

介護・福祉ロボットの開発

Development of care and a welfare robot

細矢 統, 湯川 俊浩, 齋藤 直樹, 梶川 伸哉, 岡野 秀晴

O. Hosoya, T. Yukawa, N. Saito, S. Kajikawa, H. Okano

秋田県立大学大学院システム科学技術研究科

Graduate School of Akita Prefectural University, Faculty of Systems Science and Technology

キーワード：四輪独立駆動(Independent Four-Wheel-Drive), 全方向移動機構(Omni-Directional Mobile Mechanism), PID 制御(PID Control), ライントレース(Line Trace)

連絡先：〒015-0055 本荘市土谷字海老ノ口 84-4 秋田県立大学大学院システム科学技術研究科

機械知能システム学専攻 生体知能系 細矢 統

TEL:0184-27-2122, FAX:0184-27-2217, E-mail:M04A005@akita-pu.ac.jp

1. 序論

本研究は,病院や福祉施設などで人間に代
行して介護作業をおこなうロボットを開発
する.本発表ではその中でも,移動機構と誘
導方式に関して述べる.

移動機構に関しては,病室内での狭所環境
を想定し,小回り性能,高い位置精度が実現
可能な全方向移動機構とする(Fig.1).

誘導方式については,従来,光学式や磁気
式の無人搬送車が多くみられるが,これらの
ロボットは白線をまたいで走行するため,ロ
ボット通行域は通路中央もしくは壁からあ
る程度離れた位置となる.また,ロボット用
の白線やセンサの施工が必要である.

本研究では,ロボット側面にカメラを搭載
し,既存の通路白線をカメラで認識し,ロボ
ットの姿勢制御と,旋回動作が可能な手法を
確立する.

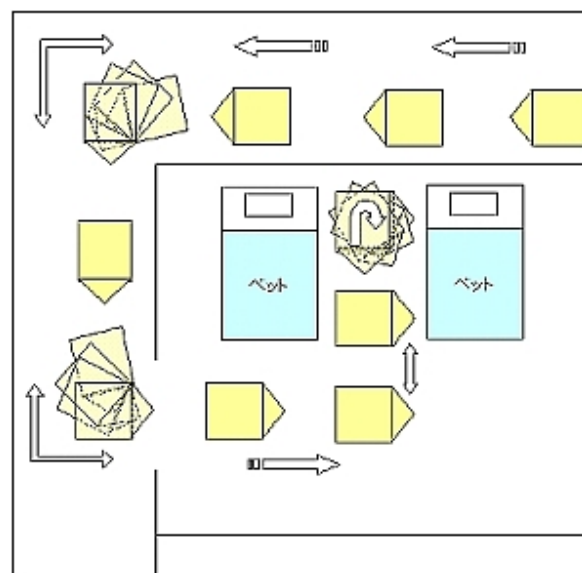


Fig.1 移動環境

2. ロボットの構成

全方向移動をおこなうために、四車輪が独立に駆動およびステアリングできる機構とした^{1)~3)}。ロボット概観をFig.2, システム構成図をFig.3に示す。

ロボット本体にはPC, モータドライバ, 各種ボード, 白線認識用カメラを搭載する。カメラは床面から高さ400 [mm], 角度45 [°]に設置し, 光無線によってカメラの画像情報を画像処理用PCに送る。反対に画像処理用PCでは送られてきた画像情報を二値化処理し, 画面に対しての白線の角度, 進行方向先端点のX, Y座標を算出し, ロボットへデータを送信する。ロボットは, 送られてきた座標データをもとに白線追従, 分岐旋回をおこなう⁴⁾。

