

自律移動ロボット DREAM-2 の走行実験

大木 誠・荒木 晃徳*・大北 正昭
鳥取大学工学部電気電子工学科・*中国電力株式会社

Travelling Experiment of the Autonomous Mobile Robot DREAM-2 Makoto OHKI, Akinori ARAKI*, and Masaaki OHKITA

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering,
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan
E-mail: mohkita@ele.tottori-u.ac.jp

*Chugoku Electric Power Co., Inc., Hiroshima, 730-0041 Japan

Abstract: As the second version of our Autonomous Mobile Robot "DREAM-1", "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 indoor environments such as in hospitals or welfare homes. The supersonic sensors as well as a combined system of a gyro sensor and a magnetic directional sensor, and an encoder system for measuring travelling distance 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. On a use of the sensor system, "DREAM-2" travelled well in a long straight-line course. The travelling was controlled by combination of simple fuzzy rules.

Key words: Autonomous mobile robot, Indoor environment, Supersonic sensor, Gyro sensor, Magnetic directional sensor, Combined sensor system, Encoder, 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]. しかしそのセンサが超音波センサのみであるため、超音波の特性による拘束条件を考慮する必要があった。

そこで我々は超音波センサを距離検出にのみ用い、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 は、身体の不自由な人達の移動手段として病院や福祉施設等の屋内環境で利用される事を目的としている。

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。これ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った [3].

今回はエンコーダシステムを新たに搭載し、センサ系の補強を行った。

走行実験にあたり、コース内での走行を 4 種類の機能 (左壁に沿った直進, 右壁に沿った直進, 左折および右折) に分割した。

各走行機能をファジィルールの組み合わせにより実現した。移動ロボットをコースの種類と自己の位置・環境条件によって、これらの機能の組み合わせを適当に行うことにより、走行させることにした。

2. DREAM-2 の構成と機能

2.1 DREAM - 2 の全体構成

自律移動ロボット DREAM-2 は、市販の電動車椅子 (EMC-100 型) の車体に、種々の環境センサ、走行制御回路、及びそれらを統括する NOTE PC (PC-9801 NS) を搭載した自律走行システムである。

図1はDREAM-2の全体構成ブロック図である。環境認識部は、主として物体距離認識部と姿勢角認識部とに大別され、前者からは「ロボットとその周辺物体間の距離（外部環境情報）」、後者からは「走行スタート位置を基準としたロボットの相対姿勢角（内部環境情報）」が獲得される。NOTE PC では、予め与えられた走行コースと、環境情報とに基づいた推論演算（ファジィ推論）が行われ、走行状態に応じたロボット用の制御コマンドが生成される。制御コマンドは前輪操舵部、及び後輪駆動部に転送され、走行が制御される。

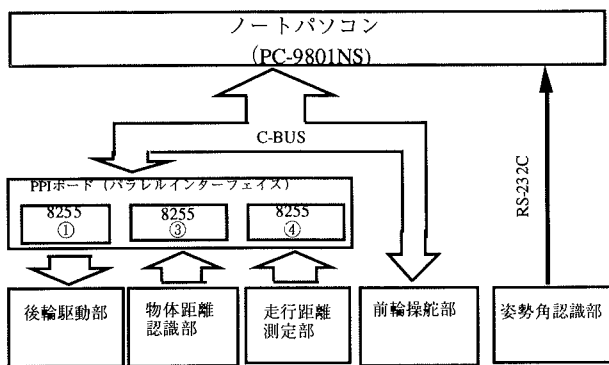


図1 DREAM-2の全体構成ブロック図

2.2 駆動部

前輪操舵はハンド・コントローラ制御回路を介さず、前輪操舵モータを直接駆動する回路を製作し、搭載した。また、後輪駆動にはハンドコントローラ制御回路を用いることにした。

2.2.1 前輪操舵部

図2に前輪操舵部のブロック図を示す。前輪操舵は、操舵用 DC モータを駆動することで行われる。本システムでは3つのスイッチ S1, S2, S3 を切り換えることにより、「ハンド・コントローラによる手動制御モード（スイッチ全てを M 側に設定）」、又は「NOTE PC による自動制御モード（スイッチ全てを A 側に設定）」のいずれか一方を選択できる。

自動制御モードにおける操舵モータの駆動は、Z80 CPU ボード (1) (Super AKI-80) からモータ・ドライブ IC (TA8429H) に、PWM 信号と、正逆転制御信号を加えることで実行される。PWM 信号により前輪の操舵角変更速度、正逆転信号により

左右の操舵方向が決定される。また前輪には、操舵角度に応じて値の変化する可変抵抗器が取り付けられており、抵抗両端に 12 [v] の基準電圧を加えることによって、操舵角度を可変電圧値として検出できる。A/D 変換器 (8 bit) を通したその時々操舵角は、前述の CPU ボードに入力される。一方の NOTE PC からは、要求操舵角が 8 bit のコマンドとして CPU ボードに渡される。CPU ボードでは、現在の操舵角度値と NOTE PC からの要求操舵角とが比較され、それぞれを一致させるための操舵制御が行われる。なお、実際にロボットが取り得る操舵角としては、図3に示す 11 段階の値を採用した。ここで、正の操舵角は左前輪、負の操舵角は右前輪が、それぞれ正面に対してなす角度を表している。

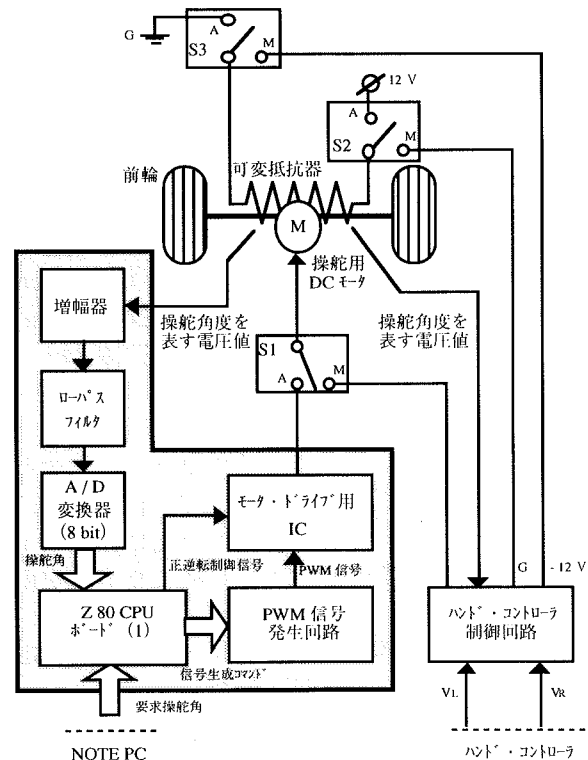


図2 前輪操舵部のブロック図

2.2.2 後輪駆動部

図4に後輪駆動部のブロック図を示す。後輪駆動部は2つのモータを用い、左右の後輪軸それぞれを個別に回転させ、右折、左折、速度コントロール、及び前後進の走行切り替えを行う。スイッチ S1, S2 を切り換えることにより、「ハンド・コントローラによる手動制御モード (S1, S2 を M

