

## 2.5 次元立体ディスプレイ用制御システムの開発 Development of The Control System for 2.5Dimension Display

高橋 等

Hitoshi Takahashi

(平成23年10月4日 受理)

### 要旨

2.5次元立体ディスプレイは10000本のロッドを制御し立体を表現する装置である。

多数のロッドを制御するシステムには、速度、精度、消費電力、耐久性、安全性、拡張性、保守性、汎用性など様々な条件が要求される。

本研究ではこれらの条件を勘案しながら、最良の制御システムを目指して開発を行って来たが、本論では多数のサーボモータを制御するシステムとリニアエンコーダによる位置制御システムの開発について報告する。

### 1. はじめに

2.5次元立体ディスプレイは、ストロー状のロッドを10000本（プロトタイプでは1600本）上下に移動して立体を造形する装置である。

このロッドの固定はマトリクス状に配置したラジオコントロール用サーボモータ（以下RCサーボモータ）で行うため、縦100個、横100個、計200個のRCサーボモータを制御しなければならない。RCサーボモータは飛行機やヘリコプターなどのラジコンや、ホビー用の2足歩行ロボットに使用されているが、多くても1台あたり20個程度であり、200個のRCサーボモータを制御するためには、省電力、発熱対策、ノイズ対策などが必要である。

また、ロッドを上下する機構では、汎用の電動昇降機を使用して、300mmの距離を1mmの分解能で制御するため、専用の位置制御システムが必要である。

本研究では、これらのシステムをコストや工作技術の制約を考慮しながら設計し、ハードウェアの製作を行った。

## 2. 2.5次元立体ディスプレイ制御システム

### 2.1 制御システムの概要

本制御システムは、パソコンのUSBポートからの信号をRS232Cのシリアル信号に変換する回路、シリアル信号から命令をデコードする回路、命令に従いRCサーボモータを制御する回路、電動昇降機のモータを駆動しその変位を計測して位置を制御する回路で構成している。また、それぞれの回路はPICマイコンを使用し、C言語で作成したプログラムを内部のフラッシュメモリに書き込んで動作させる。なお、RCサーボモータの制御回路は32回路と、命令デコード回路一つを一組とし、一つの基板に実装している。

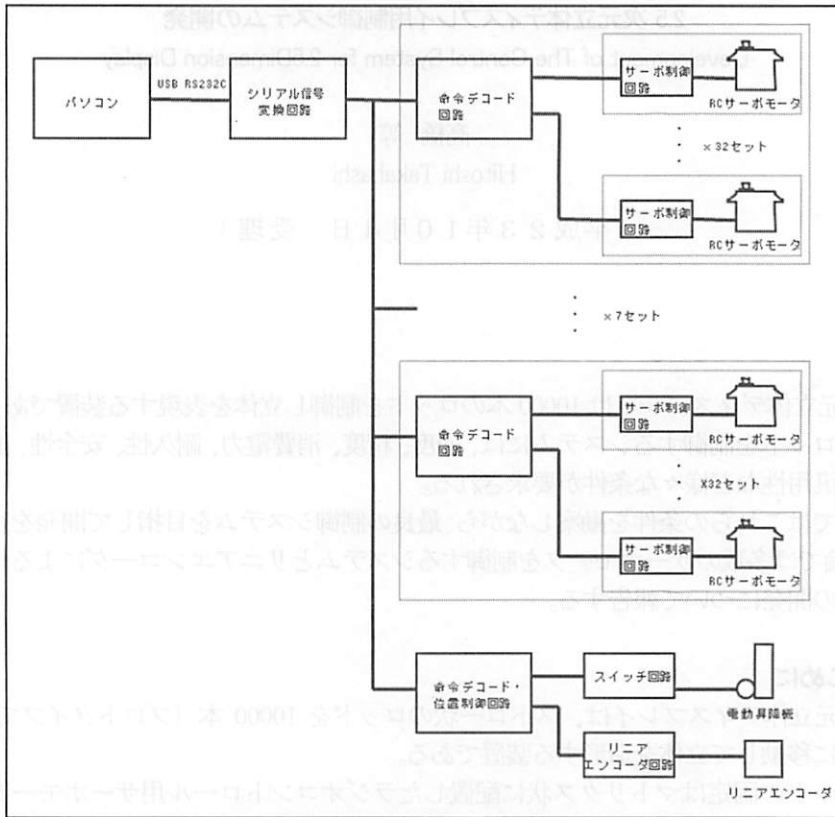


図1 制御システムの回路構成

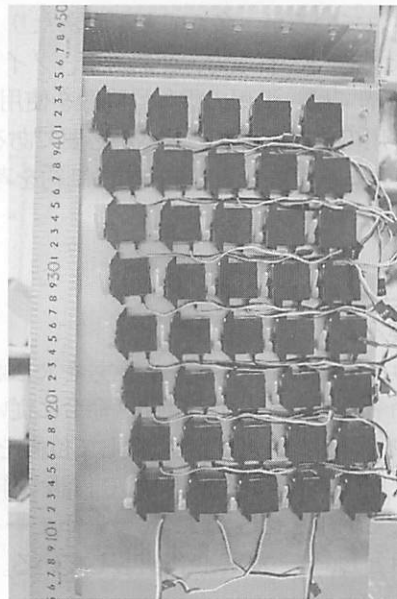


図2 2.5次元立体ディスプレイの駆動部

## 2.2 シリアル信号変換回路

シリアル信号変換回路は、USB と RS232C を変換するケーブルを接続し、信号電圧を 12V から 5V に変換用 IC ADM3202 を使用して変換している。ここから、他の回路に信号を分配するために、バッファとして 74LS541 を使用して、出力端子数を増やしている。

