

アナログを扱えば応用範囲が広がる


A-Dコンバータの使いこなし

PICは、温度、明るさ、流量、ひずみなど物理量を測定するセンサなどからのアナログ・データ出力を10ビットのデジタル・データに変換する機能をもっています。この章では、PICに内蔵されているこのA-Dコンバータを利用して、アナログ入力処理を実際に試します。

12-1 アナログ入力データの処理について

A-Dコンバータが内蔵されている

PICのモデルの中には、センサなどからのアナログ入力電圧をデジタル化するためのA-D変換回路が内蔵されています。このA-D変換モジュールのビット数や入力数はモデルによって異なりますが、PIC 16F877Aの概要を図12-1に示します。

A-D変換モジュールは、アナログ入力電圧  データをデジタル・データに変換します。このデジタル変換は基準電圧を基に変換します。基準電圧としてプラス側は電源電圧の5V、マイナス側はグラウンドとして特別にPIC外部に用意しない方法と、電源電圧以外にきりの良い変換値を得るため、または基準電圧の精度が変換精度に直接響くので精度を上げるために別に用意する方法もあります。8ビットの分解能で、基準電圧が2.56Vの場合、変換された最小単位は10mVになります。10ビットの場合、基準電圧を2.048Vにすると最小単位が2mVのデジタルの値に変換することができます。

アナログ入力信号は最大8入力の信号を取り扱えます。そのため、複数のセンサの信号を外部に切り替え回路を付けずに取り扱うことができます。8入力の信号は、ポートAの6端子の内RA₄を除いた5端子と、ポートEの全端子の3端子で計8端子が割り当てられています。リセット時に、これらの端子はすべてアナログ入力に設定されています。また、これらの端子はデジタル入出力とアナログ入力とを混在させる設定にもできます。A-D変換に関連するレジスタとしては、ADCON0レジスタ(図12-2)、ADCON1レジスタ(図12-3)があります。

このアイコンは、章末に用語解説があります

ポートの割り当て、変換データのフォーマットはADCON1レジスタで

リセット後は、アナログ入力ポートになれるポートは、すべてアナログ入力ポートに設定されています。初期設定のところではこれらのポートを、用途に合わせたアナログ・ポート、デジタル・ポートに変更します。この設定は、ADCON1レジスタのPCFG3(b₃)~PCFG0(b₀)の4ビットの組み合わせで決まります。組み合わせは、全8ポートをアナログ入力として設定するリセット後のデフォルトの指定から、RA₀/AN₀の1ポートのみアナログ入力として残りをデジタル汎用入出力とする設定まで、15パターンが用

