

# 情報化空間支援によるサービスロボットの实証実験

竹内 啓五 金森 洋史 深瀬 勇太郎 佐藤 等 吉田 哲二 前田 純一郎  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

## Development and Testing of an Intelligent Space for Wheelchair Robot

by Keigo Takeuchi, Hiroshi Kanamori, Yutaro Fukase, Hitoshi Sato, Tetsuji Yoshida and Junichiro Maeda

### Abstract

The authors study an intelligent space that will make our lives more comfortable in the future. We have developed an information environment for mobile robots under which the robots move using information received from its environment. This paper describes a motorized electric wheelchair robot equipped with a radio frequency identification (RFID) system, an ultrasonic 3D positioning system, and laser range sensors. The robot has three operation modes: automatic, following, and manual. Several tests were conducted on a public road in the Fukuoka Island-City area that has been authorized as a 'Special Zone for Robot Development and Testing.' This paper describes the development of the robot and summarizes the results of the tests.

### 概要

われわれは、将来の生活空間において高機能化サービスを実現する空間システムの設計開発を行っている。今回移動型のサービスロボットを効率的に運用する基盤技術の確立を目的に、車いすをベースに開発を行った。環境側に所在確認用のRFIDを設置し、ロボットに搭載する技術は自律走行に必要な最小構成とした。ロボットの制御は電動モータ制御機構、障害物検知用のレーザーレンジセンサ、方向探知用の超音波センサに留め、環境側の情報・物理的支援による制御を実現した。運転モードは、自動壁沿い走行、前方歩行者追従走行、手動運転の3種類を実現した。同装置の有効性は、ロボット特区として国から認定を受けている福岡市アイランドシティにおいて、日本国内初となる公道走行試験を含め各種走行試験を通し確認した。

### § 1 . はじめに

これからの私たちの生活を、より安心、安全そして快適なものとするために、近年、知能化空間の創出に関連した研究が注目され、幅広い分野からの研究が進められている<sup>1)</sup>。生活支援のためのサービスロボット(日常生活や業務を人と共存する場所で支援するロボットと、人と離れた場所で稼働する産業用ロボットとは区別される。以下、本報では単にロボットと表す。)の開発もその一分野を占めており<sup>2)</sup>、多くの研究機関において、人間(ヒューマノイド)型ロボット<sup>3)</sup>、エンタテインメントロボット<sup>4)</sup>、知能化家電型ロボットなど、様々な機能を有したロボットが提案され、実用化に向けた検討が進められている。しかし、高機能ゆえに取り扱いが困難、あるいは生活支援内容に限界があるなどの要因から、実社会において適用・定着することが難しいケースが多い。

このような困難な状況の中で筆者らは、「役に立つロボット」の利用空間を実現することをテーマに、周囲の

環境情報を利用して移動するロボットの開発を進めている。同開発の狙いは運用が容易で、安価な移動機構を実現することで、ロボットの活躍の機会を、実際の生活の場面に深く浸透させることにある。

今回の報告では、環境を含めたトータルなロボット利用空間を、車いすをベースに開発を実施した内容について述べる。用いた車いすは電動モータ駆動で、モータ制御用にPCを搭載し、自立運転に必要なとされる最低限のセンサをのみを搭載している。また運転のための情報を主に環境側から提供することで移動機構(ロボット)側の情報処理負荷軽減を図っている。移動の際の所在管理には移動経路となる環境側にRFIDを設置し、さらに縁石や壁の形状を走行のための物理情報として積極的に利用している。

本システムの有効性の確認は、ロボット特区認定を受けている福岡市東区アイランドシティ内で行った。同地区において国内初の公道実験を含む自動走行、人への追従走行等各種試験を実施した。

