

## サービスロボットの駅構内利活用のための研究 (～混雑環境下でロボットを適切に支援し運用する方法～)



榎原 友樹<sup>\*1</sup>



西岡 亮<sup>\*2</sup>



丸山 隼<sup>\*3</sup>



斎藤 武<sup>\*3</sup>



三田 哲也<sup>\*4</sup>



坂入 整<sup>\*5</sup>

### Research for utilization of service robots in train stations (Study on how to properly support and operate robots in a crowded environment)

Yuki SAKAKIBARA<sup>\*1</sup>, Ryo NISHIOKA<sup>\*2</sup>, Jun MARUYAMA<sup>\*3</sup>, Takeshi SAITO<sup>\*3</sup>, Tetsuya MITA<sup>\*4</sup>, and Sei SAKAIRI<sup>\*5</sup>

<sup>\*1</sup> Researcher, <sup>\*2</sup> Researcher, <sup>\*3</sup> Assistant Chief Researcher, <sup>\*4</sup> Chief Researcher, <sup>\*5</sup> Principal Chief Researcher, Frontier Service Development Laboratory of Research and Development Center of JR East Group

#### Abstract

There are high expectations for the use of service robots to reduce manpower and automate service tasks at stations, where manpower shortages are becoming increasingly severe. To enable mobile robots to safely and smoothly perform tasks such as security and cleaning in stations, we developed a method to support and manage robot movement using cloud technology and conducted a feasibility study at Takanawa Gateway Station. As a result, we were able to establish an appropriate operation and control method for the robot according to the congestion characteristics of the station.

●**Keywords:** Station service, Congestion, Autonomous mobile robot, Robot-friendly environment, Cloud control, Sensor network

<sup>\*1</sup>JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 研究員  
<sup>\*2</sup>JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 研究員(現:千葉支社 千葉電力技術センター)  
<sup>\*3</sup>JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 副主幹研究員  
<sup>\*4</sup>JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 主幹研究員(現:本社 イノベーション戦略本部 マネージャー)  
<sup>\*5</sup>JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 上席研究員

## 1. はじめに

近年人手不足の問題が社会全体として顕著になりつつあり、当社グループも例外ではない。そのような中、案内、清掃、警備をはじめとした駅の様々なサービス業務を対象に、サービスロボットの活用を目指した取組みを始め、2017年7月には駅サービスロボットの開発・導入を加速させることを目的とした有限責任事業組合「JRE ROBOTICS STATION, LLP」を設立した<sup>1)</sup>。また、「最新の駅サービス設備の導入や実証実験を進め、新しいことを始める場所」と位置付けた高輪ゲートウェイ駅では、2020年3月開業以降、案内、清掃、警備、移動支援などのサービスロボットの試行導入、実証実験を行ってきた<sup>2)</sup>(図1)。

これらの取組みは、業務を請け負うグループ会社などが主体となって、それぞれのビジネス領域におけるロボットの活用性検証を進めている。例をあげると、清掃ロボットの導入によって清掃作業を合理化し、清掃員の負担やコストを下げることができるか、警備ロボットに搭載したカメラを通じてあらかじめ定義された事象を自動検知し警備員に通知することで、巡回警備を合理化・省人化することができるか、などの実用的観点の検証である。

サービスロボットの実現と普及には、このような実フィールドにおける個々の検証を今後も重ねていく必要がある一方で、サービスロボットに共通する、駅構内運用上の課題を解決していくことも重要である。具体的には、自律移動型ロボットの駅構内での安全・効率的な管理・運営方法に関する課題である。

公共空間でサービスロボットを活用する場合、さまざまな障壁が立ち上がる(図2)。これらの障壁には、ロボットの性能向上により問題を解決できる場合もあるが、エレベータといった設備連携の通信規格化に課題がある<sup>3)</sup>。最近では、クラウドによるロボットの遠隔管理などの技術提案も見られるようになった。このような種々の問題の中でも、とりわけ駅固有の問題として大きいのが旅客混雑への適切な対処である。首都圏の駅コンコースは、急激な混雑変化が起こる特殊な歩行者空間である。フロンティアサービス研究所では、このような混雑変化とロボットの適切な関係構築をめざし、クラウド技術とロボットを連携させて支援するクラウドの開発を早くから行ってきた<sup>4)</sup>。今回、この研究開発成果の検証をするため、高輪ゲートウェイ駅で実証実験を行ったので、その内容を紹介する。



