

---

---

研 究

---

---

## 離散的ランドマークを使った移動機械の制御

—ランドマークへの追従特性—

小森谷清\*・館 暲\*\*・谷江和雄\*\*・大野武房\*・阿部 稔\*

### A Method for Guiding a Mobile Robot Using Discretely Placed Landmarks

—Analysis of landmark tracking performance—

by *Kiyoshi KOMORIYA, Susumu TACHI, Kazuo TANIIE,*  
*Takefusa OHNO & Minoru ABE*

In this paper a method for guiding a robot using landmarks placed discretely on the main points of a course is presented. This robot can be used to guide a blind person on the streets, in place of guide dogs.

Under today's technical level it is necessary to use artificial landmarks for guiding a mobile robot on a street where the environment changes so rapidly. The fewer in number and the simpler in shape are the landmarks, the better is the guidance system from the financial point of view and from the requirement to minimize the environment change. Thus short straight lines were adopted with a constant width placed at crossings, other important places, etc. To realize this method the most important requirements are as follows:

- (1) to increase the reproducibility of the robot's track which connects adjacent landmarks.
- (2) to develop its steering control algorithm to follow each landmark precisely enough to cancel orientational error.

To solve the requirement (1), the prototype robot MELDOG MARK II was designed, which has three wheels, the front one being driven and steered. For the requirement (2) the lateral course errors of the robot measured at both its front and rear were used to calculate its steering angle to follow landmarks. To decide the optimal parameters in the algorithm their effect on the performance was checked from the equation of motion and the simulation based on the simplified model.

Based on the simulation, MELDOG MARK II was built and an experiment of its landmark tracking was carried out. As a result the feasibility of this guidance method was demonstrated and the basic data about landmark tracking control was obtained which is important for the design of landmarks.

**Key Words:** Intelligent robot, Mobile robot, Guide dog robot, Visual prosthesis, Sensory substitution, Guidance, Landmark, Map, Man machine system.

### 1. はじめに

白杖の代替としてエレクトロニクスを用いた障害物検知機能を有する盲人用歩行誘導機器の開発が行われている<sup>1)~6)</sup>。すなわち、レーザあるいは超音波を対象に向かって照射し、そのときに得られる反射信号を音響信号、あるいは皮膚感覚刺激信号に変換して盲人に提示し、それによって盲人自身に周囲の状況を判断させ、安全な歩行誘導を実現しようとするものがそれである。これらの機械は白杖に比べると障害物を検知できる領域が広がるなどの利点をもつ。しかし、その反面、反射信号に対して常に注意力を集中して障害物を判断しなければならぬため、盲人に過度の精神的負担がかかったり、また、聴覚など健常な感覚器の使用を前提とするため、それらの残存感覚機能を低めるなどの欠点もあることが指摘されている。

ところで、白杖と並ぶ古くからの盲人歩行誘導手段のひとつに盲導犬を用いる方法がある。盲導犬を用いる盲人誘導法は犬のもつ優れたパターン認識等の情報処理能力、臨機応変の判断力などを利用するもので、盲人はマクロな指令を下すだけでよく、後は盲導犬に従って移動すれば安全に歩行が達成できるものである。ただし、危険な障害物等に直面し、もし指令に従うと盲人を危険に陥し入れる恐れがある場合は盲導犬は指令に従わなくなる。盲人はその時に限り、白杖などを用いて周囲の状況を調べ、自分自身の判断で危険を回避する。

このように盲導犬は誘導の機能を持ちある程度

取捨選択された情報を盲人に与えるという意味で、白杖や上述のエレクトロニクスを用いる機器よりも優れた盲人誘導手段を提供する。ところがこの盲導犬の利用にも訓練、飼育などに莫大な労力を要するという問題が含まれている。そのため、この方式も手軽に使用できる盲人歩行誘導手段として必ずしも満足できるような状況にあるわけではない。

以上述べた現状に対して我々は盲導犬をひとつのモデルと想定し、種々のセンサを用いて採取した周囲の状況に関する信号に適切な処理を施し、必要な情報のみを選択して盲人に与え、盲人の障害物判断等に対する気づかいをできるだけ軽減し得るような盲人用歩行誘導機械を開発することを試みている<sup>7),8)</sup>。

この歩行誘導機械の開発に際しては盲導犬の機能を①盲人の命令に従って直進、左折、右折などをしながら先導する「服従機能」、②障害物がある場合には盲人の指令に従わずに停止し、そのことを盲人に知らせる「賢い不服従機能」、③人間と犬(機械)との情報交換を行うための「マンマシンコミュニケーション機能」に大別し、これらの機械による実現を図っている。各機能は工学的に見れば、①は移動機械の経路誘導、②は障害物検出、③は人間機械間の通信法の問題として捉えることができる。本論文ではこれら諸問題のうち、①について検討する。

