

# F M通信を利用したリアルタイム 簡易遠隔モニターシステム

金野 茂男

## 目次

- 1 . はじめに
  - 2 . システムの概略
  - 3 . 設計及び製作
  - 4 . 計測・送信部のP I C 1 6 C 7 1 1の仕様
  - 5 . 受信・表示部のP I C 1 6 F 8 4の仕様
  - 6 . 動作試験及び結果
  - 7 . 改良及び拡張への提言
  - 8 . アセンブラプログラムリスト (省略)
- 付録 (省略)
- P I C 1 6 C 7 1 1に書き込んだアセンブラプログラムリスト
  - P I C 1 6 F 8 4に書き込んだアセンブラプログラムリスト
  - P I C 1 6 C 7 1 1のテクニカルノート
  - P I C 1 6 F 8 4のテクニカルノート
  - F Mワイアレスマイクの説明書
  - 温度センサーL M 3 5のテクニカルノート
  - L C Dのテクニカルノート

## 1. はじめに

本システムは、離れた2地点の片方の地点でモニターされる種々のアナログ電圧及びデジタル電圧を計測し、その情報を電波で電送し、他方の地点で受信し、表示装置にその情報を表示させるシステムである。このようなシステムは、既に多方面で実用化されている。それなのに、なぜ似たようなシステムを構築することにしたのは以下の理由による。

既成のシステムは、メーカー製のパソコン一式を必須とし、かつこのパソコンにFM通信機能を付加するためには専用のI/Oポート及びFM送受信システムを購入しなければならない。アナログ電圧などセンサーを用いて何らかのモニターを行うとすれば、アナログ電圧をデジタル電圧に変換する専用機器も購入しなければならない。このように非常に混み入った型でシステムが構築されており、それ故システムのための費用が高くなる。

ある特定目的システムにパソコンを応用することはよくやられていることであるが、実はそのようなシステムにパソコンを利用するのは非合理的である。通常のパソコンは多数の利用者の便を考慮しているため、多くの機能を本体に包含している。特定目的のためにはそれら多機能の内のごく僅かを使用する場合がほとんどであるから、残りの機能は必要としないわけである。

例えば、文書を作成する仕事を行う場合、パソコンを購入してワープロソフトをインストールして仕事をやるか、それともワープロ専用機を購入して仕事をするか分岐点である。パソコンはワープロ専用機と比較すると高価であるし、ワープロ専用機は仕様がそのようになっているので、文書作成においてシステムの運営が容易である。文書作成だけの仕事に使用するならば、ワープロ専用機を選択するのは当然であろう。

このように特定の目的だけにパソコンを使用することは合理的ではない。センサーを用い、遠隔でそれをモニターするようなシステムは、特定目的なのでパソコンを使用するよりはワンチップマイコンを使用すれば、極めて廉価及び簡易なものとして製作できると考えた。

製作・完成した本システムの特徴は、パソコン、I/Oポート、通信ハードウェア等を必要としないので、システムとしては極めて簡易となり、それ故費用も極めて安価なシステムとなっているところにある。

具体的な応用例として、ある地点での気温、気圧、湿度、各スイッチの状態などを常時計測させ、それを遠隔地点で、常時モニターする場合などがあげられる。システムに書き込まれているプログラムを変更することにより、様々の需要にも臨機応変に対応することができよう。

## 2. システムの概略

図1に本システムの概略図を示している。A地点に置いたシステムの一つで何らかの電圧信号を計測し、その計測データをFM電波に乗せて送信する。B地点に置いたシステムの片方で、その電波を受信し、FM信号から計測データを復元し、表示器に表示する。いわゆる1つの遠隔モニタリングシステムである。

図2がシステムのより詳しい基本ブロック図である。A地点でセンサー等を用いて計測したアナログ信号及びデジタル信号を、ワンチップマイコンPIC16C711(以後711と記す)のADC入力端子とデジタル入出力端子から取り込む。それらのサンプリングの順序、サンプリング間隔の動作制御等は事前に711に書き込まれているプログラムで行われる。

取り込まれたデータは711により処理され、必要なコメントデータを付加したデータ構造として、RS-232Cの転送データ構造に準拠したシリアルデータ列として、711の一つのデジタル入出力端子より出力される。理由は後述してあるが、モジュレータ回路を通し、基準波2kHzクロックパルスとこのシリアルデータとの間のANDをとることにより、2kHzにRS-232Cコードデータのモジュレーションをかける。得られたモジュレーション信号をFM送信部に入力させ、FM発信させる。