図1 高輪ゲートウェイ駅のサービスロボット  
(警備、清掃、移動支援、案内)



図2 駅に存在する代表的な障壁

## 2. 駅構内の混雑変化の現状と、ロボットと歩行者の適切な間合い

### 2・1 駅構内の混雑変化の現状把握

高輪ゲートウェイ駅開業後に実施する検証に先立ち、駅構内の旅客流動の変化を把握する必要があったため、2019年2月の平日に、さいたま新都心駅に人流計測センサを設置し、駅コンコースの流動分析をおこなった(図3)。その結果、朝の通勤・通学時間帯の9時台と、帰宅が始まる17時台以降は旅客流動が激しく、サービスロボットが自由に移動できる空間を見出すことは難しいことがわかった。一方、昼間時間帯の14時台は閑散としておりロボットの移動が容易であるが、そのような時間帯でも列車到着直後は急激に混雑度が上昇するため、混雑度変化に対してロボットを適切に制御する必要がある。

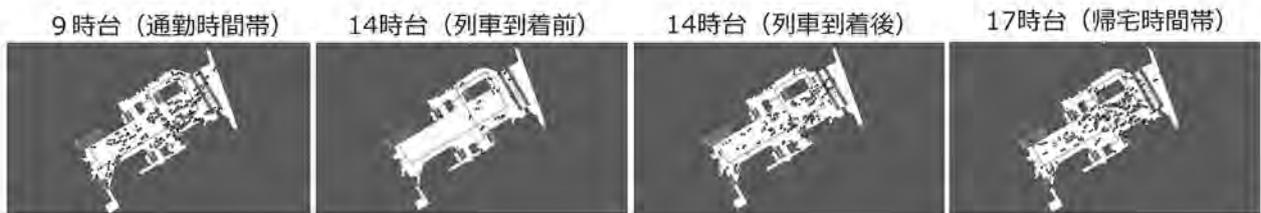


図3 さいたま新都心駅での時間帯別、列車到着前後の旅客流動

### 2・2 混雑レベルに応じた駅サービスロボットの作業タスク調査

駅コンコースにおける歩行者とロボットの相互影響を把握するため、2020年10月に高輪ゲートウェイ駅で駅サービスロボットの動作検証を行った。検証に用いた駅サービスロボットのプロトタイプは、周辺環境を認識するセンサ類を搭載し、周辺の静的な障害物や歩行者との衝突を回避しながら巡回案内、警備、床の状態の点検などの仮想的なタスクを模した動作ができるように設計されている(図4)。検証ではロボットには案内や警備などを想定した巡回動作パターンと、清掃や点検などを想定した指定エリアをすべて踏破する動作パターンを実行させた(図5)。

