

---

---

## ADC応用のための雑音対策

---

---

### 序説

著者: Rupali Honrao, Microchip Inc.

この応用記述はMicrochip tinyAVR® 0と1系統及びmegaAVR® 0系統のADCで利用可能な強力な雑音抑制機能を使う方法と時を説明します。これらのADCではADCへの入力電圧が採取中に一定水準で保たれることを保証する採取/保持回路を通して入力信号が注がれます。

ADCは構成設定可能な変換結果数が単一ADC結果に累積される集中での採取(採取累積)を支援します。更に、採取遅延は単一集中と関連するADC採取周波数を調節するために構成設定することができます。これは採取した信号から(集中内の)ADC採取周波数での折り返し雑音のどの高調波雑音からも離れた採取周波数に調節するように行われます。自動採取遅延変動機能は採取間の時間を僅かに変えるためのこの遅延を無作為化するのに使うことができます。

この場合では、試験と確認の構成設定が提案されます。網羅される話題は0平均乱雑音を濾波するためのADCハードウェア採取累積器の使用と、調節した採取遅延または自動採取遅延変動を通す高調波雑音除去を含みます。雑音の多い信号を生成するための試験構成設定が提案され、Atmel Studioのデータ可視器(Data Visualizer)で結果を図解する方法の指示が提供されます。

この応用記述で記述される結果を繰り返すためのコード例はAtmel | STARTから入手可能です。

- 周期的な雑音生成と採取累積、採取遅延、自動採取遅延での雑音濾波 (Periodic noise generation and noise filtering with sample accumulation, sampling delay, and automatic sampling delay)

ADC性能と一般的な構成設定の追加の詳細はデバイスのデータシートで利用可能です。

### 要点

- 変換毎に最大64採取までのADC採取累積
- PWMを用いてそれを入力信号に追加するAVR®マイクロコントローラでの雑音生成
- 乱雑音と高調波雑音の濾波
- 採取遅延
- 自動採取遅延
- データ可視器(Data Visualizer)でのADC採取の図表作図

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
要点	1
1. 関連デバイス	3
1.1. tinyAVR® 0系統	3
1.2. tinyAVR® 1系統	3
1.3. megaAVR® 0系統	3
2. 概要	4
2.1. ハードウェア採取累積器	4
2.2. 採取遅延	4
2.3. 自動採取遅延変動	4
3. 原理：雑音抑制	4
3.1. 乱雑音を持つ信号	4
3.2. 周期的雑音を持つ信号	5
4. 信号への雑音付加	6
5. 雑音濾波実演	7
5.1. ソースコード概要	7
5.2. 図表での結果	9
6. Atmel   STARTからのソースコード取得	17
7. 追補A：データ可視器での図表作図	17
8. 改訂履歴	19
Microchipウェブ サイト	20
お客様への変更通知サービス	20
お客様支援	20
Microchipデバイスコード保護機能	20
法的通知	20
商標	21
DNVによって認証された品質管理システム	21
世界的な販売とサービス	22

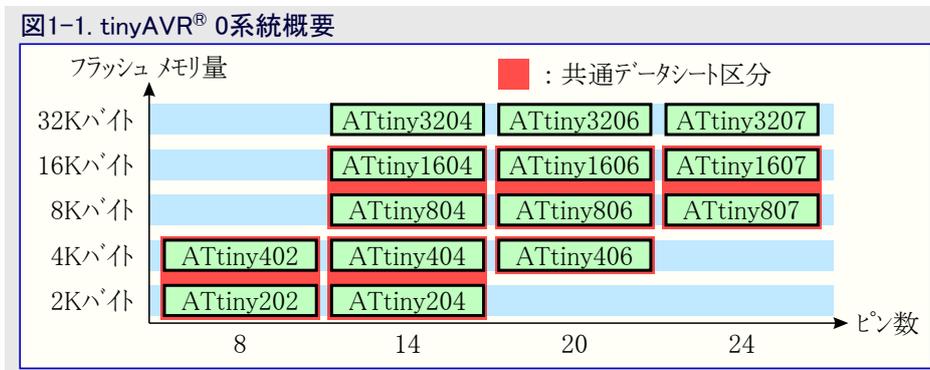
## 1. 関連デバイス

本章はこの資料に関連するデバイスを一覧にします。

### 1.1. tinyAVR<sup>®</sup> 0系統

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してtinyAVR<sup>®</sup> 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

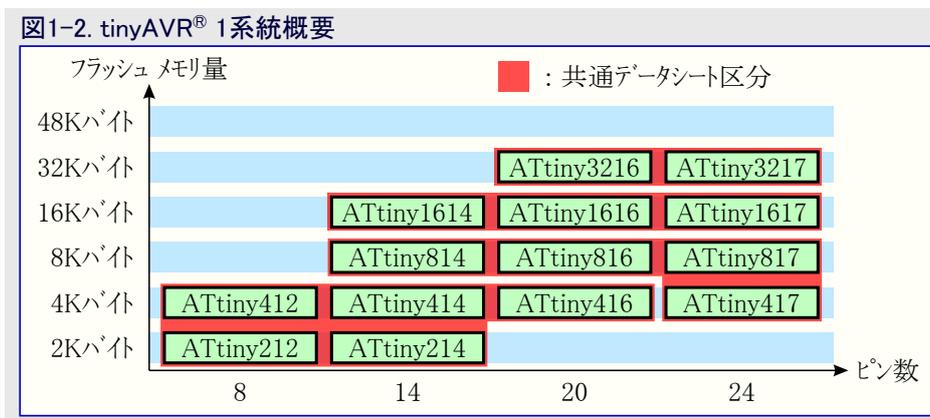


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

### 1.2. tinyAVR<sup>®</sup> 1系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してtinyAVR<sup>®</sup> 1系統デバイスを示します。

- これらのデバイスがピン互換で同じまたはより多くの機能を提供するため、垂直上方向移植はコード変更なしに可能です。下方向移植はより少ない利用可能ないくつかの周辺機能の実体のためにコード変更が必要かもしれません。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

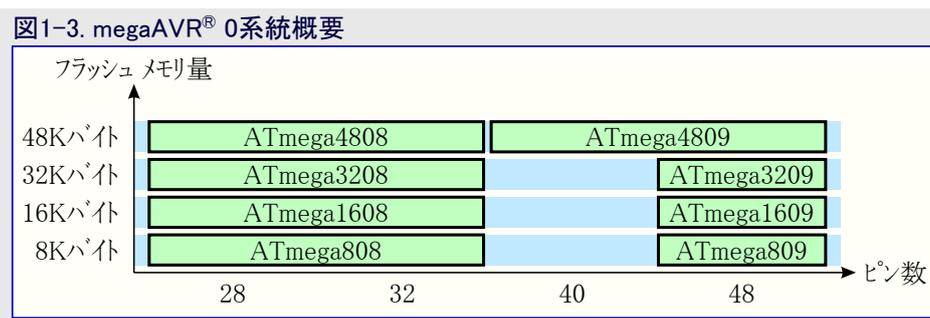


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

### 1.3. megaAVR<sup>®</sup> 0系統

下図はピン配置変種とメモリ量を展開してmegaAVR<sup>®</sup> 0系統デバイスを示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。



異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

## 2. 概要

Microchip tinyAVR® 0と1系統及びmegaAVR® 0系統デバイスには8ビット分解能で150ksps、10ビット分解能で115kspsの最大変換速度を持つ逐次A/D変換器(ADC)が特徴です。ADCは複数の内部と外部の入力元の接地を参照基準としたシングルエンド測定を許す柔軟な入力多重器を持ちます。測定は内部基準電圧(0.55V、1.1V、2.5V、4.3V)の選択に対してまたは直接VDDに対して行うことができます。

ADCによって支援される雑音対策測定は次のとおりです。

- ・ ハードウェア採取累積器
- ・ 採取遅延
- ・ 自動採取遅延変動

### 2.1. ハードウェア採取累積器

ADCは制御B(ADC.**CTRLB**)レジスタの採取累積数選択(**SAMPNUM**)ビット領域を書くことによって単一変換起動に対して自動的に採取結果数を累積するように構成設定することができます。変換起動受け取りで、割り込み要求フラグ(ADC.**INTFLAGS**)レジスタの結果準備可割り込み要求(**RESRDY**)フラグが設定(1)されるのに先立って、ADC結果(ADC.**RES**)レジスタで2<sup>SAMPNUM</sup>個の採取結果が累積されます。ADCは最大64までの採取結果の累積を支援します。

### 2.2. 採取遅延

連続するADC変換間にいくつかの遅延周期を挿入するために制御D(ADC.**CTRLD**)レジスタの採取遅延選択(**SAMPDLY**)ビット領域を書くことができます。ハードウェア採取累積と共に使うと、採取したアナログ信号に存在する高調波雑音周波数成分からADC集中周波数を除去するのに**SAMPDLY**を使うことができます。

### 2.3. 自動採取遅延変動

採取累積を伴う自動採取遅延変動(ASDV:Automatic Sampling Delay Variation)は未知の基本周波数での高調波雑音消去ですること役立つことができます。ASDVが許可された場合、ADCは支援される採取遅延構成設定を通して周回し、変換毎に1 ADCクロック(CLK\_ADC)周期分遅延を増します。変化する採取遅延は一定の採取遅延に比べてより広い周波数範囲に渡って雑音減衰を提供することができますが、低減された減衰係数の犠牲でそうなります。高調波雑音周波数が既知または測定可能な状況では、存在する周波数成分を消去するように調節された採取遅延を使うことが推奨されます。ASDVは制御D(ADC.**CTRLD**)の自動採取遅延変動(ASDV)ビットを書くことによって許可することができます。

## 3. 原理 : 雑音抑制

### 3.1. 乱雑音を持つ信号

多くのMCU応用はアナログ信号測定を伴います。完全に雑音のない信号の理想的な場合では信号の高品位のデジタル表現を達成するのが簡単です。一定の時間間隔で起動される単一ADC変換で充分です。実際には、殆どのアナログ信号が雑音によって影響を及ぼされ、最新のMicrochip ADCは信号対雑音比を増すのに使うことができる機能を提供します。

図3-1は雑音の多い信号を図解します。時間に於いて均等に間隔を保たれた単一変換は雑音が多いデジタル表現の信号に帰着します。可能性のある解決策はソフトウェアで採取した試料を濾波することで有り得ますが、これは追加のCPU資源を必要とします。より良い任意選択はADCによって支援されるハードウェア採取累積器を使うことです。

図3-2は単一ADC変換の起動がどう64個の連続するADC変換に帰着するかを図解します。各変換はハードウェアで累積され、集中した量で累積した結果を除算することによって累積した試料の平均値を計算することができます。採取した雑音が0平均を持つため、平均した値は実際の信号値に近いです。

ここで、ADCは自動的にm回の採取を累積するようにADCを構成設定することによる平均化に使うことができるハードウェア採取累積器が特徴です。ADC採取速度は累積される採取数によって影響を及ぼされます。m回の採取に対する総採取時間は1採取に対する採取時間とm(取られる採取数)の乗算です。

