

自律移動ロボット DREAM-3 の環境マップを用いた環境認識

大北正昭・玉那覇隆介・奥雲正樹・田中淳・*佐々木忠義・**竹内俊博・
 ***木村昭彦・大木誠
 電気電子工学科・*本田技研工業(株)・** (株)日立情報制御システム・
 *** (株)カサタニ

Environmental recognition of the autonomous mobile robot DREAM-3 using an environmental map

Masaaki OHKITA, Ryusuke TAMANAHA, Masaki OKUGUMO, Jun TANAKA,
 Tadayoshi SASAKI*, Toshihiro TAKEUCHI**, Akihiko KIMURA***, and Makoto OHKI
 Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering,
 Tottori University, Tottori 680-8552 Japan
 *HONDA MOTOR Co.,Ltd., ** HITACHI I.C.S. Co.,Ltd., *** Kasatani Corp.
 E-Mail: mohkita@ele.tottori-u.ac.jp

Abstract: In this paper, a developmental procedure of the autonomous mobile robot DREAM-3 is described. The DREAM-3 is a mobile robot typed as an electrically driven wheel chair. The aim to develop DREAM-3 is make it travel in indoor environments such as in hospitals and/or welfare facilities for their practical use and serve to care for old people and physically handicapped person. Such a mobile robot has to provide especially the following properties: ①safety ②reliability and robustness. To maintain these properties in the traveling, the authors have proposed an environmental map for DREAM-3. Using sensor information, the robot position with its direction is specialized in the environments map. The traveling can be controlled by both traveling trajectory in the environmental map and in the real traveling environment. As a result, this map plays an important role for determining the robot position accurately and for its stable traveling.

Key words: A mobile robot typed as an electrically driven wheel chair, DREAM-3, Indoor environmental map, Use in hospitals and welfare facilities, Safety, reliability and robustness in traveling.

1 はじめに

近年,高齢者や身体障害者が健常者と共存するための,新しい福祉技術の開発が望まれ

ている.この背景として,高齢者や身体障害者の増加に加え,病院や福祉施設での看護婦や看護師の人数が制限されていることによる看

護者の負担の増加があげられる。また高齢化社会においては介護者の不足が考えられる。これらの状況をふまえ、新しい福祉技術の開発が望まれている。この福祉分野の研究では、病院における食事の配膳ロボット[1],[2]や顔の視覚情報を用いて操縦する車椅子等[3]が、他の研究機関において発表されている。

これまで我々は、高齢化社会で活用されることを考え、病院や福祉施設等における身体障害者の介護用ロボットとして、電動車椅子をベースとした車椅子型自律移動ロボット DREAM-2 を製作してきた[4]~[7]。DREAM-2 は、施設内において介護者の助けを借りずに、身障者を乗せて安全に目的地まで移動[8]することを目的として開発された。

DREAM-3 では DREAM-2 における長所を生かし、また、センサ系の誤動作の修正の必要性の問題点の改善のため環境マップという地図情報を搭載することにした。そして環境マップと DREAM-3 にすでに搭載しているセンサを組み合わせるにより自己位置認識、障害物認識を行わせ、より安定した走行を可能とする新たなアルゴリズムを提案し、さらに、走行実験を行うことによりアルゴリズムの有効性の検証を行う。

本報告では、DREAM-3 に搭載した上記アルゴリズムの説明とその有効性の検証実験とその結果について述べる。

2 自律移動ロボット DREAM-3 の構成・機能

今回製作した DREAM-3 の外形図を図 1,2 に示す。DREAM-3 は、車体に電動車椅子 (NEO-P2) を採用し、図 3 の DREAM-3 の機能図に示すように、各機能を持った回路ボードとノート型パーソナル・コンピュータ (Note book typed personal computer, 以下に NOTE PC と略) か

らなり、回路ボードを接続するインターフェイスとして全てユニバーサルシリアルバス

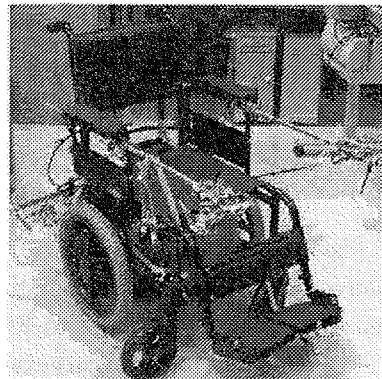


図 1 DREAM-3 の前方写真

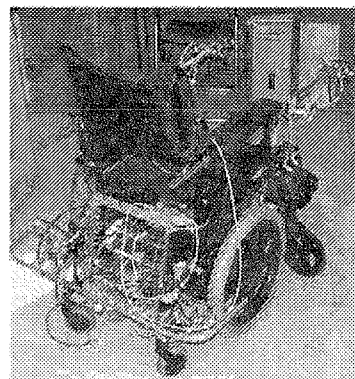


図 2 DREAM-3 の後方写真

(Universal Serial Bus, 以下に USB と略) で統一している (USB の仕様等の詳細は文献 [9] 参照)。また、各回路ボードには H8 CPU を搭載した USB 対応ワンチップ・ボード・マイコン (エー・ダブル電子製 UB-H8-mm, 以下 H8 マイコンと略, 詳細は [10]~[13]) を使用し、各種演算の処理、回路動作、通信制御等を行う。インターフェイスを USB 接続に統一し、全回路ボードごとに H8 マイコンを使用したことにより、回路が簡素化され、使用するセンサごとの抜き差しや切り離しが容易となった。これにより①故障などによるメンテナンスやセンサボード単体での試験が容易にできること、②全センサが統一仕様で使用できること、③省スペース化が図れるという利点があげられる。またプログラムの開発環境として

Visual-C++を使用することによりグラフィック・ユーザ・インターフェース (Graphic User Interface,以下に GUI と略)環境で使用者にも扱い易い記述となっている。

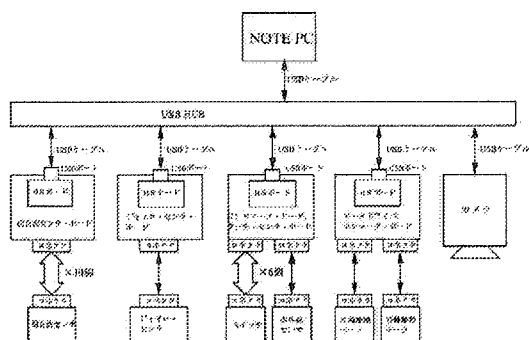


図 3 DREAM-3 のハードウェア構成

DREAM-3 に搭載するセンサは、超音波センサ、ジャイロ・センサ、タッチ・センサ、ランドマーク・リーダ、左右エンコーダである。それらの詳細については、文献[5]を参照されたい。