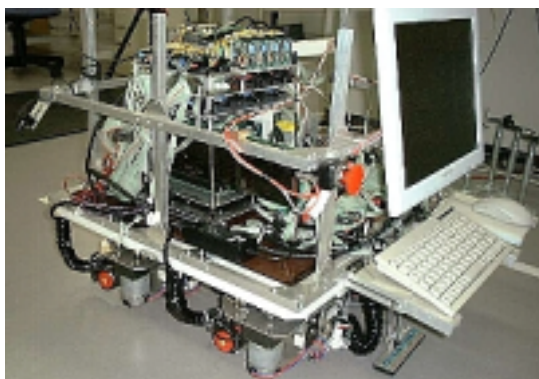


Fig.2 ロボット概観

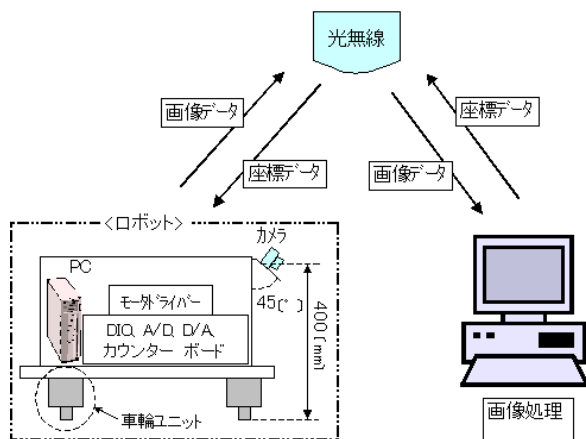


Fig.3 システム構成

Fig.4 にロボット部のシステム構成図を示す。車輪ユニットは駆動部, ステアリング部からなり, 各ボードを介してロボットPCとデータ通信をおこなう。

以下に各部品の仕様を示す。

- ・車体質量 : 49.2 [kg]
- ・PC (ロボット側) : CPU PentiumMMX 233 [MHz]
OS Windows95
言語 Visual Basic
- ・PC (画像処理) : CPU PentiumMMX200 [MHz]
OS Linux ver.2.1
言語 C言語
- ・拡張ボード :
 - DAボード … DA12-8L (株)コンテック
 - ADボード … AD12-64 (株)コンテック
 - DIOボード … PIO-96W (株)コンテック
 - カウンタボード … PIO-96W (株)コンテック
 - 画像処理ボード … IP5000 (株)日立
- ・カメラ : KKC-401 (株)KOCOM
- ・光無線機 : 東京電子工業(株)
- ・モータ : DME60S6HFPB 13 [W] 日本サボ(株)
- ・ドライバ : TiTech Driver 岡崎産業(株)
- ・エンコーダ : LBJ-004-2048 弘夕(株)

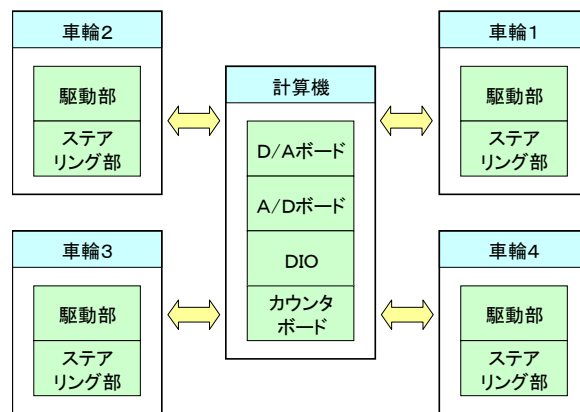


Fig.4 ロボットの構成

3 . 制御則

3 - 1 駆動部

駆動における制御は速度制御とし ,モータドライバの電子ガバナ回路から出力される電圧値と目標速度電圧値の差を P I 制御を用いてフィードバックをおこなう . 制御則を (1) , (2) 式に示す ⁵⁾ .

$$e(t) = v(t) - v_{ref}(t) \quad (1)$$

$$v'(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

e : 偏差

v : 実際の電圧値

v_{ref} : 目標速度電圧値

v' : 制御電圧

k_p : P 制御比例ゲイン(実験値より決定)

k_i : I 制御比例ゲイン(実験値より決定)

3 - 2 駆動制御フロー

駆動制御フロー図を Fig.5 に示す . 目標速度を入力すると ,回転リミットセンサの接触の有無を確認し ,モータドライバに制御信号を出力する . その後 ,エンコーダ値と出力電圧値の読みをおこない ,目標速度との差を ,P I 演算を用いてフィードバックする . なお ,回転リミットセンサは