## § 2 . 開発のねらい

これからの社会においては人々の生活を支援するロボットが不可欠と考えられている。例えば、少子高齢化が進んだ社会では、介護する側においては移動や搬送などの場面に、される側ではより自立した生活を営むために機械的な支援が必要といわれている<sup>6)</sup>。また、通常の業務や日常生活においても、荷物の運搬など様々な支援を必要とする場面も多い。したがって今後生活支援ロボットが普及することによって、高齢者や要介護者のみならず健康な人に至るすべての人が、他人に気を使うことなく自由度の大きな生活を送ることが可能になると期待される。

一方、このような要求に応えるために、ロボットには様々な機能が必要となる。例えば、

- 状態認識、学習、行動選択などの考える機能
- 見る・聞く・話すコミュニケーション機能
- 他者と衝突せずに移動する機能
- 手腕の働きをするマニピュレータ機能
- 情報をやり取りするネットワーク機能
- 信頼性や安全性を確保する機能

などが挙げられる。

以上の機能をロボットに搭載して高度な作業をさせることも開発の一つの方向である。しかし現実的には、

- ア) 多くの機能を搭載することにより制御系の負荷が大きくなり、ロボットの作業性が低下する
- イ) 目的に対して不必要な機能を含む過剰な仕様となり、コストが高くなるなどの問題を生じ、結果的に運用が困難になる

などのケースが懸念される。

一方、ロボットの機能の一部を環境側に配置し環境側との協調動作によりロボットを運用しようという考え方が提案されている<sup>7)</sup>。これは、本来ロボットが搭載していた機能を空間側に持たせ、通信機能を相互に持たせることでロボット側のシステム負荷を大幅に軽減させる考え方である。これはロボットのために「空間」を「知能化」させることといわれ、今後のロボット運用のみならず人々の生活支援にも有効な考え方といえる。この考え方の有効な点は、ロボット側のシステム構成がシンプルになるため安価な移動機構を構成できることにある。仮に「高機能ロボット単体」と、「知能化空間」+「簡易型ロボット」が同程度の価格としても、メンテナンスやロボットの破壊・盗難等を考え合わせると、実運用面でのメリットが大きい。

以上のことから筆者等はこの考え方を是とし、周囲環境からの情報をもとに移動する技術を確立する第1ステップとして「車いすロボットとその運用空間」の開発を行った。

## § 3 . 空間とロボットの基本設計

### 3.1 環境側情報

はじめにロボットを運用するための環境整備について説明する。今回ロボットを運用するための運転モードとして以下を設定した。

- 1) 自動運転: 壁や縁石など環境の形状情報を二次元レンジセンサで検知し、それに沿って走行する壁沿い走行と、搭載エンコーダに基づく既定走行がある
  - 2) 追従運転: 超音波発信機を持った人に追従走行する
  - 3) 手動運転: 車いすのジョイスティックを操作する
- 環境側はこれを実現するための支援情報提供をすることで設計を行った。



図 - 1 RFID タグ (設置例)

自動運転においては、環境側の情報提供のキーデバイスとして、本開発では図 - 1 に示す RFID タグを用いた。RFID タグは非接触でその内部情報を取得できることから、屋外等環境変動の厳しいところでも利用ができる。そのため今回の開発では、

- ア) ロボットの所在を確認する
  - イ) ロボットに制御コマンドを送る
- デバイスとして利用した。

表 - 1 に今回利用した RFID タグの仕様を示す。

表 - 1 RFID タグの仕様

製造元	シャープシステムプロダクト社
製品名	インテリタグ
通信周波数	2.4GHz
最大通信距離	2.0m
アンテナ(ロボット)	円偏波4素子
電源供給	パッシブタイプ

またロボットが走行するためのガイドとして、周囲の壁等の形状を利用する方法を採用した。これは、ロボット側に形状計測用のセンサを取り付けることを前提に、周囲の形状情報を積極的に運転制御に利用できるように、環境側を整備した。

