

歩行ガイドロボット実用化への道

視覚の役割

森英雄

Toward Practical Use of Robotic Travel Aid for the Visually Impaired

Function of the vision

Hideo Mori

視覚障害者を道案内する歩行ガイドロボット(RoTA)を文部省と通産省のマッチングファンドプロジェクトの資金提供を受け、企業3社との共同研究で開発した。ロボットに必要な機能をモビリティ、オリエンテーション、ナビゲーションに大別し、夫々で画像処理が果たす役割を論じ、そこで用いた画像処理技術について論じる。また、歩行ガイドロボットを実用化するために企業との共同研究で開発した画像処理システムについて論じる。

Robotic Travel Aid (RoTA) for the visually impaired has been developed in cooperation with three companies. The image processing methods are described in view of mobility, orientation and navigation that are required for RoTA to guide the visually impaired in the real world. The image processing system developed in the project is also described.

1. はじめに

視覚障害者を道案内する歩行ガイドロボットの研究を10年ほど前から着手し、現在実用化を目指して研究開発を進めている。心理学者は、人が歩行して目的地へ行くに必要な機能としてモビリティ、オリエンテーション、ナビゲーションを挙げている。

モビリティは、人がつまずかずに歩行姿勢を保ってリズムカルに歩く機能と障害物を回避する機能である。よちよち歩きの幼児はこの機能が完成していない。オリエンテーションは、どの方向に歩いていったら良いかを定める機能である。霧の深い山中で迷うのはこのオリエンテーションの機能が働かないからである。ナビゲーションは、地図あるいはメンタルマップに基づいて目的地に行く道順を決める機能である。交通信号による交通規制もナビゲーションに要れることに

所属：山梨大学工学部 〒400-8511 甲府市武田4丁目

Faculty of Engineering, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, 400-8511, Japan

forest@koihime.harumesa.yamanashi.ac.jp

<http://koihime.harumesa.yamanashi.ac.jp/>

する。

歩行ガイドロボットを実用化するためには、更に 社会の役割が必要である。すなわち、ロボットによる案内を許容するための交通法規改正、福祉機器として認定するための福祉関連法規の改正、低コストの実現、リースや訓練、サービスを行う企業の設立などである。

この4つの機能を単独歩行視覚障害者、カーナビゲーション、歩行ガイドロボットについて比較し表1に示す。

歩行ガイドロボットはモビリティを次のようにして得る。視覚障害者は車体につかなどまって歩き歩行のバランスを保つ。車体は路面の多少の凹凸を空気入りタイヤで吸収し、一定速度で滑らかに動く。また、前方の障害物は画像処理でその大まかなカテゴリ、すなわち、歩行者か車両かごみ箱を弁別する。歩行ガイドロボットはカテゴリに応じて回避方法を変える。オリエンテーションは次のようにして得る。廊下や歩道、横断歩道等の通路をはずさないように、画像処理で通路のガイドとなるもの（サインパターン）を検知し車体の位置ズレを補正する。ナビゲーションは次のようにして得る。ロボットはティーチングされた経路のみ移動する。経路はパスとランドマークの系列からなる。パスデータは始端と終端を結ぶ線分で表わされ、それにサインパターンを属性として加える。ランドマークは、環境に常駐し画像処理で周囲の事物と容易に区別できる視覚的シグナルを有する物である。

表1 モビリティ、オリエンテーション、ナビゲーションに用いる道具

機能	単独歩行視覚障害者	カーナビゲーション付き車両	歩行ガイドロボット
モビリティ	白杖歩行術	車輛	車体と画像処理による障害物回避
オリエンテーション	白杖歩行術 エコーロケーション	運転手の眼	画像処理で経路のサインパターン検出
ナビゲーション	経路の記憶と聴覚、 臭覚のランドマーク	電子地図と運転手の眼	経路データベースと ランドマーク認識

ここでは歩行ガイドロボットの概要とそれに用いる画像処理技術、実用化のための画像処理システムの開発について述べる。

2. ロボットの概要

2.1 設計方針

歩行ガイドロボットは視覚障害者が病院や施設内を移動したり、散歩や近所のコンビニや友人宅を訪問したりするときに歩行支援し案内することを目的とする。その設計方針は下記の通りである。

