

平成 26 年度広域科学教科教育学研究報告書

研究課題 6 関節 2 足歩行ロボットの設計・製作を通じた総合的技術科教育方法の開発

研究代表者 海老原理徳

研究組織 海老原理徳（生活・技術系教育講座）
藤井和人（生活・技術系教育講座）
山田朗（東京学芸大学 技術科学分野）
布施梓（博士課程 3 年）

目次

第1章 研究の背景と目的

第2章 先行研究の検討

第3章 関節回転角度フィードバック制御に関する製作教材の開発

3.1 関節回転角度フィードバック制御に関する製作教材

3.3 制御プログラム

3.4 動作実験

3.5 教育の評価

第4章 関節角度可視化教材の開発

4.1 関節角度可視化教材

4.2 制御回路

4.3 制御プログラム

4.4 動作実験

第5章 6関節2足歩行ロボットの開発

5.1 6関節2足歩行ロボット

5.2 機構系

5.3 制御回路

5.4 制御プログラム

5.5 動作実験

5.6 教育の評価

第6章 まとめ

第1章 研究の背景と目的

平成 24 年 4 月に完全実施された新学習指導要領中学校・技術分野では、ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して、情報、材料と加工、エネルギー変換、生物育成の 4 領域を学習することが示されている。また中学校技術科では、学習時間の減少もあって、最近の傾向として、情報、材料と加工、エネルギー変換の 3 領域を横断したコンピュータ制御によるロボットなどのものづくり教育が非常に盛んである。従って、中学校技術科教員養成では、コンピュータ制御によるロボットの設計・製作を通じた適切な技術科教育方法を開発し、実際のカリキュラムに組み入れることが必要である。本プロジェクトでは、各教員の専門を結集し、学生が 2 足歩行ロボットの設計・製作を通して、この領域の実力を養うことができる教育方法を開発するものである。昨年度までの研究で、製作教材としての 6 関節 2 足歩行ロボットを開発し、春・秋 30 週の授業でコンピュータ制御、ロボットの機構、電子回路などの基礎とロボット設計・製作の授業を行い、教育方法を考察した。

本研究では、昨年度までの研究結果を踏まえて、次の 3 点に焦点をあてて研究を行った。①以前開発した 2 足歩行ロボットでは、複数の関節を複数のマイコンで制御していることから製作費用が高価である点および歩行動作の緩慢さに問題があった。本研究ではこれらの問題を改良した 2 足歩行ロボットを製作教材として開発し、この 2 足歩行ロボットの設計・製作を通じた総合的技術科教育方法を開発する。②関節の角度フィードバック制御を学生がよく理解できていないことに留意し、この製作教材と教育方法を開発する。③構造化プログラミングの重要性が指摘されているため、構造化プログラミングを重視した制御プログラム作成教育を教育方法に取り入れる。

第2章 先行研究の検討

本研究を進めるにあたって、いくつかの先行研究を検討した。2足歩行ロボットを製作する授業実践はいくつか行われている。例として（1）高橋良彦、他：PIC マイコンを用いた教育用簡易2足歩行ロボット（メカトロニクスと遊ぶ）、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集、Vol.2004、pp.209-210、2004年、（2）矢野順彦、他：PICを用いた超音波モータ制御システムの構造と2足歩行ロボットへの実装、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集、1P1-S-24、2005年、（3）菅原隼也：2足歩行ロボットの製作を取り入れた機械設計・機構教育プログラムの開発と教育実践、東京学芸大学修士論文、2009年3月、（4）飯場健文：技術科教員養成における4関節歩行ロボット製作教材の開発と教育プログラムの提案、東京学芸大学卒業論文、2009年3月、などがある。（1）では10関節歩行ロボットの各関節にサーボモータを使用している。サーボモータは、ギヤボックス、ポテンショメータ、モータドライバが一つになったモータで、関節角度制御の誤差を小さくすることができる。しかし、製作費用が高価であるだけでなく、関節角度のフィードバック制御を学習するという教育的観点からは劣る。また（2）でも高価な超音波モータを使用しているため、教材としては適切ではない。

さらに（3）では6関節の制御を6個のそれぞれのPICで制御し、それら6個のPICを1個の親PICで制御するため、製作費が高価である欠点を有する。

また（4）では4関節であるため、歩行動作がスムーズではなく、不安定である。

以上の先行研究の検討結果から、製作費用を安くするためPIC1個で制御する6関節2足歩行ロボットを製作教材として開発することとした。さらにこの1個のPICを用いた制御プログラム作成を通して、構造化プログラミングを学習するようにした。

第3章 関節回転角度フィードバック制御に関する製作教材の開発

3.1 関節回転角度フィードバック制御に関する製作教材

2足歩行ロボットの設計・製作を学習する前に、1個の関節制御について、関節回転角度のフィードバック制御を学習する製作教材を開発した。本教材は減速ギヤ付き DC モータの回転角度を目標角度になるように PIC を用いて制御するものである。使用した PIC は PIC16F873A である。

図 3.1.1 に本教材の全体を示す。

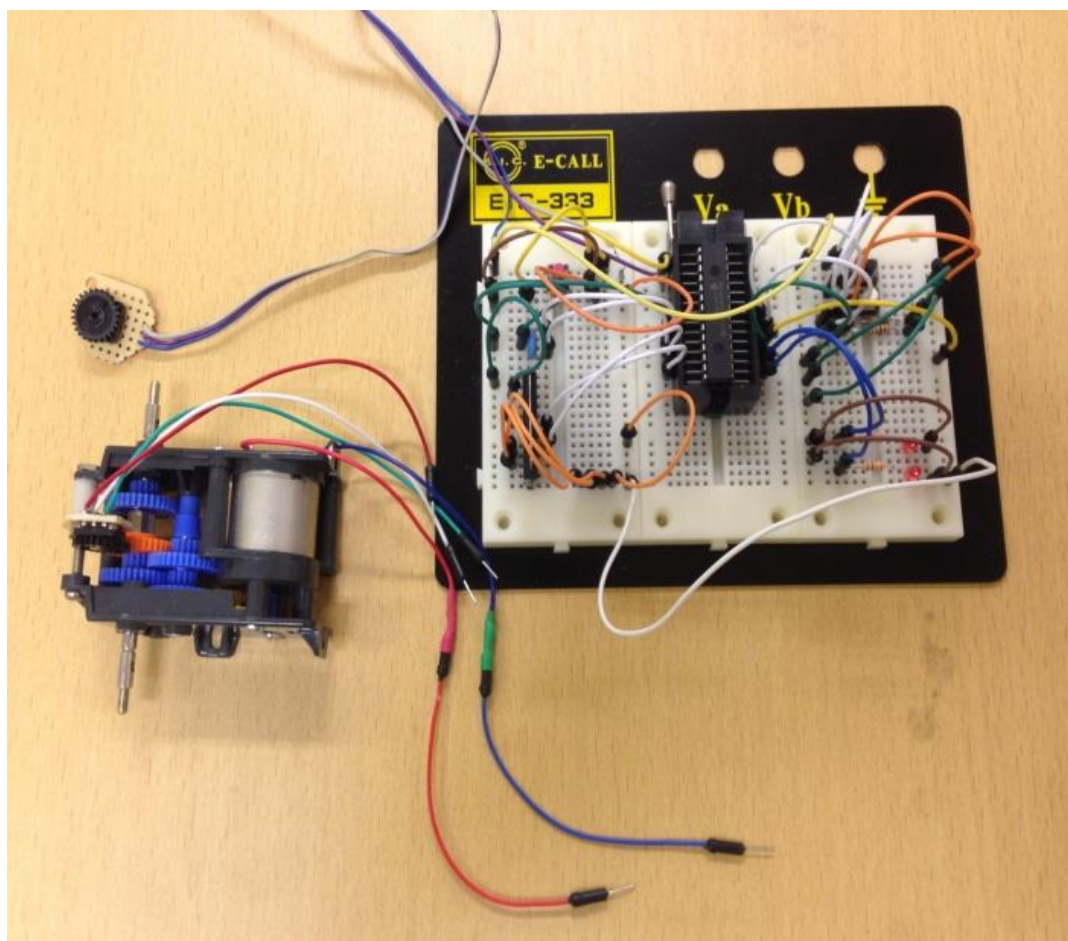


図 3.1.1

図 3.1.2 に本教材のフィードバックシステムのブロック線図を、図 3.1.3 に本教材 1 台の製作に使用したパーツとパーツ金額をそれぞれ示す。

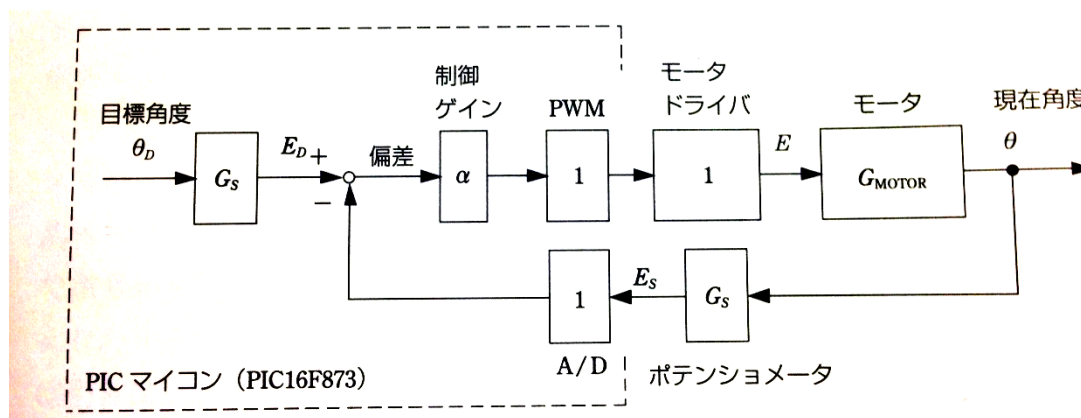


図 3.1.2

項目	数量	単価	金額
PIC16F873	1	¥340	¥340
ゼロプレッシャーソケット	1	¥800	¥800
タミヤギヤボックス	1	¥1,200	¥1,200
ブレッドボード	1	¥900	¥900
ポテンシオメータ	1	¥547	¥547
モータドライバ	1	¥150	¥150
レゾネータ 10Mhz	1	¥20	¥20
タクトスイッチ	3	¥10	¥30
抵抗 10kΩ	3	¥1	¥3
抵抗 330Ω	2	¥1	¥2
LED	2	¥1.5	¥3
導線	1	¥220	¥220
電解コンデンサ 0,1 μF	1	¥35	¥35
		合計	¥4,250

