

平成 14 年度卒業論文

魚ロボットによる推進機構の研究

福岡工業大学 工学部
知能機械工学科

99E2044 田中 宏樹

99E2047 徳久 健一

9831030 木村 一智

指導院生

CM01008 酒井 貴

指導教員

河村 良行 教授

目次

第1章 緒言	1
第2章 魚の遊泳	3
2.1 魚の遊泳法の分類	
第3章 魚ロボットの構造	6
3.1 魚ロボットの設計	
3.2 魚ロボットの基本構造	
3.3 各ユニットの説明	
第4章 制御システム	14
4.1 運動制御システムの概要	
4.2 運動制御システムの詳細	
4.3 データ送信システムの概要	
4.4 データ送信システムの詳細	
第5章 学習プログラム	24
5.1 ニューラルネットワークの原理	
5.2 ニューラルネットワークと学習	
第6章 フィールド実験	29
6.1 遊泳速度測定	
6.2 抗力係数測定	
6.3 学習実験	
第7章 結言	35
7.1 まとめ	
7.2 今後の課題	
参考文献	37
謝辞	38

付録

第 1 章

緒言

一般的な二人乗り小型ボートなどでのスクリープロペラを用いた推進機構の効率が40%前後、推進効率を重視した特殊なスクリーの推進効率は70%前後と言われている。また、スクリープロペラは、急加減速、急旋回を行うのが困難である。これに対して、何億年もの年月をかけて様々な環境の中で進化してきた水棲生物は、色々な推進方法で遊泳している。その中でも高速魚に分類されるニジマスは効率は60~70%前後と言われており、旋回性、加減速性にも優れていると言われている。藻などが生えている湖や川を進むにはスクリープロペラによる推進方法では進むことが困難である。しかし、魚の推進方法を用いることで、このような地形でも進むことが出来ると思われる。

本研究では、このようなことから魚の運動機構と運動パターンを規範とすることにより優れた水中推進機関の開発を目的とする。さらに運動パターンを規範にするにあたり、学習アルゴリズムを用いて魚ロボット自身が学習を行う魚ロボットの製作を行った。

第 2 章

魚の遊泳

2.1 魚の遊泳法の分類

現在地球に生息している魚は多種多様な遊泳を行っている。一般に魚と呼ばれる生物は胸鰭や尾鰭や体全体を左右、もしくは上下に振ることで、水を後方に押し出して推進している。最も代表的な魚の遊泳法として、尾鰭の長さや運動の程度でウナギ型、アジ型、ハコフグ型の3種類に分類される。^{1),2)}

2.1.1 ウナギ型

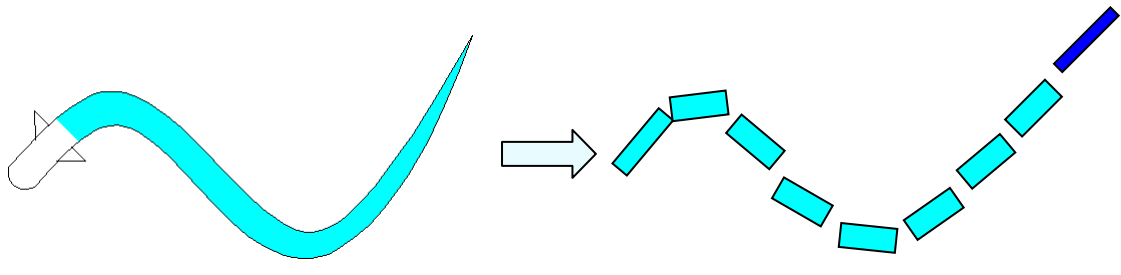
ウナギ型は細長い体をくねらせて、振幅を尾鰭に向かって増加させる遊泳方法で、この遊泳方法を模倣するには複数の関節が必要である。この推進方法を利用した魚ロボットは、多関節による体全体の滑らかな運動が必要とされ、それぞれの関節の制御はかなり複雑になる。しかし、適切で高度な制御を実現できれば巧みな位置制御を必要とする狭い水域での海中作業などに利用できると考えられる。ウナギ型の遊泳を模倣する為の複数の関節による遊泳を図2.1の(1)に示す。

2.1.2 アジ型

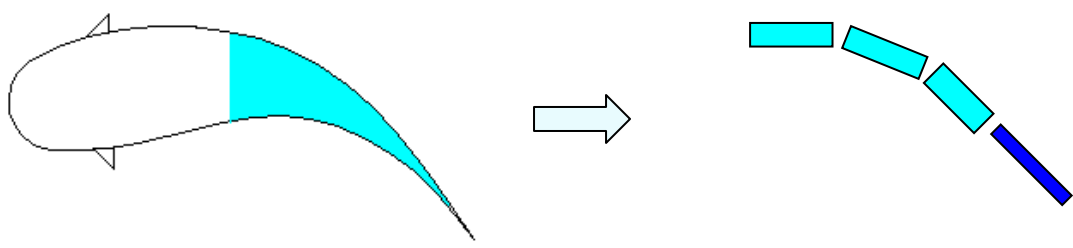
アジ型は尾鰭と体の後半部分を使用して泳ぐ遊泳方法であり、マス、コイ、カツオ及びマグロなどの高速魚がこれに分類される。この遊泳を模倣するには2個の間接が必要である。アジ型の遊泳を模倣する為の2個の間接による遊泳を図2.1の(2)に示す。

2.1.3 ハコフグ型

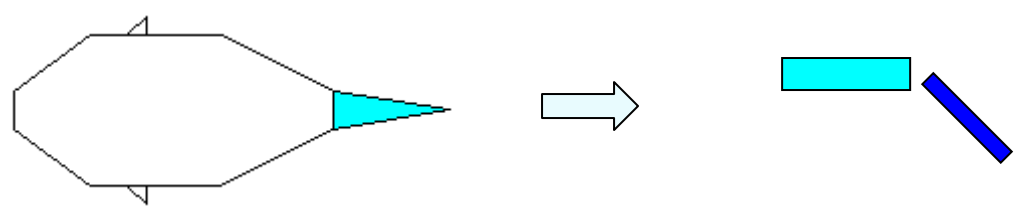
ハコフグ型は体をほとんど使わずに尾鰭のみを動かして泳ぐ遊泳方法であり、ウナギ型、アジ型に比べて間接が少ないことから魚ロボットの駆動部の機械損失を小さくできる。また、構造が感嘆に出来るの事から小型の魚ロボットに適した推進方法であると考えられる。ハコフグ型の遊泳と模倣する為の1個の間接による遊泳を図2.1の(3)に示す。



(1)



(2)



(3)

図 2.1 魚の遊泳法と規範による遊泳

第 3 章

魚ロボットの構造

3.1 魚ロボットの設計

今回の魚ロボットで最初に考慮した事は、学習アルゴリズムを用いて魚ロボットの遊泳を無線により行い、池で実際に遊泳させる。ハコフグ型だけでなく、ウナギ型やアジ型も規範とする。以上の 2 点である。この事より、魚ロボットを完全防水性にする事と、関節部分を自由に増減させる事を重視して設計を行った。材質は、比重や加工のしやすさや防水の事を考え、比重が 1.1 で、給水率は 0.16%、表面硬度は 93 ロックウェルであるサイコウッドを使用した。

3.2 魚ロボットの基本構造

魚ロボットの構成要素は、頭部コントロールユニット、駆動部ユニット、尾部パワーユニットの 3 種類で構成されている。駆動部ユニットはすべて同じ構造になっており、駆動部ユニットを増設することで、関節部分を増加し、より複雑な遊泳が可能となる。各駆動部ユニットを制御することにより、魚の代表的な泳法である、ウナギ型、アジ型、ハコフグ型の 3 種類の動きを規範とすることが出来る。現在の魚ロボットは駆動部ユニットが 3 つしかいないため、最低でも 8 関節を必要とするウナギ型は規範とすることができないが、今後駆動部ユニットを増設し駆動部ユニットを追加することでウナギ型を規範にすることも可能である。製作した魚ロボットは全長 1080mm、高さ 140mm、重量 7kg で、全体写真を図 3.1 に示す。

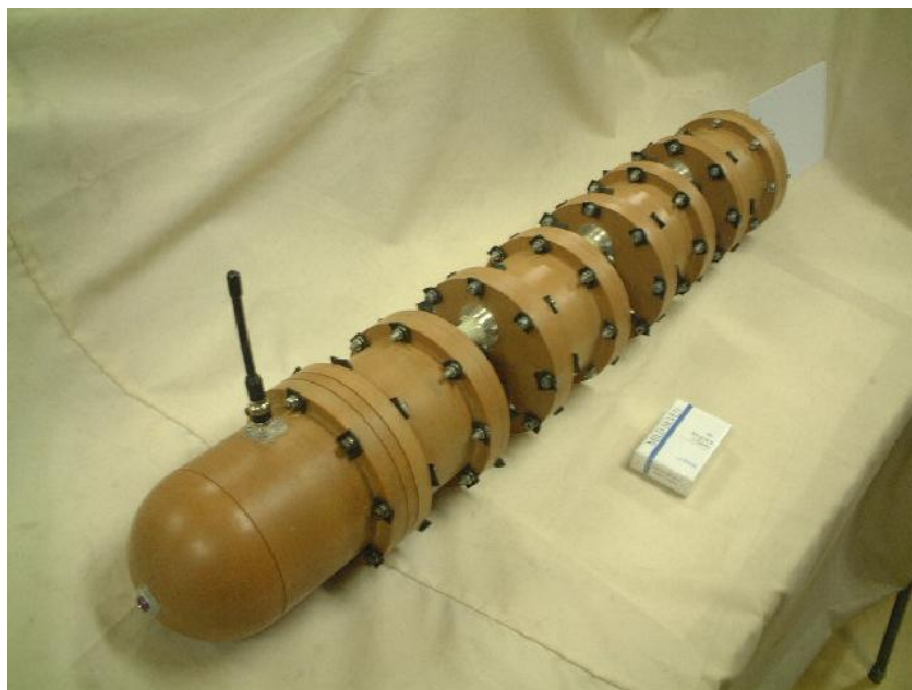


図 3.1 魚ロボットの全体写真

3.3 各ユニットの説明

3.3.1 頭部コントロールユニット

頭部コントロールユニットの構成要素は、魚ロボットの遊泳速度を測定する為のプロペラ式流速計、遊泳中に得られた速度、バッテリーの起電力のデータをパソコンに送信するための無線データ送信機、アンテナ、魚ロボットの電源を入れるためのスイッチである。頭部コントロールユニット全体、スイッチを図 3.2 に示し、無線データ送信機を図 3.3 に示す

