

光学マウスキットを応用した“卓上型”経路長・面積計測器

Desk Top Route and Area Measureing Instrument
which applied the Optics Mouse Kit

金野 茂男
KINNO Shigeo

1. はじめに

昨年度、卒業研究生が光学マウスキットを使用して何かをやりたいと希望したので、そのキットを購入した(Avago TECHNOLOGIES製 ADNS-5030光学センサー及び関係部品、当社のウェブサイト www.avagotech.com)。日本の取扱店に在庫がなかったので、米国より輸入することとなり、注文から納品まで約3ヶ月かかってしまった。その間、当の卒研生の興味は他の課題に移ってしまっていた。キットをせっかく入手したので、光学マウスとしての基本動作を確認するべく、著者がCPUとして、PICを使用し、試験回路を制作した。平面の上でマウスを移動させる毎に、x、y方向への移動量を簡易LCDに表示できることは確認していた。その後、このシステムはそのままとっていたが、最近、この光学マウスキットを利用すれば、地図上などでマウスを移動させることにより、経路距離を計測できるのではなかろうか？ また、さらには、同じく地図上で面積も計測できるシステムを構築できるのではなかろうか？ と考えた。

現時点までで、経路長計として、及び、面積計としても動作するシステムを構築することが出来た。写真1に本システムの試作品1号の外観を示している。写真2には少し改良を加えた試作品2号の外観を示している。両方のLCDには任意の2点間の移動経路長(L)がmm単位で表示されている。簡単な使用方法に馴れれば、測定誤差は数%以内である。時には0% (?) のこともある。LCD画面に表示されている他の表示データ等に関しては本文を参照すること。

写真3に、試作品2号(現時点での完成品)を使用して、ひょうたん図形を計測している様子を示している。手で移動体をひょうたん図形の外周に沿って移動中である。LCD画面にはその時点までの経路長(L=)、面積(S=)の値が表示されて

いる。計測開始点に一周して戻った時点で、LCD画面には、ひょうたんの全周値、及びひょうた

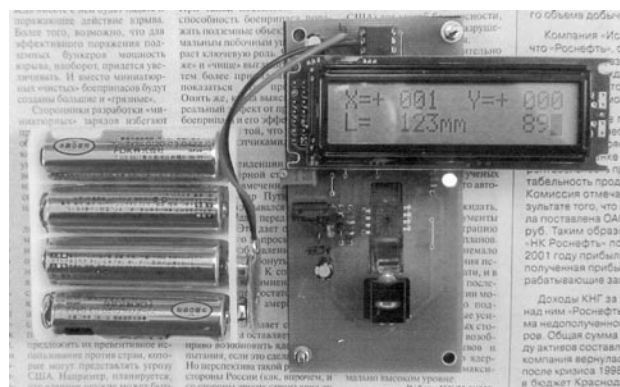


写真1 光学マウスキットを応用した経路長・面積計測器試作品1号

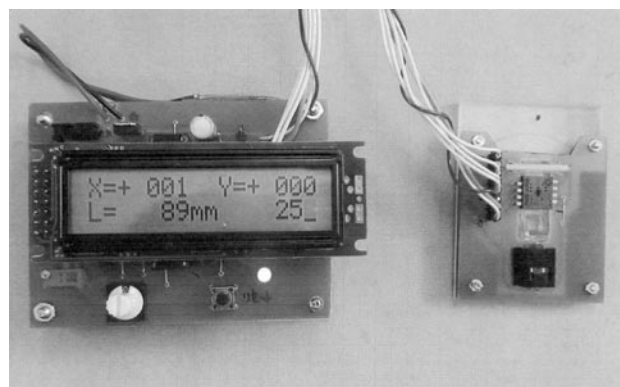


写真2 試作品2号(完成品)

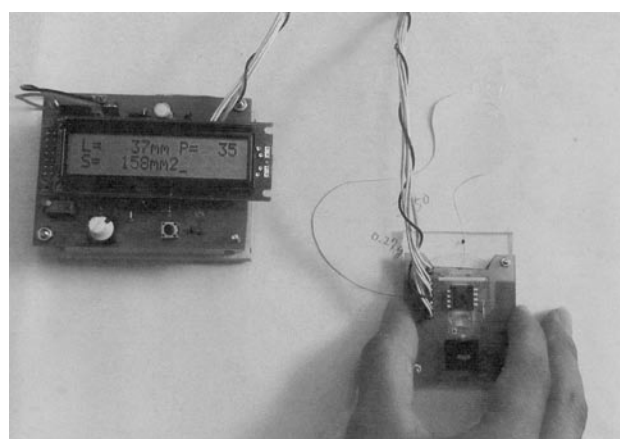


写真3 試作品2号で実測中

んの面積値が表示される。

本システムは地図などの面上を、あるA地点から、予定の他のB地点まで予定経路をなぞることで、AB間の経路距離長をLCD画面上に表示することが出来る。前もって、換算値を制御用CPUとして用いたPICのアセンブラプログラム内に書き込んであるので、LCD画面に実単位での経路長数値を得ることが出来る。即ち、実経路を150mm移動すれば、LCD画面には $L = 150\text{mm}$ が表示される。経路長以外に、AB間の東西(左右)移動量、北南(上下)移動量、AB間の直線距離数値も表示させることも出来る。また、A点からB点で閉じられる閉曲面内の面積値も得ることが出来る。円形、凸多角形は当然であるが、一応凸凹のある任意の閉曲線でも計測可能である。例えば、写真3で示しているひょうたん型など。しかし、どの程度ひねくれた変化をしている閉曲線内の面積まで精度良く計測できるのかは細かく詰めてはいない。本システムの再構築を試みようとする読者の課題としよう。以下で制作過程について述べよう。

