

序説

この応用記述はデータ記録器例に基づいてAtmel® XMEGA®マイクロ コントローラの節電機能のいくつかを網羅します。この応用記述の目標はXMEGA MCUで使用されるpicoPower®技術を使用者に習熟させ、AVR®マイクロ コントローラの節電機能を実装する方法を示すことです。このデータ記録器例は実際の製品の基にもなり得ます。

以下の項目が網羅されます。

- クロック開閉
- A/D変換器(ADC)
- 休止動作形態
- 事象システム
- DMA

特徴

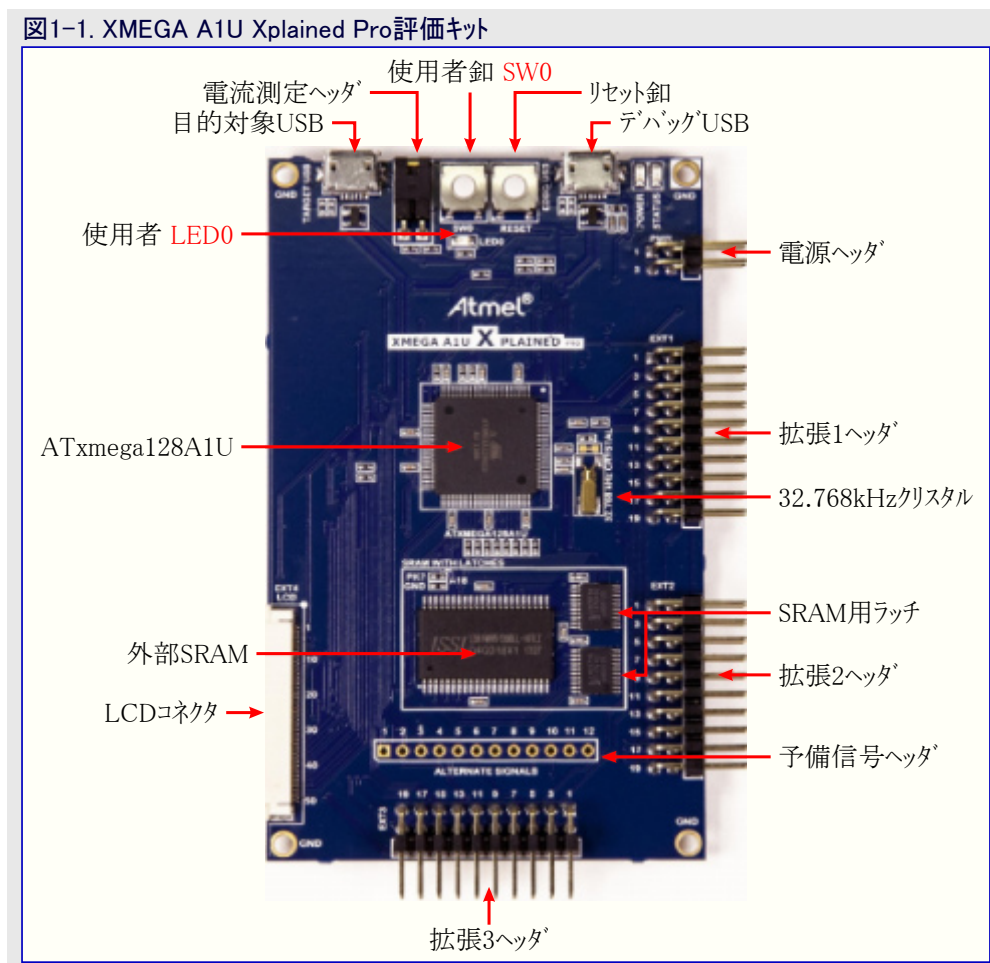
- CPUの介在なしのA/D変換とメモリ複写
- 低電力動作形態
- Atmel | STARTでのファームウェア例プロジェクト

目次

序説	1
特徴	1
1. ハードウェア必要条件	3
2. 応用	4
2.1. クロック構成設定	4
2.2. 事象システム	4
2.3. DMA	5
2.4. 低電力	6
2.4.1. 未使用周辺機能単位部へのクロック禁止	6
2.4.2. EEPROMを電力削減動作へ置く	6
2.4.3. アイドル休止動作追加	6
3. 改訂履歴	6

1. ハードウェア必要条件

データ記録器例応用は以下のハードウェアが必要です。



XMEGA A1U Xplained Pro評価キットは以下を含みます。

- Atmel ATxmega128A1Uマイクロ コントローラ
- 1つの機械的なリセット釦
- 1つの機械的な使用者押し釦
- 1つの使用者黄LED
- 32.768kHzクリスタル
- 外部512KバイトのSRAM
- 装置動作USBインターフェース
- 3つのXplained Pro拡張ヘッダ
- Xplained Pro LCD拡張コネクタ
- 組み込みデバッグ
- USB給電

