



# ロボット化した電動車椅子を活用した モーションプラットフォームの構築に関する研究

Motion Platform Using Electric Wheelchair based on Robotics Technology

畑中拓<sup>1)</sup>, 小田理穂<sup>1)</sup>, 笹井大和<sup>1)</sup>, 小玉亮<sup>2)</sup>, 目黒淳一<sup>1)</sup>

Taku HATANAKA, Riho ODA, Yamato SASAI, Ryo KODAMA and Junich MEGURO

1) 名城大学理工学研究科メカトロニクス工学専攻

(〒468-0073 愛知県名古屋市中天白区塩釜口 1-501, 193432012@ccmaig.meijo-u.ac.jp)

2) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

**概要:** 近年, 様々なモーションプラットフォーム(MP)の開発が行われ, HMD の普及に伴い, 既存の装置を MP として活用する研究がされている. しかし, 既存の装置を用いるため, 移動方向が制限され, 安全性に配慮しなければいけない問題がある. そこで本研究では, ロボット化した電動車椅子を活用した MP を構築した. この MP は, LiDAR・IMU を搭載することで, 自己位置推定や障害物検知の機能を有している. 機能評価試験では, 構築した MP が自己位置推定できるか検証し, MP の有効性を確認した. 今後は, 回転と前後の運動による体感の調査と, 障害物検知や, 自己位置推定を活用し MP の機能性の拡張を行う.

**キーワード:** モーションプラットフォーム(MP), 電動車椅子, ロボティクス

## 1. はじめに

近年, 様々な映像と連動して動く乗り物(MP: Motion Platform)の開発が行われている[1][2]. 一般的な MP では, 操縦者及び, 操縦席がある部屋を大規模な運動機構で駆動することで, 移動感覚を提示することが多い. そのため, コンテンツのリアリティを向上すると, システムの大型化が避けられない場合が多く, 設置に関してコストがかかる問題があった. つまり, 没入感と設置面積, コストはトレードオフの関係にあったと言える.

一方, ヘッドマウントディスプレイ(HMD)の普及に伴い, 既存の装置・システムを MP として用いる提案がされている. しかし, 自動車等のモビリティを用いる場合では安全面への配慮が必要であり, また, 装置の構造により移動方向が限定される問題があった. MP の観点では装置の移動に関して制限が少ないほど, より効果的な体感を搭乗者に与えられる可能性がある. そこで本研究では, 周囲の安全に配慮し, かつ移動方向が限定されない MP として, 電動車椅子をロボット化して MP とすることを提案する.

構築する MP は, LiDAR(Light Detection and Ranging)や IMU(Inertial Measurement Unit)といったセンサを搭載することで, 自己位置推定, 障害物検知をすることを可能とする. 構築する MP を用いることで, 屋内空間において, 自

己位置を把握し, さらに電動車椅子の動きを HMD に投影する映像と合わせて制御を行うことで, 搭乗者に感覚刺激を与えることができる. 加えて, 構築する MP には, 障害物検知機能も有するため, 障害物等を利用した感覚刺激の検討も可能になる. まず本論文では, 構築した MP に関して利用されている技術を説明し, その動作に関して検証を行うことで構築した MP の有効性の確認を行う.

## 2. 従来研究

既存の装置・システムを MP として用いる従来研究として, 小型電気自動車を用いた MP[3]や, エレベータを用いた MP[4]がある. これらの MP では, 電気自動車やエレベータといった既存する装置を MP として用いて, 装置の実際の動きとコンテンツの映像が一致していない状態でも, 加速度・振動のタイミングを映像と最適化することで体感を向上できることを示している. 特に小型電気自動車を用いた MP[3]では, 小型の電気自動車の制御応答性を活用し, 前後移動や搭乗者に振動を与えることで, 各種の体感が向上することを確認している.

