

自律移動ロボットDREAM-2の走行制御

大木 誠・荒木 晃徳・山本 大介・久保 智嗣・糸井 誠*・大北 正昭
電気電子工学科・*三菱電機株式会社

Travelling Control of the Autonomous Mobile Robot DREAM-2

Makoto OHKI, Akinori ARAKI, Daisuke YAMAMOTO, Tomotsugu KUBO,
Makoto ITOI* and Masaaki OHKITA

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering,
Tottori University, Tottori, 680 Japan

E-mail: mohkita@ele.tottori-u.ac.jp

*Mitsubishi Electric Corporation, Ltd, Himeji, 670 Japan

Abstract : In the first generation of our autonomous mobile robot called "DREAM-1", its traveling controller was only based on ultrasonic sensors having a function to measure the distances between objects and robot itself. During traveling experimentally, walls located on both sides of all along the robot's course were needed.

For improving such a difficulty, the second version "DREAM-2" has been designed and constructed. It is a mobile robot typed as an electrically driven wheel chair. The aim of "DREAM-2" is to make it travel in an indoor environment. The supersonic sensors as well as a combined system of a gyro sensor and a magnetic directional sensor are provided. Hence, this combined sensor system serves to detect the directional angle of the mobile robot when the robot can not measure the distance in a corner at the cross road. This report outlines a hardware architecture of "DREAM-2" and describes a usefulness of the combined sensor system.

Key words : Autonomous mobile robot, Indoor environment, Supersonic sensor, Gyro sensor, Magnetic directional sensor, Combined sensor system, Travelling experiment.

1. はじめに

我々の研究室では、これまでにファジィ制御を用いた自律移動ロボットDREAM-1を製作した[1].

自律移動ロボットの環境認識の手段にはトラッキングビジョンを用いた方法など様々な手法が提案されている[2]. DREAM-1では環境認識部に超音波センサを搭載し、距離情報とそれらから算出した姿勢角情報により環境認識を行い、クラン

ク路走行や縦列駐車において一定の成功を収めた[1]. このことにより、自律移動ロボットの環境認識において、超音波センサの有効性が確認された.

しかしそのセンサが超音波センサのみであるため、以下のような超音波の特性による拘束条件を考慮する必要があった.

(1) コースが超音波センサを反射しやすい、凹凸等がない壁で構成されていること.

(2) DREAM-1が壁に対して超音波の広がりより大

きな姿勢角をとることができないこと。

(2)の点に関しては、超音波センサ部を可動式にすることによりある程度克服された。しかし交差点内のように、周囲に空間が開けていて壁が存在せず、反射波を捕らえ難い環境下では、超音波センサのみでは不十分な環境認識しか行えないといわざるを得ない。また、超音波センサを可動式にする際にも、センサをどの方向に向けるかは距離情報から得られた姿勢角により決定していたため、壁が存在しなければ可動させることができないという、矛盾を含んでいる。このため、超音波センサが姿勢角検出には不向きであり、壁などに依存しない姿勢角検出手段を別に設ける必要があると判断した。

そこで我々は超音波センサを距離検出にのみ使い、姿勢角認識を他のセンサで行う2号機DREAM-2を製作することにした。DREAM-2では姿勢角を認識するためにジャイロ・センサと磁気方位センサを搭載している。このことにより通常の廊下などのように凹凸のある状況や、交差点などの距離計測が困難な状況下においても正確な姿勢角認識が可能となる。

またDREAM-2は電動車椅子の車体を使用しており、DREAM-1より大型となったため、その死角をなくすため超音波センサも増設する。

走行制御にはファジィ制御を使用する。このファジィ・ルールはコンピュータ上で行ったシミュレーションにより得られたものを移植する [3] - [5]。

本報告では、DREAM-2のハードウェア構成と機能および走行制御について概説する。

2.DREAM-2の構成・機能

2.1 全体構成

DREAM-2では、乗用に供することを想定して車体に電動車椅子を使用した。DREAM-2の寸法を図1に、外観を図2に示す。

センサ・走行制御機器類は車椅子後部にラックを設けて設置した。センサ・走行制御機器類用電源は車載用バッテリーを用いている。現在このバッテリー設置スペースは特に設けてなく、座席部に載せているが、将来的には後部ラック下に設置することを考えている。DREAM-2の主な仕様を表2.1に示す。

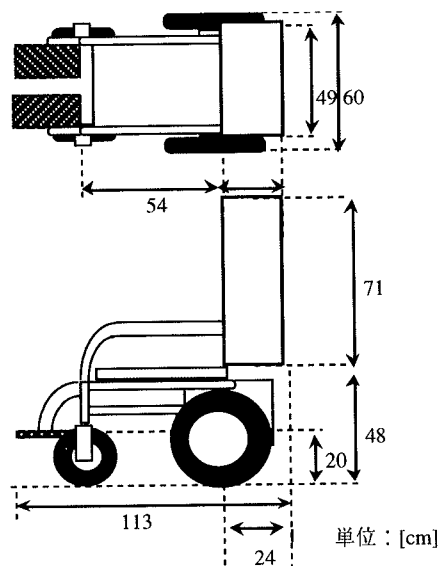


図1 DREAM-2の各部の寸法

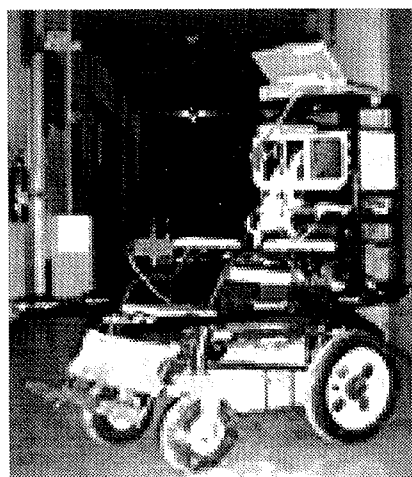


図2 DREAM-2の外観写真

表2.1 DREAM-2の主な仕様

サイズ	全長	113cm
	幅 (前部) (後部)	50cm 60cm
重量	重量	83kg
	ホイールベース	54cm
	トレッド長 (前輪) (後輪)	40cm 53cm
車椅子部	型式・種類	EMC-100型 OE
	駆動方式	前輪パワーステアリング・後輪直接駆動
	制動方式	モータ発電制動及び電磁ブレーキによる全自動方式
	車輪	前輪：径251×幅80mm 後輪：径390×幅66mm
	モータ	電子最大出力 24V 450W×2
	重量	本体：54Kg バッテリー(EB35)を含む重量：81Kg (車椅子のみ)
	最大登坂力	20°
	実用登坂力	10°
	段差乗越	6.5cm
	最大隙間越	18.5cm
	最小回転半径	80cm
	最大ステアリング角	外輪 68° 内輪 43°
	電源	バッテリー 12V×2 (動力部用)
	速度	前進 0~6.0 Km/h 後進 0~4.0 Km/h
制御部	CPU	PC-9801NS (NEC製) i386SX-12MHz RAM 640KB MS-DOS上で動作
	車椅子駆動-操舵制御	D/Aコンバータ(8bit)×2により電圧制御
環境認識部	ジャイロセンサ	(出力：-23040.000~0~+23039.297 deg)
	磁気方位センサ	(出力：0~360 deg)
	超音波距離センサ	(出力：20~300 cm)
インタフェース	拡張スロットラック	98RACK(15)V (インタフェース製)
	拡張バスボード	98BSET-EXCEL(NOTE) (インタフェース製)
	パラレル入出力ボード	98PPI(96) (インタフェース製) 8255(PPI)×4 を実装
付加装置用電源	バッテリー 12V×1	