B地点のFM受信機で受信した信号を受信機のエアーホーン端子から出力させる。通常ではこの出力電圧はmVオーダーなので、トランジスタ1個を用いてこの出力電圧を増幅し、波形整形回路を通過させた後、PIC16F84(以後84と記す)の一つのデジタル入出力端子で読み込む。取り込んだシリアルデータ列からデータコードの復元を行い、復元されたデータを84で制御されているLCD表示器に表示する。例えば、A地点で温度センサーを用いて温度を計測させておけば、B地点にあるLCD画面上にその温度値がリアルタイムでモニターすることができる。

センサー等によりどのような電圧データをモニターできるのかは、A地点の711の性能による。この素子には4つのADC入力端子があり、4種類のアナログ電圧信号を独立して8ビットデジタルデータ(10進数で0~255)に変換して取り込める機能がある。また、8個のデジタル入出力端子もある。外部の論理レベル電圧を取り込むか、或いは逆に711から外部の装置に論理レベルの電圧を出力することができる。711に書き込むプログラムを変更することにより、必要に応じた様々な使用が容易に実現することができる。

センサー等から得られたモニター電圧信号を、711でRS-232Cコードデータ列に変換して出力するが、以下の事情により、モジュレーション法を採用することにした。

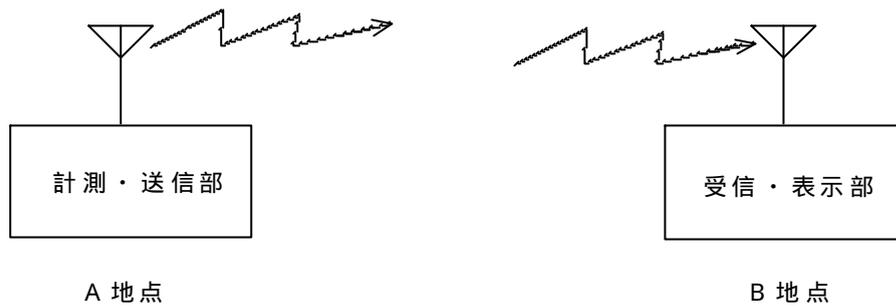


図 1 システムの概略図

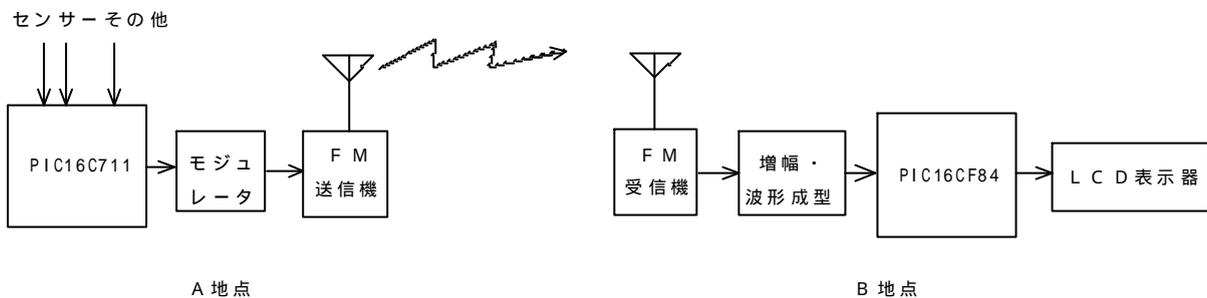


図 2 システムの基本ブロック図

通常のFM送信機及び受信機は、交流信号である音声帯域を送受信するようになっている。従って、低周波や直流成分、高周波の信号は送受信できない。使用予定のFMワイヤレスマイク及びFM受信機の交流特性を調べてみた。使用できる交流信号の周波数はおよそ50Hz以上～2kHz以下であり、50Hz以下の成分、及び2kHz以上の成分はカットされていた。

