

## AVR440 : 2相ブラシレスDCモータの感知器なし制御

### 要点

- 代表的にファンで使用される2相モータの感知器なし制御
- 外部速度基準に従って調整可能な速度
- 閉路速度制御でのPWMに基く速度制御
- モータ停止検出と短時間遅延後の自動再始動
- モータ特性に合わせるために形態設定可能な始動速度傾斜
- 少数且つ安価な部品での低費用実装
- Cで書かれたファームウェア
- デバッグWIREインターフェースを通じた実装デバッグ
- 特定モータへの変更と改造が容易なファームウェア
- 任意選択の回転速度計(タコメータ)出力信号

### 1. 序説

2相ブラシレスDCモータ(BLDC)はCPU、グラフィックプロセッサ、電源、そして他の多くの応用の通風と冷却のためのファンで広範囲に使用されます。BLDCモータの利点はそれらがブラシ型DCモータと比べてより軽く、より早く加速し、電氣的且つ音響的に小さな雑音しか生じず、そしてそれらが保守を全く必要としない(ブラシの磨耗が全くない)ことです。冷却ファンの必要条件は強力に発熱する電子部品の使用が増加しているため、継続的に増えています。多くの製品に於いて多くのファンが取り付けられているため、最終製品の全体費用を低く保つために安価なファンの解決策の要求は明白です。更に、家や職場のファン数が増しているため、それらのファンを可能な限り静粛性と効率性を保つことの要求もより明白になってきています。BLDCモータの特性はこのファンの必要条件に大変良く合います。

この応用記述は8ビット AVRマイクロコントローラを使用して2相BLDCモータを制御するための電子部品とマイクロコントローラのファームウェア実装方法を記述します。この実装は小さく安価なATtiny13に基づきます。ホール感知器が必要とされないような方法で、組み込みのA/D変換器(ADC)とPWMが使用されます(特許出願中)。これは固定子コイルに於ける電流の流れの整流(転流)を実行する時を決めるのに非活性(非励磁)コイル上の起電力(EMF)電圧を使用します。ホール感知器(位置検知器)を無くするこの解決策は2相BLDCモータを制御するための最先端の安価な方法です。

### 2. 動作の理屈

実装を理解するために基本の2相BLDCモータと起電力(EMF)に対する短い紹介が提供されます。

#### 2.1. 2相BLDCモータ

ブラシレスDCモータは永久磁石の回転子といくつかのコイルの固定子から成ります。永久磁石の極数とコイル数は求めるモータの特性に大いに依存します。基本的な2相モータが図2-1で図解されます。この図は4つのコイルと2極の組を持つモータを示します。図の上側と下側のコイルは電氣的に接続され、右側と左側のコイルも同様です。

モータ整流(転流)の用語を明らかにする必要があります。非活性または非励磁のコイルは(それを通る電流の流れが全くないために)回転子を回す磁界を与えないコイルです。これは活性または励磁に対して逆で、エネルギーのための磁界を引き起こす電流の流れを持つコイルで、与えられたどの時に於いても、1つのコイルが非励磁で他方が励磁であるべきです。回転子の磁石の向きは望む方向で回転子を駆動するためにどのコイルが励磁されるべきかを定義します。動作中での回転子の向きの変化はコイルを通る電流の流れの切り替えによって応答しなければならず(これは“整流(転流)”として参照されます)、故に回転は固定子コイルで生成される磁界の変更によって維持されます。



8ビット AVR<sup>®</sup>  
マイクロコントローラ

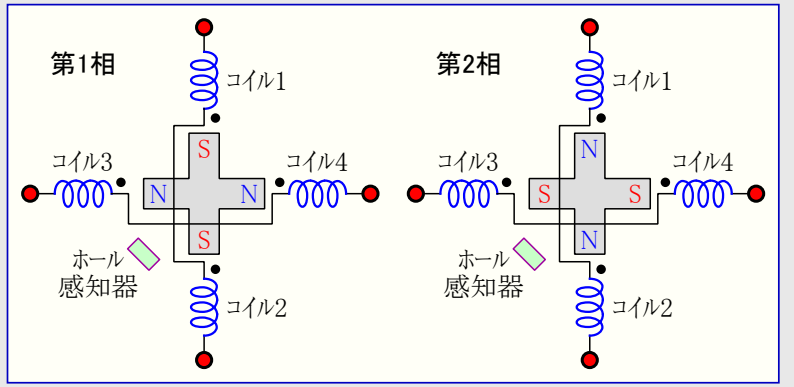
### 応用記述

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. 8007A-09/05, 8007AJ1-01/14

図2-1.に於けるコイル1と2の励磁はコイルでの配列に対して回転子の磁石の極を押し引きします(第1相)。一旦回転すると、回転子の慣性は回転子が引き付けられないことだけを保証しますが、励磁コイルによっても進みます。磁石が励磁コイルによって進むと直ぐに、別のコイル(3と4)が励磁されなければならず(第2相)、これによって回転が継続されます。整流(転流)が正しい瞬間でされるなら、コイルの磁界は常に同じ方向でトルクを生成するように変更されます。またむしろ、整流(転流)は回転子の速度が低下する短時間に回転の逆方向でのトルクが生成される早すぎまたは遅すぎにされます。従って最大性能を得るためにコイルに相対する回転子の磁石の向きについての情報を持つことが必要です。