DREAM-2の全体構成ブロック図を図3に示す。

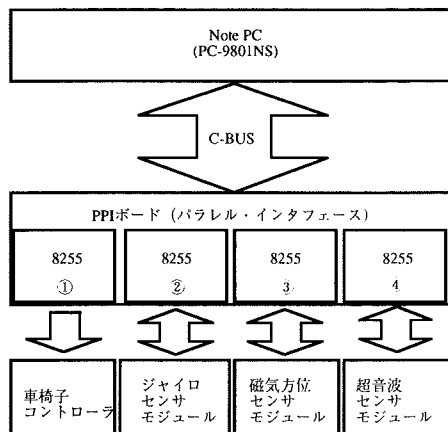


図3 DREAM-2の全体構成ブロック図

同図において、ノート型パーソナルコンピュータPC-9801NS(NotePCと略す)では、全体の統括と走行制御を受け持ち、パラレル・インタフェース(IC8255)を通して得られたセンサ・データを用いてファジィ推論を行う。また、状態表示と状態情報の保存を行う。走行制御プログラムはC言語を用いて作成し、MS-DOS上で動作する。

操舵・速度制御は、電動車椅子のハンド・コントローラの制御電圧入力部を利用する。この制御電圧入力部は2入力あり、それぞれを便宜的にL入力、R入力と呼ぶ[6]。速度はL入力電圧とR入力電圧の和(Sum:S)により、操舵角はそれらの差(Difference:D)により与えられる。電動車椅子を制御するには、要求速度と操舵角を、NotePCでL入力電圧とR入力電圧に変換し、車椅子コントローラに出力する。図4に車椅子コントローラのブロック図を示す。

車椅子コントローラでは、まずNotePCから出力された操舵角と速度をD/A変換する。このD/Aコンバータのアナログ出力範囲は0~2.5[V]なので、L,R電圧の最大値12[V]に合わせるため、非反転増幅器により4.8倍する。この出力電圧値をL入力、R入りに与えることにより電動車椅子を制御する。この

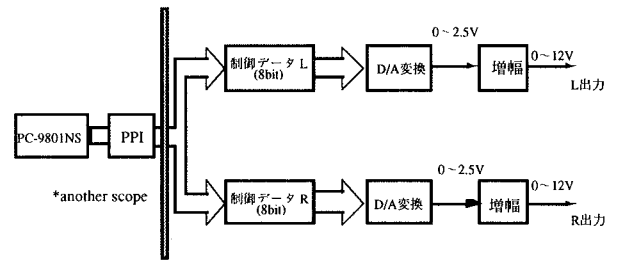


図4 車椅子コントローラ部のブロック図

入力をD/Aコンバータに出力できる256段階8bitの値に変換したものを、それぞれ X_L 、 X_R とし以下に示す[6]。

$$X_L = \frac{255}{24} (S+D)$$

$$X_R = \frac{255}{24} (S-D)$$

制御電圧の測定は、車体を台に乗せて車輪を浮かせた状態で行った。この状態では、低速から高速、あるいは小さな操舵角から大きな操舵角までリニアに理想的に変化しているが、実際に走行させると、低速度やわずかな操舵角の変化が走行に適切に反映されない。これは自重によるものと考えられる。また、操舵入力を直進に設定しても完全には直進せず、わずかながら左にずれる傾向がある。そのため実際のプログラムを実験により補正した。

2.2 超音波距離センサ・モジュール

走行制御を行うにあたり、距離情報は重要な意味を持つ。DREAM-2では、DREAM-1と同様に超音波距離センサを用いる。しかし、DREAM-2では超音波センサを距離検出のみに用いるためそのシステムはDREAM-1と比較し、簡略化した。現在のDREAM-2は、この他に距離計測手段は持たず、周囲に壁などのない屋外での距離計測は困難である

が、DREAM-2は屋内走行を想定しているので、基本的に廊下の壁などを測定して十分に走行可能であると考えられる。

超音波はある程度の広がりを持ちながら伝搬する。この広がり角度は、実験により約±23度であることがわかっている[1]。

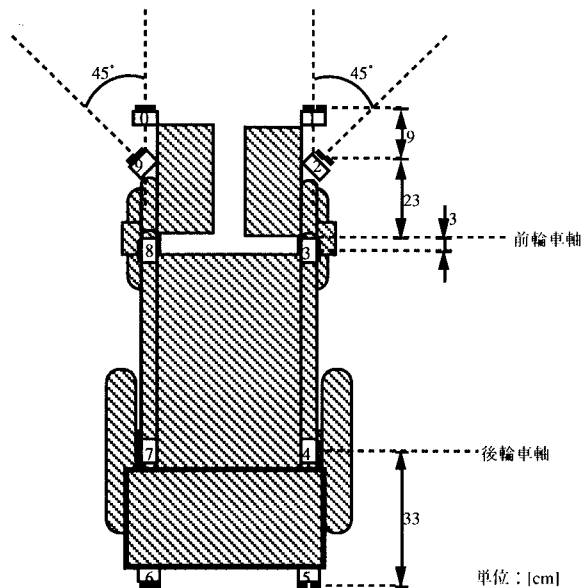


図5 上側から見た超音波センサ配置位置

DREAM-2には10組のセンサを搭載した。図5中のセンサ内に記している数字はセンサ番号で、それぞれ#0～#9とする。#0,#1,#5,#6を車体の4頂点に設置し、それぞれ図のように前方、後方の距離を測定する。#3,#4,#7,#8はそれぞれ前輪・後輪の車軸上に、車体に対して垂直に設置し、図のように左右方向の距離を測定する。#2,#9は#0,#1と同一軸線上若干後方で、車体に対して斜め45度前方に向けて設置する。これは、現在はセンサを固定して設置するため、転回時の死角を少なくする目的で設置した。超音波センサ・モジュールのブロック図を図6に示す。Z80CPUは定期的に10組のセンサによる距離の計測を制御し、計測結果をメモリに保存する。一センサあたり0.05[sec]かかるので、一巡するには0.5[sec]必要である。計測結果は外部CPUからセンサ番号を与えると、割り込みによりメモ