このようなFM送受信機の下で、FM送信機から送信されるデータ列を、RS-232Cに準拠した10ビット(スタートビット1、データビット8、ストップビット1から成る)のH及びLのロジックレベルから成る信号列を「交流」と見なして、転送しようとしても無理があることがわかる。うまい具合にHレベルとLレベルのビットが交互に配列されている場合には、「交流」と見なすことができるが、Hレベルビットが連続したり、Lレベルビットが連続すると、もはや「交流」と見なすことはできなくなることは明白である。連続したビットのところは直流と見なされるからである。従って、RS-232CデータをそのままFM変調して送信しても正確なデータ情報を送信する事ができない。9600ボーの送信速度で送信するとした場合について、これらの事情を例示しよう。

9600ボーを10000ボーで近似すると、最小1ビット幅は0.1m秒(10kHz)となる。周波数は10kHzとなるが、これはFM送受信で処理できる音声周波数帯域から大きくはずれている。したがって、結論として、FMの音声信号を利用して、RS-232Cに準拠して9600ボーで送受信することは不可能である。FM送受信機が送受信できる2kHz以下の「交流」信号で送受信するとすれば、最小パルス幅は0.5m秒以上なければならない。従って、2000ボー以下の転送速度としなければいけないことが理解できよう。

2000ボー以下の転送速度としても、新たな問題が存在する。問題は「逐次転送される各バイト(10ビットからなる)のデータ列が各ビット毎に交互にHレベル、Lレベルを繰り返しているわけではなく、場合によっては全てHレベルでとなっていることもあり得る。そのよう連続したHレベルは直流成分と見なされ、減衰される。スタート時のHレベルは正常に復元されるであろうが後半のHレベルは減衰されるために、もはやHレベルとして復元されることは難しい。転送速度を2000ボー以下にするとこの事はより顕在化することもわかつう。

従って、転送速度をどのように設定しても、通常のFM送受信機を使用する限り、RS-232C

データコードに準拠したPICから出力されるデータ列を、そのままFM送信するわけにはいかない。その解決策としてモジュレーション法を採用することにした。図3にその様子をグラフ化して示している。2kHz基準波とRS-232Cコードデータとの間のANDをとることにより簡単にモジュレーション信号が得られる。交流信号は2kHzなので、FM送受信機が送受信できる周波数帯域に収まっている。受信機側でこの信号を受信し、波形成型処理を行うことにより、RS-232Cコードデータ列を容易に復元することができるであろう。

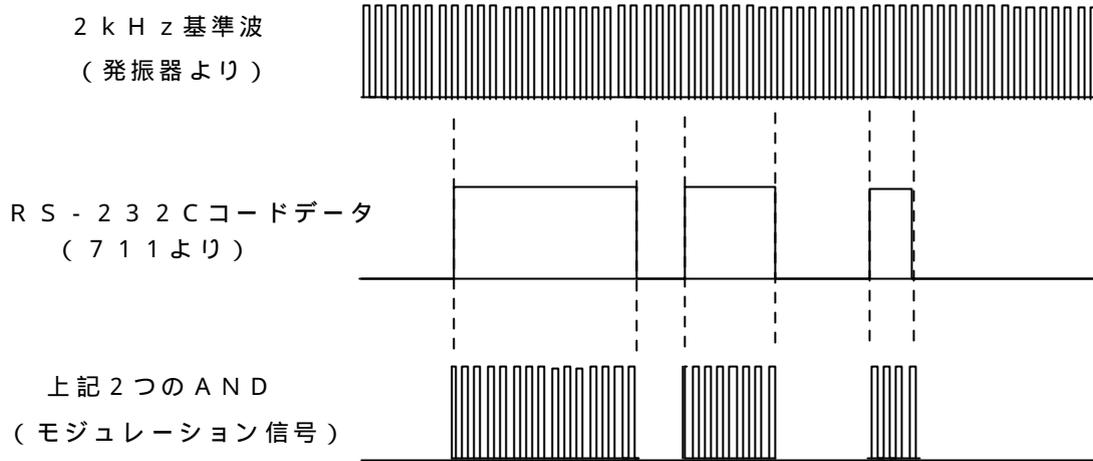


図3 RS-232Cデータ列のモジュレーション

### 3. 設計及び制作

図4が図1, 2のA地点に配置している計測・送信部の回路である。711のADC入力端子にはデモ用に、可変抵抗を用いた電圧設定回路を2組、温度センサーLM35を用いた温度計測回路を2組接続している。711の8個のデジタル入出力端子の内の1つをRS-232Cデータ列の出力用に利用し、残りの7つの端子は現時点では空き端子としている。711及びLM35の詳細については付録のテクニカルノートを参照すること。

