

自動運転ロボットを使った エスカ地下街公共通路の消毒実証実験の取組みについて

龍 健太郎¹・成澤 守²・大森 高樹³・小野 栄子³

¹ 非会員 株式会社 ZMP ロボライフ事業部（〒112-0002 東京都文京区小石川 5-41-10）
E-mail: kentaro.ryu@zmp.co.jp

² 正会員 株式会社エスカ 施設部（〒453-0015 名古屋市中村区椿町 7-1）
E-mail: narusawa@esca-sc.com

³ 正会員 株式会社日建設計シビル CM 防災部（〒112-0004 東京都文京区後楽 1-4-27）
E-mail: eiko.ono@nikken.jp

本論文は、名古屋駅新幹線地下街「エスカ」の協力を得て、全国の地下街として初めて無人警備・消毒ロボットを活用して消毒を行う実証実験を行った事例を紹介するものです。あわせて、これからの都市再構築を進めていくうえで欠かすことのできない地上と地下の空間に低速自動走行ロボットを導入していくための検討や課題について考察するものです。

Key Words: *Underground shopping mall, Low speed autonomous driving robot, Demonstration experiment report*

1. 新しいまちづくりにおける都市について

新型コロナ感染という現実を受け入れた我が国の都市政策の方向性を考えるにあたり、人や機能等を集積させる都市そのものの重要性に変わりはなく、国際競争力強化やウォークアブルなまちづくり、コンパクトシティ、スマートシティの推進などは引き続き重要であると考えます。こうした都市政策の推進にあたっては、関係者が協力して新型コロナ危機を契機として生じた多くの変化に柔軟に対応していくことがますます必要となってくると考えます。

このような背景もあり、国土交通省都市局では令和2年8月31日に『新型コロナ危機を契機としたまちづくりの方向性』（論点整理）¹⁾に検討結果を公表しました。いうまでもなく感染拡大防止には「三つの密」（密閉・密集・密接）の回避が重要です。そして、感染拡大防止と社会経済活動の両立を図ることが今まさに求められています。すなわち、都市の持つ集積のメリットは活かして、国際競争力強化やウォークアブルなまちづくり、コンパクトシティ、スマートシティの推進などは引き続き進めつつ、「三密の回避」と「感染拡大防止と社会経済活動」の両立を図る“ニューノーマルに対応したまち

づくり”が必要となっています。

(1) 新しいまちづくりの方向性を考えるうえでの論点

我が国の都市政策の一つとして、平成25年4月より快適な生活の場と機能的な経済活動の場を備えた都市の実現に向けて、これまで整備されてきた既存ストックの改変や有効活用を図っているところです。また、ソフト面も含めて地方都市・大都市のそれぞれの再構築に向けた取組みを促すため、その指針となる総合的な都市再構築戦略（リノベーションプラン）を策定しています。同年7月の中間とりまとめにおいて、まちなか居住や都市機能の集約を推進することにより、まちなかの人口密度を維持していく集約型の都市構造を作っていく必要性が打ち出されました。

しかしながら新型コロナ危機を契機としてまちづくりの方向性も大きく変わり、新しい考え方にに基づく対応が求められています。『新型コロナ危機を契機としたまちづくりの方向性』を考えるうえでの論点が5つ挙げられています。

論点1：都市（オフィス等の機能や生活圏）の今後のあり方と新しい政策の方向性

論点2：都市交通（ネットワーク）の今後のあり方と新

しい政策の方向性

論点3：オープンスペースの今後のあり方と政策の方向性

論点4：データ・新技術等を活用したまちづくりの今後のあり方と新しい政策の方向性

論点5：複合災害への対応等を踏まえた事前防災まちづくりの新しい方向性

(2) 新しいまちづくりに資する都市の地上と地下

世界中の多くの都市で、街路空間を車中心から“人間中心”の空間へと再構築し、沿道と路上を一体的に使って人々が集い憩い多様な活動を繰り広げられる場へとしていく取組が進められています。これらの取組は都市に活力を生み出し、持続可能かつ高い国際競争力の実現につながっています。