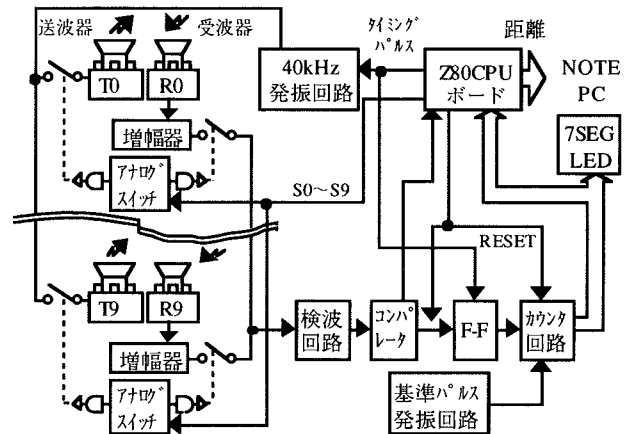


図6 超音波センサのブロック図

りに保存しているセンサ番号に対応した値を出力する。

計測可能範囲を20～300[cm]、測定分解能を1[cm]になるように設計した。反射波が弱いとき(3[m]以上の長距離)や、壁や障害物が超音波センサに対して大きく傾いていて反射波が得られない場合、Z80CPUは計測不能としてエラー・コード(0)を返す。

2.3 ジャイロ・センサ・モジュール

2.3.1 ジャイロ・センサについて

一般にジャイロ・スコープとは、3軸の自由度を持った高速回転体のことを指し、外からの力を与えない限り空間に対し一定方向を指し続ける。この回転体に回転角速度などを加えると発生するコリオリ力を検知し、センサとして用いたものがジャイロ・センサであり、航空機のオートパイロットなどに用いられている[7]。

コリオリ力とは、回転座標系の上で運動する物体に働く慣性力である。同様の慣性力に遠心力があるが、遠心力が回転座標系に対して静止状態の物体にも働くのに対して、コリオリ力は運動物体にのみ働き、止まっている物体には働かない。振動体にも回転体と同様に発生する[6]。

本研究では、回転体の代わりに振動体を用いたセンサ「ジャイロスターENV-05A（株）村田製作所製」を使用した。ジャイロスターは三角柱型センサ素子、励振・検出用セラミックス、回路部により構成されている。図7のように、センサ素子の各辺の中央部に圧電セラミックスを貼り合わせ、3辺の内2辺の圧電セラミックスを励振・検出用として、残る1辺の圧電セラミックスを帰還用として利用している。動作は、まず圧電セラミックスに電気信号を加え、圧電効果によりセンサ素子を振動させる。この励振状態の振動子の中心軸（Z軸）に回転角速度が加わると、励振方向に対して直角方向（Y方向）にコリオリ力が発生する。この力を検出用セラミックスによって検出し、角速度を得る構造となっている。

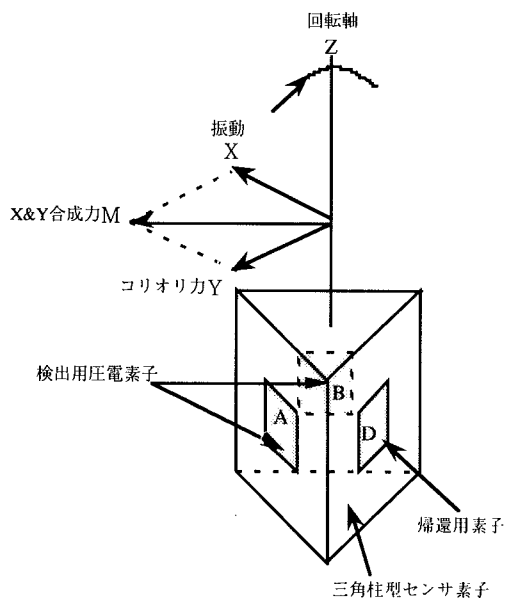


図7 圧電式振動ジャイロの構造

2.3.2 ジャイロ・センサ・モジュールの構成と機能

ジャイロ・センサの出力は回転角速度であり、姿勢角を得るにはこの出力を積分する。

しかし、ジャイロ・センサの出力にはドリフトがあり、この出力をそのまま積分したのではドリフト誤差が積算されていく。そこでジャイロ・セ

ンサ出力にドリフト以上の変化がない、すなわちジャイロ・センサが回転していない状態が一定時間保たれた場合、積分器を放電することによりドリフト誤差を低減するシステムを製作した[9]。

ジャイロ・センサ・モジュールのブロック図を図8に示す。

このジャイロ・センサ・モジュールは独立に姿勢角を検出し、外部CPUに負荷をかけない。すなわち外部CPUは必要に応じて姿勢角を検出することができる。

ジャイロ・センサ・モジュールには「マニュアル・モード」と「ワーク・モード」の2つのモードがある。「マニュアル・モード」は主にモジュール調整用のためであり、このモード時には積分器放電機構は動作せず、積分器出力をそのまま出力する。実際に姿勢角検出に用いるのは「ワーク・モード」であり、このモード時には前述の積分器放電機構が動作する[6]。

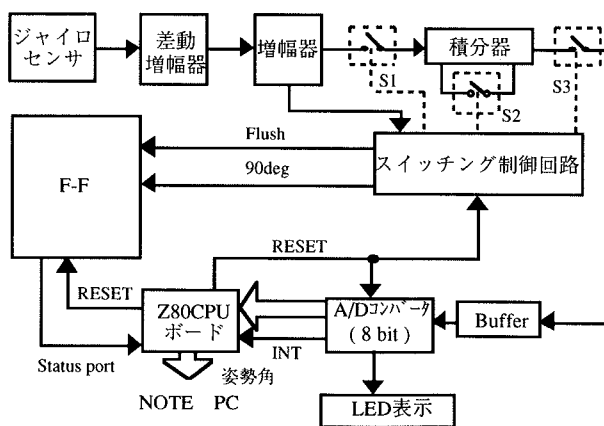


図8 ジャイロ・センサ・モジュールのブロック図

2.4 磁気方位センサ・モジュール

磁気方位センサは、地磁気の磁束による起電力を互いに直交する2成分に分けて検出し、そのベクトル量より地磁気を基準とした絶対方位角を検出できる。そのためジャイロ・センサのように積算