ADNS-5230(Sencer)
光学センサー IC
ADNS-5200(Chip)
発光ダイオード保持器
HLMP-ED80(LED)
赤色発光ダイオード
ADNS-5100(Lens)長方形
長方形型レンズ付き光学センサIC保持器
ADNS-5100(Lens)円形
円形型レンズ付き光学センサIC保持器

表1 購入した光学マウスキット部品

2. 光学マウスキット

本システムで採用した光学マウスキットの説明書類は、A v a g o社のウェブサイトからダウンロードすることが出来る。英文であるが。

表1に、購入したキット部品一覧を示している。写真4がこれら部品の外観である。左上の黒い長方形が発光ダイオード保持器、その右が赤色発光ダイオード。ダイオードの頭が、保持器に入り込む。左下の黒い素子が光学センサIC。透

明プラスチック製の長方形と円形は、中心部は同じ形状をしており、発光ダイオードの光線を机上面上に導く光路、及び、小さいレンズがある。このレンズ上に光学センサICを装着し、発光ダイオードで明るく照射された机上面上の図柄を光学センサで取り込める仕組みとなっている。長方形、円形のどちらかを使用するのは、使用目的に対応させればよい。購入費用の明細書が見つからない。只、安いことだけは本当である。そのこともあって、ある取扱店で「この部品5組+コードレ

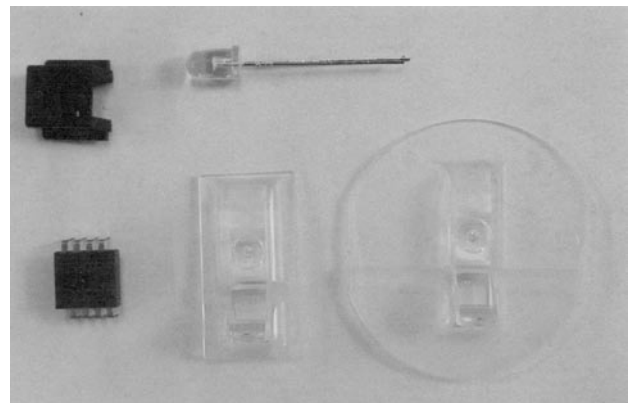


写真4 購入した光学マウスキット部品

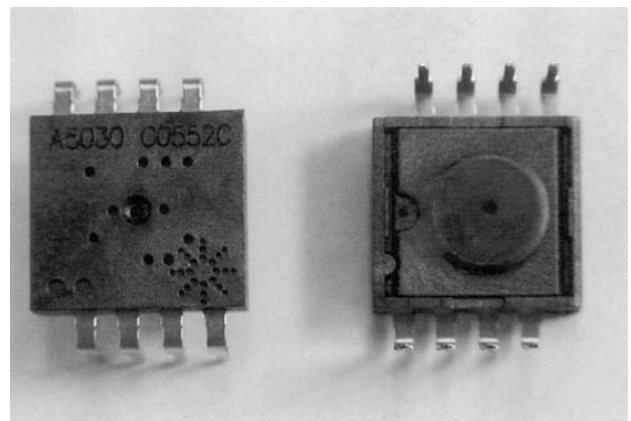


写真5 光学センサICの表面と裏面

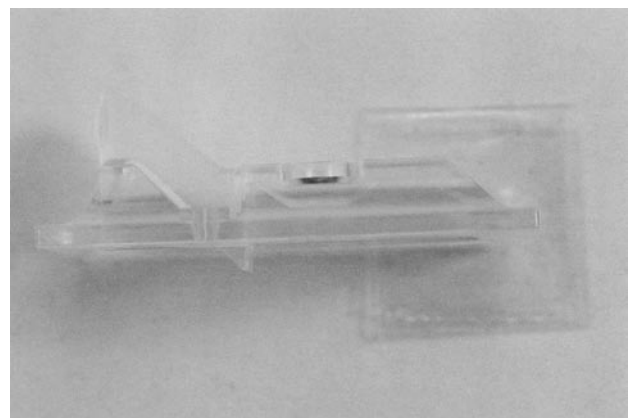


写真6 長方形型光学センサ保持器の側面形状

- | |
|--|
| 1. 2次元面映像パターンの変化から移動量を算出 |
| 2. 映像の解像度 500点/インチ 又は
1000点/インチ |
| 3. 検出可能移動量 14インチ/秒、加速度2g |

表2 使用した光学キットの主たる特性

「光学マウス1台」の組み合わせで、購入にこぎ着けた。なを、他の取扱店からは、表1のキット300組以上ならば、取り扱い、納品すると言われた。

写真5には光学センサICの表面と裏面を示している。このICは単なる光センサではなく、CPUを内蔵し、DSP処理能力も持ち、外部素子との相互通信の能力を持っている。裏面(腹)中央には小さな穴があり、この奥には2次元光学センサがある。レンズで集光された像が結像することになる。大きい円部分は、保持器のレンズ穴部分にぴったりと埋り込む。写真6には、光学センサICが乗る保持器の側面を示している。写真4中で示している長方形のものである。中央部にレンズがあり、このところに、光学センサICがまたがる。後掲の写真で見てとれる。左側には発光ダイオードが位置し、光はプラスチック内部の光路を通過して、机上面を照らすことになる。各部品大きさ、部品の配置関係についての詳細は説明書に譲る。

