

---

## AT02509 : Bluetooth Low Energy 単位部を持つ室内部 ハードウェア使用者の手引き

---

8ビット Atmel マイクロ コントローラ

---

### 要点

- 低電力消費
- UART付きBLEとのインターフェース
- BLEとAtmel® AVR® XMEGA® マイクロ コントローラ間の双方向起し線
- 2MビットDataFlash記憶
- 独自化されたセグメントLCD画面
- 複数機能を持つ釦
- プザァーとLED表示
- 温度感知器

---

### 概要

この応用記述は室内部(IHU:In House Unit)プロジェクトの設計詳細を記述します。これはこのIHU基板に基づく設計を知って開始する使用者を案内します。

CSR Bluetooth® Low Energy(BLE)単位部を持つIHU設計はBLE単位部とAtmel AVR XMEGA マイクロ コントローラの統合を評価するための基盤です。

このキットはBLEとLCDとの固定化されたインターフェースを提供し、それらの間の基本的な通信を実演します。これはAVR XMEGA周辺機能の使用を始める使用者に対してかなり簡単です。

この参照基準設計についてはAtmelウェブサイトからハードウェア設計ファイル(回路図、部品表、PCB ガーバー)をダウンロードすることができます。提供されたハードウェア資料は設計に対する参照基準ハードウェア解決策を製造することに制限なしで使うことができます。

## 目次

---

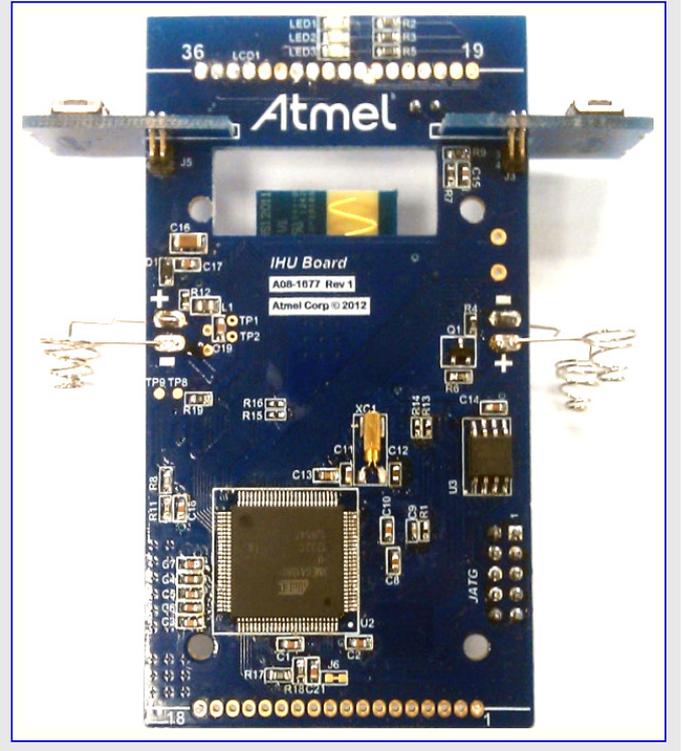
1. 全般説明	3
1.1. システム概要	3
1.2. 構成図	3
1.3. 機能概要	3
2. 区部説明	4
2.1. BLEとのUART通信	4
2.2. LCD画面	4
2.3. システムクロックの考察	5
2.4. 釦	5
2.5. 周囲温度感知	6
2.6. 電池電圧監視部	8
2.7. 電力消費	8
3. 改訂履歴	8

