

卒業論文

生活環境センサネットワーク室における 移動台車システムの研究

通し番号 1 - 90 完

平成14年2月8日提出

指導教官 佐藤 知正 教授

00300 福井 類

目次

目次	2
図目次	5
表目次	8
1 緒論	9
1.1 本研究の背景と位置付け	9
1.2 本研究の目的	10
1.3 関連研究	12
1.4 本論文の構成	12
2 生活環境センサネットワーク室におけるロボットの要求機能と実現方法	13
2.1 生活環境センサネットワーク室	13
2.2 室内生活環境で動作する移動台車ロボットの要求機能	15
2.2.1 対人安全確保・能力に適合した印象を人に与える機能	16
2.2.2 運搬機能	17
2.2.3 環境認識機能	18
2.2.4 自己状態認識・危機回避機能	19
2.2.5 人による強制移動を容易にする機能	20
2.2.6 人間空間確保機能	21
2.2.7 自己状態通知機能	22
2.3 台車の生活環境センサネットワーク室への適応方法	23
2.3.1 台車内部制御機能	23
2.3.2 計測機能	24
2.3.3 ネットワーク機能	24
2.3.4 データ解析・提示機能	24
3 移動台車の設計（必要機能の実装）	25
3.1 対人安全確保機能・能力に適合した印象を人に与える機能	25
3.1.1 荷台の確保	26
3.1.2 安全な形状	26
3.1.3 機体形状が人間に与える印象	26
3.2 運搬機能の実装（アクチュエータ）	28

3.2.1	要求仕様	28
3.2.2	実現機構	28
3.2.3	設計	31
3.2.4	走行抵抗係数の測定実験	36
3.2.5	製作	39
3.3	環境認識機能の実装（2信号接触スイッチ）	40
3.4	自己状態認識機能の実装（ロードセル）	43
3.5	人間による強制移動を容易にする機能の実装	44
3.6	人間空間の確保、危機回避機能の実装	45
3.7	状態通知機能の実装	47
4	制御システムの設計・構築	50
4.1	台車内部制御の実現	51
4.1.1	MasterPIC回路の設計・製作	52
4.1.2	TouchDetectorPIC回路の設計・製作	55
4.1.3	MotorHandlerPIC回路	58
4.2	計測機能の実現	61
4.3	ネットワークの構築	64
4.4	データ解析・提示機能の実現（制御用PCプログラムの作成）	67
4.4.1	要求機能	67
4.4.2	床センサ情報より台車の位置・角度を推定するアルゴリズムについて	67
4.4.3	製作	69
5	機能評価実験とその考察	71
5.1	運搬機能の基本性能試験	71
5.2	2信号スイッチの性能測定と移動物体・非移動物体の識別実験	71
5.3	ロードセルによる荷重測定実験	74
5.4	床センサによる台車位置・角度情報の入手とその評価	74
6	結論	79
6.1	結論	79
6.1.1	台車について	79
6.1.2	台車の生活環境センサネットワーク室への適応について	80
6.2	将来課題	81
6.3	将来展望	82
A	移動台車計画図	83
B	回路図一覧	84
B.1	MasterPIC回路図	84
B.2	TouchDetectorPIC回路図	85
B.3	MotroHandlerPIC回路図	86

目次	4
参考文献	87
謝辞	88

図目次

1.1	室内生活環境で動作する移動台車の目標シナリオ	10
1.2	生活環境センサネットワーク室で動作する移動台車の目標シナリオ	11
2.1	生活環境センサネットワーク室の様子	13
2.2	生活環境センサネットワーク室のシステム構成図	14
2.3	機体形状が人間に及ぼす影響	16
2.4	運搬物による運搬機能仕様の変化	17
2.5	接触認識機能の必要性	18
2.6	自己認識・危機回避機能が必要とされる場面	19
2.7	ロボット強制移動時の人への影響（イメージ図）	20
2.8	人間空間確保機能が及ぼす影響（イメージ図）	21
2.9	状態通知機能が及ぼす影響（イメージ図）	22
2.10	移動台車システム機能構成図	23
3.1	CG Cart figure(Whole View)	25
3.2	CG Cart figure(Top View)	27
3.3	Cart Photos(Whole View)	27
3.4	Cart Photos(Whole View with Scale)	28
3.5	タイヤとその固定の様子	29
3.6	Rotary Encoder(Microtech Laboratory 社製)	30
3.7	台車分解図（CG）	30
3.8	移動台車の車輛モデル	31
3.9	DC Motro and Gear	34
3.10	走行抵抗係数測定実験の方法	36
3.11	マットAの荷重による抵抗値の変化	37
3.12	マットBの荷重による抵抗値の変化	37
3.13	マットCの荷重による抵抗値の変化	38
3.14	台車の動力まわりの様子	39
3.15	2信号スイッチ MSTBD-12	40
3.16	2信号スイッチ（CAD 図面）	41
3.17	2信号スイッチ設置の様子	42
3.18	2信号スイッチ設置の様子（バンパー取り付け時）	42
3.19	ロードセルの設置の様子	43

3.20	取っ手の様子	44
3.21	取っ手に手をかけたときの様子	44
3.22	CG Cart Figure(Downside)	45
3.23	充電用端子 (台車裏側)	46
3.24	充電ドック	46
3.25	LED (消灯時)	47
3.26	LED (赤点灯時)	48
3.27	LED (青点灯時)	48
3.28	LED の点滅と対応する情報	49
4.1	制御システム概要	50
4.2	台車内の PIC の関係図	51
4.3	MasterPIC 回路の概要	52
4.4	MasterPIC 回路	53
4.5	MasterPIC Flow-Chart	54
4.6	TouchDetectorPIC 回路の概要	55
4.7	TouchDetector 用プログラムの流れ図	56
4.8	TouchDetectorPIC 回路	57
4.9	MotorHandlerPIC 回路の概要	58
4.10	MotorHandlerPIC 回路	59
4.11	MotorHandlerPIC 用プログラム流れ図	60
4.12	床センサ	61
4.13	床センサのスイッチの様子	62
4.14	床センサ用コントロール回路	62
4.15	床センサを 16 枚並べた様子	63
4.16	移動台車システムネットワーク図	64
4.17	内蔵用シリアル無線機	65
4.18	デスクトップ設置型シリアル無線機	65
4.19	(Ethernet-Serial) 変換器	66
4.20	比較元となるテンプレートサンプル	68
4.21	テンプレートマッチングの様子。	68
4.22	プログラムモジュールとその各機能	69
4.23	製作したプログラムの実行画面	70
5.1	2 信号スイッチ性能試験の様子	72
5.2	2 信号スイッチ性能試験で用いた実験器具	72
5.3	2 信号スイッチの入力信号と接触対象速度の関係	73
5.4	実験中の制御用 PC の動作画面	75
5.5	測定のための台車の配置条件	76
5.6	「台車位置」と「台車角度」の定義に関する説明	76
B.1	MasterPIC 回路図	84

B.2 TouchDetectorPIC 回路図	85
B.3 MotorHandlerPIC 回路図	86

表目次

3.1	移動台車の運搬機能における基本仕様	28
3.2	ロータリーエンコーダの仕様	29
3.3	式 3.1 中の変数の説明	31
3.4	式 3.1 中の変数の本台車における値	32
3.5	式 3.1 中の変数の説明	32
3.6	式 3.4 中の変数の説明	33
3.7	DC モータアプリケーションデータ	33
3.8	DC モータおよび遊星ギアの必要仕様 (片方のモータのみ)	34
3.9	DC モータ及び遊星ギアのカタログデータ	35
3.10	2 信号スイッチの衝突時間と速度の関係	41
3.11	ロードセルの仕様	43
4.1	PIC16F877 の基本仕様	53
4.2	PIC16F876 の基本仕様	56
4.3	Motor Driver IC 基本仕様	59
4.4	床センサ用コマンド一覧	63
4.5	制御 PC と床コントローラ, 無線機と (Ethernet-Serial) 変換器のシリアル通信の設定	66
5.1	運搬機能の基本仕様と実現した台車の仕様との比較	71
5.2	式 5.1 の変数の説明	73
5.3	ロードセルによる推定荷重値と実際の荷重との比較	74
5.4	床センサによる台車位置・姿勢情報の推定結果 (条件)	77
5.5	床センサによる台車位置・姿勢情報の推定結果 (条件)	77
5.6	床センサによる台車位置・姿勢情報の推定結果 (条件)	78

第1章

緒論

1.1 本研究の背景と位置付け

取ってきて欲しいものがあるときに、それを自分の手元まで運んでくれる。そんな機能を担うものは人であれ、ロボットであれ便利であり、うれしいものである。

本研究ではそのような要求をかなえる移動台車を実現することを目標とする。これを実現する方法を考えると、例えばヒューマノイドロボットがまるでメイドのように物を運んでくれる、ペットロボットが背中に荷物を載せて運んでくれる、など単一ではないだろう。そして、本研究では部屋に埋め込まれたロボットおよびセンサー群によって、これを実現することを目指す。この部屋型ロボットは佐藤・森研究室が人間の日常生活を高度に支援するためにはロボット自身が人間の行動を長時間に渡って理解および認識する必要があるとし構築した、生活環境センサネットワーク室（通称：ロボティックルーム）と呼ばれるものである。今までこれによって人間生活に関するさまざまなデータを蓄積してきた。そして現在、そこで蓄積されたデータから得られた情報を現実世界にフィードバックし、実際に人間を支援するためのアクチュエータシステムを構築している。ここにおけるフィードバックとは、アクチュエータの動作パラメータを決定する情報源として生活環境センサネットワーク室で得られたデータを用いることを意味する。

このアクチュエータモジュールの一つに荷物を運んでくれる移動台車を加えることによって、人が欲しいものを運んでくるという要求を実現するのである。このとき考えなければならないのは、人間生活中で動作するアクチュエータは工業用ロボットとは異なり、人と協調することが必要であるということである。人間とロボットの協調のために、必要な機能を模索することは本研究においても重要なテーマである。

1.2 本研究の目的

本研究の目的を次の二つに置く。

- 室内生活環境で動作する移動台車に必要な機能を考察する。
- 上記要求機能を考慮した移動台車システムを、生活環境センサネットワーク室である、ロボティックルームのアクチュエータモジュールとして実現し、要求機能の実装方法の評価・考察を行う。

以下に二つの目的それぞれについて説明をする。

まず最初に、室内生活環境で動作する移動台車のシナリオを図 1.1 に示す。この台車は工場内などの人間と機械が存在する空間が比較的区分されている場所で動作するロボットとは異なり、人間と空間を共有し、協調することを特徴とする。人間とロボットが空間を共有する場合、ロボットに求められる安全対策は工場のそれよりも厳しくなるはずであるし、人間とのインタラクションの必要性が生まれ、そのためにコミュニケーション機能なども必要となることが考えられるだろう。工場で動作するロボットの設計とは異なる視点を持ち、実際のロボット設計のノウハウを積み上げるためにも、移動台車という基本的な移動ロボットでその機能を吟味することが重要であると考えられる。



図 1.1: 室内生活環境で動作する移動台車の目標シナリオ

次に生活環境センサネットワーク室内のアクチュエータモジュールとしての移動台車について説明する。

図 1.2 は生活環境センサネットワーク室で動作する移動台車の目標シナリオを示したものである。生活環境センサネットワーク室内にいる人が何か欲しいと思ったとき、携帯電話やリモコンなどの入力デバイスに命令を打ち込むと、部屋中に設置されたセンサやアクチュエータモジュールが連携して、運んで来てくれるというシナリオである。1.1 節で述べたように、本研究では人に物を渡すという機能を部屋型分散ロボットで実現しようとしている。そのため生活環境センサネットワーク室においては、ロボットは必ずしも自律している必要はない、それよりも他のセンサやアクチュエータと連携する、または情報の交換をすることが重要になってくる。このことを考慮し本研究が目標とする移動台車システムのインターフェイスは他のモジュールとの通信・連携を行いやすいものにする。

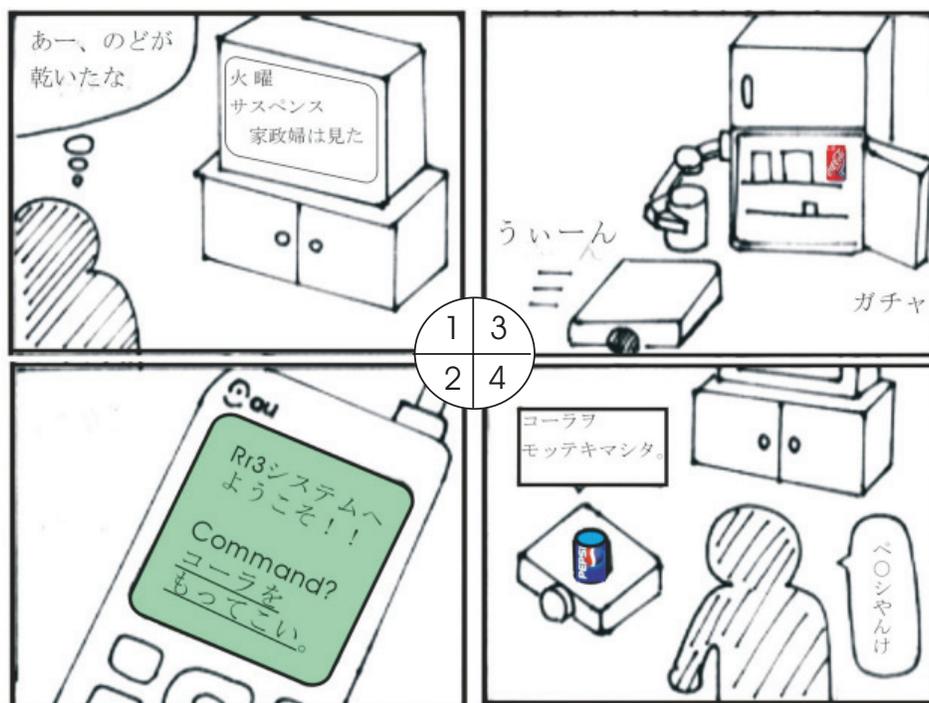


図 1.2: 生活環境センサネットワーク室で動作する移動台車の目標シナリオ

1.3 関連研究

本論文では人間を支援するロボットという視点でさまざまな考察をしているが、“人間とロボットのインタラクション”を目指した研究 [1] も広く行われており、そのなかでもさまざまなロボットが提案されている。

室内で動作するロボットの動作生成（経路探索）も研究が活発な分野であり、センサーからの情報をもとに動作決定をする手法が幾つか提案されている [2],[3]。

また物体搬送という点では、複数の移動ロボットで協調して形状が未知の物体を搬送する研究 [4] も行われている。

これらの論文を踏まえた上で、本論文の目標である移動台車システムの新規性は人間と部屋型センサネットワークとその中で動作するロボットの3者が協調することを目標としている点にある。

1.4 本論文の構成

第2章では現在の生活環境センサネットワーク室の状況について述べ、室内生活環境で動作する移動台車ロボットの必要機能を考察し、移動台車をセンサネットワーク室で動作させる実現方法について考察する。

第3章では第2章で述べた移動台車の各必要機能に対してその実装方法について述べる。

第4章では第2章で考察した移動台車システムをセンサネットワーク室において実現する方法について述べる。

第5章では移動台車に実装した機能の一部について性能評価をし、またシステム全体について簡単な性能評価を行う。

第6章では本研究で得られた成果、将来課題、及び将来の展望について述べる。

第2章

生活環境センサネットワーク室におけるロボットの要求機能と実現方法

2.1 生活環境センサネットワーク室



図 2.1: 生活環境センサネットワーク室の様子

生活環境センサネットワーク室の始まりはロボティックルーム 1 [5] である。このシステムは病院内での支援を目的としており一般的な家庭の居住空間を対象としたものではなかった。次に健常者を含める一般的な支援システムを目指し、ワンルーム型のシステムであるロボティックルーム 2 (RR2) [6] の構築が進められた。このシステムはマンションの一室を模した部屋のさまざまな場所にセンサを配置し、その情報を PC で収集し、蓄積が行えるものである。ロボティックルームの(図 2.1)システム構成を、図 2.2 に示す。生活環境センサネットワーク室は床圧力情報を計測する床センサ部、ベット圧力情報を計測するベットセンサ部、机・椅子圧力情報を計測する机・椅子センサ部、冷蔵庫・トース

ターなどの開閉を計測するスイッチセンサー部、計測データを収集・解析するデータベース部からなる。

本論文に最も関係する床センサについてその性能を述べると、200mm ピッチに配置されたFSR 252個によりおよそ6畳ほどの広さにおいて周波数10Hz、分解能8bitのセンシングが可能である。

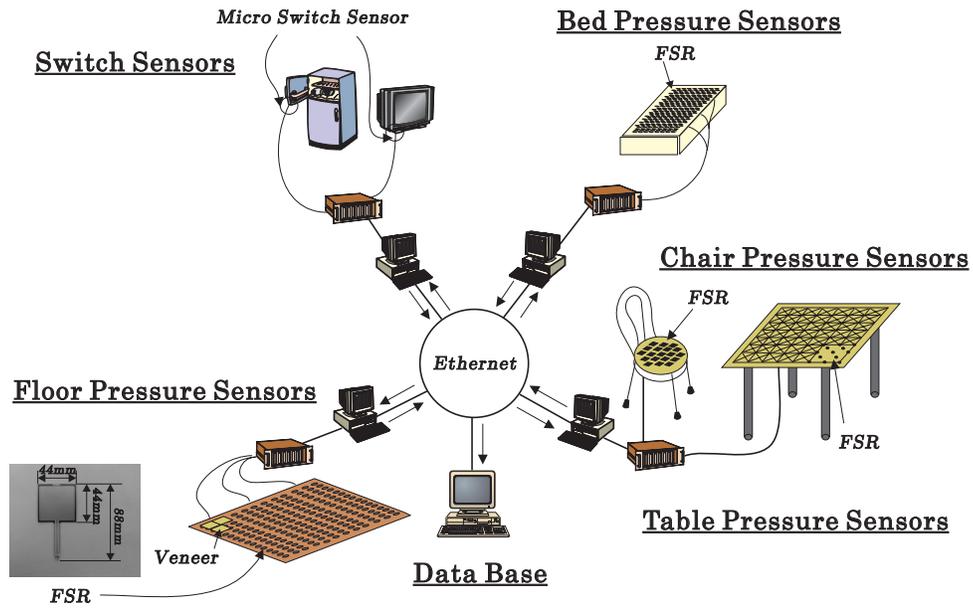


図 2.2: 生活環境センサネットワーク室のシステム構成図

2.2 室内生活環境で動作する移動台車ロボットの要求機能

この節では、人間の生活環境で動作するロボットに要求される機能を挙げ、それぞれの機能についてその必要性、及び重要性について述べる。

まず人間生活環境で動作するロボットに必要とされる機能を以下にまとめる。

1. 対人安全確保・能力に適合した印象を人に与える機能
2. 運搬機能
3. 環境認識機能
4. 自己状態認識・危機回避機能
5. 人間による強制移動を用意にする機能
6. 人間空間確保機能
7. 自己状態通知機能

それでは、各機能について議論を進めていく。

2.2.1 対人安全確保・能力に適合した印象を人に与える機能

まずロボットの外観（形状）の影響は図2.3のように「安全」と「印象」という2つの観点があると考えられる。そこでそれぞれについて議論を進めていく。

ロボットに絶対必要な機能として「人間を傷つけないこと」がある。その意味でロボットの形状は実に重要な要素である。動作として安全である以前に機体の形状自体が安全である必要がある。安全の定義を議論することは非常に難しいが、本論文では「人を傷つけない」ような形状とはどのようなものかという考察し、人間との接触が想定される場所において接触圧力が小さくなるように設計をする。

次に、ロボットが人に与える印象に関する議論が必要であると思われる。「機能美」という言葉がある、その定義は「実用品として作られた物が、その機能を十分発揮することで発現する美」(大辞林第二版参照)であるが、ロボットにこの機能美をもたせることは重要なことである。特に生活環境で動作するロボットは常に人間の眼差しにさらされるので、印象について比較的厳しく評価されることが予想される。例えばHumanoid Robotはより人間らしく動作することが期待され、具体的能力（機能）にはスムーズな二足歩行などが挙げられる。つまり、ロボットはその能力（機能）と外観が一致している必要があるのである。また、異なるレベルの表現で説明をすると、美しいフォルムのロボットはその動作も優雅である必要があるということになる。見た目の美しさと能力（機能）の高さが一致していない機械、特に人間生活環境におけるロボットはそのバランスの悪さから人間に対してストレスを与えることが想像できる。よって、ロボットが持つ能力と人に与える印象のつりあいについて留意しながら外観（形状）設計をする必要がある。

