

## 視線可動型センサを用いる自律移動機械の移動制御

(機械技術研究所) 舘 暲・小森谷 清・谷江 和雄  
大野 武房・阿部 稔  
(日立製作所) 細田 祐司

### 1. はじめに

機械技術研究所では、昭和 52 年度から 6 年計画で盲導犬を 1 つのモデルとした歩行誘導機械の研究を行っている。

従来の超音波眼鏡<sup>1)~3)</sup>やレーザー杖<sup>4),5)</sup>などの盲人用の歩行補助装置においては、外界に関する情報についての情報処理はほとんど行なわれず、センサの出力がほぼそのままの形で盲人に提示され、その解釈はすべて盲人に委ねられている。したがって、歩行に際して常時注意をその信号に集中する必要が生じている。つまり残存感覚機能にのみ集中した際の歩行と、これらの装置を利用した歩行とを比較した場合、増加した情報によるメリットと残存感覚機能への集中度がその分減ったデメリットとを総合すると、必ずしも大きな助けとはならない問題があり、広く利用されるには至っていない。

人間・機械系の設計の立場からすれば、機械の側の情報処理能力を高め、複数の検出器からの障害物に関する信号を処理して、機械としての認識や判断を行なうことが望ましい。また、できるだけ自律性をもたせて、誘導に関する情報も機械が得て利用できるようにすべきである。その使い方としては、盲人は自分の意志を機械に伝えておけば、その後は機械のことは忘れて自分の残存感覚機能に集中して行動できる。盲人の行動判断が機械の行動判断と一致している場合には、盲人は何らの制約や干渉を機械から受けることはない。自分の行動が機械の判断と違った場合にのみ、機械からその旨の警報を得る。その段階でその機械を従来の杖の延長のごとく利用して外界の状況を盲人が把握しなおい、改めて盲人の判断で次の行動を起こせばよいのである。

このような、いわゆる Supervisory System としての歩行誘導装置は、1 つの設計目標であり現存してはいない。著者らは盲導犬を利用する際の人と犬との関係が、このタイプの人と機械との関係に類似していることから、盲導犬を 1 つのモデルとした Supervisory System 型の歩行誘導機械(盲導犬ロボット)の研究に着手した<sup>6)</sup>。

前々報においては<sup>6)</sup>、超音波の測定機構により、ロボットが盲人の位置を知り、盲人の速度に合わせてロボット自体の速度を調整し、盲人の前方 1 [m] の間隔を保つ制御と、盲人があらかじめ設定された許容領域外にコースずれを起こした際に電気刺激を利用して盲人にそのことを伝える機能を実現し報告した。

前報においては<sup>7)</sup>、路上の交差点などの要所にランドマークと呼ぶ目印を離散的に敷設し、機械内に記憶したランドマークに関するマップを利用して、盲人の命令を解読しながら、先導する方式を提案し、その可能性をシミュレーションと実験ハードウェア(MEL-DOG MARK II)を利用した屋外実験とにより示した。その利用法には、逐次指令モードと自動誘導モードの 2 つがある。すなわち、前者の場合には歩行の主導権は主人(盲人)がもち、ロボットに有線のスイッチ操作で指令を与えて先導させる。ロボットは交差点ごとのランドマーク上でいったん停止し位置修正を行ない、主人からの次の指令(直進、右折、左折、停止)を待ちそれに従う。後者の自動誘導モードでは、与えられた出発地と目的地のコードから、動き始める前にそこまでの最適経路をマップにより決定し、その経路に従って誘導する。その際やはり分岐のある交差点では停止するが、それは主人からの進行方向指令を待つためのものではなく、そこが交差点であることや次に進むべき方向をあらかじめ主人に知らせておいて主人がロボットに追従しやすくするためのものであった<sup>7)</sup>。

さて、前報までに報告したランドマークは、長さ 2.5 [m]、幅 15 [cm] の白色の帯状のマークで、機構のコース再現性の精度と路面の状態による外乱から、ランドマークは交差点以外にも 10 [m] 程度の間隔で補助的に設置する必要がある。

実際に利用する場合には、道路に対する投資は少なければ少ないほど望ましく、ランドマークは交差点にのみとどめ、その間は路肩など実際の路上にある目標をランドマークとして走行することが望ましい。

本報告では、そのための基礎的検討として、半導体カメラなどの視覚センサにより道の路肩を捉え、路肩にならってロボットを制御し走行する方式を提案する。

その方式をグラフィックシミュレーションで検証するとともに、CCD カメラと首振り装置からなるハードウェアを試作し予備実験を行なった。

## 2. 路肩に関する視覚情報を用いるロボットの走行コース制御

### 2.1 方法

ロボット上に搭載したテレビカメラなどの検出器を用いて、道に関する情報を得る。それをもとにできるだけ簡単な処理によって道の路肩（道と道以外の部分との境界）を検出し、それとロボット自体との相対的な位置関係を求める。次に路肩から一定距離離れて路肩と平行な追従ラインを仮想的に考え、ロボットがその追従ラインに沿って走行できるように、ロボットの操舵角を制御する方法である。

具体的には図1に示すように、ロボットが走行コースの境界（路肩）に向かってある角度  $\varphi_R$  をもって  $y_R$  だけ離れているとする。図中の台形の領域が、ロボット上のテレビカメラ等のセンサが探索している視野で