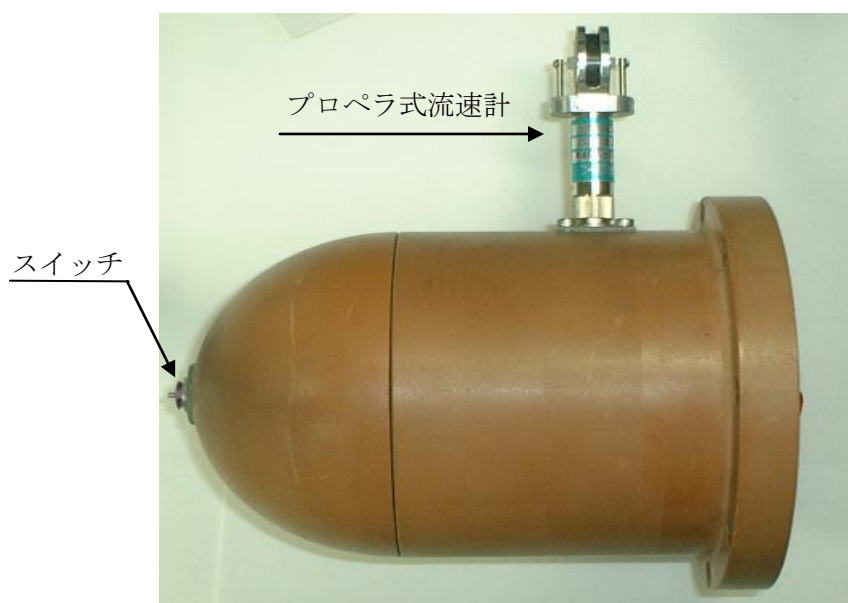


図 3.2 頭部コントロールユニット

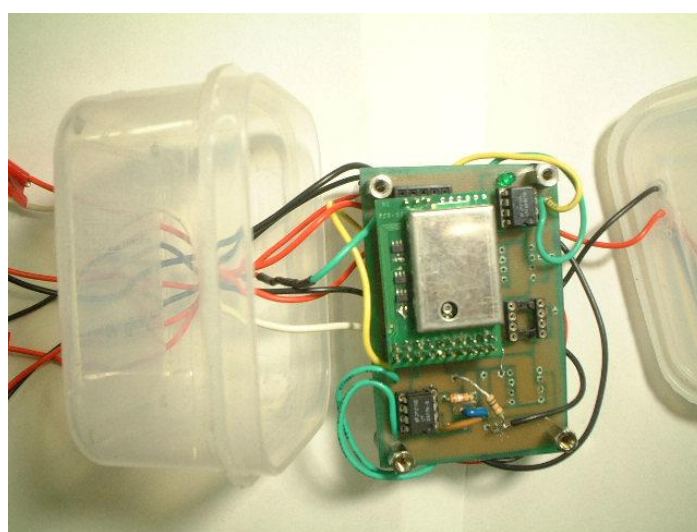


図 3.3 無線データ送信器

3.3.2 駆動部ユニット

駆動部ユニットの構成要素は、サーボモータとサーボモータの力を伝達させるための接続機構^{3),4)}である。その駆動部ユニットを図 3.4 に示す。魚の尾鰭のように魚ロボットを運動させるため、図 3.5 のようなサーボモータの反復回転運動を利用して、尾鰭のように魚ロボットを左右に振る動作を行う。サーボモータの制御は、周波数(1~2Hz)、位相(-180~180deg)、振幅(-30~30deg)であり、これらを各サーボモータごとに制御することでさまざまな遊泳が可能である。

今回のサーボモータは、魚ロボットを振幅させる時のサーボモータの角度制御がしやすく、トルクが大きいという事で、双葉電子工業株式会社の S5301⁵⁾を使用した。このサーボモータは、動作スピードが 0.23sec/60°、出力トルクは 21.0kg・cm であり、図 3.6 に示す。

図 3.4 に示す配線用のパイプは、洗濯機などに使う排水用のパイプなので、魚ロボットを何度も遊泳させると疲労によりパイプの溝部分が断裂を起こし、そこから水が内部に流れ込み何度か沈没した。今後は現在のパイプではなく今以上に耐久性のある材質に変更する必要がある。

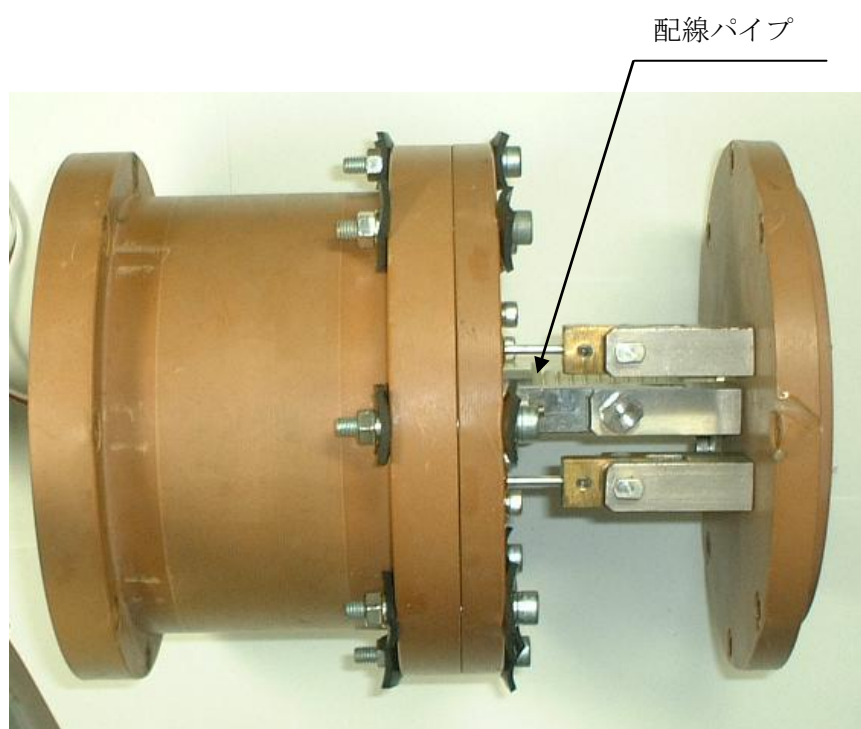


図 3.4 駆動部ユニット

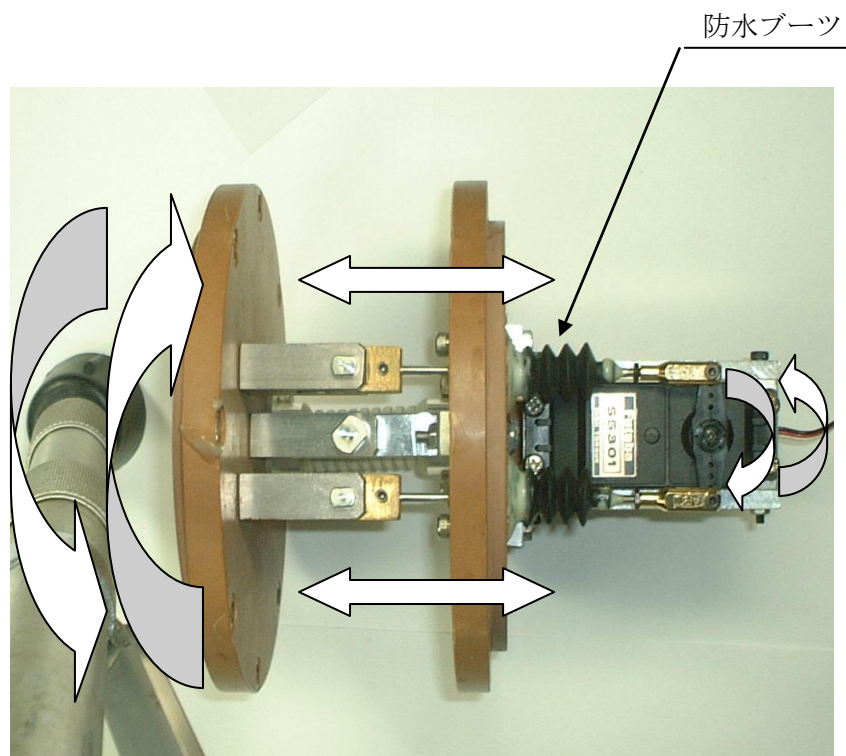


図 3.5 サーボモータの反復運動



図 3.6 サーボモータ

魚ロボットを完全防水性にするために、図 3.7 のように O リングを溝にはめ込み、図 3.8 の矢印のように左右から O リングを押しつぶすことで防水している。これは駆動部ユニットだけでなく、頭部コントロールユニット、尾部ユニットも同様の方法で防水を行っている。また、サーボモータの稼働時には、リンク棒が前後に移動するので、図 3.5 に示している防水ブーツを使用した。この防水ブーツは伸縮性があるので、フランジとリンク棒に接着することで防水することができる。

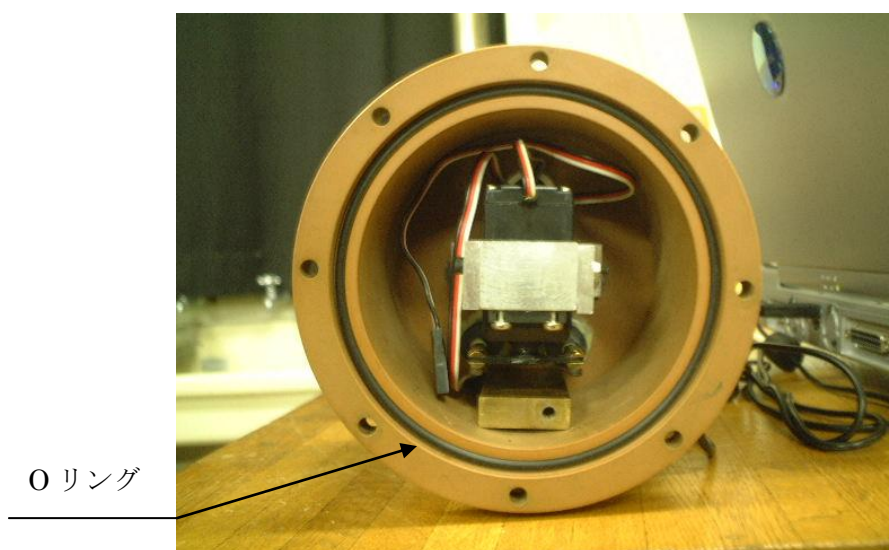


図 3.7 O リングによる防水

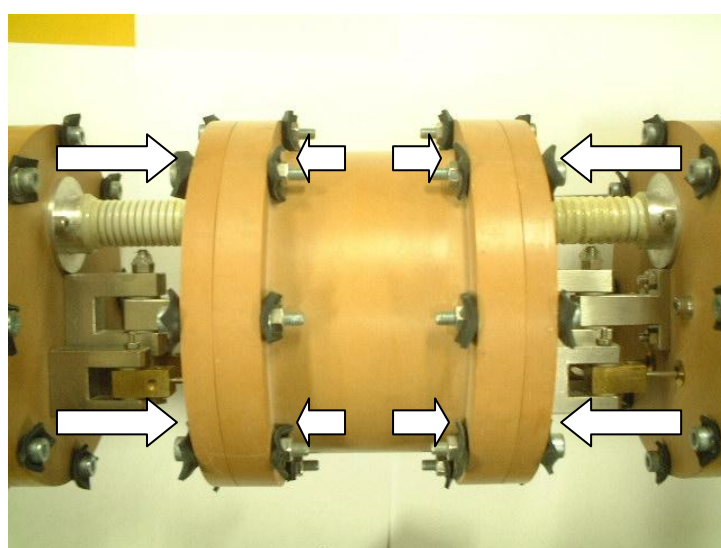


図 3.8 O リングによる防水

3.3.3 尾部パワーユニット

初期の尾部パワーユニットは、図 3.9 に示すようなフランジに尾鰭を接続しただけのものだったが、この尾部パワーユニットを使用して魚ロボットを遊泳させた結果、抵抗が大きいように思われたので、図 3.10 に示すような魚の尾鰭を模倣した尾部パワーユニットを新しく製作した。

