PMV・歩行者共存空間の路面デザインに対する安心・歩きやすさ評価

吉村　貴克[1]・町田　貴史[1]

[1]非会員　株式会社　豊田中央研究所（〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1）
E-mail:yoshimura@mosk.tytlabs.co.jp, machida@mosk.tytlabs.co.jp

歩行者が通行する歩道や広場に、電動キックボードのような新たな PMV(Personal Mobility Vehicle)の乗り入れを検討する際、歩行者と PMV ユーザー、それぞれの視点での安全性、通行のしやすさを事前に考慮する必要がある。交通ルールの周知と並行して、走行可能な場所を明示したり、歩行者と PMV を分離したりするインフラ整備が必要になる。本研究では、PMV と歩行者が共存する街路空間において、路面パターンや PMV の速度に対する歩行者の安心感や歩きやすさを、VR(Virtual Reality)を用いた主観評価実験により調べた。路面パターンとして、歩車を分離する物理的境界(ポール)や視覚的境界(タイルの色調違いや PMV の走る場所・方向を示す矢印)を用意した。PMV は電動キックボードとし、6km/h もしくは 20km/h で歩行者の側方を通過させた。評価の結果、キックボード速度が速い場合は、物理的な境界が安心感と歩きやすさの評価が高いものの、キックボードが低速であれば、視覚的な境界でも安心感と歩きやすさを両立させることができる可能性があることが示唆された。

Key Words: *歩車共存空間, Personal Mobility Vehicle, Virtual Reality*

1. はじめに

電動キックボードのような自力を必要としない PMV（Personal Mobility Vehicle）は、気軽に近場を移動できる手段として普及が加速していくと予想される。歩行者が通行する歩道や広場に、このような新たな車両の乗り入れを検討する際は、歩行者と PMV ユーザー、それぞれの視点で安全性を事前に考慮する必要がある。特に近年新しく設けられた特定原付 [1]は自転車と同様に、車道だけではなく歩道にも乗り入れ可能であるため、歩行者に対する影響の調査が必要になる [2]。PMV ユーザーへの交通ルールの周知に並行して、走行可能な場所を明示したり、歩行者と車両を分離したりするなど、道路インフラ側の準備も必要になってくる。

一方で、歩行者と PMV を分離すれば安全性は高まるものの、歩行者にとっては狭く、歩きにくい空間になる。街の限られた歩行者の空間を、他の車両の用途に配分すると歩行者にとっては歩きにくい空間となり、さらには街の空間の用途も限定され、街の賑わいに影響を与える可能性がある。そのため、安全性だけではなく、街の賑わいも考慮した道路インフラ設計が必要になる。

関連する既往研究として、自転車用レーンに関して、レーンの導入効果を研究した例がある [3]。また、菱川 [4]、井料 [5]は、歩行者と特定原付のような 1 人乗り小型車両が混在した交通環境での安全性に関して、主観的危険度と衝突確率・強度に基づく客観的危険度との関係、主観的危険度と歩道幅や車両速度との関係を分析している。これらの既往研究を背景に、我々は、歩車共存空間における安心感と歩きやすさを両立する路面パターンにフォーカスを当てた。歩車の分離を緩和しながら、歩行者の安心感や歩きやすさを高める街路のデザインを目的とし、歩行者目線での安全性・歩きやすさと路面パターンの関係を調査した。

本調査では、物理的な境界、もしくは視覚的な境界がある複数種類の路面パターンにおいて、電動キックボードが側方を通過し、不安感や歩きにくさを感じるシーンを被験者に体験、および評価させたい。しかしながら、複数の路面パターンを用意するのは人手と時間を必要とし、さらに電動キックボードを被験者の側方通過させるのは安全面での配慮が必要になる。また、上記シーンを静止画像で被験者に提示する方法も考えられるが、電動キックボードとの距離感や速度感が体験できない。そこで近年技術が飛躍的に進歩している VR 技術を用い、様々な路面パターンや走行する電動キックボードを VR 空間上に再現し、VR ヘッドセットを通して被験者にシーンを体験、および評価させた。本論文では、VR 実験内容、及びその結果について述べる。

2. 方法

VR ヘッドセット（Meta 社製 Rift, Quest2）と、Unreal Engine 5 を用いた VR 実験系を構築した。実験に使用した路面パターンを図 1 に示す。実験に使用した路面パターンは、(a)歩車の境界無し、(b)矢印での視覚的車両通行レーン提示、(c)タイルでの視覚的歩車境界提示、(d)ポールでの物理的車両境界提示の 4 種類用意した。(d)は物理的な境界であるため、他のパターンに比べて歩行者にとっての利用空間は狭くなる。(b)と(c)の違いは、(b)の方が車両通行レーンと察しやすい。

