
AVR® DA低電力機能と休止動作

序説

著者: Ioan Pop, Microchip Technology Inc.

この文書はAVR® DAマイクロコントローラ系統の低電力動作と機能の概要を提示します。Power Debugger([ATPOWERDEBUGGER](#))の手助けで各種休止動作での消費電流が比較されます。

更に、この文書は電力読み取りを実行するためにCuriosity Nano基板を変更する方法、Power Debuggerの使い方を説明し、利用可能な休止動作と他の節電機能を記述します。



GitHubで試験用コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

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、Microchip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。

目次

序説	1
1. 休止動作と休止制御器	3
1.1. アイドル休止動作	3
1.2. スタンバイ休止動作	3
1.3. パワーダウン休止動作	3
1.4. avr/sleep.hライブラリ	3
1.5. 休止動作移行	4
1.6. 休止動作抜け出し	4
2. Curiosity Nnao基板変更	4
3. 電力読み取り用Power Debuggerの使い方	5
4. マイクロコントローラの電力動作試験	7
4.1. MCC構成設定	7
5. 消費電力削減のための助言と策略	12
6. 結び	12
7. 参考文献	13
8. 改訂履歴	13
Microchipウェブ サイト	14
製品変更通知サービス	14
お客様支援	14
Microchipデバイス コード保護機能	14
法的通知	14
商標	15
品質管理システム	15
世界的な販売とサービス	16

1. 休止動作と休止制御器

AVR DAマイクロ コントローラは、活動、アイドル、スタンバイ、パワーダウンの4つの形態で動くことができます。活動動作はコードを実行することができる動作です。他の3つの動作は応用の消費電力全体を減らす休止動作です。

これらの動作は休止制御器の制御A(SLPCTRL.CTRLA)レジスタの休止動作形態(SMODE)ビット領域を通して設定されます。休止動作の1つを有効にするために同じレジスタの休止許可(SEN)ビットが設定(1)されることが必要です。

70°Cを超える温度範囲について、消費電力を減らすために電圧調整器制御(SLPCTRL.VREGCTRL)レジスタの高温低漏れ許可(HTLLEN)ビットを使うことができます。これが許可されると、アドレス一致と構成設定可能な注文論理回路(CCL:Configurable Custom Logic)の起き上がり元が使用不可で使用者によって禁止されなければなりません。

図1-1. 休止制御器用制御Aレジスタ

名称 : CTRLA
変位 : +\$00
リセット : \$00
特質 : -

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
						SMODE2~0		SEN
アクセス種別	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

● ビット3~1 – SMODE2~0 : 休止動作形態 (Sleep Mode)

これらのビット書き込みは休止許可(SEN)ビットが'1'を書かれ、SLEEP命令が実行される時に望む休止動作形態を選びます。

値	0 0 0	0 0 1	0 1 0	その他
名称	IDLE	STANDBY	PDOWN	-
説明	アイドル休止動作許可	スタンバイ休止動作許可	パワーダウン休止動作許可	(予約)

● ビット0 – SEN : 休止許可 (Sleep Enable)

選んだ休止動作にマイクロ コントローラを移行させるためにSLEEP命令が実行される前に、このビットは'1'を書かれなければなりません。

1.1. アイドル休止動作

アイドル休止動作ではコード実行が停止され、全ての周辺機能は動き、全ての割り込み元はデバイスが休止から起こすことができます。

1.2. スタンバイ休止動作

スタンバイ休止動作では消費電力はどの周辺機能が許可されるかに依存します。殆どの周辺機能はこの休止動作の間にその周辺機能に動くことを許すように設定することができるスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットを持ちます。

1.3. パワーダウン休止動作

パワーダウン休止動作ではウォッチドッグ タイマ(WDT)と周期的割り込み計時器(PIT)を除く全ての周辺機能が停止されます。起き上がり元はピン変換割り込み、TWIアドレス一致、禁止された濾波器と端検出を持つCCLだけです。

この動作では高周波数発振器(OSCHF)が停止され、32.768kHz発振器だけが動いています。

1.4. avr/sleep.hライブラリ

休止に入ることをマイクロ コントローラに告げるアセンブリ命令がSLEEP命令です。より容易なCコードとの統合のため、休止移行を容易にする関数を提供するためにavr/sleep.hライブラリが作成されました。

avr/sleep.hのCライブラリは以下の関数、sleep_enable()、sleep_disable()、set_sleep_mode(<mode>)、sleep_cpu()、sleep_mode()を提供します。

set_sleep_mode(<mode>)関数は以下のマクロ、SLEEP_MODE_IDLE、SLEEP_MODE_STANDBY、SLEEP_MODE_PWR_DOWNの1つを引数として取ります。このマクロの1つでこの関数を使うと、対応する休止動作に設定されます。

sleep_enable()とsleep_disable()の関数は各々、SENビットを設定(1)、解除(0)します。

sleep_cpu()関数はSLEEP命令を発動します。

sleep_mode()関数は前の関数の組み合わせます。これはsleep_enable()、その後にsleep_cpu()を呼びます。デバイスが起き上がると、sleep_disable()関数が呼ばれ、その後にプログラムが通常のように続きます。

