

福祉施設における自律型運搬ロボットの開発 (第1報)

— 全体システムの構成 —

吉川 毅, 橋場 参生, 鈴木 慎一
 本間 稔規, 澤山 一博, 深谷 健一*
 池田 宗司**, 河口 忠雄***

Development of Autonomous Carrier Robot in Welfare Facilities (Part I) — System Configuration —

Takeshi KIKKAWA, Mitsuo HASHIBA, Shinichi SUZUKI
 Toshinori HONMA, Kazuhiro SAWAYAMA, Ken-ichi FUKAYA*
 Muneji IKEDA**, Tadao KAWAGUCHI***

抄 録

少子高齢化の進行は、老人福祉施設における介護士の労働負担を増大させるとともに、介護サービスの低下を引き起こす要因にもなる。

本研究では、福祉施設における介護士の労働負担を軽減するため、運搬作業を代行する自律型運搬ロボット(名称: HIRIX-2)を開発した。本ロボットは、複数のセンサ情報を用いた自律走行機能を持ち、飲料や介護サービス用品の巡回運搬作業を行うことが出来る。

本報では、自律型運搬ロボットの全体システムの構成について報告する。

キーワード: 自律走行, 運搬ロボット, 位置認識, 環境認識

1. はじめに

高齢化社会がもたらす労働力不足や福祉現場の労働環境の悪化は、介護サービスの質の低下に直接的に結びついてくる。特に介護士の過重労働は、腰痛等の身体的不調を起こす要因になるばかりではなく、被介護者との対話不足等といった介護全体のサービス低下を招く。このため、介護士の作業を補助・代行できるロボットの開発が望まれている。

そこで本研究では、老人福祉施設で働く介護士の作業状況に注目し、介護士の運搬作業を代行する自律型運搬ロボット(呼称: HIRIX-2)の開発を行った。本ロボットは、北海道立工業試験場で開発した自律走行ロボット(呼称: HIRIX-1)^{1)~3)}をベースに使用し、多くの人と物が共存する環境下で安全に行動できる自律機能を実装した。

本開発にあたり、ロボットの稼働条件と基本機能を次のように設定した。

- ・稼働環境: 福祉施設における廊下と廊下で構成された平坦なフロア
- ・基本機能: 小型軽量の介護サービス用品の巡回運搬作業を行う。

なお今回は、福祉施設における介護作業の調査結果⁴⁾から、お茶やジュースを届ける飲料配達サービスが定期的または随時行われていることに注目し、本ロボットを使用して飲料配達サービスを実施することとした。本サービスの対象者は自立生活が可能な被介護者または介護士とした。

本報では、本運搬ロボットの全体システムの構成について報告する。

2. システム構成

自律型運搬ロボット(以下、HIRIX-2と呼ぶ)はバッテリー

* 北海学園大学
 ** 株式会社池田車庫製作所
 *** 上野電機株式会社

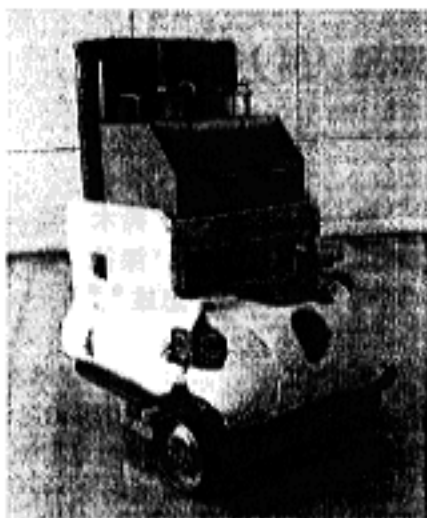


図1 自律型運搬ロボット HIRIX-2

表1 主要諸元

大きさ (幅×奥行×高さ)	600mm × 700mm × 900mm	
重量	75kg (バッテリー、飲料配達ユニットを含む)	
走行速度	最高 1.4 km/h	
連続稼働時間	1~2時間 (バッテリー: ユーサ 12V-16Ah/10Hr × 2個)	
センサ	視覚センサ	CCDカメラ × 1
	超音波センサ	8個 (ボフロイト型 送受兼用タイプ)
	赤外線センサ	8個 (動作用 4個 飲料配達ユニット用 2個 (カップ検出用) 1個 (人体検出用))
	パンパセンサ	2個 (前1, 後1)
CPU	Main	ボードコンピュータ (i486-準機 486DX4 100MHz)
	Sub-1	ノート型パソコン (エプソン 486DX4 100MHz)
	Sub-2	マイコンシステム (日立製作所 16bit)
通信	Main-Sub-1	共有メモリ (i486-準機 メモリバンク)
	Main-Sub-2	パラレルIO (i486-準機 DIOボード)

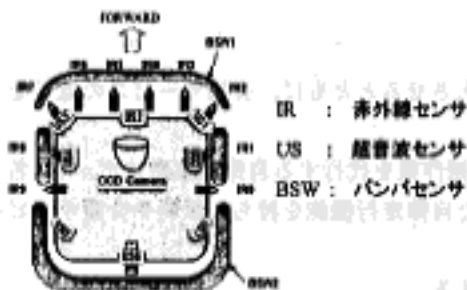


図2 走行用センサの配置

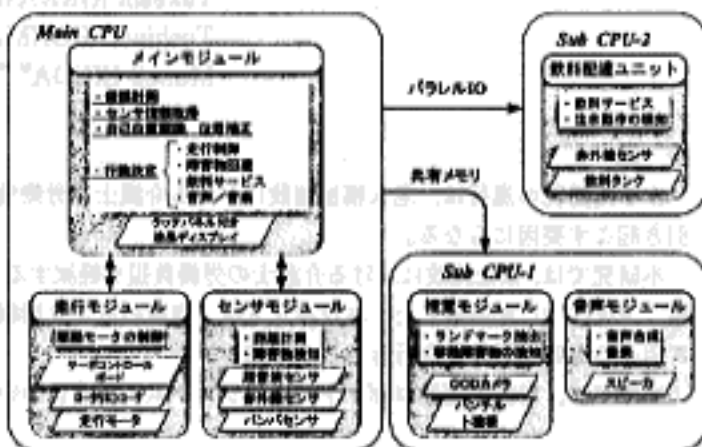


図3 システム構成

駆動による独立2輪操舵型ロボットであり、各種センサと飲料配達ユニットを搭載している。HIRIX-2の外観を図1に、走行用センサの配置を図2に、主要諸元を表1に示す。