3 環境マップを用いた環境認識

DREAM-3 では各センサ情報を統合し、それぞれのセンサに生じる誤差を出来るだけ少なくするように走行中にも DREAM-3 の自己位置と障害物の位置を決定し、その結果を用いて制御を行うこととした。この方法を用いるために、環境マップと呼ぶ地図情報を DREAM-3 に搭載した。DREAM-3 の走行する施設内のコースは、左壁沿いの走行制御等の行動パターンを切り替えるための走行領域に分けられ、それらを区切る境界線を与え、DREAM-3 はこれらの情報と、壁や固定障害物等の屋内の地図情報をあらかじめ環境マップに与える。そして各センサの値を用いて、DREAM-3 の自己位置と障害物の位置を確認し環境マップ上に書きこむ。さらに、マップ上でファジィ推論の入力値を取得しファジィ推論を行う。ここで今回環境マップ上での DREAM-3 の軌跡を計算するため

に、センサ情報以外に DREAM-3 の行動を定式化した式も導入する[14]。以下に環境マップにおける制御アルゴリズムについて述べる。

3.1 環境マップを用いた環境認識

環境マップとは、NOTE PC 上で 1 ドットが 1 [cm] となるように、屋内全体の壁・柱・固定障害物などのあらかじめ存在する情報を書き込み、地図の形状に合わせて行動パターンを切り替えるための境界線も書き込んだ地図情報である。この環境マップには境界線で囲まれた領域ごとに、目的地までの経路を決定した際、DREAM-3 を目的地へ誘導するように走行目標角度、行動パターンを入力する。ここで環境マップ上での DREAM-3 は「センサを含めた車体全体の一番外枠を矩形」で表現する。

走行の際は DREAM-3 の存在する位置や未知の障害物を各センサによって確認することで環境マップを常に更新し、境界線により走行パターンを切り替えながら走行制御を行いゴールを目指す。

DREAM-3 では走行中に得られたセンサ値を用いて自己位置の決定と未知の障害物の発見を行い、自己位置と未知の障害物を環境マップに書き込み環境マップを更新する。次に、DREAM-3 の自己位置認識手法と未知の障害物の認識手法について述べる。

3.1.1 DREAM-3 の自己位置認識

DREAM-3 の位置情報は、図 4 のように環境マップ上での DREAM-3 の左右の車輪間の中心座標 X, Y 及び車体の角度 θ で出力され、この値より環境マップ上に現在位置を書き込む。この自己位置情報を得るためには以下の 4 つの手法を組み合わせることで (X, Y, θ) を得る。
(a)エンコーダの値及びジャイロ・センサの値

を用いる手法

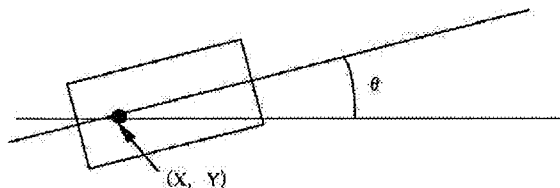


図4 環境マップ上での DREAM-3

(b)エンコーダの値及び走行軌跡計算を用いる手法

(c)画像処理を用いる手法[15]

(d)ランドマーク・リーダの検知信号を用いる手法

まず(a)の手法については、入力値をエンコーダより得られた左右輪の回転数とジャイロ・センサから得られた姿勢角変化値とする。これらの情報を用い、前周期の DREAM-3 の自己位置より、図 5 のように、得られた姿勢角変化値 (θ_1) の方向に、左右輪の回転数より算出したそれぞれの走行距離値 (e_1, e_2) を直線的に延長し、DREAM-3 の左右輪の中心座標 (x_l, y_l), (x_r, y_r) をそれぞれ算出する。次に、この 2 点の中点を求めることで、出力値 (X_1, Y_1, θ_1) を得る。

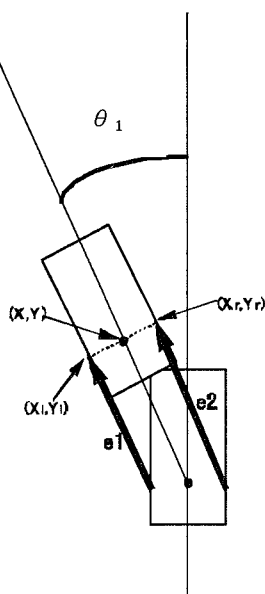


図5 エンコーダとジャイロ・センサによる

DREAM-3 の位置と姿勢角の決定

手法(b)については、エンコーダより得られた左右輪の回転数を入力値として、定式を用いて算出する。この入力値より、前周期において決定した自己位置から、今周期の左右輪の回転数より現在位置を算出するために導出した走行軌跡の定式(参考文献[14]参照)を用い、出力値 (X_2, Y_2, θ_2) を得る。

手法(c)については、現在検討中であるが、入力値を 2 次元画像とし、出力値 (X_3, Y_3, θ_3) を得る。これはカメラを約 1[m] の高さに固定して前方を撮影し、その撮影された画像を処理することで得られる。

最後に手法(d)について述べる。施設内のランドマークは、直線の廊下と交差点の境目などに設置しており、環境マップの境界線の一部は、あらかじめ施設内に設置したランドマークと同じに位置に書き込んでいる。そして DREAM-3 の走行中にランドマーク・リーダによるランドマーク検知信号を取得すると、検知時の DREAM-3 の現在位置から、壁に平行にし、検知した環境マップ上でのランドマークの座標に図 6 及び 7 に示すように修正する。

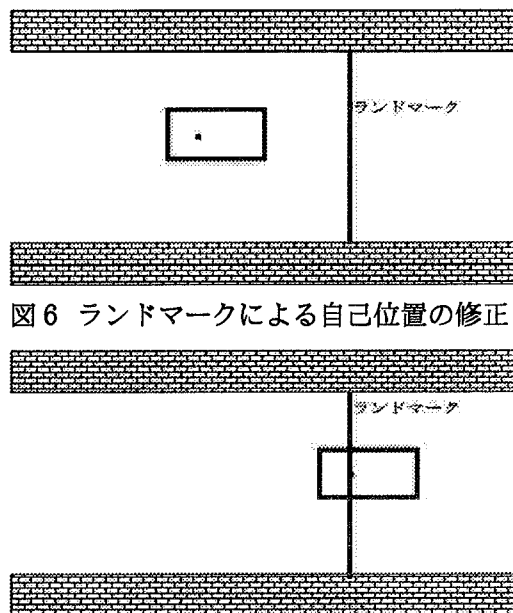


図6 ランドマークによる自己位置の修正 1

図7 ランドマークによる自己位置の修正2

上記(a),(b),(c)及び(d)の4つの情報を用いて自己位置認識を実行するが,(d)のランドマークを用いた手法は他の3つの手法とは別にランドマーク検知時だけに用いる。通常走行の場合、(a),(b)及び(c)の手法については、以下の条件式を用いることにより誤差が少なくなるように自己位置(X,Y)を決定する。