図 3.1.3

1 関節の制御に使用するギヤボックスは 6 関節 2 足歩行ロボットに使用するギヤボックスと同様のタミヤ 6 足ギヤボックス HE (ギヤ比 1:1300.9) である。ギヤボックスには角度の計測に使うポテンショメータを取り付ける。(図 3.1.4、3.1.5 参照)

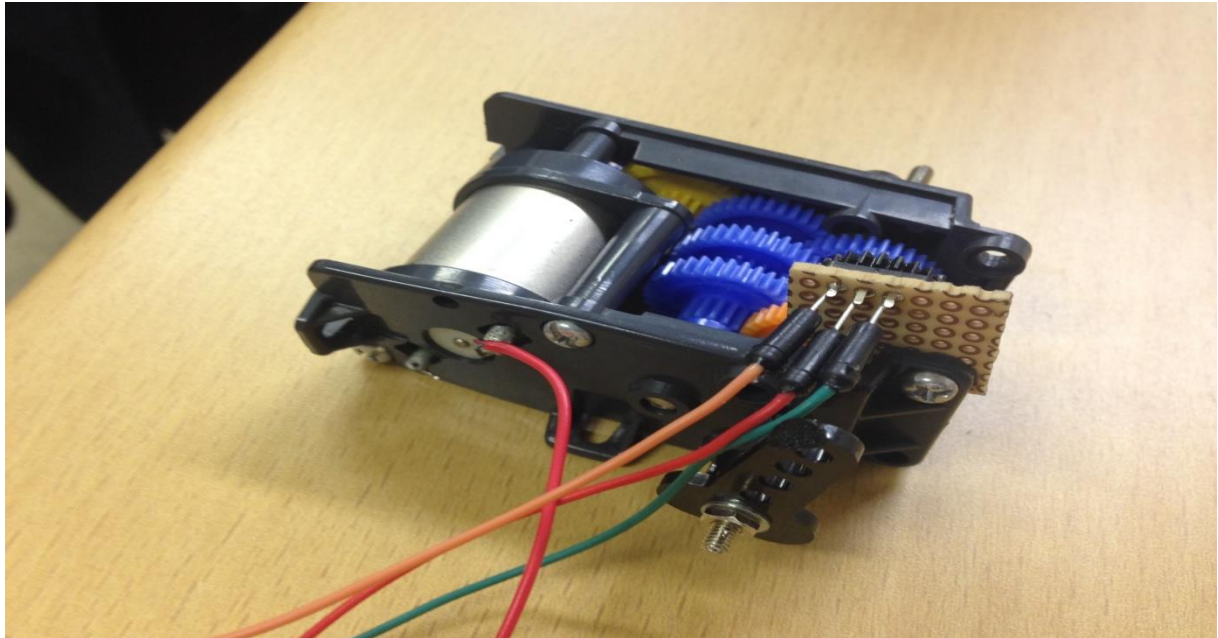


図 3.1.4

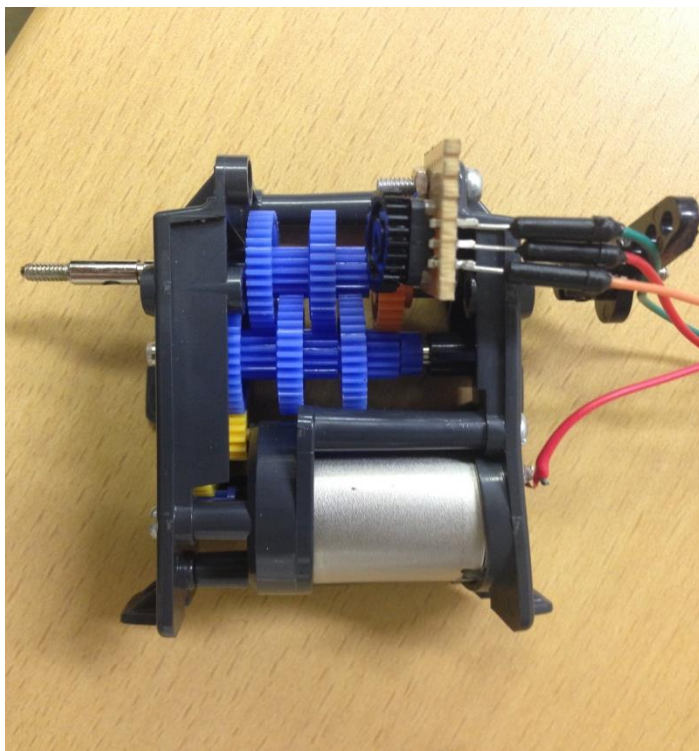


図 3.1.5

使用したポテンショメータの出力はアナログ電圧として得ることができる。電気回路的にはポテンショメータは、可変抵抗器と等価である。このポテンショメータは、出力の電圧比 50%を基準として、 $\pm 0^\circ \sim \pm 160^\circ$ の角度範囲を検出できる。ポテンショメータに付属するギヤを本体にはめ込み、そのギヤとギヤボックスの出力ギヤとを連結させて、モータの回転軸の角度を検出する。

ポテンショメータは円筒形抵抗体の内部に回転可能なブラシを置き、ブラシの先端を円筒形抵抗体の内側に接触させている。

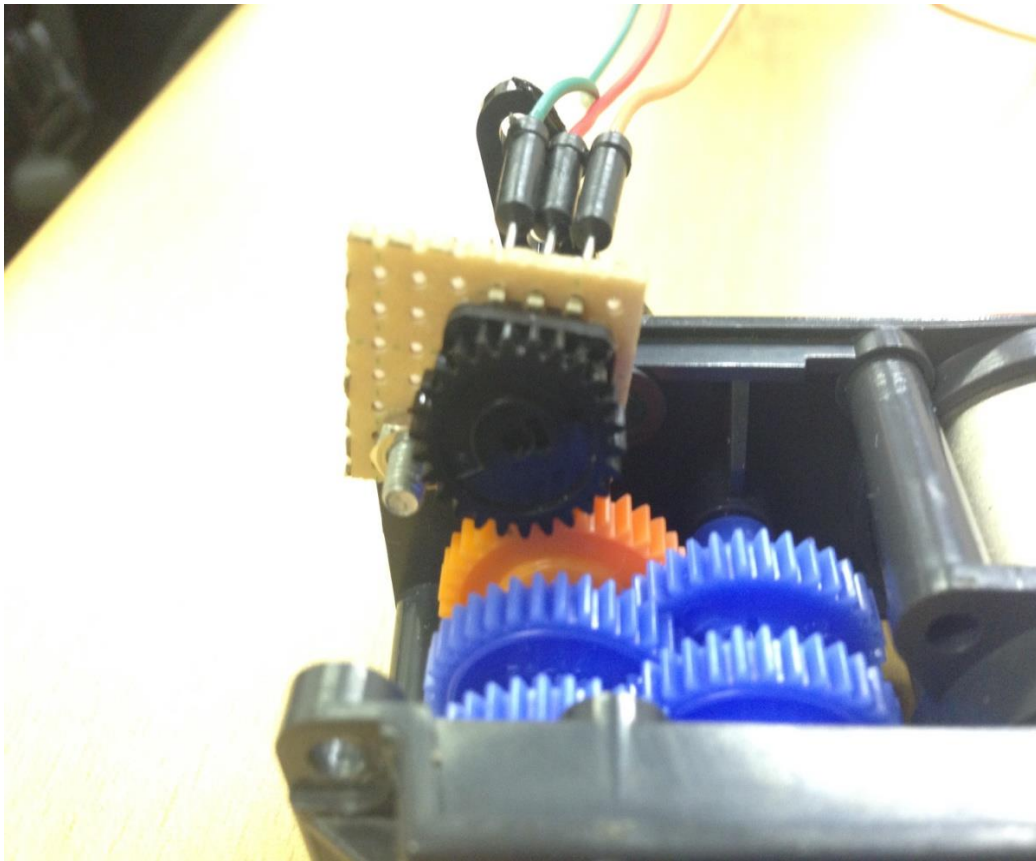


図 3.1.6

図 3.1.6 で、橙色の導線が繋がっている端子を基準電圧に接続し、赤色の導線が繋がっている端子を検出端子として PIC マイコンの検出ポートに接続し、緑色の導線が繋がっている端子を GND (0 ボルト) に接続する。

