

# 回転角速度計測システム

金野 茂男

2000年7月13日

## 目次

- 1．はじめに
- 2．設計及び製作
- 3．性能試験
- 4．使用方法

## 添付資料

- (1) PIC16F873に書き込んだ  
アセンブラプログラムリスト
- (2) Visual Basicで書いた  
処理プログラム
- (3) その他の資料

## 1. はじめに

物体の回転角度量を計測し、パソコンの表示画面に回転方向をリアルタイムで描写するシステムを構築した。写真1が製作したシステム中のハード部である角度センサ部の外観である。回路は約6cm四方の基板の上に組み上げられている。この基板の下に電源である006p乾電池を配置している。基板中央部付近の1～4の文字が書き込まれている縦長の素子が回転角速度量を計測する角速度センサである。センサからのアナログ電圧量をデジタルデータに変換すると共に、電圧値のサンプリング時間、データのパソコンへの送出などのために、ワンチップマイコンPIC16F873を用いている。基板下の下部の横長のICがそれである。パソコンとのデータのインターフェースはRS-232C方式を用い、TTLやCOMS電圧レベルとRS-232C電圧レベルの変換専用ICであるADM232も用いている。基板下の左側のICがそれである。

この角度センサ部とパソコンをRS-232Cケーブルで接続し、パソコン上で、このシステムのためにVisual Basicで開発した自作ソフトを実行することにより、リアルタイムで変位角度をモニタすることができる。

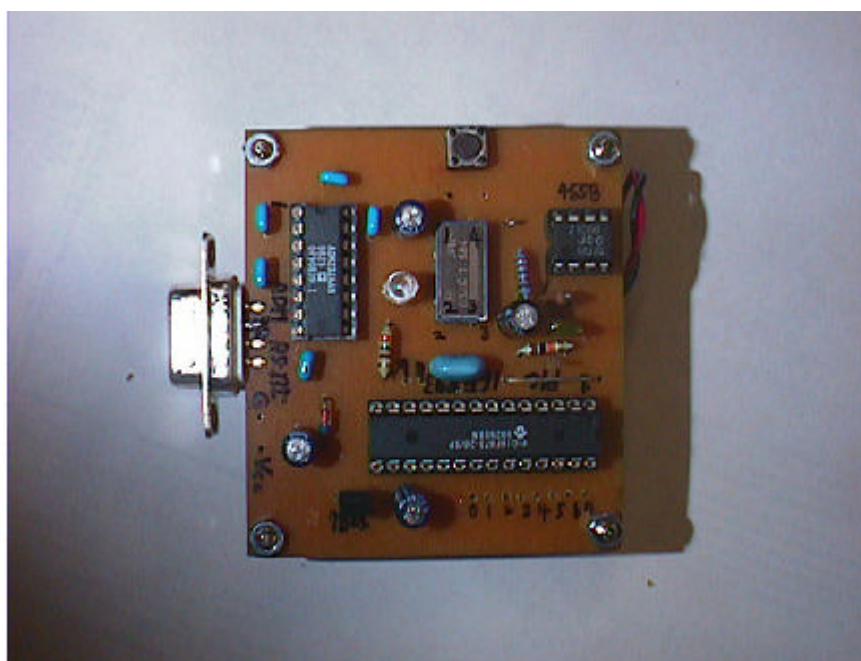


写真1 角度センサ部の外観

## 2. 設計及び製作

回転角度量を計測する素子として、超小型角速度センサ（村田製作所製 圧電振動ジャイロ（ジャイロスター）ENC-03J）を使用した。その外観を写真2に、外形寸法を図1に、定格を表1に、メーカーの推奨する応用回路を図2に示している。これらの資料は村田製作所のホームページからダウンロードして得たものである。

この素子は振動体に回転角速度が加わるとコリオリ力が発生するという原理を応用した角度センサである。この素子からは、表1に示されているように、静止時には一定バイアスの直流電圧（+1.35V）が出力される。素子を回転すると、その角速度に比例した直流電圧がそのバイアス電圧に付加されて出力される。図1中にはCW+、CCW-の記号で回転方向が指示されている。この素子をどの方向から見るかによるが、右回転時に出力直流電圧値が増加すれば、左回転時には出

力直流電圧値は減少する。

本センサの応用用途としては、手ぶれ検出、振動検出、物体の動き検出などが列挙されている。ところで、このENC-03Jを使用することで、回転時の角速度値が得られるならば、それを時間積分すれば、変位角度量を求められるはずである。この見通しのもとで、システムの構築、即ち、回路の設計と製作を行った。

