

# AVR453 : スマート電池参照基準設計

## 要点

- 直列接続された4つまでのリチウム イオン電池セルを支援
- 専用ハードウェアによる電池保護
  - ・ 深下電圧保護
  - ・ 充電中の過電流保護
  - ・ 放電中の過電流保護
  - ・ 回路短絡保護
- 18ビットA/D変換器での充放電電流監視
  - ・ 低下電圧状況後の自動予備充電
  - ・ 充電の状況(State-of-Charge)と健全の状況(State-of-Health)の状態
- SMBus通信
  - ・ 完全なスマート電池SMBus支援
  - ・ SMBusを通じた実装書き込みを支援
  - ・ AES暗号化ファームウェア更新を支援

## 1. 序説

再充電可能なリチウム イオン(Li-Ion)電池は携帯電話、デジタル カメラ、ラップトップ コンピュータのような可搬型電気製品で広範囲に使われています。これは主にそれらの電池の高いエネルギー対重量比のためです。リチウム イオン電池の寿命とエネルギー貯蔵を最大にするために、注意深い監視と充放電周回の制御が必要です。Li-Ion電池が極端な条件下で爆発し得るため、不正な使用は安全への脅威さえ引き起こすかもしれません。これらの理由のため、賢い電池、スマート電池が導入されています。

AtmelのATmega406 AVRマイクロ コントローラはスマート電池応用の考えで作成されています。特徴一式は不正使用から電池を保護することができる個別のハードウェア機能だけでなく、高精度のA/D変換器、SMBus通信用のTWIインターフェースをも含みます。この応用記述はAtmelのATmega406マイクロ コントローラを用いるスマート電池の実装を記述します。

図1-1. 著者のラップトップでのスマート電池



## 2. 実装の範囲

この応用記述と連携するソフトウェアの意図は電池パックを設計する時に対向する問題を処理するための基盤を提供することです。機能的な電池パックが実装されていても、多くの独自設定と機能強化が行われることが有り得ます。設計者は提供されたものを取り入れてそれを個人用にすることが奨励されます。

応用記述はスマート電池を実装する時に必要とされる機能を達成するのにATmega406の能力がどう使われるのかを記述します。

応用記述のソフトウェアは電池認証が実装されていませんが、これは2次市場が重要な収入源を意味する応用で望まれます。これは“本物の”電池だけが製品で使えることを保証するために使われます。認証は6.7.項で更に検討されます。

目次は24頁で見つかります。

**警告!** リチウム イオン電池の不正な取り扱いは安全を危険に晒します。Li-Ion電池が誤って扱われた場合にそれらは爆発し得ます。逆に安全に影響するかもしれない、どんな設計の状況にも対処する時に警告を用いてください。系としてのハードウェアとソフトウェアの動きの完全な理解を確実にしてください。



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. 2599C-02/06, 2599CJ3-01/21

### 3. AVR453の暫定公開に関する公開注記

この資料とソースコードが暫定であることに注意してください。この公開版はATmega406改訂Eが目的対象で、ATmega406の旧版は支援されません。公開注記に関し、ソースコードと共に含まれるdoxygen資料([readme.html](#))で公開注記項を調べてください。

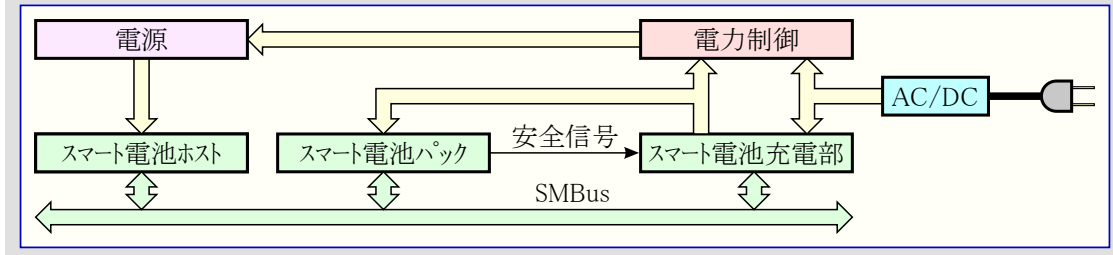
更に、コードの変更なしで正しい応答を予測できるのがどのSMBus命令かを見るために[表5-2](#)を参照してください。

### 4. 動作の理屈

スマート電池システムは以下の3つの要素から成ります。

- ・スマート電池ホスト
- ・スマート電池パック
- ・スマート電池充電部

図4-1. 代表的なスマート電池システム



スマート電池ホストはスマート電池パック(または只の'スマート電池')から電力を引き出し、型式、銘柄、残充電状況とより多くに関する情報を得ることができます。ホストと電池間の通信はシステム管理バス(SMBus: System Management Bus)に基きます。スマート電池充電部は接続したスマート電池パックからの要求に基いてその出力を適合させることができる充電器です。この情報はSMBusを通して、スマート電池から充電部へ直接的に送信されるか、または充電部によってスマート電池パックから直接取得されるかのどちらかです。安全信号は電池から充電部へ重大な異常を伝達します。

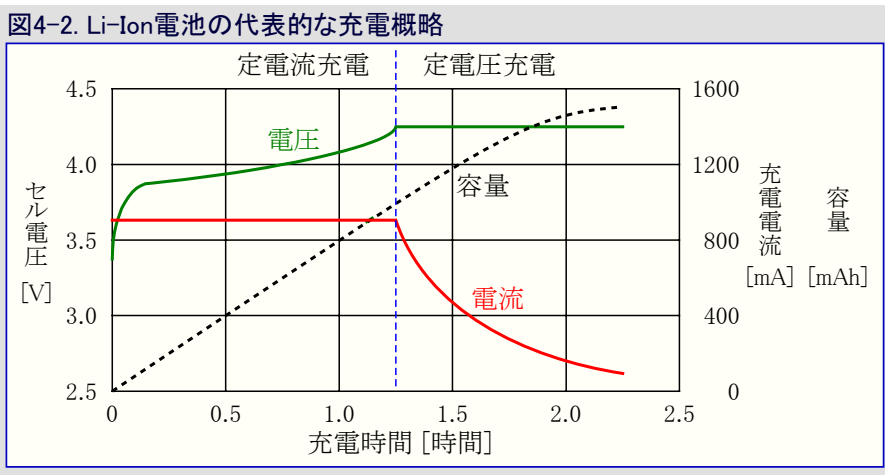
スマート電池システムについてのより多くの情報はスマート電池システム仕様[1.]で入手可能です。

#### 4.1. Li-Ion電池の技術

Li-Ion電池は今日の市場に於いて数ある中で最高のエネルギー密度のセルですが、それらは最適な寿命を与えるために注意深い管理が必要です。特に過充電と過放電は厳密に避けられるべきです。加えて、多くの電池形式でのように、過剰な放電電流はセルを過熱し得ます。セルの中身がリチウムなので、過熱は特に危険で、避けられなければなりません。更に、セルの温度は充電容量に影響を及ぼし、充電、放電、それと容量推測中に注意しなければなりません。高度に統合されたATmega406デバイスを使うことにより、高精度の充電推測を提供する一方で、部品数、従って費用を最小に保つことができます。加えて、ATmega406上のEEPROMとフラッシュメモリの両方の存在は、欠陥パックの不良分析を手助けするかもしれない、最後の温度や電流のような電池の履歴情報の格納を許します。

##### 4.1.1. Li-Ion電池充電の概略

代表的なLi-Ionセルの充電概略が図4-2.で示されます。今日の可搬型機器に於いて、可能な最短充電時間を持つことが度々必要条件の鍵になります。最大未満充電法が使えらるとは言え、最速充電のため、一般的にセルが定義された電圧に達するまで定電流充電源が必要とされます。残りの充電は定電圧充電源を使うことによって供給されます。これは定電流-定電圧充電法(CC-CV)として参照されます。



供給される電流と電圧がセルに対する製造業者の仕様を越えないことが重要で、また、過熱やセルの破裂に帰着するかもしれません。ATmega406はハードウェアでパックの電流と電圧を個別に監視し、過電流や過電圧の事象でパックを充電部から切断できます。加えて、設計者が温度感知器を組み入れたなら、ATmega406は温度を感知して必要な場合に充電の電流または電圧の低減を充電部に要求します。ATmega406デバイスは外部感知器に対する安価な代替、または外部感知器異常事象での代替支援としての扱いを提供するためのチップ上温度感知器を含みます。

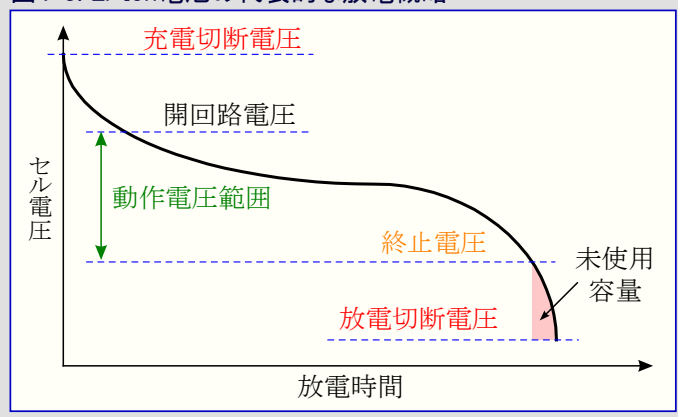
正確な充電状況推測の提供に於ける鍵は充電と放電の電流を精密に監視する能力です。ATmega406デバイスはこの目的に対して高感度と高分解能の両方を提供する高精度のクーロンカウンタA/D変換器を含みます。

#### 4.1.2. Li-Ion電池放電

Li-Ionセルの放電はセル電圧が定義された下限に達した時に終了されなければなりません。この点以下の放電はセル内での構造的変化を引き起こし、その容量を恒久的に減じます。加えて、放電中の過剰な電流はセルを過熱させて機械的な破裂を引き起こすかもしれません。

利用可能なセル容量の最善使用を行うには、セルの放電電圧限度以下になることなく、可能な限り低い電圧に下がった動作を許すようにセル電圧を正確に測定することが大事です。放電切断電圧に可能な限り近い動作電圧間隔の下限を持つことにより、未使用容量が最小にされます(図4-3をご覧ください)。この理由のため、セル電圧を測定するための高精度A/D変換器を持つことは好都合です。不必要な電圧低下を防ぐために系内に於いて可能な限り小さな直列抵抗を持つことも重要です。ATmega406に存在する豊富な安全機能とで、電池パックから安全回路の1つまたはより多くの段を無くすことが可能かもしれず、従って(電力)損失を低減してパック出力を増します。加えて、電流測定に低抵抗部品を使うことが重要です。参照基準設計はこの目的に5mΩの抵抗器を使い、1mAよりも小さな分解能で電流の流れを測定することができます。

図4-3. Li-Ion電池の代表的な放電概略



#### 4.1.3. セル平衡

セル平衡は直列に接続された積層でのセル電圧を互いに合わせるために調整する技術です。セルが異なる充電、故に異なる電圧を持つ場合、最高電圧を持つセルが充電終了点を決め、最低電圧を持つセルが電池パックの放電終了点を決めます。従って、セル間のどんな偏差も充電と放電の両方の終了に影響を及ぼすことによって實際上、誤差を倍加します。製造時に於いて、電池パック供給者は代表的にセル容量を非常に近くに合わせます。けれども、製造上の通常の変動のため、例え近くに合わせられたセルであっても、数10または数100回の充放電周回後はそれらの動作電圧と残容量に関して離れるでしょう。別の可能性は弱いセルで、これは低容量のために電池パック内の他のものよりもっと素早く充放電するでしょう。これは充放電周回の早期の終了を強制し、従って他のセルが完全に充電される前に充電を停止するかもしれません。

セル間の電圧差は可能な限り小さく保たれるべきで、5mV以下が望まれますが、セルの内部抵抗のために見かけのセル電圧を低くする尖頭短絡電流によって生成され得るような、セル電圧の測定に於けるシステム雑音にも注意すべきで、セルが平衡を必要とするかどうかを決める時に注意しなければなりません。

ATmega406デバイスはセル電圧を監視するピン間を通すセル平衡FETを含みます。従って平衡は常に最高電圧セルの電圧と充電を減らすことを意味します。これらのデバイスは代表的に2mAの電流と評価されます。一見してこれが十分大きいと思えなくても、それは平衡に関して充分です。平衡FETを通る電流は異なるセル電圧入力の方々の濾波器網内の直列抵抗によって制限されます(データシートを参照してください)。本質的にFETが入力を迂回して短絡し、濾波器網がチャンネル間で小規模の相互作用をするので、セル平衡FETのどれか1つが許可されている間、セル電圧入力の何処でも正確な電圧測定を実行することは不可能です。

充電中にセル平衡が実行された場合、セル平衡FETは少量の充電電流にセルの“迂回”を許し、従って積層内の他のセルと同じ位多くの充電を受け取りません。放電中、平衡はセルに対して放電速度を増加します。平衡は一度に1つのセルでだけ実行され、常に最高電圧を持つセルがその増加された放電速度を持つべきです。

## 4.2. スマート電池の定義

スマート電池には多くの形式、他のものよりも賢いものもあります。スマート電池の最も簡単な形式は電池技術と充電法についての情報を提供します。スマート電池システムフォーラム(Smart Battery System Forum)によって提供された定義は、少なくともスマート電池は充電の状況(State-of-Charge)情報を提供することができなければならないと述べています。

Li-Ion電池に対して根本的に必要なのは回路短絡保護です。もっと複雑化した電池パックは過充電、過放電、温度超過や、危険または電池寿命に影響を及ぼす敵になり得る他の状態を防ぐための強化した安全機構も含みます。

#### 4.2.1. 充電の状況(State of Charge)

これはそれが何をやるかだけでなく何をしないかの両方に関して、スマート電池の機能を定義するのに役立ちます。スマート電池の技術はセルの動きを予測する算法とハードウェアの両方の手段によって電池の充電の状況(SoC:State-of-Charge)を追跡する方法を提供します。従ってスマート電池は充電期間中に最適な電圧と電流を計算してスマート電池充電部へ要求を送ることができます。

更に、スマート電池は残充電(容量)から最大限の利益を得るため、ホストシステムにその電力の使い方の管理も許します。セル電圧と充放電電流の累積測定は何れかの予測に基づき、故にATmega406デバイスは高精度の測定と工場校正値を提供します。SMBus規約はこの情報をホストシステムへ提供する多数の命令を定義します。

