

ロボットの実体性とマンガの想像性を融合した創造性育成法の開発

Development of creativity education used robot's reality and manga's imagination

～感性、創造性の向上を目的とした教材としてのロボットの開発～

Development of teaching material robot improving on kansei and creativity

高知工科大学大学院基盤工学専攻

野村 和寿

学籍番号 1055054

目次

第1章 序章

- 1.1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 1.2 論文の構成・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

第2章 創造性の育成法

- 2.1 創造性の育成プログラム・・・・・・・・・・ 3
- 2.2 現実性と感性・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
- 2.3 空想性・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
- 2.4 創造性・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

第3章 感性の向上を目的とした「UFO型ロボット」

- 3.1 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
- 3.2 ロボットの構成と機能・・・・・・・・・・ 7
- 3.3 移動機構・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
- 3.4 システム構成・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
- 3.5 運用実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18

第4章 創造性の向上を目的とした「ロボット製作教室」

- 4.1 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
- 4.2 メカニカルパーツ・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
- 4.3 システムパーツ・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
- 4.4 パーツリスト・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

4.5	作成例	3 5
4.6	運用実験	4 1

第5章 結論

5.1	まとめ	4 4
5.2	問題点の対応策	4 5
5.3	今後の課題	4 6

参考文献

謝辞

第1章 序章

1.1 はじめに

近年，問題解決や物づくりに対するアイデアの発想，その実現に対する実行する力である創造性の育成が注目されている．その手段として体験教室や工作などが挙げられるが，何か物を作らせるという現実性を強調する反面で，オリジナルのアイデアの発想や表現といった空想性を軽視する傾向がある．創造力は，豊かな感性から生れ，空想できる空間で高められ，そして現実世界で発揮されるものである．また，感性は現実の世界からしか得られない．よって，創造性育成は空想と現実の間で行うべきであると考えている．本研究では，ロボットの実体性とマンガの空想性を融合した創造性教育法を開発することを目的とする．

本論文では，現実の実体験から得られる感性の向上を目的とした，子供が乗り込み，操縦が可能な UFO 型ロボットと，創造性の向上を目的とした，子供が容易かつ自由に組み合わせて作ることができ，実際に乗って操縦することができるロボットの作成ツールの開発について記述する．

1.2 本論文の構成

本論文は5章からなり，具体的な内容は次のとおりである．

第1章では現在の教育のあり方と，創造性教育の現状を述べた上で，本研究の意義を説明する．

第2章では創造性の育成プログラムを提案した．創造性育成の要素として，現実性，感性，空想性，創造性をあげ，それぞれの要素に対するプログラムをサイクルとして繰り返すことにより，創造性の育成を図ることを提案する．

第3章では現実のロボットによる実体験をもたらし，物理現象への疑問や興味，思考と理解を促し，感性の向上を図る「UFO 型ロボット」の開発について述べる．まず「UFO 型ロボット」についての概要を述べ，ロボットの構成と機能について説明する．次に移動機構において球型アクチュエータによる全方向移動機構を適用し，そのメカニズムについて解析をおこなう．次に制御システムの構成を紹介して，制御仕様を示す．つづいて，小学校の総合化授業に採用してもらい，小学1年生1クラスを対象に運用実験をおこない，その効果を示す．

第4章では現実性，「UFO 型ロボット」に感性で触れ，自分の作りたいロボット，夢のロボットについて空想し，「マンガ」で表現をした子ども達の次のステップとして，創造性の向上を目的とした「ロボット作成教室」を提案する．そして，その際に使用する「ロボット作成ツール」の開発について述べる．まず，「ロボット作成教室」の概

要について説明し、「ロボット作成ツール」を提案する．次にロボットのボディと機構部分を形成させるメカニカルパーツについて説明し，制御システムを構成させるシステムパーツについて述べ，ロボットの作成例とその動作について紹介する．つづいて，小学生2人組みを対象に運用実験を行い，その効果を示す．

第5章ではまとめと今後の課題について説明する．

第2章 創造性の育成法

2.1 創造性の育成プログラム

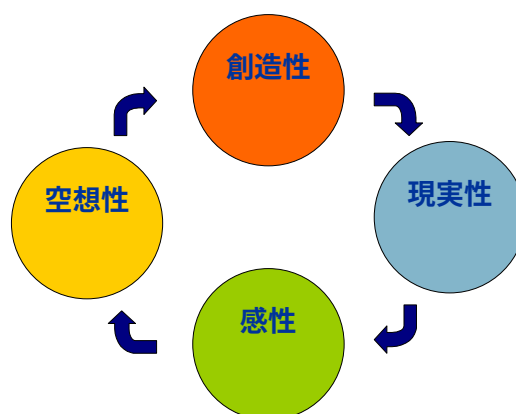


Fig2-1-1 創造性育成プログラム

Fig2-1-1 に示すように、創造性育成プログラムの要素として、現実性、感性、空想性、創造性をあげる。これらの要素は環状に関係しており、現実のもの（道具や材料、他の創造物）を見たり触ったりすることで実体験をし、その現象や原理について深く理解し、イメージを膨らませて、何かを創り出すという「もの作り」考え方から生まれている。具体的な創造性の育成手段として、現実性においてロボットの実態を体験する。感性において物理現象を深く理解する。空想性においてマンガの表現力で夢を描く。創造性において今までに無い新型ロボットを創り出す。この一連の作業をサイクルとして繰り返すことにより、創造性の育成を図ることを提案する。

2.2 現実性と感性

本研究に当たって最終的な目標は、子ども達自身がロボットを製作し、その発展や工夫、運用についてマンガで表現し、現状で実現が可能な物は子ども達自身が改良を重ねるというサイクルの中で、物作りに対する自由な発想や、夢を人に伝え、実現に向けて検討の出来る表現力を身につけてもらうことである。しかし、実際には子ども達はロボットを漫画やアニメの世界でしかイメージしたことなく、いきなり自分で作るロボットを考えよう、作ってみようという指示されても、およそ現実に実現できるものが提案されるとは思えない。現在はロボットブームということもあって、Sony の「AIBO」に代表される動物型ロボットや HONDA の「P3」といった人型ロボットを、見たりさわったりする機会がある。しかし、それらのロボットは人が乗り込むということを想定して設計された物ではないので、本研究が目指す「子どもが乗れるロボット」に結びつけるには、現実の技術が追いついていないといえる。そこで本研究の提案する創造性育成モデルにおけるサイクルの最初の一

週目に、ロボットを作ったことのない子ども達の感性に刺激し、ロボットについての具体的な認識を与えるために、現実にはさわることができ、乗り込んで操縦をしたり、観察をしたりできる理想のロボットを我々が用意する必要がある。子ども達に、実態としてのロボットの認識をあたえ、なおかつロボットに対する自由なイメージを拘束しないものとして、宇宙を飛び回る「UFO 型ロボット」テーマというテーマで開発をする。具体的には第3章 感性の向上を目的とした「UFO 型ロボット」に示す。

2.3 空想性

空想性は子供がほしい、創りたい夢（空想）のロボットを描く。言うなれば、ロボットの仕様、イメージ、設計図をつくってもらふということである。そこで、子供たちの夢を表現する手段として、マンガの手法を取り入れる。マンガには物の形や特徴をうまく強調したり、目に見えない物理現象をも表現する表現方法があり、紙の上に自由な夢を描く手段として最適である。「マンガ教室」をおこなう。これには共同研究者で京都精華大学のマンガ学科の講師である牧野圭一が中心となって、子供たちにマンガの表現を学んでもらう。同時に絵のテーマとして「UFO ロボット」によって得た実体験もとに創りたいロボットを描いてもらい、創造性の向上を目的とした「ロボット作成教室」のロボットの設計図として使う。

2.4 創造性

我々の用意した現実「UFO 型ロボット」に感性で触れ、自分の作りたいロボット、夢のロボットについて空想し、「マンガ」で表現をした子ども達の次のステップとして、「ロボット作成教室」を提案する。これは実際に子ども達が自分たちで形や構成を設計してロボットを作り、空想を具現化する力である創造性の向上を目的としている。その際、既存のロボット作成キットではなく、我々の提案するロボットのパーツセットを使用する。その理由として、従来のキットでは技術的なしきいが高く、子どもが短時間で理解しながら作業をするのが困難であること。一部のものを例外として、その多くは説明書のとおりには作れないこと。作った物の規模はあくまでもおもちゃの域を出ず、何かに役立てる物をつくる方法が学べたという達成感が薄い事などが上げられる我々の用意するロボットのパーツセットの狙いは、プラモデルのように与えられた説明書をなぞるのではなく、子ども達自身が自分で考え、設計し、組み立て、遊び方を考え、特徴を理解することで創造性を高めるツールを目指す。具体的には第4章 創造性の向上を目的とした「ロボット製作教室」に示す。

第3章 感性の向上を目的とした「UFO 型ロボット」

3.1 概要

子ども達に、実態としてのロボットの認識をあたえ、なおかつロボットに対する自由なイメージを拘束しないために、以下の条件でロボットの設計とデザインをおこなう。

- ・テーマは宇宙を飛び回る「UFO 型ロボット」

子どもの夢のような自由なイメージが拘束せずに、ロボットの実体験を与えるために、宇宙飛行士を除くほとんどの人間にとって、映像や写真などでしか見たことのない「夢の空間」である宇宙を飛び回るようなデザインにする。ただし機構としては実際にロボットが「飛ぶ」ということは難しいため、実際には「飛ぶように自由に走り回れる」ロボットを目指す。

- ・子どもが乗ることができること

子どもにとってアニメのイメージでしかなかったロボットに乗るという体験を実際に与えるために、本ロボットは操縦者が乗ることが出来るようにする。ロボットに乗っているという感覚を強調するために、コックピットは操縦者が密閉された空間にする。

- ・容易に操縦ができること

本ロボットは子どもが操縦をおこなうため、操縦にあたって複雑な手続きは排除し、説明されなくても直感的に操縦が行えるようにする。具体的にはジョイスティック一つで操縦することができ、ジョイスティックを傾けた方向にダイレクトに移動する。

- ・非日常的な走行機構を用いること

どんな仕組みで動いているのだろうか？という興味の対象であるロボットの走行機構に、自動車の車輪のように日常的にありふれている機構を用いると、「UFO のようなロボット」ではなく「UFO のような車」というイメージとなってしまう。よって本ロボットでは一見して走行の仕組みが分からない複雑な機構と、自動車の車輪では実現できない動きを擁する全方向移動機構を採用する。

- ・安全設計をおこなうこと

本ロボットは子どもが操縦をおこなうため、センサによって操縦者の見えない方向に障害物がある場合、一定の間隔でその方向へは進めないようにする。起動スイッチをロボットの外側に置き、勝手に動かせないようにするといった安全対策をおこなう。

以上の点をふまえて、ロボットの原案としてデザインしたものを Fig3-1-1 に示す。これ

は宇宙を飛び回る「UFO 型ロボット」というテーマを基に、S F 映画の宇宙作業用ポッドを参考にデザインをおこなった。ただし、実際の作成においては構造の必要性や、製作困難であるパーツなどの問題から、このデザインから大幅に変更を加えている、走行機構としては、全方向移動機構のなかでも、最も車輪からかけ離れており、複雑で一見して走行の仕組みの理解が難しい球型アクチュエータを採用する。

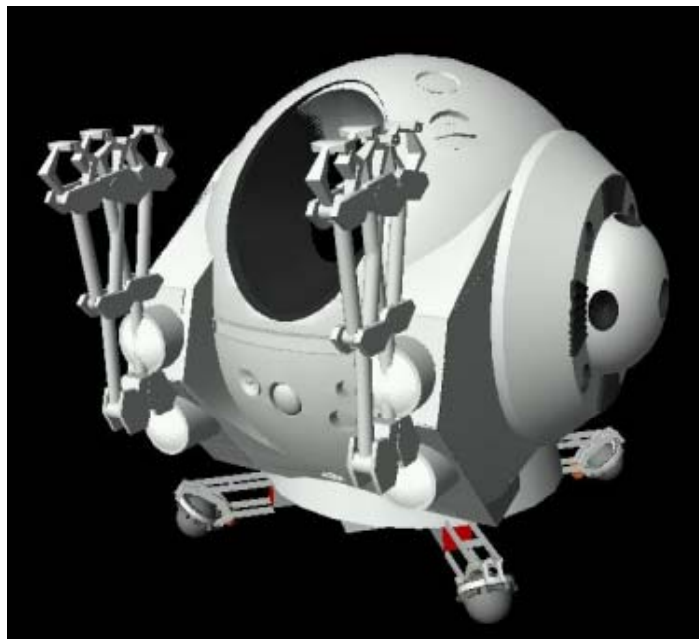


Fig3-1-1 UFO 型ロボットデザイン原案

3.2 ロボットの構成と機能

製作した UFO 型ロボットの写真を Fig3-2-1 に、外観図を Fig3-2-2 に示す。球型アクチュエータ 4 個を擁する土台はアルミ製の中空フレームを使用。操縦者の乗り込むボディは FRP で成形している。移動機構として、球型アクチュエータ 4 個による全方向移動機構（3.3 移動機構 参照）を採用。正面の窓による視界は狭いため、CCD カメラ 3 台で視角補助をおこなう。また、両サイドから後方にかけて対物センサを配置し、壁の接触などに対する安全対策をおこなっている、以下、その他の機能と詳細を記述する。



Fig 3-2-1 UFO 型ロボット写真

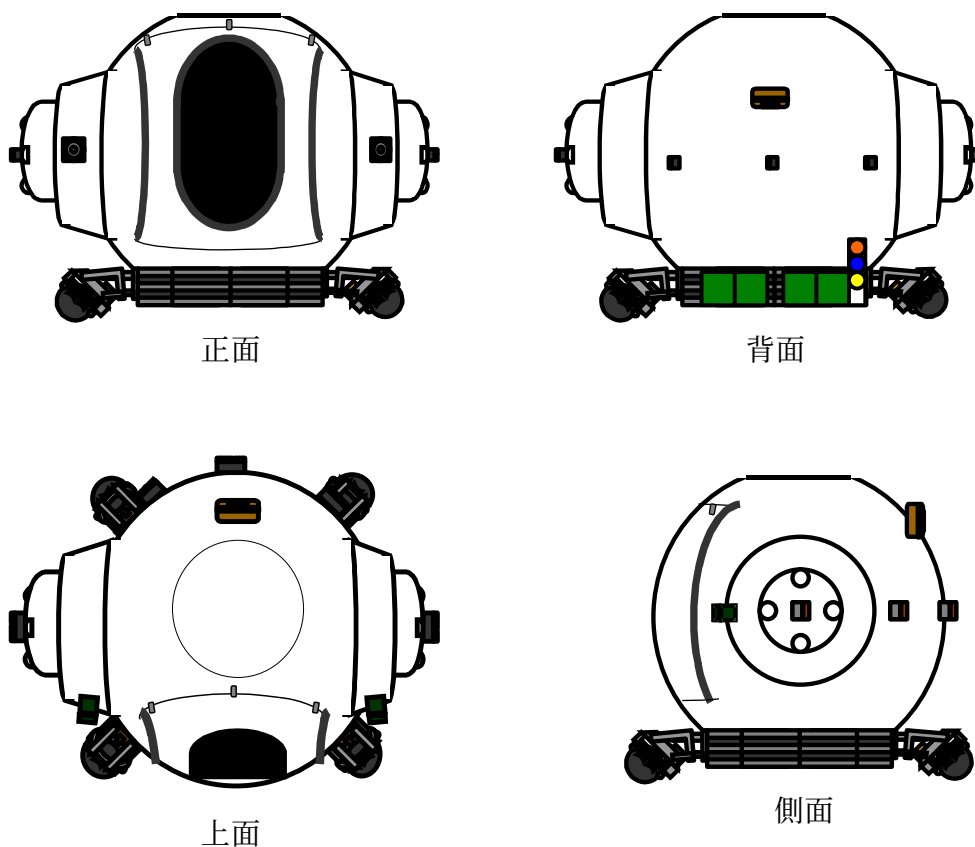


Fig3-2-2 外観図

・操縦者の搭乗と座席

ロボット内部の構成と操縦者が乗り込むためのハッチ開閉の仕組みを Fig3-2-3 に示す。ハッチはロボット内部のフレームにブランコのような形につながっており、ハッチを閉める際には、ハッチ上部3カ所のパチン錠で外側からロックをかける。座席は乗用車の助手席を流用しているため、少々窮屈ではあるが、大人でも乗ることが出来る。