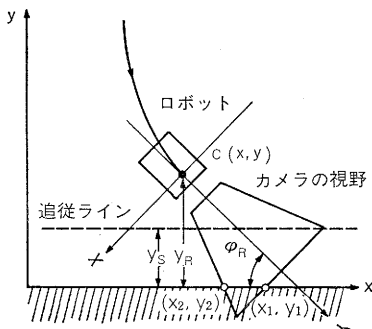


図1 視覚センサ情報による路肩への追従。

ある。その台形状の視野の4つの辺と道の路肩との交点の座標  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$  を、3.4に詳説する方法で測定し、それから、 $\hat{\varphi}_R$  と  $\hat{\vartheta}_R$  とを次式により推定する。

$$\begin{cases} \hat{\varphi}_R = \tan^{-1} \frac{X_2 - Y_1}{Y_1 - Y_2} \\ \hat{\vartheta}_R = X_1 \cos \hat{\varphi}_R + Y_1 \sin \hat{\varphi}_R \end{cases} \quad (1)$$

$\tau$  時間ごとに測定を行ない、その時刻における  $\hat{\vartheta}_R(t)$  と  $\hat{\varphi}_R(t)$  を用いて次式により、ロボットの操舵を行なう。すなわち  $\theta_S(t)$  を時刻  $t$  における操舵角として、

$$\theta_S(t + \tau) = K_1 \hat{\varphi}_R(t) - K_2 (\hat{\vartheta}_R(t) - y_S) \quad (2)$$

また、ロボットが大きくカーブを切るときには、追従制御の安定性を増すため、操舵角の変化に応じて速度を減じる。

$$v(t + \tau) = \frac{v_i}{1 + K_3 (\theta_S(t + \tau) - \theta_S(t))} \quad (3)$$

なお、 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  としては2.2のシミュレーションにより、境界を発見した後、なるべく短距離で安定に追従ラインに追従するという意味での最適値を用いる。

さて、テレビカメラの見る範囲は、視角にして30度程度が割合容易に実現しやすい範囲であるが、それだけでは道が大きく曲がった場合には追従しきれない。

翻って人が自転車を運転して道を大きく曲がる状態を観察すると、曲がる方に首を振ってそちらを見ながら曲がって行く動作が見受けられる。

ロボットにおいてもカメラを固定しないで、その視線を左右に動かせるようにして、視野の拡大を行なうことができる。

図2のフローチャートにその具体的な戦略を示す。テレビカメラ等の見る視野としては、図3に示すように、正面、右側近距離、右側遠距離、左側近距離、左側遠距離の5つの視野が自由に選択できるようにしてある。

最初の探索動作はスタート時に行なわれ、静止状態で前述の5つの視野について路肩の有無を判定して、路肩を捉えた視野を使ったモードで走行し始める。いくつかのモードで路肩を捉えうる場合には、前方の視野を使ったモードからスタートする。もしも初期の状態でもどのモードでも境界が検出されなかった場合には、正面探索モードで直進し路肩の検出を試みる。1.5 [m] 前進した状態でも正面に路肩が検出できない場合には再び停止して左右方向を調べなおす。

さて、正面探索モードで路肩を検出した場合、路肩

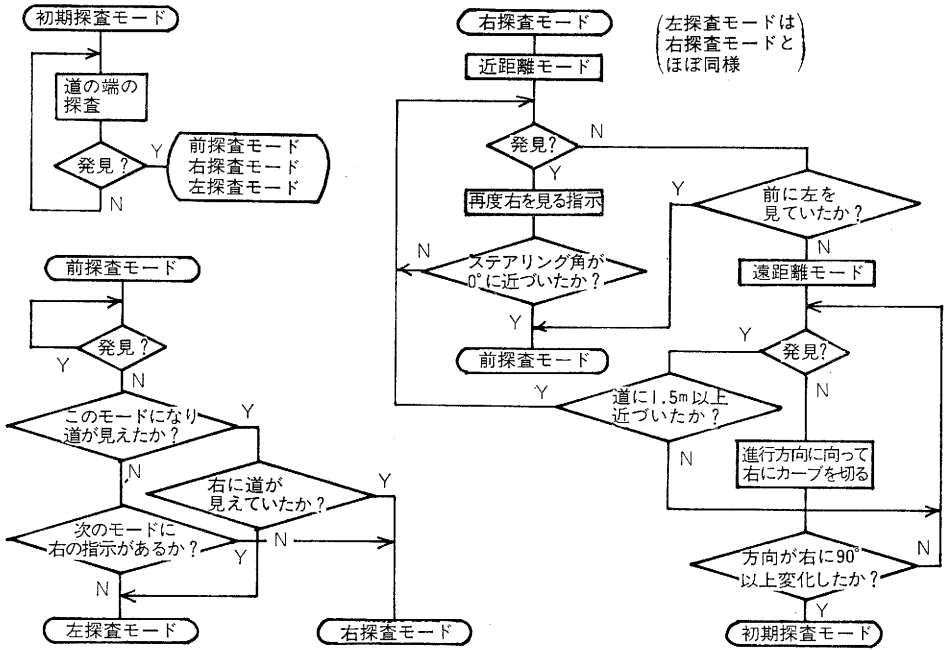


図2 路肩探索戦略のフローチャート.

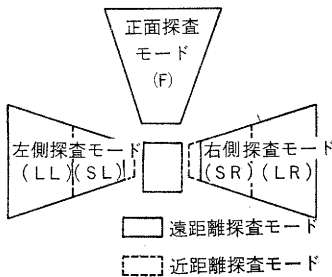


図3 首振り動作による視野の選択.