現在の尾部パワーユニットの構成要素は、ニッカド電池が 1 個、パソコンから送信される魚ロボットの運動プログラムを受信するための受信機、尾鰭である。現在使用している受信機は、双葉電子工業株式会社の FP-R115F で図 3.11 に示す。ニッカド電池は、双葉電子工業株式会社の NR5T1500 で、電圧は 6V、容量は 1500mAh で、現在の構成ではニッカド電池 1 個で約 1 時間の遊泳が可能である。このニッカド電池を図 3.12 に示す。尾鰭は、横が 200mm 縦が 130mm 厚み 1mm で材料は、ポリエステルの長方形鰭を使用した。尾鰭は取り外しが簡単にできるので、現在の長方形型だけではなく、さまざまな形状、材質の尾鰭を取り付けることができる。

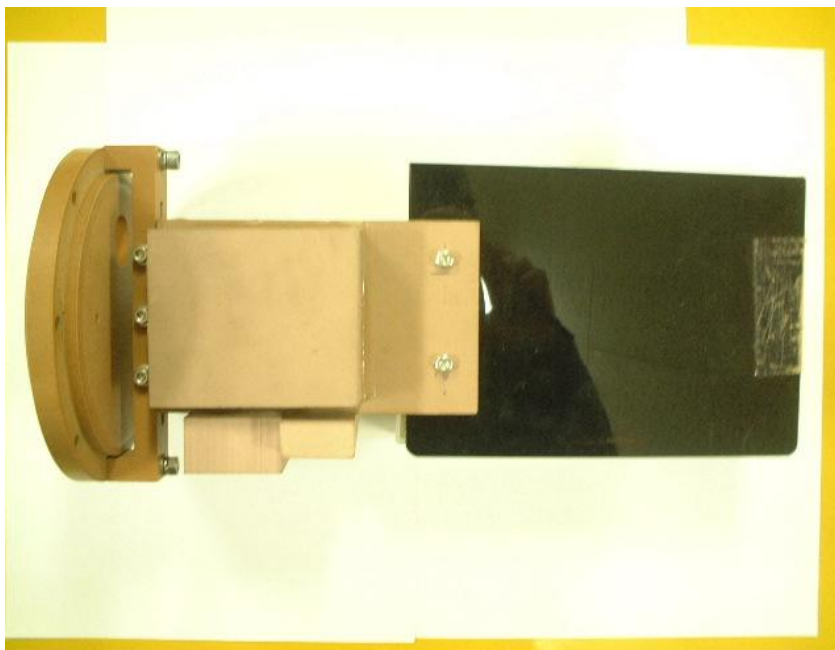


図 3.9 初期の尾部パワーユニット



図 3.10 変更後の尾部パワーユニット

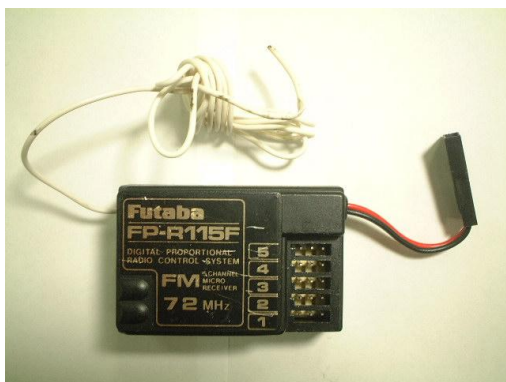


図 3.11 受信機



図 3.12 ニッカド電池

第4章

制御システム

4.1 運動制御システムの概要

図 4.1 にシステムの流れを示す。パーソナルコンピュータ（以下 PC）に D/A 変換器を介して R/C 送信機を接続し、運動制御プログラムによりサーボモータを制御する。また、開発項目として計測を行うデータは各動作ユニットの角度、周波数、サーボモータの消費電力、バッテリーの電圧、魚型ロボットの遊泳速度などが考えられ、それぞれの測定データ計測方法は以下に示すようになる。

まず、サーボモータの角度は R/C サーボ内部のポテンションメータの電圧と、事前に計測したサーボモータの動作角度の関係を最小二乗法から得られた近似関数により判断し、またサーボモータの動作周波数も前述のポテンションメータの電圧より判断できる。そして、消費電力はバッテリーとサーボモータの間に直列に取り付けられた分圧抵抗の両端の電圧を計測し、分圧抵抗の抵抗値は既知であるから、直列に接続されたサーボモータの電流を計測することが可能であり、これに加えてサーボモータに付加された電圧より消費電力を計測可能である。また、バッテリーの電圧は、バッテリー、サーボモータに並列に接続された、抵抗の電圧を測定することで測定可能である。次に遊泳速度はプロペラ式流速計を用いて計測する。そして、これらの測定データを無線により PC 側に送信することで、魚型ロボットの様々な実験パラメータを陸上のパソコンに集約し、実時間の制御システムを構築する。しかし、これらの測定データの内、現在測定が可能なものは、魚型ロボットの遊泳速度、バッテリーの電圧である。

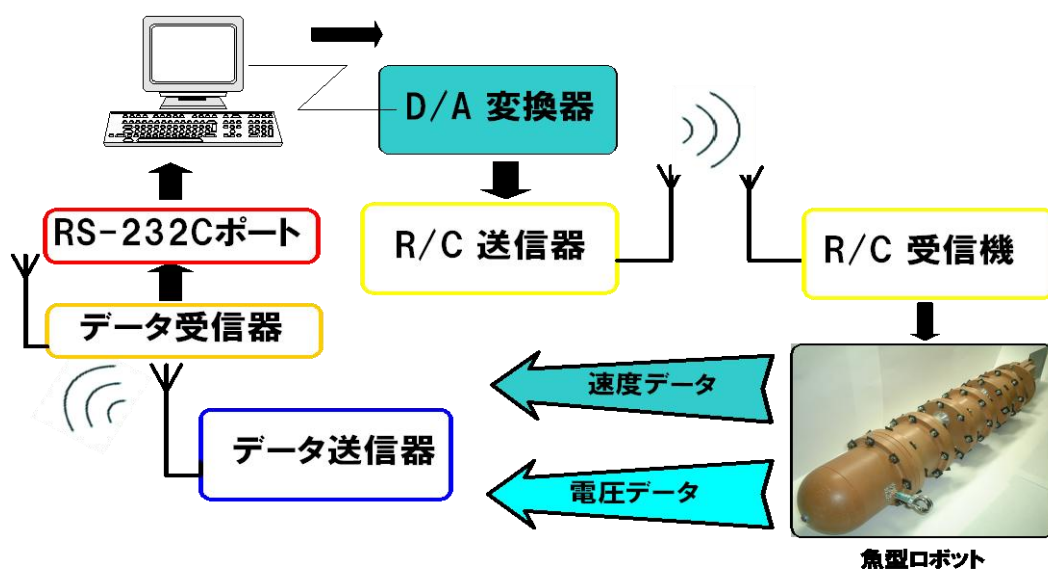


図 4.1 運動制御・データ送信システムの流れ

4.2 運動制御システムの詳細

運動制御システムの構成要素は、パーソナルコンピュータ、D/A 変換ボード、RC 送信器、RC 受信器、サーボモータ、データ送信器、データ受信器から構成され、システムの流れとしてパーソナルコンピュータから D/A 変換ボードより RC 送信器のポテンションメータ接続部に電圧を付加し（この際ポテンションメータに付加する電圧は 1.1[v]~3.8[v]である）、その変位により RC 受信器がサーボモータを駆動させ魚型ロボットを遊泳させる。遊泳により生じた速度とバッテリー電圧をデータ送信器により、地上に設置したデータ受信器にデータを送信し、データをインタフェースの RS-232C を用いてパーソナルコンピュータ内部のメモリに保存する。構成要素の写真を図 4.2 に示す。

