

研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	車道上での電動キックボード混在時の安全・快適な道路空間デザイン
研究者名※	鈴木 一史
所属組織※	群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 (静岡理工科大学 理工学部 土木工学科 准教授)
研究種別	研究助成
研究分野	都市交通システム、エネルギー計画
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2022年度研究助成実施報告書

所属機関名 静岡理科大学
申請者氏名 鈴木 一史

研究課題	車道上での電動キックボード混在時の安全・快適な道路空間デザイン
(概要) 本研究では、車道上を走行する電動キックボード利用者の不安感および希望走行位置に道路交通条件がどのような影響を及ぼすかについて、VRシミュレータによる被験者実験により評価した。具体的には、電動キックボード走行を体験可能なVRシミュレータ上で、自動車速度、自動車交通量、歩行者交通量が異なる9つの走行シナリオを再現し、10名の被験者がこれら走行シナリオを体験し、車道走行時の不安感および希望走行位置に関するアンケート結果からコンジョイント分析を行った。その結果、不安感については自動車交通量の影響が大きく、自動車交通量が多いほど不安感が高まること、希望走行位置については歩行者交通量、自動車交通量の順に影響が大きく、歩道上に歩行者が存在せず自動車交通量が多いほど、歩道走行を希望することが明らかとなった。	

1. 研究の目的
<p>近年、海外の主要都市においてラストワンマイルの移動手段として普及しつつある電動キックボード（以下、「電動KB」と表記）は、わが国においても都市部を中心に各地でシェアリングサービスが始まり、利用が拡大しつつある。電動KBは、わが国の現行の道路交通法では「原動機付自転車」としての扱いとなり、車道走行が原則となっている。その一方で、電動キックボードに関する道路交通法の改正案が2022年4月に成立、2023年7月に施行され、最高速度が20km/h以下の「特定小型原動機付自転車」という車両区分が新たに設けられ、該当する電動KBでは、車道に加えて普通自転車専用通行帯（自転車レーン）の通行も可能となった。これにより、電動KBはより自転車に近いモビリティとなることで、その利用が今後さらに増えるものと予想されが、自転車走行空間の整備が十分とはいえないわが国の道路環境では、交通量や自動車との速度差によっては電動KB利用者が車道走行に不安を感じ、歩道走行するケースが生じる恐れもある。したがって、電動KB利用者の特性を踏まえ、様々な道路環境に応じて望ましい道路空間構成のあり方を明らかにしていくことは、電動KBと他の交通主体が安全・快適に共存可能な走行空間を創出する上で喫緊の課題である。</p> <p>そこで本研究では、様々な道路環境を再現可能なバーチャルリアリティ（VR）を活用した被験者実験により、車道上での電動KB混在時の安全・快適な道路空間デザインのあり方を明らかにすることを目的とする。具体的には、VRにより電動KBと自動車が混在する様々な道路交通状況を仮想空間内に再現し被験者に走行してもらうことで、走行速度、追い越し時の離隔距離、道路空間構成の違いが、電動KB利用者の不安感や走行受容性に及ぼす影響を明らかにする。</p>

2. 研究の経過

2.1 VR シミュレータの構築

本研究で構築した VR シミュレータは、図 1 に示すように実物の電動 KB を台座に固定し、ハンドル、アクセル、ブレーキの 3 箇所に装着したセンサからハンドルのステアリング角度、アクセルレバーの押し込み量、ブレーキレバーの引き量を取得し、二輪車の車両運動モデルを通じて VR 上での電動 KB の走行挙動を再現するものである。車両運動モデルのパラメータは実機の電動 KB (Segway-Ninebot 社 G30L) の実走行データに基づき、自然な走行挙動が再現されるよう調整している。併せて、ヘッドマウントディスプレイ (HMD, HP 社 Reverb G2) を通じて電動 KB 乗車時の高さからの視界を再現するとともに、電動 KB のモーター音や周辺車両のエンジン音もドップラー効果を加味して再現することで臨場感を高めている。また、周辺車両および歩行者は、設定交通量に応じてポアソン分布に従い発生させている。