図2-1. 2相BLDCモータの基本設計



2相BLDCモータの整流(転流)は一般的に回転子の向き検出のためにホール感知器を用いることによって制御されます。この場合に於けるホール感知器は回転子の磁石によって生成される、磁界の向きを決めるのに用いられる磁力スイッチです。ホール感知器は回転子の磁石によって生成される磁界の極性に依存してその出力を設定または解除します。ホール感知器がコイル2と3の間に配置される場合(図2-1.をご覧ください)、ホール感知器は回転子の磁石がコイルと整列される時にその出力を変え、これは(SとNの)2極がお互いの出力を打ち消して磁力の極性が変わる時のためです。ホール感知器は回転を維持するのに固定子のコイルを整流する時を知ることを制御系に許します。

整流(転流)制御にやや簡単なこの起動を使用することの悪化傾向は、ホール感知器が費用追加物なことで、信頼に足る情報を提供するために正確な位置にされる必要があることです。例えばホール感知器が正確な位置にされた時でも、その位置情報は各整流(転流)の瞬間を提供するだけです。

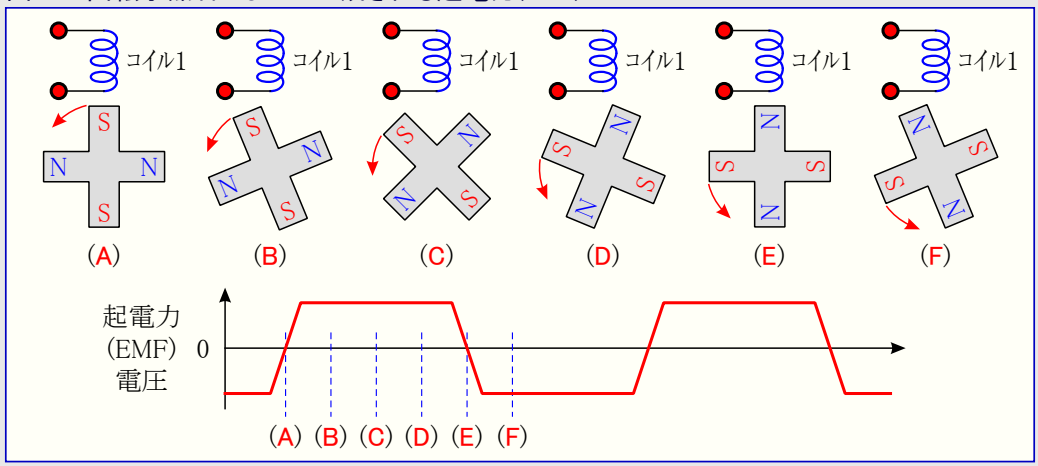
## 2.2. 起電力

起電力(EMF:Electromotive Force)は(回転子移動での磁石によって引き起こされる)磁界切り替えによって生成されるインダクタ(コイル)上の電圧です。BLDCモータに於けるEMF形状は図2-2.で示されるように概ね台形です。

BLDCモータはEMFによって大きく影響を及ぼされます。EMFは回転子が転換する時に固定子のコイル上に生成されます。EMFの振幅は(コイルによって見える)磁界が変わる速度に直接比例します。別の言葉で、EMFの振幅はモータの速度に比例します。EMFはモータが或る速度に達した時にコイルを励磁するのに使用した電圧と同じ振幅になります。これは磁界を生成するのに必要とされる電流とトルクを生成するのに必要とされる磁界のため、コイルを通る電流の流れ、従ってモータの最大速度を制限します。励磁コイルで誘導されたEMFは逆起電力(B-EMF:Back EMF)と呼ばれます。

EMFは励磁されたコイルだけでなく、非励磁コイルでも生成されます。非励磁コイルのEMFは測定することができ、回転子の位置を決めるのに使用することができます。図2-2.は回転子の磁石の位置(角度)に関連する非励磁コイル上の台形型EMF電圧を図解します。

図2-2. 回転子磁石によって生成される起電力(EMF)



回転子の向き判定の検出に起電力(EMF)を使用することの悪化傾向は、EMFの振幅がモータの速度に依存し、実用的な下限があることで、どれ位小さな電圧レベルかは与えられた系に存在する雑音も考慮して測定することができます。

図2-2.で見えるように、EMFは回転子磁石がコイルと整列する時に極性が変わり、同様の瞬間でホール感知器の出力が変わります。これはBLDCモータを制御するのに感知器なし整流(転流)法を使用する時に利用されます。

### 2.3. 2相BLDCモータの感知器なし制御

3相BLDCモータについては起電力(EMF)帰還に基く整流(転流)法が一般的に使用されます。それらの実装では回転子の向き、従って整流(転流)のタイミングを決めるのにEMFが使用されます。

2相モータの回転子磁石の移動は3相モータでのように非活性(非励磁)固定子コイル上にEMFを生じます。回転子の向きを決めるための非活性(非励磁)固定子コイル上のEMF使用の概念はこの応用記述で提案した解決策で利用されます。感知器なし整流(転流)使用の1つの利点は明白で、ホール感知器を無くせることですが、より多くの利点が以降で明らかになるでしょう。

### 2.4. 回転方向

多くのモータ応用では双方向よりもむしろ単方向でモータを動かすことが好ましくあります。例えばモータがPCの電源冷却に使用される場合、PC筐体内側から暖気を吸い込んで電源を通すよりも、むしろ筐体の外側から冷気を吹き込むでしょう。更に、殆どのファンの羽は1方向での回転に最適化されています。