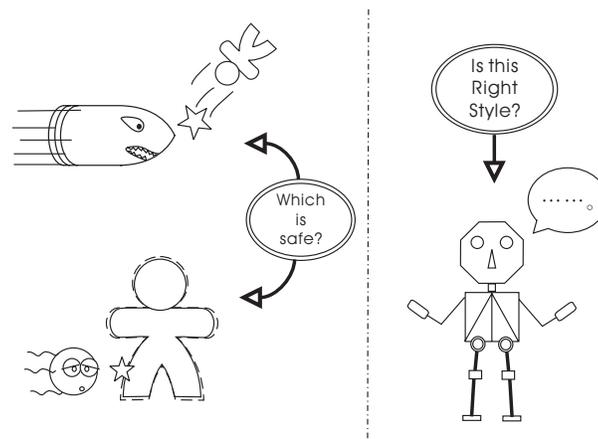


図 2.3: 機体形状が人間に及ぼす影響

2.2.2 運搬機能

運搬機能はロボットとして必要な機能というわけではなく、移動台車が必要とされる機能である。この機能は台車にとって必要とされるというより、定義そのものである。その必要性・重要性は言うまでもない。ただ、その基本仕様（最大運搬荷重・最大速度）の設定については慎重かつ適切に行わなければならない。なぜならば、ロボットの速度は人間に対する安全性につながり、また最大運搬荷重はロボットの動力に影響をおよぼし、過剰な動力は人間及びその他の物にたいして傷をつかかねないからである。しかし、その基本仕様の設定について評価を下すことは難しい、もちろん人を傷つけるような仕様では問題外だが、より理想の仕様を求めようとする、それは図2.4のように、ユーザの目的により異なることが予想されるからである。例えば、運搬して欲しいものがティッシュボックスのような軽いものとビールケースなどの重いものの場合、最大運搬荷重は大きくことなるし、また台車の動作空間で生活する人が、動きの早い若者か、もしくは体の不自由な老人かなどによって、必要な最大速度が変わることが想像できるだろう。そこで本論文で設計する台車ではひとまず、運搬機能の仕様を最大運搬荷重をペットボトルで1/4ダース分程度、最大速度を人間の歩行の1/10程度と見積もった。この値をベースとして実際に必要な最低限の仕様を模索することが可能であると考え。

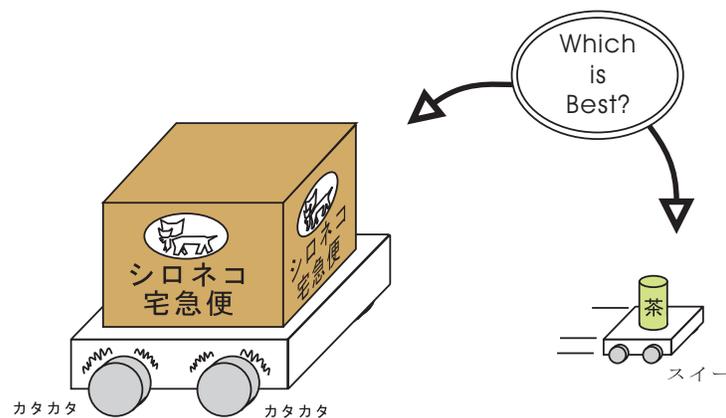


図 2.4: 運搬物による運搬機能仕様の変化

2.2.3 環境認識機能

環境認識機能をさらに区分けすると、接触認識機能、近接認識機能、路面状態認識などが考えられるが、その中で接触認識機能が人間生活環境で動作するロボットには最も重要な機能だと考える。なぜならば接触をし続けたまま動作することは人間及び物に対して傷をつけかねないからである。もちろんロボットを人間や物と接触しないように制御することは重要であるが、予期しない外乱によってそれが不可能になった時も、安全を確保することが重要であると考え。また、図 2.5 のように接触の対象を知ることはロボットの動作を決定付けるのに非常に有用な情報である。例えば接触対象が人間であるならば、おそらくその人間がその場所に居続けることはないので、しばらく時間が経てば同じ動作を再開することも可能であるかもしれない。しかし接触対象が物である場合、それが自ら動くことは一般的にはありえず、ロボットは別の動作経路を探索しなければならないからである。

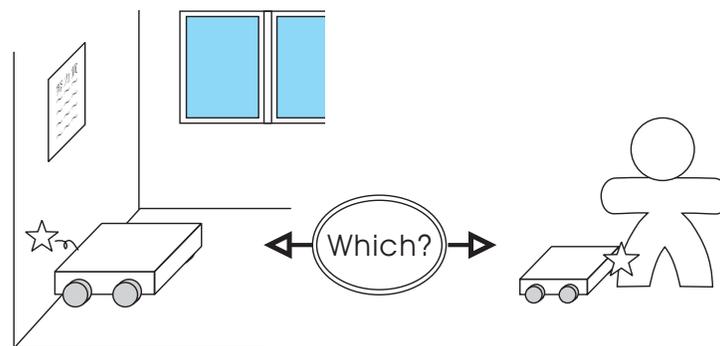


図 2.5: 接触認識機能の必要性

2.2.4 自己状態認識・危機回避機能

ロボットの機能として自らの状態を知り、そして予想される危機を回避しようとすることは重要である。「知能ロボット」においては、この機能はその定義の中に含まれると言っても過言ではない。自己状態認識機能を考える時に、まず「自己状態」というものについて議論しなければならない。ロボットの状態と言ってもそれを言葉やデータで表現しようとするとその方法は無限にある。例えば単純にロボットがいる環境を表現するだけでもたくさんの形容詞を用意しなければいけないことからその難しさが想像できるだろう。ただ、ロボットが認識することに意味があること、もしくは認識することによって有効な動作決定がなされるものを選び出すことはできる。例えば、図2.6のように、バッテリー残量を知ることが電源切れによるスタックを防ぐ上で非常に重要である。また危機回避機能はロボットに実装される他の機能の目的および性能にも関係してくると思われる。なぜならば、その機能単独で考えた場合では十分なスペックを発揮しているものでも、その機能を危機回避のために使用するためにはスペックが足りないということが考えられるからである。具体的には移動ロボットが通常の移動をするためには十分な速度でも、走っている人間との接触を避けるためには十分とは言えないことが多い。

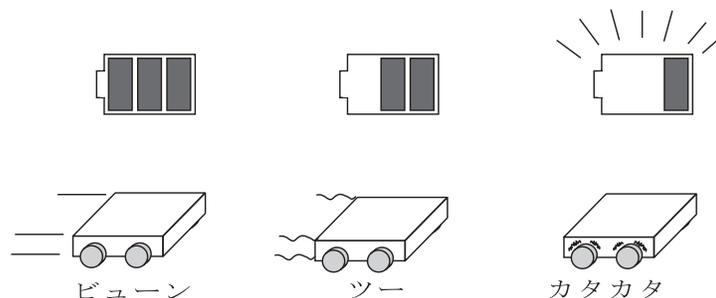


図 2.6: 自己認識・危機回避機能が必要とされる場面

2.2.5 人による強制移動を容易にする機能

自律ロボット、非自律ロボットにかかわらず、その制御・動作は人間の求めているものにより近いものでなければならない。生活空間におけるロボットが人間の生活をじゃまするようでは意味がない。移動ロボットの場合は人間空間に入り込んで動作をするので、ある経路上で人間と接触、または出会うことがしばしばある。その時にロボットが人間の動作に留意せず、自らの行動を続けるようでは問題外であるが、人間の動作の邪魔にならないよう動作計画を立てたつもりでも、実際に邪魔になってしまうことが全くないとは言えない。では、不本意にも邪魔になってしまったときにロボット側が提供できるものの中で一番単純な解答は、邪魔になっても人間がすぐ強制移動されられるものであることとなる。つまり、強制移動を容易にするために図2.7のように少なくともロボット本体もしくはオプションに持ちやすくするメカニズムは必要である。

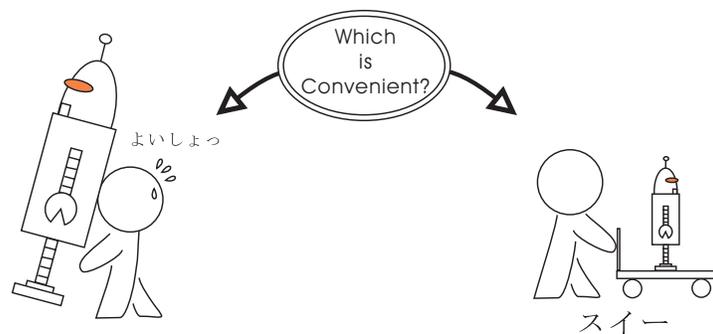


図 2.7: ロボット強制移動時の人への影響 (イメージ図)

2.2.6 人間空間確保機能

生活環境で動作するロボットはその役割上、人間の空間に入り込む必要がある。ただし不必要に侵入すると人間の生活の邪魔となってしまう可能性があり、人間を支援するという本来の目的と本末転倒になってしまう。例えば、図2.8のように、部屋の中がロボットで埋まってしまふなどということは絶対に避けるべきことである。人とのコミュニケーションを目的としたペットロボットのようなもの場合は生活の場にいつづけることが逆に自らの機能を果たす上で必要になってくることもあるが、生活環境において物理的な支援を目指す作業ロボットの場合は、必要な時以外は人間の目に映らないほうがベストであると考えられる。そこで台車には自分の任務を全うしつつも人間の空間を確保する機能が必要である。

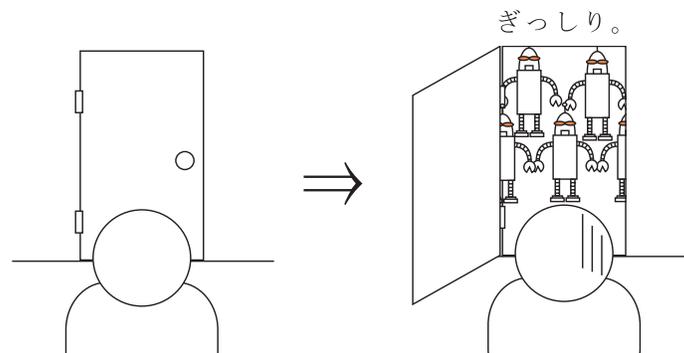


図 2.8: 人間空間確保機能が及ぼす影響 (イメージ図)

2.2.7 自己状態通知機能

人間生活内で動作する場合、台車は人間と情報を交換する必要がある。完全自律ロボットにおいては双方向の情報交換が必要となる。しかし移動台車のようにアクチュエータとして動作し、人間からの情報の入力装置を外部に持つロボットの場合、ロボット自身に必要な機能は図の2.9のように、人間に対して自己の状態を通知することである。もちろん通知すべき内容はさまざまであるが、生活環境において動作するロボットは人間との接触が危惧されるので、自己の動作に関する情報が重要であると考える。

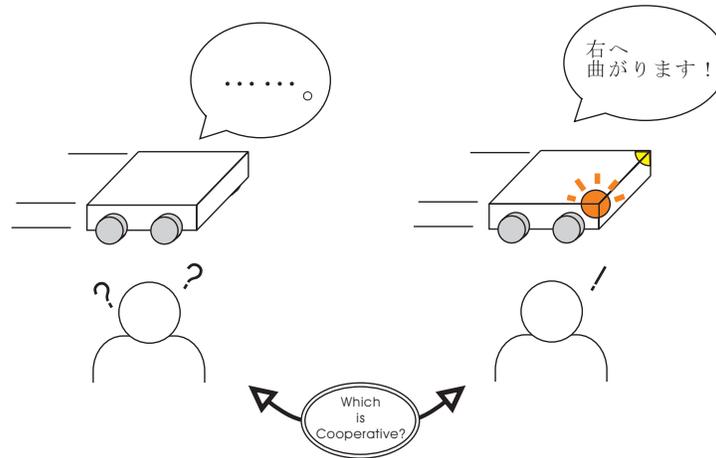


図 2.9: 状態通知機能が及ぼす影響 (イメージ図)

2.3 台車の生活環境センサネットワーク室への適応方法

2.2節で考察した機能を持つ台車を生活環境センサネットワーク室で動作するアクチュエータモジュールとして動作させるために必要な機能を図 2.10 にまとめる。

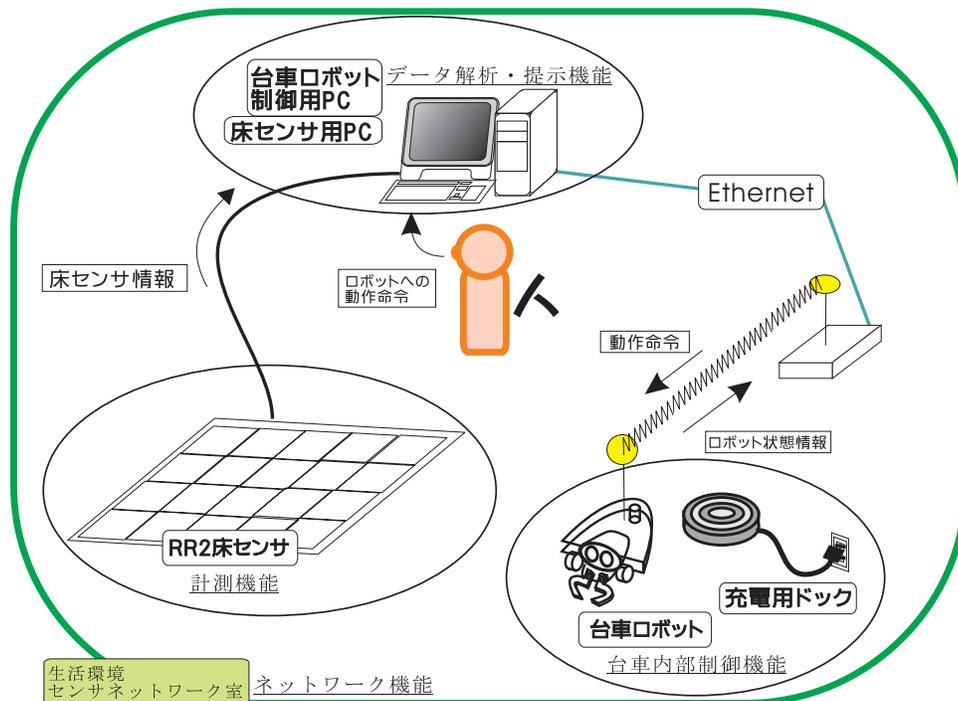


図 2.10: 移動台車システム機能構成図

本システムに必要な機能は以下の4つである。

1. 台車内部制御機能
2. 計測機能
3. ネットワーク機能
4. データ解析・提示機能

それでは各機能の役割について以下で説明する。

2.3.1 台車内部制御機能

台車の内部制御として必要な役割は、台車制御用のPCと通信を行い、台車制御命令を受信し、その命令に対応した制御を行う。さらに台車に内蔵されたセンサーの情報を集め、台車状態情報を制御用PCに送信することである。

2.3.2 計測機能

計測機能に必要な役割は床圧力情報を入手し、制御用PCに送信することである。

2.3.3 ネットワーク機能

ネットワーク機能に必要な役割は移動台車、制御用PC、床センサの間で情報伝達ができるようにすることである。

2.3.4 データ解析・提示機能

データ解析・提示機能に必要な役割は、床センサから得られる床圧力データ及び、移動台車から得られる台車状態情報より、現在の台車の位置・角度を計算し、またユーザが入力した台車への移動命令を解釈し、移動台車へと送信することである。

第3章

移動台車の設計（必要機能の実装）

この章では2.2節でとりあげた必要機能を移動台車に設計・実装する。図3.1に設計した台車の全体図を示す。以下、各機能の実現メカニズムについて述べる。

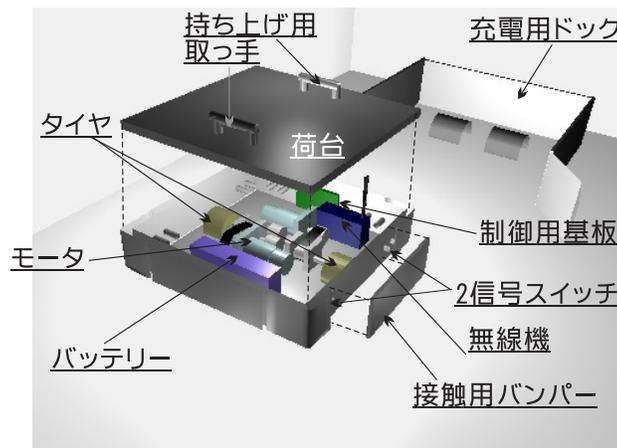


図 3.1: CG Cart figure(Whole View)

3.1 対人安全確保機能・能力に適合した印象を人に与える機能

台車の基本的な外観・形状を考える上で重要なことが3つある。それは、

1. 荷物を載せる場所の確保
2. 人間などと接触した際に相手を傷つけない安全性
3. 台車の外観・形状自体が人間に与える印象とその影響

である。以上の3点についてこの節では述べる。

3.1.1 荷台の確保

台車と名乗る以上、荷物を載せる場所がなくては話にならないし、その大きさは想定される荷物により異なる。今回の場合ペットボトルで6本分ほどの荷物を想定しているので、サイズとしては600×400ほどの上面を確保した。荷台用の天板はA2017を加工して作成した。また、荷物を持ち上げたときなどに天板も同時に浮き上がっては困るので、六角低頭ボルトを埋め込み、天板が台車に半固定されるように設計した。

3.1.2 安全な形状

移動物体の安全性はスピードや形状などさまざまな要因に影響をされるが、一般に衝突時の圧力が低いほうが接触相手の損傷が小さくなる。そこでできるだけ角張った部分は取り除くのがベストであり、今回の台車では接触の可能性があるバンパー部分に関してはすべてRをつけた。バンパーの基本部分はSUS304を曲げ加工してもらい、四つ角の球面となる部分は別材料のジュラコンを1/8球面に加工してもらい、あとからはめ込めるように設計した。

3.1.3 機体形状が人間に与える印象

前章で説明したように、機体の形状そのものは人間に対し多くの影響を持つものであるし、その形状と機能のバランスが一致するものこそ、生活環境にはふさわしいと考える。

今回の台車のコンセプトはintelligentな自律型ロボットではなく、アクチュエーションモジュールということなので、台車形状が示す必要があるのは、「(物を運ぶという)単一の機能」である。つまり、台車は二つのタイヤで2次元空間を動く、純粋なアクチュエータであり、コミュニケーション能力を持つわけでも、外界を緻密に認識する能力があるわけでもない。ただHostとなる制御PCの指令のもと従順に動作する、そのことを表現すればよいのである。このことに関して考察した結果、「Metal Block(金属のかたまり)」というコンセプトにたどりついた。金属が象徴する人間の技巧と、その塊というローテクなイメージが重なりあい、自ら知能を持たない、今回の台車のコンセプトとしてふさわしいと思われる。そのコンセプトのもと外観の設計をした。図3.2はコンピュータグラフィクスによるコンセプトイメージである。バンパーはステンレスの薄板にサンドブラスト仕上げの加工をしてもうらことで、より鈍い金属の色を表現し、天板も白色アルマイト加工にすることで反射を押えた金属の色を表現した。3.3,3.4は実際に製作した台車の外観である。

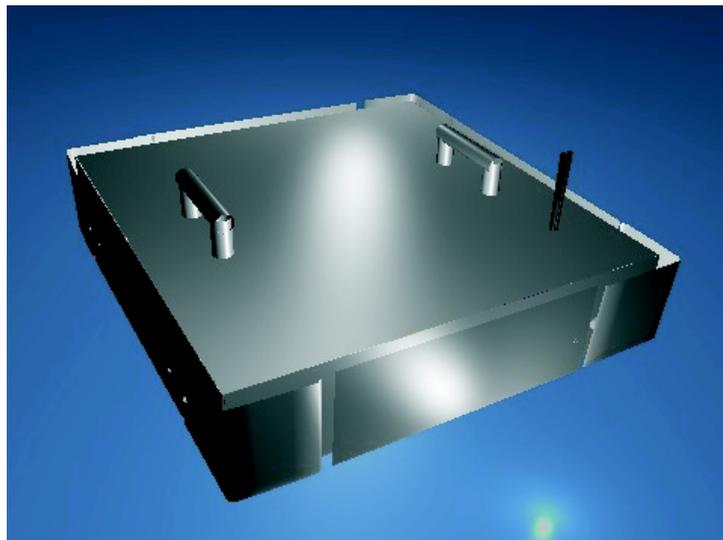


図 3.2: CG Cart figure(Top View)

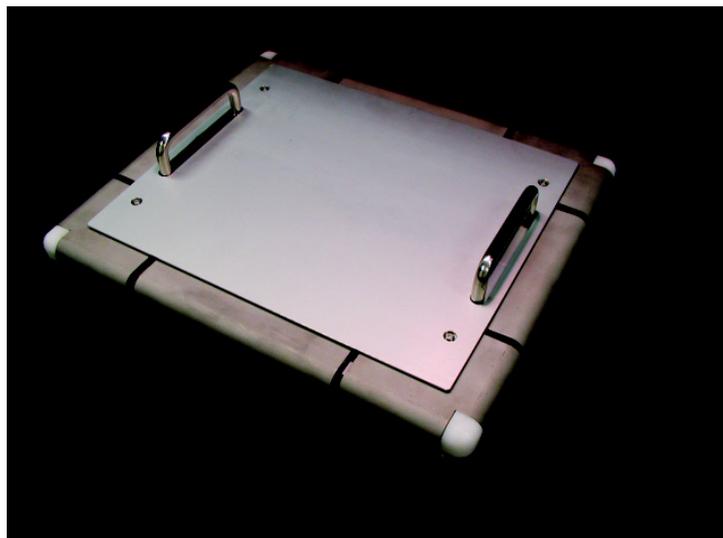


図 3.3: Cart Photos(Whole View)