自己位置(X,Y)については、まず、以下の2式より、 L_1, L_2 を求める。

$$L_1 = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (1)$$

$$L_2 = \sqrt{(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2} \quad (2)$$

ここで、 L_1, L_2 の値が共に20[cm]以下なら、3つの予測は誤差が少ないとみなし、XとYは、

$$X = \frac{1}{2}(X_2 + X_3) \quad (3)$$

$$Y = \frac{1}{2}(Y_2 + Y_3) \quad (4)$$

上記以外で50[cm]以下なら

$$X = \frac{1}{3}(X_1 + X_2 + X_3) \quad (5)$$

$$Y = \frac{1}{3}(Y_1 + Y_2 + Y_3) \quad (6)$$

上記以外なら

$$X = X_1$$

$$Y = Y_1$$

とする。

θ の値については、まず式(3),(4),(5)より

$\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3$, を求める

$$\Delta\theta_1 = |\theta_1 - \theta_2| \quad (7)$$

$$\Delta\theta_2 = |\theta_2 - \theta_3| \quad (8)$$

$$\Delta\theta_3 = |\theta_3 - \theta_1| \quad (9)$$

これより、 $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3$, の値が全て5[deg]以内なら、

$$\theta = \frac{1}{2}(\theta_2 + \theta_3) \quad (10)$$

上記以外なら

$$\theta = \theta_3 \quad (11)$$

とする。

以上の操作により決定したDREAM-3の自己位置を環境マップに書き込む。

これらの式は、いずれも(c)のカメラ画像を用いる手法により決定した自己位置に比重をおいた式となっている。

3.1.2 障害物認識

DREAM-3は以下の3つの手法を組み合わせることで障害物を認識する。

(a)超音波センサを用いる手法

(b)カメラ画像を用いる手法[15]

(c)タッチ・センサを用いる手法

まず(a)の手法は、10組の超音波センサから取得した値を使用し、環境マップ上に書き込まれているDREAM-3の現在位置から、DREAM-3の車体に取り付けられた10組の超音波センサと同位置となる箇所から、超音波センサの指向性を考慮し(センサの向いている方向に対して ± 23 [deg]の広がり)、適切な位置に弧を描くように環境マップに書き込む。例えば図8のようにDREAM-3前方に障害物が存在すると仮定し、前方左の超音波センサからx[cm]

の値を取得したとすると,図 9 に示すように環境マップに書き込む。

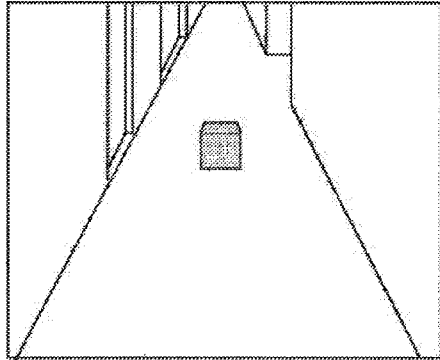


図 8 障害物の存在する環境

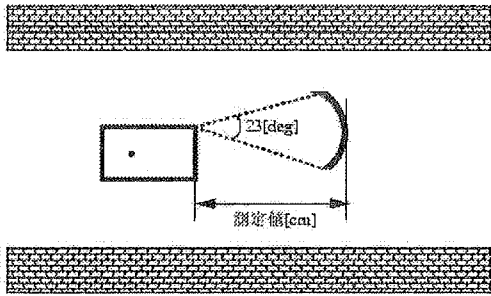


図 9 超音波センサによる環境マップの更新

(b)のカメラ画像を用いる手法は,カメラ画像を処理することにより, DREAM-3 から障害物までの距離, 障害物の幅を算出する. この手法においては, 現在までにカメラより得られた画像から水平エッジ(床と障害物との境界)の検出を行い,その処理した画像を用いることで障害物の有無,障害物までの距離を取得するような手法(参考文献[15])が提案されているが,現在のところその実用性について検討中である.例えば図 8 のような環境で障害物が発見されれば,環境マップ上に書き込まれている現在位置より,図 10 のように環境マップ上に,得られた障害物の距離および幅を用いることにより障害物を書き込む.この時に環境マップ上に描き込む障害物の幅

は,カメラの指向性を考慮して描き込むこととする。

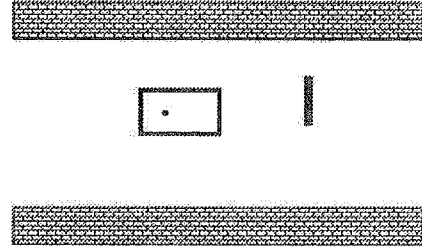


図 10 カメラ画像による障害物認識

(c)の手法では,まずタッチ・センサの前後計 8 箇所に取り付けられたマイクロ・スイッチの検出信号により,検出したマイクロ・スイッチの個所から,前方の左右の前方・横方向,後方に障害物が存在することを認識する.そして, DREAM-3 の現在位置より図 11 のように障害物を書き込む.図 11 は DREAM-3 前方のマイクロ・スイッチが障害物を検知したとした時の概念図である。

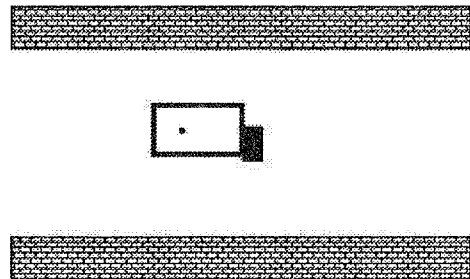


図 11 タッチ・センサでの環境マップの更新

ここで,超音波センサの距離測定での不安定動作を補うため,カメラ情報により発見された障害物も含め,その存在確率として 5 段階の危険度を与える(障害物の存在しない時存在確率を 1 とする).環境マップ上では危険度が 5 段階目(危険度を示す数字が 5 になった時)に達したとき初めて障害物と認める。

危険度の区別を以下のようにする。

- ・画像処理によって発見された物体のある位

置の値に危険度3を加える。

- ・画像処理によって障害物の無いことが確認するとその位置の危険度を-2を加える。
- ・超音波センサによって発見された物体のある位置の値に1を加える。
- ・タッチ・センサによって発見された物体のある位置の値に5を加える。
- ・危険度は5を超えることは無く,0を下回ることも無い。

3.2 ファジィ推論

DREAM-3 ではその環境マップに書き込まれた現在位置とその周囲の環境情報を用いてファジィ推論の入力値を取得し,ファジィ推論を行い,車体の次動作の決定を行う。

DREAM-3 でのファジィ推論は,DREAM-2 の場合と同様各走行領域において左壁沿い・右壁沿い・壁に頼らない走行・交差点や曲がり角などの右左折の5種類の基本的な行動パターンを実行することによって走行する。

