

ウォーカブル空間の創出に向けた自律移動ロボット実証実験 ～街路空間における歩行者とロボット共存のあり方～

株式会社日建設計総合研究所 笥 文彦
株式会社日建設計 大森 高樹
国土交通省 近安 規晃

1. はじめに

望ましい都市の将来像として、居心地が良く歩きたくなるまちなかを実現するウォーカブルな空間の創出が求められている。都市内における回遊等、魅力を高める移動体験の提供、宅配の効率化など、ウォーカブル空間創出のために、歩道を走行する小型の自動運転(本稿では、以降「自律移動ロボット」と呼ぶ)の導入により期待される部分は大きい。自動運転時代の将来像のイメージにも自律移動ロボットが描かれることが多い。(図1)



図1 ロボットが歩道を走行する将来イメージ¹⁾

また、自動運転技術の普及が見込まれる中、走行速度が速い車両の実装はまだハードルが高い一方で、歩道を走行する自動運転のロボットについては、環境整備が進んでおり、2023年4月には「道路交通法の一部を改正する法律」が施行され、長さ120cm以下、幅70cm以下、高さ120cm以下のサイズの遠隔操作型小型車が公道を走行することが可能になった。また、歩道走行型ロボットの公道実証実験に係る道路使用許可基準(警察庁、2023年4月)²⁾や、自動配送ロボット活用の手引き(経産省、2024年2月)³⁾が発出されるなど、実装に向けた技術的な課題はクリアされつつある。

一方で実装するにあたり、歩行者が賑わう街路や商店街等で使用が可能なのか、また、それを歩行者や沿道店舗等がどのように受け止めているのかといったまち側の視点での検証はまだ少ない。また、そのような空間において、実際に歩行者が不安になることなく、円滑にロボットが走行することが可能か、そのためには、歩道空間の中でどの位置を走らせるのが望ましいか、都市の空間としてどのような工夫が必要かについて、知見が得られていない。

以上を踏まえ、本研究では、居心地が良く歩きたくなるまちなかづくりの推進に向け、人が賑わう都市部のイベント開催等で混雑する歩道での自律移動ロボット走行の実証実験を行い、下記を検証した。

●検証 i : 歩行者混雑時の走行可能性(移動速度、歩行者の受容性 etc.)

まちの賑わいに貢献する乗り物として、休日やイベント時の人通りの多い歩道で円滑な走行は可能か。また、その時の歩行者の受容性はどうか。

●検証 ii : 歩行者と自律移動ロボットが安全に共存するための走行位置

ロボットの走行位置は、歩道空間中のどの位置が適しているか(中央、右寄り、左寄り等)。また、走行位置を明示する路面標示を設置することで、走行の円滑性や歩行者の受容性は向上するか。

●検証 iii : 停留場所の規模、機能、設置の可能性の検証

ロボットのまち中での活用を考えると走行空間のみならず、停留場所も必要となる。歩道におけるロボット停留場の確保や設置場所および必要な設備は何か。

2. 賑わい空間における自律移動ロボットの走行実験

(1) 検証エリア

実証実験については、過去に自律移動ロボットの走行実験を実施したことがあり、人が賑わうイベントが予定され多数の歩行者の通行が想定される大手前通りと、それと並行して存在する御幸通り商店街を対象とした。歩行者通行量は、休日（R5.4.29）の10時～18時でそれぞれ、約5.6千人、約24.4千人と歩行者通行量の非常に多い道路である。（図2）

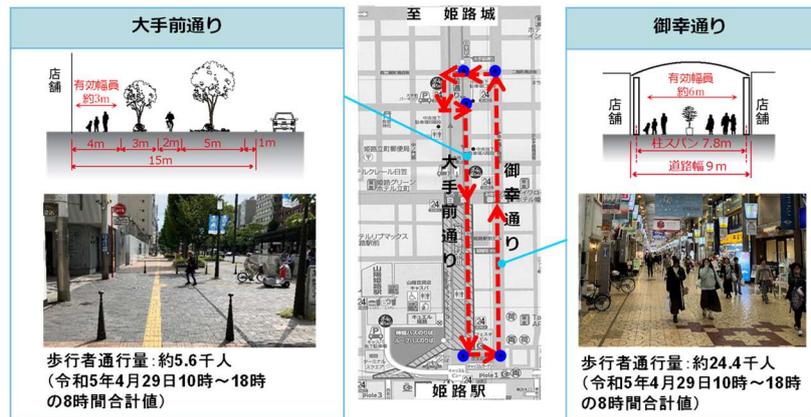


図2 検証エリア(姫路駅周辺)