近年、国内でもこのような街路空間の再構築・利活用の先進的な取組が見られるようになりました。しかし、多くの自治体では将来ビジョンの描き方や具体的な進め方など、どう動き出せば良いのか模索しているのが現状です。このような背景のもと、国土交通省では街路空間の再構築・利活用に関する様々な取り組みを推進しています。

地上の街路空間と同じように我が国に在る地下街を含む地下空間は、主要な都市の駅に直結した歩行者ネットワークの重要な拠点となっています。そして、このような地下空間施設は道路法、建築基準法、消防法、水防法などの法律に基づいて個々の安全対策を講じて造られ、多くの人に利用されてきました。地下空間施設に期待される役割は、①から⑤の5つに整理できると考えます。①安全（車通行がない）で快適（恒温性/耐候性/勾配・段差がない）な歩行者ネットワークを形成する、②地下通路を介して回遊性の高い、賑わいのある歩行者ネットワークを創出する、③地上の道路交通が錯綜することを軽減する、駐車場機能を併設する、地上の都市景観の向上に寄与する、④地下で接続する建物の価値が向上して、周辺地区の都市開発が促進される、空洞化しつつある中心市街地の活性化に果たす役割を部分的に担う ⑤地震や台風が生じた時の一時避難機能（帰宅困難者が退避する）を担う。以上の5つの観点からしても、多くの人が多目的に利用する地下空間施設は重要な公共の福祉に寄与する場所であり、商業施設であることを再認識することが大切です。

(3) 防災・減災に資する地上と地下の空間

非常時の利用という観点でみた場合、地下空間を構成している地下街や施設をつなぐ地下通路・広場は、大規模地震発生時の安心な避難空間の役割を担います。また、雨に濡れないこと、温度が一定であること、勾配や段差

が少ないこと、自動車通行や信号待ちなどを気にしないで済むことなど、“人に安全で優しい空間”となっています。しかしながら、ゲリラ豪雨や津波などの浸水時には利用者にとって危険な空間となるという“トレードオフの関係”をもっていることを我々利用者は知っておかないといけません。

我が国では毎年のように起きる大規模な災害に強く、レジリエンスな都市の形成を図り、地上と地下の都市施設を効率よく効果的に再構築していくことが喫緊の課題となっていることは明白な事実です。その中でも重要な役割を担っている地下街管理会社や地下街を含む地下空間を形成している協議会に対して、国や地方自治体が必要な助成（地下街防災推進事業制度）や水防法改正に伴う助成を積極的に実施しています。

(4) ニューノーマルな時代に資する地上と地下の空間

更に 2020 年に入り、想定外で発生した新型コロナ感染による対応が必要となったニューノーマルな時代において地上や地下空間も3密を回避する対応が求められています。『新型コロナ危機を契機としたまちづくりの方向性』（論点整理）のなかには5つの論点があり、そのうちの「論点1」では都市の今後のあり方と新しい政策の方向性が挙げられ、都市構造やライフスタイルの変化等に対応するための柔軟性やリスク対応に資する冗長性を備えた都市をいかに実現していくかの方策が検討されます。

本論文は、新型コロナ危機を契機とした新しいまちづくりを目指す都市の中で重要なインフラ施設でもある地下街を対象にして、名古屋新幹線地下街「エスカ」で全国の地下街として初めて無人警備・消毒ロボットを活用して消毒を行う実証実験を行った事例を紹介するものです。あわせて、新しいまちづくりを目指すうえで実行される都市再構築を進めていくうえで欠かすことのできない地上と地下の空間に、低速自動走行ロボットを導入していくための検討や課題について整理したものです。

2. ロボットの利活用について

日本において生産年齢人口は 1995 年をピークに減少を始め、あらゆる業種での労働力不足が叫ばれて久しくなっています。現時点において人口増や移民政策での労働力不足解決の目途はたっており、それ以外の解決策が求められている状況となっています。そして、その施策のひとつが、ロボットの活用による省力化と生産性向上であり、近年日本においても政府の積極的な施策がとられるようになってきました。2015年2月にはロボット新戦略としての 1000 億円の投資計画や実証フィールドの設置などを通して社会実装にむけての加速をしてきま