HIRIX-2の全体システムは5つのモジュールと飲料配達ユニットで構成しており、3つのCPUで分散処理を行う。また、各CPU間には共有メモリまたはパラレルIOを介して接続される。本システム構成を図3に示し、その概要を述べる。

- 1) **メインモジュール**
システム全体を統括するモジュールである。走行経路の計画をはじめ、走行中にセンサ情報を取得して自己位置認識、周辺環境認識およびロボットの行動決定を行い、各モジュールに指令する。入力インタフェースとして、タッチパネル付き液晶ディスプレイを使用した。
- 2) **走行モジュール**
メインモジュールからの走行指令に従って走行モータを制御する。また、自己位置認識を行うための駆動輪回転角速度の情報をメインモジュールに提供する。
- 3) **視覚モジュール**

単眼のCCDカメラから得られる画像情報により、走行環境内の特徴点(以下、ランドマークと呼ぶ)の検出および移動障害物の検出を行う。また、得られた画像解析情報をメインモジュールに提供する。

- 4) **センサモジュール**
超音波センサ、赤外線センサおよびパンパセンサ(接触式スイッチ)により障害物検知等を行う。超音波センサは自己位置認識に必要な距離情報も計測する。また、得られたセンサ情報をメインモジュールに提供する。
- 5) **音声モジュール**
音声合成機能によりロボット動作の音声案内を行う。また、走行中に3種類の音楽を流す。
- 6) **飲料配達ユニット**

飲料の配達サービスを行うユニットであり、内蔵されたセンサおよび制御用マイコンにより走行動作と連携してサービスを行う。なお、カップへの注入はサービス対象者が手動(手押し式)で行う。

3. ロボットの行動

本ロボットの行動は主に、走行ナビゲーションと飲料配達サービスからなる。それぞれの行動について概要を述べる。

3.1 走行ナビゲーション

我々は、ロボットの自律走行を実現する方法として、リアルタイム性を有する自己位置認識手法を数多くロボットに実装し、稼働環境下における各々のランドマークに対して適切な認識手法を種々選択し実行することが有効であると考えた。

HURIX-2の走行ナビゲーションは、デッドレコニング(推測航法)による自己位置推定を基本としている。デッドレコニングとは左右の駆動輪の回転角速度を積分してロボットの現在位置および姿勢を推定する簡便な手法である。しかし、本手法は走行とともにロボットの機械的な寸法誤差や車輪のスリップ等による位置誤差が累積してしまうため、適時、推定位置を補正する必要がある。そこで、事前に与えられたランドマーク位置情報から適切なランドマークを認識して自己位置の誤差補正を行うことにより、自律走行を実現している。対象としたランドマークは平らな壁面、ドア、蛍光灯、消火器などの特定色、部屋と廊下の相違点等である。また、簡便に設置可能な人工ランドマークも対象とした。

本ナビゲーション手法の具体的な手順を以下に示す。

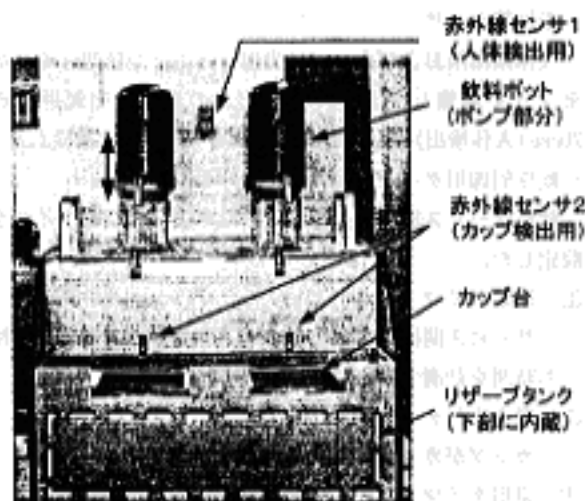
- 1) オペレータ(介護士)は、タッチパネル付き液晶ディスプレイを用いて、巡回する部屋をロボットに指示する。
- 2) ロボットは、保有している走行環境の地図情報を基に、目的地点までの走行経路を計画する。
- 3) デッドレコニングによる推定位置情報を基にして、計画された経路に追従するように駆動輪制御を行う。
- 4) 視覚モジュールおよび超音波センサシステムを用いて稼働環境中のランドマークをリアルタイムに検出して自己位置認識を行い、推定位置情報の誤差を補正する。
- 5) センサ情報を利用して周辺環境を認識し、適時、障害物回避を行う。
- 6) 上記の3)～5)を目的地に到着するまで繰り返す。

3.2 飲料配達サービス

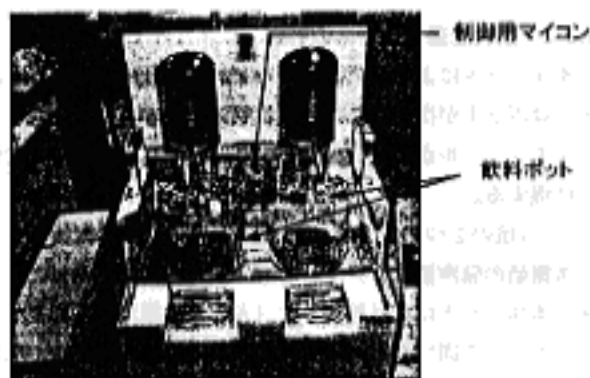
本ロボットに搭載した飲料配達ユニットを用いて、複数の部屋を巡回して飲料配達サービス(以下、飲料サービスと呼ぶ)を行うことが出来る。このサービスにより、介護士に対しては時間的なゆとりを、被介護者に対しては適切な飲料サービスを提供する。以下に、飲料配達ユニットの概要およびサービス手順を述べる。

