

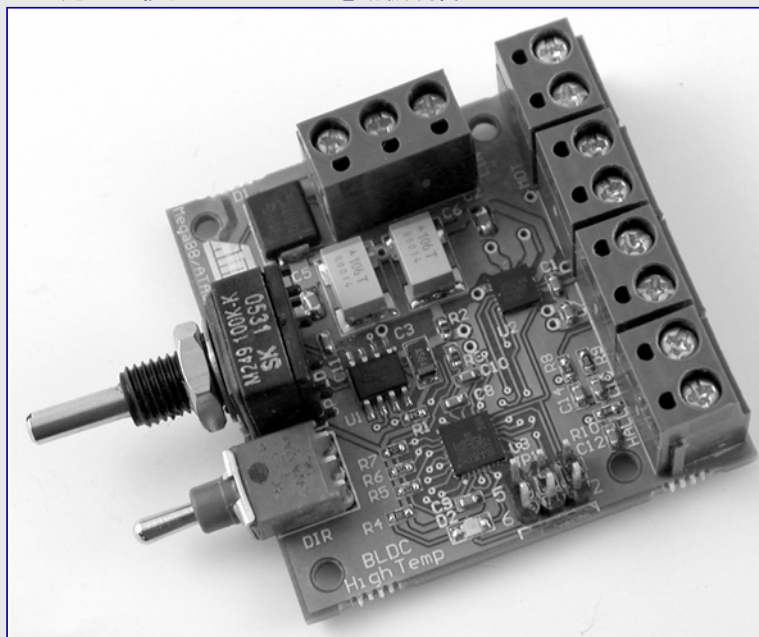
信号生成から完全BLDC電動機制御チェーンまで 完全統合されたBLDC電動機制御

ATA6832-DK

序説

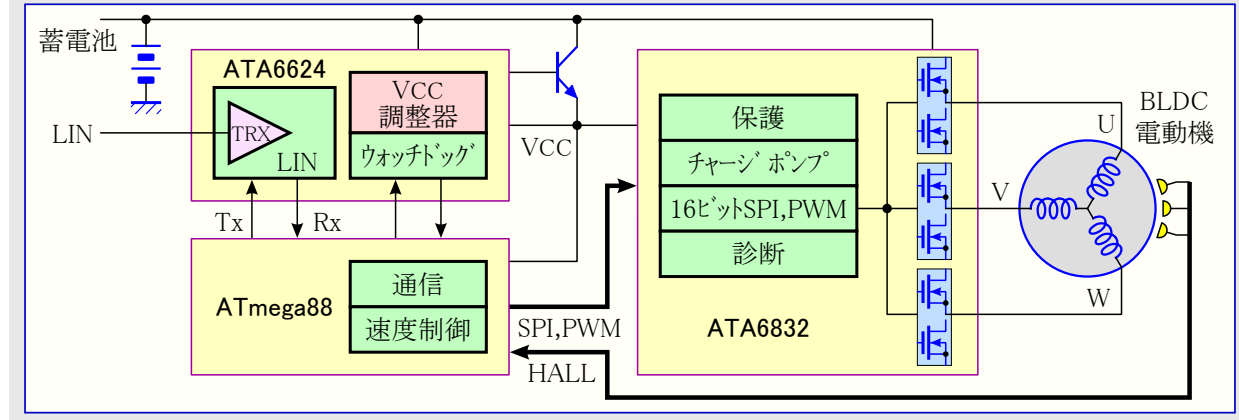
この資料の目的はAtmel®の統合されたBLDC駆動部解決策の原理と応用を説明することです。BLDCシステムに対する世界的な要求は急激に増えています。この要求を完全に満たすためにAtmelは最大1Aまでの統合された出力段を持つBLDCシステムを提供します。このシステムは150°Cまでの周囲温度で”ボンネット内”応用に適合します。小さな電動機を含む車載応用の変種に対して様々な組み込み保護機能がそれを理想的にします。

図1. 完全に統合されたBLDC電動機制御



1. 完全に統合されたBLDCシステム

図1-1. 完全に統合されたBLDC電動機制御応用



システムは3つの統合された回路、ATmega88マイクロコントローラ、AT6832の3つの半ブリッジ駆動部、ATA6624のLINシステム基本チップから成ります(図1-1.)。駆動部ICはBLDC電動機を直接動かすために3つの半ブリッジを統合します。

出力駆動部は完全に保護されます。開放負荷、温度超過、過負荷、過小電圧が直列周辺機能インターフェース(SPI:Serial Peripheral Interface)によってマイクロコントローラに報告されます。出力はSPIインターフェースでも切り替えることができます。直接PWM入力はSPIから独立し、6つの出力段へ柔軟に繋げることができます。これは負荷に対して適応した様々な移動特性に対して知的な巡航制御を保証します。

電動機移動とマイクロコントローラ間の閉路はホール感知器によって保証されます。通信はATmega88マイクロコントローラによって行われます。更にATmega88のフラッシュメモリと計算能力はLIN規約2.0の動作を許します。

BLDCシステムは車載環境に対してAT6624 LIN送受信部で接続されます。更に、このデバイスはデジタル供給電圧を生成します。追加の保護回路はなく、例えば、過負荷と温度超過に対して強化された回路内保護機能のために電流感知が必要とされます。

2. BLDC動作の原理

ブラシレスDC電動機はそれらが減らされた雑音、長い寿命(ブラシ摩耗なし)、電力比に対する良好な重量/大きさ、(可燃性製品での)危険な運転環境有用性を含むいくつかの利点を提供するため、増々多くの応用で使われています。

これらの電動機形式は他の電動機形式と比べて小さな回転子慣性を持ちます。巻線は固定子に取り付けられ、整流(転流)は位置感知器帰還か、または逆起電力測定を使って電子装置によって制御されます。