この基本的な行動パターンにおいて,DREAM-3 は多数のファジィ・ルールから,それぞれ最適なルールを選択し,ファジィ推論を行っている。これは基本的な走行制御だけでなく,タッチ・センサの認識による緊急停止等の手法と組み合わせることで障害物回避を含めた走行制御を可能とする。また,DREAM-3 の制御には後件部を実数値で表現した簡略化ファジィ推論法を用いている(参考文献[14]p32~p38 参照)。この簡略化ファジィ推論法は,計算処理が少ないため演算速度が格段に速くなり,制御周期を短くすることができる。

今回のファジィ推論の入力値として図12のようにDREAM-3の周囲を11個の領域に分け,それぞれの値をファジィ推論の入力値として適用している。それぞれの入力値に対してメ

ンバースhip関数を用い適合度を算出し出力値を求めている。(参考文献[14]参照)

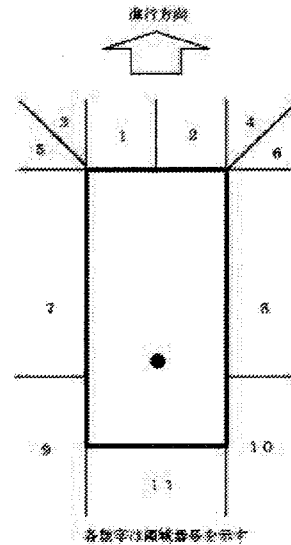


図12 DREAM-3 の車体領域

ここで図12の各領域の最短距離値の取得法は,環境マップ上より図13のように各領域ごとに車体からの距離が1[cm]ずつ広がるような形で壁や障害物が存在するかどうか確認して行く。そして障害物が存在するとそまでの距離値を障害物までの最短距離値として取得する。図13では領域5と領域8での値の取得法を示している。

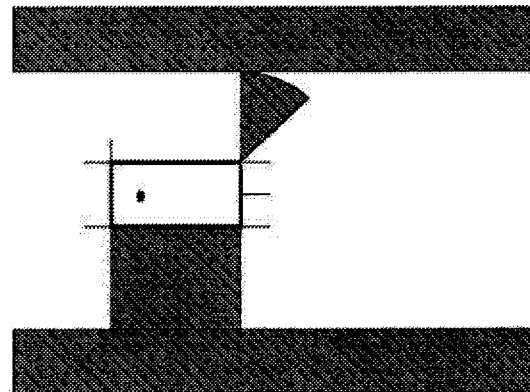


図13 領域のファジィ推論の入力値取得

ファジィ推論の推論出力値は,DREAM-3を直

進または左右どちらの方向にどれだけの旋回半径で旋回走行させるかということをお知らせする旋回半径値で出力される。

3.3 制御アルゴリズム

図 14 にアルゴリズム 1 周期の処理の流れの概略を示す。以下にその流れについて述べる。

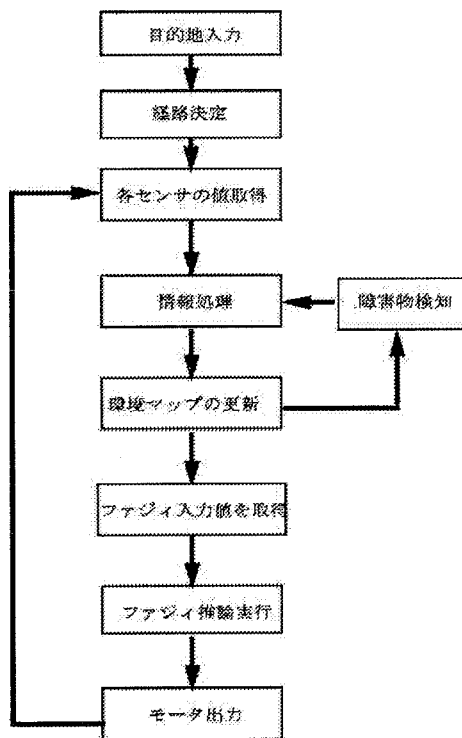


図 14 1 周期の処理の流れ図

(1) 走行準備として環境マップを作成する。環境マップは施設内の廊下の幅や柱、長椅子などの固定障害物を 1[cm] 単位で測って作成し、作成したマップに DREAM-3 の走行方法を切り替える為の境界線も書き込む。

(2) 作成した環境マップに初期位置、目的地を入力し、目的地までの経路を決定し、環境マップの各領域に DREAM-3 を目的地に誘導するように目標角、走行方法を入力する。

(3) DREAM-3 の走行を開始させる。

(4) 走行中はまずエンコーダ、ジャイロ・セン

サからの値、カメラからカメラ画像を取得する。ここで取得した値と走行特性を定式化した式を用いて 3.2.1 章で述べたように DREAM-3 の位置認識を行う。

(5) 得られた DREAM-3 の位置情報を用いて環境マップ上に書き込む。

(6) DREAM-3 の現在位置が環境マップに書き込まれると次に超音波センサとカメラ画像を用いて未知の障害物の認識を行う。

(7) 未知の障害物が発見されれば先に述べた危険度を参照しつつ環境マップを更新する。

(8) ここまでの処理が終了すると DREAM-3 走行中の最新の環境マップが完成する。

(9) この環境マップを用いて 3.2 に述べたようにファジィ推論の入力値を取得し、ファジィ推論を用いて次動作の決定を行う。DREAM-3 は、このセンサ値の取得、自己位置認識、障害物認識、ファジィ推論を用いた次動作の決定を繰り返すことで目的地まで走行する。

ここで走行中障害物が認識された時、障害物を環境マップに書き込み、障害物回避行動をとる。この時同時に DREAM-3 は、環境マップに書き込まれた障害物を回避行動をとりながら自己位置を更新し、図 15 のように障害物の付近を書き込みながら走行する。

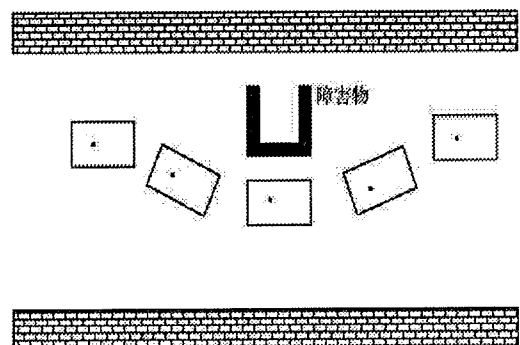


図 15 障害物が書き込まれた環境マップ
ここまでの通常走行の方法であるが、これ以外にランドマーク・リーダの検知信号があ

れば環境マップ上での位置の修正を行う。また環境マップが正しく更新されず DREAM-3 が壁や障害物に衝突し、タッチ・センサの検知信号が出力されれば、DREAM-3 を緊急停止させ回避行動を行う。