盲導犬の誘導機能から類推して歩行誘導機械は盲人の指令にしたがって自律的に移動し得る機能を有するものでなければならない。このような一種の無人移動機構を実現する試みは近年いくつか行われている。その中には外界に目印を置くなど

\* 機械部メカニズム課

\*\* システム部バイオメカニクス課

という処置は何ら行わず、ITV等の視覚を使って外界の情報を得、自律的に経路を設定して移動しようという知能移動機械の開発も試みられている<sup>9)</sup>。しかし、より実用を指向する立場からすれば通路に何らかの目印を設置し、それを利用して移動する手法を採用するのが現時点では有利であると考えられる。この種の試みとしては自動車の無人運転を目指したものとして通路に埋設された磁気ケーブルからの磁界を使用する手法<sup>10),11)</sup>、あるいは工場内無人搬送車などを旨としたものとして路面上に敷設された連続的なテープを光学的に検出し、移動体を誘導する手法<sup>12),13)</sup>などがすでに開発されている。

それらは工場内といった比較的狭い限定された環境内での有効な方式であるが、盲人歩行誘導機械では一般街路が対象となり、移動領域が広がるゆえに通路に何らかの目印を配置する場合にもできるだけ環境に対する設備投資を少なくする配慮が望まれる。

本研究では以上の考慮にもとづいて離散的に設置された簡単なランドマークを使った移動体誘導方式を提案する。

## 2. 離散的ランドマークを用いる移動機械の誘導法

離散的ランドマークを用いる誘導方式の具体例を以下に示す。まず、図1のように通路の主要部である交差点、又は目標となる位置に離散的に幅の狭い長形状のランドマークを設置する。また、ランドマーク間の相対位置関係に関する情報（隣接ランドマーク間の距離、方向）はあらかじめ移

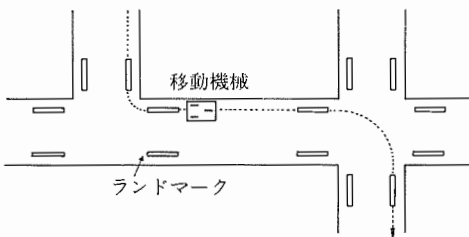


図1 ランドマークの配置

動機械に記憶させておくようにする。そしてこの記憶情報にもとづき、次のランドマークへの接近を移動機械自体が判断してからランドマーク検出機能を作動させる。移動機械はマークに到達するごとに走行誤差を検知し、それにもとづいて自分自体の姿勢を修正するとともに現在位置の確認を行いながら次の進行方向を選択して走行を続ける。

この方式にはランドマークを連続的に設置しないことによる経済的な利点のほかにもマークが簡単であるための設置、変更の容易さ、常時マーク検出を行うわけではないため比較的路面からの雑音の影響を受けない誘導が可能などの利点がある。

一方、配慮すべき問題点としてはマーク間における移動機械の走行精度、及びそれがランドマークに進入する際のマークの追従安定性の2つである。特に前者は移動機械の構造と路面の状態に依存し、その精度がランドマーク間隔の決定の一要因となる。本報告ではこれらの点についても検討を加えた。

## 3. 実験装置

本研究の前提条件として、まず実験対象を我々が開発した盲導犬ロボット (MELDOG MARK II)<sup>9)</sup>と規定する。以下その構成を簡単に述べる。

ロボットの全景を図2にその構成を図3にその諸元を表1に示す。移動機構には車輪を用いており、その配置は走行軌跡の再現性を高めることと進行方向の制御性をよくする目的から三輪車形式

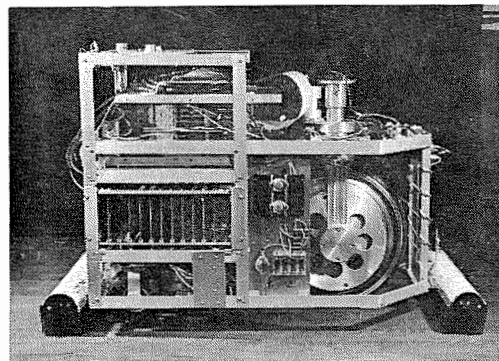


図2 盲導犬ロボットMELDOG MARK II

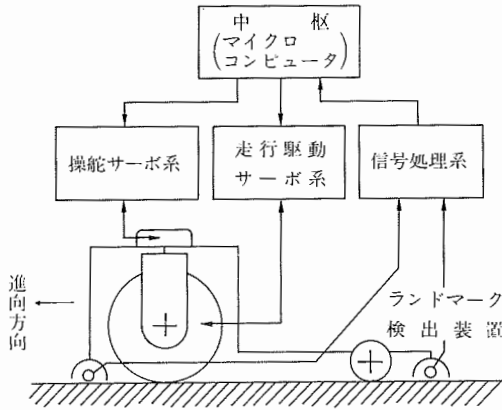


図 3 移動機械の構成

表 1 盲導犬ロボット (MELDOG MARK II) の諸元

長さ		1.09m
幅		0.49m
高さ		0.67m
質量	M	71.0kg
慣性モーメント	I	0.731kgm <sup>2</sup>
前輪コーナリングパワー	$K_f$	29.1N/rad
後輪コーナリングパワー	$K_r$	24.2N/rad
前輪軸重心間距離	$l_f$	0.302m
後輪軸重心間距離	$l_r$	0.198m
操舵角サーボ系ゲイン	$k_s$	96.1
操舵角サーボ系時定数	$T_s$	0.22s