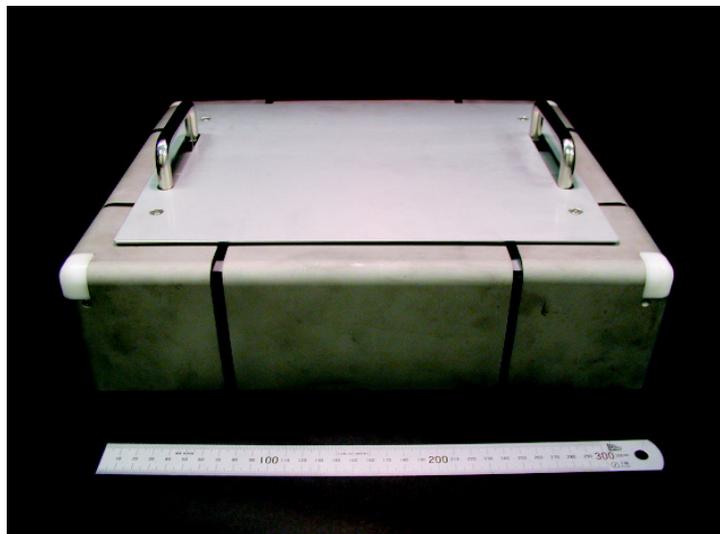


図 3.4: Cart Photos(Whole View with Scale)

3.2 運搬機能の実装（アクチュエータ）

3.2.1 要求仕様

2章で述べたことを踏まえ、この台車の運搬機能に関する基本仕様を表3.1にまとめておく。条件の1つめは要するに「その場旋回が可能なこと」と換言することができ

表 3.1: 移動台車の運搬機能における基本仕様

	機能項目	要求仕様
1	最小回転半径	0(mm)
2	最大運搬荷重	10(kg)
3	最大移動速度	100(mm/sec)

る。また、条件の2つめの最大荷重は、家庭環境で日常運搬を必要とするもので、重量の大きなものを考えた時に、ペットボトル1ケース（1.5 × 6本）というのが妥当だと考えこの値を設定した。

3.2.2 実現機構

まず要求機能の1つめを満たすためには動力の最終出力となるタイヤを2つ同軸上にならんで設置しておく必要がある。よって、本移動台車ではタイヤ及び出力軸を機体の中

央に二つ対称に並べた。タイヤには株式会社ミスミから販売されているローラ（ROUA 80-15-40:直径80mm）を採用し、車軸には図3.5のようにネジで固定をすることにする。

動力源にはミニモータ社製のDCモータを採用し、車軸と平行な異なる軸上にモータを配置する。モータから車軸への動力伝達はハイトルクタイミングベルトとタイミングプーリを利用して行う。また後の制御のために車軸の回転数を計測できるように、車軸からモジュール0.5の歯車で回転をロータリーエンコーダに伝えている。このロータリーエンコーダはMicrotech Laboratory社製（図3.6参照）のもので仕様を表3.2に記す。タイヤが約1mm動作する毎にエンコーダから1パルス出力されるようになっている。また台車底の4つ角にはボールキャストが設置されていて、台車の自重を支えている。動力関係のものを組み上げると図3.7のようになる。

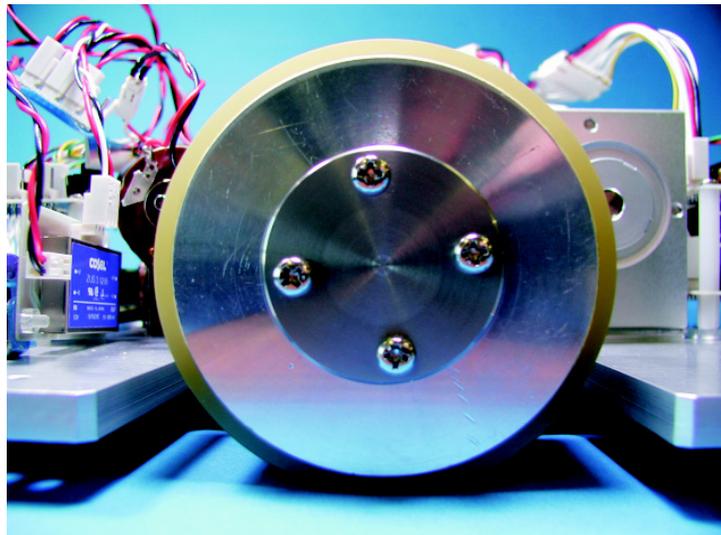


図 3.5: タイヤとその固定の様子

表 3.2: ロータリーエンコーダの仕様

製造元	Microtech Laboratory
型番	MES-20-200
分解能	200 パルス/回転
出力方式	A相-B相式
出力形態	方形波、電圧出力
最高応答周波数	30 ~ 100(kHz)
許容最高回転数	6,000(rpm)

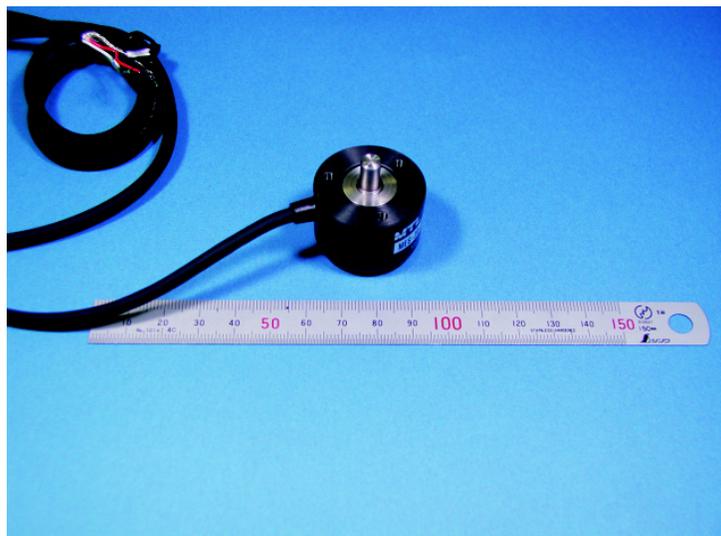


図 3.6: Rotary Encoder(Microtech Laboratory 社製)

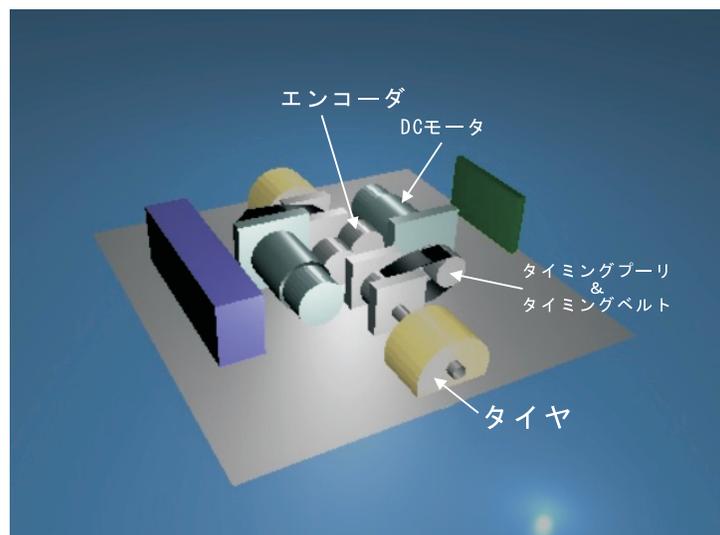


図 3.7: 台車分解図 (CG)

3.2.3 設計

使用するDCモータはミニモータ社製のものであるが、その型番の選定のために以下の手順で計算をした。

1. 必要動力の計算
2. 車軸回転数の計算
3. モータ軸の必要トルク計算
4. モータ選定

以降で実際の計算について説明をする。

まず、図 3.8 に台車の車輻モデルを示す。

表 3.3 に図 3.8 および式 3.1 中の各変数の説明を記す。

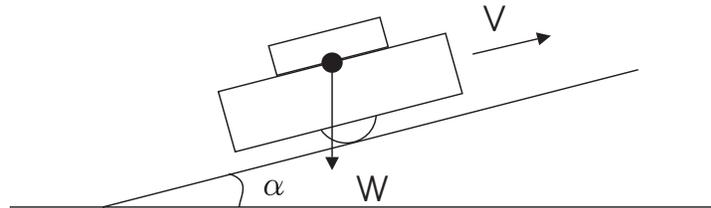


図 3.8: 移動台車の車輻モデル

必要動力の計算

$$P = 9.8 \times W \times (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \times V / \eta \quad (3.1)$$

表 3.3: 式 3.1 中の変数の説明

文字	内容	単位
P:	必要モータ出力（二つのモータの合計）	Watt
W:	台車自重 + 荷重	kg
V:	車速	m/s
μ :	走行抵抗係数	なし
η :	機械損失（動力伝達による）	なし
α :	最大傾斜角度	度

表 3.4: 式 3.1 中の変数の本台車における値

W:	20kg
V:	0.10m/s
μ :	0.10 (推定)
η :	0.70 (推定)
α :	10°

ここで、 μ と η は参考文献「自動車と設計技術」[7]、「自動車用タイヤの研究」[8]をもとに、推定した値である。なお、 μ に関してはこの節の最後に台車モックアップによる計測実験を行って確認した。

式 3.1 に台車の実際の値 (表 3.4 参照) を代入すると、式 3.2 のようになり、必要動力 P は 10.24(Watt) と計算される。

$$10.24(W) = 9.8 \times 20 \times (\sin 10^\circ + 0.2 \sin 10^\circ) \times 0.10/0.7 \quad (3.2)$$

車軸回転数の計算

台車の基本仕様の最大移動速度を満たすように車軸の回転数を決定する。式 3.3 中の変数の意味を表 3.5 に示す。計算の車軸回転数はおよそ 25(rpm) となる。

$$N = \frac{V \times 60}{\pi D \times 10^{-3}} = \frac{0.1 \times 60}{3.14 \times 80 \times 10^{-3}} = 23.88... \simeq 25 \quad (3.3)$$

表 3.5: 式 3.1 中の変数の説明

文字	内容	単位	実際の値
N:	車軸回転数	rpm	—
V:	車速	m/s	0.1(m/s)
D:	タイヤ直径	mm	80(mm)

モータ軸の必要トルク計算

台車の設計を簡単にするためタイミングベルトの減速比を1 : 1とする。トルクは式3.4によって計算される。ここでの各変数は式3.1と同様のものと表3.6に示されたものである。この式に値を代入すると、式3.5のように計算され、モータ軸の必要トルクはおよそ4(Nm)となる。

$$T_L = \frac{9.8 \times W \times (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\eta} \times \frac{D \times 10^{-3}}{2} \quad (3.4)$$

$$T_L = \frac{P}{V} \times \frac{D \times 10^{-3}}{2} = \frac{10.24}{0.1} \times \frac{80 \times 10^{-3}}{2} = 4.096(Nm) \quad (3.5)$$

表 3.6: 式 3.4 中の変数の説明

文字	内容	単位	実際の値
T_L :	モータ軸必要トルク	Nm	—
P:	必要動力	Watt	10.248(W)
D:	タイヤ直径	mm	80(mm)

モータ選定

この章で計算してきたモータの条件をアプリケーションデータとして表3.7にまとめる。電源の12Vは台車内の電池を置くスペースなどを元に決定した。

表 3.7: DC モータアプリケーションデータ

出力動力	約 10(W) (両方のモータで)
出力トルク	約 4(Nm) (両方のモータで)
モータ軸回転数	約 25(rpm)
供給電圧	12(V)
軸負荷 (半径方向)	ほぼ 0(N)
軸負荷 (軸方向)	ほぼ 0(N)

モータの選定においては、各アプリケーションデータに対して、次のような条件を満たしている必要がある。

1. 出力動力は必要動力の2～3倍
2. 必要回転数は無負荷回転数の1/2以上
3. 必要トルクは遊星ギアの最大許容軸トルク（連続）を越えない

よって、必要とされるモータの基本仕様は表3.8のようになる。

表 3.8: DC モータおよび遊星ギアの必要仕様（片方のモータのみ）

出力動力	10～15(Watt)
ギア出力回転数	25(rpm)
出力トルク	2(Nm)

この条件を満たすようなモータをカタログより選び、採用するのはミニモータ社製のDCモータ3557Kと38/1[134:1]遊星ギアの組み合わせとなった。その写真を図3.9に示し、そのカタログデータを表3.9に示す。



図 3.9: DC Motro and Gear

表 3.9: DC モータ及び遊星ギアのカatalogデータ

製品名	DC-マイクロモータ
型番	3557-012C
定格電圧	12(V)
端子間抵抗	2.4 (Ω)
最大出力	14.5(Watt)
無負荷回転数	4,800(rpm)
製品名	遊星ギア
型番	38/1
減速比	134:1
最大入力回転数	4,000(rpm)
最大許容軸トルク（連続）	4.5(Nm)
最大許容軸トルク（断続）	7.0(Nm)
効率	60(%)

3.2.4 走行抵抗係数の測定実験

3.2.3 節の式 3.1 と表 3.4 で（推定）となっている走行抵抗係数の値を台車のモックアップを使用して実装した。

タイヤと路面の関係において抵抗となる要素はさまざまであるが、それをひとまとめにして（歯車などの機械的損失はべつに考慮）一つのパラメータで表現するのが走行抵抗係数である。本実験では家庭での使用を考え台車用のタイヤおよび軸受とカーペットの組み合わせでどのような値となるかを計測した。

予測

台車の自重が大きくなるほど、カーペットへめり込む量が大きくなり抵抗が大きくなると予測し、これを検証した。

実験方法・前提条件

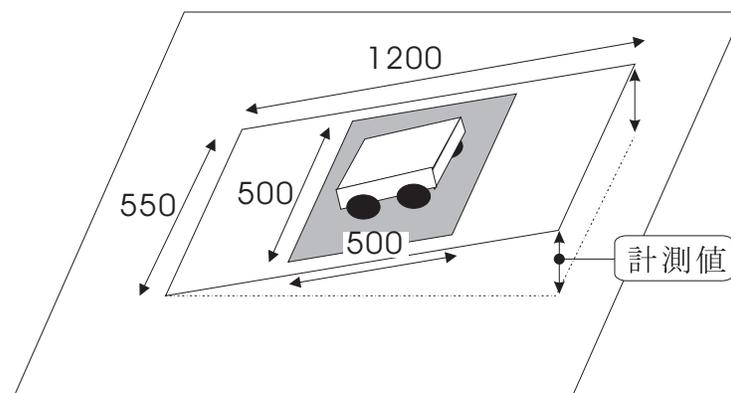


図 3.10: 走行抵抗係数測定実験の方法

実験は傾斜法による測定で土台板の高さを測ることによって土台板と床面がなす各の \tan を計算する。この方法では \tan の値が抵抗係数そのものとなっている。またサンプルによる違いを見るために、今回は同一種類のカーペットパネルを3つ計測した。また方向による変化をみるために X・Y 方向を任意に定め、一枚のパネルについて2方向での値を計測している。測定は台車モックアップに載せる荷重を5段階に変化させながら行われた。図 3.11, 3.12, 3.13 に実験データから計算された、各カーペットパネルの抵抗係数の変化の様子を示す。

結果・考察

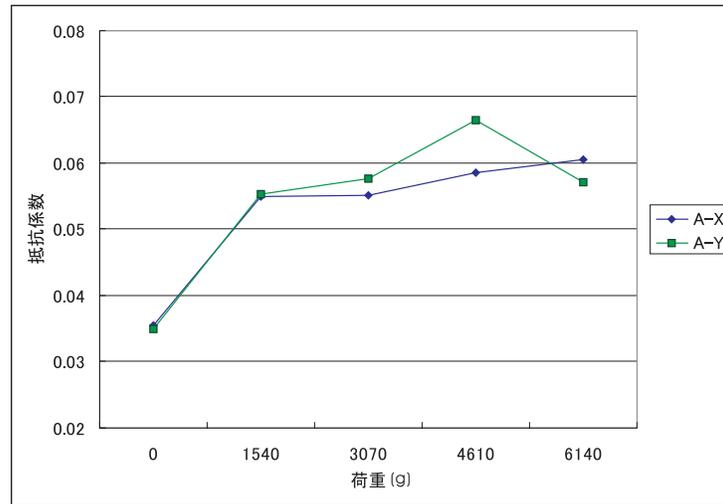


図 3.11: マットAの荷重による抵抗値の変化

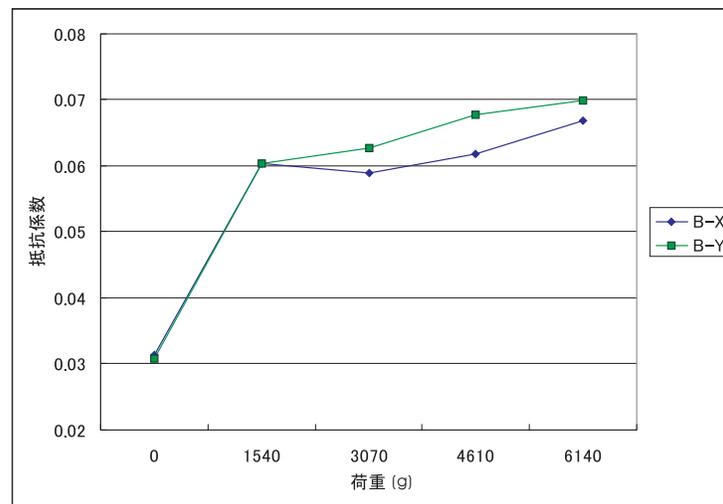


図 3.12: マットBの荷重による抵抗値の変化

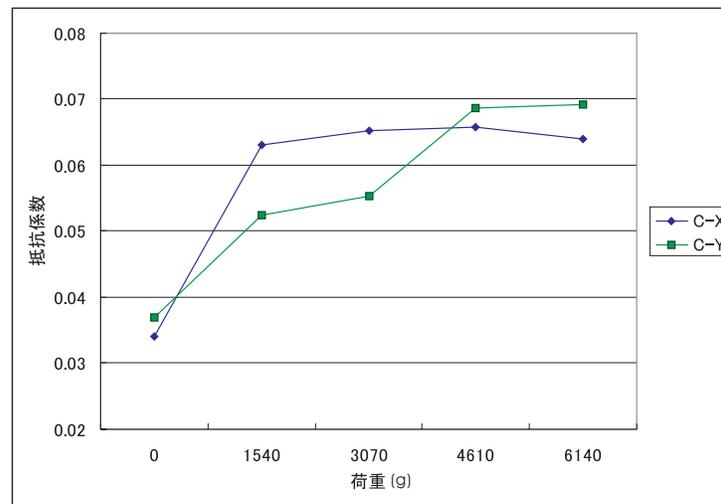


図 3.13: マットCの荷重による抵抗値の変化

今回の実験では荷重が0 kgの時は測定値が非常に小さかったため、荷重ありの時とは異なる計測方法を用いている。よって荷重が0 kgのときの値そのものにはあまり意味がない。

グラフを見ると、A（X方向）、B（Y方向）、C（Y方向）の3つは荷重が増えると共に抵抗係数が大きくなっているが、他の3つは途中が最大になっていたり、あまり変化がない結果になっている。

またその値自体は最大で0.07であり、もしこのままおもりを増やして台車の荷重容量である10 kgに達したとしてもせいぜい0.1程度であると考えられる。今回の設計では最大抵抗係数を0.2としているので、十分許容範囲であると考えられる。

荷重が大きくなれば、めり込む量が多くなり抵抗係数が大きくなるという予測に、結果が必ずしも一致していない理由は、サンプルが一様な性質を示すものではないため、台車を置く場所によって状況が大きく変化したためと考えられる。しかし、カーペットの状態はその性質上再現性が低いものであり、これ以上の実験は困難であると考えられる。

結論

カーペットによる抵抗係数は台車の荷重により変化するが、その性質は一定ではない。よってカーペット上のタイヤ移動における抵抗係数は変化しない定数（今回の場合は0.2程度）として扱うのが好ましい。

