

マッチング・ファンド方式による産学連携研究開発事業研究成果報告書

歩行ガイドロボット実用化のための研究開発

研究開発プロジェクト総括研究成果報告書

平成13年5月

総括代表者 森英雄（山梨大学地域共同開発研究センター・センター長）

企業分担代表者 松本諒平（スズキ㈱横浜研究所・所長）

企業分担代表者 小林芳樹（日立製作所㈱日立研究所・技術主幹）

企業分担者代表者 基常篤史（日本システムウエア・山梨ITセンター・課長）

研究開発プロジェクトの背景・経緯と目的

1. **背景**：わが国の視覚障害者 30.5 万人の中で単独歩行できない 1 級 2 級の視覚障害者は 17 万人おり、その 8 割以上が中途失明者である。白杖を使って単独歩行出来る人は 3~4 万人といわれており、残りは介助者がいないと歩行できない人が、全く歩行しない人である。高齢化社会の進展により中途失明者が増加し、歩行支援システムの必要性は今後益々大きくなると思われる。
2. **経緯**：山梨大学では 10 年ほど前から視覚障害者を道案内する盲導犬ロボットの研究開発を行ってきた。学生が幾つかの重要な基盤技術を開発したが、その学生が卒業すると開発したシステムはそこで終わりになり、次に来た学生は最初から勉強するので技術の蓄積が鋸歯状になりシステムがなかなか完成しない。加えるに頻繁にコンピュータが改良され OS もバージョンアップするので、以前に学生が開発したシステムをインストールするのが難しくなる。また、ロボットの構成要素となるセンサやコントローラ、コンピュータ等を十数個買い集めて製作するのでコストが高くなり、接続に伴うトラブルも多くなる。そこで基盤技術を企業に提供し企業と共同研究で複数の構成要素を一つのシステムにまとめれば、低コスト化と信頼性向上がはかれて実用化できると考えた。一方、盲導犬ロボットの研究がテレビや新聞等で報道されるようになり、視覚障害者個人から早期の実用化を要望され、地域のロータリクラブ等から支援の申出を受けるようになり、早急に実用化の目途を得たいと考えた。平成元年から企業 10 社と「知能ロボットと画像応用研究会」を年に 4 ~ 5 回開き盲導犬ロボットの研究開発に関して勉強会を重ねてきた。これらの企業の中から 3 社が実用化のための共同研究に合意した。
3. **目的**：本プロジェクトの目的は、山梨大学で研究開発して来た歩行ガイドロボットを他大学と企業との共同研究で実用化することである。ロボットを車体部、画像誘導部、障害物検出部に分け、専用のハードウェアを企業が開発し、大学と企業の共同研究でソフトウェアを開発しそれをインプリメントして試作機を 20 台開発し、盲学校や盲導犬訓練センターの協力で視覚障害者によるフィールドテストを行い、その有用性を検証するとともに、製造コストとサービス・メンテナンスのコストを明らかにすることである。

共同研究組織

- ・ 総括代表者 森 英雄（山梨大学・地域共同開発研究センター・センター長）
- ・ 研究分担者 実吉 敬二（東京工業大学・アイソトープ総合センター・助教授）
- ・ " 小谷 信司（山梨大学・工学部・助手）
- ・ " 清弘 智昭（山梨大学・工学部・教授）
- ・ " 真田 日呂史（武蔵野美術大学・造形学部・教授）

- ・ 企業分担代表者 松本 諒平（スズキ㈱・横浜研究所・所長）
- ・ 研究分担者 沢田 直見（スズキ㈱・横浜研究所・第2グループ課長代理）
 - 〃 三橋 研二（スズキ㈱・横浜研究所・第2グループ係長）
 - 〃 梅実 祐一（スズキ㈱・横浜研究所・第2グループ係長）
 - 〃 伊藤 一朝（スズキ㈱・横浜研究所・第2グループ）

- ・ 企業分担代表者 小林 芳樹（日立製作所㈱日立研究所・情報制御第二研究部・技術主幹）
- ・ 研究分担者 村松 彰二（日立製作所㈱日立研究所・情報制御第二研究部・研究員）
 - 〃 大塚 裕史（日立製作所㈱日立研究所・情報制御第二研究部・企画員）

- ・ 企業分担代表者 基常 篤史（日本システムウエア㈱ネットワークソリューション本部
ソフトウェアデザイン部 担当課長）
- ・ 研究分担者 辻 一孝（ 〃 ソフトウエアデザイン部 リーダ）
 - 〃 渡辺 健太（ 〃 ソフトウエアデザイン部）
 - 〃 佐藤 綾（ 〃 ソフトウエアデザイン部）
 - 〃 落合 学（ 〃 ソフトウエアデザイン部）
 - 〃 富山 克彦（ 〃 ソフトウエアデザイン部）
 - 〃 入学 紀文（ 〃 ソフトウエアデザイン部）

研究期間

平成 12 年 3 月 17 日～平成 13 年 3 月 31 日

研究開発の実施状況等

(1) 研究開発の実施状況

1. 研究目標

山梨大学で研究開発した歩行ガイドロボットを企業3社との共同研究で実用化する。歩行ガイドロボットの開発目標と概念図を表1.1と図1.1に示す。ロボットは屋外歩道環境と病院施設等の建物内環境を走行する。ロボットには視覚障害者が行きたい複数の目的地とそこに至る経路をティーチングしておく。障害者はハンドルのボタンを押して、ロボットを呼出し、音声で現在地と目的地を入力する。ロボットは目的地までの経路と所要時間、交差点数などを合成音声で知らせながら、移動を開始する。視覚障害者はハンドルにつかまって歩く。ロボットは曲がる時は左右のバイブレータで合図する。ビデオカメラで縁石や横断歩道、点字ブロック等を検出しそれをガイドに走行する。交通信号を検出し安全なときに横断歩道を誘導する。また、看板等のランドマークを認識して障害者に知らせ、経路の正しさを確認させる。ステレオカメラで自転車やバイク、ごみ袋等の障害物をおおまかに類別し、障害物のそのカテゴリに応じた障害物回避を行う。ロボットが道路工事個所に来た時は、工事作業者に誘導してもらう。

表 1.1 歩行ガイドロボットの開発目標（*印は今回の開発に含まれず）

電子地図	教示オペレータがロボットを現地で手動操縦し、走行経路、ガイドとなるサインパターン、看板や表札等のランドマークをティーチングし電子地図を作成
画像による屋外走行	歩道、横断歩道のサインパターンを検出して走行、交通信号により移動/停止、看板等のランドマークを検出し電子地図と照合し現在位置確認
画像による屋内走行	廊下を検出して走行、エレベータのドア開閉を検出し階を昇降、表札等ランドマークを検出し電子地図と照合し現在位置確認
超音波による屋内屋外走行	1) 超音波で壁や縁石などの距離を検出し、それに沿って走行 2) 超音波による衝突防止
障害物検出	ステレオカメラシステムで街路樹、自動車、歩行者等の類別と位置速度を検出
音声インターフェース	1) 目的地と現在位置の音声認識 2) 経路情報、危険箇所、障害物、交通信号、ランドマークなど音声案内
小型軽量	シルバーカーサイズ、50kgで2時間走行する
故障診断*	ロボットが故障したとき、システムの状態や画像を携帯無線でセンターに送付
エラー回復*	今来た経路を正しいランドマーク地点まで戻り、再度経路探索をして走行
市場	1) 全国のリハビリテーション施設1,200 2) 単独歩行できない1-2級視覚障害者(168,000人)の中で70歳未満(55%)の92,000人
価格*	ロボットは量産で100万円

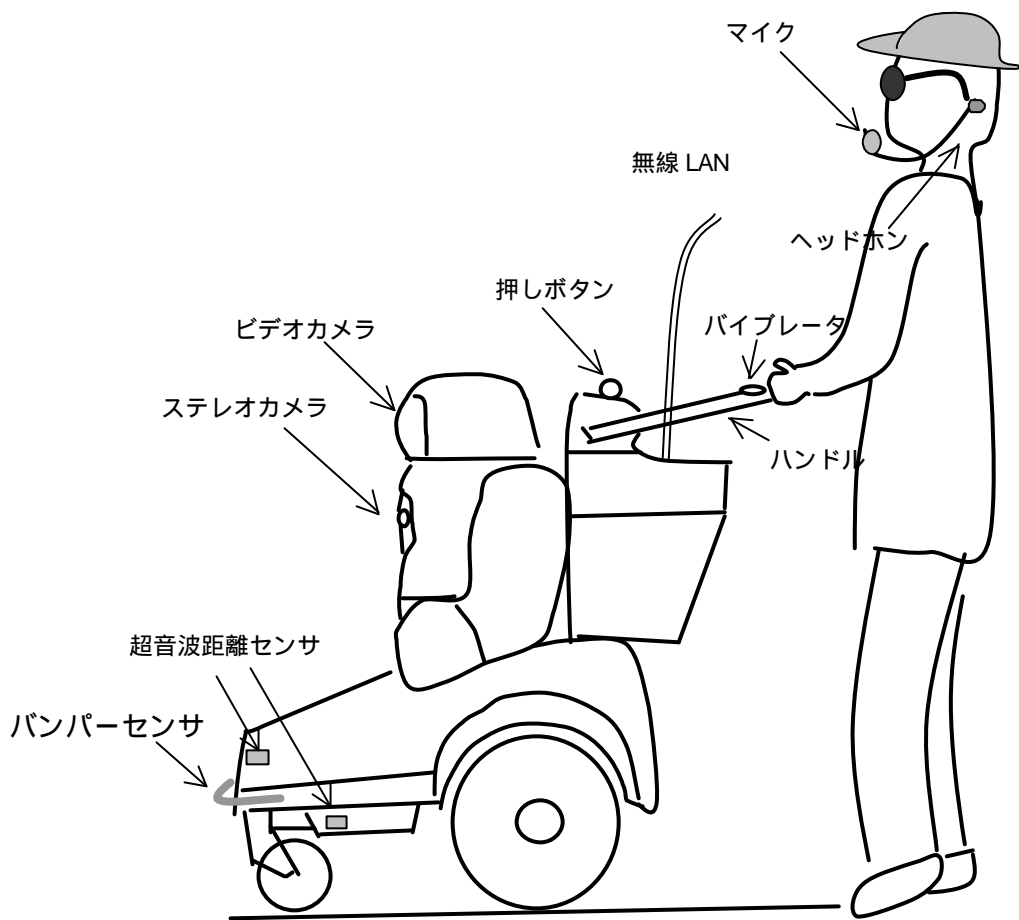
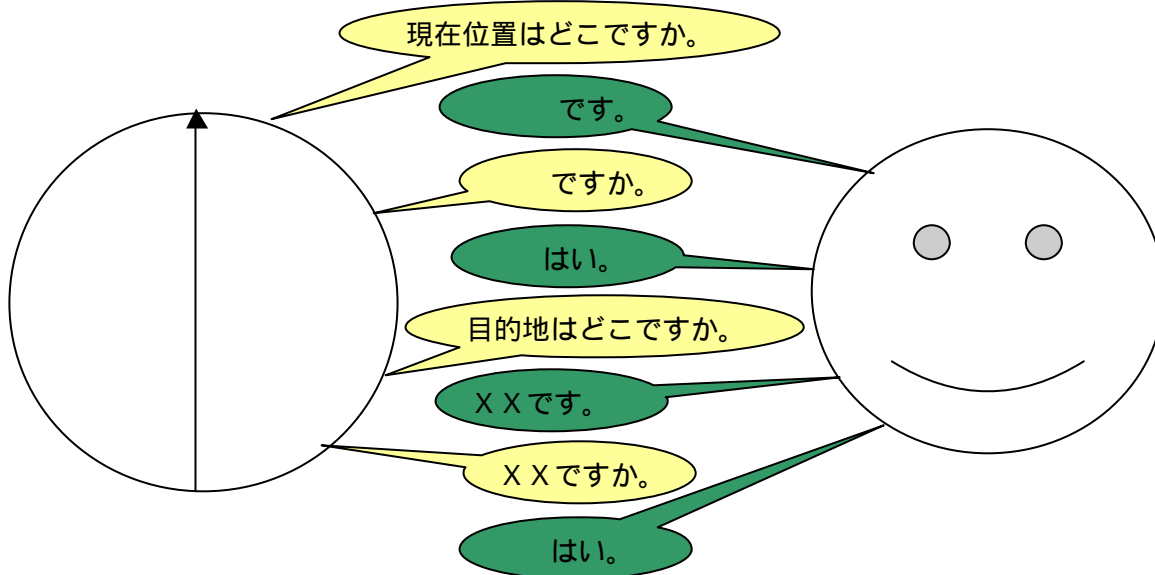


図 1.1 歩行ガイドロボット概念図

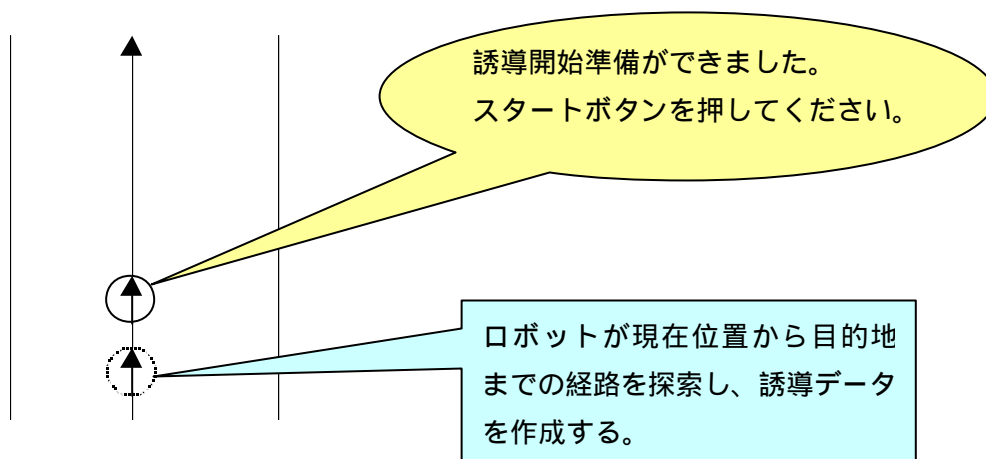
2. 歩行ガイドロボットの誘導

* 誘導前

誘導前に、視覚障害者が音声でロボットへ現在位置、目的地を指示する。



ロボットが指示された現在位置から目的地までの経路を検索し、誘導データを作成する。
誘導開始準備が整ってから、音声で知らせる。



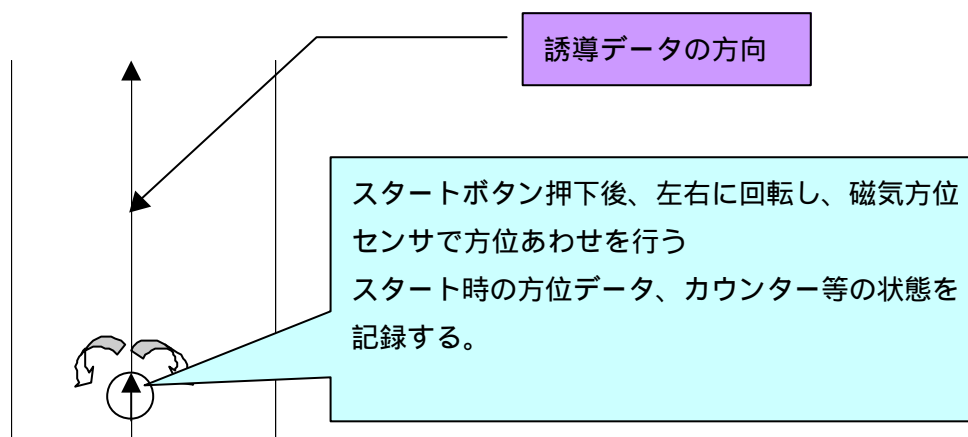
* 誘導スタート

スタートボタン待ちでスタートボタンが押されると誘導をスタートする。

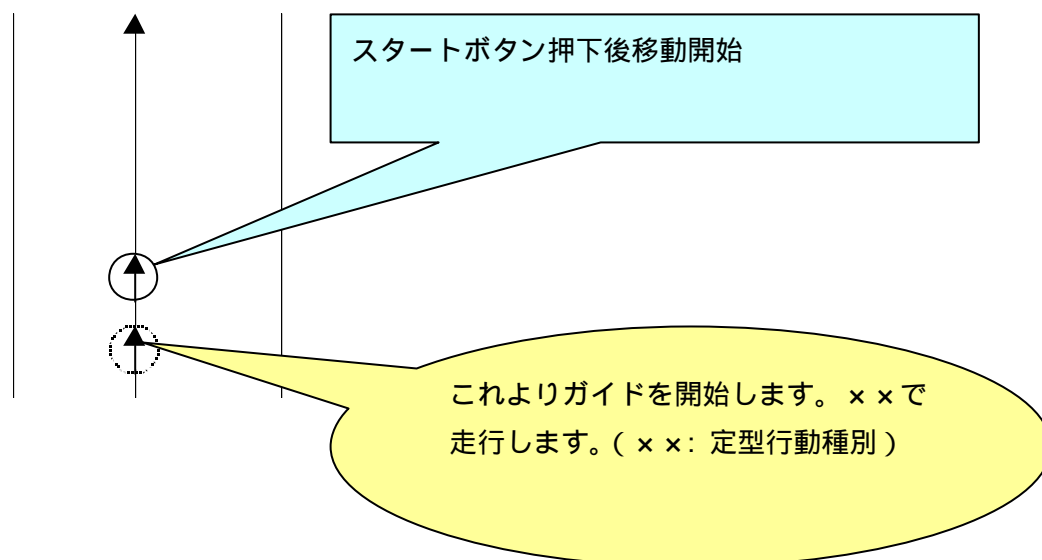
「スタートボタン待ち」とは、現在位置、目的地が入力済みで経路探索が終了し、すでにそのデータが存在する状態であること。