に追従しつつ、サンプル間隔ごとに姿勢角  $\hat{\varphi}_R$  をプログラム内に累積していく。この量の正負を調べることで、現在右手に境界を見て進行しているのか左手に見て進行しているのかわかる。したがって、正面探索モードで走行中に境界を見失った場合には、この累積された姿勢角の正負により、右に道を見ていた場合には右探索モード、左の場合には左探索モードへと移行する。

側面の視野を利用して走行している際にはロボットが路肩から 1.5 [m] 以内に近づいた場合には、遠距離から近距離に視野のモードを変えて検出精度をあげる。側面の近距離モードで路肩を検出しながら走行している場合には、現在までの過去  $I\tau$  時間の操舵角  $\theta_s$  の絶対値の合計、すなわち  $\sum_{t=0}^I |\theta_s(t-i\tau)|$  を刻々計算

し、それがある値  $\epsilon$  以内になった際には、安定に境界へ追従した状態であるので、正面探索による走行モードに戻る。

側面近距離探索による走行モードで路肩を見失った場合は、遠距離探索モードに移行するが、それでも検出できないときには現在見ている方向にカーブを切りながら走行し、検出の努力を続ける。カーブを切り始めたときの姿勢角に対して姿勢が 90 度変化するまでに路肩が検出されなかったならば、まったく目標を見失ったわけであるので停止して最初の探索動作に戻って全方向を探索する。

## 2.2 シミュレーション

移動ロボットとしては、前報の MELDOG MARK II<sup>7)</sup> (前輪駆動前輪ステアリング型三輪方式) を想定し、また走行コースに関してはテレビカメラによる路肩の識別が可能であると仮定して、直線およびなめらかな曲線状のコースへの追従についてシミュレーションを行なった。計算機としては DEC 社 PDP 11/40 およびそのグラフィックディスプレイ VT 11 を用いてシミュレーションした。

ロボットの走行軌跡は、 $H$  をホイールベース長 (前輪・後輪軸間距離)、 $\theta_t$  を操舵角、 $\varphi_t$  を姿勢角とする

と、ロボットの代表点  $C(x, y)$  の位置の軌跡で表わされ次式のように刻々と与えられる。

$$\alpha = \varphi_{t-1} - \frac{v\tau\theta_{t-1}}{2H}$$

$$\begin{cases} x_t = x_{t-1} + v\tau \cos \alpha \\ y_t = y_{t-1} - v\tau \sin \alpha \end{cases} \quad (4)$$

新しい姿勢角は、

$$\varphi_t = \varphi_{t-1} + \frac{v\tau\theta_{t-1}}{H} \quad (5)$$

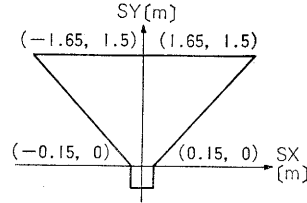
実際に使用したシミュレーションのパラメータは次のとおりである。

$H$ : ホイルベース	0.6 [m]
$W$ : ステアリング速度	90 [deg/sec]
$AP$ : 加速度	0.606 [m/sec <sup>2</sup> ]
$AM$ : 減速度	-0.571 [m/sec <sup>2</sup> ]
$CT$ : サンプル間隔	0.1 [sec]
$BT$ : 軌跡算出間隔	0.01 [sec]
$K_1, K_2$ : ステアリング角制御パラメータ	0.5~1.5
$K_3$ : 速度制御パラメータ	0~20
$y_0$ : 走行コースと追従コースの間隔	1 [m]
$E$ : 追従安定確認パラメータ	0.001~0.1

ただし、ステアリング速度は、操舵角  $\theta_s(t)$  を変化させるときの速度で、加速度  $AP$  と減速度  $AM$  は、速度  $v$  を変化させるときの加速度であって、すべて実際のハードウェアの実測に基づいている。

また、可動視野方式の良さを検証するため、固定視野方式も合わせてシミュレーションした。固定視野で可動視野と同一の狭い視野を利用した場合の結果はき

(a) 固定視野方式



(b) 可動視野方式

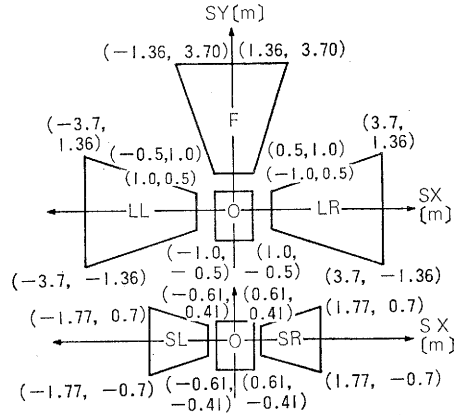


図 4 シミュレーションで使った視野の大きさ。

わめて悪いので、この場合の固定視野は理想的な広視野と仮定しており、その意味では現実的ではない。

図 4 (a)(b) に固定視野と可動視野の大きさを示す。可動視野の角度は、SY 軸方向に 30 度、SX 軸方向に 40 度であり、レンズの中心は地上高 1 [m] にある。したがって、俯角は近距離探索モードで 45