誤差がないという利点がある。しかし、金属や磁石など磁界に影響する外乱が存在した場合、全く精度が保てない。とくにDREAM-2の走行環境は室内を想定しているため、このような外乱が多いことが予想される。そこでジャイロ・センサと併用する。

磁気方位センサのブロック図を図9に示す。

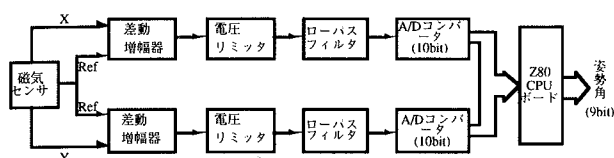


図9 磁気方位センサのブロック図

前述のように、磁気方位センサの出力は地球磁界に対して水平成分と垂直成分に分けられ出力される。その値は差動増幅器で補正され、電圧リミッタに出力される。電圧リミッタでは、A/Dコンバータのアナログ入力範囲内に電圧を制限し、磁石などの大きな外乱が近づいたときの急激な電圧変動からA/Dコンバータ入力を保護する。さらにローパス・フィルタでノイズ成分を除去し、10bitのA/DコンバータでA/D変換され、Z80CPUボードに出力される。

Z80CPUは、これらx,y成分より逆正接関数の演算をし、方位角を求める。さらに適宜外部CPUからの要求により方位角を出力する。出力値は0~359[deg]であり、分解能は1[deg]である。サンプリングレートは3.81Hzである。

3. 走行制御

3.1. シミュレーションによるファジィ・ルールの獲得

走行制御を実行させるファジィルールの生成にここではコンピュータ・シミュレーションによる

ファジィ・ルールの自動チューニングを行った。

DREAM-2では、第2章で述べたようにNote PCを用いて走行制御を行うので、高速なデスクトップ・パソコンでチューニングした結果をファイル化して容易に移植できる。DREAM-2ではそのチューニング結果を用いて走行制御を行う。

ここでは、走行制御のためのファジィ・ルールを遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm:GA)を用いた自動チューニングにより獲得した[3]。メンバーシップ関数には、すでに良好な結果が得られている折れ線型メンバーシップ関数を用いた[4]。推論法は、後件部が定数で与えられた、計算負荷が小さい簡略化ファジィ推論法を用いた。

3.2 問題設定

交差点内の左折走行を行う。この問題を選択した理由は、交差点内では前後左右に大きな空間があり、左折するためには大きく姿勢角が変化するので、DREAM-2で新たに実装した姿勢角検知システムの有効性を確認するためである。

シミュレーション・コースはスタート地点とゴール地点の形状を合わせ、図10のようにモデル化した。図10では下側から進入し、左側廊下に脱出する。

スタート地点は交差点進入側から110[cm]の地点で、ロボット前方左側頂点を左側壁面から30[cm],90[cm],150[cm]の3カ所に合わせる。110[cm]というのはほぼDREAM-2の全長113[cm]の分である。ゴール地点は交差点角から150[cm]の地点にDREAM-2の前部がさしかかるまでとする。走行の評価は、交差点進入時と脱出時に評価し、姿勢角が壁面に対して平行かつ脱出時の壁面からの距離が30[cm]付近である場合に高い評価を与えた。

入力変数を図10のように定義する。初期姿勢角は壁面に対して平行に設定し、その角度を0度とする。DREAM-2が左方向に旋回すると正の姿勢角、

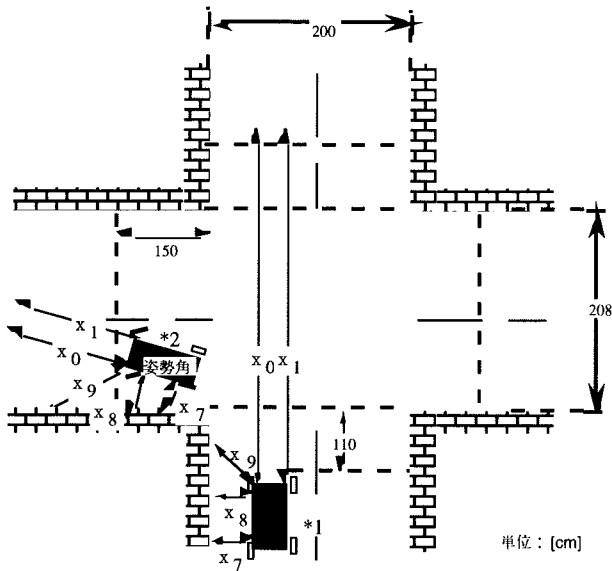


図10 シミュレーション・コースと入力変数定義

右方向に旋回すると負の姿勢角をとり、 ± 180 度で表現する。

入力変数も実際のDREAM-2にあわせ、車体の周囲に配置した超音波距離センサと姿勢角検知システムより得られる姿勢角とする。超音波センサは、右側面と後方は必要ないと判断し、左側面と前方の#0,#1,#7,#8,#9(図10参照)のみを使用した。

図で# q での測定距離を X_q で表す($q=0,1,7,8,9$)。

2.2節で述べたように、超音波距離センサには広がり伝搬特性がある。そこでセンサ方向 ± 23 度内に垂線を引きうる壁面が存在するならば距離を返し、そうでなければ計測不能として300[cm]を返すようにこの特性をシミュレーションした。

図11の例では、壁面に対して約15度傾いている。この状態では#7,#8は測定可能であるが、#9は壁に対して23度以上傾いているので計測不能である。図11の上方は交差点内であるが、この方向にも壁面が存在しないので#0,#1も計測不能である。