スタートボタンを押下されるとまず方位の調整を行う。

方位調整終了後、次の処理に移行する。

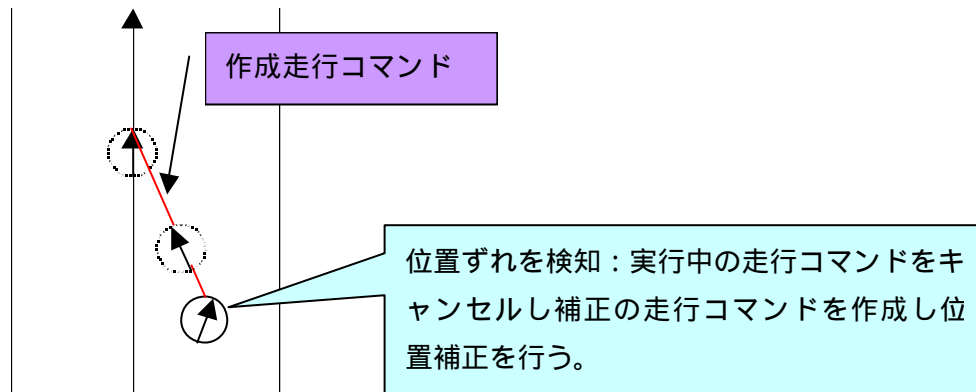


誘導データから走行コマンドを作成しロボット移動開始。スタート時の方位データ、カウンター等の状態を記録する。

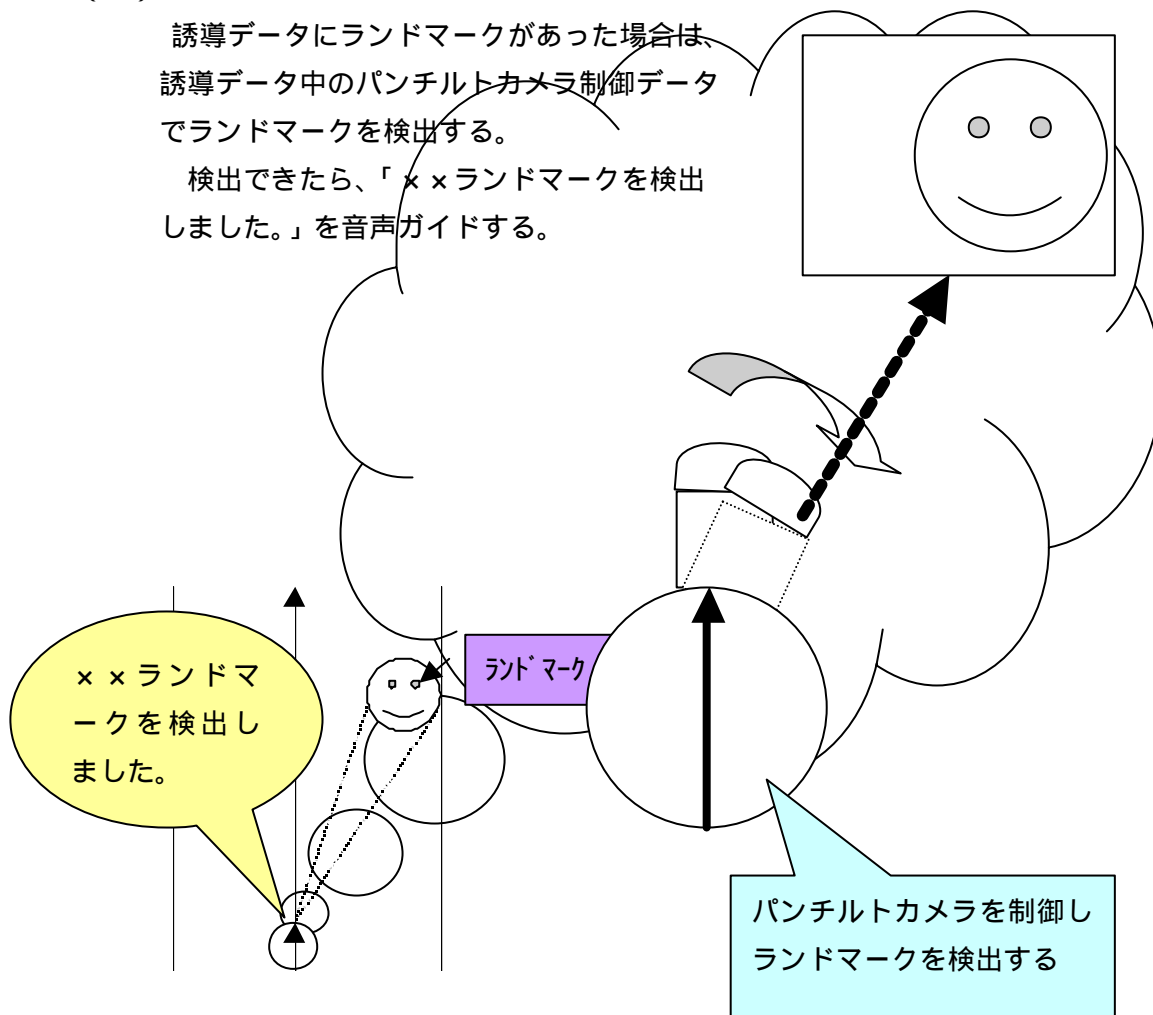


* 位置推測

(1) 走行制御からのデータをもとに位置推測をして誘導データとマッチングする。

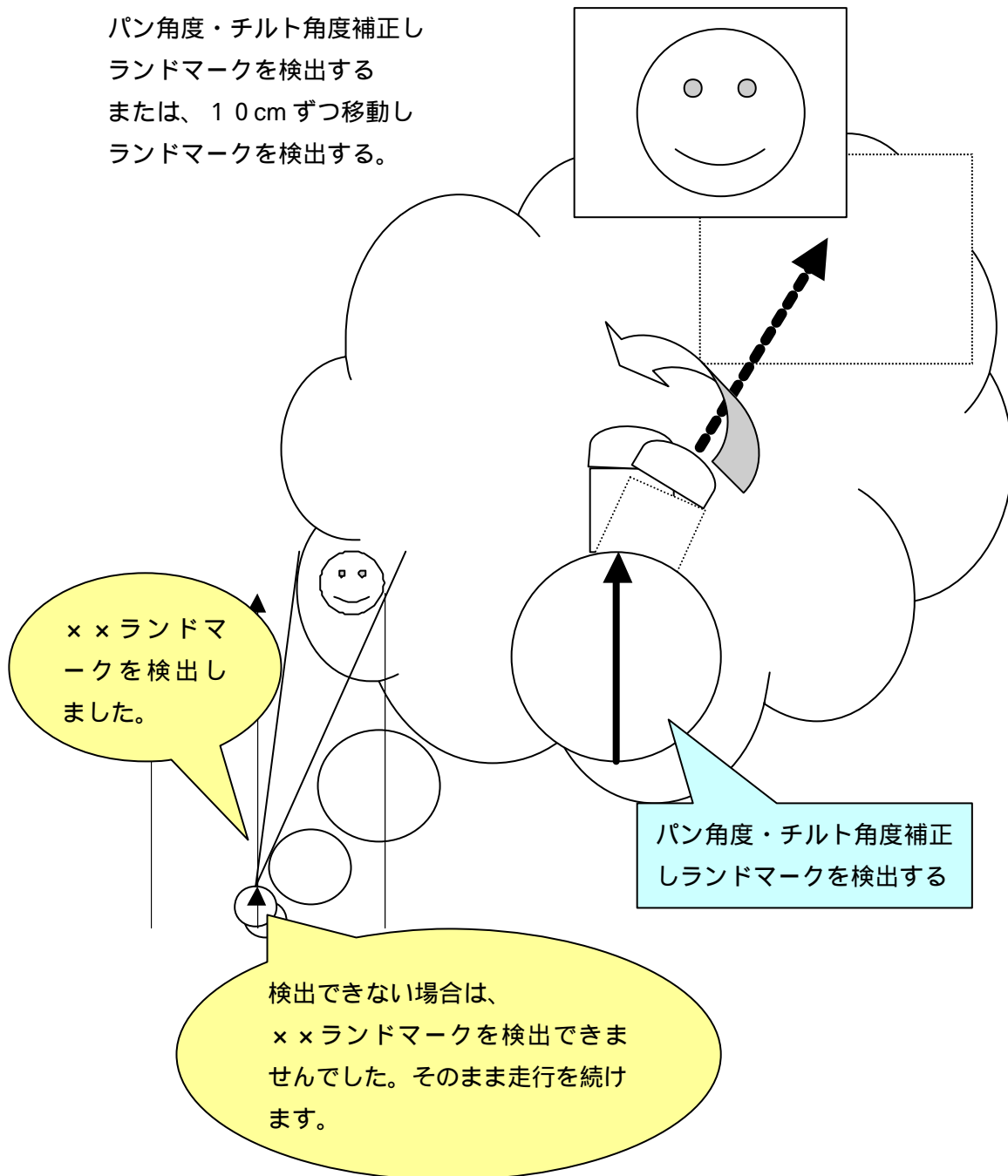


(2) 誘導データにランドマークがあった場合
誘導データにランドマークがあった場合は、
誘導データ中のパンチルトカメラ制御データ
でランドマークを検出する。
検出できたら、「××ランドマークを検出
しました。」を音声ガイドする。



(3) 1回でランドマークを検出できなかったときの動き

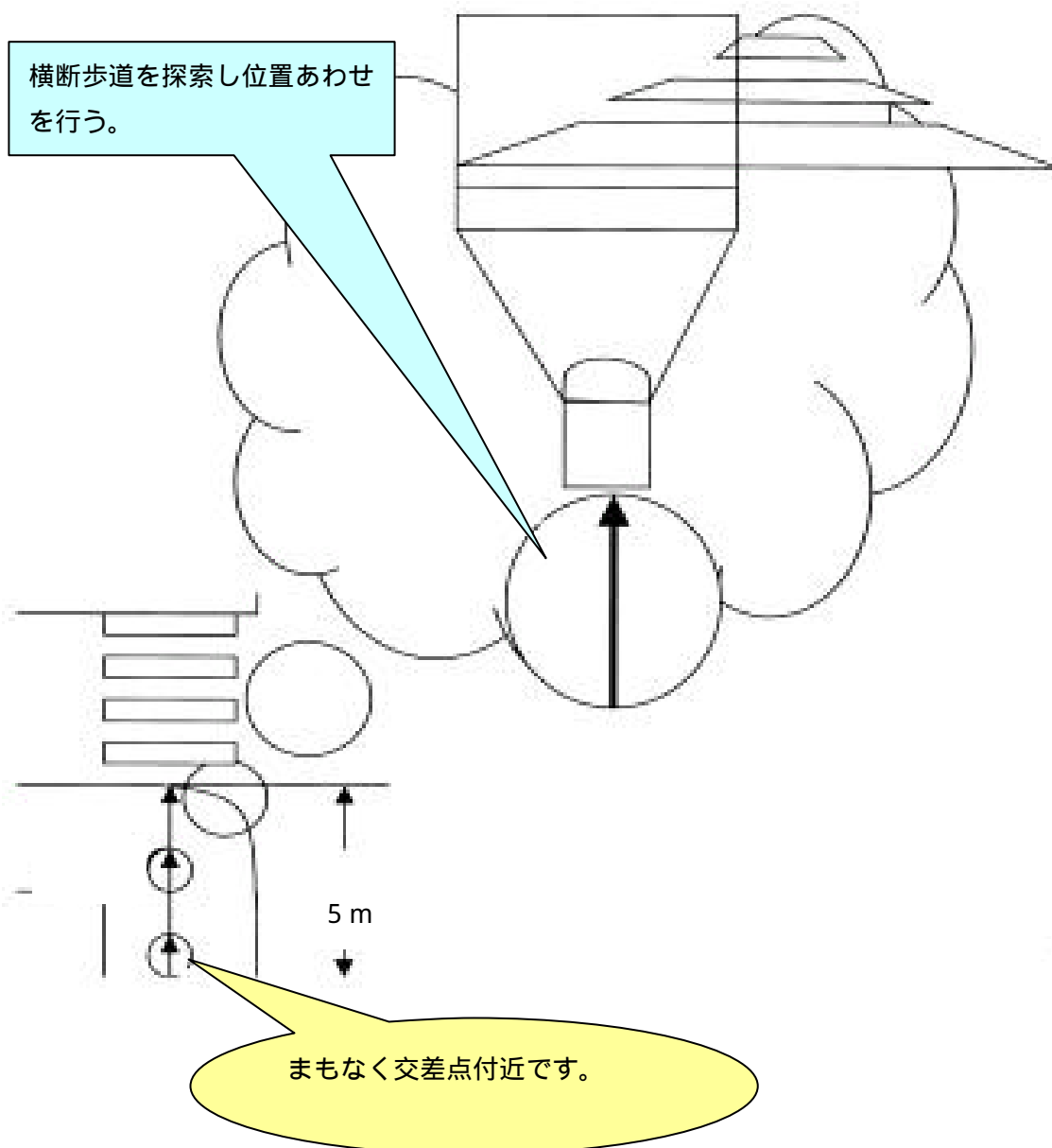
パン角度・チルト角度補正し
ランドマークを検出する
または、10cmずつ移動し
ランドマークを検出する。



(4) 検出できない場合は、
「××ランドマークを検出できませんでした。そのまま走行を続けます。」を
音声ガイドする。

* 交差点付近

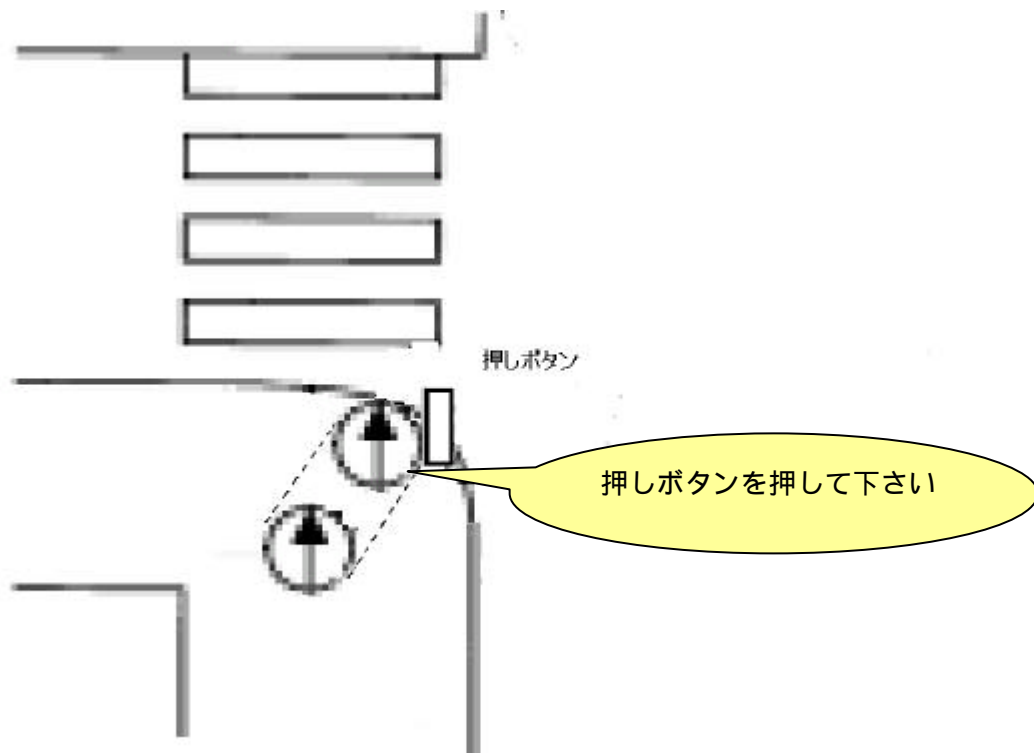
(1) 交差点の位置合わせ



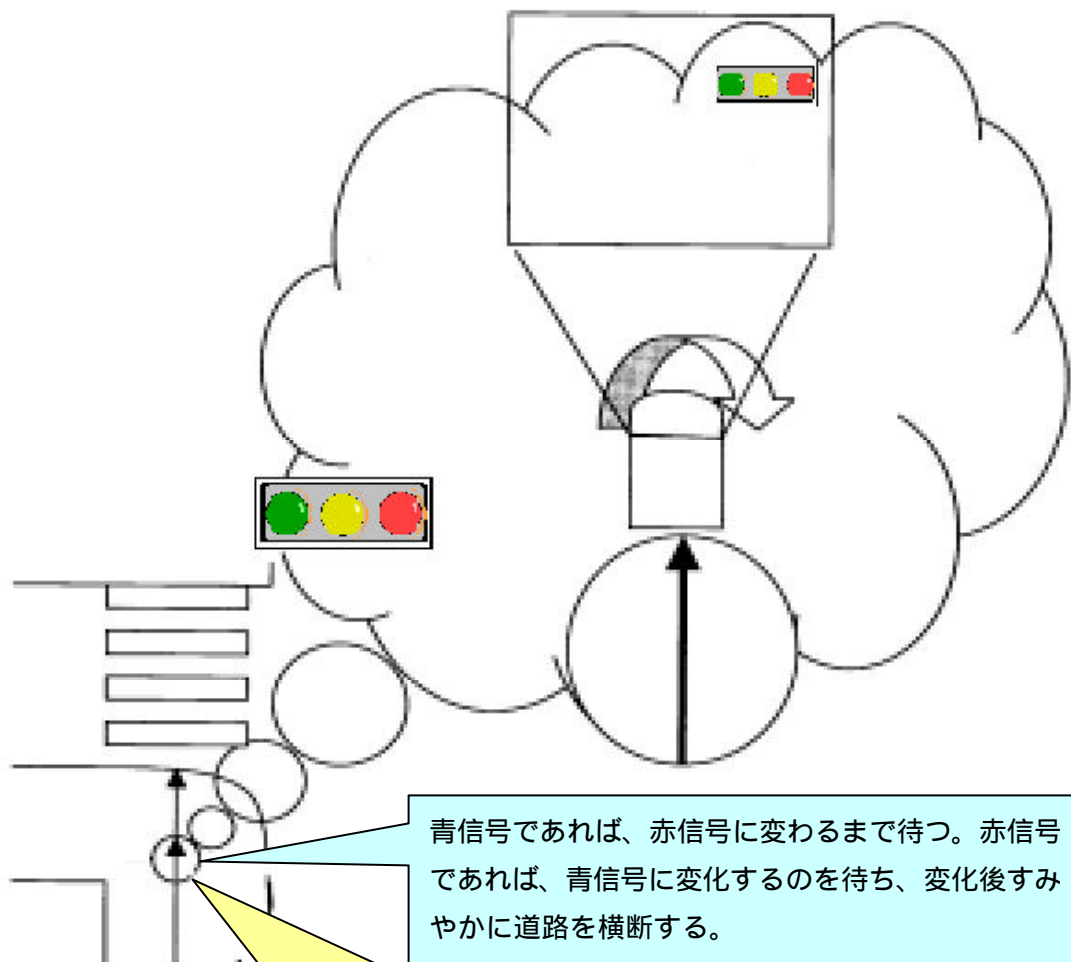
交差点5 m手前を認識したら「まもなく交差点付近です。」を音声ガイドし横断歩道を画像解析し位置合わせを行う。

(2) 押しボタン

位置合わせを完了後、押しボタン式信号の場合はあらかじめティーチングされたデータを基に押しボタン位置まで移動し「押しボタンを押して下さい」をガイドし押しボタンを押してもらい基の位置まで戻る。



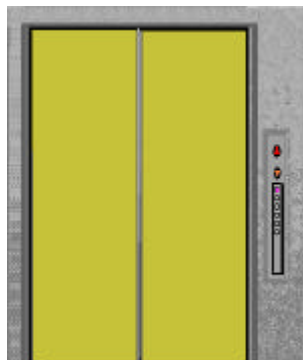
(3) 信号検知



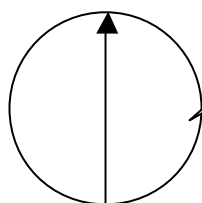
信号を検出時：赤信号です。しばらくお待ち下さい。
青信号検出時：青信号になりました。交差点を横断します。ご注意ください。
を音声ガイドする。