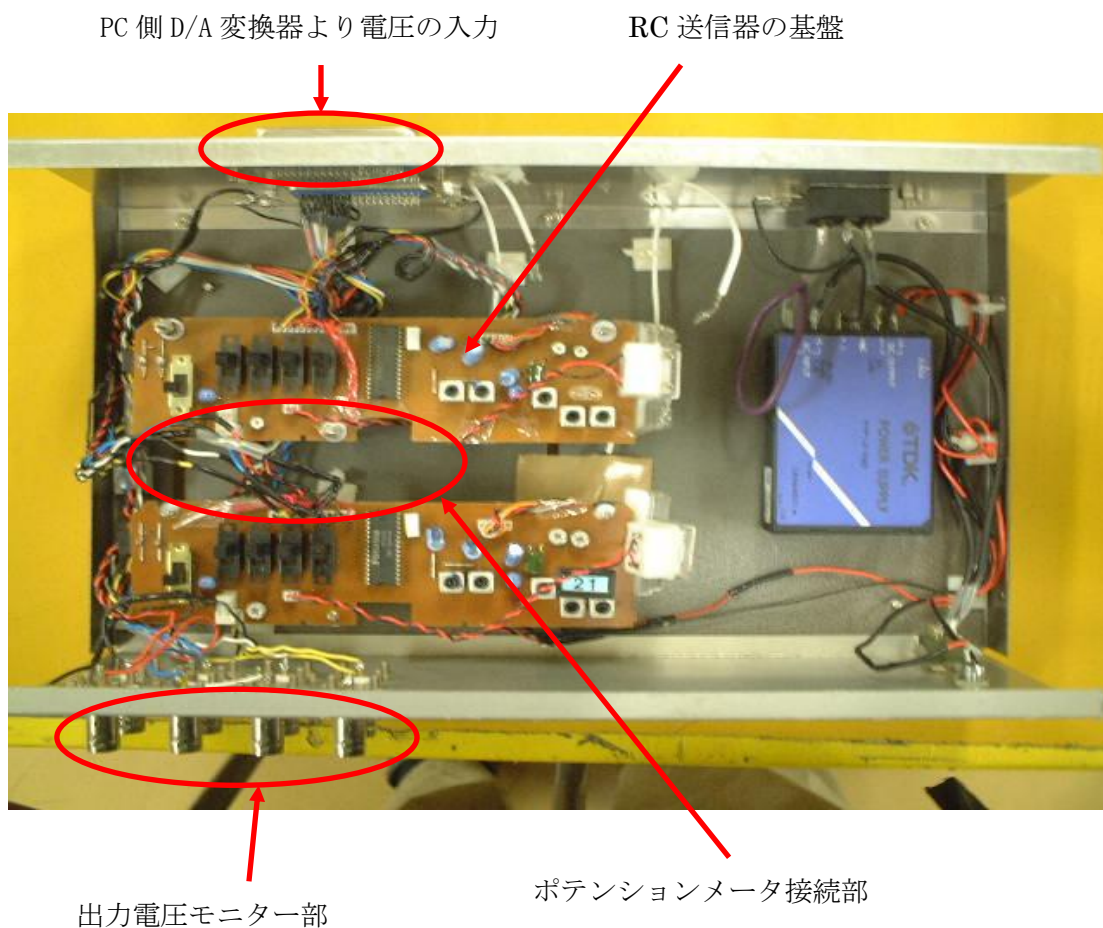
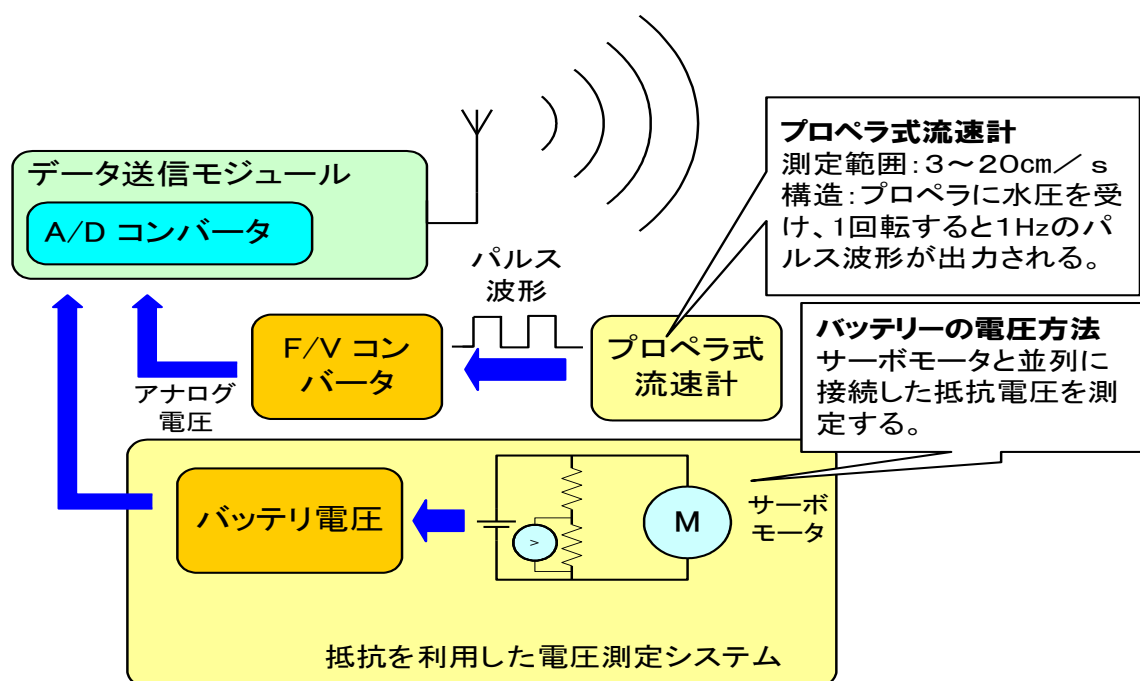


図 4.2 RC 送信器の内部

4.3 データ送信システムの概要

前述のデータ送信を行う手段として、無線によるデータ送信を採用した。その利点として、有線を用いた方法と比べ、より自然な状態で測定が可能であることが挙げられる。つまり、その利点として、有線式は移動距離の制限を受け、広範囲の実験に対しては不利であるが、今回採用した無線式は、広範囲の実験に対して適している。また、有線式では、有線式のため配線の影響を受け、精密な測定が困難である。それに比べ、無線式はそれらの影響を受けない。

図にデータ送信システムを示す。最初は、AM-RT5-315 (telecontrolli 社) のデータ送信器を用いていた。この AM-RT-315 データ送信器は、流速計のパルス波形をトランジスタの増幅回路で増幅しデータ送信を行っていた。そして、次に採用した TM-Sa((有)野村エンジニアリング)データ送信モジュールは、4ポートの 10BitA/D 変換ポートを備えており、アナログ電圧を 60[ms]のサンプリング周波数で、データのサンプリングが可能である。しかし、送信データはアナログ電圧の必要があり、H,L レベルのパルス波形ではデータを送信することができない。その為、プロペラ式流速計の出力信号を F/V コンバータにより、アナログ電圧に変換し、データ送信モジュールの入力ポートに入力している。今回取得データとして魚型ロボットの遊泳速度、バッテリーの電圧の二つを取得している。測定データの遊泳速度、バッテリーの電圧は学習実験による評価関数の生成



の為に取得を行っている。

図 4.3 データ送信システム

4.4 データ送信システムの詳細

第1の測定データとしてプロペラ流速計 VRT-200-20FK (株ケネック) はパルス数から速度を算出する。初めに、使用していた AM-RT5-315 データ送信器は、複数の測定データの送受信が不可能、通信距離が短い、ASK 方式のためノイズに弱いなどの理由から、TM-Sa ((有)野村エンジニアリング) のデータ送信器に変更した。この AM-RT5-315 データ送信器は、流速計からの出力パルス波形 (0.2V ため) をデータ送信器の読み取り可能領域まで、トランジスタのエミッタ接地回路で作成した増幅回路により、出力パルス (6V) まで増幅させ送信し、データの取得を行っていた。次に、TM-Sa ((有)野村エンジニアリング) データ送信器は、アナログ電圧のみの入力であるため、プロペラ流速計から直接パルスの入力は出来ない。そのため、パルスをアナログ電圧に変換する必要がある。今回はパルス→アナログ電圧変換のため F/V コンバータ LM2917N-8 (National Semiconductor) を用いている。また、プロペラ式流速計のパルス数、速度の関係式は、

$$V = 0.655N + 3.0 \quad (3.1)$$

であり V:速度 N:パルス数を示す。また、F/V コンバータの関係式は、

$$V_{\text{OUT}} = f_{\text{IN}} \times V_{\text{CC}} \times R_1 \times C_1 \quad (3.2)$$

であり、プロペラ式流速計の検定表を表、関係図を図、F/V コンバータの回路例を図、周波数と出力電圧の関係を図に示す。

ここで、F/V コンバータの周波数-出力電圧の算出式(3.2)には LM2917N-8 に付加する電圧が関係するため、定圧化する必要がある。現状では三端子レギュレータにより 5[V]に定圧化を行っているが、乾電池を使用しているため実験中に電圧の水準が低下する可能性がある。また、プロペラ流速計の電源、データ送信器、F/V コンバータの電源は前述の電源を使用しているため、特にプロペラ流速計の出力パルスは付加する電圧により振幅が変化する。それより、F/V コンバータが読み取り不可能な振幅まで減衰する可能性がある。しかし、流速計からの出力パルスを増幅すれば、読み取り不可能領域に振幅が減衰することは無いので、こちらも、前述同様のトランジスタ増幅回路により、流速計からの出力パルスを増幅している。パルス波形増幅回路を図に示す。

また、データ送信器の TM-Sa の A/D 入力チャンネルの入力レンジは最大 3v であるので 3[V]以上の電圧付加を行うことは回路の破壊に繋がる。そのため、バ

ツファを使用して入力電圧の制限を掛ける必要がある。また、データ送信器、プロペラ式流速計に用いている電源は9[v]乾電池を用いているので単電源のOPアンプであるLMC6482 (National Semiconductor) を使用している。

第2の測定データとして、バッテリーの電圧測定方法はサーボモータと並列に接続した抵抗の電圧を測定することでバッテリーの電圧測定を行っている。この際、バッテリー電圧は6[v]である事から前述のTM-SaのA/D入力チャンネルの入力レンジを超える事になるので2本の抵抗 R_1 、 R_2 により分圧して測定を行っている。全体の回路図を図に示す。

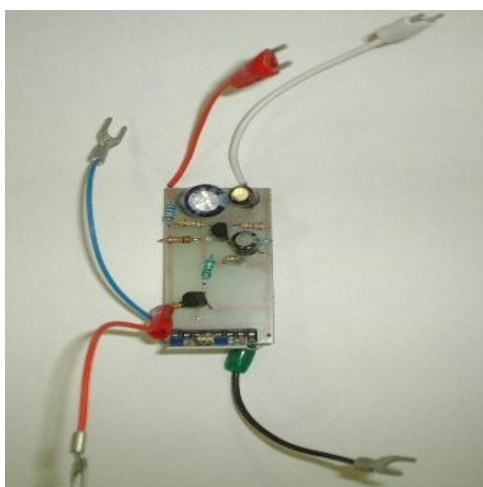


図 4.4 送信機と増幅回路 (AM-RT5-315)

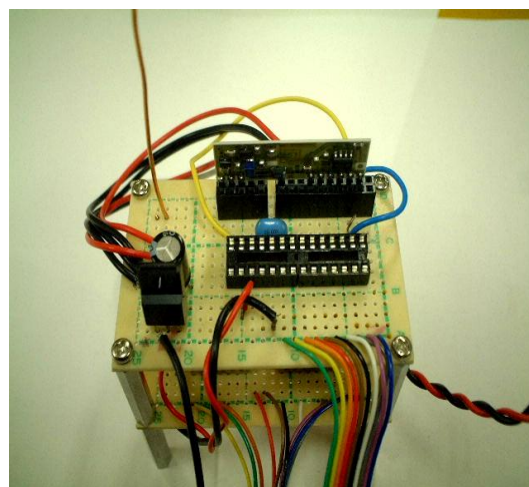


図 4.5 受信器 (AM-HRR3-315)

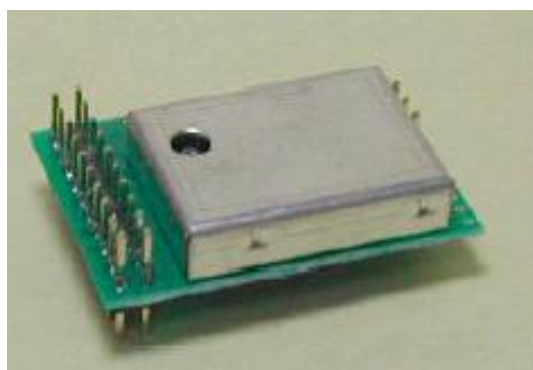


図 4.6 データ送信器(TM-Sa)

図 4.7 データ受信器(TM-STRa)