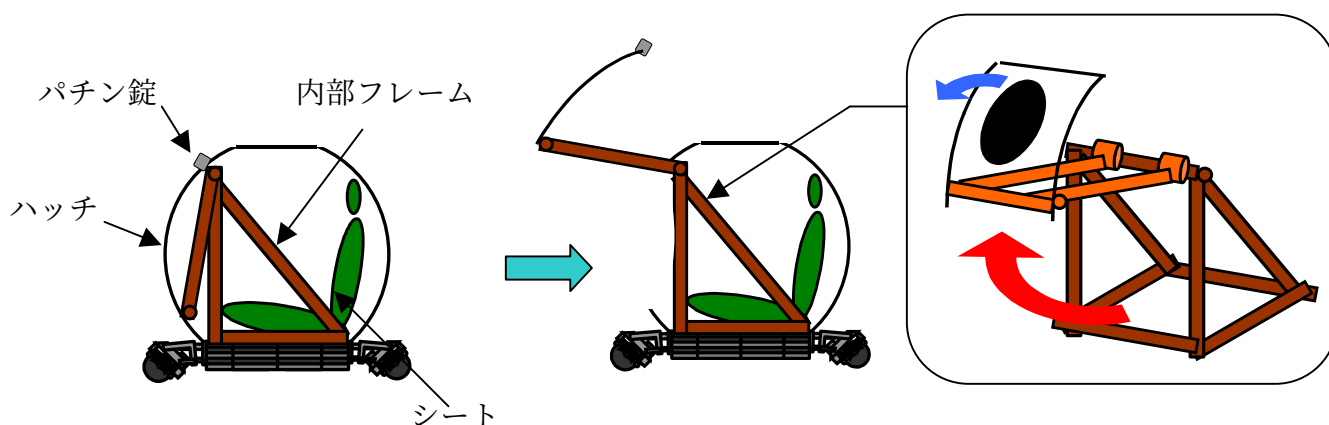
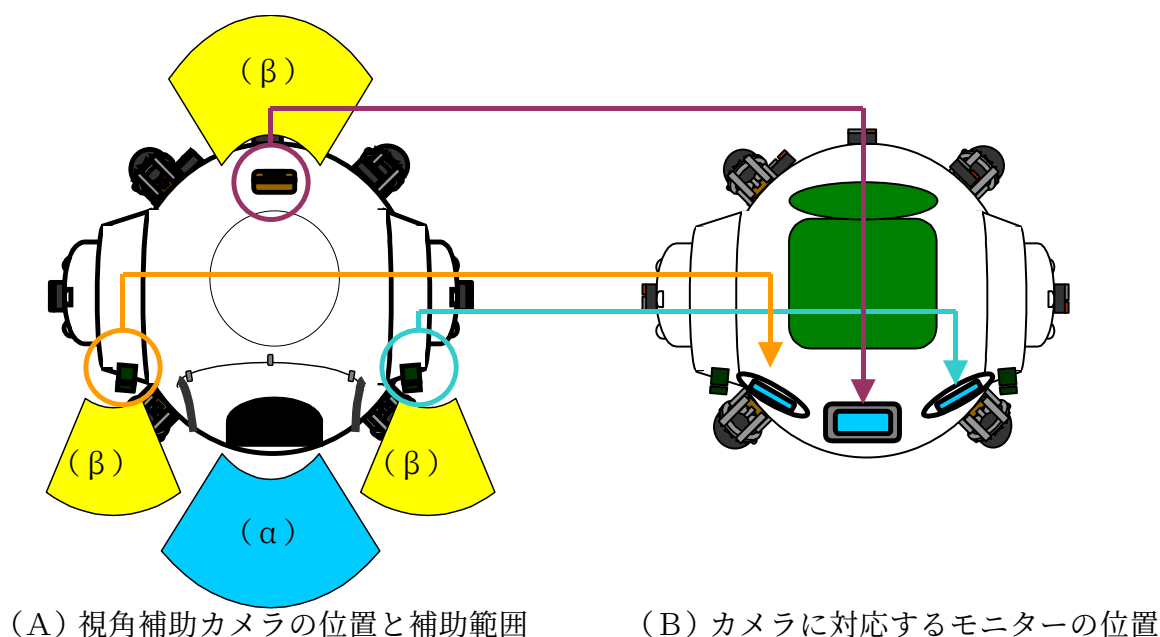


Fig3-2-3 内部構成とハッチ開閉の仕組み

・視角補助カメラ

Fig3-2-4(A)の(α)で示す範囲が、ハッチの窓から直接外が見える範囲である。この正面の窓による視界は非常に狭いため、前方の視角補助に2台の CCD カメラと後方の視角補助に自動車用のバックカメラで視角補助をおこなう。補助された視角範囲を Fig3-2-4(A)の(β)の範囲で示す。Fig3-2-4(B)はそれぞれのカメラが対応するモニターの位置である。前方を確認するモニターは、視点の高さで左前と右前の位置に配置。後方を確認するモニターは足下の位置に配置する。



(A) 視角補助カメラの位置と補助範囲

(B) カメラに対応するモニターの位置

Fig3-2-4 視角補助カメラ

・対物センサ

狭い視界を補うために、3台のカメラによる視角補助をおこなったが、このロボットは360度全ての方向に移動が出来るため、全ての移動方向に対して視角をカバー仕切れていない。それらの確認できない死角への移動に対して、障害物に衝突しない工夫が必要となる。本ロボットには両サイドから後方にかけて5方向に対物センサとして PSD 素子距離センサを配置して、一定距離に対して障害物がある場合、その方向に移動が出来ないようにしている。Fig3-2-5 に PSD 素子距離センサの位置と方向を示す。

補足として、PSD (Position Sensitive Detector) とは、半導体位置検出素子といい、光の入射位置によって出力が変化するフォトダイオードの一種である。今回使用した PSD 素子距離センサ GP2D12(株Sharp 製)(Fig3-2-6)は発光素子、PSD 素子、信号処理回路が1つに組み込まれている光学測距方式センサユニットである。距離測定の原理は、三角測量であり、反射光の位置情報を基に対象の距離を測定する(Fig3-2-6 および式 3.2.1)。この方法には、反射物の色や反射率、使用環境の明るさによる影響が少ないというメリットがある。

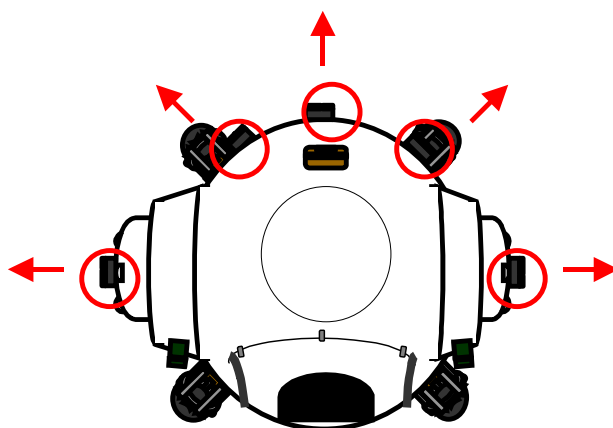


Fig3-2-5 PSD 素子距離センサの位置と方向



Fig3-2-6 PSD 素子距離センサ GP2D12(株Sharp 製)

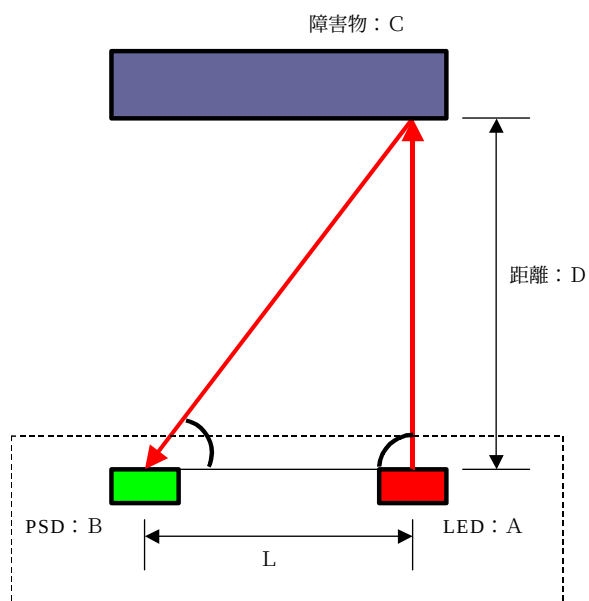


Fig3-1-1 UFO 型ロボットデザ

$$D=L \frac{\sin \theta + \cos \theta}{\sin(\theta - \theta)} \quad (3.2.1)$$

・電源

電源は、(株)ユアサコーポレーション製小型シール鉛蓄電池 12v (NPH5-12) (Fig3-2-8) をモータ駆動用主電源として2つ，モータドライバ回路電源として1つ，カメラ，モニター用電源として2つの計5つを使用．CPU 回路用電源としてラジコン用 7.2v バッテリー (Fig3-2-9)を2本使用．



Fig3-2-8 12v 小型シール鉛蓄電池 NPH5-12

公称電圧 12v
 定格容量 5Ah/10HR
 重量 2kg



Fig3-2-9 7.2v ラジコン用バッテリー

公称電圧 7.2v
 定格容量 1400mAh
 重量 330g

Fig3-2-10 に示すように、モータ駆動用主電源は 12v バッテリー 2 個を並列につないで安定化を図り、モータドライバ回路電源は 12v からモータドライバに必要な 5v と $\pm 15v$ に DC-DC コンバータで変換を行っている。又、カメラ、モニター用電源は Fig3-2-11 に示すように自動車用 AC-DC インバータで AC100v にしてから各カメラ、モニターの AC アダプタでそれぞれの電圧を供給する。この方法は直流電源を交流電源に変換して、また直流電源に戻すため、エネルギー的には非効率である。しかし AC 電源は電源タップ等で容易に電源ジャックを増設できるため、測定器やノートパソコンといった機器の一時的な搭載や機能の増設が容易に行えるという利点がある。また、各機器にたいしてそれぞれの電圧に合わせた DC-DC コンバータを用意する必要がないため、配線もすっきりし、なおかつ経済的である。

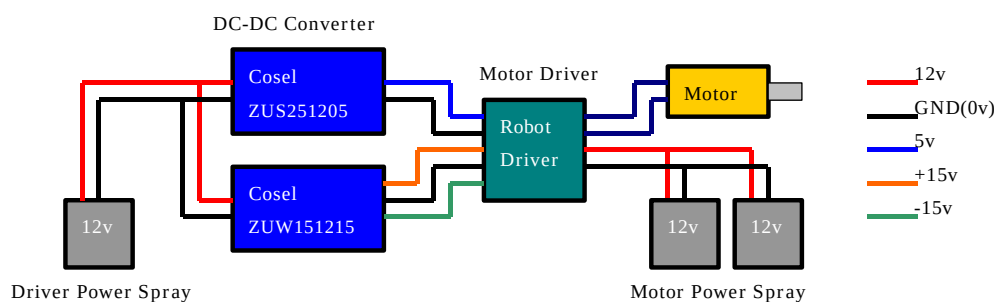


Fig3-2-10 モータドライバ及びモータ駆動電源

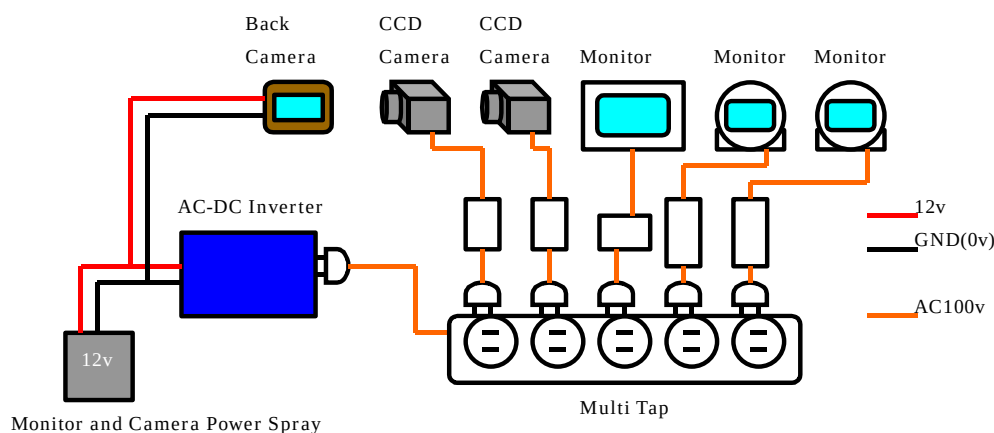


Fig3-2-11 カメラ、モニター用電源

バッテリー位置は Fig3-2-12 に示すようにロボット後部の土台の部分に配置，起動用のスイッチも同位置に配置している．起動用スイッチは Fig3-2-13 に示すように，①CPU ボード電源，②ドライバ電源，③モータ電源と3つに別れており，起動時には①，②，③の順番でスイッチを入れる．終了時はその逆の手順で③から電源を落としていく．特に②ドライバ電源を入力しないで③のモータ電源を入れた場合，モータドライバが暴走，破損の恐れがあるので起動及び終了時の手順では注意が必要である．

