

大型商業施設駐車場に AVP システムを導入した場合の歩行者の安全性を考慮した乗降場所レイアウトの提案

長瀬 佑太朗¹・山田 稔²

¹ 学生員 茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: 22nm828f@vc.ibaraki.ac.jp

² 正会員 茨城大学大学院 教授 理工学研究科都市システム工学領域 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: minoru.yamada.civil@vc.ibaraki.ac.jp

AVP システムの乗降場所で、歩行者と車両、車両同士の交差が発生するがそのあり方について扱った研究はない。乗降場所の配置は、駐車場の収容台数や、交差による待ち時間の発生などの条件を合わせた設計となるべきであるがそういったレイアウトの比較・提案も行われていない。本研究では、歩行者の平面横断が生じないレイアウトが作成可能か検討した。その上で、AVP システムの駐車に要する時間を最小とする乗降場所の提案および乗降マスの設定の検討を行うことを目的とした。駐車場利用量に対し、乗降マスが多い設定では駐車場のスペースが減り、駐車効率が悪くなる。しかし、少ない設定では乗降マスで渋滞が発生する。駐車場シミュレータを用いてこれらの最適解を明らかにした。

Key Words: *autonomous valet parking system, autonomous driving, place for boarding and alighting, parking simulation, pedestrian crossing*

1. 序論

自動運転を利用した自動バレーパーキングシステム(以下、AVP システムと略す)の実証実験が進められている。その一例¹⁾では、駐車場や自動車などの管理を行う管制センターと、車両や駐車場に設置されたセンサなどが連携し、無人運転により指定された駐車場所へ移動、駐車、出庫を行うシステムとなっている。運転者は、駐車場に隣接した施設へのアクセスが便利な場所で車両の乗り降りを行うことが出来る。システム導入により、駐車場での乗り降りがなくなりドアの開閉が不要となるため、駐車スペースを縮小することが出来る²⁾とされている。それに加えて、駐車場の空きマスを探す必要がなくなり、駐車場内の「うろつき車両」や駐車待ち時間をなくす効果があり、さらに目的地と駐車場間の徒歩移動が減ることで、所要時間だけでなく車両との交錯も減ることで安全性の向上にも寄与できるものと考えられる。

これらの効果が期待できる一方で、実証実験では駐車に要する時間などを用いて効果を評価しようとしているものはみられない。さらにこれらの評価に当たっては乗降場所がボトルネックとならないよう十分に確保することも必要となるが、駐車場利用量に対し必要となる乗降場の数や空間の確保の必要性については明らかにされていない。また、乗降場の配置は、駐車場全体のレイアウトにも影響すると考えられるが、そのあり方を提案しているものも見られない。

これに対して、本研究では駐車場シミュレータ³⁾を用い、具体的な乗降場を与えた時の AVP システム効果を評価する方法を構築し、具体案の評価を行えるようにする。

2. 既存研究の整理と本研究の目的

AVP の乗降場所に関する研究としては、中村ら³⁾は、

シミュレーションを実行することで、AVP 実現のための課題と解決方法を検討したものがあ。結果として、乗降場の位置を遠くすることで待ち時間の分散が小さくなり、渋滞列が短くなるなど、駐車場運営に重要な要素であることを明らかにした。しかし、この研究では乗降場の位置のみが考えられていて、駐車場に合った乗降場の数などについては検討されていない。関口ら⁴⁾は、MAS モデルを用いて駐車場における AVP のシミュレーションを行っている。滞在時間と流入台数をシナリオ的に与え、入場待ち時間、運転や歩行に要する時間、呼び出し待ち時間を時間効率の指標、入場待ちを発生させないために必要となる降車場の数を空間効率の指標として比較分析を行った。しかし、この研究では降車場の増設については検討されているが、乗車場の増設については検討されておらず、限られた空間に両者を効率的に配置するための知見とはなっていない。

