

平成19年度

卒業論文

題目： 自律型ロボットカーの製作
(ハードウェアの製作)

学科名： 海事システム工学科
航海システムコース

学籍番号： 0421059

氏名： 森本 春香

指導教官： 久保 信明

目次

第1章 序論

- 1.1 はじめに 3
- 1.2 背景と目的 3
- 1.3 前年度との比較・今回の構成 3

第2章 ロボットとセンサー

- 2.1 内界センサー 4
- 2.2 外界センサー 5

第3章 ロボットカー

- 3.1 ロボットカーの機構 7
- 3.2 ロボットカーの構成 7
- 3.3 ロボットカーの外観 8

第4章 マイコン

- 4.1 マイコンとは 9
- 4.2 8ビットマイコン 10

第5章 GPS受信機と無線通信機能

- 5.1 GPSとは 12
 - 5.1.1 GPSの測位信号 12
- 5.2 GPS受信機 13
- 5.3 無線通信機能 13

第6章 RCサーボモーター

- 6.1 サーボモーターとは 14
 - 6.1.1 RCサーボモーターの種類と性能 14
- 6.2 RCサーボモーターの動作原理 14
 - 6.2.1 PWM信号 14
- 6.3 マイコンによるサーボモーターの制御方法 15

第7章 近傍センサー

- 7.1 近傍センサーとは 17
 - 7.1.1 超音波とは 17
 - 7.1.2 超音波センサーの原理 17
- 7.2 超音波センサーの実験 19

7.2.1	測定範囲実験	19
7.2.2	障害物認識実験	22
7.3	総合結果	22

第8章 GPSロボットカー学生コンテスト

8.1	コンテストの概要	23
8.2	コンテストのルール	23
8.2.1	プレゼンテーション	23
8.2.2	走行競技	23
8.3	出場チームとそれぞれのロボットカーの特徴と走行内容	24
8.4	競技結果	30

第9章 総括

9.1	結論	31
-----	----	----

・	謝辞	32
・	参考文献	33

第1章 序論

1.1 はじめに

自律型ロボットとは、知能ロボットとも言われるように自身で判断し行動計画を立てるのみならず、判断基準や行動規範を作る能力をもつものである。そのため、自律型ロボットは知識データを蓄えるための膨大な記憶スペースが必要となる。状況を認識するコンピュータや行動を制御するコンピュータでは機能的に不十分となり、それらの上位に位置づけられる専用のコンピュータを持つことになる。いわゆる階層型のコンピュータで、通常は認識用コンピュータからの出力に応じて制御用コンピュータが動作指令を出すことがリアルタイムで行われているが、同時に認識データに基づいて判断基準や行動規範を見直す作業が行われることになる。

1.2 背景と目的

近年、国土交通省が進める ITS（高度道路交通システム）における運転支援や米国で開催されたロボットカーによるラリーなど、自動車の自動運転に関する研究が活発化してきている。そこで、本研究としてはロボットカーの汎用的なプラットフォームの開発をし、そして、その有用性を確認するために GPS/GNSS シンポジウム 2006 から開催された GPS によって誘導される自律型ロボットカーによる学生コンテストに今年も参加することを目的としている。

1.3 前年度との比較・今回の構成

前年度のコンテストでは、ロボットカーの車体を自作したためにハードウェアのトラブルが多く、コンテスト当日、上手く動作せず十分な成果を出すことができなかった。これは自律走行アルゴリズムを製作するための時間が不足していたためだった。そこで、今回は車体にラジコンカーを用いることでハードウェアの製作を簡略化するためにマイコンを使用し、GPS 受信機による航法やフィードバック制御による軌道修正など、ロボットカーの制御プログラムに集中できる汎用プラットフォームの開発を行った。また、車体の製作と自律走行アルゴリズムの製作を2人で分担して製作したために、より自律走行アルゴリズムに集中できるようにした。そこで今回担当したのは車体の製作のほうである。

第2章 ロボットとセンサー

ロボットにある目的とする作業を行わせるとき、手先や腕の位置、姿勢、速度、加速度の状態をセンサーシステムにより検出し、目標とするそれらのパラメータに到達するようにフィードバック制御が行われる。

このとき、ロボット自身に搭載され、ロボット自身の各パラメータを検出するセンサーを内界センサーという。一方、ロボットが行動する環境の状況や、ロボットにより操作される対象物の情報（形状、位置、重さなど）を検出するセンサーを外界センサーという。（図2.1）

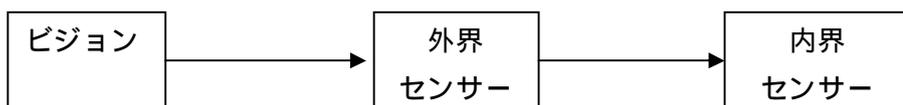


図2.1 ロボットとセンサーの構成

2.1 内界センサー

内界センサーは、ロボットが自身の状態を検出するものである。検出された出力値が直接サーボ機構の動作の制御に利用されるため、検出値の信頼性と応答速度、検出範囲の広いことが求められる。以下の表2.2に内界センサーとして利用される機能を示す。

機能	機能の内容	センサーの種類
規定位置・規定角度の検出	あらかじめ定められた位置や角度をオンとオフの2値によって検出する	マイクロスイッチ フォットインタラプタ
位置、角度の計測	位置決めおよび経路フィードバック制御用信号を検出する	ポテンショメータ ロータリーエンコーダ レゾルバ
速度・角速度の計測	速度フィードバック制御信号を検出する	タコジェネレータ ロータリーエンコーダ
加速度の計測	加速度制御用信号を検出する	加速度センサー
力・トルクの計測	力制御用信号を検出する	ロードセル ひずみゲージ
その他の計測	傾き・姿勢を検出する	ジャイロ

表2.2 内界センサーの特徴

2.2 外界センサー

外界センサーはロボットの外部の操作対象物までの距離や相対的な位置、環境に関する情報を検出するものである。以下の表2.3に外界センサーとして利用されるセンサーの機能を示す。

機能・センサーの例	機能・センサーの内容	センサーの種類
視覚センサー	非接触で光を媒体として物体の位置の計測、形状・姿勢・色彩などの認識に用いるセンサー	個体撮像素子(CCD) フォトダイオード フォトトランジスタ
触覚センサー	人間の皮膚や指先のもつ感覚に相当する検出機能を有するセンサーの総称	
接触覚	検出内容は、手先と対象物体との接触の有無、接触位置、接触パターン 応用する目的としては、位置決め、速度制御・物体の姿勢、形状の識別・安全、非常停止	マイクロスイッチ フォトセンサー ピン接点 ポテンショメータ
圧覚	検出内容は、手先が対象物体に与えている力、把握力指面の圧力、圧力分布 応用する目的としては、把握力制御・物体の弾性特性の測定、オペレータへのフィードバック	感圧半導体 圧電素子 導電性ゴム ストレインゲージ
力覚	検出内容は、腕、手首、指の出しているまたは受けている力、トルク 応用する目的としては、力作業の制御・拘束作業、協調作業の実行・腕移動の動的制御、バイラテラルサーボ制御	ストレインゲージ ロードセル トルク検出器
滑り覚	検出内容は、把握面に垂直な方向での物体の変位、回転、重力によるひずみ 応用する目的としては、把握力目標値の決定、修正・滑り防止・積重ね作業の実行・物体の重量、表	円筒状フォトリターンセンサー 球状接点回転センサー マイクロスイッチ 振動検出器

	面特性の測定	
近接覚	ロボットが対象物に接近して、非接触で対象物体との相対的関係を検知するセンサーで、対象への接触に至る前の予備的な情報を得ること、対象を障害物として検知し衝突を回避すること、対象面の形状に関する情報を得ることなどの目的で使用	静電容量型センサー 高周波発振型センサー 磁気センサー 超音波センサー