表2に、説明書から抜き出した本光学マウスキットの主たる特徴を列記しておく。図1に、本光学センサキットを机上面に配置し、それを側面から見た時の概略図を示している。光学センサICは自立して机上面上の模様を取り込む。センサが動いていれば、ICの取り込む模様は変化し、センサが動いていなければ、ICの取り込む模様は前のままである。センサICは時間前後の模様をIC内部で自動的に比較し、模様に変動があれば、模様の移動量、即ちセンサのx方向とy方向への移動量を出力する。移動がなければ、移動量データは出力されず、かつ省エネ動作のため、LEDの輝度を低減する。本システムでは今のところ使用していないが、センサICからは移動量の他に、測定によって得られた種々の物理量も出力される。又、センサICへの動作制御命令コードも書き込

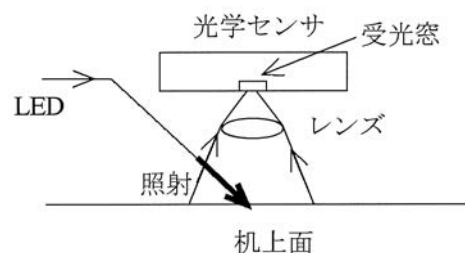


図1 光学マウスキットと机上面間の概略図

むことが出来る。これらの詳細はセンサICの説明書に譲る。

光学センサ保持器の下面と机上面との間隔（およそ $2.4\text{ mm} \pm 0.4\text{ mm}$ ）は1mm以下の精度で指定されている。この間隔をいい加減にすると、正常動作しない可能性があることに留意しておく必要がある。LEDによる机上面の照射は斜め方向から行われていることが、図1からわかる。2.4mmの間隔で、LEDはレンズ真下の机上面の小さい領域を照射するようになっている。従って、この間隔が短すぎると照射位置はレンズの真下より左側となる。逆に間隔が長すぎると右側にずれる。自作においては、説明書をしっかりと参考する必要がある。

写真7から写真10に、説明資料に掲載されている図などを紹介しておこう。写真7は、写真4、表1で紹介しているキットの組み立て図である。本システムの制作にあたっては、一番下の基台と真ん中の配線基板は、制作者自身で調達することになる。写真8は、写真7に従って部品を組み立てた後、それを側面から見た図である。センサIC、LEDが装着された基板の中央にはプラスチックIC保持器が調子よく納まるように長方形の穴を開ける（この穴の形状は写真7で見てとれる）。基台の中央部にも穴を開ける。LEDからの光はプラスチックの導波部を通過して基台の乗っている面を照射する配置となっている。

写真9には、光学センサICの内部回路ブロック図を示している。DSP、2次元イメージセンサが内蔵されていることがわかる。写真10では、2次元イメージセンサのピクセル配置が図解されている。15ピクセル×15ピクセルである。

