

# 自動運転社会を見据えた歩行者優先の みちづくりに資する道路空間再編に関する研究

高山 宇宙<sup>1</sup>・岡野 舜<sup>2</sup>・森本 章倫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

E-mail:k-gingga@asagi.waseda.jp

<sup>2</sup>学生会員 早稲田大学 創造理工学部 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

E-mail: shun01139696@asagi.waseda.jp

<sup>3</sup>正会員 早稲田大学理工学術院教授 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

E-mail:akinori@waseda.jp

本研究は、近い将来に導入が予想される自動運転社会を見据えた道路空間再編のあり方について、乗降空間の設計が道路環境に与える影響をマイクロ交通シミュレーターを用いて定量的に把握した。分析より、車線数を減少した路上駐車型に比べて、路肩空間にバスストップを設けたタイプでは、駐車頻度の増加により一台あたりの遅れ時間が最大で 2 倍の差を生じさせることが確認できた。一方で、乗降空間の増大は、駐車挙動の度に生じる後続車の減速機会が増加するため、道路環境へ与える影響が増加した。今後は、実データを用いた街路網での分析により、乗降空間と路肩空間の配分状況を検証することが求められる。

**Key Words:** *Reconstruction of Road Space, Autonomous Driving, Curbside, Traffic Simulation*

## 1. はじめに

これまでの道路空間は自動車利用が中心の設計であったが、近年の都市部では自動車の走行空間を再配分し、歩行者空間として機能を割り当てるなどの道路空間再編が検討されている<sup>1)</sup>。それに伴い、再編後の空間の利活用について、ガイドラインの作成<sup>2)</sup>や利活用における交通影響・利活用効果の分析<sup>3)</sup>が行われており、道路空間を活用した地域活動の促進が図られている。他方、道路空間をどのように再編し道路のデザインを再構築するかについて、実務者視点での道路空間再編に向けた事例集<sup>4)</sup>が作成されるなど再編手法の構築が進んでいる。

一方で近い将来到来が見込まれる自動運転社会下では、道路環境にも大きな変革をもたらすことが予想される。官民 ITS 構想・ロードマップ 2018<sup>5)</sup>によると、一般道での導入にあたっては、限定地域での無人運転配送・移動サービスや、次世代都市交通システム (ART) の導入が検討されている。特に物流・移動サービスについては、ロボットタクシーや自動運転バスの公道での実証実験が各地で行われており、2025 年ごろには全国各地での SAE レベル 4<sup>6)</sup>の無人自動運転サービスの普及が目指されている。

このような背景を踏まえると、今後の道路空間再編においては無人の自動運転配送・移動サービスを前提とし

た道路のデザインを行うことが求められる。全米都市交通担当者協会 (NACTO) が示す次世代公共交通や自動運転車の導入の際の道路空間の変化イメージ<sup>7)</sup>では、自動運転技術により車道空間の縮減や、柔軟な路肩空間の使い方が提案されている。また、イギリスの WSP 社の自動運転化の都市空間への影響に関する報告書<sup>8)</sup>では、無人自動走行により駐車スペース等が削減可能となることで、一般的な既存市街地の 15~20% 程度の新規開発が望めることが指摘されている。

しかしながら、自動運転車の導入は道路環境において必ずしも正の効用が働くとは限らない。特に駐車場の削減は乗降空間が路外から路上へ移行することから、無秩序な駐停車および乗降を抑制するための乗降空間の整備は今後の交通計画における喫緊の課題である。

以上より本研究では、一般道での自動運転車の導入時の乗降環境に関する交通シミュレーションによる分析を通じ、自動運転社会下における道路空間再編に資する知見を得ることを目的とする。

## 2. 既往文献の整理

### (1) 道路のデザインに関する既往文献

飯田ら<sup>9)</sup>は、都心部において街路の利用実態や利用者目線に基づく街路空間再編の検討を行い、交通への影響

を抑制する道路配分を提案した。また尹ら<sup>9)</sup>は自転車に着目し、交通需要マネジメント (TDM) と併せて道路空間再編を実施することで、既存の交通機能へ与える影響を軽減できることを示している。大山ら<sup>10)</sup>は、歩行量と道路整備に係る予算制約の二つを目的関数にとり、最適な歩道幅員拡幅モデルの構築を行った。