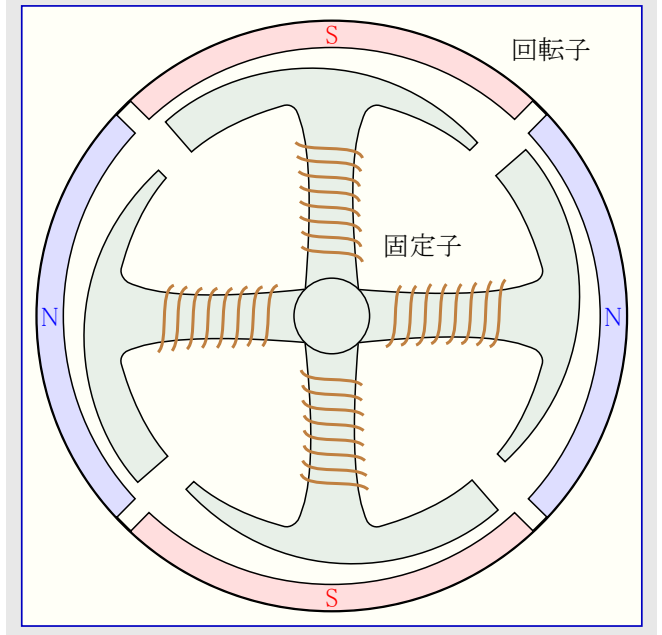
図2-1.の基本2相モータはモータ始動時に回転方向を保証しません。方向は回転子の始動位置とコイル励磁順によって決められます。回転子の始動位置が既知なら、特定回転方向に帰着するコイル励磁順を決めることができます。

感知器なし動作では回転子の始動位置について利用可能な情報が全くありません。従ってモータを始動する前に回転子を既知の位置へ持って来る必要があります。

コイルの1組が励磁されると、回転子磁石は回転子のN極が固定子のS極と、またその逆でも向かい合うようにコイル全体を横切る軸で整列します。この方法でのコイル励磁は回転子を既知の向きへ強制します。けれども、回転子の向きについて知るだけではモータが望む方向で回転するのを保証するのに充分ではありません。好ましい回転方向を生成するのにコイルのフェライトコアの物理的な形状が用いられます。

正しい回転方向を保証するため、多くの2相BLDCモータに於いて図2-3.で示される先細空隙が用いられます。回転子磁石と固定子間の空隙は平坦ではありません。固定子コイルが非励磁のとき、回転子磁石は磁極とフェライトコア間の空隙が最小(磁気抵抗が最小)の場所で一直線に整列します。図2-3.のモータはこのように留まる4つの位置を持ちます。これらの停留位置はコイルが励磁された時の整列位置間に配置されます。回転子が(コイルの励磁によって)コイルの組と整列され、そして開放された場合、最も近い停留位置へ向かって進行回転します。これによって回転子の位置が知られ、更に、回転方向は後続する適切な整流順を選択することによって制御可能です。

図2-3. 2相モータに於ける先細空隙



### 2.5. 整流(転流)波形

モータ駆動法を効率的に理解するためには、トルクがどう生成されるかを理解することが有用です。1つの相によって生成される電気トルクに関する式が式2-1.で示されます。

式2-1. 電気トルク生成

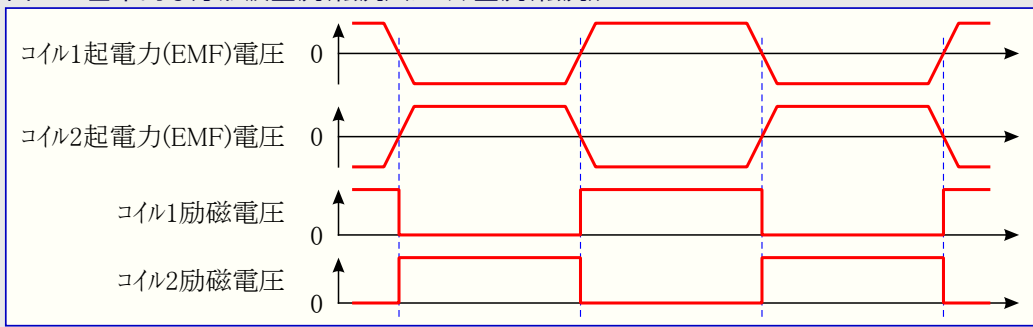
$$T_e = \frac{ei}{\omega}$$

$T_e$ は電気トルク、 $e$ は起電力(EMF)、 $i$ はモータコイルを通る電流、そして $\omega$ は回転子の角速度です。

式2-1.は $e$ と $i$ が同じ符号を持つ限り、生成されるトルクが回転として同じ方向であることを示します。逆に言えば、これは $e$ と $i$ が逆の符号を持つ場合に電気エネルギーがモータを減速して浪費されることを意味します。

殆どのファンで使用される整流(転流)電圧波形は(ブロック整流(転流)としても参照される)方形波です。図2-4.はブロック整流(転流)を図解し、この整流(転流)は相電流の符号を起電力(EMF)の符号と等しく保つように、EMF電圧の0交差(極性変化)によって直ちに起動されます。

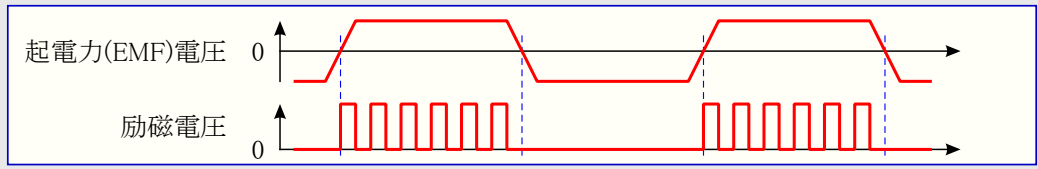
図2-4. 基本的な方形波整流(転流) (ブロック整流(転流))