BLDC電動機の固定子は基本的に3つの巻き線を含み、それらはトルク揺らぎを減らすために多重化することができます。同じ方法で、基本的に回転子は永久磁石を含み、1から複数の極の対から成り、これは段階の大きさにも影響を及ぼします(図2-1.をご覧ください)。位置は固定子の周りを120°で各々拡散した3つのホール感知器を使って推定することができます。

BLDC電動機操作は3つの巻き線と1対の極だけを考察することによって簡単化することができます。相の整流(転流)は位置、この場合はホール感知器値に依存します。電動機巻き線が供給されると、磁界が作成されて回転子が移動します。最も基本の整流(転流)駆動法はON-OFF機構で、巻線は伝導されているか否かのどちらかです。同時に2つの巻線だけが供給され、3つ目は浮いています。これは台形整流(転流)または塊整流(転流)として参照されます。

図2-1. 3巻線BLDC電動機、1と2の極対

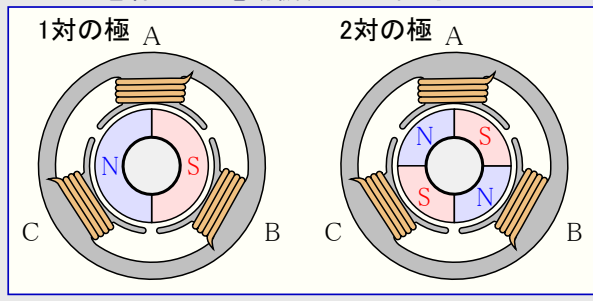


図2-2. 電力段

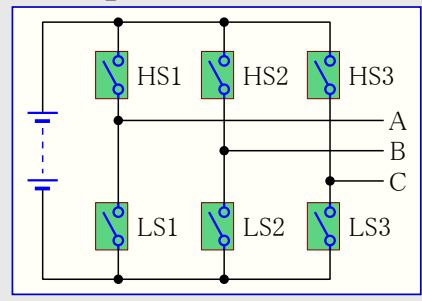
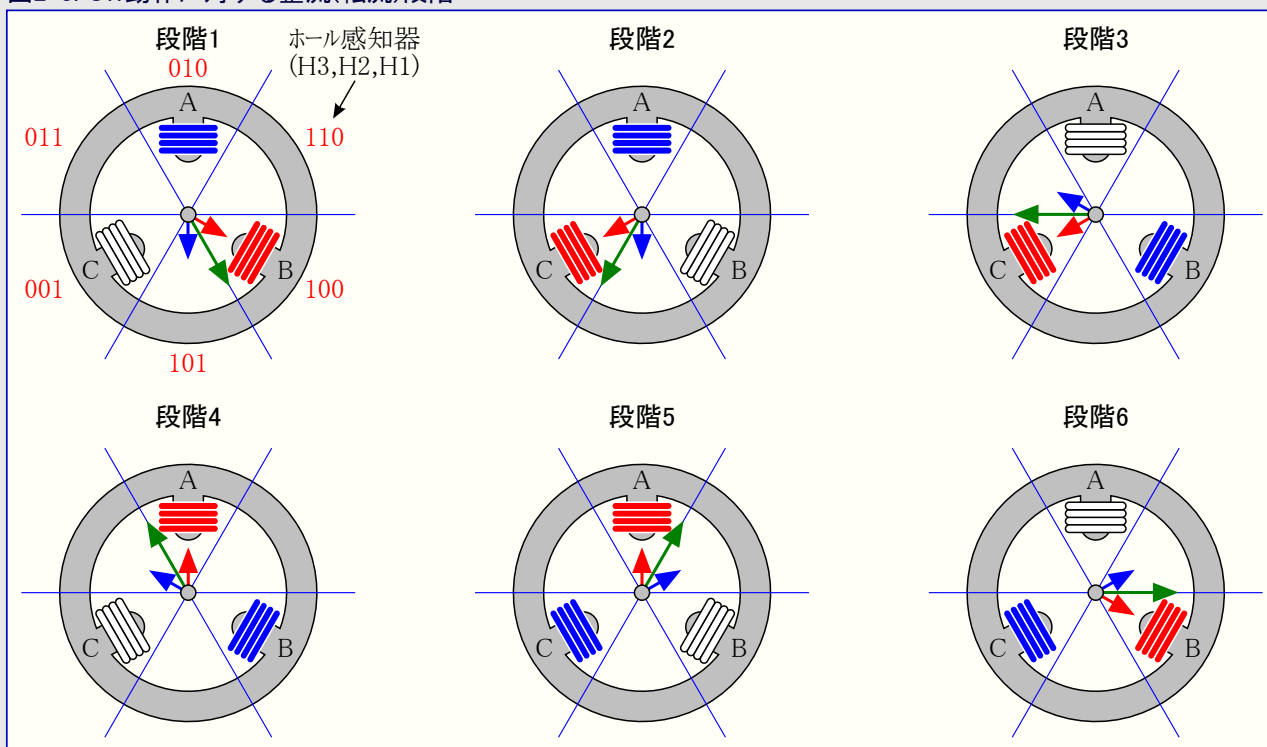


図2-3. CW動作に対する整流(転流)段階



ホール感知器値読み取りは実行されるべき整流(転流)を示します。多極電動機については電気的回転が対極数係数での機械的回転に対応します。

整流(転流)は図2-3.で示されるように回転する磁界を作成するために各段階で更新されます。

この方法は整流(転流)としてATA6832の完全な利点を取り、各段階で送り出すことができ、同時にPWMは磁界の大きさ調節に電動機のトルクと速度で独立して働くことを許します。

表2-1. CWとCCWの回転に対する整流(転流)切り替え

ホール感知器値 (CBA)	CW回転用整流切り替え		CCW回転用整流切り替え	
	巻線	切替器	巻線	切替器
1 0 1	A - B	HS1 - LS2	B - A	HS2 - LS1
0 0 1	A - C	HS1 - LS3	C - A	HS3 - LS1
0 1 1	B - C	HS2 - LS3	C - B	HS3 - LS2
0 1 0	B - A	HS2 - LS1	A - B	HS1 - LS2
1 1 0	C - A	HS3 - LS1	A - C	HS1 - LS3
1 0 0	C - B	HS3 - LS2	B - C	HS2 - LS3