1.5. 休止動作移行

休止へ入るには最初に`set_sleep_mode(<mode>)`関数で必要とする休止動作を設定し、その後に`sleep_mode()`を呼んでください。マイクロコントローラは今や休止で、正しい割り込みを受け取った時に起き上がります。

1.6. 休止動作抜け出し

マイクロコントローラは割り込みを受け取った時に休止から起き上がります。これは休止から起き上がるのに全体割り込みが許可されていないことを意味します。休止動作に依存して、いくつかの供給元だけがデバイスを起こします。

アイドル休止動作では許可されたどの割り込みもデバイスを起こします。

スタンバイ休止動作ではスタンバイ休止動作で動くように構成設定された周辺機能だけが割り込みを生成することができます。

パワーダウン休止動作ではPIT、ウォッチドッグ、ピン変化、TWIアドレス一致、及び禁止された濾波器と端検出を持つCCLだけがデバイスを起こすことができます。

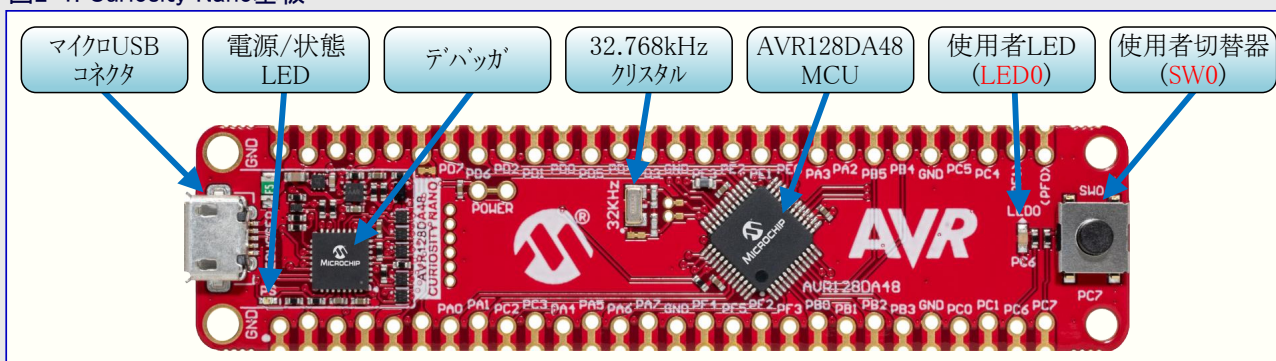
休止から起こすのに6クロック周期に加えてスタンバイとパワーダウンの休止動作から起き上がる時に主発振器と調整器に対して開始するために必要な時間がかかります。

2. Curiosity Nao基板変更

AVR128DA48 Curiosity Nano基板は上で言及したマイクロコントローラ、調整器、Nano組み込みデバッグが装備されています。これらの装置はUSBポートを通して速やかに書き込むのに役立ちますが、それらは電力消費をもたらし、正確な電力読み取りを得ることができません。

幸いなことに、Curiosity Nano基板は2つのピン用の穴を提供します。この穴は**POWER**と名付けられた銅配線に接続されます。この配線が切断されてピンが2つの穴に半田付けされた場合、デバイスに対して正確な消費を提供するこれらの点に電流計を接続することができます。

図2-1. Curiosity Nano基板



電流はUSBコネクタ最も近い穴からマイクロコントローラに最も近い穴へ流れます。

配線を切断すると、マイクロコントローラに対して標準使用での時に2つの半田付けされたピンがジャンパによって接続されることが必要なことを意味します。

図2-2. 変更されたCuriosity Nano基板

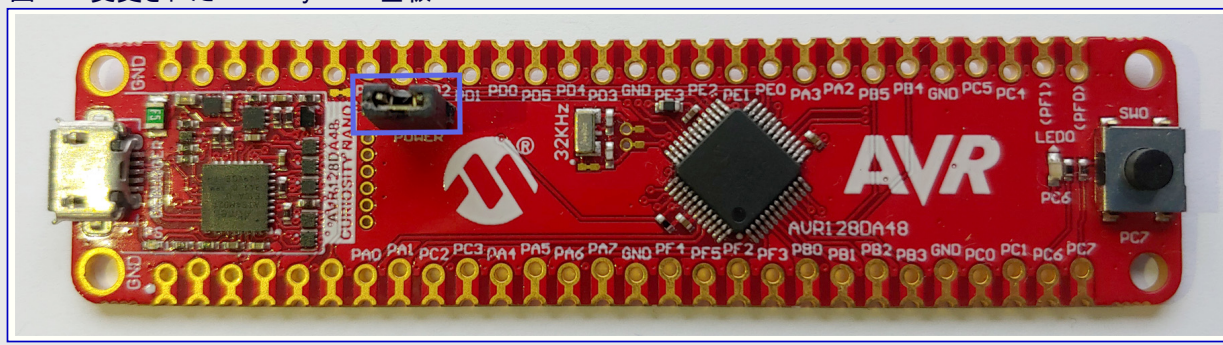


図2-2.は書き込みを許すためにジャンパによって2つのピンが接続されてしまい変更された基板を示します。

3. 電力読み取り用Power Debuggerの使い方



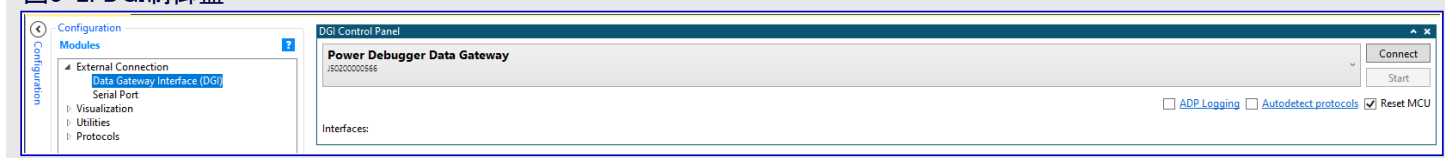
情報: これらの電力読み取りはCuriosity Nano基板の2つの半田付けされたピン間に接続された電流動作のマルチメータで取ることができます。