- 1) ロボットの大きさや重さ：視覚を失った人は直立することが難しいという。ロボットは視覚障害者が掴まって歩けば歩行姿勢を保てるだけの大きさ（シルバーカーサイズ）と重さ（10kg以上）を有する。
- 2) 経路移動：出発点から目的地までの廊下や歩道、横断歩道などからなる経路に沿って移動する機能と、経路を表現する地理情報データと経路のサインパターンとランドマークを検知するセ

ンサを有する。

- 3) ランドマーク：ランドマークとは経路上の一点を示す視覚的特徴で、横断歩道前の警告点字ブロックのように停止位置を示すもの。看板のような経路の正しさを確認するためのもの、交通信号のように進め、止まれの合図を出すもの、の3種類に分けられる。
- 4) 障害物回避：経路上の歩行者や自転車などの移動体およびごみ箱や街路樹などの障害物を検知する機能を有する。障害物回避は、環境：施設や展示会場や歩道など、場所：曲がり角や交差点など、状況：空いているか混雑しているか、対象：障害物が移動体静止した事物か、に応じて回避行動を変える。
- 5) 走行と停止：時速 4km～1km で走行し、1回の充電で2時間走行する機能、障害物の手前で減速し、衝突直前で停止する機能、バンパセンサで衝突を検知し緊急停止する機能、および利用者の操作により一時停止・走行再開する機能を有する。
- 6) 経路のティーチング：健常者がロボットを手押して経路を移動させることにより、ロボットに経路情報やサインパターンやランドマークを容易に記憶させるティーチングの機能を有する。
- 7) 走行中の案内機能：右折・左折点、障害物回避行動などの動作の変化点でバイブレータまたは音声で通知する機能と、利用者が不安に思ったときボタン操作で現地点や目的地までの経路を説明する機能を有する。
- 8) 出発前の案内機能：事前にロボットに現在位置と目的地を入力すると経路を音声案内する機能を有する。
- 9) デザイン：ロボットは親しみやすい形態で、交差点を渡る時などに歩行者やドライバーが存在を容易に気づくデザインとする。
- 10) 管理センタ：ロボットは管理センタと携帯電話（屋外）または無線 LAN（屋内）で通信する機能を有し、ロボット利用者から要求があったときに経路データをダウンロードしたり、障害が発生したときにロボットの状態を診断したり、遠隔操作でロボットを操縦する機能を有する。

2.2 システム構成

構成を図1に写真を図2に示す。幅 500mm、高さ 950mm、奥行き 1000mm、重量 60kg である。車体は前輪キャスター（直径 150mm）、後輪駆動（16 吋空気タイヤ、出力 27W×2）で、時速 1～4km で2時間走行する。通路環境認識のため上下左右に回転するカラービデオカメラ、障害物検出のためスキャニング方式光電センサ、ステレオカメラシステム、衝突防止のためのバンパセンサを有する。ヒューマンインタフェースは、図3に示すように押しボタン、ハンドル、バイブレータ、スピーカまたはイヤホンからなる。押しボタンは4つあり、ボタンを押すと音声でメニュー方式で情報をセットする。視覚障害者はハンドルにつかまり歩行姿勢を保つ。バイブレータはハンドルの左右のグリップに取付けてあり、左右に曲がる時、一時停止する時に事前に予告する。スピーカまたはイヤホンは、障害物を検出したとき、および予め登録した危険箇所やランドマーク地点に到達したとき合成音声で知らせる。ただし、視覚障害者のエコーロケーションを妨げない

ために、音声告知情報は必ず告知するタイプと障害者が要求した場合に告知するタイプに分け、どの情報をどのタイプにするかは個人対応で設定する。

ティーチング時には、ノートPCとジョイスティックを使う。歩行訓練士または健常者が出発点から目的地までの安全な経路を選択し、ジョイスティックを操作してロボットを経路に沿って走らせる。ロボットは走行距離計・方位計と画像処理システムを作動させ、経路上の要所要所の位置・方位とその間のサインパターン、ランドマークを記憶する。目的地に着いたらその記憶した経路データを管理センタに送信する。管理センタは経路データを編集してデータベースを作る。