XMEGA A1U Xplained Pro評価キットのより多くの詳細については<http://www.atmel.com/tools/atxmega1u-xpro.aspx>とXMEGA A1U Xplained Pro使用者の手引きを参照してください。

この例は他のXMEGAデバイスへの容易に移植することができます。

2. 応用

この応用はA/D変換採取を周期的に起動するためにRTCを使用して5ms毎にアナログ信号を測定する簡単なデータ記録器として実装されます。XMEGA A1U Xplained Pro基板がアナログ入力ピンへ加えられるどんな外部部品も持たないため、この実演試供品では浮入力ピンが使用されます。

この応用でCPUは周辺機能を構成設定すること、データ処理(この例では何もなく、使用者はそれらに自分のルーチンを加えることができます。)を実行することだけが必要とされます。消費電力を減らすため、使用しない時は必ずCPUを休止に置くことができ、これを行うのにアイドル動作が使用されます。アイドル動作でCPUとフラッシュプログラムメモリは停止され、一方周辺クロックと周辺機能単位部は走行を保たれます。

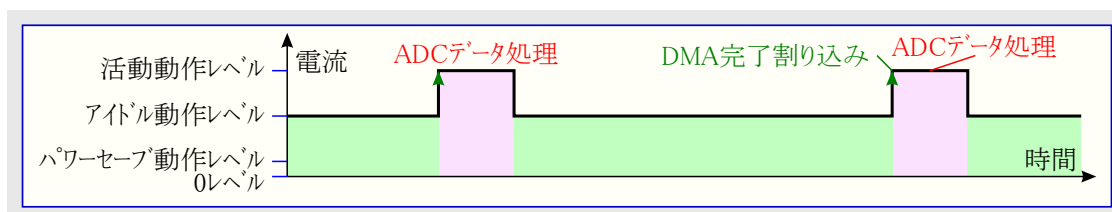
RTC溢れ時、A/D変換を起動するために事象を起こさせます。

A/D変換完了時、DMAがA/D変換結果をデータ緩衝部へ転送します。簡単化のためこの動作は”測定周回”と呼ばれます。64測定周回後、最後のA/D変換完了時にCPUはDMA完了割り込みによって起こされて、データ処理を実行します。この周回(64測定周回+データ処理)は”完結周回”と呼ばれます。DMA完了割り込み処理ルーチンは転送先アドレスを再割り当てしてDMAを再設定します。

以下の周辺機能と機能が使用されます。

- クロックシステム
- 実時間計数器(RTC:Real Time Counter)
- A/D変換器(ADC)
- 事象システム
- DMA

消費電流波形は下で図解されます。



ソースプロジェクトは例を閲覧することによってAtmel | START(開始)からダウンロードすることができます。Atmel STARTは組み込みソフトウェアプロジェクトの直観と図形による形態設定用の革新的なオンラインツールです。より多くの情報については開始の手引きを参照してください。

2.1. クロック構成設定

この応用に対してATxmega128A1Uは8MHzで走行します。ATxmega128A1Uは内部32MHz RC発振器と内部2MHz RC発振器を持ちます。既定によって始動で主クロック元として2MHz RC発振器が選択されます。ソフトウェアによって各種クロックを選択することができ、この応用ではシステム分周器を使用して4分周される32MHz RC発振器を選びます。2MHz発振器は禁止されます。XMEGAの実時間計数器(RTC)は概ね5ms毎の事象システムを使用することによって一定の間隔で新しいA/D変換を起動するように構成設定されます。

クロック構成設定はAtmel | STARTドライバによって形態設定され、またGPIO形態設定も、これはクロック構成設定とCPIO PINMUXがAtmel | STARTウェブページで形態設定され得ることを意味します。詳細については例プロジェクトからのコードを参照してください。

2.2. 事象システム

XMEGA事象システムはCPUを使用することなくお互いに直接合図することを周辺機能に許す周辺機能相互通信網です。周辺機能が別の周辺機能での活動を起動することを必要とする時に、伝統的に割り込み処理ルーチンと共に割り込みが使用されます。けれども、事象システム周辺機能は事象システム経由で別の周辺機能で活動(事象)を直接起動することができます。事象システムはCPUから完全に独立して動作するため、CPUをアイドル動作に置くことができます。

ATxmega128A1Uは8つの独立した事象チャンネルを持ちます。この応用ではADCA単位部のチャンネル0での変換を起動するのに事象チャンネル7が使用されます。チャンネル7に対して使用される起動元はRTC溢れフラグです。