バッテリーの駆動時間はフル充電の状態では，モータ用主電源が約30分，カメラ，モニター用電源とCPU回路用電源は約1時間であった．

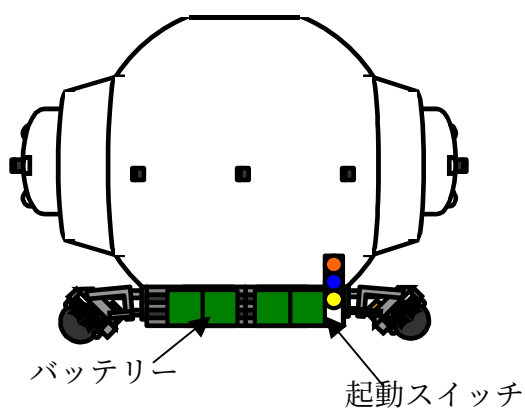


Fig3-2-12 バッテリー，起動スイッチの位置

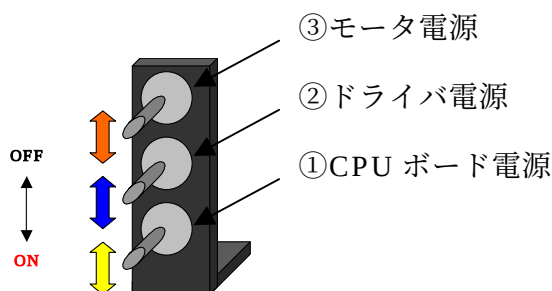


Fig3-2-13 起動スイッチ

3.3 移動機構

球型アクチュエータの機構，動作について Fig3-3-1, Fig3-3-2 を示し述べる．本機構ではモータを駆動させることにより，ギアによってローリングに回転動力を伝え，ローリング接している駆動球を回転させて路面に力を伝えることにより，移動に必要な動力を得ることが出来る構造となっている．ローリングの駆動球へと接する部分を，Fig3-2-15 に示すようにフリーローラにすることで，駆動球が路面に力を加える方向以外にかかる負荷を逃がし，スムーズな全方向移動が出来る機構となっている．また，本体の荷重を駆動球より支えている上部固定リングもフリーローラとなっており，全方向移動にたいする負荷を逃がす工夫がなされている．

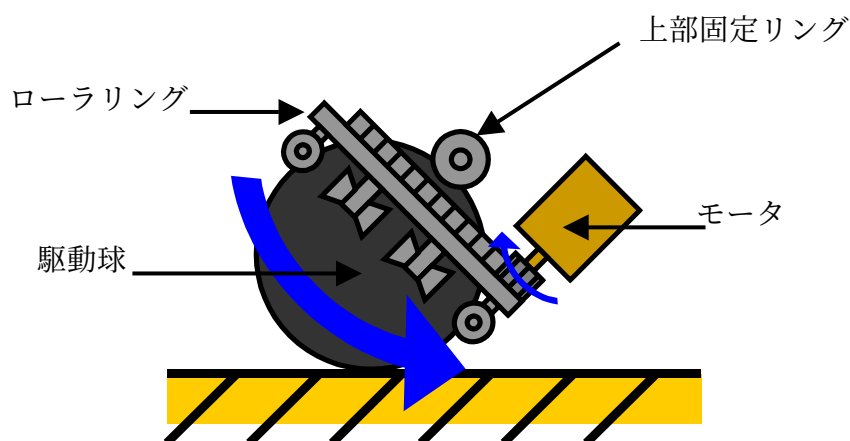


Fig 3-3-1 球型アクチュエータ概略図

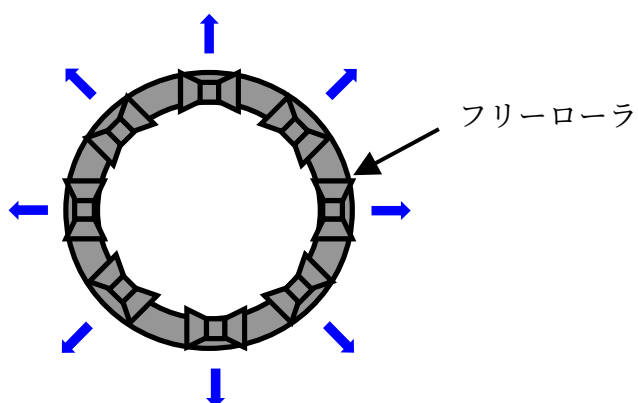


Fig 3-3-2 下から見たローリング概略図

球型アクチュエータの本体への実装として Fig3-3-3 に示すように、4つの球型アクチュエータを斜め方向に十字に配置する．この4つの球型アクチュエータがそれぞれ駆動して路面に加えた力のベクトルを合成することにより、前後左右、斜め、その場での回転という全方向への移動が可能となる．

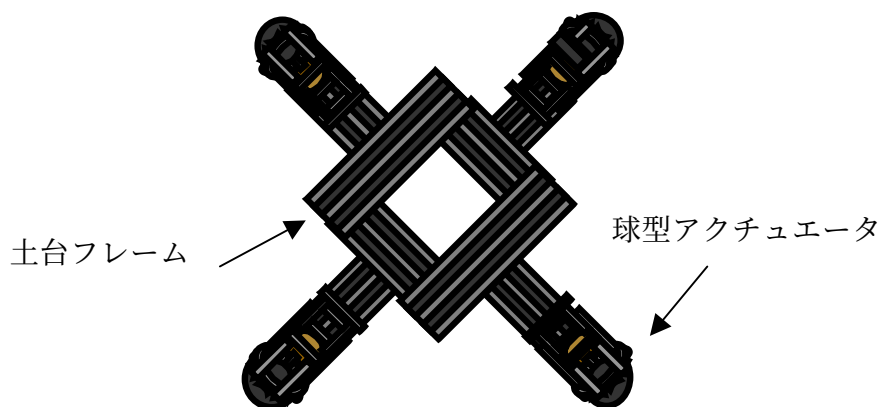


Fig3-3-3 球型アクチュエータの配置

ロボットの移動方向と速度の導出について Fig3-3-4, Fig3-3-5 を用いて、式 3.3.1～3.3. に示す．

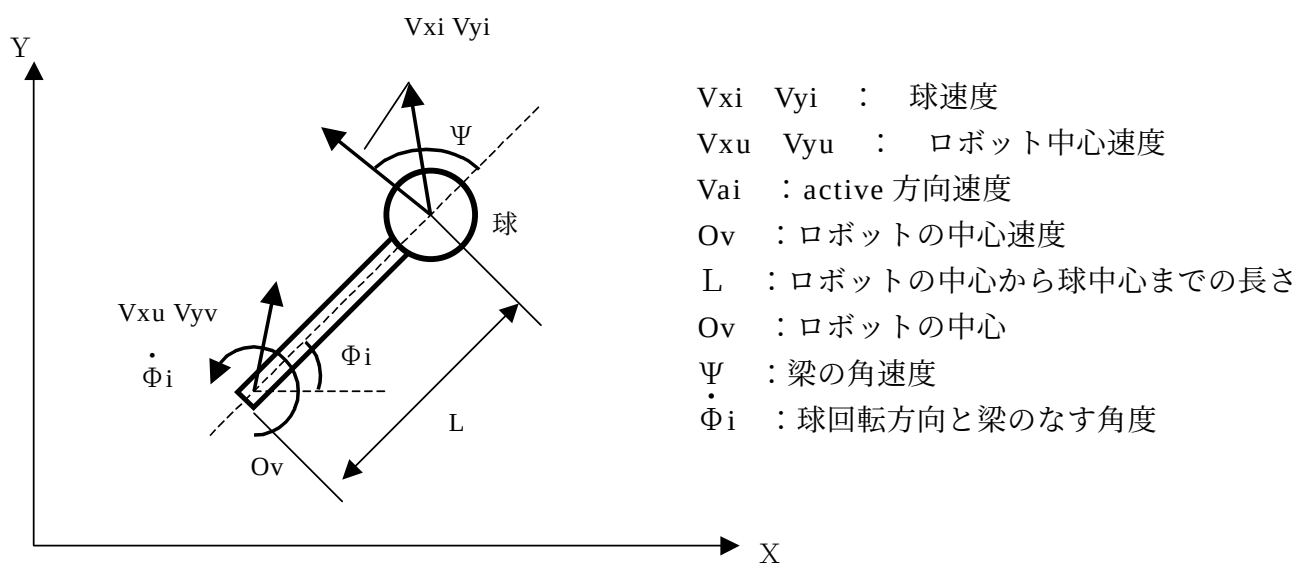


Fig3-3-4 球移動速度

$$\begin{pmatrix} V_{xi} \\ V_{yi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & L \sin \Phi_i \\ 0 & 1 & L \cos \Phi_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{xv} \\ V_{yv} \\ \dot{\Phi}_i \end{pmatrix} \quad (3.3.1)$$

$$\begin{aligned} V_{ai} &= V_{xi} \cos (\Phi_i + \Psi) + V_{yi} \sin (\Phi_i + \Psi) \\ &= V_{xu} \cos (\Phi_i + \Psi) + V_{yv} \sin (\Phi_i + \Psi) + \dot{\Phi}_i L \sin \Psi \end{aligned} \quad (3.3.2)$$

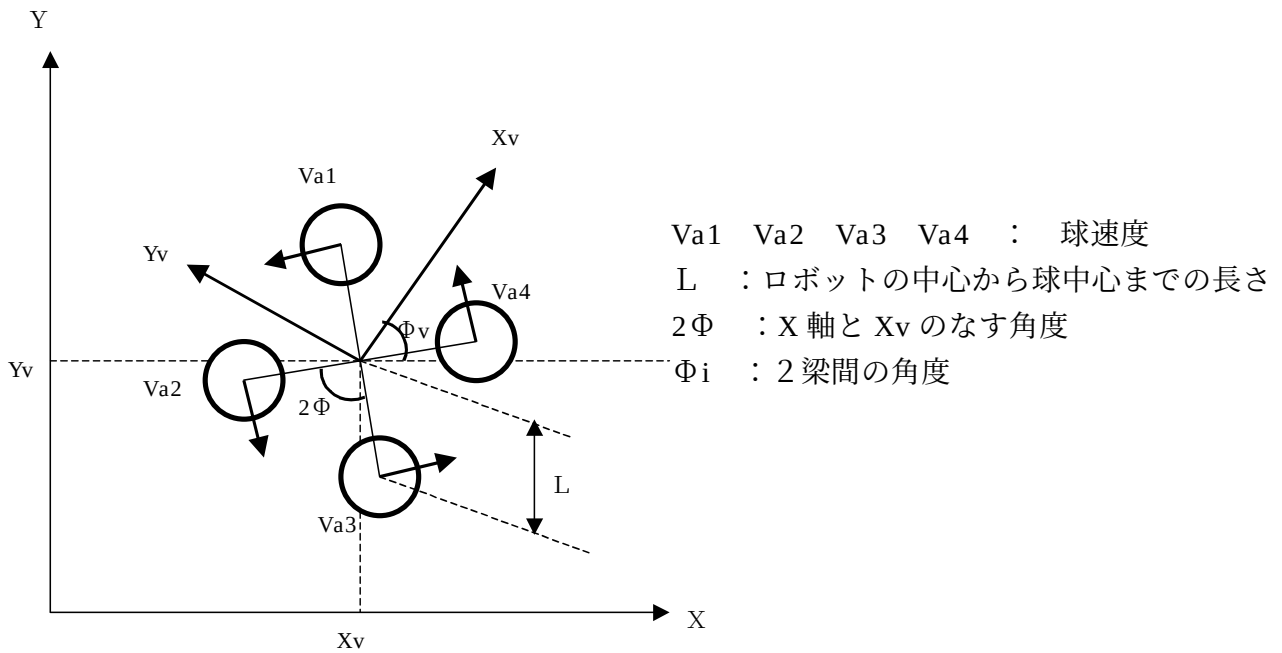


Fig3-3-5 ロボット移動速度

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi_v + \Phi_y & \Phi_2 &= \Phi_v - \Phi_y + \pi \\ \Phi_3 &= \Phi_v + \Phi_y + \pi & \Phi_4 &= \Phi_v - \Phi_y \end{aligned} \quad (3.3.3)$$

式 3.3.3 を式 3.3.2 に代入

$$\begin{pmatrix} Va1 \\ Va2 \\ Va3 \\ Va4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos (\Phi + \Psi) & \sin (\Phi + \Psi) & L \sin \Phi_i & L \sin \Phi_i \\ \cos (\Phi + \Psi) & -\sin (\Phi + \Psi) & L \sin \Phi_i & -L \sin \Phi_i \\ -\cos (\Phi + \Psi) & -\sin (\Phi + \Psi) & L \sin \Phi_i & L \sin \Phi_i \\ -\cos (\Phi + \Psi) & \sin (\Phi + \Psi) & L \sin \Phi_i & -L \sin \Phi_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{xv} \\ V_{yv} \\ \dot{\Phi}_v \\ \Phi \end{pmatrix} \quad (3.3.4)$$

3.4 システム構成

Fig3-4-1 に本ロボットのシステム構成図を示す。CPU ボードは AD8ch, DA4ch のアナログ入出力ボードを通して信号のやり取りをおこなう。ジョイスティックからの信号は X 軸, Y 軸, Z 軸の 3 軸方向を AD3ch から入力。又, PSD 素子距離センサを AD5ch から入力している。モータの制御はロボットドライバボードを通して行い, 4 つのモータに対して DA4ch で信号を出力, 制御を行っている。

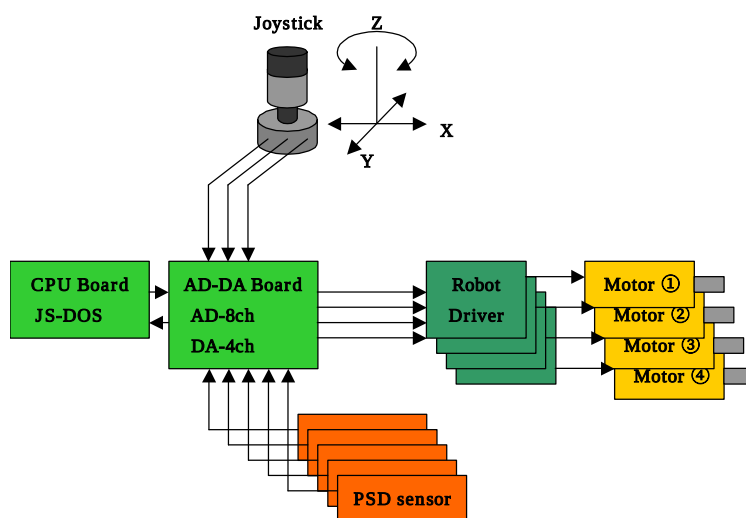


Fig3-4-1 システム構成図

本システムの CPU ボードには(株)日本システムデザイン製 J P C 1 0 - V 2 5 C P U ボードを使用している。この CPU ボードは 104 バス規格に準じているので, 必要なインターフェイスボードを重ねることでコンパクトにシステムを組むことが出来る。104 バス基準のインターフェイスボードは多数有るので, 開発環境が整いやすい。他の工業用 CPU ボードと比べると安価。振動に強いといった特徴がある。写真を Fig3-4-2 に, 主な仕様を Fig3-4-3 示す。



Fig3-4-2 V25 CPU ボード

CPU	9.8304MHz
入出力ポート	8CH (フラットケーブルコネクタ)
入力ポート	4CH (PC/104バス)
コンパレータ入力	8CH (フラットケーブルコネクタ)
シリアルポート	CH0:RS-485レベル CH1:RS-232Cレベル 通信速度:110~115.2Kbps
ボードサイズ	96mm×90mm×15mm
重量	約75g
消費電流	5V±5% 200mA (標準)