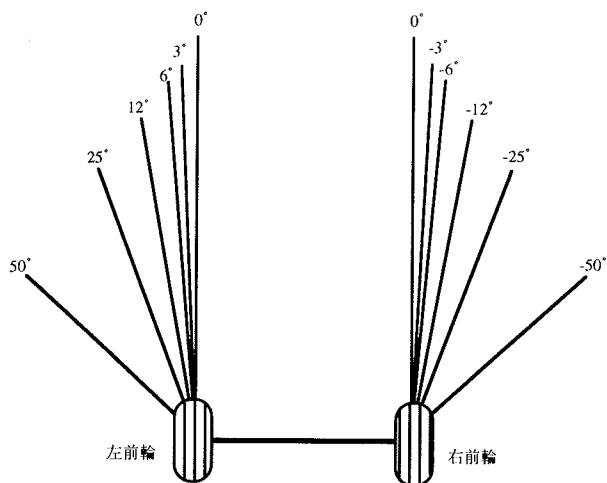


図 3 DREAM - 2 の操舵角

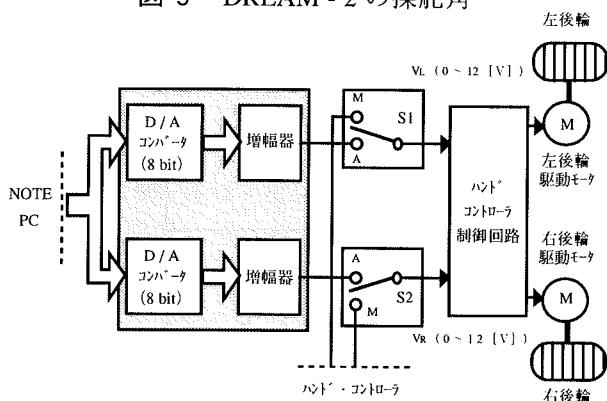


図 4 後輪駆動部のブロック図

側に設定)」と、「NOTE PC による自動制御モード (S1, S2 を A 側に設定)」のいずれか一方を選択できる。

自動制御モードでは、ハンド・コントローラ制御回路の入力部を利用する。この制御回路入力部は左右 2 入力 (VL, VR) あり、2 値の組み合わせ (和, 差) によって、後輪モータが制御される。表 1 に VL, VR の組み合わせによる、後輪の回転状態を示す。和が 12 [v] となるのを境に前後転が切り替わる。和が 12 [v] より大きい場合が前進走行であり、値の大きさに比例して速度が増す。和が 12 [v] より小さい場合は後退走行となり、値が小さくなるに従い、リニアに速度が減少する。また、2 値の差が 6 [v] 以上を示す場合には、値の小さい側のモータ駆動が停止し、一方のモータは 2 値の和に応じた速度で回転する。旋回走行時には、内側の後輪駆動を停止させることで、より

滑らかな旋回が可能となる。具体的には、左右それぞれの前輪操舵角が最大の ± 50 [deg] を示した場合に、片側の後輪駆動を停止させる。

2.3 環境認識部

DREAM - 2 では、超音波距離センサによる物体距離認識部に加え、磁気方位センサとジャイロ・センサを併用した姿勢角認識部を搭載した。超音波トランスデューサ素子の配置を図 5 に示す。

磁気方位センサとジャイロ・センサは、それぞれ以下の特徴を持つ。

- ・磁気方位センサは地磁気 (日本列島で観測される地磁気の強さは約 0.3 ガウスである [6]) から直接的に絶対方位角を求める。そのため積算誤差はないが、地磁気に影響を及ぼす金属等、外乱には弱い。

- ・ジャイロ・センサは外乱の影響を受けにくいですが、センサ出力値の積分から姿勢角を算出するため、測定が長時間に及ぶ場合には、センサ自体の温度特性による、時間に比例した積算誤差が増加する。また、姿勢角に誤差が混入したとき、単独では基準値が不明で、補正の方法がない [7]。

表 1 VL, VR の組み合わせによる後輪の回転状態

・ $ V_L - V_R \approx 0$ [V] の場合			
	$(V_L + V_R) < 12$ [V]	$(V_L + V_R) = 12$ [V]	12 [V] $< (V_L + V_R)$
左後輪	後退 (和が小さいほど高速)	停止	前進 (和が小さいほど高速)
右後輪	後退 (和が小さいほど高速)	停止	前進 (和が小さいほど高速)
・ $(V_L - V_R) > 6$ [V] の場合			
	$(V_L + V_R) < 12$ [V]	$(V_L + V_R) = 12$ [V]	12 [V] $< (V_L + V_R)$
左後輪	後退 (和が小さいほど高速)	停止	前進 (和が小さいほど高速)
右後輪	停止	停止	停止
・ $(V_R - V_L) > 6$ [V] の場合			
	$(V_L + V_R) < 12$ [V]	$(V_L + V_R) = 12$ [V]	12 [V] $< (V_L + V_R)$
左後輪	停止	停止	停止
右後輪	後退 (和が小さいほど高速)	停止	前進 (和が小さいほど高速)

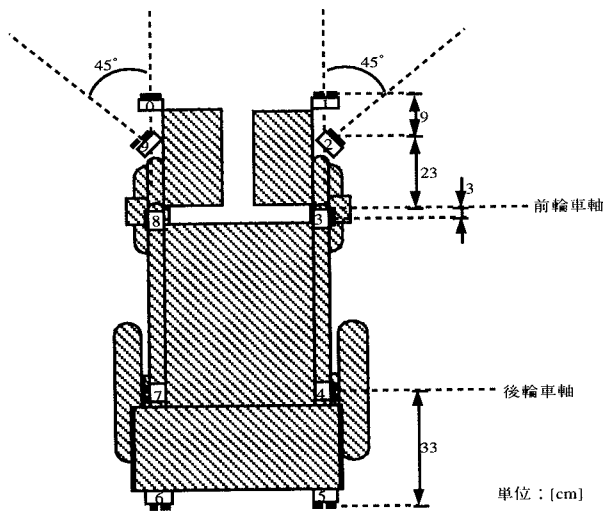


図5 上側から見た超音波センサ配置位置
(数字は各素子につけた素子番号)

