

## つくばモビリティロボット実験特区における

### 搭乗型移動支援ロボットの走行試験

#### Running Tests of a Person Carrier Type Transportation Support Robot in The Tsukuba Mobility Robot Special District

○ 山本健次郎 (日立)      一野瀬亮子 (日立)      荒井雅嗣 (日立)

Kenjiro YAMAMOTO, Hitachi, Ltd., HRL  
Ryoko ICHINOSE, Hitachi, Ltd., HRL  
Masatsugu ARAI, Hitachi, Ltd., HRL

**Abstract:** For realization of a next generation short distance transportation system corresponding to ‘aging society with a declining birthrate’ and ‘sustainability society’, we have developed a person carrier type transportation support robot moving on sidewalk. The robot is designed in consideration of affinity with pedestrians, and implemented an autonomous function and a body horizontal maintaining function to take a person safely to the destination. Now, we are promoting a proof test in the mobility robot experiment special district of Tsukuba city in Ibaraki prefecture. We report the current situation.

**Key Words:** Autonomous Robot, Transportation Support

#### 1. はじめに

少子高齢化や地球環境問題などの課題解決をめざした持続可能型社会実現に向け、高齢者が自立して健康、安全、快適に生活できる集約化されたまちづくり（コンパクトシティ）の推進が検討されている<sup>(1)</sup>。このまちづくりは、病院や学校、商業施設などの都市機能をコンパクトに集約し、まちの中の移動は、主に徒歩もしくは小型の低炭素交通手段で行う構想であり、その中で、高齢者や交通弱者の移動を支援するために歩行空間に調和できる近距離移動手段が求められている<sup>(2)</sup>。そこで筆者らは、図1に示す次世代近距離移動システムを提案している<sup>(2)(3)</sup>。このシステムでは、自律移動機能を搭載した小型電動車両により、自動配車・回収や目的地までのドア to ドア自律走行、シェアリングを行うことで、高齢者の運転負担や事故、運用コスト、環境負荷の低減を期待している。現在、その実現の第1歩として、歩道を自律走行する「搭乗型移動支援ロボット」を開発し、茨城県つくば市のモビリティロボット実験特区（以下、特区と呼ぶ）の歩道で走行試験を行っている。本報では、市民に受け入れられるように歩行者との親和性を考慮してデザインした搭乗型移動支援ロボットの仕様および機能と、特区での試験状況について紹介する。

#### 2. 搭乗型移動支援ロボットの仕様および機能

##### 2-1 ロボットの仕様

ロボットの外観を図2に、主な仕様を表1に示す。本ロボットのデザインは、人が往来する歩道を走行するため、歩行者との親和性および安全性を重視し、景色を眺めながら歩行者との会話を楽しむといった日々をいきいきと暮らすための乗り物をイメージした。設計仕様の主な特徴を以下に示す。

- ・周囲の人と会話しやすい座面高さ
- ・開放感あるサイドのオープンスルー構造
- ・見通しのよい前面窓（後方視野はバックモニタ表示）
- ・ゆったりした走行，安心感を連想する卵型のシェル形状（直線的形状は、速い速度を連想させるため不採用）
- ・乗降時，狭い歩道で通行の邪魔にならない安定性と安心感のある前乗り（フロントオープン）構造（サイドオープンは横通行人との衝突可能性あり）
- ・不慣れでも直感的操作が可能なジョイスティック（自律走行中，利用ニーズに応じてジョイスティックによる手動走行に切り替え可能）
- ・狭い歩道でのその場旋回（後輪車軸中心）