VR 空間上での被験者の視点を図 2 に、被験者と 2 台の電動キックボードの位置関係を図 3 に示す。電動キックボードは 2 台走行し、電動キックボード A は正面から、電動キックボード B は被験者の 1m 側方（被験者とキックボードの中心間距離）を背後から通過する。電動キックボードの速度は、6km/h と 20km/h の 2 種類用意し、電動キックボード A, B は同じ速度で通過する。被験者は、電動キックボード A に注意が向いている時に、電動キックボード B が側方を通過する状況を体験する。

被験者として、20 代から 50 代の男女 20 名の一般成人を募集した。被験者は、転倒を避けるために椅子に座った状態（図 4）で VR 体験した。刺激は、路面パターン 4 種類、電動キックボードの速度 2 種類の組合せ、計 8 条件（キックボード速度, 道路パターン={“6km/h, 無し”, “6km/h, 矢印”, “6km/h, タイル”, “6km/h, ポール”, “20km/h,無し”, “20km/h, 矢印”, “20km/h, タイル”, “20km/h, ポール”}）で、ランダムな順で 8 条件から 2 条件ずつ、計 28 回、被験者に提示した。被験者は、2 条件を体験する度に、どちらが安心だったか、歩きやすいと感じたかを図 5 に示す選択画面上で、VR コントローラを使って入力した。

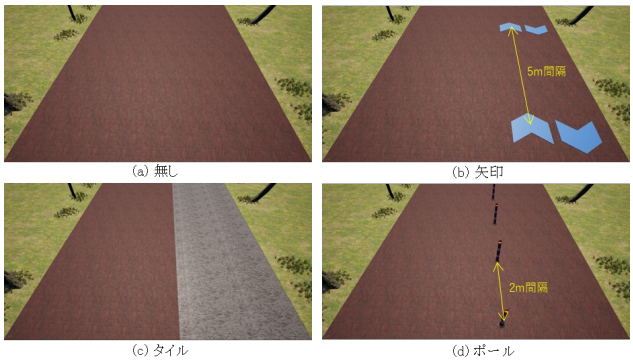


図 1. 実験で使用した 4 種類の路面パターン



図 2. VR 体験時の被験者の視点
（路面パターンは 4 種類重畳）

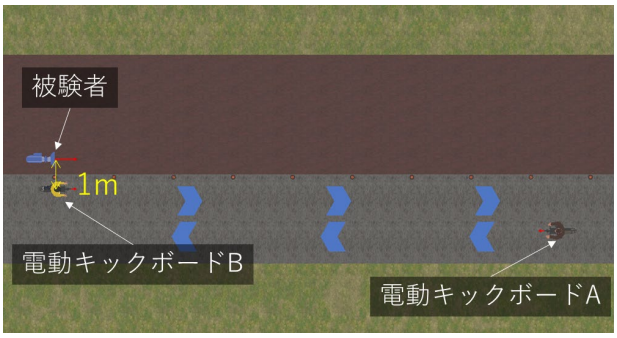


図 3. VR 空間の俯瞰図
（路面パターンは 4 種類重畳）

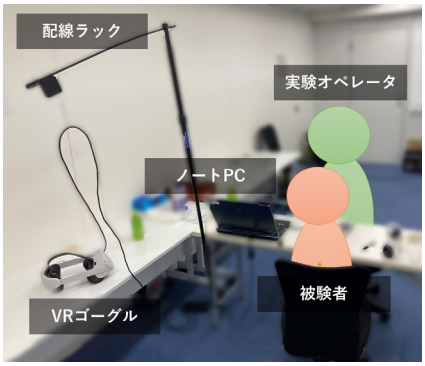


図 4. 実験の様子

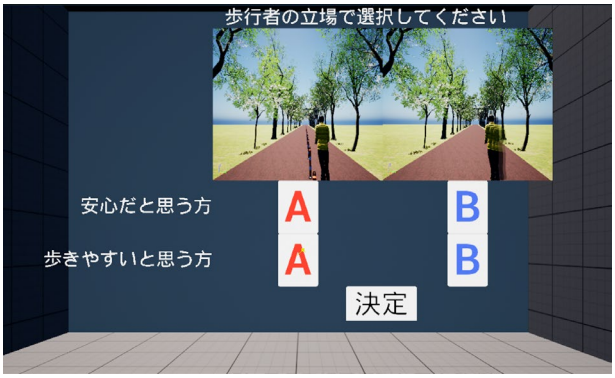


図 4. 2 つの条件を体験した後の選択画面

4. 結果

一対比較実験によって得られた選択結果に対し、選んだ条件を 1 点、選ばなかった条件を-1 点とし、Scheffeé の一対比較法（中屋の変法） [6]により、各条件の平均の評価値を算出した。評価値は安心感、および歩きやすさの心理尺度上の高さを表す。さらに得られた評価値の各条件間の差が有意かどうかを中屋の変法により検定した。