以上を考慮して、システムとしての姿勢角を決定する際には、走行環境や走行時間を考慮し、各センサの使用方法を検討する必要がある。そこで、図6のモード・スイッチによって、磁気方位センサ、またはジャイロ・センサの一方を単独で使用するモードと、両センサを併用するモードとを切り替え可能とした。

測定する場合には、まず両センサを図7のように配置し、電源投入時(リセット時)における両データの初期値を基準角度として記憶する。磁気方位センサの初期値は、その時の絶対方位角であり、ジャイロ・センサの初期値は0 [deg]とする。

そして走行がスタートすると、磁気方位センサ・モードの姿勢角は、走行時に検出される絶対方位角と、その初期値との差となる。一方、ジャイロ・センサ・モードの姿勢角は基準角度からの相対角度である。

また、両センサの併用モードでは、通常システム姿勢角として磁気方位センサの値を採用する。一定時間(5秒)以上ジャイロ・センサの姿勢角が変化しない場合、基準角度をその時の磁気方位センサ姿勢角に選び直す。これにより、ジャイロの積算誤差の問題が解決する。また、両センサの姿勢角を比較して、その差が10 [deg]以上となった場合、強い外乱の影響により、磁気方位センサの方位角検出に狂いが生じたと考える。この時には、システム姿勢角としてジャイロ・センサの値を採用し、外乱に対処する。この際、ジャイロ・セン

サの基準角度は、いかなる場合においても更新されない。そして、再び両センサの差が10 [deg]以下を示すと、先の演算が繰り返される。なお、これらの演算は、図6のZ80 CPUボード(4)で実行される。

各モードにおける姿勢角は、NOTE PCの要求に応じて12 bitのデータ(-2048 ~ 2047 [deg]、反時計回りが正)として出力される。分解能は1 [deg]であり、結果は採用すべきセンサを表すフラグと共に、シリアル・ケーブル(RS-232C)経由で送信される。

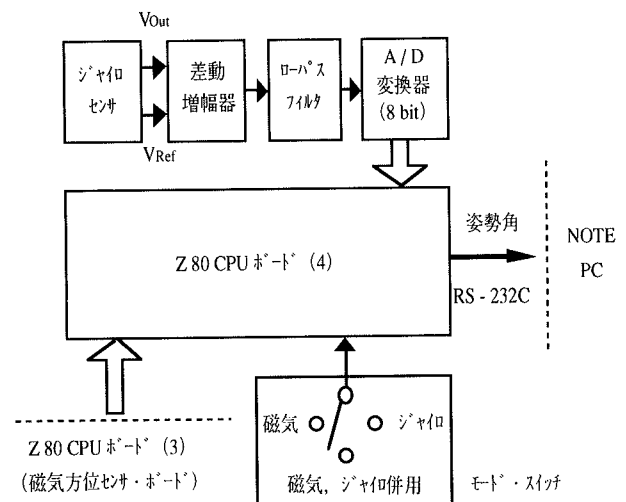


図6 ジャイロ・センサ回路及び姿勢角認識部のブロック図

鉄製の後部ラックによって生じる外乱の影響を防ぐため、ラックから離して配置した発泡スチロール材に磁気方位センサを固定した。また、図7のようにジャイロ・センサも磁気方位センサの回転軸とほぼ等しい位置に設置した。

2.4 エンコーダ

DREAM-2の位置認識の改善のために走行距離測定用エンコーダを作製した。

エンコーダとは、モータと同軸上になるスリット円盤をフォト・インタラプタではさみ、これによる光のON/OFF信号をモータの回転数として検出するものである[8]。エンコーダの外観図を図8に示す。また、ブロック図を図9に示す。