3.2.5 製作

以上の過程で運搬機能を実装し、製作した動力部分の写真を図 3.14 に掲載する。

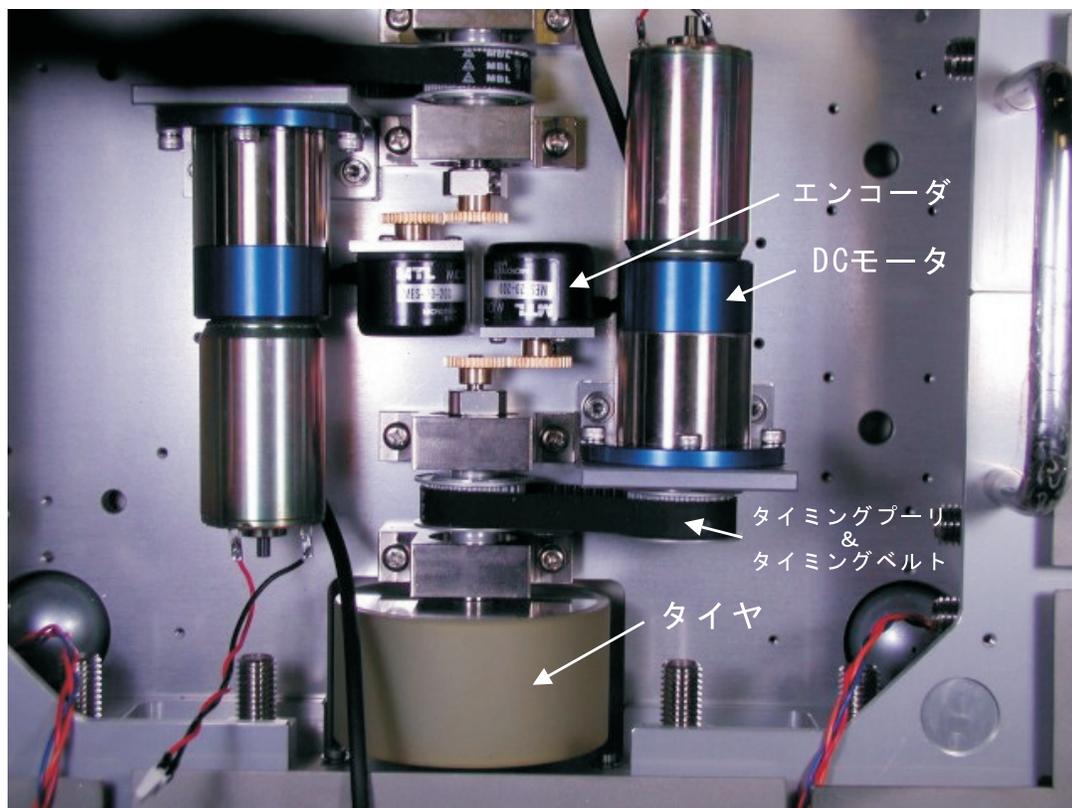


図 3.14: 台車の動力まわりの様子

3.3 環境認識機能の実装（2信号接触スイッチ）

本論文で取り上げる環境認識のひとつである接触認識をするために、マイクロスイッチなどを取り付けたりすることは移動ロボットではよく行われることである。本移動台車は床センサ情報によって制御されるので、スイッチはあくまで最終危機回避（リミットスイッチ）を担うものとして設置される。ここで重要になるのが、床センサによる制御でもよけられなかったものが、人なのか物なのかということである。人間の急激な動きに台車の制御が追いつかなかった場合、それはイレギュラーとして処理すればよいのだが、物（静止物）と接触した場合、話が変わってくる。なぜならば、床センサにより検知できない物体（動いていない人間も含める）がそこに存在することになり、台車を制御するためのマップを書き換える必要がでてくるからである。そこで、人と物（正しくは移動物体と非移動物体）を識別するために2信号スイッチ（ミスミ型番 MSTBD-12、図 3.15 参照）を採用した。

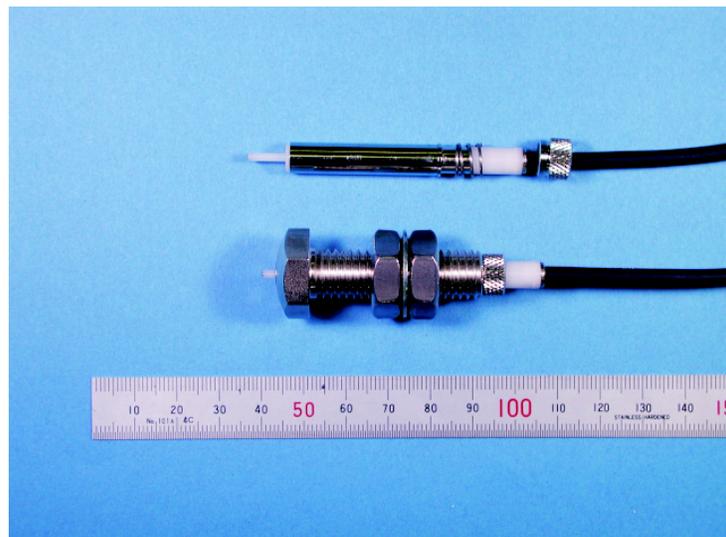


図 3.15: 2信号スイッチ MSTBD-12

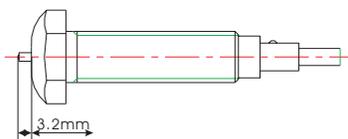


図 3.16: 2 信号スイッチ（CAD 図面）

図 3.16 が示すように、この 2 信号スイッチはストロークが 3.2mm である。1 信号目はスイッチがほんの少し押されたところで ON となり、2 信号目はそこから 3.2mm 押されたところで ON となる。接触速度によって、1 信号目と 2 信号目までのインターバルの時間が異なることが期待され、台車の速度と人間の移動速度からそれぞれのインターバルは表 3.10 のようにまとめらる。

表 3.10: 2 信号スイッチの衝突時間と速度の関係

対象	衝突速度	時間	比率
人（移動物体）	1000(mm/s)	3.2(msec)	1
物（非移動物体）	100(mm/s)	32(msec)	10

ただし、非移動物体の速度とは台車自身の速度のことである。この 2 信号スイッチを台車のバンパー（計 8 個）の下に各 2 個ずつ埋めこんだ様子が図 3.17 である。またバンパーを取り付けた時の様子が図 3.18 である。



図 3.17: 2 信号スイッチ設置の様子



図 3.18: 2 信号スイッチ設置の様子（バンパー取り付け時）

3.4 自己状態認識機能の実装（ロードセル）

自己状態認識のうち、台車として重要なもののなかに荷重の測定という機能がある。なぜならばこの問題は運搬機能に直に影響を及ぼし、台車の定義そのものにかかわることだからである。本台車では荷重を測定するために、荷台の下に4つのロードセルを埋め込み（図3.19）またそれらから得られる4つの値により荷物の場所を推定できるようにした。今回使用したロードセル（共和電業製）の仕様を表3.11に示す。

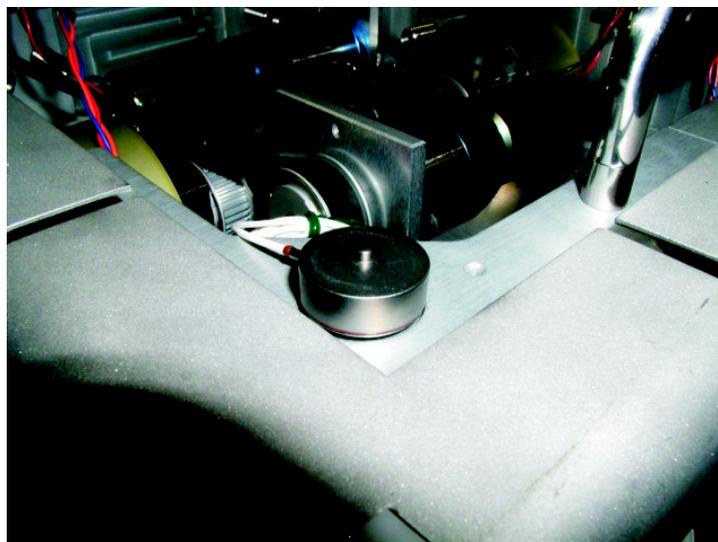


図 3.19: ロードセルの設置の様子

表 3.11: ロードセルの仕様

製品名	小型荷重変換器 (Miniature Load Cell)
型番	LM-10KA
定格容量	100(N)
固有振動数	約 21.6kHz
許容過負荷	150%
定格出力	1.132 mV/V \pm 1%

3.5 人間による強制移動を容易にする機能の実装

人間の生活環境のなかで台車が活動する以上、生活の邪魔になるようでは台車の意味がなくなってしまう。そこで、人間の行動の妨害とならないような台車の制御が必要である。しかし、もし不本意にも台車が人間の進路の妨害をしていたとすると、人間は強制的に台車を移動させる必要がある。このとき、人間に必要以上に手間をかけさせては台車の存在意義さえ疑われかねない。そこで人が簡単に台車を移動できるように取っ手をつくりつけた。（図 3.20, 図 3.21 参照）ここで気をつけなければならないのが、この取っ手はあくまでオプションであり、台車の運搬機能など他の機能を阻害するようなものでは意味がない。そのため取っ手の配置位置を荷台のできるだけ端にし、またこの取っ手の高さはちょうど成人男性の手が収まるように調節してある。



図 3.20: 取っ手の様子



図 3.21: 取っ手に手をかけたときの様子

3.6 人間空間の確保、危機回避機能の実装

人間空間を確保するためには、台車の行動・移動を制限するのが有効な手段である。もちろん人間からの命令により動作中はその範疇でないが、必要以上に人間の行動空間に台車が存在するのは好ましくない。そこで台車専用の場所を作りそこに命令を受けていない台車が待機するようにすればよい。しかし、ただ単に台車用の場所を用意するのではその有効性に疑問が生じてくるかもしれない、そこで台車が待機する場所でバッテリーを充電できるような仕組みを作った。図3.22は台車用充電ドックである。また、台車側にも充電端子を設置し、ドックとドッキングできるように設計した。図3.22はコンピュータグラフィックスによるコンセプトイメージで、図3.23が実際に製作した台車の底面を撮影したものである。また、台車の底面は充電端子から絶縁するためにジュラコンで覆ってある。その他底面に突出するネジなどはすべてポリカーボネート製のものを利用し、絶縁につとめた。

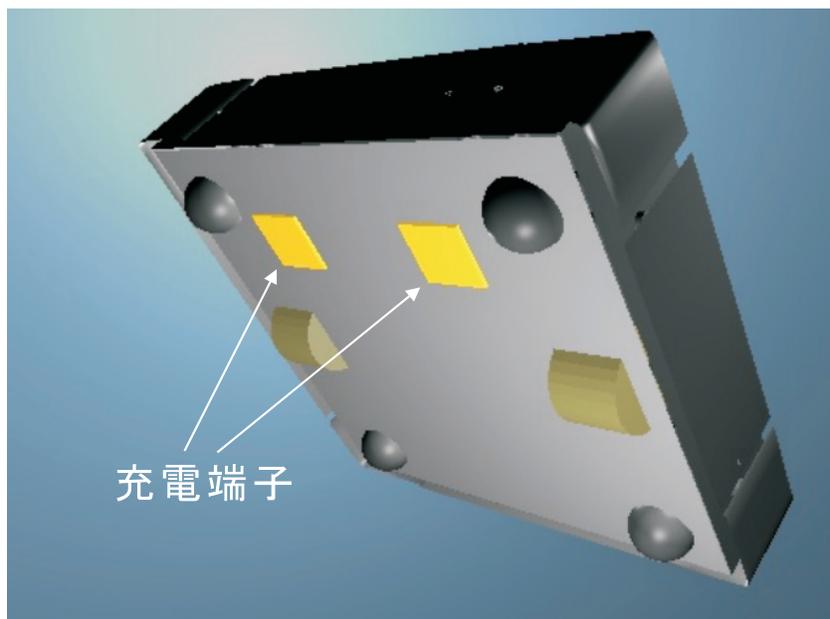


図 3.22: CG Cart Figure(Downside)

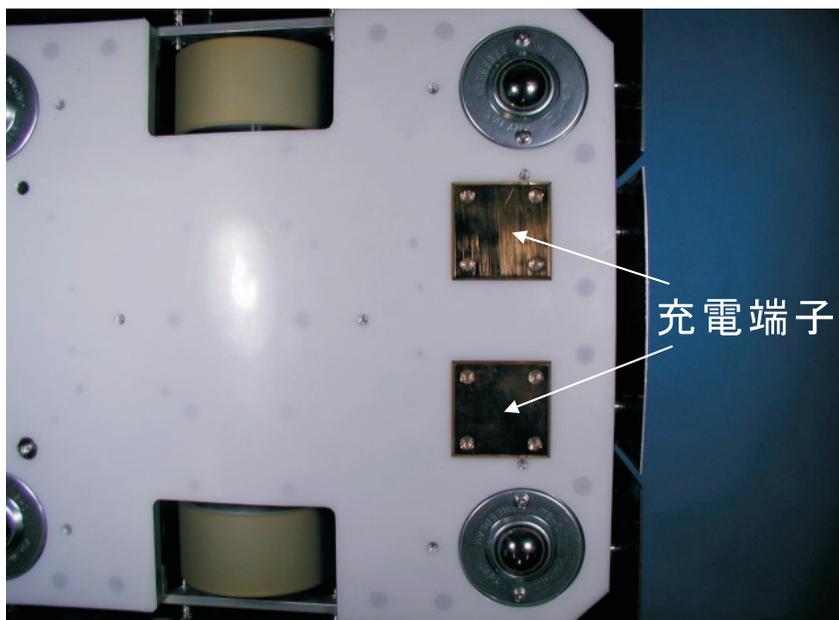


図 3.23: 充電用端子（台車裏側）

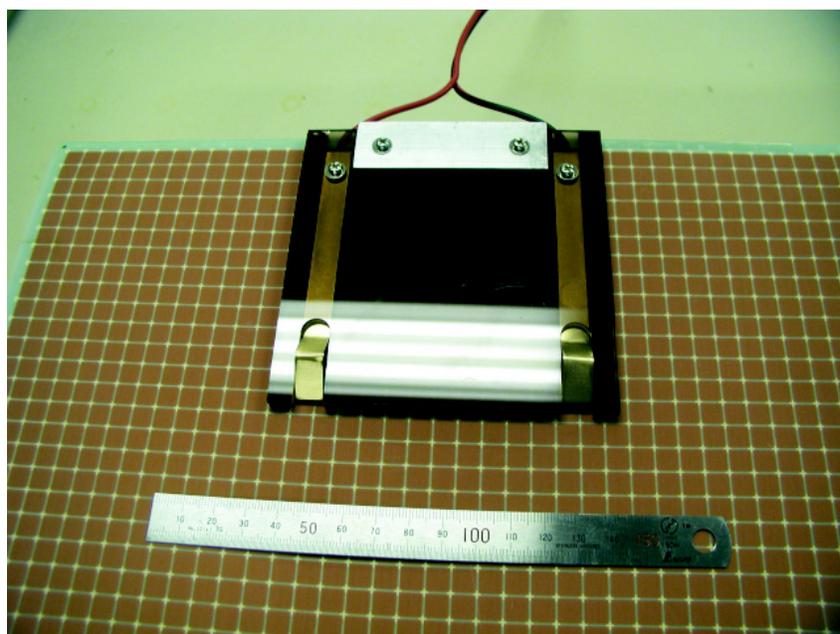


図 3.24: 充電ドック

3.7 状態通知機能の実装

台車が自分の状態を通知する方法は、音、光などいくつか種類が存在するが、音を鳴らす聴覚情報は、台車の状態を意識したくない人に対しても無理やり通知することになり好ましくない。そこで光、映像、文字など視覚によって状態を通知することを考える、その中で台車自身に実装が容易なものと考えたと光が一番よいと考えられる。そこで、バンパーの4つ角にウィンカーの用にLEDを内蔵した。（図 3.25, 図 3.26, 図 3.27 参照）このLEDのパターンにより台車の行動を人間に通知することを考えた。図 3.28 にその一部を紹介する。基本的には青いLEDが台車の進行方向を示し、赤いLEDが進行方向と逆になるように組み合わせている。



図 3.25: LED（消灯時）



図 3.26: LED（赤点灯時）

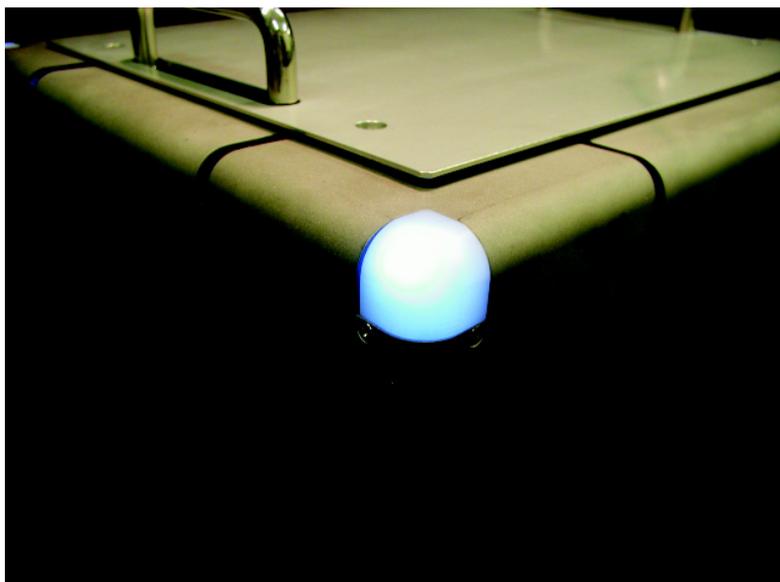
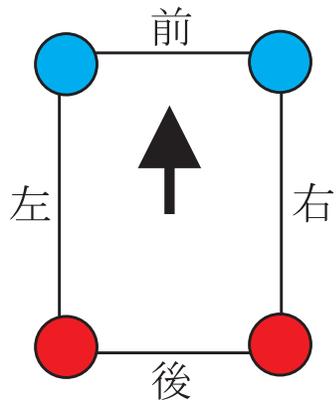
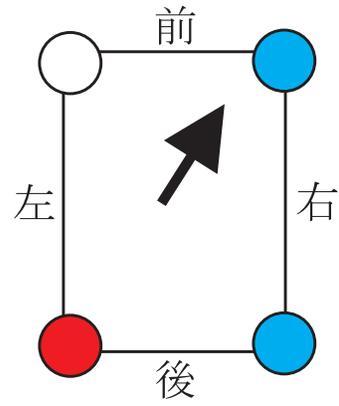


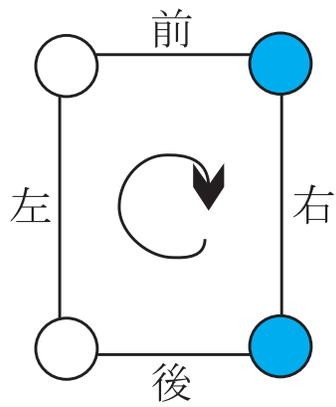
図 3.27: LED（青点灯時）



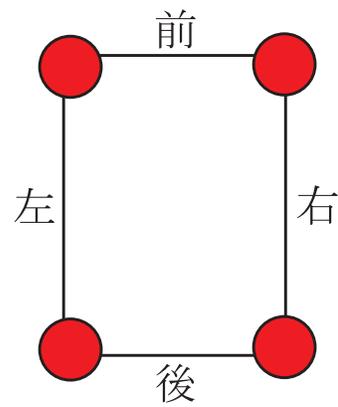
前進



前進 + 右折



右旋回



緊急停止

図 3.28: LED の点滅と対応する情報

第4章

制御システムの設計・構築

この章では、前章で設計・実装した移動台車を生活環境センサネットワーク室におけるアクチュエータモジュールとして動作させるための、制御システムの設計及びその構築について述べる。システム全体の概要を図4.1に示す。システムは移動台車（台車内部制御機能）・床センサ（計測機能）・システム制御用PC（データ解析・提示機能）とそれらをつなぐネットワークからなる。以下の章ではこの各機能の実装について述べる。