#### 4.2.2. 健全の状況(State of Health)

電池パックの健全の状況は、その充電の状況(SoC)の測定ではありませんが、それはむしろその電流容量だけでなく、充電を受け入れて保持する能力もです。経年、充放電回数、その他の要素のため、セル容量はその寿命に渡って自然に減少します。電池パックの状態を査定できるのは有用で、故に置換が必要されるかもしれない時かどうかを決めることができます。ATmega406デバイスには強化された測定を提供してこの決定に於ける手助けに関して使用者定義の計算を実行する能力があります。電池パックの容量はパックが満充電または完全な放電状態に達した時に必ず供給されたソフトウェアで継続的に再校正されます。加えて高速応答電圧A/D変換器は、クローン カウンタA/D変換器と共に組み合わせられた時に、セルのインピーダンス測定を可能にします。チップ上のEEPROMも履歴上のデータの恒久的な記憶を許すことによって寄与します。

#### 4.3. スマート電池とSMBus

SMBusはスマート電池で用いられる規約です。このバスと規約の基本構造はハードウェアを低い費用に保つ手段を提供し、同時に機能単位部での柔軟な機能も提供します。SMBusは固有のアドレスに応答する多数の節点(ノード)を許す規約です。この規約はバスに接続されつつある複数主装置を処理し(調停制御)、節点が決してSMBusを固定化しないことを保証するように設計されています。データの完全性はパケット誤り検査を使うことによって検査することができます。SMBusの仕様と詳細は[www.smbus.org](http://www.smbus.org)で得られます。

SMBus装置は製造業者情報を提供し、その型式/部品番号が何かをシステムに告げ、一時停止事象のためにその状態を保存し、各種異常形式を報告し、制御パラメータを受け入れ、そしてその状態を返すことができます。スマート電池は自身の充電を管理し、異常を広告し、低充電状態のホストを通知し、残動作時間を予測し、温度、電圧、電流の情報を提供し、そして正確な予測を維持するために継続的に自己修正をすることができます。SMBus仕様は独立した5つの製造業者定義命令も許します。SMBus上のATmega406デバイスの実装書き込みを実行するために、これらの1つがこの参照基準実装で使われます。他の命令は初期化、削除、または校正の状態検査に使われます。

#### 4.4. 非常に賢い電池制御器 – ATmega406

スマート電池応用での使用に特に関係するATmega406の機能は次のとおりです。

- SMBus通信用の2線インターフェース(TWI)
- (クローン カウンタA/D変換器として参照される)高分解能、高感度のA/D変換器
- (電圧A/D変換器として参照される)多チャンネル12ビット電圧測定A/D変換器
- 高精度、校正付き電圧基準
- CPUから独立した電池保護回路
- 統合されたチップ上の校正付き温度感知器
- 高電圧の能力持つ入力と出力のピン
- 外部の充電、放電、予備充電のFET用の高電圧FET駆動部
- 統合されたセル平衡FET
- 起動タイマ
- 独立したウォッチドッグ タイマ
- チップ上の低静止電流電圧調整器

##### 4.4.1. 2線インターフェースとSMBus

スマート電池システムの通信構造はSMBusで、これは本質的に2線インターフェース(TWI)に基づきます。TWIとの1つの基本的な違いは、主に従装置異常を認識することや、策定のような状態からの回復を許すために、SMBusが10kHzの最小クロック速度と35msのSMBCLKのLow制限時間を指定していることです。

他の違いはSMBus装置が進行している通信での欠陥の認識と報告が予期されていることです。SMBus仕様に於いて2つの構造が提供され、欠陥バイトが受信された後のACKを保持すること、または25msよりも長い間クロック線をLowに保持することのどちらかによって合図されます。この後者がこの設計で使われる機構です。

電池パックが目的対象システムに於いて取り去られたり、再挿入された時を検知するために追加のハードウェアが提供されています。このバス接続/切断機能はSMBus仕様に従った電池パック取り外し(切断)の指示を遅らせる時間的な濾過を含みます。

#### 4.4.2. A/D変換器

ATmega406は18ビットクーロンカウンタA/D変換器(CCADC)と12ビット電圧A/D変換器(VADC)の2つの独立したA/D変換器を含みます。両方が内部の高精度校正付き電圧基準を使います。

CCADCは電池パックの入出で流れる電流を十分な精度で測定するのに使われ、電池の信頼に足る充電の状況(SoC)の監視を可能にします。

CCADCの変位(オフセット)の工場校正は最大精度を保証するために実行されなければなりません。

VADCは個別セルの電圧、内部温度感知器からのチップ温度を監視するのに使われ、電池の温度を監視するのに用いることができます。

これらのA/D変換器の能力と動作についてのより多くの詳細はATmega406のデータシートで得られます。

#### 4.4.3. CPUから独立した電池保護

ATmega406の電池保護回路は電池パックの電圧と電流の水準のCPUから独立したハードウェア監視を提供し、2つの基本制御FETを中止することによって重大な不具合を防ぐために、負荷または充電部から電池パックを切断することができます。特に、深下電圧、充放電両方の最中の過電流、回路短絡の、監視される4つの条件があります。回路短絡はそれがもっと素早く反応してより高い閾値を持つことで放電過電流とは別個で、それに反して過電流保護はセルの評価を越える条件を継続的に見ることを意図されています。

#### 4.4.4. 高電圧許容入出力

ATmega406の多数のピンは損傷なしで高電圧を受け入れる能力があります。これは充電部の存在を検知し、電池パックを監視し、そして非常に少数の外部部品を使って外部の高電流電池パック保護FETを直接制御することをATmega406に許します。

SMBus規格は重大な電池パック状態情報を充電部へ伝達することができる、付加的な冗長安全信号線も必要です。この線が電池パックの外側に接続されるので、電池パックの正極の電圧からそれを保護するために特別な保護回路を必要としないので、この目的に高電圧線(PC0)が使われます。

#### 4.4.5. 統合されたセル平衡FET

ATmega406の統合されたセル平衡FETは価値ある基板空間を節約し、その寿命全体に関して電池パックの最大性能達成を助けます。ハードウェアは与えられたどの時でも複数の平衡FETが許可されないことを保証します。本設計に於けるソフトウェアはセル電圧測定を実行する時に正しい読み込みを与えるために平衡FETを自動的に禁止し、そして再許可します。

#### 4.4.6. 低電力動作

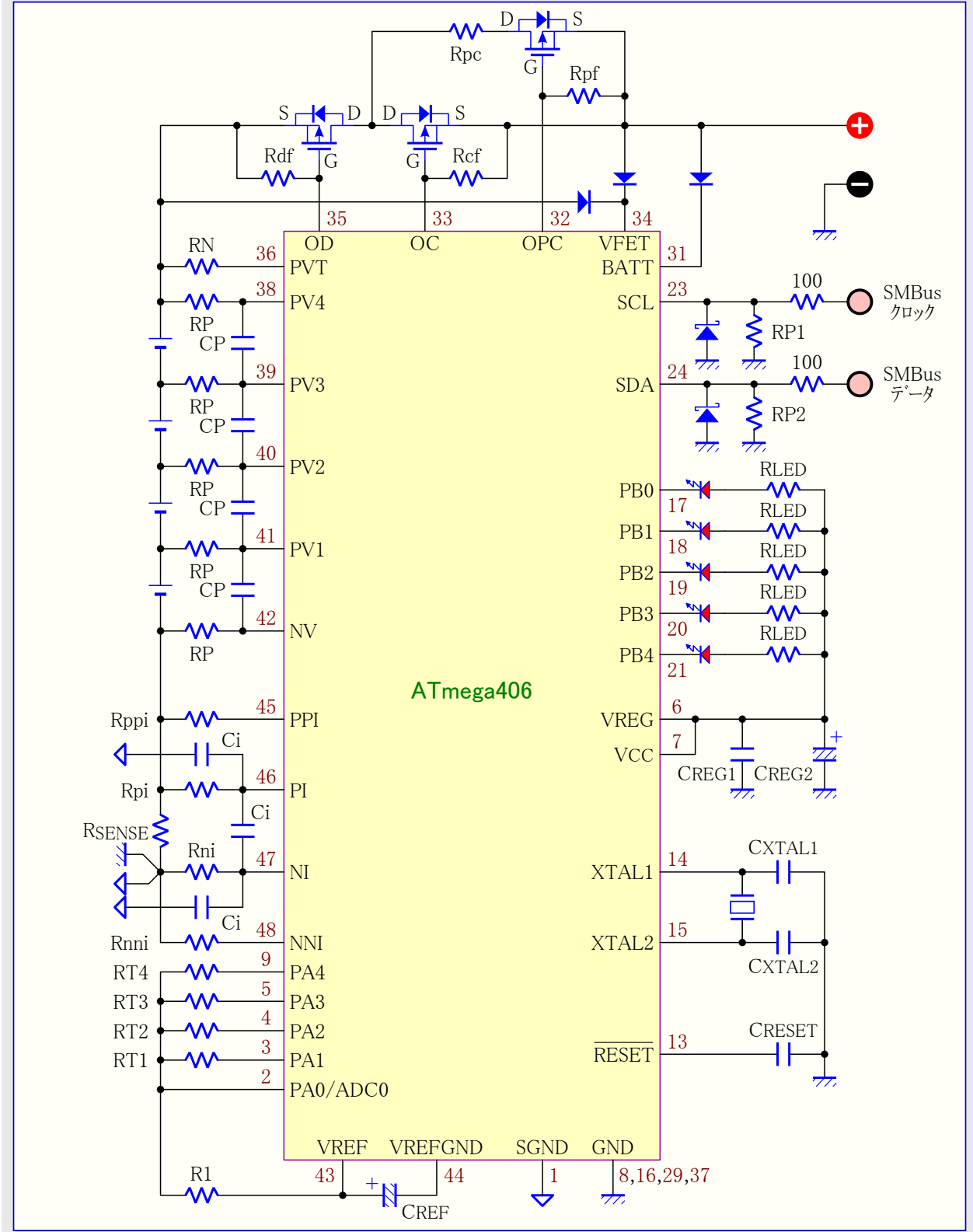
低電力CPUクロック動作形態、低静止電流電圧調整器、低電力起動タイマと発振器、そして低電力ウォッチドッグタイマの組み合わせは、絶対最小電力を引き出す一方で全機能を提供することをATmega406に許します。その低電力動作形態は電池パックの残寿命(容量)が回路の電力消費よりもむしろ自己放電によって決められることを保証します。

### 5. スマート電池の実装

この応用のためのソフトウェアはdoxygen資料化で資料化され([readme.html](#))、これはソースと共にダウンロードされます。最初にコンパイラの詳細と設定についてコンパイラ情報(Compilation info)項をご覧ください。ソフトウェアはATAVRSB100開発基板ハードウェアに特定して目的対象とされ、これはAtmelの販売とAtmelの代理店を通して購入することができます。ハードウェアはAVR454応用記述で独立して記述されます。この応用記述とこの実装用のソースコードの両方はAtmelのウェブサイト(<http://www.atmel.com/products/avr/>)で入手可能です。

以下の実装の説明は読者がSMBus、スマート電池、再充電可能な電池に或る程度熟知しているとの仮定です。

図5-1. ATmega406用の代表的な動作回路 (データシートから)



## 5.1. ソフトウェア実装の概要

ソフトウェア実装はブートローダと主電池応用の2つの独立したプロジェクトから成ります。ブートローダは応用プログラムのSMBusコードの部分一式 (SMBus上でプログラミング作業を実行するのに十分なだけのコード) を含みますが、割り込みを使うよりもむしろポーリングの規則で実装されます (ブートローダに於いて割り込みは全く使われません)。それは小さな命令解釈部と多数の低位メモリプログラミング関数も含みます。任意選択で、転送中のメモリイメージを保護するためにAESまたは他の暗号算法を追加できます。

応用プログラムはもっと複雑です。一般的に、計時器割り込みは周期的な走査を実行するためにVADCを起動し、そして個別のSMBus命令を支援するのに必要なデータを生成するために、その結果で計算が実行されます。CCADCはその充電監視データが準備可の時にそれ自身の割り込みを生成し、そしてそれらが利用可能になる時にそれらの結果で計算が実行されます。SMBus通信はTWI割り込みの状態機構によってほぼ完全に処理されます。タイマ/カウンタ0は8つまでの一般的な計時器事象使用者を許す周期的な計時器計数を提供し、LEDのデューティサイクルと走査も制御します。

以下の表は各周辺機能の使い方とそれが使う割り込みを詳述します。

表5-1. 割り込みの使い方

周辺機能	割り込み	ソースファイル	使い方
電池保護	BP	safety.c	異常状態のために電池パック切断
外部割り込み	INT0~3	Gpio.c	(未使用)
ピン変化	PCINT0	Smbus.c	主装置送信動作前のバスアイドルに対するPA6のSMBCLK監視
	PCINT1	Smbus.c	(未使用)
ウォッチドッグ	WDT	Timer.c	ソフトウェアの安全性
起動タイマ	WAKEUP	Timer.c	電池パックが'スタンバイ'動作形態中の周期的な起き上がり
タイマ/カウンタ1	TIMER1_COMP	Timer.c	(未使用)
	TIMER1_OVF	Timer.c	(未使用)
タイマ/カウンタ0	TIMER0_COMPA	Timer.c	LEDのデューティサイクルと多重化
	TIMER0_COMPB	Timer.c	主FET用PWM (現在未使用)
	TIMER0_OVF	Timer.c	2.048ms計時器計数
TWI	TWICD	Smbus.c	電池パックの挿抜通知
	TWI	Smbus.c	SMBus規約状態機構
VADC	ADC	Analog.c	アナログ供給元の自動走査
CCADC	CCCONV	Analog.c	迅速応答、非累積電流測定
	CCREG	Analog.c	採取から集積電流測定への変更を起動
	CCACC	Analog.c	新しい累積電流測定が準備可であることを指示
EEPROM	EE_RDY	-	(未使用)
フラッシュメモリ	SPM_READY	-	(未使用)

### 5.1.1. 通常コード実行

基本のコード実行はハードウェア初期化で始まります。全ての周辺機能と割り込み元が構成設定され、そして割り込みが許可されます。SRAM変数が初期化され、通常実行の流れが始まります。

割り込みによって発動される通常の活動に加えて、主繰り返しのコード実行に影響を及ぼすために使われる2つの主要な機構、一般計時器と活動フラグがあります。

タイマ/カウンタ0溢れ割り込みは8つの一般的なソフトウェア計時器を提供します。これらの計時器が終了すると、対応する関数が(割り込み処理ルーチン(ISR)内から)呼ばれます(従ってその実行は非常に短く守らなければなりません)。この関数は計時器を再始動、周辺機能を許可または禁止、または他の小さな活動を行うかもしれません。大きな作業が実行されなければならない場合、この関数は活動フラグを掲げます。