他方、道路空間の設計については、シェア・ド・スペースのような歩車混在の形態として、アメリカでのフレキシブル・ゾーンの事例を整理した佐々木<sup>11)</sup>の研究や、日本の地方中心市街地におけるストリートデザインの展開プロセスを明らかにした野原ら<sup>12)</sup>の研究があり、道路空間再編にあたって検討されるべき空間の形態や、再編に向けた展開については既に研究が進んでいる。

## (2) 乗降空間に関する既往文献

小滝ら<sup>13)</sup>は駅前広場の整備の実態を調査し、容量不足が待ち行列に原因があることを示した。特に経年変化による計画時以上の利用車の増加や、待ち車両を計画に組み込んでいないことが待ち行列の原因であることを明らかにした。井料<sup>14)</sup>は、駅前広場におけるキスアンドライド車両の送り・迎への種別ごとの乗車選択行動を考慮したシミュレーションモデルを構築し、駅前広場での渋滞発生状況を定量的に示した。

## (3) 自動運転車の導入可能性に関する既往文献

自動運転車の導入可能性についての既往文献は、社会受容性や利用意向に関する研究領域と、自動運転車の導入による交通への影響を検証する研究領域に分けることができる。道路環境への影響を検証する本研究では後者に着目し、既往文献を整理する。

宮崎ら<sup>15)</sup>は自動運転車と手動運転車の混在社会下に着目し、混在状況における T 字路の渋滞状況をシミュレーションで示し、自動運転車の割合が高いほど自動運転システムの性能に依って、渋滞長や待ち時間を低減することを明らかにした。香月ら<sup>16)</sup>は、郊外部においてライドシェア型の自動運転交通を導入することにより、最大で 75% の駐車時空間について削減効果があることを示した。山本ら<sup>17)</sup>は、都市部における自動運転車について、ライドシェアサービスを導入した際の乗客の待ち時間や相乗り人数についてシミュレーションによる分析を行った。

## (4) 本研究の位置づけ

以上より、道路空間再編については、既に再編による交通への影響についての検証や、新しい道路デザインの形態について研究が進められている。また、乗降空間については駅前広場において、待ち行列や乗車選択行動を考慮した分析が行われており、自動運転については自動運転車の導入により道路環境の改善や駐車時空間の削減効果が示されているほか、都市部でのライドシェアサービスを導入した自動運転車の導入可能性についての検証が行われている。

しかし、実際に都市部での導入においては、駅前広場の整備だけでなく現在のタクシー・バスと同様に路上での乗降が発生することが予想される。またライドシェアサービスのような相乗りの乗車形態だけでなく、現在と同じような一台につきグループの配車サービスについても検討し、道路環境に与える影響を検証すべきである。

以上を踏まえて本研究は、レベル 4 の自動運転社会下における道路空間再編として、路上の乗降空間に着目し、乗降空間の形態による道路環境への影響を定量的に把握する。

## 3. 都市部での自動運転車の乗降環境の検討

### (1) 基礎概念と分析条件の整理

筆者らはこれまでの研究<sup>18)</sup>で、ミクロ交通シミュレーターを用いて単路部での自動運転車の乗降環境に関する評価指標の作成を行った。本研究はこれらの研究を継続し、都市部を想定した自動運転社会下の路上の乗降空間について検討する。

#### a) 本研究における道路空間の条件

まず本研究における乗降環境について図-1 に示す。路上での乗降を前提に、車が通常走行する空間を交通空間、駐停車を行う空間を乗降空間とし、歩行者が乗降のために待機する空間を路肩空間とした。

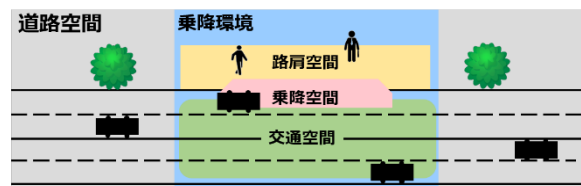


図-1 本研究で扱う乗降環境のイメージ

次に、乗降空間の形態として、路上駐車型とバストップ型の2つを想定した。路上駐車型は車線数を減少させ、バストップ型は車線数は不変だが路肩空間が図も示すようにA'の長さだけ縮減している。以上のように、歩行者優先化と交通流優先化はトレードオフの関係となるように設定した。