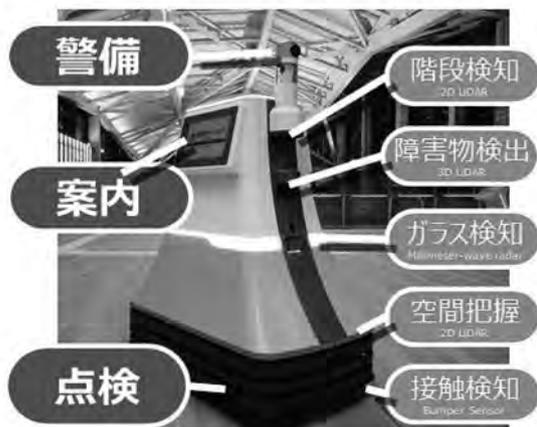


図4 駅サービスロボットのプロトタイプ

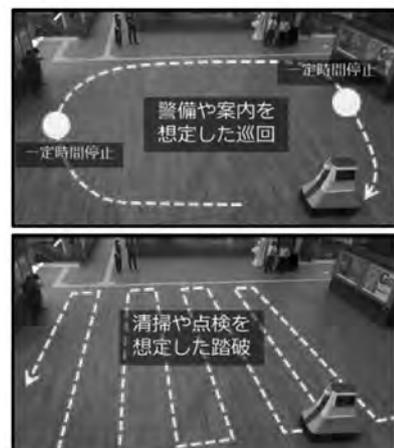


図5 ロボットの動作パターン

動作検証の結果(ロボットの可動性と適正なタスク)を3つの混雑レベルに整理した(図6)。まず、写真左に示すようなコンコースの歩行者密度が極めて低い状況下では(混雑度 低)、ロボットはほぼ制約なく自律移動することが可能であり、速度3km/hの走行においても歩行者との相互影響はほとんど生じなかった。次に写真中央に示す歩行者密度の場合では(混雑度 中)、歩行者とロボットの間には相互影響が生じ、ロボットは減速または停止を余儀なくされることがたびたび生じた。また、歩行者とロボットの相互影響の面から走行速度を2km/h程度に制限する必要があることが分かった。歩行者との接触を回避するには、ロボットの進路を変える「回避動作」と、歩行者の前で一旦停止し歩行者が通り過ぎてから移動を再開する「Stop & Go」があるが、この二つの動作を比較検証したところ、「Stop & Go」の方が歩行者とロボットが円滑に行き違えることができることが分かった。さらに、写真右に示すような、ロボット周辺に歩行者が密集する場合は(混雑度 高)、ロボットは動作困難となることがわかった。このような混雑レベルに応じて生じるロボットの可動性の違いに考慮して、ロボットの適切なタスクを検討した。清掃や点検などの業務は「Stop & Go」がたびたび生じてしまう環境下では作業のムラが生じてしまうため、「混雑度 低」が適正、旅客がある程度いることが前提となる巡回案内・警備業務は、「Stop & Go」のような動作を許容できるため「混雑度 中」が適正とした。さらに、ロボットの身動きが取れなくなってしまう「混雑度 高」においては、立哨警備や固定案内、交錯流動を整理する旅客流動整理などの作業が求められると考えられる。2・1において触れたとおり、駅の混雑は時間帯によって大きく変わるため、時間帯別の駅の混雑変化に合わせてロボットのサービスタスクを適切に割りあてることが合理的な運用につながる。

| 混雑度 低  | 混雑度 中   | 混雑度 高  |
|--|---|--|
|    |   |                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 制約なく移動可能。</li> <li>・ 適正速度：～3km/h (それ以上は心理的に怖い)</li> <li>・ 想定される作業：清掃や床点検など</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Stop &amp; Goで走行可能。</li> <li>・ 適正速度：～2km/h</li> <li>・ 想定される作業：巡回案内・警備など</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 移動困難</li> <li>・ 適正な状態：静止</li> <li>・ 想定される作業：立哨警備、固定案内、旅客流動整理など</li> </ul> |

図6 混雑レベルに応じた作業タスクの定義

### 3. 混雑通知とクラウドによるロボットの移動支援

#### 3・1 ロボットへの混雑通知

2・1で述べたとおり、朝夕のほか昼間時間帯の列車到着直後等の急激な混雑度上昇に対処できるよう、ロボットに対する「混雑通知」を開発し、高輪ゲートウェイ駅に実装のうえ検証をおこなった(図7)。混雑通知はホーム階の階段端部に設置した赤外線カメラ式の通過センサによってホームから駅コンコースに上がってくる旅客を検知し、検知旅客数が単位時間内の基準値を超えた場合、ロボットに通知する仕組みである。