活動フラグは主繰り返りで監視されます。活動フラグが掲げられると、1群の行動が取られ、そしてフラグが解除されます。一般計時器から直接利用可能なものよりも長い間隔の時間を提供するために、一般計時器の1つのチャンネルが掲げる活動フラグは主繰り返し内でより長い間隔で順番に手続ります。これらのより長い時間制限に基き、他の多くの稀に起こる行動が取られます。

このような活動の1つはSMBus規約によって必要とされるようなSMBus主装置単位転送処理の初期化です。他の活動はセル電圧、チップ上の温度、そしてサーミスタ読み取りを測定するためのVADC走査の初期化です。完全な走査が行われた後、VADCの変換結果はそれらのパラメータを再計算するのに使われ、これは様々なSMBus変数を順に更新することに帰着します。

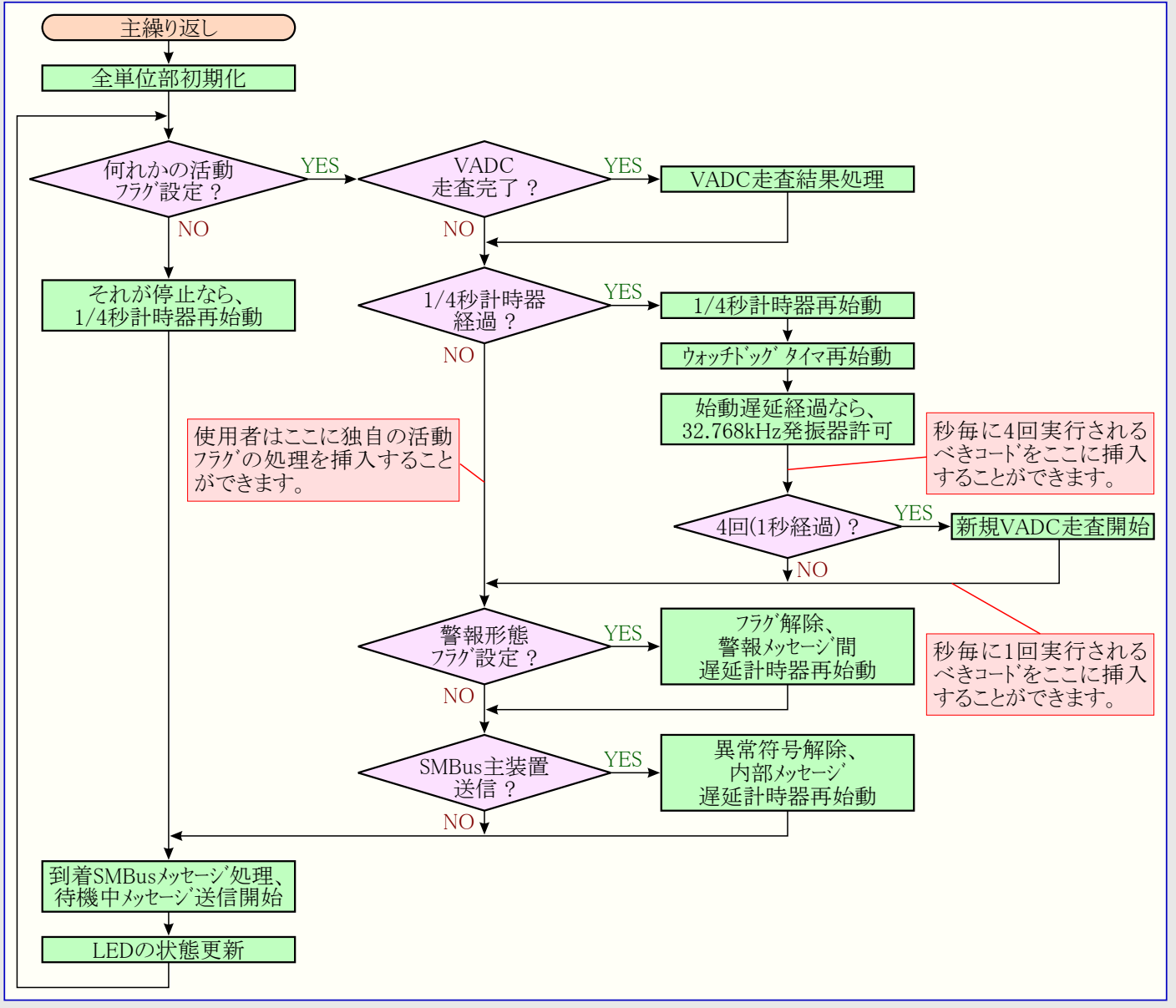
構造はVADC変換完了割り込み処理ルーチンに於いて10個全てのVADCチャンネルの自動走査を処理することで確立されています。読み取りの他にも、この走査はセル平衡FETの禁止と再許可を自動的に管理します。セル入力で濾波器が使われるため、セル読み取りが行われる前に完全な電圧に達することを濾波器に許すように、セル平衡FETは走査に於いて充分早く禁止されなければなりません。現在のソフトウェア実装はセルを走査する前に他の全てのチャンネルを走査し、従って濾波器のCR時定数に最大回復時間を許します。セル平衡の理屈のより多くも詳細については4.1.3項をご覧ください。

クーロンカウンタA/D変換器(CCADC)は電池パックの動作形態に依存して、多くの異なる割り込みを利用します。表面のコードはクーロンカウンタをどの形態で動作するかを決め、これは更に電力管理の目的に対してもCCADC動作形態の選択に影響を及ぼします。加えて、32.768kHz水晶用発振器は低電力動作形態で使われる起動タイマにクロックを供給します。

図5-2.で示されるように、応用は最初に全単位部を初期化し、その後に永遠の繰り返しに入ります。毎回の繰り返しのために、その繰り返しは最初に応用の割り込みで制御された部分によって活動フラグが設定されているかを確認し、それによって動きます。秒当たり4回で1/4秒フラグが設定され、そして規則的な作業を実行します。1/4秒フラグ検査の内側に、使用者は秒毎に4回実行されるべき独自のコードを挿入することができます。1/4秒フラグが4回設定される毎、秒当たり1度、これらは秒毎に1度実行されるべき独自コードを挿入するための場所と同じです。

32.768kHz発振器の始動時にそれが安定するために最大2秒かかります。従って、発振器が始動される時に始動遅延計数器が初期化されます。流れ図内の'~32.768kHz発振器許可'枠がこの遅延計数器を更新するための準備をし、始動遅延経過時に実時間時計を許可します。

図5-2. 主繰り返しの概要



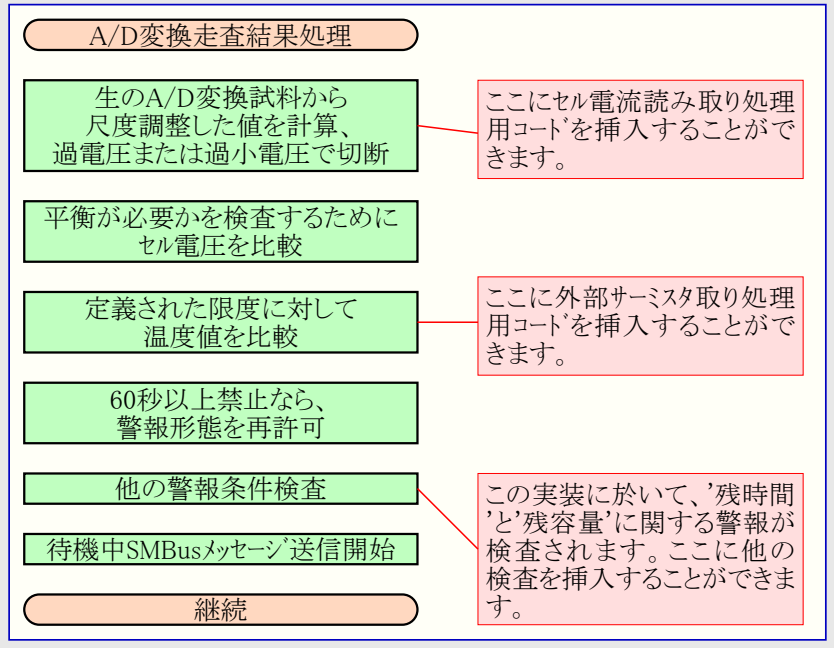
充放電制御、セル平衡、熱検査の殆どはVADC走査手順が終了された時で、秒毎に1度実行されます。そして更新されたA/D変換読み取りが利用可能になり、処理の準備が整います。



継続的に警報メッセージを生成することから警報状態を防ぐため、警報メッセージ間遅延計数器が実装されています。これは持続性の警報メッセージが10秒毎に1度だけ送られるように構成設定されます。SMBus仕様も最大60秒間、警報警告メッセージの送信を一時的に禁止することをホストに許します。図5-2の流れ図での“警報形態フラグ設定？”判断枠は必要とされる時に、この計時器を開始するための準備を行います。この計時器が経過すると、警報形態が自動的に再許可されます。

メッセージがSMBusインターフェース上に送信されてしまうと、“SMBus主装置送信？”判断枠はバス上に送信されるメッセージ間に或る空間を置くためのメッセージ間遅延計数器を始動するための準備を行います。

図5-3. “A/D変換走査結果処理”の流れ図



## 5.2. 電池の充電と放電

セルの充電管理に於いては電圧、電流、温度の3つの要素が関係します。電流を監視することにより、セルの残容量がどれ位か、または充電動作がどれ位長くかかるのかを推測することが可能です。温度はセル容量の予測だけでなく充電パラメータにも影響を及ぼすかもしれません、また安全監視ツールでもあります。

充電の状況(SoC)情報を維持するのに3つの変数が使われます。それらは次のとおりです。

- RunningAcc
- MaxTopAcc
- MaxBottomAcc

RunningAccは何時も現在の充電の状態(SoC)を保持します。この値が負になるかもしれない(特に電池パックが未だ完全に校正されていない場合)ことが有り得ます。通常動作では、電池パックが満充電に達した時に、この値が現在値とMaxBottomAcc間の差にリセットされ、更にMaxTopAccはその結果と同様に割り当てられ、そしてMaxBottomAccが0にされます。同様の近似が完全放電に於ける再校正に用いられます。

この参照基準実装がスマート電池に必要とされる基本的なデータ採取と報告の関数の全てを提供するとは言え、ソフトウェア算法は特定の充電制御法だけでなく正確な容量予測も提供するように追加されなければなりません。

## 5.3. 電圧ADCの結果

セル電圧は電圧A/D変換器(CADC)によって測定されます。最大4つのセルを個別に測定することができます。VADC自身の範囲は0~1.1Vですが、セル電圧は概ね0~6.2Vの範囲を許す概ね5.6の係数によってハードウェアで縮尺されます。0~1.100Vの入力範囲を網羅するのに利用可能な12ビットで、識別可能な電圧増量は前置縮尺なしとの仮定で $1.100V \div 4096 = 268\mu V$ です。前置縮尺有りで、概ね1.5mVに対応する段階です。最大精度を保証するため、正しい利得に対する校正データが85°Cでの工場検査中に生成され、識票列に格納されます(詳細についてはATmega406のデータシートを参照してください)。この格納領域から望む値の読み込みを処理するための関数呼び出しが提供されます。

参照基準ソフトウェアでは秒毎にVADC変換が開始されます。この変換の完了時にADC\_INT割り込み処理ルーチン(ISR)が変換結果を格納し、そして自動的に次のVADC入力に切り換えて新しい変換を始めます。この周回は全ての入力を読まれるまで続きます。この処理中、セル平衡FETが禁止され、その後の適切な時に再許可されます。セル平衡FETが禁止される点は512 $\mu s$  VADC変換時間の倍数として選ばれ、現在は512 $\mu s$ に設定されています。現在の500 $\Omega$ +500 $\Omega$ と0.1 $\mu F$ の回路定数で、これは5RC時定数以上に相当し、従って電池が無視して良いほどの内部抵抗を持つ限り、誤差は取るに足らない値です。

### 5.3.1. 識票列データを使うVADCの結果補償

ATmega406は工場で決定された校正値を含みます。始動でそれらの値をSRAMに読むのと、影響を及ぼされる周辺機能を調整するためにReadFactoryCalibration()関数が実装されています。校正値はRC発振器、バンドギャップ、チップ上温度感知器、それと4つのセル入力に対して利用可能です。

4つのセル測定チャネルのようないくつかの場合に於いて、工場校正値は周辺機能を直接調整するよりもむしろ更なる計算の一部として使われなければなりません。

セル校正値が簡単な2進演算の使用を通してSMBus命令に関して必要とされるようなmVの結果を生じるとは言え、SMBus仕様は全体的な温度よりもむしろ0.1°Kの増量で生成されるべき温度データを必要とします。それはそれとして、チップ上温度感知器から温度を得るための計算は直線のようなものではありません。CalculateADCResults()ルーチンは利用可能な校正パラメータを用いて計算の全てを実行します。

**式5-1.**は生のA/D変換読み取り値と電圧ADCセル利得(VADCCG)校正語からセル電圧がどう計算されるかを示します。結果の値はmVで与えられます。

#### 式5-1. mVで正しいセル電圧を得るための計算

$$V_{\text{cell}} [\text{mV}] = \frac{\text{A/D変換読み取り値} \times \text{VADCCG}_{\text{Calib}}}{2^{14}}$$

**式5-2.**は生のA/D変換読み取り値と絶対温度比例電圧(VPTAT)校正語から内部温度がどう計算されるかを示します。式は°Kと1/10°Kで温度を得る方法を示します。

#### 式5-2. °Kと1/10°Kで温度を得るための計算

$$\text{温度} [1^\circ\text{K}] = \frac{\text{A/D変換読み取り値} \times \text{VPTAT}_{\text{Calib}}}{2^{14}}$$

$$\text{温度} [0.1^\circ\text{K}] = \frac{\text{A/D変換読み取り値} \times \text{VPTAT}_{\text{Calib}} \times 10}{2^{14}}$$