3. ATA6832駆動部

ATA6832は様々な診断と、蓄電池低電圧、過負荷、開放負荷、温度監視の管理を含む保護機能を提供します。

3.1. 最大速度

整流(転流)はマイクロ コントローラによって行われます。ホール感知器は電動機位置帰還を提供する入力チャネルです。統合された3つの半ブリッジ駆動部へのインターフェースであるSPIインターフェースは出力チャネルです。整流(転流)用の時間計画は6頁の図5-1.で示されます。

SPIのデータ転送速度は制限され、ATA6832に対して2MHzが最大転送速度です。16ビット+通信制御は理論的に100kHzまでの最大SPI速度、10μs毎に1つの命令を許します。

ATA6832の最大出力切り替え速度は25kHzまでです。出力段変更は40μs毎に可能です。

3極の固定子と1つの双極を持つBLDC電動機は定義された制御で最大速度を許します。2つの双極を持つ回転子は半分速度を許します。単一双極電動機は1つの回転で3つの出力半ブリッジの6つの異なる切り替え状態を通して通過します(表2-1.参照)。各切り替え状態は1つのSPI命令によって制御され、従って、1つの変更(整流)に対して6つのSPI命令が必要とされます。

40μsの出力切り替え速度と6回で、各変更(整流)は1回転に対して最小240μsに帰着します。

3.2. BLDC開放負荷検出

開放負荷を検出するために各出力段に統合された電流源があります。開放負荷検出をOFFにする(OLDのlow設定)と、電流源がONに切り替えられます。下側検査電流は上側検査電流よりも高いことが設計によって保証されます。従って、出力に負荷が接続されていない場合、3つ全ての下側切り替え器はそれらの出力レジスタビットをONに変えることによって開放負荷を報告します。

1つの出力がHighに切り替わり、BLDC電動機が正しく接続されている場合、隣接する両出力は上側開放負荷を示します。1つの巻線での開放負荷の場合、この出力は単一下側開放負荷を合図します。

通常操作下では、OLDビットのHigh設定によって解放負荷電流源がOFFに切り替えられるべきです。さもなければ、この回路は電力消費を生じます。

3.3. PWM切り替え

PWMで出力を制御するため、6つ全ての出力に対して利用可能な1つのPWM入力ピンがあります。PWMで操作する出力は6つの入力データレジスタ(PLx/PHx)の対応するビットを活性にすることによって選ぶことができます。これらの入力ビットによって出力に対してPWM操作動作が活性にされた場合、その入力データレジスタ切り替え(HSx/LSx)がPWM入力ピンと”AND接続”されます。選ばれた出力はPWM入力信号に従います。

巡航制御、例えば、BLDC電動機の開始や停止に対してPWMが必要です。速度を制御するには3つ全てのBLDC電動機巻き線に対して1つの専用PWMだけが必要とされます。巻線を通しての電流制御は上側または下側のどちらかの半ブリッジの1つの出力だけを切り替えることで充分です。この状況は1つのPWM周波数だけを持つBLDC駆動部の走行を許します。1つのマイクロコントローラ計時器だけが必要です。

ATA6831とATA6832の上側切り替え器は下側切り替え器よりも高速です。上側切り替え器を使って25kHzまでのPWM周波数が可能です。

3.4. 冷却領域設計

駆動部ICのATA6831/ATA6832は特別なQFN外囲器に収納されます。QFN外囲器は露出ダイパッドのため、特に電力応用に適切です。この利点を利用するため、放熱充填物は完全にPCBに半田付けされることを確実にしなければなりません。

熱抵抗を減らすため、半田付けする層へ落ちるビアが必要とされます。熱エネルギーを排出するために半田付けする層に十分な接地面が配置されなければなりません。

1~1.5mmの空間を持つ直径0.3~0.4mmのビアが最適と証明されています。特に放熱ビアで生じるどの半田隆起も避けるため、銅箔領域の平坦性にかかなりの注意が払われるべきです。

外囲器の大きさを4mm×4mmに落として最小化するため、ピンは外囲器の3つの側面だけです。

4. 応用基板

応用基板はLINコネクタで12Vに接続される時に動作可能です(図4-1をご覧ください)。この基板はLIN締め具によってLINバスを渡って車載環境に接続することができますが、マイクロコントローラに実装されたLIN規約はありません。この応用基板上のATA6625は5Vデジタル供給を生成するのに使われます。

走行/停止、時計回り、反時計回り用の切り替え器(DIR)と可変速度(PWM)入力用の可変抵抗器(SPEED)は自立試作に対して基板上で利用可能です。

BLDCからATmega88マイクロコントローラへの帰還閉路はホール感知器によって行われます。3つのホール入力HALLコネクタだけでなく、ホール感知器用の5V供給へも繋げることができます。

