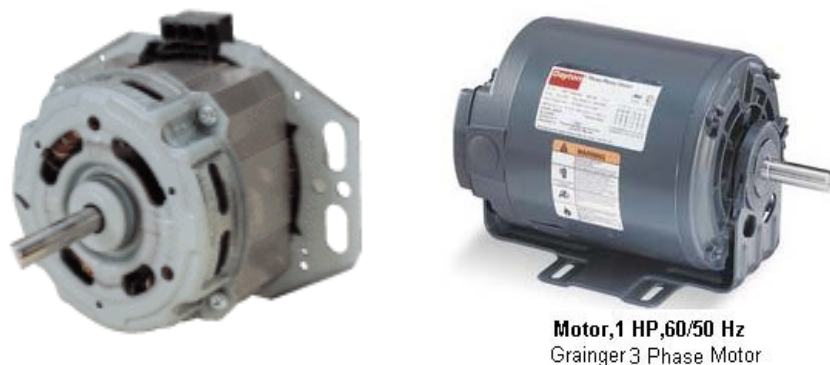
- 1/2馬力3相BLDCモータ
- 統合電力基本部品でのモータ電流制御
- ATmega48に配線された可変抵抗器経由でのモータ制御
- 白物家電や電気製品応用で見られるようなAC線給電

## 1. 序説

3相交流モータは何10年間も世界中で動いています。これらは相対的に簡単な構造、低い維持費、高い効率を提供します。これらのモータの多くは最低限の制御電気部品、代表的に3極単投スイッチだけが必要です。けれども1つ不利な点はそれらの走行速度が機械的な負荷で変わること、そして簡単に制御できないことです。

制御装置としてのマイクロコントローラの追加で、3相モータは格段に広範囲の応用に使用することができます。1馬力以下の大きさのモータは速度、加速、そして電力レベルに於いて効率的に制御されます。これは消費者電気製品や洗濯機のような白物家電に対して理想的な状態です。付加的な応用には電池で動く道具、エアコン、掃除機、おもちゃを含みます。

図1-1. 3相モータの例



## 2. 動作の理屈

### 2.1. 回転子位置検出ホール感知器

MCUモータ制御に於ける1つの非常に重要な細目は回転子位置です。制御応用はモータ電極に正しい電圧と電流が印加されるために、回転子の角度位置を知らなければなりません。代表的にホール磁気感知器がモータと共に取り付けられています。それらにDC 5Vが印加されると、それらは回転子が回る時に変化するデジタル信号を提供します。3相モータは3つのホール感知器を使用します。この位置検出の形式は多くの3相モータ、特に高い始動負荷を持つそれらに上手く適合します。

図2-1. 回転子位置関連としてのホール感知器出力

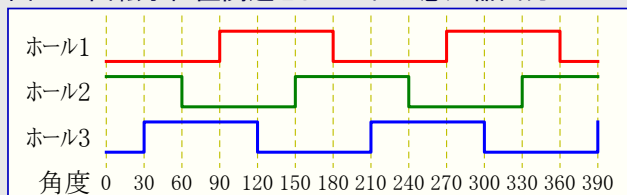
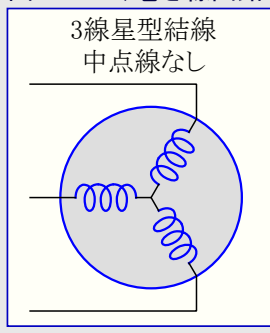


図2-2. モータ巻き線回路



8ビット AVR<sup>®</sup>  
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. 2592C-05/06, 2592CJ1-01/14

## 2.2. 3相BLDCモータの電氣的な必要条件

この応用記述で使用されるモータは“星型”結線の120V 4Aの3相設計です。これは永久磁石回転子と固定子に巻かれた3相を持ちます。従って、多くの工業用3相モータの場合と同様に巻き線への3線接続があります。

