

ロボットの作製 ～コンセプトはおもしろさ～

プロジェクト構成員

松田行平, 坂根寛泰, 山口晃史, 塩谷航平, 末吉拓也,
弦巻昌哉, 寺垣内 淳, 白井哲, 山田祐己

指導教員

藤垣元治 (システム工学部)

【演習の背景・目的】

おもしろいロボットを創る。この一言に尽きるものである。

【演習の実施方法】

チームを2分し、それぞれが競う形でロボットを製作する。また実際に製作する過程で多くのことを学ぶ。LEGO のマインドストームを用いてプログラムで制御されたロボットに触れ、製作するロボットの方向性を模索した。またロボットの制御に PIC マイコンを用いるためそのための勉強を“わかる PIC マイコン制御”を参考書としゼロから勉強した。

【演習の成果】

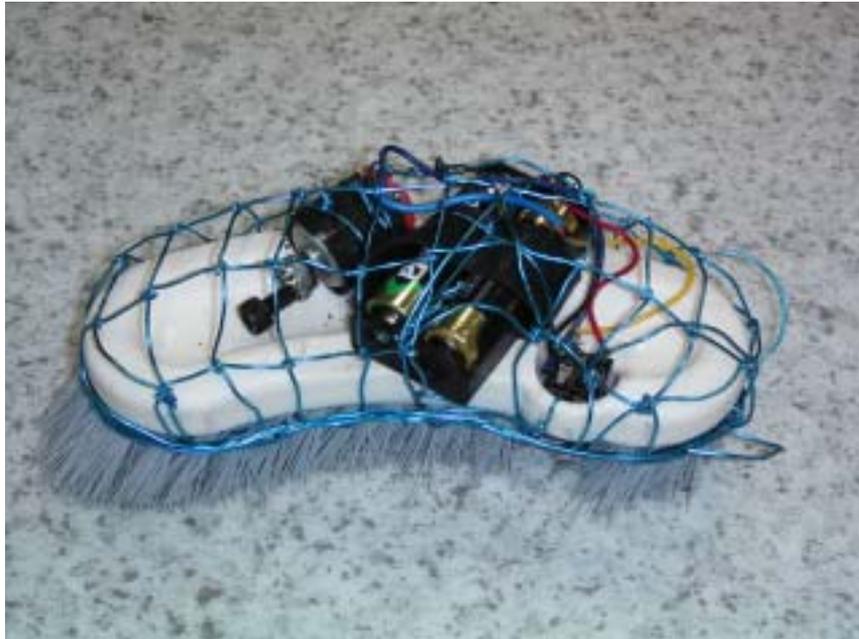
マインドストームを用いて多数モデルを作成し、プログラムを組み動かすことで感動は味わったがマインドストームの可能性に限界を感じた。

当初はマインドストームを改造し、それによりロボットを制御することを考えていた。しかしマインドストームの RCX (CPU 部分) は非常に大きくまた重量もあるためこれをロボットに搭載しそれによって制御するにはある程度形が決まってしまう他、付属のモーターやセンサーでは外形が大きくなってしまふ。それらを分解してみると単純な構造なので、それらの代用品として市販の素子を用いても RCX は受け入れるが RCX 自体はどうにもできないためマインドストームを頭脳とし制御することを断念した。

以下、2チームに別れロボットの製作に入った。

『 毛ロボ 』

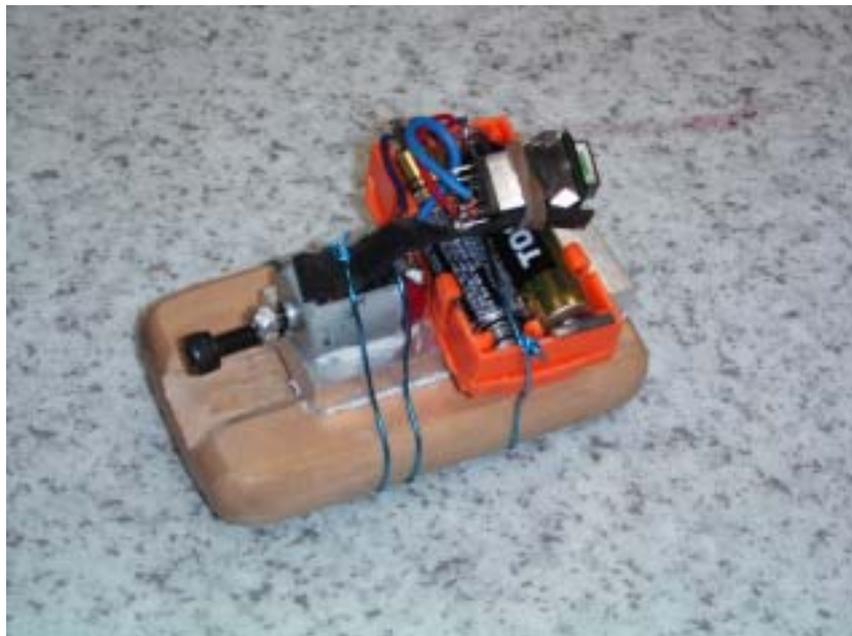
おもしろいロボットをということで考えたのが“毛”で動くロボットである。タイヤや足を動かして走るのではなく、それ自体は全く動かない毛をボディの接地面に設けた。当然これだけでは進むはずもない。この毛を一定方向に傾け、その上で振動させるのである。するとこの毛ロボは進むのである。これは言わば“猫じゃらし”である。猫じゃらしを手で握ると逃げるように動く遊びをしたことは無いだろうか。この毛ロボはそれと同じ原理で動いているのである。毛が傾いていることで接地面に対して毛の摩擦が方向によって異なる。また握る代わりに振動を与えることで毛が微小に振動し、たわむことで本体を相対的に移動させるのである。またこの毛に弾性を持つ素材を用いこれを繰り返し行う。この原理で実際にどの程度走るのか、それ以前に走るのかという疑問を解決するため試作機の製作にあたった。