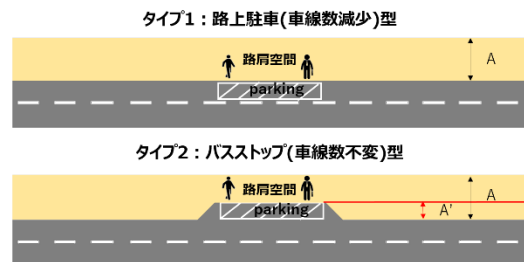


図-2 乗降空間タイプのパターン

また、本研究では、現在検討が進められている都市部の道路空間再編を扱うことを考慮し、道路構造令<sup>19)</sup>に基

づき道路区分の第 4 種第 1 級道路を採用した。

b) 待ち行列モデル

駐車時間は乗降をする人・自動車の到着頻度・分布によって異なる。そこで、人と自動車の到着分布の変化については、実際の無秩序な人と自動車の乗降を再現するために、モンテカルロ法を用いた待ち行列モデルを用いた。また、待ち行列を考えるにあたって利用者とサーバー(自動車)の分布は最も一般的なポアソン分布に則り、Excel の VBA を使用し、RAD 関数を用いて人や自動車の無秩序な動きを再現した。

プログラムへの入力値は人と自動車の到着分布、出力値は駐車時間としている。本研究では、駐車時間を「自動車が乗降場に到着してから発進するまでの経過時間」と定義する。例えば、一台あたりの到着間隔が 60 秒の場合は、一時間で 60 台の駐車が可能になる。また分析にあたり、利用者は一度並ぶと待ち行列から抜けることなく、自動車は待ち台数に制限を設けていない。なお、人と自動車がマッチングしてからは最低 30 秒の乗降時間を設けた。その上で人と自動車の到着頻度は同じものとし、両者到着している場合にのみ乗車時間経過後にサービスが開始するように設定した。

駐車時間の算出にあたっては、総計 15,000 回のマッチングを試行した。また到着間隔を示した指数分布において、有意水準 5% 区間を設け、外れ値を除いた分布を作成する。その結果、14,850 ペアの自動車の駐車時間から最大値・最小値(自動車が待たず乗降が発生する場合は 30 秒となる)・平均・標準偏差を算出した。以下に例として到着間隔 150 秒時の到着間隔の累積度数と駐車時間の関係を示す。

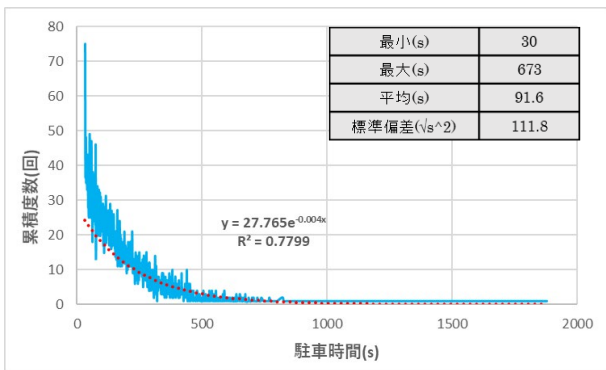


図-3 到着間隔 150 秒時の指数分布表と駐車時間

c) シミュレーション条件と評価指標の設定

本研究は道路空間再編による交通への影響を検証することから、道路空間を評価する上で設定速度からの遅れ時間と旅行速度の 2 つを評価指標として用いた。また、都市部を想定して時間補正 K 値は 9%、重方向補正 D 値は 55% と設定<sup>19)</sup>して計画交通量を時間交通量・方向交通量に変換した。これらを用いて第 4 種第 1 級道路の計画

交通量である 10,000 (台/日) に補正値を乗じて算出すると、設計時間交通量(重方向)は 495(台/時)となる。本研究では、近似値である 500 (台/日) を 1 時間あたりの計画交通量としてシミュレーションを行った。なお、本研究では第 4 種第 1 級道路を採用したことから、設計速度は 60km/h、車線幅員は 3.25m とした。

次に、乗降空間における駐車のパラメータについて設定する。駐車については、前項の待ち行列モデルを用いて駐車時間や配車状況を決定し、駐車頻度を駐車頻度は交通量に対する割合で発生させるよう感度分析を行う。本研究では、駐車頻度として 5%、10%、15%、20% の 4 つをパラメータとして設定した。また、乗降空間は現実の停車帯になるべく即した設定となるよう、40m、60m、80m、100m の長さとし、駐車スペースは約 10m 間隔で配置した。