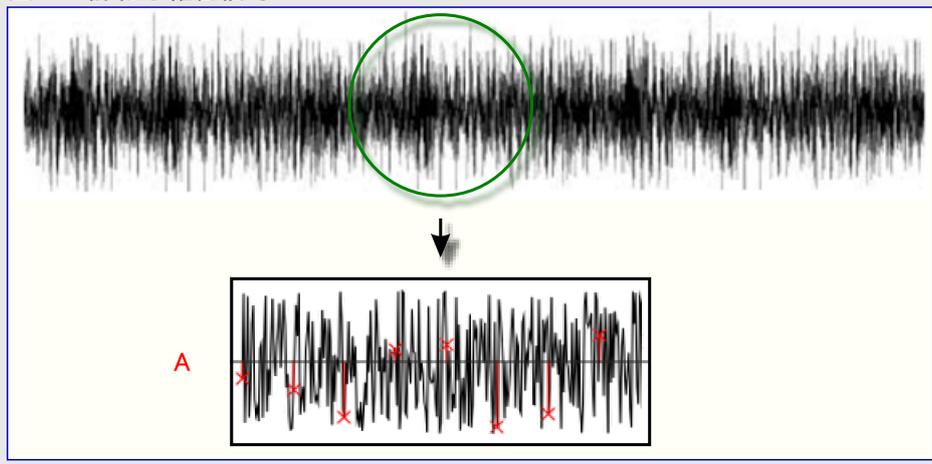
図3-1.で示されるような乱雑音と混合されたDC信号を考察してください。

図3-1. 乱雑音と混合されたDC信号



信号が拡大された場合、**図3-2**の'A'部分で示されるように取られるADC採取を考察してください。過採取が8採取で行われることを考察してください。これは単一集中が8つの採取を含むことを意味します。単一集中8採取が取られた場所は**図3-2**の赤印で示されます。

図3-2. 詳細な雑音信号



過採取が複数採取で行われるため、採取された全ての値の平均結果は概ね元のDC信号と等しくなります。それは0平均雑音に帰着することを意味します。集中量増加(より多くの採取の累積)はより多くの尖頭信号を平坦化するの役立ち、雑音に於けるより多くの抑制に帰着します。

### 3.2. 周期的雑音を持つ信号

周期的な雑音が発生する可能性がある筋書きは電動機やLED制御などに使われるスイッチング調整器やPWM信号です。

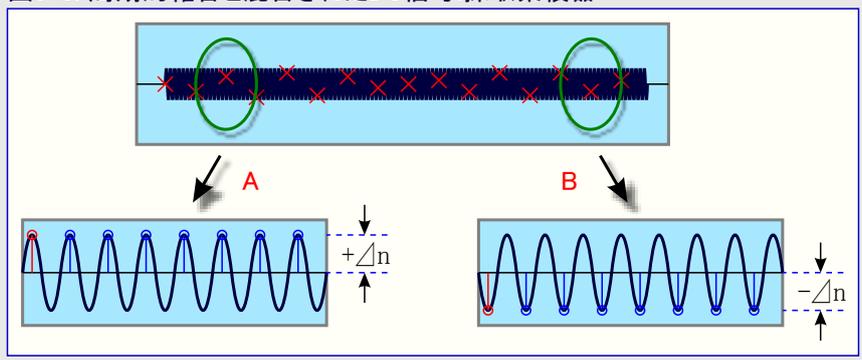
ハードウェア採取累積器機能で、集中量(累積した採取数)で累積した結果を除算することによって累積した採取の平均値を計算することができ、0平均採取した雑音に帰着します。

**図3-3**でのに、周期的雑音と混合されたDC信号と赤印で示された複数採取の累積を考察してください。

信号が拡大された場合、**図3-3**の'A'部と'B'部で取られるADC採取を考察してください。

ハードウェア採取累積器が使われるため、'A'部でのADC採取の平均結果は $\approx +\Delta n$ です。'B'部ではADC採取の平均結果が $\approx -\Delta n$ です。各個別採取は正または負のどちらかの等しい確率で0とは違うため、累積した雑音採取は0に近づき、雑音が首尾よく抑えられます。

図3-3. 周期的雑音と混合されたDC信号:採取累積器



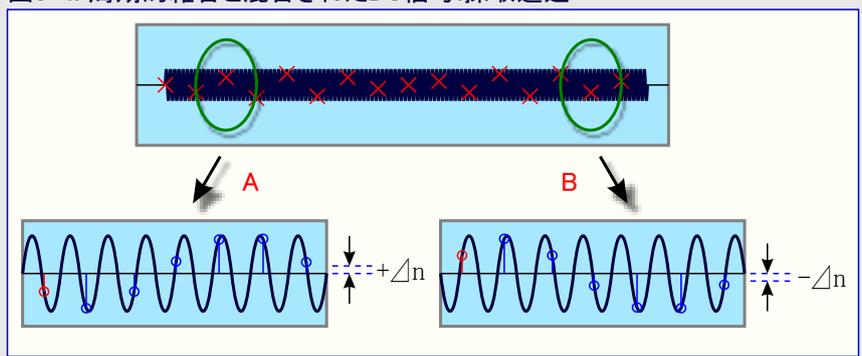
#### 採取遅延または自動採取遅延変動

周期的な雑音周波数が既知の時は採取した信号から(集中内で)ADC採取周波数での折り返しされた何れの周期的または高調波雑音から離れた採取周波数に調節するために採取速度を調節することができます。

既知の周期的な雑音周波数の場合、採取間の時間を僅かに変更するためにこの遅延を無作為化するのに自動採取遅延変動機能を使うことができ、より良い雑音抑制を達成します。この場合、広い抑制範囲が達成されますが、減らされた雑音減衰です。

採取遅延が追加されて採取周波数が調整された場合、実際に読まれるADC採取が**図3-4**の'A'部と'B'部で示されるようであることを考察してください。この筋書きで'A'の一群で取られた採取の平均値は0に近く、'B'の一群で取られた採取の平均値は0に等しく近く、それは雑音信号抑制に帰着します。

図3-4. 周期的雑音と混合されたDC信号:採取遅延



採取遅延と採取長は制御D(ADC.CTRLD)レジスタの採取遅延選択(SAMPDLY)ビット領域と採取制御(ADC.SAMPCTRL)レジスタの採取長(SAMPLEN)ビット領域を用いて調整することができます。これら両方はCLK\_ADC周期でADC採取時間を制御します。

総採取時間は以下によって与えられます。

$$\text{採取時間} = \frac{(2 + \text{SAMPDLY} + \text{SAMPLEN})}{f_{\text{CLK\_ADC}}}$$

自由走行(連続変換)動作では採取速度( $R_s$ )が以下によって計算されます。

$$\text{採取速度} = \frac{f_{\text{CLK\_ADC}}}{(13 + \text{SAMPDLY} + \text{SAMPLEN})}$$

ADC.CTRLDレジスタの採取遅延選択(SAMPDLY)ビットは連続的なADC採取間の遅延を定義します。SAMPDLY領域は自動採取遅延変動(ASDV)ビットを設定(1)することによって1つの採取周期から別のものへ自動的に変更することもできます。遅延はCLK\_ADC周期として表されます。ASDVビットが許可されない、SAMPDLY値は0~15に構成設定することができます。0は採取遅延なしを意味します。1は1周期の遅延で、以下同様です。構成設定に於いて望む結果を得て存在する周波数成分を抑制するためにこの値を正しく調節することが必要とされます。 $+\Delta n$ や $-\Delta n$ が0に近くなるように試行錯誤法によってこの値を構成設定することが必要とされます。

上図から連続的な採取間での正しく調節された採取遅延選択(SAMPDLY)の値で、ADC採油の平均結果は雑音なしの信号に近づきます。

採取遅延または累積採取数の増加で採取周波数は減少されます。

#### 4. 信号への雑音付加

ADC機能を検証するには様々な方法で人工的な雑音を生成してその後にこの雑音を入力信号に加えることができます。

- PWMを用いるAVRでの周期的雑音の生成と入力信号への追加
- DACを用いるAVRでの乱雑音の生成と入力信号への追加

**注:** 疑似乱雑音は基板上DACを持つどのデバイスからでも生成することができます。

乱雑音を生成するためのコード例:

```
unsigned int i;
unsigned int k;
unsigned char random_buf[512];
for (i=0;i<512;i++)
{
    random_buf[i]= rand()%256;
}
dac_init();
while (1)
{
    DAC.DATA = random_buf[k++];
    if (k>512)
    {
        k=0;
    }
}
```

random\_buf[512]は標準ライブラリ関数'rand()'を用いる0~255の乱数の配列です。

真の乱雑音を生成するには充分に高いDAC変換速度が必要とされます。それは入力雑音信号としてそれを使うデバイスよりも高いDAC乱雑音を生成するデバイスのCPUクロック周波数を選ぶことによって保証することができます。

図4-1.で図解される回路は測定される信号に雑音を加えるのに使うことができます。

**注:** 混ぜた信号の電圧水準が選んだADC基準電圧以上にならないように予防処置が取られるでしょう。デバイス特性はADC基準電圧以上の入力電圧信号を勧めません。

周期的雑音についてはPWM信号を生成することができます。試験構成設定で最悪の場合の周期的雑音の筋書きを得るため、PWM周波数をADC採取周波数近くに選ぶことができます。

例のソースコードでは既定CPUクロックが3.33MHzです。ADCクロックは $3.33\text{MHz}/4=832.5\text{kHz}$ です。

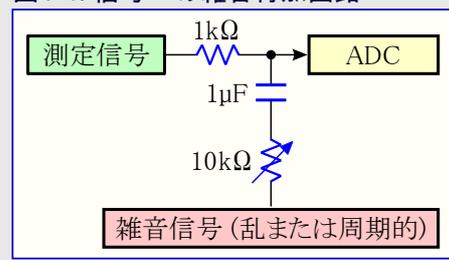
自由走行(連続変換)動作で、採取速度( $R_s$ )は以下によって計算されます。

$$\text{採取速度} = \frac{f_{\text{CLK\_ADC}}}{(13+\text{SAMPDLY}+\text{SAMPLEN})}$$

故に、 $R_s$ は $832.5\text{kHz}/13=64\text{kHz}$ です。

例のソースコードではPWM信号がADC採取周波数に近い62kHzの周波数で生成されます。

図4-1. 信号への雑音付加回路



## 5. 雑音濾波実演

雑音濾波は例のソースコードを用いることによってAtmel Studio内のデータ可視器(Data Visualizer)でADC採取の図表を作図することで実演されます。

例のソースコードはTCA計時器を用いてPWM雑音を生成します。図4-1.で示されるように、このPWM信号は'測定信号'に雑音として加えられます。可変抵抗器からのDC信号が'測定信号'として使われます。この混合信号(信号+雑音の信号)がADCへの入力信号として与えられます。それが採取されてデータ可視器の直列端末へUSARTを通して送られ、ADC採取の図表がデータ可視器で描画されます。

