

低炭素型社会への貢献を目指した 産総研のモビリティロボット技術

松本 治

独立行政法人 産業技術総合研究所 知能システム研究部門（〒305-8568 つくば市梅園1-1-1中央第2）
E-mail:matsumoto.o@aist.go.jp

本発表では、近未来の低炭素型交通社会での活用を想定して開発中の（独）産業技術総合研究所知能システム研究部門におけるパーソナルモビリティロボットに関する取組みについて紹介する。当該研究部門では、簡易型電動車いすをベースとし各種センサを搭載した自律走行車いす、小型軽量で立ち乗り型のマイクロモビリティを対象とした各種モビリティロボット技術を開発しており、それら技術の概要と共に、2011年6月から開始されるつくばモビリティロボット実験特区において実施予定の技術実証実験計画について報告する。

Key Words : *personal vehicle, mobility, robot, wheelchair, autonomous travel*

1. はじめに

我が国のCO₂直接排出量の約20%を運輸部門が占めており、その約9割が自動車からの排出である¹⁾ことから、その対応について社会全体で考える機運が高まっている。一方、生活に必要な諸機能が近接した効率的で持続可能な都市、もしくはそれを目指した都市政策であるコンパクトシティ構想が、徐々に地方自治体を中心に推進されつつある。本構想は歩いて行ける範囲を生活圈とし、コミュニティの再生や住みやすいまちづくりを目指すものであるが、交通システムとして、遠距離移動には自動車より公共交通機関を、近距離移動には自転車などを利用し、環境保護や持続可能な社会を実現することを目指している。また、国立環境研究所では、大都市圏の郊外部や地方の都市部を主な対象とし、中長期的なCO₂排出量の大幅削減に貢献する将来の交通システムの在り方を提案している²⁾。この構想は、自動車依存率を可能な限り下げたため、利用頻度の高い施設は住民の居住地エリア内に、大規模集客施設は中心市街地に立地し、居住地エリア群と中心市街地および遠距離鉄道駅が上記の路面電車などの公共交通機関で結ぶという交通システムである。

このような社会動向を踏まえ、産業技術総合研究所（以下、産総研）知能システム研究部門では、上記のようなコンパクトシティ内における高齢者等の近距離移動手段として、安全性、利便性等の面から、これまで培ってきたロボット技術を活用した電動パーソナルモビリティが有望であると考え、関連技術を構築している。本稿

では、研究開発中の電動パーソナルモビリティとして、自律走行機能や安全走行機能を持つ車いすや、小型軽量の立ち乗り型モビリティに関して、その概要を紹介すると共に、2011年6月から開始されるつくばモビリティロボット実験特区において実施予定の技術実証実験計画について述べる。

2. 産総研で開発中のモビリティロボット

我々はロボット技術を搭載したパーソナルモビリティとして、車いす型モビリティロボットと立ち乗り型モビリティロボットの2つのタイプに関する研究開発を実施している。以下、それぞれに関する研究開発概要を述べる。

(1) 車いす型モビリティロボット

2005年の愛・地球博（愛知万博）でのサービスロボットの技術実証試験を目的とした「NEDO次世代ロボット実用化プロジェクト（FY2004-2005）」への参画から、本格的に電動車いすを対象とした搭乗型ロボット技術に関する研究開発に取り組んでいる。当プロジェクトでは、アイシン精機（株）、富士通（株）と共同でインテリジェント車いすに関する研究開発を実施し、愛・地球博会場の屋外特設コースにて体験試乗を半年間毎日実施した³⁾⁴⁾。現在研究開発している車いす型モビリティロボットは、その時に開発したものがベースとなっている。研究開発中の自律走行車いすMarcus（図1）は、GPSやマー

カー等のインフラに依存しない自律走行機能を実現するために、外界センサとして環境地図作成やマップマッチングを行うレーザーレンジファインダ(LRF)をロボットの後方上部に、前方障害物を検知するLRFをロボット前方に搭載した車いす型モビリティロボットである。自己位置推定には車いす背もたれ上方に3次元レーザーレンジセンサ(2次元レーザーレンジセンサをモータ駆動により上下に振るセンサユニット)のみを利用している。本センサにより格子占有地図(グリッドマップ)を3次元に拡張した多層格子占有地図を構築し、これにMCL(Monte Carlo Localization)を改良したマルチリサンプリングMCLを適用した手法を用いている⁹⁾。地図を3次元に拡張する事で、周囲にいる人の影響を受けない場所の地図(図2)を作成する事ができ、人や自転車等が混在する市街地環境において高信頼な自己位置推定を実現している。



図1 自律走行車いす (Marcus 2010)