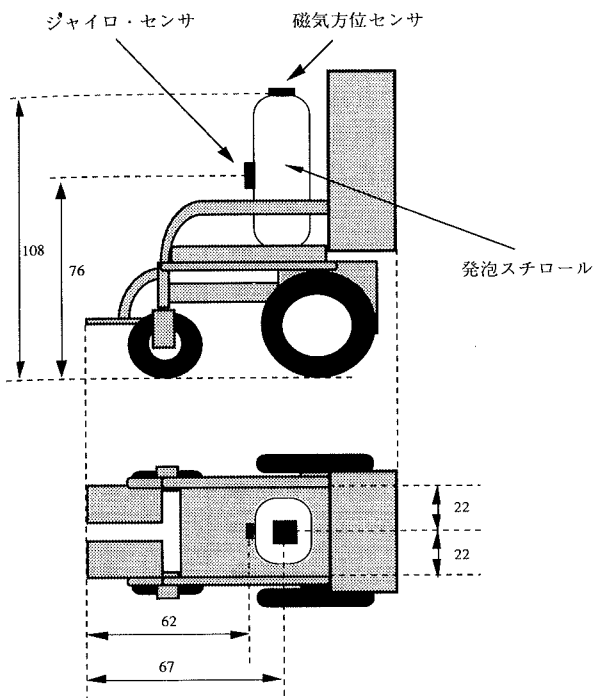


図 7 ジャイロ・センサと磁気方位センサの配置図

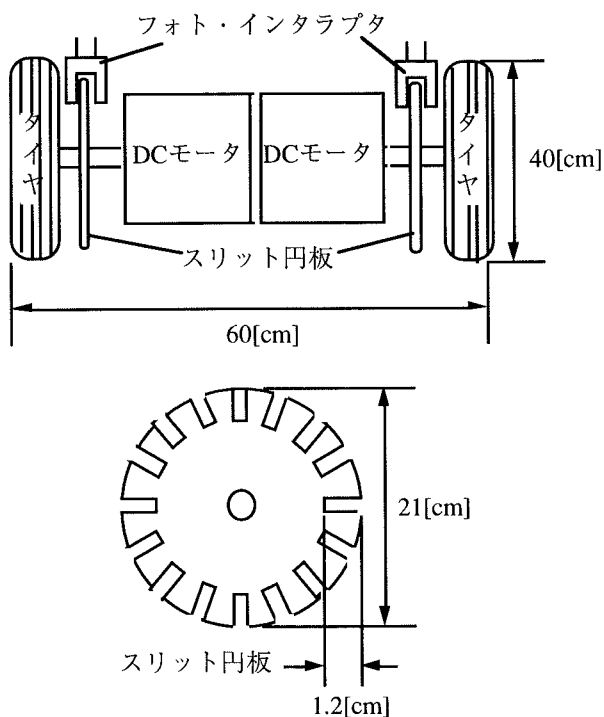


図 8 エンコーダの外観図

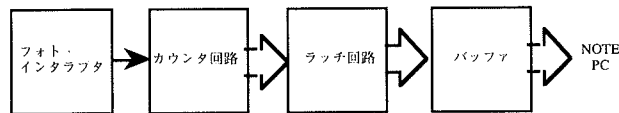


図 9 エンコーダのブロック図

3.DREAM - 2 の走行制御

3.1.シミュレーションによるファジィ・ルールの獲得

走行実験のために採用した走行コースを図 10 に示す。

ロボットは図の矢印に従い、屋内廊下を走行する。このコースは、実用段階を意識したものであり、長い直線や左右両方向のコーナーなど、様々な要素が組合わされ、かなり複雑なコースとなっている。ここでは、例えば「左折だけを目指にする」場合と異なり、一部分における走行結果が、次の段階の走行に大きな影響を及ぼす。そのため「左折のみ」の単純な走行と比較して、より高精度な走行制御が要求される。

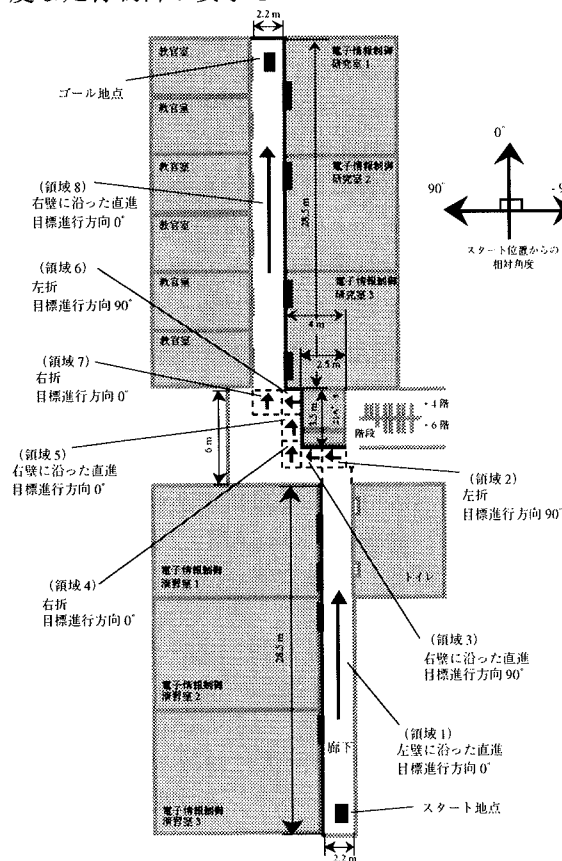


図 10 走行実験コース

3.2 実環境における走行制御

図10の走行コースは、以下に示す4種類の基本的なコースに分割される。

- (1) 左壁に沿った直進
- (2) 右壁に沿った直進
- (3) 左折
- (4) 右折

各基本コースごとに境界線を設定し、コース全体を分けると、単一の目標進行方向を持つ、8つの領域が生じる(図10参照)。今回の走行では、各領域それぞれに最適な走行制御を組み合わせるため、ロボットの走行制御用ソフト・ウェアでは、「各領域内における基本コースでの走行制御を的確に実行する処理」と「走行中の領域遷移を確認し、各領域に適合した走行制御を導出する処理」を行う。

3.2.1 各領域内における基本コースでの走行制御

各領域内における走行制御には、簡略型ファジイ推論[9]を用いたファジイ制御を導入する。実際、4種類の基本コースにおける走行制御を表2で示す9つの制御規則の組み合わせにより記述する。

ここで、 X 、 ϕ (前件部変数)は制御対象の状態変数である。 X は車体と壁面間の距離情報、 ϕ は目標進行方向とロボットの進行方向とのずれ角度を表し、後述の各走行環境に適した値を採用する。また、 θ (後件部変数)は制御対象への操作量であり、実際にはDREAM-2への要求操舵角となる。B, M, S, PB, PS, Z, NS, NBは言語変数(ファジイ・ラベル)であり、メンバーシップ関数を図11, 12のように決めた。

BR, SR, C, SL, BLは実数値であり、以下のように設定した。各値は、DREAM-2における左右の操舵範囲(図3)の最大値と、その半分の値を採用したものである。

$$BL \cdots 50^\circ, \quad SL \cdots 25^\circ, \quad C \cdots 0^\circ, \\ SR \cdots -25^\circ, \quad BR \cdots -50^\circ$$

以下では、4種類の基本コースにおける走行制御に関して、各制御規則やメンバーシップ関数の形状について説明する。

表2 ファジイ制御で用いる制御規則及び組み合わせ

制御規則	行動パターン			
	左壁に沿った直進	右壁に沿った直進	左折	右折
規則1 : if X is B then θ is BL	●			
規則2 : if X is S then θ is BR	●		●	
規則3 : if X is B then θ is BR		●		
規則4 : if X is S then θ is BL		●		●
規則5 : if X is M and ϕ is Z then θ is C	●	●	●	●
規則6 : if X is M and ϕ is NS then θ is SR	●	●		●
規則7 : if X is M and ϕ is PS then θ is SL	●	●	●	●
規則8 : if ϕ is NB then θ is BR	●	●	●	●
規則9 : if ϕ is PB then θ is BL	●	●	●	●

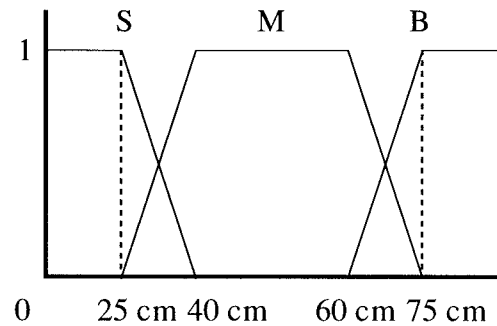


図11 Xのメンバーシップ関数

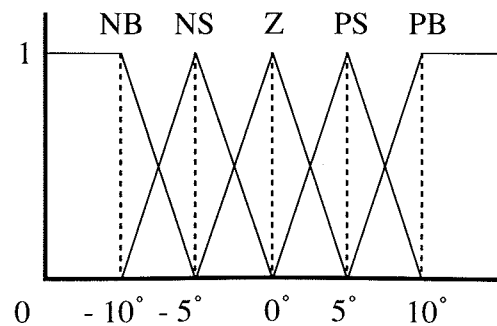


図12 ϕ のメンバーシップ関数

(1) 左壁に沿った直進

この基本コースが適用されるのは図10の領域1となる。ここで、直進走行時の走行状態を図13に示す。この時の目標進行方向を、壁面と水平方向に設定する。X3, X4, X7, X8は、それぞれ素子番号3, 4, 7, 8(図5)のトランスデューサにより測定される、壁面までの距離情報である。