時刻  $t$  における角速度を  $\omega(t)$ 、変位角度を  $\theta(t)$  とする。角速度は

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (1)$$

で与えられるので、

$$\theta(t) = \int \omega(t) \cdot dt \quad (2)$$

従って、

$$\theta(t) = \int \omega(t) \cdot dt = \omega(t) \cdot T \quad (3)$$

$t$  を一定時間間隔のサンプリング時間  $T$  として固定すれば、

$$\theta(t) = T \cdot \omega(t) \quad (4)$$

即ち、計測開始時刻  $t = 0$  での変位角度  $\theta(0)$  を 0 とし、初期条件を設定すれば、その後の任意の時刻  $t$  における変位角度  $\theta(t)$  は、センサからサンプリングして得られる角速度値  $\omega(t)$  を積算し続けることにより得られることがわかる。



写真2 ENC-03Jの外観

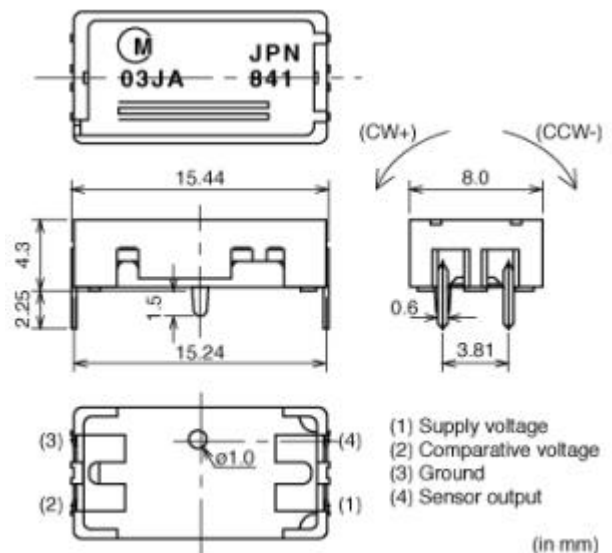
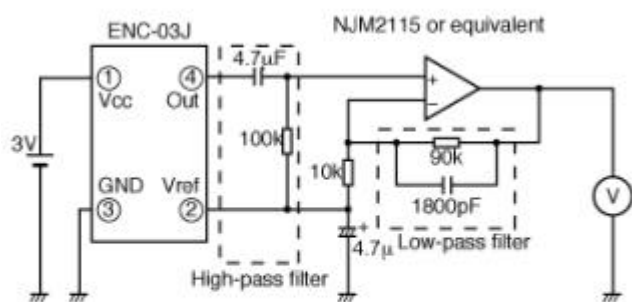


図1 ENC-03Jの外形寸法



The high-pass filter's cut-off frequency in this circuit is approx.0.3 Hz.  
The low-pass filter's cut-off frequency in this circuit is approx. 1kHz.

図2 ENC-03Jの応用回路

供給電圧	2.7V ~ 5.5V
消費電流	5mA
検出範囲	±300deg/sec
静止時出力	+1.35V
感度	0.67mV/Deg/sec
感度温度変動	±20%
リニアリティ	±5%FS
応答性	50Hz
重量	1.0g

表1 ENC-03Jの定格

メーカーの推奨する応用回路を参考にして、図3の回路図を作成した。ENC-03Jからの出力信号をHPF、LPFを通して、10ビットAD変換器を内蔵しているワンチップマイコンPIC16F873に入力する。AD変換器の変換ビット数は10ビットであるが、このワンチップマイコンは1バイトデータを8ビットで処理するので、この10ビットを2バイトに分割し、連続した2バイトとして、RS-232C専用ドライバ/レシーバであるADM232に送る。電圧レベルを変換してRS-232Cポートから出力する。ADM232は、TTLやCMOSの0V、+5Vの論理電圧レベルをRS-232C規格の電圧(-10V、+10V)に変換する。又これらの逆変換もこなす専用ICである。

この角度センサ部をパソコン側から制御するために、制御信号データも受信することができるようにもしている。計測の開始、停止、再開、終了はパソコンの画面からすることができる。

図2に示されている応用回路図では温度ドリフトなどをカットするために、HPFを入れている。が、角度変位量を正確に計測する場合には邪魔な回路である。従って実際の使用に当たっては、HPF部の4.7μFのコンデンサをショートして用いる。16F873に接続されている10段のR-2R方式DA変換器は、製作過程での動作チェックようにもうけた外付け回路である。これも実際の使用に際しては外して用いて良い。

本センサ部の電源として006pの乾電池を使用している。本回路を作成する際に、2次元加速度センサADX202を用いたシステムを参考とした。この回路では、電源として、RS-232Cの1つの端子を使用し、その論理レベルをHレベルとすることにより、回路に電源を供給することができるようになっていた。本回路でもこの方法を取り入れている。RS-232C対応9ピンDSUBソケットの第7番ピンがそれである。が、使用したパソコン(NEC PC-9821Xc13)では、供給できる電流量が小さいためと思われるが、役目を持たせることができなかつた。その他のパソコンでは現時点では試していない。

