

# PIC16C711 を応用した 1 線式遠隔制御システム

金野 茂男

## 目次

- 1 . はじめに
- 2 . 設計及び制作
- 3 . プログラム
- 4 . 動作特性
- 5 . 改良及び応用案
- 6 . 終わりに

## 1. はじめに

模型の飛行機やヘリコプターの遠隔操縦に、プロポーショナル・ラジオコントロールシステムが用いられている。手元にある送信機のレバーの変位量に比例させて、或いはスイッチの切り替えに応じて、機体側の方向舵などの変位量を操作したり、脚部の出し入れをすることができる。リアルタイムに制御を行うことができるので、遠隔制御ながら極めて正確に姿勢制御を行うことができる。

このコントロールシステムを、ワンチップマイコン P I C を応用して構築することを本研究の課題とした。送信及び受信側とともに P I C 1 6 C 7 1 1 を用い、その間の信号の送受信は電波ではなく、当面 1 線ケーブルで結線することにした。

というのは、電波（通常のラジコンでは周波数数十 M H z 帯で F M 方式を採用している）の送受信回路まで自作するとなると、それはそれとして一つの大きな仕事となってしまふからである。本研究では、送信側から 1 線ケーブルに出力される信号は、シリアルデジタルデータ列とした。従って、最近市場に出回っている安価なデジタル送受信通信キットを用いれば、容易に無線化することができる。それ故、特に無線回路まで自作する必要がないと考えた。ついでながらであるが、効率の良い F M 無線回路、特に受信機を ” 自作する ” のは結構手間と時間がかかる。

完成したシステムは、プロポーショナルなアナログチャンネルが 4 つ、スイッチのオン・オフチャンネルが 4 つの、合計 8 チャンネルの自由度を有するものとなった。送信側と受信側の間には 1 線のケーブルのみ。使用した I C は送信側、受信側とも 1 個のワンチップマイコンのみである。

## 2. 設計及び制作

システムの機能概要は、プロポシステムのそれを踏襲することにした。送信側にはアナログ可変量を決定するレバー、即ち可変抵抗は4個用いる。これで自由度は4となる。これだけで並のプロポシステムの自由度となる。これ以外に、オンオフ・スイッチを4つ用いることとする。受信側で何らかの機能をオン・オフすることができる機能が4つ備わることになる。合計で自由度は8なので、8チャンネル(アナログ4+デジタル4)コントロールシステムとなる。

受信側には、4チャンネルのアナログ動作に対応して、4個のサーボモータを用いる。このサーボモータは既製品とする。送信側の可変抵抗の回転量に同期して、受信側のサーボモータが回転する。回転量はニュートラル位置から左右に $\pm 90^\circ$ 程度とした。オンオフ・スイッチの状態のモニター用としてLEDを4つ使用し、送信側のスイッチのオン・オフに対応して、このLEDを点灯・消灯させる。1線の通信ケーブル間で送受信されるデータのコードはRS-232C規格に準拠させることにした。