基準波2kHzの発振回路と、この基準波とRS-232Cコードデータとのモジュレーションを形成するための回路は、NAND回路を4つ持っている74HC00を1個ですましている。得られたモジュレーション信号は既製品のエレクトリック・コンデンサ・マイク(ECM)使用のFMワイアレスマイク回路をそのまま転用したFM送信回路で送信している。ところで、モジュレーション信号の電圧振幅は約5Vである。が、FMワイアレスマイク回路においてECMの出力電圧振幅は高々数十mVである。従って、ECMが収まる場所に可変抵抗を入れモジュレーション信号の電圧振幅の減衰を行い、適当な電圧に設定できるようにしている。FM送信の発信周波数はタンク回路のコイルのコアを調節することで、76MHz~90MHzの間で可変とすることができる。その他、送信部の詳細については付録のテクニカルノートを参照すること。

図5がB地点に配置している受信・表示部の回路である。受信機からエアホーン端子に出力される信号電圧は高々数十mVであるので、まず最初にトランジスタ1個を用いた増幅回路で論理電圧レベルまで増幅する。自己バイアス電圧と増幅率を適当に設定することにより、増幅後の波形として、ほぼ図3のモジュレーション信号波形と同じ程度に復元することができる。この後、RS-232Cコードデータの復元を行うことになる。図6にそれを図解している。

計測・送信部と受信・表示部のプリント基板パターン図である。ともに片面基盤を使用している。フォトレジストを用いた基盤のエッチング法ではなく、基板上に残したい銅板のところを油性ペン等で塗りつぶし、インクが乾いた時点でエッチング液で処理をするという方法を用いた。従ってこの図を用いてICソケットや、各素子の取り付けの穴の位置を正確にマーキングすれば、その他はフリーハンドで描いてもよい。

エッチングした基板の出来上がりは、使用する油性インキの種類に殆ど完全に依存する。現在の所最良と思う油性インキは Magic cink社製の「マジックインキ」である。どうしても細かい線を描きたい場合には、筆先をカッターで切り、細くすればよい。線を描けばよいものというわけではなく、しっかりとインクが基板上に残るように描かなければならない。外見で黒くてもインクの

乗りが薄いとエッチングで失敗する。

論理レベル電圧にしたモジュレーション信号((1))とその反転信号((2))を、別々にパルス波長変更回路に入力させる。デューティ・サイクルが70%~80%程度となる((3)、(4))ようにRとCを設定し、これらのORをとれば(5)のパルス波形が得られる。なを、波形に若干のヒゲノイズが見られるので、ヒゲ取り用コンデンサをかませている。