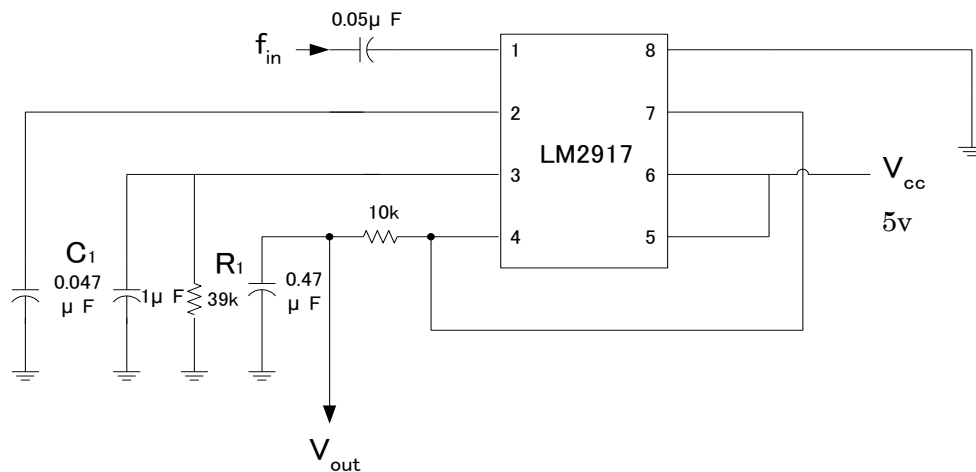
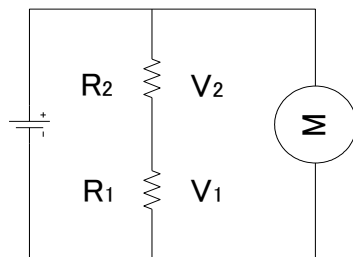


図 4.8 F/V コンバータの回路例



$$V = V_1 + V_2$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V = \frac{2}{5} V$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V = \frac{3}{5} V$$

$R_2 : 3k\Omega$
 $R_1 : 2k\Omega$

図 4.9 バッテリ電圧測定回路

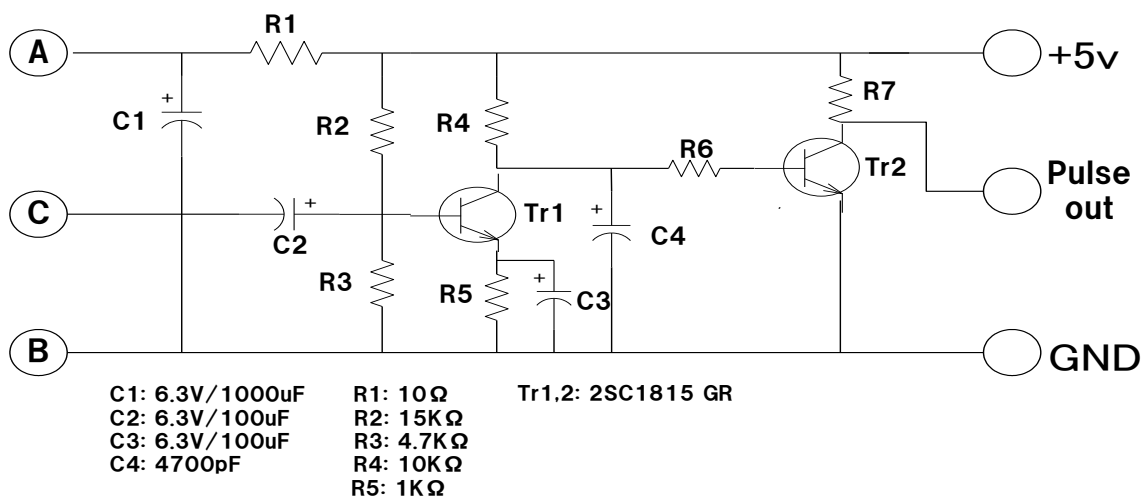


図 4.10 トランジスタ増幅回路 (AM-RT5-315 用) ^(6/7)

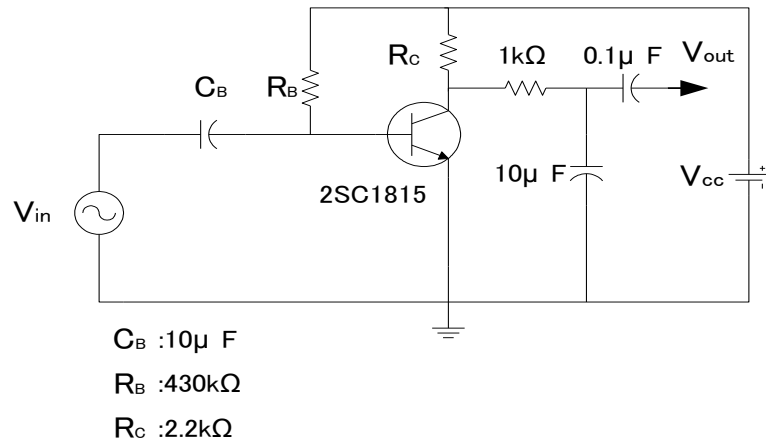


図 4.11 トランジスタ増幅回路 (TM-S a 用) ⁽⁸⁾

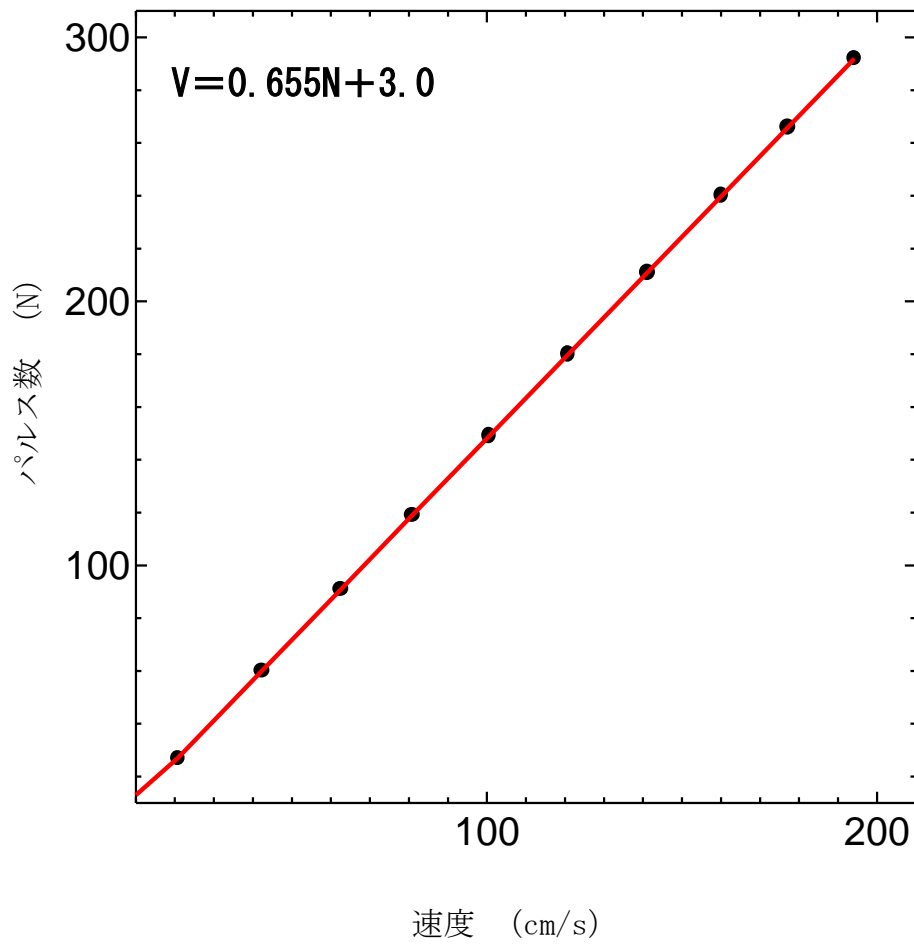


図 4.12 プロペラ式流速計 パルス数－速度 (参照:株式会社 ケネック)

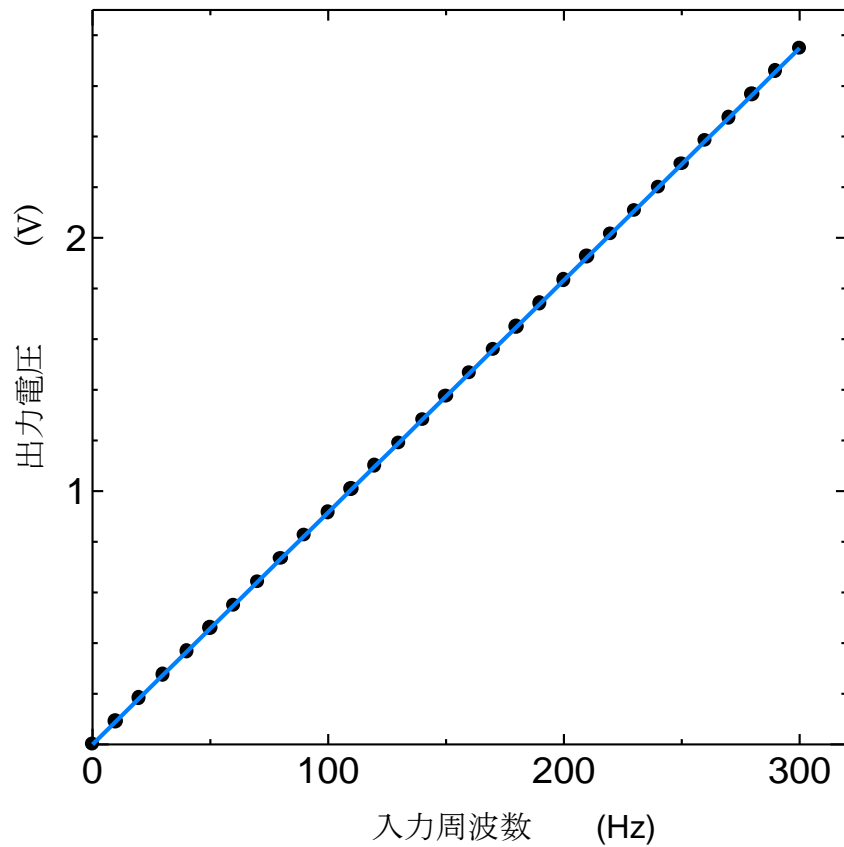


図 4.13 F/V コンバータの周波数と出力電圧の関係

表 1 プロペラ式流速計検定表(参照:株式会社 ケネック)

台車速度 (cm/s)	パルス数 (N)	計算速度 (cm/s)	誤差 (cm/s)
19.6	27	20.7	1.1
39.7	60	42.3	2.6
60.1	91	62.6	2.5
79.4	119	80.9	1.5
98.8	149	100.6	1.8
119	180	120.9	1.9
139.7	211	141.2	1.5
160.3	240	160.2	-0.1
179.9	266	177.2	-2.7
196.9	292	194.2	-2.7