## 5.4. クーロン カウンタA/D変換器の結果

電流はクーロン カウンタA/D変換器(CCADC)によって監視されます。CCADCは3つの主な特徴、累積電流測定、瞬時電流測定、定常電流条件の検出を提供します。これら3つの形態の各々は専用の割り込みを持ちます。参照基準ソフトウェアに於いて3つ全ての形態が使われます。累積電流変換の結果が最も正確です(符号を含めて18ビット)。瞬時電流変換の結果はより低い分解能(符号を含めて13ビット)ですが、系変更に非常に高速な応答を許す、3.9ms毎に新しい出力を提供します。この結果はSMBus報告用のCurrentとAverageCurrentのパラメータ比較に使われます。接続された系が非常に低い電力動作形態で動く時に、ATmega406の動作電力を更に減らすことが有利で、故にそれは電力消費を左右しません。これらの場合、CCADCを禁止して測定された電流よりもむしろ予測した電流を累積しても差し支えありません。定常電流割り込みは目的対象の系がより高い電力動作形態に切り換えられ、故にCCADCが再許可され得るかを検出するための機構を提供します。

累積電流変換は符号+17ビットの結果を生成します。変換器の入力信号の実際の範囲は±VREF/5または±0.22Vに指定されており、変換器の段階量は従って(0.22V ÷ 2<sup>17</sup>)=1.678μVです。けれども、この範囲の上端近くでの直線性の問題のため、CCADCの全入力電圧範囲を使うことは推奨されません。従って使うことができる範囲は±0.15Vに指定され、これは概ね0.22V ÷ 2です。以下は例です。

5000mAhの電池パックが使われる仮定です。ここでは電流だけに關心があるため、電池パックの電圧は無関係です。5mΩの検出抵抗を通して流れる1Aの充電電流は毎秒にCCACC結果レジスタで14,898.69計数を与えます。この結果は15ビット(14ビット+符号ビット)を消費します。この電池パックは1時間または3600秒間だけ電流の流れを生成し得るため、合計の累積された結果は(15+12)または27ビットで適合するでしょう。従って、5mΩの検出抵抗使用時に、32ビット符号付き整数は200,193mAhの電池パックを扱うことができます。CCADCの入力電圧範囲のために許された流れの最大電流を高くすることができず、故に電流の流れは30Aに制限されなければなりません。更に、SMBusのSpecificationInfo()命令で尺度係数が指定されなければ、SMBus命令は32,767mAhまでだけを許すように制限され、従ってこの結果は6の係数によって容易に適合します。明らかに、累積された充電を保持するのに32ビット値を使うことは今日のラップトップ系に対して充分以上です。従ってより高い値の検出抵抗を使うことができ、低電流読み取りに於いて更にもっと分解能を与え、特に6×5mΩまでは32ビット累積器が溢れることなく、同時に可能なSMBus電池パック最大容量を未だ許して使うことができます。

存在するどんなCCADC変位(オフセット)も、累積前に各試料から取り除かれるべきです。このような変位が温度によって影響を及ぼされるかもしれないので、付加的な算法が必要とされるかもしれません。変位の分解能が変換器の段階量に制限されるため、より小さい電流に関し、変位に整数値を使えるだけの誤差は結果のより大きい部分になります。この事実は周期的な採取または予測された測定を使うために累積器形態を使うことから変更が行われる点だけでなく、検出抵抗の値の両方を決めるかもしれません。

### 5.4.1. CCADC結果の尺度調節

CCADCは5mΩを通して335.6μAに対応する1.678μVの段階で累積するため、累積された結果は報告目的のために1mAhに対応するように調整されなければなりません。尺度調節係数は(1 ÷ 0.3356) × 3600=10,727です。0.3356mAsから1mAhの尺度へ変換するために、累積された結果がこの数値によって除算されなければなりません。確かめるために、1時間の間、1Aの電流が流れていると仮定してください。累積された計数値は秒当たり2979.7、または時間当たり10,727,056になるでしょう。10,727による除算は1000を生じ、これはmAhの尺度です。

16ビット整数による32ビット整数の除算実行は32ビットの結果を生成します。けれども、32ビット累積器の合計値が常に336,582,624(2<sup>15</sup> × 10,727)よりも小さければ、除算の結果は溢れません。直前に検討したように、SMBus命令は上限として32,768mAhを持ち、故にこれは5mΩの検出抵抗が使われる時に問題となりません。

### 5.5. 顧客校正

OptionalMfgFunction4 SMBus命令を使って使用者は内部1.100V基準電圧と充放電電流測定変位(オフセット)の校正を制御します。SMBus命令は5.9.1.1項で記述されます。ソフトウェアは2つの校正操作に対して独立した状態機構を維持します。OptionalMfgFunction4を読み込み動作で使うと、両方の状態機構に関して現在の校正状況が返されます。けれども、書き込み動作でこの関数を使うと、状態要求が格納され後で主繰り返しに於いて処理されます。

図5-4. 校正語の使い方

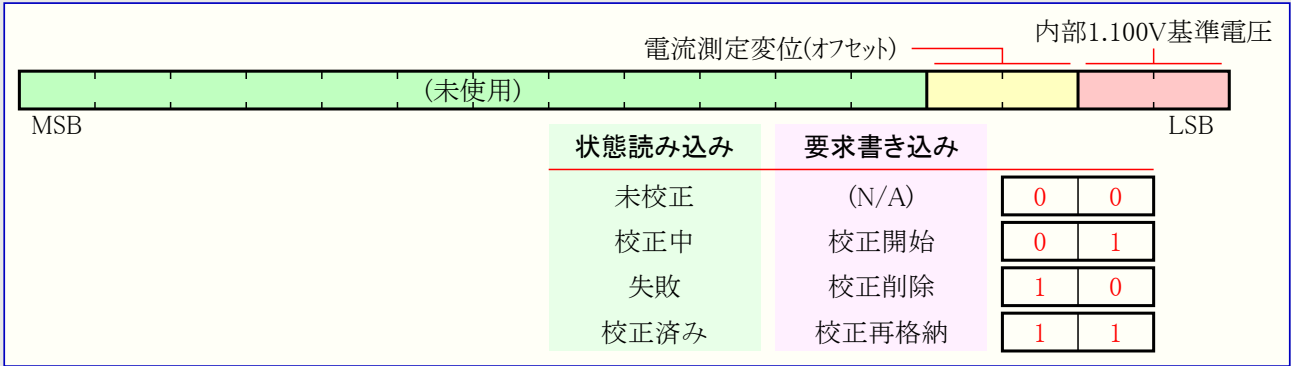
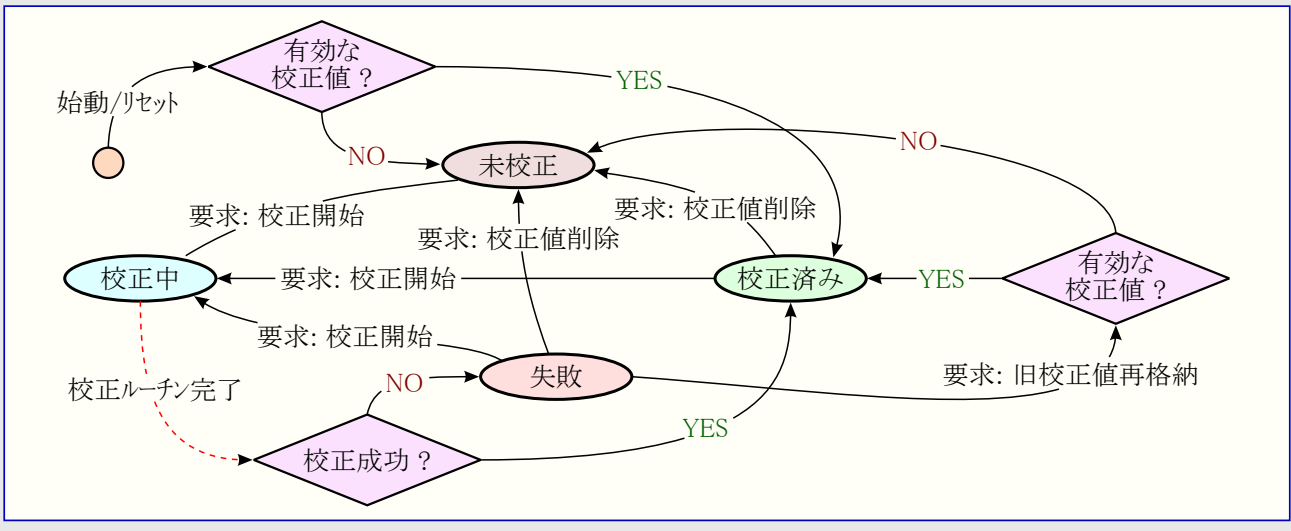


図5-5. 校正状況

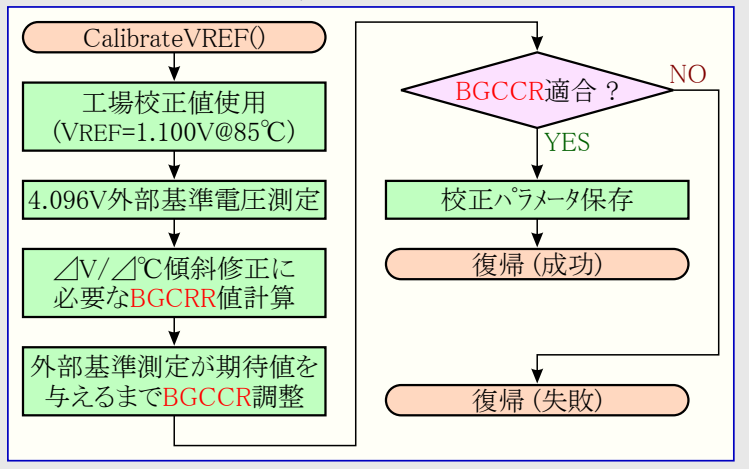


#### 5.5.1. 内部1.100V電圧基準校正

電圧基準校正はanalog.hファイル内のCalibrateVREF()関数で実装されます。この関数は校正を始める前にPV1(セル1)アナログ入力に4.096Vの高精度基準電圧が接続されていることを仮定します。4.096Vが存在しない場合、校正は失敗しますが、仮に十分に近い電圧が存在する場合はVREFが誤って校正され、その後のA/D変換測定が不正になるでしょう。校正が失敗した場合、電圧基準は工場校正値にリセットされますが、旧校正値は未だEEPROM内に有り、再格納(再設定)することができます。

バンドギャップ基準電圧校正レジスタのBGCRとBGCCRのより多くの詳細についてはATmega406のデータシートを参照してください。

図5-6. CalibrateVREF()用流れ図



#### 5.5.2. CCADC変位(オフセット)校正

電流測定変位(オフセット)またはCCADC変位用の校正はanalog.hファイル内のCalibrateCCOffset()関数で実装されます。この関数は校正開始前の1秒間、検出抵抗を通る電流が0であると仮定します。その後、CCADCからの結果が変位校正値を更新するのに使われます。測定された変位が予め定義された値の外側の場合、校正処理は失敗し、変位校正値が既定の0値に設定されます。

### 5.5.3. 校正値の格納

校正ルーチンが成功なら、`ee.h`で与えられるアドレスで結果の値がEEPROM内に格納されます。ATmega406がリセットされた時に有効な値があるかどうかを検査し、そうならばそれらを用いてそれを反映するように校正状況を更新します。

### 5.6. 電池保護

電池保護割り込み(BPINT)は電池保護ハードウェアによって障害状況が検出されたことを示します。安全機構に躓くと(安全機構が働いたなら)、電池パックをパワーオフ動作形態に強制しますが、デバッグを手助けするのに、パワーオフ動作形態へ移行する理由を示すため、最初にEEPROMへ状態フラグが書かれます。これは`DoShutdown()`ルーチンで実装され、理由符号は`pwrmgmt.h`ファイルで定義されます。この実装では、電池保護が起動される時にSMBusへ異常メッセージが全く送られません。

### 5.7. 電池パック構成設定

`pack.h`ヘッダファイルと関連する他のヘッダファイルは積み重ねられるセル数だけでなく、過電圧、過小電圧、過電流、温度パラメータのような電池パックの重要なパラメータをも定義します。

デバッグ中、ハードウェアとソフトウェアの誤り検出機構の予期せぬ起動を防ぐためにこれらの値を変更することが役立つかもしれません。このような機構が働く場合、代表的にソフトウェアがAVRを休止形態に強制し、リセットが発行されるまでJTAG経由でのCPU制御失敗に帰着することに注意してください。

### 5.8. LED制御

5つの外部LEDの明るさを制御するのにOC0AのPWM出力が使われます。これらのLEDはどんな目的にも使えますが、代表的に充電表示として使われます。タイマ/カウンタ0比較A割り込み処理ルーチン(ISR)の内側に於いて、計数器変数が各LEDに対応する制御信号間を周回し、そのLEDがLEDフラグ全体変数で許可されているならばその出力をLowに強制します。従って電池容量表示器関数は、LEDが許可か禁止かを定めること以外に、その動作に関する本筋のコードが全く必要ありません。

### 5.9. SMBus規約実装

参照基準ソフトウェアはスマート電池データ仕様1.1版で必要とされる命令1式を完全に実装します。警報警告メッセージ(\$16命令)、充電電流(\$14)、充電電圧(\$15)はSMBus主装置動作形態に於いてソフトウェアによって生成されるメッセージだけです。他の全ての命令はSMBus従装置としての電池パックによって扱われます。従装置の時はデータを受け入れるか、またはスマート電池ホストやスマート電池充電部から始められた命令への応答としてデータを提供するかのどちらかです。

SMBus命令に関して維持される全ての語の大きさのデータはSV共用体変数内に保持されます。`smbus.h`ヘッダファイルはバイト単位のアクセスを提供する`SMBvariables[][]`配列経由、または語単位のアクセスを提供する`SMBvar_int[]`配列のどちらかでこのデータをアクセスするための2つの異なる方法を含みます。この接近法はフラグとのやり取りとバイト幅のデータの時にコード量を減らして速度を改善します。