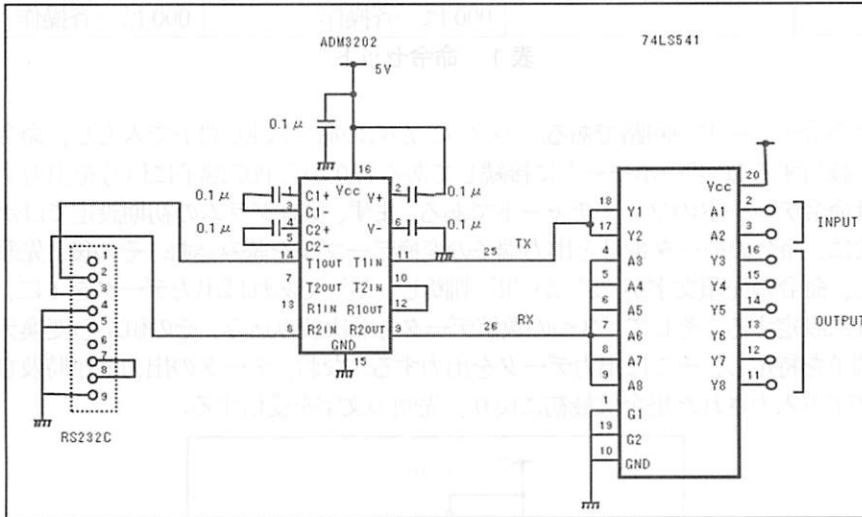


図3 シリアル信号変換回路図

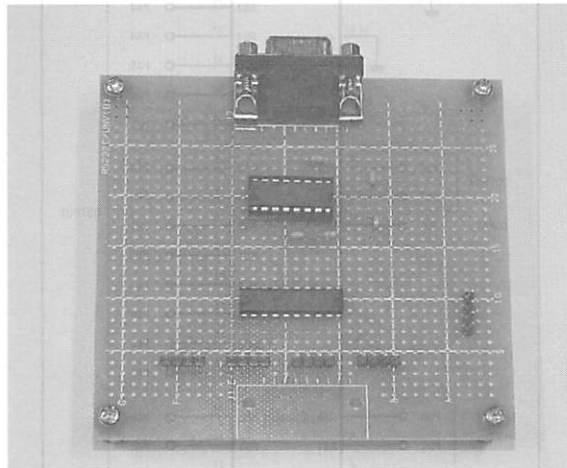


図4 シリアル信号変換回路基板

## 2.3 命令デコード回路

パソコンからは、9600bps, 8bit, ストップビット 1, パリティ無しで、命令の文字列が送られて来る。この命令は、表 1 のように、昇降機の位置、RC サーボモータのセット、リセットからなり、PIC マイコン 16F877A で文字列をデコードして該当する RC サーボモータ制御回路や電動昇降機の位置制御回路に信号を送っている。

制御対象	昇降位置	RC サーボセット	RC サーボリセット
命令文字列	P000~P300	S000~S200	R000~R200
機能	数値は原点からの移動位置(0mm~300mm)	数値 001 から 200 は RC サーボモータの番号。 000 は一斉操作	数値 001 から 200 は RC サーボモータの番号。 000 は一斉操作

表 1 命令セット

図5は命令デコードの回路である。パソコンからの命令はRX 端子で入力し、命令を解釈した後、該当するRC サーボモータに接続してあるPA0 からPD7 端子に信号を出力する。

図6は命令デコードのフローチャートである。まず、プログラムの初期設定ではポートの設定と共に、命令のモータ番号と出力端子の変換テーブルを読み込む。その後、先頭の文字を受信し、命令の先頭文字が‘S’か‘R’判断し、‘S’であれば出力データを1に、‘R’であれば0に設定する。そして、3つの数値データを順次読み込み、その値から変換テーブルで出力端子を特定し、そこに出力データを出力する。なお、データの出力終了時及び、命令にない文字が入力された場合は最初に戻り、先頭の文字を受信する。