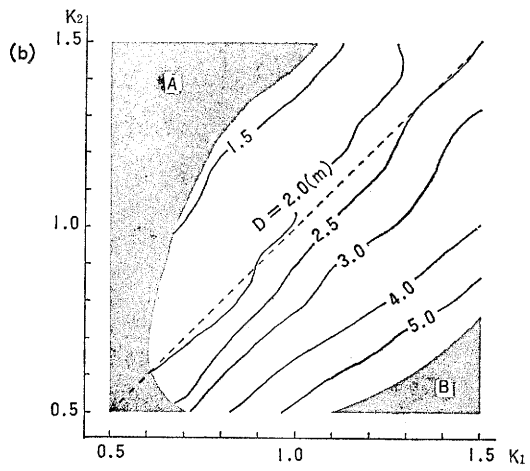
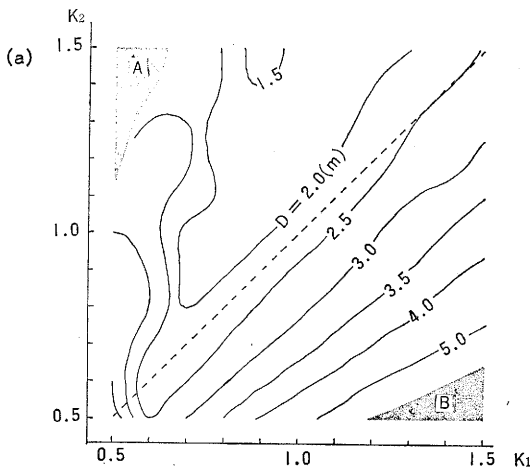


図 5 制御パラメータ  $K_1, K_2$  と追従距離  $D$  との関係。  
(a) 固定視野方式 (b) 可動視野方式

度，遠距離モードの場合 60 度となる．視野の回転に要する時間は 90 度の回転に 0.5 [sec]，遠近の切り替えに 0.1 [sec] を設定した．

シミュレーションの結果の定性的な評価は，ロボットの走行軌跡のグラフィック出力により行ない，定量的な評価は追従の誤差の評価基準として次式の値を使用して行なった．

$$E = |\varphi_R| + |y_R - y_S|$$

追従特性の評価は，ロボットが走行コースの境界を検出した地点から  $E$  が 0.1 [m] 以下になる地点まで走行した距離の  $x$  軸成分を用いた．なお，この距離  $D$  を追従距離と呼んでいる．

まず  $K_1, K_2$  に予備的に求めた安定に制御しうるパラメータ  $K_1=2, K_2=2$  を与え，種々の速度  $v$  と進入角度  $\varphi$  に対する  $K_3$  の影響を調べると， $K_3$  が小さいところでは制御が不安定となるが  $K_3 \geq 10$  では安定となる．追従距離は  $K_3$  に対してはあまり大きく変化しない．

そこで以下のシミュレーションでは  $K_3=10$  に固定した．図 5 (a) (b) に固定視野と可動視野に対して， $K_1, K_2$  のパラメータと追従距離との関係を求めた結果を示す．図中の A の領域は，固定視野ではロボットの動作が不安定となり追従コースを逸脱してしまう範囲であり，可動視野においては一応追従はするものの動作が著しく不安定になってしまう領域を示す．また領域 B は  $D$  が 7 [m] 以上になる範囲で，実用上使用不能の領域である．A の領域でも一応追従はできることほかに，図 5 の  $D$  の値からも固定視野としてはほぼ理想的な広視野をもつ方式と比べても，可動視野方式の特性の良さがわかる．

最適パラメータとしては A に近づくほど  $D$  は良くなるが，ある程度のパラメータの変動に対する余裕をみ

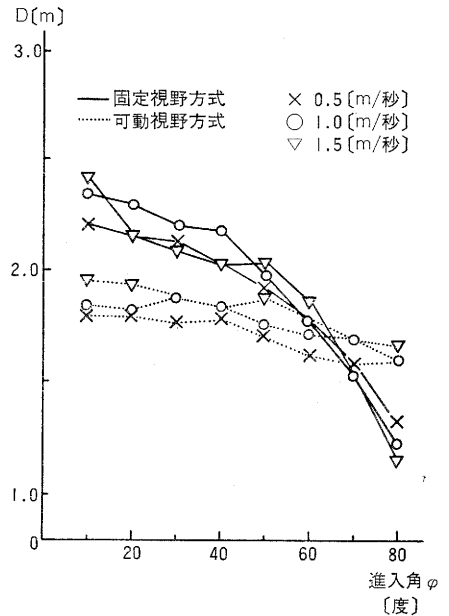


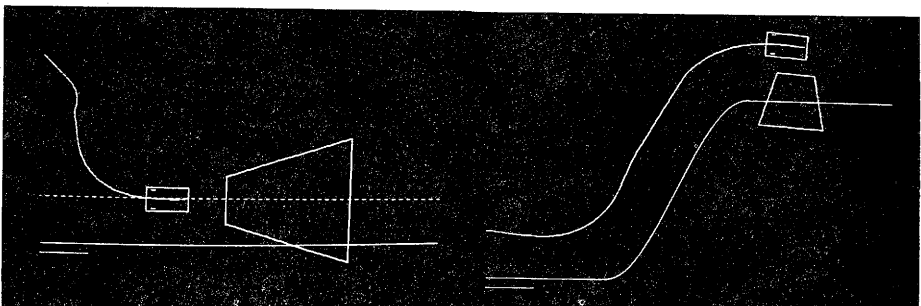
図 6 進入角と追従距離の関係．

て， $K_2=K_1$  軸上に求めた．その  $K_2=K_1$  軸上で  $D$  を最小とするパラメータとして， $K_1=K_2=0.75$  を採用した．なお，図 5 の結果は，進入角度を 45 度，走行速度を 1 [m/sec] に固定してあるが，他の角度や速度でもほぼ同一の傾向がみられた．