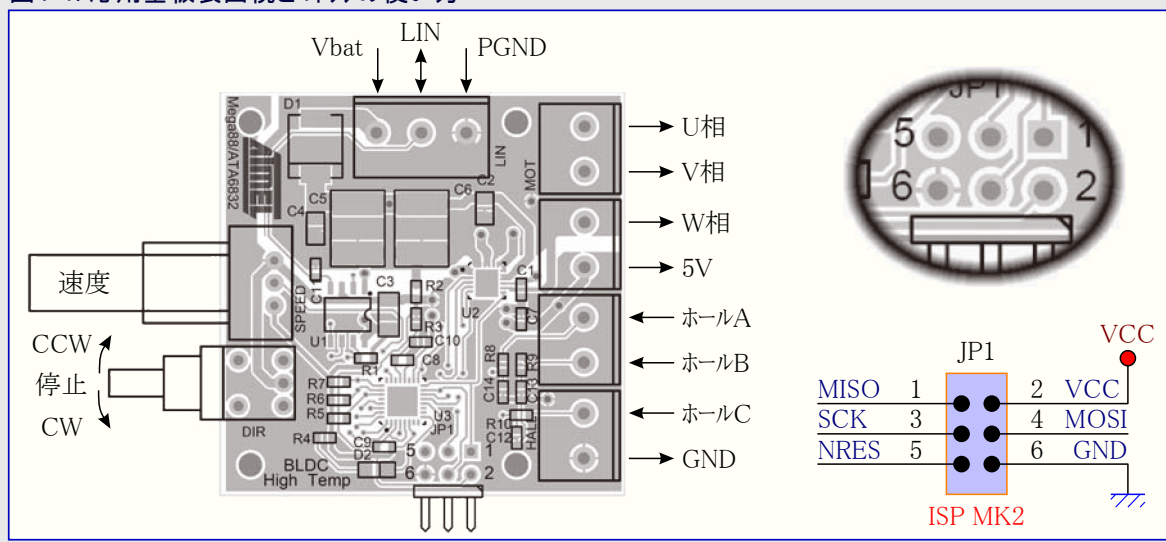
4.1. 基板上の機能

応用基板は以下の機能を提供します。

- ATmega88 QFN32
 - MCU
- ATA6832 QFN
 - BLDC電動機を駆動してその動作を調べるために統合された3つの半ブリッジ
- ATA6625 SO8
 - 1.3と2.0適合LINインターフェース×1
 - 5V電源調整器
 - 最大125°C (外部トランジスタを持つATA5524の使用は最大150°C動作を許します。)
- ON-OFF-ON切り替え器
 - 自立命令インターフェース：走行/停止、時計回り、反時計回り
- 可変抵抗器
 - 自立速度変化命令 (PWM比)
- システム クロック
 - 内部RC発振器
- コネクタ
 - 電源(蓄電池電圧)とLIN
 - BLDC電動機コネクタ (3相)
 - ホール感知器入力と供給 (3つの濾波した入力と調整した5V供給電圧)
 - AVR Studio®インターフェース(注)によって支援されるJTAGICEを使うチップ上実装書き込み(ISP)とチップ上デバッグ用ISP/デバッグWIREコネクタ
- 寸法：45mm×45mm

注: ATmega88はAVR Studio 4.12またはそれ以降版で支援されます。これと他のAVR®ツール製品の更新情報については当社のウェブサイト調べてください。AVR Studio、AVRツール、この使用者の手引きの最新版はAtmelのウェブサイト、<http://www.atmel.com>のAVR部分で見つけることができます。

図4-1. 応用基板表面視とコネクタの使い方



4.2. 高い周囲温度

このBLDCシステムは高温環境用に設計されています。ATmega88 MCUとATA6832駆動部は150℃の周囲温度まで認定されています。ATA6832はその出力段の各々が温度感知器を含む強化された温度管理を持ちます。温度停止機能に加えて、温度事前警告機能が利用可能です。温度が事前警告閾値を超えた場合、マイクロコントローラは出力電力を減らすことによって反応することができます。

ATA6625システム基本チップ(SBC: System basis chip)は150℃までの接合部温度に対して認定されるだけです。この電圧調整器電力消費は150℃までの周囲温度に対して許されるだけです。同じSBC系統の一員のATA6624は出力線調整に個別トランジスタと共の動作を許します。150℃よりも高い接合部温度のトランジスタが利用可能です。このような出力線調整トランジスタが熱を放散する場合、ATA6624の温度上昇は3℃だけです。147℃の周囲温度が可能です。AtmelのSBCの代わりに高温電圧調整器を使うと、完全な150℃温度範囲を許します。

使う全ての個別部品は150℃までの温度に対して許されます。

基板上に実装されたコネクタ、切り替え器、可変抵抗器は試作を許しますが、これらの部品は高温認定されていません。基板は線によって高温環境で統合することができます。

5. ソフトウェア説明

アセンブリ言語で実装されたSPI割り込みサブルーチンを除いて全てのコードはC言語で実装されています。ソースコードはIAR® EWAVR 4.20 Aだけでなく、AVR-GCC(AVR StudioでのWinAVR-20060421)をも使ってコンパイルすることができます。

HTML資料が一括に含まれます。この資料を見始めるにはルートディレクトリの[High_temp_BLDC.html](#)ファイルを使ってください。

ソフトウェアの動きは以下の3つの主な作業動作で実行することができます。

- 電動機停止
 - この動作ではホール感知器割り込みが発生しません。ATA6832診断を維持するために主繰り返しによってSPI通信が絶えず実行されます。
 - 命令切り替え器は電動機の開始を許します。電動機を開始するために最初の枠組みが電力駆動部に送られなければなりません。この枠組みは電動機位置(ホール感知器入力)に従って適用される整流(転流)と望む方向を含みます。
 - 停止の間、ATA6832は電流消費を20μA未満に減らすためにスタンバイ動作に切り替えられます。
- 電動機走行中
 - 一旦電動機が開始されると、SPI通信(整流(転流))は割り込みが起こる時毎にホール感知器割り込みによってのみ処理されます。
 - 命令切り替え器は整流(転流)の進展を中断するのに使うことができ、従って、電動機を停止します。
- 劣化動作：2つの可能性
 - 電動機は過負荷、温度超過などために停止されています。ソフトウェアは使用者の障害解除(停止位置への切り替え器操作)を待ちます。
 - 電動機は未だ走行中です(ソフトウェアの動きは電動機走行中動作と同様です)。使用者は障害(温度超過、1つ以上の切り替え器が固着されたなど)が検出されたことを通知されます。ソフトウェアは出力電力を減らして使用者の障害解除の指図(停止位置への切り替え器操作)を待つことができます。