図1に、本システムの基本構成図を示しておく。

### 8自由度のシステム

4個の各可変抵抗の回転に同期して、各サーボモータが独立に回転する。

回転範囲 ともに約 $-90^\circ \sim +90^\circ$

4個の各スイッチに同期して、モニター用LEDを点灯・消灯させる。

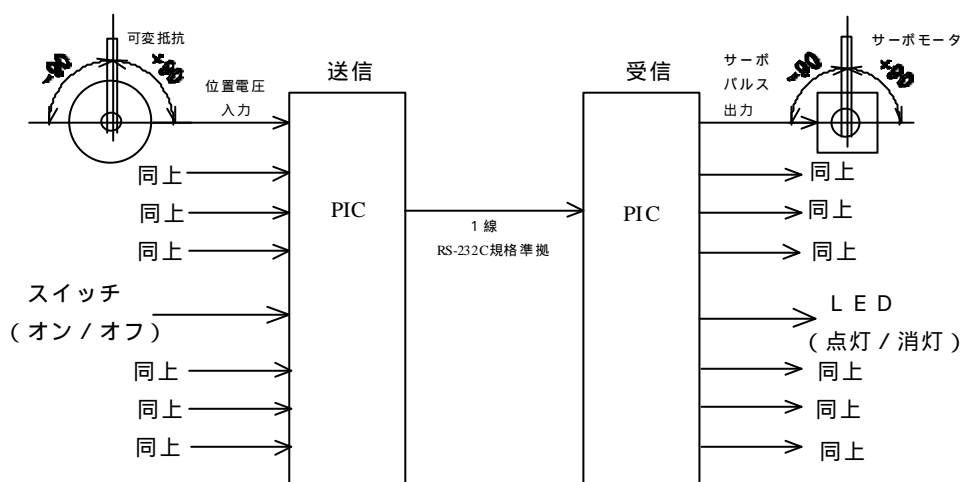


図1 本システムの基本構成図

使用するサーボモータについて説明をしよう。使用するサーボモータはF u t a b a (双葉)社製のラジコン用サーボモータS3003である。写真1にそれを、表1にその諸元を示しておく。同じような規格で他機種がたくさんこの会社から提供されているので、使用するサーボモータとしてS3003に固執することはない。F u t a b a社のラジコンパンフレットから適当なものを見繕うことができる。



写真1 Futaba社製  
サーボモータS3003

寸法	40.4×19.8×36mm
重量	37.2g
動作スピード	0.23sec/60° (4.8V時) 0.19sec/60°(6.0V時)
出力トルク	3.2kg・cm(4.8V時) 4.1kg・cm(6.0V時)

表1 S3003の諸元

このサーボモータには入力端子が3本（黒線 - アース、赤線 - 電源線、白線 - パルス信号入力線）ある。通常はこの3線をFutaba社製の専用の受信機に接続して用いる。受信機からはこの3線を経由して、サーボモータ中に内蔵している直流モータ用の電源と、その駆動パルス信号が供給される。定時毎にパルスが入力され、そのパルス幅の変化でモータを正・逆回転させるPWM方式を用いている。パルス幅が狭くなれば、その量に比例して右に回転するとすれば、パルス幅が広くなればその量に比例して左に回転する。その回転量をギアで減速し、サーボモータの外部に出ている、回転心棒を回転させている。

従って、専用の受信機を用いなくて、このサーボモータを制御しようとするならば、入力されるべきパルスの規格に知見がなければならぬ。図2と表2にそれを示す。

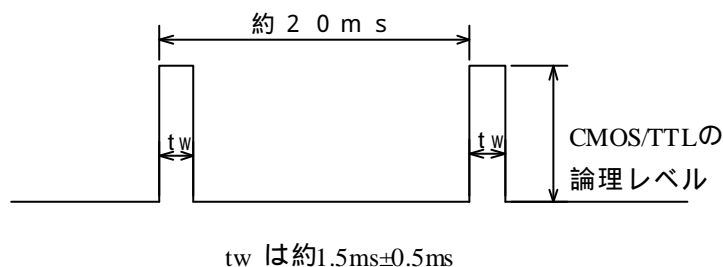


図2 サーボモータの入力信号<sup>(1)</sup>

メーカー	ニュートラル	可変範囲	信号レベル
双葉電子工業（株）	1520 μs	±500 μs	CMOS/TTL
（付）日本遠隔制御（株）	1500 μs	±600 μs	CMOS/TTL
（付）近藤科学（株）	1500 μs	±500 μs	CMOS/TTL
（付）三和電子機器（株）	1500 μs	±500 μs	CMOS/TTL

表2 サーボモータの入力信号パルス幅<sup>(1)</sup>

定格では、約 20ms 毎にサーボモータに入力パルスが送られる。この入力パルスは CMOS/TTL 論理レベル互換である。使用するマイクロチップ社の PIC ワンチップマイコンシリーズも入出力は CMOS/TTL 互換であるので、PIC の出力で直接サーボモータを制御できる利点がある。パルス幅  $t_w$  が常時 1.5ms 幅ならば、サーボモータの回転位置はニュートラル（中央）に位置し続ける。このパルス幅が狭くなるか、或いは広がると、サーボモータは左か或いは右に回転する。かつ、その回転変位量はパルス幅に比例する。表 2 からは、このパルス幅の可変範囲は  $\pm 0.5ms$  である。従って、 $t_w$  を、約 1.0ms ~ 2.0ms の間で必要に応じて変化させれば、サーボモータを必要な量だけ回転させることができることになる。

表 1 に示している S3003 の諸元から、サーボモータの外部に出ている回転軸が左右に何度だけ回転するのかが書かれていない。が、動作速度として  $60^\circ$  回転させるに要する時間は 0.23 秒或いは 0.19 秒であると書いてある。これから類推すると、回転軸は左右に  $\pm 60^\circ$  は回転できそうである。