表 2 . 3 外界センサーの特徴

第3章 ロボットカー

3.1 ロボットカーの機構

ロボットカーの機構には駆動輪 (drive wheel) と操舵 (steering) の機能が不可欠である。

3.2 ロボットカーの構成

今回のロボットカーの構成 (図3.1) としては、GPS受信機で位置、速度、方位 (進行方向) を測定し、航法アルゴリズムや制御アルゴリズムに情報を与え、これらの自律走行アルゴリズムから操舵角をマイコンに知らせ、マイコンから操舵角や速度をサーボによって制御する仕組みになっている。また、近傍センサーの超音波センサーで障害物の距離を計測しマイコンに知らせ、マイコンから障害物を回避するようサーボを制御している。このようにして車体の製作 (外界センサー) と自律走行アルゴリズム (内界センサー) とに分担した。

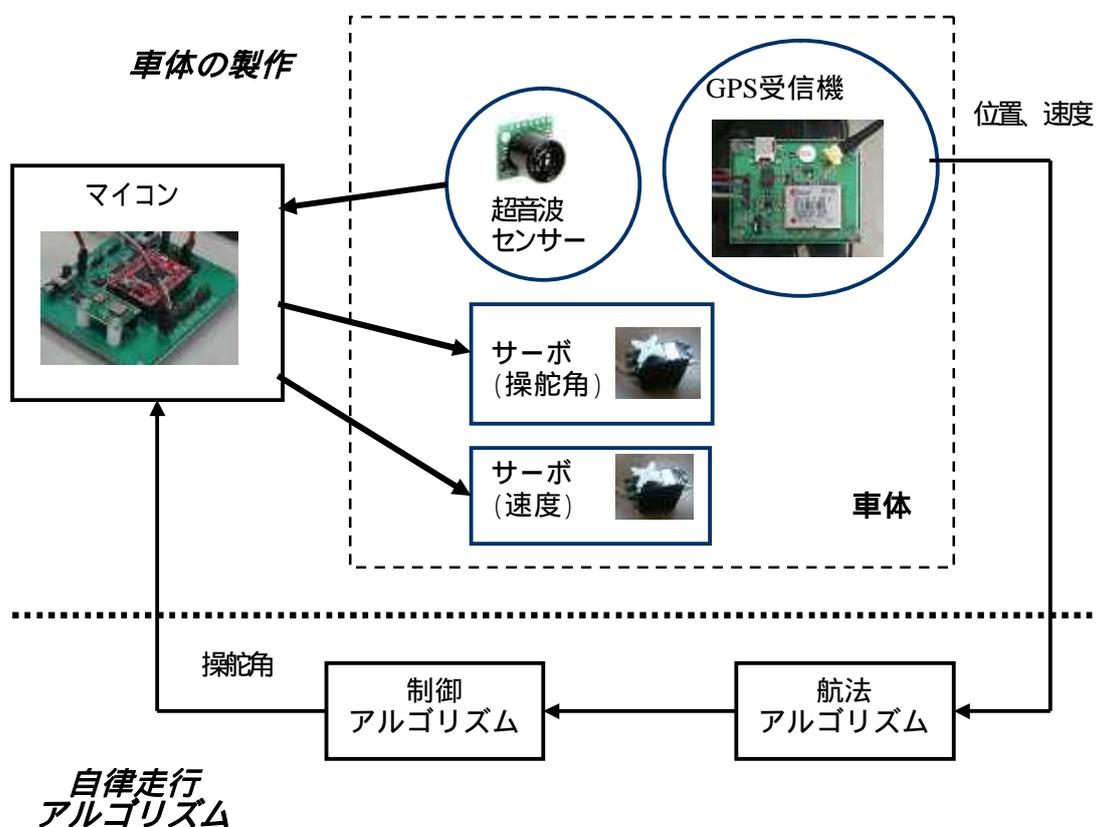


図3.1 ロボットカーの構成

3.3 ロボットカーの外観

ロボットカーの外観は車体をラジコンカーにし、ロボットカーを制御するマイコン、GPS 受信機、超音波センサーを設置している。マイコンにはベストテクノロジー社から販売されている Atmega128 マイコンボードを用いた。このマイコンボードは Atmel 社製の 8 ビットマイコンを搭載した小型マイコンボードである。また、GPS 受信機の製作には u-blox 社の AEK-4T モジュールを使用した。(図 3.2)

