

内蔵デバイスを使いこなそう

光永 法明

本章では、PIC16F877Aに内蔵されているA-Dコンバータ、シリアル通信、タイマ、割り込みの使い方を紹介していきます。A-Dコンバータを使って暗くなったらLEDが点滅する、シリアル通信でパソコンから液晶に文字を表示させる、割り込みを使ったLEDの点滅などを実現します。

5-1 A-Dコンバータを使いこなす

本章のA-Dコンバータに関する回路は図5-1になります。PIC16F877Aとボリューム、CdS、LED、スイッチが主な部品です。

A-Dコンバータを使うことで、アナログの電圧を読むことができます。PIC16F877Aが内蔵するA-Dコンバータは10ビットで、入力電圧を0から1023の値で表現することができます。A-D変換できるピンは8本あります。A-Dコンバータのブロック図は図5-2、動作に関するレジスタはADCON0(図5-3)、ADCON1(図5-4)です。

変換結果はADRESH、ADRESLレジスタに入ります。図5-2のように、ピンはRA₀からRA₅とRE₀からRE₂と共通です。A-D変換器は一つだけあり、入力ピンをADCON0レジスタのCHS2:CHS0で選択します。V_{REF+}、V_{REF-}とあるのはリファレンス電圧です。V_{REF+}は変換の上限の電圧1023となるを、V_{REF-}は変換の下限の電圧(0となる)を決めます。V_{REF+}は電源電圧またはRA₃ピンの電圧を、V_{REF-}はグラウンドまたはRA₂ピンの電圧をADCON1レジスタのPCFG3:PCFG0ビットで選択できます。V_{REF+}、V_{REF-}ともに、そのときの電源電圧を超えることや、グラウンドを下回ることはいけません。

A-D変換の値

理想的なA-D変換では、次のような電圧から数値への変換が行われます。V_{REF+}とV_{REF-}の差の電圧V_{REF}を1024で割った電圧をLSb₀とします。V_{REF+}がV_{SS}、V_{REF-}がV_{DD}で5[V]のとき、LSbは4.883[mV]です。

0[V]から4.883[mV]の入力電圧は0に、4.883×1[mV]から4.883×2[mV]までは1に、4.883×1023[mV]から4.883×1024[mV]までは1023(0×3fff)に、変換されます(図5-5)。入力電圧に対して階段状に値は変化します。0.5LSbの倍数の電圧で階段の中央と交差します。