実際に、サーボモータの動作試験をし、入力パルス幅と回転量の関係を調べてみた。入力パルス幅を 1.5ms から  $\pm 0.5ms$  にして動作させると、予想通りニュートラル位置から左右におおよそ  $\pm 60^\circ$  ほどの回転をした。ところが、 $\pm 0.5ms$  以上にパルス幅を設定しても、サーボモータは正常に動作することがわかった。左右  $\pm 90^\circ$  当たりまで回転するのである。本システムでは、サーボモータの回転角度は大きいほど利用価値があると思われるので、左右  $\pm 90^\circ$  になるようにパルス形成することにした。図 3 に、送信側の可変抵抗の回転角度量、その AD 変換した値、形成するサーボモータ駆動用パルス幅、そしてサーボモータの回転量の対応グラフを示している。

可変抵抗の中間タップの電圧は PIC の 8 ビット AD 変換器により、0 ~ 255 (10 進数で) の数値に変換される。B 型可変抵抗の回転角度は約  $270^\circ$  である。中間タップが可変範囲の中間に位置したときを  $0^\circ$  として、左右に  $\pm 90^\circ$  回転させるとすれば、 $-90^\circ$  は 43,  $0^\circ$  は 127,  $+90^\circ$  は 212 の数値に対応する。

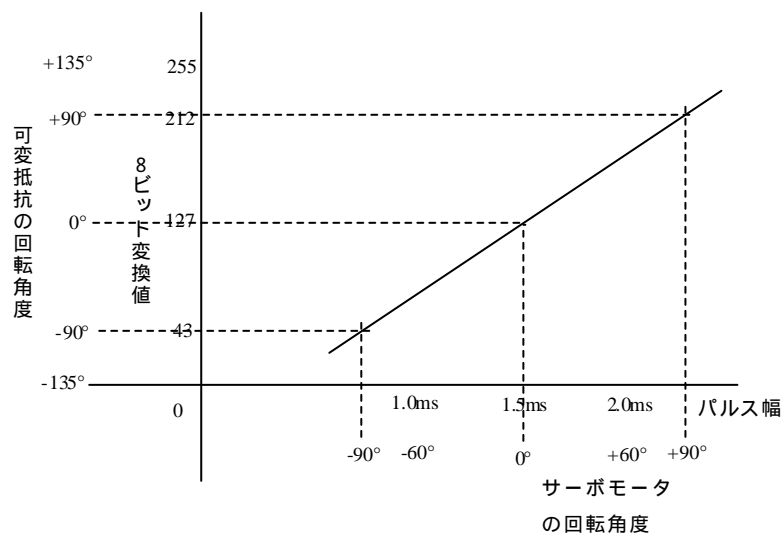


図 3 可変抵抗とサーボモータの回転角度対応グラフ

受信機側はこれらの値を受信して、必要な幅のパルスを形成し、サーボモータに出力することで、可変抵抗の回転角度に同期させてサーボモータを回転させることになる。

入力信号パルス間隔は定格では約20msであるが、これも推奨値であり、20msより長くても短くても正常に動作する。ただし、長すぎると応答が遅くなり、かつ不安定動作を起こすようになる。一方、短ければ応答速度は向上する。本システムではパルス間隔値として10msを採用することにした。パルス幅は1.5msを中心値として、サーボモータが左右に90°程度振れるまでのパルス幅とした。おおざっぱで1.5ms±0.9msとなった。

サーボモータのモータ駆動電圧については、やはり電圧が高ければ高いほど応答性に優れ、トルクも大きくなる。乾電池(単三)4本の6Vに設定した。同時に、この電源はPICの電源と共用させることにした。

図4に、図1に示したシステムの概要図に従って書き出したシステムの回路図を示す。使用するワンチップマイコンはAD変換器を内蔵しているPIC16C711とした。この素子にはアナログ入力端子は4つある。可変抵抗の中間タップの電圧値をこれらの端子に接続する。他に多数のI/Oポートがあり、その内の4個をスイッチに接続する。RBポートの一つを通信用のデータ出力端子としている。