今回の実験では、ロボット側のセンサには二次元レン

ジセンサを用いたが、前方障害物検知を併用するため地上約10cmの位置に取り付けている。同高さでの水平面の周辺形状を測るため、ロボットが走行する周囲の路面形状は、壁あるいは路肩が10cm以上の高さとなるようにしている。壁や路肩がない場合には、10cm以上の高さの柵などを設置する方法で対処した。既定走行は、移動量をロボット搭載のエンコーダ値に基づく走行である。

追従運転においては、環境側となる人に超音波発信機（超音波タグ）を携帯させ、その位置を確認して追従を行う方法を採用した（図-2）。三次元超音波位置センサは、古河産機システム社製のZPSである。同装置はリーダーと超音波タグとの距離を計測しその値を元にタグの位置を推定している。超音波タグとセンサの観測可能最大距離は約5mである。

手動走行は、電動車いすが製品時に持っている機能であるので、今回変更はしていない。

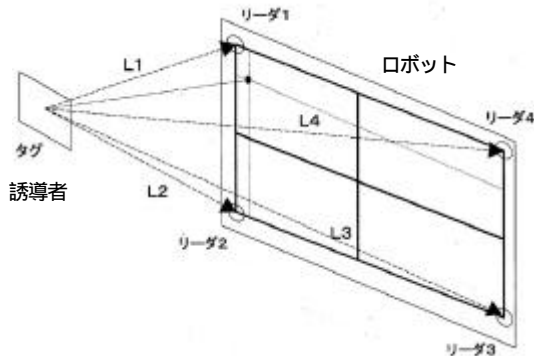


図-2 超音波タグによる位置把握（追従運転）

### 3.2 ロボット概要

ロボットの基本構成を述べる。本ロボットは市販の電動車いすをベースとしている。図-3にロボット概観、表-2にロボットの概略仕様を示す。

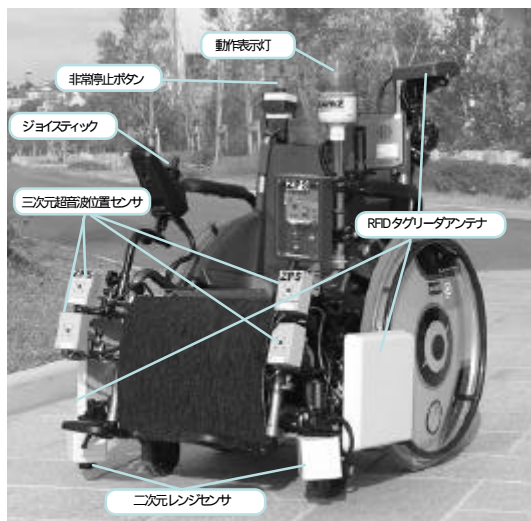


図-3 車いすロボット概観

表-2 車いすロボット概要

外形	1,100(L) x 800(W) x 1,100(H) mm
重量	70 kg
動力	鉛蓄電池（最大24V）
出力	60 W DC モータ x 2
最高速度	4.5 km/h
可搬重量	50 kg
センサ類	二次元レンジセンサ
	三次元超音波位置センサ
	RFIDタグリーダー
安全装置	本体上非常停止ボタン
	ワイヤレス式非常停止ボタン
	動作表示灯
	電磁ブレーキ

本ロボットは、電動車いすに周囲環境からの情報を取得するための各種センサならびにモータの駆動制御系を搭載したもとなっている。

ロボット全体の制御系統を図-4に示す。PCは、各センサからの情報を基にモータの制御コマンドを生成し、コントローラを経由してモータドライバを操作する。ロボット走行用のモータは、ベースの電動車いすに搭載されているDCブラシ付モータを利用し、その軸上にロータリーエンコーダを付加した。左右モータへ速度指令を与えることで、追従運転および壁沿い走行を、位置指令を与えることで既定走行をそれぞれ実現した。制御プログラムは、WindowsXP上にてVC++Ver.6.0で記述した。

自動および追従運転電源は、鉛蓄電池（115D31R）を基（12+12V）を使用した。PC用として12V、センサ用として5Vおよび9Vを、またモータ駆動用として24Vを分圧して使用した。手動運転の場合は、電動車いす用のリチウムイオンバッテリーを利用する。