図 6 に，最適パラメータを利用して，進入角度の追従距離への影響について固定視野と可動視野に対して調べた結果を示す．

可動視野の  $D$  は， $\varphi$  によらずほぼ一定で，この意味でも可動視野は安定している．

図 7 にグラフィック出力の 1 例を示す．S 字型のカーブに対しても，正面探索モードと側面探索モードを使いわけ安定な追従を行なっているのがわかる．



(a) 直線への追従

(b) S字カーブへの追従

図 7 グラフィック出力の例．

### 3. 可動視野型路肩情報入力装置の試作

前述のシミュレーションにより、通常の視野を固定した方式に比べて、本報告で提案した視線の方向を変えながら路肩を検出しロボットを制御する方式が優れていることがわかった。しかしながら、実際にこの方式を移動ロボットに適用するためには次の2つの問題が解決されなければならない。

- (1) シミュレーションで示した視野をもつロボットに搭載可能なテレビカメラと、その可動視野装置がハードウェアで実現できることを示すこと。
- (2) そのテレビカメラを使って、シミュレーションで行なった時間内に実時間で路肩を検出する映像信号処理の行なえること。

それらの実現可能性を調べるために、可動視野型路肩情報入力装置を試作した。この試作装置は、テレビカメラとしては車載可能にするため、CCD 半導体カメラ (CCD : Charge Coupled Device) を用いて軽量化と省電力化を図っている。また、視野を可変にするための首回転装置と遠近を見分けるための鏡駆動装置を試作して、可動視野の実現可能性を示した。

さらに、画像処理については中枢サブシステムとは別に、マイクロプロセッサを内蔵した専用視覚情報処理装置を利用する方式を試みた。この専用処理装置には、そのメモリ内に CCD カメラからのデータを直接書き込めるという特徴をもたせ、処理の高速化を図っ

ている。

図8にシステム全体の構成を示す。CCD カメラで捉えられた画像の映像信号は、映像信号前処理装置で増幅され、量子化されて、ビデオバッファに記憶される。ビデオバッファと日立製マイクロコンピュータ H 68/TR はバス上で結合されており、H 68/TR はバスを通じてビデオバッファ上で画像処理を行なう。モニタ装置は処理されたビデオバッファ内の画像と CCD カメラが捉えている画像を監視するためのものである。H 68/TR のバス上にある H 68/TV は、プログラム開発時には TV インタフェイスとして、また動作時には予備メモリとして働く。H 68/TR と LSI 11/02 は、H 68/TR のペリフェラルインタフェイスと LSI 11/02 のインタフェイスモジュール DRV-11 で結合され、16 ビットの並列データ転送を行なう。CCD カメラの視野を変化させる首振り装置は、LSI-11/02 によって直接コントロールされる。

#### 3.1 CCD カメラ

CCD カメラの撮像素子には、フェアチャイルド社の CCD 202 を使用した。CCD 202 の感光領域の横と縦のアスペクト比は 4 : 3 で、100×100 のアレイを構成している。信号電荷の転送用クロックは 2 相で自己走査型であり、得られた映像信号はそのクロックに同期してサンプルされ増幅される。その映像信号は交流結合増幅のために信号の大きさの変動により、そのゼロレベルが変動する。そこでブランキング期間中にゼロレベルをサンプルして、その値を減ずることによ

