

今回は、PIC16F84Aの割り込み機能について説明する。

割り込みとは、CPUが周辺装置などから緊急性の高い処理の要求を受け取ったとき、その時動作させているプログラムを一旦中断し、要求された処理を優先して実行する事である。前回の講義では、タイマ0をインターバルタイマとして使った場合の割り込み処理について簡単に説明したが、今回はもう少し丁寧かつ網羅的に説明する。

・割り込みとは(教科書 P.35 および P.144 参照)

割り込みの働きを具体的に説明するために、図1に示す様なブロック図のデジタル温度・湿度計のハードウェアがあり、そのプログラムを作る事になったと仮定して話を進める。また図2は、このデジタル温度・湿度計の操作パネルのイメージ図である。(なお、PIC16F84Aには、外部バスインターフェースが内蔵されていないが、PIC16Fシリーズの他のマイコンには、内蔵されているものがある)

マイコンには外部バス経由で温度センサ、湿度センサ、および温度や湿度を表示するための小型の液晶ディスプレイが付いている。液晶ディスプレイは表示できる文字数が少ないため、温度または湿度のどちらかしか表示できないものとする。

また、マイコンにはGPIO(自由に1または0の信号を出力したり、入力信号が1か0かを判定したりできる、デジタル入出力用の周辺装置)経由で押しボタンが1つ付いているものとする。この押しボタンは、温度を表示するか、湿度を表示するかを選択に使い、ボタンを1回押すたびに、温度表示モードと湿度表示モードの間で、切り替えが行われるとする。