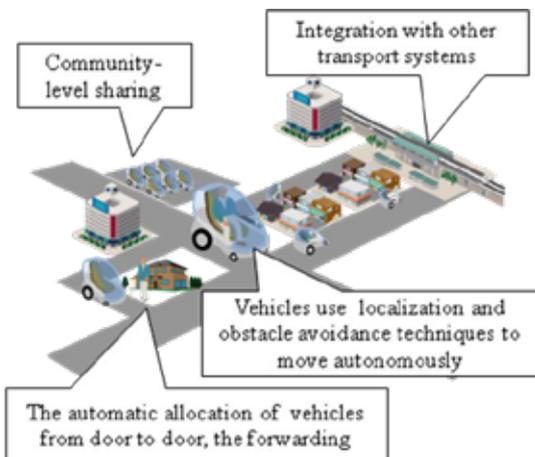


Fig. 1 Next Generation Transportation System



Fig. 2 Appearance of the Robot

Table 1 Specification of the Robot

Parameter	Specification
seating capacity	One person (Previous riding)
Weight	200kg
Size	L1494 mm×W698 mm×H1627mm
Max speed	Manual : 9.5km/h
	Autonomous : 6km/h
Control device	Joy stick
Movement mechanism	front wheel steering, rear wheel drive
Motor Power	0.5kW

## 2-2 ロボットの機能

本ロボットの特長は、高精度な自己位置推定で目的地まで正確に誘導し、路面凹凸や歩行者等を検出し障害物を回避して安全に自律走行することである。また、車道に比べ狭く凹凸の大きな歩道を走行するため、車体水平保持機構（アクティブサスペンション）を搭載した。以下に各機能について述べる。各機能に必要な、主なセンサ構成を図3に示す。

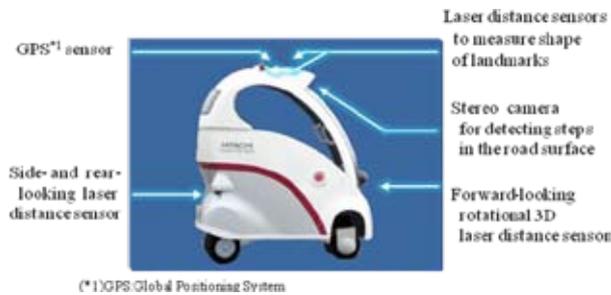


Fig. 3 Sensor configuration of the Robot

### (1) 自己位置推定機能

自己位置推定機能の概念図を図4に示す。上空が開けた場所ではGPS衛星からの電波が入り易く、ロボットは、屋根に設けたGPSセンサを主に利用して自己位置を算出する。また、GPSデータの誤差が大きくなる木や高い建物の近くでは、ロボットの屋根に斜め設置したレーザ距離センサで木や壁の形状を測定し、事前準備したランドマーク形状地図とマッチングすることにより、自己位置推定を行う。2つの方式を融合することで、安定した精度で自己位置推定が可能である。

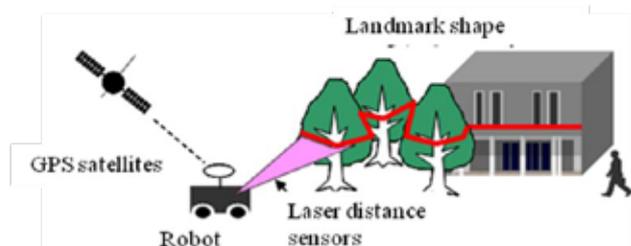


Fig. 4 Self-position estimation function

### (2) 障害物回避機能

障害物回避機能のステレオカメラ及び前方の回転型3次元レーザ距離センサにより路面凹凸を検出し、凹凸が所定以下の領域を走行可能領域と判断する。また、側後方のレーザ距離センサでも障害物検出を行い、衝突しないように相対距離を監視する。図5に示すように、障害物の少ない広い場所では障害物から離れた場所を減速せずに通過することにより安全かつ高速に走行し、車止め間など障害