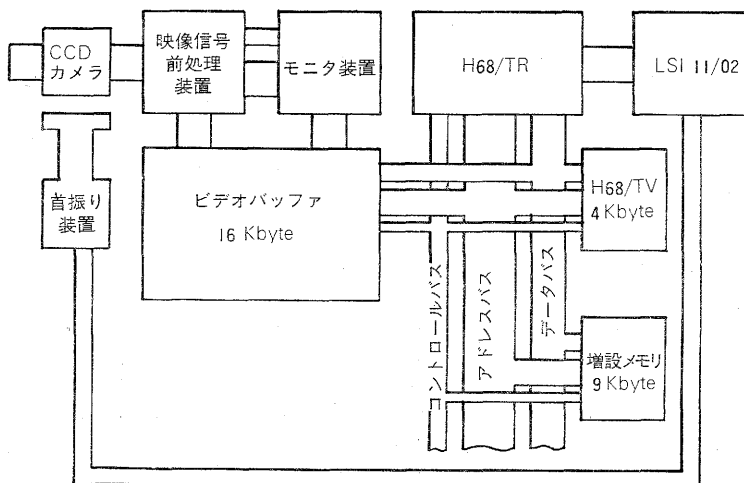


図 8 可動視野型路肩情報入力装置のシステム構成。

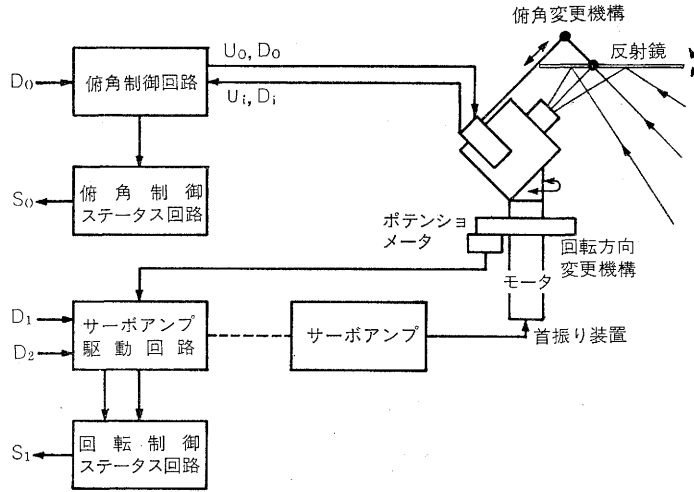


図9 首振り機構とその制御システム。

り、真のゼロレベルへの補償を行なった。

このようにして映像信号の変動に対して安定化された映像信号に対して、 $A/D$ 変換を行なう。映像信号は1画素当たり  $4\mu\text{sec}$  の余裕しかないため高速の変換が必要である。高速のコンパレータを8個用意し、各コンパレータに適当なリファレンスレベルを割り当て、並列に処理を行なった。その結果に対してエンコーダを利用して3ビットバイナリ信号としてビデオバッファに格納する。コンパレータレベルは自由に設定できるが、閾値操作をプログラムで行なうときには等間隔に、またハードウェアで行なうときは、このレベルを変化させて実時間で閾値操作が行なえる。

### 3.2 ビデオバッファ

処理の高速化を図るためビデオバッファを H 68/TR で直接ランダムアクセスできるようにした。すなわち H 68/TR からの指令によりビデオバッファは、H 68/TR の(通常アドレスでアクセスできる)メモリの一部となったり、カメラからのクロック信号に同期して映像信号を取り込んだりできる。

これらのモードは通常1回ごとに切り替えられる。すなわちまず H 68/TR によってアクセスされ、路肩検出などの画像処理が行なわれる。画像処理が終了すると新しい映像信号取り込みの開始指令をビデオバッファに出す。ビデオバッファは映像信号のタイミングを待ち適当なタイミングで画像を取り込む。取り込みが終了すると、終了信号を H 68/TR に送り、H 68/TR

はそれを見て、またモードをランダムアクセスに変え、新しい画像処理を行なう。H 68/TR はビデオバッファが新しい画像を取り込んでいる間にも、ビデオバッファを利用しない別の処理を行なうことができる。

### 3.3 首振り装置

首振り機構は図9に示すように、回転方向変更機構と俯角変更機構で構成されている。回転方向変更機構は、CCDカメラをギヤードモータ(減速比 308:1, 回転数 0.5回/sec)の軸に直結し、CCDカメラの視野方向を変更する。回転方向の制御はモータ軸の回転をダブルギヤで2/3に減速してポテンショメータに伝え、その検出位置をフィードバックして行なう。俯角変更機構は高速の切り替えを実現するため、CCDカメラを水平面に対して上方に45度傾斜させて取り付け、反射鏡により下を見るように視野の方向を変え、この反射鏡の姿勢角を変更して、視野の見通し距離を変更する。その際の反射鏡の姿勢角の変更は、メカニカルフリップフロップの構造をもつ俯角駆動ソレノイドを使って、反射鏡に固定したバーを引っ張ることにより行なう。

回転方向のサーボ位置は、前述のように正面、右側、左側の3位置があり、正面を中心に左右90度になっている。それぞれの位置に対応した基準電圧が駆動回路内に用意されており、LSI 11/02からの  $D_1$ ,  $D_2$  信号に応じて切り替えられ制御される。回転制御ステータス回路は変更機構の動作を監視するもので、全体と

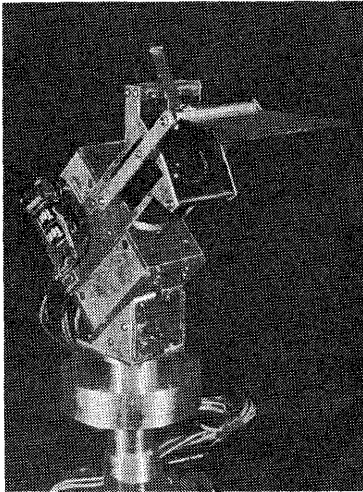


図 10 可動視野型路肩情報入力装置.

して 90 度回転を約 0.5 [sec] で実現している.

俯角制御回路は、俯角変更機構のソレノイドを駆動する回路である。俯角駆動ソレノイドは、 $U_0$  もしくは  $D_0$  のソレノイドコイルに瞬間的に電流を流し鉄心を引き込むか、または押し出す。鉄心の先はバネ仕掛けのメカニカルフリップフロップ機構になっているため、ソレノイドの電流を切ってもその位置を保持できる。鉄心の先にはスイッチも結合されており、それを調べることにより動作が確認できる。

俯角制御ステータス回路は、 $U_i$ ,  $D_i$  のスイッチ出力を 0.1 [sec] 遅らせて、鏡の静定を待っている。全体として約 0.1 [sec] で鏡の上下が完了する。

図 10 に試作した可動視野型路肩情報入力装置の概観を示す。

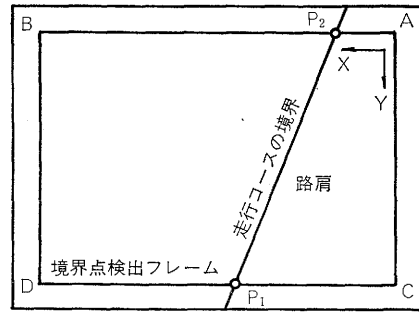
### 3.4 映像信号を用いる路肩の検出

路肩を検出する方法は一般的であればあるほど望ましいことはいうまでもない。しかし、実際にその情報を用いて走行制御を行なおうとすると、その処理に費やせる時間の制限条件をも加味する必要が出てくる。