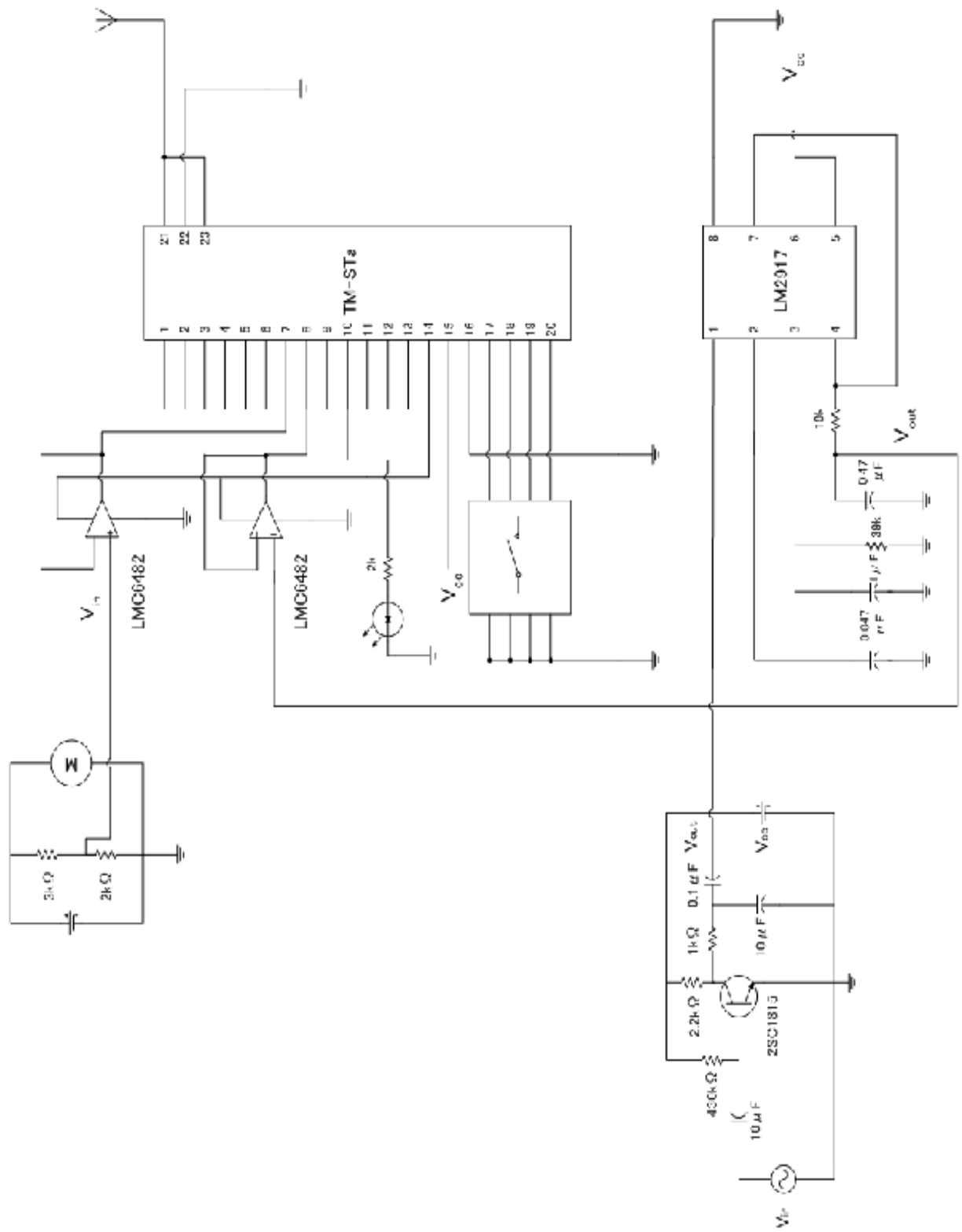


図 4.14 データ送信システム回路図

第5章

学習プログラム

5.1 ニューラルネットワークの原理

今回、作成したプログラムはニューラルネットワーク⁹⁾により山登り法と呼ばれる最も単純なアルゴリズムを用いた。

まず、運動パターンを生成するために次のような値を入力する。

$$\left. \begin{array}{l} x_1(t) = \sin \omega t \\ x_2(t) = \cos \omega t \\ \left. \begin{array}{l} x_{2n-1}(t) = \sin n\omega t \\ x_{2n}(t) = \cos n\omega t \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (5.1)$$

式(5.1)よりその入力値に重みを掛けると次のようになる。これがネットワークにより作られた波形となる。波形を X_i 、荷重を W_j 、出力の波形を θ_i とすると

$$\theta_i(t) = \sum_{j=1}^{2n} w_{ij} x_j(t) \quad (5.2)$$

という式になる。

式(5.2)の荷重を変更する事により違った波形が形成される。今回用いたニューラルネットワークの構造を図5.1に示す。

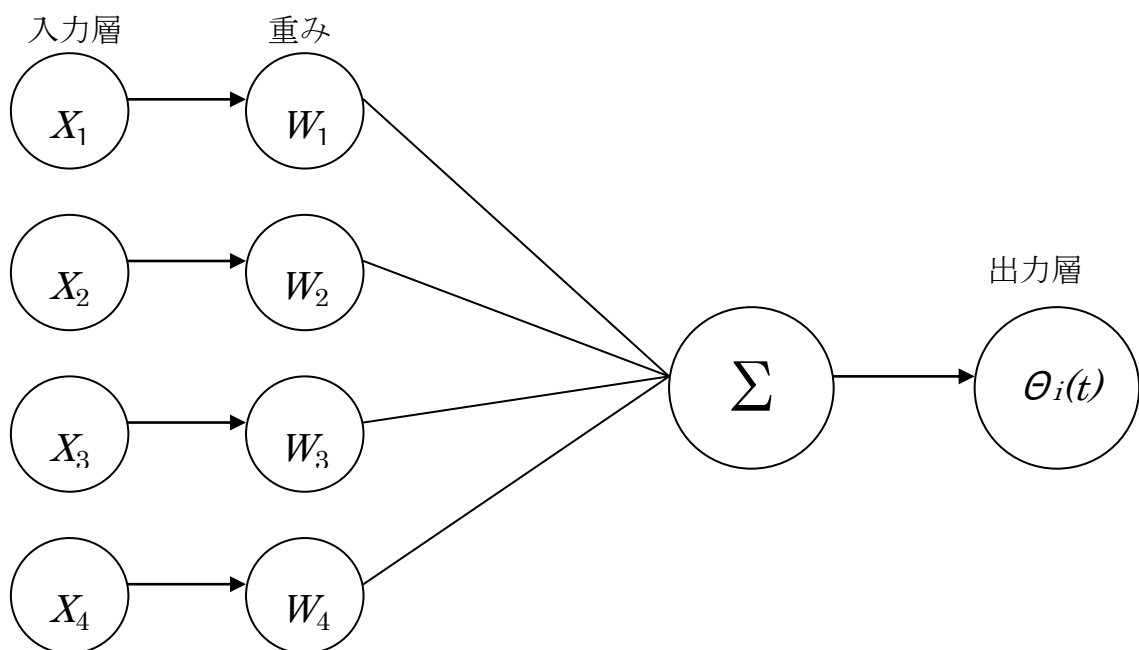


図 5.1 ニューラルネットワークのモデル図¹⁰⁾

5.2 ニューラルネットワークと学習

5.2.1 魚ロボットとニューラルネットワーク

実際にニューラルネットワークが実際に、魚ロボットにどのように適応されているのかを説明する。前ページに説明したように、まず発進細胞 X_j に重みかけ、出力細胞に出力したものが適用角度 θ_i である。それにより評価値 E を測定し、評価関数の評価により重みを変動する。それを下図 5.2 に記す。