ここでポテンシオメータの検出電圧と実角度、angle 値がどのように対応しているか調べた。これを図 3.1.7 に示す。

検出電圧	0V	1,25V	2,5V	3,75V	5V
実角度	0°	80°	160°	240°	320°
angle 値	0	250	500	750	1000

図 3.1.7

しかしギヤボックスとポテンシオメータの歯車にバックラッシュなどの遊びがあるため、多少の誤差が生じている。

3.2 制御回路

PIC16F873 は小型かつ安価なマイクロコントローラである。この PIC16F873 は A/D 変換が可能で、ポテンシオメータなどのアナログ信号を、デジタル信号に変換することができる。制御プログラミング言語として C 言語を用いる。

この制御回路の作成にあたって、はんだ付けの必要のないブレッドボードの使用が有効であると考えた。ブレッドボードは、電子部品やジャンパ線を差し込むだけで電子回路を作成でき、はんだ付けが不要な基板である。従って、ブレッドボードの使用には、学生が回路を短時間で作成でき、製作過程での回路修正も容易にできる、などの利点がある。

ブレッドボードは、回路の試作や実験・教育用として広く用いられてはいるが、簡単な構成の回路に限られ、また接点の接触抵抗の点で、回路の信頼性に難点があり、大電流を流す回路にも向かない。しかし、今回製作する制御回路では、ブレッドボードを使用しても油性成分などの付着による接触抵抗増大に注意すれば、十分信頼性のある回路を製作できることがわかった。ブレッドボードの使用により、製作時間を短縮でき、学生は制御回路や制御プログラムの理解に、より多くの時間をかけることができるなど、教育的観点からも有効である。

ブレッドボードを用いた制御回路は高橋良彦：製作実習で学ぶロボティクス入門、オーム社、を参考に制御回路を作成した。制御回路図を図 3.2.1 に示す。

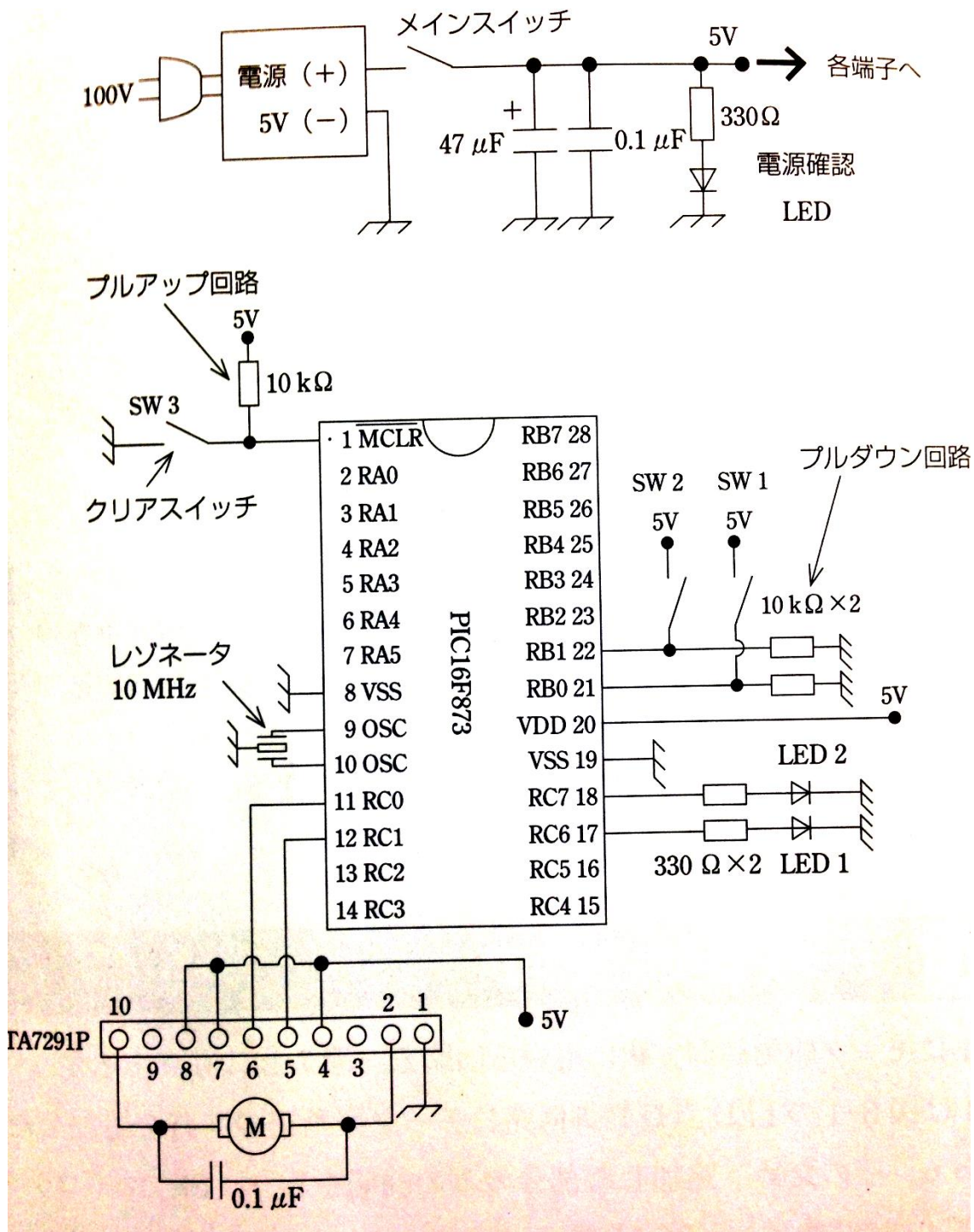
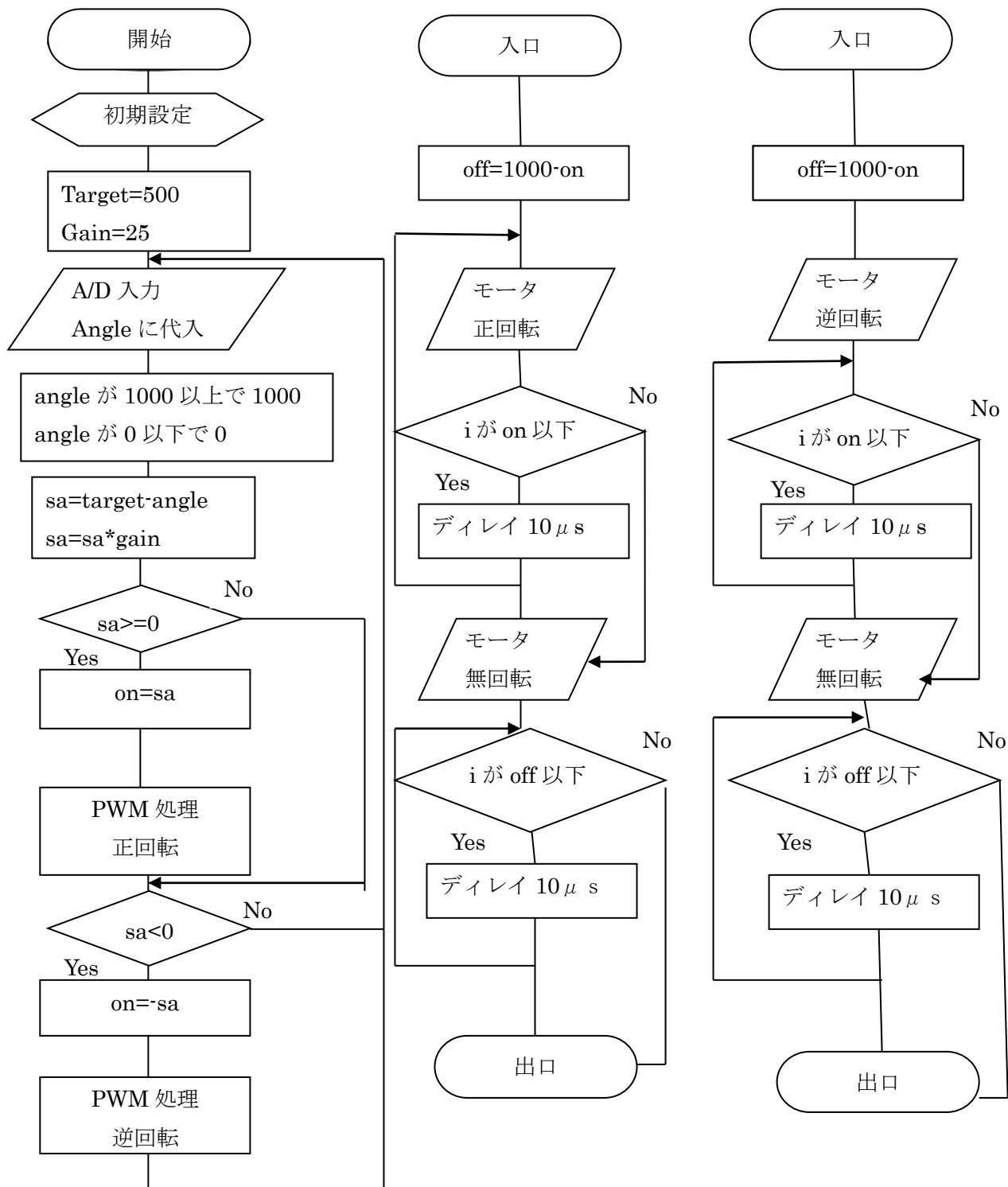