A-D変換クロックの設定

PIC16F877AのA-D変換は、順に基準の電圧と比較していく逐次比較型と呼ばれる変換を行っています。

このアイコンは、章末に用語解説があります

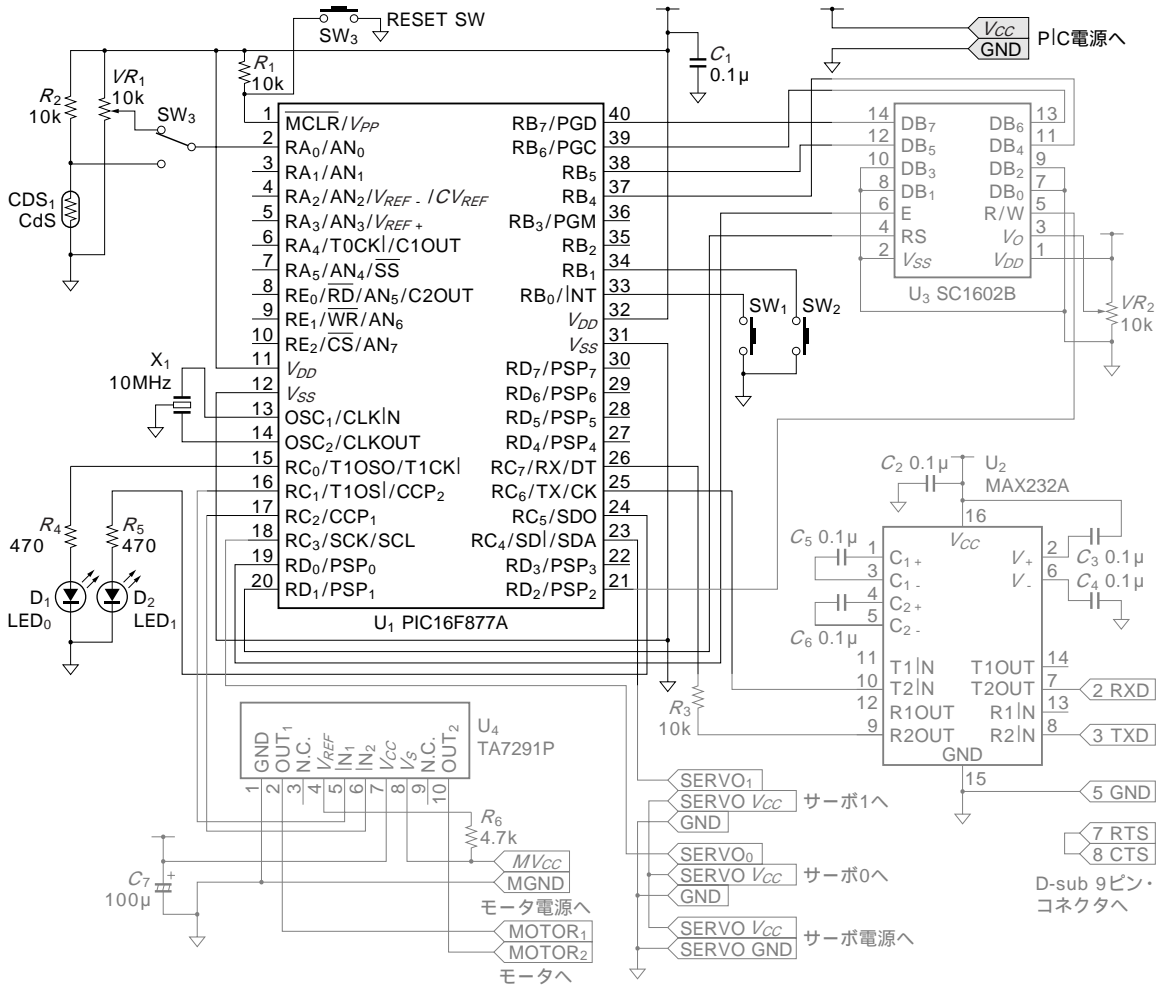


図5-1 A-Dコンバータのプログラムに関連する部分の回路図

回路図では、ボリュームとCdSをスイッチで切り替えてAN₀につなぐようになっているが、ワニ口クリップなどでつなぐようにしてもよい。またR₂の値は、CdSにあわせて変更する。

この比較のタイミングを決めるのがA-D変換クロック T_{AD} です。この変換クロックは、 T_{Osc} (発振子の発振周期) の2, 4, 8, 16, 32, 64倍または、A-Dコンバータ用に内蔵されたRC発振器 (T_{AD} は2[μ s]から6[μ s]程度、温度や電源電圧、個体差で変動する) を選択することができます。

A-D変換にかかる時間は変換クロック T_{AD} の12倍なので、 T_{AD} が短いほど変換時間も短くなりますが、最低1.6[μ s]以上ないと正しく動作しません。表5-1に発振子の周波数により選択可能な設定が書かれているので、もっとも短い周期を選び、ADCON1のADCS2とADCON0のADCS1, ADCS0ビットで指定します。また動作周波数が1MHz以下であればRC発振器を選択します。発振子の周波数が10MHzの場合は、表から16 T_{Osc} を選び、ADCS2:ADCS1:ADCS0は101と設定します。

