

傾斜センサシステム

金野 茂男

2001年3月19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
- 5．終わりに

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
ADXL202のテクニカルノート

1. はじめに

前回、角速度センサ（村田製作所製、ENC - 03J）を応用した回転角度センサシステムを構築した。このシステムは、ENC - 03Jを搭載したハード回路部を回転させると、その角速度値がハード部からRS - 232C通信でパソコンに送られる。パソコン側ではVisual Basic（professional版）で作成されたソフトを実行することでこのデータを受信し、リアルタイムでCRT画面上にセンサ部の回転角度をモニタできるものであった。

今回、このシステムを2軸加速度センサ（ANALOG DEVICES社製 ADXL - 202）に応用することで、センサの傾斜角度をリアルタイムでモニタできる2軸の傾斜センサシステムを構築した。

このシステムの概要は簡単に述べると以下の通りである。システムは2軸加速度センサADXL - 202と制御用のワンチップマイコンPIC16F873を搭載したハード部、本システム用にVisual Basic（professional版）で開発したハード部での計測開始、中断、終了の制御をし、及びハード部の傾斜角度をリアルタイムで描写し続けるソフト、このソフトを実行するパソコン、ハード部とパソコンを接続する専用RS - 232Cケーブルからできている。

写真1, 2にハード部の外観を示している。大きさは縦6cm×横6cm×高さ3cm程度である。使用したADXL202の端子はハーフピッチでプリント基板への表面実装型である。従って、上面外観を示している写真1ではADXL202は見えない。基盤にADXL202と文字が書き込んである下部に鎮座している。見えているICはPIC16F873とADM232である。ADM232はTTL・CMOS電圧レベルとRS - 232C電圧レベルを変換するレシーバ・トランシーバ・ドライバICである。左側にRS - 232C通信用9ピンDsub端子がある。この端子とパソコンの9ピンDsubシリアルポートをこのシステム専用のケーブルで接続する。後々の話の都合があるので、ハード部の左右と上下を写真1での姿勢で定義しておく。写真2にハード部の側面外観を示している。抵抗と可変抵抗が重なっているところの下あたりにADXL202のムカデ足がかいま見えよう。ハード部用電源としては前回の回転角度センサと同じく006pの乾電池を使用している。側面写真の下部の黒いケースがその乾電池のケースである。

ハード部は電池を持った一体型となっており、手で滑らかに任意の方向に傾斜させることができるようになっている。

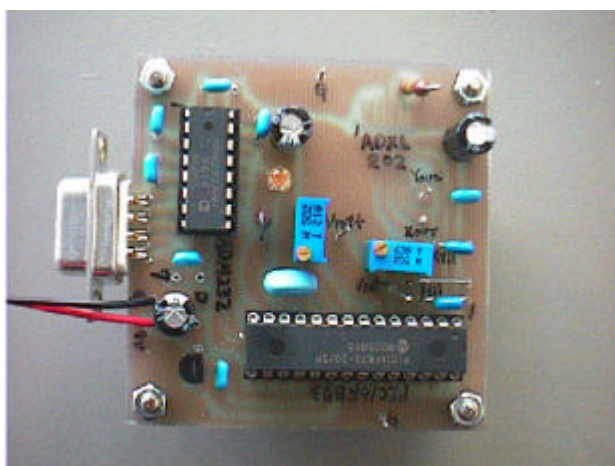


写真1 ハード部の外観（上面）

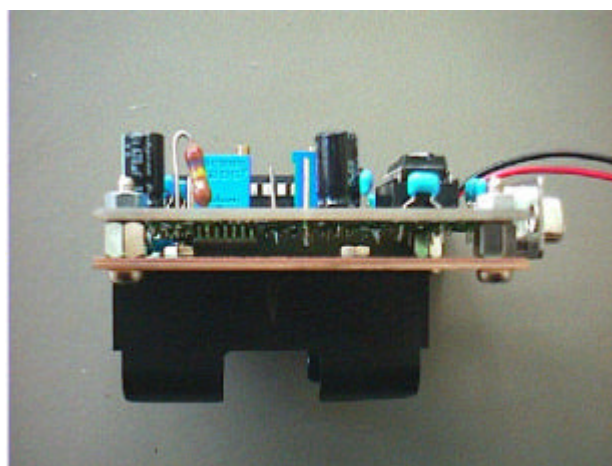


写真2 ハード部の外観（側面）

2. 設計及び製作

加速度センサADXL202のテクニカルノートは資料として後半に添付しておいた。詳細についてはそれを参照すること。

ADXL202は完全2軸の加速度センサである。動作の原理として、このICチップ上に形成された固定の電極とスプリングで吊された可動部電極からできている差動キャパシタにおいて、可動部分が加速度で振れる。その時、この可動キャパシタの容量が加速度に比例して変化することを利用して