# 1. 全般説明

## 1.1. システム概要

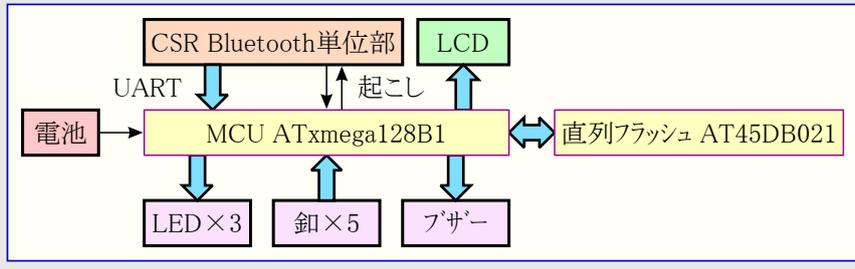
システムは主制御部(Atmel ATxmega128B1)、Bluetooth Low Energy (BLE)単位部、独自化したセグメントLCD、それとCSR BLE単位部を通して無線節点から、または内部の供給元からのデータを格納するのに使うことができるDataFlash(Atmel AT45DB021)を含みます。人間-機械間インターフェースとして3つのLED、5つの釦、1つのプザァーが予定されています。システムは2本の単4電池によって給電されます。

図1-1. IHU基板



## 1.2. 構成図

図1-2. システムの構成図



## 1.3. 機能概要

主な機能は次のとおりです。

1. MCUはUART経由でBLEからのデータを読んで記録します。
2. LCDで必要な情報を表示します。
3. データはDataFlashに格納されます。
4. 状態を示すためにLEDとプザァーが使われます。
5. 何かを入力するユーザーのために釦が空いています。

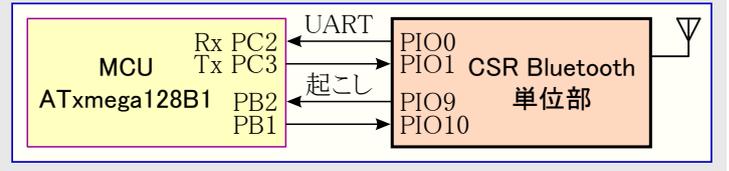
## 2. 区部説明

### 2.1. BLEとのUART通信

MCUとBLE間の通信はUARTに依存します。

MCUとBLE間には合計4つの線があります。図2-1はハードウェア接続を示します。

図2-1. MCUとBLE間のハードウェア接続



- Rx線はBLE(PIO0)からMCU(PC2)へのデータとして定義されます。
- Tx線はMCU(PC3)からBLE(PIO1)へのデータとして定義されます。
- MCU(PB2)に接続するBLE(PIO9)はBLEがMCUを起こすためのものとして定義されます。
- BLE(PIO10)に接続するMCU(PB1)はMCUがBLEを起こすためのものとして定義されます。

入力ピンのPB2は全ての休止動作からデバイスを起こすことができる非同期ピンです。MCUが休止動作で動いている間、このピンでの論理変化は休止動作を抜け出すための割り込みを起動することができます。