図-5に制御プログラムの流れを示す。運転中は常に環境設置のRFIDタグを探索する。ロボットはタグに関連付けされたコマンドに基づき運転の切り替えを行う。

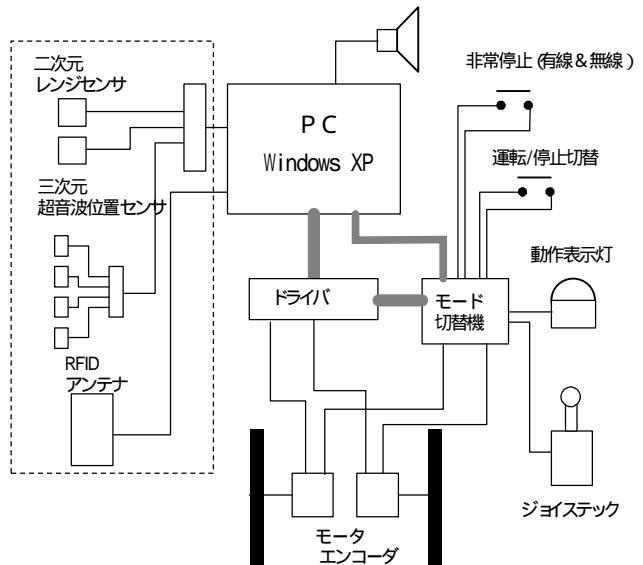


図-4 制御系統

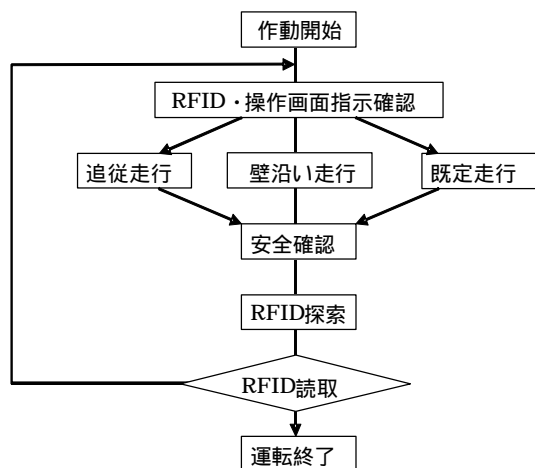


図 - 5 制御の流れ

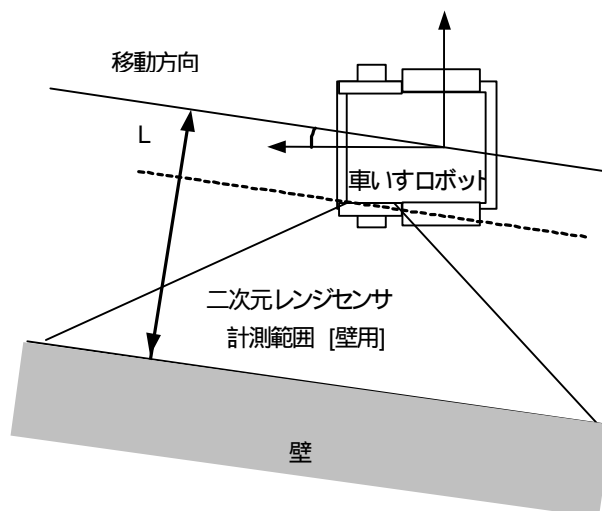


図 - 6 自動運転 (壁沿い走行)

操作者が任意の動作をさせる場合は、車体上面のRFIDアンテナに所定のRFIDタグ(自動運転開始、停止、追従運転開始等)をかざして操作できる。安全停止機能として制御ループ内でセンサ状態からの安全の確認を行っている。さらに有線と無線の手動スイッチによる制御ループ停止と、万一のPCの暴走に応じ非常停止用電源遮断スイッチを設置した。