表5-2はこれらの変数の各々の既定値での詳細を提供します。

表5-2. SMBus命令と既定データ値

命令(ID)	データ方向とデータ量	既定値	データ元
製造業者アクセス [\$00] (ManufacturerAccess)	読み込み/書き込み ・語	\$4060	始動で初期化
残容量警報 [\$01] (RemainingCapacityAlarm)	読み込み/書き込み ・語	PACK_DESIGNCAPTYP(注)/10	電池仕様から
残時間警報 [\$02] (RemainingTimeAlarm)	読み込み/書き込み ・語	10	sbbat110より、4.4.1.項
電池形態 [\$03] (BatteryMode)	読み込み/書き込み ・語	0	sbbat110より、5.1.4.項
充放電速度 [\$04] (AtRate)	読み込み/書き込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.5.項
AtRateでの満容量までの予測残り時間 (AtRateTimeToFull) [\$05]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.6.項
AtRateでの空までの予測残り動作時間 (AtRateTimeToEmpty) [\$06]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.7.項
10秒間、AtRateで供給可 (AtRateOK) [\$07]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.8.項
10秒間、AtRateで供給可 (AtRateOK) [\$07]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.8.項
温度 (Temperature) [\$08]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	チップ上温度感知器
電池パック電圧 (Voltage) [\$09]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	VADC読み取り
電池電極通過(充放電)電流 (Current) [\$0A]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	CCADC瞬時変換値
平均電池電極通過(充放電)電流 (AverageCurrent) [\$0B]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	CCADC瞬時変換平均値
最大誤差 (MaxError) [\$0C]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.13.項
満充電容量に対する%での予測残容量 (RelativeStateOfCharge) [\$0D]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.14.項
理論容量に対する%での予測残容量 (AbsoluteStateOfCharge) [\$0E]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.15.項
残容量 (RemainingCapacity) [\$0F]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.16.項
満充電容量 (FullChargeCapacity) [\$10]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.17.項
現状放電速度での予測残電池寿命 (RunTimeToEmpty) [\$11]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.18.項
移動平均での予測残電池寿命 (AverageTimeToEmpty) [\$12]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.19.項
移動平均での満充電までの予測時間 (AverageTimeToFull) [\$13]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.20.項
望む充電電流(速度) (ChargingCurrent) [\$14]	読み込み・語または 充電部へ書き込み	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.2.1.項
望む充電電圧 (ChargingVoltage) [\$15]	読み込み・語または 充電部へ書き込み	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.2.2.項
電池状態 (BatteryStatus) [\$16]	読み込み・語または ホストへ書き込み	\$0080	sbbat110より、4.4.1.項
電池が経験した充放電周回数 (CycleCount) [\$17]	読み込み ・語	0	sbbat110より、4.4.1.項
新電池に於ける理論容量値 (DesignCapacity) [\$18]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	電池仕様から

注: 電池パックに対するmAhでの代表的な容量です。pack.hで定義されます。

次頁へ続く

表5-2 (続き). SMBus命令と既定データ値

命令(ID)	データ方向とデータ量	既定値	データ元
新電池に於ける理論容量値 (DesignCapacity) [\$18]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	電池仕様から
新電池に於ける理論電圧値 (DesignVoltage) [\$19]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	電池仕様から
仕様版番号と電圧/電流の尺度調整 (SpecificationInfo) [\$1A]	読み込み ・語	\$0031	sbbat110より、5.1.25.項
セルパック製造日付 (ManufactureDate) [\$1B]	読み込み ・語	必要に応じて計算されます。	sbbat110より、5.1.26.項
通番 (SerialNumber) [\$1C]	読み込み ・語	使用者定義	sbbat110より、5.1.27.項
(予約) [\$1D~\$1F]	N/A	N/A	N/A
製造業者名 (ManufacturerName) [\$20]	読み込み ・文字列/塊	使用者定義	sbbat110より、5.1.28.項
電池名称 (DeviceName) [\$21]	読み込み ・文字列/塊	使用者定義	sbbat110より、5.1.29.項
電池の化学特性 (DeviceChemistry) [\$22]	読み込み ・文字列/塊	"LION"	sbbat110より、5.1.30.項
電池製造業者によって決められる内容 (ManufacturerData) [\$23]	読み込み ・文字列/塊	使用者定義	sbbat110より、5.1.31.項
(予約) [\$24~\$2E]	N/A	N/A	N/A
任意選択製造者機能5 (OptionalMfgFunction5) [\$2F]	読み込み ・塊	N/A	ブートローダ
(予約) [\$30~\$3B]	N/A	N/A	N/A
任意選択製造者機能4 (OptionalMfgFunction4) [\$3C]	読み込み ・語	N/A	校正状況
任意選択製造者機能3 (OptionalMfgFunction3) [\$3D]	読み込み ・語	N/A	N/A
任意選択製造者機能2 (OptionalMfgFunction2) [\$3E]	読み込み ・語	N/A	N/A
任意選択製造者機能1 (OptionalMfgFunction1) [\$3F]	読み込み ・語	N/A	N/A

SMBus命令1式によって必要とされる全変数の局所的な複製がSRAM内に保持されます。いくつかの場合ではそれらの値が読み込み専用として扱われ、他の場合では電池パック、ホスト、充電部、またはそれらのどれかが変数を変更するかもしれません。

いくつかの変数は他の命令や変数に影響を及ぼします。例えば、CapacityModeフラグはmA対mWに関係する全ての計算に影響を及ぼします。より多くの情報についてはスマート電池データ仕様の5.1.4.項をご覧ください。AtRate()関数は与えられた速度での充電または放電のどちらかに対する残時間を決めるための2段階手順の一部です。AtRate()命令のより多くの情報についてはスマート電池データ仕様の5.1.6.項をご覧ください。SpecificationInfo()命令は非常に高い容量と高電圧のパックを許すために電池パックの電圧と電流に対する縮尺パラメータを定義するビットを含みます。SpecificationInfo()命令のより多くの情報についてはスマート電池データ仕様の5.1.25.項をご覧ください。

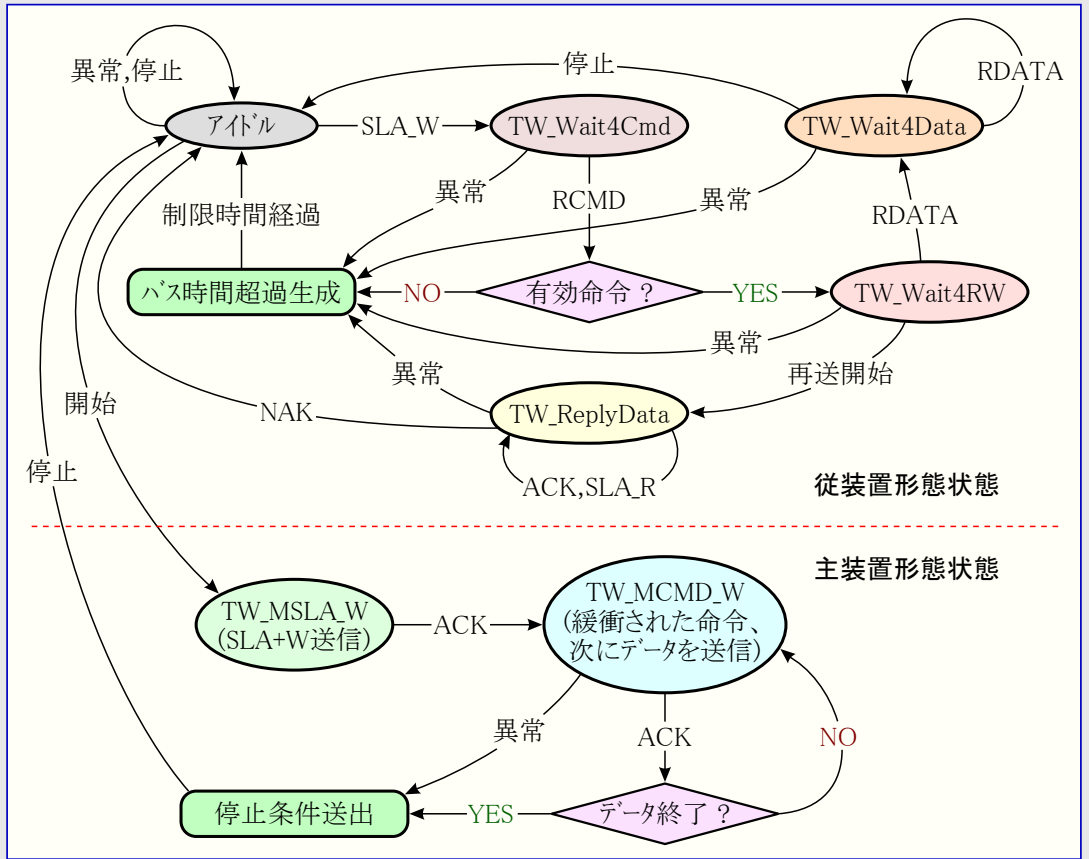
### 5.9.1. SMBus従装置動作

従装置形態のSMBus通信はAVRに於いて殆ど完全に割り込み駆動にされます。ATmega406のTWI単位部は例えTWI周辺機能へのシステムクロックが許可されていなくても、主装置からの従装置アドレス送信を受信することができます。そのパケットの完了に於いて、受信したアドレスがTWI従装置アドレスレジスタ(TWAR)に書かれたものと一致し、そして許可されていれば割り込みが生成されます。これはパワーオフを除く全ての休止形態からATmega406を起します。

クロック(SCL/SMBCLK)とデータ(SDA/SMBDATA)の両方の線が2秒以上の間Lowになることによって決められるように、SMBus自身が非活性の時に、TWIバス接続/切断割り込みはそれがパワーセーブ動作形態に切り換わるかもしれないことをスマート電池に警告します。同様に、バスの活動が再開する時に、動作を回復するために同じ割り込みが直ちにATmega406を起します。

一旦システムが活性になると、電池パックのアドレスに一致する受信に於いて、TWI割り込み処理ルーチンは状態機構の手段によって規約の状態を追跡します。図5-7.の構成図がその動きを定義します。

図5-7. TWI割り込み処理ルーチン用流れ図

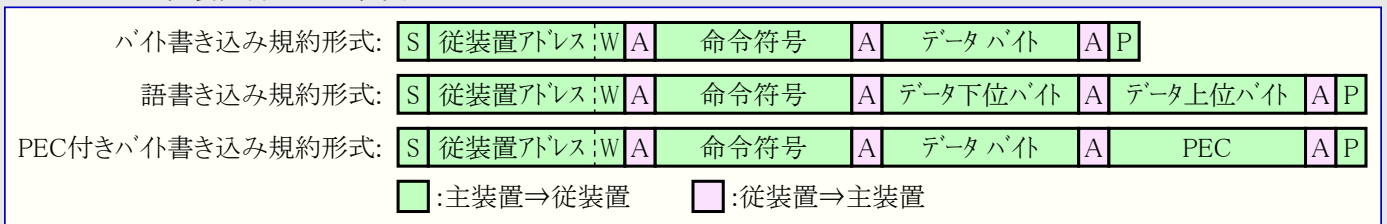


AVRが命令バイトを受信すると、SMBus従装置形態に対して命令が有効なことを検査するために表参照が用いられます。それがそうでなければ、誤った送信者に通知するためにバス時間超過異常が生成されます。命令が有効なら、バスはTWI割り込み要求フラグ(TWINT)を解除(0)して状態機構を進めることによってバスが再許可されます。

5.9.1.1. SMBus従装置書き込み

命令バイトの応答語のバスでの次の動きがバイト受信なら、これは書き込み動作手順を示し、故に状態機構は従装置受信形態に留まって残りのデータを収集します(図5-7をご覧ください)。全てのバイトが受信されると、受信した命令を処理するために表面のコードに対して要求するフラグが設定されます。

図5-8. SMBus従装置書き込み命令例

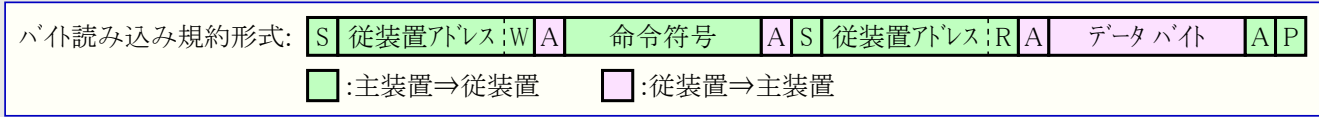


表面のコードに於いて、PECが送られたことをバイト数が示す場合にPEC確認が実行されます。一旦データが有効と判断されると、各関数がそれと唯一の命令に対応する関数への位置指示子の表への指標として命令バイトが用いられます。殆どの場合に於いて、関数は受信したデータをSRAMに基くSMBus変数に書きます。必要される他の活動も取られます。一旦活動が完了されると、バスが再許可され、そして更なる転送の準備が整います。ソフトウェアに変更が行われる場合、25msか、または電池パックがバス時間超過異常を生成するとホストが仮定するかもしれない時未満で、バスが再許可されることが重要です。

### 5.9.1.2. SMBus従装置読み込み

代わりに、命令バイトを受信した後の次のバスの動きが再送開始の場合、これは読み込みが要求されつつあることを示します(図5-9をご覧ください)。命令値が格納されて表面のコードに要求するためにフラグが設定され、後で主繰り返しに於いて応答のためのデータを生成します。命令値は関数に対する位置指示子の表への変位として表面のコードによって使われます。参照された関数は要求されたデータを組み立てて、必要ならばパケット誤り検査符号(PEC)を計算し、そしてバス主装置へ戻すデータを送出するための手順を起動します。

図5-9. SMBus従装置読み込み命令例



### 5.9.1.3. SMBus時間超過異常生成

流れの中の適切な点で異常検査が実行されます。例えば、無効命令を受信された場合、これは直ちに検知することができます。異常が検出されると、ATmega406はTWI状態機構のアイドル(IDLE)状態に戻り、TWI制御レジスタ(TWCR)のTWI割り込み要求(TWINT)フラグを解除(0)せず、これによってSCL線をLow持続に置きます。25msの計時器も開始され、この計時器が経過した時に表面のコードはTWINTを解除(0)することによってSCL線を開放し、TWI周辺機能をアイドル状態にリセットし、そしてSMBusは活動を再開するために自由になります。より多くの詳細については5.9.3項をご覧ください。