3.2.1 飲料配達ユニット

本ユニットは、手動式ポンプを有する飲料ポット2台、カ



(a) ユニット正面



(b) ユニット内部

図4 飲料配達ユニットの構成

ップ台およびリザーブタンク、ならびにサービス対象者(以下、対象者と呼ぶ)と飲料カップを検出するための2種類の赤外線センサおよび制御用マイコン(秋月電子通商製AKI-H8)により構成した。マイコンはセンサデータ処理およびロボットとのデータ通信を行い、走行動作と連携した飲料サービスを提供する。図4に本ユニットの構成を示す。

本ユニットの主な機能を示す。

- 1) メインモジュールとのデータ通信
メインモジュールから本ユニットへの受信信号として、ロボットの走行停止を示す「停止」、飲料サービスの動作指令である「サービス開始」および「サービス中断」を設定した。
また、本ユニットからメインモジュールに対する送信信号として、サービス開始・終了やカップの置き忘れ等を対象者へ報知するための「発声要求」およびサービス動作の終了を報知する「サービス終了」を設定した。なお、「発声要求」を受けたメインモジュールは、音声モジュールに対して発声指令を行う。

2) 赤外線センサ

人体検出用およびカップ検出用として、2種類の赤外線センサを装備しており、それぞれの最大検出範囲は約70cm (人体検出) および約16cm (カップ検出) に設定した。

3) 動作制御用タイマ

飲料サービス動作を適切に行うために、3つのタイマを設定した。

① 反応タイマ:

サービス開始を報知してから人体を検出するまでの待ち時間を計測する。

② 置き忘れタイマ:

カップがカップ台にある時間を計測する。

③ 退出タイマ:

飲料の注入動作後の、ロボットへの退出信号を送信するまでの待ち時間を計測する。

3.2.2 飲料配達サービスの手順

本ユニットによる飲料配達サービスの手順を以下に示す。

1) ロボットが指示された部屋に到着後、本ユニットはメインモジュールから停止信号およびサービス開始信号を受信待機する。

2) 1) 項の2つの信号を確認後、本ユニットは配達サービス開始の発声要求をメインモジュールへ送信する。

3) 本ユニットは赤外線センサ (人体検出用) の入力をチェックし、正面に来た対象者を検出する。反応タイマの設定時間が経過しても対象者を検出できない場合、メインモジュールへ退出信号を送信し、サービス動作を終了する。

4) 対象者を検出した場合、赤外線センサ (カップ検出用) の入力を確認する。

5) 対象者はカップをカップ台上に置き、飲料ポットのポンプを押して飲料を注ぐ。

6) 置き忘れタイマの設定時間を経過してもカップが残っている場合、本ユニットはカップ置き忘れの発声要求をメインモジュールへ送信する。

7) カップ検出センサによりカップが取られたことを検出後、退出の発声要求をメインモジュールへ送信する。併せて退出タイマの設定時間経過を確認後、退出信号をメインモジュールへ送信し、サービス動作を終了する。

8) ロボットは次の部屋へ移動を開始する。

4. 自律走行機能

本ロボットに実装した自律走行のための機能について、その詳細を述べる。

4.1 経路計画

HIRIX-2 は2次元直交座標系 $x-y$ (以下、グローバル

座標系と呼ぶ) で定義される環境地図情報に基づいて、複数の部屋を巡回走行するための経路を計画する。経路計画例を図5に、経路データファイルのリストを図6に示す。図5中の巡回経路 a および d は、図6中の (a) および (d) に対応している。

入力インタフェースであるタッチパネルから現在位置 (スタート位置) および巡回する部屋を順に入力することにより走行経路データは生成され、経路データファイルに記憶される。走行経路は始点 (x_i, y_i) と終点 (x_{i+1}, y_{i+1}) を結ぶ直線データの集合であり、巡回数 (目的地の総数)、各々の巡回番号および経路数等と共に経路データファイルに記憶され

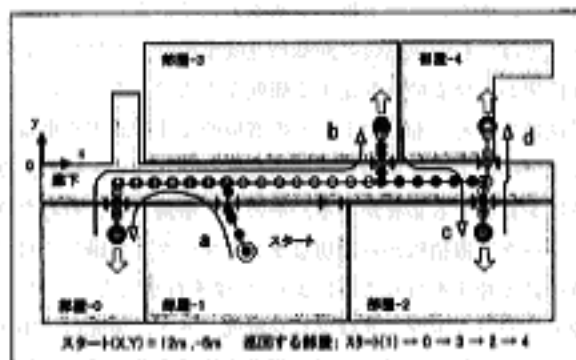


図5 経路計画例

経路データファイル名: ROUTE.MAP

巡回数 (総目的地数): 4

巡回No.:

巡回No.	経路の数	始点 (X, Y)	終点 (X, Y)
*1	0	12.0000	-5.0000
	2	10.9300	-2.6700
	1	10.9300	-1.0750
	0	10.9300	-1.0750
	1	4.4700	-1.0750
*3	2	4.4700	-2.6700
	1	-1.570796	-1.570796
(省略)			
*2	3	25.8300	-4.0000
	2	25.8300	-2.6700
	1	25.8300	-1.0750
	0	25.8300	-1.0750
	1	26.0900	-1.0750
*3	2	26.0900	0.5200
	1	26.0900	2.0000

① 走行エリア : 0/廊下, 1/ドア通過, 2/部屋
 ② 経路直線の座標 : 始点(X_i, Y_i)—終点(X_{i+1}, Y_{i+1})
 ③ 飲料サービス時のロボット姿勢角

図6 経路データファイルのリスト

る。また、各々の経路直線に走行エリアの属性（廊下，ドア通過，部屋）を持たせることにより，その環境に適した走行速度や障害物回避条件を設定できるようにした。

4.2 経路追従制御

HIRIX-2は，計画された直線経路への追従走行と旋回走行を組み合わせて走行する。ここでは，直線経路への追従制御について述べる。

図7に示すように，移動平面上に定義された2次元直交座標系におけるロボットの自己位置および姿勢（ $x_{GL}(t)$, $y_{GL}(t)$, $\theta_{GL}(t)$ ）はデッドレコニングにより，式(1)で求められる。ここで， $x_{GL}(0)$, $y_{GL}(0)$ および $\theta_{GL}(0)$ はロボットの初期値である。