< 図1 初号機「重松」 >

この試作機が驚くほどの速度と力で走った。作りは至ってシンプルである。ただのブラシの毛を強制的に傾け、その上に振動を起こすバイブレーションモーターとその電源を積んだだけである。それだけで走る床に多少左右はされるが30～40g重の引く力があり、時速2km程度の走行を可能にした。

また毛の長さの異なった弐号機「貞晃」を製作した。



< 図2 弐号機「貞晃」 >

この弐号機は毛の長さによる動きの違いを確かめるために製作した。毛の長さは初号機の3分の1であるが進む速さは同等かそれ以上であった。しかしその力に差がでた。計測では初号機の半分程度の力しかなかった。これはその毛の短さゆえ、毛の十分な傾きが得られず、また毛のしなる幅も小さいためであると考えられる。

毛ロボの特徴である毛自体の素材、長さ、固定方法、それぞれにおいての操作性などを、実験を繰り返し行い、最適な組み合わせを模索した。毛の素材にはステンレス、鉄、アルミ、銅の4種の金属のほかディックエスター線とバルフロン材という特殊な樹脂を用いて実験を行った。この毛を用いて振動を進む力に変えるにはその毛を接面に対し傾け、振動させることで毛が弾性変形の範囲で変形し、曲がるるときと元に戻る時の接面に対する摩擦力の違いにより進む。進もうとするときには毛を傾けるため、バッテリーやモーターを積んだ

状態ではその重さが棒状の素材の力的に弱い方向にかかってしまう。そのためステンレス、鉄、アルミ、銅の素材では弾性変形の域を超えてしまい、一度進行方向を決め、毛を傾けると次の展開に移れなくなってしまいます。そこで毛の本数を増やし1本あたりにかかる負担を軽くしようと試みたがこの場合、金属線、樹脂線にかかわらずその操作に必要な力が大きくなりすぎ思うように動けなくなってしまいます。一方で2種の樹脂素材においては弾性変形の領域が広く曲げておくせがつきにくいことが利点である。ディックエスター線はバルフロン材に比べ縦弾性係数が高く変形しにくいことがわかった。

毛ロボットの進み方や速度は毛の傾きに依存するためそれを制御することで動きを決められる。その操作方法としては、毛をロボットのボディに抵抗を持った振り子のような状態で固定し3次元的な自由度を持たせ、その一端固定された位置からある程度の距離を持った位置の変位を制御することで毛の方向を制御する方法をとった。変形しやすいバルフロンを使用した場合は毛の方向を変えても柔らかすぎてその方向を操作しきれない場合がある。またその解決策として毛の長さを短くすることがあげられるがその場合、毛を制御する位置も毛を固定している位置に近くなってしまいうため制御に大きな力が必要となってしまう。それを避けるために制御する位置を固定位置から離すと今度は振動を進む方向に力を変える毛の歪む範囲が小さくなってしまい効率が悪くなってしまふ。以上のことから毛の長さはある程度の長さが必要となった。

毛の固定方法としては抵抗の少ない毛の固定方法 図3 をアクリル板と金属を加工したもので試作した。

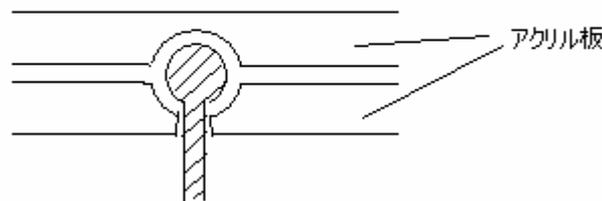


図3 毛固定方法1

この場合では毛を操作するにはさほど力が必要ではないが毛とボディの板の固定する部分に隙間があるため肝心の振動がうまく毛に伝わらず、騒音ばかりでまったく進まない結果となった。またこの場合では一旦毛を傾けると次に反対方向に毛を傾けようとしたとき(ボディの重さ)×(固定位置から制御する位置までの距離)のトルクが必要となり結果的には操作するのに大きな力が必要となる。よって、固定には振動を軽減させず伝えそれ自体が弾性を持つものが良い。そこで我々は2つの材料、シリコンコーキング材とウレタンコーキング材を選んだ。コーキング材をボディの板に盛り、そこに直接、毛の先を埋めてしまい固めるのである。

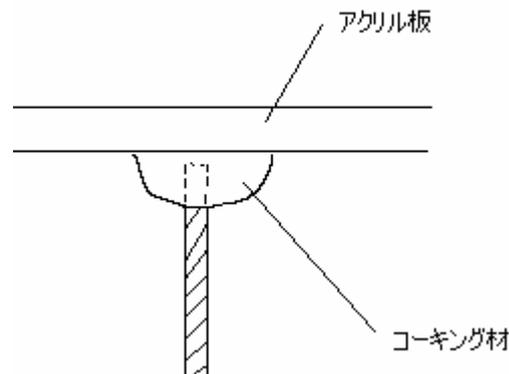


図4 毛固定方法2

この方法では振動が十分に毛に伝えられる。またヒステリシスではあるが弾性があり毛の方向を戻すときにも助力になり操作の負担が軽減できる。しかし逆に毛を基本位置から傾ける際には固定方法1よりは大きな力が必要となるが毛を操作するのに必要な最大の力は固定方法2のほうが小さいため、これを採用とした。

