

# センサ&計測 教室 ①

## 本格的な計測も超簡単!

# センシング USB マイコン 基板付き増刊を制作中

PIC マイコンと  
高性能 A-D コンバータ搭載!

高野 慶一  
Keiichi Takano

編集部では、通巻555号を記念して、アナログ性能の高いUSBマイコン基板を付属した増刊「今すぐ使える! センシングUSBマイコン基板」(2010年12月発売予定)を制作中です。

### ▶ 主な部品

付属基板に搭載される主な部品は次のとおりです。

- (1) アナログ信号を1600万分の1に分解しデジタル信号に変換するA-Dコンバータ (AD7793)
- (2) USBとA-DコンバータをインターフェースするPICマイコン (PIC18F14K50)

本付属基板の特徴を決めているA-Dコンバータは、温度センサやセンサ励起用の電流源、可変ゲイン・アンプを内蔵しています。増刊にはCD-ROMも付属する予定です。CD-ROMには、パソコン計測用のアプ

リケーション・ソフトウェアが収録されます。

記事では、A-Dコンバータに内蔵された温度センサを動かすところから解説をスタートするので、増刊から付属基板を取り出してパソコンのUSBに接続して、このアプリケーション・ソフトウェアをインストールするだけで始めることができます。

### ▶ 良い道具を使えば本格的な計測も簡単になる

ちょっと計算するだけで、付属基板に搭載されるA-Dコンバータは、汎用のワンチップ・マイコンに多い分解能8~10ビットのA-Dコンバータとは比べ物にならない性能をもっていることがわかります。