図3-1. マルチメータでの電流読み取り構成設定



Power Debuggerを使うにはAtmel Studioのデータ可視器(Data Visualizer)を利用する必要があります。Atmel Studioを開き、**Tools(ツール) ⇒ Data Visualizer(データ可視器)**へ行ってください。**DGI Control Panel(DGI制御盤)**タブを展開して**Power Debugger Data Gateway(電力デバッグデータ中継器)**を選んでください。

図3-2. DGI制御盤



☒ Power

A Current

A Voltage

B Current

B Voltage

Power Configuration ✕

Enable B Channel ☐

Trigger calibration ☐

Enable Range Source ☐

Lock ChA to High Range ☐

Enable Voltage Output ☐

Voltage Output mV

Averaging No ▾

OK Cancel

PC接続

4. マイクロコントローラの電力動作試験

様々な動作形態で消費される電力がUSARTを通して制御されるプログラムの使用と共にここで示されます。このプログラムは始動でメニューを表示し、使用者は対応するキーを押すことによって利用可能な機能の1つを選ぶことができます。

使用者は6つの機能から選ぶことができます。最初の4つの機能は静的消費を検査するための動作形態を設定します。最後の2つの機能はもっと複雑です。これらの1つは利用可能な動作形態を通して周回し、それらの各々に4秒間留まります。他の1つは電池給電感知器応用の長く深い休止と短い起き上がり動作を模倣します。

この応用はMPLAB® XのMCCで構成設定され、[GitHub貯蔵庫](#)で見つけることができます。



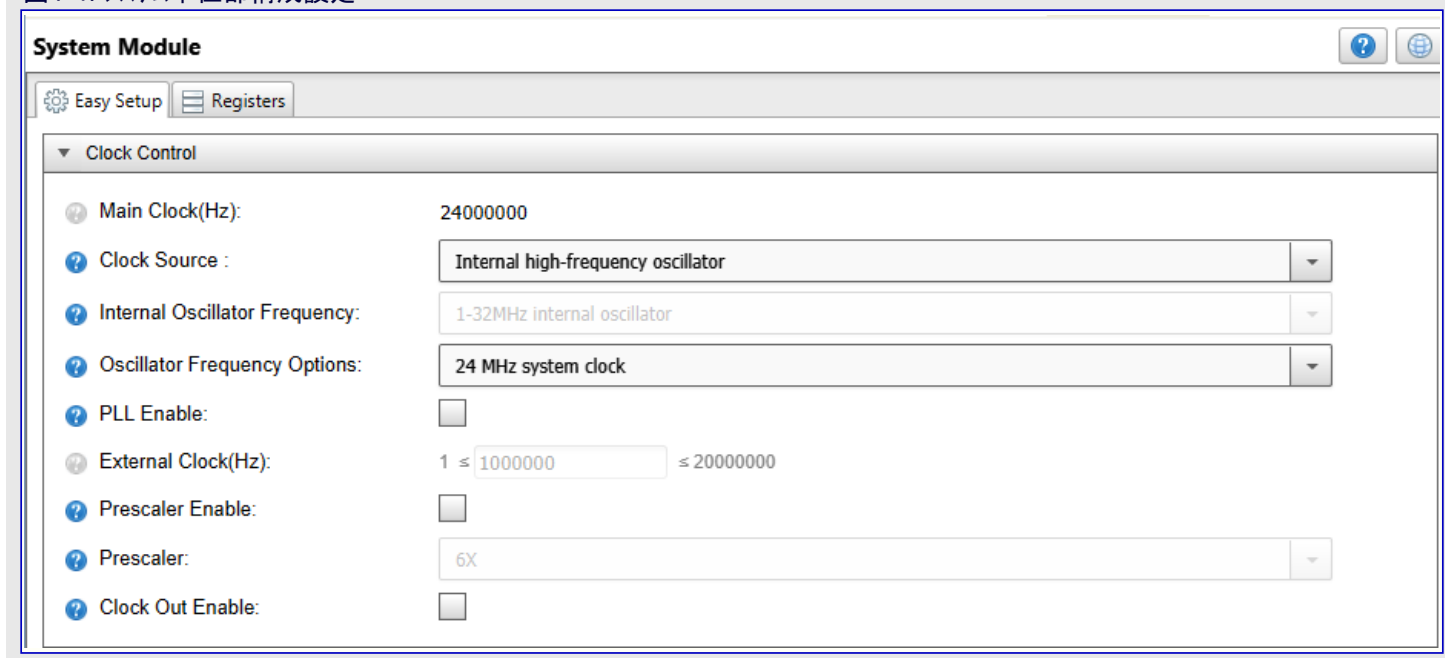
GitHubで試験用コード例を見てください。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