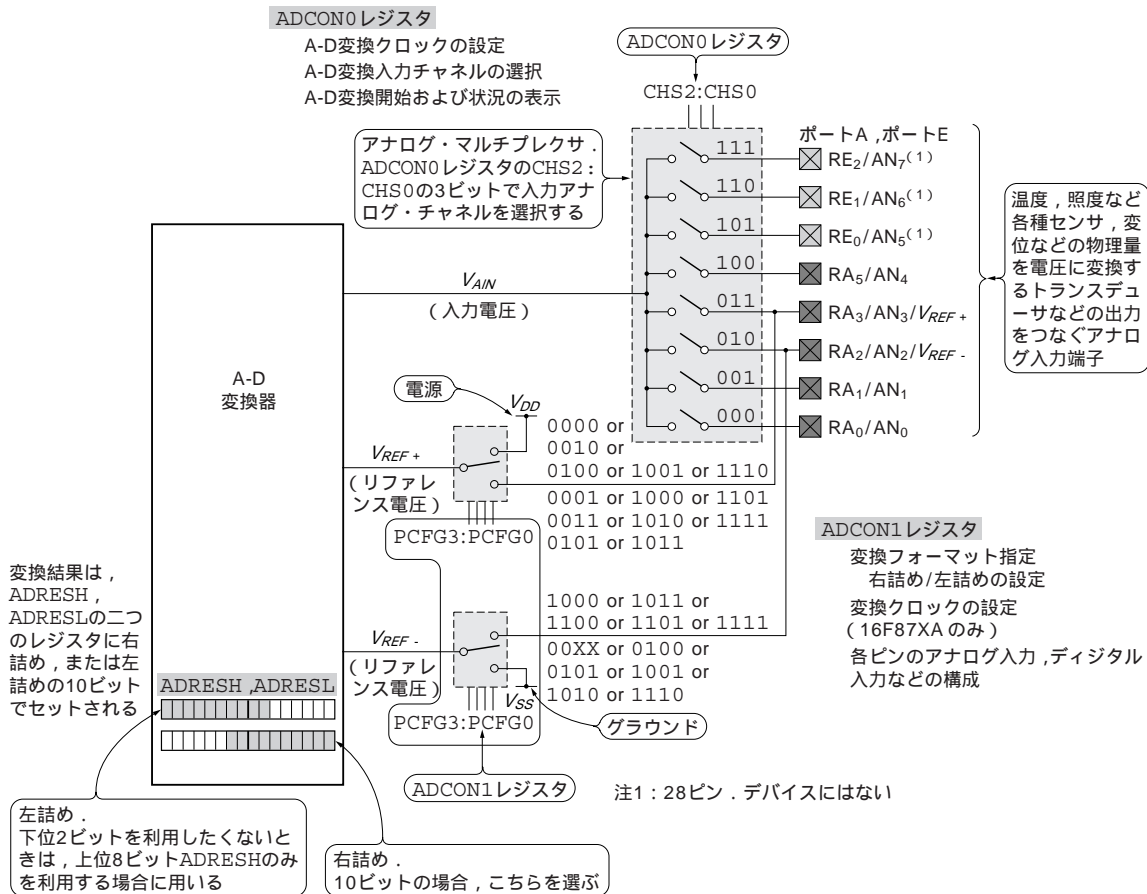


図 12-1(1) 16F87X の A-D 変換機能のブロック図

センサなどからのアナログ電圧の入力を、8 入力マルチプレクサで選択し、A-D 変換器で 10 ビットのデジタル・データに変換する。

意されています。

また、A-D 変換する際の基準電圧を、電源電圧および V_{SS} のグラウンド電圧以外に、プラス側の基準電圧入力端子として RA_3/AN_3 を、マイナスの基準電圧の入力端子として RA_2/AN_2 を設定することができます。必要とするアナログ入力、デジタル入力の数、基準電圧をどうするかによって、用途に合った適切な組み合わせを選択します。

一つの A-D 変換器(コンバータ)を共用する

A-D 変換器は一つしかないので、8 入力のアナログ入力データはマルチプレクサ^①によって切り替えられて処理します。8 端子の入力ですから 3 ビットの選択値があれば、それぞれの入力を指定できます。具体的には、アナログ入力チャネルの指定を ADCON0 レジスタの CHS0 ~ CHS2 の 3 ビットの値で指定します。

アナログ入力の AN_3 、 AN_2 は A-D 変換の対象となるアナログ入力に対する +リファレンス電圧 (V_{REF+})、-リファレンス電圧 (V_{REF-}) 入力端子として設定することもできます。この端子をリファレンス入力と設定しない場合は、 V_{DD} (電源電圧) と V_{SS} (グラウンド) がリファレンス電圧として利用されます。 V_{DD} をリ