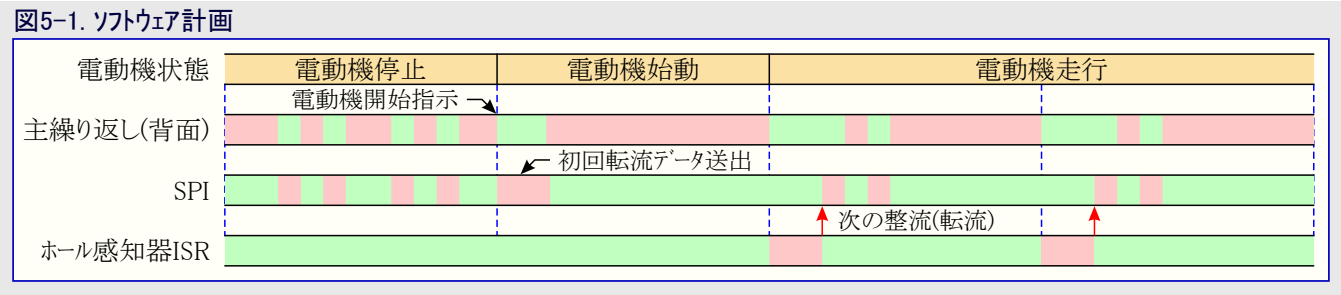
5.1. 資源

表5-1. コード、データ、CPU資源(コンパイル最適化なし)			
コンパイラ	コード(フラッシュメモリ)量 (バイト)	データ(SRAM)量 (バイト)	CPU負荷
IAR EWAVR 4.20A	1,304	367	「5.2. 計画」をご覧ください。
AVR-GCC	1,826	48	

以下のMCU周辺機能が使われます。

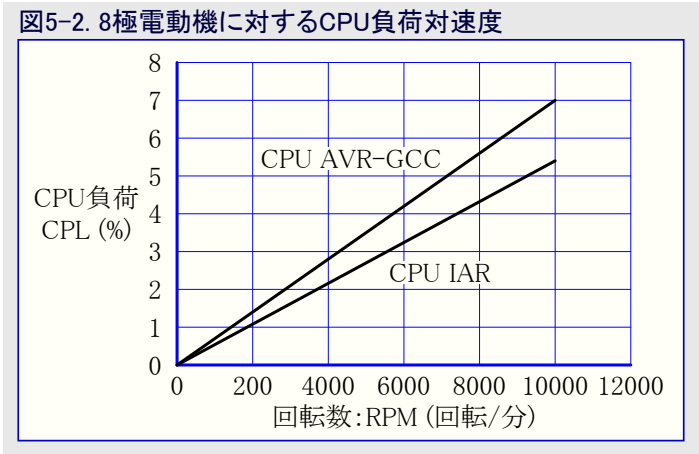
- SPI
 - ATA6832電力駆動部との整流(転流)データと状態データの転送
- 計時器1
 - 比較出力1A(OC1Aピン)を通してPWM生成
- ADCチャンネル0
 - (PWM比として働く)速度可変抵抗器値採取
- ピン変化割り込み
 - 電動機位置進展検出にホール感知器端検出が使われます。
- 入出力
 - LED、切り替え器の操作
- (この自立型ソフトウェアによって実装されない)任意選択
 - LIN実装用のUARTと捕獲入力

5.2. 計画



電動機走行中のCPU負荷は次のとおりです。

- IAR EWAVR 4.20A使用
主繰り返しが背面で継続的に実行されます。これを計画することができます。測定された主繰り返し時間周回は21μsです。各出力整流(転流)に対して1つのホール割り込みと2つのSPI割り込みが起きます。これは1つの整流(転流)に対して行い、CPU時間=ホール割り込み時間+両SPI ISR=8.4μs+4.8μs=13.2μs/整流(転流)です。
 - AVR-GCC使用
主繰り返しが背面で継続的に実行されます。これを計画することができます。測定された主繰り返し時間周回は30μsです。各出力整流(転流)に対して1つのホール割り込みと2つのSPI割り込みが起きます。これは1つの整流(転流)に対して行い、CPU時間=ホール割り込み時間+両SPI ISR=16μs+4.8μs=20.8μs/整流(転流)です。
- 主繰り返しは計画されておらず、背面で実行されるため、下のCPU負荷計算に考慮されません。完全な電動機回転と4対極に対して6つの割り込みを持つと仮定し、以下のCPU負荷対回転速度を判断することができます。