復元されたRS-232Cコードデータを84で処理し、LCDに表示する。使用しているLCDの詳細については付録を参照すること。



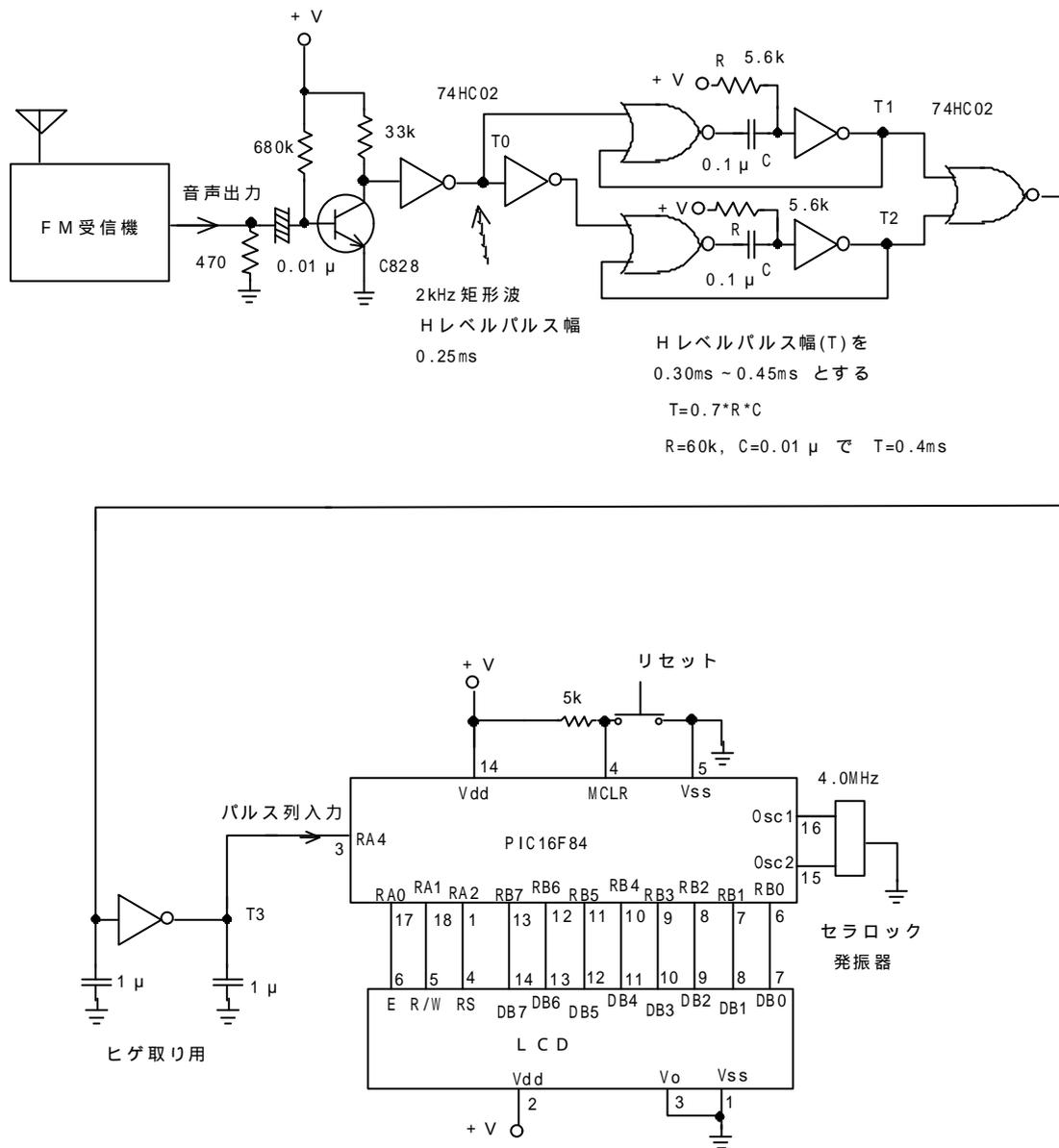


図 5 受信・表示部の回路

図 5 受信・表示部の回路

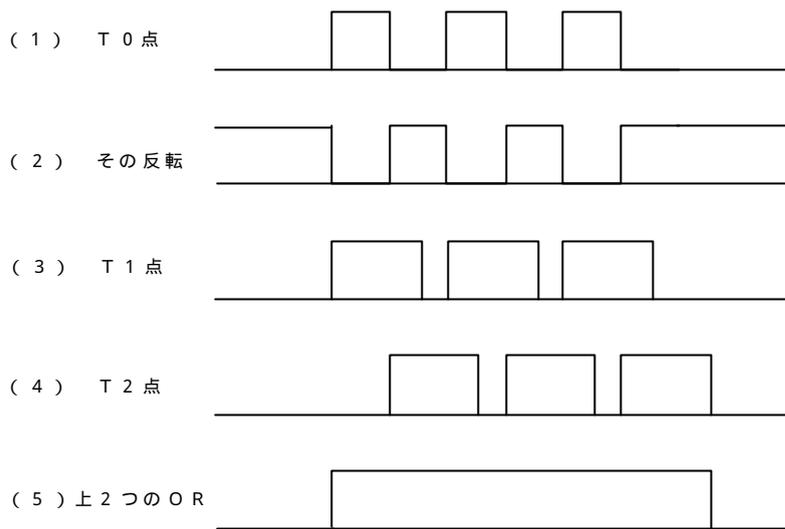


図6 受信したモジュレーション信号からRS-232Cコードを復元

(省略)