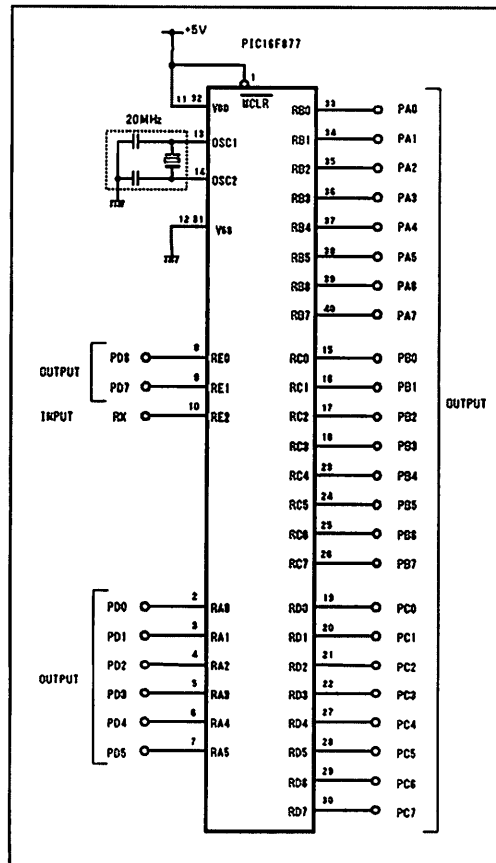


図 5 命令デコード回路図

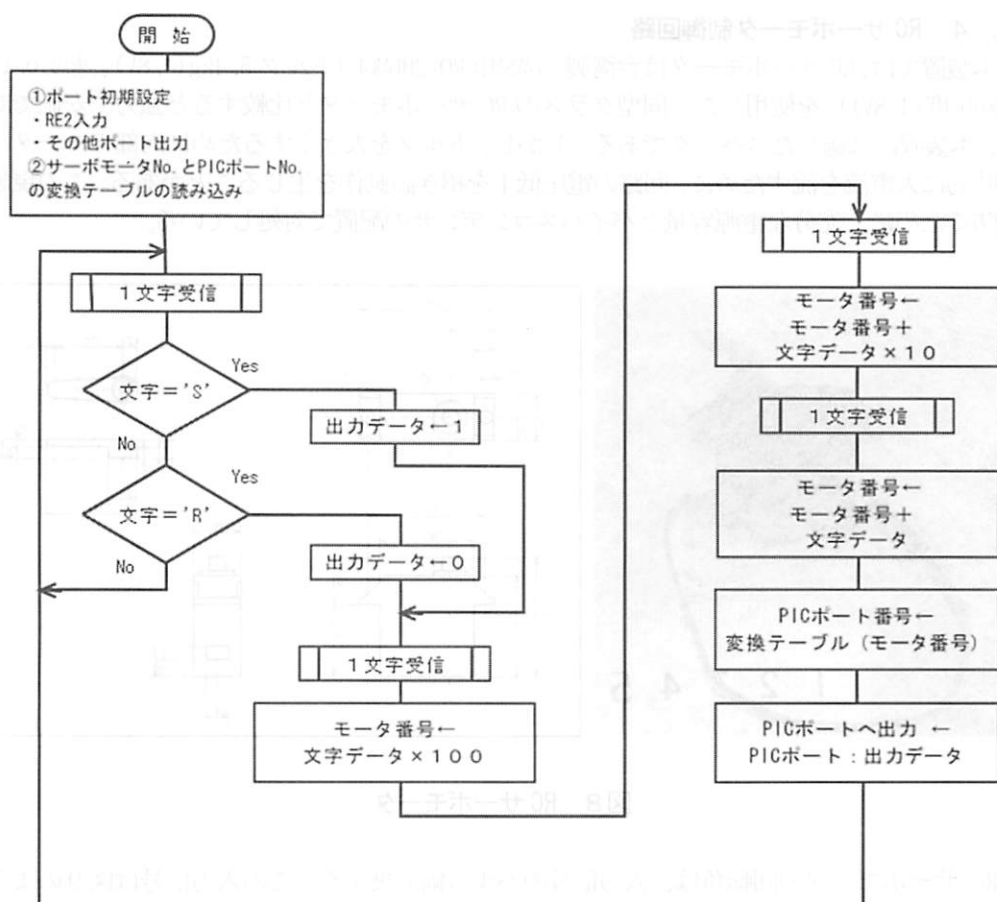


図6 命令デコードフローチャート

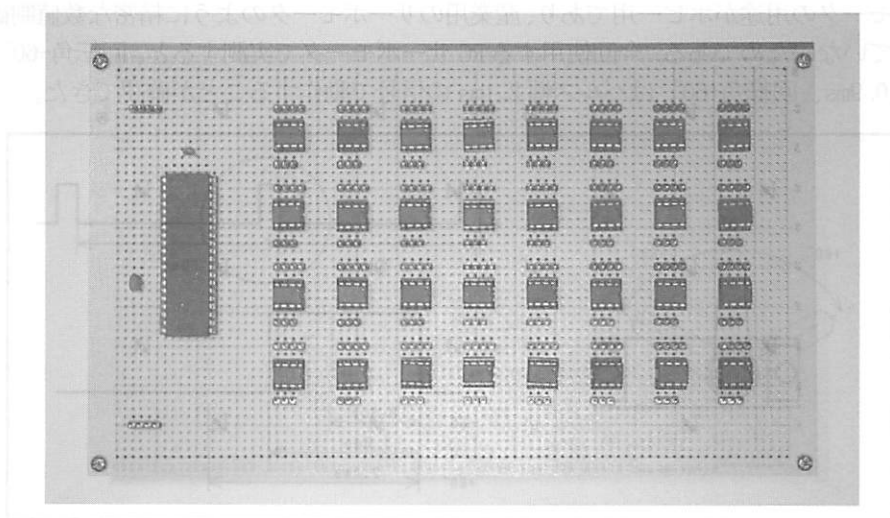


図7 命令デコード・RCサーボ制御基板

## 2. 4 RC サーボモータ制御回路

本装置では、RC サーボモータは台湾製 GWSMICRO/2BBMGF (トルク 5.4kg (4.8V)、速度 0.17 秒/60 度 (4.8V)) を使用した。同型クラスの RC サーボモータと比較すると強力で安価であり、本装置には適したスペックである。しかし、トルクを大きくするために内部のモータに一時的に大電流を流すために、回路の電圧低下を招き誤動作を生じることがある。この現象を防ぐために、十分な電源容量とバイパスコンデンサの配置で対処している。