今回の実験期間は、令和5年11月5日(日)、6日(月)、12日(日)、24日(金)の朝10時～夕方18時に実施し、特に、11/5、11/12、11/24は姫路城にて、姫路城世界遺産登録30周年記念の記念事業イベントが実施され、検証エリアにも多くの歩行者の往来が見られた。

(2) 自律移動ロボットの概要

ロボットの走行・運用については(株)ZMPの協力を得て実施した。実験で使用したロボットは、令和4年改正道路交通法で適用された遠隔操作型小型車に分類されるもので、最高速度6km/h以下で、車体の大きさも歩行者の通行を妨げる恐れのないものとして内閣府令で定める基準に該当するものを使用した。（図3）



図3 自律移動ロボットの概要

(3) 走行位置、路面標示の検討

ロボットの走行位置は歩道の有効幅員の中央走行を基準ラインとした。そのうえで、基準ラインより「右寄り」と「左寄り」での走行も実施した。（*御幸通りバイアス値は中央から1.5m 離れ 大手前通りバイアス値は中央から1.0m 離れ）

また、中央走行の際に路面標示を行き走行位置を認識できる状態にした実証も行った。

なお、自律移動ロボットの走行に際し、公共の道路空間に路面標示を貼り付けての実験は前例がなく、姫路警察署、兵庫県警と協議を行い、交通管理者からは、「実証実験期間中に限定した設置であること」、「明示する内容に実験であることと実験期間と日時を明記すること」、「標示物によって滑らないよう安全面での配慮すること」を条件に設置に至った。（図4）

(4) アンケートの実施

ロボットの走行中に歩道通行している人へアンケート調査を行った。属性に加えて、「ロボットが走行していることで危険と感じたか」、「ロボットの走行位置の路面標示はあったほうが良いか」、「ロボットの走行位置はどこが望ましいか」を聞き取りした。歩行者の混雑度別、ロボットの走行位置別、路面標示の有無別に傾向が把握できるよう、11/5～11/24の10時～18時の実験期間中継続して調査を実施した。ま



図4 路面標示の内容と設置状況

た、沿道関係者(商店街振興組合及び地下街管理者)に対しても、事前に紙面を配布してアンケート調査を実施し、「ロボット走行に対して安全性の課題があると感じたか」、「ロボットの走行位置はどこが望ましいか」、「ご自身の店舗の前に停まるのはよいか」、「商店街以外にロボットを走行・停車させた方がよい個所」、「自動運転ロボットの活用の仕方(移動支援、宅配以外含む)」等について確認した。

3. 賑わい空間における歩行者混雑時の走行可能性の検証

(1) 歩行者密度と自律移動ロボットの走行速度

御幸通りの商店街の歩道(通行可能な有効幅員約 6m)と大手前通りの歩道(有効幅員約 3m)を、通行人数が異なる時間帯で自律移動ロボットを走行させた結果、御幸通りや大手前通りとも、歩行者密度が増加する(混雑度が増す)ほどロボット走行速度が遅くなる。御幸通りでは、歩行者通行量が約 60 人/分程度(歩行者密度約 7 人/m・分)まで人が増えると、ロボットの走行速度は約 30~40m/分程度まで低下する。

イベント当日は、高齢者のグループや子供連れが多く見られたが、高齢者のグループ歩行が平均で約 50m/分程度、ベビーカーなど子供連れが平均で約 60m/分程度⁴⁾であることを踏まえると、通常歩行速度よりは遅いが、歩行者の移動を大きく阻害しているという事は無く、それらの方々の移動を追い越さないレベルの速度で移動している状況であった。

(2) 自律移動ロボット走行中の歩行者の受容性

ロボットの走行位置別、路面標示の有無別に傾向が把握できるよう、2023 年 11 月 5 日(日曜日)、11 月 6 日(月曜日) 11 月 12 日(日曜日)、11 月 24 日(金曜日)の実験期間中継続してアンケート調査を実施し、1853 件の回答を得た。各年代について均等に回答を得られ、訪問目的は、観光、日常の買い物の私事目的で約 8 割を占めた。検討エリアの利用頻度については、初めて利用する・たまに利用すると回答した方が約 7 割を占めた。(図6)