1または64個の採取に対する採取累積、採取遅延、自動採取遅延のような各種雑音濾波構成設定での異なる図表が描画されます。これらの図表から、雑音が構成設定されたADC機能で抑制される時にADC結果の計数範囲がどう減少されるかを観察することができます。

詳細な説明が更なる項で提供されます。

### 5.1. ソースコード概要

ATmega4809 Xplained Proを用いるソースコード概要:

- CPUクロック: (既定) 3.33MHz
- 使う周辺機能:
  - ADC、TCA、UASRT、VREF
  - ADC入力チャンネルはAIN5: PD5ピン、10ビットADC分解能
  - TCA: PWM信号はPA0ピンで生成されます。: 62kHz、50%デューティサイクル
  - USART: TXD PC0、ボーレート: 19200、ADCの結果は直列端末へ送られます。
  - VREFはADC基準電圧を2.5Vに選びます。

Atmel STARTで構成設定されたプロジェクトは周辺機能ドライバ関数とファイルだけでなく全てのドライバを初期化する'main()'関数も生成します。

- ドライバのヘッダとソースのファイルはsrcとincludeのフォルダ内です。
- `atmel_start.c`ファイルで'`atmel_start_init()`'関数はプロジェクトのMCU、ドライバ、ミドルウェアを初期化します。

ATtiny817 Xplained Proを用いるソースコード概要:

- CPUクロック: (既定) 3.33MHz
- 使う周辺機能:
  - ADC、TCA、UASRT、VREF
  - ADC入力チャンネルはAIN5: PA5ピン、10ビットADC分解能
  - TCA: PWM信号はPB0ピンで生成されます。: 62kHz、50%デューティサイクル
  - USART: TXD PB2、ボーレート: 19200、ADCの結果は直列端末へ送られます。
  - VREFはADC基準電圧を2.5Vに選びます。

Atmel STARTで構成設定されたプロジェクトは周辺機能ドライバ関数とファイルだけでなく全てのドライバを初期化する'main()'関数も生成します。

- ドライバのヘッダとソースのファイルはsrcとincludeのフォルダ内です。
- `atmel_start.c`ファイルで'`atmel_start_init()`'関数はプロジェクトのMCU、ドライバ、ミドルウェアを初期化します。

### 5.1.1. マクロ定義

下は一覧にされたmain.cファイル内のソースコードでのマクロ定義です。

#### • HARMONIC\_NOISE

```
#define HARMONIC_NOISE 1
```

1: 周期的雑音としてPWM信号を生成  
0: PWM信号を生成しない

#### • PWM\_FRQ

```
#define PWM_FRQ 62000
```

PWM周波数の構成設定、62kHz

試験構成設定で最悪の場合の周期的雑音の筋書きを得るため、PWM周波数をADC採取周波数近くを選ぶことができます。

#### • ADC\_64X\_ACCUMULATOR\_ENABLE

```
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 1
```

連続する採取累積の許可構成設定

1: 64個の連続する採取累積  
0: 複数採取累積なし(1個だけのADC採取累積)

この例がADC\_64X\_ACCUMULATOR\_ENABLEマクロだけを用いることによって1採取または64採取のADC採取累積での結果図表を示すことに注意してください。

Microchip tinyAVR<sup>®</sup> 0と1系統及びmegaAVR<sup>®</sup> 0系統は1,2,4,8,16,32,64の採取累積を支援します。1または64以外の採取累積についてはそれによってコードが変更される必要があります。

#### • SAMPLING\_DELAY

```
#define SAMPLING_DELAY 5
```

0: 1つの単発集中内の連続する採取間で採取遅延なし

1~15: 1つの単発集中内の連続する採取間で採取遅延を構成設定。遅延はCLK\_ADC周期として表されます。1は1周期の遅延。

**注:** 試験構成設定で、最大雑音濾波は採取遅延値が5に構成設定される時に達成されます。これは望む結果を得るためにこれを正しい値に調節して存在する周波数成分を抑制するために試行錯誤を用いて構成設定されました。これは構成設定毎に変わるかもしれません。

#### • ENABLE\_ASDV

```
#define ENABLE_ASDV 0
```

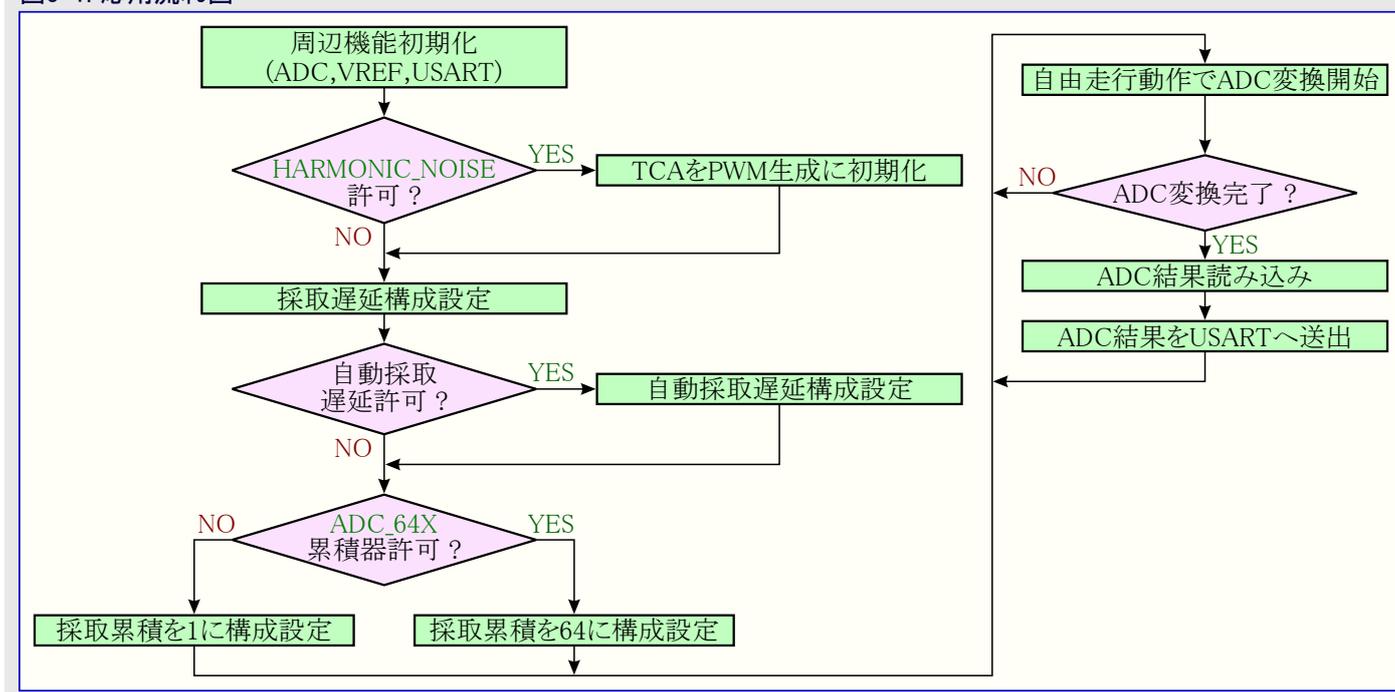
1: 1つの単発集中内の連続する採取間で自動採取遅延を許可

0: 自動採取遅延変動を許可しない。

### 5.1.2. 応用流れ図

全体の応用流れ図は図5-1.で示されるように見えます。

図5-1. 応用流れ図



## 5.2. 図表での結果

結果は高度なADC機能を構成設定して、Atmel Studioのデータ可視器で各種図表を作図することによって示されます。ここでは1または64採取用の採取累積、採取遅延、自動採取遅延変動のような各種雑音濾波構成設定を持つ各種図表が作図されます。

これらの図表から、雑音が構成設定したADC機能で抑制された時にADC結果計数範囲がどう減らされ得るかを観察することができます。

**注:** Atmel Studioのデータ可視器で図表を作図する方法のより多くの詳細については「[7. 追補A : データ可視器での図表作図](#)」を参照してください。

### 5.2.1. 雑音なしでの信号

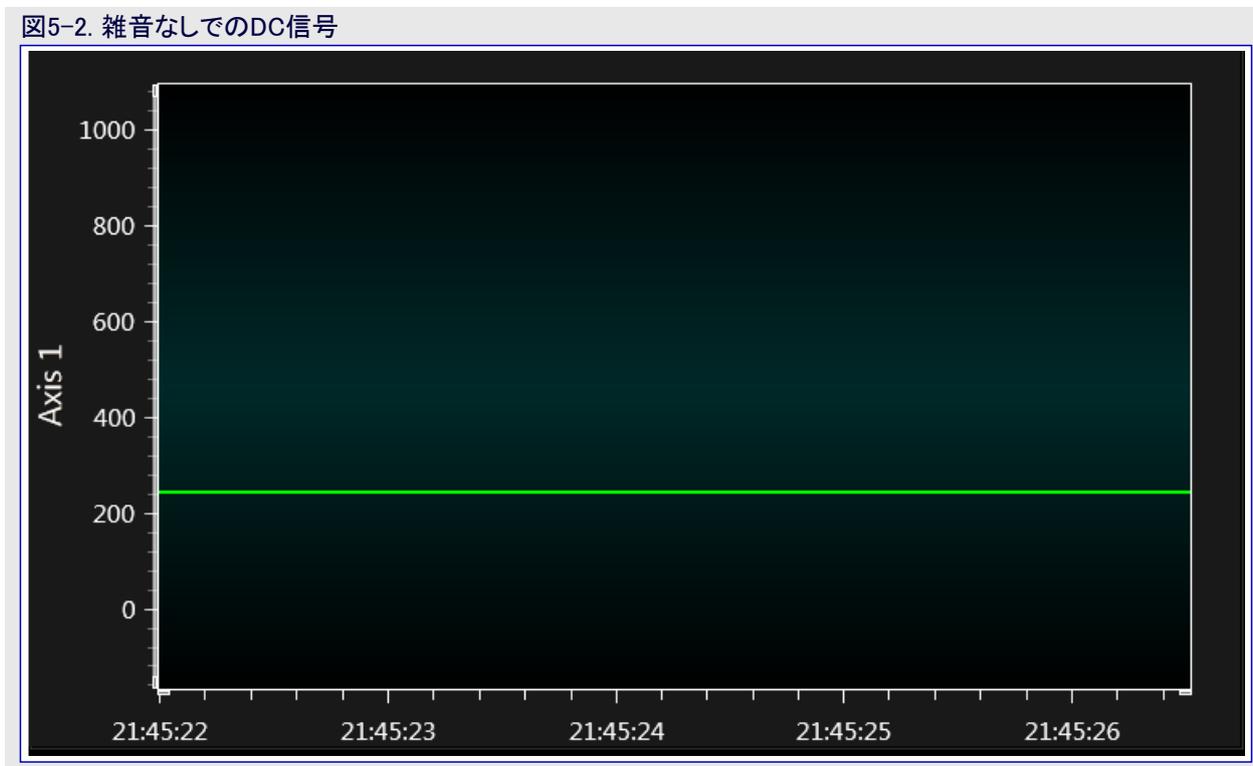
課題：図表は雑音なしのDC信号を用いてデータ可視器で作図されます。

コード例でのマクロ定義の構成設定は次のとおりです。

```
#define HARMONIC_NOISE 0
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 0
#define SAMPLING_DELAY 0
#define ENABLE_ASDV 0
```