Fig3-4-3 V25CPUボード仕様

モータ制御を行うロボットドライバボードは(株)岡崎産業製 TITech Driver PC-0121-1 を使用。特徴として、小型、軽量、高出力 (750W)、低自己消費型(PWM 駆動)、であり、電流制御、速度制御、位置制御の3つのモードがある。また、タコジェネレータ無しでの速度制御や同じくタコジェネレータ無しの即応性の良い位置制御を実現している。写真を Fig3-4-4 に、主な仕様を Fig3-4-5 示す。



Fig3-4-4 TITech Driver PC-0121-1

定格出力電圧	±38V
定格出力電流	±8A
最大出力電圧	±45V
最大出力電流	±16.7A
主電源電圧	DC12~48V
回路電源電圧	5V ±1.5V
指令入力電圧	±10V

Fig3-4-5 TITech Driver PC-0121-1 仕様

3.5 運用実験

「UFO 型ロボット」の運用実験を、想像性を育成するマンガ教室と合わせて行った。対象は片地小学校の1年生1クラス28名。実施要領を Fig3-5-1 に示す。

実 施 要 領	
1. 実験テーマ：	ロボットの実体性とマンガの想像性を融合した創造性育成法の開発
2. 学校名：	片地小学校（鏡野公園の横にある）
3. クラス：	28の1年生＝13男の子＋15女の子
4. 実験日：	11/7（木）
5. 時間：	11：25～12：10 マンガ教室 12：10～13：00 給食 13：10～15：30 実験（5分間/1人の予定ですが、 班分けは担任の深川先生と相談要） 15：30～16：15 アンケート、夢のロボットを描く
6. 場所：	マンガ教室、アンケート、お絵かきは教室にて 走行実験は片地小学校の体育館にてお願いします。
7. アンケート：	別紙ご参照
8. 機材：	ロボットは簡単な故障がある場合、直せる程度のツールを用意。 バッテリーはフルチャージ。子供用のヘルメット。 ビデオカメラ2台（一台定点撮影、一台はトラッキング撮影）、 デジ カメ1台。以上は工科大にて準備します。 子供のお絵かき道具として---鉛筆、クレヨン、机、椅子などの準備をお願いします。
9. マスコミ：	（予定）NHK、SUNSUN テレビ、高知放送、高知新聞、 朝日新聞、読 売新聞
10. 役割分担：	子供達の世話は岡林校長先生と深川担任先生をお願いします 牧野先生＝マンガ教室＋マスコミへの連絡 浜口さん、野村さん＝ロボット製作＋実験＋アンケート作成 研究室の皆さん＝ロボット運搬＋レンタカ＋実験の手伝い 王＝連絡＋撮影＋実験の手伝い＋アンケート印刷＋牧野先生の 出迎＋研究プロジェクト申請＋報告書作成＋報告会＋マスコミ への配布資料作成＋他大 学との調整

Fig3-5-1 実施要領

実験ではロボット操縦に目的を持たせる為に、Fig3-5-2 に示す競技を行った。2 本のポールの間を 8 の字にくぐりぬけるというだけの競技だが、「UFO 型ロボット」は視界が狭く、補助のカメラでは感覚がつかみにくいので、自動車を運転したことが無く、車幅感覚を持っていない小学生にとっては、難しい競技だった。実験時の様子を Fig3-5-3, Fig3-5-4, Fig3-5-5 に示す。

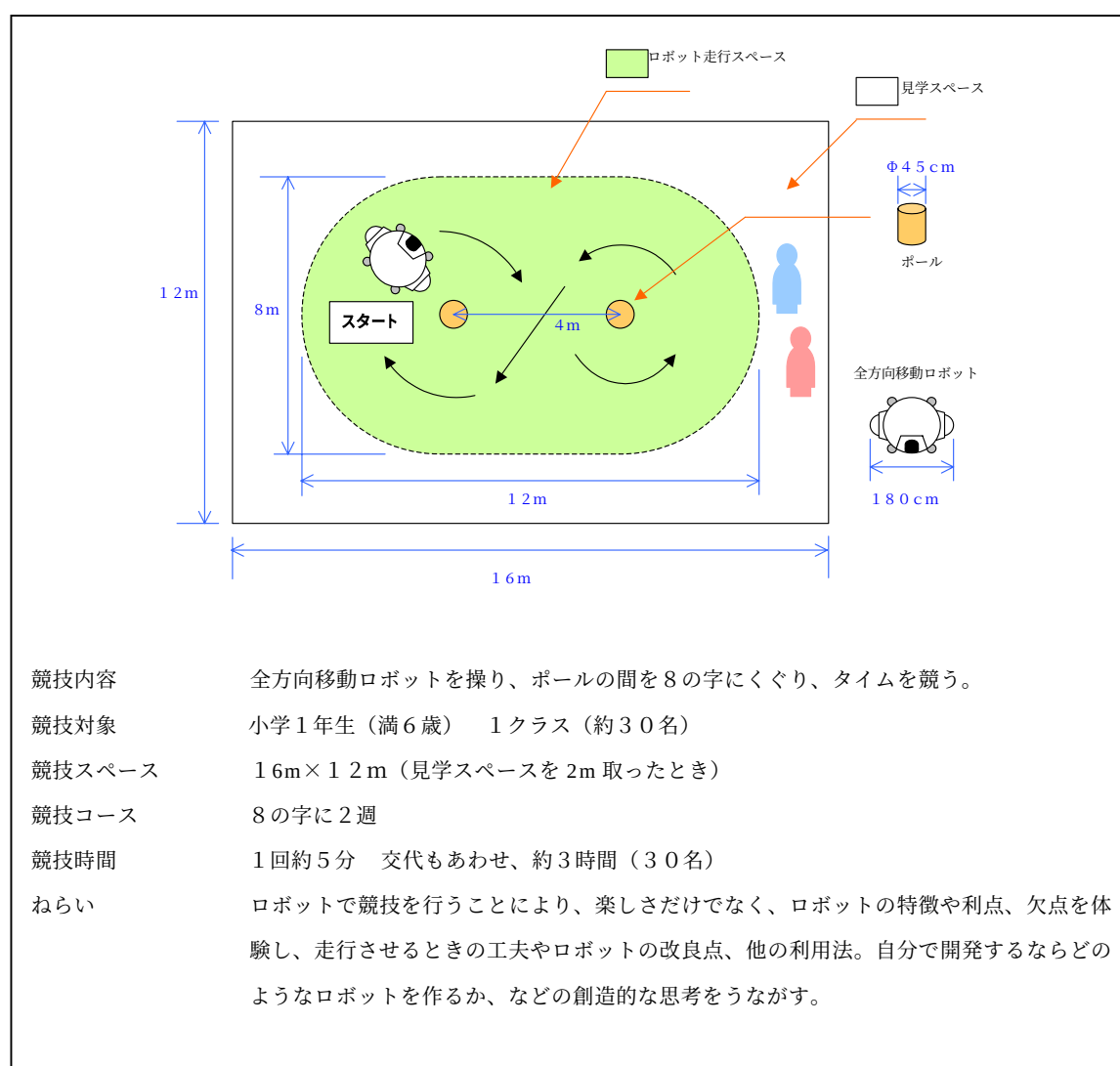


Fig3-5-2 競技：全方向ロボット 8 の字トライアル



Fig3-5-3 実験風景①



Fig3-5-4 実験風景②



Fig3-5-5 実験風景③

感想

提案した競技については、出来るだけ単純で理解しやすいものにしたつもりだったが、ロボットの動きをはじめて知る子供たちにとっては想像以上に難しい競技であったようだ。長い時間待たされて1回しか乗れなかったにもかかわらず、また見学のみで乗ることが出来なかった子供たちも、ロボットにきらきらした目で興味を持ってくれたのが印象的であった。この研究にあたって我々がロボットを用意してしまうと、ロボットとはこういうものだという思考が固まってしまうのでは無いか、発想が逆にしにくくなるのではないかという懸念があったが、乗った後の発想として動物ロボット、怪獣ロボット、潜水ロボットなどに乗りたい、と言う様々な発想のロボットのイメージが子供たちから帰ってきたので杞憂に終わった。また、どの様にして動いているのか？何で造っているのか？こういったことに使えるのではないか？というような様々な疑問、質問が返ってきたので、子供たちが物理現象の理解にたいして第1歩を踏み出したと感ずることが出来た。よってこの「UFO 型ロボット」に乗ることが感性たいして有効であると考えている。

問題点

- ・ジョイスティックが接触不良を起こした。CPUボード側のコネクタが弱かった様である。
- ・移動速度が遅い。競技時間がかかってしまう原因のひとつ。
- ・通気性が悪い。暑いという感想が多かった。
- ・対象の人数が多かった為、1人1回、3分程度しか乗ることが出来なかった。その時間で子供が十分満足できたかは疑問である。
- ・ロボットの操縦方法を、1人1人ロボットに乗るたびに説明したので時間がかかった。
- ・競技を目の前で見えていたにもかかわらず、ロボットに乗ったとたんに関心した良いのか解らない子が多く、競技時にはロボットの前で指示を出してジョイスティックの傾ける方向を指示しなければならなかった。
- ・ロボットの運搬が困難。運搬には軽トラックが必要であり、持ち抱えるのに4人が必要。

第4章 創造性の向上を目的とした「ロボット製作教室」

4.1 概要

我々の用意した現実「UFO 型ロボット」に感性で触れ、自分の作りたいロボット、夢のロボットについて空想し、「マンガ」で表現をした子ども達の次のステップとして、ロボット作成教室を提案する。実際に子ども達がロボットを作り、空想を具現化する創造性の向上を目的としている。その際、既存のロボット作成キットではなく、我々の提案するロボットのパーツセットを使用する。その理由として、従来のキットでは技術的なしきいが高く、子どもが短時間で理解しながら作業をするのが困難であること。一部のものを例外として、その多くは説明書のとおりにはしか作れないこと。作った物の規模はあくまでもおもちゃの域を出ず、何かに役立てる物をつくる方法が学べたという達成感が薄い事などが上げられる。特に今回の我々のターゲットは小学校低学年生、実施を1日以内と考えているので、小学生が集中力を維持できる2～3時間の間で興味と理解を示し、ロボットを作り上げるという達成感を持つことが望ましい。我々の用意するロボットのパーツセットの狙いは、プラモデルのように与えられた説明書をなぞるのではなく、子ども達自身が自分で考え、設計し、組み立て、遊び方を考え、特徴を理解することで創造性を高めるツールを目指す。

- ・ 組み立て、分解の容易なフレーム材

組み立て、組み合わせが容易なフレーム材を各長さ複数用意し、ロボットのボディを自由に作ってもらう。そのボディにモータ付き駆動輪やキャスターを固定して移動ロボットを作成させる。汎用性の高いパーツを数種類用意することで自由度を高める。

- ・ 子どもが乗って遊べること

完成したときの大きな満足度と、さまざまな遊びへの可能性を持たせるために、フレームや駆動輪は頑丈で子どもの等身大の大きさに組み上げることが可能なパーツを用意し、作ったロボットに子どもが乗っても十分安全かつ余裕を持って遊ぶことができるよう設計する。具体的に最大長のフレーム材の長さは80cmとし、60kgの荷重でも駆動できる駆動輪を用意する。

- ・ 汎用性の高い駆動輪

駆動輪はフレームのどこにでも、任意の場所に取り付けることが出来るようにする。また、力学の概念をもっていない子どもが駆動輪の配置を設計するので、普通の車輪では機構的に負荷がかかり、走ったり曲がったりすることが出来ないということがおこりえる。よってその事態をなるべく回避するため、車輪の軸方向に対する負荷を逃がすことの出来るオムニホイールを採用する。この車輪は普通の車輪としても利用でき

るが、組み合わせにより全方向移動が実現できたり、操舵輪として利用できたりと、非常に汎用性が高く、組み合わせのバリエーションも多い。

- ・ ブラックボックスを作らない

組み合わせを行うメカニカルな部分が、見てさわっただけで理解できる様な物にするのは当然として、子どもが興味を持った場合に、十分な理解をうながす説明をするのが難しい電気回路も、なるべく単純化して、小学生が理解できる物にする。具体的にはモータの正転逆転回路に、半導体を利用した複雑な回路は避け、機械的なメカニカルリレーで実現する。これにより電磁石とスイッチの関係を説明するだけで、電気回路を理解させることが出来る。

- ・ 量産が容易であること

本論文の段階では、このロボット作成ツールは1組しか用意していないが、最終的には小学校の1クラス、約30名を対象にロボット製作教室を開く。その際、4人～5人に1組ロボット作成ツール用意する必要があるので、なるべく安価で、量産が容易な必要がある。

以上の条件を基に、ロボット製作教室に必要な「ロボット作成ツール」を開発する。

4.2 メカニカルパーツ

・フレーム

ロボットのボディの作成に使用するフレームは、(株)ミスミのカバー用溝幅8・30mm角アルミフレーム（HFS6-3030）（Fig4-2-1）を使用する．長さが20cm・40cm・60cm・80cmのものをそれぞれ8本ずつ，合計32本のフレームを組み合わせてロボットの形を形成させる．



Fig4-2-1 フレーム（HFS6-3030）

フレームを組み立てる部品としてL字の厚型ブラケット（HBLTSW6）（Fig4-2-2）を32個，専用の先入れナット（HNIT M6）（Fig4-2-3），六角穴つきボルト（CBN M6 L15）をそれぞれ150個，長ナット（HNTLG M6）（Fig4-2-5）を16個用意する． Fig4-2-6 に用意したフレームと組み立て部品の写真を示す．