A-D変換結果のフォーマットの選択

PIC16F877AのA-Dコンバータは10ビットの精度があるので、変換結果は2バイトになります。変換

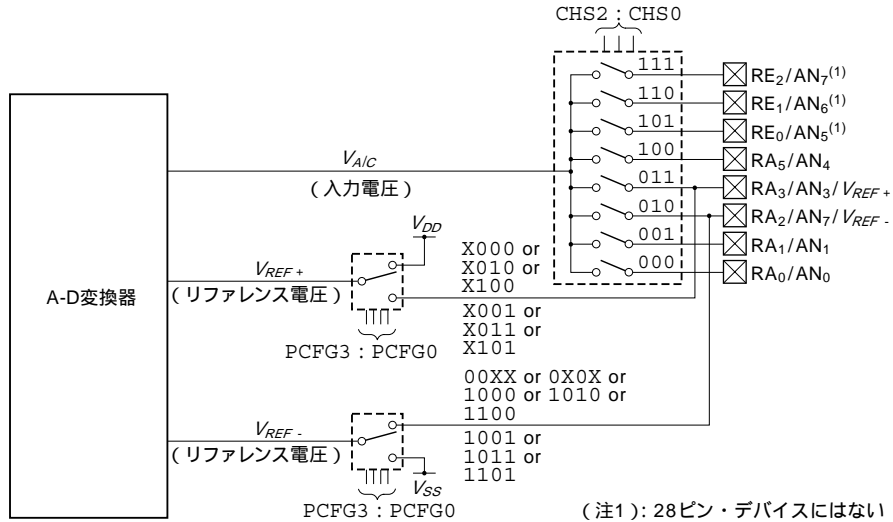
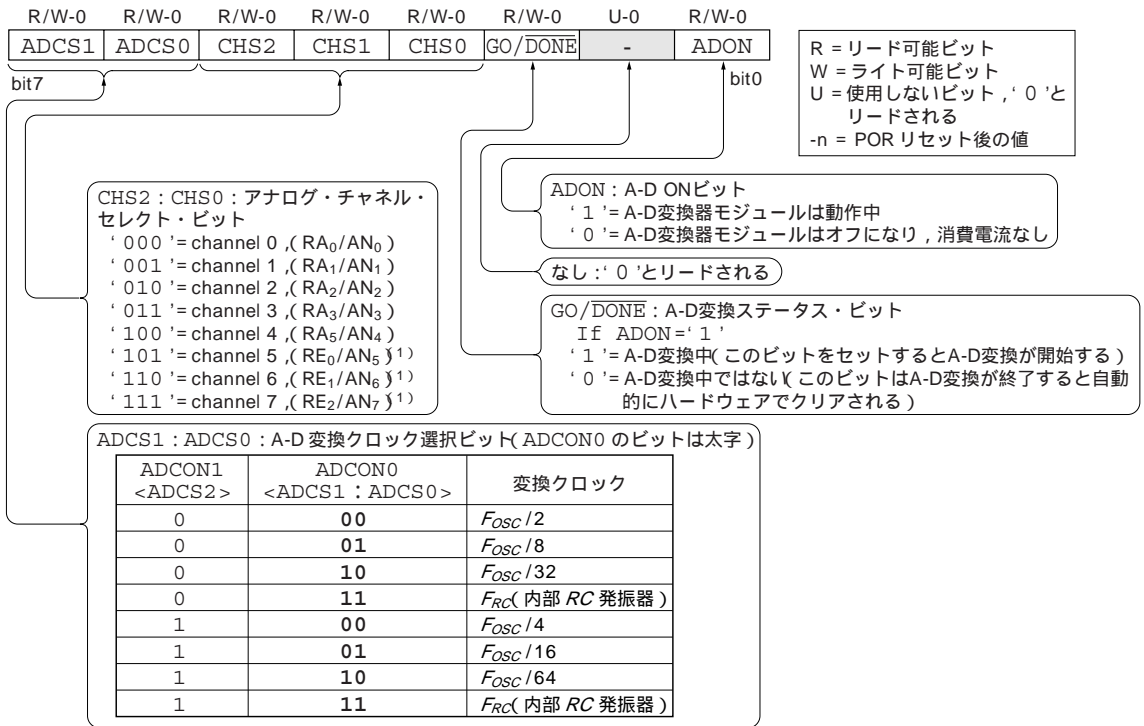