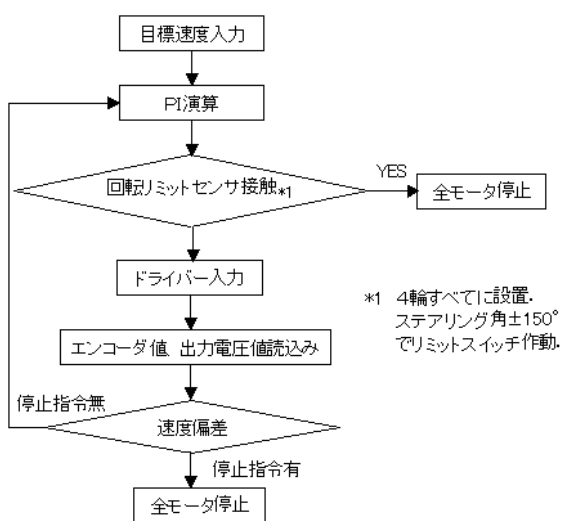


Fig.5 駆動制御フロー図

ステアリング角が ±150 [°] で作動し , 全モータが停止する .

3 - 3 ステアリング部

ステアリング部の制御は位置制御とし , 現在のステアリング角度と目標のステアリング角度の差を P I D 制御を用いてフィードバックしている . P I D 制御を用いた理由は , 位置精度と応答性を高めるためである . また , チャタリングを防ぐため , 目標値に幅を持たせた . 制御則を (3) 式に示す ⁵⁾ .

$$v'(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3)$$

k_d : D 制御比例ゲイン(実験値より決定)

3 - 4 ステアリング制御フロー

ステアリング制御フロー図を Fig.6 に示す . 目標ステアリング角を入力すると , 回転リミットセンサの接触の有無を確認し ,モータドライバに制御信号を出力する . その後 ,エンコーダ値と出力電圧値の読みをおこない , 目標角度との差分を P I D 演算を用いて , フィードバックしている .

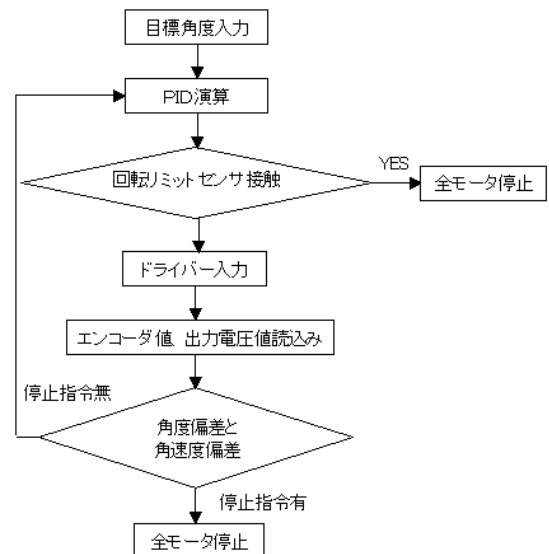


Fig.6 ステアリング制御フロー図

3-5 ロボット誘導

3-5-1 画像処理

ロボットに搭載したカメラからの画像を2値化処理し、白線の画面上での座標(X, Y)、傾き θ を算出する⁴⁾(Fig.7).

