

# 論文の内容の要旨

論文題目 動的屋外環境セマンティックマップの獲得に基づく

パーソナルモビリティの自律移動の研究

氏名 畑尾 直孝

人間一人が搭乗し、移動することが可能なロボットを"パーソナルモビリティ"と呼び、近い将来に予想される少子高齢社会において、足腰の弱った高齢者のための屋内外の移動手段としてのニーズが期待されている。パーソナルモビリティの普及を促進させるには、その利便性と安全性の双方の向上が必要不可欠であり、そのためには屋外環境で自律的に周囲の環境を判断しながら移動できる能力を持たせることが重要となる。

本論文は、パーソナルモビリティによる安全な屋外での自律移動を実現することを目的とし、そのために必要なマップの構築及び応用を行うシステムについて取り組むものである。

**第1章「序論」**では、パーソナルモビリティそのものの意義と、パーソナルモビリティのための自律移動の研究の背景と目的について述べ、本研究の位置付けを行った。

**第2章「屋外環境における自律移動のためのセマンティックマップの構築」**では、ロボットの自律移動に関する従来の研究を俯瞰するとともに、本論文の根幹となるセマンティックマップを提案し、その構成と構築方法について論じた。セマンティックマップとはロボットがセンサを用いて獲得したマップの各所に"意味(Semantics)"を付与したものであり、ロボットがそれぞれのセマンティクスに対する"推論(Reasoning)"を行うことで、安全で社会ルールに則ったナビゲーションが可能となることが示された。本論文では屋外ナビゲーションに有用なセマンティクスを"地形的セマンティクス","交通流セマンティクス","記号的セマンティクス"の3つに分類した。本章では、それぞれのセマンティクスを構成する具体的な事例を挙げ、ロボットが自律的にそれらを獲得し、自律移動に役立てる枠組みについて記した。

**第3章「屋外型パーソナルモビリティのシステム構成」**では、屋外を移動するパーソナルモビリティの要件を述べると共に、本研究に用いるパーソナルモビリティ"PMR"のハードウェア構成とセンサ構成について述べた。屋外環境には、段差やくぼみ、坂など、既存電動車いすの安全な移動を妨げる障害が多数存在する。このような環境内でパーソナルモビリティが安全に移動するためには、ハードウェアとセンサの両面からアプローチを行うのが望ましい。PMRは、左右独立駆動スイングアームを有する倒立二輪型パーソナルモビリティであり、坂や小さな段差に

において安全に移動することが可能である。さらに、PMR はスイング LRF を搭載しており、乗り越え不能な高さの段差を含む 3 次元形状を高精度に計測することが可能であり、それを用いて危険な領域への進入を抑止することができる。

**第 4 章「PMR のための歩行者を含む小規模環境における自律移動」**では、PMR が屋外に出るまでの屋内環境や、屋外での周囲の障害物形状が複雑な環境において、歩行者を回避しながら自律移動を行うための手法について述べた。PMR は、搭載した LRF を用いて自己位置推定、グリッドマップ構築、歩行者追跡を行い、オンラインで経路計画を行う。本章における経路計画手法は、衝突が予想される歩行者に対し、背後に回りこむパターンと一時停止するパターンの 2 通りの回避軌道を生成し、適切な軌道を自動的に選択することが可能である。

**第 5 章「センサ履歴に基づく屋外セマンティックマップの獲得」**では、第 2 章で定義した地形的セマンティクスを有するトポロジカルマップを 3 次元スイング LRF の履歴から構築する手法について述べた。まず、1 回の LRF のスイングごとに 3 次元スキャンが計測され、そこから地面領域を抽出することでロボットが通行可能な領域を検出する。さらに、その 3 次元スキャンから道路の分岐点を求めることで、トポロジカルな構造を有するマップパッチが作成される。最終的に、トポロジカルマップパッチを統合することで、道路構造を内包するトポロジカルマップが獲得される。

**第 6 章「屋外環境における移動物体の追跡と識別」**では、第 2 章で定義した交通流セマンティクスをマップに印加するために必要な、屋外における自動車と歩行者の追跡・識別手法について述べた。本手法は、複数仮説追跡手法を用い、追跡対象が自動車であるか歩行者であるかを自動的に識別して追跡することができる。また、第 5 章で作成した地形的セマンティクスを有するトポロジカルマップに対し交通流セマンティクスを印加するシステムについて述べた。

**第 7 章「セマンティックマップを用いた PMR の屋外ナビゲーション」**では、本論文で提案したセマンティックマップの統合方法と、それを用いた自己位置推定及び経路計画手法について述べた。第 5 章で作成した地形的セマンティクスを有するトポロジカルマップに対し、第 6 章の移動物体追跡手法を用いて交通流セマンティクスを作成することで、パーソナルモビリティが何度も同じ場所を通行するたびに交通流の情報がアップデートされていくシステムを構築した。また、本手法を PMR に実装し、歩行者と自動車が存在する一般的な環境である東京大学本郷キャンパスにおいて屋外ナビゲーション実験を行い、その有用性を示した。

**第 8 章「結論」**において、本論文を総括し、その成果と貢献、ならびに本論文の先にある課題を挙げ、今後の展望を述べた。近年では、自動車や歩行者などが存在する屋外環境においても高精度な自己位置推定やマップ構築を行う手法が多く提案されてきている一方で、そのような環境下で移動ロボットが安全なナビゲーションを行うための枠組みについては盛んに研究されているとは言い難い。本論文では、屋外を移動するパーソナルモビリティについて、セマンティクスの獲得・利用に基づき安全な自律移動を行う枠組みについて示したものであり、将来のパーソナルモビリティの普及による高齢者に対するバリアのない社会に向けた歩みに貢献するものである。