$$8 \text{ ビット} = 2^8 = 256$$

$$24 \text{ ビット} = 2^{24} = 16777216$$

このように、アナログ信号をきざむ能力(分解能)が65536倍もあります。そんなに本格的な性能は要らな

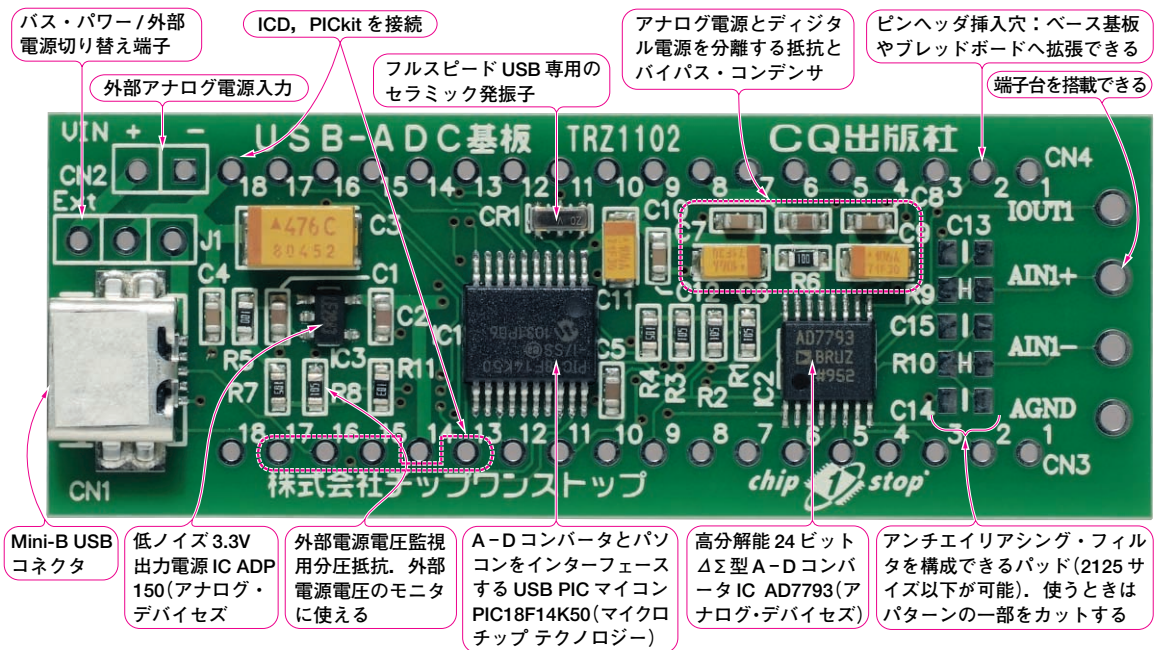


写真1 2010年12月16日発売予定の増刊号の付属基板  
センサを直結してUSBに挿すだけですぐに試せる。基板寸法は22×60×6mm

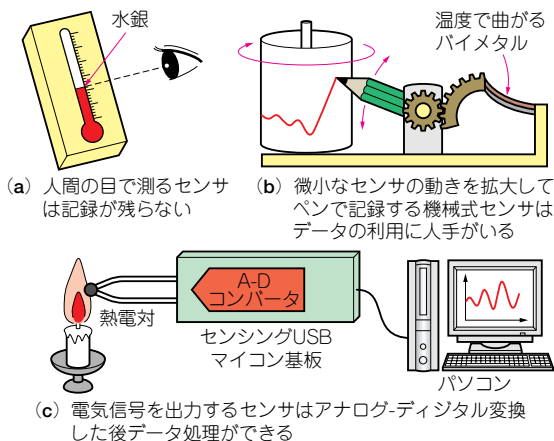


図1 温度を検出する方法はいろいろあるが電気信号で検出すれば記録や補正などのデータ処理が可能

いと思われるかもしれませんが、実は、この高性能がアナログ信号の分析をととてもやりやすくしてくれます。変化の大きい信号、例えば1g~1トンの重さ信号を読み込ませた場合を考えてみると、

- ワンチップ・マイコン：3.9 kg ぎざみ
- AD7793の場合：0.0596 g ぎざみ

となり、ワンチップ・マイコンでは、1gの重さを読み取ることができません。読み取るためには、A-Dコンバータの前段にアンプを挿入して、測る重さに合わせてゲインを変えなければなりません。でも、AD7793なら、そんなことをしなくても、丸ごと読み込ませてしまっても、1gの重さを0.0596g単位にきざんでくれます。つまり、信号の変化幅が大きくても、まるで野菜ジュースのように丸ごと読み込ませると、形の整った細かい信号に刻まれたデジタル信号を出力してくれるわけです。細かいことを気にする必要はありません。難しそうなことは良い道具で解決すればよいのです。

▶ 汎用のUSBマイコン基板としても使える

もちろん付属基板は、汎用のUSBマイコン基板としても利用できます。搭載されているUSB PICマイコン PIC18F14K50のピンの一部は次の用途に利用されています。

- USBとA-Dコンバータをインターフェースする
- AD7793のコントロール

それ以外のピンはすべて付属基板の周囲にあるピン・ヘッダ挿入穴に引き出されており、最大7チャンネルまでの入出力制御が可能です。ICDやPICkitなどの書き込み器をつなぐ端子もあるので、カスタマイズも可能です。

\*

本稿では、計測にも使える高性能な付属基板の概要をお伝えします。

〈編集部〉

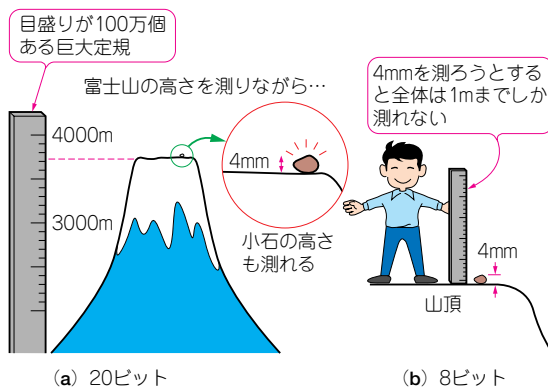


図2 高分解能であれば富士山ごと大きさを測定しても、頂上にある小石の大きさを判別できる  
付属基板に搭載されているA-Dコンバータは変化の大きい信号を丸ごと読み込ませてしまっても細かく分解してくれる