表-1 道路・交通流と駐車条件のパラメータ

		第4種第1級道路			
交通量		500(台/h)			
設定速度		60(km/h)			
車道幅員		3.25(m)			
駐車頻度(%)		5	10	15	20
駐車台数(台)		25	50	75	100
到着間隔(s)		144	72	48	36
駐車時間	最大値(s)	359	327	197	127
	最小値(s)	30	30	30	30
	平均(s)	56	52.8	40	32.5
	標準偏差( $\sqrt{s^2}$ )	53.4	47.4	25.1	10.6

(2) 分析フロー

本研究は、道路空間再編における乗降空間のシミュレーションにあたりマイクロ交通シミュレーターである Caliper 社の Transmodeller を用いて下記の通り分析した。

a) 道路ネットワーク作成

ランクごとのネットワークを作成し、幅員や速度、交通量を規定する新たなリンクを作成し、500m となるよう設置する。この際、セグメントやセンサ、セントロイドコネクタを設置する。

b) Parking の設置

作成した道路ネットワークに Parking を設置する。この際、乗降空間の規模・タイプを調整する。また、Parking に駐車時間(最大値・最小値・平均・標準偏差)を入力する。

c) OD マトリックスの作成

セントロイドコネクタから車両の発生・消滅を、OD 表を用いて再現する。この際、交通量に対して駐車台数は感度分析を用いて入力する。駐車車両は Parking のセントロイドコネクタが終点となり、駐車時間を経過して

始点となり出発する。

d) シミュレーション実行・出力データの収集

シミュレーション時間は一時間とする。シミュレーション終了後、出力データをxlsxファイルで読み込みデータの収集を行う。シミュレーションは各組み合わせにおいて5回試行し、平均値を採用する。本研究では出力データは、一台あたりの遅れ時間と平均旅行速度を用いた。

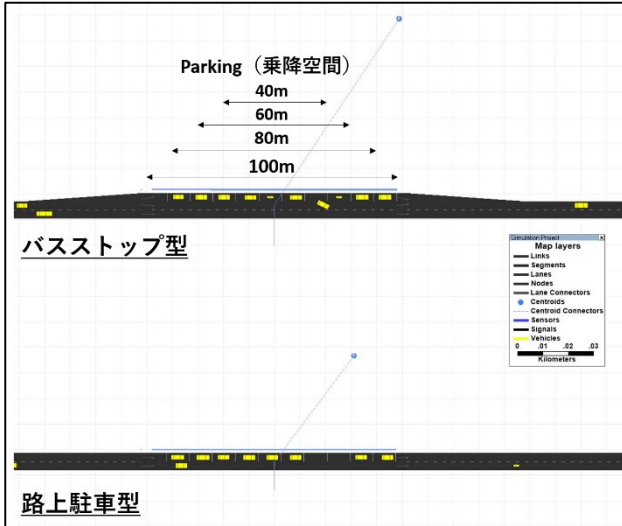


図-4 駐車頻度 5%・乗降空間長 100m 時の Transmodeler の画面

(3) 路上駐車型とバスストップ型の比較

a) 駐車頻度を変化させた場合

図-2および図-4に示した2つの乗降空間のタイプについて、比較を行う。乗降空間長は100mで固定し、各タイプごとの駐車頻度を変えた際の遅れ時間と平均旅行速度について表-2、表-3に示す。

表-2 乗降空間長 100m 時の 2 タイプの平均遅れ時間

平均遅れ時間(s/台)	駐車頻度 (%) ※ () 内は駐車台数			
	5(25台)	10(50台)	15(75台)	20(100台)
路上駐車型	17.0	19.4	21.9	25.0
バスストップ型	13.7	14.5	16.1	17.3

表-3 乗降空間長 100m 時の 2 タイプの平均旅行速度

平均旅行速度(km/h)	駐車頻度 (%) ※ () 内は駐車台数			
	5(25台)	10(50台)	15(75台)	20(100台)
路上駐車型	39.5	37.6	36.2	34.8
バスストップ型	42.7	41.7	40.8	39.9

結果より、路上駐車型よりもバスストップ型の方が遅れ時間、平均旅行速度ともに道路環境への影響が小さいことが確認できた。また、駐車頻度が高まるほど、どちらのタイプにおいても道路環境に与える影響が大きくなるが、例えば駐車頻度が5%のと20%のケースにおい