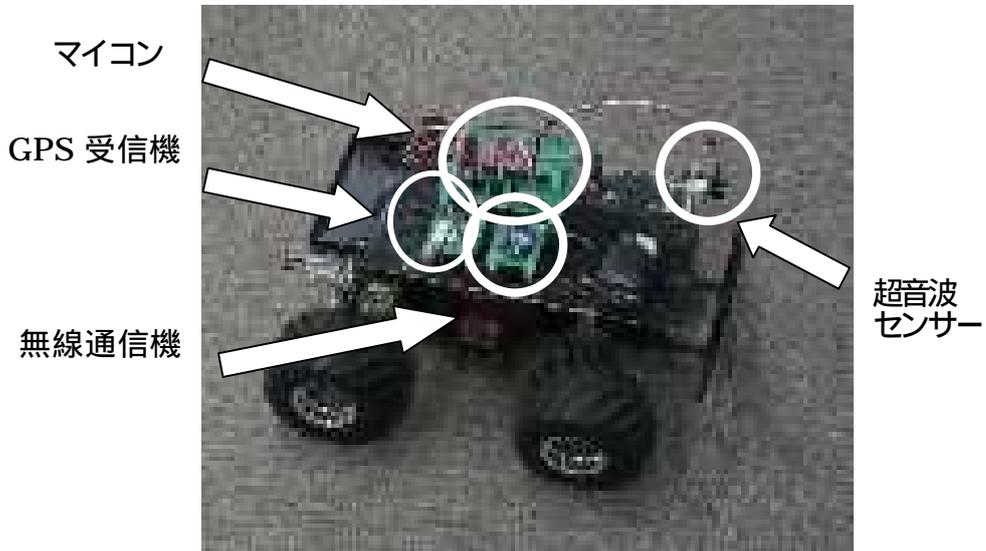


図 3.2 ロボットカーの外観

第4章 マイコン

4.1 マイコンとは

マイコンはIC(*1)の中に計算・記憶・入力・出力などの機能が入った小さなコンピュータである。マイコンには図4.1のようなものがある。

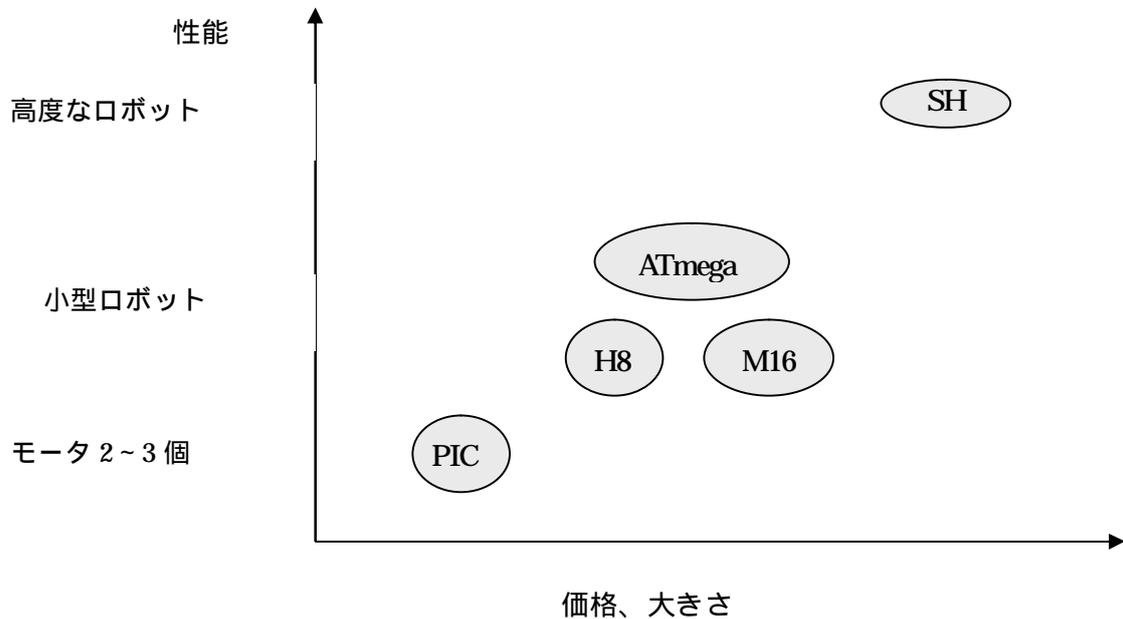


図4.1 マイコンの種類

・PIC

現在のマイコンブームの元となった。小さく、性能が低く、非常に安価である。アセンブラ(*2)であればメーカーから開発環境(ソフトウェア)が無償で入手できる。プログラム書き込み器も自作が可能である。C言語での開発環境が販売されているが、小規模なマイコンのため、C言語での開発はあまり向いていない。

・H8、M16

H8は旧日立、M16は旧三菱のマイコンで、教材用のマイコンボードが売られており、書籍も発行されている。現在は日立と三菱が合併してルネサンステクノロジーとなったが、合併後にチップ単体での入手が困難になっている。

・AVR(ATmega)

AVRはPICと同じような構成だが、RISC(*3)タイプのマイコンで(同じクロックな

ら)動作速度がPICの約4倍である。メモリ容量が大きく、C言語での開発にも向いている ATmega シリーズがある。チップの入手が簡単で、海外では主流のマイコンである。しかし、日本ではまだあまり使用されていない。

・SH

旧日立製のマイコンで、クロック(*4)が50~200MHzと一昔前のパソコン並みの性能で、個人で入手が可能な高性能マイコンの1つである。教材用のマイコンボードも売られている。

このようにマイコンにはいろいろな種類があり、その種類によってプログラムの書き込む方法が違う。今回は Atmel 社のマイコンと必要な部品があらかじめ基板にハンダ付けされているマイコンボードの ATmega128 を使用したのでブートプログラムというプログラムを、専用の書き込み回路であらかじめマイコンに書き込む必要があるが、出荷時にブートプログラムが書き込まれているので、書き込み回路は不要である。

4.2 8ビットマイコン

コンピュータの場合は基本的には「電圧が“ある”か“ない”か」しか判断できない。これは数値にたとえると「“1”か“0”しかない」ということもできる。この0と1だけで数値を表す方法を「2進法」という。この「1か0」を特に「ビット」という。この2進法で1桁を1つの線で表すと、8本の線を使えば256までの数字を表すことができる。このように8本の線でデータをやりとりするコンピュータを「8ビットコンピュータ」という。

今回はこの8ビットのマイコン(図4.2)を使用した。このマイコンでサーボの制御、GPS受信機との通信、障害物の感知、(自律走行アルゴリズムの)フィードバック制御など、ロボットカー制御の全てを行うことにした。

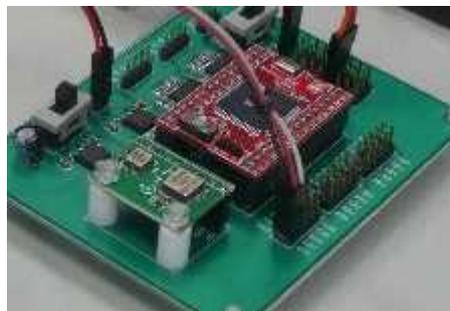


図4.2 マイコン

(*1) IC: Integrated Circuit[集積回路]の略。電子部品店などで売られているものはピン[足]

れる。PC[パーソナルコンピュータ]などに使われる DIP[集積回路のパッケージの種類]よりも小さくて薄いものはフラットパッケージという。

(*2) アセンブラ：コンピュータが解釈できる言語[マシン語]と1対1に対応したプログラミング言語(アセンブリ言語)を用いて作成されたソフトウェアの設計図[ソースコード]を、コンピュータが実行できる形式[オブジェクトコード]に変換するソフトウェアのことである。

(*3) RISC: Reduced Instruction Set Computer[縮小命令セットコンピュータ]の略で、マイクロプロセッサのアーキテクチャ、すなわち設計手法の一つである。制御命令の数を減らし、加減算などの単純な処理の組み合わせによって回路を単純化し演算速度の向上を図ろうとする手法である。

(*4) クロック：コンピュータが動作するときに、タイミングを取る[同期を取る]ための周期的な信号を言う。

ロボットカーの位置を計測する外界センサーとしてGPS受信機を使用した。

5.1 GPSとは

GPS (Global Positioning System) は、1970年代の後半に米国によって開発された人工衛星を使った新しい測位システムで、日本語では全地球測位システムと呼ばれている。GPS衛星は現在6つの軌道面上にそれぞれ4衛星ずつと予備の5衛星の計29衛星が配置され、各衛星は、それぞれ衛星の位置を現す軌道情報や精密な時刻情報を発信しながら、地上約20200kmのほぼ円軌道をおよそ12時間で周回している。この衛星配置の為、世界中どこにいても、常に4個以上のGPS衛星から送信された測位信号の電波を受信することができ、得られた軌道情報等から自分自身の位置を知ることが出来るシステムになっている。

5.1.1 GPSの測位信号

GPS衛星は測位のためのいろいろな信号と情報を電波に乗せて、常時、連続的に送信している。電波はそれ自体では情報を持っているものではなく、この上に所要のデータ、メッセージ等に乗せる(変調 modulation)ことによって、はじめて情報の伝達ができるようになる。電波そのものは情報を運ぶための単なる運搬手段であるというので、搬送波(carrier)と呼ばれる。現在のGPSでは測位用の搬送波は2つあって、それぞれをL1帯(L1 band)、L2帯(L2 band)という。24個以上の全GPS衛星が同じ周波数で送信する。同一周波数で送信して、なお且つ、混信しないのは擬似雑音符号による拡散スペクトル(spread spectrum, SS)通信方式という技術による。

これらの搬送波に乗せられる測位用の信号にも2種類あってそれぞれを、C/Aコード、Pコード(表5.1)という。L1帯にはC/Aコードと航法メッセージ、Pコード、L2帯にはPコードのみが乗っている。Pコードは原則として軍事用であって、これらのコード(符号)は擬似雑音符号(PN符号、pseudo random noise code)と呼ばれている。0と1が一見、不規則に交代するデジタル符号である。この符号の配列(パターン)を24個以上の衛星それぞれに違う形のを割り当てることにより、衛星を識別し分離受信する。

名称	周波数 (MHz)	コード	コード速度 (Mcps)	用途
L1	1575.42	C/A	1.023	民間用
		P	10.23	軍用
L2	1227.6	P	10.23	軍用

表5.1 GPS信号

5.2 GPS受信機

GPSの測位信号を受信するためにGPS受信機(図5.2)がある。今回のGPS

受信機は u-blox 社製の AEK-4T モジュールを使用した。この受信機は一般的な NMEA フォーマット (*5) での出力以外に、擬似距離や搬送波位相などのデータも出力することができる。また出力頻度も最大 10 Hz まで可能である。この受信機により、ロボットカーの位置、速度、進行方向の方位角を測定した。



図 5 . 2 GPS 受信機

5 . 3 無線通信機能

今回開発したロボットカーには、小型無線モジュールである ZigBee を搭載し、パソコンと無線通信を可能にしている。ロボットカーから得られるセンサー情報を無線でパソコンに送信し、その情報を基にサーボの制御量を決定し、ロボットカーに送信することで遠隔操作を可能にしている。