付属基板を使ってできること

- センサを直結しているいろいろな物理量をPCで測定  
温度、明るさ、長さ、重さなど、この世に存在するものはさまざまな物理的な量を持ちます。その量は基準と比較して、測定が行われます。物理的な量を測定できる信号に変換するのが、**センサ**(sensor)です。  
身近なセンサとして温度計を挙げてみましょう(図1)。寒暖計や理科の実験で使う棒温度計は、人間の目で目盛りと比較して値を判定するセンサです。記録としては残らないので、通常は見やすい位置や被測定物に設置して使います。  
一方、気象測定の現場では温度の記録をとるために記録紙に直接書き込むセンサが使われています。バイメタルという温度で変位する金属のわずかな変化を機械的に増幅して直接ペンを動かし、ゼンマイの原理で記録紙を送るといった電気をまったく使わないオール機械式もあり、いまでも現役で活躍しています。無人でも記録が取れることが大きな利点ですが、記録の利用には手作業での文書化が必要です。  
そして、産業用では、無人での測定や遠隔監視、そしてパソコンで直接利用できるデータ形式が求められ、それを可能にするセンサが使われています。それらは電気信号に変換して出力され、パソコンの入り口となるA-Dコンバータに入力できます。  
センシングUSBマイコン基板に搭載しているA-Dコンバータには低速直流~低い周波数で出力するセンサが適しています。例えば、**温度や湿度、圧力、ひずみ、ガス濃度などのセンサが向いています。**
- 24ビット=1/1600万きざみなので誰でも高分解能測定が可能  
センシングUSBマイコン基板に搭載されている

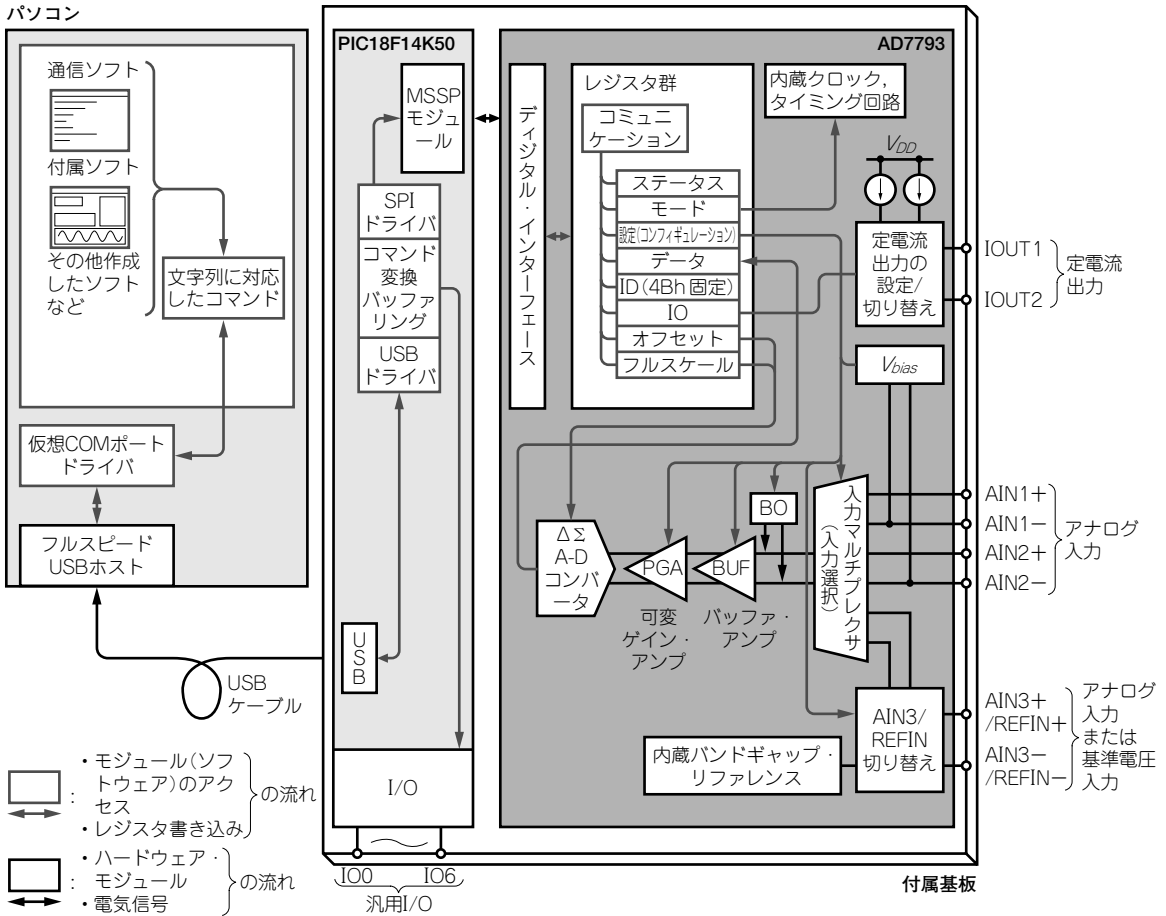


図3 付属基板の機能ブロック

表1 付属基板の仕様

項目	内容
基板サイズ	22 × 60 × 6 mm
汎用 I/O ポート数	7 本(出力電流 ± 25 mA <sub>max</sub> )
使用温度範囲	0 ~ 70℃
湿度	RH90 %以下(結露無きこと)
電源	USB バス・パワー(外部電源も可能)
USB	Mini-B5 ピン, フルスピード(12 Mbps)