図5-2⁽²⁾ A-Dコンバータのブロック図

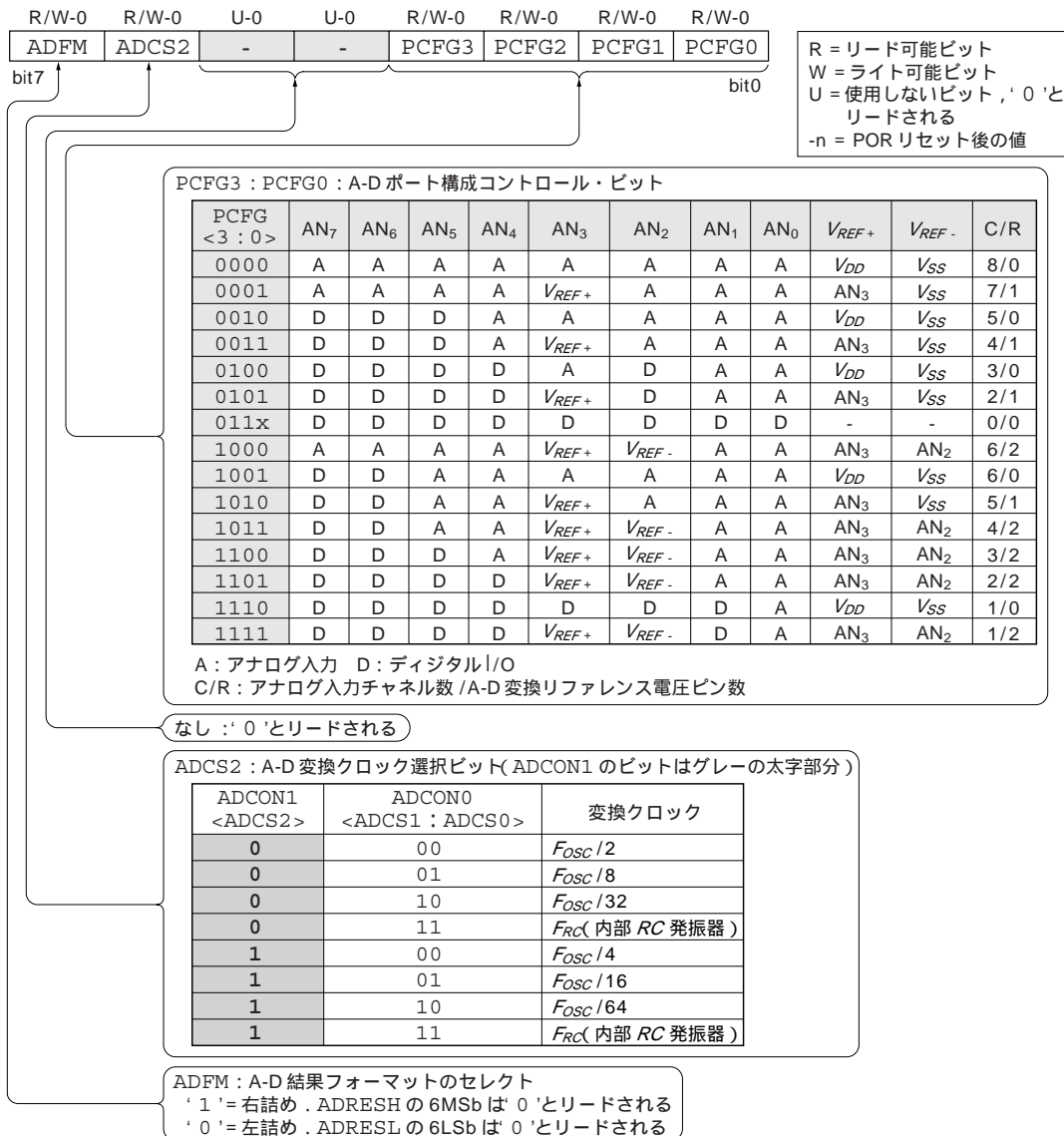
A-Dコンバータ内には、アナログからデジタルに変換する変換器が一つあり、入力ピン八つをスイッチで切り替える構成になっている。リファレンス電圧(基準となる電圧)もスイッチで切り替えることができる。スイッチで切り替えるため、同時に複数の入力をアナログからデジタルに変換することはできない。



(注1): これらのチャンネルは28ピン・デバイスにはない

図5-3⁽¹⁾(²) ADCON0 レジスタ(アドレス: 0x1f)

ADCON0 レジスタは、入力ピンの選択と、変換の開始、変換モジュールのシャットダウンを行うビットがある。GO/DONE ビットは、変換開始時に1にすると、変換終了時に自動的に0になる。