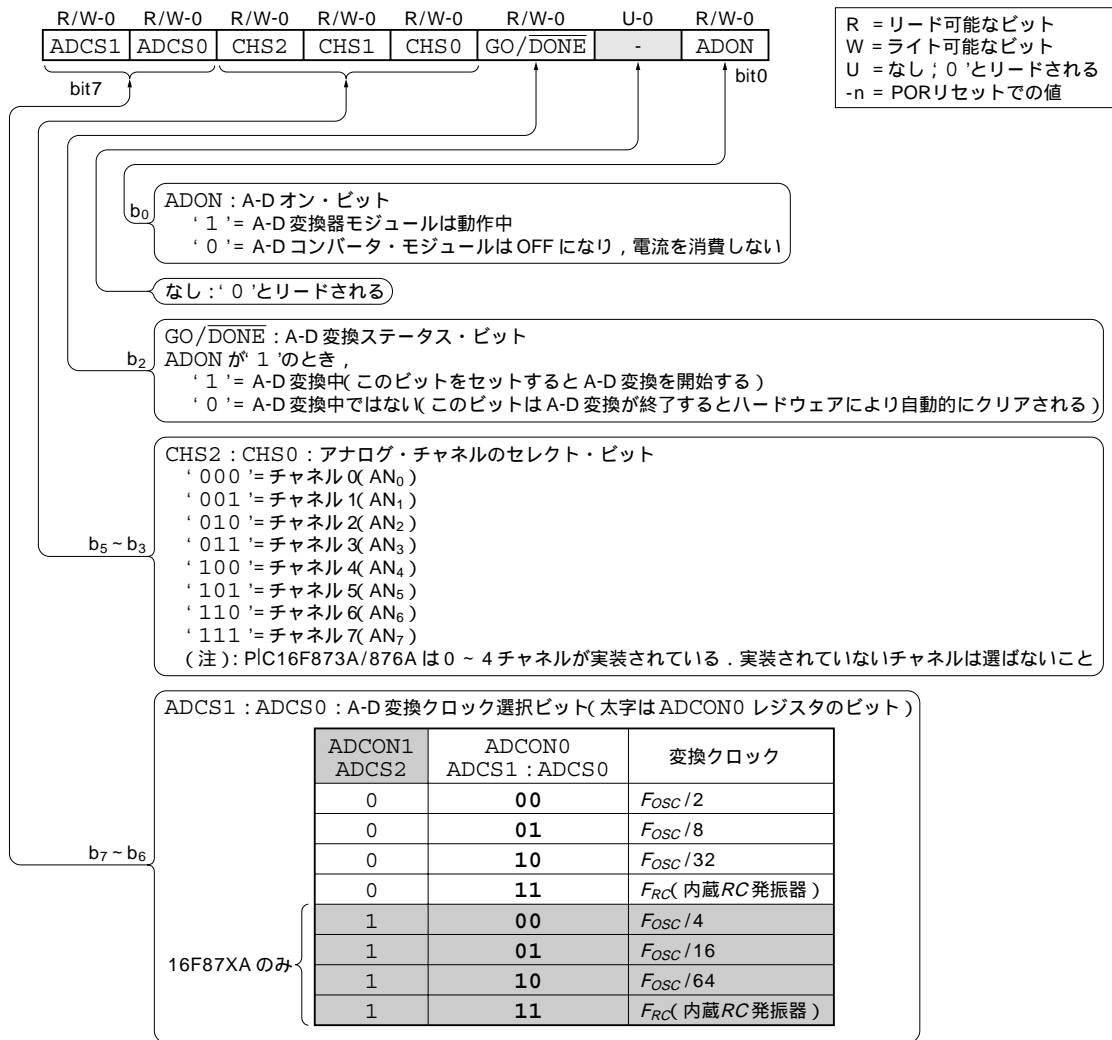


図12-2⁽²⁾ ADCON0レジスタ(1Fh)の内容

ファレンス電圧にした場合は、 V_{DD} の電圧がA-D変換するアナログ入力のフル・スケールとなります。
5Vの電源電圧で、10ビットのA-D変換を行うとすれば、 $5V / 1024 = 約5mV$ の分解能となり、8ビットのA-D変換を想定すると約20mVが最小単位となります。測定結果の精度が要求される場合は、リファレンス電圧入力端子に、別途作成した基準となる電圧を加えます。

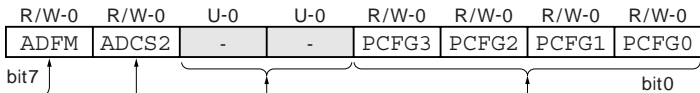
ポートAブロックの構造

アナログ入力割り当てられている端子内部の様子を図12-4に示します。少し面倒のように見えますが、実によく工夫されているので、内容を確認してみます。

ポートAは6ビットの双方向デジタル・ポートで、RA₄を除いて同じ端子をアナログ入力の端子として共用しています。RA₄はオープン・ドレイン出力となっており、タイマ・カウンタ0の入力ともなります。アナログ入力はそのほかにポートEの3入力にも用意されていて、全体で8入力のアナログ入力まで

MSb Most Significant bit

LSb Least Significant bit



R = リード可能ビット
W = ライト可能ビット
U = なし; 0 'とリードされる
-n = PORリセットでの値

PCFG3 : PCFG0 : A-Dポート構成のコントロール・ビット

PCFG 3 : 0	AN ₇ RE ₂	AN ₆ RE ₁	AN ₅ RE ₀	AN ₄ RA ₅	AN ₃ RA ₃	AN ₂ RA ₂	AN ₁ RA ₁	AN ₀ RA ₀	V _{REF+}	V _{REF-}	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	8/0
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A	AN ₃	V _{SS}	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5/0
0011	D	D	D	A	V _{REF+}	A	A	A	AN ₃	V _{SS}	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V _{DD}	V _{SS}	3/0
0101	D	D	D	D	V _{REF+}	D	A	A	AN ₃	V _{SS}	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	-	-	0/0
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	AN ₃	AN ₂	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	6/0
1010	D	D	A	A	V _{REF+}	A	A	A	AN ₃	V _{SS}	5/1
1011	D	D	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	AN ₃	AN ₂	4/2
1100	D	D	D	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	AN ₃	AN ₂	3/2
1101	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	AN ₃	AN ₂	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V _{DD}	V _{SS}	1/0
1111	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF-}	D	A	AN ₃	AN ₂	1/2