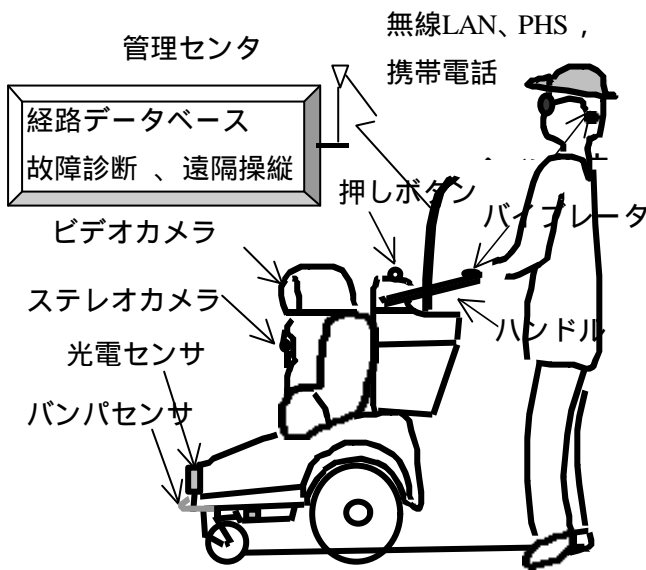


図1 歩行ガイドロボットの構成



図2 歩行ガイドロボットの写真

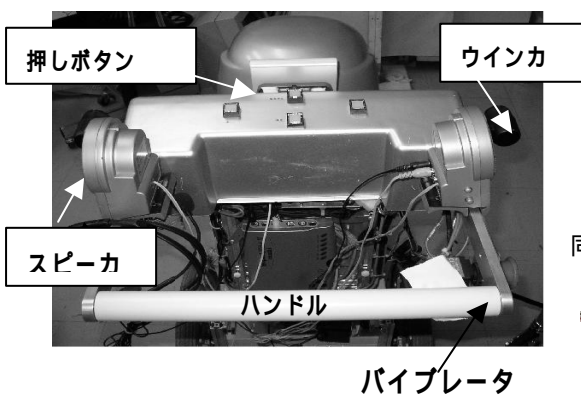


図3 ヒューマンインタフェース

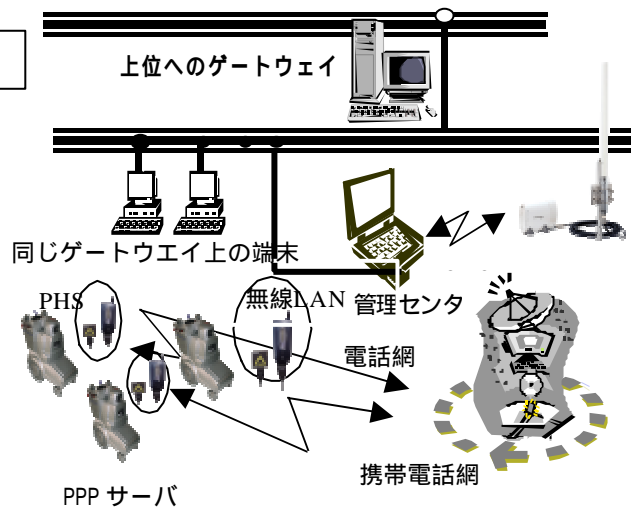


図4 ロボットと管理センタ間の通信

図4に管理センタの構成を示す。ロボットと管理センタは、無線LAN、PHSまたは携帯電話で結ばれている。ロボットは最初に無線LANで通信を試み、通信が出来なかったらPHSまたは携帯電話に切替えて通信を行う。無線LANとの通信は50ms程度で可能であるが、PHSや携帯電話では数秒かかる。

3. 画像処理

3.1 歩道や廊下のサインパターン

廊下や歩道のサインパターンは、図5(a)に示すような廊下と床を区切る板、カーペットの縁、アスファルト舗装歩道の縁石や黄色点字ブロック、タイル貼り歩道の同色点字ブロック等である。通路に模様がない場合は図5(b)のようにWINDOW[1]でサインパターンを探索し、WINDOW[2]~WINDOW[8]のように追跡する。図5(c)と(d)は歩道と同色の点字ブロックの検出例である。点字ブロック検出にはその幅が30cmで点字部分の間隔が等しい等の知識を使っている。



廊下（病院）

カーペット（成田空港）

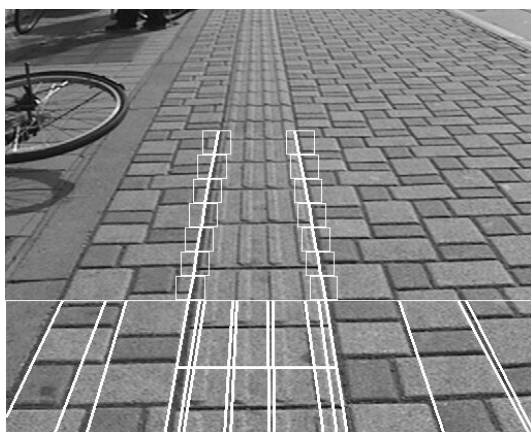
縁石（大学構内）

黄色点字ブロック

同色点字ブロック(1) 同色点字ブロック(2)