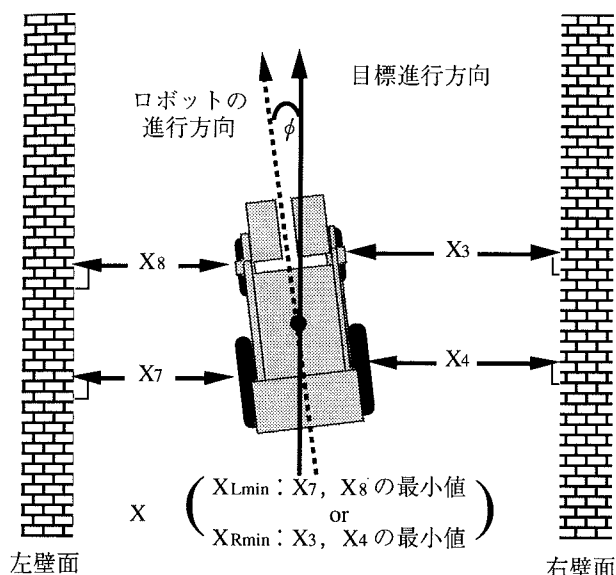


図13 直進走行時の走行状態

左壁に沿った直進は、表2の規則1, 2, 及び規則5~9の組み合わせにより実現される。ここでの入力Xとしては、左壁面までの距離変数X7, X8の最小値XLminを採用する。

図11の距離X用のメンバーシップ関数は、ロボットと左壁との距離が25[cm]以下、または75[cm]以上になると早急に操舵が行われ、常に50[cm]程度の距離を保ちながら走行するように設定されている。ただ、実際の壁面には数ヶ所のドアが存在しており、ロボットがドアの前を通過する毎に壁面までの距離が10[cm]変化する。この影響により、不必要な操舵が行われ、なめらかな直進走行が損なわれる。この対策として、図11のM

(Medium)メンバーシップ関数を台形型に設定し、ドアによる10[cm]程度の距離変化を吸収する。

図12のφ用メンバーシップ関数は、φが

常に±10[deg]以内の角度差を示すように設定されている。直進時におけるφは、そのままロボットと壁面とのなす角を表す。距離測定における最大角度差は23[deg]程度であるため、この設定によって、直進時に壁面を見失う現象を防止できる。

なお、直進時の車速は37[cm/sec]の一定値とする。

(2) 右壁に沿った直進

このコースが適用されるのは図10の領域3, 5, 8である。用いられる制御規則は、表2の規則3~9であり、入力Xとしては、図13の右壁面までの距離変数X3, X4の最小値XRminを採用する。なお、具体的な走行制御は左壁に沿った直進の場合と同様である。

(3) 左折

図10の領域2, 6が左折環境となり、制御規則としては、規則2, 及び規則5~9が採用される。例として、左折時の走行状態を図14に示す。この場合の目標進行方向は、次の直線走行領域(領域C)における目標進行方向に設定される。また、ここでの入力Xとしては、旋回後の内壁となる左壁面までの最小距離XLminを採用した。

旋回走行では、コーナーを走行するため、距離センサの測定値は不正確となる。そのため、規則8, 9を用いた姿勢角中心の走行制御が行われる。図14においては、領域Aと領域Bとの目標進行方向に90[deg]もの角度差を生じる。よって、これらの規則が働き、早急に進行方向が変更される。

規則2, 及び規則5~7の距離情報用規則は、旋回後の内壁を基準にした位置補正を行うために用いられる。特に規則2を内壁への衝突回避の目的で採用している。

各規則のメンバーシップ関数としては、直進時と同様に図11, 12を用いる。

なお、旋回時の車速は25[cm/sec]であり、転倒防止のため、直進時に比べると幾分遅く設定した。

4) 右折

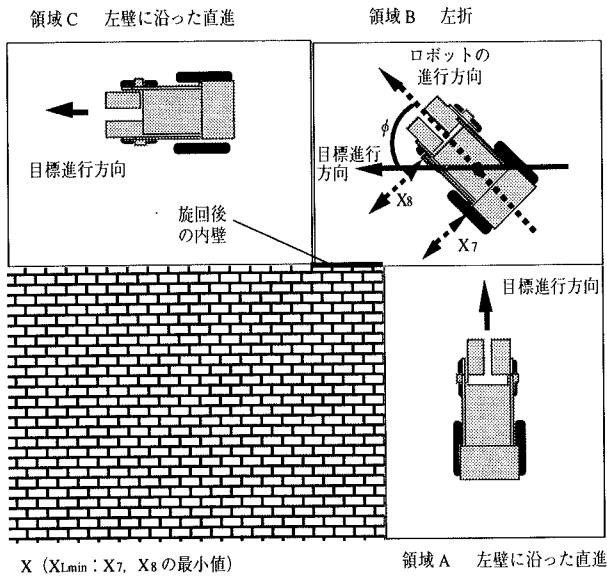


図 1 4 左折時の走行状態

このコースは、図 1 0 の領域 4, 7 に適用される。ここでは制御規則 4 ~ 9 が採用された。入力 X としては、右壁面までの最小距離 XR_{min} が選ばれ、左折時と同様な走行制御が行われる。

3.2.2 領域変化の確認

走行コースを領域分けし、各領域別の走行制御を行うためには、走行しているその時々領域を把握し、その領域に適した制御規則を選択する必要がある。今回の走行では、環境認識部の出力値が、ある一定条件を満たした場合に走行領域の遷移を認識する。例えば、「前方の壁面が設定値以内に近づいた」が「左に壁面がなくなった」等の情報を用いる。表 3 に実際の遷移条件を示す。

ここで、 $X_0 \sim X_9$ は、図 5 の素子番号 0 ~ 9 の超音波トランスデューサ素子が返信する。壁面までの距離情報であり、 XF_{min} , XR_{min} はそれぞれ車体前方の素子 0, 1, 及び右側面の素子 3, 4 が返信する値の最小値である。2 章で述べたように、距離測定は 300 [cm] 以下の範囲で行われ、素子が検出する 300 [cm] という値はエラー・コードを意味する。また ϕ (制御規則の前件部 ϕ とは異なる) は、スタート地点における車体の向き (図 1 0 の領域 1 における目標進行方向であり、左壁と水平方向に設定) を基準とした相対姿勢角を表す。領域の遷移は各条件全てが満たされた場合に確認される。