*** エレベータによる移動**

(1) エレベータの位置合わせ



エレベータの中心にロボットを正確に位置づける。



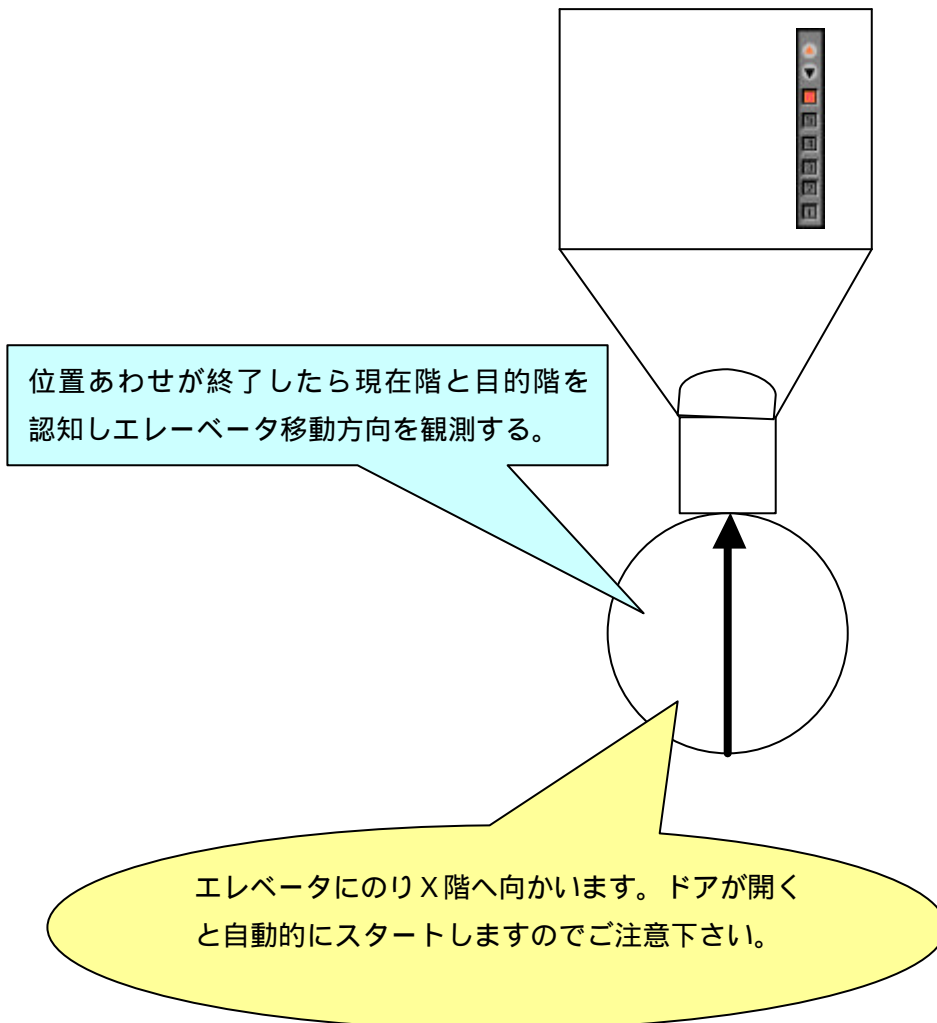
(2) 目的方向を押す



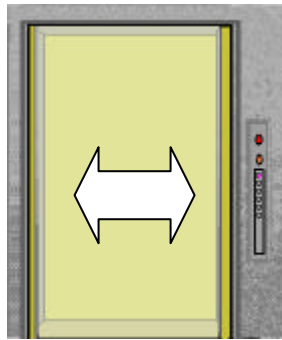
押しボタン

押しボタンを押して下さい

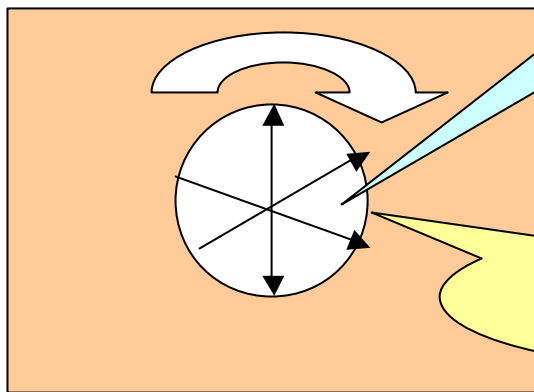
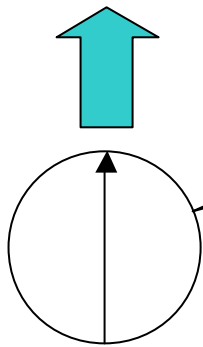
(2) 階の認識



(3) ドアの監視及びエレベータへの乗り込み



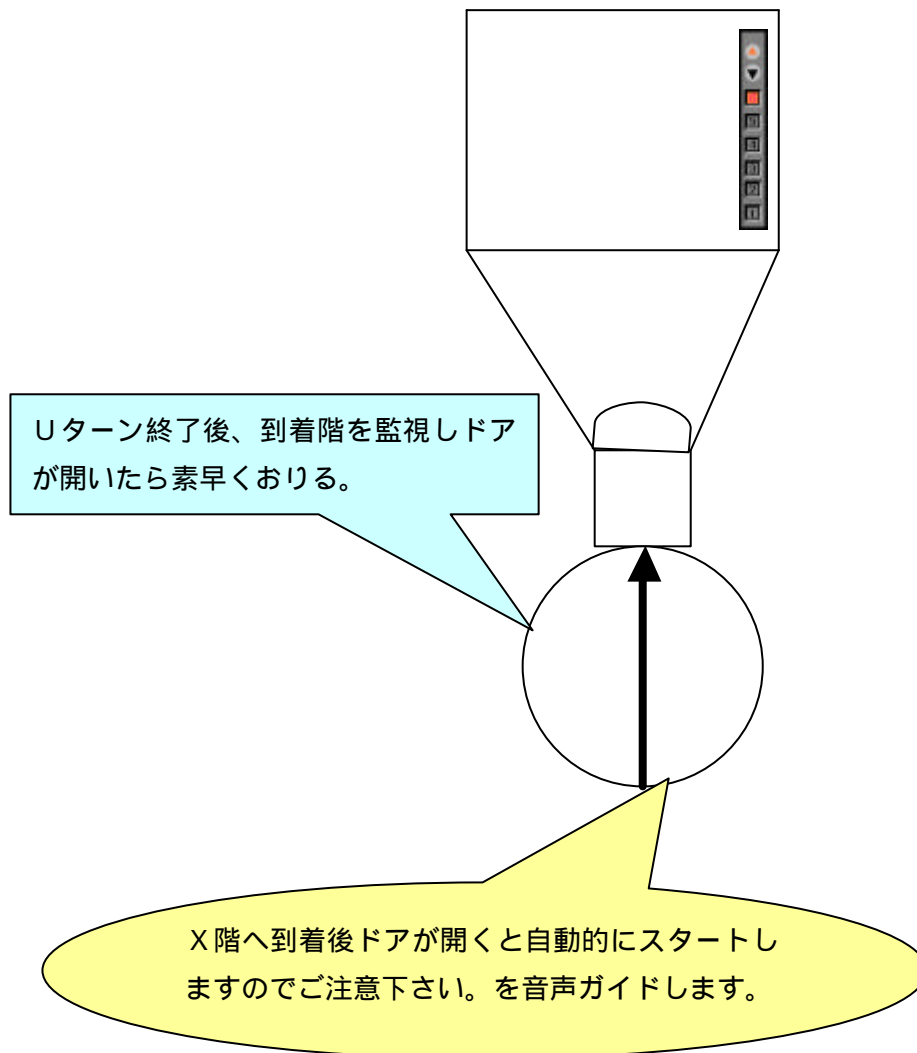
エレベータのドアが開いたら素早く前進し乗り込む。前方センサで進む距離を正確に把握する。



エレベータの中に入ったら素早くUターンを行う。

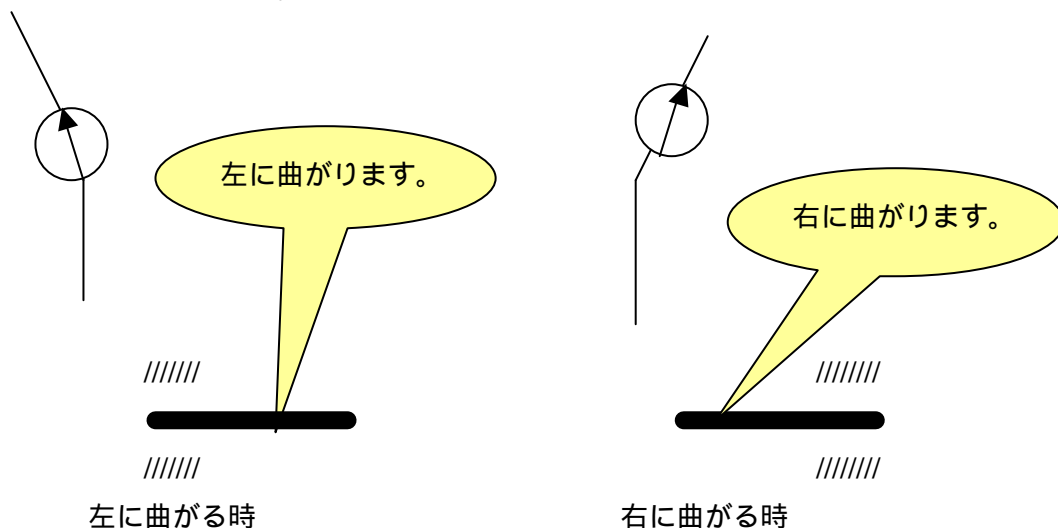
Uターンします。お気をつけ下さい。

(4) 目的の階でおりる



*** 右・左折**

- (1) 走行コマンドで左右輪の比を変更する場合は、その比(10段階)に応じてパイプレータをONする。

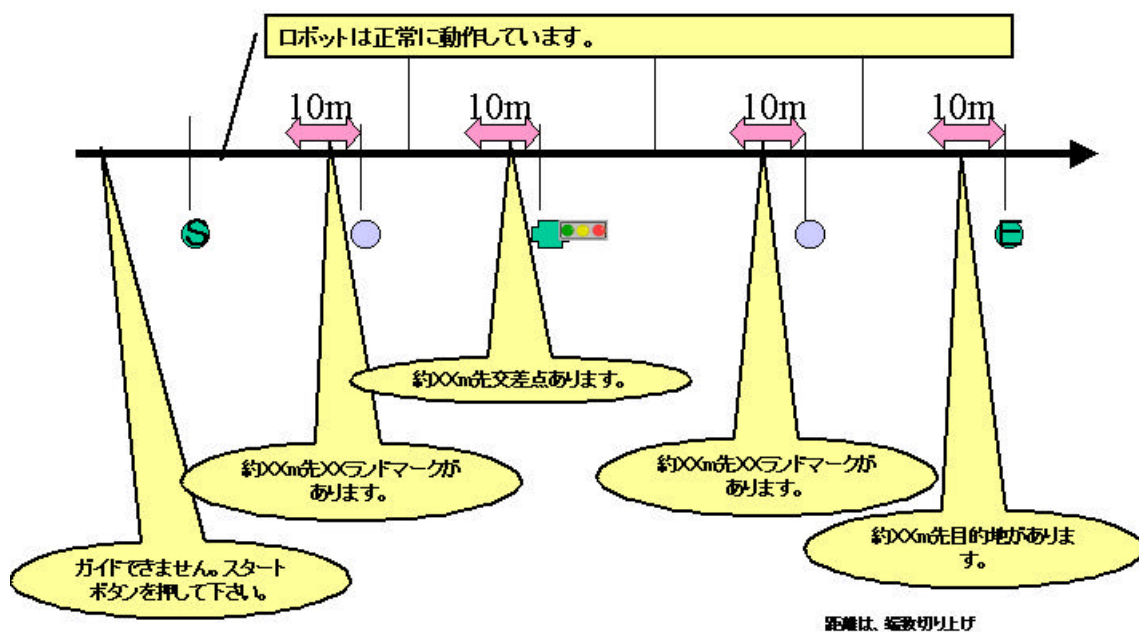


*** 誘導中の音声ガイドボタン**

- (1) 誘導中に音声ガイドボタンがONされた場合は、現在の走行コマンド状態を案内する

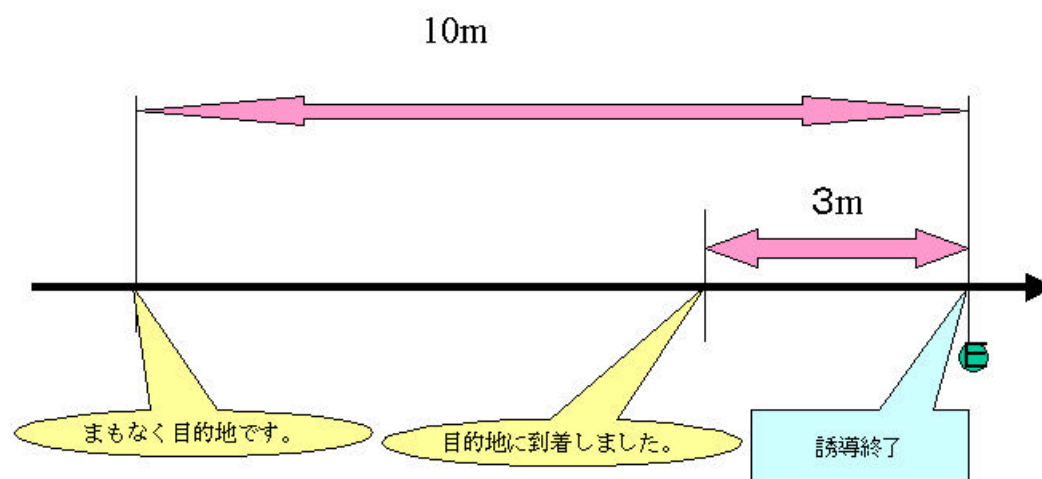
スタート前は、「ガイドできません。スタートボタンを押して下さい。」を音声ガイドする。

誘導中は、10m以内の近くの目標物(ランドマーク・交差点)までの距離をガイドする。「約XXm先、XXがあります。」ただし、10m以内に目標物がない場合は、「ロボットは正常に動作しています。」を音声ガイドする。



* 目的地付近のガイド

目的地手前10mで「まもなく目的地です。」を案内する。
目的地手前3mで「目的地に到着しました。」を案内する。
目的地で停止し誘導を終了する。



3. 役割分担と実施スケジュール

- 1) 共同研究分担企業 3 社と協議して知能走行制御システム（スズキ株）、小型省電力画像処理システム（日立製作所株）誘導システム（日本システムウエア株）の仕様およびプロトコルを決めることとする。図 1.2 に役割分担を、表 1.2 に実施スケジュールを示す。
- 2) 東工大実吉助教授と協議してステレオカメラシステムおよび障害物分類システムの仕様とインタフェースプロトコルを決めることとする。
- 3) 武蔵野美術大学車体・フレーム・ハンドル・カバーのデザインを決めることとする。

表1.2 実施スケジュール

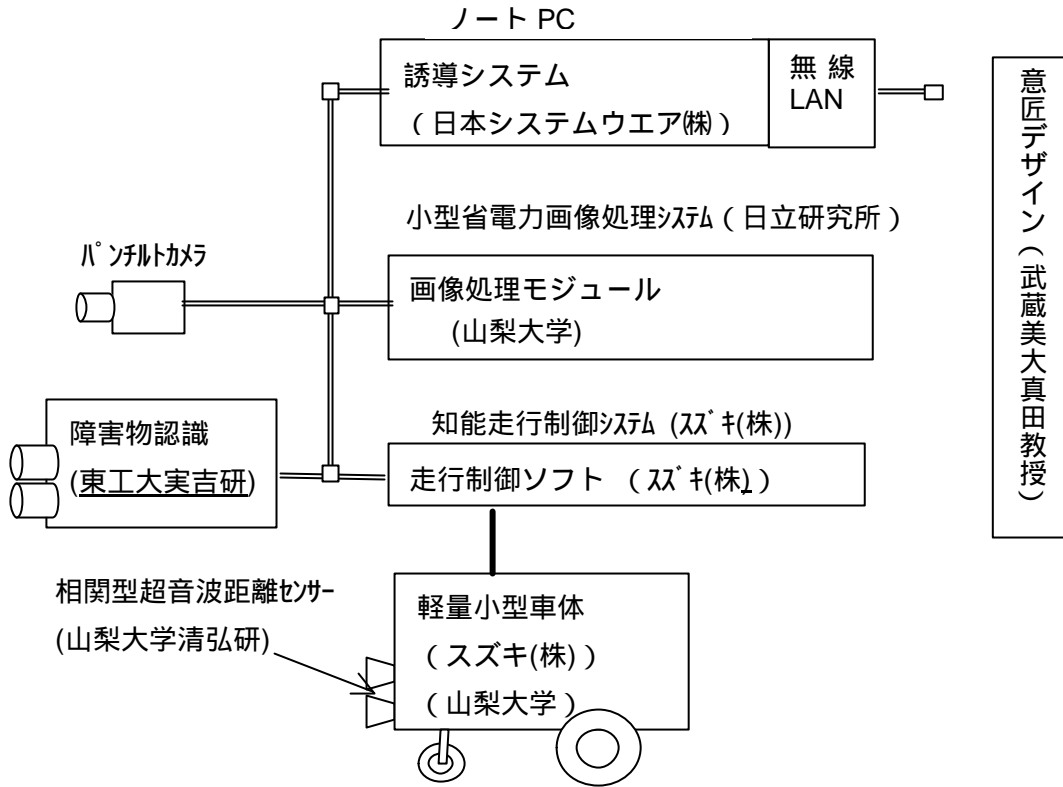
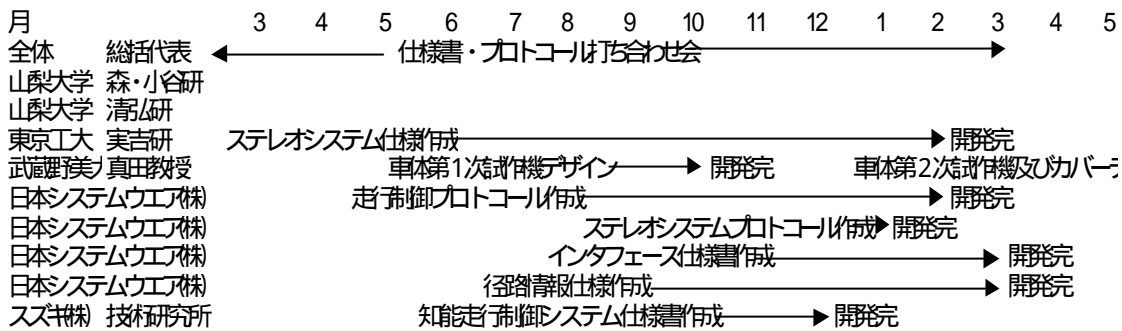


図 1.2 役割分担

(2) 各機関別の研究目標、実施状況、成果

(2-1) 山梨大学

1 研究目標

総括代表者として共同研究分担企業と協議し、歩行ガイドロボットの仕様と役割分担を決め、研究計画を調整し予算を執行し歩行ガイドロボット 20 台を研究開発する。また、研究分担者として下記の 3 項目の研究開発を分担する。

- a) 経路情報の XML 表現を確定すること
- b) 画像処理モジュールを開発すること
- c) 相関型超音波距離センサを開発すること。
- d) 武蔵野美術大学真田日呂史教授のデザインに基づいて歩行ガイドロボットフレーム・カバー・ハンドルの仕様を決め企業に製造を委託すること。

2 実施状況と研究成果

2.1 経路の XML 表現

経路は次のような条件を満たさねばならない。

- a) 視覚障害者が行きたい場所を通る経路であること。
- b) 経路は視覚障害者とロボットが通れる安全な経路であること。
- c) 経路には 5cm 以上の段差がないこと。
- d) 経路には誘導のガイドとなるサインパターン（以下 SP と略す）や位置確認に用いるランドマークが存在し、それらは画像処理または超音波距離計測で検出可能なこと。

訓練を受けたオペレータが、視覚障害者から行きたい場所の希望を聞いた後安全な通路を選び、ロボットを現地において手操作で走行し経路情報を作成する。この作業をティーチングと呼ぶ。

視覚障害者を誘導するときは、現在位置から目的地までティーチングした経路を地理情報システムに記録したデータに基づいて走行する。これを歩行ガイドロボットの基本戦略とする。カーナビゲーションシステムと歩行ガイドロボットのナビゲーションの相違点は、前者は道路に沿う操縦や障害物回避はドライバーが行うのに対して、後者はロボットのセンサシステムが行うこと、

地理情報システムは前者が万人向けなのに対し、後者は個人対応であること、位置データの精度が前者はメートル単位であるのに対し、後者は目印の位置データの精度が cm 単位であり、前者にない横断歩道や交通信号などのデータを有していること、である。