### 3.2.1 ロボット搭載機能

#### 3.2.1.1 二次元レンジセンサ

二次元レンジセンサには、北陽電機(株)製の測域センサ(URG-04LX)を使用した。センサをロボット前方下部の左右に配置し、ロボット側面の壁からの相対位置ならびに前方障害物の認識を行った。

センサの測距範囲は20～4,000mm、240°、測距精度は約1%、角度分解能は約0.36°、光源は近赤外レーザーである。これを100msでスキャンさせて距離データを取得し、USB経由でPCに転送した。

図-6に方向制御の概略を示す。得られた距離データからロボット測方の壁との距離Lならびに壁の方向を計算で求め、所定の距離を保つようにロボットの走行を制御させた。壁の状態が柵状でも対応できるように距離データに対してフィッティングをかけることで対応している。

また障害物検知は図-7に示す2種類の検知範囲にて、速度を順次低減させる方法をとっている。

#### 3.2.1.2 三次元超音波位置センサ：ZPS

先に示したZPSのリーダはロボット前面に配置されている。各リーダが前方の歩行者が持つ超音波タグとの相対的な距離L1～4(図-2)を検出することによって、歩行者の位置を検知し、それに追従する制御を行った。サンプリングタイムは100msとした。また、リーダの配置間隔は上下に120mm、左右に600mmとした。超音波タグの座標はZPSシステム内で計算され、USB経由でPCに座標が送られる。

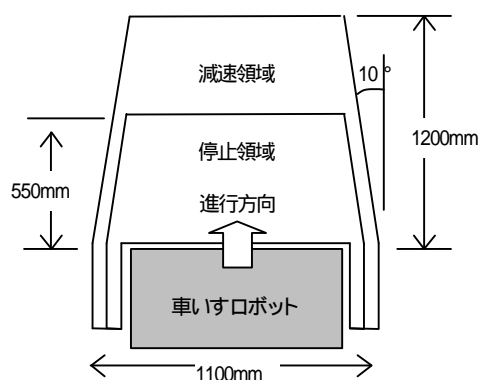


図 - 7 障害物検知

#### 3.2.1.3 RFIDタグリーダ

環境側に設置したRFIDタグ情報を読み取るために、ロボットの左右やや低い位置に大型のアンテナを、また操作者がタグによる操作を行いやすいように、ロボットのハンドルの高さ位置に小型のアンテナを配置した。読取りは250ms間隔で行い、読取りデータはシリアルポート経由にてPCに送られる。

#### 3.2.1.4 音声機能

人とのインターフェースとして、ロボットの状態を音声で伝達する機能を搭載した。これには、ロボットに対する親和性を高める効果があることに加え、移動中のロボットの状態をモニタ画面を見ることなく確認できる利点がある。音声は、NTTデータ社製ボイス君のテキストスピーチ2を使用し事前にWAVファイルとして作成した。運用では同ファイルを、必要に応じて呼び出している。

音声案内の例として、「追従運転スタート」、「止まります」等他、誘導者のロスト(超音波タグを見失った状態)を示す「待つて待つて」、追従が順調であることを示す「なんばしよっと(地域の言葉)」などを発声させた。