0.6VのDC信号がADC入力ピンのPD5に接続される時にデータ可視器での図表は次のように作図されます。

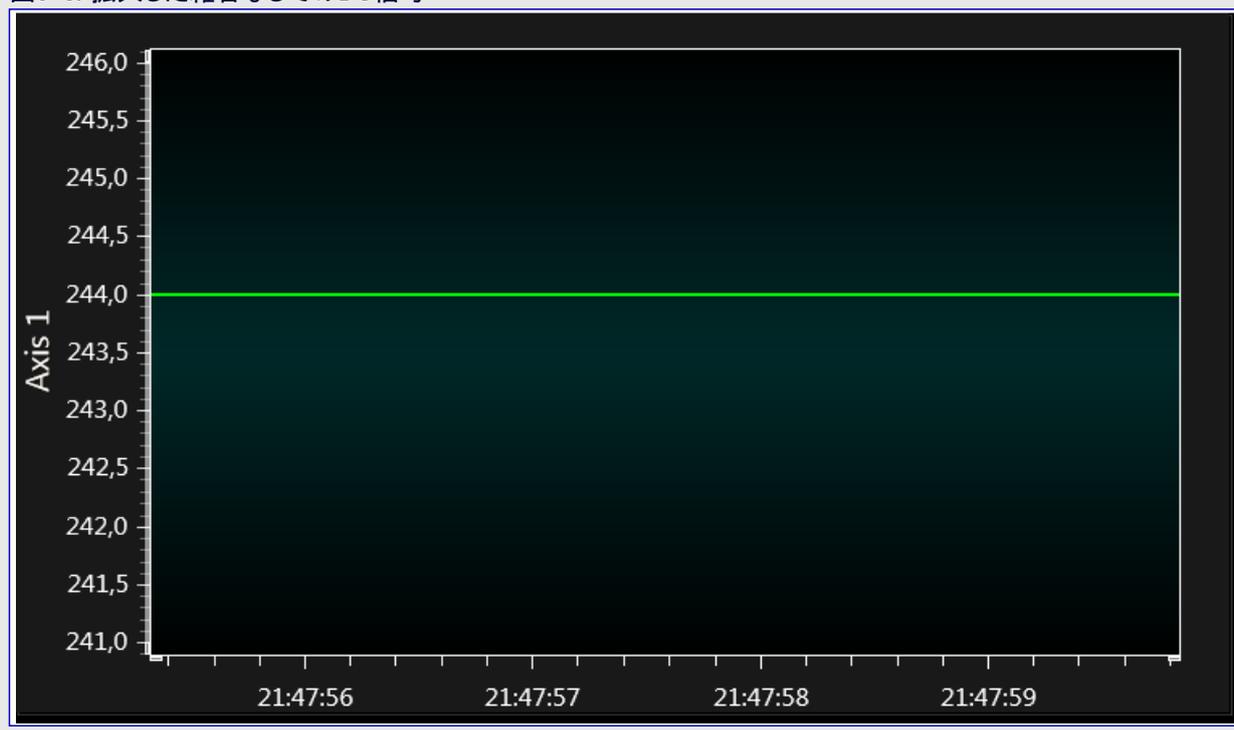
**注:** 入力信号に雑音が付加されません。



この図表からADCの結果値が約240であることが分かり、雑音が観測されません。

図表が拡大されたなら、ADC計数が244であることが分かります(図5-3をご覧ください)。

図5-3. 拡大した雑音なしでのDC信号



ADC基準電圧は2.5Vで、ADC分解能は10ビットです。

理想的に測定されたADC計数はおそらく $(1023 \times 0.6) / 2.5 = 245$ です。

注: 「7. 追補A: データ可視器での図表作図」を参照してください。

### 5.2.2. 乱雑音を持つ信号

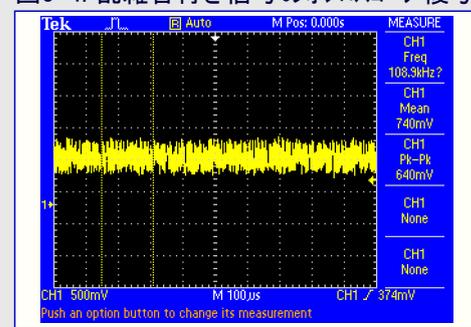
課題: 2つの図表が乱雑音を混ぜられたDC信号を用いてデータ可視器で作図されます。

- 1採取累積での図表
- 64採取累積での図表

試験構成設定: 乱雑音はDACを持つデバイスを用いて生成され、図4-1.で示されるように、測定されるDC信号にこの乱雑音が加えられます。

乱雑音を持つ信号が図5-4.で示されます。DC信号水準は740mVで雑音振幅は640mVppです。

図5-4. 乱雑音付き信号のオシロスコープ複写



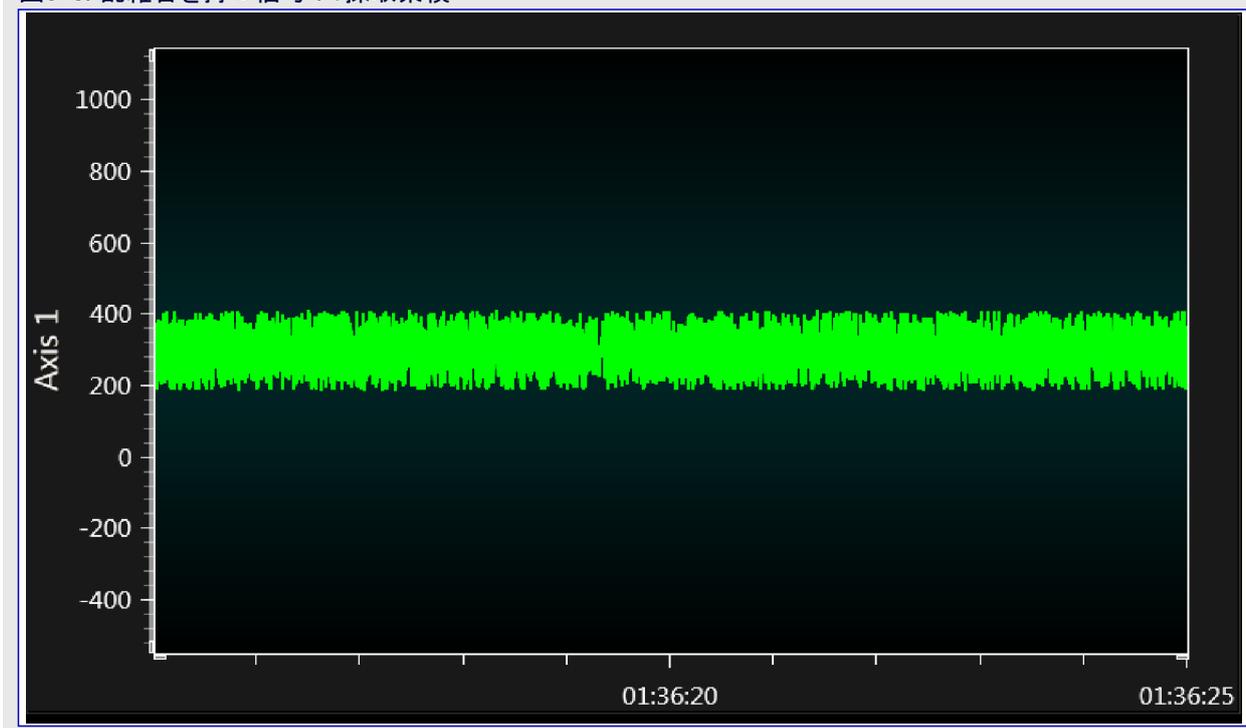
#### 1. 1採取累積での図表

コード例でのマクロ定義の構成設定は次のとおりです。

```
#define HARMONIC_NOISE 0
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 0
#define SAMPLING_DELAY 0
#define ENABLE_ASDV 0
```

上のマクロ定義を持つコードでのデバイス書き込み後、データ可視器での図表は図5-5.で示されるとおりです。

図5-5. 乱雑音を持つ信号 : 1採取累積



ADC計数は乱雑音のために200~400で変わって見えることが分かります。それはADC計数が±100計数(200~400⇒300±100計数)で変わることを意味します。

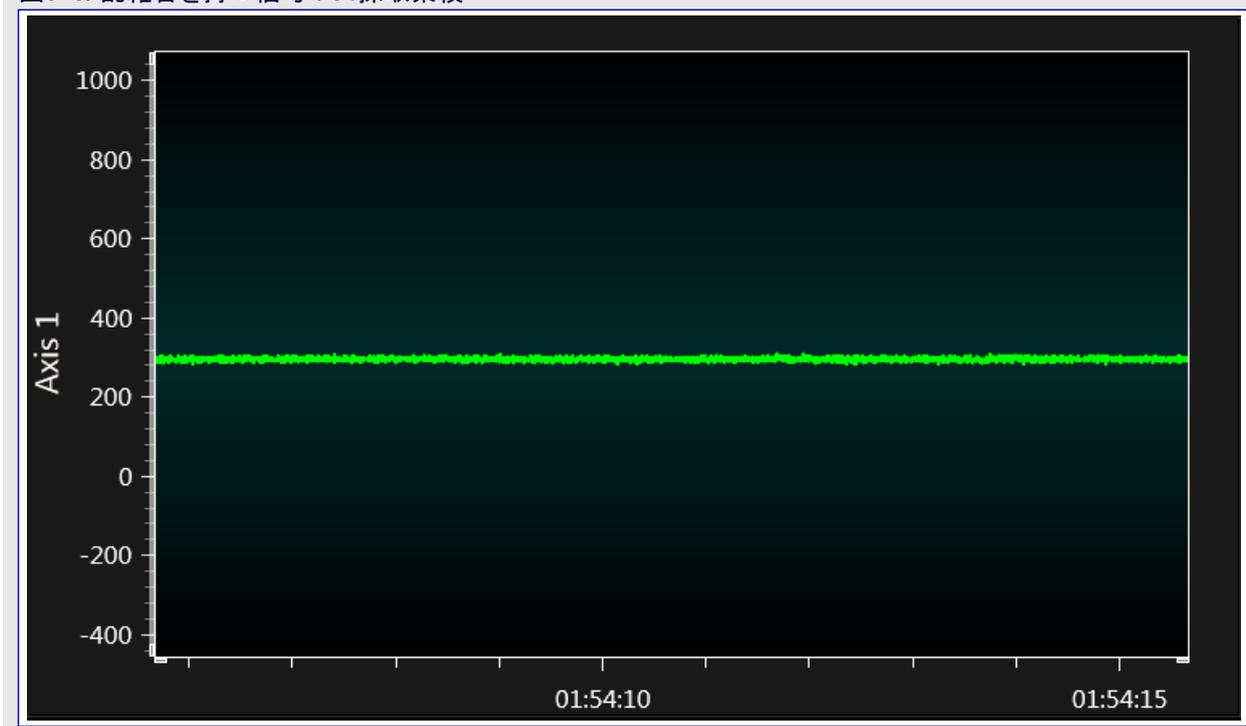
## 2. 64採取累積での図表

コード例でのマクロ定義の構成設定は次のとおりです。

```
#define HARMONIC_NOISE 0
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 1
#define SAMPLING_DELAY 0
#define ENABLE_ASDV 0
```