なお、画面数値と実測数値に若干の誤差があり、画面データ1.0[mm]に対し、実寸がX方向で1.05~1.10[mm]、Y方向で1.07~1.12[mm]である。

3-5-2 白線追従

ロボットは白線の傾き θ 、Y座標のデータを受け取り、白線追従のための姿勢制御をおこなう。

$\theta > \theta_0$ (閾値)の場合

一旦停止後、支点旋回をおこない、角度を補正した後、前進する。

$Y > Y_0$ (閾値)の場合

一旦停止後、並進動作をおこない、白線との距離を補正した後、前進する。

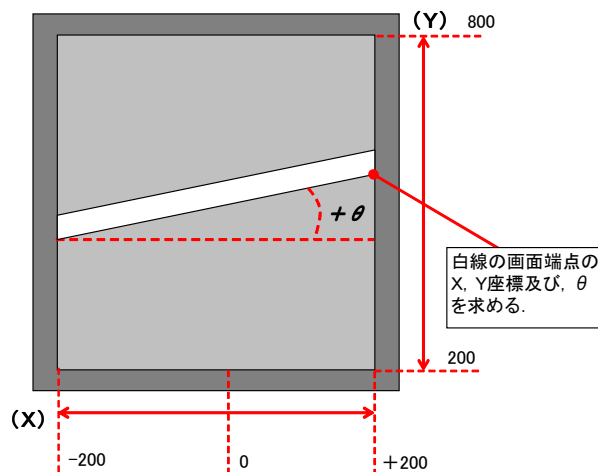


Fig.7 画像処理画面

例えば、Fig.8に示すように閾値を設定した場合、

$Y_{0min} = 250$ [mm], $Y_{0max} = 300$ [mm],
 $\theta_{0max} = 3$ [°], $\alpha_y = 10$ [mm], $\alpha_x = 0.5$ [°]
 (α_y, α_x はプログラム切換えの際のレンジ幅である。)

以下の条件になるようプログラグした

直進動作条件：

$260 < Y < 290$ [mm], $\theta < 2.5$ [°]

角度調整動作条件：

$260 < Y < 290$ [mm], $\theta > 3.0$ [°]

並進動作条件(白線との距離調整)：

$Y < 250$ [mm] または $Y > 300$ [mm]

この場合、閾値幅 $Y = 50$ [mm] の範囲を超えると、並進動作を開始し、 $Y = 30$ [mm] の範囲内で直進動作、角度補正をおこなう。

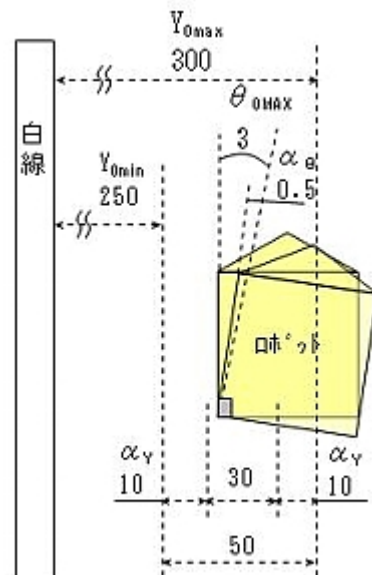


Fig.8 姿勢制御

3-5-3 旋回動作

ロボットが前進し、白線の角を通過する際にはモニタ画面上では白線端が右端から左端に移動し、X座標は減少する。ロボットはこのX座標の変化を利用し、ある閾値 X_0 を起点とし、旋回動作をおこなう。旋回中はカメラからの白線情報にバラツキが生じたり、データ取得ができなくなるために、姿勢制御モードと旋回制御モードに分けて考えることにする。

・姿勢制御モード：

カメラ情報による白線追従、姿勢制御

・旋回制御モード：

内部プログラムによる既定値制御

例えば、閾値 $X_0 < 0$ とした場合、白線端がモニタ画面中央に来た時点で、姿勢制御モードから旋回制御モードに切り換える。その後、旋回後の白線との距離を確保するため、距離 Y_1 [mm]だけ前進し、左前車輪を支点に 90 [°]の旋回をおこなう。旋回完了後、カメラが白線を捕らえられる距離 X_1 [mm]まで前進し、姿勢制御モードに戻る(Fig. 9)。