## § 4 . 実証実験

### 4.1 実験概要

#### 4.1.1 実証フィールド

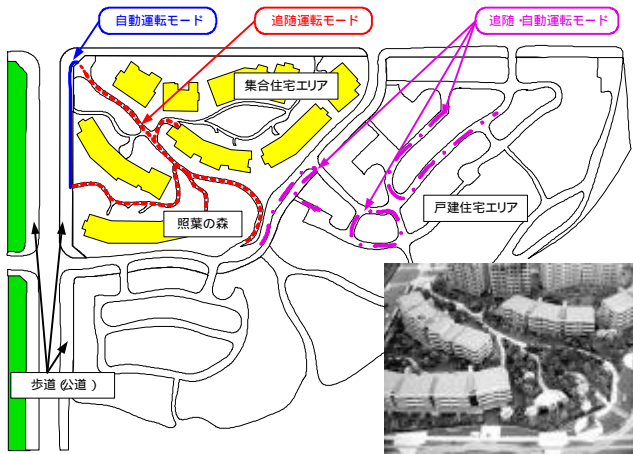


図 - 8 実験場所 福岡アイランドシティ「照葉の街」

実験は、図 - 8 に示す福岡市が開発を進めているアイランドシティ（福岡市東区）の住宅街区（販売期間中）および隣接する公道（歩道）上において実施した。福岡市は、ロボット技術の一つの核とした同地域の産業活性化を目指しており、2003年11月に「ロボット開発・実証実験特区」の認定を受けている。今回同地域にて国内初の公道におけるロボットの自動走行試験他各種確認実験を行った。

#### 4.1.2 日程

ロボットの段階的な開発に伴い、実験は2005年9月、10月および11月の3回に分けて実施した。

### 4.2 実施内容

下記の動作確認を目的として実験を実施した。

#### 追従性能把握

超音波タグを持った人の動き（直進、停止および旋回）に対するロボットの追従性、ロストの発生頻度と要因などを把握する。また、追従動作におよぼす路面傾斜ならびに人の乗車などの影響を調べる。

#### 自動運転性能把握

環境設置のRFIDタグ情報に基づいた動作の確認と、二次元レンジセンサを用いた自動壁沿い走行及び障害物検知特性の把握を行う。同タグ指示動作は、各運転モード切替や自動運転時の180°旋回などの動作である。

### 4.3 実験結果

#### 追従性能について

初期の段階では、通常の人歩行速度（3~5 km/h）における追従は困難であり、追従可能速度は2 km/h以下と

なった。また、周囲の電波あるいはノイズ環境の影響により、場所に応じてロストの発生が多くなった。そのため、超音波タグの出力感度およびロボットの速度上限値を調整した結果、追従性は改善された。現状のロスト率は約15%であり、さらなる改善は必要と思われる。

図 - 9 に三次元超音波位置センサが捕らえたロボットと誘導者（超音波タグ）との相対位置関係の例を示す。図のプロットはセンサが誘導者を捕らえている状況を示している。ロボットからの距離50 cm~3 m、ロボット前面中心軸から左右各10°の範囲で追従が良好に行われている。

旋回時の追従性は、当初は旋回半径が大きく、道幅2m以内での180度旋回は困難であったが、車輪の動作アルゴリズムを変更し、「その場旋回」を可能とした。

走行路の傾斜に関しては、実験の範囲（斜度1~3%）において問題はなかった。また、乗車時の走行性能に関しては、通常の直進や旋回では特に問題は発生しなかった。

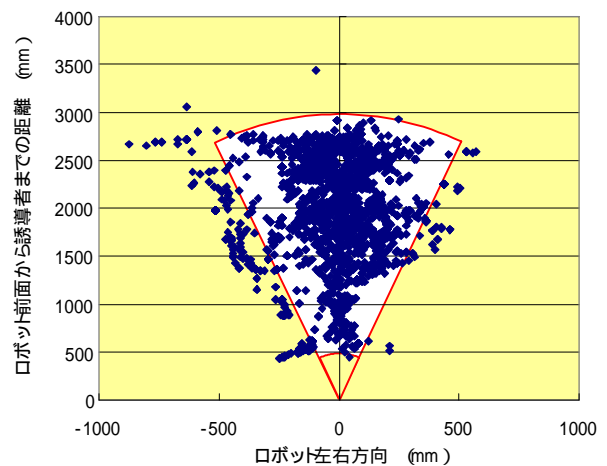


図 - 9 ロボットと誘導者の相対位置



図 - 10 旋回時の状況



走行負荷が大きくなるような路面状態（段差や路外など）では、過負荷による緊急停止状況が発生した。これはモータドライバの性能に起因しており、将来的にドライバを交換することで対処できると考えられる。