上のマクロ定義を持つコードでのデバイス書き込み後、データ可視器での図表は図5-6.で示されるとおりです。

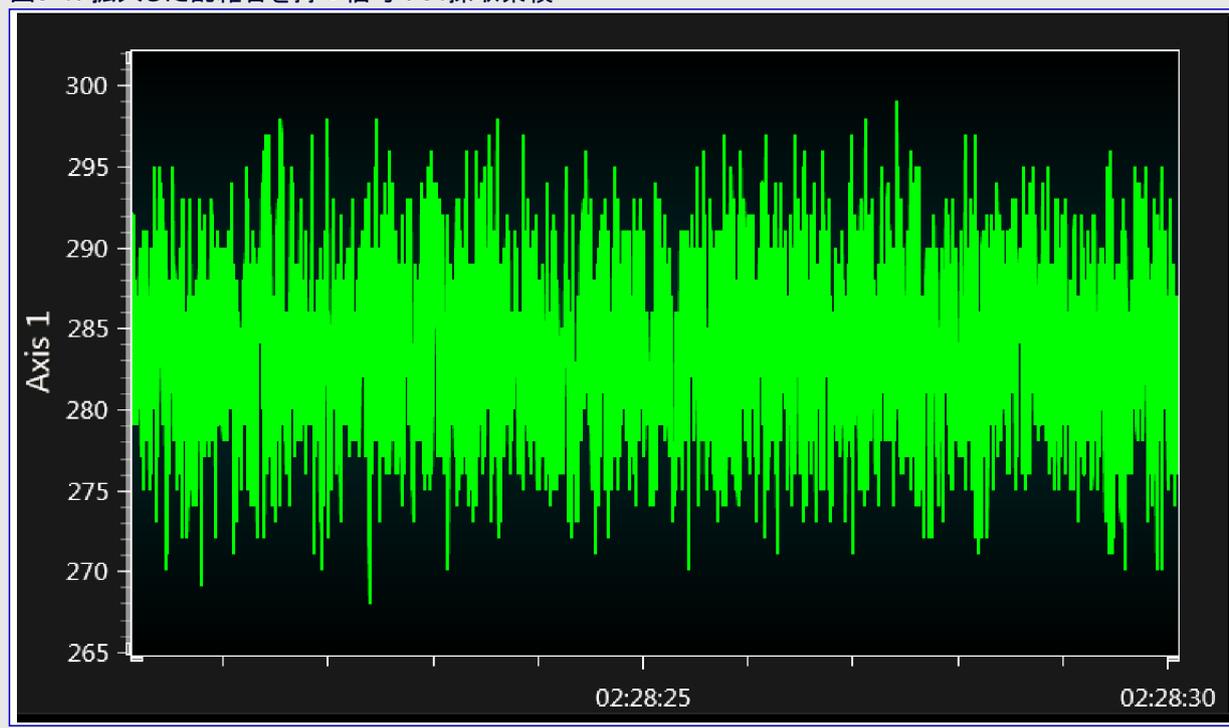
図5-6. 乱雑音を持つ信号 : 64採取累積



図表から、64個のADC採取累積で過採取することによってADC結果計数範囲が減少されているのを観察することができます。

信号が拡大されるなら、その画像は図5-7.で示されるとおりです。

図5-7. 拡大した乱雑音を持つ信号 : 64採取累積



ADC結果計数範囲は270～295間で変わっています。それはADC計数が±13計数(270～295⇒282±13計数)変わっていることを意味します。

### 5.2.3. 周期的雑音を持つ信号

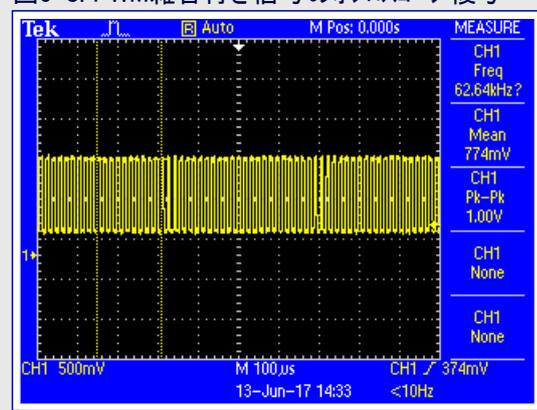
課題：4つの図表が周期的雑音を混ぜられたDC信号を用いてデータ可視器で作図されます。

- 1採取累積での図表
- 64採取累積での図表
- 64採取累積と自動採取遅延変動での図表
- 64採取累積と採取遅延での図表

試験構成設定：PWM信号はTCA周辺機能を用いて生成され、図4-1.で示されるように、測定されるDC信号にこのPWM雑音を加えられます。

PWM雑音を持つ信号が図5-8.で示されます。

図5-8. PWM雑音付き信号のオシロスコープ複写



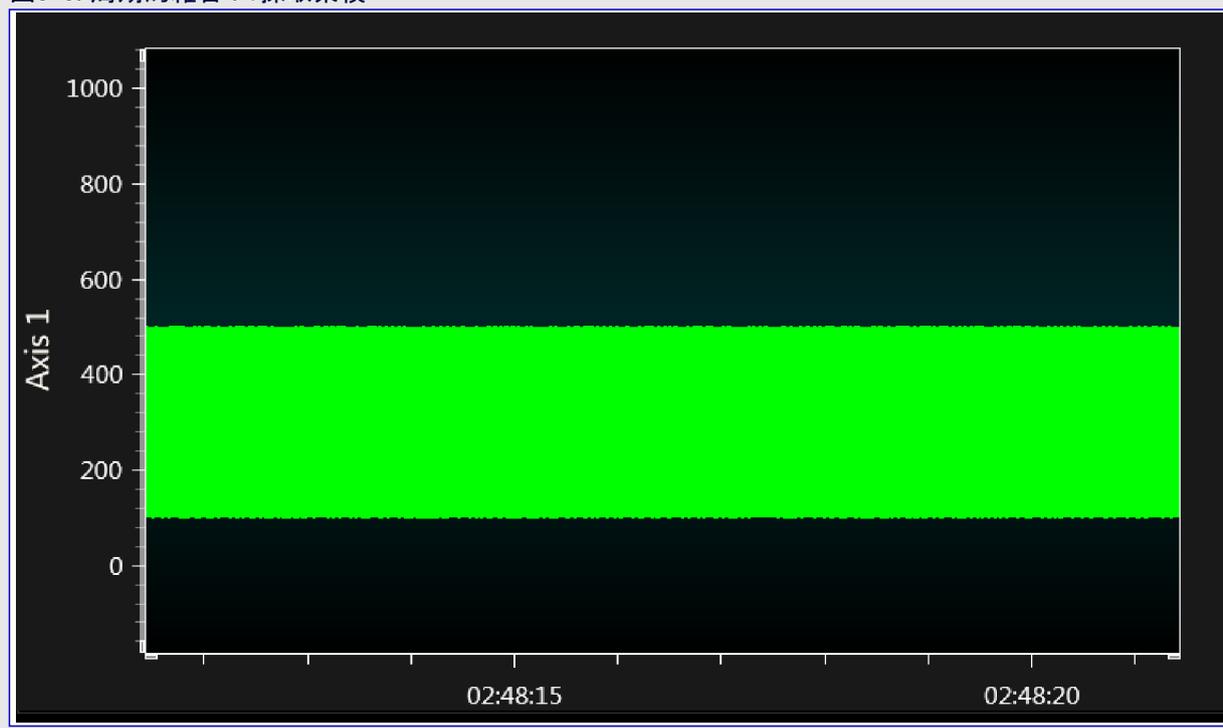
#### 1. 1採取累積での図表

コード例でのマクロ定義の構成設定は次のとおりです。

```
#define HARMONIC_NOISE 1
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 0
#define SAMPLING_DELAY 0
#define ENABLE_ASDV 0
```

上のマクロ定義を持つコードでのデバイス書き込み後、データ可視器での図表は図5-9.で示されるとおりです。

図5-9. 周期的雑音 : 1採取累積



ADC結果計数値が約100～450で変わっていることが観察されます。

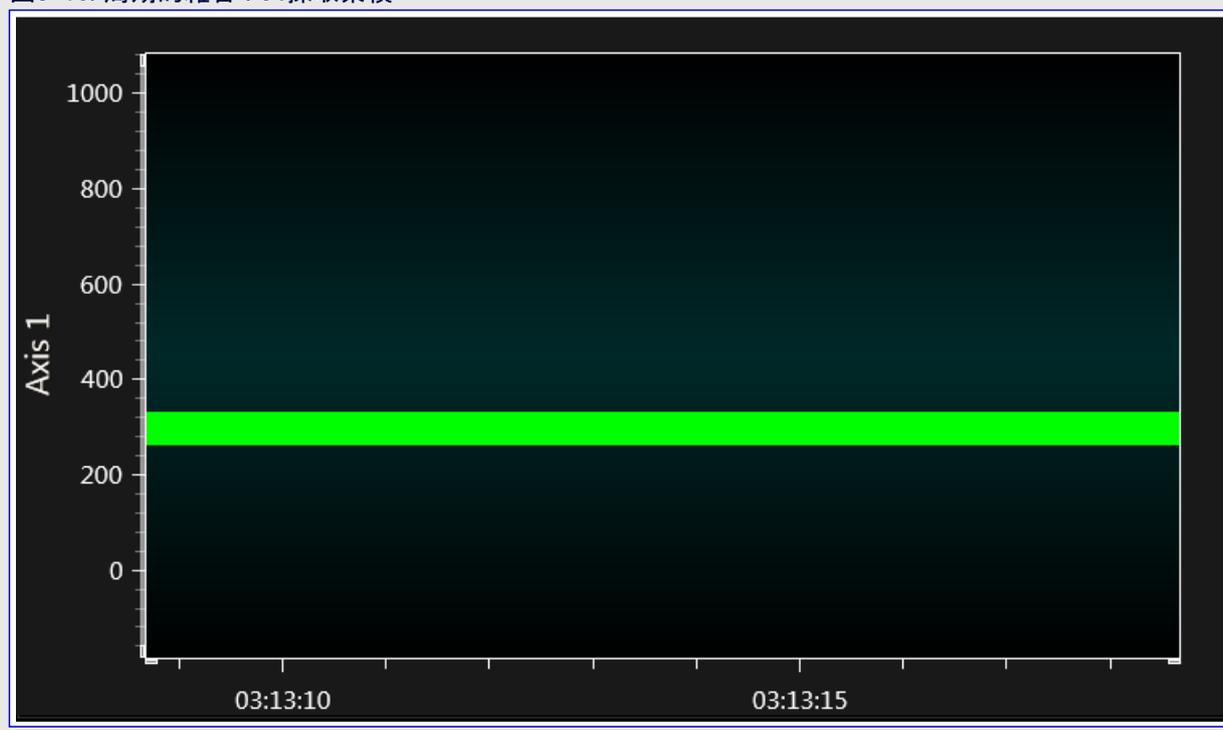
## 2. 64採取累積での図表

コード例でのマクロ定義の構成設定は次のとおりです。

```
#define HARMONIC_NOISE 1
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 1
#define SAMPLING_DELAY 0
#define ENABLE_ASDV 0
```