以上を踏まえて、本研究では、駐車場と乗降マスの配置が及ぼす影響を評価できる方法を構築し、レイアウトの評価を行う。評価に際して安全性を優先したレイアウトのみを扱うとともに、駐車場シミュレータを用い、施設利用者が関わる車の移動時間、徒歩時間をすべて含めた駐車行動にかかる時間を行う。具体的には、以下の 3 点を目的とする。

- ① AVP システムの、乗降マスの処理容量を考慮してマス数を決めることの妥当性について、実際の大型商業施設駐車場のシミュレーション求められる所要時間を用いて確認する。
- ② 実際の大型商業施設駐車場に AVP システムを導入した場合のケースを駐車場シミュレータで再現し、車の移動時間、歩行者の徒歩時間を定量的に示すことにより、一般車駐車場の場合との駐車行動にかかる時間の比較した時の効果を明らかにする。
- ③ 乗降マスの数や利用方法の違いによる駐車時間の比較し、車両と歩行者の交錯が発生しない駐車場レイアウトの提案を行う。

3. 乗降マスの配置の考え方

(1) 前提条件 AVP システムを導入する際に専用乗降マスを整備する必要がある。本研究では、乗降マスの配置が及ぼす影響をシミュレータを用いて検討するものであるが、可能性のあるすべての配置パターンを網羅的に評価すること困難である。そこで以下に述べる方法で候補となる配置のパターンを選定し、さらに定性的に優劣が明らかな場合にはそれによってさらに選び出すことで、シミュレーションのケース設定を絞り込むこととした。

まず前提として、これまでの実証事業⁵⁾においても、AVP システムの駐車エリアは歩行者と一般車の侵入や、

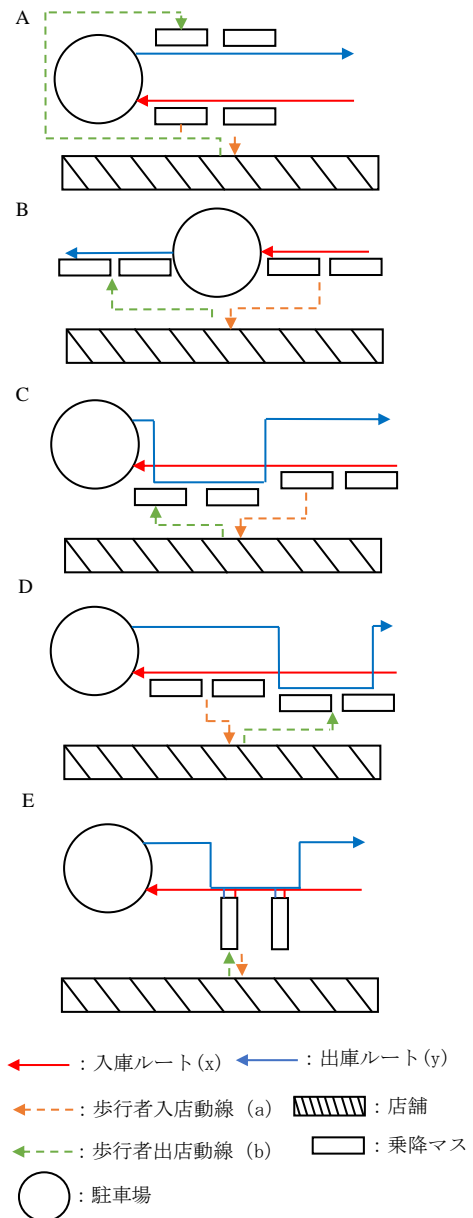


図-1 駐車場と乗降マスの配置

AVP 対応車両と歩行者の交錯は発生させないように限定しており、当面の水準としてこれを前提とすることが妥当と考えた。また、歩行者や車両動線の立体交差は設けないことを前提とし、さらに歩行者はいかなる車両とも平面でも交差しないことを前提と考えた。店舗出入口が分散していて内部で実質的な歩行者の立体横断となるようなケースも本研究では考えないこととした。