物との間隔が狭い場所を通過するときには低速走行することで、迅速性と安全性を両立した走行を行う。

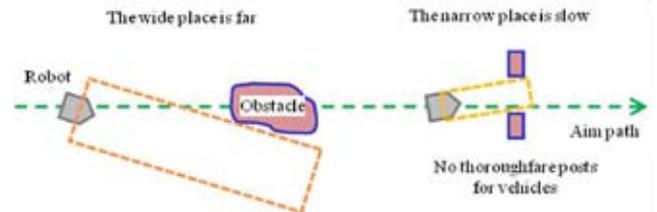


Fig. 5 Obstacle avoidance function

### (3) 車体水平保持機能

歩道には大きなうねりや凹凸があるので、通過時に車体が傾いてセンシング性能や乗り心地に影響を与えるだけでなく、転倒する危険もある。特に、本ロボットの横幅は、特区の制約があり、高さに対し狭い（約0.7m）ので、歩道の状態によっては横方向に大きく揺れる可能性がある。そこで車体を水平に保つため、アクティブサスペンションを搭載した。図6に示すようにアクティブサスペンションは、4輪全てにパッシブなバネと直列にアクチュエータ部を搭載し、姿勢検出センサにより車体の傾きをセンシングして、常に水平を保つように制御する構成とした。但し、アクチュエータ部には常に重力がかかり、アクチュエータのみだと消費電力がかかる上、電源が切れた時に急に反力が無くなり不安定になる。そこでアクチュエータと並列に、車高の位置に関係なく常に一定の反力を発生させる機構（自重補償機構）を搭載した<sup>(4)</sup>。

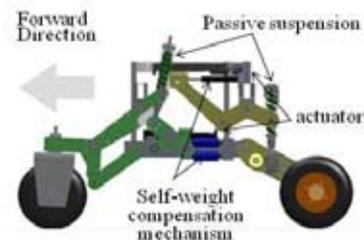


Fig.6 Horizontal maintaining function

## 3. モビリティロボット実験特区での走行試験

つくば市は、2011年3月に内閣府より「つくばモビリティロボット実験特区」の認定を受けており、現在国内唯一、モビリティロボット(人が搭乗して移動するためのロボット技術応用機器)の公道(歩道)走行試験が可能である。特区認定エリアは、つくばエクスプレス沿線のつくば駅および研究学園駅周辺の約5km四方の領域で、幅3m以上の自転車が通行できる歩道が走行可能となっている。

筆者らは、自律移動ロボット(人は搭乗できない)の実証実験「つくばチャレンジ」に2009年と2010年に参加し、約1kmのコースを2年連続完走<sup>(5)</sup>しており、この成果をもとに特区に参画した。特区実証実験では、搭乗型移動支援ロボットについて最終的に次の2点を評価することを目的としているが、まずは特区内の広範な領域で安全な自律走行ができるよう走行試験を進めている。

- ・社会的受容性：安全性、親和性、法規制等の社会制度、住民と利用者の理解と継続利用
- ・社会的有効性：低炭素効果、コストメリット、高齢者活性化等の有用性、運用の持続性

既に延べ100km以上の走行試験を実施しており、以下にその状況を述べる。

### (1) 自律走行

特区内全体のランドマーク形状地図は、1度の地図情報取得走行(手動走行)では取得できない為、地図情報取得走行を複数回行い、地図を少しずつ拡大することで、特区内の自律走行可能領域の拡大を進めている。図7に示すように、現在までに、15回の地図情報取得走行(延べ37kmの走行)を行い、歩道距離18kmのランドマーク形状地図を作成した。また、拡大した部分は自律走行を繰り返し実施し、地図に問題が無いか確認しながら進めており、現在、地図を生成した領域全域で自律走行が可能となっている。