このようにパソコン上で制御則の設計を行うことができるため、効率のよい自律型ロボットカーの開発を行うことができる。



図 5 . 3 無線通信機

(*5)NMEA フォーマット:測定時にリアルタイムに出力される航法用フォーマットのことを言う。

6.1 RCサーボモーターとは

RCサーボモーター(図6.1)は一見ただのモーターのように見えるが、モーター、減速ギア、電子回路、角度を検知するセンサー(ポテンショメータ)が入っている。



図6.1 サーボモーター

6.1.1 RCサーボの種類と性能

RCサーボモーターは大きく分けて「アナログサーボ」と「デジタルサーボ」に分けられる。アナログサーボは安価であるが精度が悪く、稼働範囲は180度のものが多い。デジタルサーボは高価であるので精度が良く、稼働範囲は90~120度のものが多い。性能としては、トルク(回転力)はなるべく大きいほうが良い。スピードは60度の角度を何秒で回転するかを示し、モーターが同じだった場合、減速ギア比が大きいほうがトルクを出すことができるが、スピードは落ちる。ギアの種類は金属製とプラスチック製があるが、金属製のほうが高い耐久性能を持っている。今回使用したのはデジタルサーボである。

6.2 RCサーボの動作原理

RCサーボは、PWM信号によって制御される。サーボは左右にほぼ90度ずつ回転し、その回転角はPWM信号のパルス幅に比例する。スピードコントローラも同様に、サーボの左右が駆動モーターの前進・後進に対応する。

6.2.1 PWM信号

一般的に、サーボに入力するPWM信号の周期は10msから20msであり、パルス周期が20msを超えると、サーボはその位置を保持できなくなる(脱調)。サーボが回転角ゼロとなるパルス幅は1.5ms程度である。パルス幅はアナログサーボの場合、0.01msで約1°回転する。よって、そこから±0.9msの範囲でパルス幅を変

14

化させることで、左右の回転角を制御することができる。デジタルサーボの場合は、どのぐらいのパルス変化で、どのぐらい回るかはメーカーによる。ただし、中心位置が1.5ms幅というのは大体同じである。

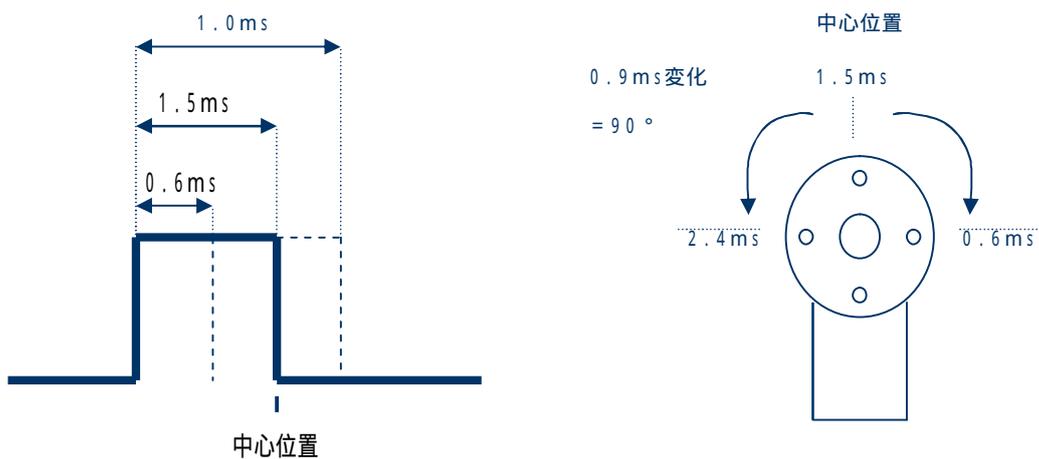


図 6 . 2 サーボモーターの原理

6 . 3 マイコンによるサーボモーターの制御方法

6 . 2 よりサーボモーターはPWM信号によって制御されるので、PWM信号をマイコンで生成しなければならない。そこで、今回のATmega128のマイコンではPWM信号の生成にTimer 1を利用している。このタイマーは10ビットカウンタがオーバーフローすることでPWM信号の周期を生成する。ATmega128のマイコンボードには16MHzのクロックが搭載されているため、プリスケalerに256を選択することで、PWM信号の周期は次式で求められる。

$$16\text{MHz} / 256 / 2^{10} = 60.04\text{Hz} \quad \dots (1)$$

これは、約16.4msに相当する。

さらに、Timer 1からは2つの異なるパルス幅のPWM信号を生成することができる。これらを用いて、ロボットカーのステアリングとスピードを制御する。今回のATmega128のサーボが回転角ゼロとなるパルス幅は1.5ms程度で、そこから±0.5msの範囲でパルス幅を変化される(図6.3)。式(1)で示されるカウンタの1単位は次式で求められる。

$$16.4\text{ms} / 2^{10} = 16\mu\text{s} \quad \dots (2)$$

従って、1.5msのパルス幅は次式の値に対応することになる。

$$1.5 \text{ ms} / 16 \mu \text{ s} \approx 94 \dots (3)$$

同様にパルス幅を制御する範囲は $\pm 0.5 \text{ ms}$ であるため、ATmega128のプログラムでは式(3)の値から ± 31 単位の範囲で、サーボモータの回転角を制御することになる。PWM信号の生成の概要は図6.4に示す。

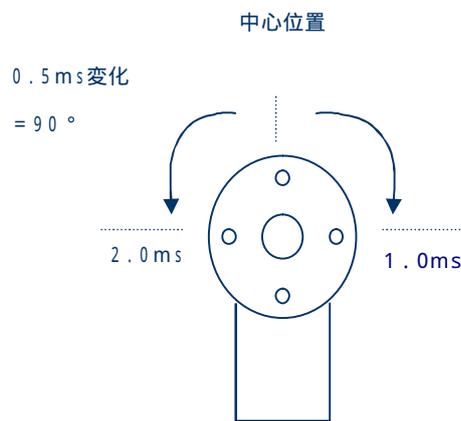


図6.3 サーボモータの範囲

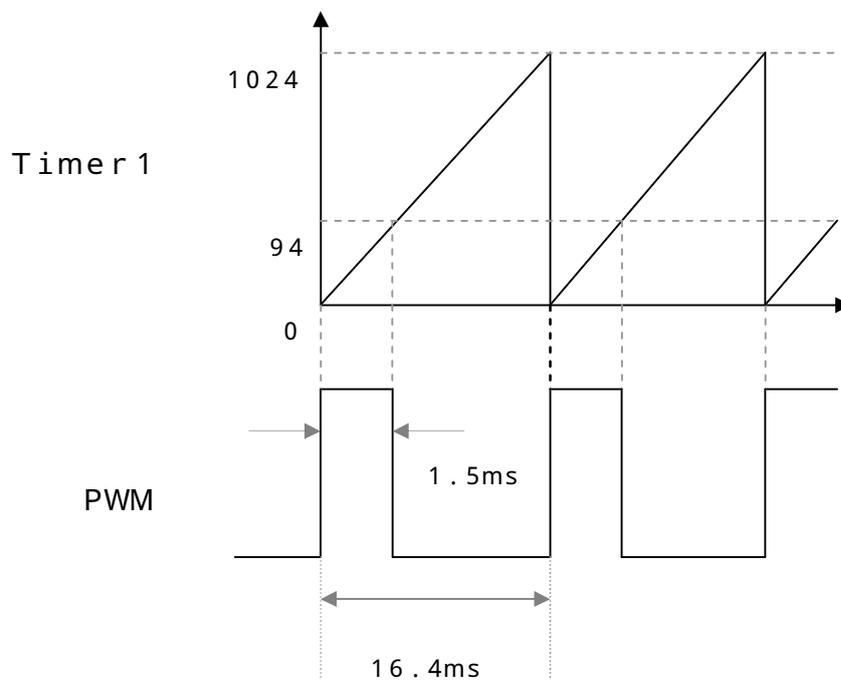


図6.4 PWM信号の生成

第7章 近傍センサー

7.1 近傍センサーとは

外界センサーのひとつである近傍センサーはロボットが対象物に接近して、非接触で対象物との相対的關係を検知するセンサーで、

- ・ 対象への接触に至る前の予備的な情報を得ること
- ・ 対象を障害物として検知し衝突を回避すること
- ・ 対象面の形状に関する情報を得ること

などの目的で使用される。このセンサーの種類としては、静電容量型センサーや高周波発振型センサー、磁気センサー、超音波センサーなどがある。

今回のコンテストでは、Waypoint の中心に目印としてカラーコーン（図7．1）が設置されたので、コーンの衝突回避として、近傍センサーの超音波センサーを使用した。