4 走行実験

これまで述べてきた環境マップを用いたアルゴリズムを用いて、走行実験により検証を行った。しかし、DREAM-3 の現在の製作段階としてカメラの搭載にまで至らなかったため、今回はカメラを除いた、エンコーダ、ジャイロ・センサ、ランドマーク・リーダ、超音波センサを用いることで検証を行うこととした。

以上の条件において、今回は以下の 3 つの検証を行った。

検証 1 ランドマーク検知による DREAM-3 の自己位置修正の検証

検証 2 未知の障害物の回避動作の検証

検証 3 環境マップの図 16 の A 領域 (情報制御工学科扉前) より、図 18 の B 領域 (大北教授室前) までの走行実験

次節より、この 3 つの検証結果を示す。

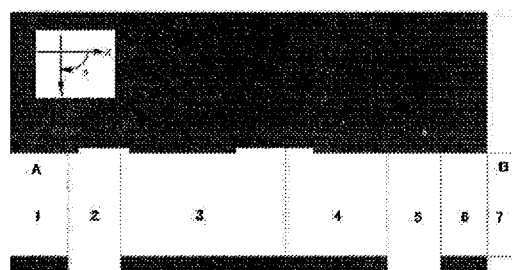


図 16 環境マップ 1

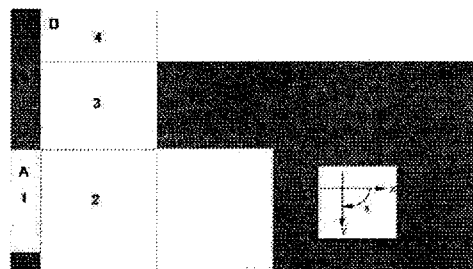


図 17 環境マップ 2

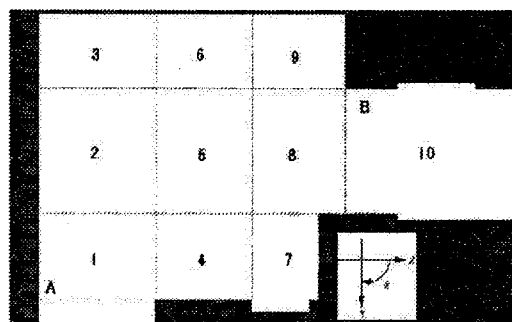


図 18 環境マップ 3

4.1 検証 1

DREAM-3 の走行中にランドマーク・リーダによりランドマークを検知した際、DREAM-3 と環境マップとの自己位置にずれが生じていた場合、環境マップの更新により自己位置の修正が正しく行われ、その後、安全に走行させることが可能であるか検証を行った。

この検証を行うため、図 16、図 17 の環境を用い、走行開始位置を図 16 の領域 3、目的地を図 17 の領域 4 とし、領域 6 と領域 7 の間に図 19 のようにランドマークを貼り付け、走行させた。また、自己位置の修正を行わせるため、DREAM-3 の走行開始位置は、環境マップに比べて実際の環境では 50[cm]前にずらした位置から走行を開始した。

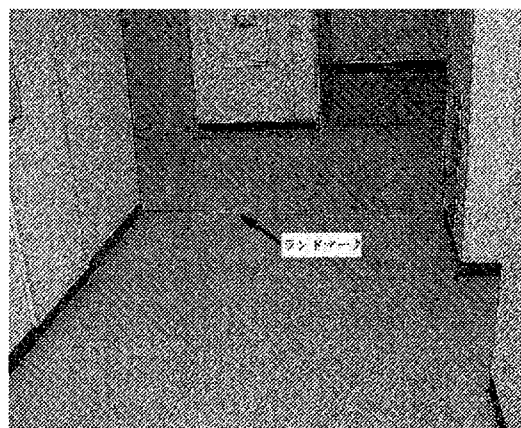


図 19 検証 1 の環境写真

4.1.1 検証結果 1

図 20 に検証 1 による検証結果を示す。DREAM-3 は領域 1 から走行を開始し、領域 6 を走行中ランドマークを検知することで、環境マップを検知したランドマークで修正していることがわかる。この後、DREAM-3 は左折走行を始めるが、自己位置の修正を行ったことで壁に衝突することなく安全に左折走行を行い目的地まで向かうことができた。

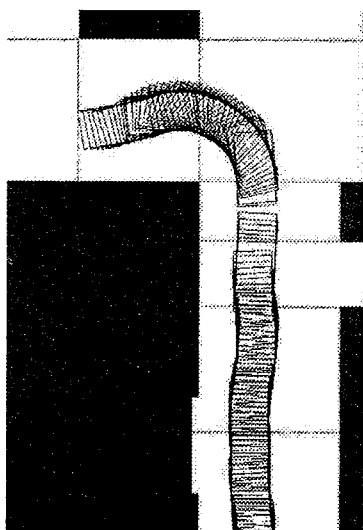


図 20 検証結果 1

4.2 検証 2

ここでは、DREAM-3 の走行領域に障害物が存在する環境において、正しく障害物を認識し、回避することができるか検証した。

まず、直進走行時での障害物回避行動を検証するため、図 16 の領域 4 に図 21 のように障害物を配置し、図 16 の領域 1 より DREAM-3 を走行させた。次に、DREAM-3 が壁なし走行を行うような広い空間での障害物回避行動を検証するため、図 21 の領域 6 に図 22 のように障害物を配置し、図 16 の領域 1 より

DREAM-3 を走行させた。

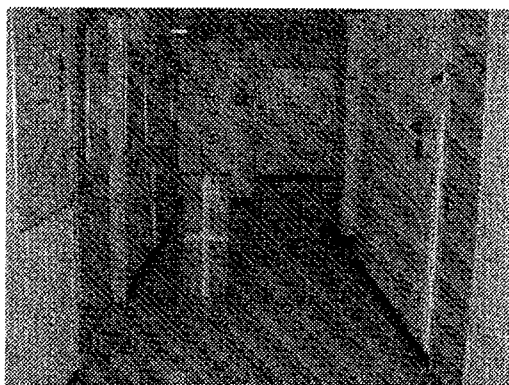


図 21 障害物を配置した環境 1

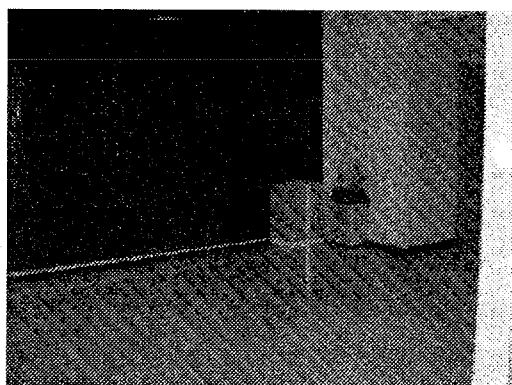


図 22 障害物を配置した環境 2

4.3 検証結果 2

図 23～図 26 に直進走行時の障害物回避行動の検証結果を、図 27～図 29 に右折走行時の障害物回避行動の検証結果を示す。

まず、直進走行時の検証結果について述べる。DREAM-3 は始め、領域 3 を走行中に障害物が存在することを確認し、図 23 のように、環境マップを更新した。障害物の存在を確認後、DREAM-3 は、障害物回避行動を開始し、回避行動を行いつつ環境マップの更新を繰り返すことにより、図 24、図 25 のように障害物の外形を認識しながら走行し、その結果、図 26 に示すように障害物を安全に回避し、走行を続けることができた。