(b) 縁石のサインパターン抽出

(a) 様々な通路のサインパターン



(c) モザイク模様歩道の点字ブロック

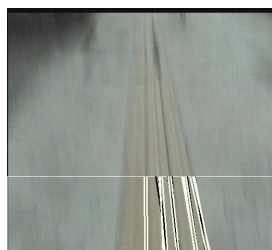


(d) タイル貼り歩道の点字ブロック

図5 通路のサインパターン検出

表2 点字ブロック抽出の実験結果

ブロックの色	歩道	成功		失敗			
				ブロック不明		延長線上に直線なし	
黄色	アスファルト	44	88%	1	2%	5	10%
灰色	灰色タイル	48	96%	1	2%	1	2%
	灰色モザイク	38	76%	1	2%	11	22%



(a) 激しいブレ



(b) 中程度のブレ

図6 サインパターン抽出失敗例

表2は画像処理による点字ブロック抽出の実験結果で、図6はブレによるサインパターン抽出の失敗例である。晴天時には歩道に周囲の建造物や街路樹の蔭が出来て、サインパターンの検出が一時的に困難になる場合がある。しかし、画像処理で点字ブロック抽出に1、2回失敗しても推測航法により10メートル位は数センチ程度の位置ズレで走行するので問題ない。タイル模様の存在の有無は障害物の有無の判定にも用いることが出来る。

廊下やホールのサインパターンは屋外道路環境のそれより種類が少なくシンプルである。しかし、視覚誘導は屋外よりも屋内の方が格段に難しい。理由は照明にある。屋内環境の場合、廊下の突き当たりがガラス戸になっていてそこから光が入る場合が多い。この光は床面にほぼ平行に入射して鏡面反射してビデオカメラに入る。画像にはガラス戸から入った光の反射光が写り、床面の模様は写らない。そのためサインパターン抽出ができない場合がある。

3.2 歩行者のサインパターン

平坦な路面という環境下で、歩行者のサインパターンは足の歩行リズムである¹⁾。ロボットが停止していれば、フレーム間差分画像を2値化すれば移動体領域を検出できる。図7(a)はこの移動体領域の連続写真である。移動体領域を人のサイズの領域にグルーピングし図7(b)のように領域下部1/5の部分に足元ウインドウW3を設け、その中心座標と移動体領域の面積を計測する。図7(e)は二人の歩行者M1、M2の連続写真で、図7(c)の上半分はW3の移M1、M2の移動体領域の時系列データで、下半分はそのパワースペクトラムである。2秒の周期にピークがあることがわかる。これは片方の足の周期である。図7(d)は、画像処理で検出したM1、M2の移動軌跡である。精度良く検出していることがわかる。足の歩行リズムを歩行者のサインパターンとすると、画像処理で容易に検出でき、天候、距離、歩行者の衣服に影響されないという長所があり、ソリッドモデルやスケルトンモデルによる歩行者検出より実用的である。歩行の周期は頭部や手にも現れるが、足が最も顕著である。この方法はロボットが停止している時に有効であり、95%の確率で歩行者認識に成功する。植込みが周期1秒程度で風にそよいでいるとき歩行者と誤認識する。