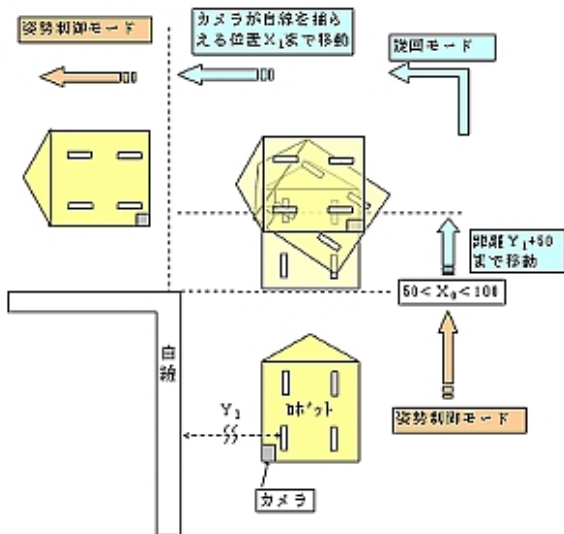


Fig.9 旋回制御

4. 走行試験

4-1 白線追従走行

白線追従試験を3回おこない、走行軌跡と画像からのデータを記録した(Fig.10)。なお、画像座標の初期データ及び閾値設定は以下の様に設定した。

・画像データ初期値：

$$Y = 275 \pm 5 \text{ [mm]}, \quad \theta = 0 \pm 1 \text{ [°]}$$

・閾値：

$$Y_0 \text{ MIN} = 250 \text{ [mm]}, \quad Y_0 \text{ MAX} = 300 \text{ [mm]},$$

$$\theta_0 = 3 \text{ [°]}$$

$$\Delta Y = 10 \text{ [mm]}, \quad \Delta \theta = 0.5 \text{ [°]}$$

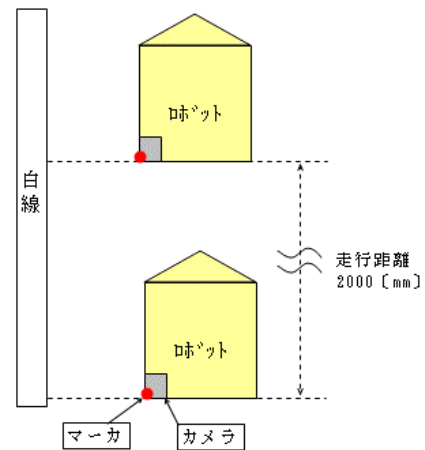


Fig.10 走行試験条件

Y 、 θ についての画像データと実際の位置、姿勢データの誤差を Table 1、走行軌跡を Fig.11、走行距離と Y 、 θ の画像データの関係を図.12に示す。

Table 1 画像データと実測データ

	画像データ	実測データ
Y 誤差	MAX. 18.9	MAX. 19
	MIN. 7.18	MIN. 7
	AVE. 12.54	AVE. 11.6
誤差	MAX. 2.47	MAX. 2.4
	MIN. 0.13	MIN. 0.5
	AVE. 1.41	AVE. 1.69