### 2.2. LCD画面

MCUがLCD駆動部を含むため、LCDは直接MCUに接続されます。LCDセグメント線の入出力線割り当てについては図2-3を参照してください。

この方法でのLCD接続はファームウェア技術者にとって表示機能の符号化に便利です。

図2-2. LCDのハードウェア接続

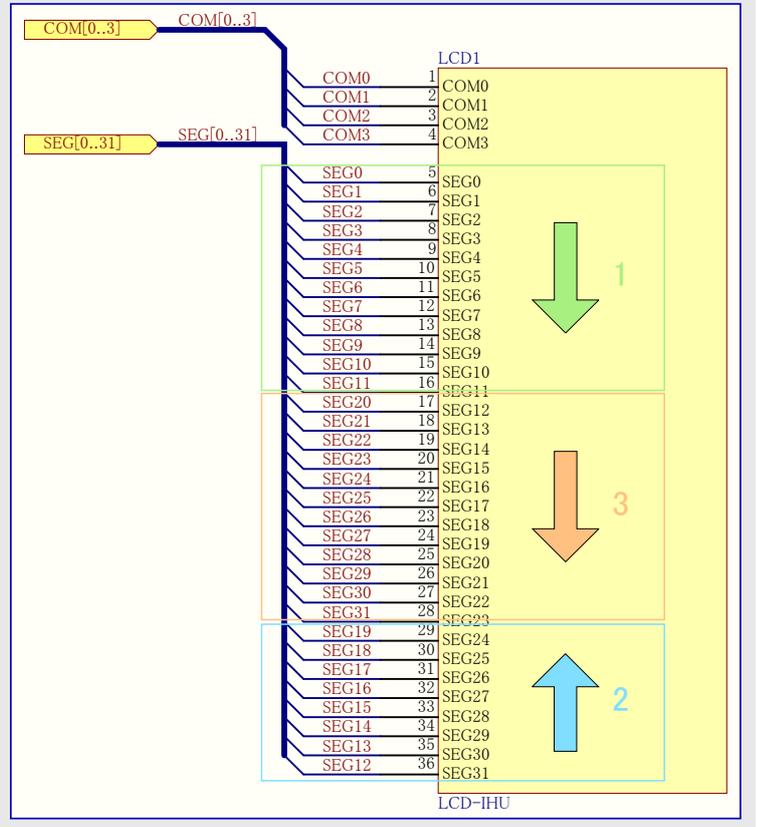


図2-3. LCDのハードウェア接続

ピン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
COM1	COM1				14a	°F	13a	ℓ	12a	T1	11a	COL1	10a		9a			5d
COM2		COM2			14b	14f	13b	13f	12b	12f	11b	11f	10b	10f	9b	9f	5e	5c
COM3			COM3		14c	14g	13c	13g	12c	12g	11c	11g	10c	10g	9c	9g	5g	5b
COM4				COM4	14d	14e	13d	13e	12d	12e	11d	11e	10d	10e	9d	9e	5f	5a
ピン	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
COM1	DOT4	6d	DOT5	7d	DOT6	8d	€	m <sup>2</sup>	S4	KW	4d	DOT3	3d	DOT2	2d	DOT1	1d	h
COM2	6e	6c	7e	7c	8e	8c	\$	L	S3	S1	4c	4e	3c	3e	2c	2e	1c	1e
COM3	6g	6b	7g	7b	8g	8b	Cost	⊖	S5	MEM	4b	4g	3b	3g	2b	2g	1b	1g
COM4	6f	6a	7f	7a	8f	8a	£	kgCO <sub>2</sub>	S2	SET	4a	4f	3a	3f	2a	2f	1a	1f

## 2.3. システム クロックの考察

XMEGAデバイスには既定で内部2MHzで始動します。このクロック精度は工場校正後で1.5%です。

このキットについて、唇を動かすのにXMEGAを使うことが必要なため、正確な計時器が必要です。32,768kHzクリスタルは内部RTC単位部経由で唇を動かす使用者にとって信頼できるクロック元です。

32.768kHzクリスタルはMCUの25番と26番のピンに接続されます。図2-4は詳細を示します。

XMEGAは外部クリスタルを接続するために2つの選択可能なピン群を持ちます。この設計で32.768kHzクリスタルは”代替”群に接続されます。この単位部を使うため、使用者はヒューズ設定の既定値を変更しなければなりません。ヒューズ設定はAtmel Studio 6⇒Tools(ツール)⇒Device Programming(デバイス書き込み)で見つけることができます。図2-5は詳細を示します。