そうすると毛の操作に力が必要となるならば制御する位置は固定位置に近すぎると操作には非常に大きな力が必要となるため多少の距離はとりたい。初号機と弐号機の対照実験の結果からも合わせて、毛の長さも長くする必要がある。金属を素材とした場合では、変形が弾性変形域を超えて塑性変形してしまうため、長くで

きない。つまり樹脂のディックエスター線かバルフロン材のいずれかになるがバルフロン材は、弾性変形域は広いがその柔らかさゆえ、長くした場合たわみすぎてしまう。よって素材にはディックエスター線が選ばれた。

この段階でディックエスター線を毛の素材としその長さを15cmと10cmで、固定方法2でシリコンコーキング材とウレタンコーキング材を用いて固定した実験機4・5を製作した。アクリル板をレーザーカッターで2枚切り抜き、1枚は上下左右を対象に直径5mmの穴を13個開けた。これはこの穴に毛を通してこの板を2次元的に操作することで毛の方向を操作する操作板である。また穴の開いていない板は毛を、コーキング材を以って固定する苗床となるものである。固定のコーキング材に関してはシリコンのほうが、非常に弾力があるが接着力にやや欠ける。対してウレタンは乾燥にやや時間がかかるもののしっかりと定着した。シリコン、ウレタンで毛を13本固定し操作板をはめてみたところシリコンはそれを操作するには非常に大きな力が必要であり最終的に操作に使用する予定のモーターを用いて動かす実験を試みたが動かなくはないがモーターにも大きな負担がかかっていることがわかった。一方ウレタンにおいては比較的少ない力で動き、モーターでの実験でも良好であった。またコーキング材の素材だけでなくその毛を1本あたりに使用する量でも抵抗の大きさは変わる。当然、量が少なれば抵抗も少ないがシリコンにおいてはその量がすくないと接着する力が小さいため毛の方向を操作している間にもげてしまう。その点ウレタンは問題無いので、結果ウレタンを少量使用することになった。またその毛の長さであるが少量のウレタンを用いて固定する場合、操作板の位置もさほど固定位置から離さなくていいため毛もある程度短くできる。

それぞれの毛の長さで毛の傾きを一定に固定し、バイブレータとバッテリーのみを積んでそれぞれの進み具合を実験した。15cmの毛を使用した場合、ちゃんと進むが重心が非常に高くなるため不安定であり毛の傾き具合によっては立っていることも難しくなってしまった。10cmにした場合でも十分進む上、ある程度バランスもとれ方向変換などにも耐え得る結果となったため、暫定10cmで製作し、調整して行くこととした。

図5は以上をまとめたものである。

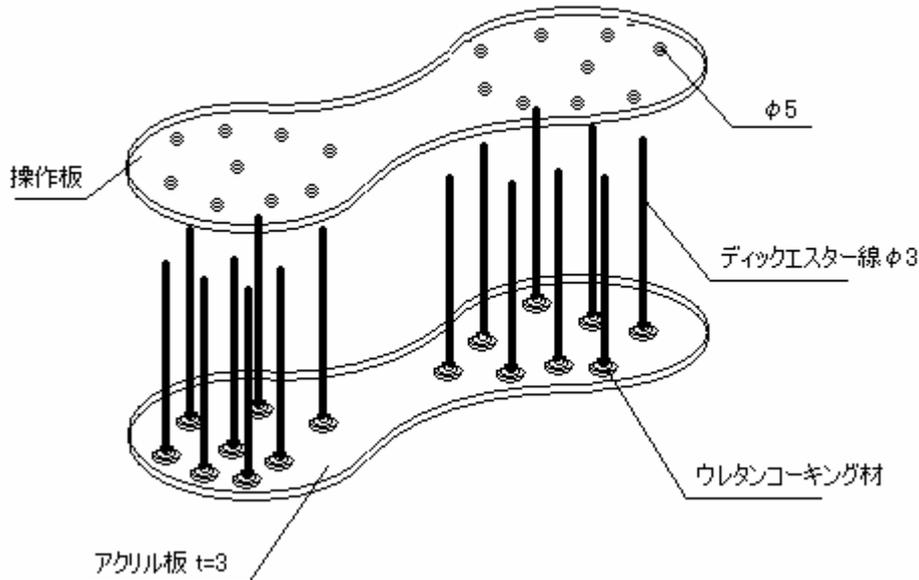


図5 操作方法および固定方法概略

この設定を基本にラジコン機の製作を行った。ラジコン機の場合、操作板を位置決めサーボモーターで操作する。ラジコン機においては7.2vのセルバッテリーやDCモーター、サーボモーター、受信機を積むため安定性を考え実験機4よりも横幅を1.5倍にし、ウレタンの量を少なくすることで抵抗を減らし、その分、毛の本数を32本に増やした。サーボモーターを使用した操作板の動かし方については、操作板の中央付近、両側面よりに幅5mm、長さ25mmの穴を開けそこにサーボモーターの羽をねじで固定する。このとき幅が5mm以上のワッシャで操作板をはさみ、ねじを通して、それぞれに隙間を残して羽にとめる。こうすることでねじが操作板