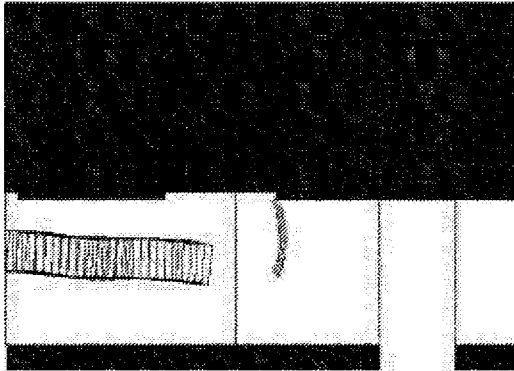


図23 検証結果 2-1

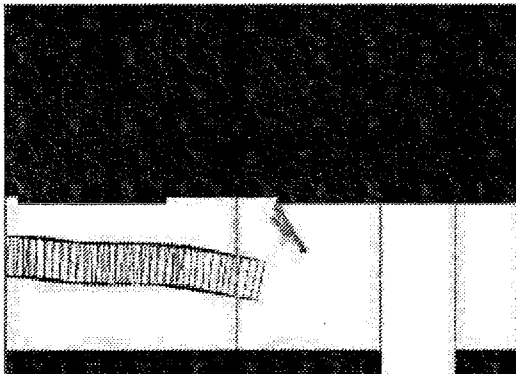


図24 検証結果 2-2

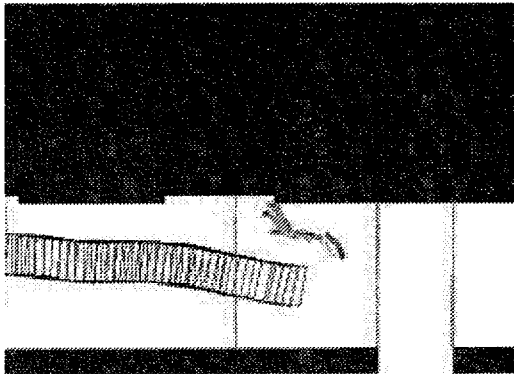


図25 検証結果 2-3

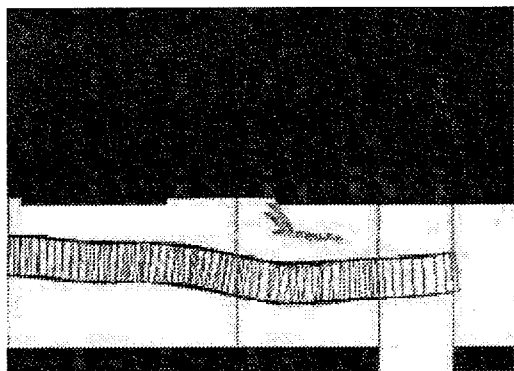


図26 検証結果 2-4

次に,広い空間を走行中での障害物回避の検証結果を示す.まず,DREAM-3は,図18の領域2において右折走行中に障害物の存在を認識し,図27のように障害物を書き込むことで環境マップを更新した.この後,図28,図29にかけて障害物回避行動を行いつつ障害物の外形を認識し,安全に障害物回避を行うことが出来た.

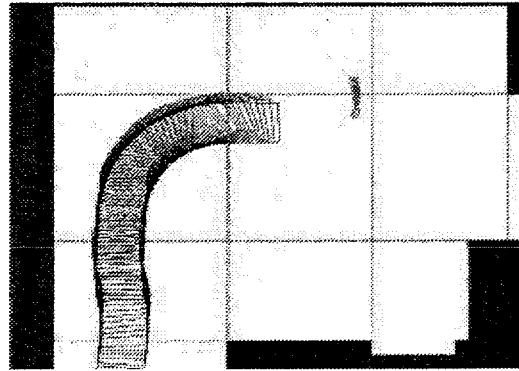


図27 検証結果 2-5

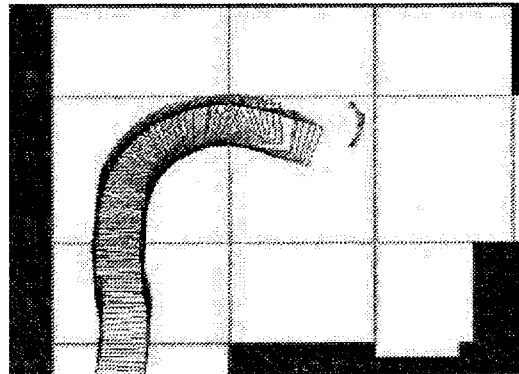


図28 検証結果 2-6

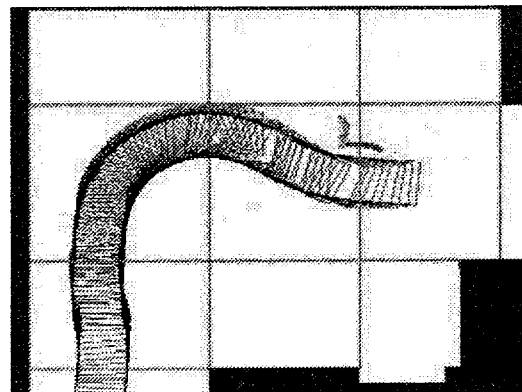


図29 検証結果 2-7

4.4 検証3

検証1と検証2より自己位置の修正, 障害物回避を行えることが確認出来たので, ここでは, 長距離走行を行っても正しく目的地まで向かうことができるかの検証を行った. この検証のため, 走行開始位置を図16の領域A (情報工学研究室扉前), 目的地を図18の領域B (大北教授室前) とし, 検証2と同じ位置に障害物を配置し DREAM-3 を図16から図18の約20[m]のコース中を走行させた.

4.5 検証結果3

図16のA領域を走行開始位置とした. 領域4まで走行したところで未知の障害物を検知し, 障害物回避走行を開始している. 回避後, 領域6と領域7の間でランドマークを検知し, 自己位置の修正を行い, 図17に環境マップを切り替えている. ここではまず左折走行をし, 領域4に達したところでランドマークを検知し, 左折走行で車輪のすべりなどによる誤差を修正し, 図18に切り替えている. そして領域2より右折走行を開始し, 右折走行中に未知の障害物の発見をし, その障害物を回避することで目的地まで到達した.