しかし, 従来研究の例では電気自動車, エレベータを用いているため, その移動に制限がある問題がある. 電気自動車の場合は, 自由に移動をすることは可能であるが, 事



故を防ぐため安全面への配慮が必要であり、公共の場で自由に移動をさせることは事実上不可能であった。加えて、周囲環境を観測するためのセンサが無かったため、緊急停止を始め、周囲の状況に応じたコンテンツの対応が困難であった。

### 3. ロボット化した電動車椅子の活用した MP

そこで本研究では、屋内でも使用可能であり、人との親和性や安全面の観点から、市販の電動車椅子を活用してロボット化し、MP として使用する手法を提案する。構築する MP では、LiDAR・IMU を搭載し、自己位置推定、障害物検知等の機能を実現することで、空間を効率的に活用することを目指す。

#### 3.1 ハードウェア構成

図 1 に本研究で構築した MP を示す。また、表 1 に使用した機器を示す。本研究では電動車椅子をベースに、VR 用の PC、ROS(Robot Operating System)用 PC、HMD などを搭載した、平面移動可能な MP の構築をした。電動車椅子は、2 輪駆動であり、最大速度 1.6[m/s]、最大加速度 1[m/s<sup>2</sup>]で移動が可能である。また、モータに速度、加速度指令を入力することで、PC から制御をすることができる。さらに、LiDAR、IMU の各センサを搭載することで、車椅子の自己位置推定や、周囲の障害物検知を行うことを可能にする。



図 1 構築した MP

表 1 使用機器

名称	型番 (会社名)
VR PC	OMEN 15-dc0077TX (HP)
ROS PC	dynabook R732/H (TOSHIBA)
HMD	Oculus Rift (Oculus)
Wheelchair	JW active + P type (YAMAHA)
IMU	ADIS16470 (Analog Devices Inc.)
LiDAR	RPLIDAR A2 (SLAMTEC)
Joypad	JC-U3912T (ELECOM)

#### 3.2 HMD の映像と電動車椅子の制御

図 2 に電動車椅子を制御するフローを示す。初めに、あらかじめ規定した VR 空間のシナリオのコースデータから位置と速度を算出する。次に、算出した位置と角度を微分することで、電動車椅子に入力する速度と角速度に変換をする。ここで、入力する速度・加速度指令は、車椅子が走行可能な値に除算処理を行う。また、HMD の映像と車椅子の制御との同期は、ROS#と rosbridge を用いて MP の加減速のタイミングを調節している。

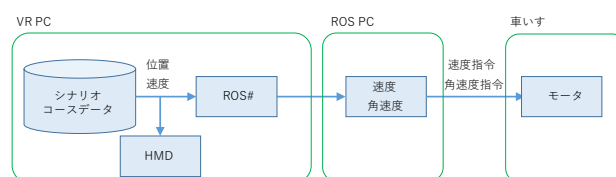


図 2 車椅子制御フロー

#### 3.3 自己位置推定アルゴリズム

##### 3.3.1 地図生成手法

構築した MP は屋内環境における位置関係を把握するため、自己位置推定機能を有する。ここで、一般的なロボティクス技術では、自己位置推定をするために基盤となる地図を用いることが多い。本研究の地図生成手法としては、LiDAR のスキャンデータを用いて占有格子地図を作成する手法を採用した。また占有格子地図の生成には、gmapping[3]のパッケージを用いる。ここで、gmapping の構成を図 3 に示す。gmapping は SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)技術の 1 つであり、LiDAR のスキャンデータとオドメトリ、IMU を用い、バイズフィルタにより SLAM で地図生成を行う。

また、図 4 に実際に占有格子地図の生成を実施した環境(図 4a)と生成結果(図 4b))を示す。なお、占有格子地図を生成した環境は、広さが 7.5[m]×8.5[m]の屋内の静的環境であり、障害物としてパーテーションを 3 枚設置している。この環境で、電動車椅子に搭載した LiDAR を用いてスキャンデータを取得しながら走行し、占有格子地図を生成した。図 4b)から、パーテーションの位置と壁が物体の存在を示す黒色で示され、図 4a)の環境で自己位置推定に必要な地図が生成できたことが確認できる。

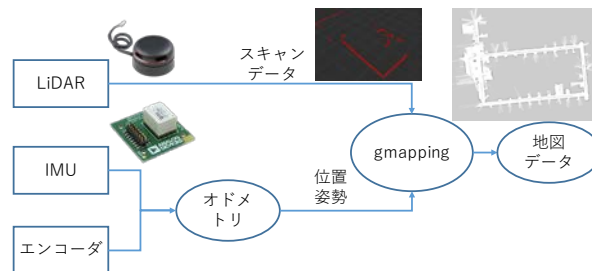


図 3 占有格子地図生成フロー概要



a)地図生成環境 b)地図生成結果

図 4 地図生成環境と地図生成結果

### 3.3.2 自己位置推定手法

自己位置推定には, amcl[4]の技術を採用する. amcl では, LiDAR のスキャンデータ, オドメトリ, 生成した占有格子地図を利用して, 自己位置推定が可能である. ここで図 5 に amcl の構成を示す. さらに, 図 6 に構築した MP で自己位置推定した結果を示す. 図 6 では, 2 名に構築した MP(電動車椅子)を手動で走行してもらい, 取得した各センサーデータとあらかじめ生成された占有格子地図から, MP の位置推定を行った結果である. つまり, 図 6 でプロットされた各点は, MP が通過した点を示している. MP が自己位置推定を推定する機能を有することで, 壁等の障害物までの距離や走行可能な範囲が地図と連動して把握可能になり, MP の拡張機能に有用性が高いと言える.