また、歩行者の受容性(危険だと感じない)については、約 9 割の方が危険と感じないと回答しており、歩行者が賑わうイベント時においても、大多数の方がロボットとの共存について問題ないと考えていることが確認できた。(表1)

危険と感じると回答した方は、ロボットが接近しているのに気づかなかった、ロボットの高さが低く人混みの中で見えなかった等の回答がみられた。

また、歩道の混雑度(歩行者密度(人/m・分))が増

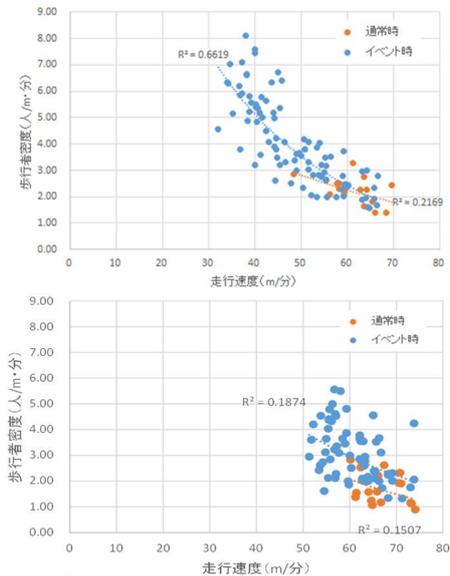


図5 歩行者密度とロボットの走行速度 (上:御幸通り、下:大手前通り)

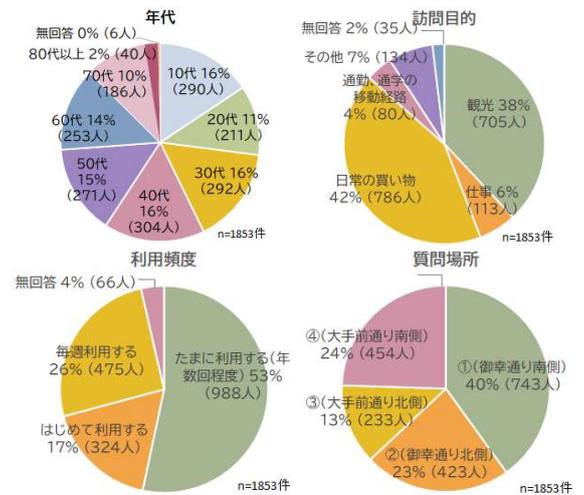


図6 アンケート回答者の属性

表1 アンケート結果 (ロボットとの共存を危険と感じるか)

	全部		御幸通り		大手前通り	
	件数	割合	件数	割合	件数	割合
危険と感じる	115	6.2%	77	6.6%	38	5.5%
危険と感じない	1647	88.9%	1032	88.5%	615	89.5%
どちらでもない	72	3.9%	47	4.0%	25	3.6%
無回答	19	1.0%	10	0.9%	9	1.3%
合計	1853	100.0%	1166	100.0%	687	100.0%

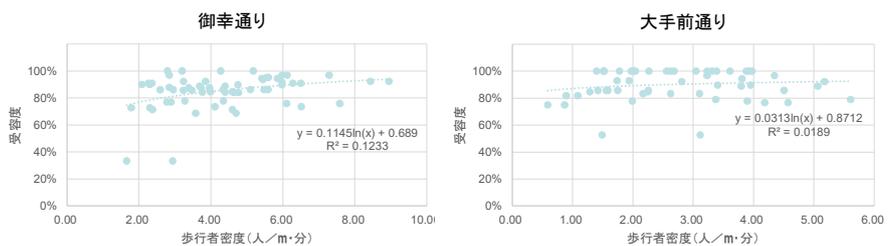


図7 歩道の混雑度と歩行者の受容度

すことによって、受容度(危険だと感じない割合)への影響が出るかを確認したが、全体的に受容度が高かったこともあり、御幸通りや大手前通りのどエリアにおいても相関は見られなかった。(図7)

4. 安全に共存するための走行位置の検証

(1) 自律移動ロボットの走行位置と走行時間

歩行者と自律移動ロボットが安全に共存するための走行位置を検証するため、ロボットの走行位置を歩道空間内の中央、左寄り、右寄りという3パターンで走行させた場合の通行人数とロボット走行時間の関係を分析した。

御幸通りでは通行人数が多くなると、中央や左寄り通行よりも右寄り走行の方が走行速度が遅くなることが確認できた。これはロボット走行時に対向者と直面したり交差したりする機会が多くなり、減速や停止回数が増えたことが要因と考えられる。一方、大手前通りでは、幅員が狭く、走行位置の左右へのバイアス値が小さかったことから、走行位置による傾向の違いが確認できなかった。(図8)