3. 制作

図2に、写真2で示している試作品2号の電子

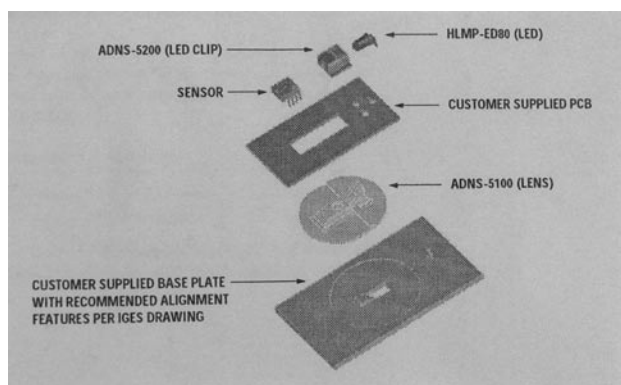


写真7 キットの組み合わせ

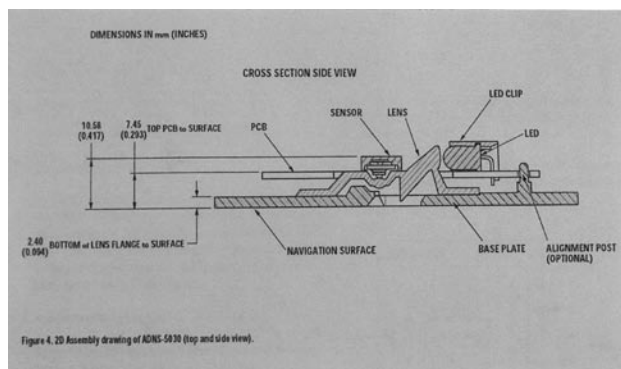


写真8 キットの側面分解図

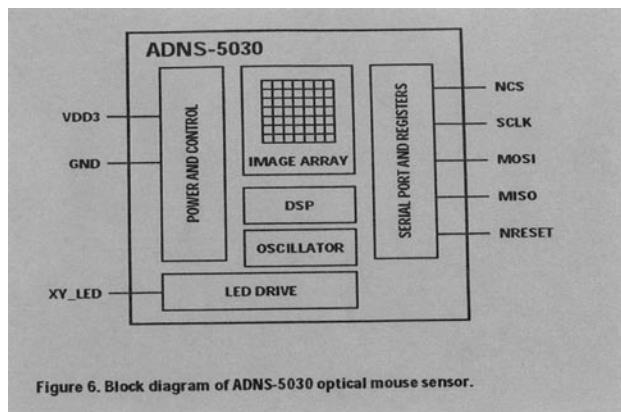


写真9 光学センサICの回路ブロック図

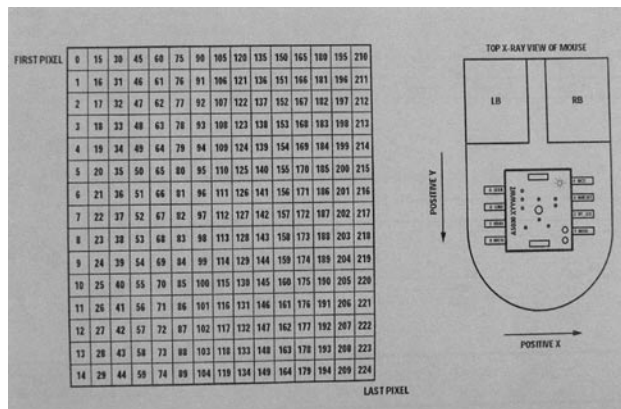


写真10 光学センサ IC 中のピクセルの配当図と XY 方向の対応図

回路図を示している。試作品1号の回路に若干の変更及び回路の付加をして出来たものである。試作品1号では電池だけを別として、システムを作り上げていた。2号では、光学キット部分と制御部+LCD+電池部の2つにシステムを分割することとした。理由はLCDが結構大きいからである。使用できるLCDが十分に小さいものであれば、電池も小さいものとし、システムを完全に1体型、例えば太めのボールペン型にでも出来よう。が、何分にもLCDが大きい。無理に電池も小さくする必要はない。このままで1体型とするには、無理があろう。試作品である。2号のような2体型で当面我慢することとした。小さいLCDが入手できるようになったならば、1体型のペン型システムにしてみようとは考えている。

光学センサICは8端子素子である。DIP似であるが、単位はインチ規格ではなく、mm単位となっている。Vdd3端子は電源端子である。+3.3V仕様であるが、手元の3端子レギュレータが3.0Vのものであったので、+3.0Vとした。電源端子とXY-LED端子の間に赤色LEDを配置する。センサICの自動制御により、このLEDは自動的にオン/オフする。センサICが移動していれば、連続オン状態でLEDは点灯し、センサICが停止していれば、LEDは省エネルギーモード点灯となる。NCSは素子選択端子である。Lレベルでこの素子が能動となる。SCLKはシリアルクロックパルスの入力端子である。このICへのデータの書き込み、このICからのデータの読み出しのためのタイミングパルスはこの端子から入力させる。MOSI, MISOは制御データの入力、或いは測定データの出力用端子である。これら端子の機能及び正確な説明は説明書に譲る。

写真11、12で、光学マウスキット部品を装着した「スキャン部」の形状を紹介する。光学マウスキット部品だけをスキャン部(=移動部)として作成した。回路図中で波線で囲んだ部分である。光学センサIC, LEDは片面ガラスエポキシ基板に装着した。透明アクリル樹脂板を用いたベースプレート(厚さ2.5mm)と基板の間にレンズ付きIC保持器がしっかり固定されるようにしている。光学センサICの先の透明アクリル板上に黒点を印している。この黒点をマーキング点とし

て使用する。マーキング点を注目しながら、マーキング点を予定経路に沿って移動させるわけである。PIC18F252の電源は+5.0V。光学センサの電源は+3.0Vなので、2つの素子の中で、電圧レベルの変換が必要となっている。PIC→光学センサでは抵抗分圧方式、光学センサ→PICでは2段のトランジスタ・スイッチング