*誤差は始点と終点の差である。

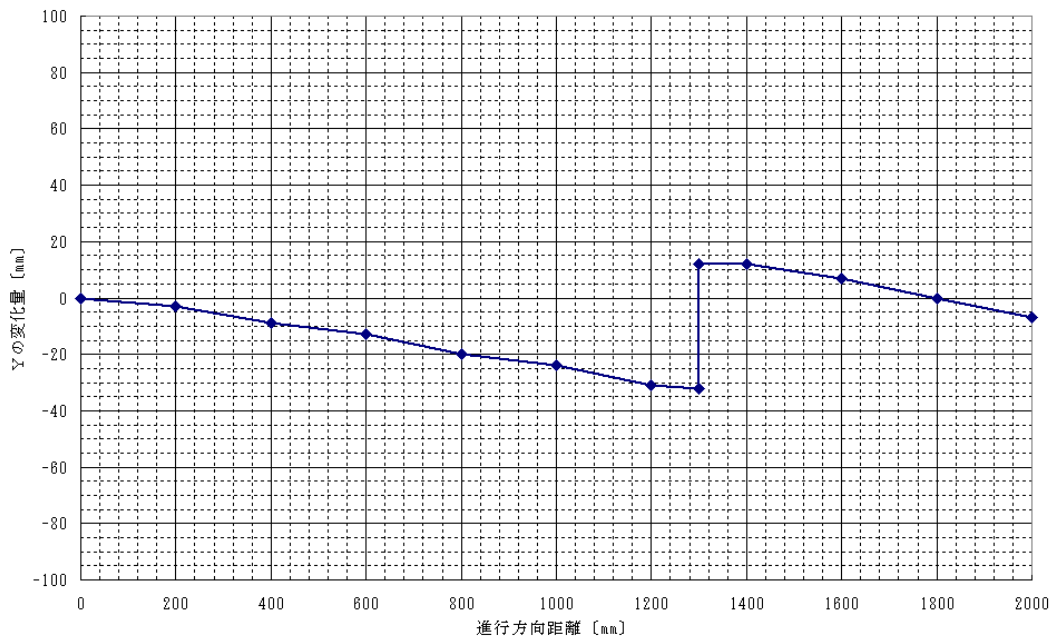


Fig.11 走行軌跡

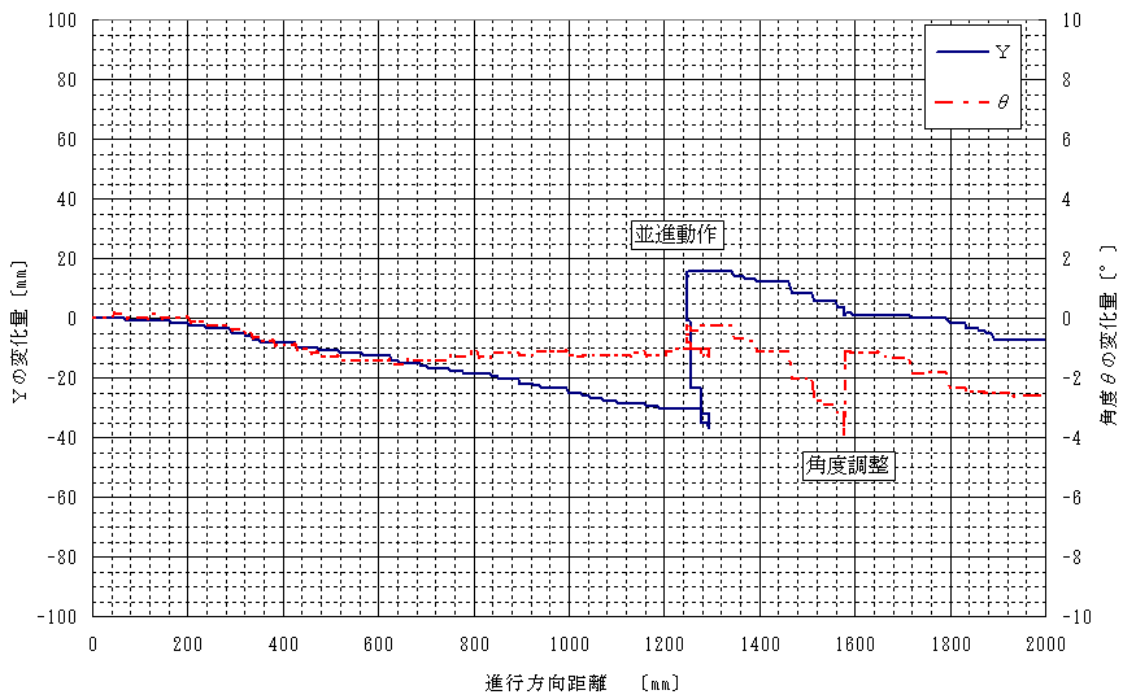


Fig.12 画像データY, と距離の関係

Fig.11 は車体後方に取付けたマーカの実測データであり, Fig.12 は車体後方に取付けたカメラ情報のデータである. 誤差精度は, 直進走行の設定精度 $Y < 30$ [mm], $\theta < 3.0$ [°] 対し, 最大が $Y = 19$ [mm], $\theta = 2.47$ [°] と設定範囲に収束している. ただし, 現状ではデータの取り込み時間が遅いため,

並進動作, 角度調整ともに, 制御量に対して実際の移動が大きくなっており, 今後機構を改善する予定である. また, 設定精度幅を 10 [mm] 以下に設定した場合についても, 同様の原因により, 補正動作が収束しないことが確認された.