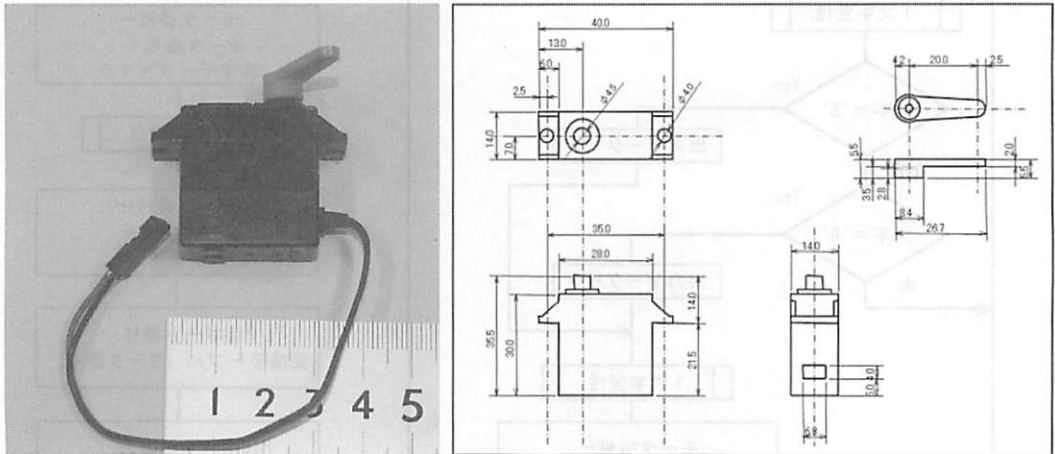


図8 RC サーボモータ

RC サーボモータの回転角は、入力信号のパルス幅で決まる。この入力信号は図9のように 20ms 周期で 1.5ms のパルス幅の状態を中立位置とした規格がある。このパルス幅を増減すると回転角も変化するが、サーボの種類毎にパルス幅と角度の関係は異なる。これは、RC サーボモータの用途がホビー用であり、産業用のサーボモータのように精密な数値制御を目的としていないためである。今回使用する RC サーボモータで実測すると、回転角 $-60^\circ$  はパルス幅 0.9ms、回転角 $+60^\circ$  はパルス幅 2.1ms の信号で動作することが確認できた。

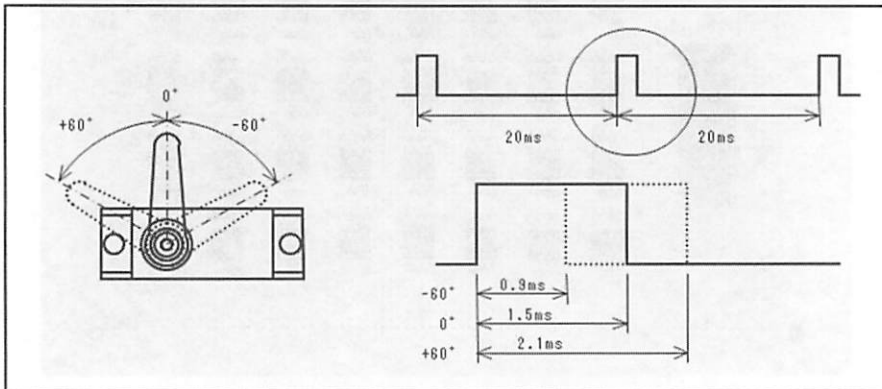


図9 RC サーボモータの回転角とパルス幅

本装置では、RC サーボモータはロッドを固定するか解放するか2位置に動かして使用する。この2位置（角度）は、計算上は全てのRC サーボモータで同じであるが、実際にはRC サーボモータの個体差、工作や組み立て時の寸法誤差があり、2位置の微調整が必要になる。そこで、本システムでは、RC サーボモータ毎に配置したPIC マイコン 12F625 で微調整を行い、その設定値をマイコン内のフラッシュメモリに記憶する方法にした。この方法では、RC サーボモータと同数のPIC マイコンが必要となるが、独立した回路で制御信号を作ることによって命令デコーダ回路の信号と非同期にすることができ、ソフトウェアの開発や保守を容易にすることができる。

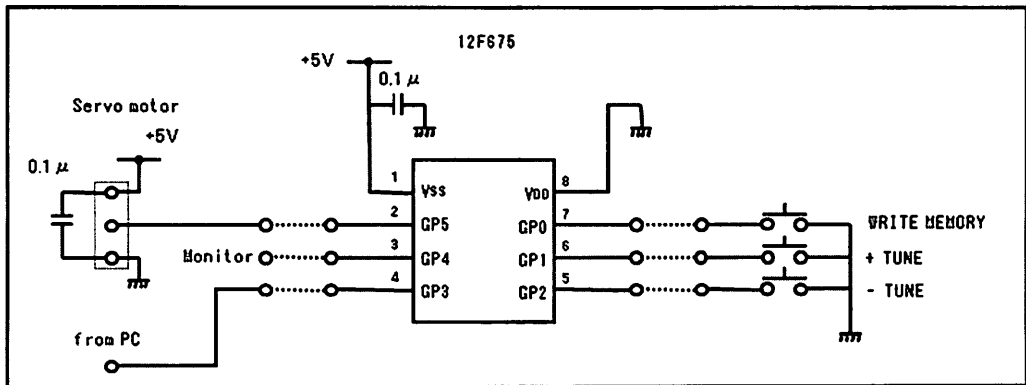


図 10 RC サーボモータ制御回路

図 10 は RC サーボモータ制御回路である。命令デコード回路からの信号は GP3 端子から入力する。この信号から 2 位置どちらかのパルス信号を作成し GP5 端子から RC サーボモータに出力する。2 位置の微調整は GP1 と GP2 に接続したスイッチで行い、調整が完了したら GP0 に接続したスイッチを押すことによりフラッシュメモリに書き込まれ記憶される。