て、平均遅れ時間の差は路上駐車型(8.0秒/台)とバスストップ型(3.6秒/台)において倍近い差が生じるなど、タイプによって駐車頻度を変えた際の影響の大きさも異なることを確認した。乗降空間への侵入と交通空間への復帰の際、バスストップ型の後続車は1車線分余裕があるため車線変更で駐車挙動を避けられるが、路上駐車型では駐車挙動の度に後続車が減速・停止しなくてはならないことから差が生じたと推察される。

b) 乗降空間長を変化させた場合

次に、駐車頻度を10%で固定し、乗降空間長を40m, 60m, 80m, 100mとした際の各タイプの比較を行った。結果を表-4、表-5に示す。

表-4 駐車頻度 10% 時の 2 タイプの平均遅れ時間

平均遅れ時間(s/台)	乗降空間長(m) ※ () 内は駐車台数			
	40(4台)	60(6台)	80(8台)	100(10台)
路上駐車型	17.3	18.0	19.1	19.4
バスストップ型	13.8	14.8	14.5	14.5

表-5 駐車頻度 10% 時の 2 タイプの平均旅行速度

平均旅行速度(km/h)	乗降空間長(m) ※ () 内は駐車台数			
	40(4台)	60(6台)	80(8台)	100(10台)
路上駐車型	39.2	38.6	38.2	37.6
バスストップ型	42.5	42.0	41.7	41.7

結果より、両タイプにおいて乗降空間長を延長するほど平均遅れ時間は増加し、平均旅行速度が低下することから道路環境へ与える影響が増加する傾向が確認された。これは、乗降空間が広いほど、乗降空間への侵入と交通空間への復帰により生じる、後続車の減速機会が増えることが原因であると推察される。例えば乗降空間が40mの場合と100mの場合では、乗降空間に隣接する区間を走行中に、減速機会が生じる可能性が後者の方が高い。なお、駐車頻度を変化させたときよりも乗降空間長を変化させたときの方が道路環境に与える影響は小さい。

4. おわりに

(1) 本研究で得られた知見

本研究では、自動運転社会を見据えた道路空間再編として、乗降空間に着目し、空間再編が道路環境に与える影響についてマイクロ交通シミュレーションを実施した。結果として、車線数を減少した路上駐車型に比べて、路肩空間にバスストップを設けたタイプでは、駐車頻度の増加により一台あたりの遅れ時間が最大で2倍の差を生じさせることが確認できた。一方で、乗降空間の増大は、駐車挙動の度に生じる後続車の減速機会が増加するため、道路環境へ与える影響が増加した。したがって、路肩空

間と乗降空間の配分にあたっては、乗降を発生させる空間の位置と、駐車需要に見合った乗降空間の規模を十分に考慮する必要がある。

## (2) 今後の展望

本研究のシミュレーションにおいては、単路部での検証のため、乗降空間が満車であった場合に通過してしまった駐車需要のある車両の存在を十分に考慮できていない。今後は、実データに基づく交通量と駐車需要を踏まえ、街路網での分析を実施することは重要である。

また、今後の自動運転の社会実装における議論の中で、システム側でどこまで安全性を確保するかという線引きの問題がある。大きく安全性を確保する線引きを行えば、駐車挙動や減速に関する判断において、遅れ時間の増加や旅行速度の低下が見込まれるが、本研究ではこの点に関して言及できていない。

自動運転社会下においては、道路構造令などのこれまで道路設計に用いてきた指針などの概念を改めなければならない懸念がある。このようなシミュレーション分析を通じ、道路設計に関する指針について再検討することは、自動運転社会下における歩車共存、道路空間の新たな利活用を考える上では喫緊の課題であるといえる。

**謝辞：**本研究の一部は日本交通計画協会の委託研究であり、分析等にあたっては数々のご助言を頂きました。ここに謝意として表します。

## 脚注

[1] 完全運転自動化よりひとつ下の高度運転自動化の段階であり、限定領域内でシステムが全ての運転タスクを実施する。この際、作動継続が困難な場合に利用者の応答は期待されない<sup>9)</sup>。