モニタ用LEDは制作中において、動作の確認のための指標として、完成後はデータの送信中を指示するのに使用している。送信スタートスイッチも制作中において使用したスイッチであるが、送信

開始及び停止などはパソコン側から制御することができるようになっているので、完成後は未使用としている。

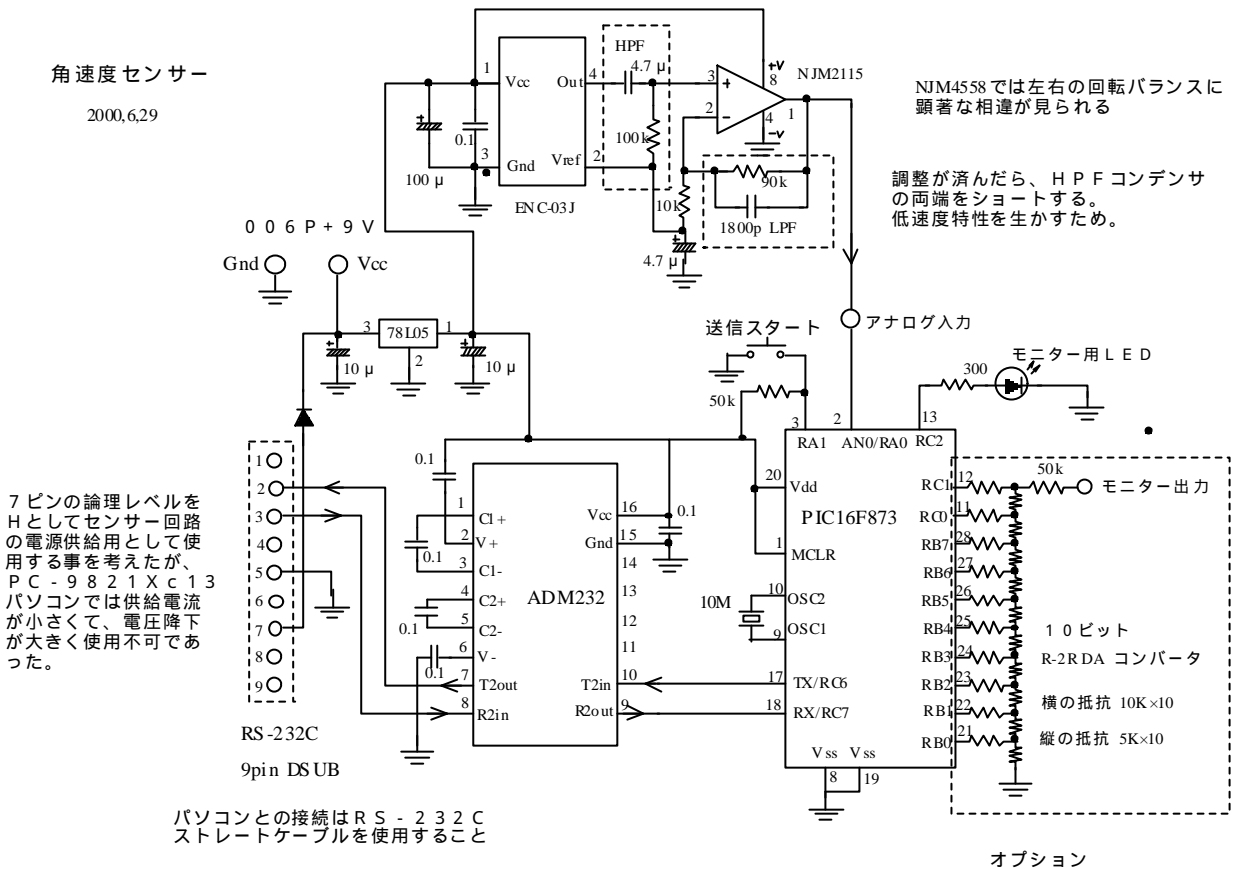


図3 角度センサ部の回路図

制御用に使用した16F873は10ビットAD変換器を内蔵している。PICシリーズの殆どは8ビットのAD変換器を内蔵している。このシステムに16F873を選択したのは10ビット故である。1Vの電圧スパンを10ビット変換すると、その分解能は約1mVであるが、8ビットでは4mVである。表1に提示しているENC-03Jの感度から、分解能は1mV以下であることが望ましい。変換ビット数の大きい専用AD変換器を使用することも考えた。が、回路が大きくなること、1mV以上の分解能を持たせても、回路中のデジタルノイズ、ENC-03Jの安定度などから、それほど特性の改善が得られないものと判断した。