一方，ロボットを追従させるべき直線経路の始点を原点とし，直線経路を ξ 軸，これと直交する座標軸を η 軸とする直線経路座標系 $\xi-\eta$ を定義する。ここで，グローバル座

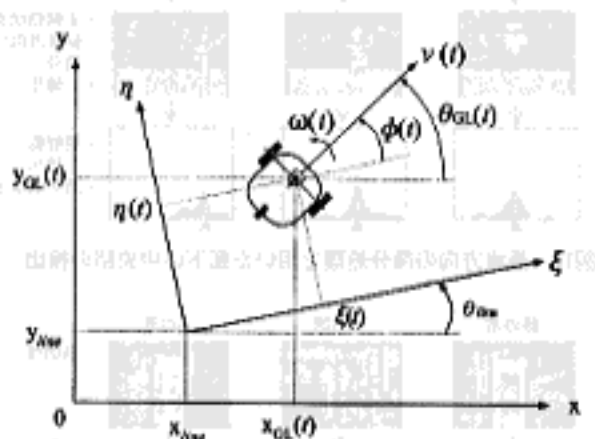


図7 直線経路への追従

$$\begin{aligned} \theta_{GL}(t) &= \theta_{GL}(0) + \int_0^t \omega(t) dt \\ x_{GL}(t) &= x_{GL}(0) + \int_0^t v(t) \cos \theta_{GL}(t) dt \\ y_{GL}(t) &= y_{GL}(0) + \int_0^t v(t) \sin \theta_{GL}(t) dt \end{aligned} \quad (1)$$

但し，

$$\begin{pmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_R & R_L \\ 2 & 2 \\ R_R & R_L \\ T & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_R(t) \\ \omega_L(t) \end{pmatrix}$$

- $v(t)$: ロボットの並進速度 [m/s]
- $\omega(t)$: ロボットの回転角速度 [rad/s]
- $\omega_R(t), \omega_L(t)$: 左右駆動輪の回転角速度 [rad/s]
- R_R, R_L : 左右駆動輪の半径 [m]
- T : 車輪間隔 [m]

標系における経路直線の始点（すなわち，直線経路座標系の原点）を (x_{line}, y_{line}) とし，グローバル座標系の x 軸と直線経路座標系の ξ 軸のなす角を θ_{line} とする。この時，直線経路座標系におけるロボットの自己位置および姿勢 $(\xi(t), \eta(t), \phi(t))$ は式(2)により求められる。

$$\begin{pmatrix} \xi(t) \\ \eta(t) \\ \phi(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{line} & \sin \theta_{line} & 0 \\ -\sin \theta_{line} & \cos \theta_{line} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{GL}(t) - x_{sw} \\ y_{GL}(t) - y_{sw} \\ \theta_{GL}(t) - \theta_{sw} \end{pmatrix} \quad (2)$$

制御目標値である直線経路に対して，式(2)で求められる $\eta(t)$ および $\phi(t)$ は直線経路からの偏差である。したがって，直線経路への追従走行を行うためには，これらの2偏差をゼロに収束するように左右の駆動輪を制御すればよい。本ロボットにおいては比例制御（P制御）のみの制御方式を採用し，実用上十分な走行性能が得られた。

4.3 視覚モジュールによる位置認識および障害物検出

我々は視覚モジュールによるロボットの位置認識手法として，次の2つの手法を開発してきた。

- 1) 天井の蛍光灯等をランドマークとして利用し，位置を精度良く求める手法
- 2) 処理速度を重視した簡潔な画像処理によって，位置認識に有効な情報を抽出する手法

手法1)は，精度の点で有利であるが，現在のハードウェアでは処理に数分を要し，処理中は走行を停止する必要があった²⁾。一方，手法2)は，精度は劣るが走行を停止せずに処理が可能であり，ロボットの誘導にも有効であった^{3), 5), 6)}。

以上を検討した結果，本開発では，処理のリアルタイム性を重視して，手法2)をHIRIX-2に実装した。なお，手法1)に関しては，天井設置型的人工ランドマークを用いた位置認識手法⁷⁾を開発するとともに，ステレオ視等を導入した開発も進めている⁸⁾。

4.3.1 画像処理手法の概要

視覚モジュールの機能として，廊下の長手方向および短手方向の位置認識や移動障害物の検出などに利用出来る画像処理サブルーチンを開発した。画像処理結果は，共有メモリを介してメインモジュールに伝達され，地図情報や超音波センサ等の測距情報等と共に，位置認識および障害物回避に利用される。

画像処理時間は処理内容によって異なるが，80×60画素の画像に対して0.2秒程度（CPU:i486DX-100MHzの場合）である。図8に，廊下の長手方向の位置認識を行うために，カメラを進行方向に向けた状態でロボットが走行の様子を示