図 11 は RC サーボモータ制御のフローチャートである。ここでは PIC マイコン内のインターバルタイマを使用し、20ms ごとに割込処理を繰り返し行っている。この割込処理では、まず、フラッシュメモリに書き込まれている出力パルス幅の値を読み込み、次に出力信号を 1 にして、読み込んだパルス幅の時間が経つまで待ち、その後出力信号を 0 にして、目的のパルス幅の信号を発生している。この出力パルス幅の値は、命令デコード回路からの信号により、セット位置のパルス幅か、リセット位置のパルス幅かが選択され、更に微調整を加えた値をフラッシュメモリに書き込み、割込処理に値を受け渡している。

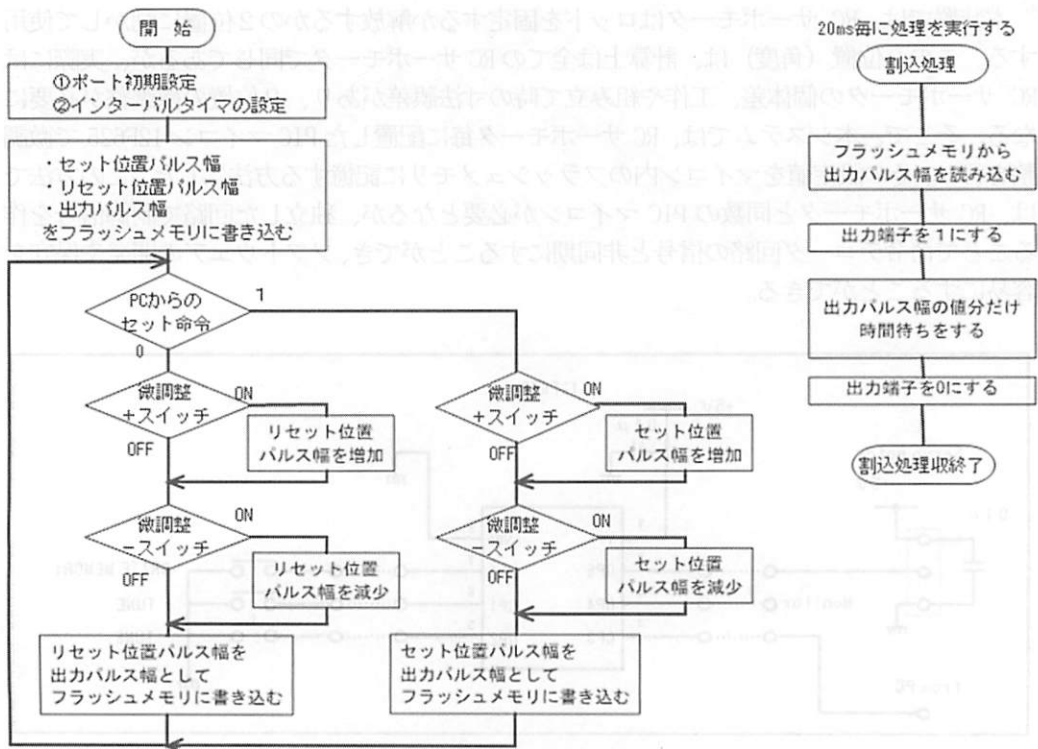


図 11 RC サーボモータ制御フローチャート

## 2. 5 電動昇降機位置制御回路

汎用電動昇降機は、電動ベッドに使用されている機構と同じであり、ピストン状のスライド部分が最大 300mm の距離を、7000N の力で移動する装置である。

位置制御は PIC マイコン 16F877A を使用している。デコードされた命令から、目標位置を示すデータを取り出し、目標位置に到達するまで上昇または下降のスイッチ回路を ON の状態にする。目標位置に到達したらスイッチ回路を OFF の状態にして、自動的に停止させ昇降が完了する。