(2) 候補とする配置パターンの設定

これらの前提条件のもとでは、候補として図-1に示す 5 つのパターンに絞り込まれる。図では駐車場に対して図の下側に建物があるものとし、乗車場・降車場の配置のパターンとして変化させるとともに、それらをつなぐ車両の入出庫ルート、および歩行者の入店出店動線を示

してある。全てのパターンにおいて、歩行者と車両が交差しない条件を満たしている。車両相互の交差は基本的には存在しないように設定したが、乗降場周辺では交差せざるを得ないケースが生じることから、これについては次の評価のところで考慮する。

各パターンの特徴について以下にまとめる。

A：車両同士の交錯は発生しないが、b の歩行者動線が長くなってしまふ。乗車場と降車場を入れ替えた場合でもどちらかの歩行者動線が長くなる。

B：駐車場出口と入口が別々の外周道路に設けられている場合にのみ適用出来る。車両同士の交錯は発生せず、a、b どちらの歩行者動線ともにレイアウトを工夫することにより短くすることが可能である。

C：A と異なる点として、乗車マス降車マスともに施設建物側に設けることにより、a、b どちらの歩行者動線ともに短くすることが出来る。しかし、2 か所で車両同士の交差が発生してしまう。図の右の交差箇所は、自動運転車と有人車、左の交差箇所では自動運転車と自動運転車の交差である。

D：C と比べ、降車場と乗車場を逆にしたものである。C と異なり、右の交差箇所は有人車と有人車、左が自動運転車と有人車の交差となる。

E：乗降マスを兼用にした場合である。兼用にすることにより、a、b どちらも歩行距離は短くなるが入庫車と出庫車の交差が発生しやすくなる。

(3) 本研究で用いる配置パターン

各ケースを比較すると、A は車両同士の交錯は発生しないが歩行者の距離の負担が大きい。B は今回のケースの中で一番安全で歩行距離も短い、適用できる駐車場が限定されてしまい、該当しない駐車場では外周道路への車両動線の新設や外周道路への影響軽減の方策が必要となることが考えられ負担が大きくなってしまふ。

C と D は、車両同士の交錯は発生するものの、歩行距離は短くなる。しかし、D では有人車同士の交錯が発生しているため、自動運転車同士あるいは自動運転車と有人車の交差である C に比べ安全性が低くなると考えられる。E は、D と同程度の有人車同士の交差が考えられるが、兼用にすることにより他のケースに比べ、動線を確保するための空間を少なくできる可能性が考えられる。

以上を考慮した結果として、C と E の 2 つのパターンについて実際の駐車場に導入した場合をシミュレーションのケースとして扱うこととした。

4. 研究対象地の駐車場レイアウト

(1) 対象地の設定と現況レイアウト 郊外型ショッピングセンターは、自家用車での来店が多く駐車場で待ち



図-2 イオンモール水戸内原 H 駐車場



図-3 AVP の乗車マス降車マスを設定した場合のレイアウト案

時間が発生しやすい。また、駐車場が広く利用者の徒歩移動の負担も大きい。そのため、AVP システム導入効果は高いと考えられる。すでに本研究で用いる駐車場シミュレータでの実績があり、また必要に応じて既収集のデータを活用できるイオンモール水戸内原 H 駐車場を対象地とした。現況の駐車場レイアウトを、図-2 に示す。

(2) AVP システムを考慮したレイアウト

AVP システムを導入した駐車場レイアウトでは、まず駐車スペースとして AVP 対応車両用に歩行者と一般車は進入できない区域を設定した。一般車の駐車スペースを残すものとし、図-3 のように一般車マスを 122 台、AVP 対応車両マスを 118 台とした。合計台数は現況と同じである。また、乗降マスを整備するが駐車スペースでのドアの開閉が不要になり駐車マスを短縮できることを想定し、その分の余ったスペースで一般車と AVP 車の境界や乗降場を確保したものである。シミュレーションでは乗降場の台数はここから変化させるものとする。