仮に、このデジタル温度・湿度計のプログラムを割り込みなしで作るとすれば、図3の様になるであ

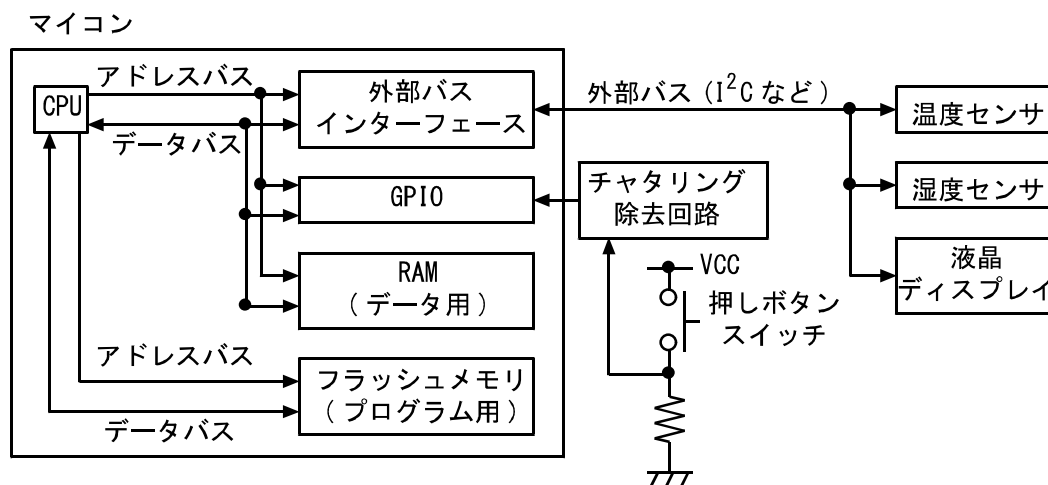


図1、デジタル温度・湿度計のブロック図

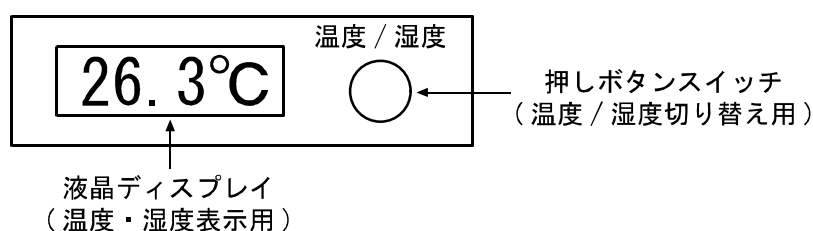


図2、デジタル温度・湿度計の操作パネルのイメージ図

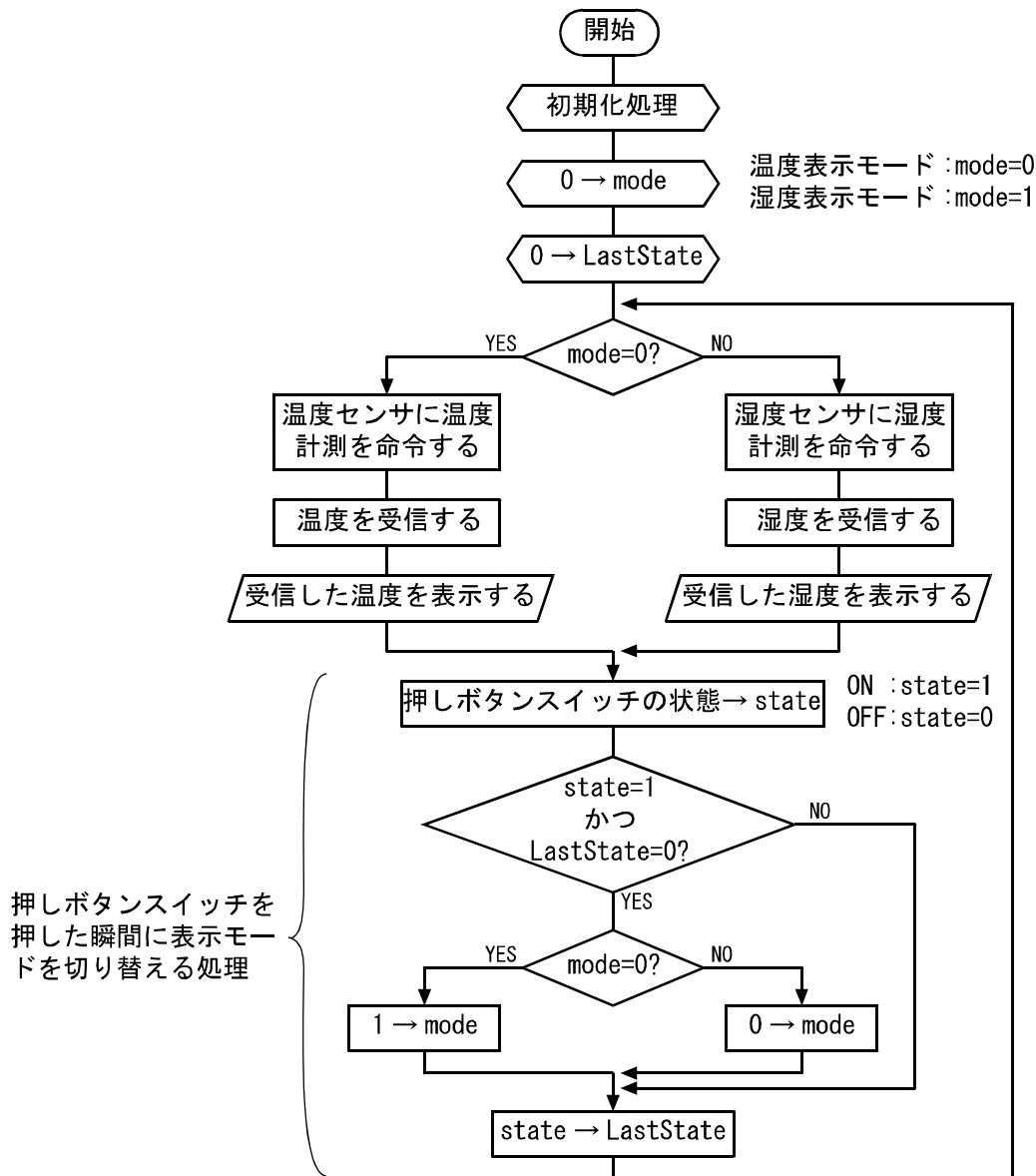


図 3、割り込みを使わない場合のデジタル温度・湿度計のフローチャート

ろう。

図 3 のフローチャートでは、メインループ内で、(1)表示モードに応じて温度または湿度を計測して表示する処理と、(2)押しボタンスwitchが押されたら表示モードを切り替える処理を交互に行っている。この処理方式は、(1)の処理が十分短時間で実行されている場合、うまく動作する。