走行中, 超音波センサによる誤動作により, 若干, 障害物を誤認識しているが, 自己位置認識においては, 目的地に到達した時点では, 誤差が少ない結果となった.

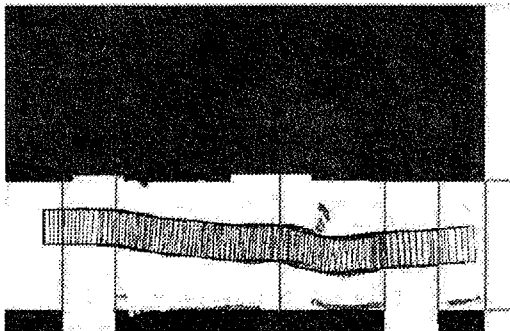


図30 検証結果3-1

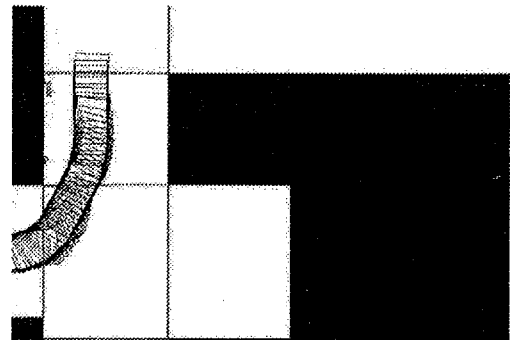


図31 検証結果3-2

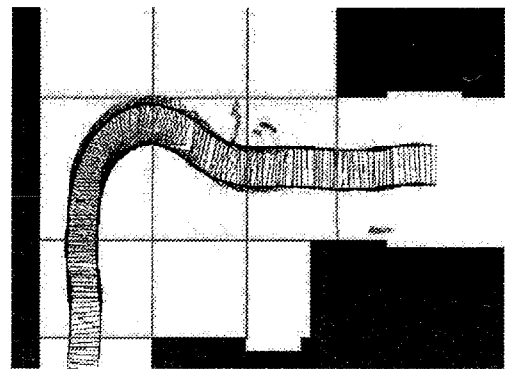


図32 検証結果3-3

5 検討

本手法の有効性を確認するため検証実験を行った. その結果 DREAM-3 を走行させながら環境マップを更新し, 安定した走行結果が得られた. また, 経路上に配置された未知の障害物に対しても, 環境マップを用いて障害物認識を行い, 回避行動を行い安全に障害物回避を行うことが出来た. そこで, ここでは本手法による長所及び改善点について述べる.

まず長所として, 環境マップを搭載することにより, 種々のセンサと組み合わせることにより, DREAM-3 の自己位置, 周囲の環境を詳細に把握することが可能となった.

これにより, DREAM-3 の自己位置認識においては, DREAM-2 のように領域を把握するだけでなく, どの領域のどの位置に存在するという事まで認識することが出来るようになり,

その位置から次動作の決定を行うことにより、より安定した走行を可能とした。またランドマークと組み合わせることにより自己位置の修正を行えるので、ジャイロ・センサ、エンコーダによる積算誤差、DREAM-3の車輪のすべりによる誤差を解消することが可能となった。

DREAM-3の環境認識においては、DREAM-2の場合に比べて、壁や障害物などの衝突が少なくなり、より安全に走行することが可能となった。また、障害物の存在確率の評価に危険度を導入することで、超音波センサの誤動作による障害物の誤認識を少なくできた。

次に、本手法の改善点について考える。環境マップへの初期位置の入力は、壁からの距離、DREAM-3の初期角度を入力することで決定している。しかし、現在の手法では、この入力値のいずれかに誤差があると、走行中、搭載センサの誤差がなくてもランドマークの検知がない限り修正する手段をもたず、入力の際、誤差を保持することとなる改善が望まれる。

また、ランドマークによるDREAM-3の自己位置の修正では、DREAM-3の進行方向に対しての修正はできるが、進行方向にたいして垂直方向の修正は行えない。ランドマークに対して垂直方向の誤差が積算されると、除々に実際の環境と環境マップとの自己位置のずれが大きくなり、壁や障害物に衝突する原因となる。このような結果となった例を、図33に示す。これは、第4章で行った検証3の結果の1つであり、目的地に到達したところで誤差の積算により、右壁までの距離が、約20[cm]ずれてしまっている。

この点についてもランドマークを用いた手法以外に、位置を修正する手法を検討する必要がある。

また、障害物認識においては、今回、超音波

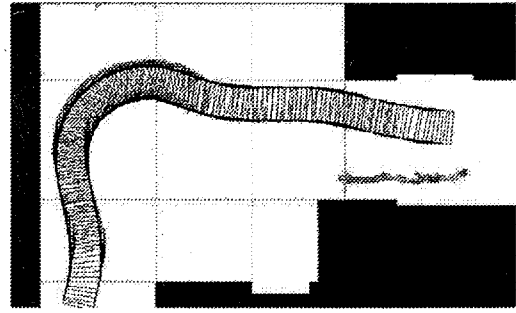


図33 誤差の積算による結果

センサのみを用いて行ったが、超音波センサの誤動作が連続して起こっているとき、正しく障害物認識できなかつたり、障害物認識後、障害物の存在がなくなったと判断し障害物を消去してしまうなど、超音波センサのみを用いた障害物認識は、まだ信頼性に欠けると思われる。

また、移動障害物に対する障害物認識では、超音波センサによる手法を用い、認識する周期を短くすることにより可能であることは確認できたが、逆にセンサが少しでも誤動作を起こすと、すぐに障害物と誤認識してしまい、環境マップに多数の障害物が存在することになり、安全に走行させることができなかつた。

そこで、障害物認識においては、危険度の設定の検討を行うことや、今回用いなかつたカメラ画像を用いた手法の検討を行うことで障害物認識について改善していくことが望まれる。

ここで、DREAM-3の走行中、実際の環境の位置に対して環境マップの位置にどれだけ誤差が生じているかを確認するため、DREAM-3を図16の領域1から図18の領域10まで走行させ、走行中に廊下に印を付けることで、実際の環境での走行軌跡を作成した。その走行軌跡と環境マップ上の軌跡を示した図を図34~36に示す。図で黒色のひし形の点が実際の環境での走行軌跡、灰色の四角の点が環境マップ

に書き込まれた点である。この図から、実際の環境と環境マップでは、ほとんど誤差なく走行していることが理解できる。

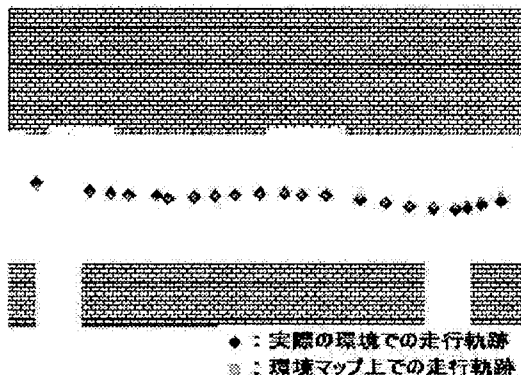


図 34 実際の環境での DREAM-3 と環境マップでの DREAM-3 の軌跡との比較 (1)