回路を用いている。

PICには16文字／行×2行のLCDが接続される。表示したい文字、データなどが多そうなので、ロータリースイッチを接続し、幾つかの表示画面を選択できるようにした。

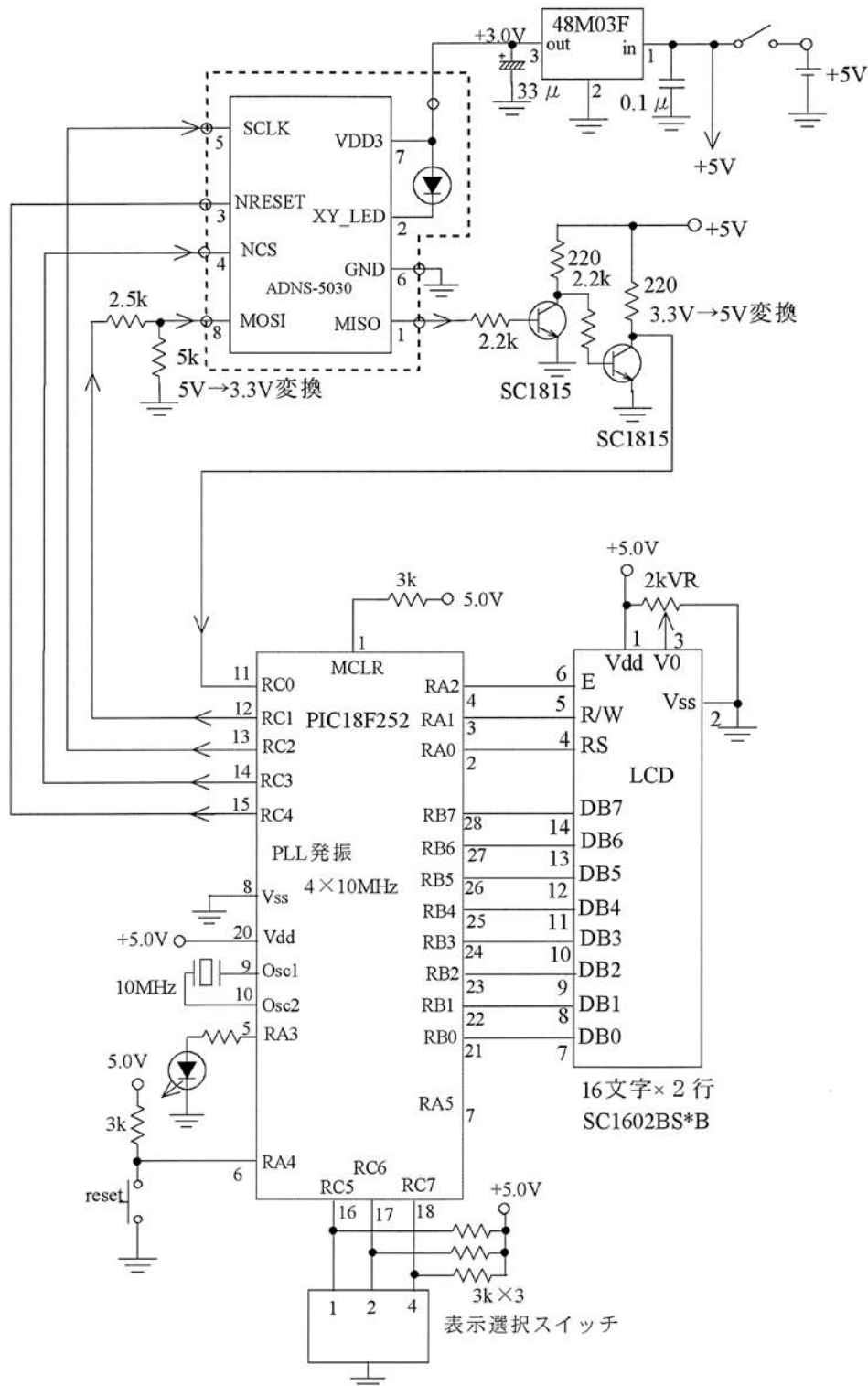


図2 本システムの回路図

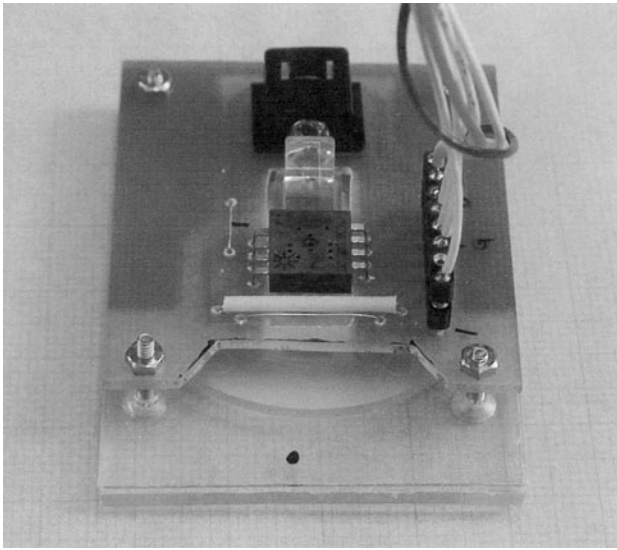


写真11 スキャン部 前方上から

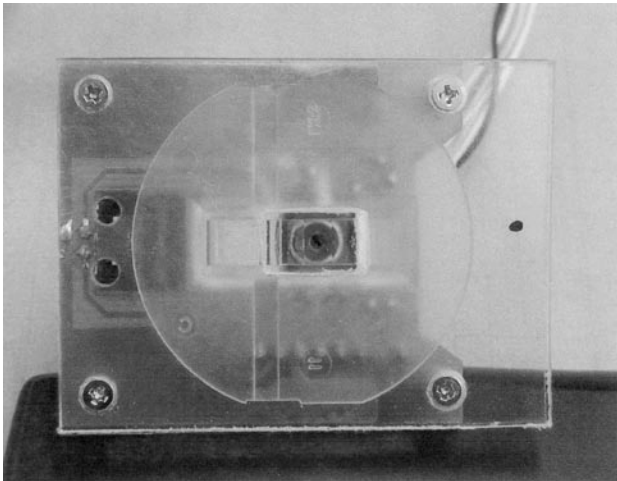


写真12 スキャン部 底面から

4. 計測方法、及び流れ図

図3に、計測の流れ図を示している。光学センサICからは、x方向、y方向への移動量（各々 Δx 、 Δy 。当然正負値を有する）が、逐次出力されてくる。但し、センサICが移動していない、即ち停止している状態では、センサICからのデータの送信はない。センサICが停止しているのかそれとも動作中なのかは、センサIC自身が判断を下している。動作をしていれば、前回移動量を送出した時点からの移動量を送出する。センサICから送出されてくるこのデータをPICで受け取る。移動開始からx方向への移動量の総和の算出により、左右への最終移動量（ Σx ）、y方向への移動量の総和の算出により、上下方向への最終移動量（ Σy ）が求まる。逐次出力されてくる移動量（ Δx 、 Δy ）にピタゴラスの定理を適用し、各々毎の微小移動量（ $= \Delta = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ ）を算出する。この微小移動量（ $= \Delta_i$ ）を、逐次総和（ $\Sigma \Delta_i$ ）し続けていけば、移動経路長（ $\Delta_{sum} = L$ ）が求まる。