表 3 各領域間の遷移条件

領域遷移	条件
領域 1 → 領域 2	$100 \text{ [cm]} \leq X_0 \leq 130 \text{ [cm]}$ $100 \text{ [cm]} \leq X_1 \leq 130 \text{ [cm]}$ $X_8 = 300 \text{ [cm]}$
領域 2 → 領域 3	$75^\circ \leq \phi \leq 95^\circ$ $XR_{min} < 300 \text{ [cm]}$
領域 3 → 領域 4	$75^\circ \leq \phi \leq 95^\circ$ $X_3 = 300 \text{ [cm]}$
領域 4 → 領域 5	$-5^\circ \leq \phi \leq 5^\circ$ $XR_{min} < 300 \text{ [cm]}$
領域 5 → 領域 6	$XF_{min} \leq 100 \text{ [cm]}$
領域 6 → 領域 7	$80^\circ \leq \phi \leq 95^\circ$ $X_3 = 300 \text{ [cm]}$
領域 7 → 領域 8	$-5^\circ \leq \phi \leq 5^\circ$ $XR_{min} < 300 \text{ [cm]}$

これらの条件は、走行コースを分析して机上で設定した値を、実機による走行を繰り返すことにより改良したものである。なお、条件を設定し直すことにより、ある程度柔軟に新しい走行環境に適應できる。

4. 走行実験

4.1 実験方法

今回改良した DREAM-2 のハード・ウェアと走行制御アルゴリズムの有効性を確認するために、図 1 0 に示したコースにおいて走行実験を行う。

走行開始地点は、本学部電気電子工学科電子情報制御演習室 3 の前の廊下 (図 1 0 のスタート地点) であり、ロボットを左壁から 40 [cm]、奥壁から 160 [cm] の位置 (基準は車体の左前面) に設置する。ここで、初期位置における車体の向きは、左壁と平行方向である。また、走行終了条件は、ゴール地点に存在する非常扉と車体前方との距離が 130 [cm] 以内となった場合とする。

なお、実験にあたっての拘束条件を以下に示す。

- ・走行コース内には突発的な物体 (通行人, 障害物) が存在しない。
- ・コース内のドアは必ず閉まっている。

実験では、表2の制御規則の入力変数、また表3の領域遷移条件を得るために、車体前方の超音波トランスデューサ素子0, 1, 右側面の素子3, 4, 左側面の素子7, 8, 及び姿勢角センサを使用する。姿勢角検出に至っては、ジャイロ・センサの検出値を採用する。我々の予備実験では、鉄筋構造の屋内環境における磁気方位センサの検出精度は、外乱の影響により大変不安定なものとなることがわかっており、また新たに作製したジャイロ・センサ部が、以前ほどノイズの影響を受けないため、走行時間が比較的短時間である場合、極めて正確な姿勢角検出を実現する。今回の走行環境を考慮した結果、姿勢角検出をジャイロ・センサのみにより行った。

また、3章で述べた走行制御アルゴリズムを、MS-DOS パソコン上のC言語によって記述し、その実行ファイルをロボットのNOTE PCにおいて起動し、走行を開始する。ファジィ推論、環境情報の取得、及び操舵信号出力は、約0.12 [sec] 間隔で行われ、各センサからの取得情報や、ロボットが前輪操舵回路に要求した姿勢角等は、その間隔ごとにNOTE PCのファイル上に保存させる。各処理を制御プログラムのループ内で実行させ、走行時間の更新にのみ、NOTE PCのタイマ割り込みを用いる。制御プログラムのフロー・チャートを図15に示す。

4.2 実験結果

図16に実験より得られた走行軌跡を示す。これは、NOTE PCのファイルに保存された、走行中のヒストリ情報から求めたものである。

また図17～19は、各領域における制御規則の入力変数 ϕ 、 X と、11段階の出力操舵角(図3)の時間変化を表している。これらの図より、制御規則の妥当性が評価できる。

図20は、領域1における車体前方の距離センサ0, 1の値の時間変化である。このグラフは、前方に物体が存在しない場合にも、距離センサが値を検出する事実を示しており、表3の領域遷移条件の作成の際には、このことを十分に考慮しなければならない。