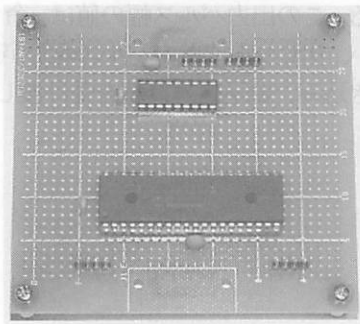


図 12 電動昇降機位置制御基板



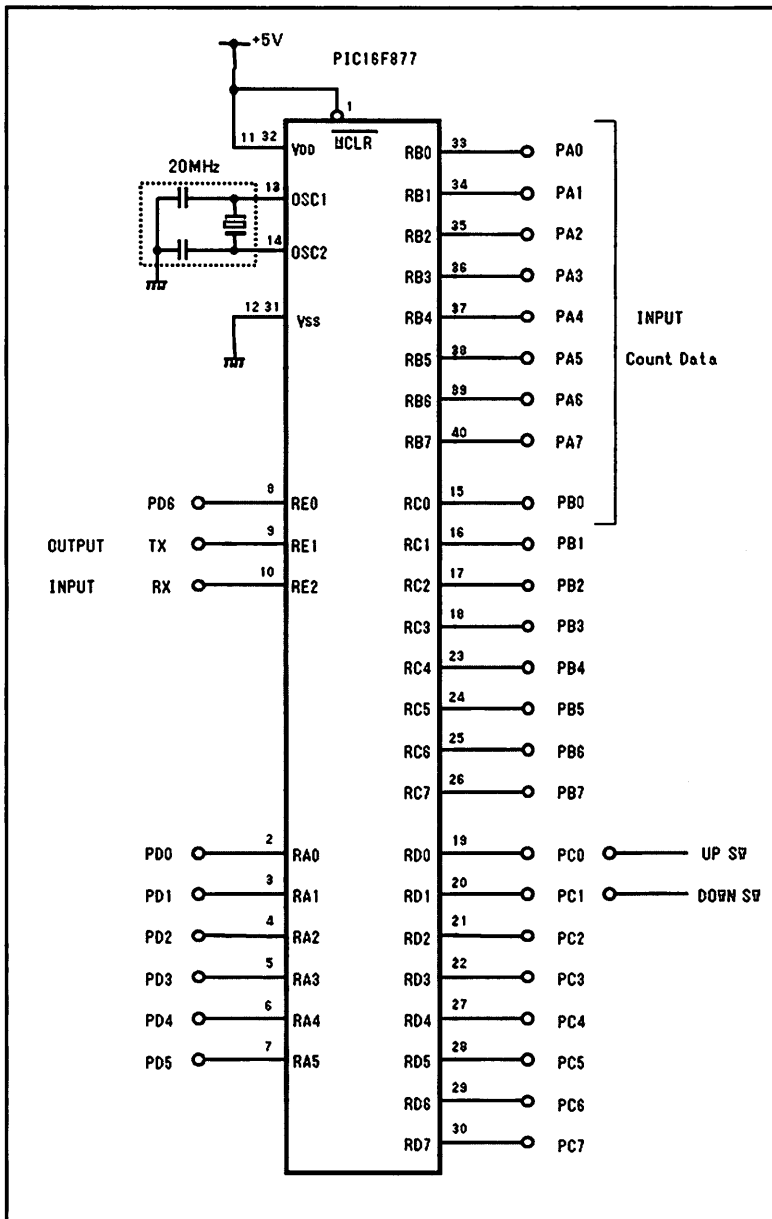


図 13 電動昇降機位置制御回路

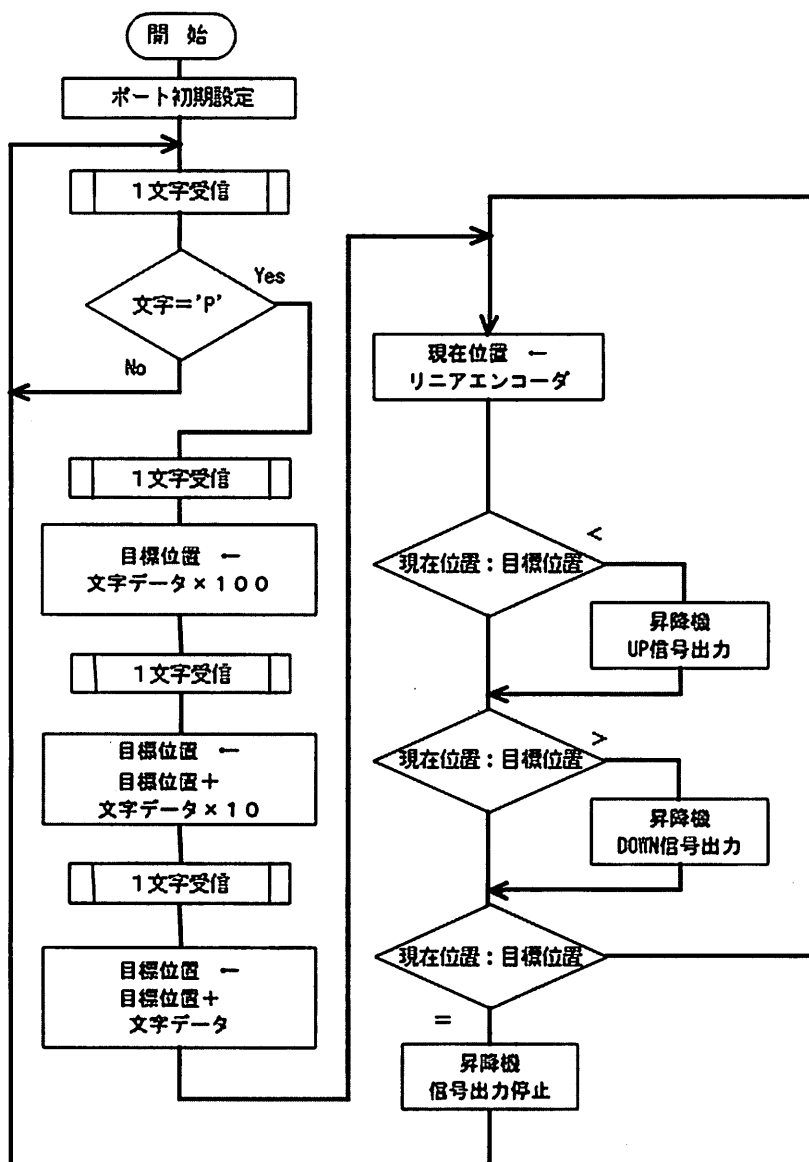


図 14 電動昇降機位置制御フローチャート

電動昇降機の位置制御で重要なのは、スライド部分がどの位置に移動したかを計測する仕組みである。本来、電動昇降機は人が上昇下降のスイッチを操作して都合のよい高さに合わせるため、移動位置の数値計測は必要なかった。そこで、長さ 300mm を分解能 1mm まで計測できるリニアエンコーダを製作して使用した。