した。また、2020年に入り新型コロナウイルスの流行をうけて非対面・非接触での業務遂行が求められるケースも増加し、単なる労働力不足だけではなく新たな観点でのロボット活用が求められるようになってきています。そして、直近の政府施策としては、2020年5月の未来投資会議において安倍元内閣総理大臣による「低速・小型の自動配送ロボットについて、遠隔監視・操作の公道走行実証を年内、可能な限り早期に実行する」との発言をうけ、これまでは実現してこなかった宅配ロボットの公道走行により社会実装にむけた動きが大きく加速をはじめています。

これらの世の中での背景をうけ、ZMP社ではロボティクス技術を基に生活圏で労働力不足の解消や非対面・非接触の業務をこなすための自律移動ロボットを開発してきています。そして、三密を避けなければならない地上および地下空間における実装にむけて様々なトライアルを日建設計シビルと協業を開始しており、それらのロボットについて紹介をします。

生活圏においては、人が歩く程度の速度で移動するロボットがより人々の生活にフィットすると考え、時速最大6km/hの低速走行をするロボットとして3種類のロボットを開発しています。これらのロボットの特徴は、豊かな表情と声によるコミュニケーションで周りの人々と共生することを目的に開発されている点となります。人の生活圏においてロボットは後からきた新参者であり、挨拶やお願いを丁寧に、そして謙虚にしながら業務を行うことで生活に溶け込んでいくというコンセプトに基づいています。

無人宅配ロボ「デリロ」は、移動体にロッカーが設置されており、ラストワンマイルの配達として複数の荷物を複数の顧客のもとへ配達するロボットです。（写真-1）

一人乗り自動運転ロボ「ラクロ」は、電動車いすとして分類されるため、人を乗せて一般公道（主に歩道）を走行することができ、行き先をラクロに設置されたタブレットで指定するだけで利用者の運転が不要で目的地まで移動することができるロボットです。（写真-1）

無人警備・消毒ロボット「パトロ」は、自律移動をしながら周囲の状況をカメラなどのセンサーを用いて監視する機能に加え、感染症の対策として消毒機能を搭載することで人による消毒作業の省力化と作業員の感染リスクを低減させることが期待されています。（写真-1）

これらのロボットを活用することで、地上や地下空間施設内の店舗から近隣公園までものを運ぶことで利便性や地上・地下空間における回遊性の向上させるだけでなく、新型コロナウイルスの流行により昨今ニーズの高まっている三密の回避、非対面・非接触での購買を実現することができます。さらにデリロやラクロは平時だけでなく、災害時には救援物資の運搬や被災者の移動支援に

も活用することが見込まれます。（図-1）



写真-1 低速自動走行ロボット

（左：無人宅配ロボ「デリロ」、中：一人乗りロボ「ラクロ」、右：無人警備・消毒ロボ「パトロ」）



図-1 地上と地下空間における低速自動走行ロボットの活用イメージ

3. 感染防止対策について

多くの人の利用によって経営が成り立っている商業施設である地下街では、大規模地震やゲリラ豪雨などの水害への対策だけでなく、令和2年からは新型コロナ感染対策を継続して実施していくことが、地下街という商業施設を継続的に安全に運営していくうえで必要不可欠であることが認識されました。一方で、地下通路や地下広場自体が道路や施設の地下階であるため、新型コロナ感染対策を行うために空間を簡単に改造（広くしたり）することができないことは明らかなです。

新型コロナ感染が一種の災害と考えることもできると思います。その場合、地下街が取り組んでいる防災・減災対策は、令和元年7月に『地下街防災推進事業制度の解説と地下街の取組事例』として国土交通省都市局から公表されていますが、新型コロナ感染対策について地下街としての具体的な対応はまさにこれからであると考えます。建設業界ではコロナ感染対策に重点を置くべく『建設業における新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン（令和2年5月14日（令和2年8月25日改定版））』2）が公開されました。

地下空間という閉鎖された空間（通路や店舗）で、いか

に「3密」をつくらないかということと、多くの人が施設を利用して活気を維持すること、とはトレードオフの関係であると思います。

2020年7月に全国の地下街として初めて低速自動走行ロボットを活用し、地下街の通路の一部を利用して実際に消毒を行う実証実験を行った事例を簡単に紹介します。

パトロ（図-2）は事前に取得した三次元の点群マップとパトロに実装された三次元レーザーセンサーの情報を常に比較処理をすることで自己位置を推定し、次の位置を細切れに指示することで自律移動します。その精度は数センチ以内であり、レーザーセンサーやカメラなどを使った障害物検出の結果を使用して回避行動や停止を適宜行うことで地下街における安全走行を実現します。