4.1. MCC構成設定

システム単位部

- Clock Source(クロック元) : Internal high-frequency oscillator(内部高周波数発振器)
- Oscillator frequency Options(発振器周波数任意選択) : 24MHz system clock(24MHzシステム クロック)
- Prescaler Enable(前置分周器許可) : 禁止(チェックなし)

図4-1. システム単位部構成設定



RTC

- RTC Clock Source Selection(RTCクロック元選択) : Internal 1.024kHz oscillator(内部1.024kHz発振器)
- PIT:Periodic Interrupt Enable(PIT:周期割り込み許可) : 許可(チェック有り)

図4-2. RTCとPITの構成設定

RTC

Easy Setup Registers

▼ Software Settings

API Prefix: RTC

▼ Hardware Settings

Enable RTC: ☐

RTC Clock(Hz): 1024

RTC Clock Source Selection: Internal 1.024 kHz oscillator

External Clock(Hz): 1 ≤ 32000 ≤ 32000

Prescaling Factor: RTC Clock / 1

Compare: 1 s ≤ 0 s ≤ 64 s

Actual Compare: 0 s

Period: 1 s ≤ 0 s ≤ 64 s

Actual Period: 0 s

▼ Periodic Interrupt Timer

PIT Enable: ☐

Period Selection: RTC Clock Cycles 4096

Periodic interrupt Enable: ☒

USART

- API Prefix(API接頭辞) : Terminal(端末)
- Interrupt Driven(割り込み駆動) : 許可(チェック有り)
- Printf support(Printf支援) : 許可(チェック有り)
- Baud Rate(ボーレート) : 115200
- Transmit Interrupt Enable(送信割り込み許可) : 許可(チェック有り)
- Receive Interrupt Enable(受信割り込み許可) : 許可(チェック有り)

図4-3. USART構成設定

USART1

Easy Setup Registers

▼ Software Settings

API Prefix: Terminal

Interrupt Driven: ☒

RX Buffer Size (Bytes): 8

TX Buffer Size (Bytes): 8

Printf support: ☒

▼ Hardware Settings

Mode: Async Mode

Baud Rate: 1 ≤ 115200 ≤ 1000000

Error Percent: -0.040%

Enable USART Receiver: ☒

Enable USART Transmitter: ☒

Parity Mode: No Parity

Stop Bit Mode: 1 stop bit

Character Size: Character size: 8 bit

▼ Interrupt Settings

Transmit Interrupt Enable: ☒

Receive Interrupt Enable: ☒

ピン単位部と管理部

- ・TXD出力(OUTPUT=チェック有り)としてPC0
- ・RXD入力(OUTPUT=チェックなし)としてPC1
- ・出力(OUTPUT=チェック有り)とHigh開始(START HIGH=チェック有り)としてPC6
- ・‘Button’と名付け(Custom Name=Button)、プルアップ許可(PULLUPEN=チェック有り)、両端感知で割り込み(ISC=Sense Both edge)としてPC7

図4-4. ピン単位部構成設定

Pin Module

Easy Setup | Registers

Selected Package : QFN48

Pin Name	Module	Function	Custom Name	OUTPUT	START HIGH	INVEN	PULLUPEN	ISC
PC0	USART1	TXD		☒	☐	☐	☐	Interru... ▼
PC1	USART1	RXD		☐	☐	☐	☐	Interru... ▼
PC6	Pin Module	GPIO	IO_PC6	☒	☒	☐	☐	Interru... ▼
PC7	Pin Module	GPIO	Button	☐	☐	☐	☒	Sense B... ▼

図4-5. ピン管理部: 格子表示

Output		Notifications [MCC]		Pin Manager: Grid View ×																																												
Package:	QFN48	▼	Pin No:	44	45	46	47	48	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40				
			Port A ▼							Port B ▼							Port C ▼							Port D ▼							Port E ▼							Port F ▼										
Module	Function	Direction	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	6					
Pin Module ▼	GPIO	input																																														
	GPIO	output																																														
RSTCTRL	RESET	input																																														
USART1 ▼	RXD	in/out																																														
	TXD	output																																														

割り込み管理部

- ・Global Interrupt Enable(全体割り込み許可) : 許可(チェック有り)