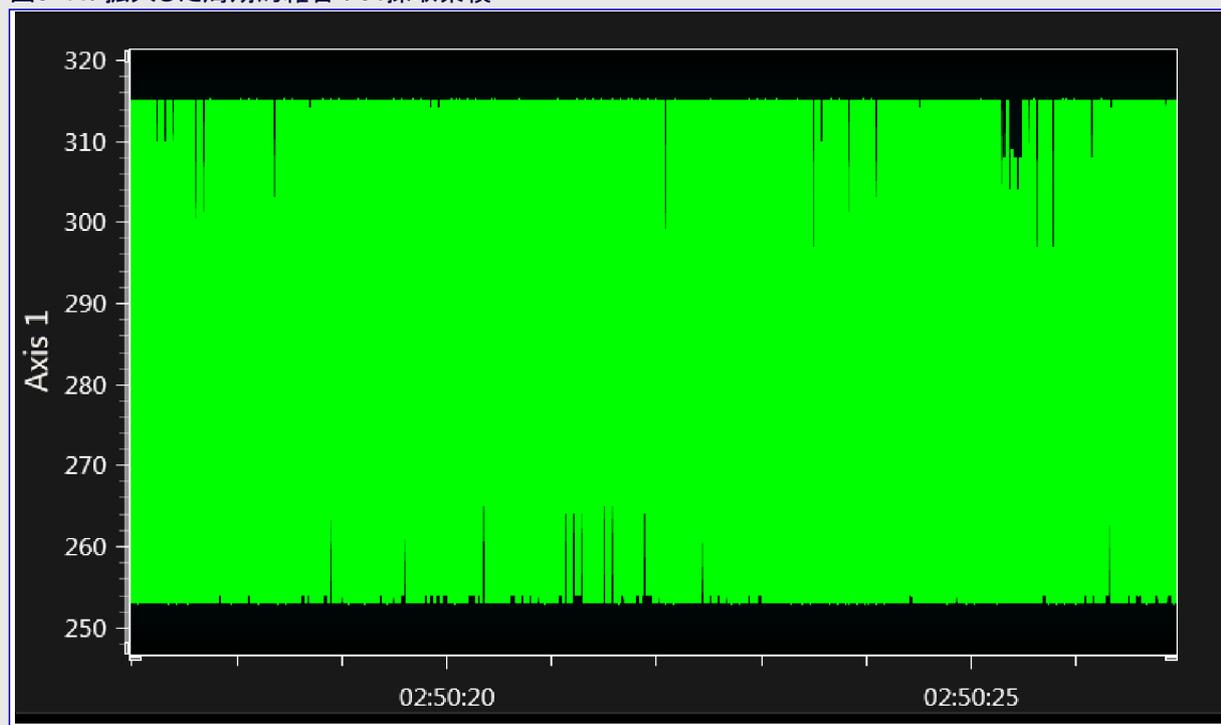
上のマクロ定義を持つコードでのデバイス書き込み後、データ可視器での図表は図5-10.で示されるとおりです。

図5-10. 周期的雑音 : 64採取累積



上の信号が拡大されるなら、その画像は図5-11.で示されるとおりです。

図5-11. 拡大した周期的雑音 : 64採取累積



過採取で、ADC結果計数範囲が減らされてその値は255~315で変わっています。それはADC結果計数範囲が概ね±30計数であることを意味します。

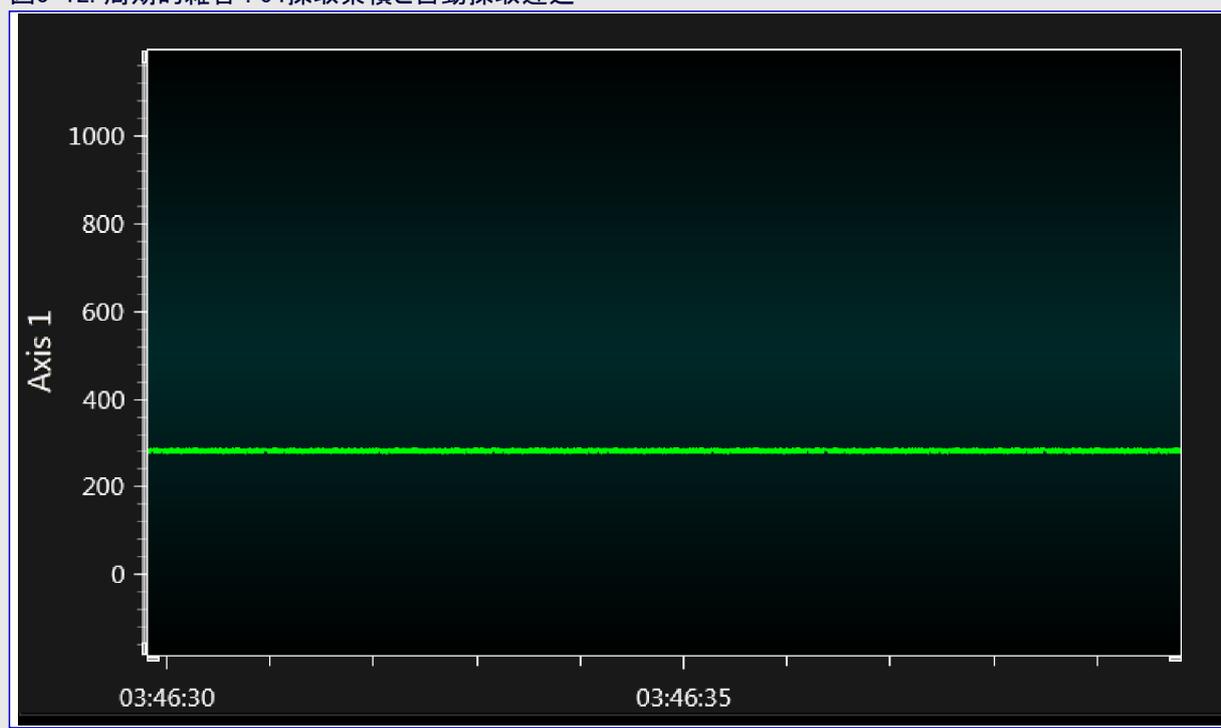
### 3. 64採取累積と自動採取遅延での図表

コード例でのマクロ定義の構成設定は下のとおりです。

```
#define HARMONIC_NOISE 1
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 1
#define SAMPLING_DELAY 0
#define ENABLE_ASDV 1
```

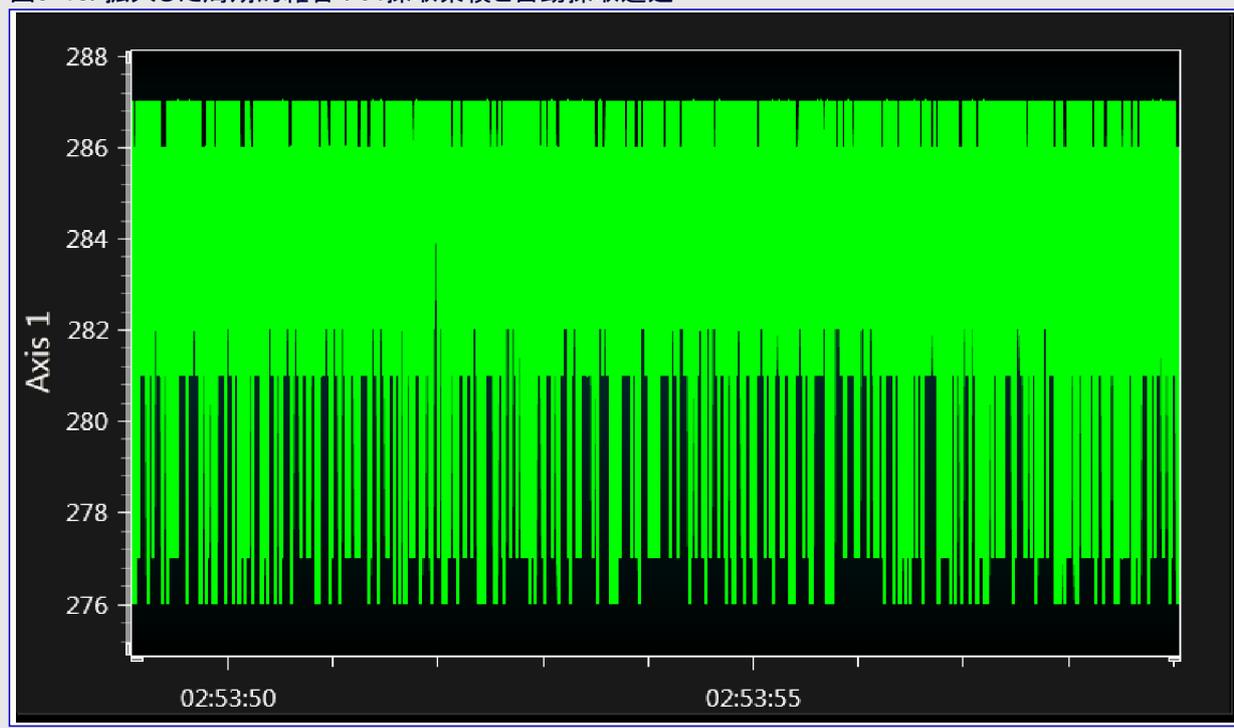
上のマクロ定義を持つコードでのデバイス書き込み後、データ可視器での図表は図5-12.で示されるとおりです。