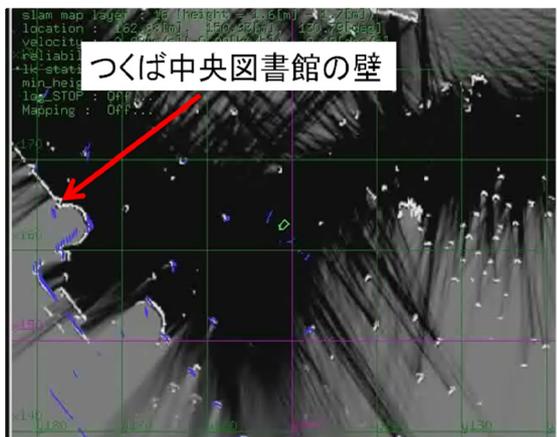


図2 構築した地図の例

さらに、安全技術の1つとして、前方障害物を安全に回避する機能に関する研究開発を実施している。ロボット前方に搭載したLRFにより検知した前方障害物と図2に示すような環境地図情報から、最短経路探索アルゴリズムであるA*アルゴリズムを用いた障害物回避軌道リアルタイム生成手法を考案し実装している。本手法は、まず周囲の障害物マップを取得し、3m以上離れた障害物の無い大域的経路上の地点Pを選択。その後、障害物マップ上で、現在位置から地点Pまでの障害物に近くなく、かつ最も短い経路をA*アルゴリズムで計算するという手法である。図3に示すように、ロボットの走行経路上に人等の障害物(図3の経路上の黒い部分)が現れた場合、障害物マップも考慮しながら、障害物にぶつからない最短の回避軌道をリアルタイムに生成する。

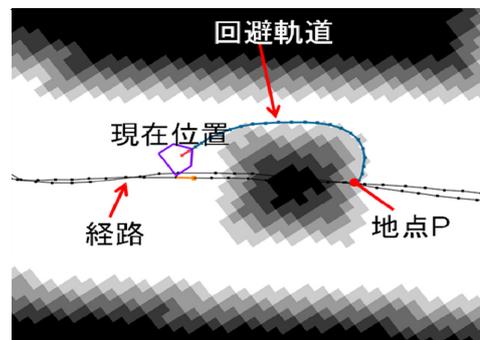


図3 実時間回避軌道生成例

昨年度第4回目が実施されたつくばチャレンジ2010に参加し、自律走行技術、障害物検知・回避技術等に関する技術実証を行った。この大会は、ロボットの屋外長距離自律走行性能を競う大会であり、2010年度はつくばエキスポセンター前をスタートし、つくばサイエンスインフォメーションセンターの中までの約1.1kmの指定されたコースをロボットが自律走行できるかどうかを競うものであった。我々のチームは2010/7/24の最初の試走会から完走を果たし、2010/11/19のファイナル走行においても無事完走(約70チーム中7チームが完走)を果たしている。



図4 つくばチャレンジ2010ファイナル走行の様子

(2) 立ち乗り型モビリティロボット

近年、セグウェイに代表される倒立振子制御を応用した平行2輪型で前後方向のバランスをモータ制御で確保する形態の立ち乗り型パーソナルモビリティが注目されている。これはフットプリントが小さく人間共存環境において邪魔にならないコンパクト性、ストップ&ゴーがシームレスに行える利便性などを特徴とする。トヨタ自動車(株)が2008年に開発したWingletもその形態の乗り物である。産総研では、2004年にハンドルがなく搭乗者の重心移動のみで操縦する乗車型移動プラットフォーム「PMP-2」⁶⁾を開発し、その後継続的に各種小型軽量パーソナルビークル（以下、マイクロモビリティ）を開発している⁷⁾。

図5にサスペンション付きマイクロモビリティを示す。本モビリティの特徴は、1) 車輪を含む駆動ユニットをエアサスペンションで本体と連結したこと、2) レーザレンジセンサによる障害物検知・停止等が可能なことの2点である。1) の効果により乗り心地の向上、段差踏破性能の向上（4cmまでの段差を踏破可能）が図られ、2) の効果により安全性能が向上が図られている。Ver2では電装系をボックスに入れ、防滴性を向上させている。



(i) Ver.1



(ii) Ver.2

図5 サスペンション付きマイクロモビリティ

なお、これまでの研究開発において、無人倒立機能（モビリティ本体の重心位置を設計時に考慮することで無人倒立を可能にし、乗降を簡便にする機能）、自動追従機能（人間や荷物を載せた状態で、傍にいる人間に自動追従する機能）などの機能を付加したが、現在は当該モビリティの安全技術の開発や、さらには安全性検証手法の開発についても、参画中のNEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」と連動して実施している。

3. つくばモビリティロボット実験特区での活動

前述の車いす型モビリティロボットや立ち乗り型モビリティロボットなどに代表される、低炭素型移動手段や高齢者等の安全安心な移動手段としての期待が高まっているパーソナルモビリティロボットを対象としたモビリティロボット実験特区が茨城県つくば市において2011年6月から開始されることになった。この特区は、人が搭乗するロボットに限定し、使用許可するロボットに対して詳細な基準を決める代わりに、歩行者、自転車等との混在環境を含む広いエリアの公道（歩道）上での実証実験を可能にする取り組みである。2009年11月から、つくば市と内閣府、警察庁、国交省の4者での実施要件等に関する協議が実施され、①原動機の定格出力に応じて「小型特殊自動車」または「原動機付き自転車」に分類すること、②現状想定されるロボットが道路運送車両法上の保安基準を満たせるよう保安基準を緩和することなどで、実施に関する合意に至った。2011年2月には、つくば市により構造改革特別区域法第4条第1項に基づく「つくばモビリティロボット実験特区計画」の認定申請がなされ、2011年3月には、構造改革特別区域法第4条第8項に基づく内閣府による上記特区計画が認定された。それにより、つくば市が正式にモビリティロボット実験特区として認定された。