4-2 旋回動作

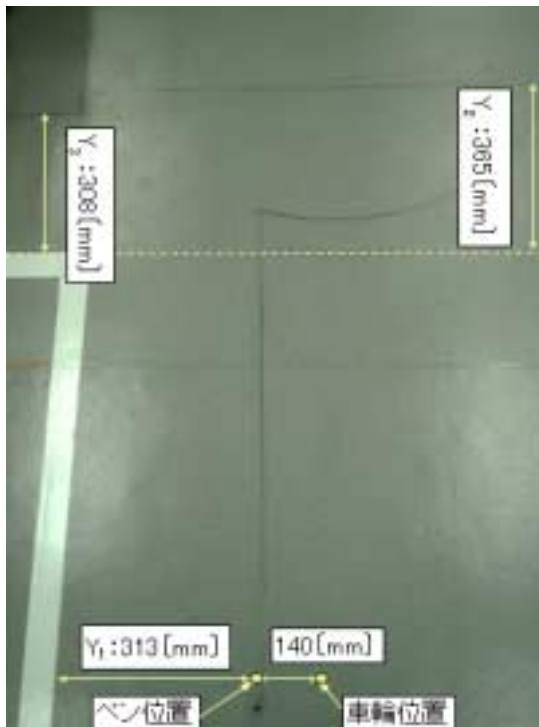
旋回動作試験をおこない、走行軌跡を記録した。画像座標の初期データ及び Y_1 の閾値の設定は白線追従試験と同じ設定とした。

- ・ 閾値 X_0 : $50 < X_0 < 100$ [mm]
($X < 50$ [mm]では画像データが不安定である)
- ・ 旋回開始までの直進距離 : $Y_1 + 50$ [mm]
- ・ モード切り替えまでの直進距離 : 900 [mm]

白線との距離データを Table2, 走行軌跡を Fig.14 に示す。(実験回数 $n = 3$)

Table2 白線との距離データ

	No.1	No.2	No.3
初期 Y_1	313	307	310
旋回停止後 $Y_2(Y_1 + 50)$	365	350	338
姿勢制御後 Y_3	308	305	303



3回の実験とも、旋回モード後、カメラで白線を捕らえることに成功した。

Y_2 の値が設定に対し、 $2 \sim 22$ [mm]の誤差があるが、これは X_0 の範囲が 50 [mm]あることに要因がある。また、 Y 方向の幅は 200 [mm] \sim 800 [mm]の範囲であればカメラで白線をトラッキングができるため、制御上制約ない数値であり、良好な結果と考える。

5. 結論

本研究は、介護・福祉ロボットの移動機構として四輪独立駆動の全方向移動車を開発した。そしてロボットに取付けたカメラにて、1本の白線情報より、姿勢制御、旋回動作をおこなう手法を開発することができた。

今後の課題としては、連続的に軌道補正が可能な制御法の確立と、画像データの取り込み速度UPによる精度の向上、及び本実験で確認できなかった右折旋回動作について、カメラ台数を増やして検証していきたい。

6. 参考文献

- (1) T. Arai : The control and application of "omni-directional vehicle (odv)", IFAG Control science and Technology, 8th triennial World congress 1850/1860 (1981)
- (2) 日本機械学会: 機械工学便覧 C-4 メカトロニクス, 73/74, 日本機械学会出版 (1996)
- (3) 森 善一 他: 全方向移動ロボット, ODV9 の基本原理と小段差乗り越えについて, 日本ロボット学会誌 18 巻 1 号, 150/157, (2000)
- (4) 中森 慎太郎 他: 区画化された白線情報に基づく自律型移動ロボットのナビゲーション, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-G04, 1-2, (2002)
- (5) 米田 完 他: はじめてのロボット創造設計, 34/41, 講談社出版 (2001)