としている。走行駆動及び操舵は前輪で行い、後輪は左右独立に自由に回転が可能な構造となっている。

走行は前輪のホイールを形成するドラム内に取り付けたプリントモータで行う。このモータの速度制御にはPLL-ICを用いている。すなわち、モータの出力軸に取り付けたフォトエンコーダ出力と指令信号として与えるパルス列をPLL-ICで比較し、相互の位相の進み遅れから加減速信号を作り、モータに印加する電圧をスイッチングしている。

操舵角制御も同様に前輪支持軸にハーモニックドライブを介して同軸的に取り付け付けたプリントモータで行う。ハーモニックドライブの使用は減速

に伴うバックラッシュを極力少なくするためと1段の減速で操舵に必要なトルクを得るためである。操舵指令値はデジタル信号で与え、前輪支持軸に取り付けたアブソリュートエンコーダ (8bit) 出力とその差によってモータをサーボ駆動するのである。エンコーダ1bit当りの操舵角は0.804 degである。

以上2つの指令値は移動機械の中枢をなす計算機からDA出力とデジタル出力で与えている。

次に走行誤差の修正のための基準となるランドマーク検出装置について述べる。検出装置は信号処理の簡略化と経済性の観点から本体前後に各々16個のフォトトランジスタを不等間隔にアレイ状に並べたもので構成し、内蔵した蛍光灯で下方を照明し、路面及びマークからの反射光を各々のセンサアレイで受光し、マークエッジを検出する形式である。図4に装置断面を、図5にその信号処

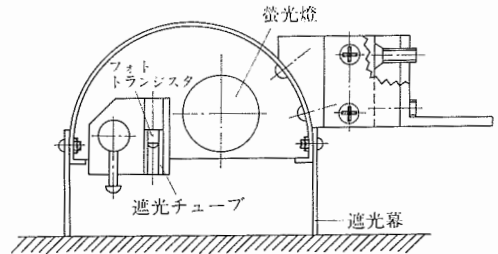


図 4 ランドマーク検出装置の構造

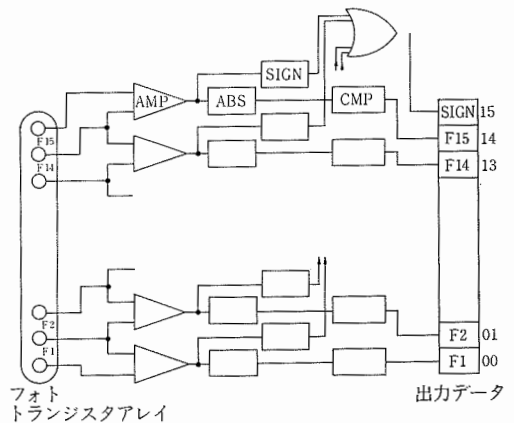


図 5 ランドマーク検出装置の処理回路

理回路を示す。処理は隣接センサの差動出力からエッジ位置を検出するとともに各差動出力の符号の論理和からいずれのエッジが検出されているかの情報を搭載した計算機でサンプルし、処理を行う。以下の実験で使用したマークは幅 15cm の白色テープであり、灰色路面とのコントラストを検出する。検出装置の最高分解能は 5mm に調整して用いた。この分解能は移動機械がランドマークに追従し終えた際に達成されるものである。なお、素子間隔はマークエッジから離れるにしたがい粗くなるように配列してある。

また、実験装置全体の動力源はすべてロボットに搭載されたバッテリーを使用している。

### 3. 追従方式

#### 3.1 移動機械の運動とランドマーク追従制御

ランドマーク追従制御にあたって、まず移動機械の運動を考える。2. で述べた実験装置を図 6 のようにモデル化する。ここで走行速度を一定であると仮定すれば、その運動方程式は重心に対する回転と進向方向に垂直方向の 2 自由度を考えればよい。座標系、及び各記号を以下のように定めれば各自由度についての運動方程式は(1), (2)式となる<sup>14)</sup>。