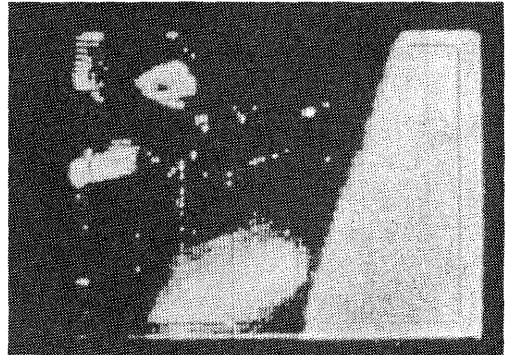
著者らの場合、シミュレーションの結果のハードウェアによる実現の可能性を確かめるために、シミュレーションで用いた 0.1 [sec] ごとに路肩と視野の境界との交点を求めるという制約を加えてある。

画像の取り込みに約 50 [ms] かかるため、その画像から路肩との交点を求めるために、H 68 に許された時間は約 50 [ms] である。

そこで次の条件を設けて、環境を限定した。



(a) アルゴリズム



(b) 適用例  
図 11 路肩検出.

- 1) 道路としては照明条件の一定した平らな室内とする。
  - 2) 路面は反射率の一定な、濃茶のプラスチック製タイル面とする。
  - 3) 路肩は白のケント紙で作る。
- 1)~3) の条件下で次のアルゴリズムで、路肩と視野の境界との交点  $P_1$ ,  $P_2$  を求める。
- I) CCD からの映像信号を取り込み用ハードウェアの A/D 変換のレベルを閾値として、ハードウェアで 2 値化してビデオメモリに取り込む (100 点×100 点)。
  - II) 図 11 (a) に示すような縦 92, 横 92 からなる境界点検出フレームを考え、これと走行コースの路肩との交点を求めることにする。
  - III) II) の詳細は、まず前回の探査で見つけた路肩の部分に含まれる境界点検出フレームの頂点から始めて、フレーム上を調査し、明るさが 1 の点の連続具合を調べてゆく。
  - IV) そのとき、0 が 1 つあるいは 2 つ並んでも、その後 1 が 3 個以上続けば、その 0 は 1 であるとみなして連続して長さを測定する。調査の



開始点が1であった場合には、例えば図11(a)の $X$ の方向を調べて、そちらの側の端点がわかった後に $Y$ の方向も調べてその合計の長さを求める。

- V) そのようにして求めた1の連続からなる線の両端点の座標を  $P_1(X_1, Y_1)$ ,  $P_2(X_2, Y_2)$  とし、その長さを  $l$  とする。その  $l$  と前に求めた  $l_{\max}$  と比べて (第1番目のときは  $l_{\max}=l$ ) とくらべ、 $l > l_{\max}$  であれば、 $l_{\max}=l$ ,  $P_1^{\max}=P_1$ ,  $P_2^{\max}=P_2$  とおく。 $l \leq l_{\max}$  であれば、変更しないでフレーム上で次の1の連続を探す。
- VI) 最終的な  $l_{\max}$  が  $l_{\max} \geq l_{\text{thres}}$  であれば、そのときの  $P_1^{\max}$ ,  $P_2^{\max}$  を路肩とフレームとの交点であると判断して、その座標を LSI 11/02 に送る。 $l_{\max} < l_{\text{thres}}$  であれば、検出不可能の信号を LSI 11/02 に送る。

図11(b)にその結果の1例を示す。右側に路肩が検出されている。このアルゴリズムは  $92 \times 4$  個のフレーム上の点しか相手にしていないため、処理時間は画面により異なるがどのような場合にも 50 [ms] 以内には終了する。

#### 4. 中枢サブシステムとその結合

前報で報告した試作ハードウェア MELDOG

MARK II に前述の可動視野型路肩情報入力装置を搭載した (図12)。

図13に全体の信号の流れを示す。タイミングは画像の1フレーム 52 [ms] が基準となっている。ビデオバッファには、CCDカメラから2値化用コンバータを介してデータが1フレームおきに送られてくる。

H 68/TR は、データ転送の終了をみて、3.4の方法により  $92 \times 4$  の点を調べ路肩とフレームの交点を検出する。ビデオバッファを利用しなくても、その後の処理が行なえる段階に達すると、ビデオバッファを CCD カメラのデータ入力モードにして、そちらにコントロールを移す。

それぞれ8ビットの  $(X_1, Y_1)$ ,  $(X_2, Y_2)$  が求めると、それらを DEC 社製 LSI 11/02 の DRV-11 パラレルインタフェイスを介して、 $X_i, Y_i$  あわせて16ビットとして2回に分けて転送する。転送後 H 68/TR はプログラムのイニシャライゼーションなどの後始末を行なう。

LSI 11/02 は、(1)式をテーブルを利用して計算し、(2)式と(3)式で制御量  $\theta_s$  と  $v$  を求め、その値を移動サブシステムに送る。また、路肩を検出できない状態が続いたり、側方モードで検出距離が 1.5 [m] 以内になるなど、首振り装置の駆動が必要になった場合には、その信号を首振り装置に送る。さらに停止が必要な場合にも、その旨移動サブシステムに伝