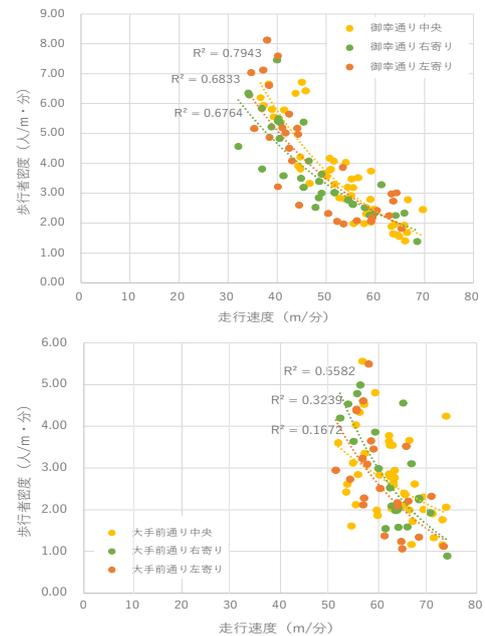


図8 ロボットの走行位置と走行時間
(上:御幸通り、下:大手前通り)

(2) 自律移動ロボットの走行位置と走行軌跡

また、自律移動ロボット走行位置を歩道空間内の中央、左寄り、右寄りで走行させた場合の走行軌跡のばらつきについても取得した。御幸通りでは、右寄り走行時はロボットの軌跡のばらつきが大きく、安定していないことがわかる。(図9)

図8にて右寄り走行が走行時間が長くなることの一つの要因として考えられる。

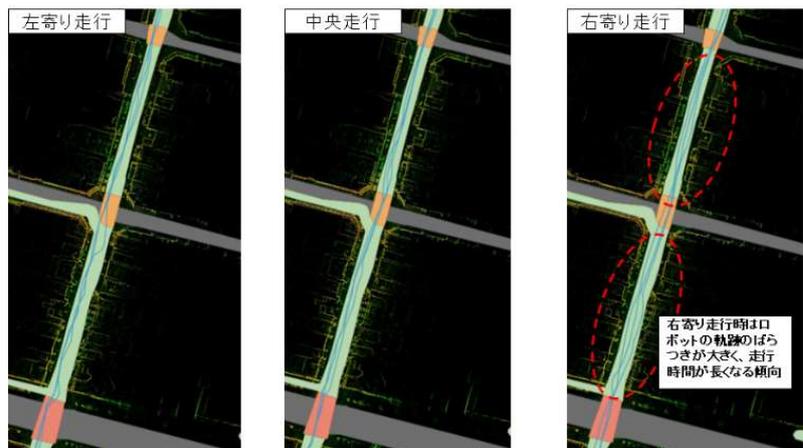


図9 各走行位置におけるロボットの走行軌跡(図中水色) ※御幸通り北側区間

(3) 自律移動ロボットの走行位置と歩行者の受容性

ロボットの走行中に歩道通行している人へのアンケート調査の結果、歩道空間内のロボットの走行位置について、中央を走行するのが望ましいと回答した方が全体で約 36%を占め最も多かった。次いで、進行方向に対して左側と回答した方が約 23%となった。進行方向に対して右側と回答した方は少数だった。要因として、御幸通りでは、歩行者が左側通行である程度整流化しており、双方向の人の流れを阻害しない中央、もしくは、人の進行方向と同じ左側が多く回答されたと考えられる。(表2)

表2 アンケート結果(ロボットの望ましい走行位置)

	全部		御幸通り		大手前通り	
	件数	割合	件数	割合	件数	割合
進行方向に対して右側	82	4.4%	39	3.3%	43	6.3%
進行方向に対して左側	417	22.5%	283	24.3%	134	19.5%
中央	672	36.3%	419	35.9%	253	36.8%
どこでもよい	520	28.1%	336	28.8%	184	26.8%
わからない	114	6.2%	64	5.5%	50	7.3%
無回答	48	2.6%	25	2.1%	23	3.3%
合計	1853	100.0%	1166	100.0%	687	100.0%