安心感に関して、算出した評価値と、および評価値の条件間差の検定結果をそれぞれ図 5、および図 6 に示す。図 6 の各セルの値は、図 5 の評価値を各条件間で差をとったものであり、白色のセルは、条件間で有意な差があるとは認められなかった比較となる。本評価実験では、

- 全体的にキックボード速度 20km/h よりも 6km/h の方が、安心感が高い（図 5）、
- 個別にみると、“6km/h, ポール”が他条件と有意な差をもって最も安心感が高い（図 6①）、
- 次いで、“6km/h, 矢印”と“6km/h, タイル”、“20km/h, ポール”が、安心感が高い（図 5）、

という結果が得られた。

歩きやすさに関して、実験結果から算出した評価値と、評価値の条件間差の検定結果をそれぞれ図 7、および図 8 に示す。本評価実験では、

- キックボード速度 20km/h と 6km/h を比較すると、安心感と同様に 6km/h の方が歩きやすく、条件毎にみると、“6km/h, 矢印”、“6km/h, タイル”、“6km/h, ポール”が歩きやすい（図 7）、
- “6km/h, ポール”より“6km/h, タイル”の方が歩きやすい（図 8②）、
- “20km/h, ポール”より、“6km/h, 矢印”と“6km/h, タイル”の方が歩きやすい（図 8③）、
- キックボード速度が高いと路面パターンによる歩きやすさの差が出にくい（図 8④）、

という結果が得られた。

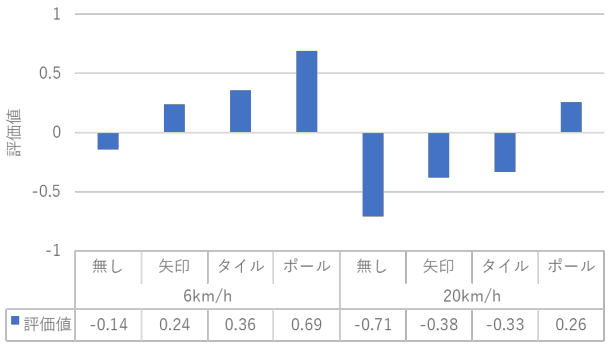


図 5. 安心感に関する各条件の評価値

		6km/h				20km/h			
		無し	矢印	タイル	ポール	無し	矢印	タイル	ポール
6km/h	無し	0.00	0.38	0.50	① 0.82	-0.57	-0.24	-0.19	0.40
	矢印	-0.38	0.00	0.12	0.45	-0.95	-0.61	-0.56	0.03
	タイル	-0.50	-0.12	0.00	0.33	-1.07	-0.74	-0.69	-0.10
	ポール	-0.82	-0.45	-0.33	0.00	-1.40	-1.06	-1.01	-0.42
20km/h	無し	0.57	0.95	1.07	1.40	0.00	0.34	0.39	0.98
	矢印	0.24	0.61	0.74	1.06	-0.34	0.00	0.05	0.64
	タイル	0.19	0.56	0.69	1.01	-0.39	-0.05	0.00	0.59
	ポール	-0.40	-0.03	0.10	0.42	-0.98	-0.64	-0.59	0.00

：危険率1%で有意差　：危険率5%で有意差

図 6. 安心感に関する評価値の条件間差の検定結果

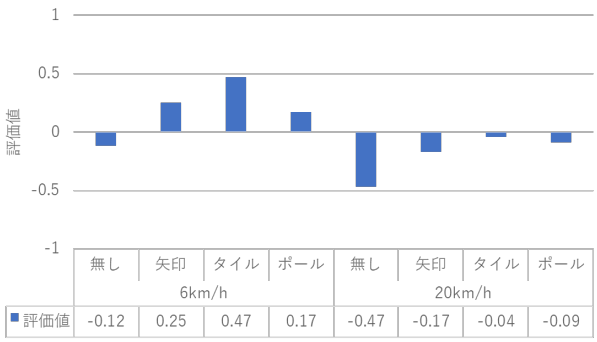


図 7. 歩きやすさに関する各条件の評価値

		6km/h				20km/h			
		無し	矢印	タイル	ポール	無し	矢印	タイル	ポール
6km/h	無し	0.00	0.38	0.60	0.30	-0.35	-0.05	0.09	0.04
	矢印	-0.38	0.00	0.22	-0.08	-0.72	-0.42	-0.29	③ -0.34
	タイル	-0.60	-0.22	0.00	② 0.30	-0.95	-0.65	-0.51	-0.56
	ポール	-0.30	0.08	0.30	0.00	-0.65	-0.35	-0.21	-0.26
20km/h	無し	0.35	0.72	0.95	0.65	0.00	0.30	0.44	0.39
	矢印	0.05	0.42	0.65	0.35	-0.30	0.00	④ 0.14	0.09
	タイル	-0.09	0.29	0.51	0.21	-0.44	-0.14	0.00	-0.05
	ポール	-0.04	0.34	0.56	0.26	-0.39	-0.09	0.05	0.00