5.3. 線図

図5-3. ホール感知器ISR用流れ図

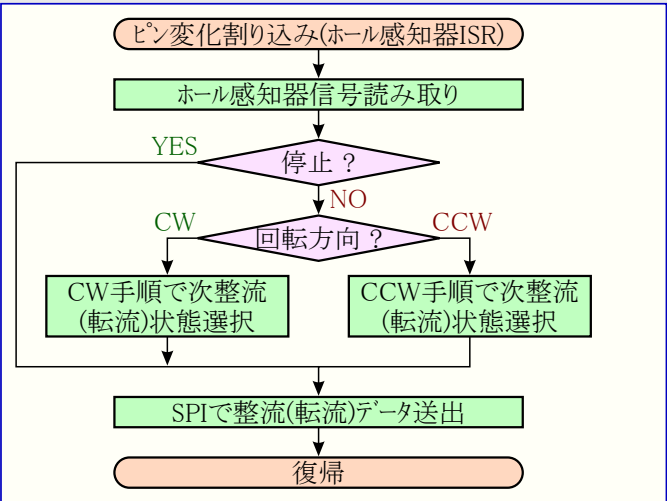


図5-4. SPI転送完了ISR用流れ図

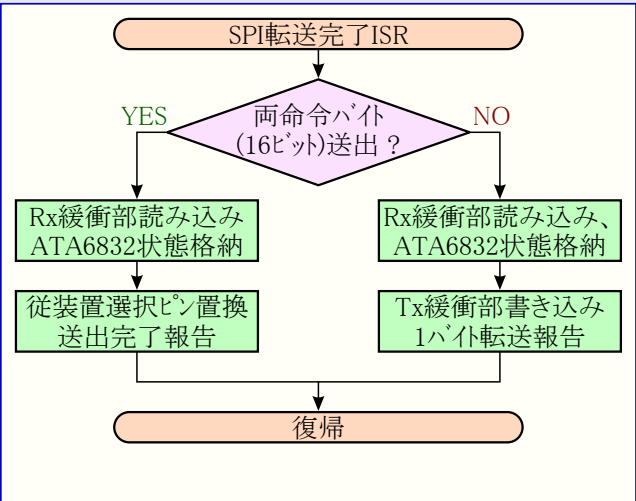
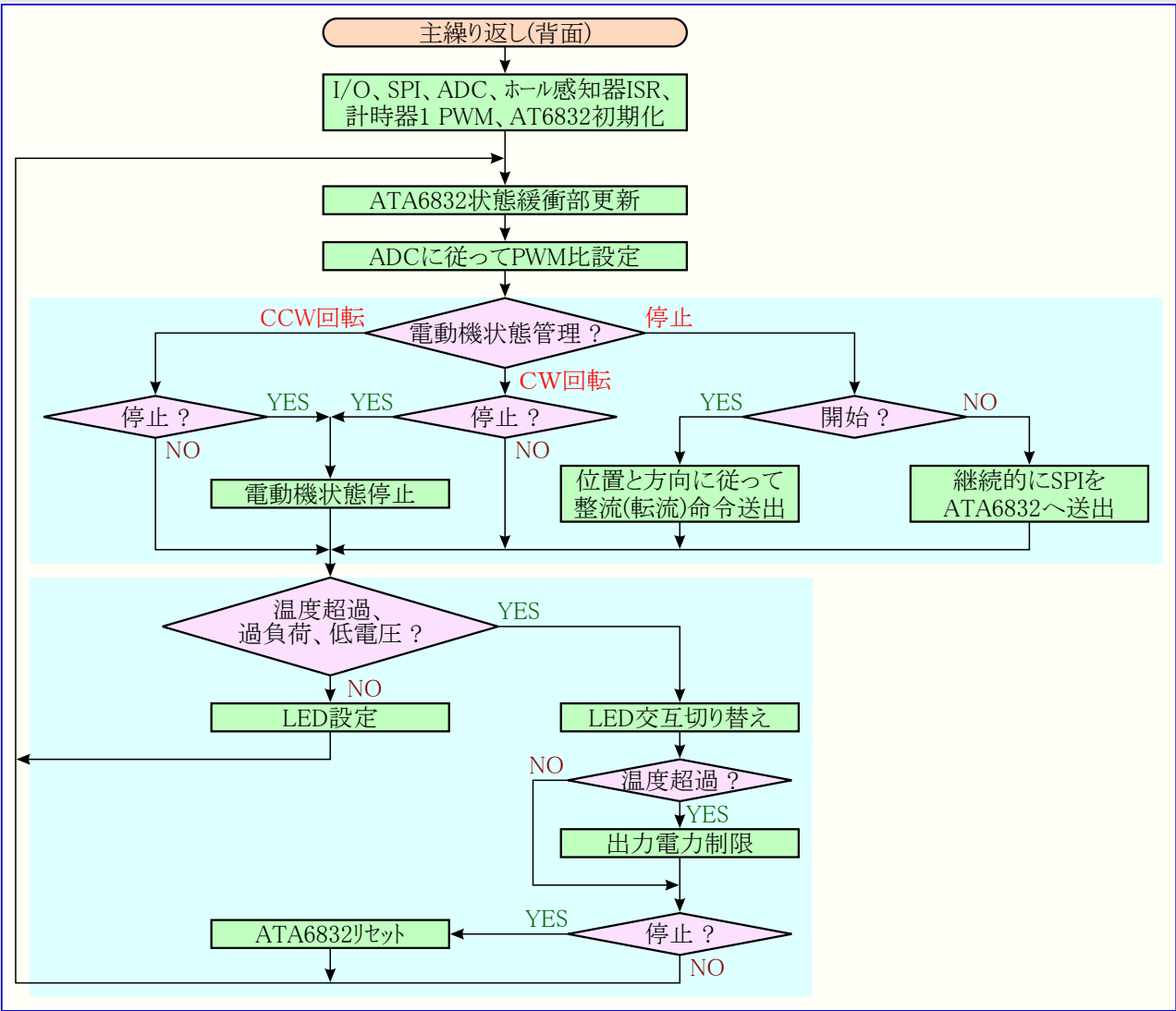


図5-5. 主繰り返し流れ図



5.4. 単位部

`void SPI_MasterInit(void)`

ATA6832アクセスに使われるSPIを初期化、I/O構成設定、2MHz周波数、クロック下降端でデータ採取、LSB先行

`SPI_status_t SPI_transmit_16(unsigned int data_16)`

返されるSPI状態に応じて(割り込みを使って)SPIで16ビット データを送出。成功なら、`SPI_initiate_tx`を返します。

`SPI_status_t SPI_get_Rx_data(unsigned int *data_16_ptr)`

データが受信された時にSPIで受信したデータを指示された緩衝部に置きます。その場合、`SPI_Completed`を返してSPI状態を準備可に変えます。

`void ADC_Init(void)`

可変抵抗器から望む速度を採取するようにADCを準備

`unsigned int get_speed()`

可変抵抗器から最後に採取した望む速度を返します。新しい変換を開始するのにADC変換終了フラグを調べ、最新の望む速度を更新します。

`void Hall_sensors_ISR_init(void)`

ホール感知器入力でのピン変化割り込みを準備

`Motor_ctrl_t BLDC_start(unsigned char direction)`

望む方向とホール感知器入力に従って電動機を開始するための最初の整流(転流)命令を送ります。SPI枠組みが送られてしまった時に開始済み状態を返します。

`void Timer1_start(void)`

比較出力1AでのPWM用に計時器1を構成設定

`void manage_time_base(void)`

(LED交互切り替えなど用の)汎用基準時間を管理

`TIMER1_SET_OC1A_PWM(val)`

PWM比を変更 (マクロ)