出力変数は操舵角のみであり速度制御は行わない。ルール数は6個用意した。この数は経験的に得られたものである。

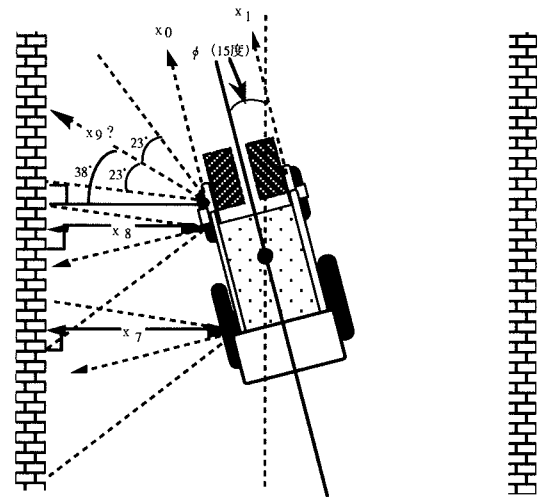


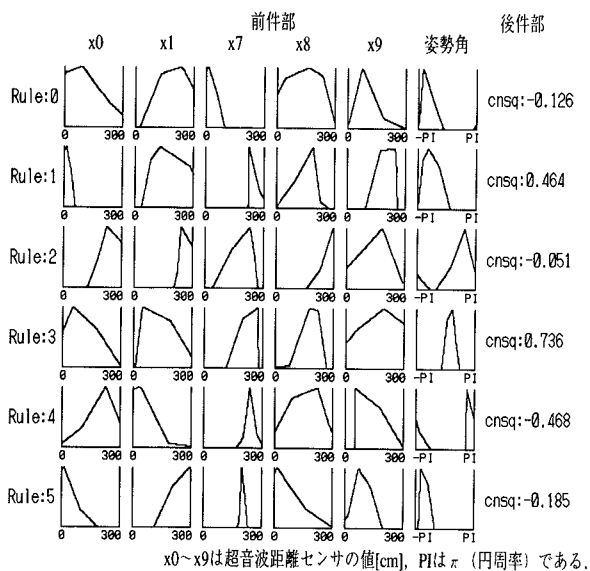
図11 超音波センサの特性図

拘束条件として、

- (1)25度以下の操舵角出力は無条件に0度とする。
- (2)前回と今回の操舵角出力の変化分が9度以下の場合操舵角出力をそのままし変化させない。
- (3)いずれかの距離センサが25[cm]以下を示した場合、衝突防止のための緊急停止機能が働いたとしてその遺伝子でのシミュレーションを打ち切る。
- (4)速度は10.0[cm/s]の定速走行である。

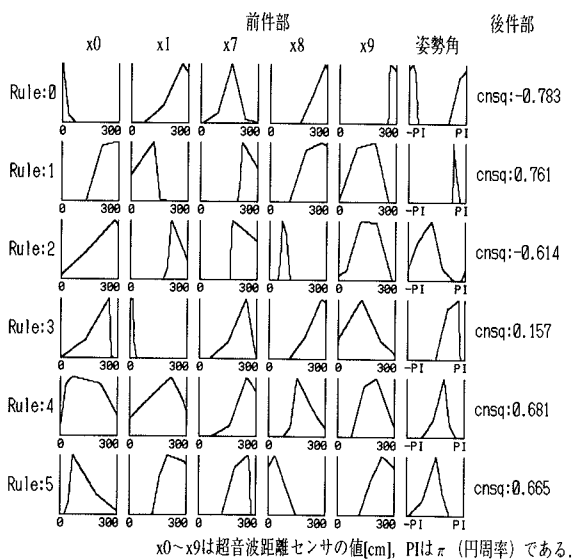
(1),(2)の条件は2.1節で述べたように、電動車椅子のハンド・コントローラ入力部を用いた場合の挙動をシミュレーションしたものである。

以上のような手順で自動チューニングを行い、2種類のファジィ・ルールを得た。このシミュレーション結果のメンバーシップ関数をグラフ化したものを図12及び図13に示す。



x0~x9は超音波距離センサの値[cm], PIは π (円周率)である.

図12 シミュレーションによって得られたメンバーシップ関数1



x0~x9は超音波距離センサの値[cm], PIは π (円周率)である.

図13 シミュレーションによって得られたメンバーシップ関数2

図14及び図15は、それぞれシミュレーション結果1, 2のファジィ・ルールを用いてシミュレーション走行を行った結果である。ファジィ・ルールの獲得時は、一段階の速度で行ったが、実際の走行実験は二段階の速度で行う。実際のDREAM-2の走行と比較するために、それぞれの速度とスタート

位置を変えてシミュレーション走行させた。

図の左側は速度10.0[cm/s], 右側は速度31.35[cm/s]での走行で、車体枠ひとつあたり4回推論している。現在のDREAM-2では、1推論あたり0.63[sec]必要なので、右側は6.3[cm/推論], 左側は19.75[cm/推論]の間隔でファジィ推論を行っている。上から順に、それぞれのスタート位置が左側からの壁から30[cm],90[cm],150[cm]の場合の走行軌跡である。

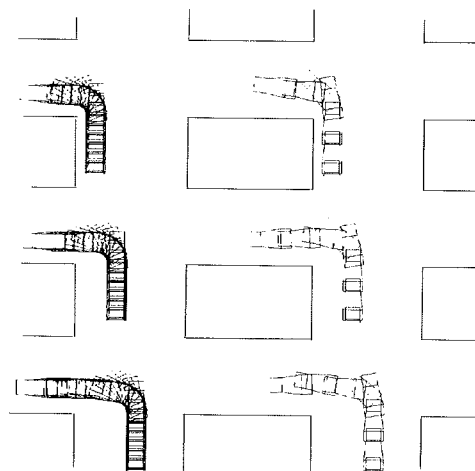


図14 シミュレーション結果1による走行図

(1)シミュレーション結果1のファジィ・ルールでは、全ての速度とスタート位置において良好に走行した。

左側面超音波距離センサが全て300[cm], すなわち車体が全て交差点内に入進した時点で操舵操作を始め、姿勢角が90度付近になれば操舵角を0に戻している。

(2)シミュレーション結果2によるファジィ・ルールでは、壁から離れると適切に走行できなかった。スタート地点が90[cm]の場合では、交差点脱出後壁面に平行にならず、スタート地点が150[cm]の場合には、スタートと同時に操舵操作を始め、左側壁面に衝突し交差点に入進できなかった。

左折が可能なスタート地点を設定すると、シミュレーション結果1の場合と同様に、左側面超音波距離センサが全て300[cm], すなわち車体が全て交

差点に進入した時点で操舵操作を始め、姿勢角が90度付近になれば操舵角を0にもどしている。

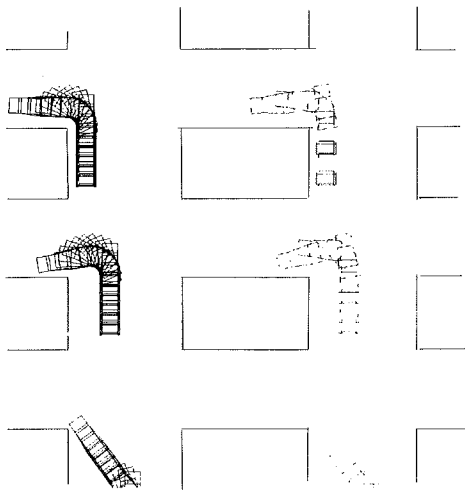


図15 シミュレーション結果2による走行図

4. 走行実験

4.1 実験方法

前章のシミュレーションによって得られたファジィ・ルールをDREAM-2に移植し、走行実験を行った。走行実験コースを図16に示す。

場所は、工学部中央廊下3階の旧電気電子工学科棟との交差点である。機械工学科方面からスタートし、旧電気電子工学科棟方向に左折させた。

ファジィ・ルールは、3.2節で述べたように2種類用意し、以下のような条件で走行実験を行った。

(1)シミュレーション結果1,2のルール用い、速度を2段階(10.0[cm/s],31.35[cm/s])、スタート地点の左側壁からの距離を30[cm],90[cm],150[cm]の場合の計6条件について実験した。