：危険率1%で有意差　：危険率5%で有意差

図 8. 歩きやすさに関する評価値の条件間差の検定結果

6. 考察とまとめ

今回の実験結果から、キックボード速度が低くなると、安心感や歩きやすさは全体的に上がり、特に歩きやすさに関しては、キックボード速度が低いときに路面デザインの効果が出やすいことが示唆された。また、キックボード速度が低ければ、物理的な境界（ポール）ではなく、視覚的な境界（タイルや矢印）で安心感と歩きやすさを両立させることができる可能性がある。本実験では、特定原付の歩道での最高速度である 6km/h を、電動キックボードの速度として設定したが、歩行者と同程度の速度(時速 4.8km/h 以下)に設定すれば、より安心感と歩きやすさが向上すると考えられる。よって、歩行空間に PMV を導入しながら、空間の自由度を高めるには、PMV の制限速度の調整が鍵となる可能性がある。

今回の実験で議論できていないことの一つとして、現実空間での体験と VR 空間での体験の差異がある。速度感・距離感に差異があることは様々な既存研究から明らかになっている [7]。そのため、今回の実験ではキックボードの速度感に関しては、現実とは一致していない可能性がある。しかし、キックボードの速度が減少することによって、路面パターンの効果が出てくることは本結果から示唆される。

今回の未検討事項として、60 代以上の高齢者に対する調査がある。文献 [8]によると、電動キックボードの主な利用者の年代は 20 代～40 代であり、また、電動キックボードの乗車経験がある歩行者は、電動キックボードに遭遇した時の不安が小さいという調査結果がある。そのため、特定原付が歩道に入ることで不安を強く抱く可能性のある 60 代以上の高齢者に対するケアも、重要な検討事項となりうる。

参考文献

1) “特定小型原動機付自転車について,” https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000058.html.
2) Kazemzadeh, Khashayar and Sprei, Frances , “Towards an electric scooter level of service: A review and framework,” Travel behaviour and society, 2022.
3) DiGioia, Jonathan, et al., “Safety impacts of bicycle infrastructure: A critical review,” Journal of safety research, 2017.
4) 菱川貴之, 井料美帆, “パーソナルモビリティと歩行者の混在交通における主観的危険度評価指標の提案,” 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 2022.
5) 井料美帆, 菱川貴之, “電動 1 人乗りモビリティと歩行者の混在交通下における主観的危険度のシミュレーション評価,” 第 66 回土木計画学研究発表会・講演集, 2022.
6) 高木英行, “使える! 統計検定・機械学習-III: 主観評価実験のための有意差検定,” システム/制御/情報, 2014.
7) Schneider, Sonja, et al, “Pedestrian crossing decisions in virtual environments: behavioral validity in CAVEs and head-mounted displays.,” Human factors, 2022.
8) Boglietti, Stefania, et al., “Survey on e-powered micro personal mobility vehicles: Exploring current issues towards future developments,” Sustainability, 2021.

(2023. 10. 13 受付)

SAFETY AND WALKABILITY EVALUATION OF ROAD SURFACE DESIGN FOR PMV AND PEDESTRIAN COEXISTENCE SPACE

Takayoshi YOSHIMURA and Takashi MACHIDA

When considering the incorporation of new Personal Mobility Vehicles (PMVs) such as electric scooters on sidewalks and plazas where pedestrians pass, it is necessary to consider safety and ease of passage in advance from the perspective of both pedestrians and PMV users. In parallel with the dissemination of traffic rules, it is necessary to develop infrastructure to clearly indicate where vehicles can be driven and to separate pedestrians from PMVs. In this study, pedestrians' sense of security and walkability with respect to road surface patterns and the speed of PMVs were investigated in a street space where PMVs and pedestrians coexist, through a subjective evaluation experiment using virtual reality (VR). The PMVs were motorized kickboards that passed by pedestrians at either 6 km/h or 20 km/h. The results showed that the kickboards were faster than the pedestrians, and the pedestrians felt more comfortable walking on the kickboards. Evaluation results suggested that although physical boundaries were rated higher for both security and walkability when the kickboard speed was high, visual boundaries may be able to provide both security and walkability when the kickboard speed was low.