## 2.6. パルス幅変調を用いる速度制御

先に述べたように、モータの速度を制御することが望まれ得ます。ファン応用ではモータの騒音低減と消費電力低減も望まれ得ます。モータの速度を制御する1つの方法はモータの動作電圧を制御することですが、非常に少数のシステム、例えばPCしか、そのための電力段なしで直接モータ(ファン)に対して調整可能な動作電圧を提供しません。この結果は多くのシステムがファンのための供給電圧を制御するハードウェアを持つことになり、これは只ではできません。モータに渡る電圧を制御するのに使用され得る、駆動トランジスタを含むファン制御電気構成を考慮するとき、ファンに対する供給電圧を調整することのシステムに対する必要性は機能的に冗長と見られるべきです。代替はモータの電気制御構成内に電圧/速度の制御を構築することです。モータの整流(転流)を制御するのにマイクロコントローラが使用されるなら、モータの平均励磁電圧を制御するのにパルス幅変調(PWM:Pulse Width Modulation)を使用することができます。モータのコイルにPWM出力を印加することにより、平均励磁電圧、従ってコイルを通る電流を制御することができます(図2-5をご覧ください)。PWM出力のデューティサイクルがコイルに対する平均励磁電圧を定義し、図2-5では50%のデューティサイクルが示され、これによって平均励磁電圧は動作電圧の50%になります。PWM出力のデューティサイクル増加はファンの速度/トルクを増します。

図2-5. PWMで変調された励磁電圧



PWMを用いた速度制御を実装し得るにはハードウェアPWMを持つマイクロコントローラが有利です。これは(ソフトウェアで実装したPWMと比較して、)0~100%の全電圧範囲(デューティサイクル)の使用が可能で、正確且つ誤りなしのタイミングを保証します。ハードウェアPWMの動作はファームウェアの残りとも殆ど無関係に動作し、整流(転流)制御、安全機能、閉路速度制御の重要な作業に対してより多くのクロック時間を許します。

モータ速度制御にPWMを使用する時の基本的な必要条件の1つはPWMの基本周波数が可聴周波数範囲(20Hz~20kHz)以上であることです。これは一般的に20kHz以上のPWM基本周波数を持つのが望ましいことを意味します。けれども、ファンの機械的な応答特性も考慮されるべきです。小さなファンからの音響雑音はPWM基本周波数が僅かに20kHzより低くても大抵は聞けないでしょう。それでも20kHz以下のPWM周波数がファンに依存して高音調の音として聞く可能性があるかもしれないことに注意すべきです。けれども使用し得る20kHzよりも高いPWM周波数で、駆動トランジスタでの電力損失がPWMの切り替え周波数に関連することに注意すべきです。

## 2.7. 速度基準

モータの速度は殆どの応用で外部的な基準に従って調整されます。この基準は例えば、温度感知器や可変抵抗器、またはシステムのホスト制御器によって生成されるPWM信号であり得ます。マイクロコントローラはモータの速度を制御する入力として速度基準信号を使用するための大きな柔軟性を提供します、特に内部A/D変換器が利用可能な時に。そしてどの形式の速度基準も測定することができ、励磁電圧を制御するPWMデューティサイクルを変えることにより、それに応じてモータ速度を制御することができます。これは閉路速度制御の使用を可能にし、そしてこれは速度基準とモータ速度間の差を最小とするようにPWMが継続的に変更されます。

## 2.8. 誤り状態の考慮

全ての電動モータに関して、(固定化されている)モータ始動での問題が考慮されなければならない、さもなければ、モータは恒久的な損傷、または出火にすらなり得ます。従ってどのモータ制御の実装も停止状況に対して反応できなければなりません。或る場合にはその停止が一時的で、従ってモータの再始動が望まれ得ます。一般的な手法は停止検出時にモータの整流(転流)を止め、一定時間待って再始動を試みることです。マイクロコントローラに基づくモータ制御は回転速度を監視することによってこれを容易に処理することができます。

電動モータと駆動段に関する潜在的な問題は過熱です。これは例えば大きな負荷の駆動や高速な加速のためにモータが高電流を引き込む場合に発生します。モータや駆動段に温度感知器が組み込まれているなら、過熱問題を監視するのにマイクロコントローラのA/D変換器を使用することができます。最も一般的なのは、これが潜在的なモータの発熱と過負荷の良好な指示器であるため、分流抵抗を使用して駆動部とコイルを通る電流の流れを監視することです。

### 3. 提案する実装の概要

本章はATtiny13マイクロコントローラを用いて提案するモータ制御に関するハードウェアとソフトウェア(ファームウェア)の実装を記述します。

#### 3.1. ハードウェア

図3-1はマイクロコントローラで2相BLDCの感知器なし制御を実行するのに存在が必要な主ハードウェア構成部を示します。正確なハードウェアの必要条件は各種モータ間で変わりますが、原理は同じです。