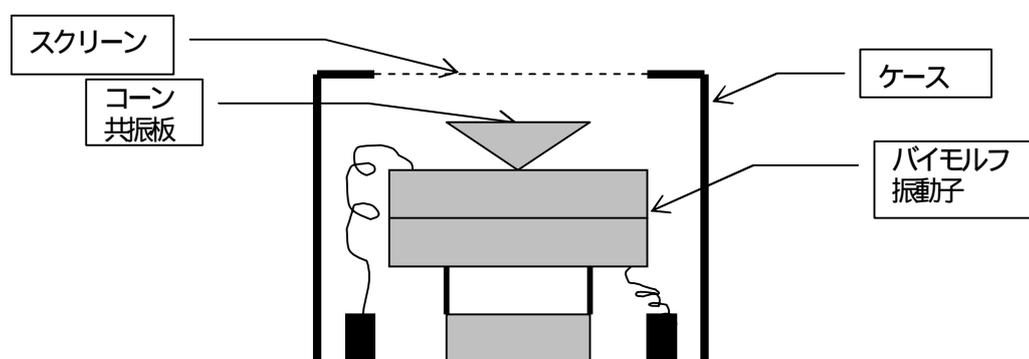
図7．1 カラーコーン

7．1．1 超音波とは

超音波とは正常な聴力をもつ人に聴感を生じさせないほどの周波数（振動数）が高い音波（振動波）と定義されており、その境界周波数は明確ではない。一般には人間の耳で聴くことのできる音波は20kHz程度であり、これより高い周波数を超音波という。一方で工学的には、超音波は聴くことを目的としない音波という定義もされている。

7．1．2 超音波センサーの原理

超音波センサーは、水晶、ロッシェル塩、チタン酸バリウム、チタン酸鉛などの圧電効果を利用して、超音波を発生させ、かつ反射して生じた音圧（エコー）を検出するもので、図7．2に示す構造をしている。



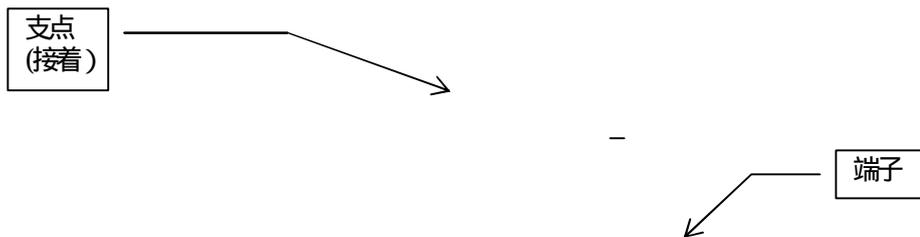


図 7 . 2 超音波センサーの構造

動作原理は与えられた電気信号をコーン共振板に介して、超音波信号に変換する。受信した超音波は逆にコーン共振板に機械的なエネルギーとして作用し、圧電効果により電気信号として取り出す。これらは圧電型振動子 (piezoelectric transducer) が、音圧、ひずみ応力、温度変化などにより電圧を発生させる現象で、圧電気、および焦電気として知られているものである。逆に電圧を加えるとひずんだり振動したりする現象を圧電現象という。前者を圧電気直接効果といい、後者を圧電気逆効果という。超音波を発生する部分 (送波器 : スピーカ) には圧電気逆効果を、受信部分 (受波器 : マイクロホン) には圧電気直接効果をそれぞれ利用している。

超音波を用いた距離センサーの測定原理は、超音波を送信してから測定対象物で反射し、戻ってくるまでの時間 t を測定し、その距離を求める。空気中の音速は、温度により変化するが、次式より求められる。

$$V = 331.5 + 0.607 T \quad \dots (4)$$

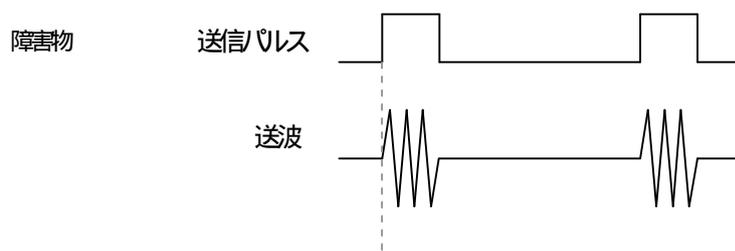
V : 音の伝わる速さ [m / s]、 T : 温度 []

また、測定対象物までの距離 L は、

$$L = \frac{V * t}{2} \quad \dots (5)$$

L : 距離 [m]、 t : 測定時間 [s]

と求めることができる。図 7 . 3 に測定原理を示す。



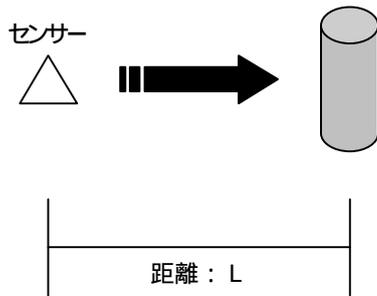


図 7 . 3 超音波センサーの距離測定原理

7 . 2 超音波センサーの実験

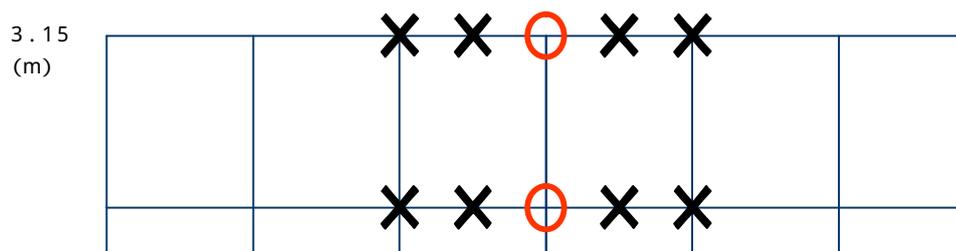
今回使用する超音波センサーではどの範囲まで測定できるかを実験してみた。

7 . 2 . 1 測定範囲実験

センサーの位置を基準として、センサーから左右 0 . 4 5 m ずつの範囲までの間に障害物を設置してその距離を測定した。(実験 1)

・結果 1

図 6 . 4 にセンサーの測定結果を示す。 はセンサーの位置を示し、 がセンサーで測定できたところ、×が測定できなかったところである。また、その下の数値は超音波からの出力を示している。その結果、1 . 3 5 m までは左右 0 . 4 5 m 程度まで測定できることがわかった。また直線では 3 m 程度まで測定できることがわかった。しかし、近距離過ぎると測定できなかった。またこれでは障害物が左右どちらにあるかは判断できなかった。