(4) 路面標示設置の効果

① 走行速度について

路面標示有り無しの場合で歩行者密度とロボットの走行速度の関係を比較した結果、御幸通りの商店街では、路面標示ありの時の方が、同じ歩行者密度でも走行速度が速い傾向にある。大手前通りでは歩道の有効幅員が狭かったこともあり、明確な傾向は見られなかった。(図10)

② 歩行者の受容性について

歩行者アンケートの結果と組み合わせると、路面標示ありの時の走行時の方が、歩行者アンケート結果にて、「ロボットとの共存を危険と感じない」と回答する割合が向上していることが確認できた。(表3)

また、路面標示が「あった方が良い」と回答した割合が全体で50%存在した。(表4)

一方で、「なくてもよい」との回答数も一定数存在しており、任意で理由を確認したところ、「地面の標示は人混みの中で目立たない」、「標示の内容やマークがわかりにくい」等、標示のわかりやすさに関する意見と、「標示があったら通ってはいけないと思ってしまう」等、歩行者空間が現状より狭められることを危惧する意見が挙げられた。

5. 自律移動ロボットの停留場確保

将来を見据えたロボット停留場の確保や必要な設備等について、大手前まちづくり協議会の協力を得て、歩行者利便増進道路(ほこみち)として指定されている大手前通りのほこみち常設エリア⁵⁾で実際の停車・走行の検証と事業者へのヒアリングを実施した。

自律移動ロボットを安全に継続して事業運用するためには、複数のロボットの停留が必要となるが、その空間確保は可能であった。また、事業者ヒアリングの結果、他に複数のロボットが充電できる設備や、屋外であれば、雨・風・雪を凌ぐ屋根があり、保安・管理上の専門担当者の待機できる場所であることが条件としてあげられた。(図11)

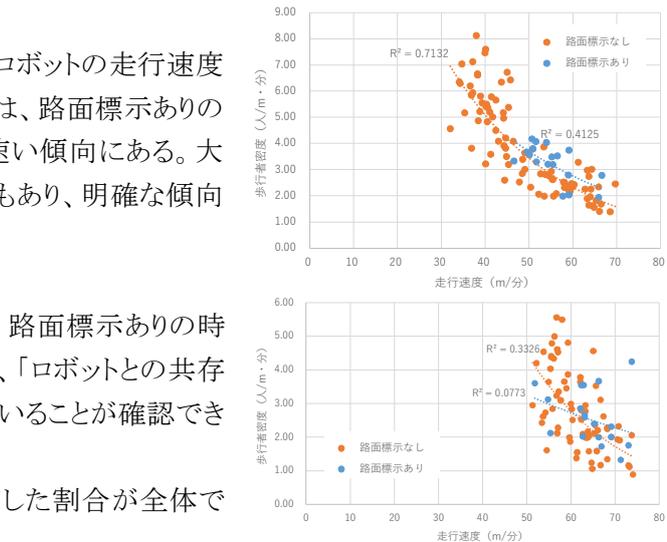


図10 路面標示の有無別の歩行者密度とロボットの走行速度(上:御幸通り、下:大手前通り)

表3 アンケート結果 (ロボットとの共存を危険と感じるか) ※路面標示の有無別

	路面標示あり		路面標示なし	
	件数	割合	件数	割合
危険と感じる	37	5.5%	67	6.9%
危険と感じない	618	92.0%	852	87.8%
どちらでもよい	16	2.4%	37	3.8%
無回答	1	0.1%	14	1.4%
合計	672	100.0%	970	100.0%

表4 アンケート結果(路面標示について)

	全部		御幸通り		大手前通り	
	件数	割合	件数	割合	件数	割合
あった方がよい	927	50.0%	564	48.4%	363	52.8%
なくてもよい	538	29.0%	354	30.4%	184	26.8%
どちらでもよい	334	18.0%	217	18.6%	117	17.0%
無回答	54	2.9%	31	2.7%	23	3.3%
合計	1853	100.0%	1166	100.0%	687	100.0%



図11 歩道(ほこみち空間)におけるロボットの停留状況(左) 商店街内の店舗前における充電状況(右)

6. 沿道関係者アンケート結果

沿道関係者(商店街及び地下街管理者)に対して、紙面を配布してアンケート調査を実施し、171件の回答を得た。ロボットの走行位置については、歩行者アンケート調査結果と同様、中央走行が望ましい・どちらでもよいの回答が約9割となった。歩行者同様、中央走行が最も多くを占めた。また、自身の店舗の前への停車について