消毒液を散布する装置がラクロに実装され、自動運用のマップ上で定義された消毒すべきエリアのみで消毒作業が行われるようになっており、無駄な散布がされず、効率的で周囲に不安を与えないような配慮がされている状態で実証実験を行いました。

さらに、自動走行時はロボットの前左右に設置されたカメラ画像をインターネット経由で現場から離れた場所で「遠隔システム」を通して監視と操作を行うことができるシステムとなっています。

本実証実験において使用した消毒液は100PPMの二酸化塩素水です。二酸化塩素水は米国環境保護局（EPA）により新型コロナウイルスに効果が認められており、日本では以前より食品安全の分野において食品の消毒に利用されてきたり、温泉やプールといった施設での消毒に一般的に利用されてきた実績のある消毒液です。二酸化塩素水は液体微粒子として散布された際に液体として直接殺菌効果があるだけでなく、気化した時に発生する二酸化塩素ガスがさらに殺菌効果は発揮するため、消毒効果が高くなることが期待されます。

本実験は、消毒作業をロボットにより効率的に計画した行動に沿って人が作業することをより素早く代替できるかどうかの検証にフォーカスしており、菌やウイルスといった微生物の殺菌状態を分析するためのものではないことを記しておきます。そのような観点で、次の2点の消毒実験を行いました。（図-3）1点目はまず、店舗スタッフが必ず触れるドアノブの消毒、および地下街の床面の消毒です。ドアノブの消毒（写真-2）においては、指定した範囲の店舗ドアノブ位置目掛けてパトロが消毒液を確実に散布して回ることができるかの検証を行いました。2点目は、地下街床面に関しては、人手では床面がもれなく消毒作業を行うには非常に労力と時間がかかることを自動運転でジグザグ走行をすることで床面全体を素早く消毒していけることの検証を行いました。両実験ともに複数回行いましたが、時速約4km/hで走行しながら毎回同じ消毒作業を再現性良く実施することがで

きており、人手による作業より迅速にかつ確実に行うことができる可能性が確認されました。

本実証実験は、日本の地下街におけるロボットによる無人消毒に関しては日本初の試みであり、地下街という環境において実用化をしていく上での課題も抽出されました。まず、店舗が閉まると全てシャッターが閉まるため店舗営業時間帯と閉店後においては、三次元センサーでのセンシング状態が大きく異なります。つまり今後店舗閉店後に限って消毒作業を行うのであれば良いが、店舗がまだシャッターを閉める前の場合ロボットの周囲センシングの状態がかわり、自動運転による計画経路の走行が正しく行われない可能性があるということです。これらの課題は、シャッターが閉まっている三次元マップとシャッターが開いている三次元マップを動的に使い分ける、またはシャッターが開いているエリアのマップを動的に無視するアルゴリズムを実装するなどの開発で正確かつ確実に自律走行と消毒作業を実施できます。



図-2 無人警備消毒ロボ「パトロ」の構成

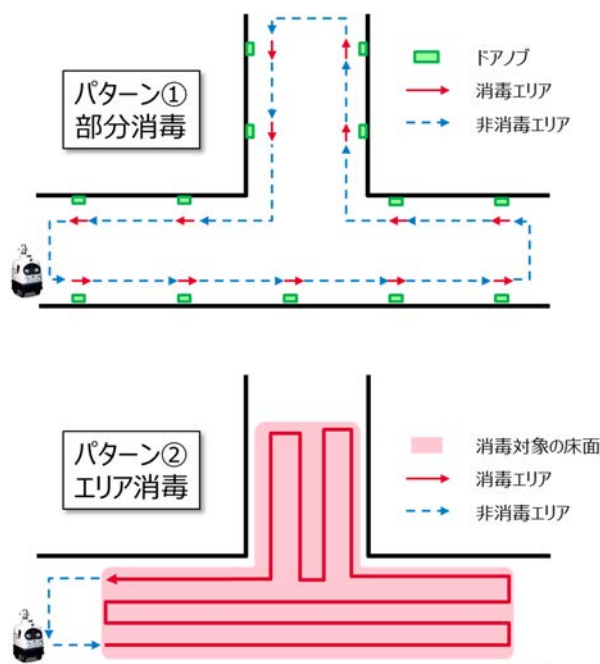


図-3 パトロによる消毒作業
(上：ドアノブの消毒、下：床面の消毒)