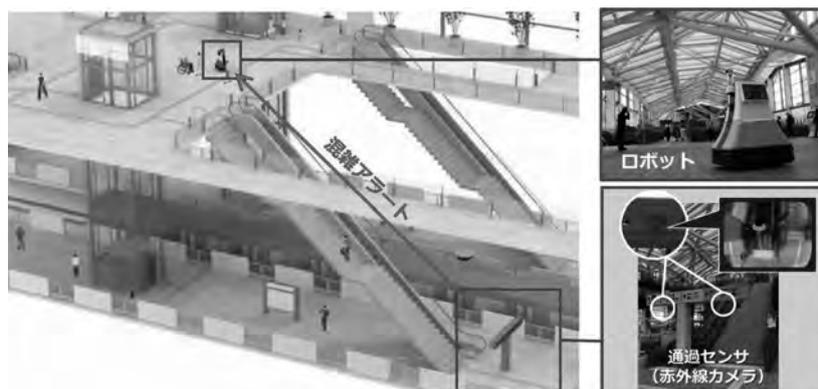


図7 高輪ゲートウェイ駅に実装した混雑通知

混雑通知実装による混雑アラート受信時のロボットの動きを時系列で整理した(図8)。巡回中に混雑アラートを受信したロボットは、巡回作業を中断しコンコースの中央まで待避し、一旦停止する。ホームから旅客が流入し改札を出るまでの一定時間中はその場で停止を続け、駅コンコースの混雑が緩和された頃に巡回動作を再開できた。待避場所を駅コンコース中央付近に設定したのは、そこが最も旅客流動の妨げにならないためである。混雑通知がない場合、例えばロボットが巡回中に階段付近で混雑に巻き込まれ身動きが取れなくなり、ロボットは旅客流動を阻害してしまうおそれがある。このようなことを避けるためにもロボットへ混雑が急変することを事前に通知することが重要であり、ロボットは流動阻害が起こらない場所で一時的に停止や退避する必要がある。



図8 混雑通知による退避行動

### 3・2 クラウドによるロボット移動支援

3・1で紹介した混雑通知は、ロボットを外部から支援する情報システムの一つであるが、ロボットは混雑通知以外にもこのような外部支援を必要とすることがあり、一例として駅構内におけるロボットと立入制限箇所の情報(地図情報)などがあげられる。他にもロボットを外部から安全に管理する仕組みとして、ロボットの位置情報、ステータス情報を遠隔で監視する情報システムも必要である。このように自律移動型のサービスロボットを安全・円滑に活用するには、外部の情報システムと連携し、情報支援と遠隔管理をすることが求められる。

このように、サービスロボットの本格的な導入には、旅客流動とロボットの相互影響の検証も重ねていく必要があり、旅客の混雑レベルに応じた、ロボットの動作検証を進めていくことが求められる。

以上を踏まえ、①ロボットの外部からの情報支援、②ロボットの遠隔監視、③ロボットと人流のさらなる研究円滑化を目的とした情報システム(移動支援システム)をクラウド上に実装した(図9)。このうち、ロボットの位置情報と歩行者の人流情報を地図上に表示できるようにした(図10)。

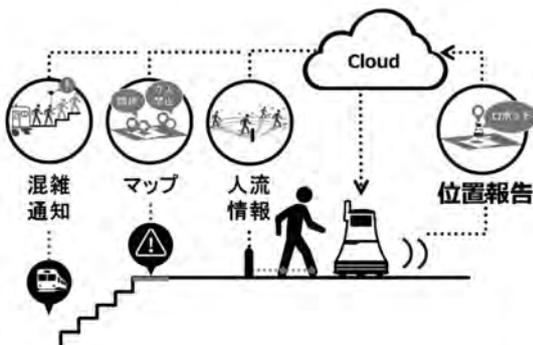


図9 移動支援システムの概念図



図10 ロボットと人流の遠隔監視

## 4. 今後の展望

本稿では、駅構内の歩行者流動と自律移動型ロボットに関する研究の取組みについて紹介したが、今回紹介した事例はあくまでプロトタイプの実験ロボットを用いた模擬的な走行検証であり、実用化に向けて、駅や商業施設等へ導入を検討しているロボットを用いた検証を重ねていく必要がある。

今後はこれらの検証とロボットの支援監視体制の確立を行っていくことで、人とロボットが連携し、少ない人手においても働きやすい環境構築をめざした取組みを進めていく。

### 参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社『「JRE ROBOTICS STATION, LLP(仮称)」を設立しサービスロボットの開発・導入を加速します』  
<<https://www.jreast.co.jp/press/2017/20170707.pdf>>, 2017
- 2) JR東日本ニュース：高輪ゲートウェイ駅の概要について、2019年12月3日
- 3) 経済産業省『ロボット実装モデル構築推進タスクフォース活動成果報告書』  
<[https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2019FY/000348.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000348.pdf)>, 2020
- 4) 斎藤武、佐久間賢、三田哲也：JR-EAST Technical Review 『駅サービスロボットの実現に向けて』 No.60-2017
- 5) ジョン・J・フルーイン 『歩行者の空間=理論とデザイン=』, 1974年
- 6) 及川大介、小西勇介、佐久間賢、斎藤武、三田哲也、石間計夫：サイバネシスボジウム論文『自律移動型駅サービスロボットのプロト開発』2020