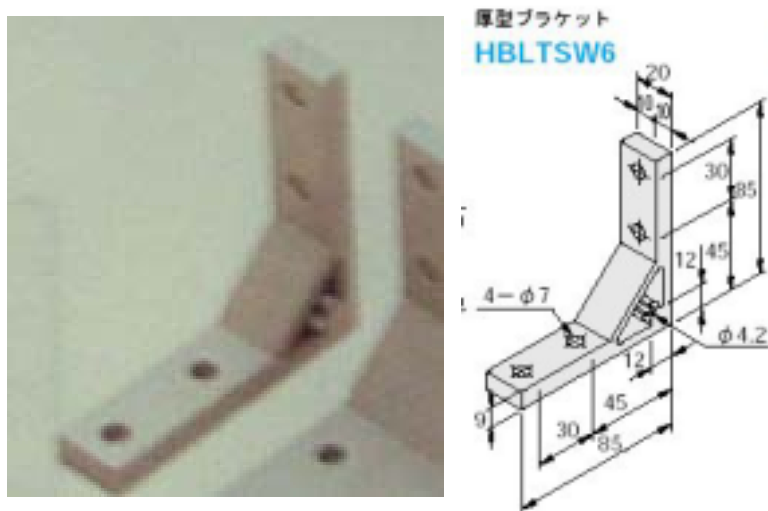


Fig4-2-2 厚型ブラケット（HBLTSW6）

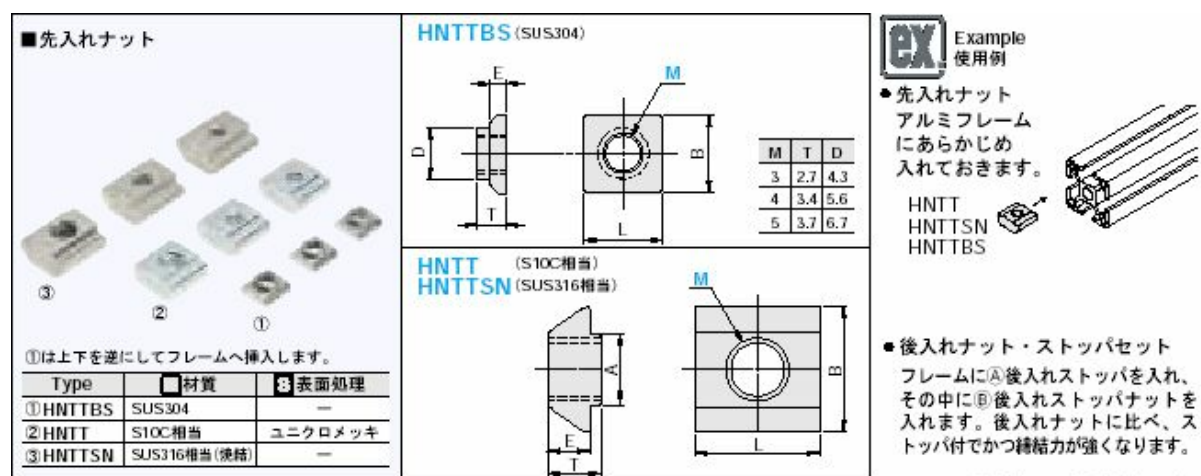


Fig4-2-3 先入れナット (HNTT M6)

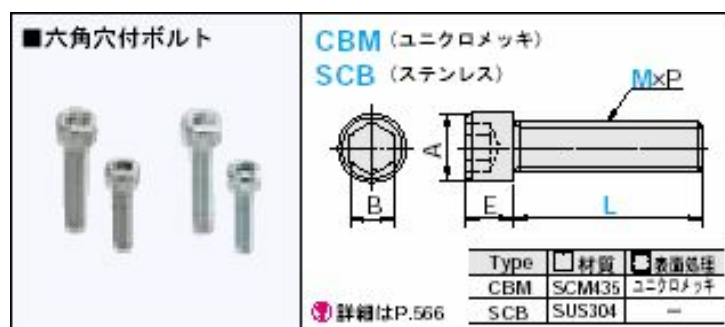


Fig4-2-4 六角穴つきボルト (CBN M6 L15)



Fig4-2-5 長ナット (HNTLG M6)



Fig4-2-6 フレーム及び組み立て部材

フレームの組み立て方を Fig4-2-7 に示す．本フレームは溝に専用のナットを入れることができ，L 字のブラケットによりフレーム同士を任意の場所で直角に接続することができ，容易に四角形や立方体，直方体を作ることができる．

■ フレームどうしの接続例

厚型ブラケットによる接続

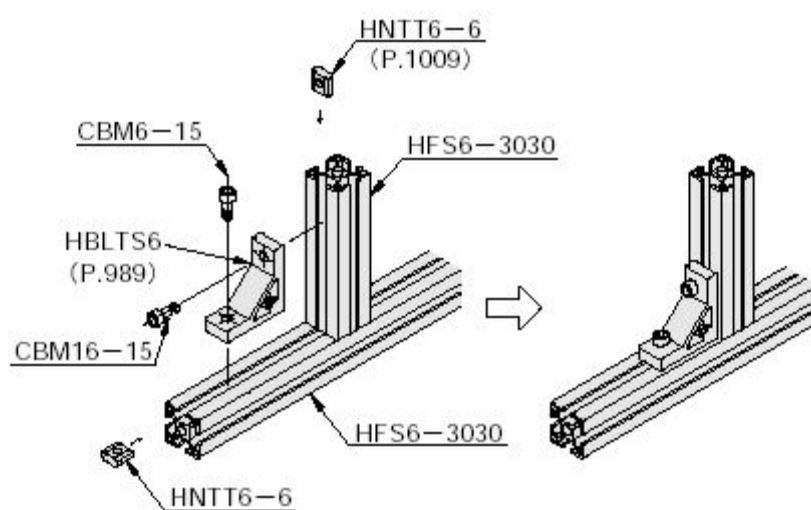


Fig4-2-7 フレームの組み立て方

・キャスター

ロボットの支えに使用するキャスター（HCHA M8 W60）を Fig4-2-8 に示す．図のようにキャスターを本体と同じフレーム材につなぎ，地面から 30 cm の高さでボディと組み合わせることができるようにする．個数は四本用意する．

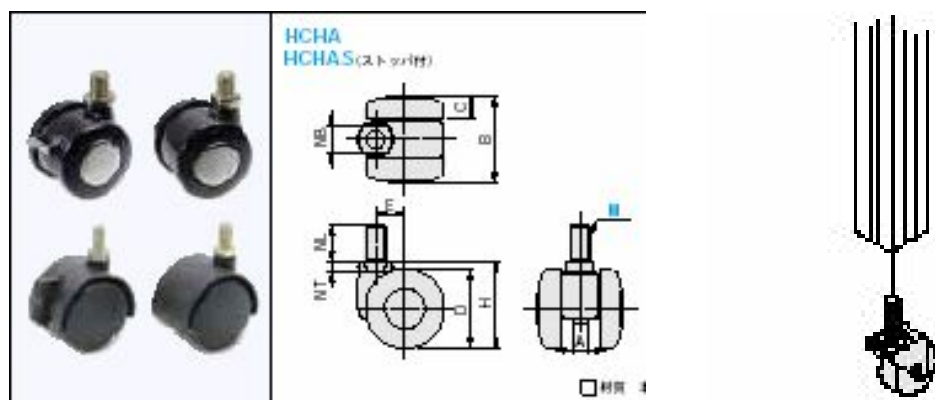


Fig4-2-8 キャスター（HCHA M8 W60）

・駆動輪

駆動輪には「4.1 概要」で前述した様に，オムニホイールを使用する．Fig4-2-9 に示すように，オムニホイールとは樽状のフリーホイールを環状に組み合わせて車輪にしたもので，駆動用に使用した場合，軸の垂直方向，すなわち車輪が地面を蹴る方向に対してはグリップが発生するが，軸の方向に対する負荷はフリーホイールの回転によって逃がしてしまう作用がある．作成した駆動輪のパーツを Fig4-2-10 に示す．用意した個数は4個．キャスターと同様に地面からの高さ 30 cm でボディと組み合わせることができるようにしている．モータは車軸と垂直に配置し，傘歯ギアによって駆動を伝達する．ギア比は 1 : 3 で設計をおこなった．

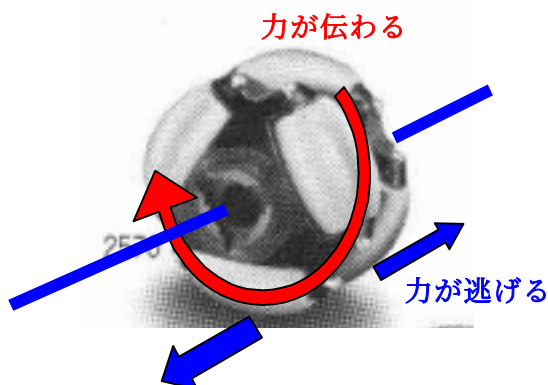


Fig4-2-9 オムニホイール



Fig4-2-10 駆動輪パーツ

オムニホイールには(株)富士製作所製オムニホイール (TYPE2571) (Fig4-2-11) を使用した。ただし，地面に駆動を伝える樽状のフリーホイールがナイロン製のため，摩擦が弱く，滑って地面に力がうまく伝わらないため，素材をウレタンで作りなおしている。

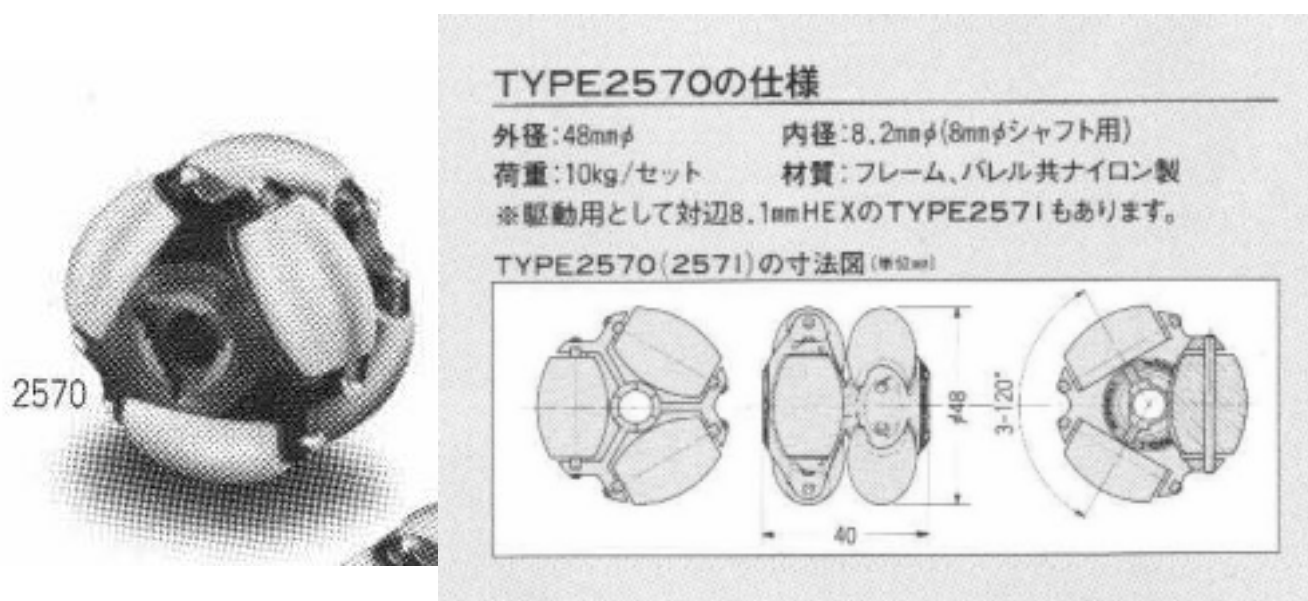


Fig4-2-11 オムニホイール TYPE2571 仕様

モータは日邦電機株式会社製 型式 MM-26EH HIGH SPEED MOTOR (Fig4-2-12, Fig4-2-13) を使用。高速、高出力で頻繁な起動・停止動作をおこなう電動工具用モータのため、苛酷な使用に耐えられるようにつくられている。また、このモータは減速機付きのモータであり、7.8 kg・cm という大トルクを出力することができる。



Fig4-2-12 モータ MM-26EH

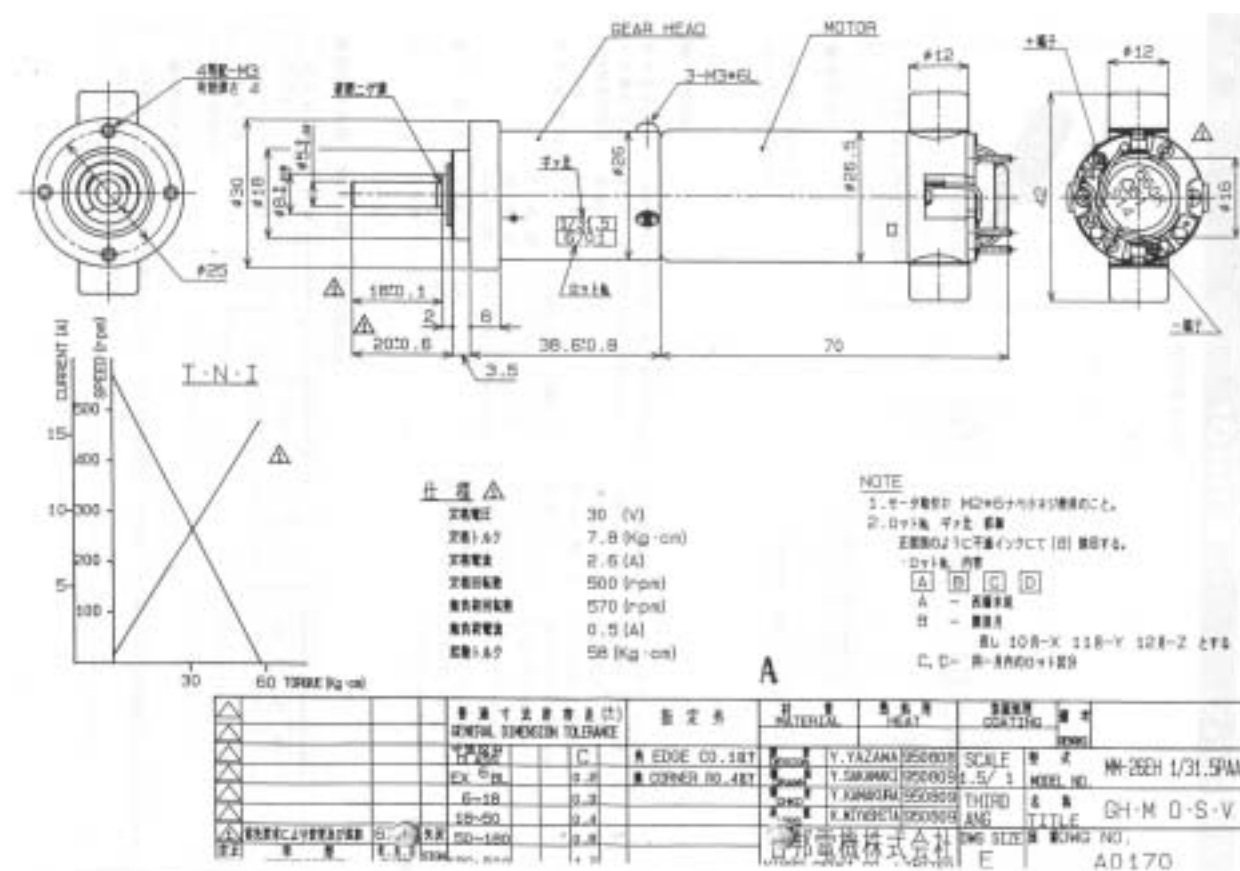


Fig4-2-13 モータ MM-26EH 仕様

4.3 システムパーツ

・モータ制御 BOX

ロボットの駆動輪は最大4つまでの範囲で個数を自由に選択させるため、1つのモータ（駆動輪）に対して1つの正転逆転回路を擁するモータ制御 BOX を用意する．全てのモータの駆動，モータ制御 BOX の制御を1つの電源でおこなうために，モータ制御 BOX 同士がコネクタで電源部を接続して，電源を共有できるようにしている．また，コントロールスイッチはコントローラーベースにマジックテープで固定，駆動輪の配置に合わせて，操縦がしやすいように自由に配置できるようにする．Fig4-3-1 には駆動輪を2つ用いた場合のモータ制御ボックスの構成例を示す．