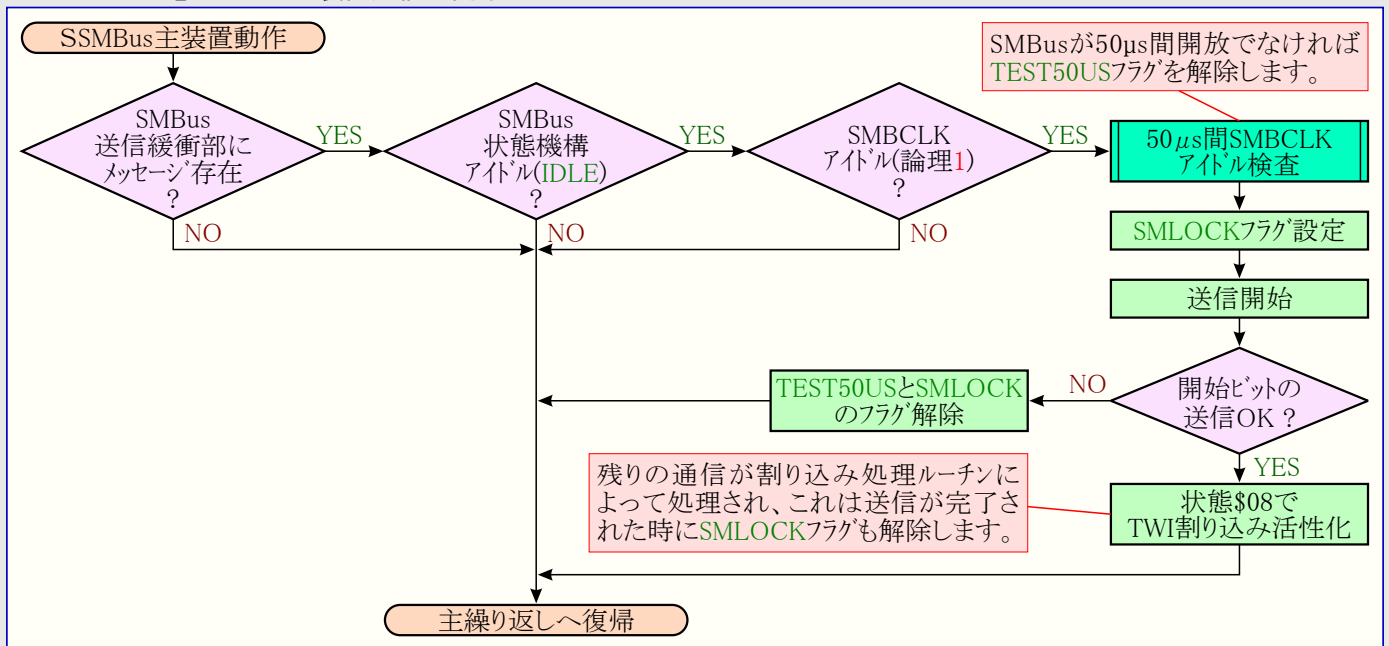
### 5.9.2. SMBus主装置動作

主装置動作は表面のコードによって始められます。代表的に計時器事象経過によって引き起こされる、主装置動作経由での送信に関してメッセージが利用可能なら、それはTWI主装置送信緩衝部に置かれます。けれども、SMBusはバス主装置が50μs間のバスアイドル検査を必要とすることが必要条件なので、送信を直ちに始めることができません。

この必要条件に合わせるため、バスアイドル状態を監視するのにATmega406のピン変化検出機構が使われます。この参照基準設計はPA6がSMBCLK(SCL)信号に接続されていると仮定します。代替として、使用者特定実装に於いて、PA6の代わりにピン変化能力を持つどの入出力信号も使うことができます。SCL線とSDA線が汎用入出力ポートと共用されないためにSCL線を直接読めないかもしれないことに注意してください。

バスの効力を保証するために多段法が使われます(図5-10参照)。最初は、送信緩衝部内のメッセージの存在が主装置動作を管理する表面のコードの実行に帰着します。次に、従装置状態機構がアイドル(IDLE)状態でないなら、バスの制御を取る試みは全く行われません。次に、SCL線が現在論理0状態でないことを保証するために、PA6を読むことによってSCL線が検査されます。この時点でバスが開放と思われ、故に最後の段階として、今や50μsのバス開放検査が始まったことを示すためにフラグ(TEST50US)が掲げられます。この時間の間中、PA6のピン変化割り込みを許可する方法によってSCL線が監視されます。その後表面のSMBus主装置動作管理コードを抜けます。1MHzのクロック速度で50μsは多くても50(CPU)命令に対応します。従って、コードが再許可される時に最低50μs経っていることが保証され、故に計時器の使用によって50μsのタイミングを処理することは必要とされません。

図5-10. スマート電池からの主装置送信の開始





ピン変化割り込みが許可されていると、どのバス活動も割り込みを起動します。対応する割り込み処理ルーチン(ISR)はTEST50USフラグを解除し、バスが自由でない(開放されていない)ことを示します。従って、表面のコードが再許可される時に、このフラグが掲げられていないけれども緩衝部にメッセージがある場合、それはこの検査が失敗して再び開始され(故にフラグが再び掲げられてこのルーチンを抜け)なければならないと理解されます。

主繰り返しから表面のコードが再び周期的に呼び出されてTEST50USフラグが未だ掲げられている時に、送信を始めるための状態は良好です。SMBCLK線がLowでないとTWI ISR状態機構がアイドル(IDLE)であることを保証するために最後の1検査が実行されます。最後に、バスの制御を取るために開始ビット(開始条件)が送出されます。TWIハードウェアによって主装置動作に移行され、故に表面のコードが同じメッセージに対して繰り返し送信を始めようとしないうことを指示するために、付加的な施錠フラグ(SMLOCK)も掲げられます。

ATmega406がバスの占有権を取ることに成功すると、開始ビット(開始条件)の送出完了に於いて\$08の状態符号でTWI ISRが活性にされます。結果として、状態機構は今や主装置動作送信に関連する状態に誘導し、ISRは送信の更なる局面を処理します。代わりに、TWI単位部がバス取得で不成功の場合、未だTWI ISRに移行されますが、それは異常発生を示す状態符号です。この後者の場合では、将来に於いて別のバス取得試みを強制するためにSMLOCKとTEST50USのフラグが解除されます。

### 5.9.3. SMBus異常処理

従装置として動作している間にSMBus通信で異常が検出された時に、主装置へ合図するのに、(1)ACK保持でと、(2)バス時間超過生成の2つの方法があります。ATmega406のTWI周辺機能は自動的にACKまたはNAKのどちらかが既に供給された後にだけTWINTを活性にし、従って、ACK/NAK応答は今転送されたデータの有効性検査に基くことができません。結果として、AVRに対して実行可能な応答機構はバス時間超過異常だけです。異常を検出し得る時に於いて最初の可能な点はATmega406がデータを受信する、または主装置へ戻すデータを送ると予期された時のどちらかに依存します。

“語書き込み”のような、SMBus従装置書き込み単位転送に於いて、割り込み処理ルーチン(ISR)は表面のコードからの干渉なしに単位転送の全ての面を扱い、従って、この命令に関するデータの全てがATmega406に転送されてしまうまでに異常を検査するのに少しの機会があります。従装置書き込み単位転送はACKされるべき最終バイトを含めて受信した全てのデータバイトの意味に於いて“盲目”でもあります。何バイトが受信されるべきかを知る必要がない(従って単に全てにACKするよりも最終バイトの位置でのNAKの方が良い)ことによって、一般的にこれが従装置の受信ルーチンを単純化しますが、そのような知識不足はバス時間超過異常を生成することができないISRに終わります。これは最終バイトがACKされた後で主装置が停止条件を送るため、結果として今やそれがアドレス指定されていない従装置動作形態であるため、ATmega406はSCL線上での制御が失われます。

この問題を解決するために、書き込み形式の単位転送に於いて、どの位の付加データバイトが予測されるかを定めるために命令バイトが検査されなければなりません。従って、指定されたバイト数が受信された後で、未だSCLを保持、従ってバス停止にしている間に、異常検査のために受信した完全な命令を表面のコードに渡すことができます。その後、その検査が完了された後で、表面のコードにはTWINTに解除(0)を強制する責任があります。受信した命令が異常なしなら、直ちにTWINTを解除(0)します。1つまたはより多くの異常がある場合、TWINT、それによってSCL線も制限時間が経過した後まで解除(0)されず、受信した命令は破棄されます。

命令バイトはそれ自身で検査されなければならないので、ISR内から容易に確認することもできます。どれかの異常状態が発見されたなら、ISRはその状態をアイドル(IDLE)に戻してリセットし、TWINTを解除(0)しないことによってSCLをLow宣言のままにし、そしてバス時間超過異常を起したことを表面のコードに合図します。時間超過生成後、表面のコードがTWINTを解除(0)し、それによってTWI単位部を再開します。

尚、2線インターフェースは本質的に多数の物理層異常を処理するように設計されています。バスがプルアップ付きのオープンドレインなので、バス衝突は同時に送信する2つのバス主装置間での最初のビット単位の違いの時に解決されます。各バイト後のACK/NAKはアドレス指定された装置に関する存在指示として扱います。けれどもバイト単位を基礎とするパリティや他の検出機構に関して全く規定していないため、規約は化けのない配送を保証しません。仕様に於けるパケット誤り検査符号(PEC)の包含は異常なしの配送が達成されたかどうかの指示を提供することが意図されています。

異常処理についての詳細に関しては表5-3を参照してください。

表5-3. SMBus従装置動作での異常処理

発生時期	異常	応答活動
命令バイトの受信後	範囲外命令値	この異常は(誤った)命令バイトに対するACKが既に送られてしまった後でだけ検出され得ます。バスでの次の単位転送は従装置へのデータ書き込み(従ってこれはNAKにされ得ます)か、または従装置から読み込みを始めるための先駆けとしての再送開始条件のどちらかで有り得ます。
	従装置動作で無効な命令	
従装置書き込み単位転送中の最初のデータバイトの受信後	従装置読み込み動作でだけ許された命令	TWINTフラグは解除(0)されず、時間超過異常が生成され、パケットは破棄されます。
	読み込み専用または'予約'されたビットへの書き込みの試み	この場合、書き込み形式の命令自体は有効でしたが、その命令形式に対して要求された活動が無効でした。この異常は表面の命令解釈コードによって認識されます。従装置がこのような異常を発見した場合、TWINTフラグは解除(0)されず、時間超過異常が生成され、パケットは破棄されます。
完全なパケットの受信後	PEC誤り	割り込み処理ルーチンソフトウェアはどれ位のデータが予測されるのかを予め正確に決め、故に書き込み形式命令でやり取りする時に、主装置が停止条件を発行する前にバスを停止することができます。全てのデータバイトが受信されてしまうと、解釈と異常検査のために、(PECを含む)受信したメッセージが表面のコードに渡されます。従装置が受信した主装置からのPECがその内部的に生成された値と一致しない場合、送信異常が起され、故にTWINTフラグは解除(0)されず、時間超過異常が生成され、パケットは破棄されます。
	範囲外の値	TWINTフラグは解除(0)されず、時間超過異常が生成され、パケットは破棄されます。

#### 5.9.4. パケット誤り検査実装

この参照基準設計に於けるSMBus実装はパケット誤り検査(PEC)の使用を支援します。主装置が従装置としてATmega406と通信する時に従装置読み込み命令中に最終データバイトが転送された後で、ACKまたはNAKのどちらかを提供することによって示されるPECの使用を求めます。ACKが発行されるなら、それは主装置が未だもっとデータを必要としていることを示し、これはPECバイトに対して要求されたと仮定されなければなりません。より多くの詳細についてはSMBus仕様を参照してください。

PECバイトに対する要求に適応するために、ファームウェアは常にPEC値を生成しますが、'読み込み'命令を扱う時に、上で記述されたように、ファームウェアは送るまたは送らないのどちらかに決めることを主装置に許します。(ホスト、充電部、または他の装置の)どれかの主装置が読み込み命令に於いてPEC情報を要求する時は必ず、その後の(自身のSMBus主装置動作命令だけでなく従装置送信関数の両方でも)その送信に於いてAVRがPECの使用を指示するUsePECフラグが掲げられます。同様に、何れかの主装置が従装置読み込み命令を実行してPECを要求しなければ、このフラグは掲げられません。

従装置読み込み命令形式に対しては、完全な単位転送から全てのバイトを使ってPECが生成されます。これは元の従装置アドレスW、命令、従装置アドレスR、そして返答データの全てを含みます。従装置アドレスがホストシステムによって割り当てられるか、または固定にされているかのどちらかに依存して、進行中の各度毎にそれを生成するよりもむしろ従装置アドレスと命令に基いて部分的なCRC値を予め計算することが可能かもしれません。

従装置書き込み命令形式に対しては、PECが送信に含まれるかどうかを確かに知ることはできません。従ってTWI割り込み処理ルーチン(ISR)のコードはUsePECフラグの状態に拘らず、PECの存在または不在に順応しなければなりません。受信操作の完了で、受信パケットの一部としてPEC値が含まれるかどうかが決まります。直前項で検討されたように、これに加えてPECが存在するかもしれない、またはしないかもしれないことを知る特定命令に従って予期されるバイト数が先行して決められます。予期した全バイトが受信された後、ISRはTWINTを掲げられたままにして完全なパケットの存在を表面のコードに通知します。その後表面のコードは異常に関してパケットを分析し、そして何かが見つかったなら、時間超過異常が生成され、そのパケットは破棄されます。さもなければ、命令活動が実行され、TWINTが解除(0)され、そして停止条件を送出してISRの状態機構をアイドル(IDLE)状態に戻すことを主装置に許すためにバスを開放します。

表面のコードによって異常が検出された場合、ISRをアイドル(IDLE)状態に戻すことを強制できることが必要です。従ってISRの状態変数はISR自身を越える範囲を持ちます。

#### 5.10. SMBus上での実装書き込み(ISP:In System Programming)

この特徴はそれが目的対象の応用である間にスマート電池ファームウェアやむしろATmega406ファームウェアへの格上げ更新を許します。ISP機能を実装する沢山の可能な方法があり、提供される1つはSMBusを通して基本的なISPを提供し、電池パックでのどんな付加的なハードウェア接続も必要としません。代わりに、暗号化されたファームウェアの格上げ更新に関する支援を持つ高度なISPを追加することもできます。ISPファームウェアの格上げ更新に関するDESとAESの暗号については各々AVR230とAVR231、ブートローダの概念の一般的な扱いについてはAVR109の応用記述を参照してください。ファームウェアの正しい保護を保証するために自己プログラミングと施錠(ロック)ビットに関するデータシートの項を学習してください。

使われるソフトウェア構成は本質的に2つの独立したコードイメージです。1つのイメージはスマート電池応用自身と応用領域と呼ばれるフラッシュメモリ領域の下側部分に属します。2つ目のコードイメージはATmega406のフラッシュメモリのブート領域に属します。