## 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会道路分科会：道路・交通イノベーション～『みち』の機能向上・利活用の追求による豊かな暮らしの実現へ～，2017.8
- 2) 国土交通省道路局：道を活用した地域活動の円滑化のためのガイドライン-改訂版-，2016.3
- 3) 小栗ひとみ，井上隆司：道路空間利活用における交通影響および利活用効果の分析，第58回土木計画学研究論文梗概集，2018
- 4) 西村亮彦，栗原正夫，舟久保敏：地域づくりを支える道路空間再編の手引き（案），国土交通省国土技術政策総合研究所資料第1009号，2018.2
- 5) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部：官民ITS構想・ロードマップ2018，2018.6
- 6) National Association of City Transportation Officials：Blueprint for Autonomous Urbanism，2017
- 7) WSP|Parsons Brinckerhoff，Farrells: MAKING BETTER

PLACES: Autonomous vehicles and future opportunities., 2016

- 8) 飯田克弘，塚口博司，香川裕一。「都心部における街路のあり方と街路空間再配分に関する研究」,土木計画学研究・論文集 No.14, pp.713-720, 1997.9
- 9) 尹鍾進，井上恵介，江守昌弘，郡佑毅：道路空間再構築が道路交通へ及ぼす影響に関する考察-沼津市を対象として-，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.68, No.5, pp.305-313, 2012
- 10) 大山雄己，羽藤英二：多目的最適化に基づく歩行者の活動ネットワークデザイン，都市計画学会論文集，Vol.5, No.3, 2017.10
- 11) 佐々木宏幸：歩行者利用可能な路上駐車帯「フレキシブル・ゾーン」を有する街路に関する研究，日本建築学会計画系論文集，Vol.79, No.706, pp.2661-2669, 2014.12
- 12) 野原卓，釣祐吾：街路・沿道連携型ストリートデザインマネジメントの展開プロセスに関する研究-地方中心市街地における「みち空間」での実践を事例として-，都市計画論文集，Vol.51, No.3, pp.611-618, 2016
- 13) 小滝省市，高山純一，中山晶一朗，埴正浩：都市中心駅の駅前広場における容量不足の要因及び課題に関する研究，土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, I\_723-I\_733, 2014
- 14) 井料（浅野）美帆：キスアンドライド車両の乗降位置選択行動を考慮した駅前広場交通シミュレーション，土木学会論文集 D3, Vol71, No.5, pp.931-941, 2015
- 15) 宮崎千展，松山聖路，齋藤正史，清原良三：自動運転車両と手動運転車両の混在状況における T 字路におけるドライバ支援方式の検討，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム，2016
- 16) 香月秀仁，東達志，高原勇，谷口守：シェア型自動運転交通“Shared-adus”導入による駐車時空間削減効果，都市計画論文集, Vol.53, No.3, pp.544-550, 2018
- 17) 山本真行，梶大介，金森亮，松館渉，落合純一，三嶋拓：都市部における自動運転ライドシェアのシミュレーション分析，第57回土木計画学研究発表会・講演集，48-07, 2018
- 18) 岡野舜，高山宇宙，森本章倫：レベル4の自動運転車導入における乗降環境を考慮した街路空間に関する研究，第46回土木学会関東支部技術研究発表論文梗概集，2019
- 19) 国土交通省：道路構造令の各規定の解説，[http://www.mlit.go.jp/road/sign/kouzourei\\_kaisetsu.html](http://www.mlit.go.jp/road/sign/kouzourei_kaisetsu.html) 最終閲覧 2019年3月10日

(2019.3.10 受付)

STUDY ON RECONSTRUCTION OF ROAD SPACE  
THAT CONTRIBUTES TO PEDESTRIAN PRIORITY ROAD  
IMPROVEMENT IN AUTONOMOUS DRIVING SOCIAL ERA  
Koki TAKAYAMA, Shun OKANO, Akinori MORIMOTO

This research quantitatively grasped the influence of the design of the curbside space on the road environment with a micro traffic simulator on how to reconstruction the road space in anticipation of an autonomous driving society. According to the analysis, in the bus stop type compared to the on-street parking type, the delay time per unit was doubled as the parking frequency increased. On the other hand, expansion of the curbside space increased the influence on the road environment. This is because opportunities for subsequent vehicles to decelerate at the time of parking behavior increase. In the future, it is required to verify the allocation situation of curbside space and shoulder space by analyzing on the street network using actual data.