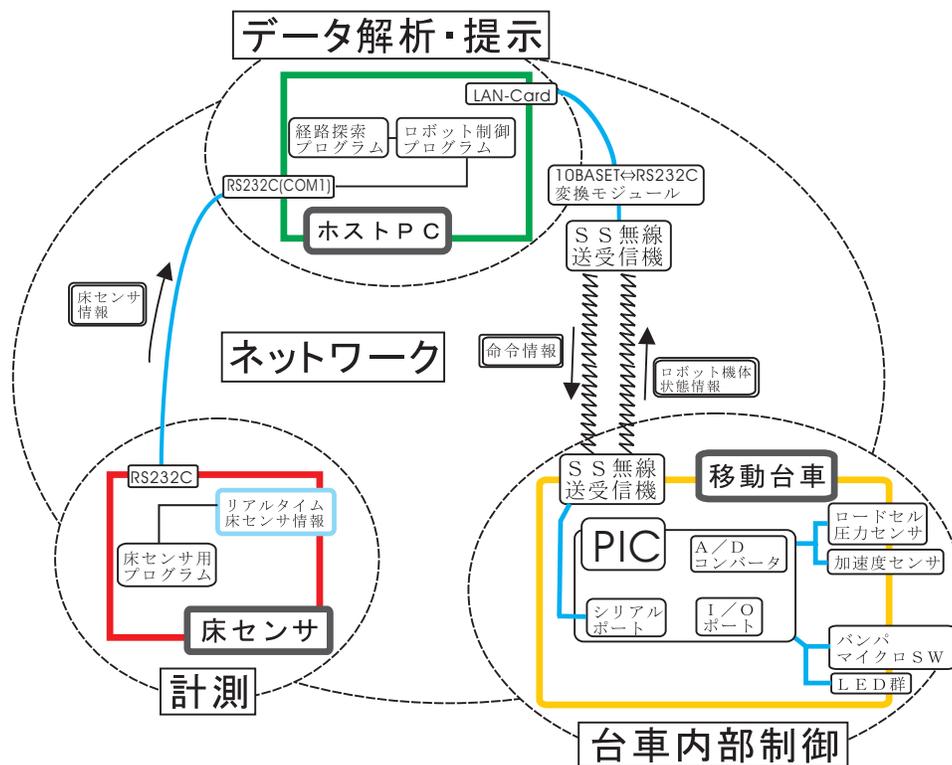


図 4.1: 制御システム概要

4.1 台車内部制御の実現

台車内の制御回路には次のような機能が必要になる。

1. ホスト PC (制御 PC) と通信をする
2. ロードセルの値を読み込む
3. バッテリーの電圧を計測する。
4. 2 信号スイッチからの入力を読み取り移動物体かどうかの判断をする。
5. 左右のモータを指定されたスピードで回転させる。

そこで 1 ~ 3 までの機能を MasterPIC 回路に実装し、4 の機能を TouchDetectorPIC 回路に実装し、5 の機能を MotorHandlerPIC 回路に実装した。以降それぞれの PIC 回路について説明をする。

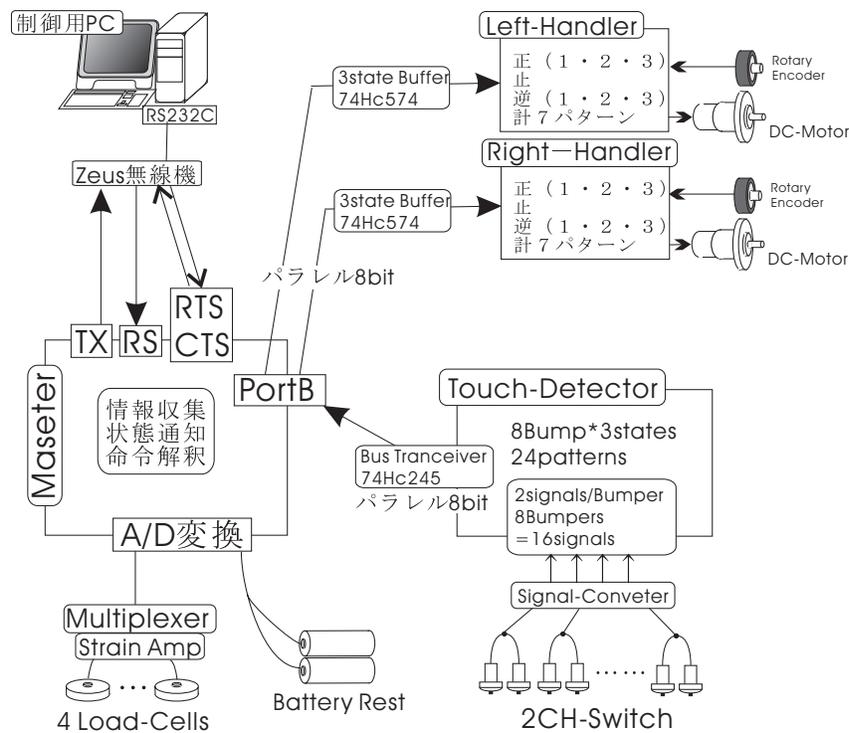


図 4.2: 台車内の PIC の関係図

4.1.1 MasterPIC 回路の設計・製作

MasterPIC 回路は次の機能を実装する必要がある。

- ホスト PC (制御 PC) とシリアル通信をする
- ロードセルの電圧を A/D 変換し、一定時間ごとにホスト PC に報告する。
- バッテリーの電圧を A/D 変換し、変化が大きい時ホスト PC に報告する。

MasterPIC 回路の概要を図 4.3 に示す。

この回路で使用したマイクロコンピュータは PIC16F877(Microchip 製)である。このマイコンの基本仕様を表 4.2 にまとめておく。

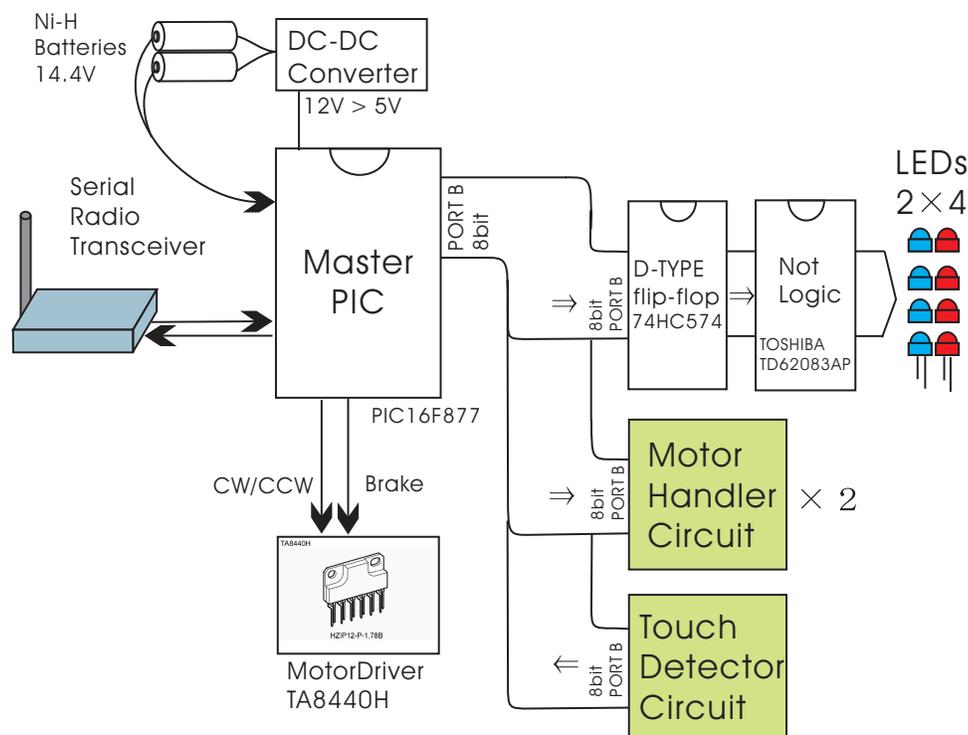


図 4.3: MasterPIC 回路の概要

製作した Master 回路を図 4.4 に、プログラム流れ図を図 4.5 に載せる。

この PIC 回路のプログラムは制御命令を受信し、各命令に対応した動作をし、そのあと接触チェック、バッテリーチェック、ロードセルチェックを行い、前回のチェックと比較して変化が見られたときに、制御用 PIC に通知するようになっている。

ロードセル・バッテリーの A/D 変換はともに分解能 8bit である。バッテリーは 8 デジット分 (電圧換算で約 0.15(V)) の変化があるとき、制御用 PC に通知されるようになっている。一方、ロードセルは周波数約 2(Hz) で制御用 PC に通知されるようになっている。

MasterPIC 回路の回路図を Appendix に添付する。

表 4.1: PIC16F877 の基本仕様

動作周波数	20MHz
リセット(と遅延)	PWRT,OST
フラッシュプログラムメモリ	8K
データメモリ(バイト)	368
EEPROM データメモリ	256
割り込み	14
I/O ポート	Ports,A,B,C,D,E
タイマー	3
キャプチャ/コンペア/PWM モジュール	2
シリアル通信	MSSP,USART
パラレル通信	PSP
10ビット A/D モジュール	8channel
命令セット	35 命令

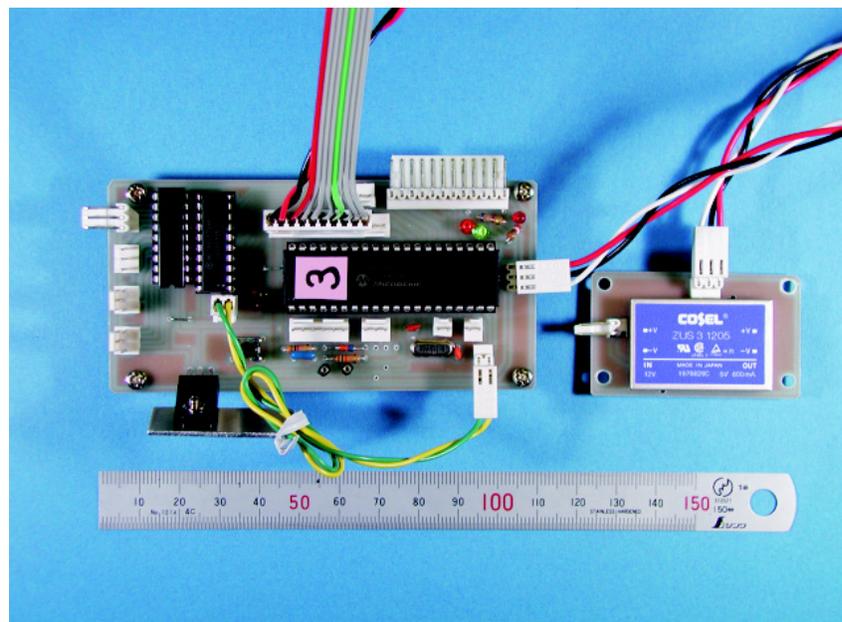


図 4.4: MasterPIC 回路

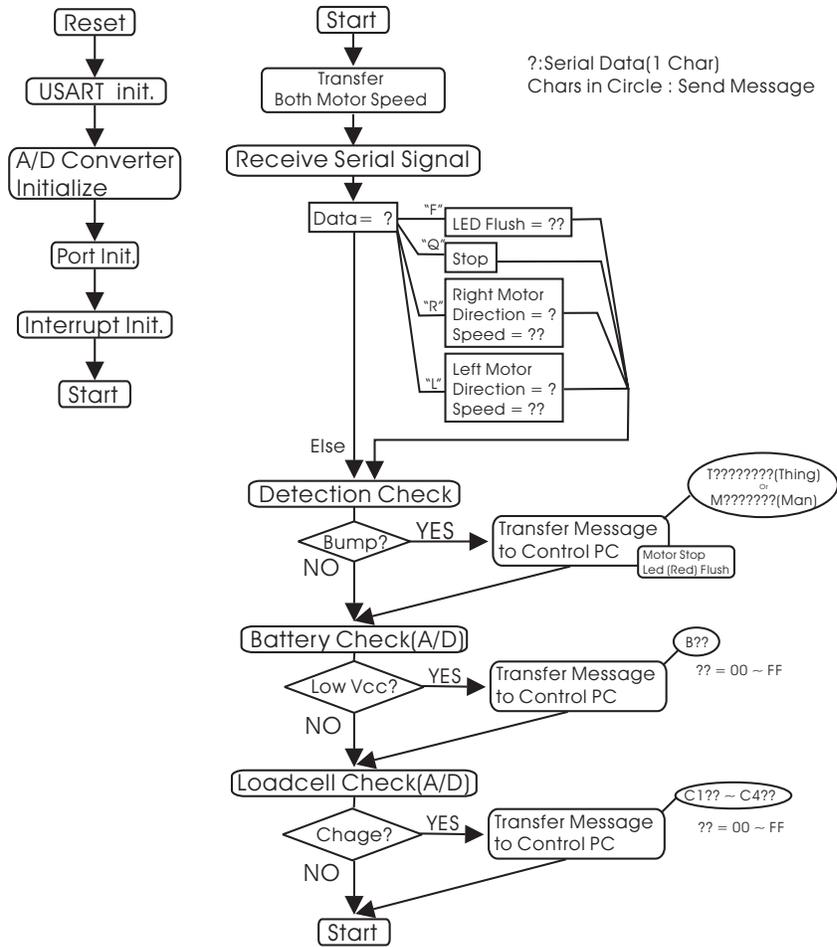


図 4.5: MasterPIC Flow-Chart

4.1.2 TouchDetectorPIC 回路の設計・製作

- 2信号スイッチからの入力を読み取り移動物体かどうかの判断をする。

TouchDetectorPIC 回路の概要を図 4.6 に載せる。また、本回路と MotorHandlerPIC 回路で使用されているマイクロコンピュータ PIC16F876 のスペックを表??に示す。台車には全部で8つのバンパーがあり、それぞれに2つの2信号スイッチが装着されているので、全部で32CH ($8 \times 2 \times 2$) の入力信号がある。これを4つの Bus Transceiver IC(74HC254) を用いて、8ch ずつ4つの組に分けて8bit の PIC ポート (PortB) に入力している。今回使用した2信号スイッチはLED が内蔵されているので、出力信号が0V と5V になっていない、そこでコンパレータ回路を使用することで信号を5V と0V に変換している。PIC 内で動作するプログラムの流れ図を図 4.7 に紹介する。Signal1-0 とバンパーに二つ付いている2信号スイッチの0番における1信号目の入力という意味である。なお、TDCH,RTDD,BUMP などはPIC の入出力ピンの名前である。スイッチの1信号目をトリガーとしてタイマーを動作し、2信号目までの時間を計測し、その時間により移動物体か非移動物体かを判断し信号を出力する。

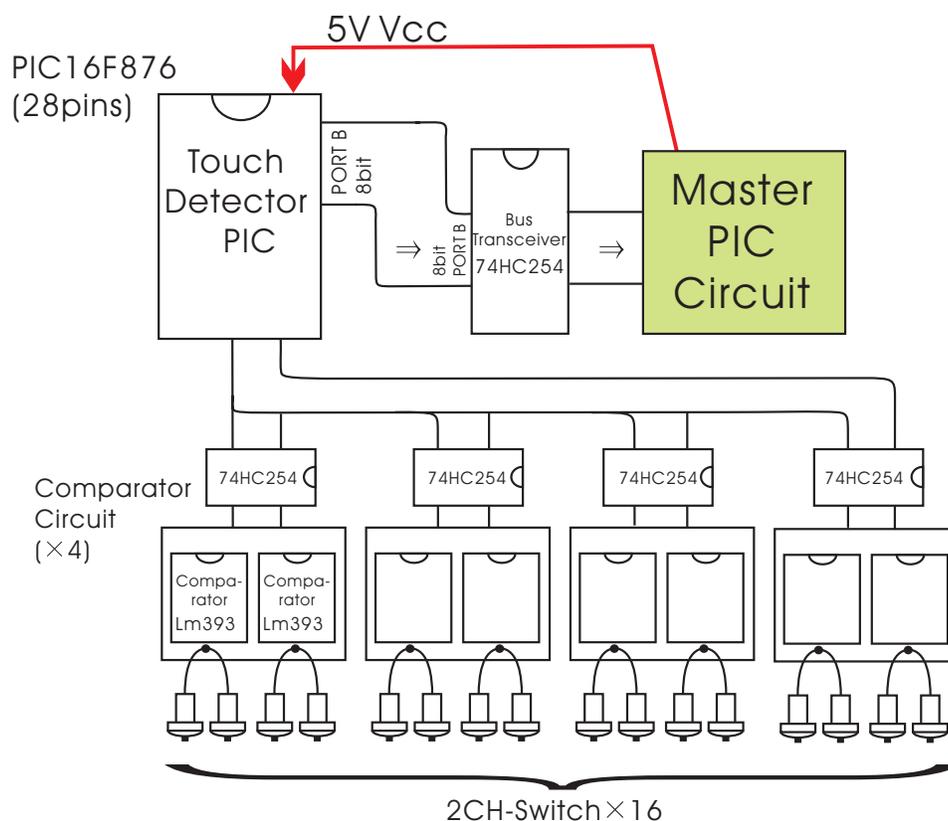


図 4.6: TouchDetectorPIC 回路の概要

表 4.2: PIC16F876 の基本仕様

動作周波数	20MHz
リセット(と遅延)	PWRT,OST
フラッシュプログラムメモリ	8K
データメモリ(バイト)	368
EEPROM データメモリ	256
割り込み	13
I/O ポート	Ports,A,B,C
タイマー	3
キャプチャ/コンペア/PWM モジュール	2
シリアル通信	MSSP,USART
パラレル通信	—
10ビット A/D モジュール	5channel
命令セット	35 命令

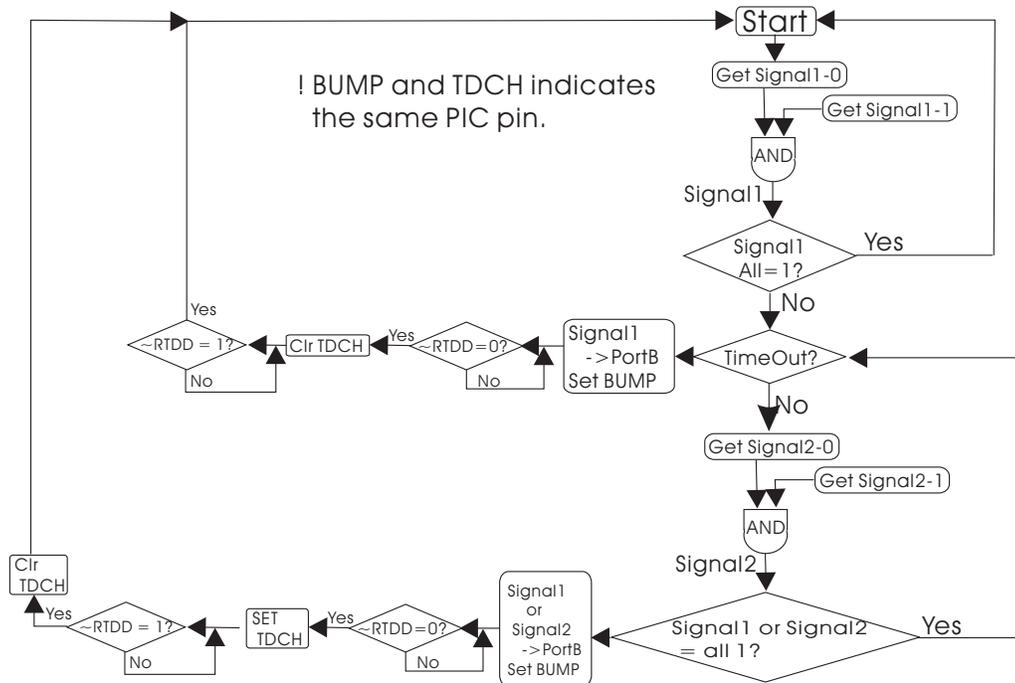


図 4.7: TouchDetector 用プログラムの流れ図

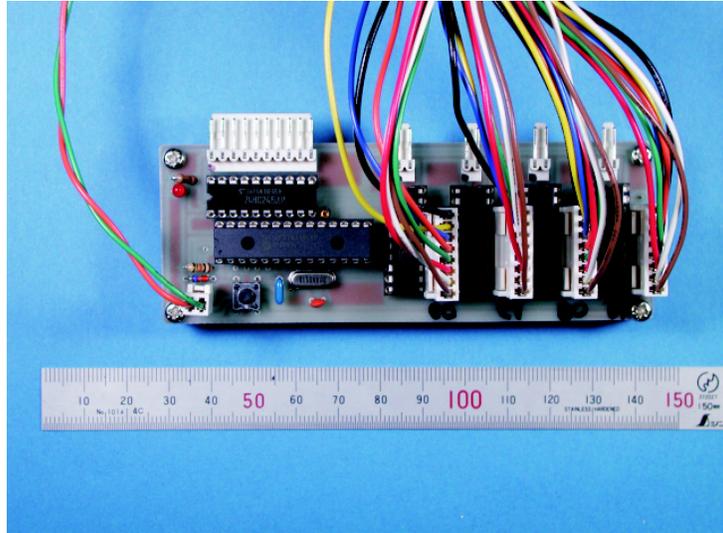


図 4.8: TouchDetectorPIC 回路

製作した TouchDetector 回路を図 4.8 に示す。
TouchDetectorPIC 回路の回路図を Appendix に添付する。

4.1.3 MotorHandlerPIC 回路

MotorHandlerPIC 回路の求められる機能は

- Master から入力される 8bit の値に対応してモータが回転するように、速度制御を行う。

である。

MotorHandlerPIC 回路の概要を図 4.9 に示す。

PIC では PortB に入力された値とエンコーダからのパルス入力に応じてモータドライバの chop ピンに入力する PWM 信号を変化させている。なお D-Type FlipFlop は MasterPIC からの 8 ビットの信号を保持しておくために設置したバッファである。本回路で使用した Motor Driver IC (東芝製) の仕様は表 4.3 のようである。

MotorHandlerPIC 回路用のプログラムの流れ図を図 4.11 に掲載する。

MasterPIC からフリップフロップ IC に入力され保持された 8 ビットの値 (PortB に入力される) とエンコーダの出力パルスの間隔を比較し、PWM の duty 比を変化されることによって、要求機能を実現している。ここで PortB に入力される値は、エンコーダのパルスが入力される目標周期を否定 (NOT) で表したものである。