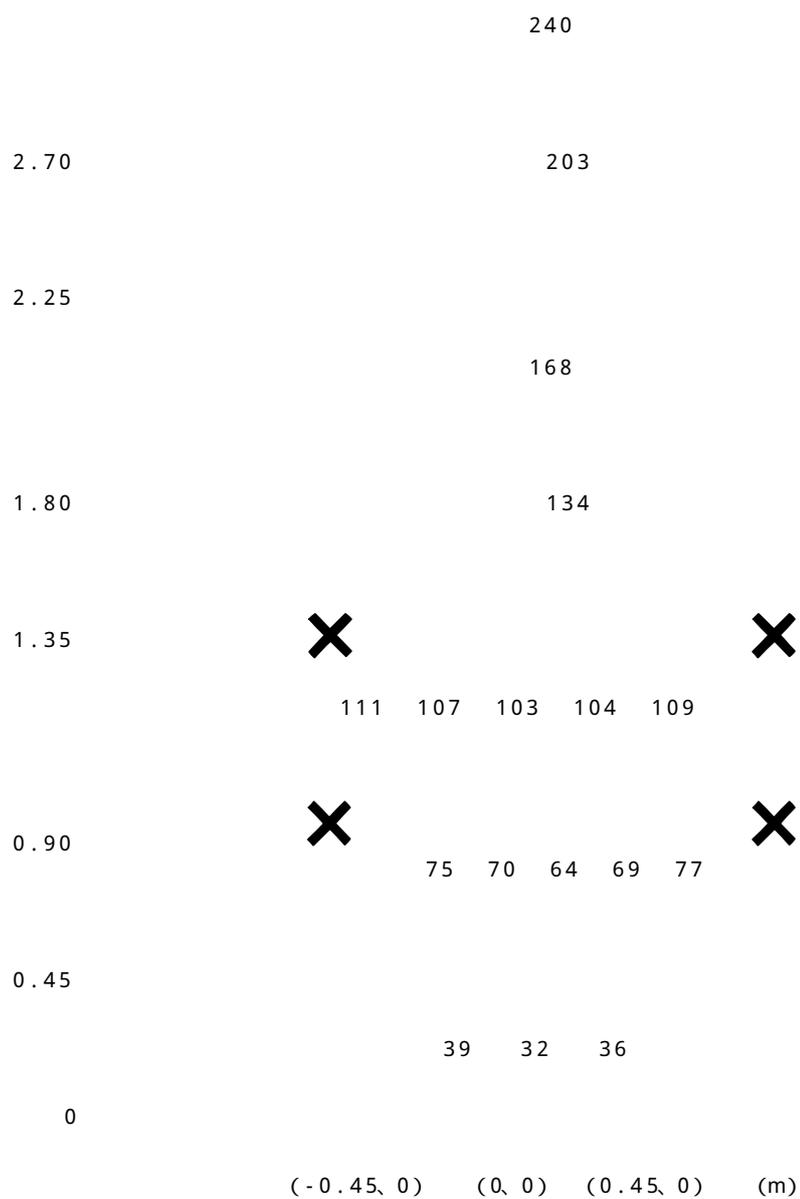


図 7 . 4 測定結果

超音波からの出力は距離に比例している (図 7 . 5)。

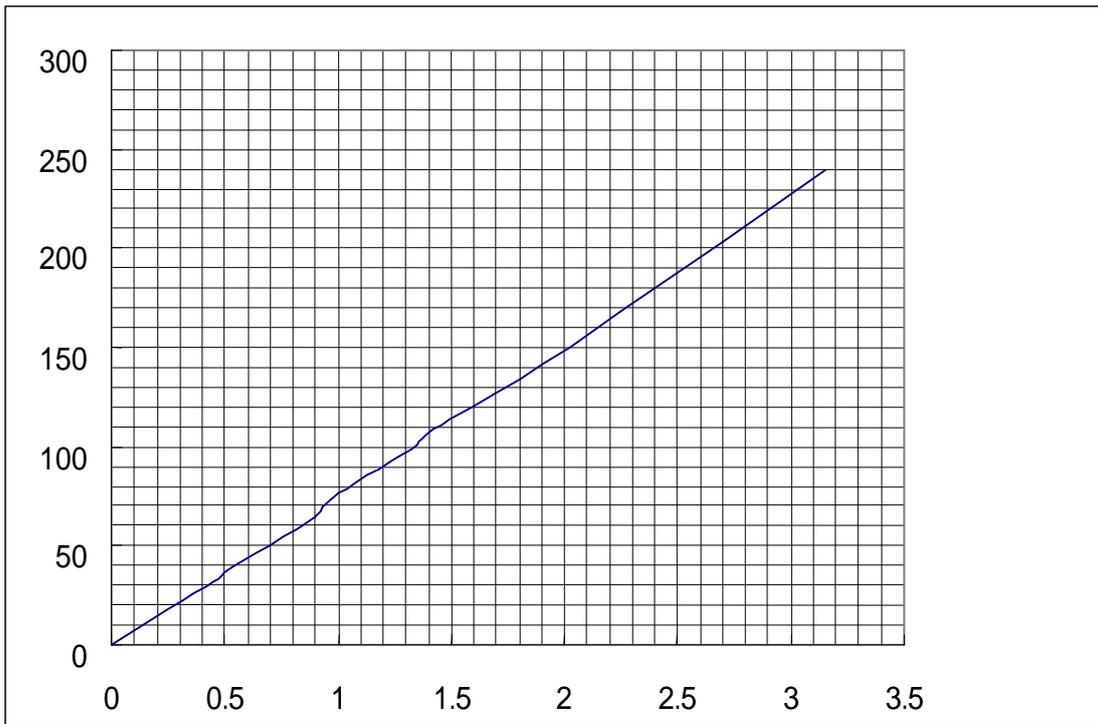


図 7 . 5 超音波からの出力

x	y
0	0
0.45	32
0.5	36
0.9	64
0.93	69
1	77
1.35	101
1.37	104
1.42	109
1.8	134
2.25	168
2.7	203
3.15	240

図 7 . 5 の結果から、0 . 9 0 mまでは $Y = 7 1 X$ という式が立てられる。そして、0 . 9 0 m以上になると、 $Y = 7 5 X$ という式が立てられる。よって、値が小さくなるほど距離が近く、値が大きくなるほど距離が遠くなることがわかる。

表 7 . 6 出力値

7.2.2 障害物認識実験

実験1では左右のどちらに障害物があるか判断できなかったため、超音波センサーを左右に1つずつ設置し、センサーを2つにしたことにより、左右がわかるようにした。(図7.7)

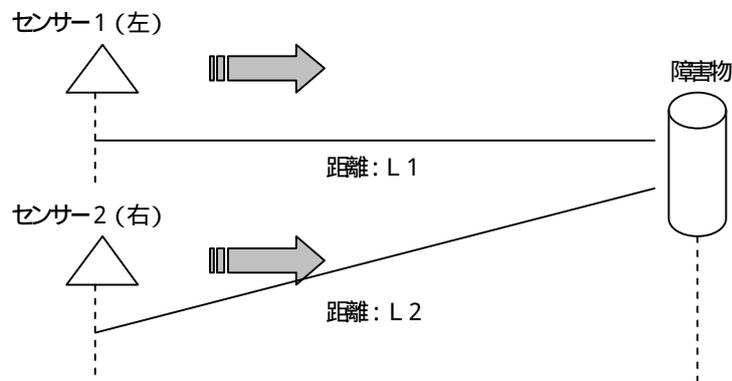


図7.7 超音波センサー実験2

・結果2

今回、ラジコンカーに設置するために、2個のセンサーとの間隔が非常に狭いため、超音波が混信(センサー1で発射された音波をセンサー2で受信してしまう)してしまうので、センサーとしての役割が果たせなかった。

7.3 総合結果

実験1・2よりサーボモーターにセンサーを取り付けて左右に振らすことで、障害物を認識できるようにした(図7.8)。そのため、1つのセンサーで障害物がどこにあるか認識できるようになった。