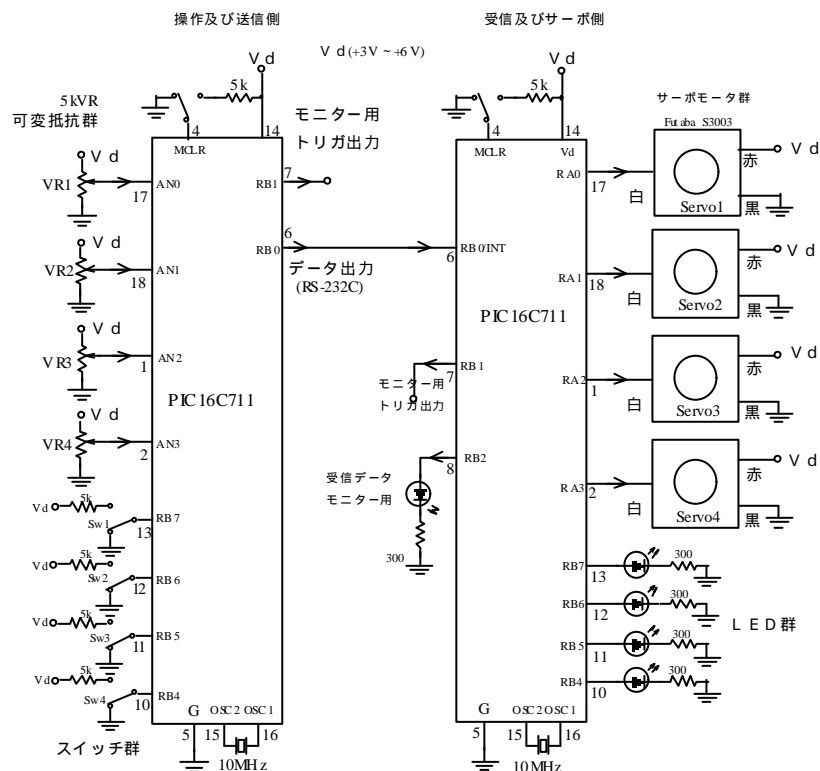


図4 本システムの回路図

4チャンネルアナログデータ、4つのオンオフ・スイッチのデータの計8つのデータをプログラムにより、10ms間隔で繰り返し取り込む。その際、4つのオンオフ・スイッチのデータは、各スイッチの状態認識のための1ビットだけの使用で済むので、1バイト中に取り込む。各8ビットデータで合計5バイトのデータをシリアルデータ列に変換し、RS-232C規格に準拠したシリアルデータコードでRBOポートから出力する。スタートビット1つ、データビット8つ、ストップビット1つの合計10ビットで送受信の1バイトのデータとしている。即ち、4チャンネルのアナログデータ分で4バイト、4つのオンオフ・スイッチ分で1バイトを使用するので、1サイクル毎に5バイトのデータが送受信されることになる。

受信側でも、同じPIC16C711を使用する。受信側ではAD変換を必要とはしていない。従って、AD変換機能のないPICとしても良いのであるが、送信側との対応性、開発の簡便さから、受信側でも同じPICを使用することにした。送信側のPICの使用している端子に対応させて、サーボモータ及びモニター用LEDを接続する。送信側から、10ms間隔で5バイトのデータが送信されてくる。受信側のPICのRBO/INT端子でそれを受信する。データ列の先頭のスタートビットの立ち上がり信号により、受信側では割り込みが発生し、この瞬間割り込みを禁止した状態として、受信側のPICは割り込み処理ルーチンとして、受信したデータの復元、整理を行い、対応するサーボモータのための駆動パルスの形成、及びその出力、送信側の各スイッチに対応するLEDの点灯或いは消灯を行う。一連の処理が完了したら、割り込みを解除し、割り込み許可状態とし、次の立ち上がりパルスがくるまで待機させる。以下、同じ動作の繰り返しである。

可変抵抗からの電圧は0から255の数値に変換されて受信される。受信側では127の値を中央値とし、サーボモータのニュートラル値とみなす。そのとき1.5ms幅のパルスをサーボモータに出力する。127より小ならば、1.5msより狭いパルスを、127より大きければ、1.5msより広いパルスをサーボモータに送り出せばよい。

このパルス幅の程度は実際にシステムを動作させながら、プログラム中のパルス幅設定用定数を調節する方法が簡単である。

出来上がった本システムの外観を写真2,3に示しておく。写真2が送信側である。基台の下側には4つのツマミがあり、これで4つの可変抵抗を回転する。上部左側に4つのオンオフ・スイッチがある。本体の主回路は右側上部にあり、使用部品数は極めて少ない。1線のシールド線が送受信線として受信側と接続している。