加えて、3つのホール感知器に関して、DC 5V入力、GND、3つのホール感知器出力の5つの追加接続を持ちます。[回路図](#)をご覧ください。

## 2.3. ATmega487アームウェア

Cプログラムで走行するATmega48は速度制御つまみとして使用する可変抵抗器からのアナログ電圧を読みます。これはADC5ピンとA/D変換器(ADC)の8ビットを使用して行われます。

ATmega48の出力はInternational Rectifier(通称IR社)の統合電力基本部品(IPM)に接続されます。このデバイスはATmega48からの論理レベルだけでなく4AまでのDC 180Vも受け入れ、そしてこの電圧をモータ巻き線へ印加します。

図2-3. 統合電力基本部品



MCUを使用する3相モータの制御のために多くの方法があります。3つの一般的な方法は台形、正弦波、そして直接トルク制御です。この応用記述ではそれが簡単であるけれどもモータの速度と回転力の制御に於いて依然として有能なため、台形制御が実装されます。台形法は単にON/OFFのデジタル信号をIPMに印加します。これらの信号は20kHzの周波数で0~100%のパルス幅変調です。20kHzの周波数は一定で、人の可聴範囲外になるように選ばれます。

ホール感知器出力はどのIPM入力をHigh/Lowに設定するかを決めるため、プログラムによって使用されます。IPMへの信号はパルス幅変調で、巻き線への平均電圧と電流を効率的に変えます。明白にするため、停止している回転子のモータへ最初に電力を印加する場面を考察してください。1つのH入力と1つのL入力だけが活性で、残り4つのIPM入力はH(不活性)です。6つのIPM入力を知るには[回路図](#)をご覧ください。

始めのmsに関しては回転子が非常な少量回転するかもしれません。最もありそうなのはホール出力が無変化に留まり、それはプログラムに同じHとLの入力での継続を告げます。けれども、これらの入力はパルス幅変調されていて、そうでなければ全力になり、そしてこれは多分、ヒューズまたは回路遮断器を飛ばすでしょう。これらの信号のデューティサイクルは(20kHzの周波数で)20~30%で、これは始動電流を制限します。

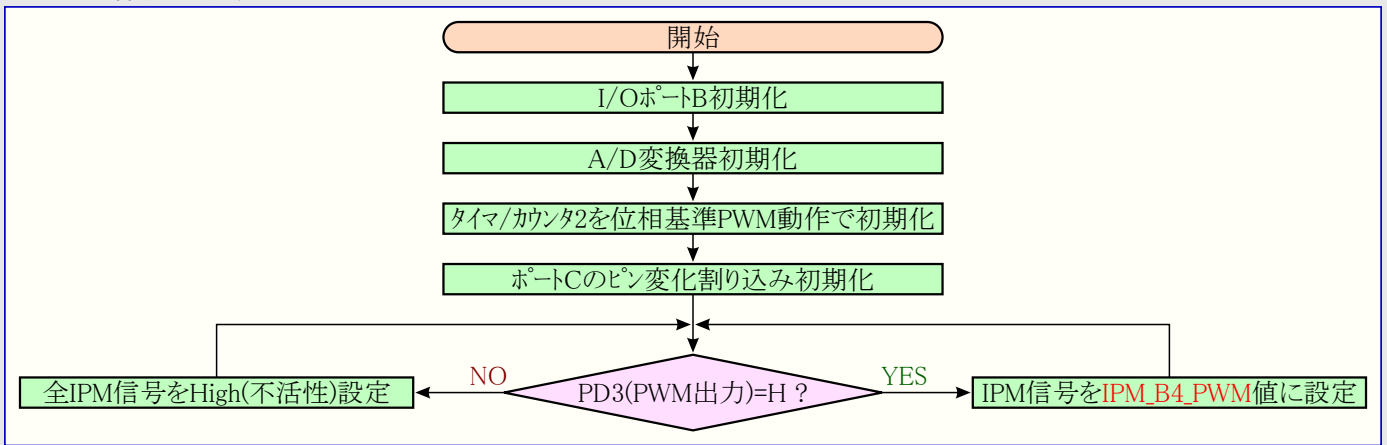
回転子が回り始めると、ホール感知器がそれらの出力を変え、そしてプログラムはIPMへのHとLの入力の違う対を選択することによって反応します。0~10,000RPMでこのモータは良好な始動トルク、滑らかな加速、そして豊富なトルクを示します。ホール感知器位置帰還に対してプログラム制御下で励磁領域の繰り返し速度を変えることによって可変速度と高速度が達成されます。