図5-12. 周期的雑音 : 64採取累積と自動採取遅延



上の信号が拡大されるなら、その画像は図5-13.で示されるとおりです。

図5-13. 拡大した周期的雑音 : 64採取累積と自動採取遅延



過採取と自動採取遅延で、ADC結果計数範囲が更に減らされてその値は276～287で変わっています。それはADC結果計数範囲が概ね±6計数であることを意味します。

#### 4. 64採取累積と採取遅延での図表

コード例でのマクロ定義の構成設定は下のとおりです。

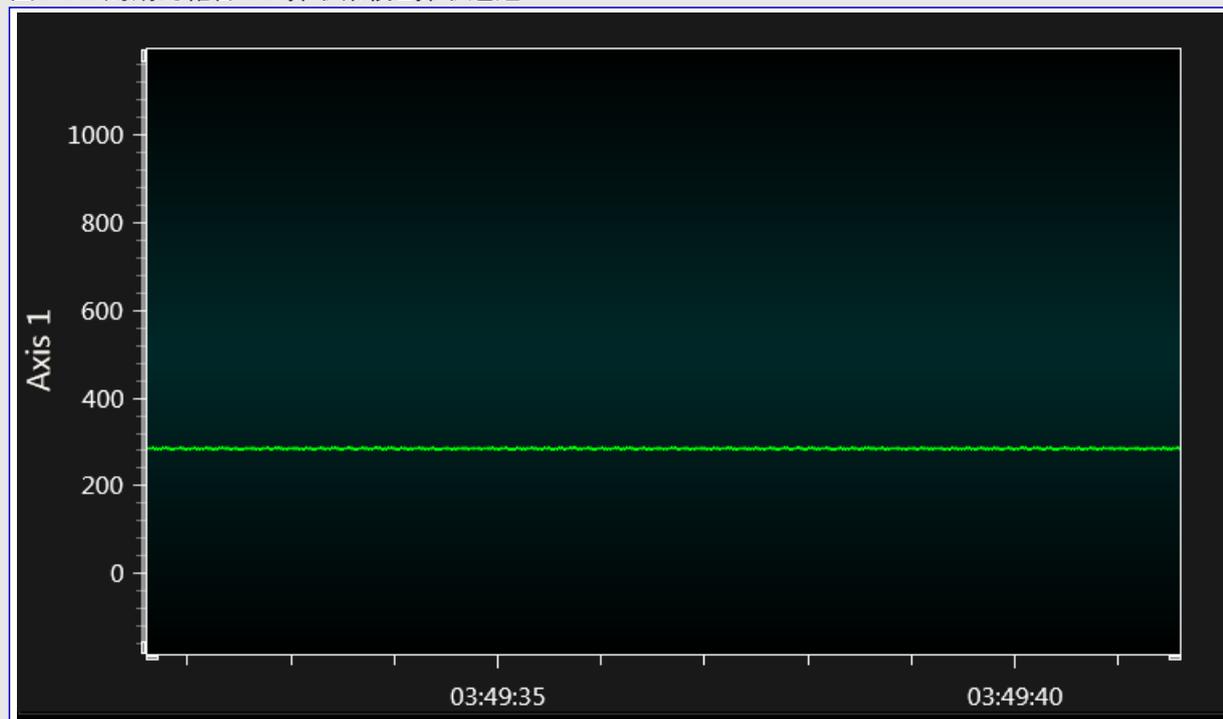
```
#define HARMONIC_NOISE 1
#define ADC_64X_ACCUMULATOR_ENABLE 1
#define SAMPLING_DELAY 5
#define ENABLE_ASDV 0
```

試験構成設定で、最大雑音濾波を得るために採取遅延の値(#define SAMPLING\_DELAY)は5に構成設定されています。これは試行錯誤を用いて構成設定されていて、構成設定毎に変わるかもしれません。

採取遅延が5に構成設定されると、結果としてのADC採取周波数は $3.33\text{MHz}/(13+5)=46\text{kHz}$ です。

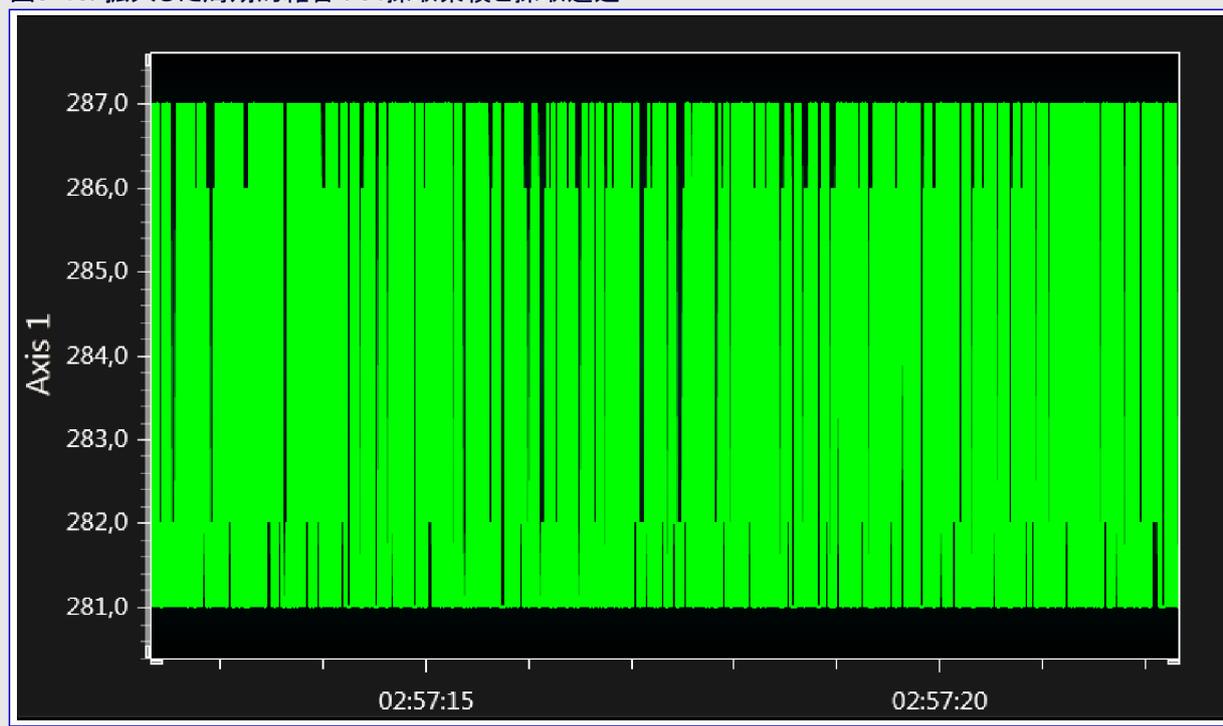
上のマクロ定義を持つコードでのデバイス書き込み後、データ可視器での図表は図5-14.で示されるとおりです。

図5-14. 周期的雑音 : 64採取累積と採取遅延



上の信号が拡大されるなら、その画像は図5-15.で示されるとおりです。

図5-15. 拡大した周期的雑音 : 64採取累積と採取遅延



過採取と採取遅延追加で、ADC結果計数範囲が更に減らされてその値は281～287で変わっています。それはADC結果計数範囲が $\pm 3$ 計数であることを意味し、それは構成設定したADC機能が雑音信号を抑制することに帰着してより良いADC結果を成し遂げることを示します。

## 6. Atmel | STARTからのソースコード取得

コード例は画像使用者インターフェース(GUI)を通して応用コードの構成設定を許すウェブに基づくAtmel | STARTを通して利用可能です。コードは下の直接コード例リンクまたはAtmel | START先頭頁のBROWSE EXAMPLES(例検索)鉤経由Atmel Studio 7とIAR Embedded Workbench®の両方に対してダウンロードすることができます。

Atmel | STARTウェブ ページ : <http://start.atmel.com/>

### コード例

- ADC応用のための雑音対策 (Noise Countermeasures for ADC applications) :
  - [http://start.atmel.com/#example/Atmel:noise\\_countermeasure:1.0.0::Application:Noise\\_Countermeasures\\_for\\_ADC\\_Applications](http://start.atmel.com/#example/Atmel:noise_countermeasure:1.0.0::Application:Noise_Countermeasures_for_ADC_Applications);
- megaAVR 0系統でのADC応用のための雑音対策 (Noise Countermeasures for ADC applications with megaAVR 0-series) :
  - [http://start.atmel.com/#example/Atmel:noise\\_countermeasure\\_megaavr:1.0.0::Application:Noise\\_Countermeasures\\_for\\_ADC\\_Applications\\_with\\_megaAVR\\_0-series](http://start.atmel.com/#example/Atmel:noise_countermeasure_megaavr:1.0.0::Application:Noise_Countermeasures_for_ADC_Applications_with_megaAVR_0-series);

例プロジェクトについての詳細と情報に関してはAtmel | STARTでUser guide(使用者の手引き)をクリックしてください。User guide鉤はAtmel | STARTプロジェクト構成設定部内の一覧画面でプロジェクト名をクリックすることにより、例閲覧部で見つけることができます。

### Atmel Studio

DOWNLOAD SELECTED EXAMPLE(選んだ例をダウンロード)をクリックすることにより、Atmel | STARTで例閲覧部からAtmel Studio用.atzipファイルとしてコードをダウンロードしてください。Atmel | START内からファイルをダウンロードするには、EXPORT PROJECT(プロジェクトをエクスポート)に続いてDOWNLOAD PACK(一括ダウンロード)をクリックしてください。

ダウンロードした.atzipファイルをダブル クリックしてください。プロジェクトがAtmel Studio 7.0に導入されます。

### IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbenchでプロジェクトをインポートする方法の情報についてはAtmel | START使用者の手引きを開き、Using Atmel Start Output in External Tools(外部ツールでAtmel START出力を使用)とIAR Embedded Workbenchを選んでください。Atmel | START使用者の手引きへのリンクは共に頁の右上隅に置かれたAtmel | START先頭頁からHelp(手助け)またはプロジェクト構成設定部内のHelp And Support(手助けと支援)をクリックすることによって見つけることができます。