3.3 自動車のサインパターン

自動車の真下は、直射日光はむるんのこと空の散乱光も届かず僅かに斜めから周囲の光が届く

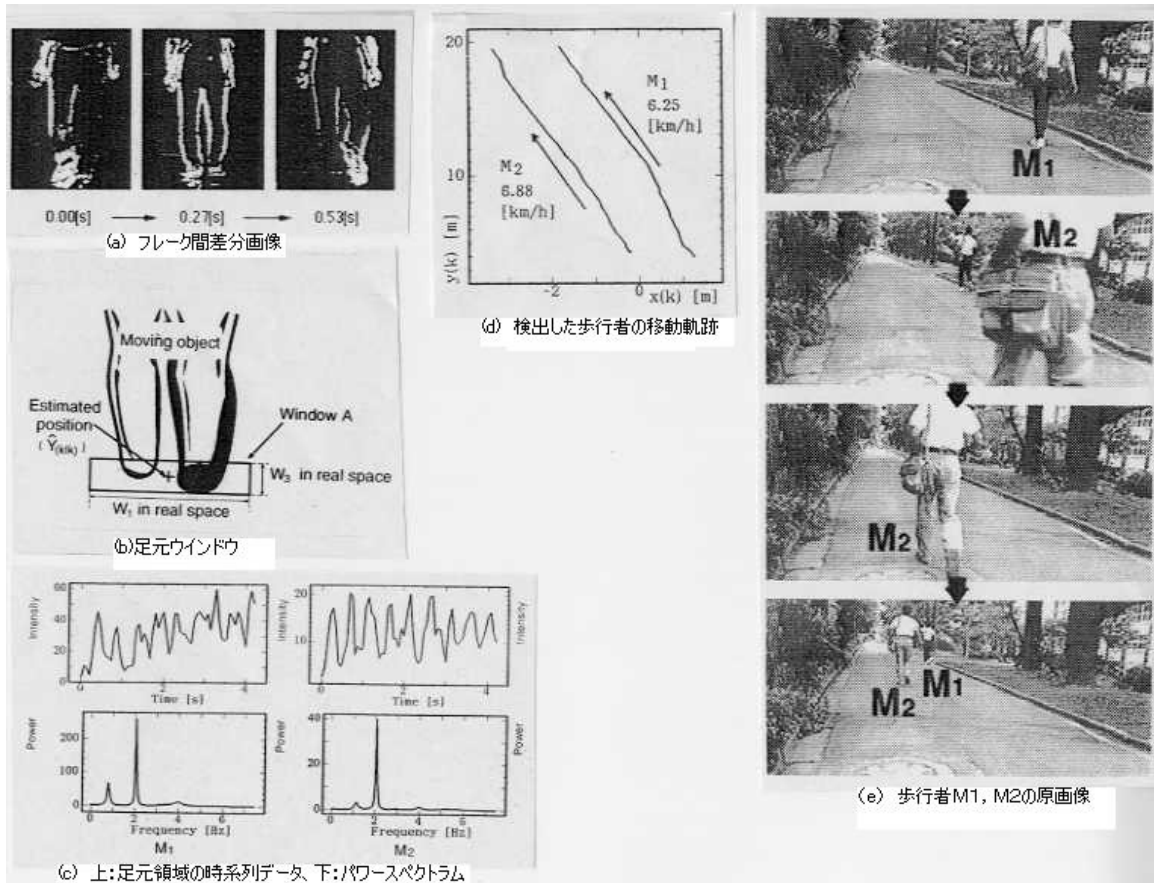


図7 歩行者のサインパターン抽出

のみである。この真下の陰の部分はビデオ信号で見れば殆どノイズレベルで画像においては暗黒領域をつくる。それに反し樹木や建物の陰の領域は空の散乱光があたるので曇天でも真下の陰領域よりも明るい。図8は路面に設定した横長のウインドウを自動車の下部が通過したときの明度ヒストグラムである。自動車の真下の明度が急激に下がっていることがわかる。画面上で道路に沿って移動する暗黒領域の幅が車両のそれとほぼ同じ大きさであれば、自動車のサインパターンとする。このサインパターンは天候に依存せず観測点が1m近辺の高さで有効であるという点で自律移動ロボット向きである。

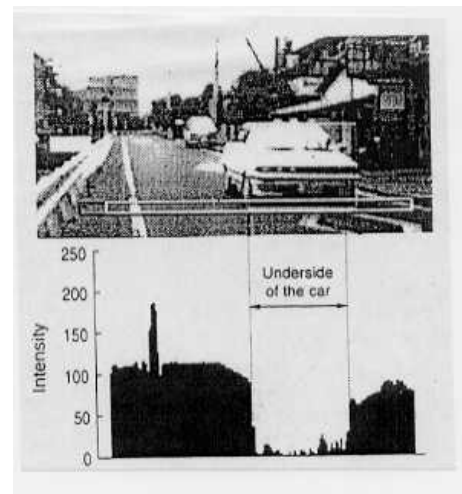


図8 車輛のサインパターン

4 ロボット向け小型省電力画像処理システムの開発

従来のロボットは複数の組込み型コンピュータに画像処理ボードや入出力ボードを差込み構成していた。そのため、データ通信の失敗、コネクタの接触不良、電源の大容量化などの問題があっ