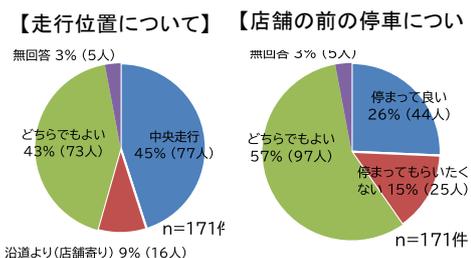


図12 走行位置、店舗前の停車

は、停まってもよい・どちらでもよいの回答が約 8 割となった。一方で停まってもらいたくないという回答も 15%あり、停留場所の確保の必要性が示唆された。(図12)

また、自律移動ロボットの活用については、宅配以上に、観光地、商業地というエリア特性もあり、「お店やまちのPR」、「まちの防犯」に関する利用意向も多く見られた。(図13)

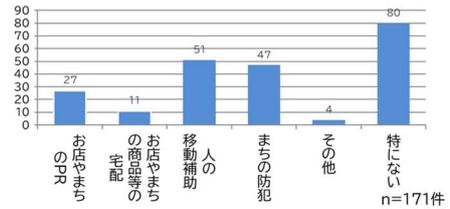


図13 自動運転ロボットの活用の仕方

7. 今後の展開に向けて

ウォーカブルなまちなかづくりの推進に寄与するため、人が賑わう都市部の歩道で自律移動ロボットを走行させ、歩行者の受容性を確保しつつ、円滑にロボットが走行することが可能か、そのためには、歩道空間の中でどの位置を走らせるのが望ましいか、都市空間において停留場所の確保が可能かについて検証し、下記の結果が得られた。

●検証 i : 歩行者混雑時の走行可能性(移動速度、歩行者の受容性 etc.)

イベントが実施され、歩行者量の多い歩道において、実際にロボット走行時に通行した約 1800 名の歩行者の約 9 割が危険と感じないとの回答を得ており、人混みの中でもロボットが走行していることを気づかせる工夫を行うことにより、走行可能性があることが示された。

●検証 ii : 歩行者と自律移動ロボットが安全に共存するための走行位置

これまで明確な知見のなかった、賑わう歩道部での自律移動ロボットの走行位置について、歩道の中央もしくは左寄りを走行することがロボットの移動速度、軌跡の安定の点から望ましく、周辺を通行する歩行者や、沿道店舗の意見としても、中央走行が最も望ましいという結果を得た。

自律移動ロボットの走行空間の路面標示も歩道上では前例のない試みであったが、路面標示がある方が、ロボットの走行速度の向上が見られ、歩行者アンケートで「危険と感じない」という回答率が高くなる結果となった。ただし、歩行者の多い空間では路面標示が気づかれにくかったことや、路面標示個所がロボット専用の空間と誤解されないよう、標示方法や内容の工夫の必要が示唆された。

●実証 iii : 停留場所の規模、機能、設置の可能性の検証

ほこみち空間上での複数のロボットの停留空間の確保を確認できた。

以上より、自律移動ロボットは、自動運転の中でも早期実装の可能性の高い乗り物として、人の賑わうまちなかでの活用に向けて、物理的な検証や歩行者の受容性については目途が立ちつつあり、今後は、事業性を高めるための多様な使い方や、それを受け止める都市空間のあり方が課題になる。エリア特性に応じた付加価値を高める活用方法や、ほこみちエリアなどの都市空間の活用など、まちの人々の交流を生み出す装置として、エリアの関係者で協働してアイデアを練ることが求められる。

今回の実証を参考として、居心地が良く歩きたくなるまちなかの創出に向けた自律移動ロボットの活用について、各地で検討が進めば幸いである。

(本稿は、国土交通省都市局の「ウォーカブル空間の創出に向けた自動運転技術の活用に向けた実証実験(R5)」の内容をまとめたものである。また、実証実験は、(株)ZMP、ウォーカブル協議会の協力によって実現したものである。)

【参考文献】

- 1) 国土交通省:2040年、道路の景色が変わる～人々の幸せにつながる道路～, 2020.6
- 2) 警察庁:歩道走行型ロボットの公道実証実験に係る道路使用許可基準, 2023.4
- 3) 経済産業省,(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構:自動配送ロボット活用の手引き, 2024.2
- 4) 岡田光正他, 建築と都市の人間工学, 鹿島出版会, 1977.6
- 5) 姫路コンベンションサポート, 姫路大手前通り ほこみち(歩行者利便増進道路)制度 (<https://www.himehoko.com/>)