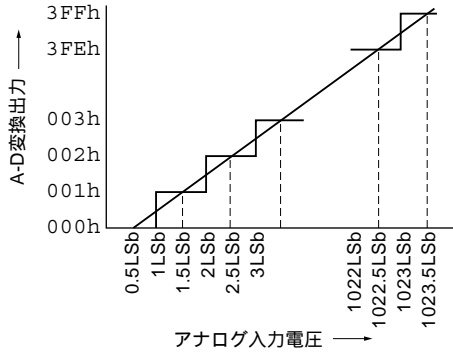


図5-5(3) A-D変換関数

理想的なアナログからデジタルへの変換直線の場合には、0から1LSbの電圧(リファレンス電圧が5[V]のときには、0[V]から4.88[mV])では、0に、1から2LSbの電圧の場合(4.88[mV]から9.76[mV])には1に変換され、1023LSb以上の電圧(4.99[V])では、0x3ff(1023)に変換される。

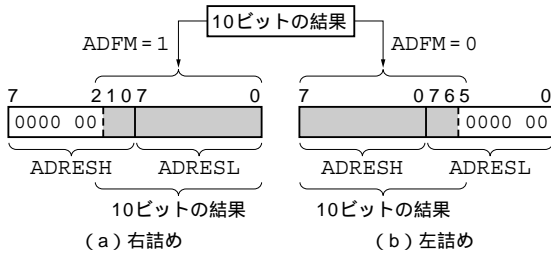


図5-6(2) A-D変換結果の右詰め/左詰め

A-D変換結果は10ビットあり2バイトで表現される。右詰め(ADFM = 1)の場合にはADRESHの上位6ビットは常に0になる。左詰め(ADFM = 0)の場合にはADRESLの低位6ビットは常に0になる。8ビット精度でよい場合には左詰めにし、ADRESHのみを読むとよい。

入力ピンの設定

A-D変換に使うピンはADCON1レジスタのPCFG3:PCFG0ビットで設定します(図5-4)。図のAと書かれているピンがアナログ入力、Dと書かれているピンはデジタル入力、 V_{REF+} 、 V_{REF-} と書かれているピンは基準電圧入力です。

右にはその設定時に選択される V_{REF+} 、 V_{REF-} が書かれています。C/Rは、アナログ入力ピンの数と基準電圧入力ピンの数です。

精度と速度が必要な場合の注意

A-Dコンバータの入力部分は図5-7のようになっています。VAが変換する電圧です。 R_S は入力抵抗です。AN_xがPICの入力ピンです。入力ピンには入力容量 C_{PIN} と、保護用のダイオード(二つ)が接続されています。信号は抵抗 R_{IC} とスイッチSS、抵抗 R_{SS} を通してコンデンサ C_{HOLD} を充電します。A-D変換

表5-1(1) T_{AD} vs. 最大動作周波数

F_{OSC} の周波数によってA-D変換クロック源が制限されるので、表を見てADCS2:ADCS1:ADCS0を適切に選択する。

A-Dクロック源(T_{AD})		最大動作周波数
動作	ADCS2:ADCS1:ADCS0	
$2T_{OSC}$	000	1.25MHz
$4T_{OSC}$	100	2.5MHz
$8T_{OSC}$	001	5MHz
$16T_{OSC}$	101	10MHz
$32T_{OSC}$	010	20MHz
$64T_{OSC}$	110	20MHz
RC ^(1,2,3)	x11	(注1)

注1: RCソースの標準 T_{AD} 時間は4 μ s。しかし、2~6 μ sでもよい。

2: デバイスの周波数が1MHzより速い場合、RCのA-D変換ソースはスリープのみの使用を推奨する。

3: 拡張電圧デバイス(LF)については、電気的特性の章を参照のこと

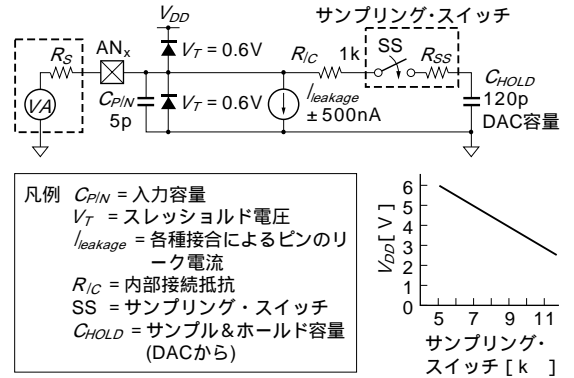


図5-7(2) アナログ入力モデル

左側の点線の箱内が変換したいアナログ信号源で、AN_xピンから右がPIC内のモデルになっている。PIC内には、入力にコンデンサ、保護用ダイオード、漏れ電流の流れる経路、サンプル&ホールド・コンデンサと、そのコンデンサに直列に入る抵抗がある。