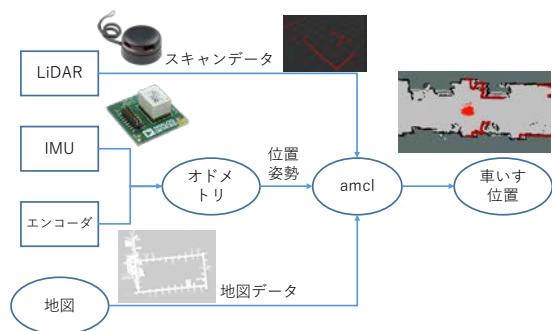


図 5 自己位置推定フロー概要

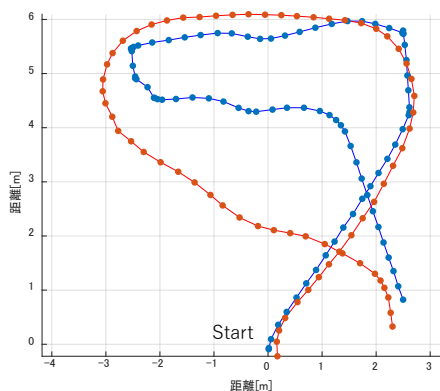


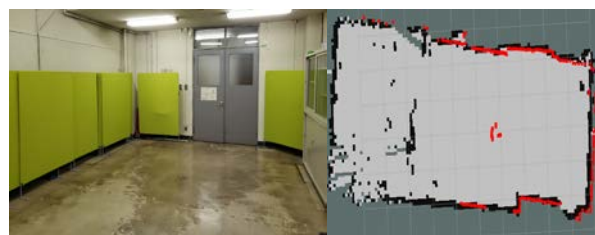
図 6 自己位置推定結果

## 4. 機能評価実験

本論文では電動車椅子をロボット化することで, 前後・回転の制御が可能で, 自己位置推定, 障害物検知が可能な MP の構築を行った. その基礎的な機能を確認するため, ジェットコースタシナリオから算出された速度・角速度指令により制御を行い, 加えて, 自己位置推定の機能を確認した.

### 4.1 実験条件

図 7 に実験を行った環境と, その環境(図 7a)での地図生成結果(図 7b))を示す. 実験場所は, 名城大学 2 号館 227 号室(3.6[m]×6.3[m])で, 静的な環境で行った. 電動車椅子の動きは, 前後と回転運動であり, 映像に同期して加減速が行われる. 今回の実験では, 車椅子に入力する速度と角速度は, 共に 1/100 倍を指令値とする. なお, VR コンテンツはゲームエンジン Unity を用いて作成し, HMD を用いて VR コンテンツを提示した. ここで, 図 8 に Unity で作成したジェットコースタのレイアウト図を示す. 作成したコースの大きさは約 300[m]×250[m]であり, 約 70 秒のコンテンツとなる. 図 9 に本実験で利用したジェットコースタの速度, 加速度のシナリオを示す. また, 図 10 に実験概要を示す.