図4-6. 割り込み管理部構成設定

Interrupt Manager

Easy Setup | Registers

Interrupt Setting

Global Interrupt Enable: ☒

生成されたpin_manager.cファイルでは電力読み取りが乱されないように全ての未使用ピンを出力に設定するため以下の行が変更されます。

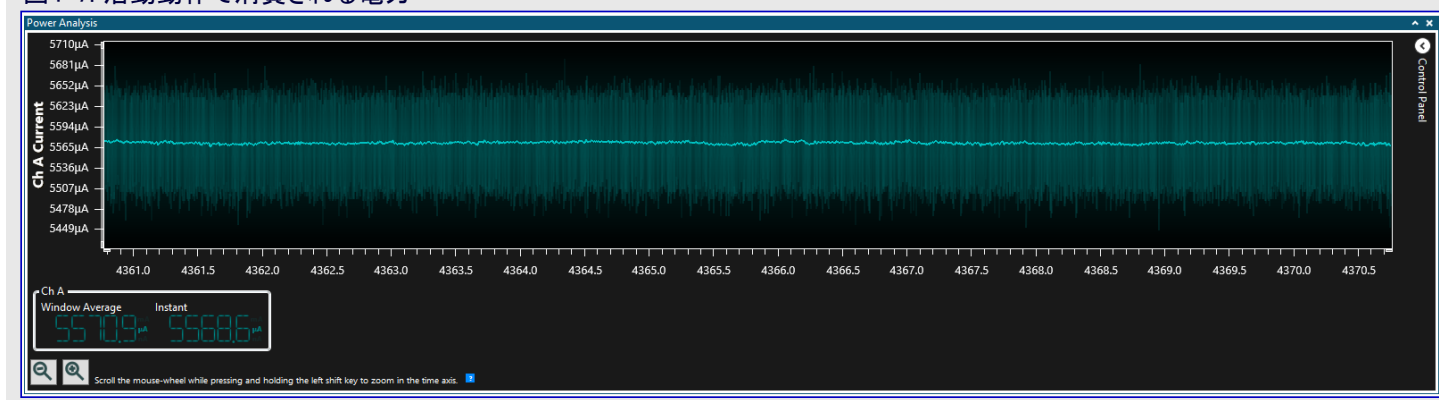
```
/* DIR Registers Initialization */
PORTA.DIR = 0xFF;
PORTB.DIR = 0xFF;
PORTC.DIR = 0x7D;
PORTD.DIR = 0xFF;
PORTE.DIR = 0xFF;
PORTF.DIR = 0xFF;
```

main.cファイルはUSARTから呼ばれ得る様々な指令に対するコードを含みます。

活動動作

この動作はUSARTを通して'a'または'A'の文字を送ることによってアクセスされます。これはマイクロ コントローラを活動に保ち、新しい文字を送ることによって止めることができます。

図4-7. 活動動作で消費される電力

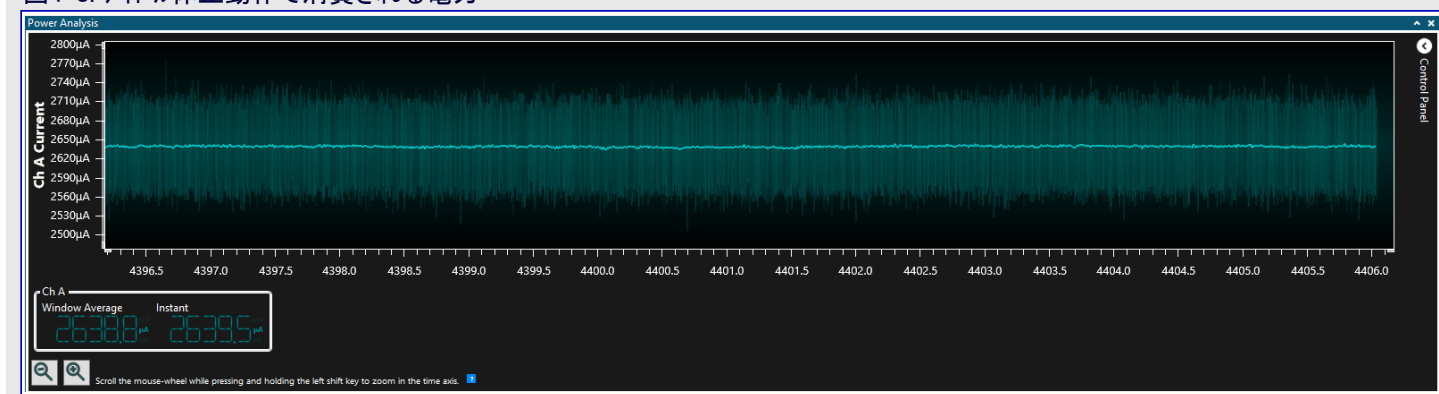


これは高周波数発振器が全力で動いている時に消費される平均電力です。

アイドル休止動作

この動作はUSARTを通して'i'または'I'の文字を送ることによってアクセスされます。これはマイクロ コントローラを高周波数発振器がより低い消費動作に設定されるアイドル休止活動に置きますが、未だ動作可能でマイクロ コントローラが休止動作を抜け出す時に活動する準備が整っています。この動作はUSARTを通して新しい文字を送ることによって止めることができます。