写真3が受信側である。送信側の可変抵抗と対応させて、4つのサーボモータが取り付けられている。上部の左側から4つのLEDが送信側のスイッチと対応している。受信側の素子数も極めてわずかである。送信及び受信側ともに基台は2段構造となっており、下段にはともに単3乾電池4本が電源として収まっている。



写真 2 送信側

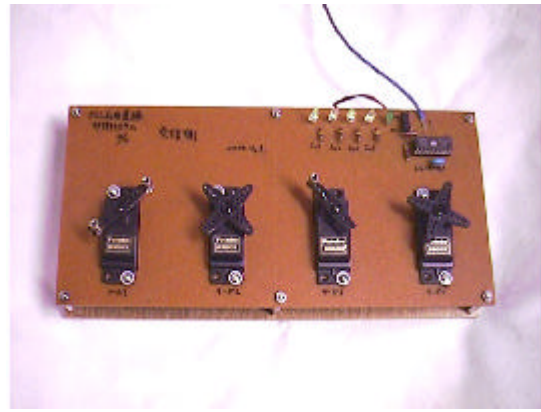


写真 3 受信側



### 3 . プログラム

送信及び受信側のPIC16C711に書き込んだアセンブラ・プログラムリストは後半に添付しておいた。プログラム中で注釈を極力多用し、理解の便宜を図っているので、プログラムの詳細については、プログラムリストに譲る。ここではおおざっぱな概要を述べるにとどめる。なを、PICへのプログラムの書き込みに使用したライターは、Microchip社製の純正のライターである「PICstart plus」である。使用したアセンブラも同社のアセンブラであるMASMを用いた。

送信側のプログラムの流れは以下の通りである。RA0/AN0～RA3/AN3ポートをアナログ入力端子に設定。RB7～RB4ポートをデジタル入力端子に設定。RB0とRB1ポートは出力端子として設定し、RB0ポートはデータ出力端子に、RB1ポートはオシロスコープでの検査のためにトリガーの出力端子として設定している。間隔10ms毎に、4つの端子のAD変換を行い、続いて4つのRB入力ポートのレベルを走査させる。この後の4つの端子の論理レベルを1バイトのデータ変数に代入する。

これら5組のデータは得られた時点でシリアルデータに変換し、RS-232C規格に準拠したシリアルデータ列として、RB0ポートから出力される。1周期中に同じ処理が5回行われることになる。

受信側のプログラムの流れは以下の通りである。RB0/INT端子をデータ受信端子に設定。この端子は割り込み機能があるので受信端子として設定している。送信側から10ms毎に5バイトのデータが送信されてくる。RB0/INT端子のレベルがLからHに変化した(スタートビットが到着した)時点で、プログラムに割り込みを発生させ、割り込みを一時停止させ、受信データから5バイト分の8ビットデータの復元を一気に行わせる。その後、受信した数値に対応させ、必要な長さのパルスと同時に形成し、サーボモータの同時駆動、及びLEDの点滅の一連の処理を行わせる。その処理が終わったら、割り込みを許可し、次のデータ列が入力するまで待機させている。

#### 4. 動作特性

図5に送受信されるデータ列の概略図を示している。10msを1周期として、5バイトのデータが送受信される。5バイト分の時間長は約0.54msである。バイト間の時間長は約130μs。1バイト分の時間長は約50μsとなっている。バイト間には80μsの時間の空きがあるが、これは主としてAD変換のための必要とされている時間である(実際には、もう少し小さくもできるであろう)。

送受信する1バイトデータ列は、スタートビットが1ビット、データビットが8ビット、ストップビットが1ビット、を持ったRS-232C規格に準拠している。1ビット当たりの時間は5μsとなっている。

サーボモータの駆動には逐次方式と同時方式が考えられる。一つのサーボモータを駆動するためのパルスを出力した後、次のサーボモータを駆動するパルスを出力する。これを繰り返すのが逐次駆動方式である。それに対して、全てのサーボモータを同時刻に駆動を開始するのが同時方式である。逐次方式では1つのサーボモータを駆動するために必要な時間として2.5m秒以上を保証しておかなければならないので、4つのサーボモータならば10m秒以上の時間を要する。制御するサーボモータの数が増えればそれだけ総制御時間が長くなる。それに対して同時方式では全てのサーボモータ制御パルスは同時刻に出力されるので、何個のサーボモータを駆動させるとしても、必要な時間長は2.5m秒を大きく越えることはない。本システムでは同時方式を採用している。この点からサーボモータの制御パルスの出力方式は同時方式が優れているようであるが、同時にモータを駆動するので、必要とされる瞬間電流が十分に供給できるような電源としておく必要がある。