なお、現況では対象部分を車両が通過できるレイアウトになっているが AVP スペースを分離するため図の右

下にある他の駐車場への通路を1つ封鎖している。AVP 無しのケースのシミュレーションにおいても、図-2からこの部分を封鎖することとした。いずれも、現況で当該通路を利用していた車両はシミュレーションから除外するものとした。

(3) 乗降マスを兼用にしたレイアウト

図-3のレイアウトは乗降マスを分けて整備しているが兼用にして乗降マスを整備の違いによる時間の評価を行う。図-4に兼用にした場合のレイアウトを示す。兼用にするとメリットとして、降車、乗車どちらかがピークの時間帯では両方をそちらに利用することが可能と考える。また、図-3では乗車マス降車マスの間の車両の交差に使用するスペースを確保してあるがこれをなくすことで歩行者動線を短縮することができる。デメリットとして兼用にしていることにより入庫車と出庫車の交差がマスの近辺で発生することが挙げられる。

5. 乗降マスに関するシミュレーションパラメータの設定

AVP システムを駐車場シミュレータで再現するにあたり、乗降マスでの滞在時間および乗降マスへの待ち行列が生じた際の次の車両が使用するまでのギャップ時間について調査データに基づいたパラメータ設定を行った。

(1) 乗降に要する時間についてのビデオ集計

山田⁵⁾の研究で撮影されたビデオ映像を用いて商業施設利用者の一般の駐車マスでの降車時間・乗車時間を調べた。駐車マスでの行動を目視で確認できる 14:00～17:00の3時間分のデータを用いた。撮影範囲内で確認できる駐車マスに駐車が完了した瞬間から、乗車している全員が降車し隣のマスまで移動するまでを降車時間、駐車した車両のいずれかのドアを開けた瞬間から、車が動き出すまでを乗車時間とした。表-1に降車時間、表-2に乗車時間を構成人数に分けて各分類の平均値を算出した。おなじカテゴリーの中でも、明らかに平均から離れた値が観測されたサンプルは平均値の算出には用いずそのままの値を表に示した。

シミュレーションでは、利用者ごとにこの表に示したサンプル数に比例するよう乱数を用いてカテゴリーを決定し、その利用者には表の右に示す値を使うこととした。

(2) マス使用の間のギャップ時間の調査

乗降マスが空いてから後続車が入ってくるまでのギャップ時間を再現することが重要であるが、現地での一般車用の荷物積み下ろし場所においてそのような待ち行列が生じることがほとんどなく、その観測値を用いること



図-4 乗降マスを兼用にした場合のレイアウト

表-1 駐車マスでの降車時間

乗車人数（子供連れの場合は、子供の人数で分類）	グループ数	平均降車時間 (s)
大人一人	22組	35
大人二人	14組	36
大人三人	3組	57
子供一人	8組	74
	1組	419
子供二人	5組	117

表-2 駐車マスでの乗車時間

乗車人数（子供連れの場合は、子供の人数で分類）	グループ数	平均乗車時間 (s)
大人一人	20組	66
大人二人	17組	67
大人三人	3組	95
子供一人	8組	73
子供二人	6組	52
	1組	398

表-3 現地調査の概要

調査場所	常陸多賀駅市営駐車場料金所
調査日	2021年12月15日(水)
調査時間	16:42～18:45
測定方法	ストップウォッチ
天候	晴れ
調査項目	料金を支払った車が料金所を出てから、後続車が料金所に入ってくるまでの時間

が困難であった。

そこで待ち行列が容易に観測される有料駐車場の料金所で観測調査を行った結果を用いることとした。表-3に概要を示す。観測結果の平均は7.94秒となった。駐車場シミュレータ内では、降車マスと待ち行列先頭位置の距離やその間の速度を調整した結果、平均8秒と再現でき