ところが、(1)の処理に時間がかかるようだと、押しボタンを押しても表示モードが切り替わらない事がある。例えば、センサが温度や湿度を計測するのに、それぞれ 0.5 秒の時間がかかると仮定する。そうすると、CPU がセンサに温度あるいは湿度の計測を命令してから、その結果を受け取るまで、つまり図 3 のフローチャート内の「温度を受信する」もしくは「湿度を受信する」の処理に 0.5 秒かかる訳である。この間にボタンを短時間押して、さらにボタンから指を離してしまえば、CPU はボタンが押された事を知ることができず、表示モードを切り替えることはできない。この様に、ボタンが押されたという情報は、一旦温度や湿度の受信処理を中断してでも、緊急に処理されるべきなのである。

PIC16F84A をはじめ、多くのマイコンには、外部から入力されたデジタル信号が変化したときに、割り込み処理をする機能が搭載されている。PIC16F84A には INT ピン(6 番ピン。ピン配置はテキスト P.20

参照)の信号が変化した時に、設定により、その立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジにより割り込み処理をする機能が搭載されている。これを INT ピン割り込みという。(表 1 の OPTION_REG レジスタの INTEDG ビットを 1 にしていれば立ち上がりエッジで、0 にしていれば立ち下がりエッジで INT ピン割り込みが掛かる)

また、割り込み機能を搭載したマイコンは、ソフトウェア的に割り込みを許可や禁止できる手段を持っている。割り込みを禁止すると、割り込みの原因になるような現象(これを割り込み要因と呼ぶ)が起っても、無視される。CPU がプログラムを実行し始めた時には通常、全ての割り込みは禁止されている。

図 1 内の押しボタンスイッチが INT ピンに接続されているものとして、INT ピン割り込みを使ってデジタル温度・湿度計のプログラムを作るとすれば、図 4 の様なフローチャートになるであろう。

メインプログラムでは、INT 割り込みの初期設定などをした後は、モードに応じて温度または湿度の計測と表示のみを行う。一方で割り込みサービスルーチン(ISR)は、表示モードの切り替え処理のみを行う。

メインプログラムの初期化処理で、INT ピン割り込みは立ち上がりエッジでかかる様に設定しているので、押しボタンスイッチが押された瞬間にメインプログラムが中断され、ISR が開始する。ISR が終了すれば、メインプログラムが再開する。この様にプログラムすれば、たとえ温度や湿度を受信するのに時間がかかっても、押しボタンスイッチが押された瞬間に受信処理が中断し、ISR が表示モードを切り替える処理を行うので、スイッチを読み飛ばす心配がなくなる。

図 4 の ISR のフローチャートでは、W レジスタおよび STATUS レジスタの退避や復帰の処理、および INTF フラグを 0 にクリアする処理を行っているが、これらについては後に説明する。

・ PIC16F84A の割り込み要因(教科書 P.35 参照)

先ほど述べたように、割り込みの原因となるような現象を割り込み要因という。PIC16F84A で起こりうる割り込みを、割り込み要因別に分類すると、次の 4 種類になる。