電源として単3電池4本の+6Vとして、システムの動作状況を試験したが、問題なくシステムは駆動した。モータを駆動するので、消費電流は結構大きくなるので、電池の消耗は激しい。電池の電圧低下は受信側での動作の不調をもたらす。従って、安定した動作を保証させるためには、常に新品の単3電池にするか、蓄電池式のニッカド電池を使用することを勧める。

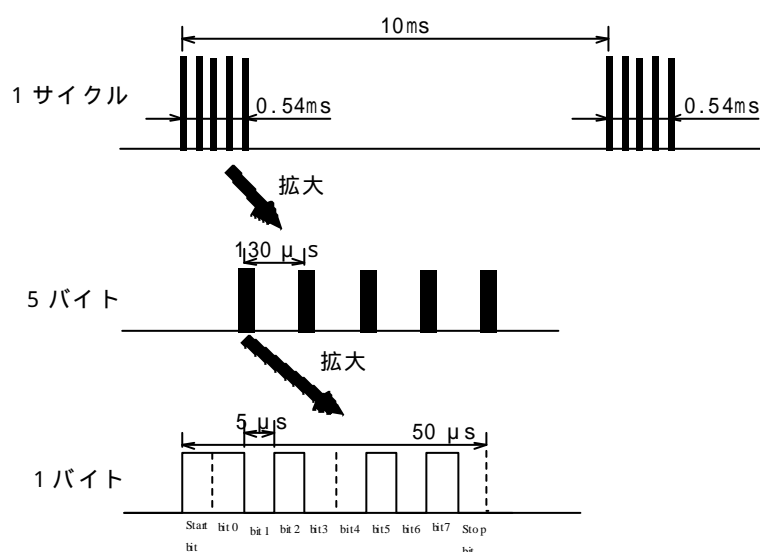


図5 送受信されるデータ列の概略図

## 5 . 改良及び応用案

( 1 ) 現時点ではアナログ 4 チャンネル + デジタル 4 チャンネルであるが、これを簡単に拡張できる。

図 5 からわかるように、5 バイトのデータの必要な時間は 0 . 5 4 m s である。最後の 1 バイトは 4 つのスイッチのデータ用である。アナログデータの 1 バイト分だけでは約 0 . 1 3 m s の時間幅である。サーボモータ駆動用のパルス幅の最大幅を 2 . 5 m s とすれば、アナログデータ分として 7 . 5 m s の余裕があることになる。簡単な計算から、この方式のままで 5 0 チャンネル以上のアナログデータを送受信することができることになる。1 サイクル 1 0 m s としているので、これを定格の 2 0 m s とすれば、1 0 0 チャンネルのプロポーショナルサーボコントローラとすることができる。

( 2 ) 現時点では P I C のクロックは 1 0 M H z であるが、2 0 M H z としても良い。

P I C 1 6 C 7 1 1 のテクニカルノートによれば、2 0 M H z のクロック動作まで保証している。とは言っても装置の試作段階から、通常は最高周波数での動作を要求はしないものである。余計な動作不良状態になるのを避ける意味もあり、少し下げた 1 0 M H z のクロックで回路の開発を行った。現状ではこれで充分である。

2 0 M H z クロックにすることもハード的には単純である。使用している 1 0 M H z セラミックオシレータを 2 0 M H z のものに変更するだけである。が、ソフトでは A D 変換に必要な時間長、その他のタイミング、サーボモータの駆動パルス幅に関係するところを注意を払いながら変更していく必要がある。オシロスコープを使用しながら行えば、それほど難しい仕事ではないであろう。

## 6. 終わりに

既製品のサーボモータを使用することにより、極めて素子数の少ないプロポーショナルシステムを構築することができた。ここで用いたサーボモータの同時駆動方式を用いれば、いとも簡単に駆動できるサーボモータ数を幾らでも増やすことができる。

送受信には、1線のケーブルを用いている。無線方式でないことが心残りであるが、1線方式となっているので、既製品のFMデータ送受信機を転用することにより、容易に無線化をすることができよう。

今後はこのシステムを応用した装置の開発を課題としていきたい。

2000年4月10日

## 参考文献

(1)「トランジスタ技術」2000年2月号、p185～p187, CQ出版。」