a)実験環境 b)地図生成結果

図 7 実験環境と地図生成結果

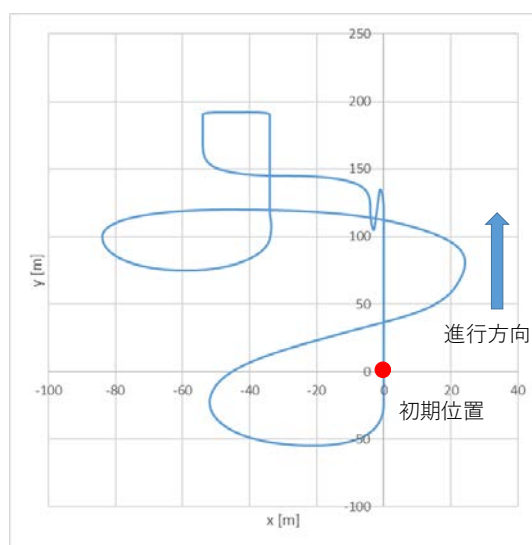


図 8 ジェットコースタ コースレイアウト

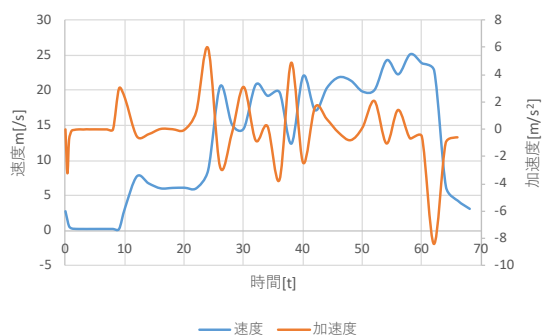


図 9 ジェットコースタ 速度・加速度



図 10 実験概要

#### 4.2 機能確認結果

図 11 に、図 9 に示す速度・加速度の指令をもとに、1/100 倍とした値を利用して MP の制御を行い、自己位置推定した結果を示す。図 11 から、MP が走行した範囲は約 2[m] × 2[m] ほどに収まっており、シナリオのコースの広さよりも小さくなっている。

また、4 名がこのシナリオコースに制御された MP に搭乗したところ、違和感が少ない MP の体感ができるとの感想が得られた。これらの結果から、電動車椅子を利用することで安全に前後だけでなく回転の利用が可能になったことを確認した。また、自己位置推定機能により空間上の位置を把握可能なことも確認した。加えて、LiDAR を搭載しているため、周囲の環境を考慮し、緊急停止等の対応することも可能になる。

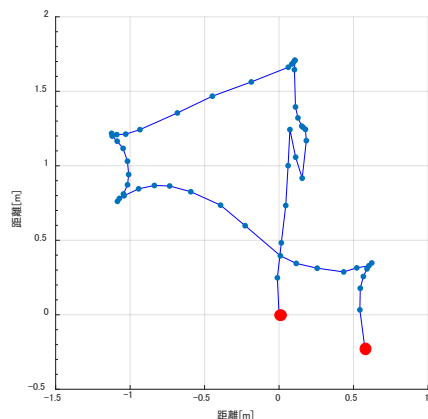


図 11 評価実験 自己位置推定結果

#### 5. 結言

様々な MP の開発が行われ、HMD の普及に伴い、既存の装置を MP として用いる研究がされている。しかし、既存の装置を用いるため、移動方向が制限され、また利用するモビリティによっては、周囲の安全を考慮しなければいけない問題があった。そこで本研究では、ロボット化した電動車椅子を活用した MP を構築した。構築した MP は LiDAR, IMU を搭載し、自己位置推定や障害物検知が可能である。これらの機能を活用することで、安全に空間を移動しながら自己位置を把握し、壁などの障害物を利用した感覚刺激の検討も可能になる。機能評価実験では、ジェットコースタシナリオから算出された速度・加速度指令により制御された車椅子が、自己位置推定できるか検証を行い、構築した MP での有用性を確認することができた。今後は、ロボット化した電動車いすの制御による、体感を調査することと、自己位置推定、障害物検知を活用し、MP の機能性の拡張を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] TOYOTA:Driving Simulator, [http://www.toyota.com.cn/innovation/safety\\_technology/safety\\_measurements/driving\\_simulator.html](http://www.toyota.com.cn/innovation/safety_technology/safety_measurements/driving_simulator.html)
- [2] NASA :Vertical Motion Simulator(VMS) Complex, :<https://www.nasa.gov/simlabs/vms>
- [3] 小玉亮,, 高下昌裕, 田口峻, 藤枝延維, 梶本裕之: “小型電気自動車とヘッドマウントディスプレイを用いた体感型エンタテインメントシステムの体感向上効果検証”, TVRSJ, vol. 24, No. 1, pp.103-112, 2019.
- [4] 高下昌裕, 蜂須拓, 梶本裕之: “Augment Elevator: エレベータを用いたモーションプラットフォームの開発”, 明治大学, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム, 2014. 9.
- [5] Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard “Improved Techniques for Grid Mapping with Rao-blackwellized Particle Filters” IEEE Transactions on Robotics, Vol.23, pp.34-46, 2007
- [6] D.Fox “Adapting the sample size in particle filters through KLD-sampling”, International Journal of Robotics Research, Vol.22, No.12, pp.985-1004, 2003