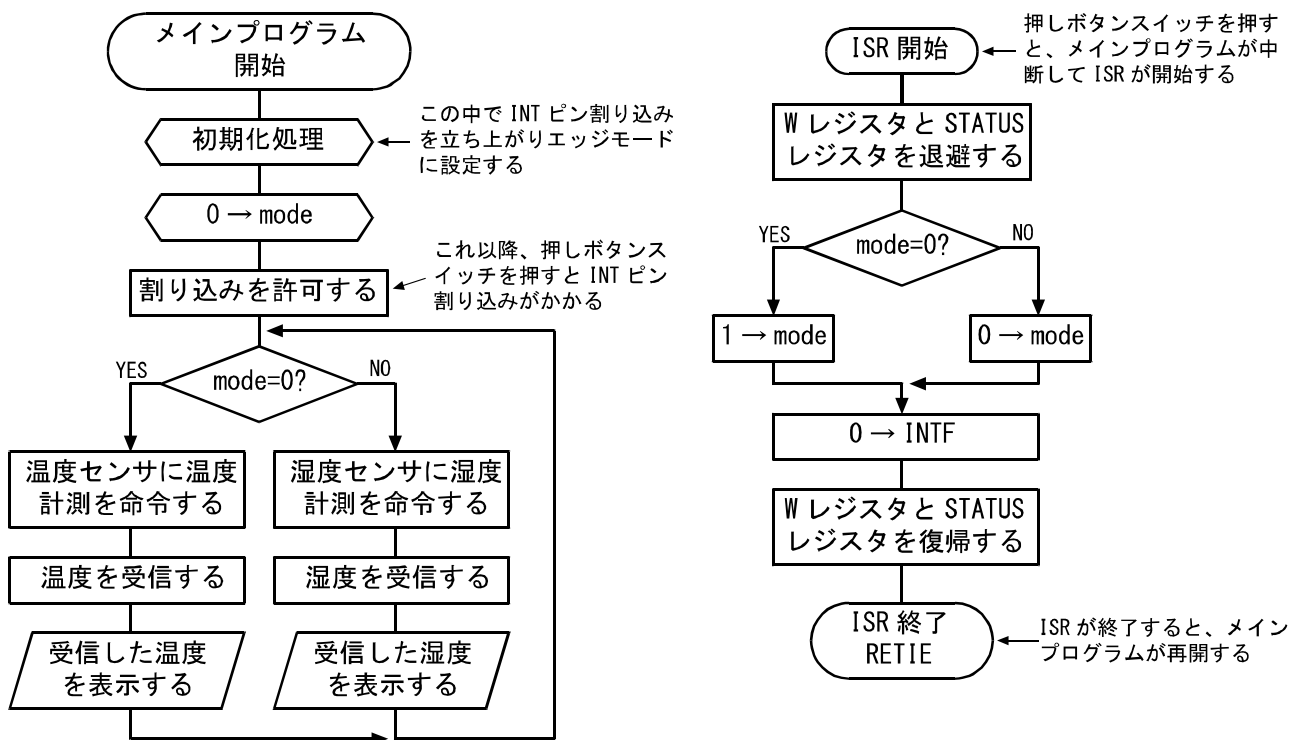


図 4、INT ピン割り込みを使う場合のデジタル温度・湿度計のフローチャート

- (1) INT ピン割り込み
- (2) ポート B 割り込み
- (3) タイマ 0 割り込み
- (4) EEPROM 割り込み

これらの内、INT ピン割り込みとタイマ 0 割り込みについては、既に説明した。

ポート B 割り込みとは、GPIO に接続されている RB4~RB7 の 4 本のピン(ピン配置については教科書 P.20 を参照)の入力信号が変化した場合にかかる割り込みである。INT ピン割り込みと似ているが、対象となる I/O ピンが異なり、また、INT ピン割り込みでは波形の立ち上がりエッジか立ち下がりエッジのいずれかで割り込みがかかるのに対し、ポート B 割り込みは波形の立ち上がりエッジと立ち下がりエッジの両方で割り込みがかかる点などが異なる。