#### 自動運転性能について

環境側 RFID タグ情報提供は、特に問題はなく、読取り不能などの状況は見られなかった。運転モードの移行や各地点での指定動作（180° 旋回、停止等）も最終的にはすべて予定通りの動作の実現を確認した。これにより、環境側設置の情報支援によるロボット動作環境は、今回実施したシステムで十分実現できることが確認された。

二次元レンジセンサによる壁および縁石（高さ 10 cm 程度）に沿った自動運転は、ほぼ問題なく可能であることを確認した。壁の手前に低い草木が生えている場合には、これらを壁と見做して迂回走行したが、まれに（自動運転全工程の 4%程度）これらを障害物として停止する状況があった。図 - 11 のように、不連続なポールや植木でもこれらを直線のフィッティングにより壁として認識し、これに沿った自動運転を行うことも可能であった。



図 - 11 ポール沿い自動走行

自動運転から既定運転の切り替えは RFID タグにより行った。運転自体は 10m 程度の前進などほぼ所定の直線移動を確認した。しかし、まれに路面の凹凸の激しい部分で方向にずれが生じる場合があった。これに対処するために今後はジャイロ等の搭載が不可欠と考えられる。

## § 5 . まとめ

生活支援ロボットが有効に活躍できる環境設計を基本理念に、情報支援空間の開発の一環として、今回車いすベースロボットを同環境に投入した。この開発を通し、「役に立つロボットの運用環境」に必要な、将来の実現性が高い要素技術の確立を行った。

同開発では特にロボット本体に高度な機能や複雑な処理を伴う機能などは搭載せず、極力周囲環境からの情報をもとに動作するロボットであることを心がけた。現状では、環境側の情報が整備されていないこともあり、十分に役に立つ動作ができるまでには至っていないが、今回の公道を使用した実践的な実験により、将来的な実現の可能性を見出すことができた。

少子高齢化をキーワードに、生活に役立つ支援ロボットの代表的な例として今回は車いすを取り上げたが、環境情報をもとに動作するロボットには、非常に幅広い適用性が期待される。例えば、空港での荷物運搬カートやショッピング用の買物カートなどでも、本ロボットの追従運転（人について荷物を運んでくれる）や自動運転（使い終わったカートが勝手に所定場所に戻ってくる）が有効に利用できる。今後はさらなる適用性の拡大を考慮した開発を進めていきたい。

#### 謝辞

本ロボットの開発ならびに実証実験に際し、福岡市港湾局アイランドシティ誘致促進部、同経済振興局産業政策部ならびに積水ハウス株式会社アイランドシティ開発室等の多くの方々にご協力をいただきました。謹んでここに感謝の意を表します。

#### <参考文献>

- 1)橋本秀紀, 渡辺朗子, “空間知能化のデザイン”, NTT 出版, 2004.12
- 2)矢野経済研究所編, “次世代パーソナルロボット市場 2004”, 2004.8
- 3)K.Hirai, M. Hirose, Y.Haikawa and T. takenaka : “The development of the Honda Humanoid robot”, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1321-1326, 1998
- 4)景山浩二, 石田健蔵: “エンタテインメントロボットビジネス”, 日本ロボット学会誌, Vol.20 No.7, pp.8-11, 2002.10
- 5)Joo-Ho Lee, Noriaki Ando, Hideki Hashimoto, “Mobile Robot Architecture in Intelligent Space”, JSME Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.11, No.2, pp. 165-170, 1999.
- 6)経済産業省, “ロボット政策研究会中間報告書”, 2005.5
- 7)橋本秀紀, “新しい空間概念, インテリジェントスペース”, ロボット工学セミナー, 社団法人日本ロボット学会, pp.13-19, 2000.11
- 8)福岡アイランドシティ IT・ロボット関連ホームページ <http://www.island-city.net/business/it/it.htm>