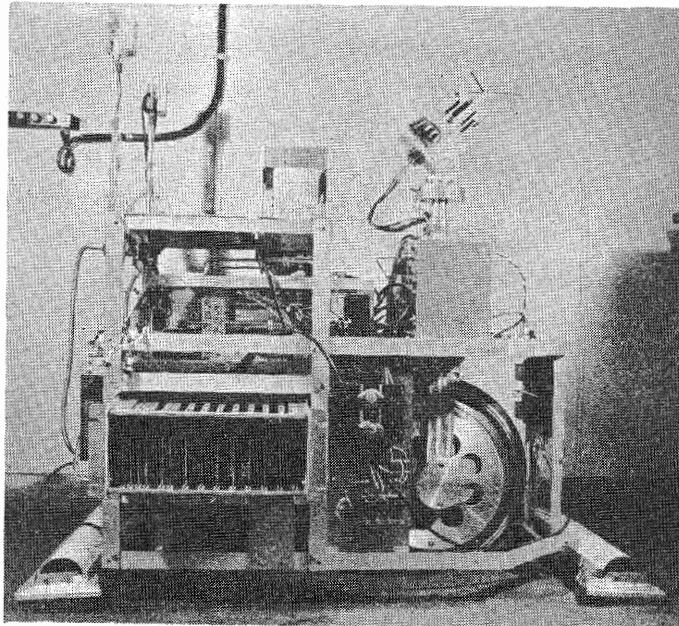


図12 可動視野型路肩情報入力装置を搭載した MELDOG MARK II.

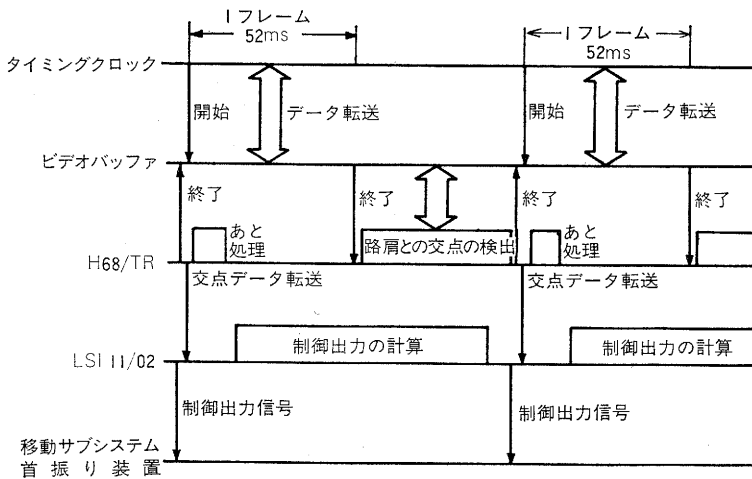


図 13 各サブシステム間の信号の授受と制御。

える。それらのすべてを行なうとしても十分 100 [ms] の許容時間内に収まる。

### 5. おわりに

路上に実際に敷設するランドマークの数を減らすことを目的として、テレビカメラを用いて路肩を検出しその情報に基づいて走行する方式を提案し、それをシミュレーションにより検証した。

また、実際にハードウェアを試作することにより、この方式の実現可能性を確かめた。

視覚センサを用いて路肩などの情報を求めて、走行する研究はいくつかあるが<sup>9)</sup>、視野を拡大して追従性能を上げるために首振り装置を利用した方式は他に例をみない。

さて、本方式における首振り装置などのハードウェア上の問題は解決しうることは、試作からも検証されたが、路肩を検出するためのアルゴリズムに関しては、処理時間の制約から室内で路肩がはっきりとわかる限られた環境に限らざるをえなかった。

路上に敷設されたランドマークとランドマークとの間の路肩の状態を、マップの形であらかじめ移動ロボットに記憶させておき、その情報を利用することなどにより、一般的な路肩を検出するアルゴリズムを開発してゆくことが、今後の問題である。

それについては、現在研究中であり、次の機会に報告したい。

### 謝 辞

本研究にあたり、絶大なご支援を賜った電気通信大学合田周平教授、早稲田大学加藤一郎教授、東京大学藤村貞夫助教授に謝意を表し、末筆ながら日頃多大のご支援をいただいている本研究所、清水嘉重郎システム部長、曾田長一郎機械部長、谷和男主任研究官をはじめとする諸兄に厚く御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) L. Russell ; "Evaluation of Mobility Aids for the Blind : Pathsounder Travel Aid Evaluation", *National Academy of Engineering*, Washington, D. C. (1971).
- 2) L. Kay ; "Sonic Glasses for the Blind—Presentation of Evaluation Data", *Research Bulletin of American Foundation for the Blind*, 26, (1973).
- 3) S. Duvall ; "Detection Characteristics of the Mowat Sensor", *Long Cane News*, 10, (1977), 31-44.
- 4) J. M. Benjamin Jr., T. A. Bolgiano and E. D. Meeks Jr ; "A Laser Cane for the Blind", *Digest of 7th International Conference on Medical and Biological Engineering*, Stockholm, (1967).
- 5) G. Jansson and B. Schenkman ; "The Effect of the Range of a Laser Cane on the Detection of Objects by the Blind", *Report 211*, University of Uppsala, (1977).
- 6) 館, 小森谷, 谷江, 大野, 阿部, 細田, 藤村, 中島, 加藤 ; 人と一定間隔を保つ移動ロボット制御の一方法, *バイオメカニズム* 4, (1978), 279-289, 東京大学出版会.
- 7) 館, 小森谷, 谷江, 大野, 阿部, 清水, 松田 ; 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, (1980), 208-219, 東京大学出版会.
- 8) 例えば, D. Guentri and L. Norton-Wayne ; "Automatic Guidance of Vehicle Using Visual Data", *5th International Conference on Pattern Recognition*, (1980), 146-148.
- 9) 細田 ; 視覚情報による盲導犬ロボットの誘導, 電気通信大学修士論文, (1979).