図 3.2.1

3.3 制御プログラム

学生は東京学芸大学技術教育専攻 2 年の前期授業「メカトロニクスと制御」で、PIC16F873 の C プログラミングと制御回路の基礎、PIC を用いた LED 点灯制御、DC モータの PWM 速度制御などを学習し、後期授業「メカトロニクスと制御演習」で、1 関節における回転角度フィードバック制御と 6 関節 2 足歩行ロボットの設計・製作を行う。

以下に 1 関節におけるフィードバック制御プログラムのフローチャートを示す。



3.4 動作実験

プログラムを実行した結果、モータは関節の目標角度(target)で回転運動を収束させ、適切に動作することを確認した。ここで、目標値で収束しているかどうかは、テスターを使い電圧を検出することで調べることができるが、この方法だとテスターが必要なうえ、電圧を検出し angle に対応した電圧かどうかの計算が必要である。そこで、A/D 変換した値を可視化する教材を開発して、動作実験を行った。その教材については第 4 章で述べる。

3.5 教育の評価

全ての学生が本制御システムをブロック線図を用いて理解し、ブレッドボードを用いた制御回路の製作、減速ギヤ付き DC モータの組み立て、PIC 制御プログラムの作成を行って、1 関節回転角度のフィードバック制御を行うことができた。

第4章 関節角度可視化教材の開発

4.1 関節角度可視化教材

第3章で1関節におけるフィードバック制御を行う際に、**angle** をリアルタイムで表示する教材があれば非常に有用であると考え、本教材を開発した。本教材は、ポテンショメータの **angle** をデジタル表示するものである。PIC を用いて制御し、使用する PIC は PIC16F819 である。

図 4.1.1 に本教材の全体を示す。

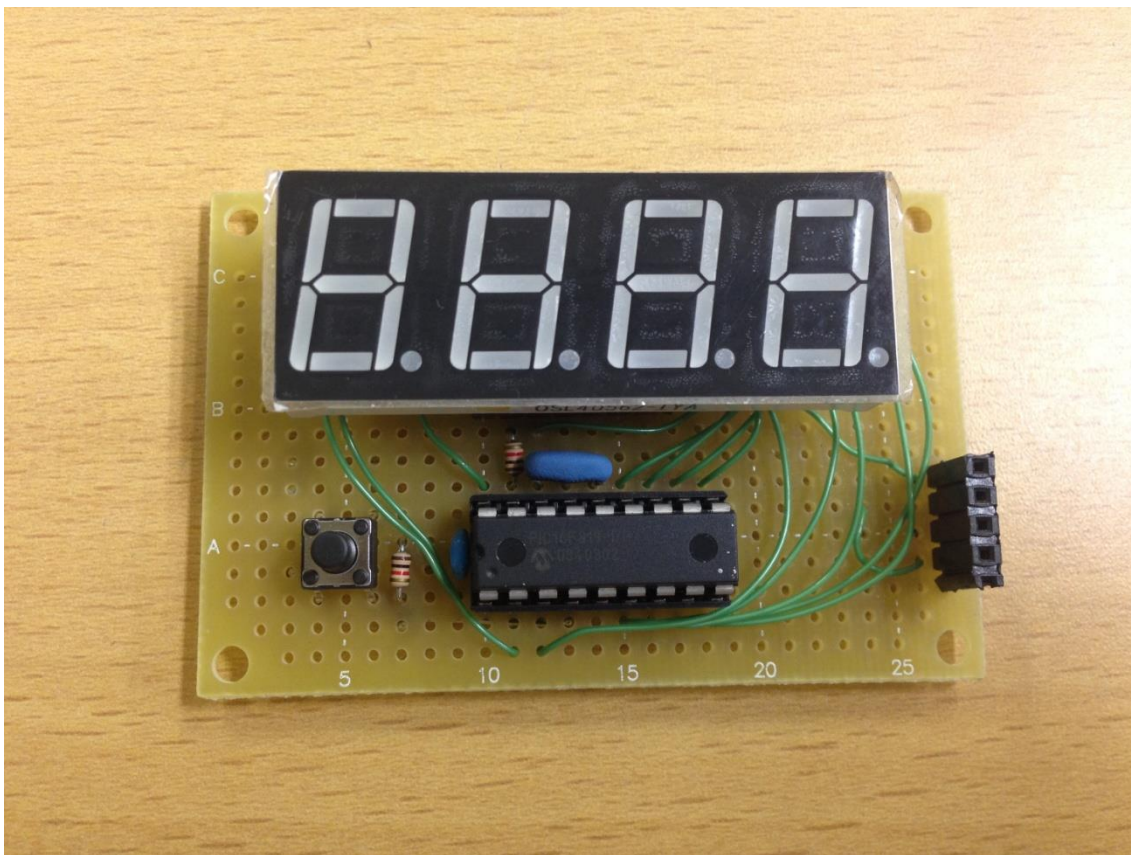


図 4.1.1

図 4.1.2 に使用パーツを示す。

項目	数量	単価	金額
PIC16F819	1	¥220	¥220
ピンソケット	1	¥40	¥40
レゾネータ 10Mhz	1	¥20	¥20
タクトスイッチ	1	¥10	¥10
抵抗 680Ω	8	¥1	¥8
抵抗 10kΩ	2	¥1	¥2
LED 表示器	1	¥200	¥200
導線	1	¥220	¥220
基板	1	¥40	¥40
セラミックコンデンサ 0,1μF	1	¥35	¥35
		合計	¥795

図 4.1.2

4.2 制御回路

今回使用する PIC は PIC16F819 である。第 3 章と同様で、使用するプログラム言語は C 言語である。今回はブレッドボードではなく、はんだ付けをして製作した。図 4.2.1 に制御回路図を示す。