これは可変抵抗器上の電圧を読んで3相モータへの電力を補正する実演プログラムです。結果としてのモータ速度は開路走行で、その意味ではこのプログラムに於いてRPMを測定する準備が成されていません。開路速度は0~5000RPM以上で、過剰な速度や電流でモータを損傷しないように注意して使用しなければなりません。

### 2.3.1. 主繰り返し

MCUがリセットされた後で入出力ポート、A/D変換器、タイマ/カウンタが初期化されます。次に主繰り返しの先頭に至ります。主繰り返しは本質的にポートDでビット3のPWM出力を読み、IPMへの出力を全て1またはピン変化割り込み処理で割り当てられたIPM\_B4\_PWM変数値に設定する非常に高速な繰り返しです(**訳注**:本行内容修正)。

図2-4. 主繰り返し用流れ図

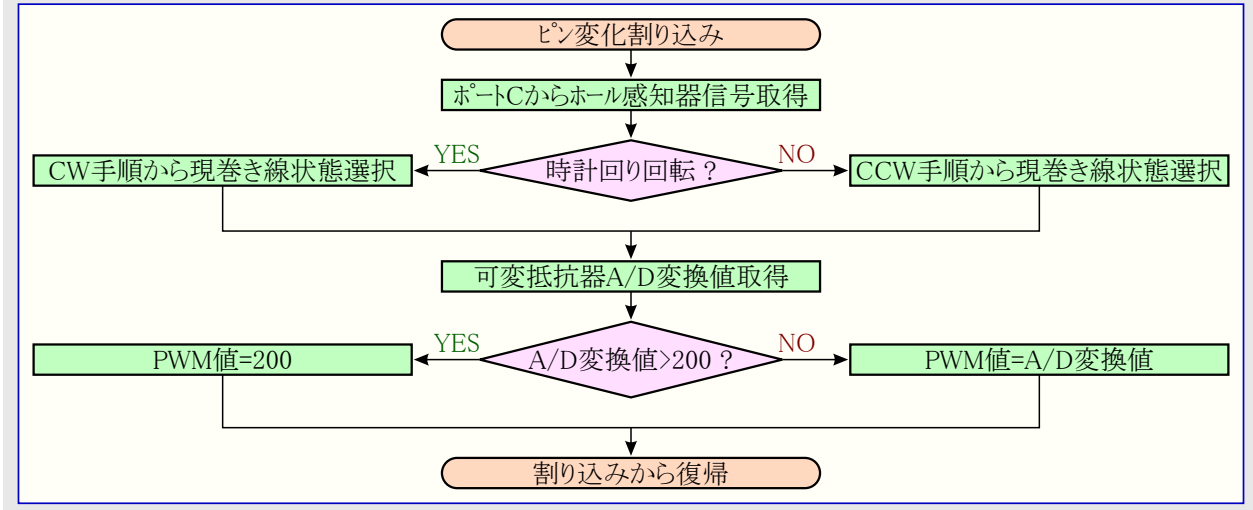


### 2.3.2. ピン変化割り込み処理

このルーチンは主プログラムの始めでピン変化を強制することによって初期化されます。このピン変化割り込みルーチン初回実行はホール感知器に接続されたATmega48の入力ピンを読んで初期回転子位置が何かを判断します。プログラムの始めの方で時計回り(CW)変数が定義され、これが回転方向を決めます。この方向決定とホール信号が、ポートB経由でIPMへ出力する正しい信号を見つけるのに使用されます。これは結果としてモータを60°で切り替えるIPMへの信号を提供する値の参照表です。