図4で、経路長の算出方法を図解している。始点を開始点として、計測したい軌跡に従ってセンサICを移動させ続ける。センサICから送出されてくるx方向、y方向への移動量からピタゴラスの定理を適用して微小直線移動量を算出する。これを単に積算していくだけで、終点までの経路長が求まるというわけである。円形など、一方方向に曲がっている曲線に沿っての計測値は若干小さめに出てしまうことは図から理解できよう。内側の直線の総和となるので。そのような場合には、センサICの移動に若干の手心を加えれば、より精度の高い計測が行えよう。

図5、6に、閉曲線で囲まれた面積の算出方法を図解している。面積の算出には、3角形の3辺から面積を求める公式であるヘロンの公式を採用する。三角形の3辺の長さを a 、 b 、 c とすると、三角形の面積 S は

$$S = (s(s-a)(s-b)(s-c))^{1/2} \quad (1)$$

ここで、

$$S = (a+b+c) / 2 \quad (2)$$

常に、始点を3角形の1つの頂点とし、かつXY座標系の原点ともする。軌跡に沿って動いているセンサICから送出されてくる連続した2点を、残りの2つの頂点とした三角形を考える。2つの頂点の座標値（ x_{i-1} 、 y_{i-1} ）、（ x_i 、 y_i ）は、連続した2組のデータ（ Σx_{i-1} 、 Σy_{i-1} ）、（ Σx_i 、 Σy_i ）で与えられる。先頭に立つ辺を a 、後行する辺を c とすれば、

$$\begin{aligned} a_i &= (\Sigma x_i^2 + \Sigma y_i^2)^{1/2} \\ c_i &= a_{i-1} \\ &= (\Sigma x_{i-1}^2 + \Sigma y_{i-1}^2)^{1/2} \end{aligned}$$

で決まる。軌跡に沿っている残りの辺 b_i は、前述した微小線分素そのものである。

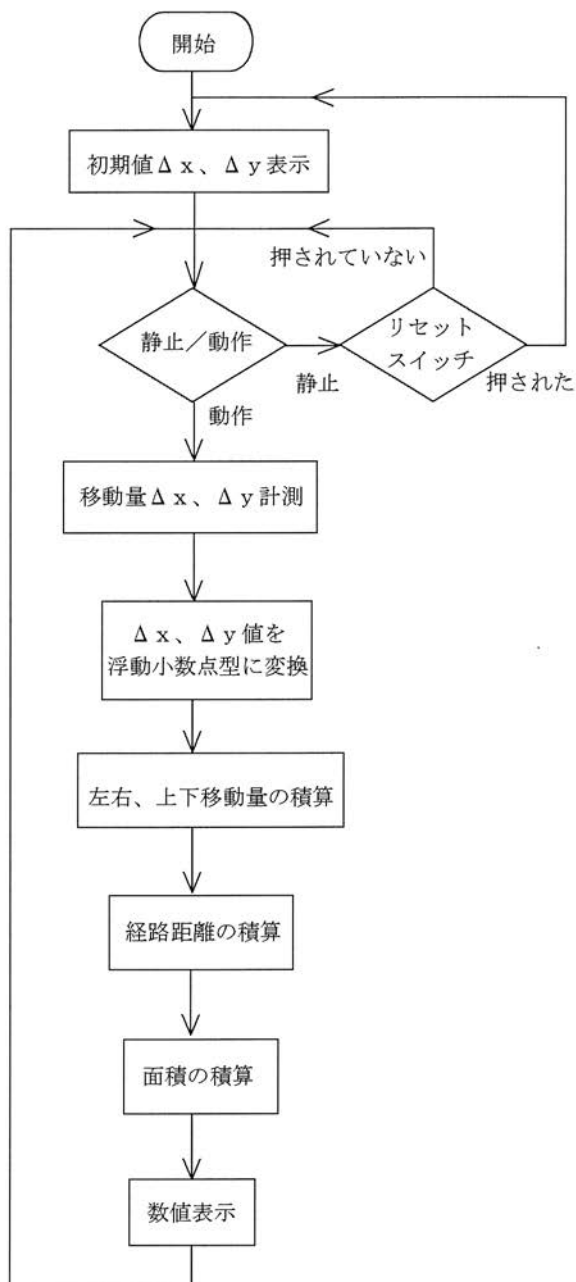


図3 計測流れ図

$$b_i = \Delta_i$$

3 辺の長さが決まるので、式(1)、(2)より微小三角形の面積が決まる。後はこれを積算するだけである。これらのことを図5で図解している。

図5では、始点を発してから軌跡が単調に左回りの場合を例示している。そのような図形に適用できる。一般的な図形の軌跡は、図6に示しているように、軌跡は必ずしも一方向に向かって移動しているわけではない。辺1、辺2、辺6、辺8、辺9は左回りに移動しているが、辺3、辺7は右回りに移動している。このような図形にもヘ