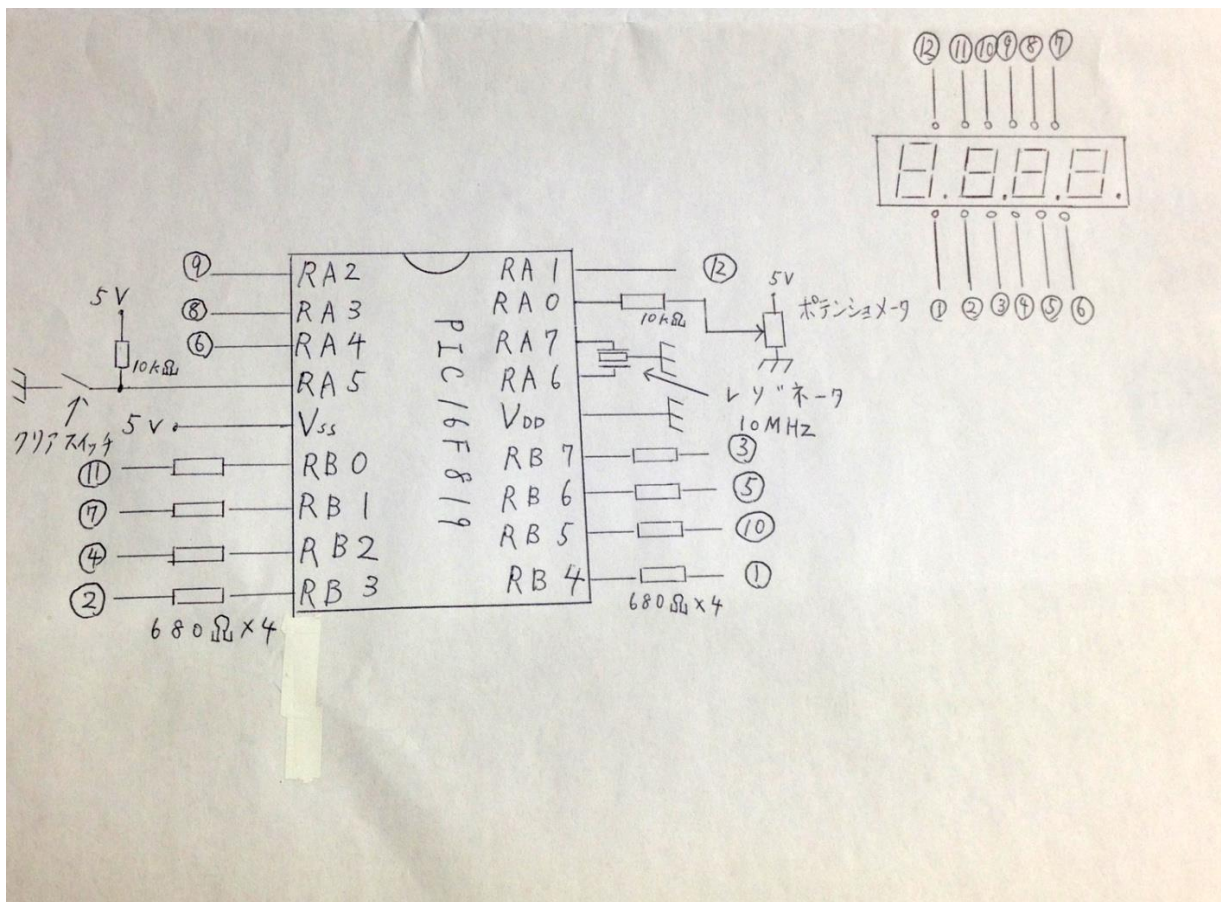


図 4.2.1

4.3 制御プログラム

制御プログラムのフローチャートを図 4.3.1 に示す。

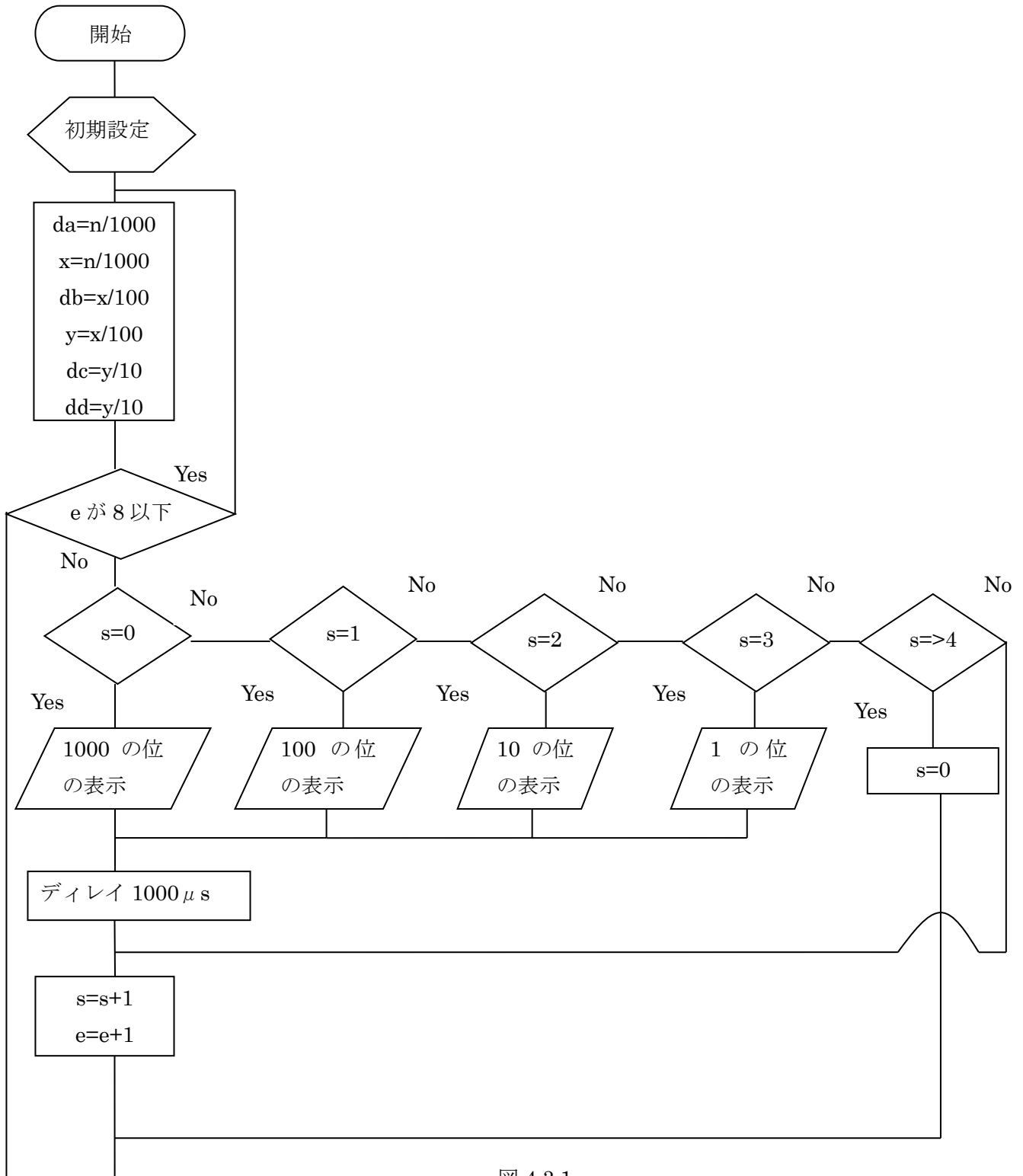


図 4.3.1

4.4 動作実験

動作実験を図 4.4.1 に示す。実験の結果、適切な動作が確認できた。この教材を使用することでポテンシオメータの現在値が瞬時に目視できる。学生一人につき一台あることが理想的であるが、配線の容易さ、使用頻度等を考慮しても 5 人に一台ほどあれば十分であると考えられる。

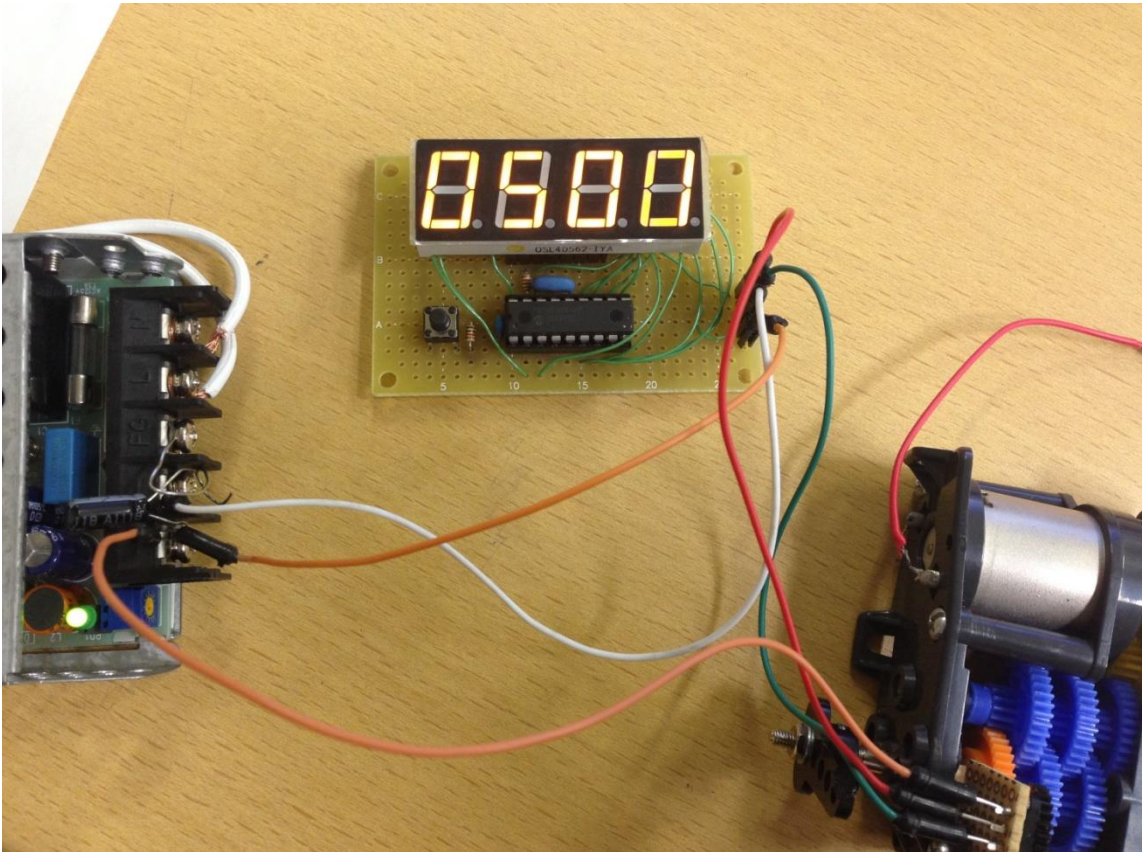


図 4.4.1

第5章 6関節2足歩行ロボットの開発

5.1 6関節2足歩行ロボット

今回製作する2足歩行ロボットは6関節である。機構としては、菅原が製作した6関節2足歩行ロボットとほぼ同様である。菅原は6関節の制御を6個の子PICでそれぞれ制御し、それらの子PICを1個の親PICで行う親子PICによる制御を行った。それに対し、本ロボットでは1つのPICでロボットすべての制御を行う。具体的な制御方法としては、第3章で述べた1つの関節制御プログラムを関数として使い、6関節それぞれに引数を与え次々に関節制御を行っていく方法である。機構系は菅原が製作した6関節2足歩行ロボットを参考にした。関節は腰、膝、足首部分に配置した。腰、膝部分の進行方向に対して水平な縦回転、足首部分の進行方向に対して垂直な横回転を行う。各関節の角度はポテンシオメータで検知し、フィードバック制御を行う。ロボットの正面図を図5.1.1に、側面図を5.1.2に示す。