図7 プリント基板パターン図

#### 4. 計測・送信部のPIC16C711の仕様

711の詳細は付録のテクニカルノートに譲る。現時点で711に書き込まれているアセンブラプログラムも付録として添付しておいた。プログラムには極力コメントを書き込んでおり、パララックス社のアセンブラに知見がある読者には理解は容易であろう。ここでは現時点で711がどのような処理・動作をするようにプログラムされているかを列記する。

- (1) 711の4つのADC端子は他の機能も重複して持っているので、まづこれらの4つの端子をADCとして使用するように設定し、そして又、ADCの基準電圧を711の電源電圧とするように設定する。
- (2) 8個のデジタル入出力端子のうちの1つをデータの出力端子として設定する。
- (3) 上記4つのADCのサンプリング順序と、サンプリング時間間隔を設定する。
- (4) 4つのADCデータを識別するために、各データに先だってコメントを兼ねた文字データ等を付加する。
- (5) 付加される文字データに続けて測定データ、の順序で、パラレルデータ列をシリアルデータ列に変換し、順次RS-232Cコードデータとして、出力端子より論理電圧レベルで出力する。

サンプリングの順序、サンプリング時間間隔、転送速度(ボーレート)等プログラムの変更は、専用のPICライターで711に書き込みを行わなければならないが、プログラム内の定数を変更することにより容易に行える。711の再書き込み可能な素子(JW)は紫外線消去方式のものである。一度書き込んだらそれまでの素子(ワンタイム素子)は価格が安い、書き込んだプログラムの変更はできないので、ワンタイム素子を使用する場合にはしっかりとした将来性を見据えた上でなければ使用しない方が良くであろう。

#### 5. 受信・表示部のPIC16F84の仕様

84の詳細も付録のテクニカルノートに譲る。現時点で84に書き込まれているアセンブラプログラムも付録として添付しておいた。このプログラムにもコメントを十分に書き込んである。プログラムの理解はし易いであろう。ここでは現時点で84がどのような処理・動作をするようにプログラムされているかを列記する。

- (1) 84の1つのデジタル入出力端子から、RS-232Cコードデータを取り込む。

- (2) RS - 232Cコードデータはシリアルなので、これを8ビットパラレルデータに変換し、8本のデジタル入出力端子より出力し、LCD表示器に転送する。
- (3) LCDの制御も行わなければならないので、3本のデジタル入出力端子で行う。なを、LCDの8個のデジタル入力端子は、データコード及び制御コードの兼用端子になっており、制御端子の論理レベルの切り替えでそれを行う。
- (4) 711からデータが出力されるとき、一番最初にリターンコードが送られてくるようにしている。84がこれを受け取ると、LCD画面をクリアし、カーソルをホームポジションに戻すようにしている。
- (5) 一連の文字列を表示し、次にリターンコードが送られてくるまで、画面の表示を維持する。
- (6) 以上を繰り返す。

711と84のRS - 232Cの転送速度(ボーレート)は同じ値にしておかなければならない。プログラムの内容の具体的な説明はプログラム中にコメントとして記述しているので、それを参照すること。F84はプログラムを格納するメモリはEEPROMできており、電圧消去型である。パラックス社のライターを使用している場合には、プログラムの書き込み命令を実行させると、書き込みに先立って自動的にメモリの消去を実行し、その後新しいプログラムを書き込んでくれる。711と違いわざわざ紫外線を数十分も照射する必要もないので、非常に使いやすい素子である。