このルーチンはモータの1回転に対して12回入られます。モータが6000RPMで動いている場合、これは100回転/秒、または10ms(または10,000 $\mu$ s)で1回転です。故に10,000 $\mu$ s $\div$ 12 $\div$ 833 $\mu$ s毎の割り込みです。

図2-5. ピン変化割り込み用流れ図



### 2.3.3. A/D変換器

A/D変換器(ADC)は可変抵抗器電圧をピン変化割り込みルーチンによって使用されるデジタル数値へ変換します。この10ビット値は8ビットに変換され、ソフトウェア制御下で200に制限されます。そしてPWMデューティサイクルを設定するPWM出力比較レジスタに送られます。OCR2Bレジスタに0が書かれた場合、これは0%のPWMまたはモータに電圧が全く印加されないことに帰着します。逆に、OCR2Bに200=0x0C8が書かれた場合、これは200 $\div$ 255 $\div$ 78.4%のPWMまたは全電圧の78.4%に帰着します。

## 3. 回路

回路図は実演基板用回路を含み、そして必要な電源、ATmega48、IPM、3相モータを含みます。

### 3.1. 電源線操作での安全性予防処置

この電源はAC 120V、50/60Hzで動くように設計されました。2つのブリッジ整流器の負側が共通GNDに接続されていることに注意してください。これは筐体GNDまたは大地GNDのどちらでもありません。このGNDをオシロスコープのGND線に接続しないでください!。絶縁変圧器が使用されなければなりません。ここで示される例は可変電圧変圧器を伴い、プログラムのバグがモータに最大電圧を印加していくつかの部品を損傷し得るため、コード開発の間は可変電圧変圧器が強く推奨されます。

これらは開発での手助けと安全性の水準を増す利用可能な多くの装置内の2つです。右の装置はAC 120V動作です。AC 220~240VについてはAC 220~240Vに対して評価された同様の装置が使用されなければなりません。

この実演をAC 220~240Vで動かすことが望まれるなら、電源はより高い電圧の部品に変更されなければならず、ここでは示されません。示されたIPMはDC 600Vまで評価されています。感電と装置の損傷を防ぐための安全な開発手順を使用するのは読者の責任です。

回路図上に変圧器があることに注意してください。これはやって来るACを概ねAC 15Vに減らし、そしてこれはDC 15VとDC 5V調整器で使用するために整流され、そして濾波されます。

図3-1. BK Precision製 可変AC電源 図3-2. BK Precision製 絶縁変圧器



ATmega48は実演目的用の接続が示されます。これには多くの追加入出力やADC入力だけでなく、この応用記述の範囲外である追加機能もあります。

IPMは0～5000+ RPMでモータを動かすのに足るように配線されます。IPMは自身とモータを保護する組み込み保護回路を持ちます。けれども、プログラムのバグが全電圧をモータに印加させ得、モータやIPMを損傷するかもしれません。これが何故可変AC電源が強く推奨されるかの理由です。ずっと低い電圧でプログラム開発を始め、最初にIPMへDC 25～50Vを供給してください。また、回路図で示される変圧器が(可変AC電源を通さずに)AC 120Vに接続されなければならないかもしれませんが、このためにDCの5Vと15Vが存在する一方で、可変AC電源がDC高電圧を制御します。

ホール感知器はDC 5Vで動作します。これら3つのデジタル出力はATmega48のポートCに直結されます。

ATMELはデバッグ/プログラミング ツールのJTAGICEmk IIを提供しています。これはプログラム開発とデバッグのための理想的な道具です。ATmega48/88/168と共に使用する時にデバッグは1つのピン(RESETピン)だけを使用します。このツールはATMELのAVR Studio® 4で動くように設計されています。