## 7. 追補A : データ可視器での図表作図

**注:** データ可視器(Data Visualizer)の詳細な情報についてはデータ可視器(Data Visualizer)使用者の手引きを参照してください。

例のソースコードではADC結果値がUSARTを通してデータ可視器の直列端末に送られ、この直列端末のデータが図表を作図するための入力として注がれます。

ADC結果を直列端末へ送るのにデータ流し規約が使われます。

### 16ビット値を送るのにデータ流れ規約を使う方法

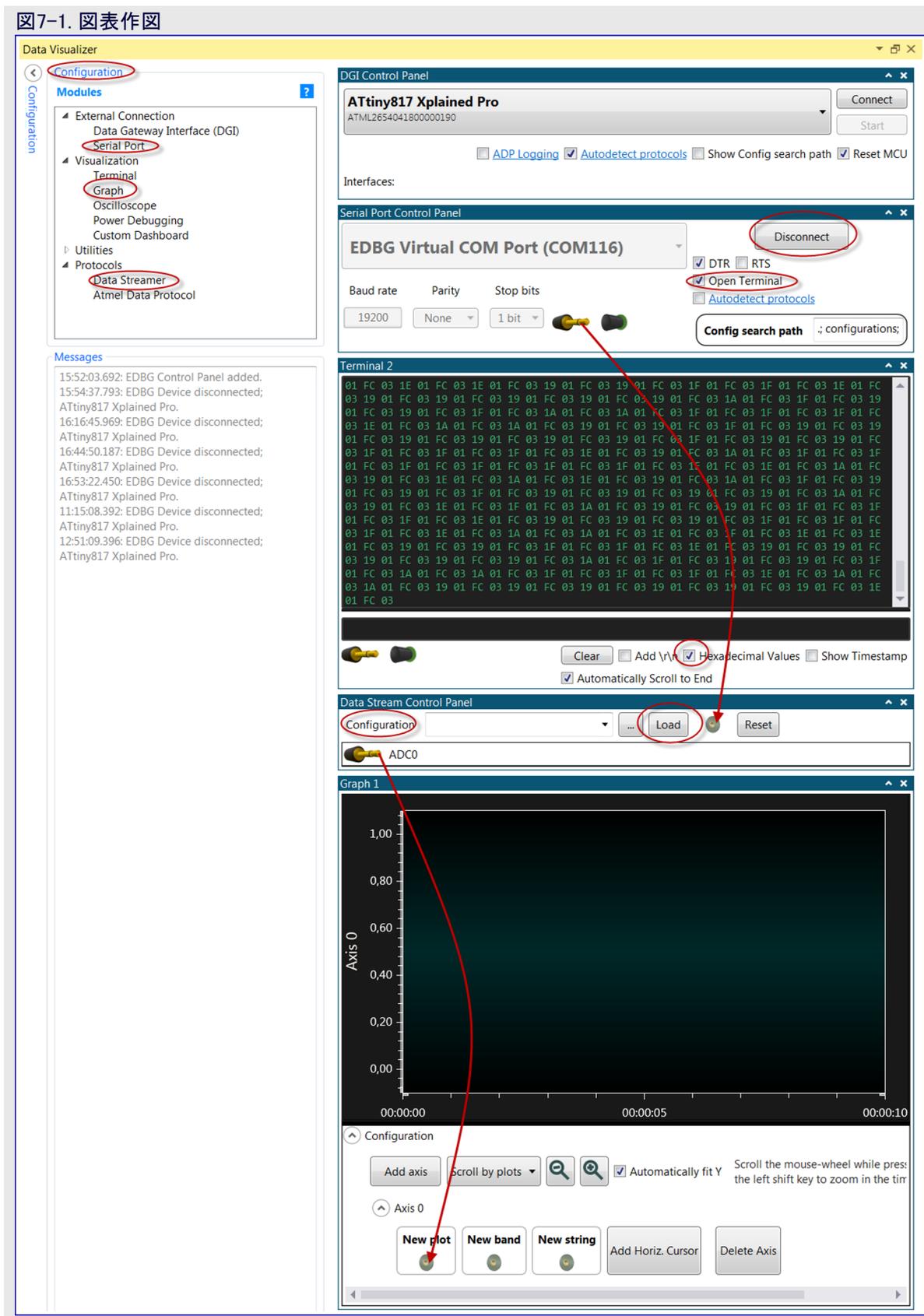
ADCは10ビットに構成設定され、この10ビットADCの結果は8ビットUSARTへ送ることが必要です。1つのADC結果値が2バイトとして送られるため、データ流し規約はADC結果を下のように直列端末へ送るのに使われ、そのために図表を作図するのに1つの16ビットデータが使われます。

```
USART_0_write(0x03);    // 開始
USART_0_write(adc_data_LSB);
USART_0_write(adc_data_MSB);
USART_0_write(0xFC);   // 終了
```

### データ可視器(Data Visualizer)構成設定

- Atmel Studio⇒Tools(ツール)⇒Data Visualizer(データ可視器)を開いてください。
- データ可視器でConfiguration(構成設定)⇒External Connection(外部接続)⇒Serial Port(直列ポート)を開いてください。
- EDBG Virtual COM port(EDBG仮想COMポート)を選んでその後にConnect(接続)を選んでください。
- Configuration(構成設定)⇒Visualization(可視化)⇒Data Streamer(データ流し部)を開いてください。
- Data Stream Control Panel(データ流し制御盤)に於いて、Configuration(構成設定)下で構成設定.txtファイルを検索してその後に読み込んでください。
  - 注:** データ流し部用に読み込まれた.txtファイルはD, 1, 1, ADC0の構成設定を持ちます。
  - 注:** データ流し部のより多くの詳細についてはデータ可視器(Data Visualizer)使用者の手引き - データ流れ規約を参照してください。
- Configuration(構成設定)⇒Visualization(可視化)⇒Graph(図表)を開いてください。
- 図表を作図するには図7-1の赤矢印で示されるように接続を引き摺ってください。

図7-1. 図表作図



図表でY軸を調節するには以下の点に従ってください。

- Graph(図表)内のConfiguration(構成設定)下でAutomatically Fit Y(Y自動適合)を選択解除してください。
- 作図領域内側の何処かをクリックしてください。
- Ctrlキーを押して保持する間にマウス ホイールをスクロールしてください。

**注:** Data Visualizer(データ可視器)⇒Graph(図表)のより多くの詳細についてはデータ可視器(Data Visualizer)使用者の手引き - 図表を参照してください。

## 8. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
A	2017年9月	初版資料公開
B	2018年2月	tinyAVR 0系統とmegaAVR 0系統の支援を追加
C	2018年10月	「関連デバイス」章で図1-1.、図1-2.、図1-3.を更新。文法と句読法を修正。

## Microchipウェブ サイト

Microchipは<http://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手段として使われます。お気に入りのインターネット ブラウザを用いてアクセスすることができ、ウェブ サイトは以下の情報を含みます。

- **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
- **一般的な技術支援** – 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相談役プログラム員一覧
- **Microship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

## お客様への変更通知サービス

Microchipのお客様通知サービスは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<http://www.microchip.com/>でMicrochipのウェブ サイトをアクセスしてください。”Support”下で”Customer Change Notification”をクリックし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
- 現場応用技術者(FAE:Field Application 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、または現場応用技術者(FAE)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<http://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、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- コード保護機能を破るのに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全ては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です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と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れらのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を”破ることができない”として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

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれ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。Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、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。Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。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、免責に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、Mcirochipロゴ、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoqロゴ、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-Wire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、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、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、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。

Silicon Storage Technology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。

© 2018年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

## DNVによって認証された品質管理システム

### ISO/TS 16949

Microchipはその世界的な本社、アリゾナ州のチャンドラーとテンペ、オレゴン州グラシャムの設計とウェハー製造設備とカリフォルニアとインドの設計センターに対してISO/TS-16949:2009認証を取得しました。当社の品質システムの処理と手続きはPIC<sup>®</sup> MCUとdsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ符号飛び回りデバイス、直列EEPROM、マイクロ周辺機能、不揮発性メモリ、アナログ製品用です。加えて、開発システムの設計と製造のためのMicrochipの品質システムはISO 9001:2000認証取得です。

日本語© HERO 2021.

本応用記述はMicrochipのAN2551応用記述(DS00002551C-2018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。



**MICROCHIP**

## 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
<b>本社</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: <a href="http://www.microchip.com/support">http://www.microchip.com/support</a> ウェブアドレス: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	<b>オーストラリア - シドニー</b> Tel: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> Tel: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> Tel: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重慶</b> Tel: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 東莞</b> Tel: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 広州</b> Tel: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> Tel: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特别行政区</b> Tel: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> Tel: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青島</b> Tel: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> Tel: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 瀋陽</b> Tel: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> Tel: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 蘇州</b> Tel: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武漢</b> Tel: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> Tel: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 廈門</b> Tel: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> Tel: 86-756-3210040	<b>インド - ハンガロール</b> Tel: 91-80-3090-4444 <b>インド - ニューデリー</b> Tel: 91-11-4160-8631 <b>インド - フネー</b> Tel: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> Tel: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 東京</b> Tel: 81-3-6880-3770 <b>韓国 - 大邱</b> Tel: 82-53-744-4301 <b>韓国 - ソウル</b> Tel: 82-2-554-7200 <b>マレーシア - クアラルンプール</b> Tel: 60-3-7651-7906 <b>マレーシア - ペナン</b> Tel: 60-4-227-8870 <b>フィリピン - マニラ</b> Tel: 63-2-634-9065 <b>シンガポール</b> Tel: 65-6334-8870 <b>台湾 - 新竹</b> Tel: 886-3-577-8366 <b>台湾 - 高雄</b> Tel: 886-7-213-7830 <b>台湾 - 台北</b> Tel: 886-2-2508-8600 <b>タイ - バンコク</b> Tel: 66-2-694-1351 <b>ベトナム - ホーチミン</b> Tel: 84-28-5448-2100	<b>オーストリア - ウェルス</b> Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 <b>デンマーク - コペンハーゲン</b> Tel: 45-4450-2828 Fax: 45-4485-2829 <b>フィンランド - エスポー</b> Tel: 358-9-4520-820 <b>フランス - パリ</b> Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 <b>ドイツ - ガルピング</b> Tel: 49-8931-9700 <b>ドイツ - ハーン</b> Tel: 49-2129-3766400 <b>ドイツ - ハイムブロン</b> Tel: 49-7131-67-3636 <b>ドイツ - カールスルーエ</b> Tel: 49-721-625370 <b>ドイツ - ミュンヘン</b> Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 <b>ドイツ - ローゼンハイム</b> Tel: 49-8031-354-560 <b>イスラエル - ラーナナ</b> Tel: 972-9-744-7705 <b>イタリア - ミラノ</b> Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 <b>イタリア - ハドバ</b> Tel: 39-049-7625286 <b>オランダ - デルフト</b> Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 <b>ノルウェー - トロンハイム</b> Tel: 47-72884388 <b>ポーランド - ワルシャワ</b> Tel: 48-22-3325737 <b>ルーマニア - ブカレスト</b> Tel: 40-21-407-87-50 <b>スペイン - マドリード</b> Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 <b>スウェーデン - イェテボリ</b> Tel: 46-31-704-60-40 <b>スウェーデン - ストックホルム</b> Tel: 46-8-5090-4654 <b>イギリス - ウォーキングム</b> Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820
<b>アトランタ</b> Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455			
<b>オースチン TX</b> Tel: 512-257-3370			
<b>ボストン</b> Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088			
<b>シカゴ</b> Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075			
<b>ダラス</b> Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924			
<b>デトロイト</b> Novi, MI Tel: 248-848-4000			
<b>ヒューストン TX</b> Tel: 281-894-5983			
<b>インディアナポリス</b> Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380			
<b>ロサンゼルス</b> Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800			
<b>ローリー NC</b> Tel: 919-844-7510			
<b>ニューヨーク NY</b> Tel: 631-435-6000			
<b>サンホセ CA</b> Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270			
<b>カナダ - トロント</b> Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078			