この素子からの出力信号としてはPWMによる加速度量に比例したデューティ比信号を出力（出力端子は資料の中の図の10番と9番）する。即ち、加速度がゼロの時、デューティ比50%を出力する。加速度の±及び大きさに比例してこのデューティ比が変化する。この出力パルスをもとに処理することにより、2次元面でのx、y方向の加速度値を取得することができる。

このセンサにはPWMによる出力以外に、加速度量に比例した直流出力端子（出力端子は資料中の図の中の12番と11番）も備わっている。加速度がゼロの時には、一定の直流バイアス電圧を出力しているが、加速度が加わると、その±、及び大きさに比例して直流バイアス電圧が変化する。

今回の応用に当たっては、使用するワンチップマイコンには10ビットのAD変換器が内蔵されていること。パルス出力より、直流出力の方が扱いやすいことから、直流出力を使用することにした。図1にハード部の回路図を示しておく。

直流バイアスを処理するので、電源電圧の安定性が強く要求される。3端子電圧レギュレータIC7805を用いて安定化を図っている。RS-232C端子の7番ピンの出力電流が大きいパソコンが使用できる場合には回路図の右端に示されているダイオードを基盤に挿入することにより、パソコン側から電源を供給することができるので、乾電池は一応不要になる。電源のノイズやリップルが気になる場合には乾電池を使用すればよい。ADXL202の必要な外付け素子及びその値はテクニカルノートに従っている。PIC16F873には、10ビットAD変換器と共に、参照電圧としてのAD変換基準電圧値も設定できる機能が備わっている。4番ピンのVref-と5番ピンのVref+がそのための端子である。電源電圧が+5Vの時通常のAD変換器ではアース電圧0Vと電源電圧+5Vの電圧の範囲でAD変換をする。AD変換をする必要のある電圧範囲が特定の電圧範囲内にある場合、例えば+2.0Vと+3.0Vの範囲、にはこれらの電圧範囲内の値を+0Vと+5Vの範囲内としてAD変換するのでは分解能がもたない。参照電圧を+2.0Vと+3.0Vとしてこの参照電圧範囲内でAD変換できれば、必要な電圧範囲内で全ビット変換を行うことになるので、理想である。このように参照電圧が設定できるAD変換器はこの点で優れている。

電源電圧が+5Vで、加速度がゼロの時、ADXL202の出力電圧は約+2.5Vであった。傾斜角度を±90°とすると、出力電圧はおおよそ±0.3V前後変化した。つまり-90°から+90°の傾斜角変化で出力電圧は+2.2V～+2.8Vの範囲で変化することになる。傾斜角が大きさが90°ということは加速度と見なすとg（重力加速度）に相当する。このセンサは加速度にも感度があるので余裕を持って、参照電圧の下限と上限を、Vref- = +1.5V、Vref+ = +3.5Vとなるように5kVR可変抵抗で設定した。この際に、Vref-、Vref+の端子の入力インピーダンスは結構小さいので、あまり大きな抵抗値の可変抵抗を付けることはできないことに注意する必要がある。

PIC16F873には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。送信したい1バイトのデータを送信用の特定ポートに送る命令を実行すると、RS232Cコードに準拠したシリアルデータのデータパルス列が出力される。一方、受信用の特定ポートに到達し

たシリアルデータパルス列は1バイトのデータに簡単に変換される。17番ピンのTXが送信用ポート、18番ピンのRXが受信用の特定ポートである。このように、PIC16F873を使用すると非常に簡単にRS232C通信を行うことができる。ただ、ADM232のような電圧変換用ドライバが必要であるが。