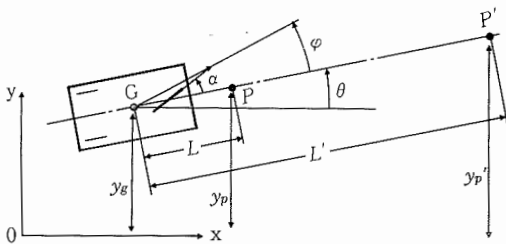


図 6 実験装置のモデル化

- x: コース方向の座標
- y: コースと垂直方向の座標
- M: 移動機械の質量
- I: 重心を通る鉛直軸まわりの慣性モーメント
- V: 走行速度

- $\theta$ : 移動機械の中心軸の方位角
- $\psi$ : 移動機械の進行方向
- $\alpha$ : 前輪の操舵角
- $\beta_f, \beta_r$ : 前輪, 後輪の横すべり角
- $K_f, K_r$ : 前輪, 後輪のコナリングパワー
- $l_f, l_r$ : 重心から前後車輪軸までの距離

$$MV \frac{d\psi}{dt} = K_f \beta_f + K_r \beta_r \quad \dots\dots(1)$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = K_f \beta_f l_f - K_r \beta_r l_r \quad \dots\dots(2)$$

ただし、

$$\beta_f = \theta + \alpha - \psi - \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} \quad \dots\dots(3)$$

$$\beta_r = \theta - \psi + \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} \quad \dots\dots(4)$$

である。

マーク追従の制御方法としては移動機械がコースずれ(図 6 において x 軸,  $y=0$  を追従すべきコースとすれば重心位置  $y_g$ , 及び姿勢角がそのまま位置誤差と姿勢角誤差となる)を一定時間計測し、それにもとづいて操舵角を時間関数として与える方式も考えられるが任意の誤差に応じるためには制御アルゴリズムが複雑になる。また、コースずれを位置誤差  $y_g$ , 姿勢角誤差  $\theta$  と分解して個別に操舵角を時間関数として与え、制御するにしてもその組み合わせでは必要とする精度でマークへ追従するまでの走行距離が長くなると予想される。そこで従来、自動車の制御について指摘されている前方注視点の誤差<sup>14)</sup>にもとづき操舵する方式を採用した。すなわち移動機械の中心軸上で重心から L 前方の点 P のコースからの変位  $y_P$  をフィードバックする。 $y_P$  は次式で計算される。

$$y_P = \int v \phi dt + L\theta + y_{Ps} \quad \dots\dots(5)$$

ここで添字 s は初期値を表わす。制御の目標は移動機械をコースに沿わせること、すなわちコースからの重心の位置誤差、本体の姿勢角誤差をゼロにすることである。

まず、(1)~(5)式をラプラス変換し、 $\psi, \theta, \alpha$  のラプラス変換を  $\Phi, \Theta, A$  とする。そして  $\Phi/A = G_\psi, \Theta/A = G_\theta$  と書き、操舵角サーボ系の伝達関数を一次遅れ  $G_s = \frac{K_s}{1+T_s S}$  と仮定すれば制御系は

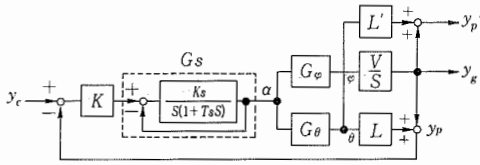


図7 操舵制御ブロック図

図7に示すようになる。ただし、 $G_\phi$ 、 $G_\theta$  は次式である。

$$G_\theta = \{MVK_f l_f S + K_f K_r (l_f + l_r)\} / \Delta S \dots\dots (6)$$

$$G_\phi = \{K_f I S^2 - \frac{K_f K_r (l_f^2 - l_r^2)}{V} S + K_f K_r (l_f + l_r)\} / \Delta S \dots\dots (7)$$

ここで

$$\Delta S = [MVIS^2 + \{I(K_f + K_r) + M(K_f l_f^2 + K_r l_r^2)\}S + \frac{K_f K_r (l_f + l_r)^2}{V} - MV(K_f l_f - K_r l_r)]S \dots\dots (8)$$

である。

ランドマークへの追従特性の良さととはランドマーク検出開始点から短い走行距離でコースずれを許容値以下にすることである。このときの走行距離を追従距離と呼ぶことにする。なお、移動機械のマーク進入にあたってはここで対象とする直線コースでのマーク間のわたりを考えてみても明らかのように位置誤差に比較して、姿勢角誤差ははるかに小さくなければならないため、以下の検討ではマーク進入条件として姿勢角誤差は与えず、主要となる位置誤差のみを考えることとする。