Timer0 はエンコーダからの入力パルス間隔を測定するために使用し、Timer1 ではエンコーダのパルスの立ち上がりを読み込むためにバッファあふれを利用している。

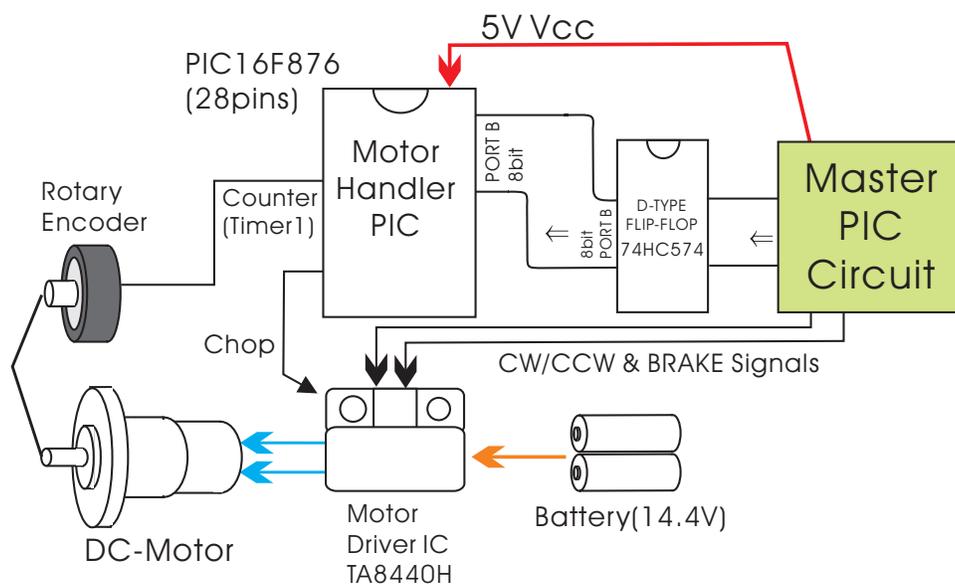


図 4.9: MotorHandlerPIC 回路の概要

MotorHandlerPIC 回路の回路図を Appendix に載せておく。

表 4.3: Motor Driver IC 基本仕様

型番	TA8440H
出力電流	1.5A (AVE.) 3.0A (PEAK)
モード	正転/逆転/ストップ/ブレーキ
入力	CMOS コンパチブル
出力制御	PWM 信号用 chop ピン内蔵

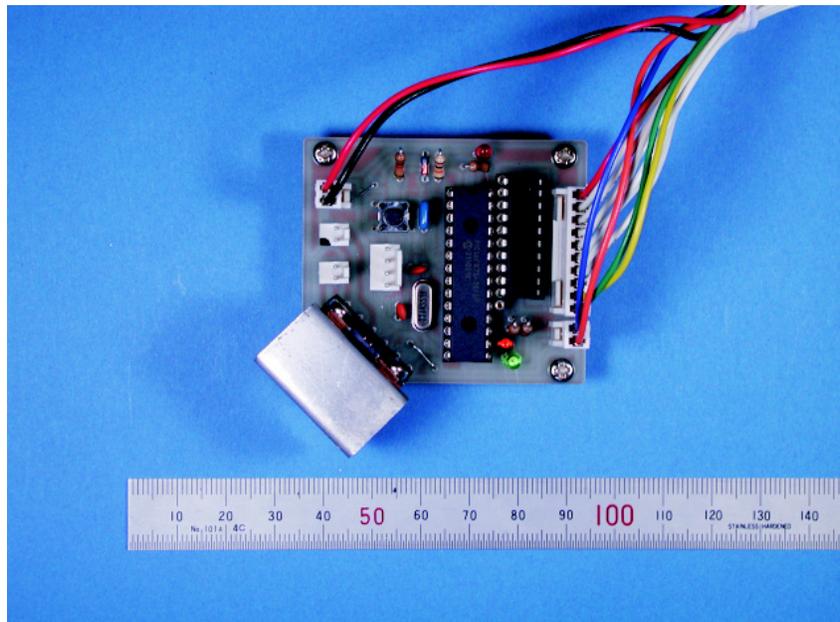


図 4.10: MotorHandlerPIC 回路

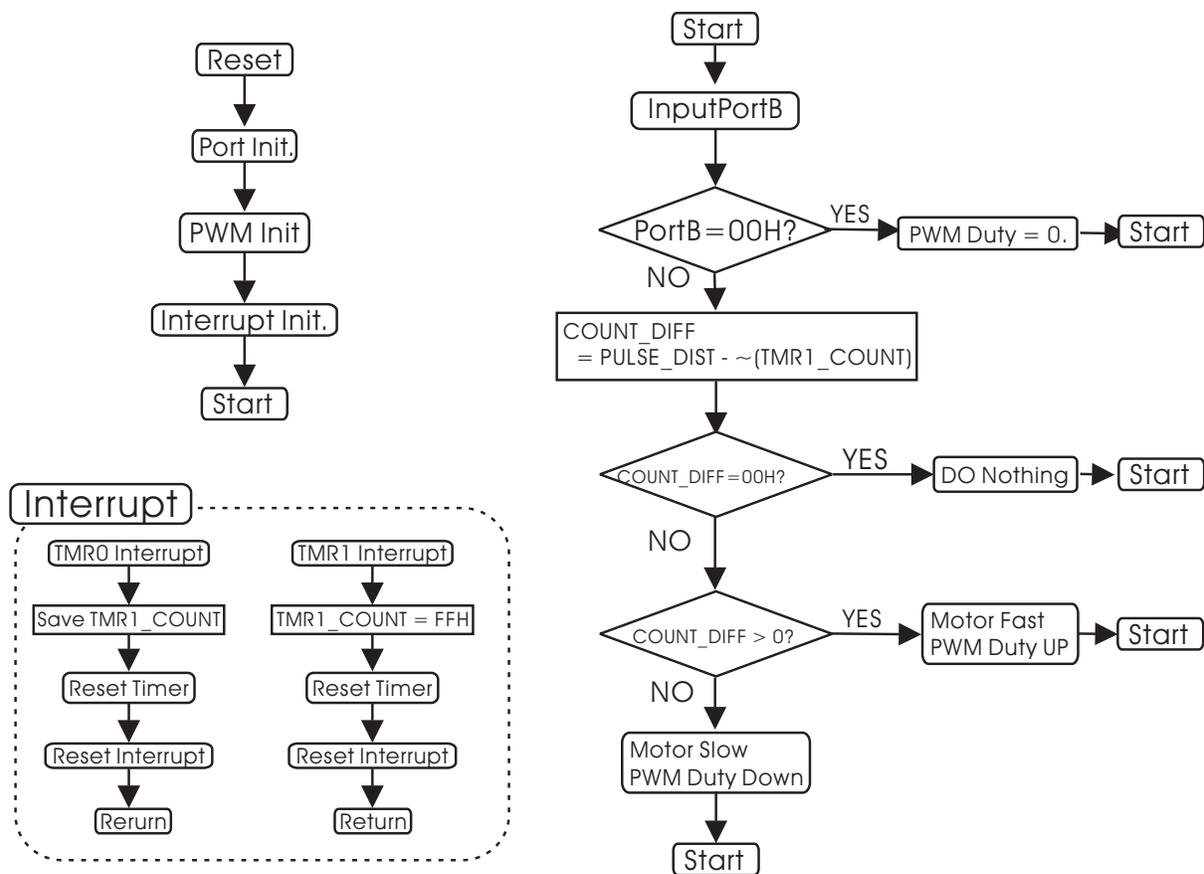


図 4.11: MotorHandlerPIC 用プログラム流れ図

4.2 計測機能の実現

今回のシステムでは、より精度の高い床圧力情報が求められるため、新たな床センサを使用した(図4.12)。この新型床センサは7mmピッチで配置された接触センサがOn-OFF情報を送ってくるものであり、一枚の床センサのサイズは500×500(単位mm)で、そのなかに64×64(計4096個)のスイッチが内蔵されている。図4.14が床センサのコントロール回路であり、床圧力情報をつめてシリアル通信によってPCに情報を送っている。圧力情報の状態により、変化はするもののおよそ4Hz程度でのデータサンプリングが可能である。なお床センサのコントロールボードは表4.4のようなコマンドをシリアル経由で送信することによって床情報を送り返してくる。今回は、この中のDZコマンド(デジタル圧縮モード)を利用している。そして、この床センサを16枚用意して、2000×2000(単位mm)の範囲の床圧力情報を収集した(図4.15)。16枚のセンサのコントローラにはそれぞれ固有のIDが振られており、フラットケーブルによってバス結線されていて、コントローラは自分のIDに関する命令が来た時のみ反応するようになっている。

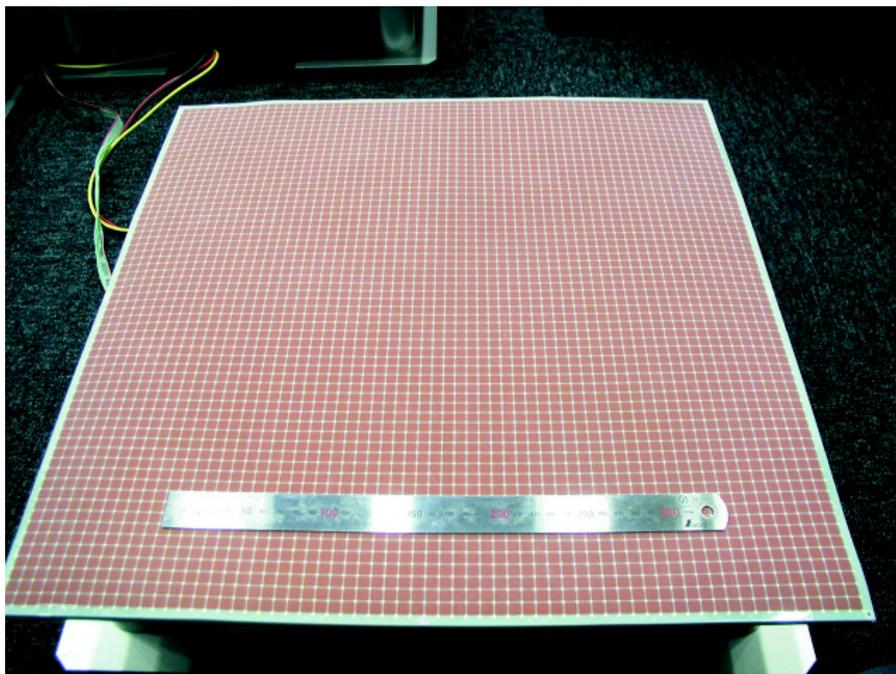


図 4.12: 床センサ

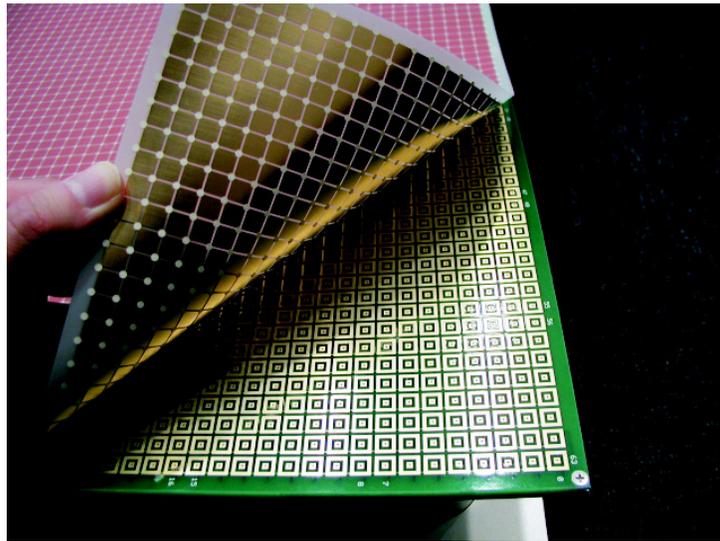


図 4.13: 床センサのスイッチの様子

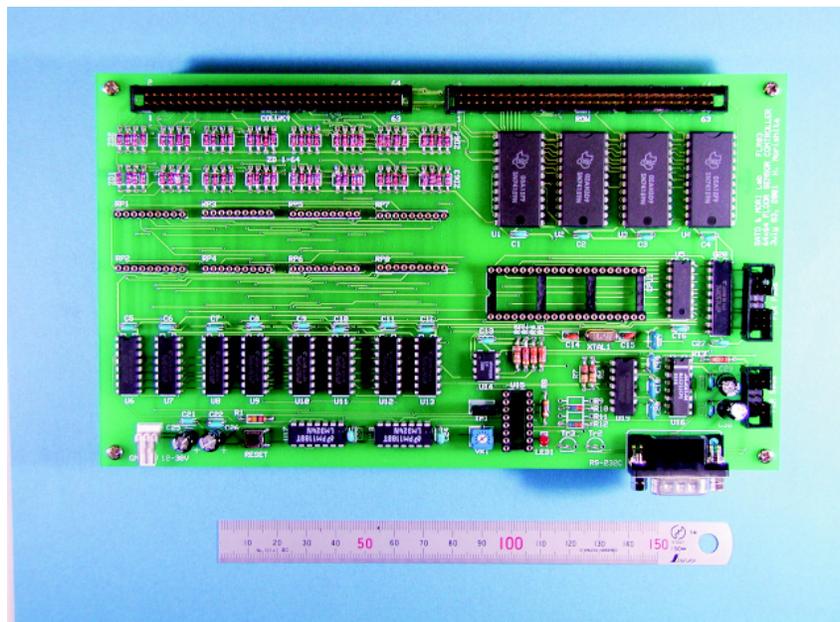


図 4.14: 床センサ用コントロール回路

表 4.4: 床センサ用コマンド一覧

String	命令
Xhh+ (hh= Floor ID)	
ShhZ	Set the DA output voltage
LddZ	Set the measurement area left,lower corner
RddZ	Set the measurement area right,upper corner
DZ	Digital measurement, sent in compressed format
EZ	Digital measurement, sent in uncompressed format
FZ	Digital measurement, sent in bit stream
AZ	Analog measurement, sent in compressed format
BZ	Analog measurement, sent in uncompressed format
aZ	AD conversion on AD0 and send it in hex
rhhZ	Drive row No. 0xhh
dhZ	Get digital data for block h:0..7
?Z	Return Command List
YhhZ	(hh ; FF)Set Floor ID
WZ	Return ID in hex

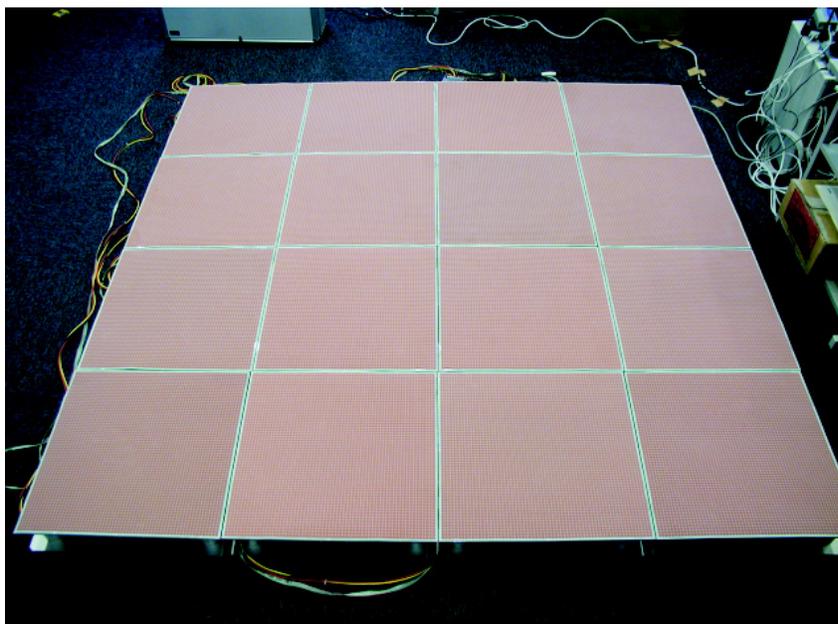


図 4.15: 床センサを16枚並べた様子

4.3 ネットワークの構築

本システムのネットワークの様子を図4.16に示す。床センサのコントローラは制御用PCからコネクタを介してフラットケーブルによって16台がバス結線されている。床のコントローラは各々固有のIDが割り振られており、自分のIDに相当する命令が来た時のみ応答するようになっている。台車への命令はEthernet経由でTCP/IPのソケット通信を利用している。SwitchingHub経由で送られた命令コマンドは(Ethernet-Serial)変換器(図4.19参照)を通ることによってシリアル(RS232C)へと変換され、シリアル無線機へと送られる。台車に内蔵された組み込み型シリアル無線機の信号はTTLレベルのもので、そのままPICのシリアルポートへと送られている。制御PCと床コントローラ、無線機と(Ethernet-Serial)変換器で行われているシリアル通信の設定はそれぞれ表4.5のようになっている。

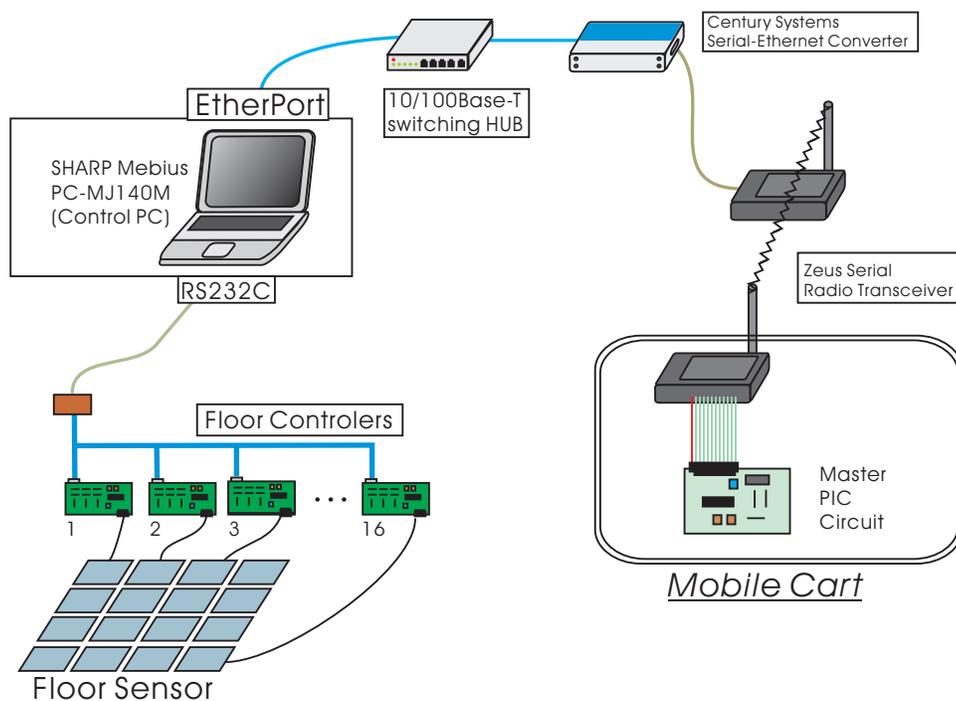


図 4.16: 移動台車システムネットワーク図

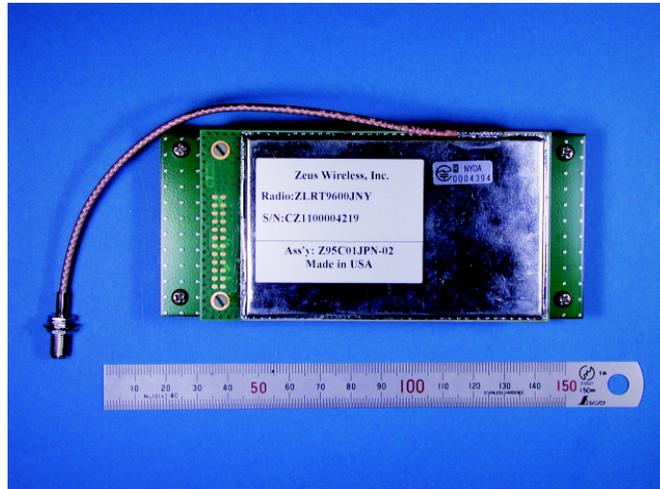


図 4.17: 内蔵用シリアル無線機



図 4.18: デスクトップ設置型シリアル無線機



図 4.19: (Ethernet-Serial) 変換器

表 4.5: 制御 PC と床コントローラ, 無線機と (Ethernet-Serial) 変換器のシリアル通信の設定

PC	Floor	
通信速度		115,200bps
データビット		8bit
パリティ		なし
ストップビット		1
Radio	FA-10	
通信速度		9,600bps
データビット		8bit
パリティ		なし
ストップビット		1