過度に単純化したSMBus規約先頭部のためにブートローダの機能は制限され、SMBus上でのISP管理だけの能力です。\$0000よりもフラッシュメモリのアドレス\$4800(語アドレス)で始まるべきコードの生成をコンパイラに強制するため、プログラム空間に対して異なるメモリ範囲を定義するのに特別なリンク(.XCL)ファイルが使われます。この独自設定されたリンクファイルの使用を除き、ATmega406用の通常設定以上に特別なコンパイラ設定は全く必要とされません。ブートローダ領域が4Kバイトまでのコード空間しか持たないので、必要な関数だけがインクルードされるのを保証するように注意が講じられています。現在の実装コードは1800バイト未満のコード空間を使い、故に必要なならば4Kバイト未満の使用内で機能を拡張するための空間がまだあります。

リセット後に応用領域の開始よりもむしろブート領域に配置されたブートローダのコード実行を開始するには、BOOTRSTヒューズがプログラム(0)されるべきです(ヒューズ設定の詳細についてはATmega406のデータシートを参照してください)。

ブートローダのコードはそれが有効なプログラムイメージを含むかどうかを判断するためにフラッシュメモリの応用領域の簡単な検査を最初に実行します。ブートローダのコードのLow\_level\_init()関数に於いて、位置\$0000のリセットベクタが\$FFFFを含む場合、応用領域は有効なイメージを含まないと無事に仮定することができ、制御はブートローダに留まります。さもなければ、アドレス\$0000が実行されるように飛んで、実際上は主応用コードを開始します。

SMBusが500msの始動時間制限を課すので、応用領域の完全なCRCのような広範囲の有効性検査を実行するためのブートローダに対して利用可能なクロック周期数が制限されます。より完全な応用コードの確認を実装することや、最初の応用で十分に徹底的な検査を実行することも可能で、SMBusインターフェースが起動された後でこれを走行します。これは実装が使用者に任せられます。

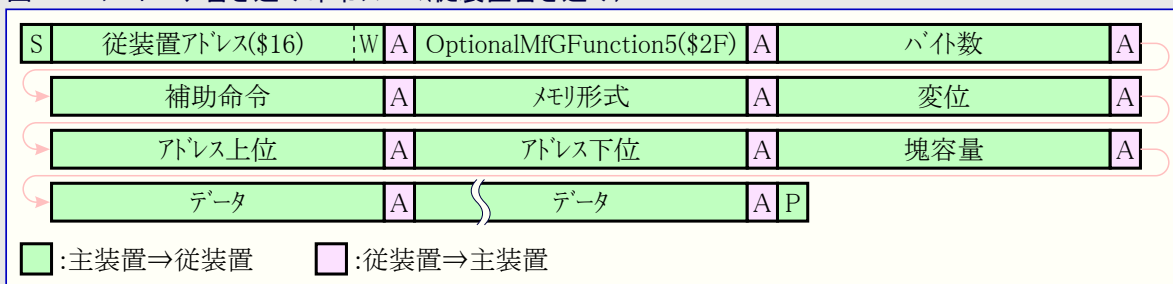
フラッシュメモリの応用領域が有効なイメージを含まない場合、その後の実行はブートローダのコードを継続します。応用領域からアクセスされつつある時のブートローダの入口はブートローダのmain()関数への入口です。ブートローダのコードへ何れかの変更が行われた場合、またはそれが再コンパイルされた場合、このアドレスは検証されるべきで、そしてsmbus.cのコードはOptionalMfgFunction5に対するその処理部に於いて正しいアドレスを反映すべきです。これはブートローダまたは応用領域のどちらからも移行され得るので、main()がどう移行されたかに拘らずそれらが正しく初期化されるのを保証するために、ブートローダ用の重要な変数全てがmain()の内側で初期化されます。何れかの応用領域のコードの不注意の実行を防ぐために全ての割り込みが禁止されることも保証します。次に、それをSMBus用に準備するためにTWIポートを初期化します。最後に、制御がブートローダの主繰り返りに渡されます。

主繰り返しはブートローダに対して有効なSMBus命令、即ち、OptionalMfgFunction5だけを待ちます。この命令受信で、以下で定義される規約に対する内容を解釈して要求された活動を実行します。

各SMBus従装置書き込み命令は命令の成功または失敗に基づいて状態フラグを変更します。それらのものがSRAMデータ緩衝部の一部を更新するだけだとしても、各従装置書き込み操作後にこの状態フラグを問うことが可能ですが、必須ではありません。フラッシュメモリやEEPROMの消去のように、相対的に長い時間がかかる操作に関して、状態フラグは装置が多忙かどうかをも示すでしょう。

全ての通信は標準スマート電池アドレスを使うように意図されています。同様に、識別子\$2F(OptionalMfgFunction5)の命令だけがSMBus上でのISPに使われます。全ての従装置書き込み操作は塊書き込み動作形態を使い、以下で定義される規約に対して全て適合させなければなりません。従装置読み込み操作は塊読み込み規約だけを使い、状態値だけを返します。それが望まれたなら、メモリ読み込み命令を実装するのは設計者に任せられますが、これは複写のために内部メモリの内容を晒すかもしれません。

図5-11. ブートローダ書き込み命令フレーム(従装置書き込み)



EEPROMとフラッシュメモリの両方のアドレスがバイトアドレスで与えられることに注意してください。従装置書き込み命令に関して、領域の意味は特定命令とメモリ形式によって変わります。

OptionalMfgFunction5命令内に書き込み、消去、パッチ、挿入、照合の5つの主要命令が実装されています。読み込み命令に対する準備も含まれますが、それが安全性の穴を提起するため、これは最終製品で省略されるべきです。代替として、暗号層の追加を考慮することができます。

抜け出しと活動の2つの第2命令もあります。活動は主応用で走行中にブートローダ動作へ切り換えるの使われ、既にブートローダの時に受信した場合は無視されます。抜け出しは全てのブートローダの作業が完了され、主応用コードの実行開始が望まれる時に使われます。

(小文字を使うことで区別される)'w'と'v'の命令、2つの追加任意選択命令が使用者によって実装されるかもしれません。これらの命令は書き込みまたは照合の操作に先立って、データ塊(フラッシュメモリのページ全体またはEEPROMに対して指定された塊容量のどちらか)で復号が実行されるべきであることを示します。このようにして、暗号化されたデータが内部SRAM緩衝部に転送されるかもしれませんが、使用前に復号され、データの安全性を保証します。

表5-4. OptionalMfgFunction5補助命令

命令	必要な命令領域	機能
書き込み ('W'/'w')	メモリ形式 : (F)フラッシュ/(N)EEPROM 変位 : 緩衝部変位(EEPROMのみ) アドレス上位/下位 : フラッシュ/EEPROMの開始アドレス 塊容量 : 書き込みバイト数(EEPROMのみ)	内部SRAM緩衝部の内容を指定されたメモリ領域へ書きます。操作は'施錠'ヒューズ'ビット(施錠ビット)'の設定に基づいて失敗するかもしれません。
消去 ('E')	メモリ形式 : (F)フラッシュ/(N)EEPROM アドレス上位/下位 : フラッシュ/EEPROMの開始アドレス 塊容量 : 消去バイト数(EEPROMのみ)	指定されたメモリ領域を消去します。操作は'施錠'ヒューズ'ビット(施錠ビット)'の設定に基づいて失敗するかもしれません。この操作は内部SRAM緩衝部を使わず、また影響を及ぼしません。
パッチ ('P')	メモリ形式 : (F)フラッシュ/(N)EEPROM 変位 : 緩衝部変位(EEPROMのみ) アドレス上位/下位 : フラッシュ/EEPROMの開始アドレス 塊容量 : 読み込みバイト数(EEPROMのみ)	指定されたメモリ領域の現在の内容を内部SRAM緩衝部に格納します。その後挿入命令を用いて緩衝部は部分的に上書きされ、そしてメモリに書き戻されるかもしれません。
挿入 ('I')	変位 : 緩衝部変位 塊容量 : バイト数 データ : SRAM緩衝部へ書くデータバイト	指定された緩衝部変位で始まる内部SRAM緩衝部内に指定されるデータを配置します。緩衝部を完全に満たすことが単一挿入操作で不可能なことに注意してください。
照合 ('V'/'v')	メモリ形式 : (F)フラッシュ/(N)EEPROM 変位 : 緩衝部変位(EEPROMのみ) アドレス上位/下位 : フラッシュ/EEPROMの開始アドレス 塊容量 : 照合バイト数(EEPROMのみ)	内部SRAM緩衝部格納後に照合命令は指定されたメモリ領域の照合を実行します。状態フラグが比較の良/不良の結果を示します。
読み込み	現時点で実装されていません。	読み込み命令は主にデバイスのEEPROMの内容を読み出すのに使われるかもしれませんが、故にそれはプログラミング操作後に再格納(回復)されるかもしれません。
活動 ('A')	ありませんが、データバイト数は1でなければならず、換言すると、語書き込みと等価です。	応用コードからブートローダへ制御を移します。他の全てのスマート電池機能が停止します。
抜け出し ('X')	なし	ブートローダから応用コードへ制御を移します。全てのスマート電池機能が再び始まります。

注: 施錠ビットの設定がブートローダからのフラッシュメモリの読み込みと書き込みの可能性を制限するかもしれません。より多くの詳細についてはデータシートを参照してください。

W: フラッシュメモリが指定された場合、アドレスはバイトで書かれるべきフラッシュページの基底です。ページ全体がフラッシュメモリに書かれ得るだけなので、他の情報は全く必要とされません。EEPROMが指定された場合、アドレスはEEPROM空間での開始アドレスで、変位はチップ上のSRAM緩衝部内の開始位置で、そして塊容量パラメータでバイト数が提供されなければなりません。

w: "W"命令と同じですが、SRAM緩衝部の内容は書かれる前に先行して復号されなければなりません。また、書き込み命令の目的対象位置についての情報を得る攻撃者を防ぐために、このメッセージの内容も暗号化されます。

V: フラッシュメモリとEEPROMの両方について、アドレスは(バイトに基く)何れかの有効なアドレスで、それはページ境界に制限されません。フラッシュメモリが指定された場合、フラッシュメモリの内容を1度に1バイトを割り付ける誰かに対する予防策として128バイトであるべきと仮定されます。EEPROMについては1~128のバイト量が使われ得ます。

v: "V"命令と同じですが、SRAM緩衝部の内容は照合される前に先行して復号されなければなりません。加えて、照合命令の目的対象位置についての情報を得る攻撃者を防ぐために、このメッセージ塊の内容も暗号化されます。

E: フラッシュメモリに関してはフラッシュページ全体が消去され、アドレスは指定したページの先頭に強制されます。どんなEEPROMアドレスも許され、バイト数は128バイトまで許されます。

P: メモリ領域を'パッチ(部分書き換え)'するには、最初に元のメモリ内容を内部SRAM緩衝部へ複製するためにパッチ命令を発行します。アドレスはフラッシュメモリに関してページ境界でなければなりません。次に、緩衝部内容の一部だけを上書きする'補修'データを供給するために'I'命令が使われます。最後に、更新を保存するのに'W'が実行されます。

I: この命令は内部SRAM緩衝部にだけ書くので、アドレス領域は無視されます。データ塊だけでなく、変位と塊容量の値も必要とされます。SMBusパケット容量制限のため、初期パケットに於いて最大24バイトだけが転送され得ます。けれども、バイト数領域が24バイトを越えて指定するならば、後続する'連結された'SMBusパケットはデータだけを含むと予期され、従って完全に満たされた初期パケットで指定された塊容量まで、後続する各パケットで最大32バイトまでの転送を許します。それまでで転送することができる大部分はSRAM緩衝部容量(128バイト)-開始変位によって指示されます。従って、連結パケットを使って緩衝部を完全に満たすには0の変位が指定されなければなりません。代わりに、変位+どのパケットの容量も128を越えない限り、どんなデータ量で個別挿入命令を発行し得ます。

書き込みと照合の命令はその目的対象としてEEPROMまたはフラッシュメモリのどちらも'W'と'V'のSMBusメッセージ内のデータ部ではなく、チップ上のデータ緩衝部だけを使うことに注意してください。全てのデータは先に'I'命令を用いてチップ上のSRAMデータ緩衝部に書かれ、続いてそれらから格納または照合されます。緩衝部で保持されるデータは書き込みや照合の操作後も破壊されず、故に同じデータが異なるメモリ位置に繰り返し書かれる場合、これは各'W'操作後にSRAM緩衝部を再格納することなく、新しい'W'命令を送ることによって行うことができ、各々の時に'W'命令で単に異なるアドレスを供給します。

望まれたなら、更に暗号化されたデータがEEPROMやフラッシュメモリの書き込みや照合に使用されるかもしれません。暗号使用時にパッチ命令の使用を支援することができないことに注意してください。

## 5.11. 電力動作形態

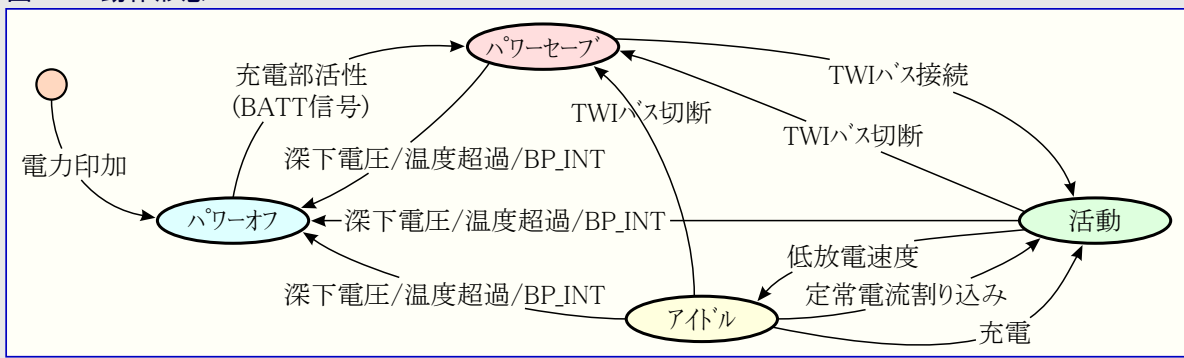
電池パックはパワーオフ、パワーセーブ、アイドル、活動の4つの電力形態の1つになることができます。これらの形態名はATmega406の休止形態を反映します。表5-5を参照してください。行われた実装は電力管理がどう実装され得るかの参照基準としての意味で、これは望まれるなら、違うように実装することができることに注意してください。

表5-5. スマート電池動作形態

動作形態	使用時
パワーオフ	電池が完全に放出した時に使われ、また、深下電圧状態としても参照されます。予備充電FETを通しての充電だけが支援されます。ホストは電池から電力を引き出すことができません。
パワーセーブ	ホストがOFFにされる時、または電池がホスト/充電部から切断された場合に使われます。
アイドル	放電速度が低い時に使われます。
活動	充電中と放電速度が'通常'の時に使われます。