* 定型行動

基本戦略を実現するために、ロボットの行動は定型行動とする。定型行動は動物行動学の用語で、下等動物がある一定の状況下で発言する固定した行動パターンのことをいう。求愛行動や縄張り争いなど一見複雑に見える行動は定型行動の連鎖で説明される。定型行動の概念は行動パターンが固定しているので工学的に実現し易いという利点がある。自動制御の用語で定義すると、定型行動はシステムに与える目標値のパターンである。歩行ガイドロボットの定型行動は、図 2.1 に示す。直線走行（推測航法）、沿目標移動、左円弧走行、右円弧走行、左壁沿い走行、右壁沿い

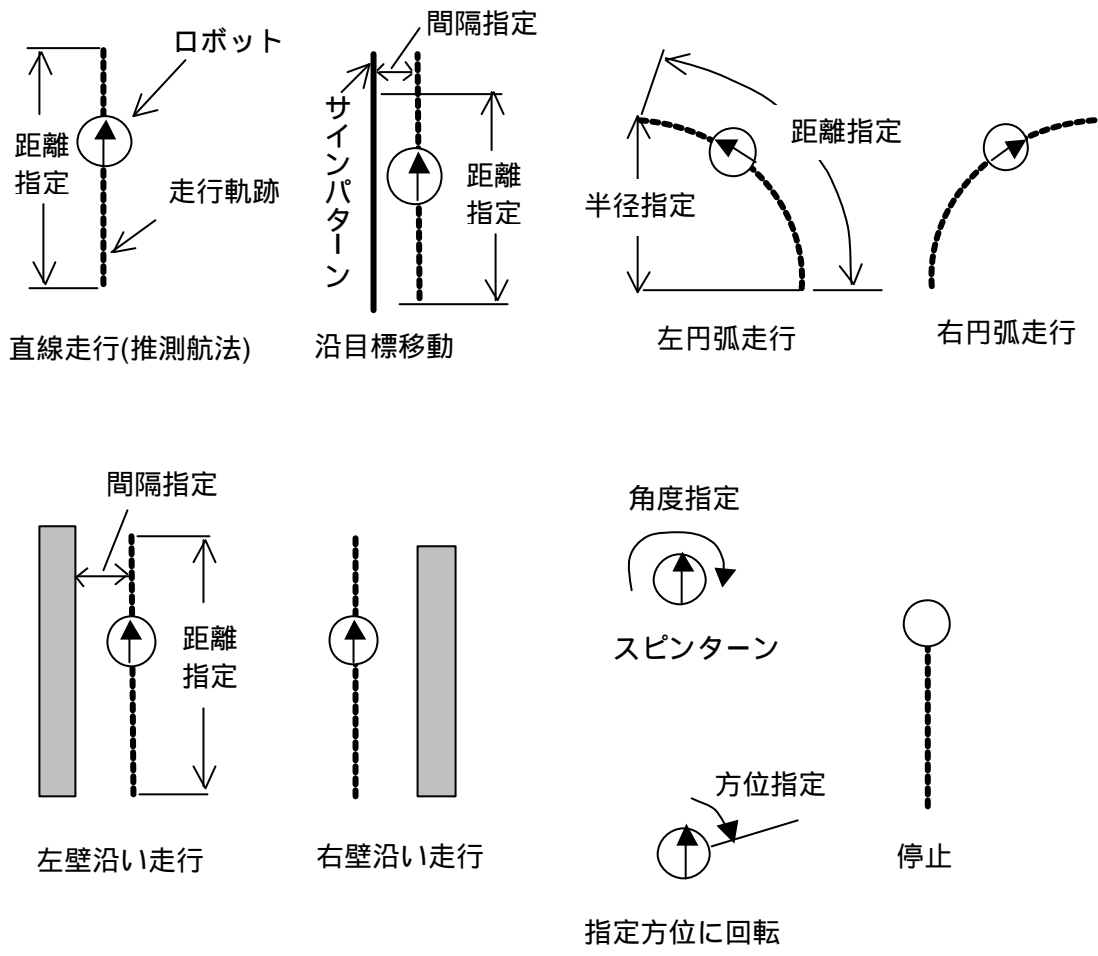


図 2.1 定型行動

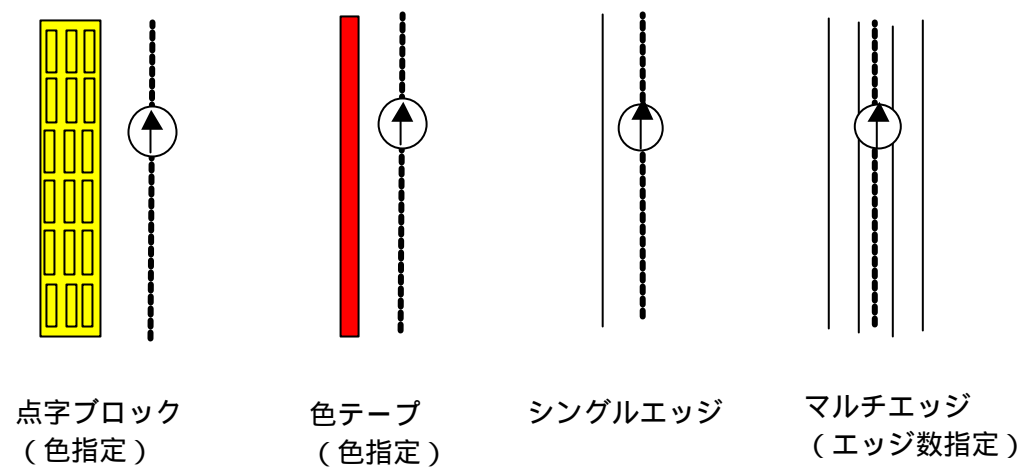


図 2.2 沿目標移動のサインパターン

走行、指定した方位に回転、ランドマーク観測である。

* サインパターン

動物行動学のサイン刺激をヒントに定義したロボット工学用語である。定型行動を起動したり、定型行動を導いたりするシグナルとなる事物の特徴をいう。沿目標移動は通路に沿って伸びたサインパターンに沿って走行する定型行動である。沿目標移動のサインパターンを図 2.2 に示す。

* ランドマーク

移動体が現在位置を知る目印を一般にランドマークという。ランドマークを3つの用途に使う。

- 1) 位置方位決めのランドマーク：歩行ガイドロボットが横断歩道を渡る際に横断歩道からはみ出さないように、渡り終わってから対岸の歩道にうまく乗るように位置決めをする必要がある。そこで横断歩道マークをランドマークにしてロボットの現在位置と方位を決める。
- 2) 経路確認のランドマーク：最も一般的なランドマークの用途は経路の確認である。歩行ガイドロボットにおいても正しい経路を走行しているかどうかの確認に用いる。経路上にあり、障害物によって遮蔽されることの少ない位置にあり、周囲の事物と容易に区別できるものが望ましい。歩行ガイドロボットでは空、建物、樹木等と色、形、大きさ等の属性で区別できる看板をランドマークにする。
- 3) 交通信号のランドマーク：移動体は交通信号やエレベータのドア開閉により停止したり走行開始したりする。歩行ガイドロボットはこれらをランドマークの範疇に入れる。

* 経路情報

経路：ロボットが出発点から目的地に至る道筋を経路という。

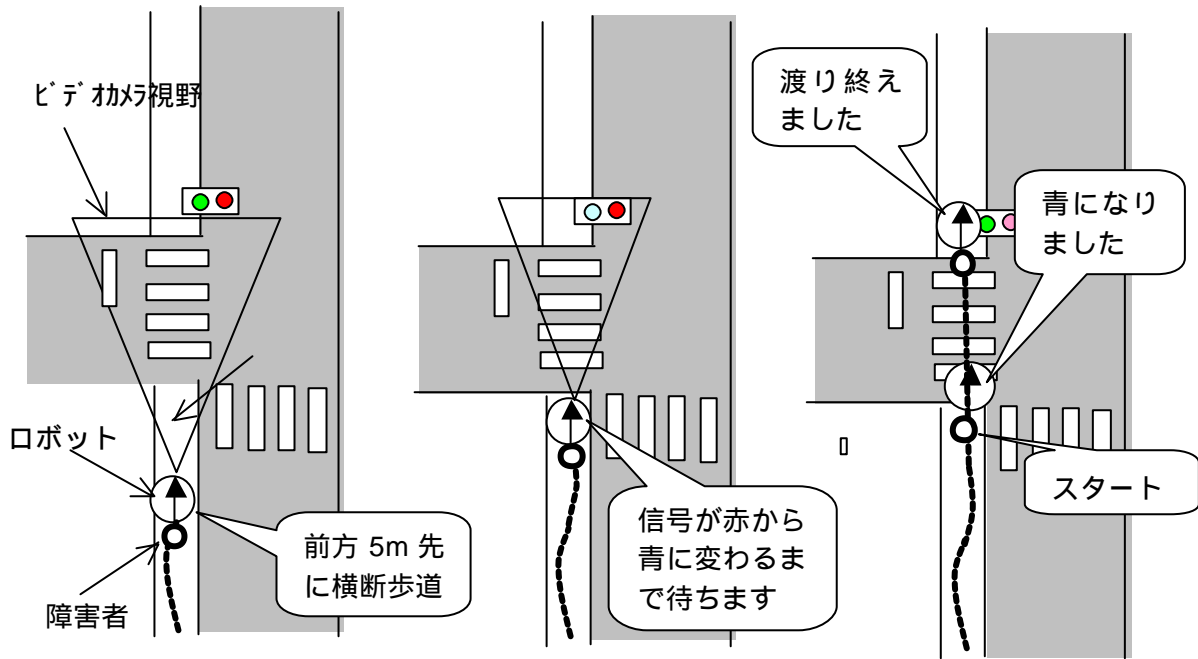
パス：同一定型行動で走行でき、かつ同一 SP を有する経路の区間で、始端、終端、定型行動、SP、LM で定義する。一つのパスに LM はなくても良く、また複数あっても良い。パスの始端または終端に LM 観測点を置くと現在位置を正確に知ることが出来る。左/右円弧走行のパスはおおよそ円弧になるようにオペレータがパス始端と終端を決める。

経路情報：出発点から目的地に至る経路を構成するパスに関する情報の系列をいう。

* 定型行動連鎖

交差点の横断は定型行動連鎖で実現する。図 2.3(a)から(c)は小さな交差点を真っ直ぐに渡る定型行動連鎖である。3つの定型行動からなる。横断歩道の手前 5m で横断歩道をランドマークにしてロボットの位置方位決めをする。推測航法で走行して横断歩道の手前で停止する。このとき後述する障害物認識はステレオカメラシステムで行う。交通信号を認識する。信号が青のときは赤になるまで待ち、赤から青に変わったとき音声で障害者に知らせる。障害者がスタートボタンを押すとロボットは推測航法で走行を開始する。このときステレオカメラシステムは動作する。横断歩道を渡り終わると音声で知らせる。(d)から(f)は小さな交差点を右折するとき定型行動連鎖である。

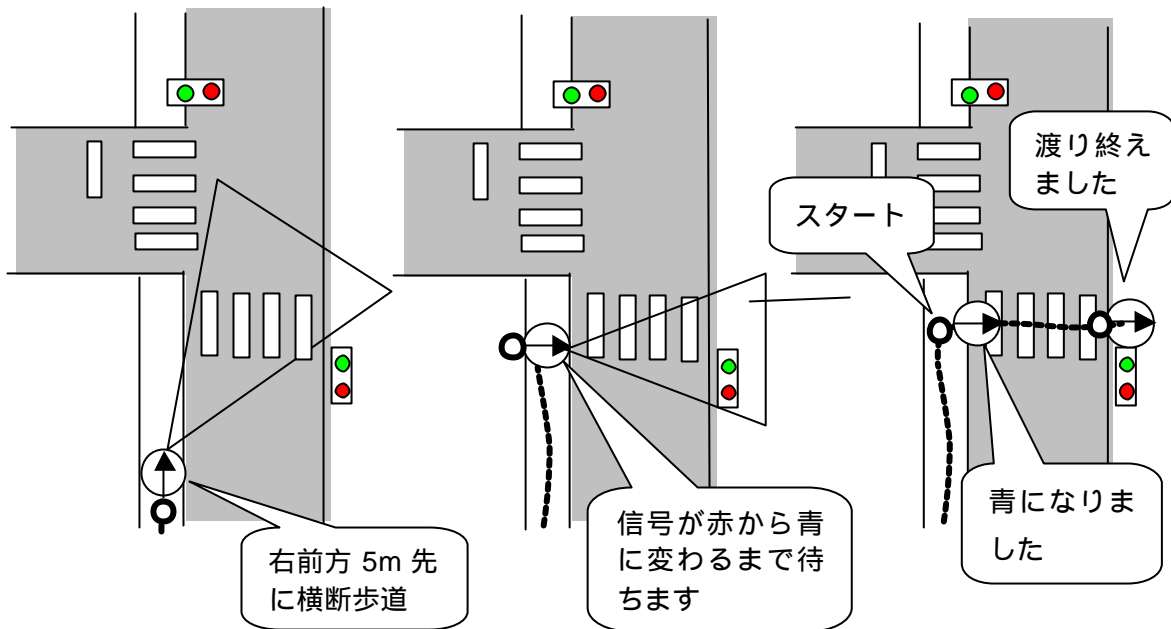
図 2.4 は大きな交差点を真っ直ぐ渡る定型行動連鎖で4つの定型行動からなる。位置方位合わせのランドマークは図 2.4(a)のように右側の横断歩道で行う。推測航法と円弧移動で角切りしてパスを移動する。、の交通信号認識と横断歩道移動は小さな交差点の場合と同じである。



(a) 横断歩道による
位置あわせ

(b) 歩行者信号認識

(c) 横断



(a) 横断歩道による
位置あわせ

(b) 歩行者信号認識

(c) 横断

図 2.3 小さな交差点横断の定型行動連鎖

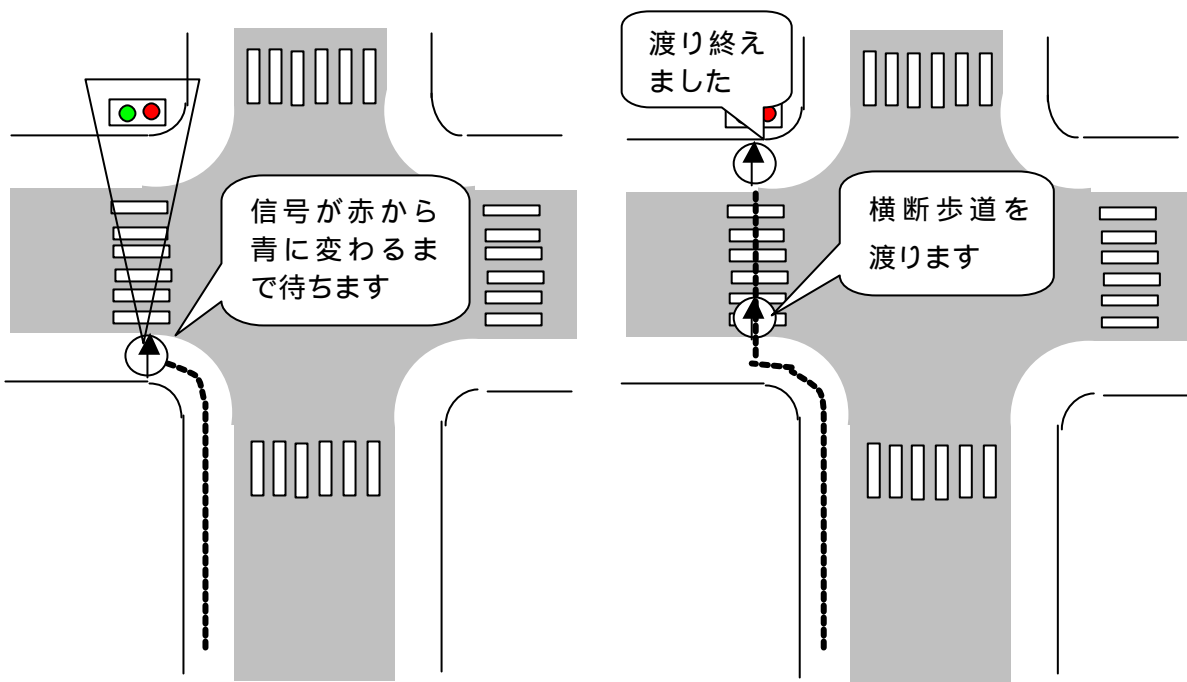
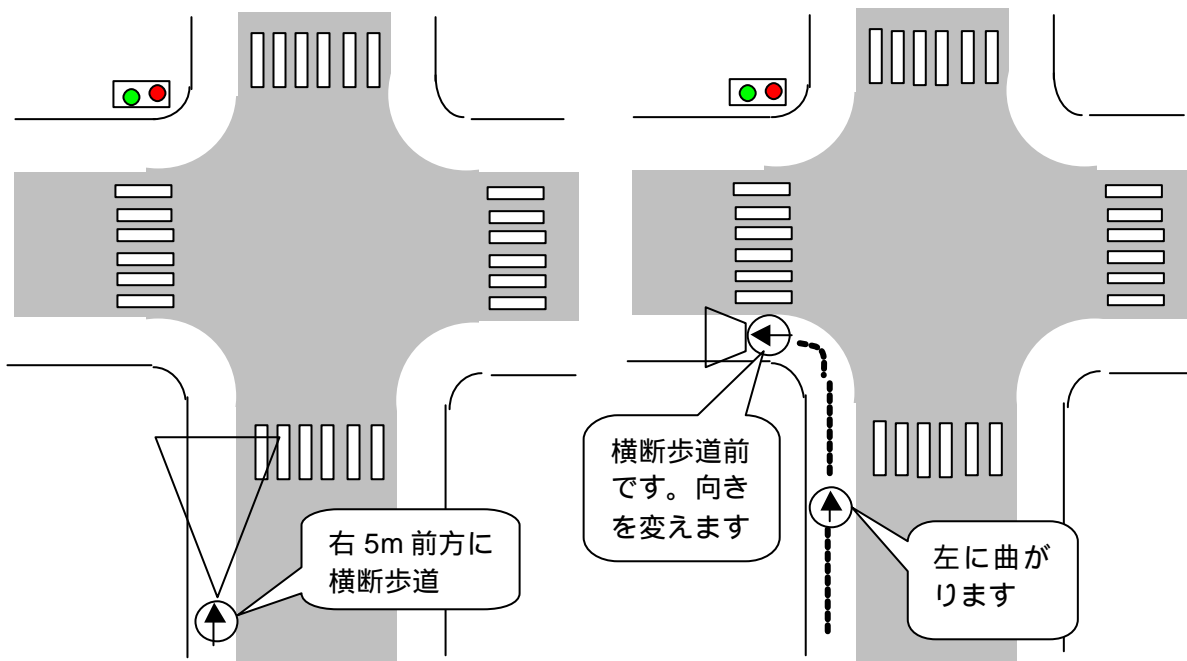


図 2.4 大きな交差点横断の定型行動連鎖

* ティーチング

経路情報には定型行動に必要なデータを含まなければならない。定型行動に必要な情報を表 2.1 と図に示す。情報は作業員（ティーチングの訓練を受けた健常者）が入力する情報とロボットが自動入力するものがある。その区別を図 2.5 に示す。

表 2.1 定型行動に必要な情報

定型行動	必要な情報	
直線走行（推測航法）	パスの始端、終端の位置・方位	
沿目標移動	”、SP の種類と SP からパスまでの距離	
壁沿い走行	”、壁からパスまでの距離	
円弧走行	パスの始端、終端、半径	
LM 観 測	位置方位合わせ	現在のロボットの位置・方位、LM のカテゴリ。
	経路確認	”、カメラのパン・チルト・ズーム
	状況判断	”

経路情報は XML(extended markup language) 記述する。XML はデータをタグで括りその性質がわかるようになっている。経路情報の記述形式を XML にした理由は、サービス管理センターと障害者間、または障害者同士でインターネットを通して経路情報が交換できること