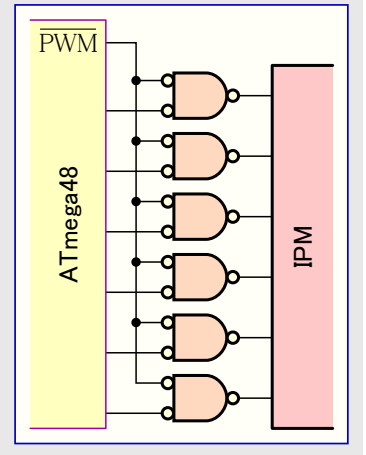
## 4. 代替解決策

先に記述した応用は永遠の繰り返しに移行し、PWM出力をポーリングしてIPM信号を設定します。これは外部通信や安全機能(温度停止など)のような他の作業のためのCPU時間を全く残しません。このような応用に関して、以降で2つの代替解決策が与えられます。

### 4.1. 外部ORゲート

生のPWM信号は既にOC2B(PD3)ピンに存在します。ソフトウェアでこのビットをポーリングする代わりに、これを外部ORゲート列に配線することができます。ゲートはIPM信号をそのまま通すまたは通さないための反転許可信号としてPWM出力を使用します。PWM出力がLowなら、IPM信号はゲートを通して無変化のまま渡されます。PWM出力がHighの時にゲート出力はIPM入力に対して'不活性'を意味する常にHighです。この解決策はタイマ/カウンタ制御レジスタ内の適切なビットを設定することによって反転されるOC2B出力が必要です。

図4-1. 外部ORゲートの使い方



### 4.2. より多くのPWMチャネル利用

ATmega48の2つの8ビットタイマ/カウンタは各々2つのPWMチャネルを提供します。けれども、PWM基本周波数を20kHzに限定する時にチャネルAを制御するレジスタがタイマ/カウンタの頂上(TOP)値設定に使用されます。これは各タイマ/カウンタで1つのPWMチャネルにします。IPMは活性にされた1つのHigh側と1つのLow側の入力で常に使用されます。Low側入力だけのパルス幅変調を選択することにより、3つのPWMチャネルで充分になり、Low側入力を直接駆動するのに使用することができ、これによってソフトウェアでの永遠の繰り返しを無くします。

**(訳注)** 原書に於ける本項記述には各タイマ/カウンタに各々3つのPWMチャネルがあるという重大な誤認が存在します。上の記述はこの誤りを単純に修正してありますが、このままでは結論部分が矛盾します。原書内容に囚われない適切な内容は以下です。