パワーオフ形態を除く全ての形態に於いて、ハードウェア電池保護回路が初期化されて活性になります。これらの形態の相互作用の絵的視野については図5-12の関連状態図をご覧ください。

図5-12. 動作形態



### 5.11.1. パワーオフ動作形態

この形態では電池パックが全く残充電容量を持たず、再充電期間を待ちます。ATmega406はチップ上の電圧調整器がパワーオフ形態であるために動作を妨げられます(パワーオフ休止形態の詳細についてはATmega406のデータシートを参照してください)。パワーオフ休止形態でのATmega406は実質的に電池から電流を全く引き出しません。この形態は電池を保護するのに使われます。Li-Ion電池が或る限界以下に放電された場合、それは恒久的な損傷を被るでしょう。

予備充電FETはハードウェアで自動的に許可され、低電流充電の発生を許します。充電と放電のFETはハードウェア経由で禁止されます。ATmega406がコードを実行しないので、この形態では電流測定も時間測定も全く行われません。SMBusも不活性です。

チップ上の電圧調整器の自動的な電力断に帰着する、ATmega406の深下電圧検出以下に電池電圧が落ちた場合、ハードウェアによってこの形態が自動的に許可されます(利用可能な深下電圧レベルに関してデータシートをご覧ください)。恒久的なセルの損傷を防ぐために、電池パックの電圧が最小セル電圧レベル以下に落ちた時に、ソフトウェアはこの形態への移行を強制することもできます。従ってハードウェア保護は独立した第2の電池保護回路として見ることができます。

この形態はBATTピンが6~8Vよりも高くなることで引き起こされるハードリセットによって抜け出され、これは1に設定されたMCU状態レジスタ(MCUSR)内の電源ONリセットフラグ(PORF)とでの電源ONリセットを引き起こします。従って、リセット後のmain()関数の初回実行に於いて、PORFフラグが設定(1)されていると、この実装での動作形態はパワーセーブ形態に強制されます。

### 5.11.2. パワーセーブ動作形態

この形態ではホストまたは充電部から取り外される、またはホストがOFFにされてしまうかのどちらかになってしまうため、電池は本質的な休止です。けれども、CPUはTWIバス接続割り込みを生成するSMBus活動、または外部Lowレベル割り込みのどちらかへの応答で直ちに起き上がる準備が整っています。Lowレベル割り込みは代表的にLEDのバーを使って電池の充電状況を示すのに使われる充電表示押し釦によって生成されます。

この形態では、低電流充電を許すために予備充電FETが慎重に許可されます。電子パックの外側で起こる偶発的な回路短絡を防ぐために充電と放電のFETが禁止されます。パワーセーブ形態への移行で、ソフトウェアはCCADCを禁止し、起動タイマを構成設定し、そしてATmega406をパワーセーブ休止形態に切り換えます。CCADCが禁止されるため、電池の流出は測定することができず、推測されなければなりません。電池流出の推測を手助けするため、起動タイマの使用を通して経過時間が維持されます。従って、妥当な精度の残容量を維持するために、電池で利用可能な残容量から一定周期での減算を行うことができます。SMBusの活動を検出するのに使われるTWIバス接続/切断割り込みを除き、SMBusはこの形態で活性ではありません。

アイドルか活動のどちらかの形態の間にSMBusパワーダウン命令が受信された時か、またはSMBusが禁止されてしまった時のどちらかでこの形態に移行されます。

電池の利用可能な電力が0に落ちる(その場合は**パワーオフ形態**に移行されます)、または代表的に電池が系に挿入されつつあるか、または系が活性にされつつあるかのどちらかのためにホストシステムがSMBusを活性される時のどちらかでこの形態を抜け出します。ホストシステムがSMBusを活性にされると、電池は活動形態に切り替え、適切であるなら、それからアイドル形態に変更することができます。

### 5.11.3. アイドル動作形態

この形態は電池が活性であるけれども低速で放電されている、例えば、ラップトップコンピュータのメモリをスタンバイ形態で維持する時に使われます。予備充電FETは禁止されますが、充電と放電のFETは許可されます。低放電速度では、ATmega406自身の消費電流が電力消費全体での要素になり得、従ってATmega406は低減された電力構成設定、故にアイドル休止形態の使用で動かされます。継続的な系の消費電流測定よりもむしろ、電流流出はCCADCの定常電流動作形態を使うことによって周期的に採取されるだけです。

少々緩めのタイミングが必要条件にも拘らず、この形態でのCCADCクロック元として32.768kHzクリスタル用発振器が使われます。SMBusは全ての要求に応答するために活性で準備が整っていなければなりません、電池電圧と温度の測定のような他の作業は節電のために減らされた頻度で動くことができます。

その形態との主な違いが電池パック電流測定の方法の精度のため、活動形態からだけこの形態に移行されます。特に、電池の流出電流が予め決められた水準以下に落ちた時に、電力を維持するためにソフトウェアがこの形態に変更します。移行に於いて、CCADCの動作形態が累積形態よりもむしろ定常電流形態の使用に再設定されます。それらが信頼に足る測定を保持していないので、最初の4回の変換結果はソフトウェアによって破棄されます。CCADC定常放電電流(CADRDC)レジスタが移行時に初期化されます。CCADC定常充電電流レジスタ(CARCC)はこの実装で使われません。

充電電流が検出された場合にこの形態を抜け出し、その場合は活動形態が使われます。また、電池の流出電流が選択した水準を越えた場合、定常電流割り込みが起こり、ソフトウェアは活動形態に戻します。

どれかの割り込みがATmega406をアイドル休止形態の外に引き上げるため、この機構はアイドル休止形態に再移行するのをATmega406に許せる時の識別を確立しなければなりません。この実装では、主繰返し内の全ての活性な作業が処理されてしまったなら、再びアイドル休止形態への移行がOKです。

処理されるのを必要とする作業は、セル電圧の周期的なVADC走査と計算、SMBus通信、CCADC電流測定、そして充電の経緯を含みます。これらの全てが割り込みによって初期化または維持され、従ってこの応用で問題のない割り込みを待つ間、休止します。VADC周辺機能は活動、アイドル、それとA/D変換雑音低減の形態でクロックを受け取って、一方(従装置応答を含む)SMBus送信は活動またはアイドルのどちらかの休止形態を必要とします。従って、A/D変換雑音低減休止形態の代わりにアイドル休止形態が使われます。

### 5.11.4. 活動動作形態

この形態では電池が相対的に高い電流で充電または放電のどちらにされます。充電時、ATmega406の消費電流は重要ではありません。高速での放電時、ATmega406の消費電流はホスのそれに比べて取るに足らないものです。従ってこの形態でのATmega406は電池寿命の損失の影響なしに継続的な走行のままにできます。けれどもソフトウェアが既にアイドル休止形態利用に設計されているため、それが電池の活動形態でも使われます。

活動形態では、充電と放電のFETが許可され、予備充電FETは禁止されます。CCADCは最大精度のために32.768kHzクリスタル用クロック発振器を使って累積形態で走行します。SMBusは完全に活性です。

活動形態はアイドルまたはパワーセーブのどちらかの形態から移行することができます。電池が充電されつつある間に起されると、常に活動形態が使われます。高い放電電流の存在時、またはパワーセーブ形態からの初回起き上がり時に、それが最大精度で電池パックの状態を測定するために活動形態が選択されます。移行時にCCADCは累積形態に切り換えられます。瞬時と累積の両方で形態切り換え後の最初の4つのCCADC変換は、それらが正確でないので無視されなければなりません。これはソフトウェアで処理されますが、その時に得られたまたは失われた電流はこの実装に関して計算されません。

ソフトウェアは、SMBusが不活性になる(この場合は**パワーセーブ形態**に切り換えます)、または流出電流が予め決められた水準以下に落ちる(この場合は**アイドル形態**に切り換えます)の2つの条件のどちらか1つへの応答で活動形態を抜けます。

## 6. 可能な改善範囲

### 6.1. 校正

使う検出抵抗の精度に依存して、電流測定での利得校正を含めることが必要かもしれません。負担の大きな'long'乗算操作での繰返し処理を避けるため、毎回採取して各々を修正するよりもむしろ、結果と容量を報告するルーチンに尺度調整を追加することが推奨されます。それは秒毎に使われるCCADC瞬時割り込みの採取数を変更することによって、概ね0.5%でCurrentとAverage Currentの読み取りの校正を調整することが可能です。詳細についてはソースコードをご覧ください。

### 6.2. 電力管理

ATmega406デバイスの様々な周辺機能と能力がどう利用され得るのかを強調する例として、3つの活性な電力形態が設計されています。もっと凝った形態を欲求として追加することができます。

パワーセーブ休止形態での起動タイマの使用よりもむしろ、パワーダウン休止形態で周期的な起き上がりを提供するために、ウォッチドッグタイマの割り込み形態の使用が可能です。パワーダウン休止形態で低速RC発振器がOFFにされるため、これは僅かにより低い電流消費に帰着するでしょう。

また、停止形態の間に起動タイマの予測消費電力に関してより良い解決策が必要とされる場合、WakeUp\_ISR()ルーチンを拡張することができます。

### 6.3. 温度測定と利用

電池パックの温度効果は、これが製造業者間で広範囲変化するため、現在考慮されていません。

加えて、設計者がどのサーミスタを選んだかを先行して知ることが不可能なため、サーミスタに関する温度の計算は設計者に任せられます。供給されるソフトウェアは各サーミスタに対してVADCの結果を測定するのに必要な下部構造を提供します。

### 6.4. ハードウェア電池保護

現在のソフトウェアではHWP\_int()の起動に帰着する何れかの誤り条件が電池パックをパワーオフ形態への切り替えに帰着します。起された特定の誤りを決定するのを手助けするためにEEPROMに状態符号が保存されます。このルーチンは電池パックを完全に停止する前に複数の試行を許すように拡張することができます。

### 6.5. EEPROM

充放電周回数や極端な温度回数のような履歴データと、電池パックの充電状況情報を保持するように、ATmega406のチップ上EEPROMでかなり多く使うことができます。

### 6.6. 暗号化ファームウェア更新

この実装のブートローダはそれ用に準備されていますが、暗号化通信を実装していません。望むなら、「AVR230:DESブートローダ」と「AVR231:AESブートローダ」応用記述も調べ上げてください。

### 6.7. 電池認証

ブートローダまたは応用のコードが暗号を含めるように強化されるのなら、正しい電池だけが与えられた製品で使えることを保証するために挑戦/応答機構を経由して安全認証符号の実装が可能です。

## 7. 参考文献一覧

1. SMBus仕様 (SMBus specification)  
<http://www.smbus.org/specs/smbus110.pdf>
2. スマート電池データ仕様 (Smart Battery Data Specification)  
<http://www.sbs-forum.org/specs/sbdat110.pdf>
3. スマート電池充電器仕様 (Smart Battery Charger Specification)  
<http://www.sbs-forum.org/specs/sbc110.pdf>
4. ATmega406データシート  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2548.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2548.pdf)
5. AVR454:ATAVRSB100スマート電池開発基板 ハードウェア使用者の手引き  
[http://www.atmel.com/dyn/products/app\\_notes.asp?family\\_id=607](http://www.atmel.com/dyn/products/app_notes.asp?family_id=607)
6. Doxygen資料: ソースコードと共にダウンロードされたreadme.htmlとdoxygenフォルダ

## 8. 目次

<b>要点</b> .....	1	7. 参考文献一覧 .....	23
1. 序説 .....	1	8. 目次 .....	24
2. 実装の範囲 .....	1	お断り .....	25
3. AVR453の暫定公開に関する公開注記 .....	2		
4. 動作の理屈 .....	2		
4.1. Li-Ion電池の技術 .....	2		
4.1.1. Li-Ion電池充電の概略 .....	2		
4.1.2. Li-Ion電池放電 .....	3		
4.1.3. セル平衡 .....	3		
4.2. スマート電池の定義 .....	3		
4.2.1. 充電の状況(State of Charge) .....	4		
4.2.2. 健全の状況(State of Health) .....	4		
4.3. スマート電池とSMBus .....	4		
4.4. 非常に賢い電池制御器 – ATmega406 .....	4		
4.4.1. 2線インターフェースとSMBus .....	4		
4.4.2. A/D変換器 .....	5		
4.4.3. CPUから独立した電池保護 .....	5		
4.4.4. 高電圧許容入出力 .....	5		
4.4.5. 統合されたセル平衡FET .....	5		
4.4.6. 低電力動作 .....	5		
5. スマート電池の実装 .....	5		
5.1. ソフトウェア実装の概要 .....	7		
5.1.1. 通常コード実行 .....	7		
5.2. 電池の充電と放電 .....	9		
5.3. 電圧ADCの結果 .....	9		
5.3.1. 識別列データを使う .....	9		
VADCの結果補償 .....	9		
5.4. ケーロンカウンタA/D変換器の結果 .....	10		
5.4.1. CCADC結果の尺度調節 .....	10		
5.5. 顧客校正 .....	11		
5.5.1. 内部1.100V電圧基準校正 .....	11		
5.5.2. CCADC変位(オフセット)校正 .....	11		
5.5.3. 校正値の格納 .....	12		
5.6. 電池保護 .....	12		
5.7. 電池パック構成設定 .....	12		
5.8. LED制御 .....	12		
5.9. SMBus規約実装 .....	12		
5.9.1. SMBus従装置動作 .....	14		
5.9.2. SMBus主装置動作 .....	16		
5.9.3. SMBus異常処理 .....	17		
5.9.4. パケット誤り検査実装 .....	18		
5.10. SMBus上での実装書き込み(ISP) .....	18		
5.11. 電力動作形態 .....	21		
5.11.1. パワーオフ動作形態 .....	21		
5.11.2. パワーセーブ動作形態 .....	21		
5.11.3. アイドル動作形態 .....	22		
5.11.4. 活動動作形態 .....	22		
6. 可能な改善範囲 .....	22		
6.1. 校正 .....	22		
6.2. 電力管理 .....	22		
6.3. 温度測定と利用 .....	23		
6.4. ハードウェア電池保護 .....	23		
6.5. EEPROM .....	23		
6.6. 暗号化ファームウェア更新 .....	23		
6.7. 電池認証 .....	23		





## 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のウェブサイトには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. 不許複製 Atmel®、ロコ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 2021.

本応用記述はAtmelのAVR453応用記述(doc2599.pdf Rev.2599C-02/06)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。