図2-4. 32.768kHzクリスタルのハードウェア接続

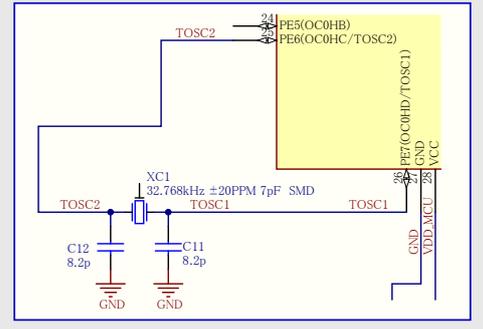
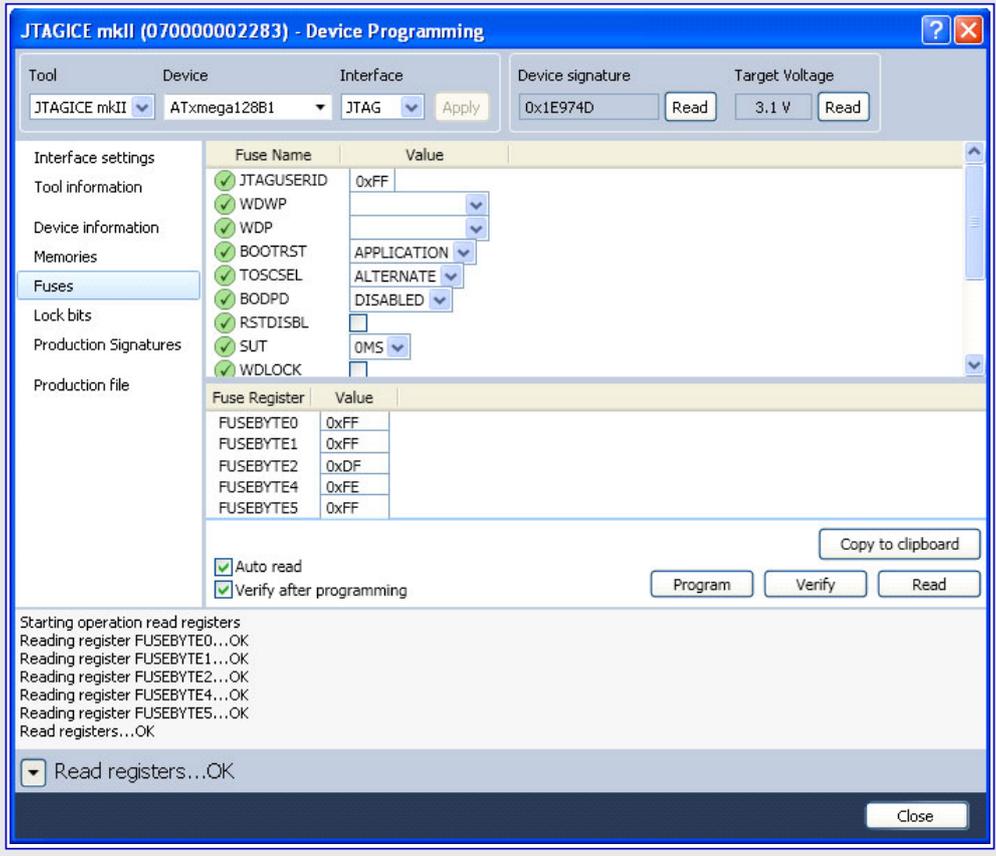


図2-5. JTAGICE mk II と共にAtmel Studio 6下のヒューズ設定



## 2.4. 釦

このキットには合計5つの釦があります。全ての釦は入出力ピンに直接割り当てられます。PG2は同期入力用の共通ピンです。

パワーセーブ動作はLCDが動くことができる最も深い休止動作です。主に休止動作としてこの動作を使うことが推奨されます。低速通信が進行中の間はアイドル動作を使うことができます。PG2は釦が押された時の非同期起こし元として設計されています。XMEGA休止動作と起こし元の関連については図2-7をご覧ください。