A-Dコンバータは24ビットの分解能を持ちます。換算すると、1600万分の1ものとてもない分解能です。実質的には20ビット(100万分の1)ぐらいが上限となります。なお、電源部には低ノイズの電源ICを採用しました。

この分解能があれば、例えるならば富士山(約3800m)の全貌を見ながら4mmの小石が判別できることになります。8ビット分解能の場合4mmを測ろうとすると、全体としては1mしかとらえられません(図2)。

言い換えれば、分解能はデジカメの画素数に似ています。8ビットA-Dコンバータを6万画素に例える

表2 搭載されている24ビットΔΣ型A-DコンバータAD7793の仕様

項目	内容
有効分解能	23 ビット
RMS ノイズ	40 nV@4.17 Hz/85 nV@16.7 Hz
消費電流	400 μA <sub>typ</sub> (パワー・ダウン時は1 μA)
更新レート	4.17 ~ 500 Hz
積分非直線性	± 15 ppm <sub>max</sub>
オフセット誤差	± 1 μV <sub>typ</sub>
オフセット誤差の温度ドリフト	± 10 nV/℃ <sub>typ</sub>
フルスケール誤差	± 10 μV <sub>typ</sub>
ゲインの温度ドリフト	± 1 ppm/℃(ゲイン1 ~ 16倍), ± 3 ppm/℃(ゲイン32 ~ 128倍)
電源電圧変動除去比	100 dB <sub>min</sub>

と、24ビットでは300兆画素に相当します。拡大すればいくらかでも細かく表示できるので、まるごと撮影して細部を拡大表示する手段が可能になります。

6万画素(8ビット相当)で山頂の小石を撮影するには富士山に登って近くからの撮影が必要です。ところが登ってしまうと今度は全体の大きさが判らなくなる

表3 付属基板に搭載されている USB PIC マイコン PIC18F14K50 の仕様

項目	内容
クロック	48 MHz
ROM	16 K バイト (8 K ワード), フラッシュ
RAM	768 バイト RAM (USB 用 256 バイト含む)
データ・メモリ	256 バイト EEPROM

(a) 主な仕様

項目	端子数
10 ビット A-D コンバータ	4
PWM	1
MSSP (Master Synchronous Serial Port)	1 (SPI として使っている)
D-A コンバータ	1 (電圧リファレンスとして使える)
USART	1

(b) ファームウェア変更で使える機能

ので一度に測定できないことになります。

電気信号でも同じことが言えます。これまでブリッジ回路などの駆動回路で検出信号を拡大する工夫がされてきましたが、高分解能を利用すれば丸ごと読み込んでから微小変化分を取り出す、という芸当ができるのです。

### ● USB 経由でパソコンから A-D コンバータを操作できる

A-D コンバータ IC は、初期の平行出力から、SPI や I<sup>2</sup>C などのシリアル・インターフェース方式をとり DSP に直結できるものが多くなっています。操作方法も内蔵のレジスタに値を書き込む方式が普通になっており、マイコンによる制御が必須です。

コマンド方式の A-D コンバータを使うには、内部レジスタや内蔵機能の理解が要求され、また、使うためのマイコン回路やファームウェアの作成が必要です。

図3にセンシング USB マイコン基板の回路ブロックを示します。USB-SPI 変換機能をプログラムした PIC マイコンを搭載し、24 ビット ΔΣ 型 A-D コンバータ AD7793 をパソコンから直接制御できます。

A-D コンバータのコマンドと対応した文字列により操作することで、専用 API やドライバが不要になり、汎用のターミナル・ソフトからでも操作できます。

## 付属基板と搭載部品の仕様

### ● 仕様

仕様を表1に示します。

アナログ入力1 (AIN1) は、アンチエイリアス・フィルタや、端子台を簡単に実装できるパッドを設けています。

信号線は 600 mil (15.24 mm) 幅の DIP コネクタ (36 ピン相当) に出力しており、連結コネクタでベース・ボードやブレッドボードへ拡張できます。