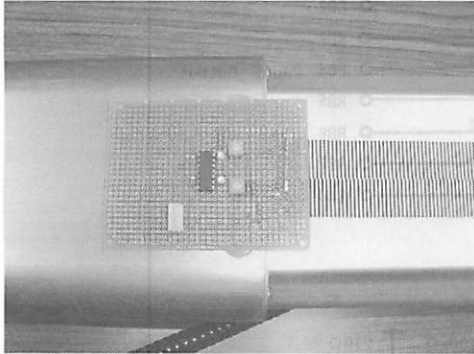


図 15 リニアエンコーダ

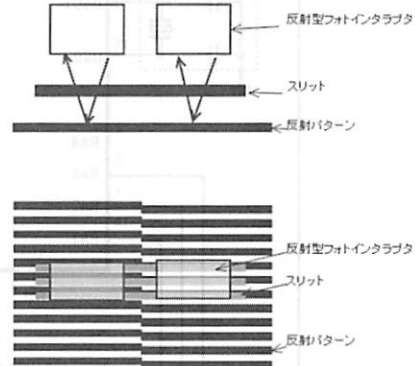


図 16 リニアエンコーダの仕組み

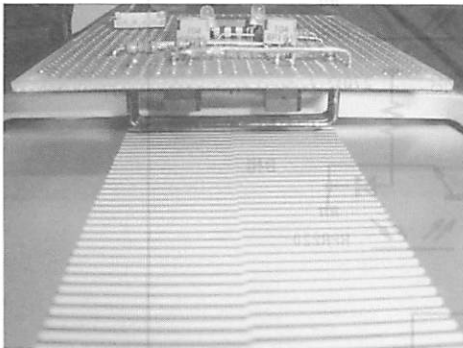


図 17 スリットと反射パターン

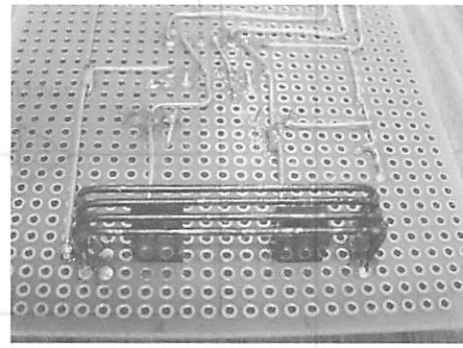


図 18 スリット

図 15 のように、リニアエンコーダは、分解能 1mm 長さ 300mm の反射パターン、赤外線を発光しパターンからの反射をフォトトランジスタで検出するセンサ部及び、検出した信号から位置を計算する PIC マイコン部からできている。

反射パターンは 2mm 幅の縞模様をしており、それを 1/4 ずらした、2つの縞模様からできている。この反射パターンからの反射光はスリットを通してフォトトランジスタでパルス信号に変換され、その数を PIC マイコン 16F84A で計数し電動昇降機制御回路に 9 ビットのデータとして出力している。位置データの精度は反射パターンで決まるが、紙にレーザプリンタで印刷して制作しても十分な精度があり、産業用のリニアエンコーダを利用するよりスペース、コストの面で優れている。