EEPROM 割り込みは、PIC16F84A に内蔵されている EEPROM(不揮発性メモリの一種)に関する割り込みである。EEPROM は、RAM と異なり、データの書き込みに非常に時間がかかる。そのため、データの書き込み終了を待って次の処理を行うのでは、実行速度が著しく低下する。それを緩和するため、PIC16F84A は、EEPROM へのデータ書き込みの最中にも、命令が実行できる構造になっている。EEPROM 割り込みを有効にしておくと、データの書き込み終了時に割り込みがかかり、ISR が実行される。

複数の割り込みを許可している場合、どの割り込み要因によって割り込みがかかっても、共通の ISR が実行される。(他のマイコンでは、割り込み要因ごとに別の ISR が実行される物もある)そのため、どの割り込み要因で割り込みがかかったかは、ISR の中で調べる必要がある。

表 1、割り込みに関するレジスタの一覧表

アドレス	名称	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
03H	STATUS	IRP	RP1	RP0	\overline{TO}	\overline{PD}	Z	DC	C
0BH	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
81H	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0
88H	EECON1	—	—	—	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD

注：網掛け部分は割り込みに関係ないビット

表 1 は、割り込みに関するレジスタの一覧表であるが、INTCON レジスタの TOIF ビット、INTF ビット、RBIF ビットと、EECON1 レジスタの EEIF ビットが、ISR を起動させた割り込み要因を表わすビットである。

例えば TOIF ビットは、タイマ 0 割り込みがかかったときに、自動的に 1 にセットされるフラグである。ISR の中で TOIF ビットが 1 になっていれば、タイマ 0 割り込みがかかったと判断できる。タイマ 0 割り込みがかかった場合は、ISR が終了する前に、TOIF ビットを 0 に戻しておく必要がある。

INTF ビットは、INT ピン割り込みがかかった場合に 1 にセットされるフラグである。また RBIF ビットは、ポート B 割り込みがかかった場合に 1 にセットされるフラグである。また EEIF ビットは、EEPROM 割り込みがかかった場合に 1 にセットされるフラグである。これらのフラグが、ISR を起動させた割り込み要因の判定に使える事や、ISR が終了する前に、0 に戻しておく必要があることは、TOIF ビットと同様である。

・割り込みの許可と禁止(教科書 P.36 参照)

INTCON レジスタの 3~7 ビットにより、各割り込み要因による割り込みを、許可または禁止することができる。

GIE ビットは、全ての割り込み要因に関する割り込みの許可・禁止に影響するビットである。GIE ビットが 0 の場合は、全ての割り込み要因について、割り込みが禁止される。GIE ビットが 1 の場合は、割り込み要因別の割り込み許可・禁止について、EEIE、TOIE、INTE、RBIE の各ビットで指定する。

EEIE ビットは、EEPROM 割り込みの許可・禁止に影響するビットである。EEIE ビットが 1 がかつ GIE ビットが 1 なら、EEPROM 割り込みは許可される。EEIE ビットが 0 の場合は、EEPROM 割り込みは禁止される。

TOIE ビットは、タイマ 0 割り込みの許可・禁止に影響するビットである。TOIE ビットが 1 がかつ GIE ビットが 1 なら、タイマ 0 割り込みは許可される。TOIE ビットが 0 の場合は、タイマ 0 割り込みは禁止される。

INTE ビットは、INT ピン割り込みの許可・禁止に影響するビットである。INTE ビットが 1 がかつ GIE ビットが 1 なら、INT ピン割り込みは許可される。INTE ビットが 0 の場合は、INT ピン割り込みは禁止される。

RBIE ビットは、ポート B 割り込みの許可・禁止に影響するビットである。RBIE ビットが 1 がかつ GIE ビットが 1 なら、ポート B 割り込みは許可される。RBIE ビットが 0 の場合は、ポート B 割り込みは禁止される。

なお、電源投入時には GIE、EEIE、TOIE、INTE、RBIE の全てのビットは 0 に初期化される。つまり、電源投入時には、割り込みが全くかからない設定になっている。初期化処理のところで、必要な割り込みを許可する必要がある。