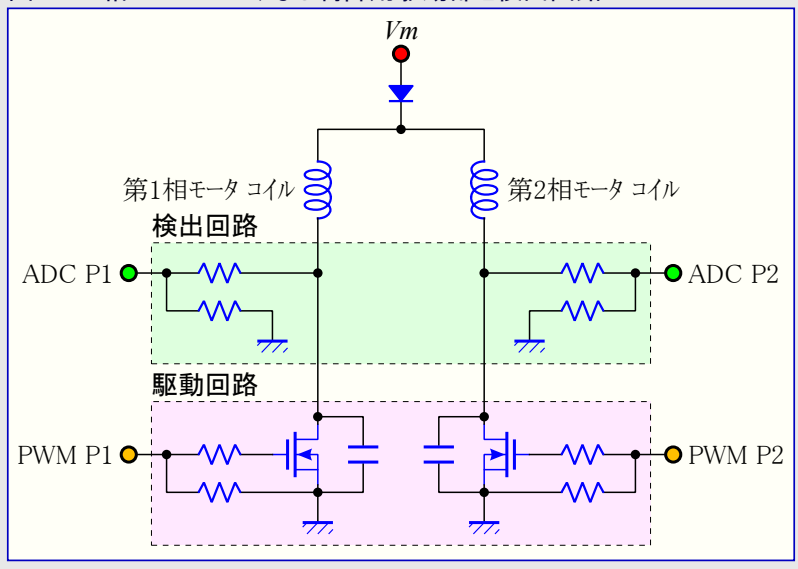
“駆動回路”と記された部分は基本的に2つのON/OFFスイッチで、ONの時にコイル回路を形成して電流が流れることを許します。コイルのON/OFF切り替えに(FET)トランジスタが使用されます。(FET)トランジスタに渡されたコンデンサは誘導性負荷を持つ回路が開く時に経験する瞬間遷移の低減を助け、雑音も低減します。

“検出回路”と記された部分は状況の合図を実行します。図3-1に於いて、この回路は電圧をマイクロコントローラのA/D変換器範囲に縮小する簡単な分圧器です。起電力(EMF)電圧が抵抗網によって影響されることに注意してください。どんな分圧もなしで測定された電圧は $V_m - V_d - V_c$ に等しく、ここでの $V_d$ はダイオード上の電圧降下、 $V_c$ はコイル上の総合電圧降下です。コイル上の電圧降下はコイルが励磁されていない時のEMFと等価です。EMFが測定される位置と抵抗網のため、測定される(EMF)電圧は一定の変位に乗った負のEMFです。

モータ供給電圧とモータ間のダイオードはモータからの跳ね返りが供給網に入らないことを保証するだけでなく、極性保護としても働きます。

“ADC P1,2”と“PWM P1,2”と記された端子がマイクロコントローラに対する接続点です。

図3-1. 2相BLDCのセンサなし制御用駆動部と検出回路



#### 3.2. マイクロコントローラ

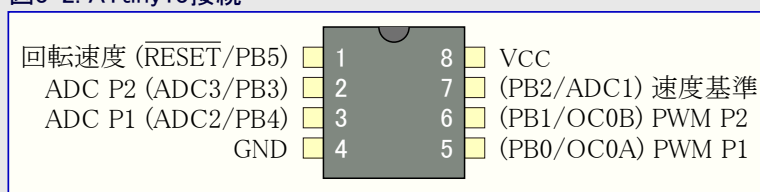
この資料で記述されるように2相BLDCモータの感知器なし制御は、起電力(EMF)検出用の2つのADCチャネルと整流(転流)/速度の制御用に2つのPWM出力が必要です。加えて、外部的な速度基準が必要とされる場合に1つのADCチャネルが必要とされます。回転速度(タコ)信号が必要とされる場合、追加出力を専有します。従って6つの入出力ピンが必要とされます。

ATtiny13は外部的な速度基準と回転速度出力信号付きで2相BLDCモータの感知器なし制御を動かす能力がある8ピンのマイクロコントローラです。組み込みA/D変換器、内部アナログ基準電圧、2つのPWMチャネル、9.6MHzの校正付き内部RC発振器が外部部品の必要を最小に減らします。

含まれているコード例で使用されるATtiny13のピン使用法が図3-2で示されます。回転速度信号がリセットピンにあることに注意してください。リセットピンを入出力ピンとして使用するために、外部リセット禁止(RSTDISBL)ヒューズがプログラム(0)されなければなりません。リセットピンでの10.5Vよりも高い電圧がマイクロコントローラによってリセットとして認知されることにも注意してください。リセットピンの電圧が10.5Vを越える可能性があるなら、例えばツェナーダイオードまたはクランプダイオードの使用により、信号レベルをVCCレベルに制限するよう、ハードウェアによって保証されるべきです。望むなら、回転速度信号と外部速度基準のピンを交換できます。

ADC入力に変換のために1.1V内部基準電圧を使用します。従って全てのADC信号は0~1.1Vの範囲であるべきです。

図3-2. ATtiny13接続

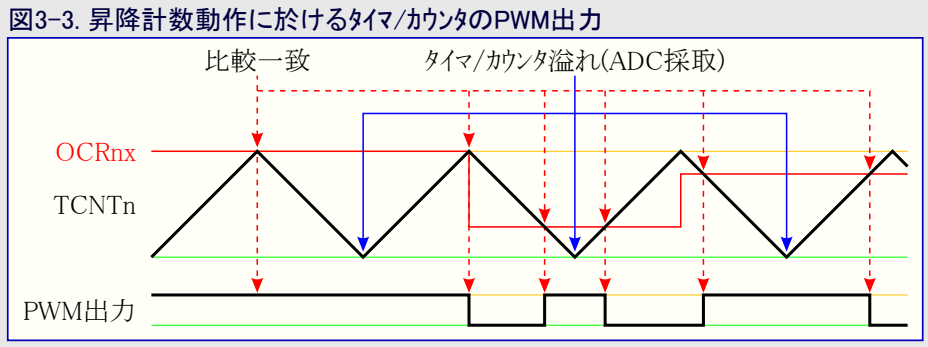


### 3.3. ファームウェア

2相モータの感知器なし制御に必要なファームウェアの各部分は本章で提供されます。

#### 3.3.1. PWMを用いる電圧制御

励磁コイル上の電圧、それによってモータの速度を制御するのに2つのPWMチャンネルが使用されます。この2つのPWMチャンネルは駆動段の(FET)トランジスタに接続されます。PWMを実現するのに昇降タイマ/カウンタが使用されます。このタイマ/カウンタは対応する出力ピンを設定または解除する2つの比較事象(PWMチャンネル)と1つの溢れ割り込みの3つの事象を生成します。昇降計数とPWM出力は図3-3.で見ることができます。