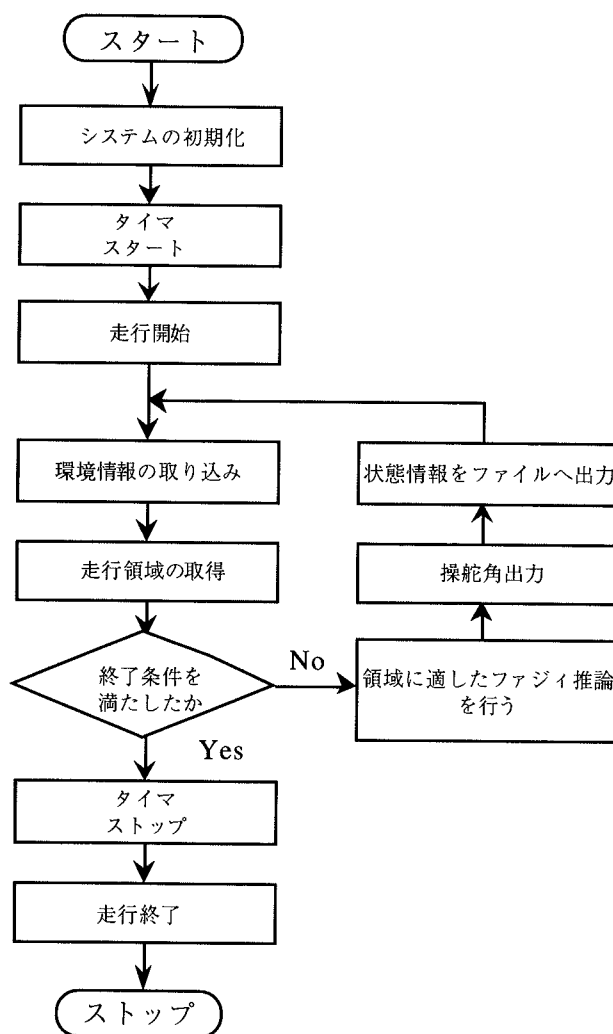


図15 制御プログラムのフロー・チャート

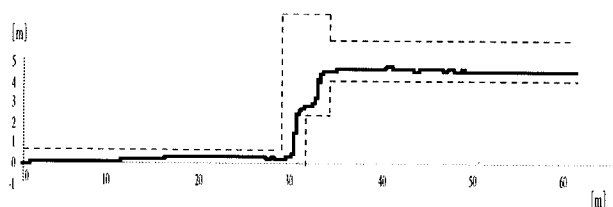


図16 走行軌跡

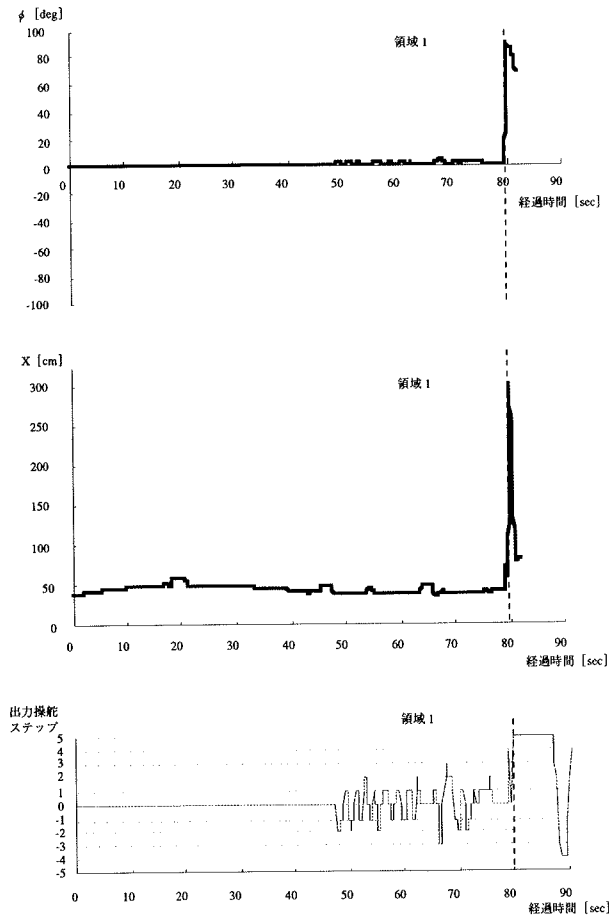


図 17 領域 1 における入力変数と出力操舵角

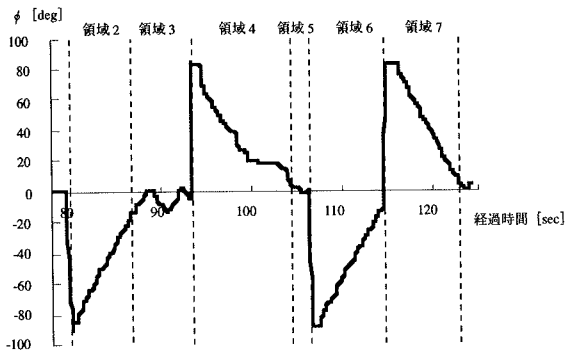


図 18 領域 2 ~ 7 における入力変数と出力操舵角

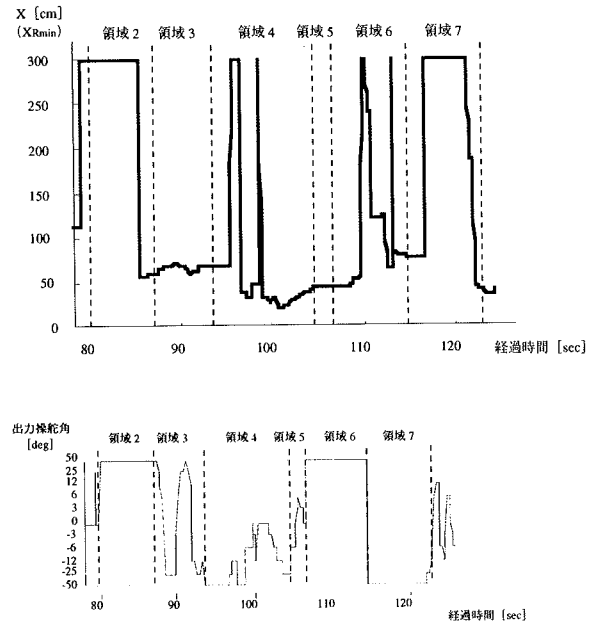


図 18 (つづき)

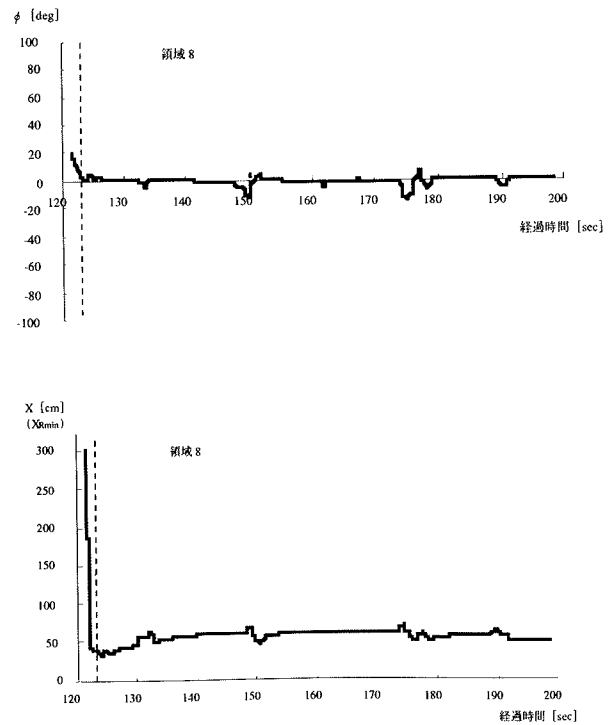


図 19 領域 8 における入力変数と出力操舵角

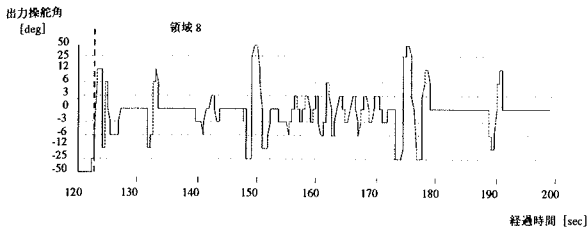


図 19 (つづき)