サインパターンやランドマーク等の仕様の追加修正が容易にできること

- ・ 障害が発生したときにロボットが遂行中の経路情報がテキストで読めること
- ・ 作成日時<Cdate>：ティーチングで経路情報を作成した日時で SP や LM が季節、時間帯に影響されるので日時は必要である。また、何度かティーチングしたとき、古いデータかどうかを誘導時に知るために必要である。
- ・ 天候<Wether>：晴れ、曇り、雨の 3 値をとる。
- ・ パス始端<Point1>とパス終端<Point2>：(X,Y,Dir) の 3 次元ベクトルで表す。<X>と<Y>はロボットの位置を表し、X 軸は北方向に Y 軸は東方向にとる。<Dir>はロボットの方位である。地磁気センサで北を 0 度として時計周りに測る。XML 記述例では単位は cm と度である。
- ・ 定型行動<Navigation>：オペレータが経路環境を見て直線走行、右円弧走行、左円弧走行、左壁沿い走行、右壁沿い走行等の定型行動の種類を指定するために必要である。ゆるやかに曲がる経路は幾つかパスに分割しそれぞれのパスを直線走行する。円弧走行は曲がり始める点と曲がり終わる点をパス始端とパス終端としてオペレータが指定する。左壁沿走行と右壁沿走行は超音波距離センサで壁または縁石までの距離を計測してそれに沿って走行する航法である。
- ・ 舗装<Pavement>、道路規制<Regulation>、道路種類<RoadKind>、道路状態<RoadStatus>：ロボットの誘導には必要ないが、障害者が残存感覚で確認するために必要である。

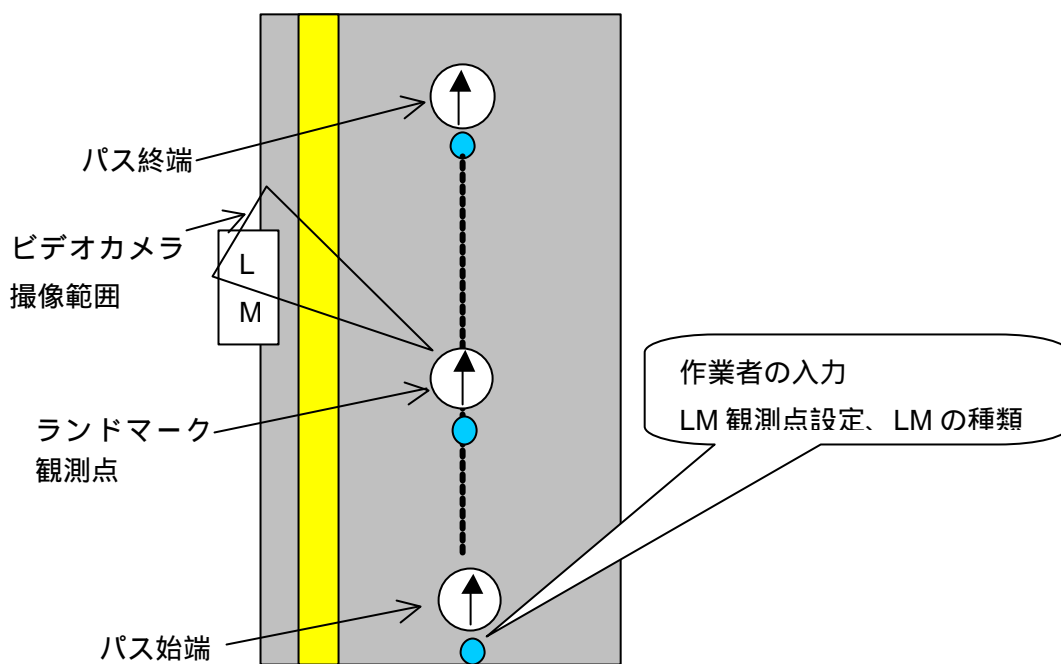
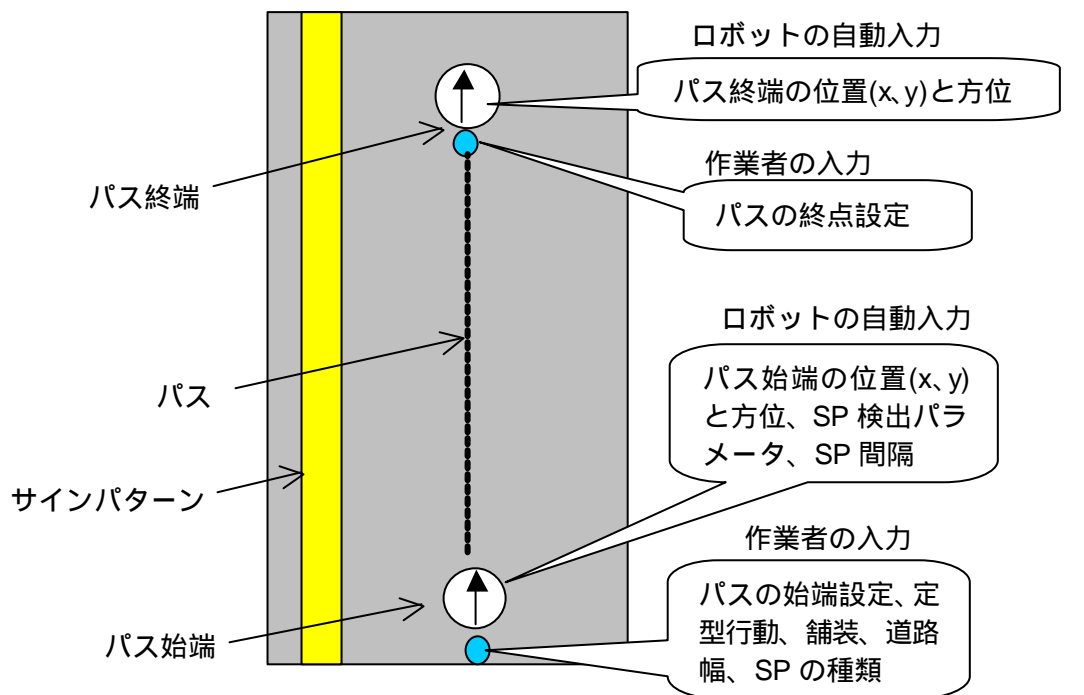


図 2.5 ティーチングで入力する情報

・ 道路幅<Width>：ロボットが障害物を回避するときどの位の空き空間があるかを知るために必要である。

- ・ SP 情報<SPinformation>：以下のデータからなる SP を定義する。
- ・ SP の種類<SPcategory>：点字ブロック、色テープ、エッジの 3 種類がある。点字ブロックと色テープは画面上で経路の方向に長く伸びる帯状領域として検出できるものを意味し、エッジは画面上で経路の方向に伸びる単数または複数のエッジを表す。SP の種類はこの他に増やしても良い。
- ・ SP の色<SPcolor>：点字ブロックや色テープを SP にするときはその色が必要である。
- ・ SP モジュール<SPmodule>と SP バージョン<SPversion>：SP を検出するサブルーチンのモジュールは頻繁に改良される。そこでモジュールの名称とバージョンが必要である。
- ・ カメラパラメータ<Camera>：SP や LM をビデオカメラの画面に映すために必要なパラメータで、パン<Pan>、チルト角<Tilt>、ズーム角<Zoom>が必要である。
- ・ SP 距離<SPdeviation>：パスから SP までの距離。
- ・ SP 距離<SPdeviation>：パスから SP までの距離。
- ・ LM 情報<LMinformation>：以下のデータからなる LM を定義する。LM は一つのパスの間に幾つあっても良い。
- ・ LM の種類<LMcategory>：LM の種類は横断歩道、路上マーク、看板、交通信号、エレベータであるが増やしても良い。
- ・ 基準点<BaseCorner>：LM で位置決めをするとき LM の何処を基準にするかを定める点である。基準点を含む LM の一边を LM の方位という。例えば横断歩道マークを LM とするとき、基準点は一番手前の矩形の左下隅または右下隅で、LM の方位は矩形の下辺の方位である。
- ・ 位置<Location>：LM が経路の前方にあるか経路の左右側にあるか示す識別子である。
- ・ 色<LMcolor>、形<LMshape>、大きさ<LMsize>：LM が看板のときその大まかな特徴を知るために必要である。

LM 相対位置<DevLMPoint>：LM 観測点から見た基準点の位置と方位で、ロボット座標系で表す。ティーチング時にロボットが画像処理で検出して経路情報に記述する。

LM 探索範囲<SearchArea>：画面上で LM が何処にあるかを示す。ティーチング時にロボットが画像処理して LM を検出してその存在範囲を経路情報に記録する。<SareaLeft>、<SareaRight>、<SareaTop>、<SareaBottom>で探索範囲の左辺、右辺、上辺、下辺を示す。

- ・ 2 値化閾値<Nichika>：微分画像等の 2 値化に用いる閾値である。
- ・ LM パラメータ<LMparameter>：LM 検出モジュールが用いるパラメータで LM モジュールに依存し増やしても良い。

* XML 記述の具体例

図 2.6 に示す経路の XML 記述を図 2.7 に示す。位置(500,500)にある出発点に方位 0 度でロボットを置き、左にある壁から 100cm のところを壁に沿って(500,2100)まで走行する。これをパス 1 とする。パス 2 は(500,2100)を始端、(800,2300)を終端とする右回り円弧走行区間である。パス 3 は

(800,2300)を始端、(1800,2300)を終端とする直線区間で、縁石のエッジを SP にし走行する。(1800,2300)を LM 観測点にして前方の横断歩道を検出し、左下隅を基準点にして位置ズレを補正する。次はパス 4 で、(1800,2300)を始端、(2200,2300)を終端にする直線区間を推測航法で走行する。パス 4 の終端は横断歩道の手前である。ロボットはここ(2200,2300)で停止し歩行者信号の観測を行う。

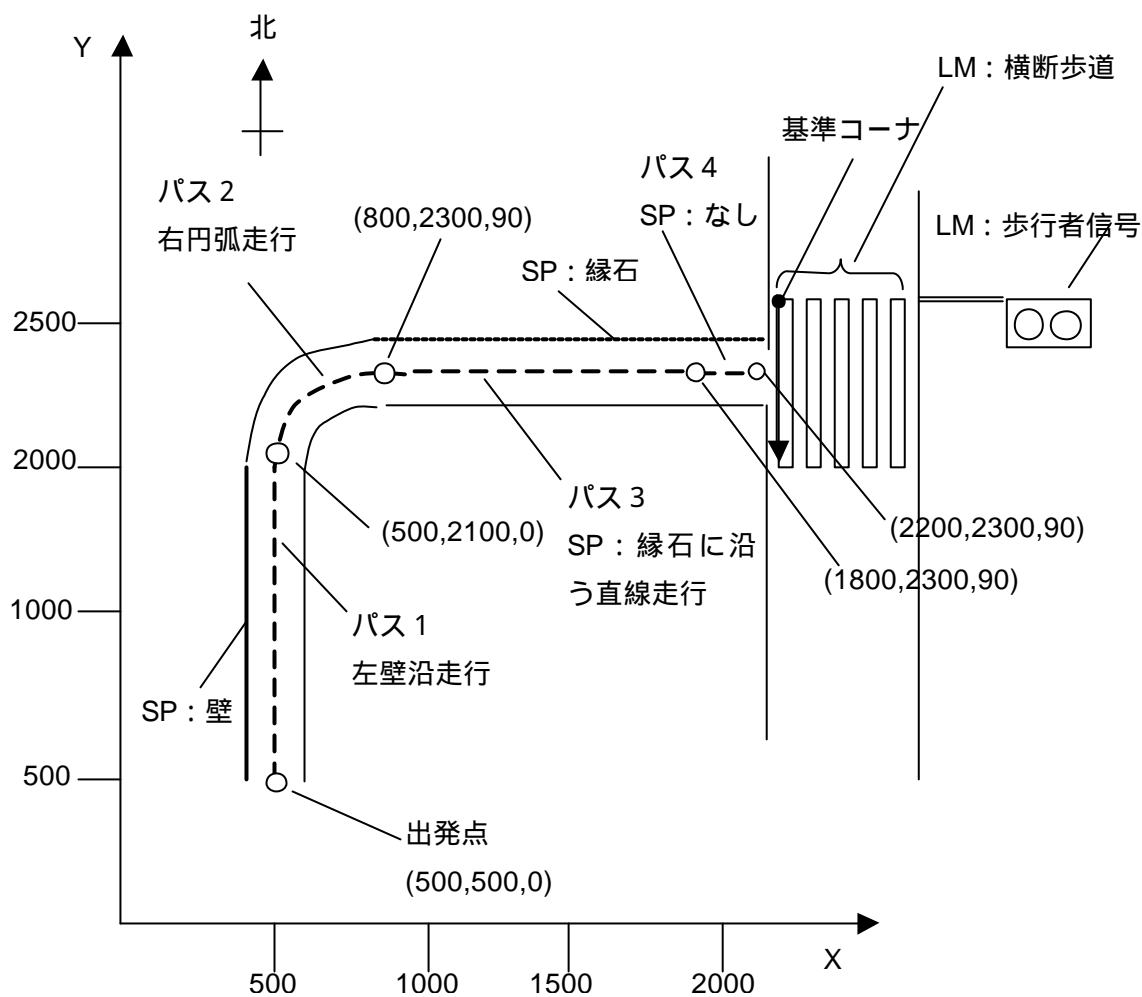


図 2.6 経路情報の具体例

図 2.7 経路情報の XML 記述具体例

経路情報の XML 記述

```

< PathData>
<!-- パス 1 左壁沿い走行 -->
  <Path>
    <Cdate>200010311200</Cdate>
    <Point1>
      <X>500</X>
      <Y>500</Y>
      <Dir>0</Dir>
    <Point1>
    <PathName>A 1 号館前</PathName>
</Width>400</Width>
    <Navigation>左壁沿走行</Navigation>
<SonarInfo>0,100, 0, 0, 0, 0</SonarInfo>
    <Regulation>往復通行</Regulation>
    <RoadKind>屋外通路</RoadKind>
    <RoadStatus>平坦</RoadStatus>
    <Pavement>アスファルト</Pave>
    <Point2>
      <X>500</X>
      <Y>2100</PointY>
      <Dir>0</Dir>
    </Point2>
  </Path>
<!-- パス 2 円弧走行 -->
  <Path>
    <Cdate>200010311200</Cdate>
    <Point1>
      <X>500</X>
      <Y>2100</Y>
      <Dir>0</Dir>
    </Point1>
    <PathName>A 1 号館横</PathName>
    <Message>縁石あり</Message>
  
```

備考

経路情報記述の始まり
コメント
パス記述の始まり
作成日の年月日時刻
パス始端記述の始まり
X 座標値 (cm)
Y 座標値 (cm)
方位(度)
パス始端記述の終わり
パスの名前

通路の幅

定型行動
6 個のソナーの距離計測値
交通規制
道路種別
道路状態
舗装
パス終端記述の始まり
X 座標値(cm)
Y 座標値(cm)
方位(度)
パス終端記述の終わり
パス記述の終わり
コメント
パス記述の始まり
作成日の年月日時刻
パス始端記述の始まり
X 座標値(cm)
y 座標値(cm)
方位(度)
パス始端記述の終わり
パスの名前
メッセージ

<Width>500</Width>	通路幅
<Navigation>右円弧走行</Navigation>	定型行動
<Regulation>一方通行</Regulation>	交通規制
<RoadKind>屋外通路</RoadKind>	道路種別
<RoadStatus>平坦</RoadStatus>	道路状態
<Pavement>アスファルト</Pavement>	舗装
<Point2>	パス終端記述の始まり
<X>800</X>	X座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
</Point2>	パス終端記述の終わり
</Path>	パス記述の終わり
<!-- パス 3 縁石に沿う直線走行 -->	コメント
<Path>	パス記述の始まり
<Cdate>200010311200</Cdate>	作成日の年月日時刻
<Point1>	パス始端記述の始まり
<X>800</X>	X座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
</Point1>	パス終端記述の終わり
<PathName>A 1号館横</PathName>	パスの名前
<Navigation>直線走行</Navigation>	定型行動
<Regulation>一方通行</Regulation>	交通規制
<RoadKind>屋外の通路</RoadKind>	道路種別
<RoadStatus>平坦</RoadStatus>	道路状態
<Pavement>アスファルト</Pavement>	舗装
<Width>500</Width>	通路幅(cm)
<SPinfomation>	SP情報記述の始まり
<Wether>曇</Wether>	天候
<SPcategory>エッジ</SPcategory>	SPの種類
<SPmodule>エッジ検出</SPmodule>	SP検出モジュール名
<SPversion>1.0</SPversion>	SP検出モジュールバージョン
<Camera>	ビデオカメラ記述の始まり
<Pan>0</Pan>	パン角(度)
<Tilt>-10</Tilt>	チルト角(度)
<Zoom>1</Zoom>	ズーミング(3段階表示)

</Camera>	ビデオカメラ記述の終わり
<SPdistance>50</SPdistance>	SP 検出距離(cm)
<SPparameter>	SP 検出パラメータ記述の始まり
<EdgeNo>2</EdgeNo>	左 2 番目のエッジが SP
</SPparameter>	SP 検出パラメータ記述の終わり
</SPinformation>	SP 情報記述の終わり
<!-- LM 観測点 横断歩道観測 -->	コメント
<LMinformation>	LM 情報記述の始まり
<LMpoint>	LM 観測点記述の始まり
<X>1800</X>	X 座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y 座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
<LMpoint>	LM 観測点記述の終わり
<LMcategory>横断歩道</LMcategory>	LM の種類
<Name>正門前横断歩道</Name>	LM 名称
<Message>守衛所が左にあります</Message>	メッセージ
<LMmodule>横断歩道検出</LMmodule>	LM 検出モジュール名
<LMversion>2.2</LMversion>	LM 検出ソフトウェアバージョン
<LMparameter>	LM パラメータ記述の始まり
<Location>前方</Location>	LM の位置
<BaseCorner>左下</BaseCorner>	LM の基準点
<Camera>	ビデオカメラ記述の始まり
<Pan>0</Pan>	パン角(度)
<Tilt>-10</Tilt>	チルト角(度)
<Zoom>2</Zoom>	ズーム(3段階表示)
</Camera>	ビデオカメラ記述の終わり
<DevLMPoint>	LM の相対位置記述の始まり
<X>300</X>	x 座標値(cm)
<Y>350</Y>	y 座標値(cm)
<Dir>180</Dir>	相対方位(度)
</DevLMPoint>	LM の相対位置記述の終わり
<SearchArea>	画面探索範囲記述の始まり
<SAreaLeft>-100</SAreaLeft>	左辺の座標
<SAreaRight>100</SAreaRight>	右辺の座標
<SAreaTop>-50</SAreaTop>	上辺の座標
<SAreaBottom>-100</SAreaBottom>	下辺の座標

</SearchArea>	画面探索範囲記述の終わり
<Nichika>10</Nichika>	画像の 2 値化閾値
</LMparameter>	LM パラメータ記述の終わり
</LMinformation>	LM 情報記述の終わり
<Point2>	パス終端記述の始まり
<X>1800</X>	X 座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y 座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
</Point2>	パス終端記述の終わり
</Path>	パス記述の終わり
<--パス 4 SP なし-->	コメント
<Path>	パス記述の始まり
<Cdate>200010311200</Cdate>	作成日の年月日時刻
<Point1>	パス始端記述の始まり
<X>1800</X>	X 座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y 座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
</Point1>	パス始端記述の終わり
<Wether>曇</Wether>	天候
<PathName>A 1 号館横</PathName>	パスの名前
<Navigation>直線走行</Navigation>	定型行動
<Regulation>一方通行</Regulation>	交通規制
<RoadKind>屋外通路</RoadKind>	道路種別
<RoadStatus>平坦</RoadStatus>	道路状態
<Pavement>アスファルト</Pavement>	舗装
<Width>500</Width>	通路幅(cm)
<-- ! 歩行者信号検出 -->	コメント
<LMinformation>	LM 情報記述の始まり
<LMpoint>	LM 観測点記述の始まり
<X>2200</X>	X 座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y 座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
</LMpoint>	LM 観測点記述の終わり
<LMcategory>交通信号</LMcategory>	LM の種類
<Name>正門前歩行者信号</Name>	LM 名称
<LMmodule>交通信号検出</LMmodule>	LM 検出モジュール名