タイマ/カウンタを昇降動作で使用するための主な理由は、切り替え雑音が起電力(EMF)信号に混じらない時に、タイマ/カウンタ溢れ割り込みがA/D変換を起動できるからです。

タイマ/カウンタ溢れ割り込みは割り込み処理ルーチンの実行も起動し、そこでは回転子の位置が評価され、状況が丁度(それはA/D変換によって測定されたEMF電圧レベルが与えられた閾値を通った)なら、整流(転流)が変更されます。

PWM基準周波数は可聴周波数範囲外の20kHz近くが好まれます。9.6MHz内部RC発振器でのタイマ/カウンタ走行と昇降計数動作での使用で20kHzの基準周波数を得るための求める頂上(TOP)値は240(9.6MHz÷20kHz÷2)です。けれども、ATtiny13に於いて両方の比較チャンネルを使用する時にタイマ/カウンタの頂上値を変更することが不可能なので、結果的に基準周波数はタイマ/カウンタの既定頂上値によって定義され、それは255です。従って基準周波数は18.85kHzで、殆どのファン実装に於いて受け入れることができます。ファンが音響雑音を発生し得るなら、20kHzまでの周波数での内部RC発振器の調節が任意選択です。内部RC発振器周波数の上方調節により、PWM基準周波数を増加することができます。内部RC発振器の周波数はデバイス動作への影響なしに公称周波数に対して最大10%まで調節することができます。内部RC発振器の調節についてのより多くの情報に関してはAVRのデータシートを参照してください。クロックを8分周するCKDIV8ヒューズが既定でプログラム(0)されていることに注意してください。このヒューズは9.6MHzのクロック周波数を達成するために解除(1)されなければなりません。

#### 3.3.2. EMF電圧を測定のためのADCの使い方

ATtiny13に於けるA/D変換器の採取は、言及されたように、例えば、タイマ/カウンタ溢れ事象によって起動することができます(図3-3.参照)。昇降動作でのタイマ/カウンタ使用時、溢れ事象はタイマ/カウンタが底(0)に達した時に起き、これはデューティサイクルが非常に低い場合を除いて、PWMが切り換わらない場所の瞬間です。殆どのファンは動くのに10~40%間のデューティサイクルが必要で、従って切り替えは採取中に発生しません。タイマ/カウンタ溢れで起動する採取が利用不能の場合、そうでなければ切り替え雑音が起電力(EMF)の採取に混じるので、2相BLDCモータの感知器なし制御を実行するために嚴重なアナログ濾波器または複雑なファームウェアが必要とされます。

適切なADCチャンネルの選択は測定したADC値を評価してモータの整流(転流)を制御するコードの同じ部分によって制御されます。これは整流(転流)制御に関連する項目でもっと詳細に記述されます。

A/D変換器には15ksps(採取/秒)に於いて最大10ビットの分解能で測定する能力があります。より高い採取速度では分解能が低下し始めます。提案した実装では外部の速度基準の読み込みだけでなく、EMF測定の処理も、測定を起動するタイマ/カウンタ溢れ割り込み処理ルーチンで行われます。割り込みが割り込みを処理するのに十分な時間を得ることを保証するため、ADCクロックが1.2MHzになる、システムクロックの1/8が選択されます。この高速なADCクロックの使用はADCの分解能を概ね8ビットに低下させますが、これはEMF検出の読み込みに対して充分です。

#### 3.3.3. 事前位置付けと始動

回転子の事前位置付けはコイルの組を渡る励磁電圧の増加と、(回転子が望む位置で安定するまでの)与えられた時間を待つことによって行われます。その後、回転子を停留位置に回転させるために励磁電圧が減少されます。これは位置が既知であることを保証します。そしてモータは開路に於いて参照表に従った交互整流(転流)遅延で開始されます。これはモータの機械的な応答時間で制御されるモータへの改造を制御に許します。

モータの加速特性について十分な情報が利用可能なら、始動中の交互整流(転流)遅延を計算することができます。代わりに、応答(時間)はオシロスコープでコイル上の電圧を測定することによっても決めることができます。

### 3.3.4. 整流(転流)

一旦始動手順が完了すると、タイマ/カウンタ溢れ割り込みを許可することによって感知器なし整流(転流)が許可されます。ブロック整流(転流)の仕組みが使用されます。起電力(EMF)を測定するのに内部A/D変換器が用いられます。測定されたEMFは閾値と比較されます。EMFが閾値を通ったなら、整流(転流)が実行されます。切り替えの一時的な経過のための誤った読み込みを避けるため、転流後の最初の数採取は破棄されます。

### 3.3.5. 外部速度基準

外部的な速度基準は望むモータ速度を決めるためにマイクロコントローラが評価するアナログ入力として実装されます。速度基準自体はタイマ/カウンタ割り込みルーチンで、EMF測定が完了された後に読まれます。速度閉路制御は前面の主繰り返しによって処理されます。閉路制御の実装は単純な段昇降規則ですが、望むなら、PI(比例/積分)制御に変更することができます。