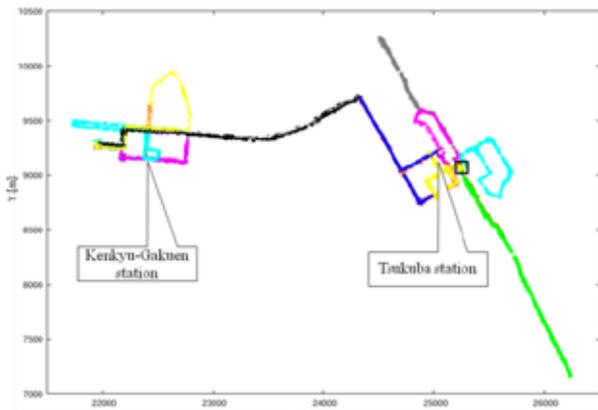


Fig.7 Landmark shape map

### (2) 安全・安定性と歩行者との親和性

特区での走行試験の様子を図8に示す。つくば市民からは、好意的に対応して頂いており、特区という特殊な環境であるにもかかわらず違和感なく歩道走行ができています。

安全性に関しては、現在の試験では保安員および現場責任者の付き添いが必須となっており、常に安全確認を行いながら走行しているため、現在のところ危険事例は発生していない。歩行者との対面通行では、本ロボットの障害物回避が、人の回避開始地点よりも遠方から緩やかに回避を始めるため、回避するという感覚なくすれ違いが実現できている。



Fig.8 State of the running test

また、大きな段差は路面の一部に局所的に存在することが多く回避可能であるが、うねりは路面全域にあり、図9に示すような回避不可能なケースがあった。このような路面の凹凸に対する安定性に関しては、本ロボットには水平保持機能があり、その有効性を確認した。



Fig.9 Undulation of the road surface

市民からの意見としては、「雨の日に活用したい」「暑さ寒さが凌げると良い」など天候に対する快適性に関する意見が多く、利用意欲向上のために屋外の使用では車室の必要性を実感した。また「デザインが良く、早くユーザとして利用したい」など好意的意見が多かった。今後一般ユーザを対象とした利便性の実証実験を行いたい。但し現状、特区でロボットに搭乗するには運転免許が必要であり、多くの高齢者や交通弱者は対象外となっている。将来的には安全性を確立することで利用が可能となるように実証実験を進めていきたい。さらに走行環境としては、特区内の一部の歩道では、数m間隔で車止めが設置されており(図8右下)、低速走行が余儀なくされている。今後、搭乗型移動支援ロボットの走行する環境(歩道、専用道など)についても検討していきたい。

### 4. さいごに

自律移動が可能で一人乗りの搭乗型移動支援ロボットを開発し、つくばモビリティロボット実験特区において走行試験を行った。現在歩道18kmの区間が自律走行可能となっており、自律走行、安全・安定性と親和性の確認を行った。市民からは友好的に受け入れられており、今後、一般ユーザを対象とした利便性の実証実験を行っていく。

将来、超高齢社会が到来し、移動の制約を受ける人々の増加が予想される。移動支援の手段は様々な方法があるが、自律走行技術を開発する立場からも研究成果を広く社会に役に立てたいと考えている。実用化には法規制や走行環境を含めまだ課題が多いが、高齢者に優しい街づくりの一助となるよう、今後もつくば市と共に実証試験を推進していきたい。

### 参考文献

- (1) 「持続可能で活力ある国土・地域づくり」の推進について、国土交通省, 2011.
- (2) 東京大学, COCN, 「シルバーニューディール」でアクティブ・エイジング社会を目指す, 活力ある高齢社会に向けた研究会報告書, 2011.
- (3) 山本他, 実証実験「つくばチャレンジ」の背後にある取り組みの事例と完走するための自律移動技術, 情報処理, vol. 52, no. 09, pp. 1166-1172, 2011.
- (4) 小野他, 搭乗型移動支援ロボットの開発—広域自律移動のための姿勢安定化と地図生成—, Proc. of ROBOMECH'12, 2012.
- (5) 大島他, 多様な環境での安全かつ迅速なナビゲーション技術の開発と自律移動ロボット Sofara-Tによる実証実験, Proc. of Tsukuba Challenge 2010 Symposium, 2011.