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

温度係数 T_{COFF} は、温度 > 25 のときのみ必要。

$$T_{ACQ} = 2\mu s + T_C + [(\text{温度} - 25 \text{ } \times 0.05\mu s / \text{ })]$$

$$T_C = -C_{HOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2047)$$

$$= -120\text{pF} (1\text{k} + 7\text{k} + 10\text{k}) \ln(0.0004885)$$

$$= -120\text{pF} (18\text{k}) \ln(0.0004885)$$

$$= -2.16\mu s (-7.6241)$$

$$= 16.47\mu s$$

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

$$= 18.447\mu s + 1.25\mu s$$

$$= 19.72\mu s$$

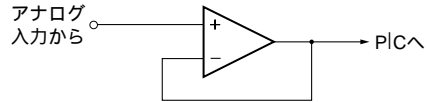


図5-9 ボルテージ・フォロウ回路

ボルテージ・フォロウ回路はOPアンプ一つからなる簡単な回路。信号源にあわせてOPアンプは選択する。図には書いていないがOPアンプにも電源が必要なので忘れずに配線する。

図5-8(2) 最小必要アキュイジション時間の計算方法

最小必要アキュイジション時間は、固定値(T_{AMP})と、信号源の抵抗(R_S)とPIC内の抵抗(R_{IC} と R_{SS})で決まる値(T_C)と、温度により変化する値(T_{COFF})の和で決まるので、それぞれを計算し足し合わせることで求める。

していないときには、スイッチSSを入れ、 C_{HOLD} を充電しています(サンプル&ホールド という)。

A-D変換を開始するとスイッチSSを切り、 C_{HOLD} の電圧と V_{REF+} を基準とした電圧と比較することで変換を行います。これは変換中に C_{HOLD} の電圧が変化しないようにするためです。

注意が必要なのは C_{HOLD} の充電には時間がかかることです。チャンネルを切り替えたり、一度A-D変換した後、十分に時間が経過してから、変換を開始する場合には問題がないのですが、短い間隔で変換を繰り返す場合(サンプリング・レート が高い場合)には、 C_{HOLD} の充電が間に合わずに変換結果が正しくなくなる場合があります。

実際にどの程度の時間が、チャンネル切り替えや変換終了後に必要かは、図5-8のような式で計算できます。入力抵抗 R_S が高い場合には充電に時間がかかるので注意が必要です。

アナログ入力ピンの信号の入力抵抗(R_S)は2.5[k]以下(大きくも102.5[k]以下)が推奨されています。精度が必要な場合にはこれにも注意してください。

図5-7に $I_{leakage}$ という漏れ電流が±500[nA]流れることが書かれています。10[k]の入力抵抗では±500[nA]流れることで、±5[mV]電圧が変動します。入力抵抗が小さければ、この電圧の変動が小さくなります。これにより V_{REF+} が5Vのとき、約±1変換結果に影響がでることになります(2.5[k]の場合は±1/4)。必要であればOPアンプによるボルテージ・フォロウ回路(図5-9)を測定対象とPICの間に入れるといった工夫が必要です。実際には必要な精度との兼ね合いで実用的な入力抵抗の最大値が決まります。

また V_{REF+} と V_{REF-} の差は2.0[V]以上、 V_{REF+} は $V_{DD} - 2.5[V]$ 以上という制約を守らないと10ビットの精度が出ないことにも注意します。 V_{REF-} をグラウンドと共通にしたときには、 V_{REF+} は2.5[V]以上にしなければいけません。 V_{REF+} と V_{REF-} の差を小さくしてLSbを小さくし、変換の最小単位を小さくするのにも限界があるということです。

A-D変換の方法

A-D変換をするには、まずADCON1、ADCON0レジスタを設定し、A-D変換クロック(ADCON1<ADCS2>、ADCON0<ADCS1:ADCS0>)、A-D変換結果のフォーマット(ADCON1<ADFM>)、入力ピンを選択(ADCON1<PCFG3:PCFG0>)し、ADONビットを1にします。これはリセット後できるだけ早くに行います。

A-D変換をする前には、ADCON0レジスタで、入力チャンネルの選択をし、図5-8に従って計算した時