割り込みを禁止する事を、「割り込みをマスクする」ともいう。PIC16F84A では、全ての割り込み要因についてマスクできるようになっているが、マイコンの種類によれば、マスクできない割り込み要因がある場合がある。マスク可能な割り込みを MI(Maskable Interrupt)と呼び、マスク不可能な割り込みを NMI(Non-Maskable Interrupt)と呼ぶ。(つまり PIC16F84A には NMI がない)

・ISR 内でのレジスタの退避と復帰(教科書 P.144 参照)

割り込みが、メインプログラムのどの部分でかかるかは、事前に想定できない。そのため、どの時点で割り込みがかかっても、メインプログラムの動作を妨げないように ISR を記述する必要がある。すなわち、メインプログラムで使用しているレジスタを、ISR 側で勝手に書き換えないようにしなければならない。

PIC16F84A で頻繁に使われるレジスタが 2 つある。W レジスタと STATUS レジスタである。

W レジスタ(教科書 P.24 参照)は、アドレスのないレジスタで、演算やデータの転送などを行うときに、一時的にデータを保管する目的で使われる。教科書 P.70 以降に PIC16F84A の全命令の解説があるが、これを見ると、W レジスタを利用する命令が非常に多い事が分かる。

また、表 1 を見れば分かるように、STATUS レジスタ(教科書 P.67 参照)の下位 3 ビットには、Z、DC、C の 3 種類のフラグがある。これらのフラグは、演算命令の実行時に、演算結果に応じて変化する。教科書 P.70 以降を読むと、これら 3 つのフラグのどれか 1 つ以上が影響を受ける命令が非常に多い事が分かる。

この様に、W レジスタと STATUS レジスタはメインプログラムの各所で、頻繁に用いられている。割り

込みがかかった際に、ISR 内で W レジスタや STATUS レジスタが書き換えられてしまうと、ISR が終了してメインプログラムが再開した際に、CPU が暴走してしまう。

しかしながら、非常に多くの命令で W レジスタと STATUS レジスタを書き換えてしまうため、これらのレジスタを書き換えない命令だけで ISR を記述するのはほぼ不可能である。

そこで、ISR の先頭でこれら 2 つのレジスタを退避し、ISR の最後でこれら 2 つのレジスタを復帰する必要がある。

退避とは、値が変わっては困るレジスタの値を RAM の決められたアドレスにコピーしておく事である。また復帰とは、RAM に退避したレジスタの値を、再びレジスタにコピーし、元の値に戻す事である。

W レジスタと STATUS レジスタに関しては、退避と復帰の処理をしないと、それらの値を書き換えないうちに ISR を記述することはほぼ不可能であるが、その他のレジスタに関しても、メインルーチンと ISR の両方で書き換えるレジスタがあれば、退避と復帰の処理が必要となる。

なお、教科書 P.146 には、W レジスタおよび STATUS レジスタの退避と復帰(回復)以外にも、ISR 内で割り込みの禁止と許可をする必要があると書いてある。しかしこれは間違いである。なぜなら、割り込みがかかる際には、自動的に GIE ビットが 0 になり、割り込みが禁止されるし、ISR が終了し、RETFIE 命令でメインプログラムに処理を戻す際には、自動的に GIE ビットが 1 になって、割り込みが許可されるからである。

ただし、教科書の様に ISR 内で割り込みの禁止と許可を行っても、(実行時間が長くなり、プログラムが大きくなる事に目をつぶれば)問題はない。

・おわりに

今回は PIC16F84A の割り込み機能について、網羅的に説明した。

割り込みの概念は、実際に割り込みのプログラムを組んでみないと、なかなか細部まで理解しにくい。またマイコンの種類により、割り込み処理の細かい部分は異なる。

今回の講義で、理解しにくい部分があるかも知れないが、割り込み処理の大まかな流れが理解できれば十分である。割り込み処理の詳細については、将来割り込みプログラムを組む機会ができた場合に、改めて詳しく勉強して欲しい。その際に、この講義の事を少しでも思い出していただければ幸いである。