<LMversion>2.0</LMversion>	LM 検出レンジ開始
<Camera>	ビデオカメラ記述の始まり
<Pan>-30</Pan>	パン角(度)
<Tilt>20</Tilt>	チルト角(度)
<Zoom>2</Zoom>	方位(3段階表示)
</Camera>	ビデオカメラ記述の終わり
<LMparameter>	LMパラメータ記述の始まり
<SearchArea>	画面探索範囲記述の始まり
<SAreaLeft>-100</SAreaLeft>	左辺の座標
<SAreaRight>100</SAreaRight>	右辺の座値
<SAreaTop>100</SAreaTop>	上辺の座標
<SAreaBottom>-100</SAreaBottom>	下辺の座標
</SearchArea>	画面探索範囲記述の終わり
<Nichika>20</Nichika>	画像の2値化閾値
</LMparameter>	LM情報記述の終わり
</LMinformation>	LM情報記述の終わり
<Point2>	パス終端記述の始まり
<X>2200</X>	X座標値(cm)
<Y>2300</Y>	Y座標値(cm)
<Dir>90</Dir>	方位(度)
</Point2>	パス終端記述の終わり
</Path>	パス記述の終わり
</PathData>	経路情報記述の終わり

2.2 画像処理

山梨大学の従来の研究成果に基づき、歩行ガイドロボットは定型行動で走行するとし、定型行動のガイドとなるサインパターンと現在位置の確認のためのランドマークを画像処理で検出することにする。表 2.2 に画像処理モジュールと機能、およびティーチングで教示するパラメータを示す。

表 2.2 画像処理モジュール

画像処理モジュール	機能	ティーチングで教示するパラメータ
横断歩道検出	画面に映った横断歩道マークを検出し、手前のコーナーの現地点からの相対位置と方位を出力する。	ビデオカメラのパンチルト角、画面上の横断歩道マークの基準点、基準方位
交通信号監視	歩行者信号の青赤を一定周期で出力し、信号が赤から青に変化した時に告知する。	ビデオカメラのパンチルト角、ズーム係数、画面上の信号の探索範囲
エレベータドア監視	ドアの開閉を一定周期で出力し、ドアが開いた時に告知する。	ビデオカメラのパンチルト角、画面上のドアの探索範囲
看板検出	ティーチングで登録した看板の検出の有無を出力する。	ビデオカメラのパンチルト角、ズーム係数、画面上のドアの探索範囲
点字ブロック	点字ブロックを検出し、ロボットとの間隔を出力する。	歩道と点字ブロックの色差
色テープ	色テープを検出し、ロボットとの間隔を出力する。	通路と点字ブロックの色差
タイル貼り歩道検出	タイル貼り歩道を検出し、横方向位置ズレを出力する。	画像処理で検出するエッジ

2.3 ノイズフリーで複数同時動作可能な超音波距離計の開発

* 目的

従来の短い超音波のパルスを発信して、受信するまでの時間から距離を測定する超音波距離センサは、拍手やエンジン音などのパルス上の雑音に弱いので屋外で使用することは困難である。さらに、複数の超音波センサを使用する場合、他のセンサによる反射波と自分自身の反射波の区別がつけられないため、センサを順次切り換えて個別に動作させる必要がある。しかし、この方法ではすべてのセンサの結果を得るまでにセンサの個数分だけの時間を必要としてしまい、歩行ガイドロボットのような移動体に搭載した場合、障害物の検出等が遅れるなどの問題が生じる。そこで、全てのセンサが同時に動作可能にし、さらに雑音に対してロバスト性を高めるために相関を用いた超音波センサを開発した。

本超音波センサは、各々の測定ユニットが幅が一定でその発生間隔が時間的に異なるパターンで変調された超音波を発信する。受信された信号は発信パターンとの間で相関演算を行い、計算の結果のうち、あらかじめ定められた閾値よりも大きな値となったものを、自分の発信信号の反射波から得られた距離としている。これによって、パルス状の雑音や、他のセンサユニットとの反射波の影響をなくすことが可能となる。

* 距離測定センサシステムの仕様と構成

距離測定システムは、1組のトランスデューサごとにマイクロプロセッサを用いて相関演算を行モジュール化された測定ユニットと複数の測定ユニットからのデータを収集し、そのデータを上位のコンピュータに送出するコントローラからなる。ここで開発したセンサシステム全体の構成と仕様を図 2.8、表 2.3 に示す。

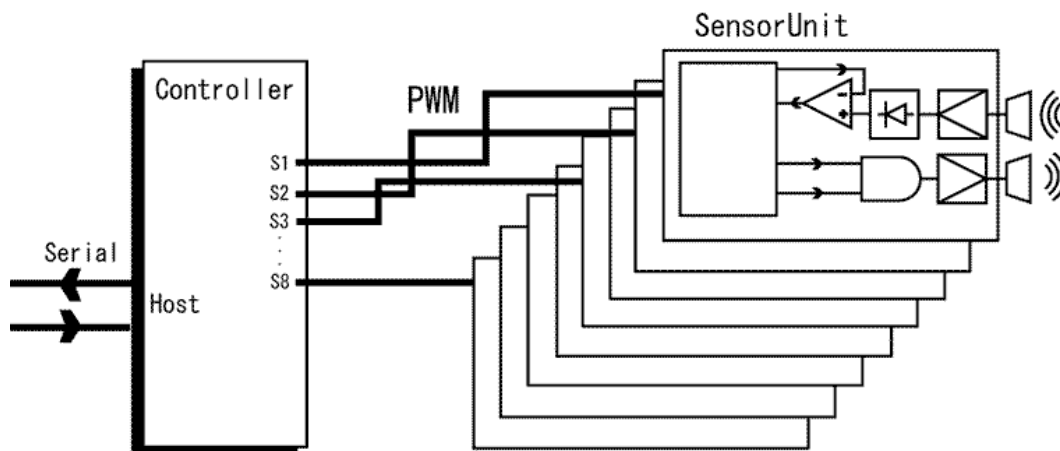


図 2.8 システムの構成

表 2.3 システムの仕様

測定ユニット	
キャリア周波数	40kHz
最大測定距離	0.5 ~ 5m
分解能	1cm
精度	$\pm 1.5\text{cm}$
最小測定周期	50ms
測定出力	9 ビット PWM 波
電源電圧	$+12\text{V} \pm 10\%$
消費電流	$50\text{mA} \pm 20\%$

コントローラ	
最大入力点数	8 点
外部インタフェース	RS232C
使用コード	ASCII
電源電圧	+12V
消費電流	40mA

センサユニット：センサユニットでは、40kHz のキャリア信号の生成、送信信号の合成、送信、受信、受信信号の二値化、相関演算を行う。距離の測定結果は 9 ビット分解能のパルス幅変調 (PWM) 波に変換されコントローラに送られる。センサユニットの構成を図 2.9(a)に示す。

コントローラ：コントローラでは、各センサユニットから送られてきた PWM 波を LPF を通しアナログ信号に変換し、それぞれのセンサ番号と測定結果を上位のコンピュータに調歩同期方式シリアル信号で送信するとともに、上位コンピュータからのコマンドを受信する。上位コンピュータへの距離データは連続して出力し、上位コンピュータはその中から必要なデータを取捨選択する。データの構成は以下の通りである。コントローラの構成を図 2.9(b)に示す。

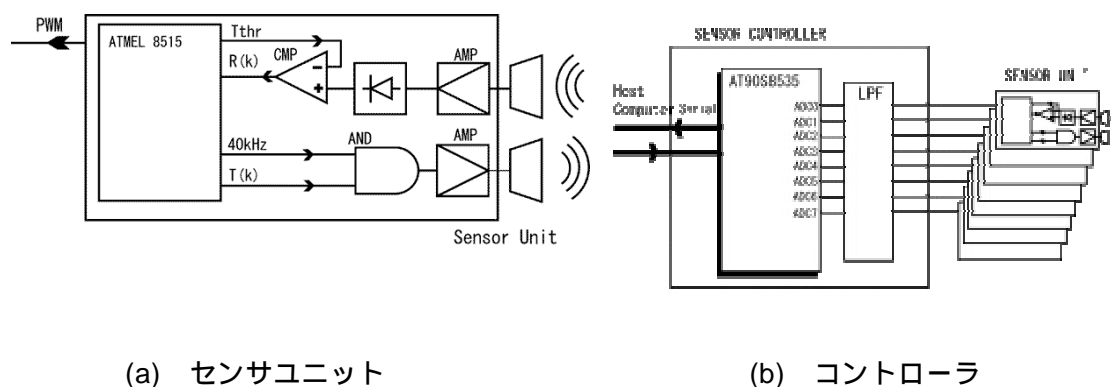


図 2.9 センサユニットとコントローラのブロック図

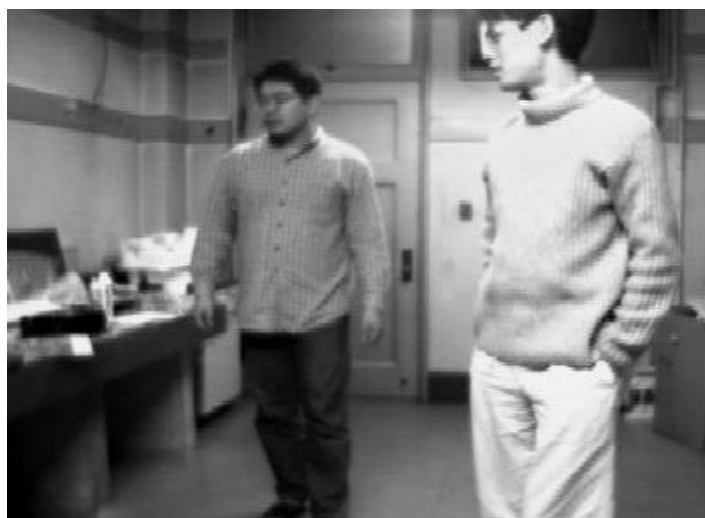
(2-2) 東京工業大学

東京工業大学実吉研究室はスバル研究所(株)製のステレオカメラシステム上に障害物類別システムを開発した。歩行ガイドロボットは地理データベースに基づいて病院施設の廊下や歩道交差点などの道路環境を走行する。しかし、地理データベースには自転車や自動車などの移動体や一時的に置かれた障害物のデータは含まれておらず、ロボットに搭載したセンサで検出しなければならない。ロボットは障害物の種類が何であるかによって行動を変える。すなわち、障害物が自動車や自転車であれば、通り過ぎるまで停止するし、ごみ箱や街路樹であれば回避して走行する。障害物類別システムは障害物の大まかな種類、位置、速度を検出するセンサである。

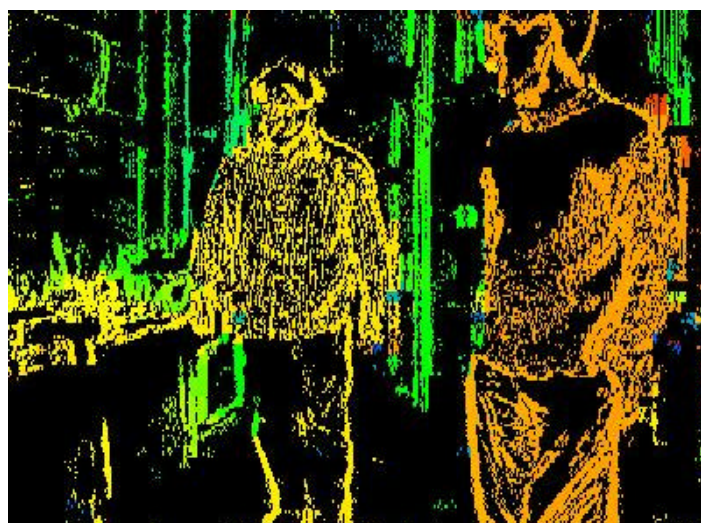
スバル研究所(株)製ステレオカメラシステムは、左右2つのビデオカメラを同一水平線上に一定間隔を置いて設置する。カメラの前方にある物体の像の位置は、左右のビデオカメラで水平方向にズレる。このズレは物体が近くにあるほど大きく、遠くにあるほど小さい。このズレを右または左の像の濃淡値として表現する。すなわち、近くにあるほど明るく、遠くにあるほど暗く表現する。これを距離画像という。この距離画像から物体の大まかな種類と位置を求める。当該ステレオセンサーはこの処理を電子回路と内蔵コンピュータで実現する。仕様と画像処理例を表2.4、図2.10に示す。

表 2.4 ステレオカメラシステム仕様

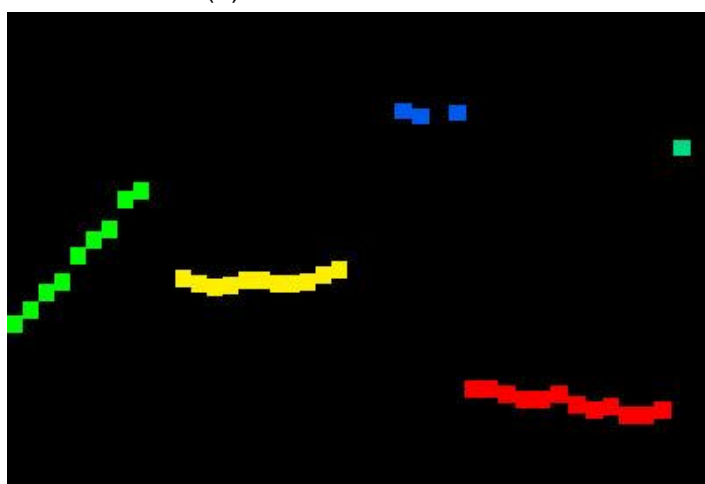
項目	仕様
視野角	54 度
レンズ補正機能	あり
ダイナミックレンジ	400 倍
最小検出距離(奥行き)	0.3m
奥行き方向位置決め精度	距離 0.3m で ±2mm、距離 4m で ±250mm
横方向位置決め精度	距離 4m で ±50mm
障害物類別機能	静止障害物、自動車、自転車、歩行者、その他の移動体に類別
処理速度	0.2 秒
通信機能	RS232C によるシリアル通信
寸法	幅 210mm、高さ 300mm、奥行き 90mm
消費電力	W・D・H (mm)210 * 90 * 300
製造	スバル研究所



(a) 原画像



(b) 距離画像



(c) 障害物検出結果

図 2.10 ステレオカメラシステム処理例

(2-4) 武蔵野美術大学

武蔵野美術大学真田教授は車体のフレーム・カバーをデザインした。視覚障害者に歩行ガイドロボット晴信6号機の評価実験をしてもらい、その意見に基づいて次のような方針で設計した。仕様と図面を表2.5、図2.11に示す。

- 1) サイズと重量：ワンボックスカーに入る大きさで、リフトなしで車に搭載できる重さ
- 2) ハンドル：身長に合わせて高さ調節可、手を離せば停止
- 3) ボタンとスイッチ：誘導時にはスタート・ストップのボタン一つ、誘導時にメニューを操作する時は必ず停止
- 4) カバー：防水。周囲の健常者に目立つフレンドリなデザイン

表 2.5 車体フレーム・カバー仕様

項目	仕様
寸法	幅 500mm 高さ 950mm 奥行き 500mm
総重量	40kg 以下
フレーム	SuperIPcam、バッテリー、ビデオカメラ、ステレオカメラシステム、ソナー等を取り付ける孔を有し、堅牢かつ軽量で地磁気を乱さないアルミ材を用いる
ハンドル	高さは 850mm から 950mm で調整可能とし、左右のグリップ部にパイプレータを有し、ハンドルから手を離れたことがわかるスイッチを有する
スイッチと押しボタン	電源スイッチ、非常停止スイッチ、4個のメニュー選択用押しボタンを有する
バンパセンサ	フロント部に設置、バンタグラフ式で角のない形状、障害物に接触したとき 5mm で作動
電源	バッテリー(DC12V×12A、181D×76W×167H) 2個、電源スイッチと3個のリレーと各システムへの配線からなり、電源スイッチを ON にすると定められたシーケンスに従って各システムに電源を供給する
サスペンション	車輪駆動部は独立懸架方式とし、バネとバンパーを介してフレームに取り付ける
車輪	主輪の外径は 16 インチ、前輪の外径は 132mm とし、タイヤは灰色のカーボンレスを使用する
カバー	図 4.4 の設計図に基づき、材質は FRP (ガラス繊維強化プラスチック) とし、重量は 10kg 以下、メタル光沢のグレー系の塗装をする

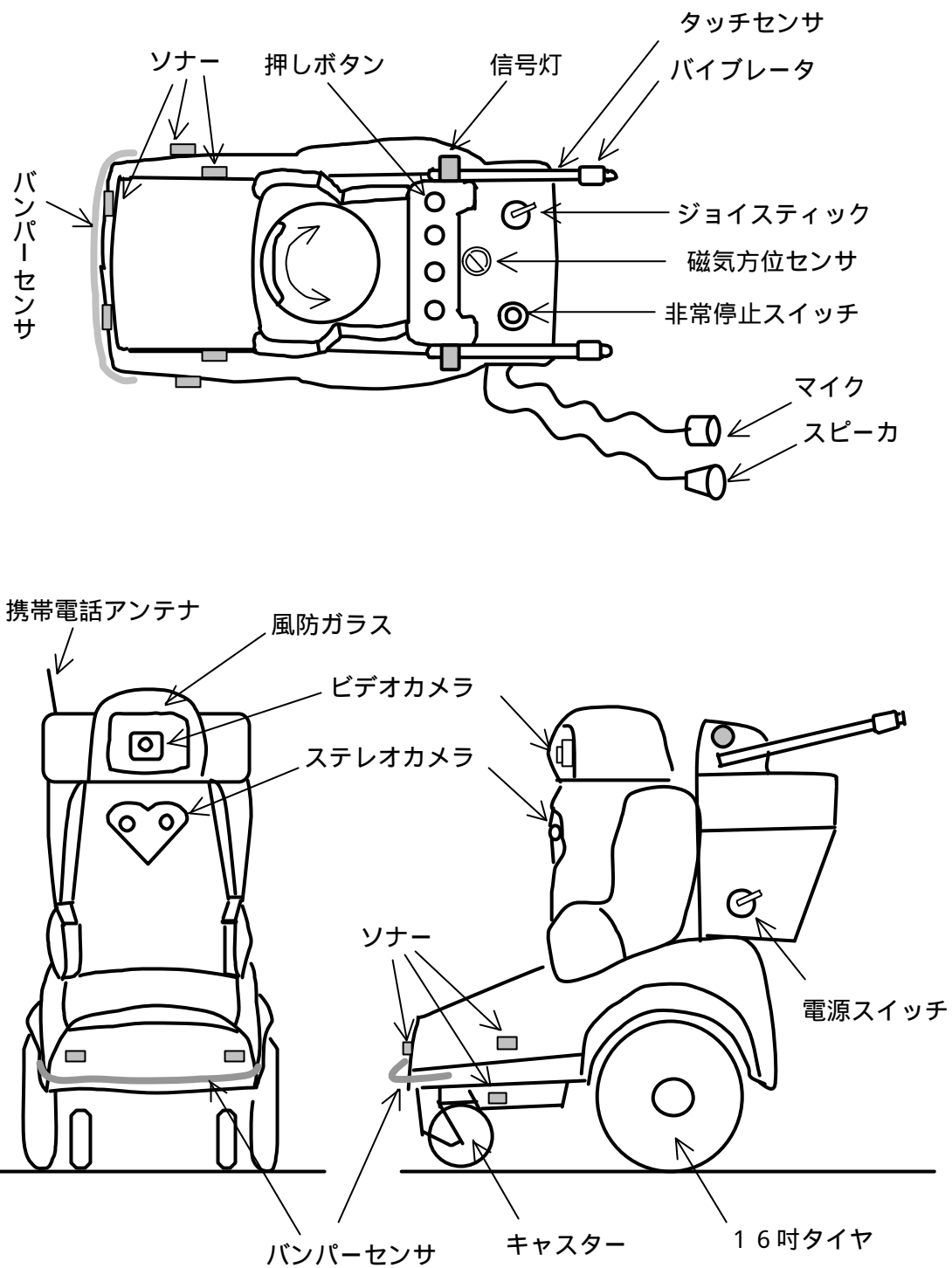


図 2.11 歩行ガイドロボットのデザイン

(2-4) スズキ株式会社

知能走行制御システムを開発した。上位コンピュータからの走行コマンドと、 障害物・壁面検知用の相関型超音波センサ、 障害物との接触検知用のバンパセンサ、 車両回転角度・直進補正用レートジャイロ、 方位補正用の地磁気方位センサ、 これらのセンサ群のローカル情報に基づいて、歩行ガイドロボットの動作を半自律的、反射的に制御するシステムである。図 2.12 と表 2.6 にブロック図と仕様を示す。