そこで追従性の検討のため、重心位置変位 $y_G$ にステップ入力为目标値として与えた場合、前方注視点距離 $L$ の追従距離に及ぼす影響の数値計算を行った。追従動作の評価としてはP点に準じて移動機械中心軸上、重心から $L'$ の位置に点P'を想定し、一定走行距離にわたるP'の位置誤差の絶対値の平均値がある許容値以下になるまでの走行距離 $l$ を用いた。さらにP'の位置誤差 $y_{P'}$ が許容値内に収った後の安定性も考慮するため、一定走行距離 $l_0$ にわたって位置誤差 $y_{P'}$ の絶対値を積分したものも用いた。ここで評価の指標としてP'の位置誤差を採用した理由はマークからマークの渡り考えたとき、次のマークへ到達時の位置誤差が重要

でこの評価指標がその初期値となるからである。PのかわりにP'を使用したのはLの変化による影響を検討するためである。用いた評価式は次式である。

$$l + \int_0^{l_0} |y_{P'}| dx$$

重心点の位置 $y_G$ 、目標コース $y_C$ 、P及びP'各々の位置誤差 $y_P$ 、 $y_{P'}$ のラプラス変換を $Y_G$ 、 $Y_C$ 、 $Y_P$ 、 $Y_{P'}$ とし、 $(Y_C - Y_P)KG_s = A$ 、 $Y_G = \frac{V}{S}\Phi$ 、及び(5)式のラプラス変換から、

$$Y_G / Y_C = \frac{KG_s G_\phi \frac{V}{S}}{1 + KG_s (\frac{V}{S} G_\phi + LG_\theta)} \dots\dots (9)$$

$$Y_{P'} / Y_C = \frac{KG_s (\frac{V}{S} G_\phi + L' G_\theta)}{1 + KG_s (\frac{V}{S} G_\phi + LG_\theta)} \dots\dots (10)$$

となる。

数値計算のための諸元は表1を用いる。数値計算にあたっては誤差の許容値として目標値の1%を与え、P'の位置誤差の平均を求めるための走行距離 $l_0$ は1mとした。計算結果を図8に示す。図は $V=0.5\text{m/s}$ の場合、制御パラメータ $K$ 、 $L$ に対する追従距離を示す。図から $K$ 、 $L$ のある領域では系が安定となることがわかる。またその安定領

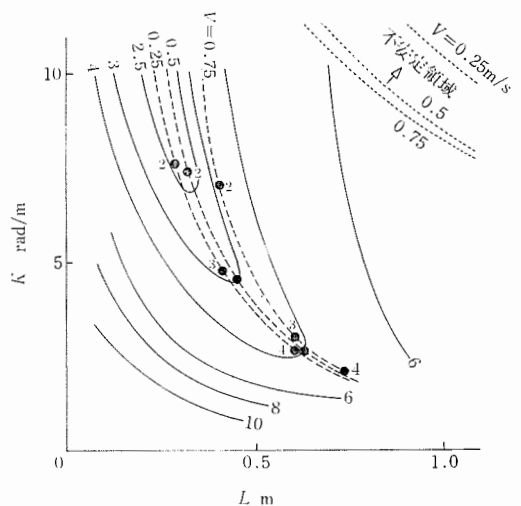


図8 制御パラメータと追従距離 (数値計算)

域内で  $K$  を固定し,  $L$  を変化させるとそのときの  $K$  に応じたある値で追従距離が極小となることも判明する. これは  $L$  が小さい場合は応答が振動的でオーバーシュートが大きく, 整定するまでに時間がかかり, 一方  $L$  が大きすぎるとオーバーシュートは少なくなるが目標値への収束が遅くなるためと考えられる. このことは  $L$  を固定し,  $K$  を変化させた場合にもいえる.  $K$  が大きい場合も  $L$  の場合と同様, 操舵角が振動的となり, 系は不安定になる. 図中の破線はこうした極小値を結んだものを示している. その最小値は 2m 前後である. 図には 3 種の方法についてこの破線を示している. 速度の変化に伴い, この破線の位置は多少変化する. すなわち, 右下がりの傾向は変わらないが走行速度が小さくなるにしたがい, 破線の位置は左側に移動する. しかし最小値はほぼ同一の値 ( $K=7\text{rad/m}$ ,  $L=0.4\text{m}$  の時) を示す.

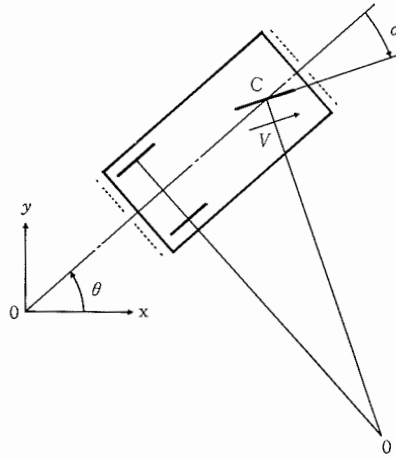


図 9 モデルの簡単化

コースを  $y=0$  と考え, 次式で行う.

$$\alpha(t) = k\{y(t) + \theta(t)\} \quad \dots\dots(14)$$

追従制御は以下の手順で行う. まず, 移動機械前後のマーク検出用の各センサ (図 9 の黒点列) でのマークの有無を調べ, コースからのずれ,  $y$ ,  $\theta$  を求める. 次に (14) 式で  $\alpha$  を決定し, (11)~(13) 式でロボットの姿勢及び位置を求める. 計算の時間刻みは軌跡の収束性から 0.025sec を選択した. 以後この操作を繰り返す.