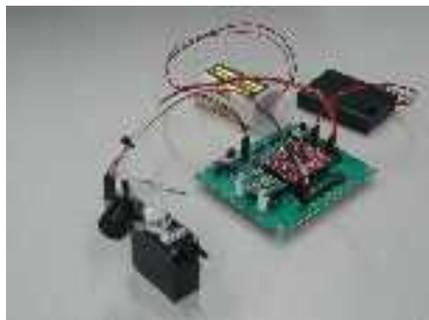


図7.8 超音波センサーとサーボモーター

第8章 GPSロボットカーコンテスト

8.1 コンテストの概要

東京海洋大学で毎年行われている GPS / GNSS シンポジウムに去年から開催されて今回が2回目となる、学生によるロボットカーコンテストが開催された。

このコンテストは、車両や船舶から、人工衛星のナビゲーションまで用いられている GPS を利用したロボット競技大会である。GPS のデータに基づいて、車両型ロボットを自動で制御し、目的地までのタイムと精度を競いあう。

このGPSロボットカー学生コンテストの目的は、出場者が衛星測位技術に関する基礎技術を習得する機会と学生間の技術的な交流の場を提供し、若い技術者の研究開発能力の向上である。

8.2 コンテストのルール

コンテストはGPS受信機を主な航法センサーとするロボットカーによる走行競技と、競技者によるプレゼンテーションから成っている。

8.2.1 プレゼンテーション

コンテストに参加する全ての競技者には、コンテスト開催期間中にプレゼンテーションを行う機会が与えられる。プレゼンテーションは競技者が製作したロボットカーの技術に関する発表と質疑応答から成っている。得点は、発表および質疑応答の内容で決定される。

8.2.2 走行競技

走行競技の内容は、東京海洋大学、越中島キャンパスのテニスコートを経営フィールドとし、スタート地点から Waypoint (目標地点) に向かって走行し、Waypoint の半径 2 m 以内で 5 秒以上停止させるというものである。Waypoint の中心には目印として、カラーコーンが置かれ、これは障害物と見なされるため、ロボットカーでこれらを自律的に回避する必要がある。ロボットカーがカラーコーンに衝突しても減点対象にはならないが、走行不能になっても救済処置はないため、競技を続ける場合はリトライとなる。

あらかじめ、精密測位より得られたフィールドの4隅の座標(図8.1 A、B、C、D)と基準点(図8.1 0)は公開されているが、Waypoint の位置はコンテスト当日まで公表されない。

競技ルールは1から7点の Waypoint のサークルを通過、あるいはサークル内に停止できると得点になる。競技時間15分以内に、より多くの Waypoint を巡って、AB間を通過するとゴールになる。

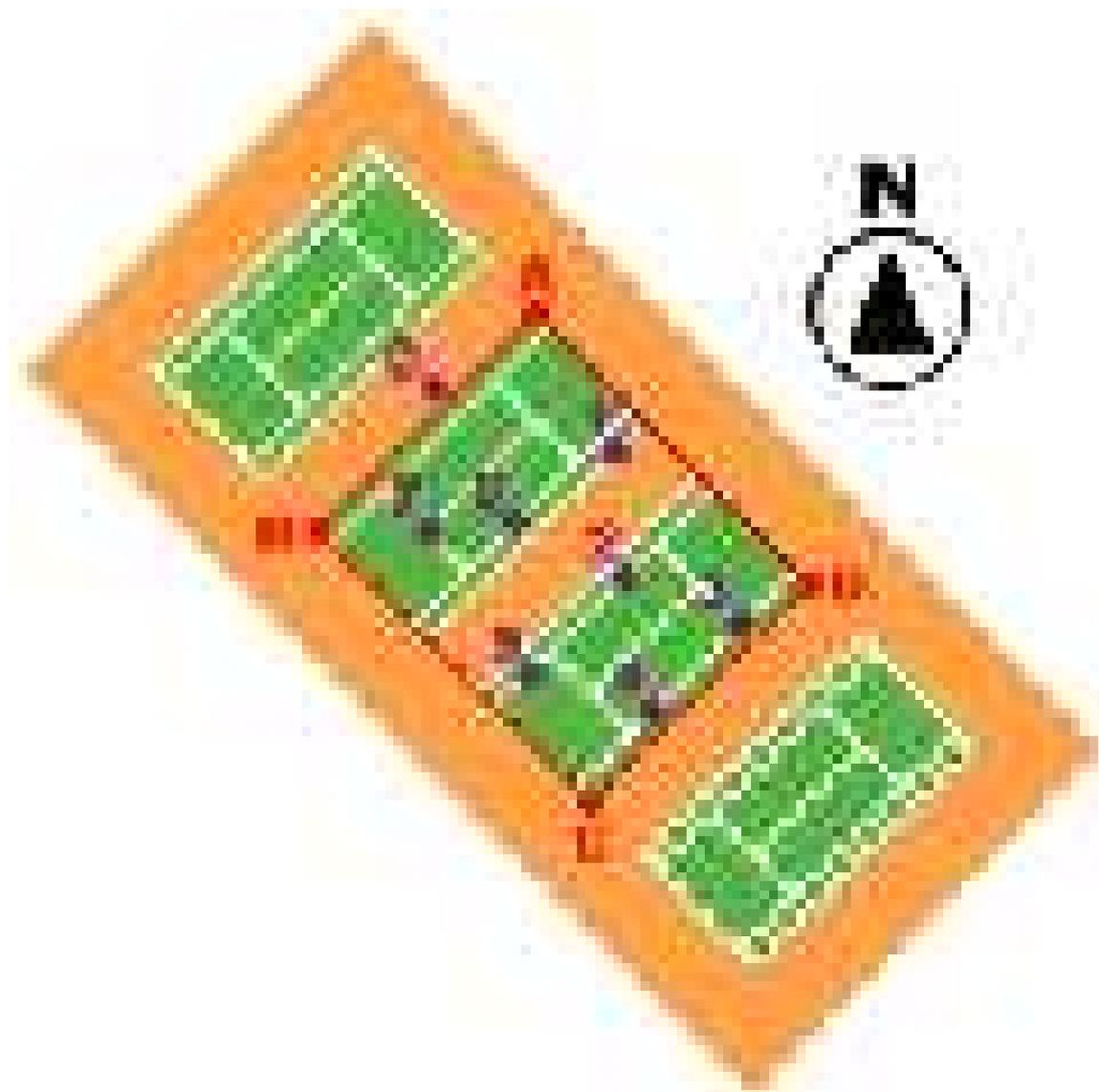


図 8 . 1 走行競技の競技会場（越中島キャンパス・テニスコート）

8 . 3 出場チームとそれぞれのロボットカーの特徴と走行内容

- ・ 茨城工業高等専門学校

- ・ *Critical Blue*

前回のコンテストでは、1つ目の Waypoint に到達したが、スタート地点に戻れずリタイアとなった。そのため、今回のコンテストは完走を目標にロボットカーを製作した。

Critical Blue は、駆動部にラジコンカーを流用している。計測・制御部として、GPS 単独測位受信機とラジコンサーボコントローラを搭載している。これらを無線 LAN コンバータに接続して、無線 LAN を用いた仮想シリアル通信により、ノートパソコン上の自作プログラムから動作させるという仕組みになっている。これにより、ラジコンカーにノートパソコンを乗せることなく、ノートパソコン上から GPS の位置データを取得し、ラジコンカーの駆動モータの回転数や、サーボモーターによるラジコンカーの舵角を制御することができる。

今回のコンテストでは、**Critical Blue** は、スムーズな動きを見せ、いくつかの Waypoint をクリアしていった。



図 8 . 2 Critical Blue

・ 八代工業高等専門学校

I 2 C M

八代高専は、前回の走行競技で準優勝した学校である。今回は 2 台の車体をエントリーした。その 1 台目がこの I 2 C M は、前回のコンテストで製作した機体のステアリング角度制御をスムーズにして、すばやく目的地に到達できることを目指した。ソフトウェアを大幅に改良したのである。