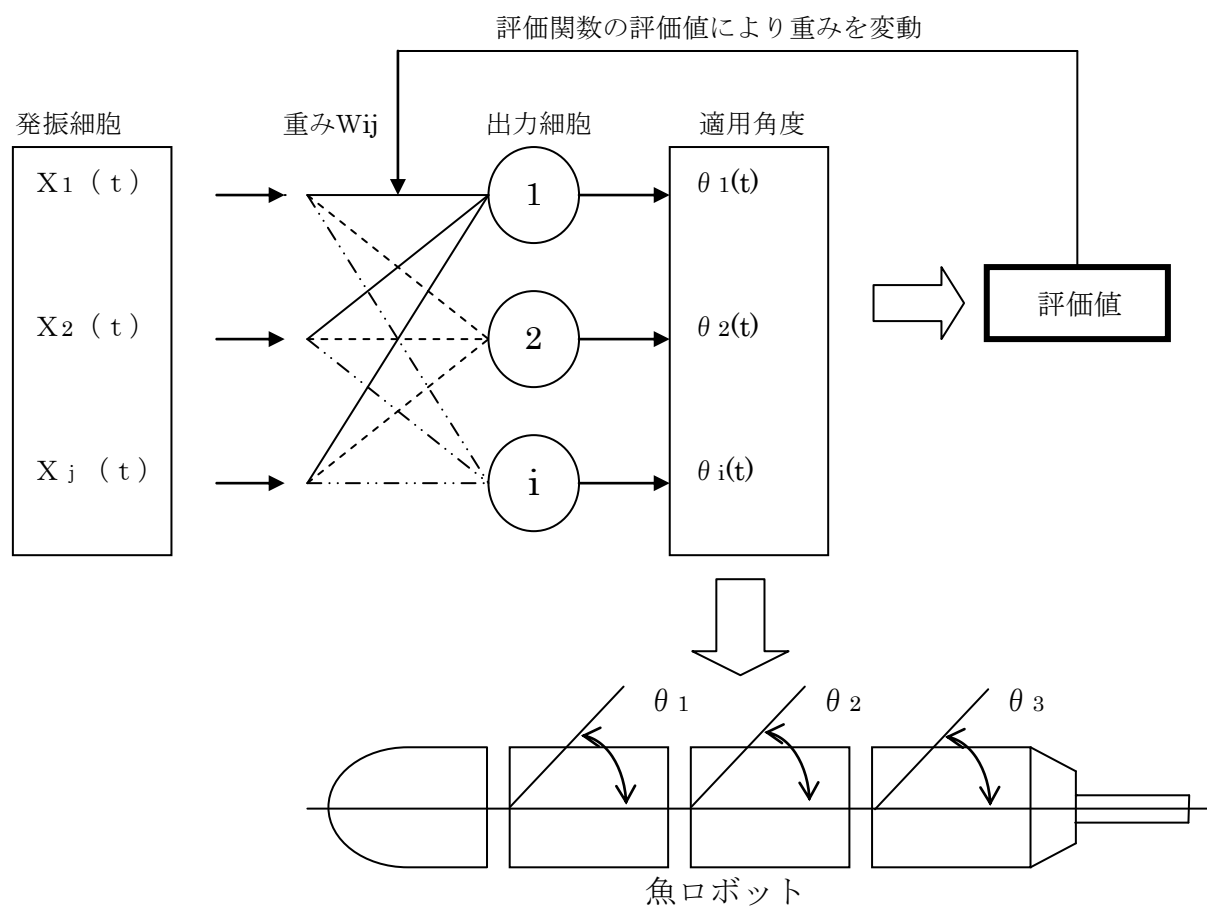


図 5.2 ニューラルネットワークを用いた魚ロボット

5.2.2 学習プログラムのフローチャート

今回作成した学習プログラムのフローチャート¹¹⁾を下図 5.3 に示す。

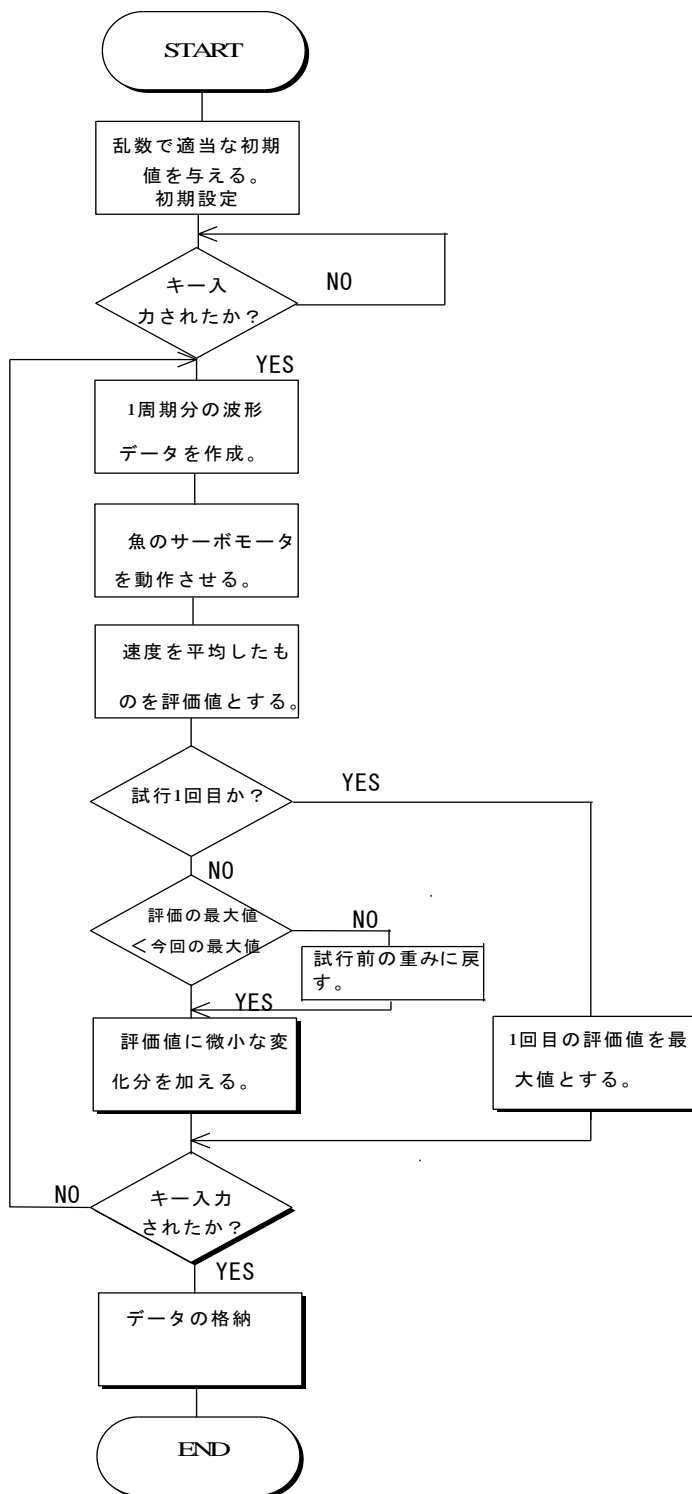


図 5.3 学習プログラムのフローチャート

図 5.3 より学習プログラムのフローチャートの説明を以下に示す。

- (1) ランダムな乱数で適当な初期値を与える。
- (2) 1周期分の波形データを作成する。
- (3) 波形データに従ってD/A変換機に出力し、魚ロボットのサーボモータを駆動させる。
- (4) 魚ロボットを遊泳させ、速度を測定し、速度をバッテリーの電圧で割って平均した値を表価値とする。
- (5) 試行 1 回目かどうか判断する。試行 1 回目なら現在の評価値を最大値として保持する。
- (6) 試行 2 回目以降なら今回の最大値と評価値を比較する。今回の評価値が今までの評価値より上昇すれば今回の評価値を最大値とする。
- (7) 今回の評価値に微小な変化分を加える。減少した場合は試行前の重みに戻す。
この一連の流れを繰り返し遊泳速度の測定と評価値の比較を順次行う。

第6章

フィールド実験

6.1 遊泳速度測定

6.1.1 実験方法

製作した魚ロボットに設置してあるプロペラ式流速計により、魚ロボットの遊泳速度を測定した。今回の実験で使用した駆動部ユニットの周波数、位相、振幅は遊泳している時、自分たちの目で見ても最も早いと思われる、周波数 $f=1(\text{Hz})$ 、位相 $\alpha_1=0$ 、 $\alpha_2=90$ 、 $\alpha_3=180(\text{deg})$ 、振幅 $\theta_1=10$ 、 $\theta_2=20$ 、 $\theta_3=30(\text{deg})$ に設定し、周波数を $1\sim 2(\text{Hz})$ まで $0.1(\text{Hz})$ ずつ変化させた時の遊泳速度を測定した。一回の遊泳試行時間は約 30 秒である。

6.1.2 遊泳速度の実験結果及び考察

周波数に対する遊泳速度の変化を図 6.1 に示す。図 6.1 より、周波数が増加するにつれて遊泳速度も上昇していることがわかる。しかし、この実験では、尾鰭の形状、位相、振幅を一定で行ったので、周波数が高ければ高いほど遊泳速度が上昇するかは、現在の段階では不明である。

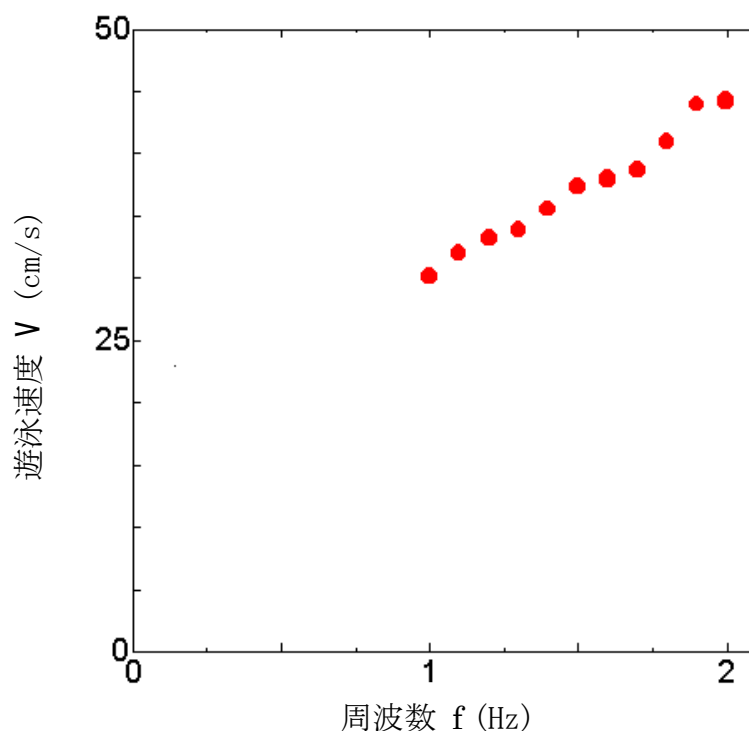


図 6.1 周波数と遊泳速度の関係

6.2 抗力係数測定

6.2.1 実験方法

水に浮いている魚ロボットに糸を取り付け、モーターで魚ロボットを引く時の、遊泳速度とトルクを測定した。遊泳速度は魚ロボットに設置しているプロペラ式流速計で測定し、トルクは魚ロボットをモーターに取り付けた直径 9cm のプーリーで巻き取り事により引っ張り、その時にモーターに流れる電流から導き出した。この時の実験装置を図 6.2 に示す

6.2.2 抗力係数の実験結果及び考察

実験により測定した遊泳速度、トルクから抗力係数を求める。まず、トルクを F に変換するための式は、

$$F = \frac{T}{L} \quad (6.1)$$

であり、この時の L はプーリーの半径 4.5cm である。

次に、抗力係数の式¹²⁾は、

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot Cd \quad (6.2)$$

であり、この時の F は(6.2)の計算結果、 S は魚ロボットの投影面積、 ρ は流体密度、 V は測定した遊泳速度を用いた。これより計算した抗力係数と測定した速度とトルクをグラフとして図 6.4 に示す

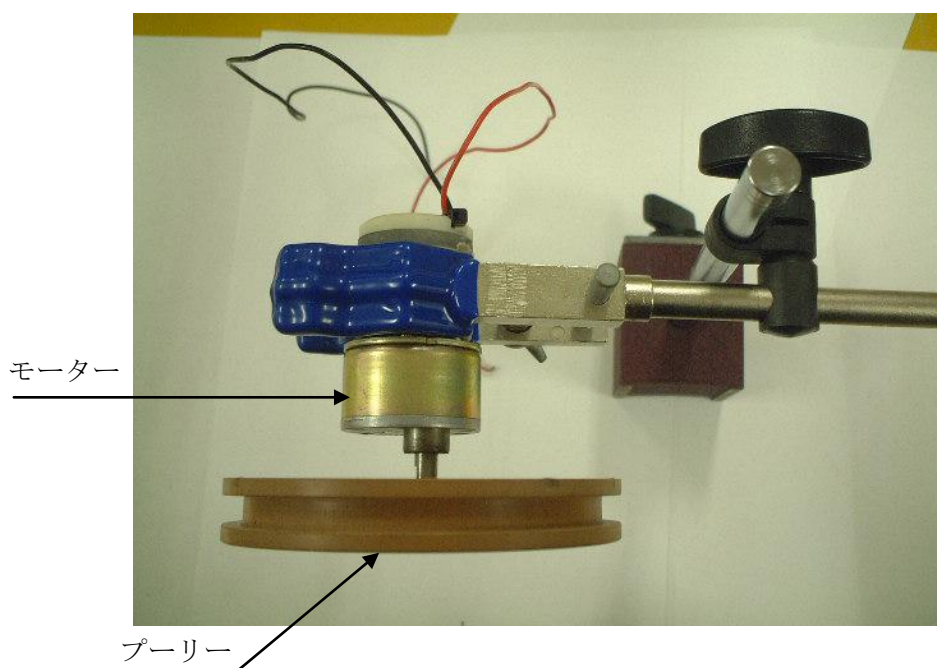


図 6.2 実験装置

最も理想的な魚ロボットの抗力係数は図 6.3 (フールマンの流線形回転体より) に示すように 0.022~0.034 あたりであるが、図 6.4 より、現在の魚ロボットは理想的な抗力係数と比較すると 50 倍近く離れている。

	Shape	C_D
(a)		0.0253
(b)		0.0343
(c)		0.0340
(d)		0.0220
(e)		0.0246
(f)		0.0248