の細長い穴をスライドして移動することができる。これを両側に施す。

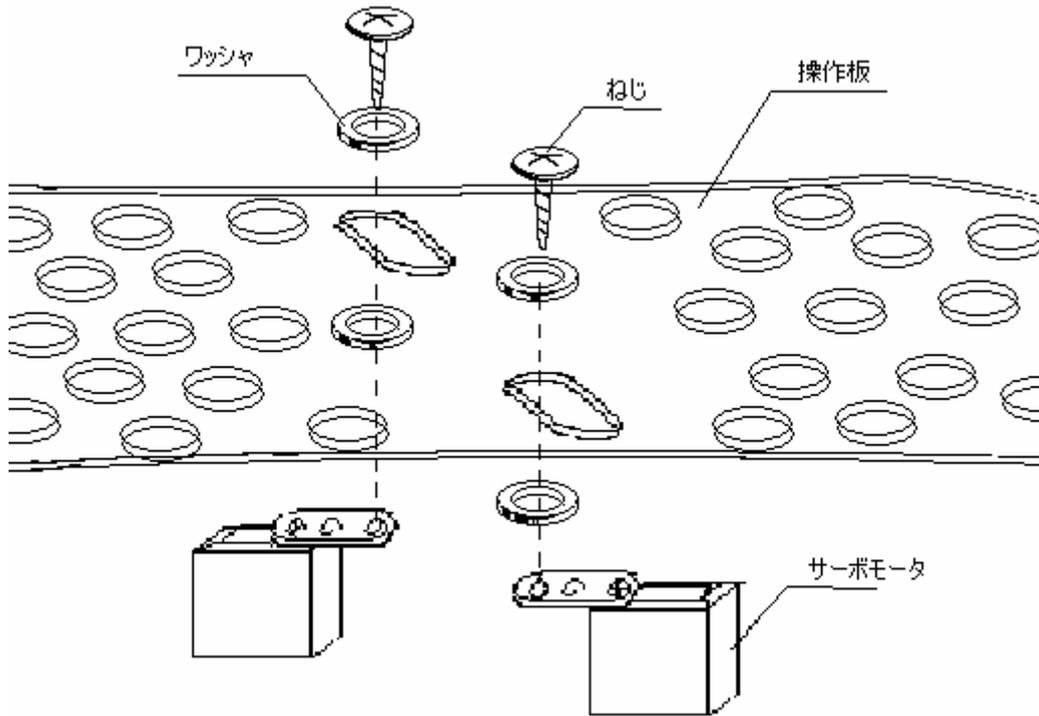


図6 ラジコン機操作方法

こうすることで2つのサーボモータを操作することで操作板を前後方向にまた左右に傾けることができるので前進、後退、方向転換が可能になる。この設定でラジコン機の実験機5を製作し、サーボモータを毛が生えたベース側に仮固定し操作性をチェックした。この実験から毛の本数を32本という本数を決定した。

以上の実験を経てラジコン機「友蔵」を製作した。サーボモータが固定されたベースの上にバッテリーと振動用モータを固定し、それぞれを受信機・アンプに接続した。この受信機・アンプは外部入力のプロポからの信号を受け、それぞれのサーボモータ、振動用モータが操作できる。また外装は金網と針金で骨組みを作り、それに酢酸ビニル樹脂で網がけをしたものである。操作板とベースはサーボモータで固定されているが、ズレを防ぐためアルミ板の補強とバネによって可動固定されている。振動の周波数は高ければ高いほど移動速度が速いのではなく共振周波数付近で速度は急に速くなる。毛の傾き具合や走る床によって若干周波数が異なるので振動用モータの回転をプロポで調節することでより高速で滑らかな動きが可能となる。毛の向きを自在に操ることで、超新地転回的動きや斜め平行移動など今までにはない不思議な動きを実現する。



図7 ラジコン機「友蔵」

ラジコン機と平行してマイコン制御により自走するものを製作した。マイコンには PIC マイコンを使用し、マイコンのプログラムやハード面に対しても全くの初めてだったため、まず PIC マイコン自体を勉強する必要があった。“わかる PIC マイコン制御”を参考にまずライタとタクトスイッチと LED からなる実験用ボードを作成し PIC マイコンについて知ることから始めた。以下に実験用ボードを示す。