図4-8. アイドル休止動作で消費される電力

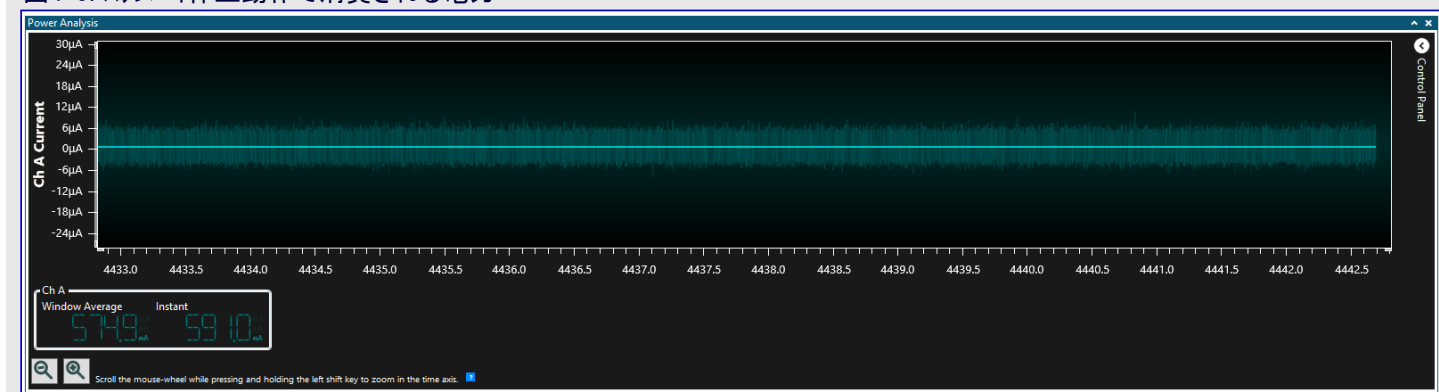


アイドル休止動作での高周波数発振器によって消費される電力は活動動作で消費される電力の概ね半分です。この動作でもっと周辺機能が動いている場合、消費電力がより高くなるでしょう。

スタンバイ休止動作

この動作はUSARTを通して's'または'S'の文字を送ることによってアクセスされます。これはマイクロ コントローラをスタンバイ休止活動に置きます。このプログラムに於いて周辺機能はスタンバイ休止動作で動いておらず、故に消費される電力は発振器のためだけです。この動作を抜け出すには基板上の釐が押され、その後新しい文字が送られなければなりません。

図4-9. スタンバイ休止動作で消費される電力

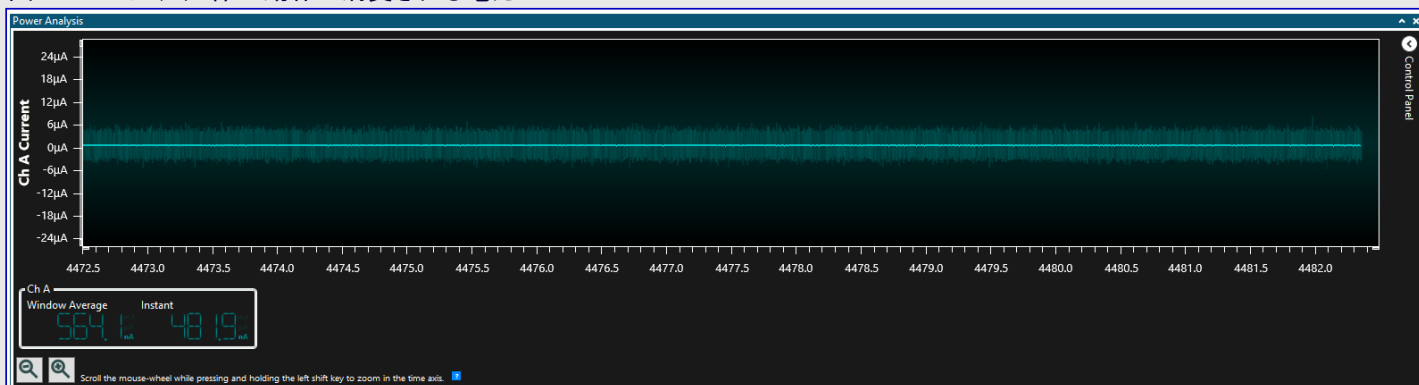


この動作で消費される電力は動いている周辺機能数に大きく依存します。この例では周辺機能が動いておらず、故に消費される電力はパワーダウン休止動作と同様です。

パワーダウン休止動作

この動作はUSARTを通して'p'または'P'の文字を送ることによってアクセスされます。これはマイクロコントローラをパワーダウン休止動作に置きます。高周波数発振器がOFFになり、32.768kHz内部発振器だけが動いています。この動作を抜け出すには基板上の釐が押され、その後新しい文字が送られなければなりません。

図4-10. パワーダウン休止動作で消費される電力



この動作で消費される電力は活動している周辺機能を除き、スタンバイ休止動作で消費される電力と概ね同じです。

周回指令

この指令はUSARTを通して'c'または'C'の文字を送ることによって開始されます。これはそれら間をPITによって計時される4秒間隔で前の動作全てを通して周回します。この指令は完了まで動き、その後まで停止することができません。終了後、新しい文字を送ることができます。