図8 カメラを進行方向に向けた走行



図9 カメラを横方向に向けた走行

す。また、図9に、廊下の壁手方向の位置認識を行うために、カメラを横方向に向けた状態で走行する様子を示す。

4.3.2 画像処理サブルーチン

開発した画像処理サブルーチンについて以下に述べる。なお、図中の各名称は以下の試験環境を示す。

工業試験場：北海道立工業試験場研究棟
 北海学園大学：北海学園大学工学部ハイテク・リサーチ・センター

幕の図：社会福祉法人藤の園「養護老人ホーム」月形幕の図

1) 垂直方向の微分処理を用いた廊下の中央部の検出

廊下の天井や突き当たりなどに垂直方向の濃度変化が生じる傾向があることを利用して、廊下の中央部を検出する(図10)。

2) 明暗情報を用いた廊下の中央部の検出

進行方向に窓が存在する場合等を想定した処理で、画像内の明部領域を利用して廊下の中央部を検出する(図11)。

3) 床面の情報を用いた廊下の中心部の検出

廊下の画像から床面を抽出し、抽出された床面の形状から廊下の中央部を検出する(図12)。

4) 二次微分処理を用いた壁と部屋の検出

壁は濃淡の変化が少なく、部屋の内部は濃淡の変化が多いという傾向を利用して、壁と部屋の区別を行う(図13)。

5) 水平方向の微分処理を用いたドア等のエッジの検出

水平方向の微分処理により、ドアや入り口等のエッジを検出する(図14)。

6) 明暗情報を用いた非常灯等の検出

画像内の明部領域を抽出して、壁面に設置された非常灯等の発光物を検出する(図15)。

7) 色情報を用いた消火器や人工ランドマークの検出

R・G・Bの各ブレインの値を利用して、消火器や、赤色・青色・緑色の人工ランドマークを検出する(図16)。人工ランドマークは、走行環境内に位置認識に利用可能なランド

マークが存在しない場合に使用することを想定している。

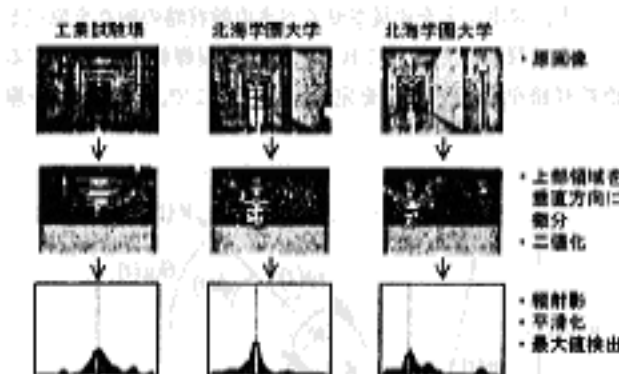


図10 垂直方向の微分処理を用いた廊下の中央部の検出

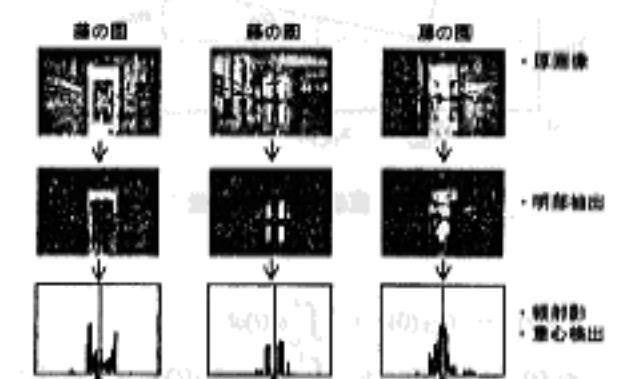


図11 明暗情報を用いた廊下の中央部の検出

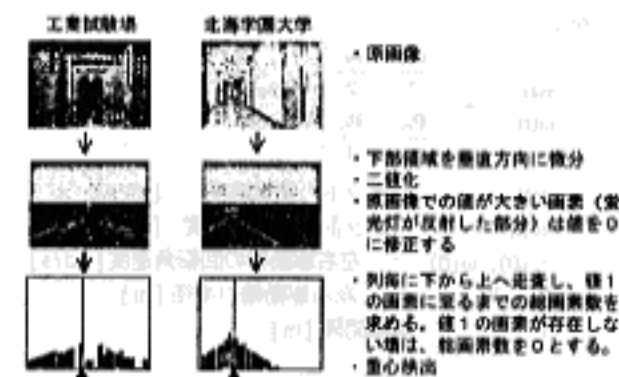


図12 床面の情報を用いた廊下の中央部の検出

8) 色情報を用いた各種の物体の検出
 R・G・Bの各プレーンの閾値を各々設定することにより走行環境中の物体を検出する。本処理は、特定の走行環境に合わせた専用処理ルーチンとして、適宜、組み込まれる。図17は部屋入口のカーテンとエッジを検出した結果である。

9) 移動障害物の検出

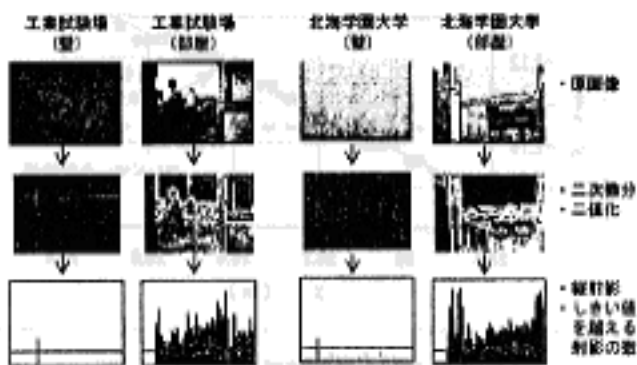


図13 二次微分処理を用いた壁と部屋の検出

時刻の異なる二枚の画像の差分により移動障害物を検出する。図18はロボットが約0.5m 走行した時の結果で、人等が現れた場合に、差分の値に明確な変化を得ることができた。