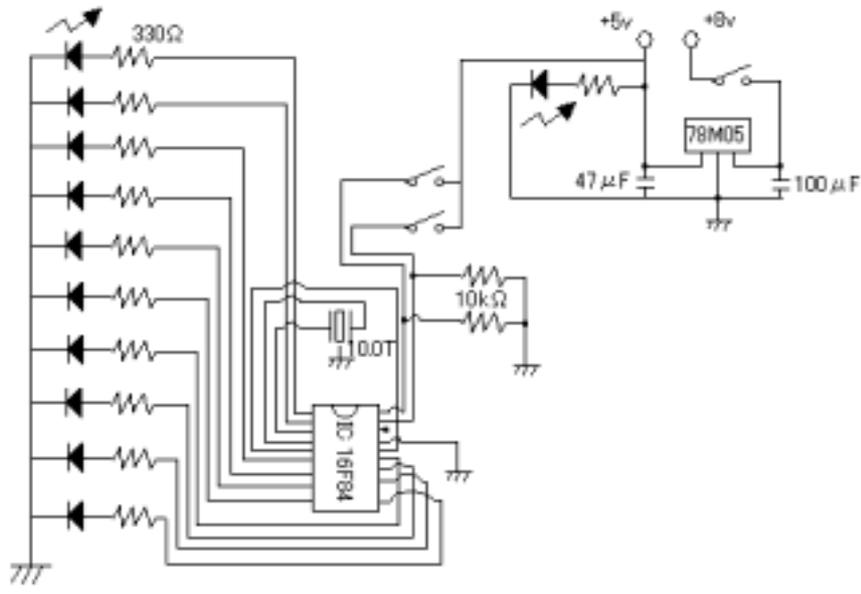


図 8 実験用ボード回路図

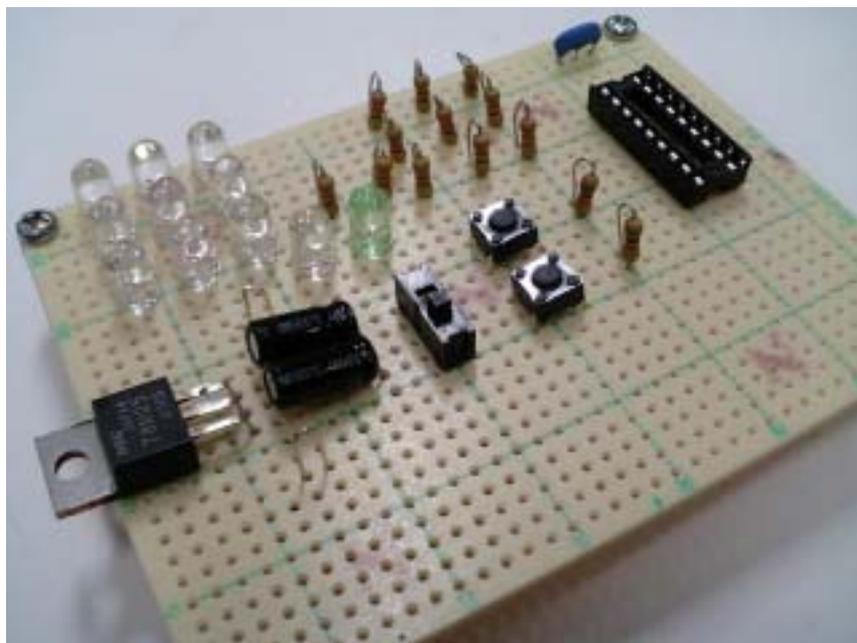


図 9 実験用ボード

この実験用ボードを用いて PIC マイコンのプログラム例などを試してプログラムを学んだ。一例を挙げれば LED を順に光らせるプログラムや、タクトスイッチによる外部入力に対応したプログラムなどである。それを元にマイコン機「おヨネさん」を作成した。マイコン機は搭載された光センサーにより壁などの障害物の情報をキャッチし、それに対応した回避行動をとるという完全自走を想定したものである。以下にマイコン機の回路図とプログラムを示す。

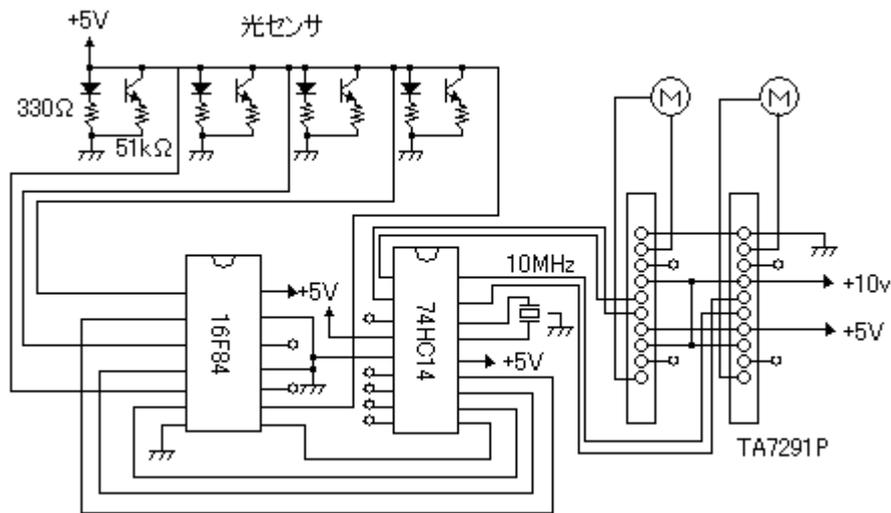


図 10 マイコン機基盤

光センサーにはLEDとフォトトランジスタを基盤で区画し、LEDの光が壁などで反射したものをフォトトランジスタが捕らえるとその情報がマイコンに伝わる仕組みである。四方に配置された光センサーが壁を探知すると回避運動を起こす。そのままでは電灯などの光をも拾ってしまうためフォトトランジスタの周りを囲み正面からの光以外を遮断することで感度を上げた。また、LEDのマイナス側に接地してある抵抗の値を変えることで感度を上げた。また回路図に示すモーターは操作板を動かすためのものであり、振動用のモーターは別付けである。操作板の制御は下記の図で、一方のギアドモーターが回るとその一方方向に操作板はスライドし、その他の方向にはモーターに繋がったパイプが鉄心をすべり影響しないようになっているため、片方ずつのモーターで1次元的な制御がなされ、合わさって2次元の制御となる。また要となるパイプとモーターを繋ぐねじは、エナメル線で固定した上でハンダによって固定されている。