4.4 データ解析・提示機能の実現（制御用PCプログラムの作成）

この節ではデータ解析・提示機能の実装について述べる。

4.4.1 要求機能

制御用PCに必要とされる機能は次のようにまとめられる。

- 台車と通信を行い、命令を送信し、台車の状態を受信する。
- 床センサ用コントローラと通信をし、床データを受信する。
- 台車の各センサの状態を解釈し、画面描画などによりユーザに情報を提示する。
- 床センサの状態を画面に描画しユーザに情報を提示する。
- ユーザが台車に命令をするインターフェイスとなる。
- 床センサと台車自身の状態に関する情報を統合・解釈し、台車の位置・角度を計算しユーザに提示する。

4.4.2 節では、床センサと台車の情報を統合・解釈し、台車の位置・角度を求めるアルゴリズムについて解説する。

4.4.3 節では、この節で挙げた必要機能を満たしたソフトウェアの製作について述べる。

4.4.2 床センサ情報より台車の位置・角度を推定するアルゴリズムについて

床センサから得られる情報は 256×256 のデジタルマトリクスデータで、各データは1bitのOn-Offデータである。

この床情報より台車の位置を推定するために、今回はテンプレートマッチングの初歩的な手法を用いた。まず台車角度30度ごとにテンプレートを手作業で作成し、6つのサンプルを用意した。今回使用したサンプルを図4.20に示す。なお1ピクセルが一つのセンサに対応している。

位置推定を始める前に、まず台車を特定の初期位置に置き calibration を行う。その後、前回の台車の位置を中心に80センサー（約600mm）四方を検索範囲としてテンプレートマッチングを行う。図4.21にマッチング範囲とテンプレートとの関係を示す。マッチングの結果もっとも適合度の高いサンプルを現在の角度とし、そのサンプルの中心を台車位置の座標として保存する。

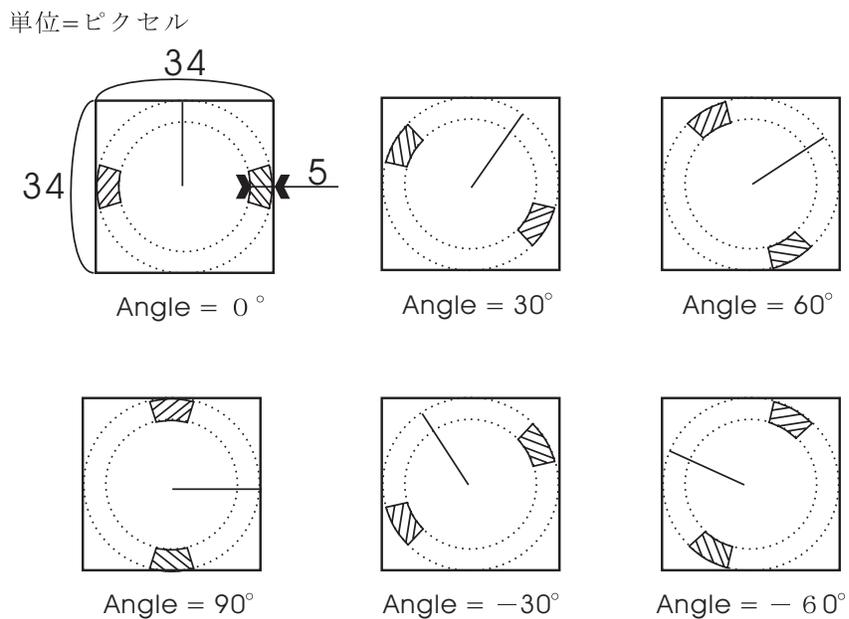


図 4.20: 比較元となるテンプレートサンプル

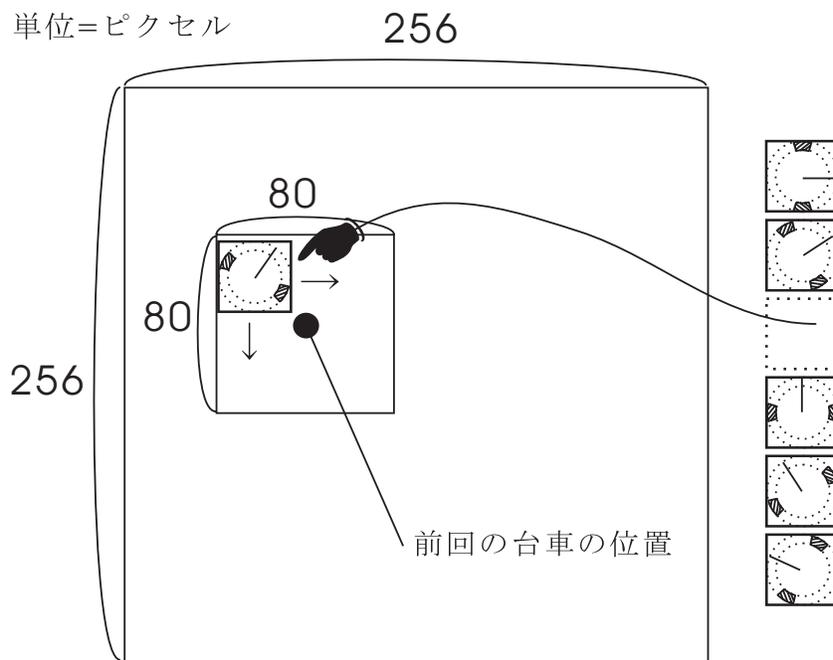


図 4.21: テンプレートマッチングの様子。

4.4.3 製作

4.4.1 小節で、上げた要求機能を満たすようにプログラムを作るために、本論文ではモジュール化が比較的容易な JAVA をプログラミング言語として選んだ。基本的に各機能に対して一つのモジュール(クラス)が対応するように設計した。各モジュールとその機能の関係を図 4.22 に示す。

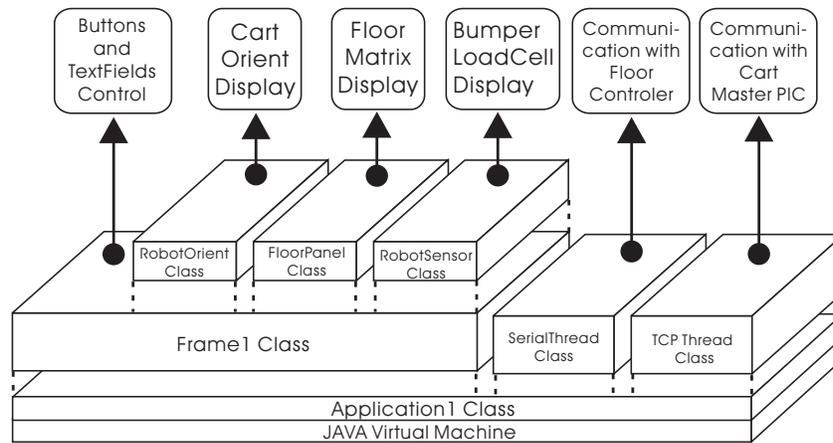


図 4.22: プログラムモジュールとその各機能

図 4.23 は製作プログラムの実行画面である。

プログラムのディスプレイは大きく分けて台車コントローラ部、床センサ情報表示部、台車状態情報表示部の3つからなる。コントローラ部の各ボタンを押すとそれに対応した命令が台車に伝達されるようになっている。床センサ情報表示部は SerialThread がシリアル通信によって台車から入手した床センサ情報をマトリクスで表示している。位置ピクセルが各センサに対応しているため、256×256 の画像となっている。台車状態情報表示部は TCPThread が台車から入手した台車の状態情報を解読し、表示するようになっている。表示される内容は各バンパーの接触状態、ロードセルの負荷、バッテリー残量、デバッグ情報などである。

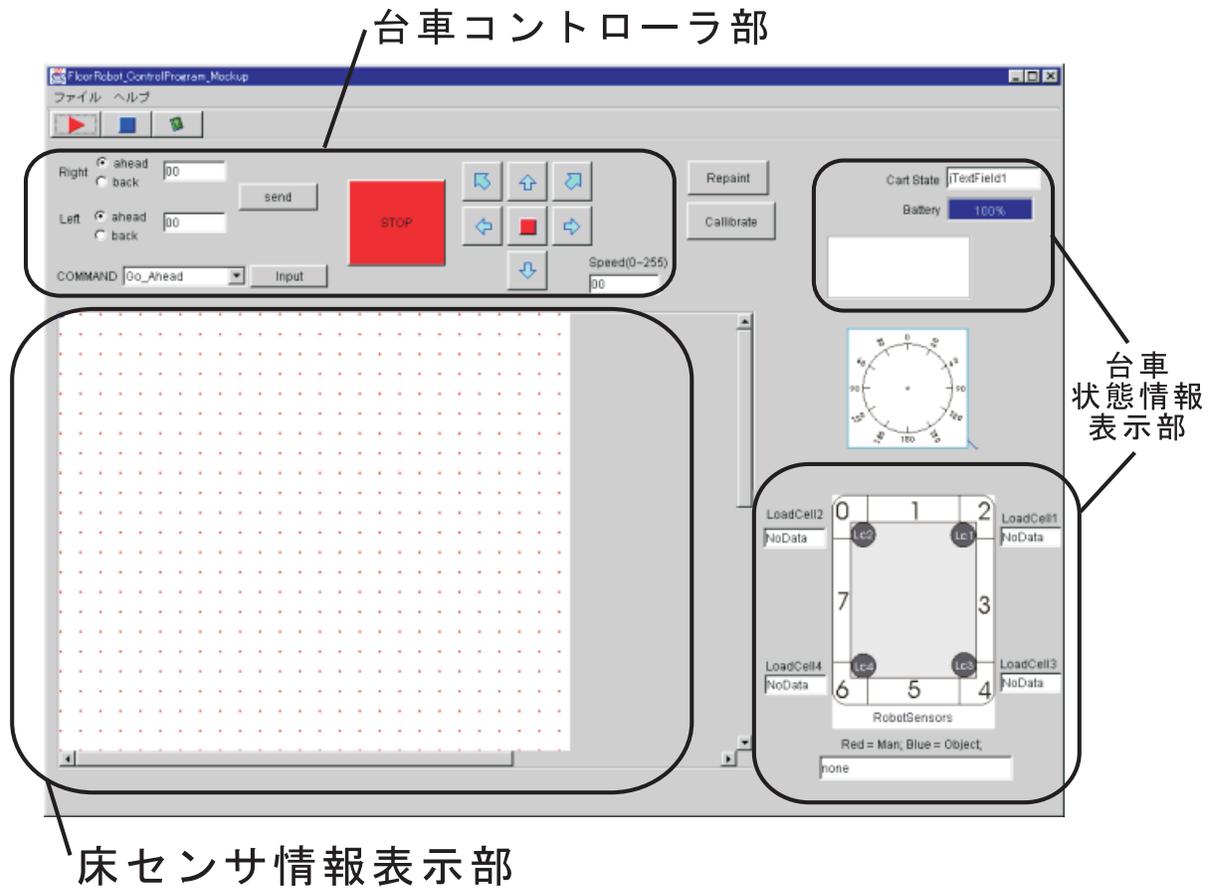


図 4.23: 製作したプログラムの実行画面

第5章

機能評価実験とその考察

台車およびシステムに実装した機能のうち、定量的な性能評価が検証が可能なものを実験し評価する。

5.1 運搬機能の基本性能試験

運搬機能の基本仕様としてあげた3項目について実験をし、比較をした。表5.1に基本仕様の比較を示しておく。

表 5.1: 運搬機能の基本仕様と実現した台車の仕様との比較

機能項目	要求仕様	実現した仕様
最小回転半径	0 (mm)	約 0 (mm)
最大運搬荷重	10 (kg)	10 (kg) 以上
最大移動速度	100 (mm/sec)	約 100 (mm/sec)

以上の結果より、製作した台車は基本仕様を満たしていると言える。

5.2 2信号スイッチの性能測定と移動物体・非移動物体の識別実験

接触認識を行うために採用した2信号スイッチの入力信号の立ち上がり時間差が接触相手の速度によって変化することを確認するために、スイッチの性能測定を行った。実験の様子を図5.1に、実験で用いた実験器具を図5.2に示す。動力には台車で一定速度で回転させることのできるコントローラ付DCモータを使った。ガイドレール上の設置されたL字ブロックをDCモータを使い一定速度で落下させ接触させることによって、一定の接触速度を実現したものである。

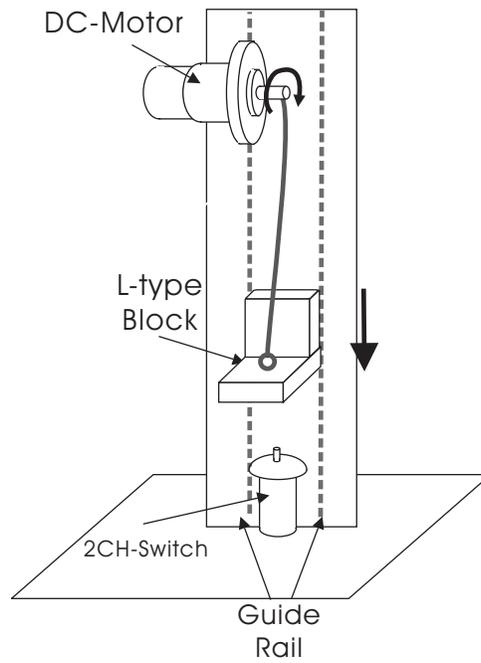


図 5.1: 2 信号スイッチ性能試験の様子



図 5.2: 2 信号スイッチ性能試験で用いた実験器具

この実験において接触時間は式 5.1 のような関係にあると考えられる。式 5.1 の変数の説明を表 5.2 に示す。

$$L = V \times t \quad (5.1)$$

表 5.2: 式 5.1 の変数の説明

変数	意味	実際の値
L:	2 信号スイッチのストローク	3.2 (mm)
V:	接触速度	?? (mm/sec)
t:	2 つの入力信号の時間差	?? (sec)

この実験により得られたデータを図 5.3 に示す。理想のデータは式 5.1 より計算した値である。実際のデータと若干の誤差はあるものの、理想のデータと近いものとなった。

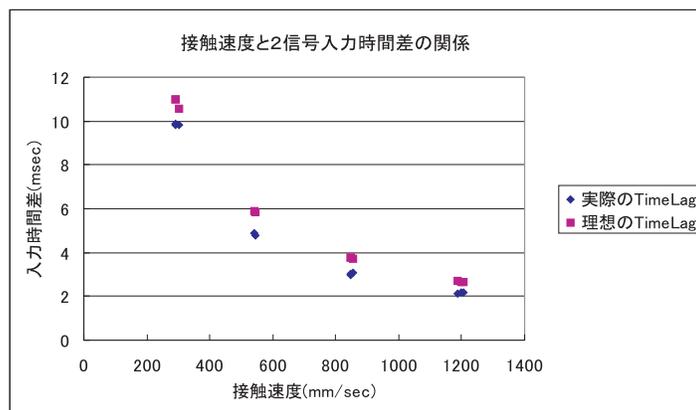


図 5.3: 2 信号スイッチの入力信号と接触対象速度の関係

今回の実験では、ほぼ予想される結果が得られた。この実験の結果により 2 信号スイッチを用いて二つの入力の時間差を計測することにより、接触対象の速度を推定することが可能であることが明らかになった。

5.3 ロードセルによる荷重測定実験

荷重認識のために、台車に設置したロードセルの情報から得られる推定荷重値と実際の値を比較する実験を行う。台車の最大積載荷重は10kgと指定したので、0kg～10kgの間で7個のサンプルを用意しそれぞれについて3回ずつ測定実験を行った。結果が表5.3である。

表 5.3: ロードセルによる推定荷重値と実際の荷重との比較

荷重 (g)	推定荷重値の平均 (g)	誤差平均 (%)	最大誤差 (%)	標準偏差
770	738	4.41	8.44	30.1
1510	1480	2.03	6.56	19.5
2995	2919	2.60	5.08	19.5
4490	4402	2.01	4.37	19.5
6030	5907	2.08	4.08	22.5
8410	8254	1.89	4.41	30.1
10780	10576	1.93	3.78	19.5

最大誤差が10%未満におさまっているので、台車が荷台に載せられた荷重を測定するには十分な精度があると言える。ただ全体として、推定値が実際の値より小さくなっている。この原因は現在解明中であるが、台車制御用ソフトウェアによる補正を加えることによって台車の動作自身には問題がないようにすることが可能である。

5.4 床センサによる台車位置・角度情報の入手とその評価

この節では床センサを利用した台車位置・角度情報に関する実験を行う。

この実験は本システムが採用している PatternMatching による台車の位置・角度の推定アルゴリズムの評価とその改善方法の考察を目的とする。図5.4が実験の様子であり、図5.4が実験中の制御用PCの画面である。この実験では、3つの異なる条件のもと台車を旋回させ、その位置および角度情報の変化を見る。この3つの条件は図5.5に示す。

床センサは各パネルの端に、およそ5mmほどセンサの有効でない部分が存在する、その影響が今回の台車位置・角度推定アルゴリズムにどのような影響があるかを調べるためにこの条件を選んだ。条件1はタイヤの圧力情報は床センサにより理想的に得られている状態である。条件2は片方のタイヤについての圧力情報が不確実であり、条件3では両方のタイヤに関して圧力情報が不確実である。

表5.6に実験結果を示す。ここでいう台車の位置および角度とは図5.6が示すように、二つのタイヤの中心を台車の位置とし、そこから二つのタイヤを結ぶ直線に対する法線を引き、その法線と床の基準線がなす角度を言う。

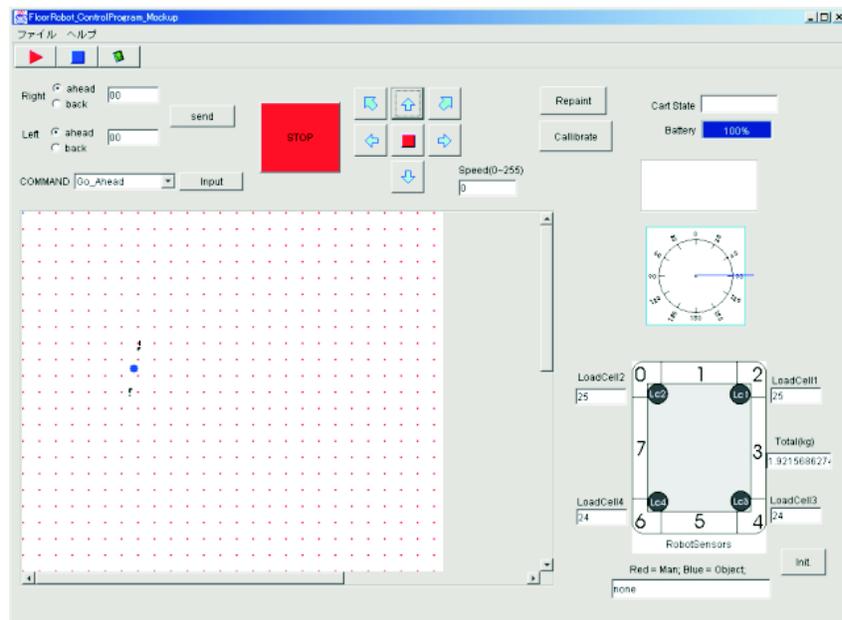
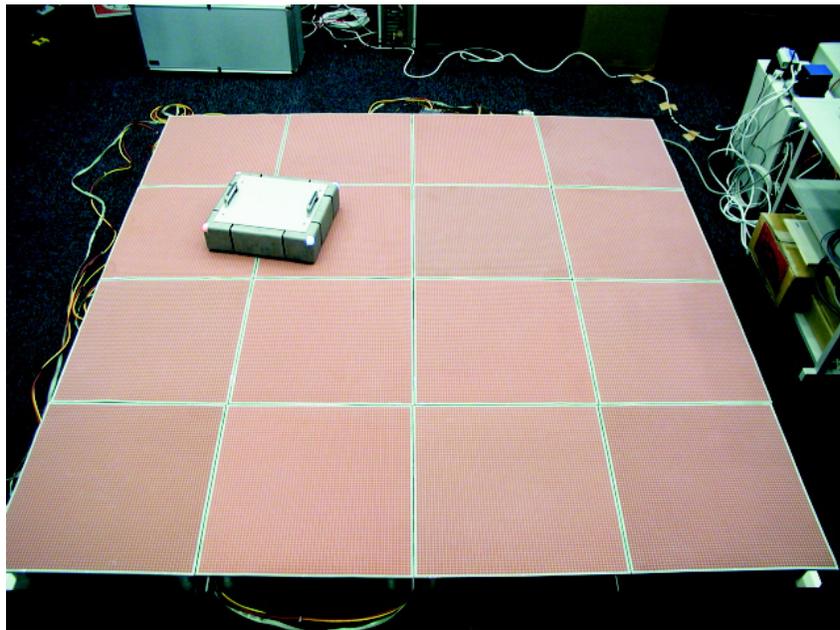