10) 全画素の平均値の計算
 全画素の平均値を求め、走行環境の状態の把握に利用する。図19は各種の画像の平均値を求めた結果で、壁・部屋・

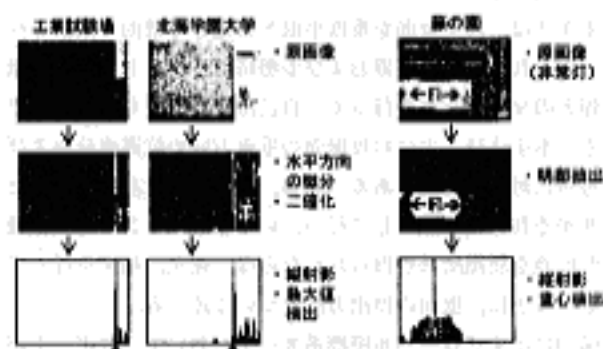


図14 水平方向の微分処理を用いたドア等のエッジの検出

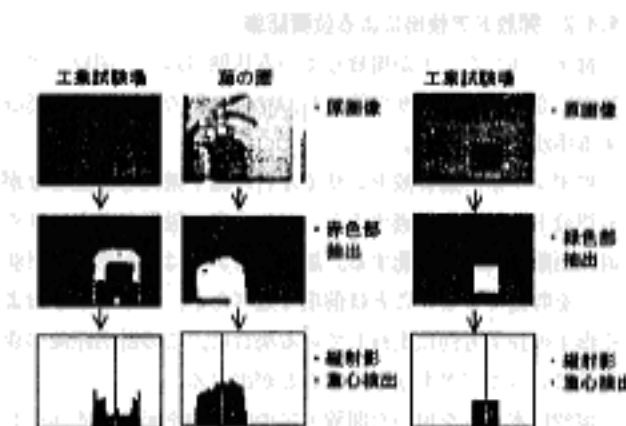


図16 色情報を用いた消火器や人工ランドマークの検出

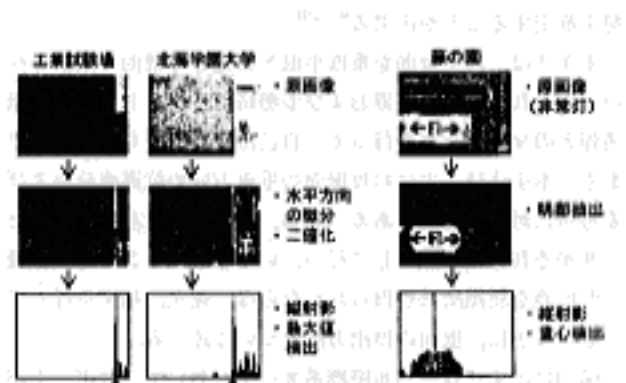


図15 明暗情報を用いた非常灯等の検出

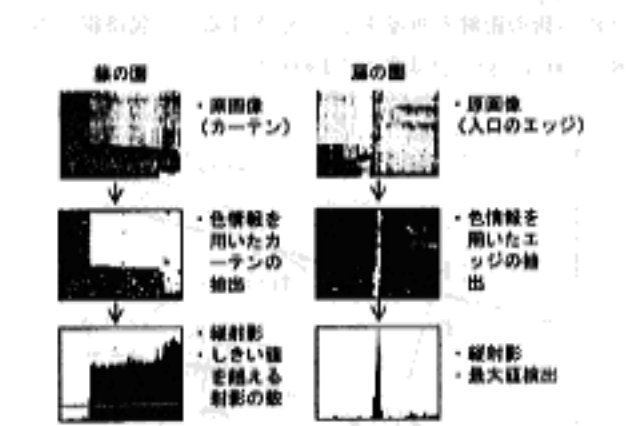


図17 色情報を用いた各種の物体の検出

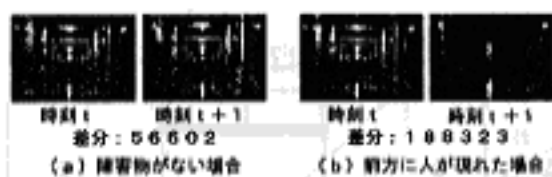


図18 移動障害物等の検出

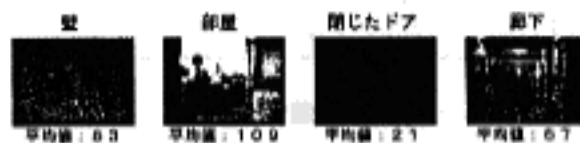


図19 全画素の平均値の計算

ドア等の違いによって平均値に差異が得られることがわかる。

4.4 超音波センサシステムによる位置認識

HIRIX-2に実装した超音波センサシステムは、8つの超音波センサ(送受兼用タイプ)を環状に配置し、約12Hz

(85.3ms/cycle)のサンプリング周期によって0.2~1.9m(分解能:7mm)の距離計測が可能である。これら8つのセンサのうち、左右に配置された2つ(図2のus 0とus 4)を用いて、走行しながらランドマークを検出することにより、ロボットの自己位置を認識する手法を開発した。今回用いたランドマークは廊下壁面とドアであり、両者の検出処理は同

時に、かつ、センサ毎に独立して行われる。以下に本手法の概要を述べる。

4.4.1 壁面検出による位置認識

超音波センサは、原理的にセンサの位置から対象物の表面までの最短距離が得られるものであり、その反射位置までは特定できない。しかし、移動しながら複数の地点で対象物を計測することにより、その包絡線から平面对象物の位置と姿勢を推定することが出来る^{9),10)}。

本手法は、廊下壁面を垂直平面と仮定して壁面の検出を行い、得られた壁面の位置および姿勢情報とランドマーク登録情報とのマッチングを行って、自己位置の補正を行うものである。本手法は、主に対象壁面の垂直方向の位置成分および姿勢角に対して有効である。なお、壁面検出は左右2つのセンサがそれぞれに独立して行い、いずれかのセンサで位置補正が可能な認識結果が得られたならば、逐次、補正を行っている。以下に、壁面の検出方法について述べる。

図20に示すグローバル座標系x-yにおいて、ロボットが $P_i(x_i, y_i)$ から $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ に移動した時、 P_i 地点で r_i 、 P_{i+1} 地点で r_{i+1} の距離データが得られる。壁面の方向を ϕ 、 $P_i P_{i+1}$ 間の距離と角度を d と θ とすると、包絡線上の点 $R_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ は式(3)で求められる。