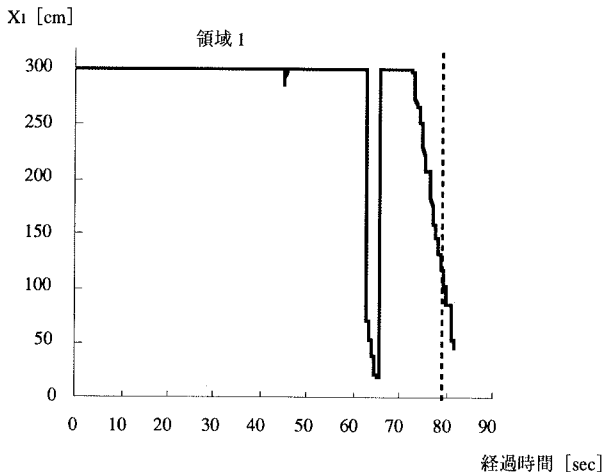
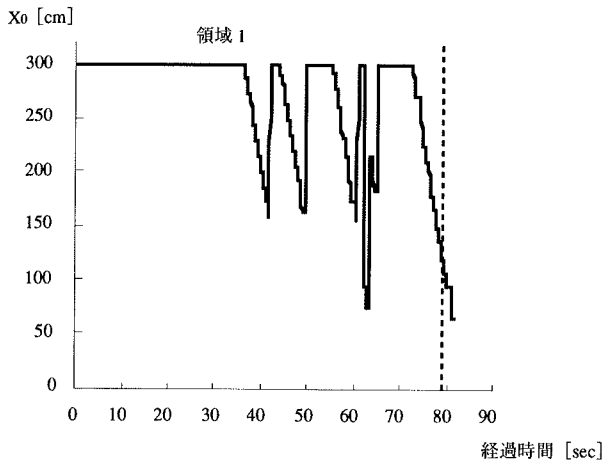


図 20 領域 1 における前方距離センサの検出結果

5. 検討

走行実験で得られた走行軌跡 (図 16 参照) について、各領域における制御結果を検証する。左壁に沿った走行である、領域 1 での状態情報を示した図 17 によると、走行開始から 45 [sec]、つまり、(走行速度 37 [cm/sec] を考慮して) ロボットが 16.5 [m] 進む間は、 ϕ (進行方向と目標方向とのずれ) が 0 を示しており、操舵角も変化していない。X の値 (ロボットの左側の超音波素子 7、

8 の最小値) に着目すると、ドアの前を通過するたびに 10 [cm] 程度の急激な距離変化が起こっている。しかし、図 11 に示した台形型のメンバーシップ関数「M (Medium)」が、その変化が吸収することで、無駄な操舵制御を回避できた。図 18 は領域 2 ~ 7 の旋回領域における走行状態を示している。この場合の X は、車体から右壁までの距離となるが、コーナーにおける走行のため、度々エラー・コードが返信される。よって、ここでは ϕ が重要な要素となる。旋回領域での目標進行方向は、直前の領域における方向に対して 90 [deg] 変更されるため、領域遷移直後の ϕ は突発的な値となる。しかし、表 2 の制御規則 8, 9 によって、 ϕ を 0 に戻す制御が行われ、約 10 秒で 90 [deg] の旋回を完了した。 ϕ のグラフは、-90 [deg] から 0 [deg] に至る過程が左折、その逆が右折状態であることを意味しており、左右 2 回づつの旋回走行が的確に実行されたことを示している。

領域 8 においては、図 19 が示すとおり、同じ直進領域である領域 1 と比較して大きく蛇行した部分が確認された。実際のコースと比べた場合、ドア付近の環境はほぼ同じである。しかし、図 19 における X の値は、図 17 のそれに対して変化が激しく、台形型メンバーシップ関数においても吸収できなかった。理由としては、車体の両サイドに設置したセンサの特性に差異が存在したこと、また、領域 8 には左右両方の壁面にドアがあるため、超音波が複雑に反射したこと等が考えられる。

領域変化の確認については、最初に机上で遷移条件を作成した際、領域 1 から 2 への変化条件は、「車体前方の超音波距離センサが 100 [cm] 以内を返信した時」に設定していた。理想的には、領域 1 において前方の素子 1, 2 は常にエラー・コード (300 [cm]) を返し、突き当たりの壁が近づくにつれ、その距離を返信するはずである。しかし実際には、図 20 の結果となった。これによると、スタート後 65 秒のところで、まだ直進経路の途中であるにも関わらず、前方の 2 つの素子が 100 [cm] 以下の値を検出する。最初に設定した条件では、その場所を領域 1 の終了地点と判断する。領域 2 においては、目標進行方向が 90 [deg] 左に変更されるため、ロボットは左折行動を起こし、左壁に衝突してしまう。こうした現象に対処するために、何度も実機での走行を繰り返しながら、最終的に複数の条件を組み合わせ、表 2 の結果が得られた。

6. おわりに

自律移動ロボット DREAM-2 の前輪操舵回路、ジャイロ・センサ回路等の改良を行った。そして、実機での事前走行により得られたファジイ制御規則を用い、実環境における走行実験を行った。

その結果、微妙な前輪操舵が可能となり、比較的長い距離の直進走行が可能となった。また、姿勢角センサによって、正確な旋回走行が可能となった。さらに各走行の組み合わせによって、屋内実環境における走行を制御することができた。

走行実験結果から明らかなように、自律移動ロボット DREAM-2 の基本的な走行性能が確認できた。今後、ハード、ソフト両面にわたる改良が繰り返され、DREAM-2 が早急に実用化されることが望まれる。

今後の課題として、走行距離計等を用いた自己位置の認識手法の確立、障害物回避のための超音波距離センサ配置の検討、また、CCDカメラによる画像情報を応用した走行制御の実現などが考えられる。

謝辞

移動ロボット DREAM-2 のエンコーダ部の機械加工に御協力頂いた本学工学部機械実習工場の方々に御礼申し上げます。

本報告をまとめるにあたり御協力頂いた本学工学電気電子工学科電子情報制御講座演算制御工学ハードウェア開発グループの諸氏に感謝致します。

本報告の原稿作成の面で特に御協力を頂いた、上記のハードウェア開発グループの帯刀優佳氏に深謝致します。

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]大木, 荒木, 山本, 久保, 糸井, 大北: 自律移動ロボット DREAM-2 の走行制御, 鳥取大学工学部研究報告第 28 巻 1 号, pp.61-75, 1997.
- [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,May 1996.
- [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イ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]TDK: The hotline, 第 25 巻, 1997.
- [7]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.
- [8]清野 次郎, 近藤 昭治: センサ工学入門, 森北出版, 1988.
- [9]菅野 道夫: ファジイ制御, 日刊工業新聞社, 1988.

(受理 平成 10 年 8 月 25 日)