図2-6. 釦のハードウェア接続

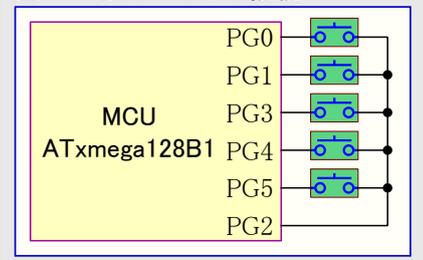


図2-7. AVR XMEGA休止動作と起床元

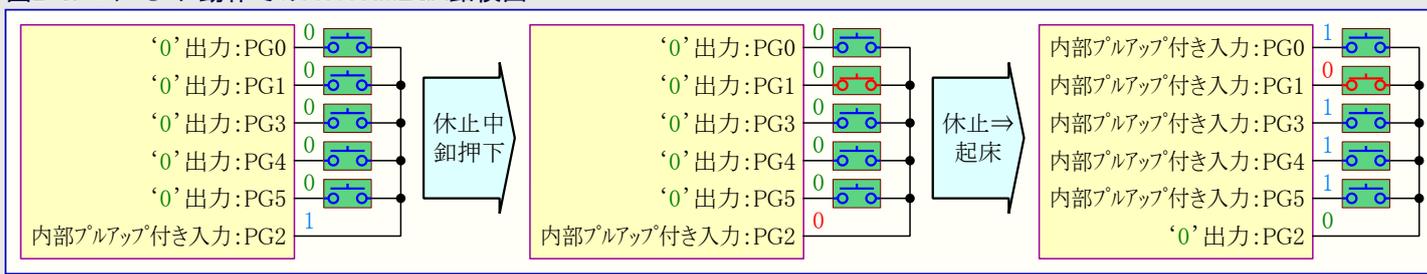
表8-1. 各休止形態動作での活動クロック範囲と起動元

休止形態種別	活動クロック範囲			発振器		起動元				
	CPUクロック	周辺機能クロック	RTC/LCDクロック	システムクロック元	RTCクロック元	USB再開	非同期ポート割り込み	TWIアドレス一致割り込み	RTC/LCD割り込み	その他割り込み
アイドル		○	○	○	○	○	○	○	○	○
パワーダウン						○	○	○		
パワーセーブ			○		○	○	○	○	○	
スタンバイ				○		○	○	○		
拡張スタンバイ			○	○	○	○	○	○	○	

パワーセーブ動作からXMEGAを起こすのに特別な方法が使われるべきです。

図2-8.は釦押下によってXMEGAを起こす手順を与えます。

図2-8. パワーセーブ動作でのAVR XMEGA釦検出



パワーセーブ動作移行に先立ち、許可された内部プルアップと共にPG2を入力として設定し、PG0,PG1,PG3,PG4,PG5は論理0出力として設定してください。XMEGAが休止している間に1つ以上の釦が押された場合、PG2は下降端を検出して非同期割り込みが実行され、MCUを起こします。その後、PG2は論理0出力として設定し、PG0,PG1,PG3,PG4,PG5は内部プルアップ付き入力として設定します。使用者はそれらのピンの入出力データ読み込み経路でどの釦が押されたかを容易に知ることができます。

XMEGA起き上がり時間は上の動作に対して充分短いです。図2-9.はXMEGAデータシートから抜き出した起き上がり時間です。

図2-9. AVR XMEGA起き上がり時間

シンボル	項目	条件	Min	Typ	Max	単位
twakeup	アイドル、スタンバイ、拡張スタンバイからの起動時間	外部2MHzクロック		2		μs
		32.768KHz内部発振器		120		
		2MHz内部発振器		2		
	パワーセーブ、パワーダウンからの起動時間	32MHz内部発振器		0.2		
		外部2MHzクロック		4.5		
		32.768KHz内部発振器		320		
		2MHz内部発振器		9		
		32MHz内部発振器		5		

## 2.5. 周囲温度感知

温度感知器回路は通常の抵抗器とNTC抵抗器の直列接続から成ります。NTC抵抗器の部品番号はSemitec(<http://www.semitec.co.jp>)の103AT-4です。図2-10.は103AT-4データシートから抜き出したNTC抵抗器と温度の関連を示します。赤枠のデータは-20~60°C間の温度範囲を示します。