(2)金属棒を使用して、磁気方位センサに外乱を与えた場合。ファジィ・ルールはシミュレーション結果2のものを用いた。

(3)速度を46.51[cm/s]、左側壁からの距離を90[cm]とした場合。ファジィ・ルールはシミュレーション結果2のものを用いた。

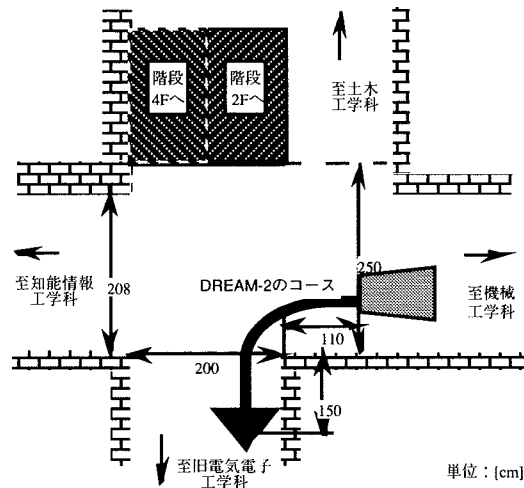


図16 走行実験コース

4.2 走行制御プログラム

図17と図18に走行制御プログラムのフローチャートを示す。

全てのセンサ・データを、割り込みにより0.1[sec]毎にプログラマブル・パリアフェラル・インターフェース (programmable peripheral interface:PPI) ボードより読み込む。ただし読み込んだセンサ値が最新のものに更新されているかどうかは、センサ・モジュール側のサンプリング速度に依存する。

ファジィ推論は約0.6[sec]毎に行う(PC-9801NS i386sx-12MHzの場合)。推論毎にセンサ情報と推論結果を画面表示し、ヒストリ情報としてファイルに保存する。

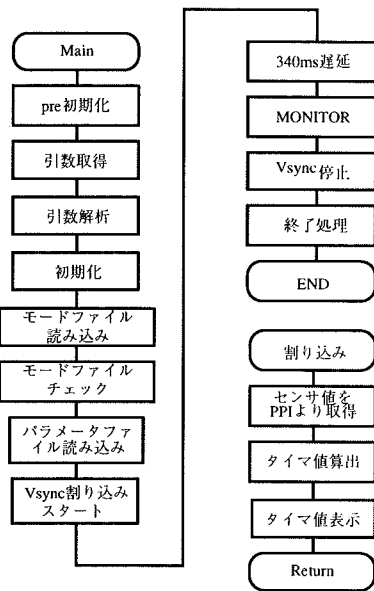


図17 走行制御プログラムフロー・チャート1
(メイン，センサ値取得)

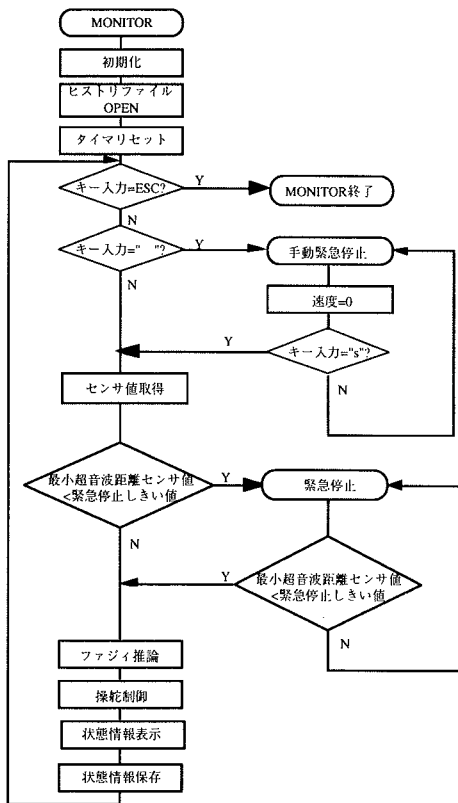


図18 走行制御プログラムフローチャート2
(モニタ；走行制御部)

4.3 実験結果

図19及び図21に実験結果を示す。図中の[0,0]の地点がスタート地点でここに超音波センサ#0がくるようにDREAM-2を配置する。また，斜線部分はスタート時のDREAM-2の進行方向に対して左側の壁であり，縦軸，横軸はスタート地点でのDREAM-2の進行方向に対しそれぞれ，左方向と前方向の距離で単位は[cm]である。

これらの図は一定速度での走行であるという仮定のもと，ヒストリ情報の姿勢角をもとに，単位時間当たりの走行距離と方向を求め，超音波センサ#0の走行軌跡を再現したものである。

この走行軌跡では，左折後右側にくる壁の中を走行することになるので，図中ではこの壁を省略する。実際の走行の際には，旋回などを行うときに必ずしも一定速度を保っていないのでこの図の軌跡とは異なった走行経路をたどる。しかし，大まかな軌跡や走行終了時の姿勢角などにより，走行の可否が推測できると考えられる。