## 6. 動作試験及び結果

計測・送信部、受信・表示部の電源は共に単3電池4本直列接続し、約5V~6Vとした。製作完了後のシステムの調整の仕方を手順を追って述べる。

- (1) 計測・送信部と、FMラジオの電源を入れる。
- (2) FMラジオをチューニングし、計測・送信部からの電波を受信する。チューニングが会えば、スピーカーからピー、ピーという音が聞こえるはずである。その音の間隔はサンプリング時間と一致する。オシロスコープがあるならば、エアホーンからの出力をモニターすると調整が容易である。この時、エアホーン端子を受信・表示部と接続していなければ、数十のダミー抵抗をかませることを忘れずに。
- (3) きれいな音、かつ送信機からの送信力が最大になるように、送信部の可変抵抗を調整する。可変抵抗による電圧の減衰量が少なすぎると、FM発振のトランジスタがオーバーフローを起こし、正常なFM発振の電波とならないので、目安でも良いから、数十mV程度となるあたりに可変抵抗を前もって調整しておいた方が容易である。
- (4) 可変抵抗の調整がすんだならば、送信部のタンク回路のコイルのコアを差し入れし、希望する周波数帯域に送信周波数を設定する。地域で使用されているFM放送の周波数帯に重ならないようにしておいたら良いであろう。
- (5) FMのチューニングボタンと、音量調整つまみで、きれいな音ができるように再調整しておく。
- (6) FMのエアーホーン端子と受信・表示部の入力端子を接続し、受信・表示部の電源を入れる。調整がうまくいっていれば、LCD画面に予定通りの文字列が順々に表示され続ける。
- (7) もし、文字化けや、LCDの画面が固まった場合には、FMラジオのチューニングボタンと音量ボタンを調整し、正常にLCDに文字列が表示されるように調整する。
- (8) なを、FMワイアレスマイクの方の発振周波数が電源投入時と安定時で若干シフトすることに留意して置いた方がよい。

ボーレートを300ボー以上にすると、時折文字化けを起こした。それで、現在150ボーに設定している。

基準電圧とする電源電圧が5Vの時の8ビットADCの分解能は約20mVである。使用している温度センサーLM35は0度で0.0mV、1度上昇するごとに+10mVの出力を出す。つまり、25度で250mV、26度で260mVを出力する。711の分解能が20mVなので、このままでは±1度の測定誤差となる。LM35の出力電圧をOPアンプ等で10倍とすれば、25度で2.5V、26度で2.6Vとなるので、これを711に入力させれば、分解能は±0.1度まで向上することになる。が、現時点ではシステムの簡易化と、簡単なデモ動作を考慮しているので、そこまではやっていない。

表1に本システムの性能及び仕様を記載しておく。

電源	5.0V ~ 6.0V
単3電池4本	
アナログ入力端子	4端子
A/D変換ビット数	8ビット
デジタル入出力端子	7端子空き
ボーレート	150ボー
F/M通信帯域	7.6MHz ~ 9.0MHz内で可変
LCD	16文字2行
通信可能距離	数十m以内

表1 本システムの性能及び仕様

## 7. 改良及び拡張への提言

本システムは簡易かつ低廉化を志しているため、F/M送信部には極ありふれたF/Mワイアレスマイクのキットを転用し、F/M受信機にも同様に、極ありふれた小型のF/Mラジオを使用している。それ故、RS-232Cコードに則ったシリアルデータ列を、正常にF/M送受信を行うためには、モジュレーション法を適用せざるを得なくなり、データの転送速度は150ボー程度止まりとなり、1秒間に転送できる文字数は15文字程度しか達成できなかった。中速及び、高速のデータ転送を要求されるようなシステムとしては極めて不十分なものであるが、通常のモニターシステムとしてはこの転送速度は決して不十分ではないであろう。

システムの簡易化のため、F/M発信部には2石トランジスタ回路を採用している。この回路では若干発信周波数がドリフトする上に、出力も小さいような気がする。出力段にパワートランジスタを付加し、出力の増加と共に、発信周波数の安定化を図ることが考えられる。

F/M帯域の電波帯でデータの送受信を行うのに、RS-232Cコードに従う必要は全くない。本システムでRS-232Cコードデータで送受信を行うことにしたのは、PIC素子を用いたRS-232Cコードの送信及び受信のプログラム例がパララックス社のPICワンチップマイコンの解説書に紹介されていたからである。ただそれだけである。このプログラムを用いればプログラムの開発に手間暇がかからないと見たわけである。

150ボーの転送速度はどう考えても遅い。例えば、Hレベル時はパルスを2個、Lレベルではパルスを1個とした独自のコードを採用すれば、転送速度は1000ボー近くにまで大きくできそうである。

F/M帯域を使用するが、音声信号としてデータを転送する方式ではなく、搬送波である数十MHzの周波数をそのまま用いるならば、10MHz以上のボーレートを実現することもできよう。ただし、この時には通常のF/Mラジオを受信機としてそのまま使用することはできないので、改良するか、或いは自作するかを選択するしかない。

## 8. アセンブラプログラムリスト (添付省略)

次ページ以降に掲載しておく。理解し、プログラムの変更を容易にできるようにするために、極力コメントを書き入れるようにしている。