図2-10. 103AT-4データシートからの温度と抵抗の表

Resistance-Temperature								Resistance-Temperature							
Temperature (°C)	102AT	202AT	502AT	103AT	203AT	503AT	104AT	Temperature (°C)	102AT	202AT	502AT	103AT	203AT	503AT	104AT
-50	24.46	55.66	154.6	329.5	1253	3168	11473	35	0.7229	1.424	3.508	6.940	13.06	32.48	60.94
-45	18.68	42.17	116.5	247.7	890.5	2257	7781	40	0.6189	1.211	2.961	5.827	10.65	26.43	48.10
-40	14.43	32.34	88.91	188.5	642.0	1632	5366	45	0.5316	1.033	2.509	4.911	8.716	21.59	38.13
-35	11.23	24.96	68.19	144.1	465.8	1186	3728	50	0.4587	0.8854	2.137	4.160	7.181	17.75	30.44
-30	8.834	19.48	52.87	111.3	342.5	872.8	2629	55	0.3967	0.7620	1.826	3.536	5.941	14.64	24.42
-25	6.998	15.29	41.21	86.43	253.6	646.3	1864	60	0.3446	0.6587	1.567	3.020	4.943	12.15	19.72
-20	5.594	12.11	32.44	67.77	190.0	484.3	1340	65	0.3000	0.5713	1.350	2.588	4.127	10.13	15.99
-15	4.501	9.655	25.66	53.41	143.2	364.6	969.0	70	0.2622	0.4975	1.168	2.228	3.464	8.482	13.05
-10	3.651	7.763	20.48	42.47	109.1	277.5	709.5	75	0.2285	0.4343	1.014	1.924	2.916	7.129	10.68
-5	2.979	6.277	16.43	33.90	83.75	212.3	523.3	80	0.1999	0.3807	0.8835	1.668	2.468	6.022	8.796
0	2.449	5.114	13.29	27.28	64.88	164.0	390.3	85	0.1751	0.3346	0.7722	1.451	2.096	5.105	7.271
5	2.024	4.188	10.80	22.05	50.53	127.5	292.5	90	0.1536	0.2949	0.6771	1.266	1.788	4.345	6.041
10	1.684	3.454	8.840	17.96	39.71	99.99	221.5	95			0.5961	1.108	1.530	3.712	5.037
15	1.408	2.862	7.267	14.69	31.36	78.77	168.6	100			0.5265	0.9731	1.315	3.185	4.220
20	1.184	2.387	6.013	12.09	24.96	62.56	129.5	105			0.4654	0.8572	1.134	2.741	3.546
25	1.000	2.000	5.000	10.00	20.00	50.00	100.0	110			0.4128	0.7576	0.9807	2.369	2.994
30	0.8486	1.684	4.179	8.313	16.12	40.20	77.81								

Unit(kΩ)

図2-11. はNTCのハードウェア接続です。

ADCA2(PA2)はこの分圧された電圧をデジタルに変換するのに使われます。R<sub>NTC</sub>上の電圧のADC結果を計算するのに次の式を適用することができます。

$$ADC2値(12ビット)=4096 \times (V_{PA0} \times (R_{NTC} / (R_{NTC} + R3)) / V_{REF})$$

この式で、電池の放電のためにV<sub>PA0</sub>が時間毎に変わることにご注意してください。この電圧はADCA1(PA1)チャンネルによって採取することができます。

$$V_{PA0} = (ADC1値(12ビット) \times V_{REF} \times (R1 + R2)) / (4096 \times R2)$$

従って、NTCの抵抗計算を生成することができるADCA1とADCA2の両結果を含む次の新しい式を得ることができます。

$$R_{NTC} = 1 / ((ADCA1 / ADCA2) \times (R1 + R2) / R2 \times R3 - (1 / R3))$$

R<sub>1</sub>=300kΩ、R<sub>2</sub>=110kΩ、R<sub>3</sub>=240kΩで、表2-1.はADCA1/ADCA2と温度の関連を示します。