追従動作の評価は 3.1 のモデル化した場合に対して行った. なお, ここでのシミュレーションにおいてもマーク進入条件として姿勢角誤差をもたない場合に限定した. 誤差を平均する走行距離は 1m, 誤差の許容値は 0.2m とした. 制御パラメータは 3.1 でほぼ最小の追従距離を与える  $K$ ,  $L$  の付近で選び, マーク進入条件として  $\theta_s=0$ ,  $y_s$  を 4 種与えてシミュレーションを行い, 最長の追従距離を求めた. 計算にあたっては  $L'=10\text{m}$  とした.

結果は図 10 に示すとおりである. ディスクリートの誤差検出のため, 結果にばらつきが見られるが  $K$ ,  $L$  に対する追従距離の変化の傾向は 3.1 と同様, 破線のように極値をとるところが存在し, 右下がりの傾向を示す. しかし最小追従距離が  $K=5$ ,  $L=0.2$  付近で, 数値計算に比較して  $K$ ,  $L$  の小さなところで得られる点が異なる. この原因は慣性力を無視しているため, 3.1 のごく低速の

### 3.2 実験装置にもとづくシミュレーション

3.1 で述べた追従性の検討では移動機械をある程度理想的に扱ったもので, 実用面からはさらに実験装置に即した検討が必要と考えられる.

まず, 移動機械のコースずれの検出は経済的, 物理的な要因から現実的には量的かつ時間的に連続しては行えず, ディスクリートの検出となる. また, ここで対象としている移動機械の速度は人間の歩行速度程度の低速度であるため, 走行軌跡に及ぼす慣性力の影響は小さいと考えられる.

以上の点を考慮して移動機械の運動については慣性力, 車輪のすべりを無視し, 幾何学的な関係で走行軌跡が定まるとした実用的なモデル化を行った. すなわち, 図 9 に示すように操舵角を  $\alpha(t)$  とすれば, 移動機械は O 点を瞬間回転中心とする円弧運動を行う. さらに操舵角の座標を ( $x(t)$ ,  $y(t)$ ), 本体の姿勢角を  $\theta(t)$  とすれば, それらは以下のように求まる.

$$\theta(t) = \theta_s + \frac{V}{L} \int_{t_s}^t \sin \alpha(t) dt \quad \dots\dots(11)$$

$$x(t) = x_s + V \int_{t_s}^t \cos\{\theta(t) + \alpha(t)\} dt \quad \dots\dots(12)$$

$$y(t) = y_s + V \int_{t_s}^t \sin\{\theta(t) + \alpha(t)\} dt \quad \dots\dots(13)$$

ただし, 添字  $s$  は初期条件を示す. 操舵角は目標

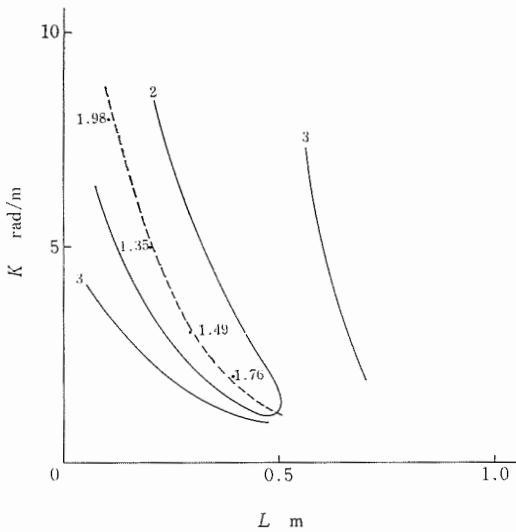


図 10 制御パラメータと追従距離(シミュレーション)

場合に相当すること、ランドマーク検出が連続ではなくディスクリートであるため、追従距離を定める評価が 3.1 の場合と同一に行えないこと、連続的に誤差検出を行い操舵する場合に比較して操舵角をある時間間隔で与えるため安定性がそこなわれていることにあると思われる。

3.3 追従実験

本方式の実用性確認のため 2. で述べた実験装置のマーク追従特性を調べた。実験は幅 15cm の白色テープ上に  $y_s=0.05, 0.1, 0.15m$ ,  $\theta_s=0$  となるように移動機械を設置して走行を開始し、一定速度に達したと思われる地点で追従制御を始め、その時点から前後のランドマーク検出装置の中央にランドマークが検出されるまでの走行距離を追従距離として求め、同時に操舵角変化を測定する。ここで追従距離をこのように定義した理由はセンサのランドマーク検出位置がディスクリートであるため、ランドマークに最良に追従した後はセンサの分解能を越えるまで誤差が増大したときにはじめてセンサがそれを検知し、フィードバックがかかり、以後の応答が最良位置のま