るものとなった。

6. 乗降マスの処理容量および所要時間と利用量の関係

(1) 乗降マスの処理可能台数の算出

まず、先に得られた乗降に要する時間とギャップを用いて、乗降マス 1 マス当たりの 1 時間の処理可能台数を算出する。表-1・表-2 それぞれで加重平均を取り、さらに両者ともに前後する使用車両のギャップ時間を足したものを 1 台当たりの処理時間と考える。平均降車時間が 65.34 秒、平均乗車時間が 81.34 秒となった。これより、1 マスの時間当り処理可能台数は、降車マス 55 台/h、乗車マス 44 台/h となる。

(2) シミュレータによる処理可能台数の算出

ここでは図-3 に示した通り、降車マス 2 台、乗車マス 3 台で設定した場合のシミュレーションの結果を示す。

シミュレータは歩車交差による遅れも評価できるものではあるが AVP レイアウトでは歩行者と車両の交差は発生しないため影響されない。

時系列の交通量変動については、筆者らの既存研究⁵⁾で観測された 6 時間のデータに定数を掛けて総交通量をコントロールし、これを 2 回繰り返すシミュレーションを行った。図-5 に駐車場出入口から降車マスまでの入庫時間と利用量、図-6 に駐車マスから乗車マスまでの出庫時間と利用量の関係を示す。

図-5 より、利用量が 1,200 台/12h を超えると 10 分以上の入庫時間がかかっている。駐車場シミュレータ内でも、約 1,100 台/12h 以下では、入庫時間の変化は少ない。そのため、降車マス 2 台では、利用量が 1,100 台/12h 以下を処理するのに適していると考えられる。時間交通量で 1 マス当たりにすれば 45.8 台/h であり、先に求めた容量としての 55 台/h よりもやや小さな値となっている、これはランダム到着の効果と、車両同士の交差で生じる待ちがマスまで影響したことによるものと考えられる。

図-6 では、利用量が 1,300 台/12h を超えると出庫時間が大幅に増加しており、容量超過による渋滞が発生することが分かる。利用量が 1,250 台/12h 以下では、出庫時間が 5 分以下に収まっている。時間交通量で 1 マス当たりにすれば 34.7 台/h であり、やはり先に求めた容量よりもやや小さな値が得られた。

今回、シミュレーションを行った図-3 のレイアウトは、利用量が約 1,100 台/12h 以下でどちらのマスでも渋滞が発生せず円滑な利用が出来ると考えられる。しかし、1,100 台/12h 以下では、乗車マスの所要時間の変化が少ないため、3 マスでは多く、マスが余ってしまう状況が発生すると考えられる。そのため、降車マスを 1 つ増やし