図4-11. 互いに対する各動作で消費される電力

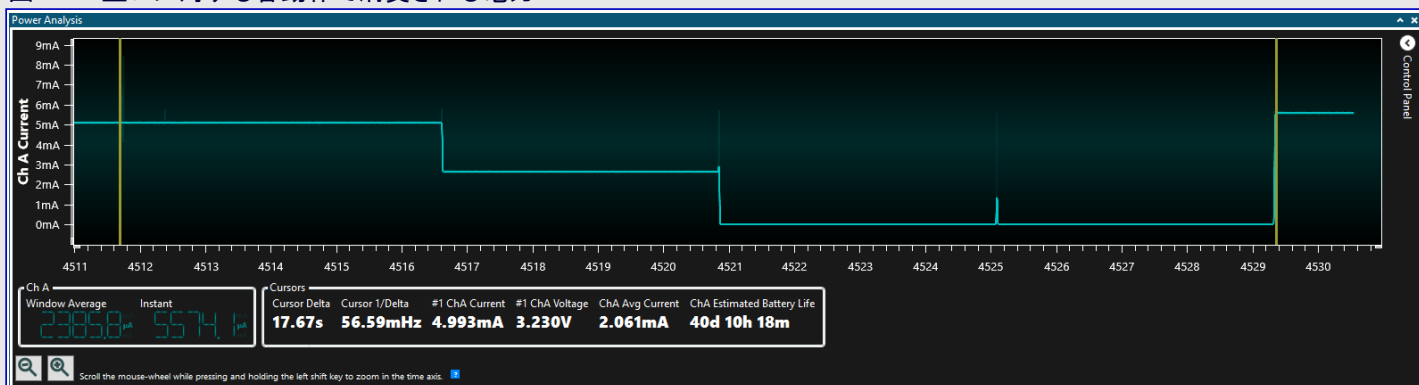
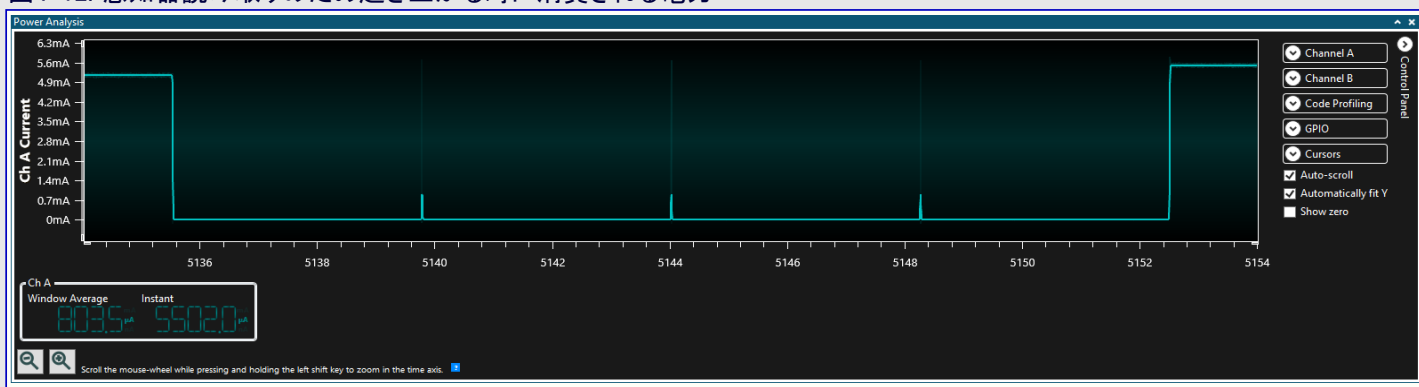


図4-11.は様々な動作の消費電力間の違いを示します。アイドル休止動作は活動動作の約半分の電力を消費する一方で、スタンバイとパワーダウンの休止動作は比べても殆ど違いはありません。

深い休止と短い起き上がりの指令

この指令はUSARTを通して'w'または'W'の文字を送ることによって始まります。これは電池によって給電される代表的な感知部応用を模倣します。パワーダウン休止動作で4秒間を費やし、その後に短時間、感知器読み取りを模倣するメッセージを送ります。この周回は4回繰り返し、PITによって計時されます。この指令は完了まで動き、その後まで停止することができません。終了後、新しい文字を送ることができます。

図4-12. 感知器読み取りのため起き上がる時に消費される電力



短い電流尖頭はマイクロコントローラが感知器を読むために起き上がる時を表します。

既定指令

前で提示されたものを除く他のどの文字も利用可能な指令を持つメニューを再び表示します。

5. 消費電力削減のための助言と策略

消費電力を減らすための最善の方法はコードが走行を必要としない時に必ずマイクロコントローラを休止に置くことです。コードの中断時間を識別して可能な時は必ずマイクロコントローラを休止に置いてください。

コード実行はマイクロコントローラが起きていることを意味し、故にそれをもっと最小化することができ、電力がもっと節約されます。いくつかの周辺機能はこのためだけでなく、他の周辺機能に対するいくつかのハードウェア機能も手助けになり得ます。

1. 事象システム

節電に対して最も役立つ周辺機能の1つが事象システムです。この周辺機能はコードを使うことなく周辺機能間で信号を接続する方法を提供します。

周辺機能は割り込み条件と同様ですが、デバイスを起き上がらせない事象を生成することができます。これらの事象は他の周辺機能の機能を活動させるために事象システムを通して接続することができます。

例えば、計時器溢れはADCへ配線することができる事象を生成し、故に条件に達した時に必ず変換を開始します。

事象システムのより多くの情報はAVR DA用データシートで見つけることができます。

2. ハードウェア機能

多くの周辺機能は通常ソフトウェアで行われる機能に対するハードウェア実装を持ちます。

ここはハードウェアから行うことができる最も役立つ機能のいくつかの例です。

- ADCは128採取(試料)までを行うことができるハードウェア累積機能を持ちます。ADCは1つが終わると時に必ず別の変換を開始する自由走行動作に置くこともできます。
- 2つ計時器B実体は32ビット計時器を得るために縦列にすることができます。
- USARTは誤り検出と誤り訂正の能力を提供します。
- TWIはどの休止動作でもアドレス一致の能力を提供します。