### 3.3.6. 誤り処理

誤り処理は停止検出に制限されます。停止状態では整流(転流)を起動しません。速度制御が実装されるため、現在の速度(またはむしろ整流(転流)間のタイマ/カウンタ溢れ数)が監視されます。この情報は停止状態に於いて装置をリセットするのに用いられます。この目的のためにウォッチドッグタイマが使用されます。ウォッチドッグタイマは整流(転流)毎にリセットされます。モータが停止した場合、整流(転流)が起こらず、ウォッチドッグタイマはリセットされません。これがウォッチドッグタイマ溢れに帰着し、マイクロコントローラのリセットに至ります。最後のリセットがウォッチドッグリセットかを検知するために(MCU)の始動でウォッチドッグリセットフラグ(WDRF)を調べることが可能です。これは例えばEEPROM内の計数器を増加することにより、誤り数の経緯を保持するのに使用することができます。

### 3.3.7. 回転速度(タコ)出力

ファンは度々ファンの速度をPC(または他の応用)に知らせるための回転速度(タコ)信号出力を生成するオープンコレクタ(ドレイン)出力を持ちます。これは入出力ピンとして形態設定することができる、ATtiny13のリセットピンを使用して達成することができます。ソフトウェアでこれを行うことは、この信号の生成のためにどんな外部部品の必要もなくし、全体費用を低減します。

### 3.3.8. デバッグ任意選択

JTAGICEmk IIを用いて実装デバッグを使用するためにデバッグWIREデバッグ機能を許可することが可能です。これは1つのピンだけを必要とし、“余裕の”出費で効率的なデバッグ法を提供します。与えられる2相モータに対するコード例の改造はこのようにしてもっと容易にされます。最終的な応用に於いて、望むなら、リセットピンは回転速度(タコ)信号のような他の目的に使用することができます。デバッグWIRE使用時のデバッグ任意選択についてのより多くの詳細に関してはJTAGICEmk IIの資料を参照してください。

## 4. 含まれるソースコードの説明

含まれるソースコードはこの資料で提案されるような2相BLDCモータの感知器なし制御を実装します。全ての形態設定項目は容易に形態設定可能で、このためにソースコードはどの2相BLDCモータに対しても簡単に改造することができます。ソースコードは以下の項の流れ図とHTMLとして資料化されています。HTMLの資料はソースファイルと共に得られ、[readme.html](#)ファイルがHTML資料の根本ファイルです。

### 4.1. ソフトウェア流れ図

以降で得られるソフトウェア流れ図は次を網羅します。ソフトウェア実装に関する最上段の流れ図は図4-1で見られます。図4-2は事前位置付けと始動のルーチンに関する流れ図を示します。図4-3は感知器なし整流(転流)を引き起こすタイマ/カウンタ0割り込み処理ルーチンに関する流れ図を示します。