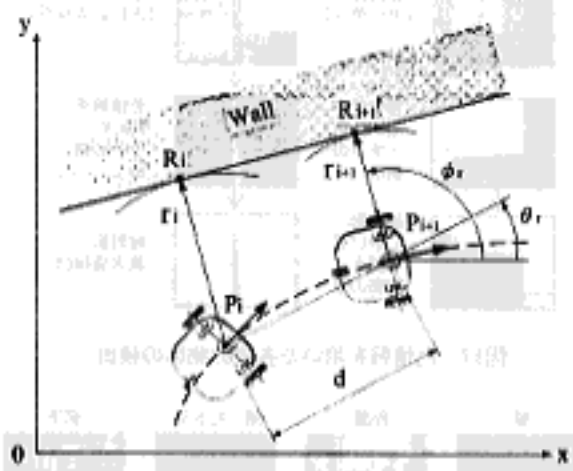


図20 壁面の検出方法

$$x_{i+1} = x_i + r_{i+1} \cos \phi$$

$$y_{i+1} = y_i + r_{i+1} \sin \phi$$

但し、

$$d = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3)$$

$$\phi = \theta + \arctan \left(\frac{r_i - r_{i+1}}{d} \right) + \frac{\pi}{2}$$

上式を用いて所定の間隔 d 毎に点 R_{i+1} を繰り返し取得し、総距離 D を移動した後にこれらの点 R_{i+1} を最小2乗法を用いて直線近似することにより、対象壁面の位置と姿勢が求められる。図21に廊下壁面の検出例を示す。本図において、検出された壁面の近似直線と計測地点近傍のランドマーク登録情報との差分が位置補正量を示している。なお、現在は $d=20\text{mm}$ 、 $D=800\text{mm}$ に設定している。

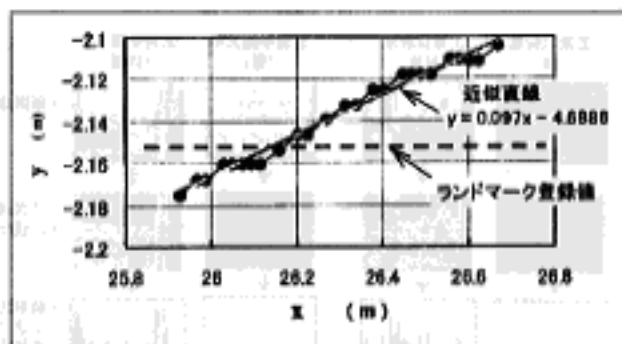


図21 廊下壁面の検出例

4.4.2 開放ドア検出による位置認識

廊下に面したドアが開放している状態（以下、開放ドアと呼ぶ）を超音波センサで検出し、ロボットの自己位置を認識する手法を開発した。

ロボットが、超音波センサで左右の廊下壁面を検出しながら開放ドア付近を通過すると、ドア方向に設置したセンサの計測距離が大きく変化する。超音波センサは反射位置（計測点）を特定できないことは前項で述べたが、ロボットがおおよそ廊下の長手方向に走行している場合に、この計測距離の変化量によってドアを検出することが出来る。

図22に本手法を用いた開放ドアの検出例を示す。本図において、横軸は開放ドアが存在する廊下壁面方向（一般的に廊

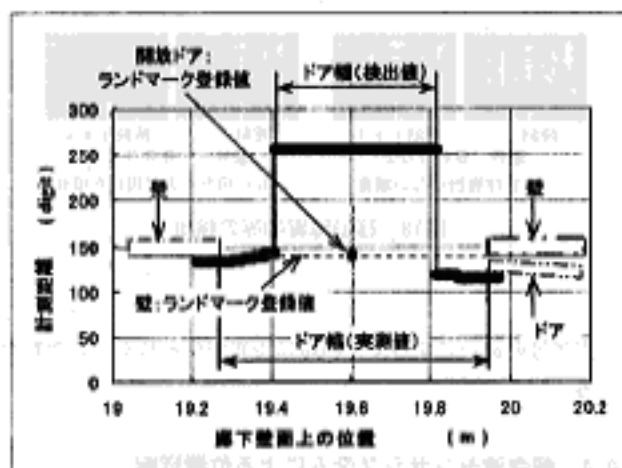


図22 ドアの検出例

下の長手方向)を、縦軸は超音波センサの計測距離を表す。距離変化量とドア幅にしきい値を設けることによりドアの位置を検出し、ランドマーク登録情報とのマッチングを行って自己位置を補正する。

本手法は、主に廊下走行時における廊下長手方向の位置認識に対して有効である。また、位置認識精度がロボットの姿勢に影響されるという欠点があるものの、前項の壁面検出と同様に、開放ドアを検出した時に逐次、位置補正を実行することにより十分に実用性のある位置認識精度が得られた。

4.5 障害物回避

ロボットが人や未知の障害物に遭遇した時は、素早く周辺環境を認識して衝突を回避することが求められる。この行動規範の概念として、サブサンプシオンアーキテクチャ(SA)が提唱されており^{11)~13)}、HIRIX-2はこのSAの概念を用いて障害物回避動作を実現した。

経路追従走行や旋回時に、超音波センサ、赤外線センサおよびパンパセンサ(図2)が人や未知の障害物を検知すると、HIRIX-2は減速、操舵および停止して衝突を回避する。障害物を回避した後は、回避前の走行状態に復帰する。

4.6 音声処理

人と共存するロボットにとって、音声機能は人とのコミュニケーションを図る有効な機能である。我々は、沖電気製テキスト音声変換LSI(MSM7576)を搭載した市販ボード(前スカラベ製)を使用し、音声発生および音楽演奏の機能を実現した。以下に、その概要を述べる。

1) 音声発生機能

マスターからの指示により、テキスト形式で登録されたメッセージを選択して発声する。現在は、挨拶、ロボットの動作、作業内容などに関連する30個のメッセージが登録されている。例えば、「こんにちは」、「部屋に入ります」。または「お飲物はいかがですか」等である。

2) 音楽演奏機能

MSM7576への入力には、音階や音符に対応する制御コードを用いることができる。この機能を利用して、音楽の演奏を可能にした。現在は、「ふるさと」「茶摘み」「チューリップ」の3曲が選択可能になっている。

5. 動作試験

HIRIX-2にこれまでに開発した自律走行機能を実装すると共に、飲料配達ユニットを搭載して動作試験を行った。試験場所は北海道立工業試験場研究棟3階および北海学園大学工学部ハイテク・リサーチセンター2階の、廊下と複数の部屋からなる単独フロアである。両者共に試験研究機関の建物であり、自然ランドマーク対象となる廊下、部屋、ドアなどの