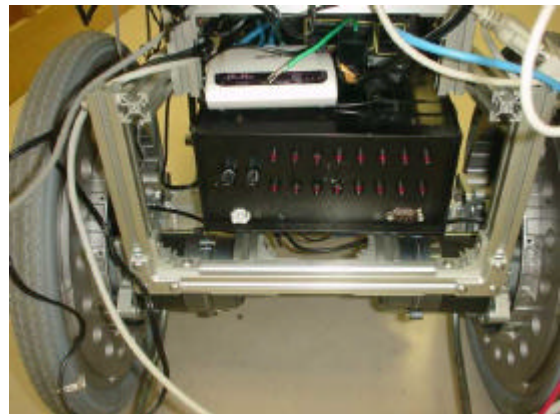
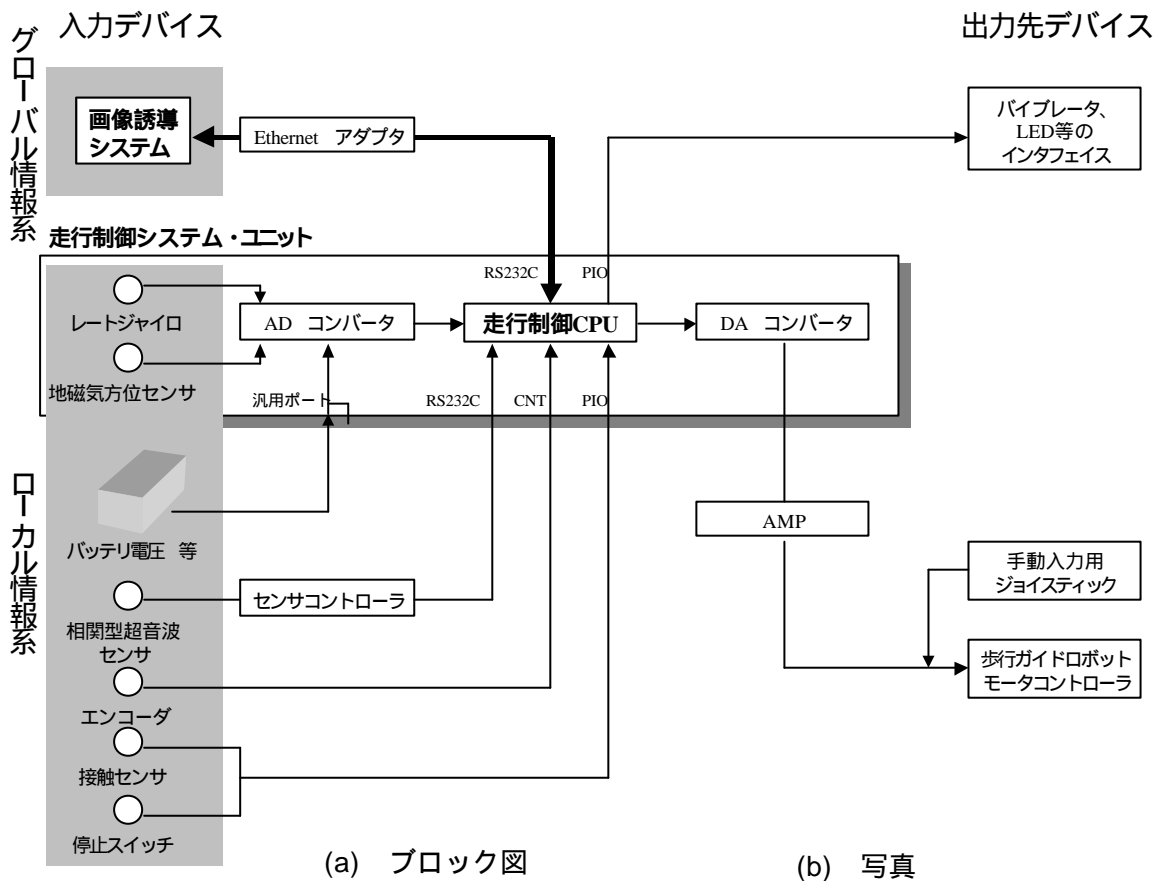


図 2.12 知能走行制御システム

表 2.6 知能走行制御システム仕様

分類	項目	仕様
マイコン	CPU	日立 SH2
	メインメモリ	128KB以上
制御部 × 2	車輪制御部	位置制御、速度制御、加速度制御、PWMドライバ、位置速度検出フィードバック回路を有すること
	センサ部	地磁気センサ及び処理回路、3軸加速度センサ、ジャイロ、バンパスイッチを有すること
	操作盤	ジョイスティック、非常停止スイッチを有すること
入出力部 × 2	入力チャンネル	電流検知センサ用およびエンコーダ用
	出力チャンネル	モータ用
通信	RS232C	SuperIPcam との通信用
走行制御機能	直進走行	直線走行の直線補正と速度制御と走行距離制御
	超地旋回	旋回の角速度制御と角度制御
	円弧走行	円弧走行の速度制御、走行距離制御
	指定方位に走行	指定方位走行の角速度制御と角度制御
	指定方位に回転	指定方位回転の角速度制御と角度制御
	壁沿い走行	超音波センサにより壁までの距離を計測し壁に沿って走行する。他は直進走行に同じ
	緊急停止機能	バンパスイッチ、停止スイッチ、超音波センサによる緊急停止機能
外形寸法	W×D×H(mm)	300×300×100以下
電源		DC24V 2A以下
温度範囲	動作時	0～40 以内
	非動作時	10～60 以内
湿度		35～85% (結露なきこと)
重量		3.5Kg以下 (電池を含む)
その他	通信は日本システムウエア(株)「歩行ガイドロボット走行制御プロトコルインタフェース」に従うこと	
製造	スズキ(株)	

知能走行制御システムは車体駆動システムに駆動指令を出す。後者はモータと減速器、回転検出部、電磁ブレーキ部、リールから構成される。仕様を表 2.7 に示す。

表 2.7 車体駆動システム仕様

分類	項目	仕様
モータ部	定格電圧	DC 24 V
	定格出力	27 W
	定格トルク	0.098 N・m (1 kgf・cm) 以上
	定格回転数	2600 rpm
	回転方向	正逆両用
	モータ数	2 (左右は逆回転仕様)
回転検出部	検出方式	ホールIC式
	使用温度範囲	-20 ~ +60
	電源電圧	9.5 から 13V (定格 12V)
	出力パルス数	8 パルス / REV (366 パルス / タイヤ回転)
	消費電流	10 mA 以下
電磁ブレーキ	使用目的	保持用ブレーキ
	電圧	DC 24 V
	容量	約 7 W
	静摩擦トルク	0.49 N・m (5 kgf・cm) 以上
	作動	無励磁作動
減速機	減速比	1 : 42
	寸法	W・D・H (mm) 250 * 150 * 130 以下
	重量	10 kg 以下
その他		コントローラ、ジョイスティックは、本件用に別途特注したモノを使用
製造		スズキ(株)

(2-5) 株式会社日立製作所

1 研究目標

歩行ガイドロボット実用化に向けて、下記の機能を持つ小型・高性能かつ低消費電力のロボット組込み型画像処理システムSuperIPCamを開発する。

障害物や縁石、ランドマークなどをカメラ映像から認識する画像認識機能

グラフィカルな地図により（支援者が）指示できるGUI機能

歩行ガイドロボットとインタフェースするための音声認識・合成機能

携帯電話や他システム(走行制御、ステレオビジョン)とのインタフェース機能

これにより、看板などのランドマークや道路縁石を検知し、地理情報に基づきロボットを誘導する歩行ガイドロボットを実現できる。

2 実施状況と研究成果

SuperIPCamの具体構成としては、

最新のマイコンチップ(SH-4)と新開発した画像処理LSI(SuperVchip)を搭載し、小型ボード3枚構成でシステム構築した。構成と仕様を図2.13と表に示す。SuperIPcamの写真を図2.14に示す。

CPUボード：：SH-4マイコン、Ether、VGAグラフィックチップ搭載

IOボード：：コンパクトフラッシュ制御、音声入出力を行う

IPボード：： SuperVchipを搭載し、ビデオ入出力および画像処理を行う

SuperIPCamのソフトウェアの基本システムソフトOSとしてLinuxを搭載し、マンマシンインターフェイスのためのX windowシステム、CFファイルシステム
携帯インタフェース機能を実現した。

SuperVchipを活用し、既存のIP5000コンパチの画像処理機能を実現した。

任意語出力の音声合成機能、任意話者対応の音声認識・合成機能を搭載した。

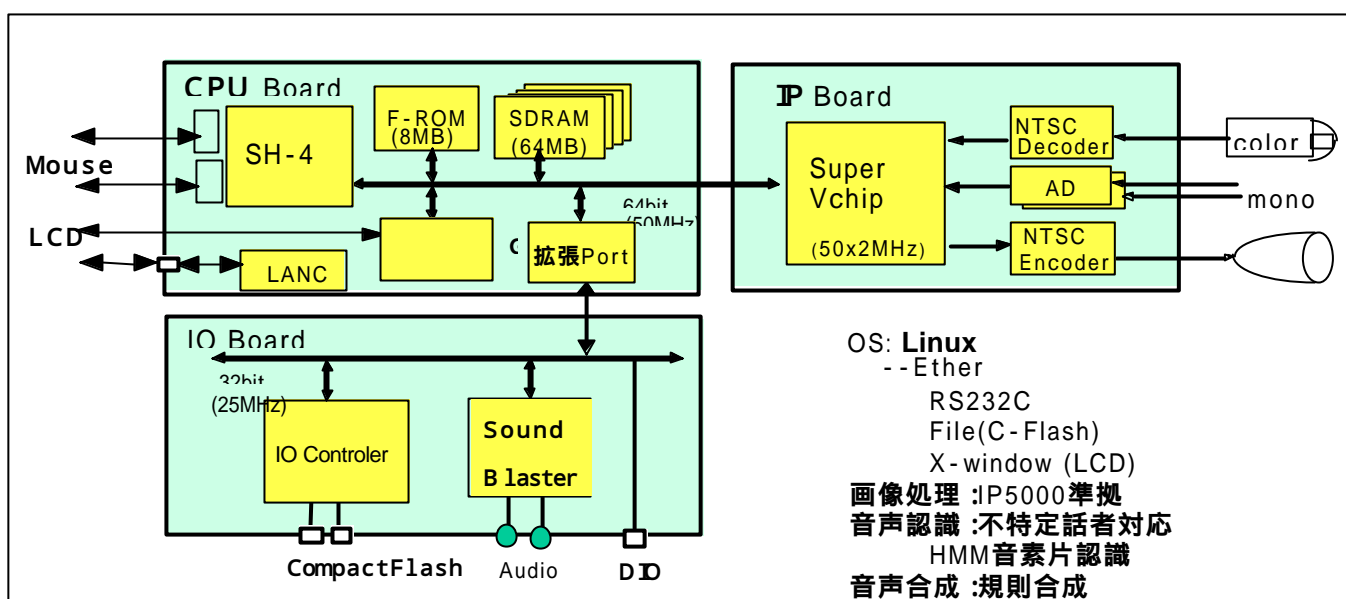


図 2.13 SuperIPcam の構成



図 2.14 Super IPcam の写真

表 2.8 小型省電力画像処理システム仕様

分類	項目	仕様
画像認識部	CPU	SH4 150MHz
	メインメモリ(画像メモリ兼用)	64MB以上
	画像処理LSI	Super VCHIP 50MHz以上
	画像処理方式	濃淡, 2値, YUVカラー
外部インタフェース	ビデオ入力	NTSC規格 3CH
	ビデオ出力	NTSC規格 1CH
	LAN	10BASE-T
	LCDモニタ出力	アナログRGB

	シリアルポート	115.2kbps 2ポート
	コンパクトフラッシュ	Typell サイズ 拡張1スロット
	音声入力	2 . 8 Vpp
	音声出力	2 . 8 Vpp
ソフトウェア	OS	L i n u x
	開発ツール	X Server, Xlib, GTK+
画像処理 コマンド ドライバ	基本処理機能	画像間演算 (積和演算)
	フィルタ機能	Min,Max,平滑 , 強調等が可能
	正規化関連機能	間引き指定あり
	3次元計測支援機能	7×7 オプティカルフロー間引き指定あり
	カラー処理機能	色抽出、 変換が出来る
音声合成 ミドルウ エア	1) ソフトウェア区分 : SH4 関数及びデータ 2) 規則合成処理 3) 日本語処理 4) 音声合成方式 : 波形重畳法	
音声認識 ミドルウ エア	1) ソフトウェア区分 : SH4 関数及びデータ 2) 単語認識処理 3) 数字認識処理 4) 音声認識方式 : HMM 音素片方式	
外形寸法	W×D×H (mm)	120×90×85 以下
電源		D C 1 2 V 1 . 2 A
温度範囲	動作時	0 ~ 4 0 以内
	非動作時	1 0 ~ 6 0 以内
湿度		3 5 ~ 8 5 % (結露なきこと)
重量		1 . 2 K g 以下
製造	日立プロセスコンピュータエンジニアリング (株)	

(2-6) 日本システムウェア株式会社

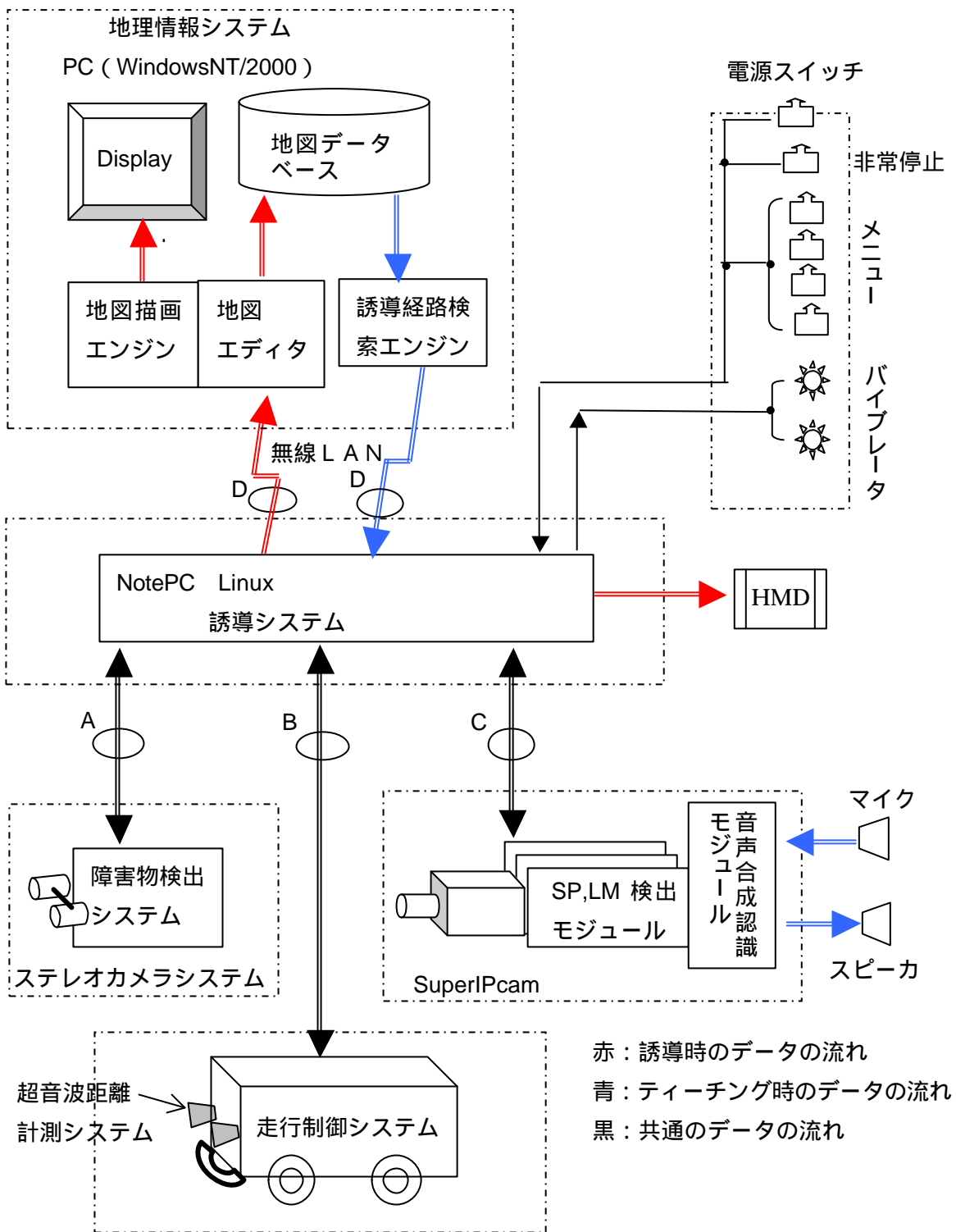
1 研究目標

画像誘導システムは次ぎのような条件を満たす画像誘導システムを開発する。

- 1) 画像誘導システムは図 2.15 に示すように、PC をメインシステムにし、知能走行制御システムと、小型省電力画像処理システム(SuperIPcam)、ステレオカメラシステムとの機能分散システムとすること
- 2) ロボットの状態は無線 LAN を通して外部のコンピュータに通報すること
- 3) 画像誘導システムと知能走行制御システムは歩行ガイドロボット走行制御プロトコールで通信すること
- 4) 画像誘導システムと SuperIPcam は歩行ガイドロボット画像処理インタフェースプロトコールで通信すること
- 5) 画像誘導システムとステレオカメラシステムは歩行ガイドロボットステレオシステムインタフェースで通信すること
- 6) 経路情報は歩行ガイドロボット経路情報 XML 記述形式で表現すること
- 7) ティーチング時は作業者に HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を通してメニューや画像を表示しキーボードを通してデータ入力する。誘導時は視覚障害者に音声合成インタフェースを通してメニューを表示し、押しボタンと音声認識インタフェースを通してデータ入力する。
- 8) OS は Linux とすること

2 実施状況と研究成果

図 2.16 に示すプロセス構成の画像誘導システムと図 2.17、図 2.18 に示すプロセス構成の地理情報システムを開発した。



- A : 歩行ガイドロボットステレオシステムインタフェースプロトコール
- B : 歩行ガイドロボット走行制御プロトコール
- C : 歩行ガイドロボット画像処理インタフェースプロトコール
- D : 歩行ガイドロボット経路情報 XML 記述形式