図2-11. 温度感知器のハードウェア接続

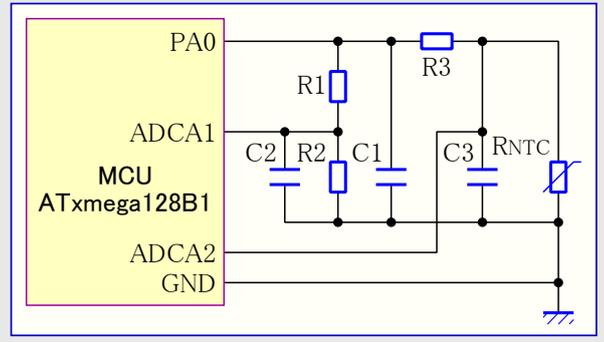


表2-1. ADCA1/ADCA2と温度の関連

温度(°C)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R <sub>NTC</sub> (kΩ)	67.77	53.41	42.47	33.90	27.28	22.05	17.96	14.69	12.09	10.00	8.313	6.940	5.827	4.911	4.160	3.536	5.020
ADCA1/ADCA2	1.218	1.474	1.784	2.168	2.629	3.188	3.853	4.652	5.594	6.707	8.014	9.546	11.319	13.380	15.747	18.478	21.590

この式でADCの参照基準電圧が無関係に見えるとは言え、より高い精度(動的範囲と分解能間の均衡)を得るには正しい参照基準電圧を選ぶことが重要です。PA0の電圧水準を考慮すると、この場合では内部1V参照基準が推奨されます。

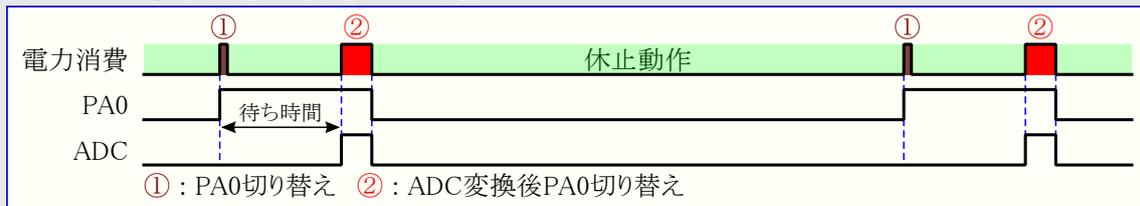
図2-11. は温度感知の回路図を示します。この回路によって数μAが消費され、これはパワーセーブ動作でのMCU電力消費に相当し、明らかに高すぎます。従って、休止状態の間にPC0が温度感知回路をOFFに切り替えるように設計されています。

入力インピーダンスはXMEGA ADCの最大採取速度に影響を及ぼします。ADCA1とADCA2での異なる入力インピーダンスはADCA1に対する131kspsとADCA2に対する191kspsの2つの最大採取速度をもたらします。これは温度感知目的に対して充分であるべきです。

毎回、PA0はLowからHighに切り替わり(温度感知回路を許可し)、C2とC3が完全に充電されるまで待つことが必要です。理論的に、この待ち時間は長い方が良く、故に実際の応用では8RCが使われます。従って、ADCA1チャンネルに対して22ms、ADCA2チャンネルに対して14msが必要です。温度計算が同時に両データが必要なことを考慮すると、全体の待ち時間として22msを使うことが推奨されます。