図 5.4: 実験中の制御用 PC の動作画面

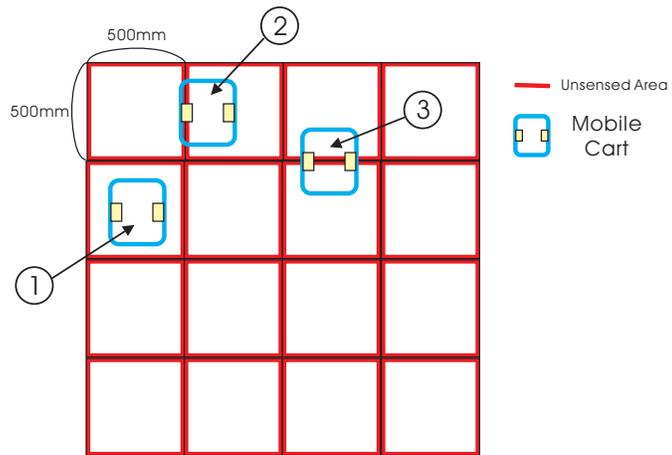


図 5.5: 測定のための台車の配置条件

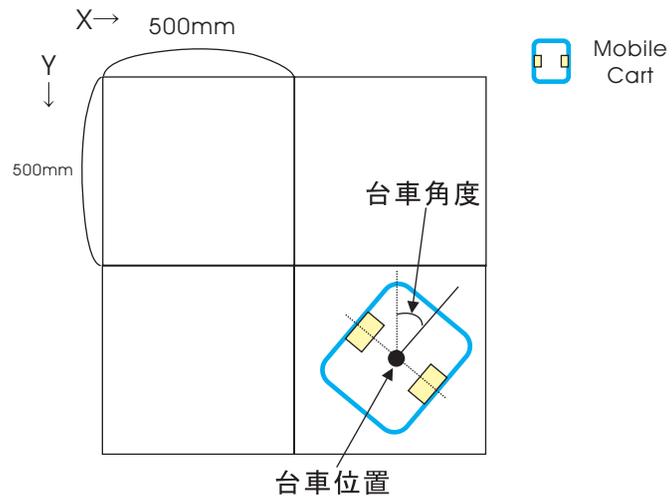


図 5.6: 「台車位置」と「台車角度」の定義に関する説明

以下に実験によって得られたデータをまとめる。
推定角度に*印のついてるものは、実際の角度と異なるものである。

表 5.4: 床センサによる台車位置・姿勢情報の推定結果 (条件)

実際の位置 (X,Y)	実際の角度	推定位置 (X,Y)	推定角度	位置の誤差
(32,32)	0 °	(32,39)	0 °	(±0,+7)
(32,32)	30 °	(35,33)	30 °	(+3,+1)
(32,32)	60 °	(31,32)	60 °	(-1,±0)
(32,32)	90 °	(31,32)	90 °	(+1,±0)
(32,32)	120 °	(33,33)	120 °	(+1,+1)
(32,32)	150 °	(32,32)	150 °	(±0,±0)

表 5.5: 床センサによる台車位置・姿勢情報の推定結果 (条件)

実際の位置 (X,Y)	実際の角度	推定位置 (X,Y)	推定角度	位置の誤差
(50,30)	0 °	(49,28)	0 °	(-1,-2)
(50,30)	30 °	(52,32)	30 °	(+2,+2)
(55,25)	60 °	(56,26)	60 °	(+1,+1)
(35,55)	90 °	(46,43)	* 120 °	(+11,-11)
(50,30)	120 °	(58,51)	* 30 °	(+8,+21)
(50,30)	150 °	(51,31)	150 °	(+1,+1)

表 5.6: 床センサによる台車位置・姿勢情報の推定結果 (条件)

実際の位置 (X,Y)	実際の角度	推定位置 (X,Y)	推定角度	位置の誤差
(35,64)	0 °	(33,75)	0 °	(-2,-11)
(55,70)	30 °	(49,69)	30 °	(-6,-1)
(60,75)	60 °	(55,73)	* 30 °	(-5,-2)
(64,35)	90 °	(55,30)	90 °	(-9,-5)
(55,55)	120 °	(56,30)	* 60 °	(+1,-25)
(50,60)	150 °	(53,56)	150 °	(+3,-4)

考察

この実験で、条件 のように台車の圧力情報がしっかりとデータに現れている場合、現在のアルゴリズムで、台車の位置及び角度を推定することが可能であることが判明した、一方で条件 , のように台車に関する圧力情報が欠損したとき、このアルゴリズムでは角度の異なるサンプルを最も適合するものを選んでしまい、結果台車の位置が実際のものとは違う結果になってしまっている。これを補うために、常にパターンマッチング情報を保存し、過去のデータとの関係を利用して、位置・角度の補完をする方法などが考えられるが、本論文ではその段階まで実装することができず、将来課題の一つとする。

第6章

結論

6.1 結論

必要なものがあるとき、自分の代わりに誰か（何か）が代わりにとって来てくれないだろうか思うことがある。本研究ではそのような要求をかなえる移動台車を実現することを目指し、以下の二つを目的に設定した。

- 室内生活環境で動作する移動台車に必要な機能を考察する。
- 上記機能を満たした移動台車を生活環境センサネットワーク室のアクチュエータモジュールとして動作させるために必要な機能を考察し、移動台車システムを構築する。

台車に関する考察では、対人安全確保機能、能力に適合した印象を人に与える機能、運搬機能、環境認識機能、自己状態認識機能、危機回避機能、人間による強制移動を容易にする機能、人間空間確保機能、自己状態通知機能らが必要であることを述べた。

また台車を生活環境センサネットワーク室に適応させ動作させるためには、システムに台車内部制御機能、計測機能、ネットワーク機能、データ解析・提示機能が必要であり、それらを実現した。

以下に実現したことの詳細を示す。

6.1.1 台車について

台車の各必要機能において実現したことをまとめる。

- 対人安全確保・能力に適合した印象を人に与える機能
台車の角を丸みを帯びたバンパーで覆うことにより、万一人間が台車に接触しても、人間に害を与えないようにした。つや消しの金属で覆われた外観を採用することにより、本台車が持つ機能とバランスのとれた印象を与えることが可能となった。
- 運搬機能
動力部はDCモータ、タイミングベルト、エンコーダによって構成された。生活環境における台車の最大運搬荷重を10kg、最高速度100(mm/sec)と見積り、その仕様を満たした移動・運搬を実現した。

- 環境認識機能
本台車では環境情報のうち接触情報が重要であると考え、それを認識する機能を実装した。接触認識をするために、台車の周囲のバンパーにスイッチを埋め込んだ。また今回の台車においては、接触対象の速度（移動・非移動物体の検出）が重要であると考え、2信号スイッチ（1入力から2入力までのストロークが3.2mmの2段階スイッチ）を採用した。2つの入力信号の立ち上がりの時間差を計ることによって接触対象が移動物体かどうかを認識できるようにし、その実用性を示した。
- 危機回避・自己状態認識
本台車では自己状態を認識することによって回避できる危機として、オーバーロードおよび動力低下による運搬機能の低下、停止を取上げ、それを回避すべく認識機能と対処機能を実装した。荷台の上の荷重をロードセルによって測定できるようにし、それらから得た情報により、荷台上の荷重を推定することが可能であることが示された。また内蔵されたバッテリーの状態を認識し、台車底部に設置された充電端子より充電できるようにし、台車の連続動作を可能にした。
- 人間による強制移動を容易にする機能
取っ手を台車上部に設置しすることによって、台車が人間によって簡単に強制移動できるようにした。
- 人間空間確保機能
台車の内部電源を充電できるようなドックが置かれた場所を用意し、そこを台車の待機場所として指定することによって不必要に人間の空間を占有しないようにした。
- 自己状態通知機能
LEDを台車の角に配置し、台車の各動作に対応したLEDの点滅パターンを用意することによって、人間に対して、台車の動作を通知することが可能となった。

6.1.2 台車の生活環境センサネットワーク室への適応について

システムに必要とされた各機能についてまとめる。

- 台車内部制御機能
複数のワンチップマイコンによる台車内部制御の分散化を行い、台車制御用PCからの命令を受信・解釈する回路を中心に据え、その回路より接触認識回路とモータ制御回路に命令が伝達されるようにした結果、台車の動作命令に対応した台車内部制御を実現した。
- 計測機能
床センサを利用することにより、台車の位置を推定するのに必要な床圧力を計測することが出来た。なおこの床センサは7mmピッチで配置されたの接触スイッチが64×64個敷き詰められたパネル(5000mm×5000mm)であり、およそ4(Hz)の周波数で床圧力情報を収集できるものである。

- **ネットワーク機能**
制御機能を割り振られたコンピュータと台車が制御命令と台車状態情報を通信でき、計測機能を割り振られた床センサとコンピュータが床圧力情報を通信できるネットワークを構築した。
- **データ解析・提示機能**
台車に対して命令を行う制御用プログラムには、台車との通信機能、床コントローラとの通信機能、台車の状態提示機能、床センサ情報提示機能、人から台車への命令取得機能、床情報と台車情報の統合・解釈機能、の6つの要求機能がある。上記の各機能のモジュールごとに分割することによって、各機能を並列に行うことを可能にした。また、床センサ情報から台車の位置・角度を推定するプログラムを作成し、床情報による台車制御の可能性を示した。

6.2 将来課題

- **運搬機能の評価**
今回の台車では運搬機能の仕様を最大運搬荷重 10(kg)、最大移動速度 100(mm/sec)と設定したが、この仕様を評価する実験を行わなければならないと考える。実験では、この移動台車を生活環境センサネットワーク室で実際に使用し、載せられた荷重のデータや、移動速度と接触の関係を示すデータを集めることが必要であろう。
- **状態通知機能の改善**
LEDによる状態通知機能は必ずしも万能ではない。たとえば、台車が人間にとって死角となる位置を移動していたときには、人間に対する情報通知は一切機能しない。また、LEDの点滅とそれに対応する情報の組み合わせを知らない場合、情報が正しく通じるとは限らない。これらことを考えると別の形での情報通知機能も必要であると考えられる。また台車自身に設置する以外にも、生活環境ネットワーク室に台車の動作情報などを表示する情報提示装置を設置すべきだと考える。
- **環境認識機能の追加**
本論文では環境認識機能のうち接触認識がもっとも重要であるとし台車への実装を行ったが、より高機能にしようとするのであれば路面状態認識などの機能が必要とされることが考えられる。ただそれが台車自身に実装されるべき機能なのか、システム側に搭載されるべき機能なのかはさらに考察が必要であると考えられる。
- **台車に対する命令の多様化・高度化**
現在台車の移動に関する命令は各車軸の回転速度を与えることになっているが、タイヤの回転数による制御を加える必要があると考える。回転数による制御は床センサによる位置情報とのリンクが期待され、これによってさらに有効な制御が可能であると考えられる。
また制御ソフトウェアから台車に対しての命令は、前進、後退、旋回などの非常にプリミティブなものに限られている。将来は、これらの命令を組み合わせること

とによって、現在に比べて高レベルな命令を実現されることが求められる。具体的には始点と終点を定義したときに、障害物の存在する場所を避けながら、経路を組み立てる機能が有用であると考えられる。

- 床センサ情報の分析

現在は床センサ上には人間を含めた障害物が存在しない状況で実験をしているが、将来実際に生活環境を想定して実験を行う際には、それらが存在する状態で床の情報を取得しなければならない。そして、その床情報から台車の位置・角度を検出することはもちろんのこと、人間の位置、障害物の位置などを検出することが求められる。

6.3 将来展望

将来の展望としては生活環境センサネットワークの他のモジュールと連携して、人間に対して支援を行うことを考えている。例えば、家電に取り付けられたアクチュエータモジュール（冷蔵庫取り付け型ロボットアーム）と連動し、冷蔵庫の中から飲み物を取り出して、人間のところまで運んでいく動作などを実現することを考えている。また、床センサのデータをさらに解析し、人間の行動パターンなどが見つけ出せるとしたら、そのパターンと台車の動作計画をからめると、また違った課題・目的が見えてくるのではないかと考えている。例えば、人間の行動パターンを理解したロボットが、人間の邪魔にならないようなところに自分の居場所（定位置）を設定することなどが考えられる。

付録 A

移動台車計画図

製作した移動台車の計画図をこの論文の最後に附す。

B.2 TouchDetectorPIC 回路図

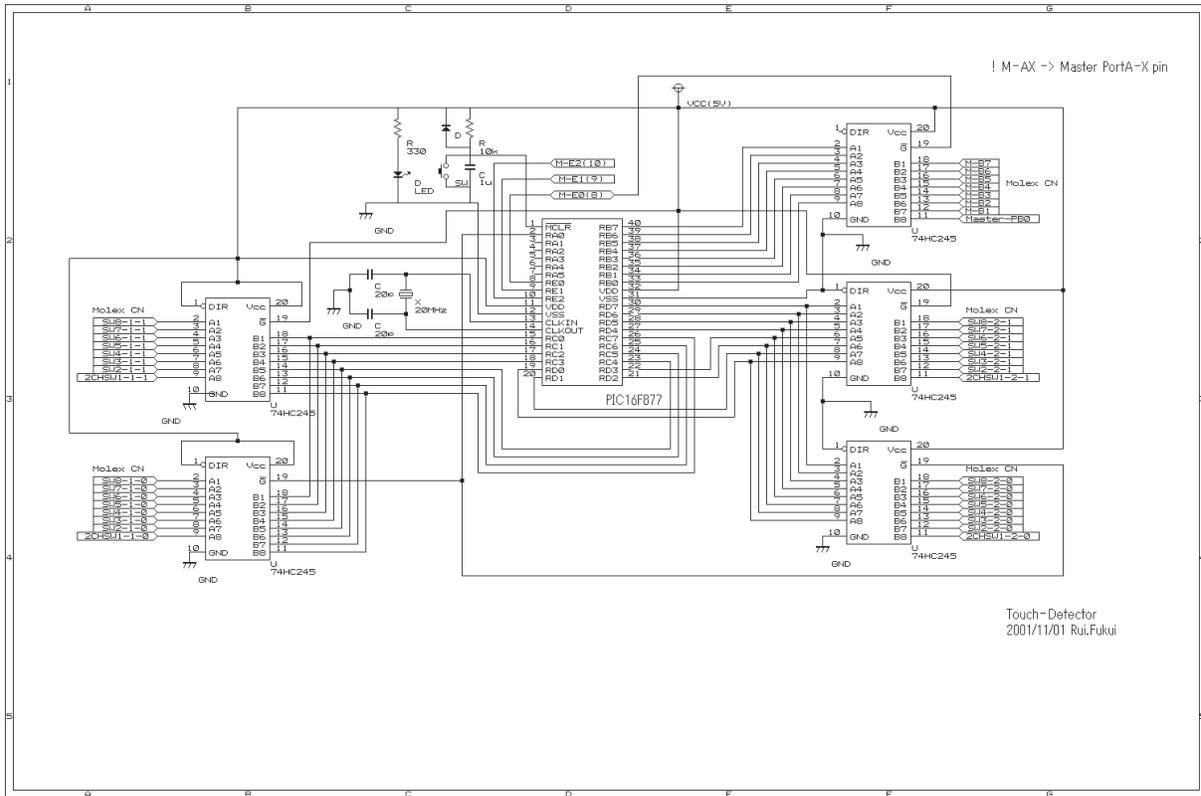


図 B.2: TouchDetectorPIC 回路図

Touch-Detector
2001/11/01 Rui.Fukui

参考文献

- [1] Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Toru Ishida. Psychological analysis on human-robot interaction. pp4166-4173, International Conference on Robotics & Automation Seoul, Korea. May 21-16,2001
- [2] M.Khatib, B.Bouilly, T.Sumeon, R.Chatila. Indoor Navigation with Uncertainty using Sensor-Bsased Motions. Conf. on Rototics and Automation Albuquerque, USA, APRIL 20-25, 1997
- [3] 藤村希久雄．行動ストラテジーとアルゴリズム．日本ロボット学会誌 Vol.11 No.8, pp1124-1129, 1993
- [4] 平田泰久，小菅一弘，浅間一，嘉悦早人，川端邦明．複数移動ロボットによる未知形状物体の協調搬送．第18回日本ロボット学会講演会,pp1025-1026,2000
- [5] 佐藤知正，西田佳史，溝口博．ロボティックルームに関する研究 第17回ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集,pp913-918,1994
- [6] 森武俊，吉本諭治，佐藤知正．人間行動記述のための分散センシングシステム．第17回日本ロボット学会講演会,pp1163-1164,1999
- [7] 黒沢郁雄（いすゞ自動車開発企画室）ら著．自動車と設計技術 大河出版 昭和62年5月10日，第3版発行
- [8] 横浜ゴム株式会社編．自動車用タイヤの研究 山川堂 平成7年4月15日，第1刷発行

謝辞

本研究を進めるに当たり、多くの方々にご支援ご協力を頂きました。この場にて感謝の意を表し、謝辞を述べさせて頂きたいと思います。

佐藤知正教授には研究テーマの設定時には僕の希望を最大限生かしていただきました。また大学院の試験に関連し進路で悩んでいるときにアドバイスをしていただいたことが非常に強く心に残っています。そして、研究としての理論の積み上げ方、自分の意見を論文としてまとめる技術など、研究生活に必要なものをご教授くださいました。まだまだ未熟ではありますが、この1年間で学んだことをこれからの研究生活で生かしていこうと思います。本当にありがとうございました。

森武俊講師には直接指導を受けることは出来ませんでした。メールを通してこまめにアドバイスをいただきました。そして研究に関するさまざまな情報をいただきました。本当にありがとうございました。

研究員の森下さんには機械設計から回路製作、実験のやり方まで幅広く指導していただきました。技術的なアドバイスから大学時代の思い出などの雑談まで様々な話を伺うことができ大変実りのある一年でした。森下さんのお力なくしては、この研究は成立しなかったことと思います。卒業論文を通して学んださまざまな技術はこれからの研究生活、およびその後の生活でも必ず役に立つことと思います。本当にありがとうございました。

助手の中村さんには出張の手配から、物品購入の手続きまでさまざまな手続きでお世話になりました。また8号館626号室での生活では、学生一人きりの環境でありながら、温かく接していただき大変居心地の良い環境で研究生活を送ることができました。本当にありがとうございました。

技術官の田中さんにはパソコンの組み込みから、さまざまな備品の手配までさまざまな手続き及び作業でお世話になりました。暗室および工具箱からでてくる様々なアイテムはドラえものの四次元ポケットを彷彿とさせ、困ったときに大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

助手(元PD)の原田さんには院試勉強の時は慰めの言葉。討論会の際は鋭い指摘。飲み席では僕をネタにする笑いなど、研究生活全般および私生活にわたって面倒を見ていただきました。ひっそりと院試の打ち上げをしていただいた、原田さんのやさしさは一生忘

れません。本当にありがとうございました。

修士2年の高さん、小林さん、辻岡さん、塚瀬さんには研究に関する相談から雑談まで、さまざまなことからお世話になりました。本当にありがとうございました。

高さんと、小林さんには634でいろいろな話（主にガンダムの話）を聞く機会が多く作業以外も充実した時間が過ごせました。

辻岡さんには修士論文で忙しい中、僕が2号館に移動してからのお世話をしていただきありがとうございました。飲みの席で、不思議なカクテルを作っている辻岡さんの姿を僕は忘れないでしょう。

修士1年の飯田さん、一柳さん、内野さん、下坂さん、高松さん、野口さんには研究室の事務的な仕事、いろいろな話、本当に些細な雑用など大変お世話になりました。

飯田さんには僕が院試勉強で打ちひしがれていたときに、いろいろな話をしていただきありがとうございました。

一柳さんには、研究室旅行の幹事をやっていただき、僕らは下っ端なはずなのに何も手伝わず（手伝えず？）もうしわけませんでした。そして、ご苦労さまでした。

内野さんは、飲みの席で本当に頑張っていて、この人はなんてバイタリティーにあふれる人なんだろうといつも感心をしていました。これからもよろしく願います。

下坂さんには真面目な話から不真面目な話まで幅広くお話を伺い、非常に楽しませていただきました。

高松さんには8号間唯一のM1ということでたくさんの雑用を頼んでしまい申し訳ありませんでした。いやな顔一つせず手伝ってくれる高松さんの人柄の良さを感じる日々でした。

野口さんには、ソフトウェア（特にJava）に関するアドバイスや情報をいただき、しかも僕の未熟な技術を補っていただき、ありがとうございました。

同学年の伊藤君、岩村君、大串君には研究の話を含め、いろいろな話ができて非常に有意義な一年でした。とくに、僕が院試勉強で苦しんでいるときに伊藤君と大串君（@北海道）から送られてきたあのメールは一生忘れることがないでしょう。

研究室秘書の伊藤さん、高橋さんにも事務手続き、研究室での生活面、忘年会などでご助力いただきました。僕は特に秋葉原などでの現金購入の機会が多く大変お世話になりました。

平成14年2月 福井 類

以上

通し番号 1 - 90 完

卒業論文

平成 14 年 2 月 8 日 提出

0 0 3 0 0 福井 類