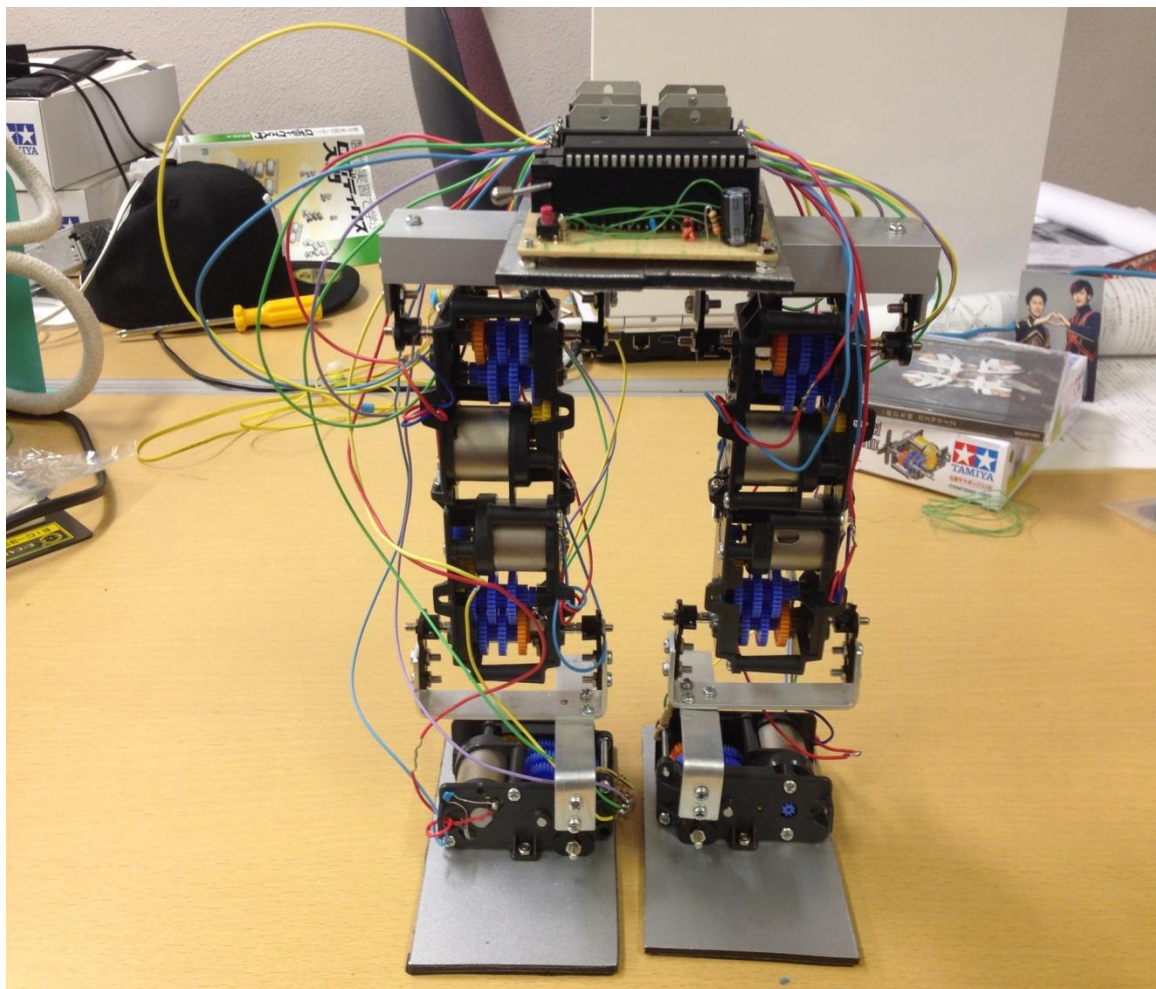


図 5.1.1

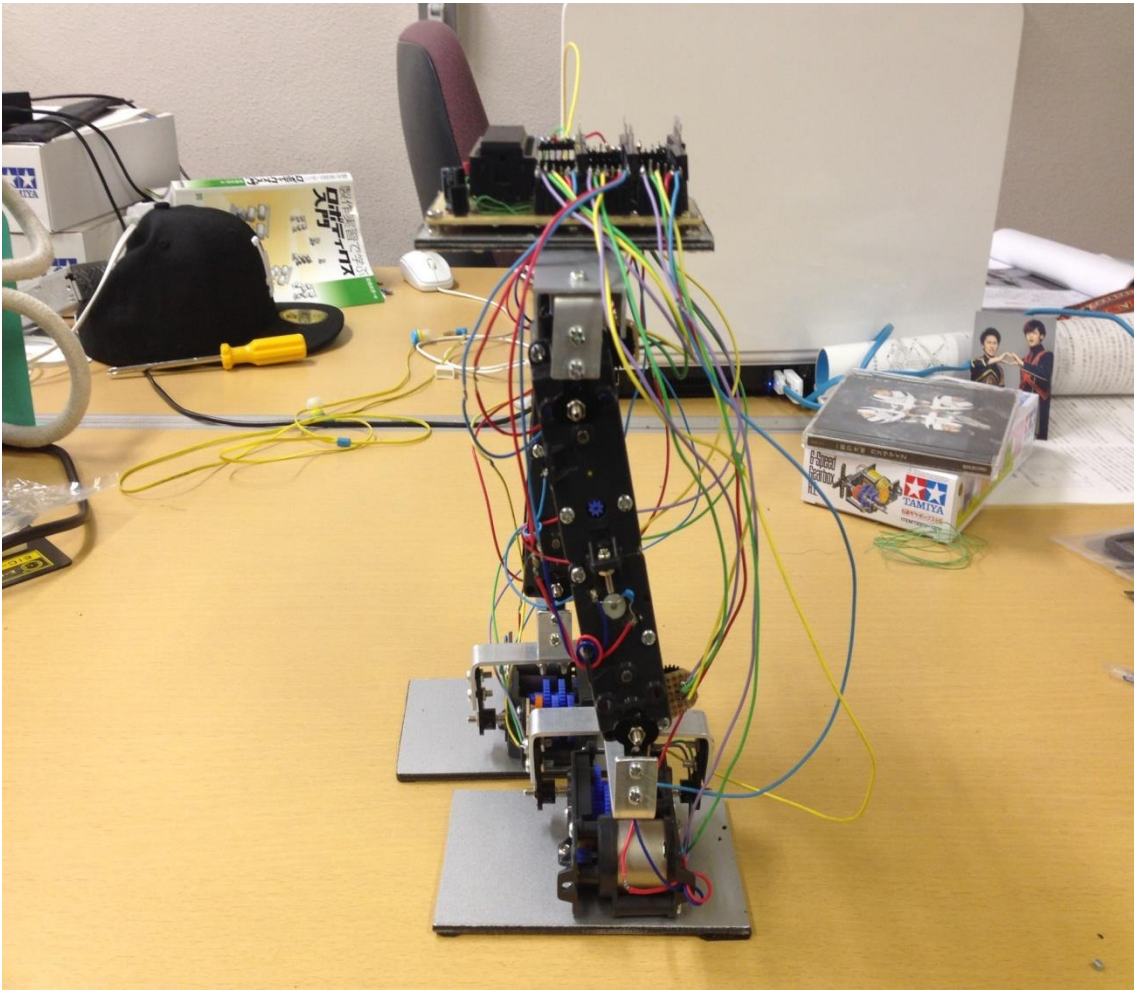


図 5.1.2 (図の左方向が進行方向となる。)

ロボット製作に使用した部品を表 5.1.3 に示す。

表 5.1.3

項目	数量	単価	金額
PIC18F4550	1	¥400	¥400
ゼロプレッシャーソケット	1	¥1,000	¥1,000
タミヤギヤボックス	6	¥1,200	¥7,200
プラスチック板	1	¥500	¥500
アルミ板	1	¥170	¥170
ポテンショメータ	6	¥547	¥3,282
モータドライバ	6	¥150	¥900
レゾネータ 10Mhz	1	¥20	¥20
タクトスイッチ	1	¥10	¥10
抵抗 10k Ω	1	¥1	¥1
抵抗 330 Ω	1	¥1	¥1
LED	1	¥1.5	¥1.5
導線	1	¥220	¥220
電解コンデンサ 470 μ F	1	¥50	¥50
ピンソケット	5	¥20	¥100
ピンヘッダ	2	¥40	¥80
セラミックコンデンサ 0,1 μ F	7	¥35	¥245
		合計	¥14,180.5

費用削減のため、ピンヘッダ、ピンソケットなどは使用しなくても回路としては問題ない。しかし整備のし易さ等を考慮し、使用することを強く推奨する。

5.2 機構系

機構系は菅原が製作した6関節2足歩行ロボットを参考にした。各関節に使用するギヤボックスとポテンショメータは、第3章で述べたものと同じものを使用する。

続いて、フレーム、足裏の設計・製作を行う。各モータを接続させる部分、足首関節と足裏を接続させる部分にアルミフレームを加工し使用した。足首関節と足裏を接続するアルミフレームは高橋が製作した図面と同様のものを使用した。以下図に腰関節ギヤボックスと足首関節ギヤボックス、および足裏パーツの製作図面を示す。