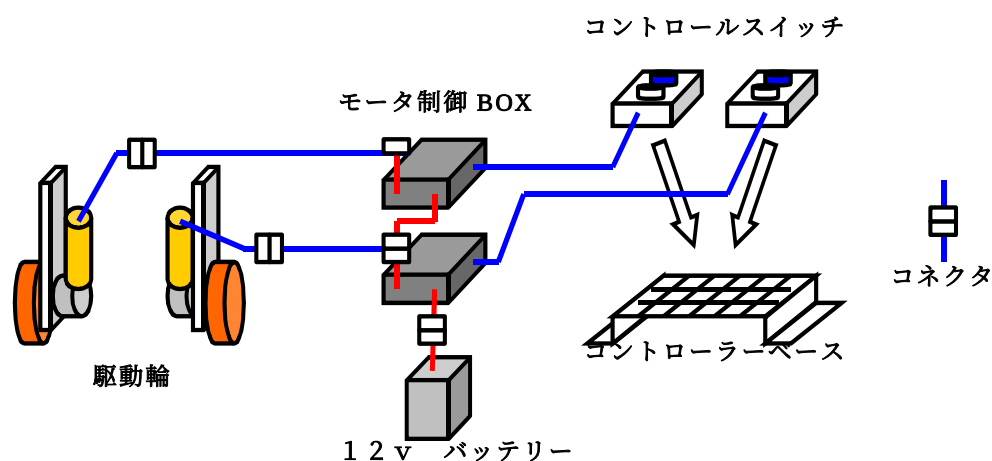


Fig4-3-1 モータ制御 BOX 構成

Fig4-3-2 にモータ制御 BOX の回路原案を示す．3 接点のレバースイッチとメカニカルリレー 2 つでモータの正転逆転を行う．スイッチとリレー 2 つの計 3 つの部品しか使用していない単純な回路なので，電気とモータ，リレーの電磁石の原理説明と，シーケンシャルな ON/OFF の回路をたどるだけで小学生にも回路の意味がわかるようにしている．リレーは(株)松下電工製 ST2-L2-DC12V を使用．31×14×11mm と小型ながら，8 A と高容量なのが特徴である．

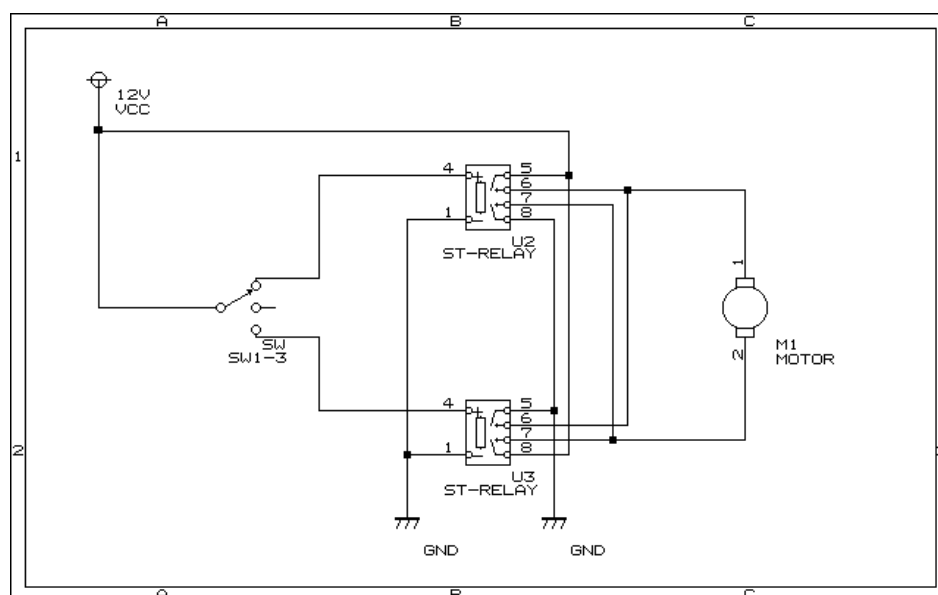


Fig4-3-2 3接点レバースイッチによるモータ正転逆転回路

しかし、実際の試作にあたって、ちょうど良い3接点のレバースイッチを見付けることができなかったため、プッシュスイッチ2つでモータの正転逆転を行うこととした。その際、そのままの回路で製作した場合、プッシュスイッチ2つが同時に押されたとき電源がショートしてしまうため、Fig4-3-3に示す回路となってしまう、小学生に説明するには複雑となってしまった。またリレーは駆動電圧を5Vとし、ST2-L2-DC12VからST2-L2-DC5Vへ変更している。

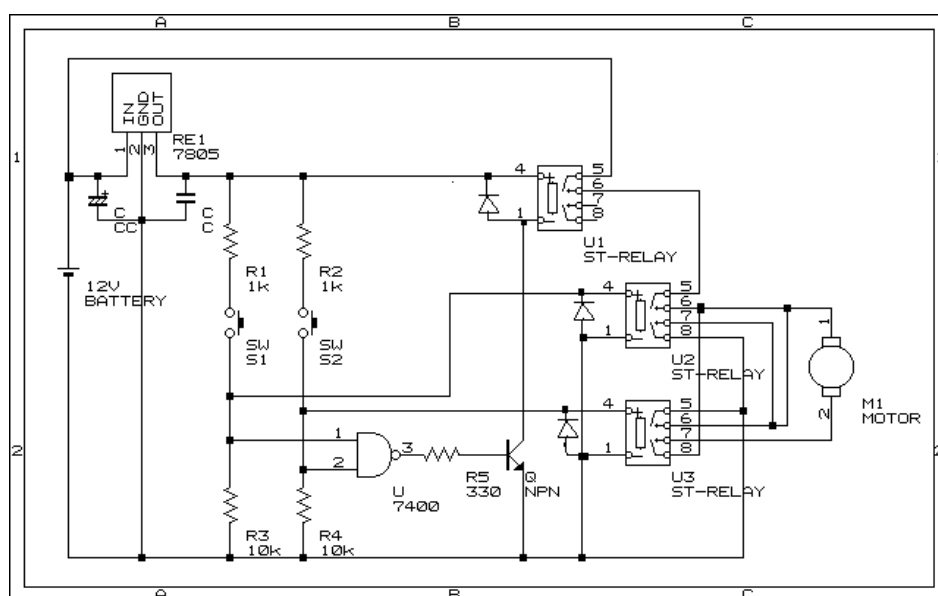


Fig3-3-3 モータ制御 BOX 実回路

Fig4-3-3 に示すモータ制御 BOX 実回路を、機能別に Fig4-3-4, Fig4-3-5, Fig4-3-6 の回路図を用いて説明する。

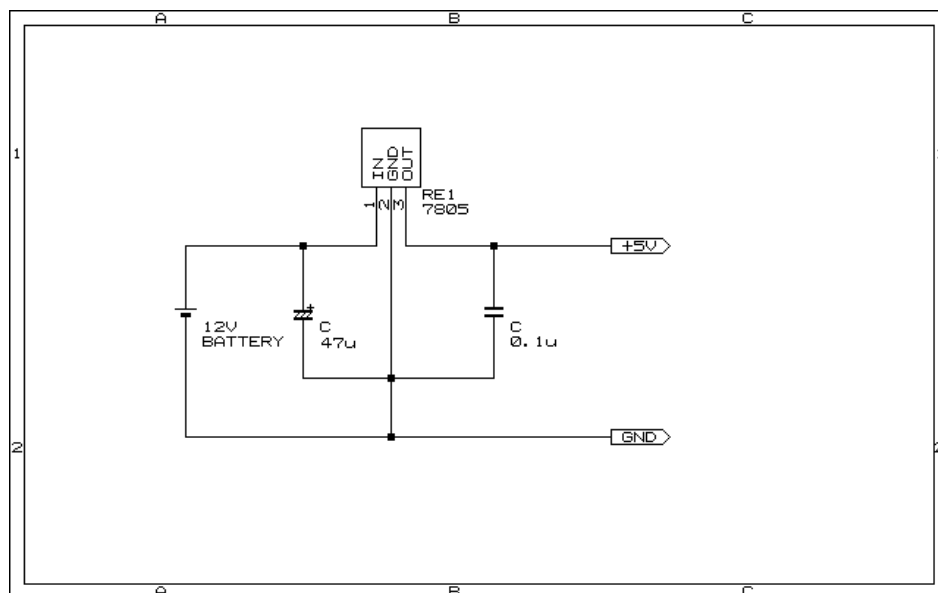


Fig4-3-4 5 v 電源回路

Fig4-3-4 に 5 v 電源回路を示す。Logic IC の電源に 5 v が必要なため、レギュレータで 12 v から 5 v を作る。

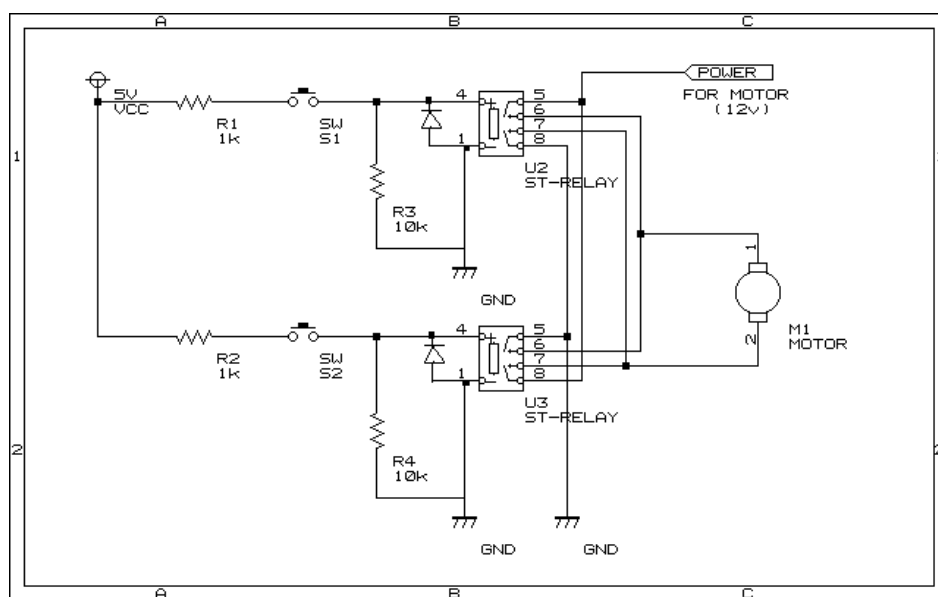


Fig4-3-5 モータ正転逆転回路

Fig4-3-5 にプッシュスイッチ 2 つによるモータ正転逆転回路を示す。S1, S2 のスイッチと, U2, U3 のリレーの駆動がそれぞれ対応している。リレーの信号入力部にはプルダウンとダイオードによるリーク電流からの保護をおこなっている。この回路のモータ用電源供給に 12V の電源を直接つないでしまうと, S1, S2 の両方のスイッチを押した場合, 電源がショートしてしまうので, Fig4-3-6 に示す電源ショート回避回路が必要となる。これはモータ用電源供給にリレースイッチをつけ, ナンド回路によって S1, S2 の両方のスイッチを押した場合にモータ用電源供給をカットしてしまうというものである。

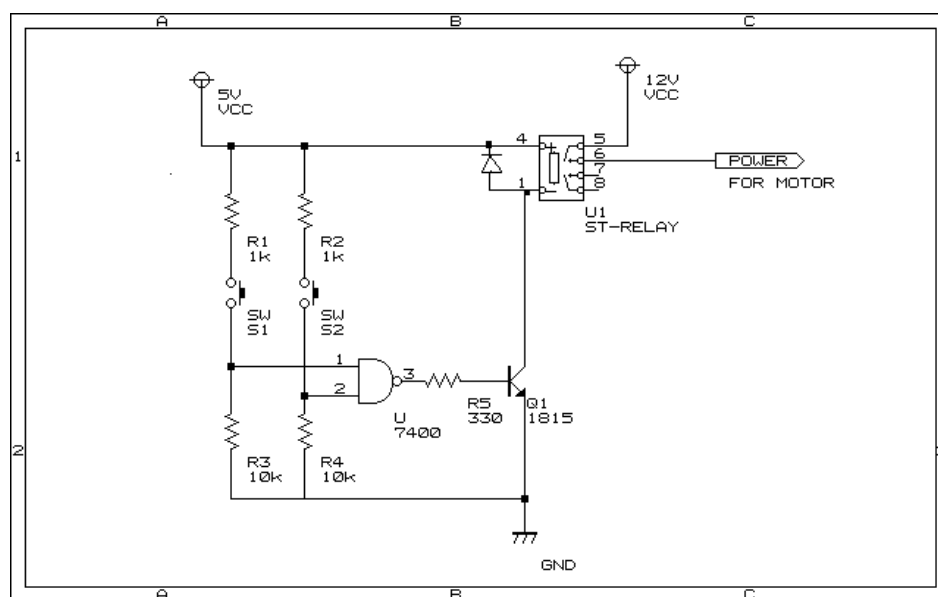


Fig4-3-6 電源ショート回避回路

・電源

Fig4-3-7 に示すように, 電源には(株)ユアサコーポレーション製小型シール鉛蓄電池 12V (NPH5-12) を 1 つ用いる。ロボットのボディに電源ケースにより固定をする。

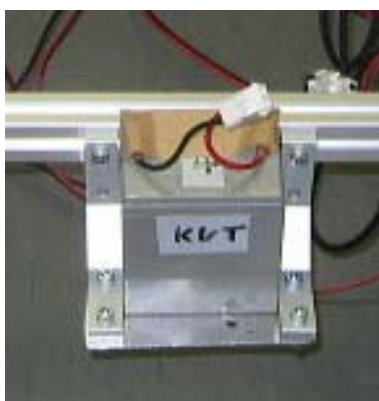


Fig4-3-7 電源

4.4 パーツリスト

Fig4-4-1 にロボット作成ツールのパーツリストを示す.