なを、16F873には10ビットAD変換器を内蔵しているだけでなく、内部ハード回路としてRS-232C規格に準拠した専用入出力端子が備わっていることも採用に際しての魅力であった。

ところで16F873はマイクロチップ社のPICマイコンシリーズの最新素子である。読者が現有しているマイクロチップ社のPICライタ「PICSTART Plus」及びそのソフト「MPLAB」では書き込みができないかもしれない。その場合には、16F873を使用するために、バージョンアップが必要である。

ソフト「MPLAB」のバージョンアップは、マイクロチップ社のホームページにアクセスし、手

順良く探っていけば、最新版の「MPLAB」を簡単にダウンロードすることができる。

ライタをバージョンアップするためには、先だって未使用（或いは新品）のPIC17C44を1個準備する必要がある。「PICSTART Plus」内には、制御用ICとして、PIC17C44が使用されている。この素子に書き込まれているアセンブラプログラムを最新版に変更するのである。このアセンブラプログラム（＝ファームウェア）の入手及び変更の仕方については、同じくマイクロチップ社のホームページにアクセスし、「PICSTART Plus」のバージョンアップに関する項目にたどり着けばよい。現ライタで新PIC17C44に書き込むためのファームウェア・プログラムのダウンロードとともに、現有の「PICSTART Plus」を用いた変更のための丁寧な手引き書も入手することができる。書き込みが終了したら、ライタの後蓋を開け、旧PIC17C44をソケットから取り外し、プログラムの書き込みが正常に終了した新しい17C44を差し込む。後蓋を閉じれば、バージョンアップは完了である。

### 3．性能試験

図4にパソコン側の画面を示す。「受信開始」ボタンをクリックすると、右側の白抜き四角形（ピクチャ画面）内の中央から垂直に線分が描写される。「受信開始」ボタンがクリックされた時点初期条件とし、その時の角度センサの変位角度を $0^{\circ}$ とし、計測が開始される。センサ部を左右に回転すれば、その回転角度に対応して、線分が左右に回転する。「受信停止」ボタンをクリックすると、センサ部での計測を停止し、線分もその時のセンサの変位角度状態を指示したまま停止する。

再度、「受信開始」ボタンをクリックすると、その時のセンサの配位状態を $0^{\circ}$ として、モニタが開始される。計測を終了したければ「終了」ボタンを押す。

角度センサ部の消費電流は、モニタLED消灯時19mA、点灯時23mAであった。規格表などから、ENC-03Jの消費電流は5mA、16F873は2mAである。ADM232の消費電流が結構大きいようである。

ENC-03Jからの出力電圧は10.0m秒（もちろん変更可）毎にサンプリングし、10ビットデータに変換される。これを上位2ビットを1バイト、下位8ビットを1バイトとして、連続してRS-232C送信し、パソコン側でデータを受信して、データを復元する。計測は10.0m秒毎にアドレスで繰り返される。

（省略）

図4 パソコンの表示画面

角度センサ部に電源を入れてすぐに計測を開始すると、初期ドリフトが大きい。より安定した計測を実行するためにはウォーミングアップ時間が必要である。十分なウォーミングアップ後、計測を実行しても、短時間以内ならばそれほど目に付かないが、計測時間が長くなると、ドリフトの影響が見

に付き始める。センサを何度か回転し、開始時の状態に戻しても、画面に表示される線分の位置が開始時の位置からずれるのである。センサ部を非常にゆっくりと回転させた場合や、極端に早く回転した場合にこれが顕著となる。

結論として、本センサでは、短時間内の相対的な角度変位量、回転角度量を結構正確にモニタすることができる。が、長時間(数十秒以上)にわたっての絶対変位角度量のモニタには使えそうもない。従って、実際の応用に際しては、センサのこのような特徴を理解した上で行うべきであろう。長時間の安定性が乏しいからと言って、このセンサの利用価値が無くなるものではない。これらの特性を生かした利用方法を見いだせばよいのである。

#### 4. 使用方法

いたって簡単である。

- (1) 角度センサ部とパソコンの9ピンシリアルポート(RS-232C端子)の間を本システムとkすえいの専用ケーブル、或いは汎用RS-232C用9ピンストレートケーブルで接続する。
- (2) 角度センサ部の電源を入れる。
- (3) パソコン側でこのシステムのために開発した専用ソフトを実行する。
- (4) 画面で使用できるボタンは「受信開始」、「受信停止」、「終了」の3つだけである。
- (5) 「受信開始」ボタンをクリックして、計測を開始する。センサの角度位置を示す線分が描写され続ける。
- (6) 計測を停止したければ、「受信停止」ボタンをクリックする。その後、再開したければ、「受信開始」ボタンをクリックする。
- (7) 終了したければ「終了」ボタンをクリックする。