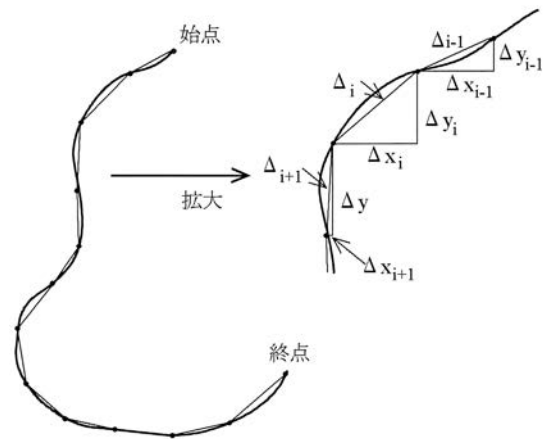


図4 経路長の算出

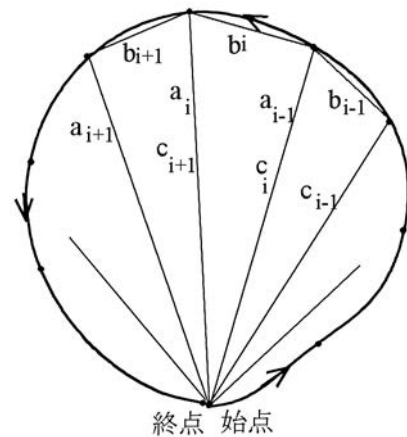


図5 面積の算出 その1

ロンの公式を適用し、総面積を求めることができる。辺 b が左回りの向きをしている場合の微小三角形面積を正值と定義する。辺 b が右回りの向きを持つ微小三角形面積は負値と定義すればよい。このように定義すれば、最終的に閉曲線で囲まれた、任意の曲線内の微小三角形にヘロンの公式を適用し、面積を求め、逐次総和していくことで閉曲面内の面積を求めることができる。

アセンブラプログラムでは、数値データは主に浮動小数点型で処理している。著者が既に開発した実数・関数演算ルーチンをここでも使用している。このルーチンの使用により、ピタゴラスの定理、ヘロンの公式の適用のためのプログラムの書き上げは、極めて容易に行えている。ソースプログラムを覗いてみればわかることであるが、面積を求める部分のプログラムステップ数はおよそA4板3頁分で済んでいる。

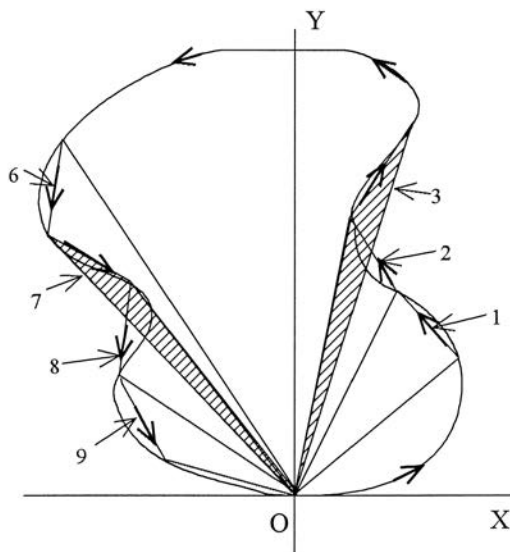


図6 面積の算出 その2

5. アセンブラプログラム

PIC18F252に書き込んだアセンブラプログラムは、開発ソフトはマイクロチップ社のMPLAB IDE V7.50、ライターは同社のPICSTART Plusを使用して書き上げた。アセンブラプログラムのリストを最後に資料として、本論文に添付しておいた。アセンブラプログラムには、浮動小数点型演算ルーチンも付加しているが、このルーチンは非常に長い。本論文の資料としてはいたずらに長くなりすぎるので、このルーチン部分は省略したプログラムリストである。

プログラム中での様々な演算は、浮動小数点型で行っている。本システムを開発中に、浮動小数点ルーチンに不都合がある点がわかった。割り算サブルーチン部分(div__exe)である。X÷Yを実行する時、Yをどういふわけか正值に限定していた。サブルーチンの序文にそれは明記されていた。逆ニュートン法を素直に適用しようとして、そのままになっていたものと思われる。今回、この制限を取り払ったサブルーチンに書き直した。これに伴い、変数名の若干の変更を行った浮動小数点を取り扱う変数名に「sign、fig、exp」の文字列が使用されていた。signが4文字で、fig、expが3文字である。すっきりさせるため「sign」を「sig」に変更した。従って、本システムに適用している浮動小数点演算ルーチンが、著者の公開提供する最新版である。本プログラムから複写することで、今まで通り使

用することが出来る。

アセンブラソースプログラムには、注釈を多用している。プログラム内容については、ここでの説明は省略する。ソースを読んでほしい。

6. 使用方法及び性能

使用しているLCDは16文字／行×2行である。得られる計測値を全てを表示するには小さすぎる。制御基板上にロータリスイッチを配置し、各種計測値の表示画面を切り替え使用できるようにした。図8に、ロータリスイッチの位置番号と表示画面の対応を与える。

使用方法

- (1)図7で示しているように、計測したい図形や経路の上に、移動部を置く。
- (2)移動部の移動に際して邪魔にならないところに固定部(表示部)を置く。
- (3)移動部を右手で持ち、マーカ点を図形の輪郭の1点や経路の始点に置く。
経路長を計測するならば、経路の端点にする。
面積まで計測したければ、閉曲線の任意の位置を始点にすればよい。図6で解説している方法で面積の積算を行っているので、図形のを目の前に於いた時、一番下の部分を始点にした方が無難かもしれない。
- (4)左手でロータリスイッチを希望する番号に設定する。
- (5)電源スイッチを入れる。
- (6)右手で移動部を動かし、図形の輪郭や経路をなぞって行く。
移動部は平行移動の状態で移動させなければならない。傾けたり、回転させたりすると、正確な計測は保証されない。
- (7)LCD画面にデータ群が描写され続ける。
- (8)終点に達すれば、LCD画面中の数値は図形の面積、経路長である。
- (9)終了したければ、電源スイッチを切る。
- (10)計測を繰り返したければ、マーカ点を始点に戻してから、リセットスイッチを押す。