わりに振動的になるからである。制御用アルゴリズムは 3.2 のシミュレーションと同一のものをを用い、パラメータ  $K, L$  は 3.2 の結果から最小追従距離を与えると予想される  $K=5rad/m, L=0.2m$ , 及び  $K=5, L=0.4, K=7, L=3$  を用いた。最小追従距離が得られた  $K=5, L=0.2$  のときの操舵角のシミュレーションと実機の場合との比較を図 11 に示す。図 12 に初期条件  $y_s$  に対する追従距離を両者の場合の比較として示す。図のように実験値

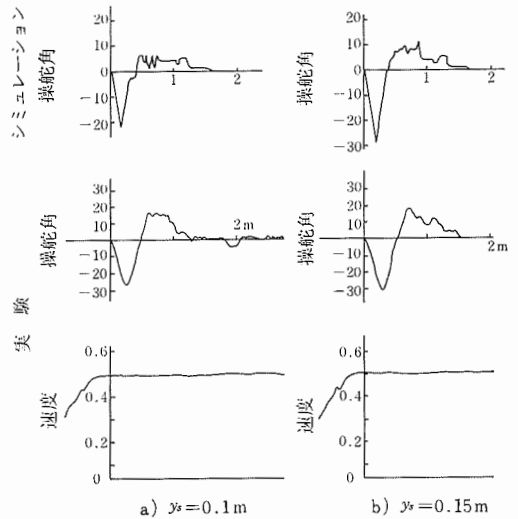


図 11 シミュレーションと実機による追従実験時の操舵角の比較  $K=5, L=0.2$

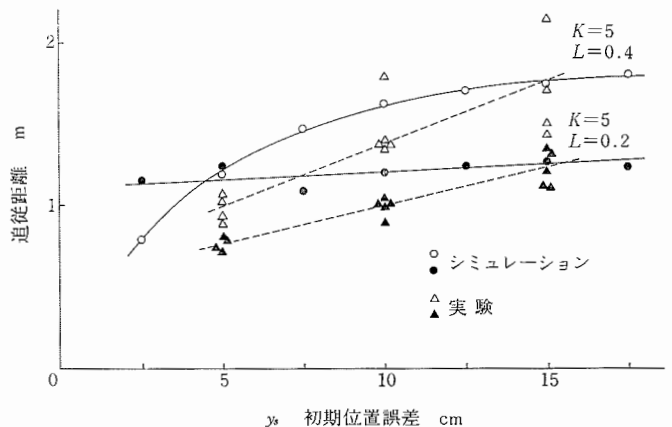


図 12 初期位置誤差に対する追従距離



は多少のばらつきはあるにしてもシミュレーションとほぼ一致していることがわかる。なお、実際のランドマーク追従においてはランドマークの端面からの進入となるため、後方のランドマーク検出装置の出力がランドマーク進入の初期時点で得られず、追従に要するランドマーク長さは前後検出装置の間隔に応じてさらに余裕をとる必要があり、実験によれば本実験装置で2.5mで十分であることを確認している。

### 3.4 ランドマーク敷設間隔

ここで提案したランドマークを用いた誘導では移動機械の走行軌跡再現性の精度とランドマーク追従時の姿勢角精度を高めてランドマーク間隔を広げ必要個数を減らすとともに追従距離を短縮してランドマーク長さを短縮することが好ましい。ランドマークの渡りに重要な次のランドマークに到達時の位置誤差は路面の影響を無視して考えればランドマークからのスタート時における位置、姿勢誤差にもとづくものとランドマーク間走行時の操舵角制御誤差が走行に伴って積算されることによるものの2つからなる。後者は数値計算から走行距離の約1.7乗に比例することがわかり、また操舵角制御に用いられるエンコーダの分解能に依存する。この誤差は、通常使用可能な10ビット程度のエンコーダの場合はかなり大きいものと予想される。しかし、実測結果によると図13のよう

にはるかに小さい。この理由は理想的な平坦路走行を仮定すれば、操舵軸制御はその分解能内で指令値の左右にばらつきを生じ、誤差が打ち消されるためと考えられる。また、前者のスタート時の誤差にもとづくもののうち、位置誤差はランドマーク追従完了時にはかなり小さいことから省略することができる。したがって次のランドマーク進入時の位置誤差は初期姿勢誤差と走行距離の積で評価できることになる。そこでこの値がランドマーク検出装置の検出域内に入るようにできればランドマークの渡りによる誘導が実現できる。すなわち、ランドマーク敷設間隔はランドマーク検出装置の分解能とランドマークへの追従精度によって定まり、一方、その分解能まで移動機械の姿勢角を正しく制御するのに要するランドマーク長さは操舵駆動機構と制御アルゴリズムで決定することになる。本報告の例では姿勢角検出分解能0.01 rad, 検出幅0.27mである。したがって安全率を考え、検出幅を半分の0.135とすればランドマーク間隔は約13.5mは可能となる。なお必要となるランドマーク長さは約2mである。