車体制御用のマイコンには、GPSから受信した位置データを取り込む。このデータをベースにサーボモーターやアンプへの信号を制御している。機体の速度を可変でき、直進の際は速く、旋回時には遅くできるように制御しているため、加速がよく機動性に優れたマシンに仕上がる。また、ステアリングの角度の制御も、目的地と現在地の角度の差の関係を関数化し、より滑らかにステアリングを切れるように工夫した。サーボモータのニュートラルの角度は、モータの状態や路面などによって変化する。ニュートラル状態が異なっても、簡単に調整できるように、オフセット分を調整できるボリュームをつけていた。

走行競技の際には、Waypoint に対する機体の停止位置が Waypoint から半径 2 m より 1m ぐらい外に外れてしまったのが惜しかった。



図 8 . 3 I 2 C M

・ 八代工業高等専門学校 チーム morimori 2.0

八代高専の 2 代目は、チーム morimori 2.0 である。これは、前回の雪辱を果たすべく、車体をバージョンアップさせた。滑らかな走行や素早い移動が可能な自律型ロボットカーの製作を目指した。車体には市販のラジコンを使用して

いるが、牽引車がついている。この牽引車には、ボリューム（ポテンショメータ）やロータリーエンコーダがついており、旋回角度や移動距離など、車体の状況を知ることができる。

車体制御用のマイコンは、GPS受信機やボリューム、ロータリーエンコーダからの情報を基に、おおよその自己位置を割り出し、サーボ系に信号を出す。また、マシンの状況を知るために、ZigBeeモジュールを使用し、無線シリアル通信によってマシンの状態をモニタリングできる。

途中で制御不能になることが多かった。



図8.4 チーム morimori2.0

・ サレジオ工業高等専門学校 走れ！！GB-TANK

前回の走行競技で果たせなかった完走を目標に掲げ、製作を進めた。そのため、他チームと同様に、ハードウェアの製作にはあまり時間をかけずにソフトウェア開発に重点をおいた。

機体が戦車というとてもユニークなものを使った。ロータリーエンコーダも自作した。エンコーダの回転スリットをボール盤できょうにあけていた。このエンコーダは、正確な直進をさせるための軌道修正制御に用いる。駆動部の車輪の回転数をロータリーエンコーダを用いてパルスとしてカウントし、左右のモーターをPWM

制御で修正している。GPS受信機からの測位データ処理などを担う中枢部には、H8マイコンを使用し、駆動系の制御にはPICマイコンを使用した。GPSモジュールによって電波を受信し、緯度や経度などの情報をH8マイコンへ送信すると、H8マイコンはひとつ前に送られた緯度、経度と比較し、現在どの方角に進んでいるのかを判断する。さらに目的地の緯度、経度と比較することで、現在地から目的地がどの方角にあるのかを計算し、駆動系のPICマイコンに制御信号を出す。これを受けたPICマイコン側は、車体の進行動作パターン(直進、回転、停止)をモータードライバに出力することで、駆動部を制御するという仕組みになっている。機体の内部には、キャパシタンスの大きなコンデンサーも搭載されており、スタート時の機動性にも優れた。

ただし、競技前にハードウェアでトラブルがあった。CPUに割り込みをかける際の信号系にラインドライバを入れ忘れたため、ノイズが発生すると割り込み信号として認識してしまい、誤動作が生じてしまった。結果的にあまり稼働できなかった。



図8.5 走れ!!GB-TANK

• 防衛大学校 *Team Kondara*

防衛大学校は前回のコンテストの優勝校である。前は高精度なGPS受信機を使用していたが、今回から規定が変更になり、小型受信機を用いた単独測位によって誘導を行った。

この小型受信機の精度が15mとあまりよくないため、これだけでは目標となるWaypointに正確に到達することができないと考え、特に制御系を中心に力をいれた。そこで、センサーとして2つの距離計を後輪の外側に配置した。後輪の回転は2段の歯車機構で増速してロータリーエンコーダに伝達し、エンコーダのパルス

出力をワンチップマイコン側でカウントする。分解能は0.05mmと高精度である。左右の角速度の差から、姿勢変化を直接得ることができる。走行制御については、マイコン側からPWM信号を出力し、モータドライブ回路を介して、DCモーターを駆動する。また、GPS受信機とはシリアル接続によって通信をおこなっている。そして、超音波センサーを搭載し、それが首を振って動くようになっている。目標のWaypoint内に入ると車体が一時停止し、そこで超音波センサーによって目標までの距離を計測する。また、距離計の誤差も推定しながら正確に動作している。速度の加減速も制御されており、機体の停止時にタイマーのカウントを開始し、5秒間経過すると次に目標とするwaypointを設定するようになっている。

精密な制御を可能とする完璧な仕上がりで、すべてのWaypointをクリアし、完走を成し遂げた。



図8.6 Team Kondara

- ・ 東京海洋大学 最強巨人兵

8.4 競技結果

プレゼンテーションではハードウェア、ソフトウェアについての説明（技術力、独創力など）に加え、プレゼンテーション能力まで採点し、走行競技では実際の走行とビジュアルまで審査された。

プレゼンテーションは、防衛大学校が1位、茨城工業高等学校が2位だった。

走行競技は、防衛大学校が1位、東京海洋大学が2位だった。

以上より、優秀賞が防衛大学校に、プレゼンテーション賞が茨城工業高等専門学校に、技術賞を東京海洋大学にそれぞれ表彰された。これで防衛大学校の2連覇である。

第9章 総括

9.1 結論

今回の研究で、車体をラジコンカーにしてマイコンによる制御を行ったために、ロボットカーの制御プログラムに集中できる汎用プラットフォームの開発ができた。本システムは、市販のラジコンカーに容易に搭載でき、効率のよいロボットカーの開発を可能にした。

そして、このプラットフォームに航法アルゴリズムや制御アルゴリズムを組み込むことで自律走行できるロボットカーができた。

このように、ソフトウェアとハードウェアの部分を分けることにより、上手く自律したロボットカーを製作することができた。

その結果、走行競技では、Waypoint の中心に行き、カラーコーンに衝突するなど、とても精度の良いロボットカーとして走行することができた。しかし、カラーコーンの衝突回避は上手くいく時といかない時に差があったため、もう少し衝突回避について研究する必要がある。

謝辞

本研究及び本卒業論文作成において、あらゆる面で多大なご指導を頂きました久保信明准教授、海老沼拓司准教授に厚く御礼申し上げます。

久保信明准教授には、GPSの基礎を教えて頂きありがとうございました。

特に、海老沼准教授には、本研究のロボットカーの基礎を教えていただきました。まったく無知な私を一から丁寧に教えていただきましてありがとうございます。しかし、期限内に提出できなかったり、時間のすれ違いが多く、大変ご迷惑をお掛けしました。それでも、最後までご指導頂き本当に感謝しております。

衛生航法工学研究室の大学院生の皆様に、さまざまな面で助けて頂き心から感謝しております。

大学院生の湯浅純一氏には本研究に必要なプログラミングの基礎を教えて頂きまして、ありがとうございました。

最後になりましたが、情報通信工学研究室、衛星航法工学研究室の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 二足歩行ロボット製作超入門 バッテリーからRCサーボまで
浅草ギ研 著
オーム社 出版
- (2) 精鋭GPS：基本概念・測位原理・信号と受信機
P. Misra and P. Enge 著
正陽文庫 出版
- (3) 簡単！実践！ロボットシュミレーション
出村公成 著
森北出版 出版
- (4) ロボットセンサ入門
小柳栄次 著
オーム社 出版
- (5) GPS Q&A・全地球測位システム
社団法人 日本測量協会 発行
- (6) ROBOT
井上猛雄 著
<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2007/12/04/781.html>