A = アナログ入力, D = デジタルI/O
C/R = アナログ入力チャンネル数 / A-D 基準電圧端子数

なし: '0' とリードされる

ADCS2 : A-D変換クロック選択ビット(16F87XAのみ、太字はADCON1レジスタのビット)

ADCON1 ADCS2	ADCON0 ADCS1 : ADCS0	変換クロック
0	00	F _{OSC} /2
0	01	F _{OSC} /8
0	10	F _{OSC} /32
0	11	F _{RC} (内蔵RC発振器)
1	00	F _{OSC} /4
1	01	F _{OSC} /16
1	10	F _{OSC} /64
1	11	F _{RC} (内蔵RC発振器)

ADFM : A-D変換結果のフォーマット選択ビット
'1' = 右詰め. ADRESHの6MSb①は'0'とリードされる
'0' = 左詰め. ADRESLの6LSb①は'0'とリードされる

(注): リセット後, アナログ・ファンクション(AN_x)に多重に割り当てられているピンは, アナログ入力になる

図 12-3⁽²⁾ ADCON1(9Fh)のレジスタの内容

処理できます。

ポートEはアナログ入力のほか, 汎用デジタル入出力以外にもパラレル通信の制御信号の役割も用意されていますが, このブロック図には汎用デジタル入出力, アナログ入力の部分のみ記載しています。

アナログ入力利用時の留意事項として, アナログ入力利用時であっても汎用デジタル出力の機能は生

この印は頁右上に略語の語源の説明があります

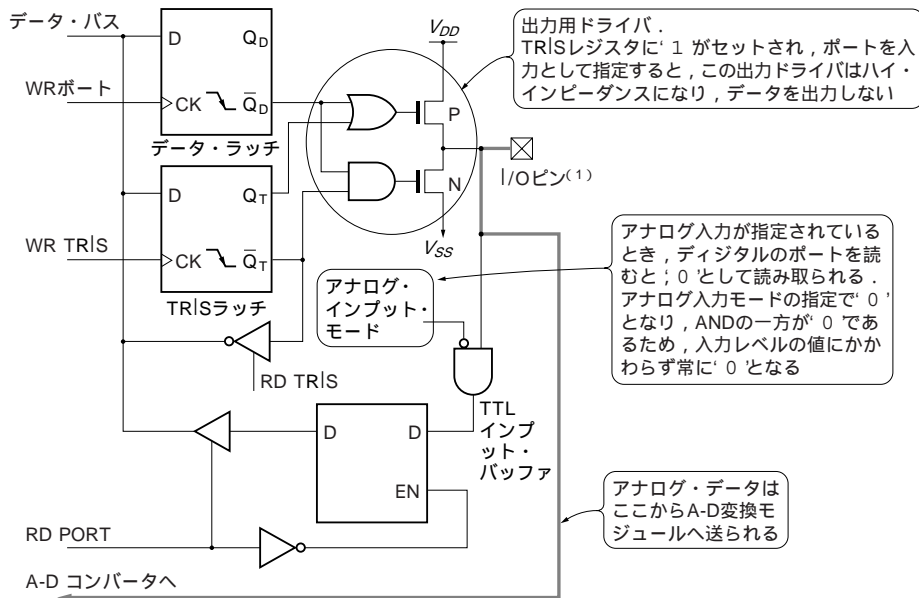


図12-4 アナログ入力は汎用デジタルI/O端子に接続されている

アナログ入力のときにデジタル入力ポートを読み込むと、単に '0' になる。アナログ入力を指定したら、デジタル入出力ポートは必ず入力ポートに設定する。

きていて、TRIS レジスタに '0' を書き込むとデジタル・データが出力に現れてしまい、アナログ入力
が正しく行えません。そのため、必ず各ポートが入力モードになっていることを確認する必要があります。
また、デジタル・ポートを読み込むこともできますが、読み込んだ値は、図に示すようにアナログ入力
モードのときには常に '0' となります。

アナログ・データのサンプリング

マルチプレクサで選択されたアナログ・データ(電圧)は、A-D変換器で変換する間変化させずに保持し
ておく必要があります。また、対象が変化するアナログ・データの場合はサンプリングしたアナログ・デ
ータの値を変換が完了するまで記憶(保持)しておく必要があります。保持するために、図12-5に示すよ
うにコンデンサ(チップ内にある)が用いられています。

変化するアナログ入力も正確に測定するために、サンプリングはできるだけ短時間のほうがのぞましい
です。この時間を「アキュイジション(取得)時間」と呼びます。取得したデータをA-D変換して結果が所定
のレジスタにセットされるまでの時間を「変換時間」と呼び、この両方の時間の合計がA-D変換サンプリ
ング時間となります。