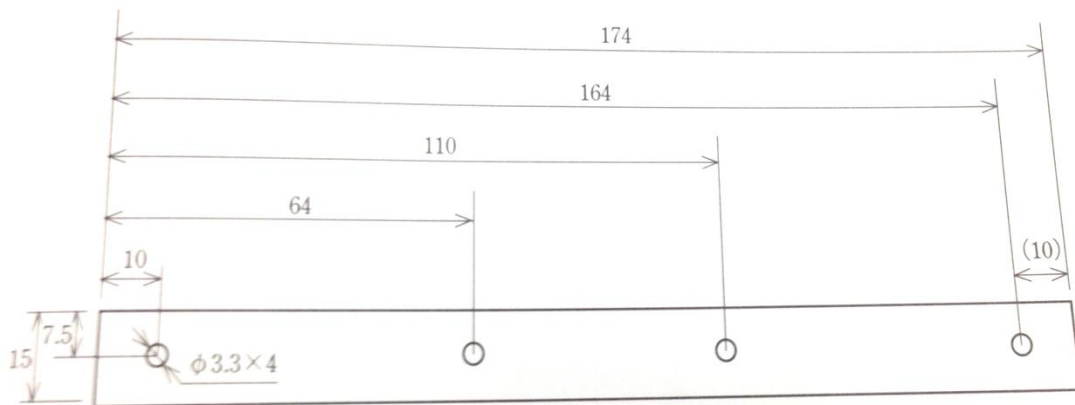


図 5.2.1 フレーム①

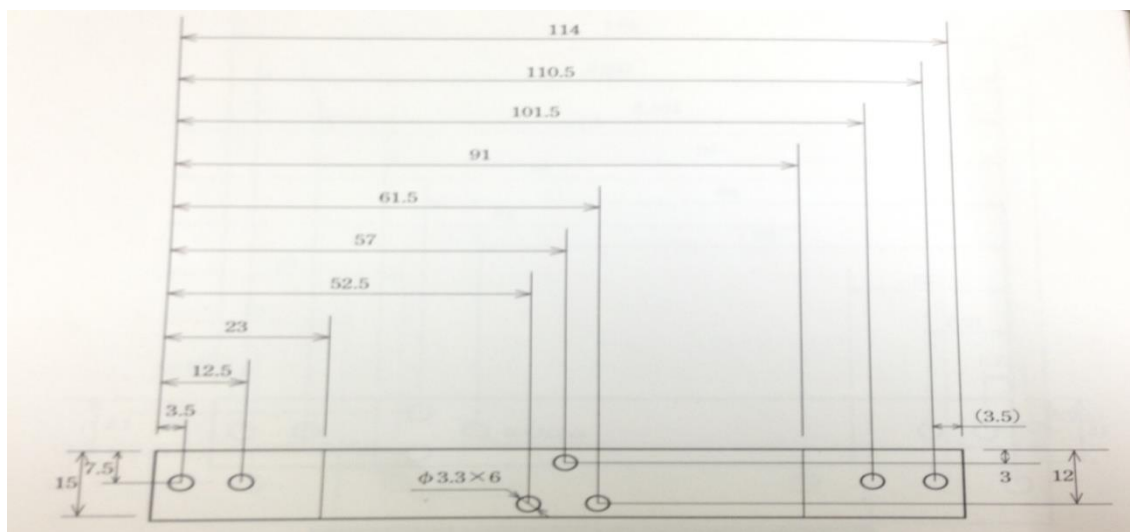


図 5.2.2 フレーム②

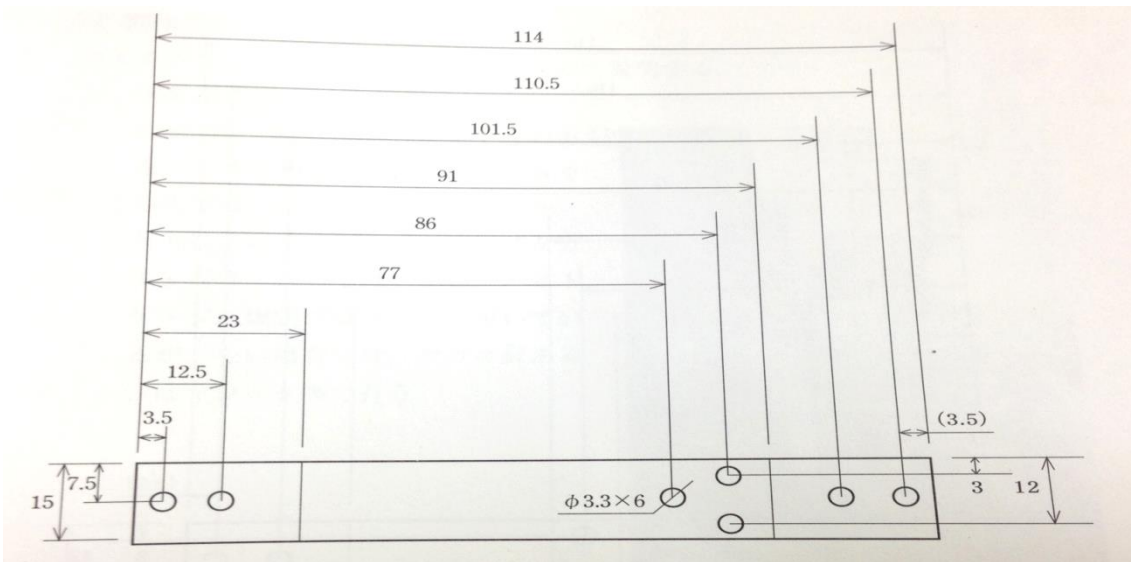


図 5.2.3 フレーム③

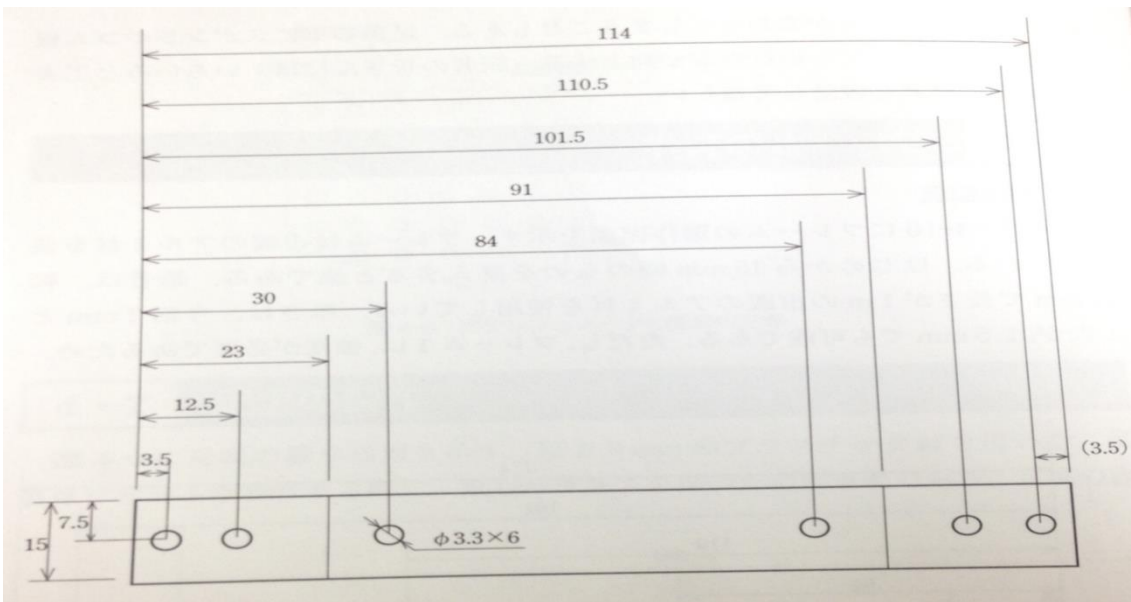


図 5.2.4 フレーム④

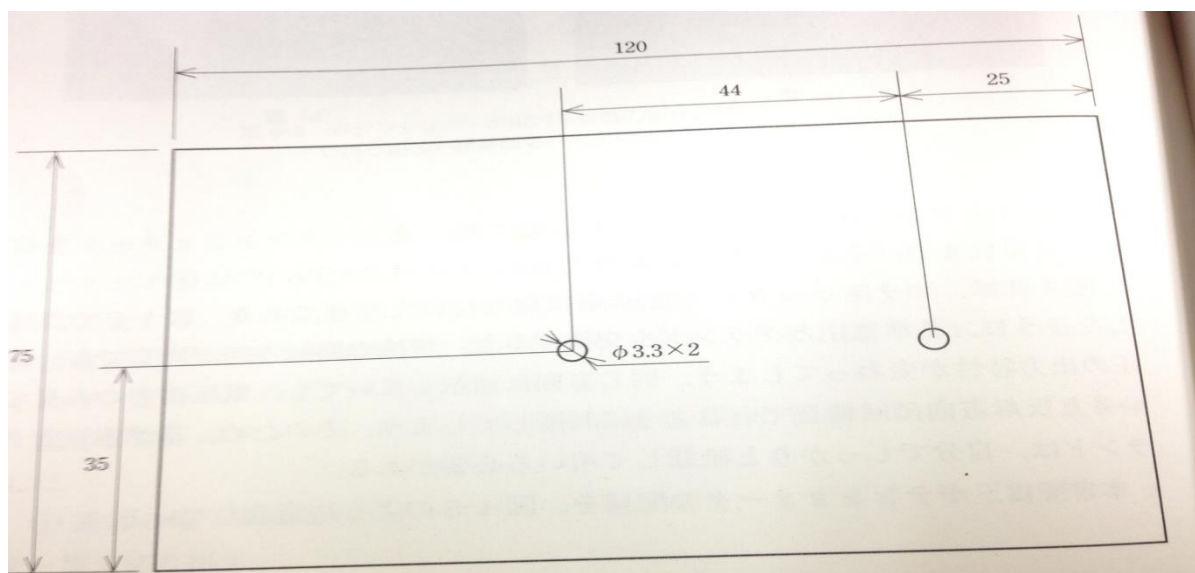


図 5.2.5 足裏パーツ

6 関節 2 足歩行ロボットを組み立てて、歩行パターンの検討を行った。歩行パターンの動作順序を次に示す。

0. 直立状態
1. 左側に重心を移す
2. 腰も前を出す
3. 右足を着地させる
4. 右側に重心を移す
5. 腰を前を出す
6. 左足を着地させる
7. 1に戻る