図 6.3 流線形回転体の抗力係数

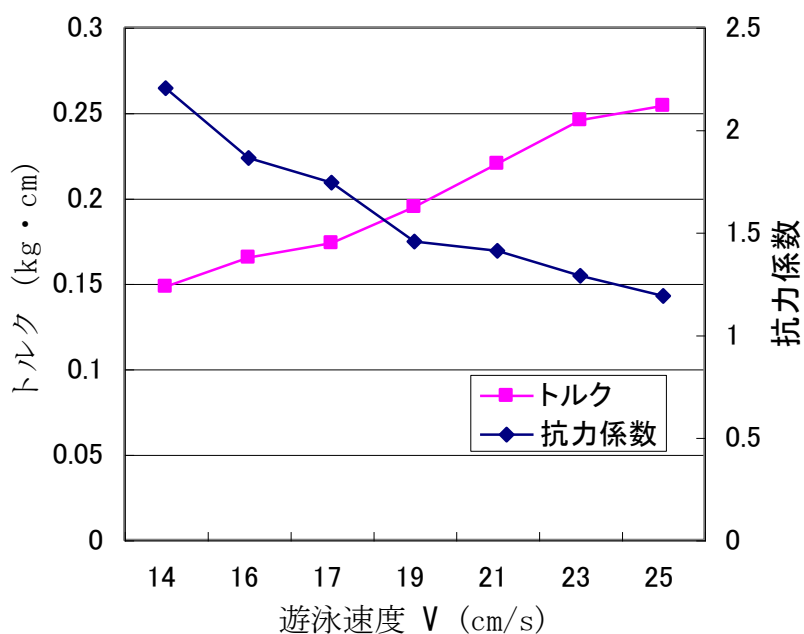


図 6.4 遊泳速度、トルク、抗力係数の関係

6.3 学習実験

6.3.1 実験方法

今回の実験は学習プログラムを用いておとめが池で行い、各駆動部の駆動周波数を 1Hz から 1.8Hz まで変化させた時の遊泳速度を測定した。試行回数は魚ロボットの電圧をなるべく一定にするため各周波数ごとに 50 回行った。魚ロボットを直進させ、岸が近づくと旋回させる、これを繰り返しその時の遊泳速度を魚ロボットに設置したプロペラ式流速計により測定した。

6.3.2 実験結果及び考察

各周波数と最大遊泳速度の関係を図 6.5 に示し、その中でも遊泳速度が最大である周波数 1.2Hz の学習実験による速度の変化を図 6.6 に示す。この時の試行回数は 140 回である。

図 6.5 より周波数によって遊泳速度は変化し、周波数が 1.2Hz の時に遊泳速度は最大になり 1.2Hz よりも周波数が低くても高くても遊泳速度は減少する。この事より現在の尾鰭では周波数 1.2Hz が最適であると思われる。この結果だけではどのような形状の尾鰭でも周波数 1.2Hz が最適であるとは言えない。

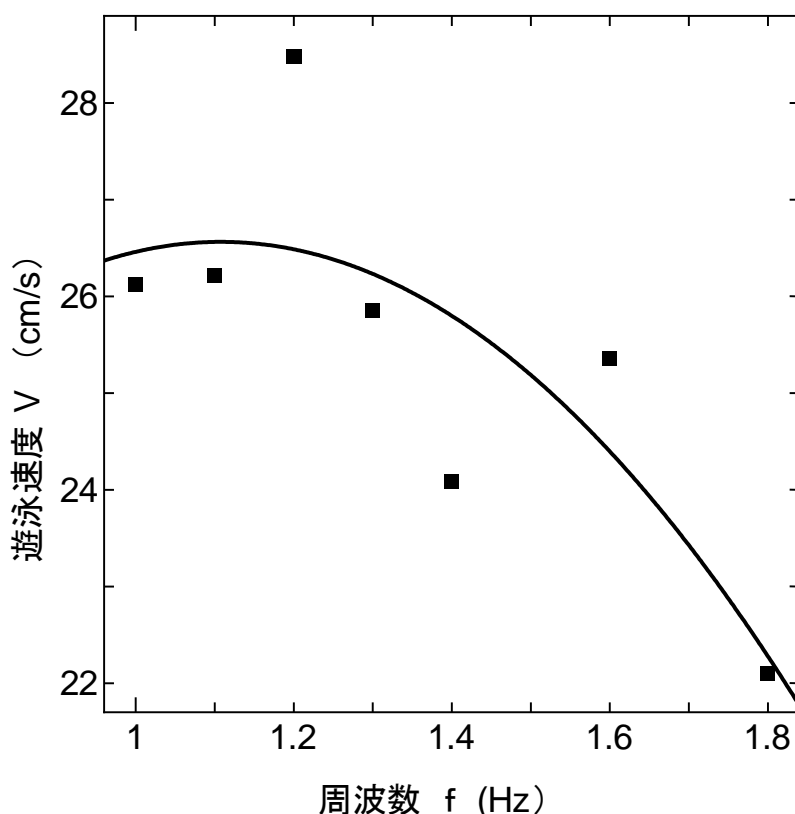


図 6.5 周波数と遊泳速度の関係

図 6.6 より試行回数が多くなるにしたがって、速度は上昇、収束していることがわかる。実際に遊泳を観察していた時も実験開始に比べ、実験後半は遊泳がスムーズになり学習により魚ロボット自身が成長しているように思われた。

学習実験を何度か行った中で、実験開始時は直進していた魚ロボットが学習中に少しずつ左方向に遊泳するようになり、実験後半では池の中で半径 5m 前後の円を描くように遊泳する光景が何度も見られた。初期の流速計の位置は、現在のような頭部コントロールユニットの真下に設置していたわけではなく、右に設置していたので、このことが原因ではないかと考え流速計の位置を変更して実験を行った。しかし、変更後も実験後半では円を描くまではいかなくとも、多少左もしくは右方向に旋回しながら遊泳する。変更前は左方向にしか遊泳しなかったが、変更後は左方向もしくは右方向どちらかに遊泳ようになった。このことは魚ロボット自身が学習により速度を少しでも上げるために、右もしくは左に旋回するようになったと考えている。

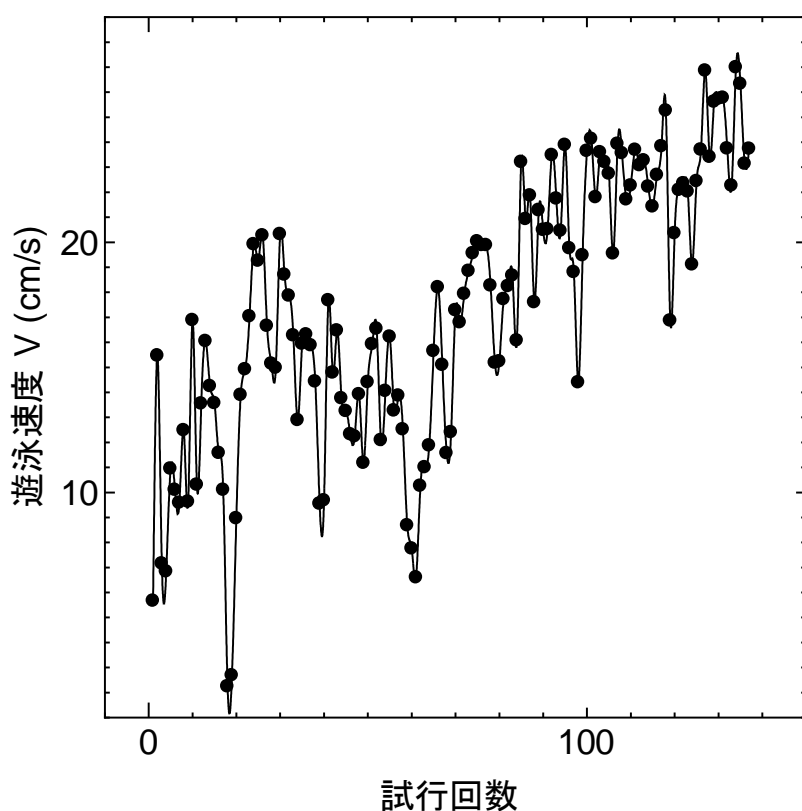


図 6.6 試行回数と遊泳速度の関係

第 7 章

結言

7.1 まとめ

完全防水性で、無線により実際に池で遊泳することが出来る魚ロボットの設計、製作を行った。

魚型ロボットの制御回路の製作と魚型ロボットの制御システムの構築を行った。

学習プログラムを用いた実験で、試行回数が増えるにしたがって速度の上昇、収束、遊泳がスムーズになることを確認した。

7.2 今後の課題

抗力係数の測定をした結果、現在使用しているサーボモーターを用いて今以上の遊泳速度を出すためには抗力係数の低い魚ロボットの製作が必要である。

現在の関節の数ではウナギ型を規範とすることはできないことと、関節部の増加によって例えば横に進むなどの新しい遊泳を発見できるかもしれない、この2点より、関節部の増加を行いたいと考えている。

現在の配線パイプでは、何度も遊泳を行うと疲労によりパイプの溝の部分が断裂して沈没するため、いま以上に耐久性のある材質に変更する必要がある。

サーボモータの消費電力を測定出来ていない。その理由として、RS-232Cを用いたデータ送信モジュールの特性が考えられ、この対策として独立した消費電力測定モジュールまたは、測定部と制御部を分断したシステムの構築が考えられる。また、高周波数を実現するためのアクチュエータを用いた駆動ユニットの開発が存在する。

現在使用している尾鰭はポリエステルの長方形型であるが、高速遊泳を行う魚が多いアジ型の尾鰭の形状は三日月型なので、尾鰭の形状、材質を変化させて実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 永井寛 : 「イルカに学ぶ流体力学」、オーム社 (1999 年)
- 2) 平田宏一 : 「魚ロボット・ホームページ」、www.nmri.go.jp/env/khirata/index_j.html
- 3) 株式会社 ミスミ 「FA 用メカニカル標準部品カタログ」 (2000 年)
- 4) 株式会社 ミスミ 「配線接続部品カタログ」 (2001 年)
- 5) 双葉株式会社 「Power Transfer カタログ」 (2001 年)
- 6) 池田哲夫 : 「トランジスタの基礎」、森北出版 (1998 年)
- 7) 鈴木雅臣 : 「トランジスタ回路の設計」、CQ 出版 (1992 年)
- 8) 岡山努 : 「アナログ電子回路設計入門」、コロナ社 (1996 年)
- 9)) 平野広美 : 「C でつくるニューラルネットワーク」、パーソナルメディア、株式会社 (1995 年)
- 10) 中野馨 : 「C で作る脳の情報システム」、啓学出版 (1992 年)
- 11) 荻原将文 : 「ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム」、産業図書 (1997 年)
- 12) 加藤宏 : 「流れの力学」、丸善株式会社 (2001 年)
- 13) 服部延春 : 「機械製図」、工学図書 (1998 年)

謝辞

最後に本研究を行うに当たりご指導していただいた福岡工業大学工学部知能機械工学科の河村良行教授、魚ロボットの設計、工作、制御、実験などでさまざまなご指導をいただいた大学院生の酒井さんに深く感謝します。

さらに、魚ロボットの工作でフライス盤、ボール盤、コンターマシンのご指導をしていただいた工作センターの長野先生、旋盤のご指導をしていただいた大西先生、フィールド実験の時におとめが池の使用でお世話になった管財課の皆様、また本研究を行うに当たり多大な御助言、御協力をいただいた皆様に深く感謝いたします。

本当にありがとうございました。

付録

- 1) 学習アルゴリズムを用いたプログラム
- 2) 魚ロボットの遊泳写真
- 3) 魚ロボットの製図