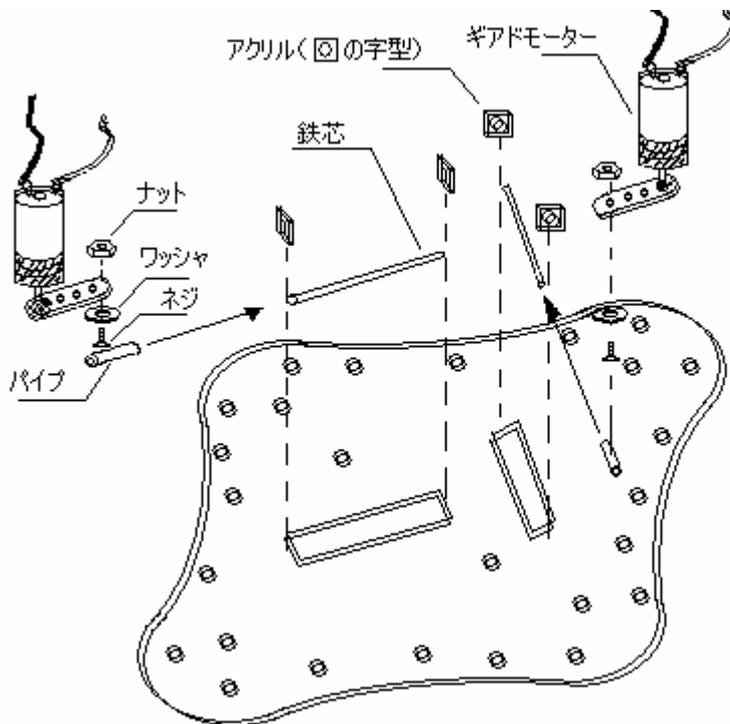


図 11 マイコン機構成図

このギアドモーターをベースに固定し、四隅をベースと操作板に渡ってパネで可動固定し、ベースの上にバッテリー、振動用モーター、マイコン基盤、光センサーを固定しマイコン機「おヨネさん」を完成させた。



図12 マイコン機「おヨネさん」

マイコン機「おヨネさん」は予想以上の速さで走ったが、センサーの反応がまちまちであった。反応するときと反応しないときがあるのだ。また反応して回避行動をとろうとしたときも毛で走る構造上、惰性で走って障害物にぶつかってしまうことが多い。

またこのプロジェクトの走りとなった初号機に改良を加えた「ボブおじさん」を作成した。



図13 ボブおじさん

作りは基本的に初号機と同じであるが加える電圧を上げ、振動の振幅を大きくするようモーターと振動素子を変えた。また、よりボディ全体が振動するようそれぞれの固定を徹底した。結果、今までのどの毛ロボよりも早く走ることができた。

他にも基本構造は初号機であるがそれにマイコンとLED、タッチセンサーを搭載した「鈴木さん」も作成した。



図14 鈴木さん

タッチセンサーに反応があると周りのLEDの光り方が変化する。基盤にはPICマイコン16F18とレゾネーターのみというシンプル思考である。レギュレーターを積むのを嫌い、わざと異なる電源を2つ積んでいるためこの小型化が実現した。

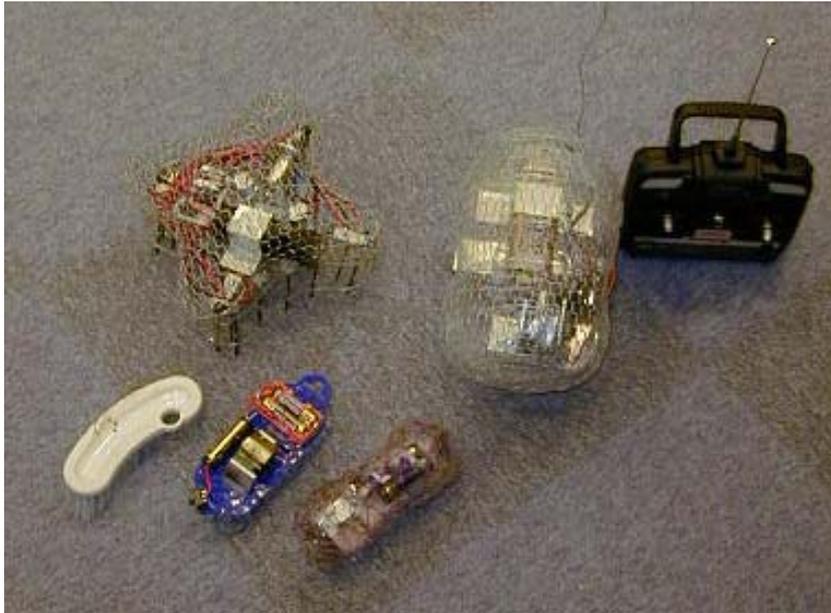


図15 毛口ボ一家

『 羽ロボ 』

鳥をベースとした翼で羽ばたいて飛行するというロボットを作るというものであり、機能としては、ラジコンを用いて遠隔操作できるようにする。

資料の収集、形状の検討

羽ばたきで移動するにしても、どのようなものをモデルにするかということを検討した。当初は鳥の翼をモデルとしたものを製作しようとしていたが、調べていくと鳥の翼はただまっすぐ飛ぶだけにしても、複雑な動きをし、また翼にも関節があるため、動きを再現するには難しいものだと分かったため、動き自体は虫の羽に近いものになった。

実験機の作製

実験機では、ミニ四駆のモータとクランクを使って翼を動かした。(図16)



図16. クランク機構を用いた翼の機構

最初は翼全体にビニールを張っていたが、思ったよりも推力がでなかったために、ビニールの張り方を変更して、動く範囲の広い翼の外側の部分を拡大してみたが、それではモータのパワーが不足し、翼がうまく稼動しなかったため、あまり推力を生まない翼の付け根側のビニールをはがすと、なんとかうまく動くようになり、また、推力もそれなりに増えたので実験機の製作を終了とした。(図17)



図17 実験機の全体像

ラジコン機の作製

ラジコンである以上、高度の変更もできるほうが良いので、出力の変更で上昇、下降ができるようにするために、ラジコン機には固定翼をつけた。また、試作機と同じモータでは出力が不足するため、より高出力のモータや操縦システム、そのためのバッテリーを搭載するため、全体の大型化をした。