2011年4月には産総研の前述のロボットの保安基準緩和申請が関東運輸局により認可され、つくば市財務部によりロボット用ナンバープレート（課税標識）の発行が行われる予定である。道路使用許可申請（つくば中央警察署）を行い、それが承認されることにより、つくば市のつくばエクスプレスつくば駅の南北5kmに渡るエリア、および研究学園駅を中心とする半径約2kmのエリアにおいて、幅員3m以上の自転車も走行可能な歩道上でモビリティロボットの実証実験を行うことが可能となる。

産総研の前述のロボットは、2輪・4輪型で原動機出力が0.6kw以下であるため「原動機付き自転車」の枠組みで技術実証実験を実施する。当面は、利便性、安全性、信頼性向上に関する研究開発を実施し、具体的には2輪安定走行機能、自律走行機能、障害物検知・回避機能などの個別技術に関する技術検証を行う予定である。

利便性に関しては、目的地までの確実性の高い自律走行（数キロ程度）技術や複数台ロボットによる隊列走行技術等を確立する。安全性に関しては、人混み等の人間混在環境において、安全性を確保しつつ利便性も損なわない安全走行技術等を確立する。さらに、信頼性に関しては、長期間に渡る実運用による故障データ収集を行うと共に、安全関連系の2重系構築等の機器の高信頼化を、低コスト化の視点も踏まえつつ、リーズナブルなモデルケースを提示する。

長期的には、モビリティロボットを活用した、一般市民参加型の大規模社会実験を行い、搭乗型ロボットの安全性、信頼性、利便性等の技術検証を行うと共に、社会受容性評価、交通システム全体としての低炭素評価など、社会技術の研究開発を推進し、モビリティロボットを活用した新しい街づくりに関して世界の先駆けとなる成果を上げることが目標としている。

4. おわりに

本稿では、産総研で開発中の2種類のモビリティロボット（車いす型、立ち乗り型）に関する研究開発概要、さらにはつくばモビリティロボット実験特区での技術実証実験概要について紹介した。今後は、特区での活動を通じてPDCAサイクルを回すことで、関連するロボット技術の高度化を図るとともに、一般体験試乗等も実施し、社会受容性評価なども行う予定である。

謝辞：本研究開発を共に実施している産総研知能システム研究部門フィールドロボティクス研究グループの搭乗型ロボットチームの各位、ならびに、研究開発環境提供等の支援をいただいているつくば市経済部産業振興課の方々に謝意を表す。

参考文献

- 1) 国立環境研究所：日本の温室効果ガス排出量データ（2008年度確定値）
- 2) 松橋他：低炭素都市の実現に向けた LRT の役割, IATSS Review, 34(2), 39-46, 2009.
- 3) O.Matsumoto, K. Komoriya, K.Toda, S. Goto, T.Hatase, H. Nishimura: Autonomous Traveling Control of the "TAO Aicle" Intelligent Wheelchair, Proc. of 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.4322-4327, 2006.
- 4) T.Hatase, Y.Wakamatsu, H.Nishimura, H. Yamamoto, K.Toda, S.Goto, O.Matsumoto and K. Komoriya: An Application of Location-based Services to an Intelligent Wheelchair Robot, Proceedings of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services, 2006.
- 5) M. Yokozuka, Y. Suzuki, T. Takeji, N. Hashimoto, O. Matsumoto: Auxiliary Particle Filter Localization for Intelligent Wheelchair Systems in Urban Environments, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.6, pp.758-766, 2010.
- 6) 佐々木, 柳原, 松本, 小森谷：重心移動のみで操縦可能な小型・軽量パーソナルビークル, 日本ロボット学会誌, 24-4, pp.533-542, 2006.
- 7) 松本他：平行2輪倒立振り子型マイクロモビリティ群の特徴と仕様, 第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集, AC3Q1-06, 2009.
- 8) T.Takeji, O.Matsumoto, K.Komoriya: Simultaneous estimation of slope angle and handling force when getting on and off a human-riding wheeled inverted pendulum vehicle, Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ international conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4553-4558, 2009.

(2011.5.6 受付)

PERSONAL MOBILITY ROBOT TECHNOLOGIES IN AIST FOR CONTRIBUTION TO A LOW CARBON SOCIETY

Osamu MATSUMOTO

In this paper, personal mobility robot technologies in AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) for contribution to a low carbon society are introduced. Concretely, intelligent wheelchairs based on motorized wheelchair with autonomous travel capability, defined as wheelchair type mobility robot, and AIST micro mobility with compact and light-weight mechanism, defined as standing type mobility robot, are presented. Moreover, action plan and outline about demonstration experiments in special zone in Tsukuba-city for mobility robot travelling on public road are reported.