加えて、アナログ比較器は切り替え速度を犠牲にして消費電量を減らすことができる節電動作を持ちます。

図5-1. アナログ比較器用電力特性

●ビット4,3 – POWER1,0 : 電力特性 (Power Profile)

この設定は比較器を通る電流を制御し、ACに応答時間と消費電力の交換を許します。消費電力と応答時間については「電気的特性」章を参照してください。

値	0 0	0 1	1 0	1 1
名称	PROFILE0	PROFILE1	PROFILE2	-
説明	電力特性0 (最短応答時間と最高消費)	電力特性1	電力特性2	(予約)

3. 構成設定可能な注文論理回路(CCL)単位部

この単位部は直接ハードウェアで注文論理回路機能を生成するのに使うことができます。通常ソフトウェアで行われる作業をこの周辺機能に割り当てることができ、マイクロコントローラの核を休止に置くことができます。

例えば、SOS信号を送る応用は遅延とピン変更とでソフトウェアで実装することができ、またはSOS信号を生成する注文論理回路をCCLで作成することができます。より多くの情報は「AVR DA周辺機能実験室を使うコアから独立した解決策-訓練の手引き」で見つけることができます。

6. 結び

可能な最低消費電力を持つことが必要な応用の設計時、考慮されるべきいくつかの設計の考察があります。

マイクロコントローラはCPU走行で可能な限り小さな時間を費やさなければなりません。応用は可能な限り多く休止動作に留まり、作業を実行するために素早く起き上がり、その後に再び休止に戻って行かなければなりません。

AVR DAマイクロコントローラでのアイドル、スタンバイ、パワーダウンの3つの休止動作は低電力応用設計でそれを非常に柔軟にします。また、相互周辺機能通信を許す事象システムはCPUの関与なしにお互い間で活動を起動することを周辺機能に対して可能にします。そのよ

にして、0電力を使ってCPUを休止動作に留まり続けるか、または別の作業を実行することができます。

低電力設計は休止制御器及び相互周辺機能通信の機能を利用すると同時にCPUが休止していることによって許されます。

7. 参考文献

1. AVR128DA28/32/48/64データシート
2. CCLでの開始に際して
3. AVR® DA訓練の手引き
 - Curiosity Nnaoを使う低電力動作
 - AVR128DA48 Curiosity Nnaoを使う差動ADC
 - AVR DA周辺機能実験室を使うコアから独立した解決策
4. AVR® DA用コード例

8. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2020年10月	初版文書公開

Microchipウェブ サイト

Microchipはwww.microchip.com/で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にするのに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- ・ **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- ・ **全般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip設計協力課程会員一覧
- ・ **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

製品変更通知サービス

Microchipの製品変更通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するにはwww.microchip.com/pcnへ行って登録指示に従ってください。

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- ・ 代理店または販売会社
- ・ 最寄りの営業所
- ・ 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions Engineer)
- ・ 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、またはESEに連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援はwww.microchip.com/supportでのウェブ サイトを通して利用できます。

Microchipデバイス コード保護機能

Microchipデバイスでの以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- ・ Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- ・ Microchipは意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が安全であると考えます。
- ・ Microchipデバイスのコード保護機能を破ろうとする試みに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社はこれらの方法がMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要とされると確信しています。これらのコード保護機能を破ろうとする試みは、おそらく、Microchipの知的財産権に違反することなく達成することはできません。
- ・ Microchipはそのコードの完全性について心配されている何れのお客様とも共に働きたいと思います。
- ・ Microchipや他のどの半導体製造業者もそのコードの安全を保証することはできません。コード保護は製品が”破ることができない”ことを当社が保証すると言うことを意味しません。コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

法的通知

この刊行物に含まれる情報はMicrochip製品を使って設計する唯一の目的のために提供されます。デバイス応用などに関する情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。

この情報はMicrochipによって「現状そのまま」で提供されます。Microchipは非侵害、商品性、特定目的に対する適合性の何れの黙示的保証やその条件、品質、性能に関する保証を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。

如何なる場合においても、Microchipは情報またはその使用に関連するあらゆる種類の間接的、特別的、懲罰的、偶発的または結果的な損失、損害、費用または経費に対して責任を負わないものとします。法律で認められている最大限の範囲で、情報またはその使用に関連する全ての請求に対するMicrochipの全責任は、もしあれば、情報のためにMicrochipへ直接支払った料金を超えないものとします。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責することに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchipロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTracker、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、ZLは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REALICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、WiperLock、Wireless DNA、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

Adaptecロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcomは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

GestICは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の子会社であるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KGの登録商標です。

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2020年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

品質管理システム

Microchipの品質管理システムに関する情報についてはwww.microchip.com/qualityを訪ねてください。

日本語© HERO 2020.

本応用記述はMicrochipのAN3664応用記述(DS00003664A-2020年10月)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。

世界的な販売とサービス

米国	亜細亜/太平洋	亜細亜/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク NY Tel: 631-435-6000 サンホセ CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特別行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスボ Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルヒング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーネ Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルフト Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリード Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820