図 2.15 誘導システムのブロック図

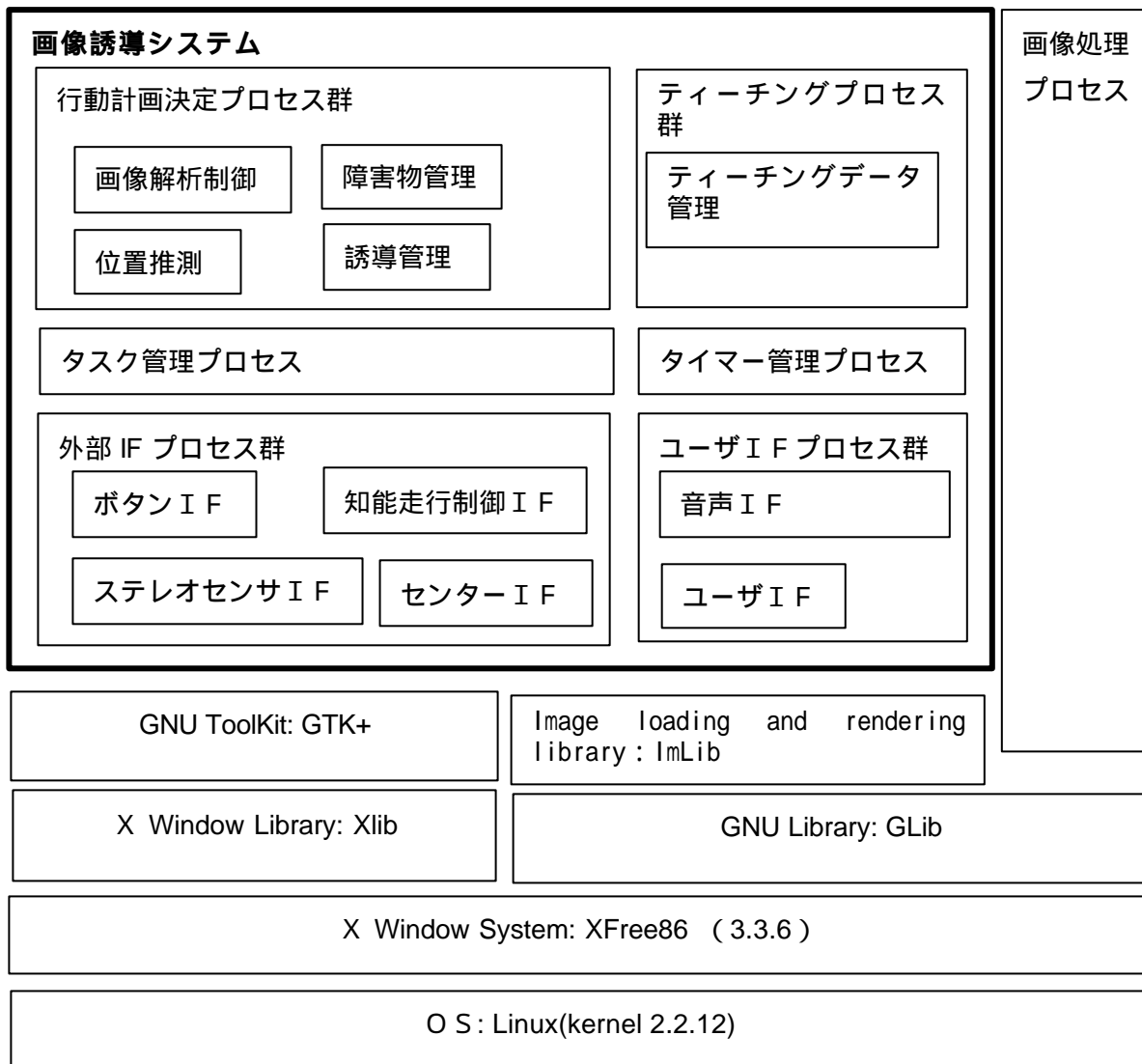


図 2.16 画像誘導システムのプロセス構成

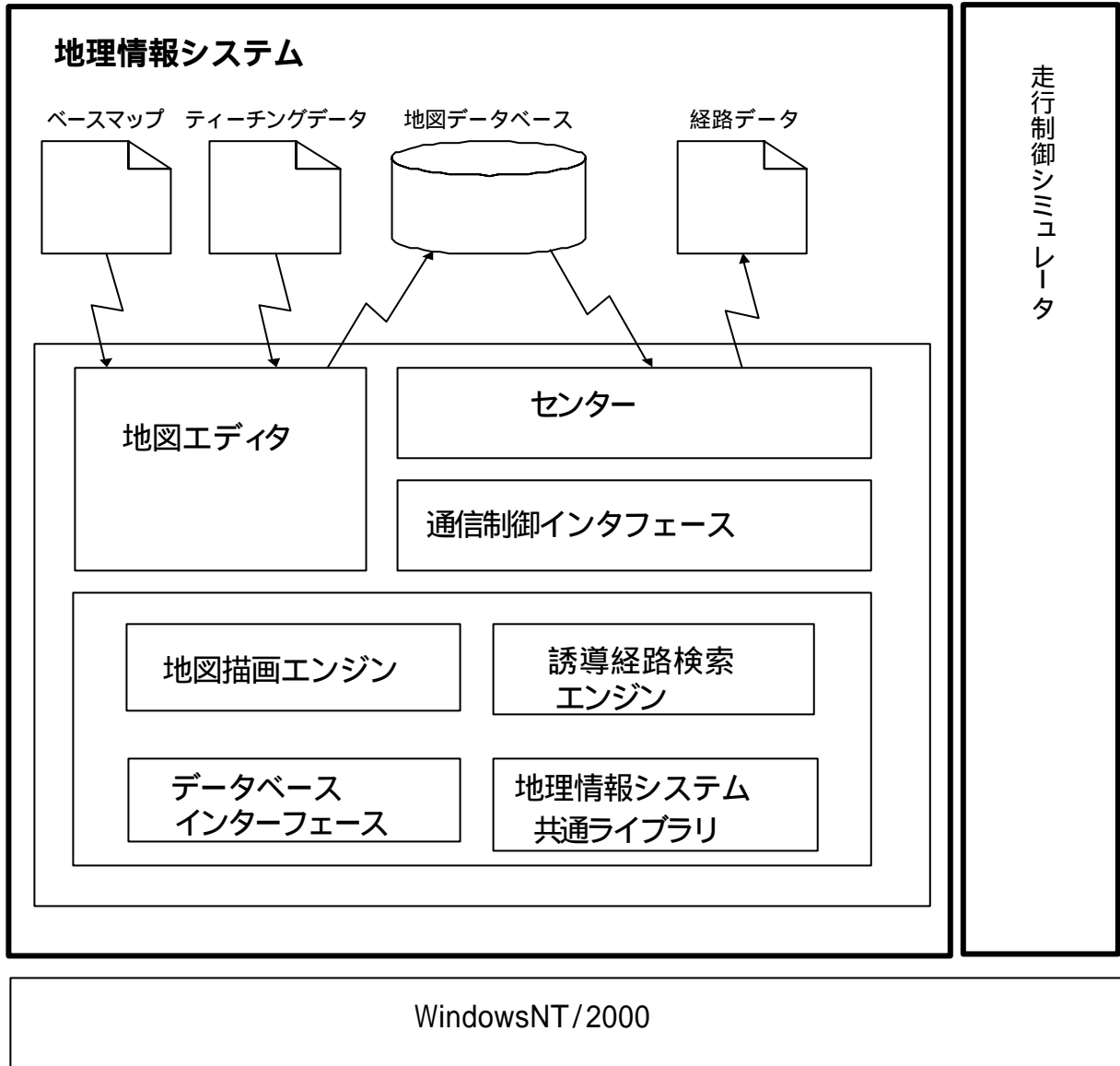


図 2.17 地理情報システムのプロセス構成

まとめ

(1) 当該研究開発プロジェクト全体の進捗状況及び成果のまとめ

プロジェクト全体の進捗状況を表 3.1 に、ロボットの写真を図 3.1 に示す。

表 3.1 進捗状況の及び成果のまとめ

	進捗状況及び成果のまとめ	
	完 成 部 分	未 完 成 部 分
経路情報 XML (山梨大学)	<ul style="list-style-type: none"> ・ パス、サインパターン、ランドマークの記述方式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ なし
画像処理 モジュール (山梨大学)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 横断歩道検出モジュール ・ 点字ブロック検出 " ・ 看板認識 " ・ 車両認識 " ・ 交通信号認識 " 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各モジュールの組み込み実験 ・ 様々な歩道環境への適応 ・ エラー診断
距離測定 システム (山梨大学)	<ul style="list-style-type: none"> ・ センサユニットとコントローラ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 結合テスト
ステレオカメラ システム (東京工大)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 距離画像検出システム 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 障害物位置決め
車体・フレーム カバーデザイン (武蔵野美大) (山梨大学)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車体・カバー・フレーム・ハンドルのデザインと製作 	<ul style="list-style-type: none"> ・ バンパー、方向指示器取り付け ・ サスペンション改良 ・ バイブレーション改良 ・ 頭部ビデオカメラカバー改良
知能走行制御 システム (スズキ株)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハードウェアとソフトウェアの機能 ・ 筐体、コネクタ、インタフェース 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ジャイロと加速度センサによる斜面横行の走行特性改良
小型省電力画像 処理システム 日立製作所株)	<ul style="list-style-type: none"> ・ SH4 と SuperVchip ・ Linux と X-Window ・ 画像処理ライブラリ ・ 音声合成認識ミドルウェア ・ 各種マニュアル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ SuperIPCam 自体の電源オン・オフ(システム立ち上げ、シャットダウン)の高速化 ・ 省電力待機モードの実現 ・ ロバストネスの向上
誘導システム 日本システム ウェア株)	<ul style="list-style-type: none"> ・ XML 記述経路情報による誘導 ・ 走行制御プロトコルによる知能走行制御システムとの通信 ・ ステレオシステムインタフェースプロトコルによる通信 ・ 経路情報による誘導 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実運用時のエラー回避処理
ロボット全体	<ul style="list-style-type: none"> ・ 経路情報のティーチングとそれによる誘導 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証評価実験 ・ 全体システムの自動立ち上げ、シャットダウン機能の実現



図 3.1 歩行ガイドロボットの写真

今後の展開

* 市場規模（現状と将来見通し）

歩行ガイドロボットは施設や病院等での利用が推定される。全国の視覚障害者が利用するリハビリテーション施設等は表3.2の通りで約1300施設である。他に、全国の500床以上の中～大規模病院504施設（床数350,499）が搭乗型ガイドロボットの市場として見込まれる。平成8年11月厚生省統計によれば、日本国内の視覚障害者(障害者手帳取得者)は305,000人で単独歩行が困難な1級および2級の障害者は55% 168,000人である。年齢別内訳は表3.3の通りである。70歳以下の障害者は約55%である。歩行ガイドロボット市場の対象となるのは1級、2級の70歳以下の視覚障害者で約5.2万人と推定できる。歩行ガイドロボットの普及率が10%と20%としたときの市場の予測を表3.4に示す。

歩行ガイドロボットで開発した技術は他の分野、たとえば重度身体障害者の自立移動を支援するため電動車椅子に誘導システムを搭載した知能電動車椅子、遊園地やイベント会場で来場者を案内する会場案内ロボット、果樹やトマトハウス等における消毒作業を自動で行う知能消毒ロボットへの応用が考えられる。

表 3.2 全国リハビリテーション施設

日本全国リハビリテーション施設等（平成10年10月、厚生省統計）		施設数	定員数
更正施設	視覚障害者更正施設、重度身体障害者更正援護施設	86	6,377
生活施設	身体障害者療護施設、身体障害者福祉ホーム	361	20,980
作業施設	（重度）身体障害者授産施設、身体障害者通所授産施設、身体障害者福祉工場	478	19,992
地域利用施設	身体障害者福祉センター(A型、B型)、障害者更正センター*、点字図書館*、点字出版施設*、盲人ホーム、盲児施設(*統計値無)	387	1,700
合計		1,312	49,049

表 3.3 視覚障害者年齢分布

年齢（歳）	18-39歳	40-49歳	50-59歳	60-69歳	70歳以上	不祥	合計%
視覚障害者	6.5	8.5	14.1	22.0	45.2	3.7	100.0

表 3.4 市場予測

	母集団	普及率 10%	普及率 20%
70才以下の1級2級視覚障害者	5.2万人	5,200台	10,400台
全国リハビリテーション施設	1,300施設	390台(3台/施設)	780台
全国中大規模病院	500施設	200台(4台/施設)	400台

2 実用化予定

歩行ガイドロボットの実用化のためには当該プロジェクトで共同研究を実施した大学と企業で歩行ガイドロボット開発コンソーシアムを設立する。また、歩行ガイドロボットの普及推進と管理サービスを目的とする NPO 法人を設立する。NPO 法人を設立する理由は、活動に対する社会的信用が増すこと、普及推進活動に対する寄付行為が受けやすくなること、当初は管理サービス事業が企業ベースでは困難と予想されることである。実用化スケジュールを表 3.5 に示す。

表 3.5 実用化スケジュール

組織			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
コン ソ シ ア ム	山梨大 東工大他	技術改良	20 台 開発	技術 改良	量 産 検討	製 品 試作	技術改良			
	スズキ(株) 日立(株) NSW(株) 他	量産化技 術開発					製品製造			
							病院・施設に販売			
							個人に 販売			
N P O 法 人	実証評価実験		設立 準備	室内誘導評価						
				歩道誘導評価						
	法規改正			データ整理		交通法規改正				
	ロボット教習					補填具認定				
	管理サービス			管理サービスの 実験		教習者の 養成			障害者 の教習	
				管理サービス体制確立						

* 歩行ガイドロボット開発コンソーシアム

- 1) 目的 歩行ガイドロボットの市販品の開発と製造を目的とする
- 2) 事業

歩行ガイドロボットの技術改良をする。

信頼性を高め製造コストを下げるための量産化技術を確立する。

機能と安全性・信頼性を高めるための実証評価実験を行う。

最初は道路交通法規の問題がなく管理サービスが容易な病院・施設にレンタル、次ぎに管理サービス体制が出来た地域から順に障害者個人にレンタルする。

- 3) 組織

代表 森英雄（山梨大学地域共同開発研究センター）

車体製造担当 スズキ(株)、中家製作所(株)

小型省電力画像処理システム製造担当 日立製作所(株)

ソフトウェア開発担当 日本システムウェア(株)

技術改良担当 山梨大学森・清弘・小谷研究室、東京工業大学実吉研究室

デザイン担当 武蔵野美術大学真田研究室

知的財産管理担当 山梨ティ・エル・オー

レンタル・販売担当 未定

* NPO 法人 歩行ガイドロボット普及推進センター（仮称）

2001 年設立準備、2002 年創設予定

- 1) 目的 歩行ガイドロボットの実証評価実験を行い、そのデータを基に道路交通法等の法規改正、視覚障害者補填具認定を申請する。またロボット教習センタ、管理サービスセンタを設置し、有料でサービスを行う。

- 2) 事業

実証評価実験：歩行ガイドロボットの有効性評価と、法規改正に必要なデータを得るため、視覚障害者団体および視覚障害者ボランティアにより実証評価実験を実施する。実験場所は病院・施設の室内と市街と住宅街の歩道とする。

法規改正：警察庁に道路交通法規改正を、厚生労働省に視覚障害者補填具認定を申請する。

ロボット教習センタ（有料）：ロボット教習センタを設置し、教習者を育成し、障害者の教習を有料で実施する。教習の内容は、障害者のための福祉法規、障害者に関わる交通規則の講義、歩行ガイドロボットの原理、歩行ガイドロボットの操作法、センタ内実習、路上実習等である。

管理サービスセンタ（有料）：誘導中に障害者が予期せぬ障害に遭遇し自力で対処できないとき、携帯電話で管理サービスセンタに支援を要求する。携帯電話やネットワークを通して障害の原因を推測しエラー回復を行う。エラー回復ができないときは車で現地に出迎える。

むすび

本プロジェクトは、歩行ガイドロボットのシーズを有する山梨大学と軽自動車、小型画像処理システム、ソフトウェアの分野で日本最高の技術を有するスズキ(株)横浜研究所、日立製作所(株)日立研究所、日本システムウエア(株)山梨 IT センターとの共同研究で実現した。さらにステレオカメラシステムは実用化に実績のある実吉敬二東京工業大学助教授と富士重工業(株)に研究開発をお願いし、ロボットのデザインは工芸デザインの第一人者である真田日呂史教授をお願いし、車体製造は半導体プロセス製造装置の開発に実績のある県内企業の中家製作所(株)をお願いした。このようにわが国を代表する異業種の企業と異なる分野の研究者との共同研究で本プロジェクトを実施できたことは幸運である。これらの方々の協力を厚く感謝する。

歩行ガイドロボットの実用化には、さらに実証評価実験、量産化技術、管理サービスのビジネス化、交通法規改正、ロボット教習センター設立、啓蒙活動、知的財産管理などが必要である。更に多くの方々の協力を得て歩行ガイドロボットを実用化し、視覚障害者の自立に寄与したい。

キーワード

盲導犬ロボット、歩行ガイドロボット、歩行支援機器、視覚障害者支援機器
歩行者ナビゲーション

研究成果発表

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
松原裕二、馬冠華、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットのための歩道環境画像処理				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'00 講演論文集		2000	2P1-65-112

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
長江裕樹、小谷信司、森英雄	押ボタン式信号機のある交差点での歩行ガイドロボット移動戦略				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'00 講演論文集		2000	2P1-65-113

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
中村雄一、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの走行環境ティーチング				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'00 講演論文集		2000	2P1-65-114

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
植田基樹、須藤浩行、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの横断歩道移動戦略				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'00 講演論文集		2000	2P1-65-115

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
田辺慎吾、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの看板認識				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'00 講演論文集		2000	2P1-65-116

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
須藤浩行、小谷信司、森英雄	移動差ステレオによる障害物検出				
		第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集		2000	211

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
史垂芳、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットのヒューマンインタフェース				
		第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集		2000	3E17

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
村松彰二、小林芳樹、他	高性能1チップ画像処理LSI“SuperVchip”の開発				
		第1精密工学会 第2回動画画像処理実用化ワークショップ		2001	66-71

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
森英雄	歩行ガイドロボット実用化のための研究開発について マッチング・ファンド方式による産学連携研究開発事業による -	第1精密工学会 第2回画像処理実用化ワークショップ		2001	72-75

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
植田基樹、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの横断歩道移動戦略(第2報)	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J2

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
石原隆男、中村雄一、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの走行環境ティーチング(第2報)	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J3

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
近山裕一、小谷信司、森英雄	RTK-GPSによる歩行ガイドロボットの位置計測	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J4

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
小松啓人、小谷信司、森英雄	WWWを利用した歩行ガイドロボットの故障診断	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J5

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
森英雄	歩行ガイドロボット実用化のための研究開発について	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J6

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
駒井梓、清弘智昭	ソナーと地図情報に基づいた歩行ガイドロボットの開発	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J7

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
史亜芳、小谷信司、森英雄	視覚障害者のための歩行ガイドロボットのシミュレーターシステム	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-J8

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
馬冠華、小谷信司、森英雄	画像処理による点字ブロックの検出と追跡	ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-K2

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
田辺慎吾、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの看板認識(第2報)				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-K3

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
富松智洋、小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの歩行者用信号の認識				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-K4

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
渡邊和人、小谷信司、森英雄	単眼画像処理による道路走行車両の危険度判定				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-K5

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
須藤浩行、近藤淳矢、小谷信司、森英雄	3眼ステレオシステムによる歩行ガイドロボットのショウガイブツ検出				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-K6

著者名	論文標題	雑誌名	巻・号	発行年	ページ
小谷信司、森英雄	歩行ガイドロボットの画像処理				
		ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集		2001	1p1-K9