図4-1. 実装概要

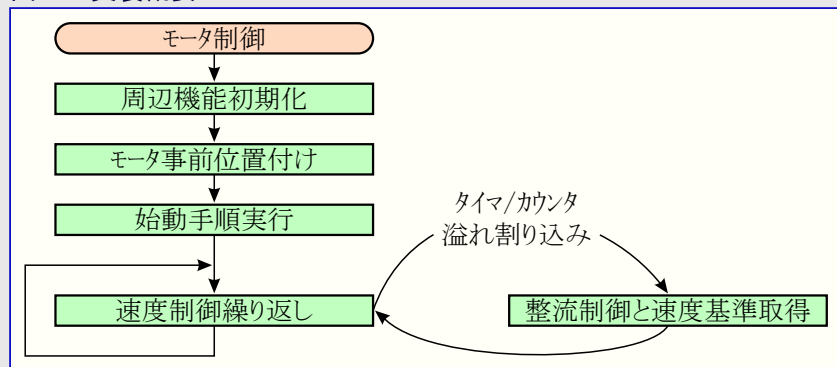


図4-2. 事前位置付けと始動のルーチン

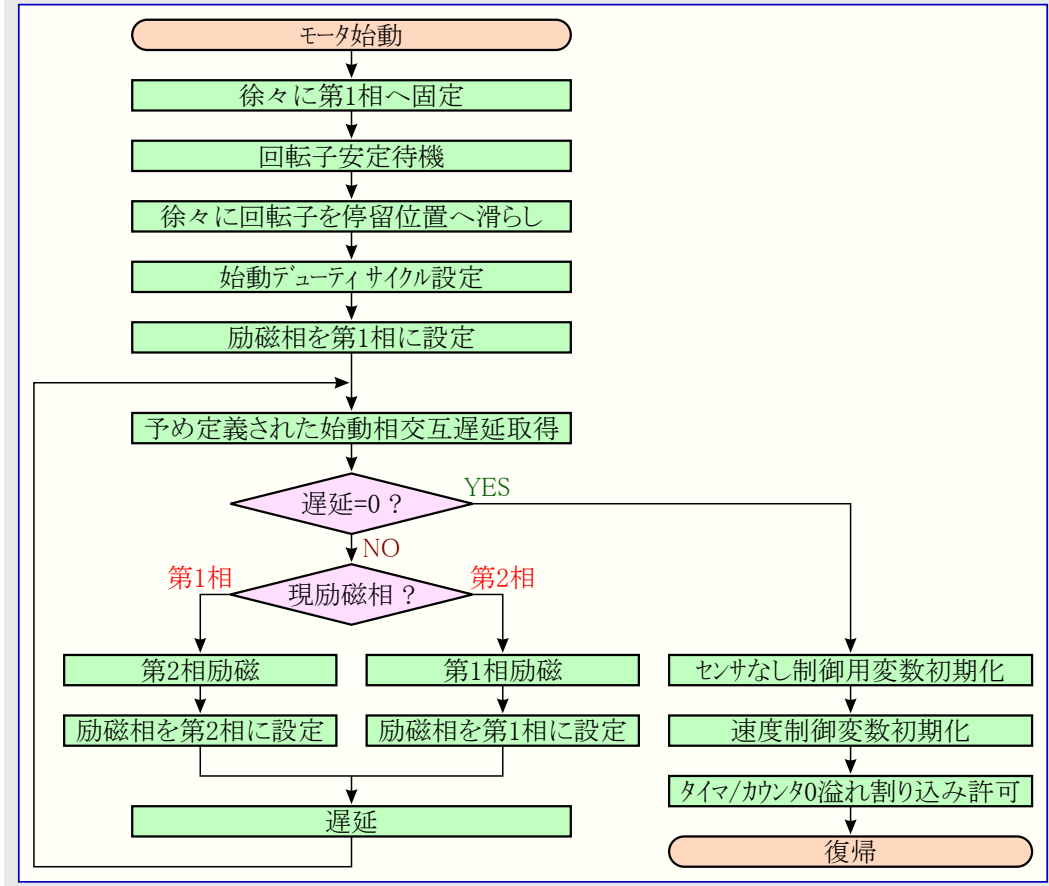
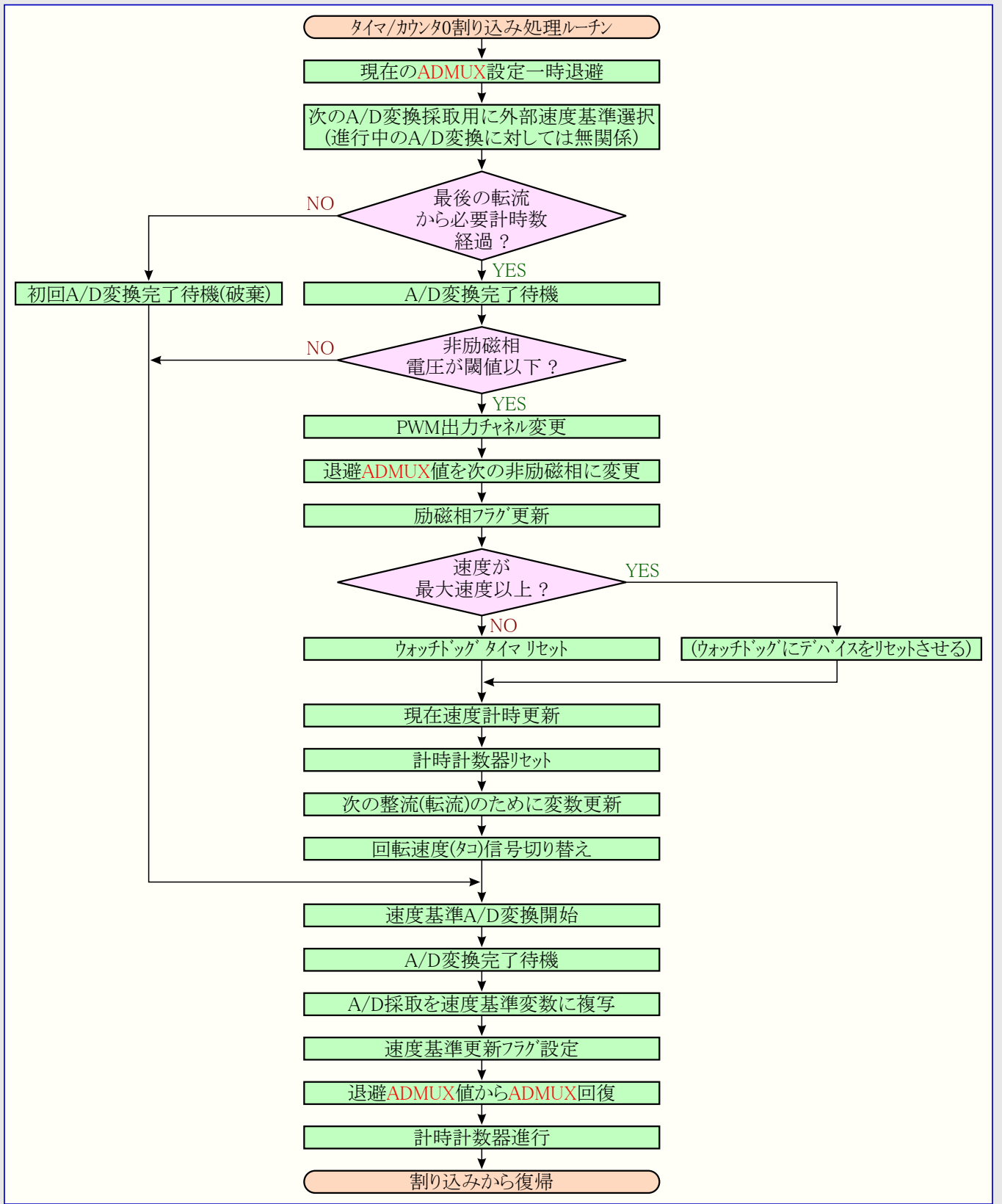




図4-3. タイマ/カウンタ0割り込み処理ルーチン





## 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 2005. 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AVR440応用記述(doc8007.pdf Rev.8007A-09/05)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。