事象システム使用により、(CPUが活動動作を必要とするISR実行時に)MCUは割り込み処理ルーチンを実行するのに休止動作形態から起き上がることを必要としません。従って事象システムはCPUが活動動作に留まる必要時間の量を減らすことによって節電の手助けをすることができます。

事象システムによって使用される追加の消費電力が非常に小さいとは言え、総消費電力に対して未だ少しだけ追加します。故に凄いい頻度で割り込みが起きない、または割り込み関数が相対的に短い応用では、事象システムを使用することによる消費電流での総合的な削減は頻繁にやってくる割り込み、または長い実行時間を持つ割り込みがある応用でよりも小さくなるでしょう。

この応用で事象システムはプログラム周回毎に64回の相対的に短いRTC割り込み処理ルーチン呼び出しを省き、事象システムを使用することによって概ね1%の低消費電力を与えます。多数の割り込みまたはより長い割り込み処理ルーチンの他の応用ではそれらを省くことができ、消費電力での削減は更により大きくなり得ます。加えて、事象システムの使用はCPU作業量を減らし、他の作業用にCPUを自由に、従って総合システム性能を増加します。これは低周波数でシステムを動かすことも許し、故に節電します。

ここで以下は事象システム初期化コードです。

```
// 事象システム クロック領域許可
PR. PRGEN &= ~PR_EVSYS_bm;
// 事象チャンネル7供給元(RTC溢れ)形態設定
EVSYS.CH7MUX = EVSYS_CHMUX_RTC_OVF_gc
```

下の行はRTC溢れ事象を使用するためのADCの起動元を形態設定します。

```
// 事象システム許可
ADCA.EVCTRL |= ADC_SWEEP_0_gc | ADC_EVACT_CH0_gc | ADC_EVSEL_7_gc;
```

2.3. DMA

DMAシステムはA/D変換結果をADC結果緩衝部へ転送するのに使用されます。DMAシステムはアイドル休止動作に於いて事象システムと共に動くことができ、CPUはRTCやADCの割り込み処理ルーチン(ISR)による起き上がりなしにアイドル動作のままにすることができます。

A/D変換完了時、ADCはDMAシステムに合図し、DMAシステムはCPUを使用することなく、A/D変換結果を直接緩衝部に転送します。CPUはDMA転送が緩衝されるまでアイドル休止動作に留まり、その後データ処理を実行するために起き上がります。

DMA単位部によって使用される余分な消費電力が相対的に小さいとは言え、未だ或程度の電力を消費します。従って、移動されるべきデータの量が少ない応用では割り込みが凄いい頻度で起きず、DMAによって達成される電流削減は重要でないかもしれません。この応用では1つの完結周期に於いてDMAの追加は64回の相対的に短いADC ISRだけを省きます。

もっとデータが転送される応用で、より大きな電力削減はDMAを使用することによります。加えて、DMAはCPU作業量を減らし、他の作業用にCPUを自由にし、従って総合システム性能を増します。これは低周波数でシステムを動かすことも許し、故に節電します。

この応用での転送されるべきデータの量はDMA許可による電力削減があまり重要でないように小さい(少ない)です。

初期化ルーチンは以下の通りです。

```
// DMAクロック領域許可
PR. PRGEN &= ~PR_DMA_bm;

/* 全てが最初からであることを確実にするためにだけDMAをリセット */
DMA.CTRL = DMA_RESET_bm;
// DMA単位部許可
DMA.CTRL = DMA_ENABLE_bm | DMA_DBUFMODE_CH01_gc | DMA_PRIMODE_RR0123_gc;

// 割り込み要求フラグ解除
DMA.INTFLAGS = 0;

// アドレス処理種別形態設定
DMA.CH0.ADDRCTRL = DMA_CH_SRCRELOAD_BURST_gc | DMA_CH_SRCDIR_INC_gc
                 | DMA_CH_DESTRELOAD_BLOCK_gc | DMA_CH_DESTDIR_INC_gc;

// 起動元形態設定
DMA.CH0.TRIGSRC = DMA_CH_TRIGSRC_ADCA_CH0_gc;

// 起動毎に2バイト転送。総転送バイトは64×2=128
DMA.CH0.TRFCNT = 128;

// 転送元アドレス割り当て
DMA.CH0.SRCADDR0 = (uint8_t)((uint16_t)&(ADCA.CH0.RES));
DMA.CH0.SRCADDR1 = (uint8_t)((uint16_t)&(ADCA.CH0.RES) >> 8);
DMA.CH0.SRCADDR2 = 0;

// 転送先アドレス割り当て
DMA.CH0.DESTADDR0 = (uint8_t)((uint16_t)adc_result[0]);
DMA.CH0.DESTADDR1 = (uint8_t)((uint16_t)adc_result[0] >> 8);
DMA.CH0.DESTADDR2 = 0;

// 割り込み許可
DMA.CH0.CTRLB = DMA_CH_TRNINTLVL_LO_gc;

// 転送動作形態と転送許可を設定
DMA.CH0.CTRLA = DMA_CH_ENABLE_bm | DMA_CH_BURSTLEN_2BYTE_gc | DMA_CH_SINGLE_bm;
```