## 4. 結 論

移動機械の誘導法のひとつとして通路の要所に目印となる簡単なランドマークを敷設し、これを誘導に使用する方法を提案した。この際、基礎的な問題となるランドマークへの追従方式について移動機械前後でコースずれを検出し、前方注視点の考え方をを用いた方式でランドマーク追従特性を数値計算、及びシミュレーションによって検討した。さらに本方式の実現可能性を実験装置を用いて確認した。また、それに関するランドマーク追従特性の実験からランドマーク設置に重要である操舵軸制御パラメータとランドマーク追従特性の関係について基礎的データを得ることができた。

なお、本方式は機械技術研究所で計画している盲導犬ロボットへの応用を考えているものであるが、工場内の物品搬送用移動機械の誘導にも適していよう。

最後に本研究の推進にあたり、日ごろ貴重な御教示をいただいた機械技術研究所曾田長一郎機械

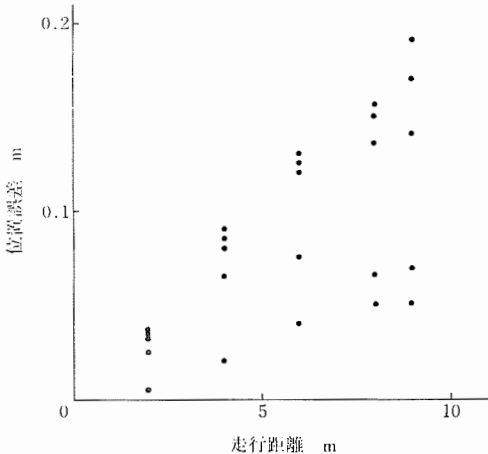


図 13 走行距離と位置誤差

部長，機械部メカニズム課の諸氏，特に実験装置の製作及び実験に御協力いただいた旧研修生，細田裕司，中島英博，松田啓，朴浩相の諸氏に謝意を表する。

発表：計測自動制御学会，第17回学術講演会

1978年8月25日

原稿受付：1982年4月22日

- 1) L. Kay : Ultrasonic spectacles for the blind, Proc. Int. Conf. on sensory devices for the blind, St. Dunstons, London (1966).
- 2) L. Russell : Evaluation of mobility aids for the blind, Pathsounder Travel Aid Evaluation, Nat'l Acad. Eng., Washington, D.C. (1971).
- 3) J.M. Benjamin Jr., T.A. Bolgiano and E.D. Meeks Jr. : A laser cane for the blind, Digest 7th Int. Conf. on Med. and Biol. Eng., Stockholm (1967).
- 4) G. Jansson and B. Schenkman : The effect of the range of a laser cane on the detection of objects by the blind, Report 211, Univ. of Uppsala (1977).
- 5) S. Duvall : Detection characteristics of the Mowat Sensor, Long Cane News, X, pp. 31-44 (1977).
- 6) A. G. Dodds et al. : The Nottingham Obstacle Detector : Development and Evaluation, J. of Visual Impairment & Blindness, 75-5 pp. 203-209 (1981).
- 7) 館ほか：人と一定間隔を保つ移動ロボット制御の方式，バイオメカニズム4，pp. 279-289 (1978).
- 8) 館ほか：ランドマークとマップを用いる移動機械の誘導法，バイオメカニズム5，pp. 208-219 (1980).
- 9) たとえば，  
N. J. Nilsson : A Mobile Automation : An Application of Artificial Intelligence Techniques, Proc. of Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (1969).  
A. M. Thompson : The Navigation System of the JPL Robot, Proc. of 5th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (1977).  
野崎：自動車の安全走行のためのパターン認識技術，計測自動制御学会誌，12-6 pp. 471-482 (1973).
- 10) L. E. Floryet al. : Electronic techniques in a system of highway vehicle control, RCA Rev., Vol. 23, pp. 293-310 (1962).
- 11) R. E. Fenton et al. : One approach to highway automation, Proc. IEEE, Vol. 56, Apr (1968).
- 12) 米倉ほか：光学誘導形地上搬送ロボット「ホイバーサ」の開発，日立評論，Vol. 57, pp. 23-28 (1975).
- 13) 富沢ほか：移動式点検装置の制御方式，第2回ビークルオートメーションポジウム講演論文集，pp. 25-26 (1979).
- 14) 近藤：基礎自動車工学 後期編，養賢堂 (1967).