た。ロボットを実用化するためには、 画像処理、音声処理、LAN、DIO や RS232C などの入出力を有するコンピュータの実現、 低消費電力の実現、 システムのコストダウンが必要である。そこで、マッチングファンドのプロジェクト²⁾で(株)日立製作所はロボット向け小型省電力画像処理システム SuperIPcam を開発した。図9はそのブロック図である。設計上の最大の問題は OS を Linux にするかμITRON にするか、 W I N D O W S 系にするかであった。 OS の中身が公開されており改良が出来る、例えば立上げを短縮し視覚障害者用に音で知らせるなど、 大学に馴染みがある、ライセンスが無料などの観点から Linux にした。図9は SuperIPcam のブロック図である。SuperVchip はSuperIPcam の開発を期に(株)日立製作所日立研究所が開発した画像処理チップである。

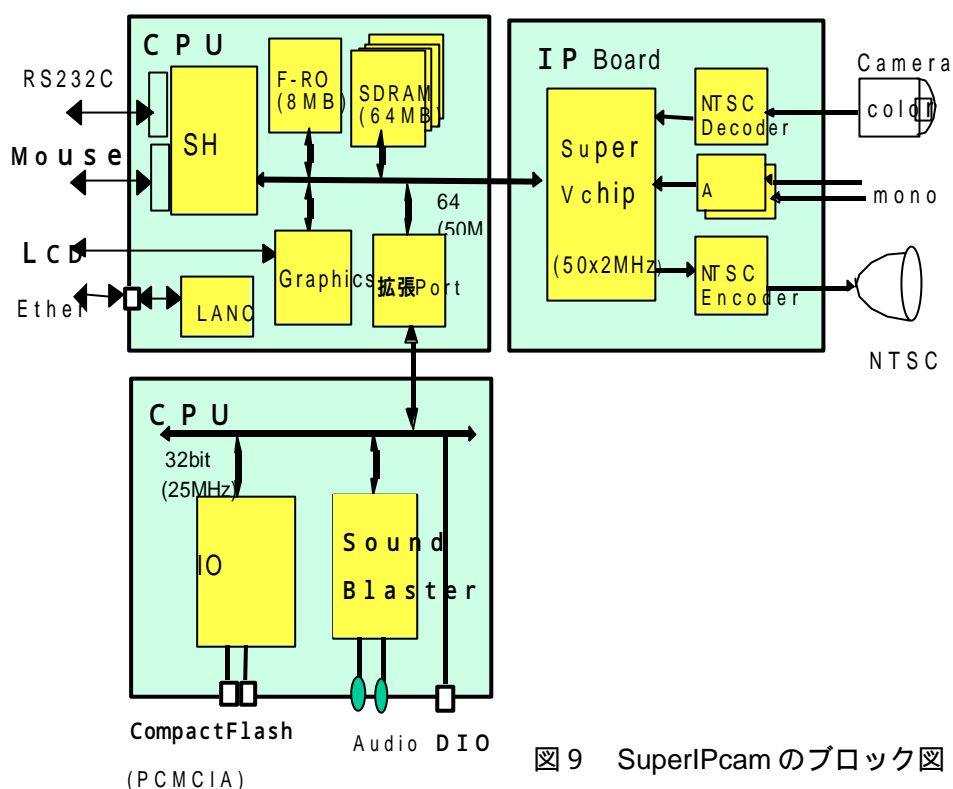


図9 SuperIPcam のブロック図

5. むすび

視覚障害者向け歩行ガイドロボット実用化のための研究開発を文部省と通産省のマッチングファンドプロジェクトで行った。

ロボットの設計方針を述べ走行制御と画像処理の役割分担、および実用化のための画像処理システムの開発について述べた。

画像処理の主な

役割は、廊下や歩道、横断歩道などの通路のサインパターンを抽出し、ロボットの位置ズレの補正データを得ること、歩行者や車輦等の移動体を認識し、その位置、速度を計測することである。様々な通路のサインパターンと歩行者、車輦のサインパターン抽出法を述べた。実用化のためにロバスト性、省電力、低コストを目標に(株)日立製作所が研究開発したロボット向け小型省電力画像処理システムについて述べた。

参考文献

- 1) 安富, 森, 清弘; 歩行のリズムに基づく歩行者検出に一手法、電子情報通信学会論文誌、Vol. J78-D- , No. 4, pp. 608-617, 1995
- 2) 森, 松本, 小林, 基常: 歩行ガイドロボット実用化のための研究開発、日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 8, pp. 26-29, 2001