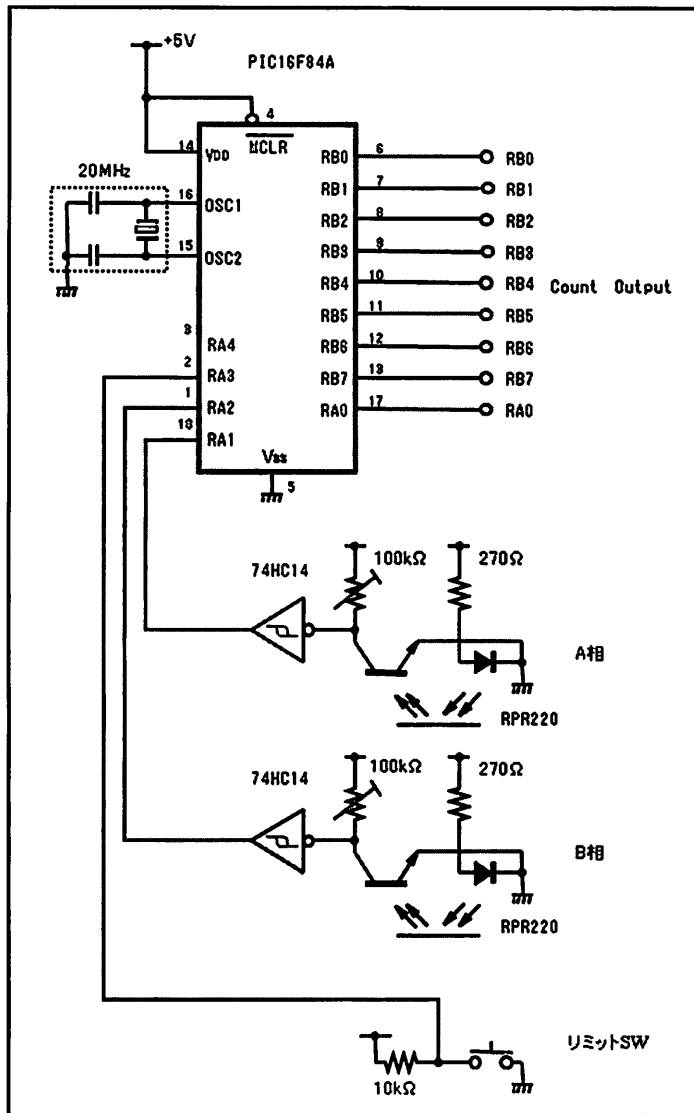


図 19 リニアエンコーダ回路

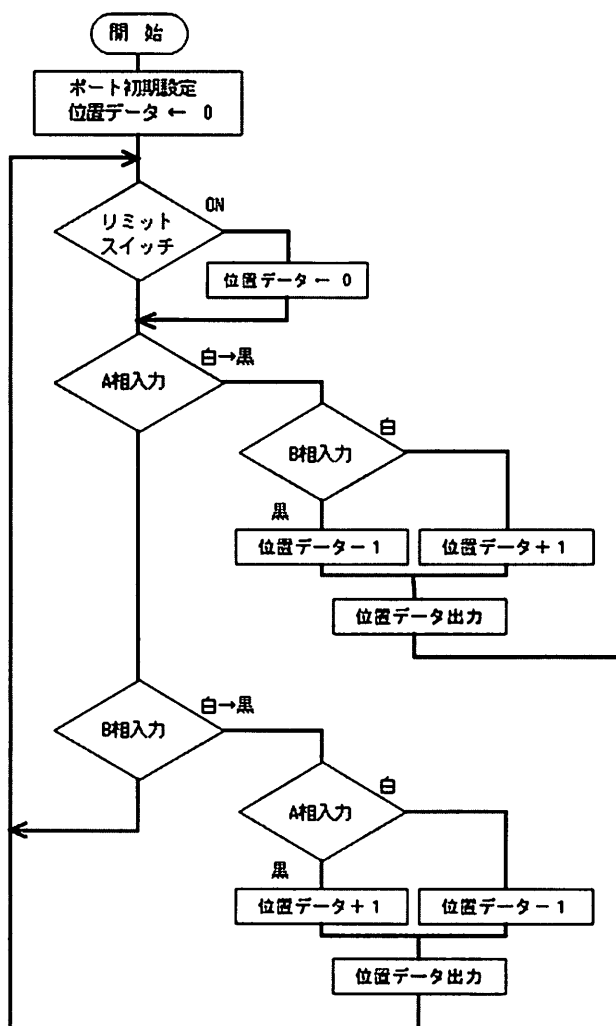


図 20 リニアエンコーダのフローチャート

図 20 はリニアエンコーダのフローチャートで図 21 はその位置検出の方法を示している。まず、図 21 の①②のように、プログラムでは、縞模様のパターンが移動して A 相のセンサが白から黒の変化を検知する瞬間を待っている。この時、A 相が白から黒へ変化する状況は、上へ移動する①の場合と下へ移動する②の場合があるが、①の瞬間では B 相は常に黒であり、②の瞬間では B 相は常に白である。したがって、A 相が白から黒へ変化した時の B 相の状態、上下どちらに移動したかを判別することができる。同様に、図 21 の③④のように、B 相が白から黒へ変化する瞬間を検知し、その時の A 相の状態を調べることで上下どちらに移動したかを判別することができる。

また、A 相 B 相の縞模様の境界線で移動を検知していることから、縞の幅が 2mm であれば、境界線は両相合わせると 1mm 間隔なので、縞の幅の 2 倍の解像度で計測できることが分かる。

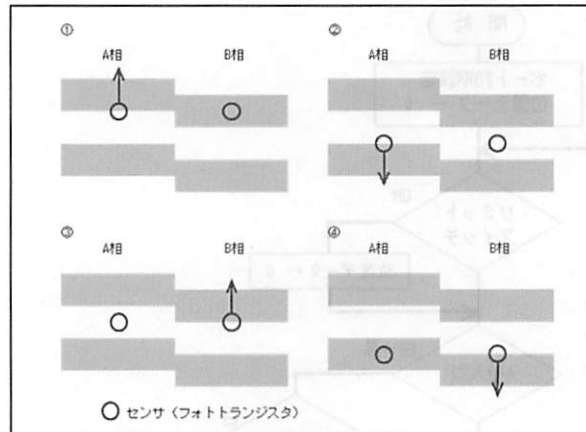


図 21 位置検出の方法

### 3. まとめ

本システムでは、多数の RC サーボモータの制御と電動昇降機の位置制御を目指し、目標どおりに動作するハードウェアを開発することができた。特に、多数の RC サーボモータを制御する方法として、RC サーボ毎に PIC マイコンを使用することは、安定的なシステムを製作する上で有効であった。

なお、現回路では、RC サーボの動作完了や位置制御の完了など、命令に対するレスポンスをパソコンに返す仕組みが無い。今後、より確実に高速な制御のためにレスポンスに必要なセンサの追加やプログラムの改良を重ねて行きたい。

### 謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究 (C) No. 20500813 の補助を受けている。

### 参考文献

- 1) 下条 誠ら 1996 「ピンによる触覚を使用した 3 次元触覚ディスプレイ」電子情報通信学会論文誌 D-II 情報システム II 情報処理
- 2) 清水 豊ら 2000 「触覚情報制御による盲人用マルチメディア・パソコンの実用化」平成 9 年度～平成 11 年度 (基盤研究 B (1)) の研究報告
- 3) 高橋 等 2009 「一斉授業に対応したフィードバック制御に関する学習教材の研究」日本産業技術教育学会第 52 回全国大会講演論文集
- 4) 高橋 等 2009 「一斉授業に対応した計測制御教材に関する研究」第 25 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集
- 5) 高橋 等 2009 「教材用リニアエンコーダの開発」第 27 回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集
- 6) 高橋 等 2010 「「ものづくり」初心者の設計に関する一考察」静岡産業大学情報学部研究紀要第 12 号