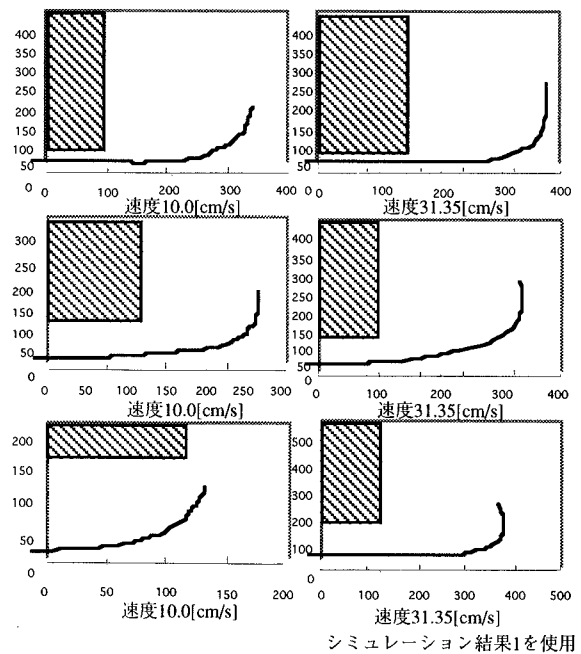


図19 ヒストリ情報による走行軌跡再現図1

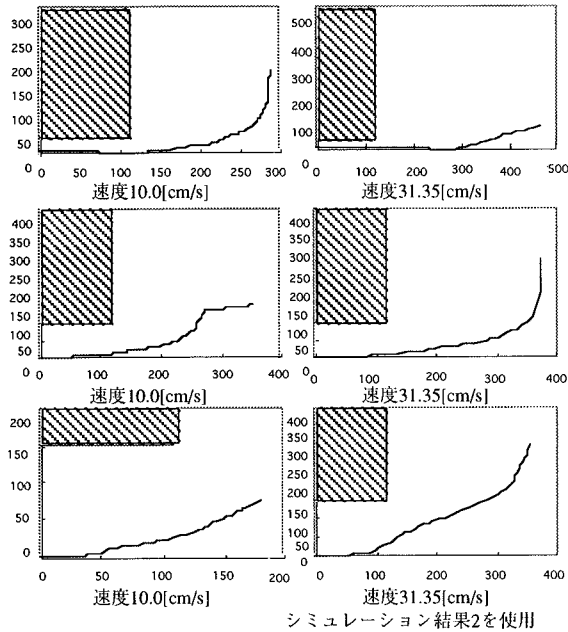


図20 ヒストリ情報による走行軌跡再現図2

5.検討

シミュレーション結果1を用いた場合、シミュレーション走行では、#7が300[cm]を示す時点、すなわち車体が全て交差点内に進入すると操舵操作を開始する。実際の走行においても同様の操作を行っていることが確認できたが、

- ・操舵操作が遅れ気味であり、場合によっては左折が間に合わず、対面の壁に衝突する
- ・スタート地点が壁から離れると転回動作を行うといった問題が起こった。壁に衝突するのは超音波センサ値の更新に0.5[sec]必要であるため、交差点進入検出が遅れることが原因であると考えられる。また、転回動作を行う理由として、2.1節で述べたように、現在のDREAM-2の車体には操舵出力を0度に指定しても完全に直進せず左に旋回する傾向があるため、操舵出力以上に転回するということが考えられる。また、大きな操舵角から小さな操舵角に操舵出力が変化しても、前輪がそれに追従していないとも考えられる。

シミュレーション結果2を用いた場合も、シミュ

レーション走行では、車体が交差点に全て進入すると操舵操作を開始する。ただしスタート地点が150[cm]の場合は、スタートと同時に操舵操作を始め、左側壁面に衝突し交差点に進入できなかった。しかし実際の走行においては、速度が31.35[cm/s]の場合に壁面との余度がほとんどなかったものの、左折に成功した。これは車体の滑りなど、シミュレーションでは再現されていない条件が作用し、交差点を脱出した後は操舵角を戻すルールが働き、シミュレーションと異なる結果が得られたと考えられる。また、図20で速度が10[cm/s]、壁からの距離が90[cm]という条件では、x軸の270[cm]付近から走行軌跡が突然変化するという現象が確認された。図21でも明らかなように、この時点でジャイロ・センサの値がリセットされ、当然ながら磁気方位センサの値と大きくかけ離れるので、ジャイロ・センサの値が採用されたためであった。ジャイロ・センサの値がリセットされたのは#flush信号による割り込み信号を取りこぼしたことが原因と考えられ、ジャイロセンサ・モジュールの姿勢角管理プログラムのアルゴリズムを改善する必要がある。

いくつかの走行実験において、交差点に進入しても左折せず、ほぼ直進し対面の壁に衝突するコースをとることがあった。ヒストリ情報を確認してみると、#7や#8辺りの超音波センサの値が安定していなかったもので、このことが原因であると考えられる。超音波センサの値が安定しないのは、超音波センサはわずかでも反射波が返ってくれば距離を測定するので、壁の出っ張りなどの距離を測定したと考えられる。

また、ヒストリ情報を見ると、ゴール地点で磁気方位センサの値がジャイロ・センサの値と20度以上も異なっていることがあったが正常に走行した。磁気方位センサが異常な値を示す要因として、ゴール地点右側に鉄製の防火扉がある事が挙げられる。しかしジャイロ・センサとの併用システム