図2-12. は採取処理に対する時間の流れを示します。

図2-12. ADC採取処理に対する時間の流れ

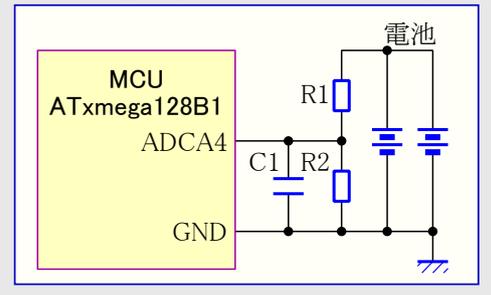


## 2.6. 電池電圧監視部

電池電圧監視部については前の温度応用とかなり似ています。ADCA4は電池電圧監視部入力として設計されています。

ADCA4での最大採取速度は13.7kspsで、ADCA4に対する待ち時間は220msです。

図2-13. 電池電圧監視部のハードウェア接続

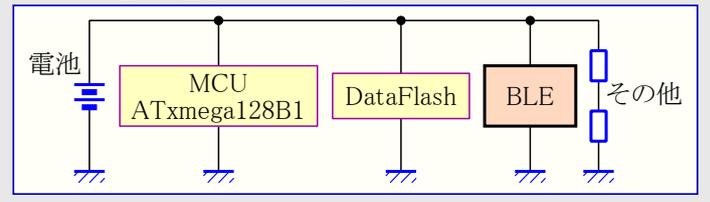


## 2.7. 電力消費

電力を消費する以下の主な4つの区部があります。

- MCU
- DataFlash
- BLE
- その他

図2-14. 電力消費の4つの区部



XMEGAデータシートで記述されるように、MCUの最大電流は15mAですが、この応用では活動動作で電流が最大1.6mA(@2MHz)です。様々な休止動作は電力消費を更に減らすことができます。例えば、MCUは低速通信状態の間にアイドル動作に留まり、釦押下からの入力やCSR BLR単位部からのデータ受信を待つ時にパワーセーブ動作に留まることができます。

DataFlashは動作時に最大16mAが必要で、BLE単位部は最大16mAを消費します。その他は動作電源に依存して5~10μAを必要とします。

**注:** XMEGAの最大速度は電源が1.8Vの間、12MHzに制限されるべきです。低速通信、ADC採取とDataFlash書き込みを考慮してエネルギーの最大節約を達成するために正しいMCU周波数を選ぶことが必要です。

例えば、次のような応用がある場合、

- 30秒毎にパケットを受信
- 各パケットはデータ伝送に対して50ms間持続
- DataFlashへのデータ書き込みに対して10ms
- LEDとブザーが毎回100msで毎日100回活性化

平均電流は概ね以下であるべきです。

$$(50\text{ms} \times (16\text{mA} + 2\text{mA}) + 10\text{ms} \times (16\text{mA} + 2\text{mA})) / 30000\text{ms} + 5\text{mA} \times 100 \times 0.1\text{秒} / 86400\text{秒} + 10\mu\text{s} = 0.0466\text{mA}$$

システムが全体寿命容量1000mAhの単4電池2本で給電される場合、21459時間より多く、概ね2.4年持続することができます。

## 3. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
42066A	2013年4月	初版資料公開
42066B	2013年9月	表紙で最後の部分(このキットはBLEとLCDとの~)を追加。以前の3.章(ファームウェア)を削除。



Enabling Unlimited Possibilities®

*Atmel Corporation*

1600 Technology Drive  
San Jose, CA 95110  
USA  
TEL (+1)(408) 441-0311  
FAX (+1)(408) 487-2600  
[www.atmel.com](http://www.atmel.com)

*Atmel Asia Limited*

Unit 01-5 & 16, 19F  
BEA Tower, Millennium City 5  
418 Kwun Tong Road  
Kwun Tong, Kowloon  
HONG KONG  
TEL (+852) 2245-6100  
FAX (+852) 2722-1369

*Atmel Munich GmbH*

Business Campus  
Parking 4  
D-85748 Garching b. Munich  
GERMANY  
TEL (+49) 89-31970-0  
FAX (+49) 89-3194621

*Atmel Japan G.K.*

141-0032 東京都品川区  
大崎1-6-4  
新大崎勸業ビル 16F  
アトメル ジャパン合同会社  
TEL (+81)(3)-6417-0300  
FAX (+81)(3)-6417-0370

© 2013 Atmel Corporation. 不許複製 / 改訂:42066B-AVR-09/2013

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、AVR®, Enabling Unlimited Possibilities®, XMEGA®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。

**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。たとえば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。

© HERO 2021.

本応用記述はAtmelのAT02509応用記述(Rev.42066B-09/2013)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。