増刊付属 CD-ROM に収録した Windows 用ソフトウェアを使えば、A-D コンバータ IC のレジスタを操作しながら測定できます。

### ● 搭載デバイス

▶ 24 ビット ΔΣ 型 A-D コンバータ IC AD7793

表2に仕様を示します。

外部からゲインを設定できるインストゥルメンテーション・アンプやドリフトが 4ppm/°C<sub>typ</sub> のバンドギャップ・リファレンス、クロック発振器、50 Hz/60 Hz を同時除去するノッチ・フィルタ、プログラマブル電流源などを内蔵する、オール・イン・ワンの A-D コンバータ IC です。

▶ USB PIC マイコン PIC18F14K50

表3に仕様を示します。

付属基板では USB と A-D コンバータ IC の SPI の橋渡しに使っていますが、未使用ポートを汎用 I/O ポートとして開放しており文字列コマンドによる I/O 操作が可能です。

PICKIT2/3、ICD3 が使えるファームウェアを改造すれば、USART (調歩同期式シリアル・インターフェース) や PWM 出力、10 ビット A-D 変換入力などとして機能させられます。フリー・メモリは 5 K ワード以上です。

8 × 8 ハードウェア乗算器や 1.024 V リファレンス電圧源、発振器を内蔵し、スリープ電流は 24 nA です。

なお、基板では I/O ポートはハイ・インピーダンスの不安定入力を防止するため、電源投入時は全てロー・レベルの出力に設定しています。

▶ 3.3 V, 150mA の電源 IC ADP150

A-D コンバータの高分解能を 100% 引き出すには、低ノイズな電源で動かす必要があります。低ノイズタイプの電源 IC ADP150 で電圧変動を除去し、USB マイコン基板にノイズが重畳しないようにしています。

## パソコン用ソフトウェア

A-D コンバータ機能を中心に、付属基板を学習しながら操作できる Windows アプリケーション「USB-ADC General Console」を付属 CD-ROM に収録しています。図5に表示画面を示します。

VisualBasic.NET で作成しており、データの受け渡しは文字列により送受信しています。増刊では、ターミナル・ソフトウェアでの手動操作方法を通じて、コマンドの解説や、VisualBasic.NET でのプログラム作成方法を説明しています。



測定するチャンネルを選択。ICのノイズ性能測定に使える差動入力端子短絡のほか、内蔵の温度センサや駆動電圧測定も選択できる

よく使う設定を保存する

あらかじめ保存していた設定を読み出す

4.17~500Hzの更新レートを設定

指定した回数を連続サンプリング

内蔵PGAのゲイン設定。デフォルトでは1倍

測定後のデータを、エクセルなどで使えるCSVファイルとして保存

測定データの変化

(a) 測定に最小限必要な設定ができる標準設定画面

動作モード、キャリブレーションを設定

熱電対などグラウンドからの基準電位が定まっていない浮いた差動入力に固定するために入力の片方を電源電圧の約1/2に接続(バイアス)する機能

出力形式を、両極性(パイ)、正極性(ユニ)にするかを選ぶ

基準電圧源を選ぶ

入力バッファの設定。ゲイン1~2倍の間で可能。それ以上は自動的にバッファ・オンが選択される

バイアス時の供給電流を増やして立ち上がりを強化

センサ駆動用定電流源の出力形態を設定

センサ駆動用定電流源を、未使用/10μ/210μ/1mAに設定

A-Dコンバータに送信されるI/Oレジスタの値

A-Dコンバータに送信されるコンフィグレーション・レジスタの値

(b) A-Dコンバータ(AD7793)の機能を設定する詳細設定画面

チャンネルごとにゲイン設定可

測定したいチャンネルにチェックを入れる

A-DコンバータICに内蔵されている温度センサも同時利用できる

ゲイン4倍以上は内部でバッファを自動的にON

個別の更新レートを設定できる。各レートの2倍の時間がかかるのでサンプル間隔が伸びることがある

最大10000サンプルで自動終了

(c) パソコンのクロックを使って各チャンネルのデータをA-Dコンバータ(AD7793)の2倍の変換レートでロギング

図5 増刊号の付属CD-ROMに収録のソフトウェアでパソコンを使うとA-DコンバータIC(AD7793)を操作しながらデータを精度良く取り込める