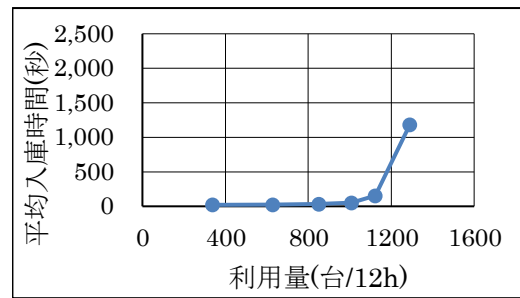


図-5 平均入庫時間と交通量

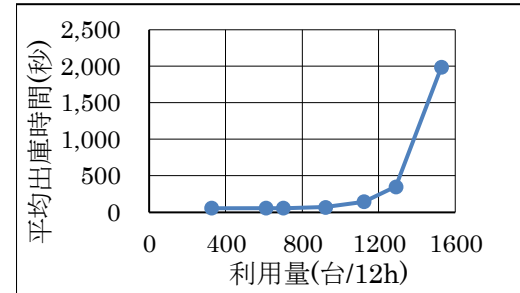


図-6 平均出庫時間と交通量

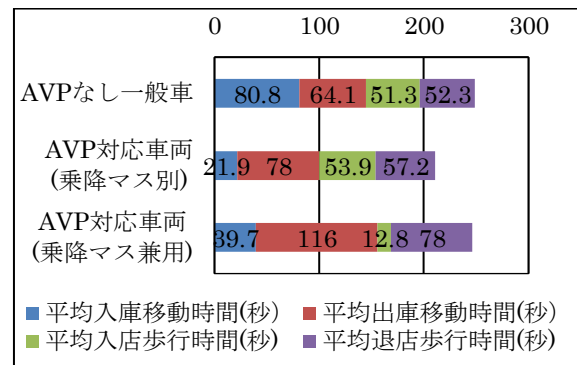


図-7 整備別の駐車行動にかかる時間

処理能力を上げるか、乗車マスを 1 つ減らすことでより効率的になると考える。

7. 駐車行動にかかる時間の評価

図-7の縦軸は、AVP無しのケースでの一般車、乗降マスを分けて整備した際のケースでの AVP 対応車両、乗降マスを兼用に整備したケースでの AVP 対応車両の 3 つを示す。一般車と AVP 対応車両の駐車行動にかかる時間の比較を行うため、一般車は AVP システムを整備した範囲と同じ範囲の駐車マスを利用した車両のデータを抽出した。また、AVP システムを導入するために図-2の右下の通路を封鎖したが一般車のケースでも同様に封鎖し交通量は発生させていない。

乗降マス数は分けて整備したケースでは先と同じく降車 2 台乗車 3 台計 5 台、兼用の場合には 5 台分を設置することとした。

AVP なしの場合には、駐車場入口から駐車マスを入

庫移動時間、駐車マスから駐車場出口を出庫移動時間とする。一般車利用者の駐車マスから店舗入口を入店歩行時間、店舗出口から駐車マスを出庫歩行時間とする。AVP 対応車両の場合は、駐車場入口から降車マスを入店移動時間、乗車マスから駐車場出口を出庫移動時間とする。AVP 利用者の降車マスから店舗入口を入店歩行時間、店舗出口から乗車マスに到着し、さらに車両が到着して乗車を始めるまでを退店歩行時間とする。AVP 対応車両の降車マスから駐車マスまでの時間は無人運転で利用者が関わっていないため入庫時間に含まない。

入庫移動時間の比較を行う。「AVP なし一般車」と「AVP 対応車両（乗降マス別）」の移動時間とでは、62.3 秒の差が生じている。これより、AVP がないと駐車マスに到着する部分で約 1 分余計にかかっている。しかし、降車マスで渋滞が発生すればその分時間も増加するため、利用量に対しての最適数の配備が必要である。出庫移動時間は、「AVP 対応車両（乗降マス別）」が長くなっている。乗車マスでの滞在時間が影響していると考えられる。入店歩行時間は、AVP 利用だと 20.3 秒短縮できる結果となった。AVP 無しの場合、店舗出入口から近いマスと遠いマスとで歩行者の歩行時間に差異があるがここではその平均で示している。AVP 利用の場合には、それに比べて使用する降車マス間での差異は小さくなる。退店歩行時間も AVP 利用者が短い結果となった。しかし、この時間には乗車マスに空きができて車が使用できるようになるまで歩行者が待たされる時間が含まれていることから、ここでの処理能力が大きく影響する。

合計時間は、「AVP なし一般車」248.5 秒、「AVP 対応車両（乗降マス別）」が 211.0 秒となり、AVP システムを導入することにより駐車行動にかかる時間が小さくなることが明らかになった。

「AVP システム（乗降マス別）」と「AVP 対応車両（乗降マス兼用）」の比較を行う。入庫移動時間・出庫移動時間どちらも「AVP 対応車両（乗降マス別）」が短い結果となった。やはり、乗降マス付近での車両同士の交差による待ち時間の発生が「AVP 対応車両（乗降マス兼用）」の時間が長くなった原因として考える。入店移動時間は、降車マスが店舗出入口に近くなったため、兼用マスにした場合のほうが短くなった。退店歩行時間は、乗降マス別の方が短くなった。前述のように乗車マスを車が使用できるようになるまでの歩行者の待ち時間の影響が大きいと考えられる。合計時間は 247.0 秒となり図-3 のレイアウトの合計時間の差が 36.0 秒となった。また、「AVP なし一般車」と比較を行うと 1.5 秒短縮であり時間の変化は小さいものとなった。しかし車両と歩行者との交錯が無くなり安全性が一般車より高いため、兼用マスによる AVP システムの有効性はあると考えら