正しいデータの変換を行うために、これらの変換時間を中断することなく適切に満足させなければなり
ません。図12-5に示すモデルを用いた最小必要アキュイジション時間の計算方法を、図12-6に示します。
実際のA-D変換では、この条件を満足させるためにチャンネルを選択した後、このデータの「アキュイジ
ョン時間」を待ってから変換処理を開始します。

データの「変換時間」は、A-D変換器に加えるクロックの周波数で決まります。推奨範囲は1.6 μ s ~ 6.4
 μ sの範囲が指定されています。これは、A-D変換クロック選択の項で説明します。

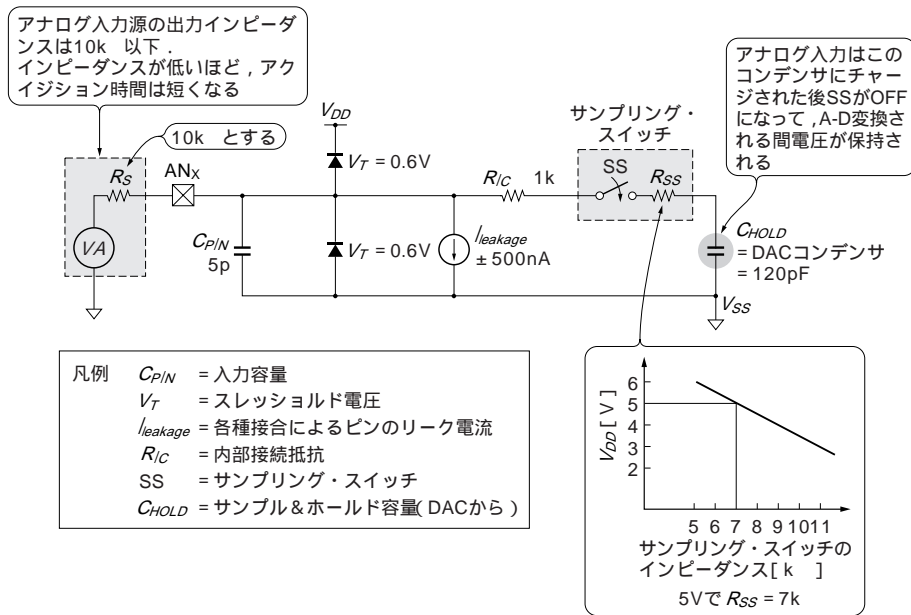


図12-5(2) 16F87XAのアナログ入力のモデル

このモデルに従って，図12-6で示す計算式により，最小アクイジション時間を計算する．

データ・アクイジション・タイム

内部アンプの，マルチプレクサの切り替えに対するセットアップまでの時間 = 2 μ s

データ保持のキャパシタのセットアップ時間．A-D最小チャージ時間(2)の式による

温度係数

(1) $T_{ACQ} = \text{Amplifier Settling Time} + \text{Holding Capacitor Charging Time Holding} + \text{Temperature Coefficient}$
 $T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$

(2) A-D最小チャージ時間
 $V_{HOLD} = (V_{REF} - (V_{REF}/2048)) \times (1 - e^{-(T_C / (C_{HOLD}(R_{I/C} + R_{SS} + R_S))})$
 or
 $T_C = -(120\text{pF} \times (1k + R_{SS} + R_S)) \ln(1/2047)$

(3) 図12-5の計算例

$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$

温度係数は，Temp > 25 のときのみ必要．
 $T_{ACQ} = 2\mu\text{s} + T_C + [\text{Temp} - 25](0.05\mu\text{s}/\text{ })]$
 $T_C = -C_{HOLD}(R_{I/C} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2047)$
 $= -120\text{pF}(1k + 7k + 10k) \ln(0.0004885)$
 $= -120\text{pF}(18k) \ln(0.0004885)$
 $= -2.16\mu\text{s}(-7.6241)$
 $= 16.47\mu\text{s}$

50 の例

$T_{ACQ} = 2\mu\text{s} + 16.47\mu\text{s} + [50 - 25](0.05\mu\text{s}/\text{ })]$
 $= 18.447\mu\text{s} + 1.25\mu\text{s}$
 $= 19.72\mu\text{s}$

図12-6(2) 最小必要アクイジション時間の計算

データ変換前にデータをサンプルし，保存するためのアクイジション時間が必要になる．(1)式で計算される図12-5の例では，約20 μ sの時間が最小必要アクイジション時間(= 変換する前に待つ時間)となる．