2.4. 低電力

2.4.1. 未使用周辺機能単位部へのクロック禁止

XMEGAデバイスは非常に豊富で利用可能な周辺機能の組を持ち、各周辺機能は総消費電流に小さな負担を加えます。殆どの周辺機能のクロック領域は独立して禁止することができ、未使用周辺機能に対するクロック信号を取り去ることによって周辺機能の動的消費電力負担は取り除かれます。

ATxmag128A1U(ポートF以外)には利用可能な7つの電力削減(PR)レジスタがあります。XMEGA AU 手引書で「レジスタ説明 - 電力削減」項をご覧ください。

注: 周辺機能単位部のクロックを禁止するには、PRレジスタの対応するビットが”1”を書かれることが必要です。

注: 各ポートは自身の周辺機能の実体を持ち得ます。例えばUSART0はポートC,D,E,Fで見つかります。各ポートはそのポートの周辺機能を禁止するための自身のPRレジスタを持ちます。

例として、AESとEBIの単位部の禁止は以下のようにPR.PRGENレジスタ内の対応するビットを設定(1)することによって行われます。

```
PR.PRGEN = PR_AES_bm | PR_EBI_bm
```

以下の単位部を禁止することができます。

• PR.PRGEN	• PR.PRPA	• PR.PRPB	• PR.PRPC	• PR.PRPD	• PR.PRPE	• PR.PRPF
- AES	- AC	- AC	- TWI	- TWI	- TWI	- TWI
- EBI	- DAC	- ADC	- USART1	- USART1	- USART1	- USART1
- USB		- DAC	- USART0	- USART0	- USART0	- USART0
			- SPI	- SPI	- SPI	- SPI
			- HIRES	- TC1	- HIRES	- TC1
			- TC1	- TC0	- TC1	- TC0
			- TC0		- TC0	

2.4.2. EEPROMを電力削減動作へ置く

この応用ではXMEGAのEEPROM部は使用されず、故に電力削減動作に置くことができます。

NVM単位部に関するレジスタ説明はXMEGA AU 手引書の「レジスタ説明 - NVM制御器」項で得られます。EEPROMを禁止するのに使用されるNVM.CTRLBレジスタは形態設定変更保護(CCP: Configuration Change Protection)機構によって保護されます。このレジスタへ書く時にタイミングに関わる特別な注意が払われることが必要です。このプロジェクトはこれを処理する関数を含みます。

下がそのコードです。

```
// NVM単位部内のEEPROMを禁止  
ccp_write_io((void*)&NVM.CTRLB, NVM_EPRM_bm);
```

2.4.3. アイドル休止動作追加

この応用では周辺機能を構成設定しデータを処理することにだけCPUが必要とされます。消費電力を減らすため、CPUを使用しない時は必ず休止に置くことができます。アイドル動作でCPUとプログラム用フラッシュメモリは停止され、同時に周辺クロックと周辺機能単位部は走行を続けます。

アイドル休止動作へ移行するには以下を実行することが必要です。

- 望む休止動作を選んでください。
- 休止機能を許可してください。
- 休止命令を実行してください。
- 起き上がり後、休止機能を禁止してください。

厳密に言えば、休止機能を禁止する必要はありません。けれども暴走コードを導くソフトウェアのバグが誤ってCPUを休止動作に戻し置かないことを確実にするために、これを行うことは良いコード書きの習慣です。

AVR GCCツールチェーンはAVRの休止動作を制御するために利用可能な予め定義されたマクロと関数を持ちます。この応用では以下のマクロと関数が使用されます。

```
set_sleep_mode(mode)  
void sleep_enable(void)  
void sleep_cpu(void)  
void sleep_disable(void)
```

これらの関数を使用するにはプロジェクトで”avr¥sleep.h”ヘッダ ファイルをインクルードしてください。

3. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
42772A	2016年9月	初版資料公開

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、Enabling Unlimited Possibilities®, AVR®, picoPower®, XMEGA®とその他は米国及び他の国に於ける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 2016.

本応用記述はAtmelのAVR42772応用記述(Rev.42772A-09/2016)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。