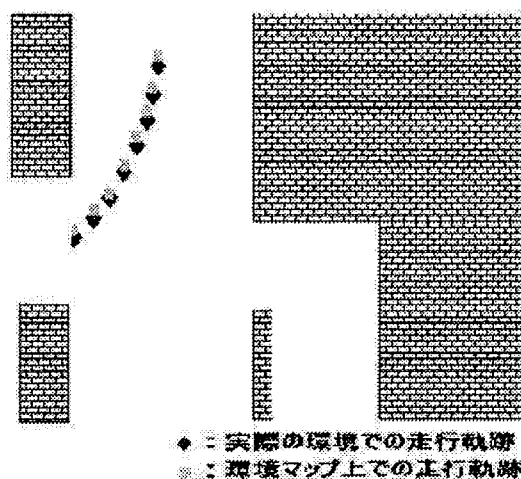


図 35 実際の環境での DREAM-3 と環境マップでの DREAM-3 の軌跡との比較 (2)

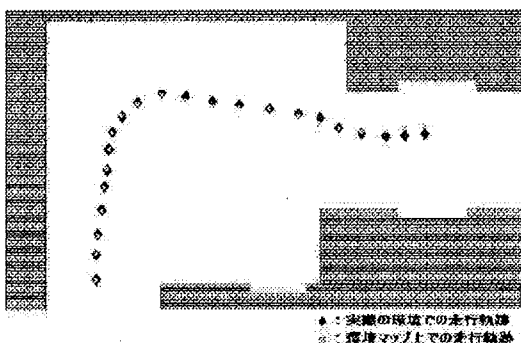


図 36 実際の環境での DREAM-3 と環境マップでの DREAM-3 の軌跡との比較 (3)

6 おわりに

我々は、病院や福祉施設等において利用することを前提として、電動車椅子をベースとした車椅子型自律移動ロボット DREAM-3 を開発している。DREAM-3 は施設内において介護者の助けを必要とせず、身障者を乗せて安全に目的地までの移動や散策を行う。これにより、身障者自身の意志の尊重や介護者の介護に費やす負担の軽減等を可能とする。

DREAM-3 を製作するにあたって、身障者介護用ロボットとして、DREAM-2 で問題となっていた各センサの短所を克服するため、環境マップという地図情報に基づいて、DREAM-3 の位置認識、障害物認識を行うことを提案した。そして、この手法を実際に DREAM-3 に搭載し、各センサの値により環境マップの更新が正しく行われているか確認を行うための走行実験を行った。また、より複雑な経路の走行実験を行うことにより、本手法の有効性についての検討を行った。その結果、DREAM-2 で生じていたセンサの誤動作による物体への衝突を少なくできた。このことから、より安全で安定した走行が可能となったことが検証できた。

今後は、学外の医療及び福祉施設での走行実験を可能とするため、今回問題となった初期位置の入力法の検討を行い、カメラ画像等を用いた自己位置・障害物認識の手法などを検討し、走行実験を繰り返すことにより実用化の検証を行う。これらにより、実用的な走行制御アルゴリズムの確立を目指す。また、同一空間における複数台のロボットによる走行制御アルゴリズムや階をまたいでのエレベーター等を使用した移動についてのアルゴリズムも検討する予定である。

本研究を遂行するにあたり、次に示す研究助成を受けた。ここに、謝意を表したい。

(1)平成 12-14 年度新産業育成型研究開発推進事業(受託研究)、(2)平成 13 年度セコム科学技術振興財団(研究奨励).

参考文献

- [1] 河野寿之, 神田真司: 高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム, 日本ロボット学会誌 Vol.16, No.3, pp.317 - 320(1998).
- [2] 藤崎正昭, 内山隆: 高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム, 日本ロボット学会誌 Vol.14, No.5, pp.619 - 623(1996).
- [3] 足西知, 久野義徳: 顔の視覚情報処理を用いた知的車椅子, 日本ロボット学会誌 Vol.17, No.3, pp.423 - 431(1999).
- [4] G.N.Nyakoe, M.Ohki, M.Nakashima and M.Ohkita: Traveling of a Wheelchair Type Mobile robot by the Fuzzy Control, 16th IMACS World Congress 2000 Book of Abstracts, pp.256(2000).
- [5] 大木誠, 荒木晃徳, 大北正昭: 自律移動ロボット DREAM-2 の走行実験, 鳥取大学工学部研究報告書, Vol.29, No.1, pp.3-44(1998).
- [6] Nyakoe.G.N., 佐々木忠義, 中嶋正己, 竹内俊博, 大北正昭: 環境マップを用いた 2 輪駆動ロボットの走行制御アルゴリズム, 電気学会全国大会, 2001 年 3
- [7] 大木誠, 大北正昭, 佐々木忠義, 竹内俊博, 玉那覇隆介: 屋内環境を用いた自律移動ロボットの走行制御の検証, 電子情報通信学会、デジタル信号処理研究会 (DSP2002-30-40)、信学技法、Vol.102, No.42, pp.23-28 (2002).
- [8] George Nyauma Nyakoe, Masaki NAKASHIMA, Makoto OHKI and Masaaki OHKITA: Mobile robot path planning with real-time obstacle avoidance, Reprinted from Reports of the Faculty of Engineering Tottori University Japan Vol.31, pp.7 -14(2000).
- [9] CQ 出版社編: USB ハード&ソフト開発のすべて、CQ 出版社(2001).
- [10] 石土義男: H8 ビギナーズガイド、東京電機大学出版社(2000).
- [11] 藤沢幸穂: H8 マイコン完全マニュアル、オーム社(2000).
- [12] 日立製作所 半導体グループ電子統括営業本部: ハードウェアマニュアル(1994).
- [13] 日立製作所 半導体グループ電子統括営業本部: プログラミングマニュアル(1993).
- [14] Nyakoe.G.N., 竹内俊博, 佐々木忠義, 木村昭彦, 高橋智一, 大木誠, 大北正昭: 二輪駆動ロボットによる走行特性の定式化と走行制御アルゴリズムの検討, 鳥取大学工学部研究報告書, Vol.32, p.9-17, (2001).
- [15] 菅野祥伸, 山本寿, 大木誠, 大北正昭: 屋内環境におけるカメラ・データと現在地推定データのマッチングによる位置認識, 電気学会全国大会講演論文集、3-043、p.4(2002).

(平成 15 年 8 月 29 日受付)