パーツ名	個数
溝付きアルミフレーム 20cm	8本
溝付きアルミフレーム 40cm	8本
溝付きアルミフレーム 60cm	8本
溝付きアルミフレーム 80cm	8本
L字ブラケット	32個
六角ねじ M6	150個
ナット	150個
長ナット	16個
フレーム付きキャスター	4本
駆動輪	4個
モータ制御 BOX	4セット
コントローラーベース	1枚
12Vバッテリー	1個
電源ケース	1個
六角ねじ締め	人数分

Fig4-4-1 パーツリスト

4.5 作成例

ロボット作成ツールのキャストと駆動輪を組み合わせて作ることができる基本的な足回りの構成例と，その動きについて解析する．

・2 輪差動型

重心を通る同軸上に駆動輪を並列に配置したもの．前後進，左右旋回，左右回転を行うことができる．Fig4-5-1 に構成を，Fig4-5-2 に移動パターンを示す．

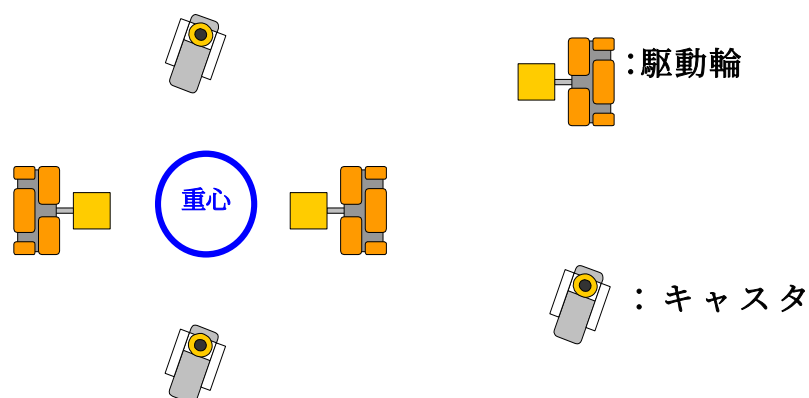


Fig4-5-1 2 輪差動型 構成

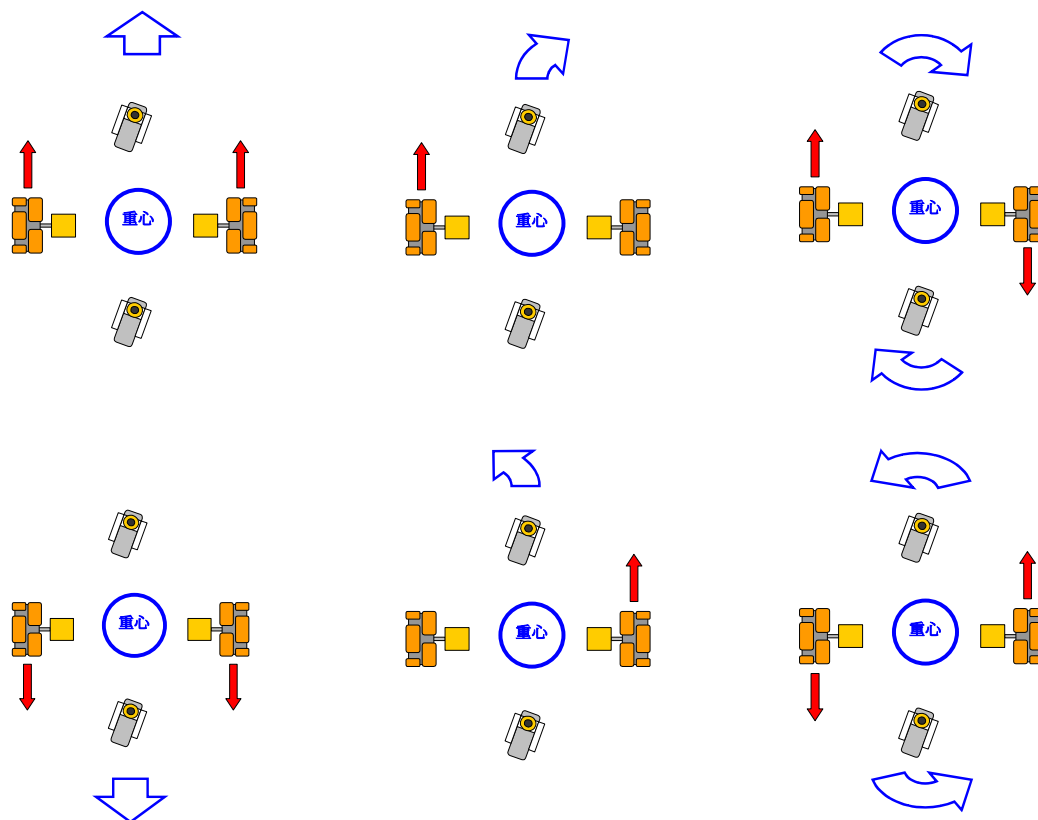


Fig4-5-2 2 輪差動型 移動パターン

・やまびこ型 ①

重心の後方，同軸上に駆動輪を並列に配置したもの．前後進，左右旋回を行うことができる．Fig4-5-3 に構成を，Fig4-5-4 に移動パターンを示す．

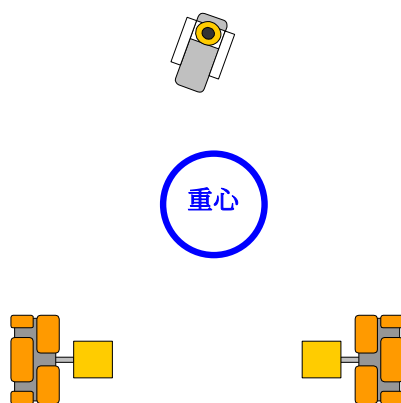


Fig4-5-3 やまびこ型① 構成

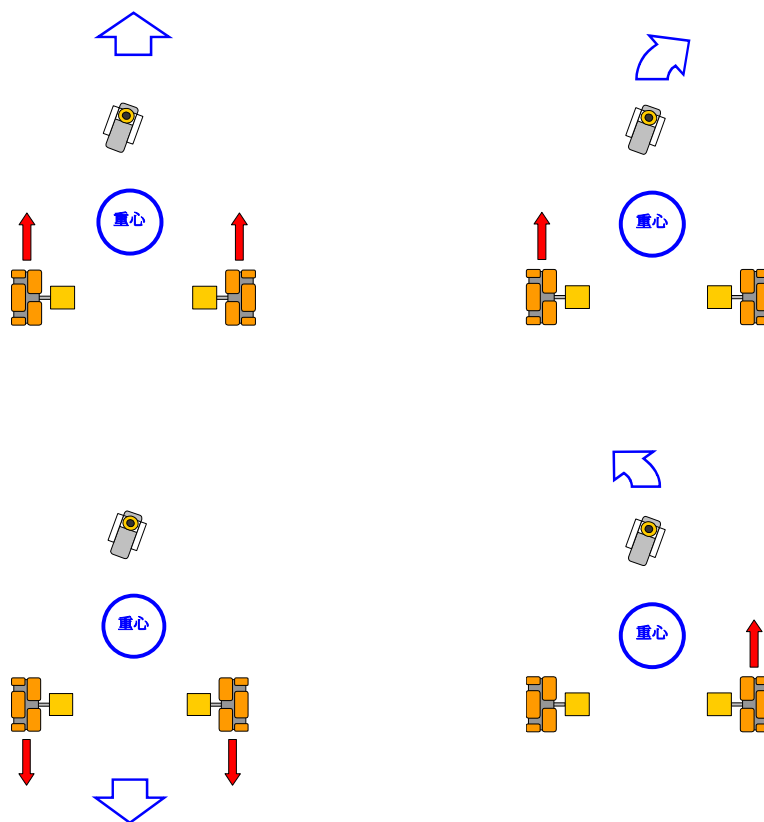


Fig4-5-4 やまびこ型① 移動パターン

・やまびこ型 ②

重心の前方，同軸上に駆動輪を並列に配置したもの．前後進，左右旋回を行うことができる．Fig4-5-5 に構成を，Fig4-5-6 に移動パターンを示す．

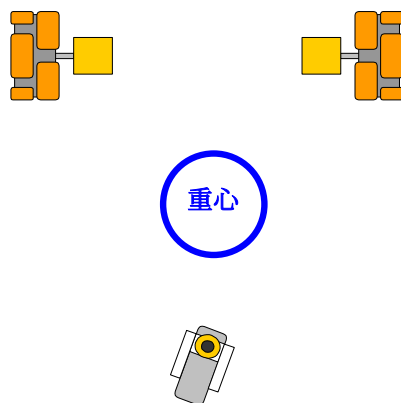


Fig4-5-5 やまびこ型② 構成

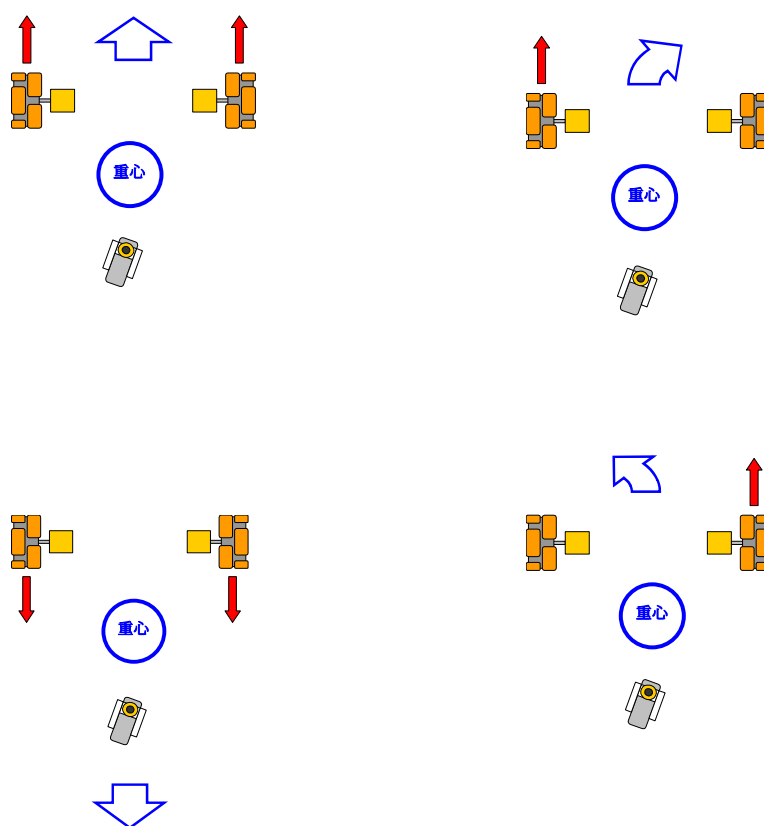


Fig4-5-6 やまびこ型② 移動パターン

・操舵輪型

前後進用駆動輪（図では 2 つだが、1 つでも可能）に対して垂直の向きに操舵用として駆動輪を配置したもの．前後進，左右旋回を行うことができる． Fig4-5-7 に構成を， Fig4-5-8 に移動パターンを示す．

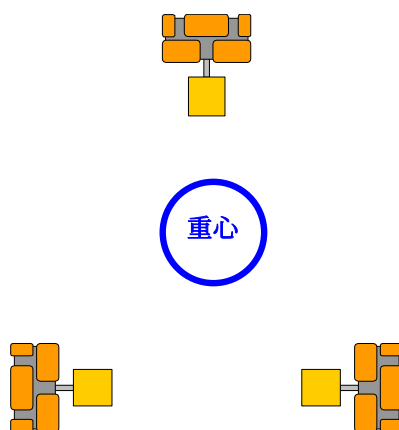


Fig4-5-7 操舵輪型 構成

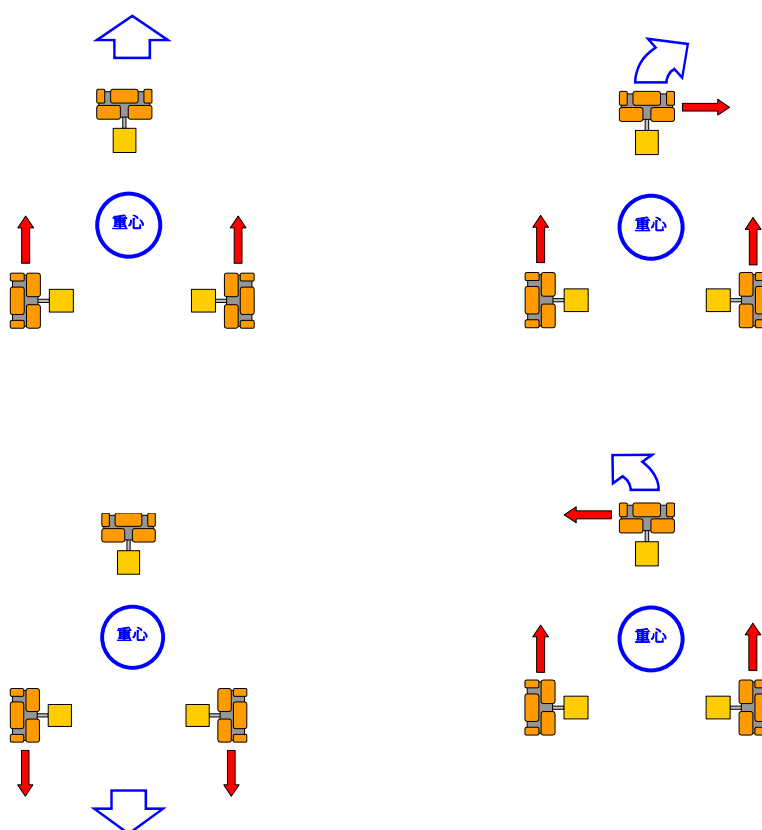


Fig4-5-8 操舵輪型 移動パターン

・全方向移動型

重心に対して十字に4つ駆動輪を配置したもの。前後左右，斜め，回転を行うことができる。Fig4-5-9 に構成を，Fig4-5-10 ， Fig4-5-11 に移動パターンを示す。