6. 応用基板完全説明

図6-1. BLDC応用基板回路図

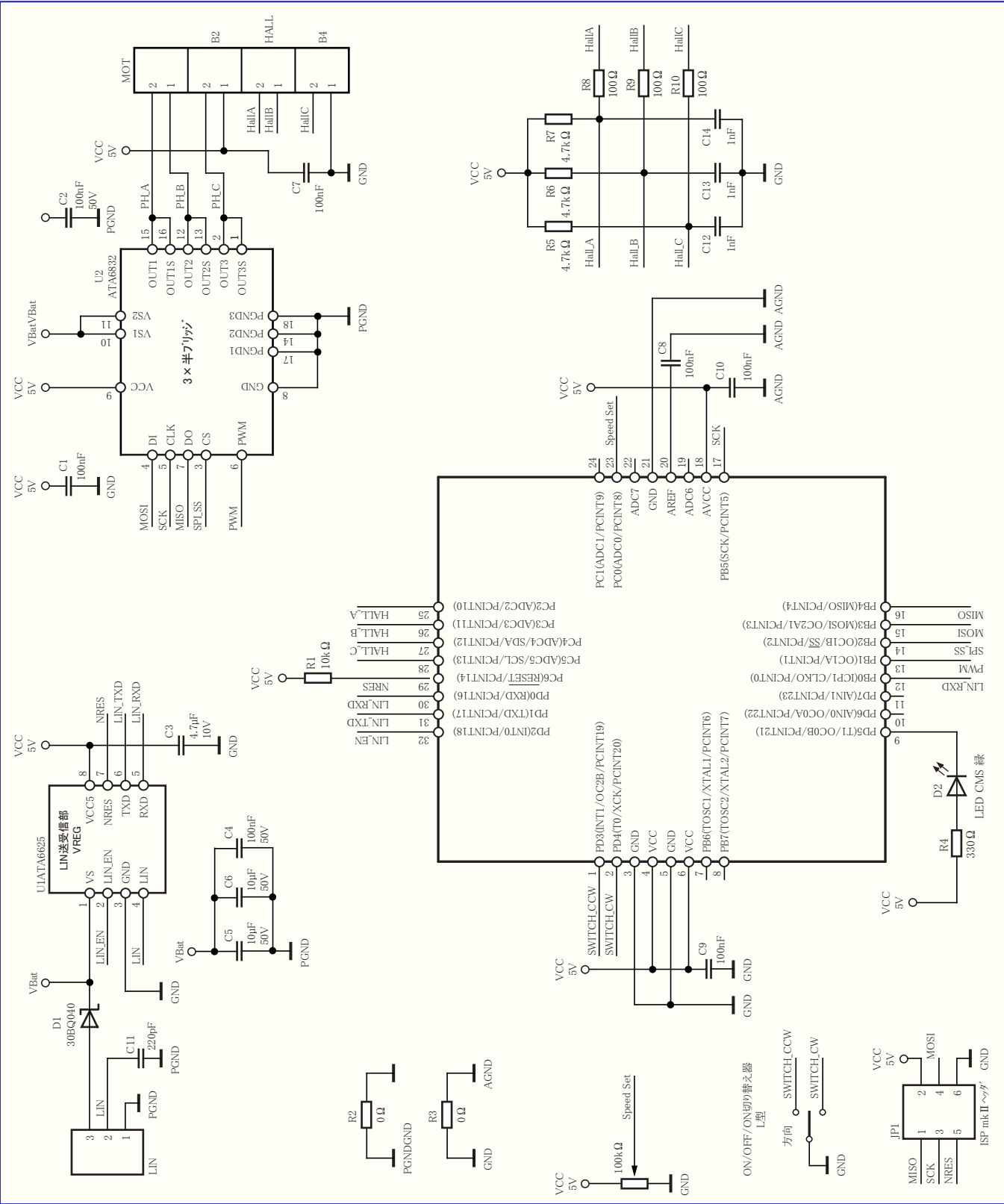


図6-2. BLDC応用基板表面視と部品配置

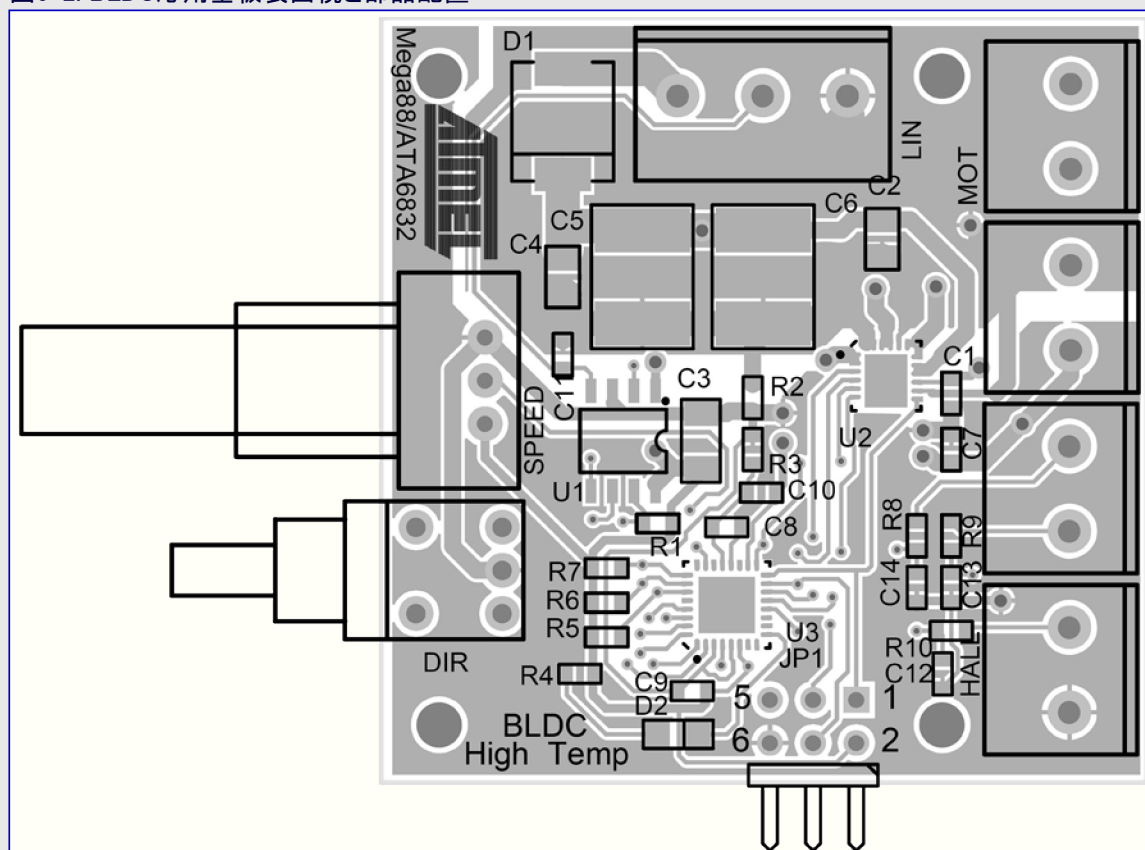


図6-3. BLDC応用基板裏面視

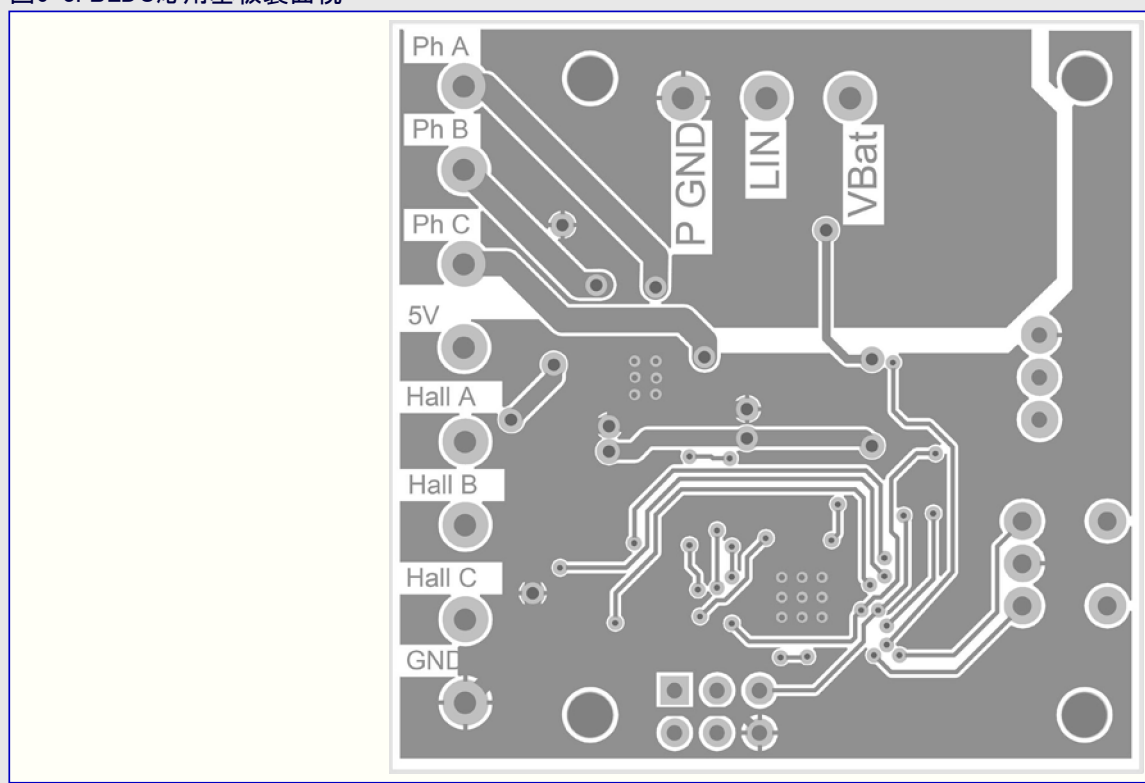


表6-1. BLDC応用基板コネクタ

コネクタ	番号	機能	方向
LIN	1	電力GND	入力
	2	LIN入力	入力
	3	12V 電力	入力
MOT	1	電動機A相	出力
	2	電動機B相	出力
B2	1	電動機C相	出力
	2	5V 電力	出力
HALL	1	ホール感知器A	入力
	2	ホール感知器B	入力
B4	1	ホール感知器C	入力
	2	電力GND	出力

7. 改訂履歴

本章で参照される以下の頁番号は本資料ではなく、言及された特定改訂を参照することに注意してください。

改訂番号	履歴
4987C-AUTO-02/15	・ 資料を最新雛形で表現

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、Enabling Unlimited Possibilities®, AVR®, AVR Studio®とその他は米国と他の国に於けるAtmel Corporationの登録商標または商標です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

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のウェブサイトにある販売の条件と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、または利益と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。

安全重視、軍用、車載応用のお断り: Atmel製品はAtmelが提供する特別に書かれた承諾を除き、そのような製品の機能不全が著しく人に危害を加えたり死に至らしめることがかなり予期されるどんな応用(“安全重視応用”)に対しても設計されず、またそれらとの接続にも使用されません。安全重視応用は限定なしで、生命維持装置とシステム、核施設と武器システムの操作の装置やシステムを含みます。Atmelによって軍用等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は軍用や航空宇宙の応用や環境のために設計も意図もされていません。Atmelによって車載等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は車載応用での使用のために設計も意図もされていません。

© HERO 2019.

本応用記述はAtmelのAVR927応用記述(Rev.4987C-02/2015)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訳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。