PIC16F873に書き込んだアセンブラプログラムは後半に添付している。使用したアセンブラはマイクロチップ社の純正アセンブラMASMである。前回の回転角度モニターシステムで書き上げたアセンブラプログラムを母体にして、改変して仕上げている。プログラム中に注釈を多用しているので理解し易いと思う。

パソコン側で実行するソフトのリストは同じく後半に資料として添付している。このプログラムでも注釈を多用しているので理解が行くと思う。

システム実行用ソフトをパソコン側で実行し、処理画面中の開始コマンドボタンをマウスでクリックすることにより、ハード部は動作を開始する。ADXL202からの2出力はサンプリング時間10m秒(もちろん変更可)毎に交互にAD変換され、RS232C送信される。パソコン側で受信し、データは復元され、PICTURE画面内に用意されたx y領域内に計測したx y - 2次元の傾斜角度に依存した形で、領域内にスポットを描写し続ける。中止コマンドボタンをクリックすると、一時中止し、終了コマンドボタンを押せば終了する。

画面上を動くスポットの様子は、CRT画面上で動くマウスのポインターのごとくである。

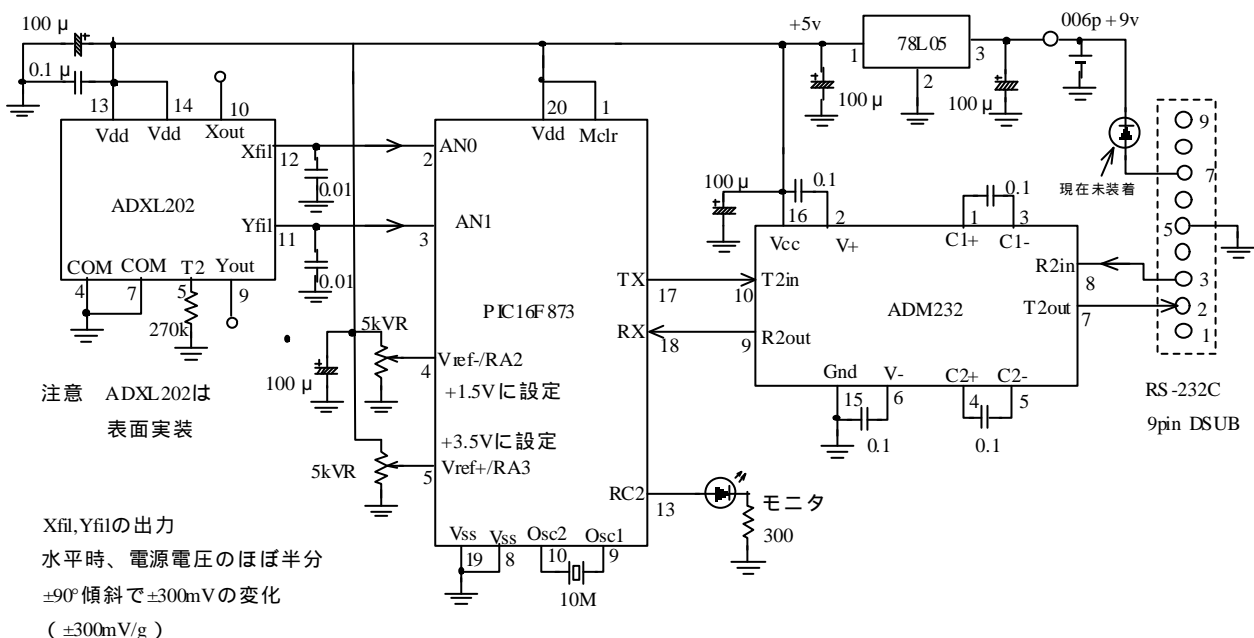


図1 傾斜センサハード部の回路図

3. 性能試験

性能として特に述べることはない。ADXL202の傾斜角度に対応してCRT画面上でスポットがマウスのカーソルと同じように動くだけである。直交した2次元の傾斜角度は各々 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ の範囲で計測できる。余談ではあるかも知れないが、傾斜角度を大きくして、例えば -110° としてもこれは -70° のことである。 $+120^{\circ}$ は $+60^{\circ}$ である。