[1. 固定翼の作製]

ホームページに載っていた翼の断面図を参考にして図 18 のような翼を作成した。設計図は次のページの図 19 の通りである。



図 18. 固定翼

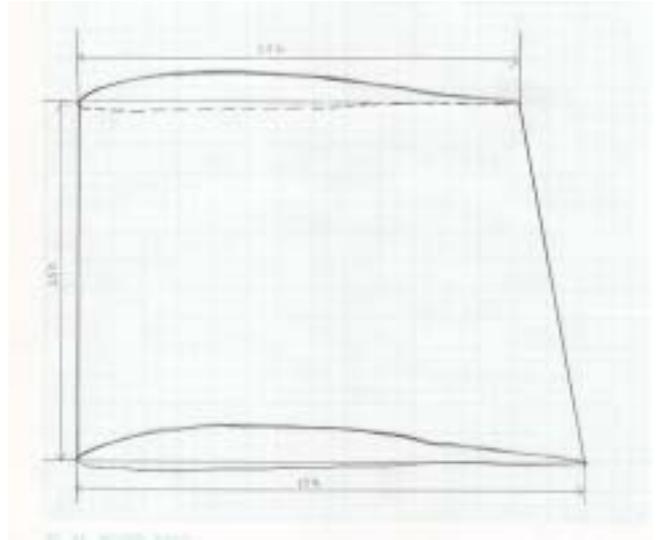


図 19 固定翼の設計図

発泡スチロールをニクロム線カッターで加工しそれをプラ板で補強し、翼を完成させた。発泡スチロールを翼の材料に選んだ理由は軽くて衝撃に強く、そして加工しやすいからである。翼は低速向きになるようにデザインしてある。動翼を取り付けるためのアームは傘の骨組みと竹ひごを加工して曲がるようにしている。

[2. ボディの作製]

土台として自作飛行機でよく使われる軽くて頑丈なバルサを使用した。2本のバルサを間隔 30mm に置き、その間の前方部分にモーターを固定する穴が開いたアルミ板を取り付け、また、ギアボックスが振動で揺れないようにネジ止め用の穴が開いたアルミ板を2本のバルサに補強した。そして、モーターとギアボックスをそこに取り付けた。次に、後方部分に両面テープで受信機、増幅器、尾ひれがついたサーボモーターをバルサに取り付けた。図 20 に前方部分、図 21 に後方部分の完成図を示す。図 22 に尾ひれを示す。

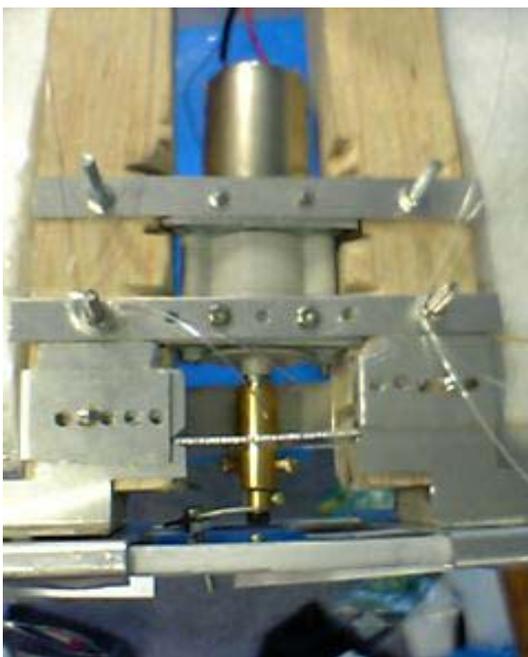


図 20 ボディの前方部分



図 21. ボディの後方部分

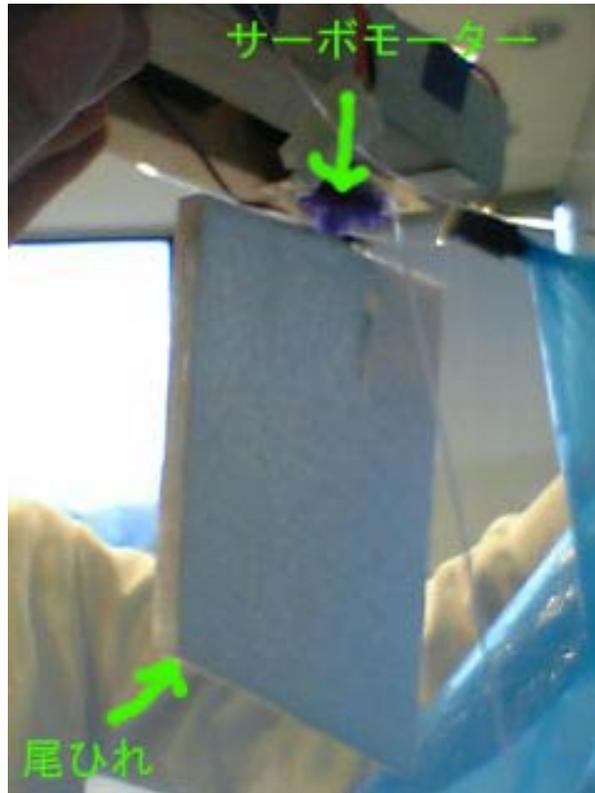


図 22 尾ひれ部分

[3.羽ばたき部分の構造]