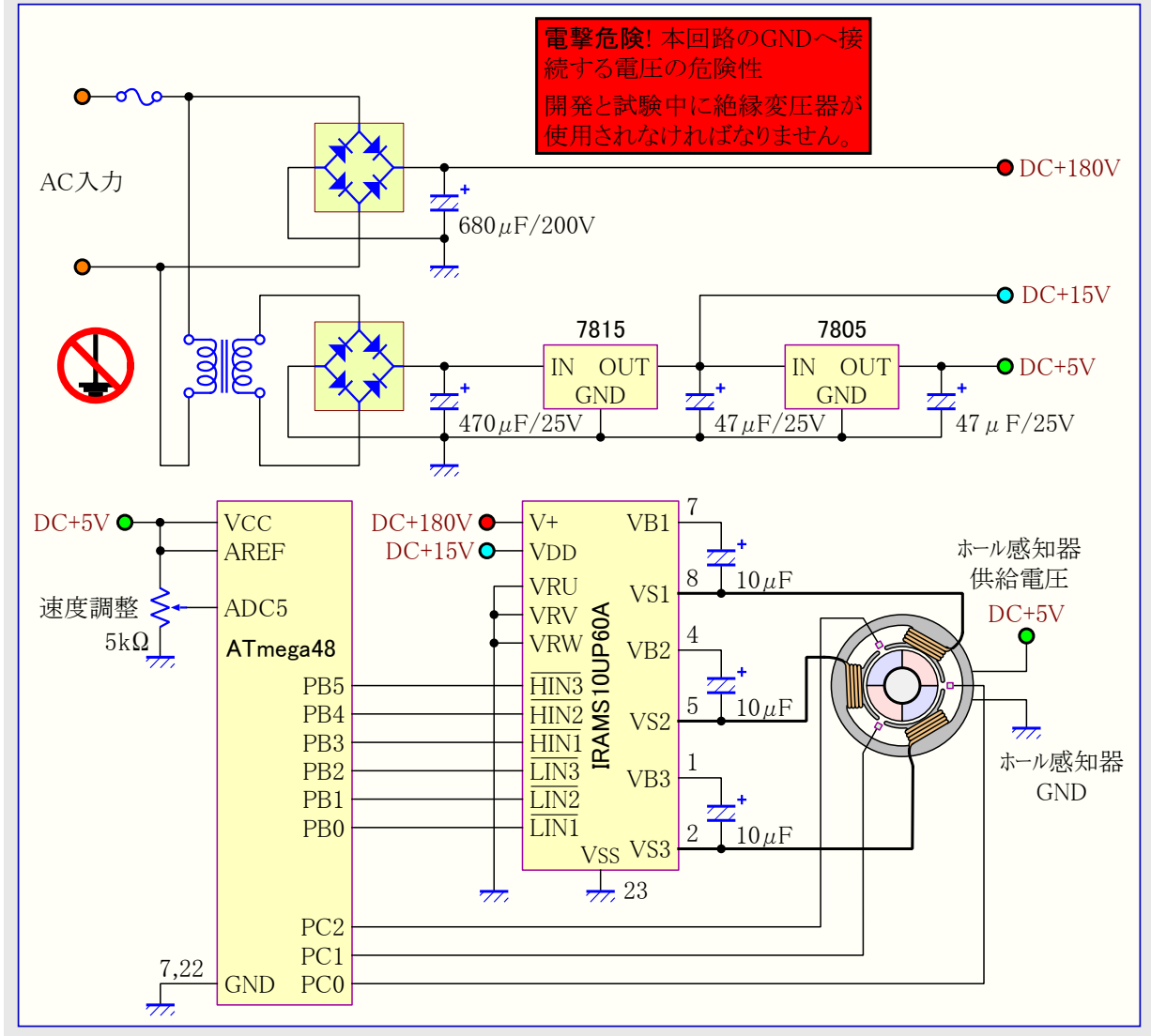
- 20kHz以上のPWM周波数は位相基準PWM動作で概ね10MHz、高速PWM動作でその半分の5MHz以上のシステムクロック周波数で可能です。従ってシステムクロック周波数をこれら以上にすれば8ビット固定頂上(TOP)値でのPWMが利用でき、全てのPWMチャネルが使えます。
- 16ビットタイマ/カウンタも使用すれば、例え原書でのような使い方で3つのPWM出力を確保できます。更に上記を併せればIPMの6つ全ての入力に対してPWMが利用できます。

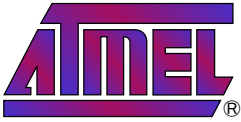
## 5. 文献

- IPMのデータシートは <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irams10up60a.pdf> で入手可能です。
- 使用したモータのデータシートは <http://www.newmotech.com/dws.html> で入手可能です。
- モータ技術の更なる情報は <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=02nQXGrrIP> で得られます。



図5-1. 回路構成図





## 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のウェブサイト位置する販売の条件と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AVR448応用記述(doc2592.pdf Rev.2592C-05/06)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。