ハード部を水平に保持して、計測を開始すると画面の中央部にスポットが現れる。左右に傾ければ、スポットはCRT画面（通常通り、画面はほぼ垂直に配位しているとする）上で左右に移動する。ハード部を上下に傾けると、スポットは上下に移動する。ハード部を右上方に傾ければ、スポットは画面上の右上部に、左下方に傾けると画面上の左下部に移動する。ただそれだけである。

このADXL202は「加速度センサ」という呼称が付いている。その名の通り加速度も計測できる。ハード部を傾けていなくても、ハード部に加速度を与えた瞬間、例えば急に動かす等、それに対応してスポットも動く。ハード部を水平にし、かつこの水平面内からはみ出ないようにしてハード部を動かせば、水平面内で計測した2次元の加速度量をモニターすることができる。が、少しでも水平面から外れたり、ハード部に少しの傾斜がある状態で動かしたときには、正確な加速度量はモニタすることは困難である。ハード部に加えられた傾斜量と、加速度量をこのADXL202は原理的に識別できないからである。

傾斜センサとして設計した本システムにおいて、サンプリング毎にスポットを描写させるとスポットの揺らぎが大きく、目障りであった。これは直流バイアス電圧のふらつき、IC内部の可動コンデンサの容量の時間変動、及びAD変換値のばらつきによるものと判断した。スポットが目障り無くスムーズに動くようにするため、サンプリングして得られた傾斜値の連続値（5つ）の平均値を常に算出し、この平均値でスポット描写位置を決めることにした。その結果、結構スムーズに移動するように改善された。

4. 使用方法

いたって簡単である。が注意事項がある

要注意 ハード部の電源を入れない状態で、「開始」ボタンをクリックすると、プログラムが固まってしまう。くれぐれも、ハード部の電源を入れた後、「開始」をクリックすること。

使用方法

- (1) ハード部とパソコンの9ピンDsubシリアルポートの間を本システム専用RS-232Cケーブルで接続する。
- (2) 006p乾電池に電極キャップをかぶせ、ハード部の電源をオンとする。ついでながら電源スイッチは付いていない。
- (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「開始」、「停止」、「終了」の3つだけである。

- (5) 「開始」ボタンをクリックして、計測を開始する。ハード部の傾斜量の大きさに対応して画面上でスポットが移動する。適当にハード部を動かす。
- (6) 計測を中止したければ、「中止」ボタンをクリックする。その後、再開したければ、「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。

5. 終わりに

A D X L 2 0 2 は「2軸加速度センサ」と名称が付いている。この「加速度」という言葉に魅力を感じた。この素子を用いれば、リアルタイムで加速度量が計測できるので、初等力学の基礎知識から、加速度を時間積算すれば速度、更に時間積算をすれば変位量を得ることができるので、物体の移動距離を2次元水平面内で、リアルタイムでモニターできるのではないかと考えたのである。当初この考えで「変位位置検出モニタ」の開発を試みた。水平面上でこのセンサを任意に動かして、加速度量を計測させ続け、得られたデータをプログラム上で処理すれば、C R T画面上にこのセンサの位置を描写させることができるはずである。

結果は全くいけなかった。このセンサは自身の傾斜量と自身に加えられた加速度量を本質的に区別ができないのである。従って、センサを水平面内で動かし、加速度を与えたとしても、センサがわずかな傾斜していれば、その傾斜量がそのまま実際の加速度量に加算されてしまうのである。わずかな傾斜でもそれがその状態で維持されていると、センサは「等加速度運動」を継続しているものと見なされ、途方もない速さ及び、途方もない変位量を算出してしまう。

その他の要因としては、直流ドリフトも上げられる。その瞬間での加速度の絶対値だけを問題にするならば、それほど大きな誤差にはならないであろうが、加速度の積分での速度の算出、更なる積分での位置の変位量の算出にはこのドリフトが無視できない影響を与える。

得られた結論として、このセンサは傾斜センサとしては良好な特性を示してくれるが、加速度センサとして使用する場合には、瞬間的な加速度値の計測には向いているが、長時間にわたって加速度値を積算して何らかの処理をさせようとするには不向きのように思われる。とはいっても何らかの解決策があるのかも知れない。

2 0 0 1 年 3 月 2 9 日