モーターの回転をクランク構造で横移動に変換し、それにアームを取り付けて羽ばたかせている。左右の翼の羽ばたきは同期を取るように非対称に取り付けている。穴を開けたアルミ板をプラスチックのレールで横移動させて、そこにアルミ板で作成したアームを取り付け、動翼を羽ばたかせる。(図 23)

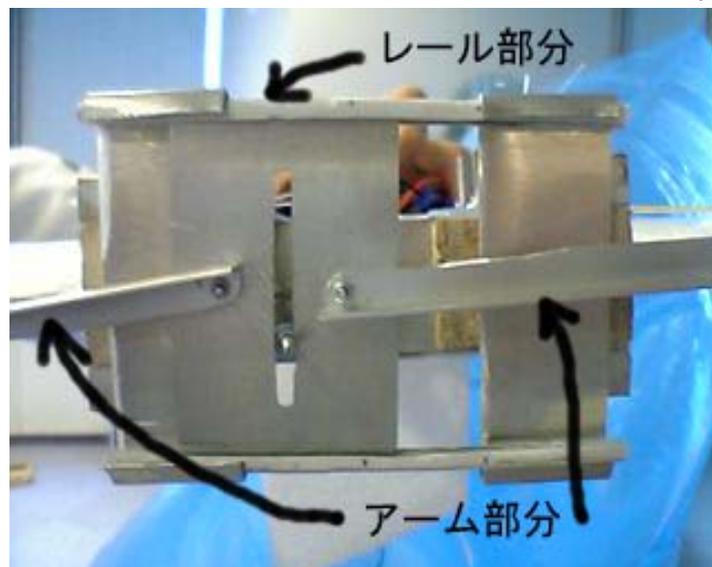


図 23. 羽ばたき部分の構図

[4.バルーンの作製]

羽ばたきだけでは、十分な浮力が得られなかったため、不足部分をヘリウムガスで補うことにした。ヘリウムガス1リットルで、1.1160714gの浮力を得られる。今回は、羽ロボの全重量が約1キロとなったため、およそ1000リットルのヘリウムガスを使用した。そして、そのヘリウムガスを利用するため、家庭用ゴミ袋を12袋つなぎ合わせてバルーンを作製した。

[5.完成図]

完成図を図 24 に示す。



図 24. 完成図

[6.羽口ポットの推進力について]

機体が前進している場合、はねを打ち下ろしているときは、図 25 のような力がかかる。

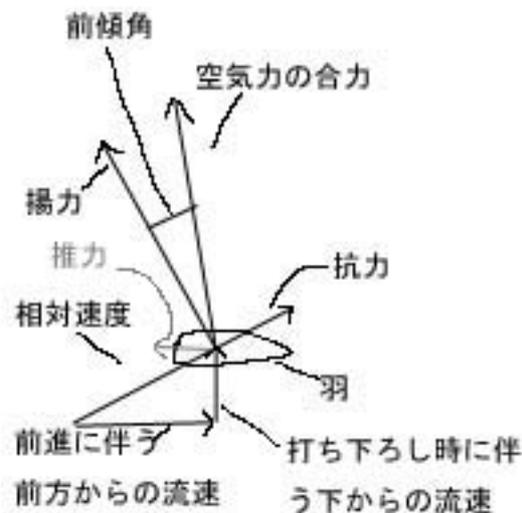


図 25. 打ち下ろしするとき

羽端に近づけば近づくほど、揚力の前傾角が大きくなって、揚力の水平成分が大きくなり、推力が増加する。また、羽の付根に近づけば近づくほど、揚力の前傾角が小さくなって、揚力の垂直方向が大きくなり、推力が減少する。よって、推力は、羽端部分付近で得て、揚力は、羽の根元部分付近で得ている。

[7.固定翼の位置関係]

実験として450円ぐらいのプロペラ式の飛行機を製作して、固定翼のつける位置が機体の重心より後ろの方だと、急落下してしまい機体の前の方から落ちてしまう。重心より前の方だと、機体の前の方が上に向きすぎてしまい、回転して落ちてしまう。固定翼の位置が機体の重心の位置とうまく一致すると、飛行機が着地するように、浮いた感じでゆっくりと落ちていく。

【今後の検討課題】

『毛口ボ』

- ・ マイコン機の光センサーの感度がよくなかった。LEDに接続した抵抗の値を変えて感度を上げることが試みたが思ったほどの効果は得られなかった。
- ・ マイコン機は壁を感知して回避行動をとってもその毛で進むという構造のためやや惰性で走ってしまうので壁に接触してしまう。

『羽ロボ』

自主演習コンクールで実際羽ロボを飛ばしてみてもわかった問題点

- ・ 思うように左右に回転させることができなかったという点
- ・ ラジオコントロールで操作するのだが、操作を止めても、惰性により勝手に前に進んでいってしまうという点
- ・ 思ったよりバルーンのヘリウムガスの減りが早いという点
- ・ バルーンが大きすぎた点

これらの問題点について改善すべきことは、

- ・ 尾ひれの部分の形状や大きさの改良
- ・ バルーンの製作過程の改良
- ・ 機体を小型にして必要なヘリウムガスの量を減らすこと

【その他】

参考文献

翼の断面図が載っているホームページ

<http://rcp.web.infoseek.co.jp/air.html>

わかる PIC マイコン制御 遠藤敏夫 著 誠文堂新光社

わかる PIC マイコン製作集 遠藤敏夫 著 誠文堂新光社

我々プロペは第7回 学生自主研究コンクールに

「No.7 プロペ ロボットの作成 ~コンセプトはおもしろさ~」

の項目で参加した。結果は30組中上位2、3位の優秀賞を頂いた。