このように、ロボットを用いた消毒作業として自律移動と消毒の自動制御により、人が行うよりも迅速確実に、そして再現性高く消毒作業が実施することができることを確認できました。今後は、ロボットによる散布消毒が走行速度、消毒液の噴霧量などの組み合わせにより、実際にどの程度の殺菌効果が認められるかの実験・検証を行うことで、より定量的に殺菌効果を明示することができるようになっていくと考えられます。

4. これから求められること

(1) 防災・減災の観点

地下街を含む地下空間施設の防災・減災対策は、予想を超える大規模な地震、火災、浸水、テロなどによる他の施設への被害拡大を防止するためにも、今まで以上に推進していく必要があります。そして、自治体や施設管理者等の必要な連携の下で、広範囲に広がる歩行者ネットワークを利用する健常者だけでなく外国人や障がいを持たれている人たちも含む多様な方々の安全確保も当然必要なことです。新型コロナ感染を経験した我々にとって、生活様式の変化は想定外のことでしたが、この新しい経験を経て対応能力も部分的についてきた感があります。

(2) 感染防止の観点

平時には利用者が多い地上と地下の空間で、一度、災害が発生すると多くの人が短時間で安全と考える地上や地下の空間（施設を含む）に待機・退避することは明らかです。一般的に多くの人が他人の行動に追随しやすい、人が多く集まるところへ近づくなど、人の行動心理は今までの経験からはかり知ることができます。

地下街管理会社としては、災害時の避難所での対応レベルまでとはいかないにしても、感染症対策についての対応はできるようにしておかなければならない時世になりました。「新型コロナ感染発生」を「災害発生」と同様なものとして捉えるかどうかは、今後議論していくべきものですが、ニューノーマルな時代において地上や地下空間も3密を回避する都市の再構築を進めていくうえで地下空間の役割はますます高まっていると考えます。

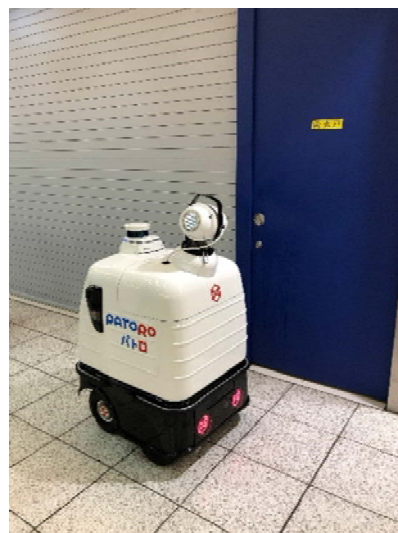


写真-2 パトロによるドアノブ消毒の様子

参考文献

- 1) 国土交通省都市局：新型コロナ危機を契機としたまちづくり，<https://www.mlit.go.jp/toshi/machi/covid-19.html>（令和2年8月31日発表）
- 2) 建設業における新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン（令和2年5月14日（令和2年8月25日改定版））

ESCA UNDERGROUND SHOPPING CENTER PUBLIC PASSAGE DISINFECTION DEMONSTRATION EXPERIMENT USING AN AUTONOMOUS DRIVING ROBOT

Kntaro RYU, Mamoru NARUSAWA, Takaki OMORI and Eiko ONO

This paper introduces an example of a demonstration experiment in which unmanned security and disinfection robots are used to disinfect the underground shopping center in Japan for the first time with the cooperation of the underground shopping center "ESCA" on the Shinkansen at Nagoya Station.

This is a study and issues for introducing low-speed autonomous driving robots into the above-ground and underground spaces that are indispensable for advancing urban reconstruction in the future.