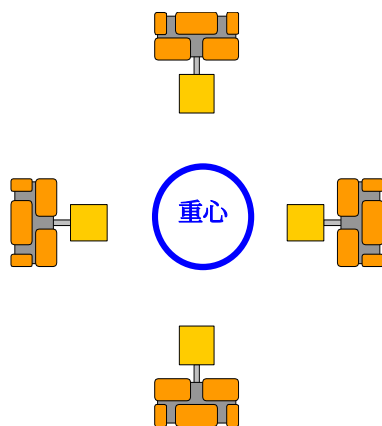


Fig4-5-9 全方向移動型 構成

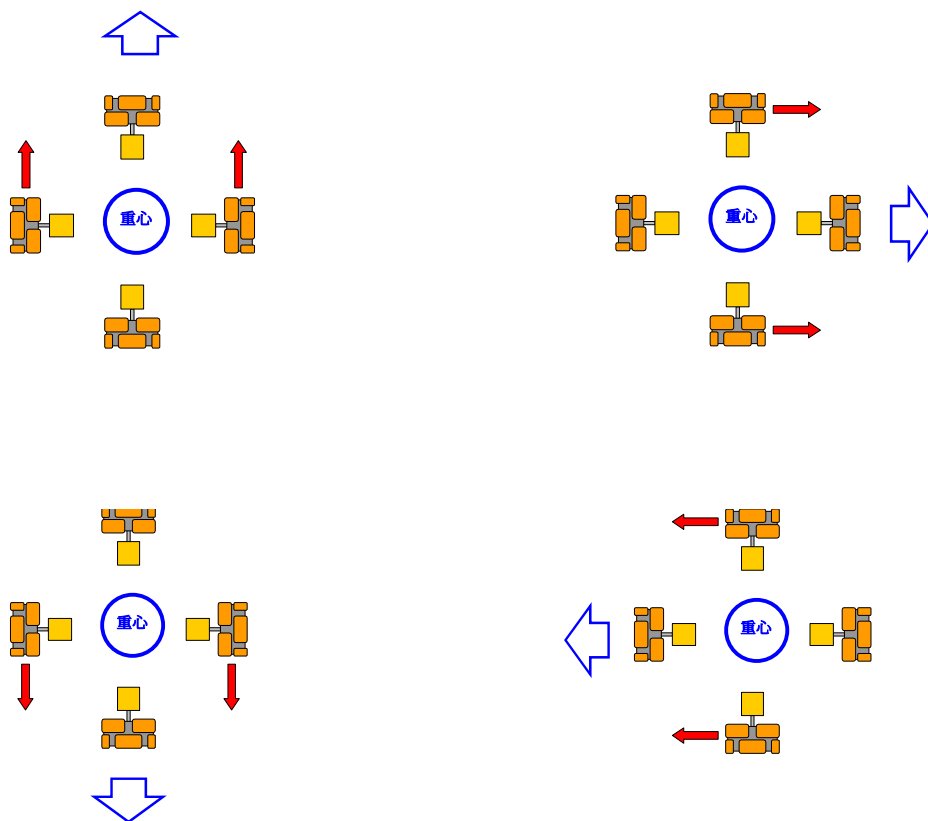


Fig4-5-10 全方向移動型 移動パターン①

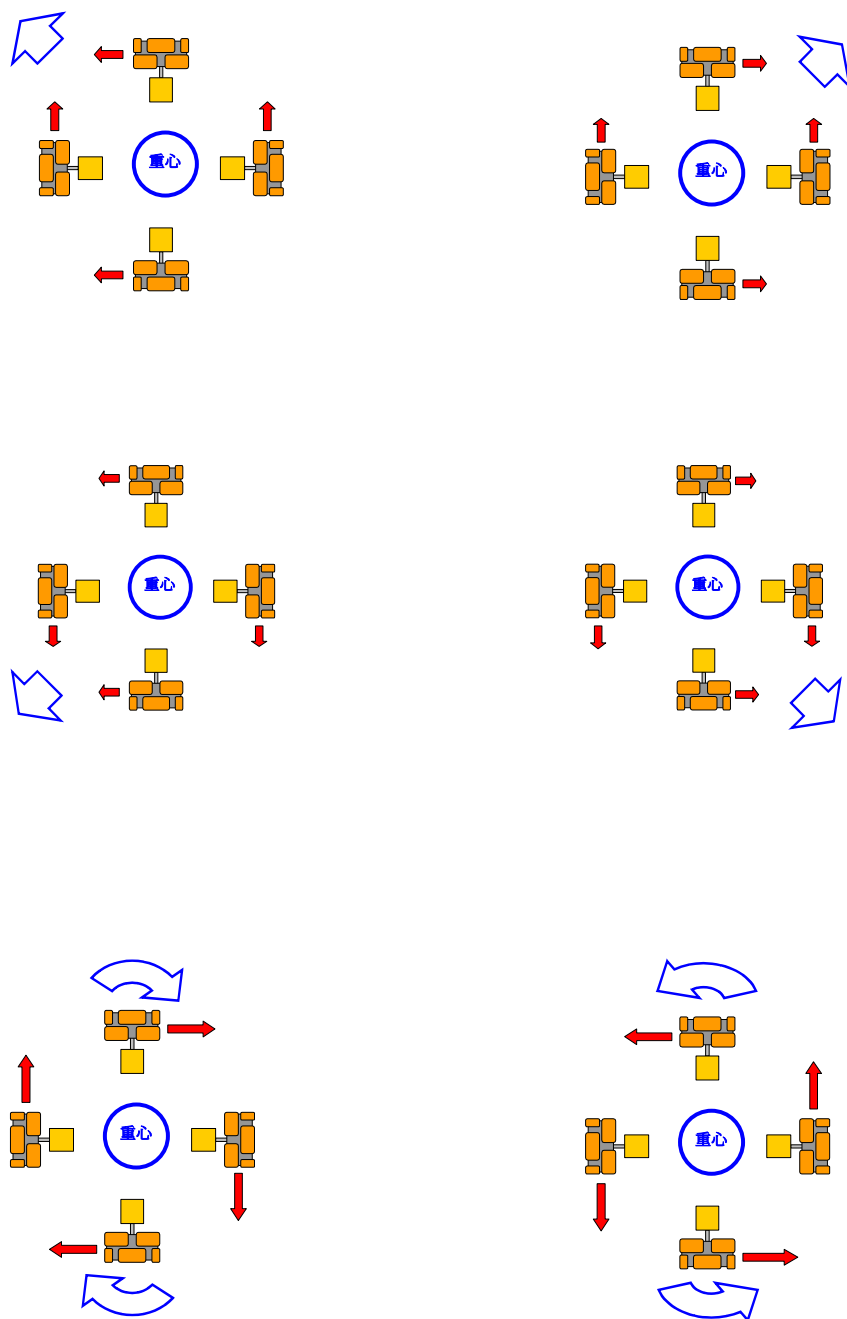


Fig4-5-11 全方向移動型 移動パターン②

4.6 運用実験

「ロボット製作教室」の運用実験にあたって、指導教員である王碩玉教授の小学生のお子さん2名に協力をしてもらった。製作の手順としては、フレームや駆動輪の組み立て方を理解するために、我々が仮組みして動きを見せたロボット（Fig4-6-1）を子供自身にばらしてもらった。次に紙や黒板などでロボットのイメージや、設計、組み立て手順を話し合わせる（Fig4-6-2）。つづいて実際の組み立てに移らせる。



Fig4-6-1 仮組みしたロボット



Fig4-6-2 設計

子供が設計，組み立てをしたロボットを Fig4-6-3, Fig4-6-4 に示す．コンセプトは2人で乗って遊べるもの．特徴はロボット中央にある子供が二人並んで座れる腰掛で，はしご状に短いフレームを並べることでお尻が痛くならない工夫がなされている．駆動輪の配置は Fig4-6-5 に示す形で，前後進と左右旋回がおこなえる．その場での回転は駆動輪に無理な負荷がかかるのでスムーズに行うことが出来なかった．



Fig4-6-3 製作したロボット



Fig4-6-4 製作したロボット

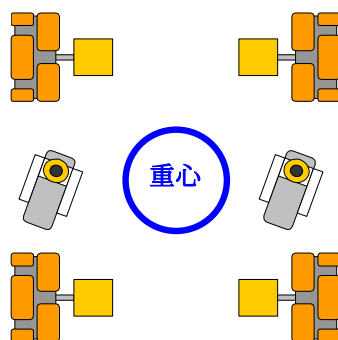


Fig4-6-5 製作したロボットの足回りの構成

製作所要時間 約 3 時間

製作人数 子供 2 名 + 野村, 浜口

感想

製作に 2 時間以上もかかってしまったので、子供たちが飽きてしまうのではないかという懸念があったが、3 時間で組み立てを終えた後、1 時間以上も乗って遊んでもらえた為、子供に気に入ってもらえる教材であるという確信が持てた。また、今度はこんなロボットが作りたい、こんなパーツがほしいという話から、このタイヤを回したらどうなるのだろう？どれぐらいの重さがあるのかな？測って見よう。といった科学的な疑問に対して興味を持ち、その場で検証を行ったりしたことから、この教材の有効性が示せたと考えられる。

問題点

- ・駆動輪のパーツのフレームが弱い。この為、ロボット本体と子供を支える為にキャスターの取り付けが必須であり、ロボットのボディ形状のバリエーションの幅を狭めている。また、回転等の負荷にたいしてねじれていた。
- ・駆動輪の速度が遅い。本実験では大学研究室の入り口という狭い空間で遊んでもらった為、子供たちからの不満の声は無かったが、小学校の教室や体育館で実施した場合競技等を行うのに適した速度を得ることができない。
- ・フレームを組んだときナットを入れる溝がふさがれるフレームがでる為、後からパーツを付け加えたり、フレームを追加したりする為には、組んだフレームの一部をばらさなければならない。この作業は割と時間がかかる上、フレームとねじ、ナットの関係がきちんと理解していないと子供は混乱してしまい、集中力を切らしてしまう恐れが有る。

第5章 結論

5.1 まとめ

今回、ロボットの実体性とマンガの想像性を融合した創造性教育法の開発研究における、感性の向上を目的とした「UFO型ロボット」の開発と、創造性の育成を目的とした「ロボット作成教室」の提案、およびそれに使用する「ロボット作成ツール」の開発を行った。

第1章では現在の教育のあり方と、創造性教育の現状を述べた上で、本研究の意義を説明した。

第2章では創造性の育成プログラムを提案した。創造性育成の要素として、現実性、感性、空想性、創造性をあげる。具体的な手段として、現実性においてロボットの実態を体験する。感性において物理現象を深く理解する。空想性においてマンガの表現力で夢を描く。創造性において今までに無い新型ロボットを創り出す。この一連の作業をサイクルとして繰り返すことにより、創造性の育成を図ることを提案した。

第3章では現実のロボットによる実体験をもたらし、物理現象への疑問や興味、思考と理解を促し、感性の向上を図る「UFO型ロボット」の開発について述べた。まず「UFO型ロボット」についての概要を述べ、ロボットの構成と機能について説明した。次に移動機構において球型アクチュエータによる全方向移動機構を適用し、そのメカニズムについて解析をおこなった。次に制御システムの構成を紹介して、制御仕様を示した。つづいて、小学校の総合化授業に採用してもらい、小学1年生1クラスを対象に運用実験をおこない、その効果を示した。

第4章では現実性、「UFO型ロボット」に感性で触れ、自分の作りたいロボット、夢のロボットについて空想し、「マンガ」で表現をした子ども達の次のステップとして、創造性の向上を目的とした「ロボット作成教室」を提案した。そして、その際に使用する「ロボット作成ツール」の開発について述べた。まず、「ロボット作成教室」の概要について説明し、「ロボット作成ツール」を提案した。次にロボットのボディと機構部分を形成させるメカニカルパーツについて説明し、制御システムを構成させるシステムパーツについて述べ、ロボットの作成例とその動作について紹介した。つづいて、小学生2人組みを対象に運用実験を行い、その効果を示した。

5.2 問題点の対応策

第3章 感性の向上を目的とした「UFO型ロボット」の3.5 運用実験であげられたの問題点についての対策を示す.

問題 ジョイスティックが接触不良を起こした. CPUボード側のコネクタが弱かった様である.

対策 配線, コネクタについて再検討を行う.

問題 移動速度が遅い. 競技時間がかかってしまう原因のひとつ.

対策 モータ主電源の電圧を12Vから24Vに上げる. ただし, 同じに消費電力も上がってしまう為, 実験環境によって選択を行う.

問題 通気性が悪い. 暑いという感想が多かった.

対策 夏に運用する場合, ロボットの中に小型扇風機を入れる.

問題 対象の人数が多かった為, 1人1回, 3分程度しか乗ることが出来なかった. その時間で子供が十分満足できたかは疑問である.

問題 ロボットの操縦方法を, 1人1人ロボットに乗るたびに説明したので時間がかかった.

問題 競技を目の前で見ていたにもかかわらず, ロボットに乗ったとたんに何をしたら良いのか解らない子が多く, 競技時にはロボットの前で指示を出してジョイスティックの傾ける方向を指示しなければならなかった.

対策 対象人数が30名だと, どうしても流れ作業的に対応せざるをえないので, 創造性育成プログラムの1度に対応するの対象人数を10名とするのが望ましい. 競技をもっと単純化して全員の前で1度に説明しても理解できるようにする. ロボットの操縦方法を簡潔にまとめたものを配布する.

問題7 ロボットの運搬が困難. 運搬には軽トラックが必要であり, 持ち抱えるのに4人が必要.

対策 ロボットのフレームに取っ手などをつけて持ち運びを楽にする.

第4章 創造性の向上を目的とした「ロボット製作教室」の4.6 運用実験であげられたの問題点についての対策を示す.

問題1 駆動輪のパーツのフレームが弱い. この為, ロボット本体と子供を支える為にキャスターの取り付けが必須であり, ロボットのボディ形状のバリエーションの幅を狭めている. また, 回転等の負荷にたいしてねじれていた.

対策 駆動輪パーツのフレームにL材などを溶接して強度を上げる.

問題2 駆動輪の速度が遅い. 本実験では大学研究室の入り口という狭い空間で遊んでもらった為, 子供たちからの不満の声は無かったが, 小学校の教室や体育館で実施した場合競技等を行うのに適した速度を得ることができない.

対策 モータと駆動輪のギア比を1:3から1:2, または1:1に換える.

問題3 フレームを組んだときナットを入れる溝がふさがれるフレームがでる為, 後からパーツを付け加えたり, フレームを追加したりする為には, 組んだフレームの一部をばらさなければならない. この作業は割と時間がかかる上, フレームとねじ, ナットの関係がきちんと理解していないと子供は混乱してしまい, 集中力を切らしてしまう恐れが有る.

対策 ナットを後はめ式の物に換える. ただし, 組み合わせたボディの強度が落ちたり, 先入れ式ナットとは組み立てのコツが違う為, 検証が必要.

5.3 今後の課題

本論文中では, 創造性育成プログラムの現実性, 感性, 空想性, 創造性の項目の中で, 現実性, 感性, 空想性の運用実験と創造性の運用実験を分けて行ったので, 実施対象を定めて, 一貫したプログラムの実施を行い, 数回のサイクルの中での創造性育成に対する効果を測ることが今後の課題となる.

参考文献

- [1] 森正弘：ロボコン博士のもの作り遊論，オーム社，1999．
- [2] 油田信一：ロボット通した工学教育，ロボット学会誌，vol.16，no.4,pp21-22,1998．
- [3] Wada Masayoshi・Haruhiko H Asada：Design and Control of a Variable Footprint Mechanism for Holonomic Omnidirectional Vehicles and its Application to Wheelchairs, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, vol15, No6 , 978-989 , 1999.
- [4] M.Wada,H.Asada:Design and Control of a Variable Footprint Mechanism for Holonomic Omnidirectional Vehicles and its Application to Wheelchairs, IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 15, no. 6, pp. 978-989, Dec. 1999.
- [5] E. Nakano et al：1983 Int. Conf. on Advanced Robotics, pp. 277-284, 1983.

謝辞

本論文は筆者が高知工科大学基盤工学専攻修士課程において行った研究をまとめたものです。

本研究を行うにあたって終始ご指導ご鞭撻を下さった、高知工科大学知能機械システム工学科王碩玉教授に深く感謝いたします。そして、本研究の共同研究者として、研究分野の壁を超えて貴重なご意見を下さった、京都精華大学芸術学部マンガ学科牧野圭一先生に深く感謝いたします。

また、本研究の共同研究者として共にロボット開発を行った、高知工科大学知能機械コース修士課程浜口和洋氏、忙しい中時間を割いて実験の手伝いをしてくださった高知工科大学ロボット倶楽部の皆さんに深く感謝と御礼を申し上げます。

そして、同研究室員として様々なご助言、ご指導を下さった、高知工科大学知能ロボティクス研究室員、博士課程の陳貴林氏、溝渕宣誠氏、修士課程の菅野正人氏、隅田由紀氏、伊藤淳氏に深く御礼を申し上げます。

最後に、筆者のために大学院での2年間の研究生活を支えてくださった両親に深く感謝いたします。

2003年1月30日