(11)(6)からくり返す。

計測は何度か反復して行うことを勧める。移動体の移動速度は余り早くしないほうがよい。どの

程度の速さで移動させればよいのか？ このためには、本システムが完成したならば、最初に方眼紙上で、本システムを動かし、方眼紙から正確に決まる移動量とLCD画面に表示される数値を対応を行えば、わかるであろう。早過ぎずである。

表2では、光学センサは結構高速でも移動させることが出来ることがわかる。出力されてきた移動データをPICが演算処理をしている。光学センサが高速に動いても、演算処理に時間がかかる。システムを操作すれば直ぐわかるが、移動部はゆっくりと動かすことを勧める。

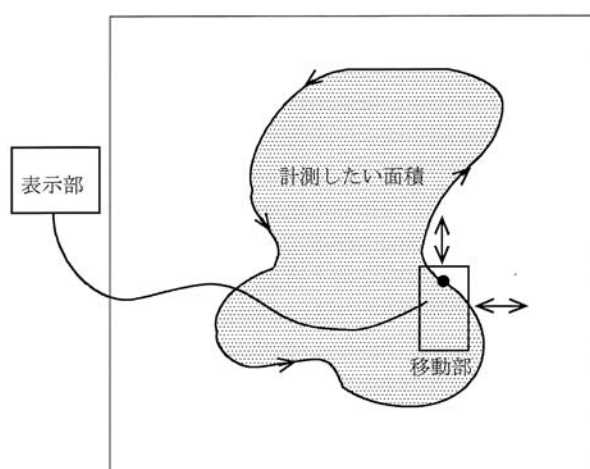


図7 実測の説明図

性能

- (1) 経路長、面積とも測定精度は、5%以下、場合によっては1%以下で納まる時もある。移動退部を早く動かしすぎると、大きな誤差となる。
- (2) 計測する経路は明瞭な線である必要は全くない。頭の中で仮想した経路でも計測できる。同じことは面積での計測でも言える。明瞭な輪郭がある必要は全くない。仮想した形状の面積でも求めることが出来る。
- (3) 下地はコントラストの無さそうな白紙でも計測可である。手元にあるものを下地として試してみた。

計測良好

- ① 真っ新の通常の方眼紙
- ② 真っ新の中質コピー用紙
- ③ 地図
- ④ 灰色一様の机上面
- ⑤ 黒色一様の机上面

計測不調

- ① テカりのある面
- ② 透明な面

(4) 計測可能領域は今の時点では、面積でA3版程度以上である。領域の制限はLCDに表示している数値の桁数で制限されている。LCD画面に、より多くの桁数まで表示できるようにプログラムを変更すれば(それほど難しい課題ではない)、計測可能領域の制限は一応なくなろう。

7. 終わりに

思うところを列記しよう。

- (1) 本システムはやはり、片手で操作できる筆型にしたい。小さく表示文字数が多いLCDの入手、小型のクロスキーパットの入手が可能となったならば、やってみたいと考えている。
- (2) 現システムは、経路を10mm移動させれば、LCD画面に10mmが表示される。即ち方眼紙に対しては縮尺は1:1となっている。このことは方眼紙上で計測を行えば、すぐに確認できる。また、方眼紙上での計測はデータを補正する方法としても採

開始画面

Kinno Labo
Opt Sencer

制作者

0

X= Y=
L= mm P=

Δ値
経路長、計測回数

1

L= mm P=
S= mm2

経路長、計測回数
面積

2

ΣX= mm R=mm
ΣY= mm

左右移動長
上下移動長、直線長

3

未定

4

未定

図8 ロータリスイッチ番号と表示画面の対応図

用している。実際の地図に於いては、縮尺が行われている。移動部が地図上で経路を50mm移動したならば、50kmなのかもしれない。このような場合には、LCD画面には、この50kmを表示させるべきである。プログラム中に、この時の縮尺度に基づいた値の換算パラメータを書き込んでおけば、容易に行える。が、現システムでは、縮尺度が違えば毎に、パラメータ値を変更するためにアセンブラプログラムを書き改めなければならない。これでは大変である。

固定部の方にクロスキーを設定し、メニュー方式を採用して、縮尺度等の選択をできるようにすべきであろう。このようなメニュー方式は、著者は既に、幾つかのシステムの構築に於いて採用している。それを転用するのが最短の道である。が、直ぐやるかどうかはまだ未定である。

- (3) 単なる経路計、面積計以外に応用例はないであろうか？工場内での搬送ロボットは、既に実用化されている。室内清掃用移動ロボットが実用化(?)の段階に入っていようし、家庭内、病院内での介護ロボットは開発段階にある。これらロボットの位置決めで使用できそうである。
- (4) 光学センサと照射面との間隔(=Z)が大きくとれるようになり、又、LEDによる机上面の照射位置などに変更が加えられるならば、本システムの適用範囲を拡大できるのではなかろうか。

最後に、PICに書き込んだアセンブラプログラムファイルは、著者のURLからダウンロードできる。また、この論文の後、本計測器の改良を継続して行ってきた。LCD画面でメニュー方式で、処理選択、換算数値の入力等が行える改良版も既に製作している。また、電池も内蔵させた太いペン型の改良版も製作している。これらの論文は、著者のURLからダウンロードできる。

著者のURL

<http://www.oyama-ct.ac.jp/D/kinnoken>