特徴点が存在している。また、試験環境内の人々の動静や物の配置についても共通点が多い(図10および図12~14を参照)。

HIRIX-2に該当する試験環境の地図情報を与えると共に、前述の行動手順に従い、複数の部屋を巡回して飲料配達サービスを行った。その結果、位置認識に関する各種しきい値などに若干の変更作業を要するものの、両環境下において良好な巡回走行と飲料サービス動作を実現することが出来た。動作試験の結果例を図23に示す。

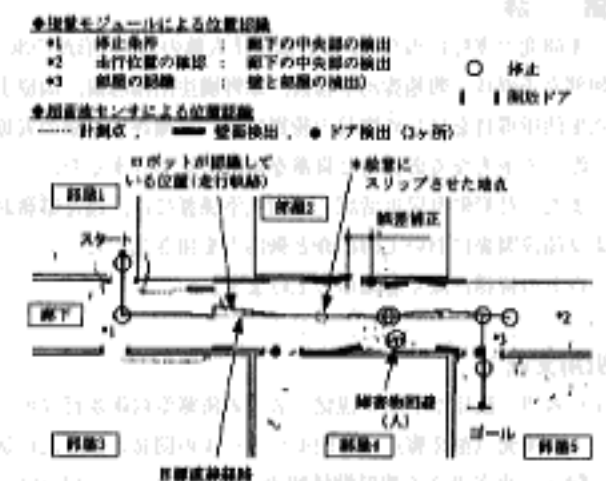


図23 動作試験の結果例

また、動作試験の結果を基にして、養護老人ホームにおいて実地評価試験を行った¹⁴⁾。稼働環境への適応を重点的に試みた結果、走行動作および飲料提供動作共に当初の目標通りの試験結果が得られた。一方、福祉施設の現場では探光や物の配置など、環境条件が刻々と変わり、人の移動も多いため、これらの環境変化への適応手法および効率的なチューニング手法の研究開発が今後の課題として明らかになった。

6. まとめ

老人福祉施設において、複数の部屋を巡回して飲料配達サービスを行う自律型運搬ロボットを開発した。本ロボットは、経路計画、経路追従、自己位置認識、障害物回避および音声・音楽の各機能と飲料配達ユニットを実装し、施設内を自律走行して飲料配達サービスを行うことが出来る。

当工業試験場および北海学園大学研究棟において、本ロボットの動作試験を行い、良好な巡回走行と飲料配達サービスを実現することが出来た。

また、老人福祉施設において実地評価試験を行った結果、今後の課題が明らかになった。以下にその課題を示す。

・実環境に合わせた、短期間で効率的なチューニング手法の

開発、環境変化に対する適応手法の開発、人ととのコミュニケーション機能の向上。本研究により、福祉分野において自律型移動ロボットを利用する可能性を示すことが出来た。今後は、今回明らかになった課題をふまえて、実用化に向けて取り組んで行く。

なお本研究開発は、北海道産学官共同研究テーマ「福祉分野における補助作業用移動ロボットの開発」の一環として、1997～1999年度の3年間で実施したものである。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、社会福祉法人群の園「月形藤の園」阿部幸子園長、菊地秀治事務長、草野清生活指導員、他塚圭次生活指導員をはじめ職員の皆様には、実地評価試験の実施に際して多大なる御協力と貴重な御助言を頂きました。

また、月形町民生生活課 高橋英幸係長には、福祉業務および施設調査において御紹介と御協力を頂きました。

以上の皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 吉川 毅ほか7名：視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発（第2報）—機能モジュールの開発と自律走行試験—, 北海道立工業試験場報告, No.295, pp.113-121, (1997)
- 2) 本間稔規・高橋裕之・橋場参生：視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発（第3報）—能動的ランドマーク計測による自己位置認識法—, 北海道立工業試験場報告, No.296, pp.123-129, (1997)
- 3) 橋場参生・本間稔規・吉川 毅：視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発（第4報）—画像情報による周辺環境認識と走行制御への応用—, 北海道立工業試験場報告, No.296, pp.131-136, (1997)
- 4) 吉川 毅ほか6名：福祉分野における補助作業用移動ロボットの開発, 平成9年度共同研究報告書, (1998)
- 5) 橋場参生・吉川 毅・本間稔規・鈴木慎一：画像情報による屋内移動ロボットのナビゲーション方法の提案, 第15回日本ロボット学会学術講演会, pp.229-230, (1997)
- 6) 橋場参生・吉川 毅・本間稔規・鈴木慎一：画像情報による屋内移動ロボットのナビゲーション方法の提案—移動経路の展開画像を用いた行動計画の作成—, 第16回日本ロボット学会学術講演会, pp.1601-1602, (1998)
- 7) 武田昌樹・尾倉征幸・深谷健一：天井設置カラー標的を用いた自律移動ロボット用自己位置計測法, 第32回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.49-50, (2000)
- 8) 本間稔規ほか4名：自律移動ロボット搭載用ステレオビジョンシステムの開発, 北海道立工業試験場報告, No.299,

- (2000)
- 9) 小森谷 清：環境の特徴点を用いる移動ロボットのナビゲーション技術に関する研究, 機械技術研究所報告, 第161号, (1993)
- 10) 山本貴志・前山祥一・大矢晃久・油田雲一：自律移動型ロボットのための超音波センシングを用いた自動位置修正システムの開発, 第16回日本ロボット学会学術講演会, pp.1581-1582, (1998)
- 11) R.A.Brooks: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.RA-2, No.1, pp.14-23, March (1986)
- 12) T.Gomi et al.: The Development of an Intelligent Wheelchair, *Intelligent Vehicle Symposium (IV'96)*, Tokyo, Japan, September (1996)
- 13) T.Gomi: The TAO Project: Intelligent wheelchairs for the handicapped, *AAAI Fall Symposium*, Boston, MA, November (1996)
- 14) 吉川 毅ほか7名：福祉施設における自律型運搬ロボットの開発（第2報）—実地評価試験—, 北海道立工業試験場報告, No.299, (2000)