れる。

8. 結論と今後の課題

本研究で得られた成果は次のとおりである。

- ① 現状の駐車用利用状況のデータを用いて、渋滞が発生しない乗降マスの最適数を明らかにした。また、乗降マスの利用量と所要時間の関係を明らかにし、導入効果の指標を示した。
- ② AVP 対応車両（乗降マス別）の駐車行動にかかる時間は、一般車の約 0.8 倍となることを明らかにした。駐車行動にかかる時間の中でも、平均入庫移動時間が AVP 対応車両（乗降マス別）は、一般車の約 0.5 倍となった。
- ③ 導入前と駐車可能台数が変化しない AVP システムを考慮した駐車場レイアウトの提案をした。また、乗降マスの整備方法の違いによる時間の評価を行い、兼用マスでの AVP システム導入効果を示した。

AVP システムの駐車スペースは、ドアの開閉が不要になるため駐車車間距離を短縮できる。短縮したことにより出来たスペースで乗降マスの整備を行うことが出来るため、AVP システムを導入により駐車可能台数が減少することはない。

乗降マスを降車・乗車を分けて整備を行うためのスペースの確保が厳しい駐車場では、乗降マスを兼用にしても導入効果は見られる。

今後の課題はつぎのとおりである。

まず、AVP システムを導入する際にかかる費用と本研究で示した時間短縮・交差の抑制の効果を総合的に評価することにより導入効果を適切に示すことができると考えられる。また、シミュレータ内では AVP システム利用者が退店の際、利用者が店舗出入口に発生したら AVP システム対応車両が駐車マスから乗車マスに向かい始めるという形で再現した。しかし、より高度なシステムで、利用者が店内で買い物をしている途中でも車両に出庫の指示が出さるようになった場合には、さらなる時間短縮効果が期待できる。この場合、乗車マスに車両が到着してもまだ利用者が来ていないというケースが発生すると考えられ、それらをどのように想定するかが課題となる。

さらに、障害者等優先マスについては今回のシミュレーションではレイアウトとしては現状と同様に店舗出入口近くに設置されていることとしているが、その利用交通の影響は考慮していない。これについても運用の在り方の提案とそれを反映したシミュレーション評価方法の確立が課題と考えられる。

参考文献

- 1) 一般財団法人日本自動車研究所：平成 30 年度高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業：自動バレーパーキングの実証及び高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発，https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000350.pdf，2022 年 9 月 26 日閲覧
- 2) 赤津典生：大型商用施設改装に伴う駐車場内部レイアウト変更でのシミュレーション技術適用への取組み，都市計画論文集，vol.49，No.3，pp.387-392，2014.
- 3) 関口雄也，土井健司，葉健人，猪井博登：時間効率と空間効率に着目した自動バレーシステムの導入効果の分析，土木学会関西支部年次学術講演会講演集，IV-39，2018
- 4) 中村真之介，金森亮，森川高行，萩田健之，磯部俊哉：乗降条件に着目したオートバレーパーキングのシミュレーション評価，信学技報，vol.117，No.431，pp.35-40，2018
- 5) 山田稔：人・車シミュレータを用いた大規模店舗駐車場の横断個所誘導策の評価，土木学会論文集 D3，Vol.75，No.5，I_901-I_910，2019

(Received September 30, 2022)

PROPOSAL FOR LAYOUT OF BOARDING AND ALIGHTING AREAS FOR PEDESTRIAN SAFETY WHEN AVP SYSTEM IS INSTALLED IN A LARGE COMMERCIAL FACILITY PARKING LOT

Yutaro NAGASE, Minoru YAMADA