今回製作したロボットは静歩行するものである。静歩行は重心の路面への投影点が左右いずれかの足の裏に位置するような歩行方法である。静歩行は、重心の位置が左右または、両足にくるように制御されているためどこで停止しても転倒することは無いが、床面が常に水平であるなどの環境の制約が多い。

また、各関節を順に制御し、状態を連続させていくことで歩行を可能とする今回の 6 関節 2 足歩行ロボットだが、状態のパターンが多いとそれだけフィードバック制御をする回数が増えることになる。そのため今回はまず歩行するために最低限の歩行パターンを採用した。

5.3 制御回路

6 関節 2 足歩行ロボットの制御には PIC18F4550 を使用する。PIC18F4550 は PIC16F873 と同様 A/D 変換が可能でポテンショメータなどのアナログ信号をデジタル信号に変換することができる。本来であれば、PIC16F873 を使用しロボット制御をしたいが、関節が 6 個あるため、回路を作成する際、ピンが足りなくなってしまう。更に PIC18F4550 と同様に 40 ピン備えた PIC16F887 等がありそちらの方が安価であるが、プログラミングする際に容量をオーバーしてしまうので、容量、ピン数を考慮して PIC18F4550 を使用した。コンピュータ制御は C 言語を用いる。図 5.3.1 に PIC18F4550 を用いた制御回路の回路図を示す。

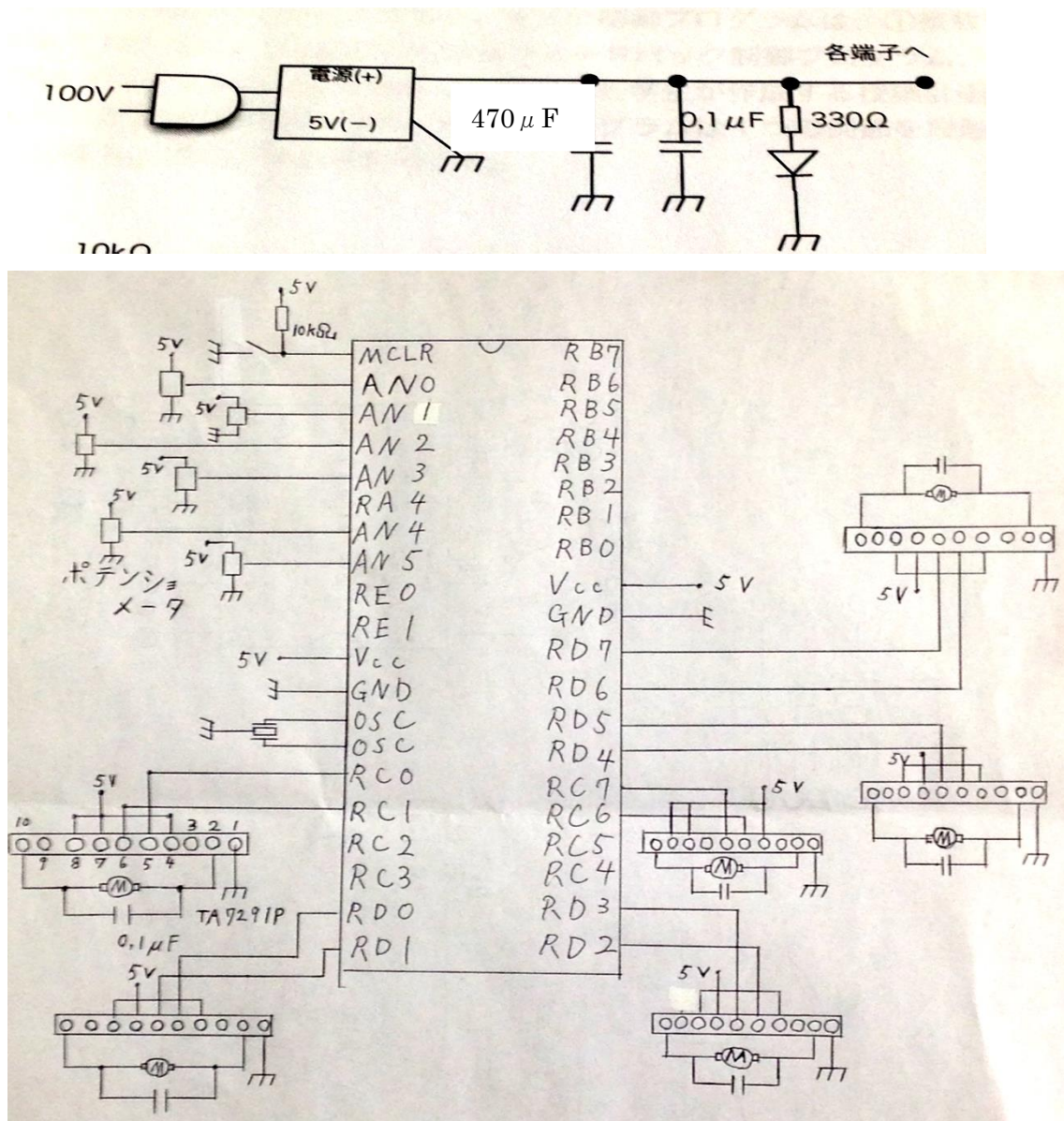


図 5.3.1

5.4 制御プログラム

最後に6関節2足歩行ロボットの制御プログラムを作成した。学生は第3章で述べた1関節フィードバック制御プログラムをもとに本制御プログラムの作成学習を行う。各動作の制御プログラムを関数化し、関節の目標角度を関数の引数とすることで、簡単に各動作を変えられるようにする。このようにすることで、学生が構造化プログラミングを学べるようにした。

学生が制御プログラムを作成するにあたっては、プログラム作成要領とプログラム作成に必要な各種詳細情報を学生に与えた。

5.5 動作実験

製作した6関節2足歩行ロボットを用いて動作実験を行い、歩行動作の分析も行い、以前に開発した2足歩行ロボットより俊敏に歩行することを確認した。プログラムの工夫次第ではより俊敏な歩行動作も可能ではないかと考えられる。

5.6 教育の評価

学生は、6個の減速ギヤ付きモータの組み立て、アルミ材やプラスチック板の加工とロボット全体の組み立て、制御回路の製作、2足歩行制御プログラムの作成をそれぞれ行って、2足歩行を行わせることができた。その過程では、1関節の角度制御プログラムを関数化した構造化プログラミングを学習することができた。

今後は試験なども取り入れて、理解をさらに深めさせるなどの教育方法も必要と考える。

第6章 まとめ

中学校技術科で増加しているコンピュータ制御によるロボット製作教育に対応して、各教員の専門を結集し、学生が2足歩行ロボットの設計・製作を通して、この領域の実力を養うことができる教育方法を開発することを目的に研究を行った。本研究では、今までの研究結果を踏まえて、次の3点に焦点をあてて研究を行った。

- ①以前開発した2足歩行ロボットでは、複数の関節を複数のマイコンで制御していることから製作費用が高価であること、および歩行動作の緩慢さそれぞれ改良した2足歩行ロボットを製作教材として開発し、この2足歩行ロボットの設計・製作を通じた総合的技術科教育方法を開発する。
- ②1関節の角度フィードバック制御を学生がよく理解できていないことに留意し、この製

作教材と教育方法を開発する。

- ③構造化プログラミングの重要性が指摘されているため、構造化プログラミングを重視した制御プログラム作成教育を教育方法に取り入れる。

本研究で得られた成果および教育上の活用についてまとめると以下のようになる。

- ①本研究プロジェクトでは、6関節を1個のマイコンで制御する2足歩行ロボットを開発し、安価な製作教材を開発できた。また歩行動作の分析などから以前開発したロボットより俊敏な歩行動作を行わせることができた。
- ②1関節の角度フィードバック制御をわかりやすく教える製作教材と教育方法を開発した。
- ③1関節の角度フィードバック制御プログラムを関数として用い、1個のマイコンで6関節の角度フィードバック制御を行う構造化プログラミングを、制御プログラム作成教育を開発した。
- ④以上、①、②、③の成果を2014年度・春学期「メカトロニクスと制御」および秋学期「メカトロニクスと制御演習」の授業で活用し、良好な教育結果を得ることができた。