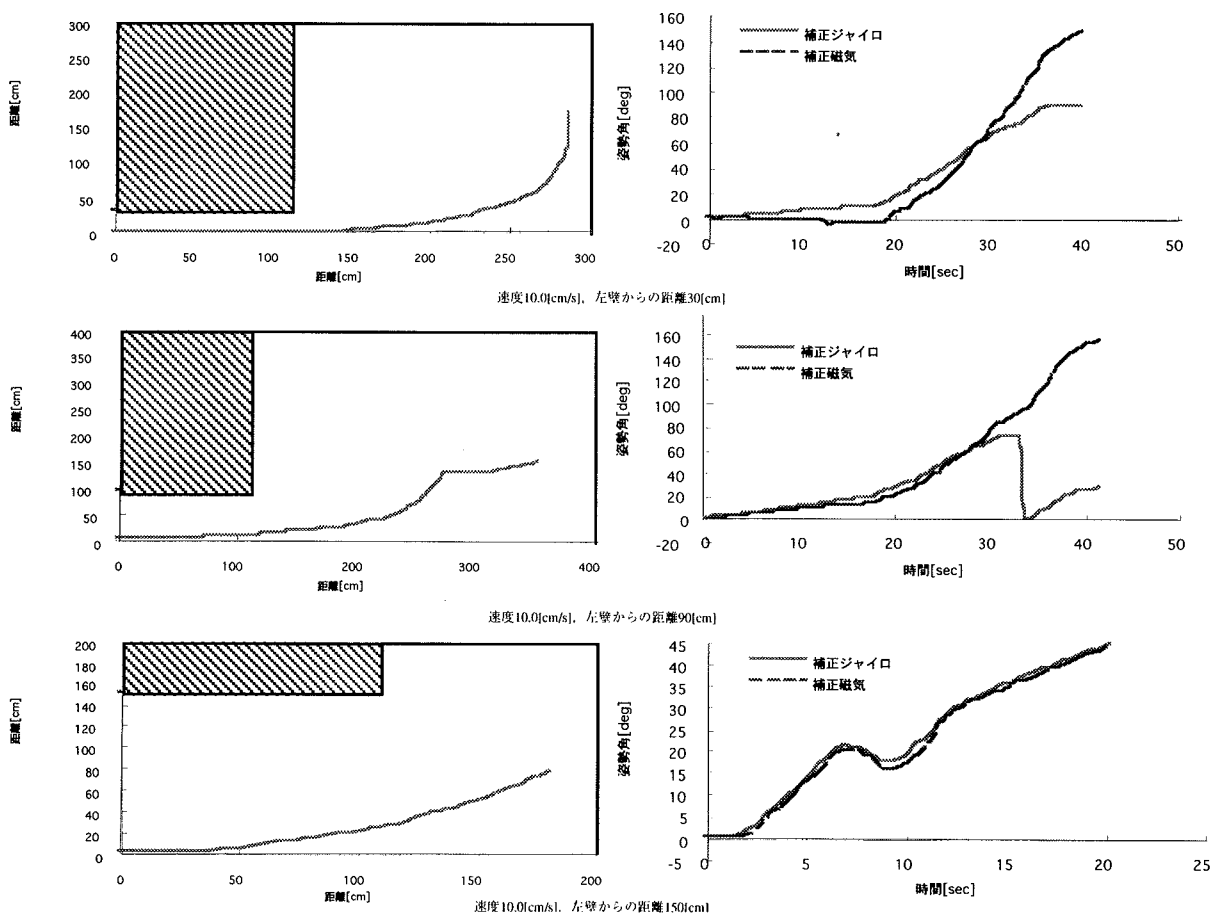


図21 交差点左折の場合のジャイロセンサ及び磁気方位センサの姿勢角検出結果（シミュレーション結果2のルールに基づく走行）

が有効に働いて、外乱の存在を認識し採用姿勢角をジャイロ・センサに切り替えて適切に走行した。また、磁気方位センサに金属を近づけることにより強制的に非常に大きな外乱を発生させたが、図22の上側の図のように走行は成功した。これらにより、磁気方位センサとジャイロ・センサの併用システムの有効性が確認できた。

前述のようにDREAM-2の車体には、ごくわずかながら左に回転するという傾向がある。これは車椅子の車体の機械的な誤差であると考えられ、調整を試みたが完全には取り除けなかった。これを解決するには、前輪切り角の情報を取得できるようなセンサを付加し、その情報を元に切り角の微

調整をして、操舵角出力が正確に反映されるようにする必要がある。

現在、DREAM-2の制御はハンド・コントローラの入力部をそのまま利用しているが、この入力部は操舵出力の変化がわずかであると、走行にほとんど反映されない。このため、左折後に壁に対して平行になるように微調整するような操作が不得手である。これを解決するには直接操舵モータを操作することが必要である。

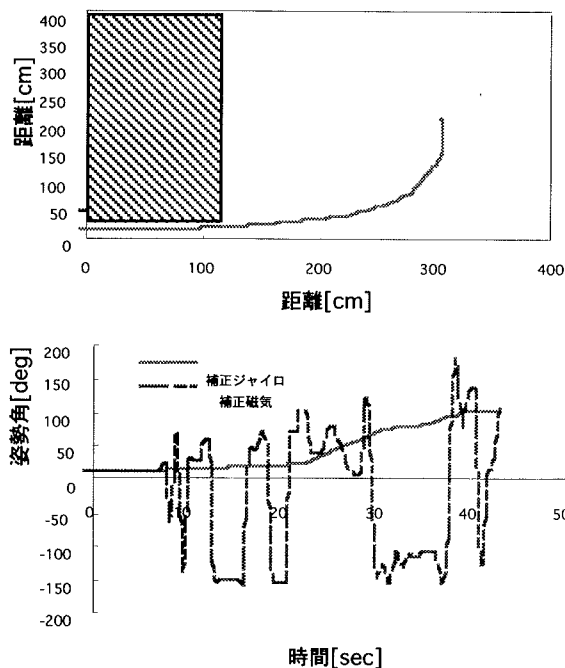


図22 外乱を加えたときの交差点左折走行
速度10[cm/s],左壁からの距離30[cm],外乱付与
上図:走行軌跡, 下図:姿勢角認識結果

6. おわりに

ファジィ制御を用いた自律移動ロボットDREAM-2を製作し走行制御を試みた。その成果として、

(1)超音波センサを距離検出のみに用いたため、DREAM-1に比べそのシステムが簡略化された。

(2)ジャイロ・センサと磁気方位センサによる姿勢角認識部を付加し、壁などによらない姿勢角認識が可能になった。

(3)ジャイロ・センサと磁気方位センサを併用することにより、外乱が生じた場合でも操舵不能にならないことが確認できた。

さらに、

(4)ファジィ・ルールはシミュレーションで得られたものを移植し、交差点左折走行においてその有効性が確認された

しかし、交差点の左折が成功しなかった場合もあった。DREAM-2の環境認識手段は、左折走行に

ついては十分であると考えられる。しかし本研究における走行コースには特に障害物もなく、DREAM-2以外に人間などの移動物体もなかった。もしこのようなより複雑な環境で走行するためには、CCDカメラを用いた画像認識等も行う必要があると考えられる。

参考文献

- [1]H.Miyata,M.Ohki,Y.Yokouchi and M.Ohkita:
Control of the autonomous mobile robot DREAM-1
for a parallel parking,Trans.IMACS,Vol.41,pp.129-
138,1996.
- [2]羽田 芳朗, 高瀬 國克, トラッキングビジョ
ンによる移動物体群の実時間同定と位置姿勢の
計測—マークベーストビジョンの提案—, 電気
学会研究資料, pp.9-18, 1995.
- [3]宮田, 大木, 柴田, 田中, 大北: 自律移動ロボ
ットの走行制御における遺伝的アルゴリズムを
用いたファジィルールの自動チューニング, 第
11回ファジィシステムシンポジウム, pp.623-626,
1995.
- [4]H.Miyata,M.Ohki and M.Ohkita:Self-tuning of fuzzy
reasoning by the steepest descent method and its
application to a parallel parking,IEICE Trans.Inf.&
Syst, Vol.E79-D,No.5,pp.561-569,May1996.
- [5]大木, 宮田, 田中, 大北: 折れ線型メンバーシ
ップ関数を用いたファジィルールの自動チュー
ニング, 電気学会論文誌, 第166-C巻, 7号,
pp.776-784,1996年7月.
- [6]糸井 誠: 自律移動ロボットの走行制御に関す
る研究, 鳥取大学大学院工学研究科博士前期課
程 電気電子工学専攻修士論文, 1996.
- [7]CQ出版社: PC9801拡張インターフェースのすべ
て, トランジスタ技術SPECIAL,No3,1987.
- [8]永井啓之亮: 超音波ホログラフィ, 日刊工業新
聞社, 1989.

[9]M.Choirul,A.Araki,M.Ohki and M.Ohkita:
Detecting the position angle for an autonomous
mobile robot by a gyro sensor,Rep.The Faculty of

Engng.,Tottori Univ.,Vol.27,No.1,pp.25-36,Nov.,
1996.

(受理 平成9年8月25日)