図 1 構築した VR シミュレータ

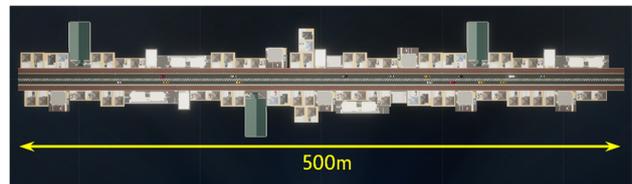


図 2 VR 実験で再現された道路区間



図 3 VR 実験で用いた道路の横断構成



図 4 被験者が体験する VR 映像

2.2 考慮する影響要因と実験パターン

本研究では、電動 KB 利用者の不安感および希望走行位置に影響を及ぼすと考えられる交通状況に関する要因として、自動車速度、自動車交通量、歩行者交通量、自転車レーンの有無、自転車交通量を考慮する。ここでは歩道走行意思の影響を検証する実験 A と、車道上での不安感への影響要因を自転車レーンの有無に応じて検証する実験 B の 2 種類の実験を計画した。実験では市街地の住区内道路から補助幹線道路までを想定し、自動車速度はいずれの実験でも 30 / 40 / 50km/h の 3 水準とする。実験 A では、自動車交通量は片側 200 / 600 / 1000 台/時、歩行者交通量は片側 0 / 250 / 500 人/時とする。実験 B では、自動車交通量は片側 300 / 600 / 900 台/時、自転車交通量を 0 / 100 / 200 台/時の 3 水準とし、路肩幅員は自転車レーンなしでは 0.5 / 1.0 / 1.5m、自転車レーンありでは 1.0 / 1.5 / 2.0m の 3 水準とする。実験計画法に基づき L9 直交表を用いて表 1~3 の各 9 つの走行パターンに集約し、被験者は実験 A、実験 B それぞれについて各パターン 1 回ずつ走行する。なお、順

序効果の影響を軽減するため、被験者ごとに実施順序をランダム化するものとする。

2.3 走行条件

被験者は図2に示す歩道が整備された片側1車線の道路区間を20km/hの一定速度で走行する。道路の横断構成は図3の通りであり、被験者は自転車レーンなしの場合は車道左端を、自転車レーンありの場合は自転車レーン内を約1分間にわたり走行を続ける。なお、被験者が周辺車両に追い越されるとき車両との離隔距離は走行時の不安感に影響すると考えられるが、今回は離隔距離の違いは考慮せず、車両との離隔距離は実験パターンによらず常に1.0mで一定とする。被験者が実験中にHMDを通じて体験する映像を図4に示す。

2.4 被験者および実験手順

被験者は実験参加に同意が得られた大学生10名（19～20歳、男性8名・女性2名、電動キックボードの走行経験なし）として2024年2月5日～2月7日にかけて実験を実施した。実験前に事前アンケートに回答してもらったのち、VRシミュレータ上での電動KBの運転方法について説明を受け、VR空間内で慣らし走行を行う。被験者が運転操作に十分に慣れたことを確認した上で実験を開始する。各パターンの走行終了時に簡易なアンケート調査を行い、走行中の不安感を「とても不安」から「全く不安でない」の5段階で、希望走行位置を「歩道」から「車道」までを5段階で回答してもらう。なお、希望走行位置の回答に際しては、体験走行した交通状況のときに歩道・車道のどちらを走行したいかを現行の道路交通法を意識せずに回答するよう被験者には伝えている。全9パターンの走行を完了した後、事後アンケートに回答してもらうことで実験終了とする。

表1 走行パターン（実験A）

No.	自動車速度 (km/h)	自動車交通量 (台/時)	歩行者交通量 (人/時)
1	30	1000	500
2	30	600	250
3	30	200	0
4	40	1000	250
5	40	600	0
6	40	200	500
7	50	1000	0
8	50	600	500
9	50	200	250

※自動車交通量および歩行者交通量はいずれも片側方向の交通量

表2 走行パターン（実験B, 自転車レーンなし）

No.	路肩幅員 (m)	自動車速度 (km/h)	自動車交通量 (台/時)	自転車交通量 (台/時)
1	0.5	30	600	200
2	0.5	40	300	0
3	0.5	50	900	100
4	1.0	30	300	100
5	1.0	40	900	200
6	1.0	50	600	0
7	1.5	30	900	0
8	1.5	40	600	100
9	1.5	50	300	200

表3 走行パターン（実験B, 自転車レーンあり）

No.	路肩幅員 (m)	自動車速度 (km/h)	自動車交通量 (台/時)	自転車交通量 (台/時)
10	1.0	30	600	200
11	1.0	40	300	0
12	1.0	50	900	100
13	1.5	30	300	100
14	1.5	40	900	200
15	1.5	50	600	0
16	2.0	30	900	0
17	2.0	40	600	100
18	2.0	50	300	200



No. 1, 2, 3

No. 4, 5, 6

No. 7, 8, 9

(a) 自転車レーンなし



No. 10, 11, 12

No. 13, 14, 15

No. 16, 17, 18

(b) 自転車レーンあり

図5 実験Bにおける各パターンの道路空間のイメージ

3. 研究の成果

3.1 不安感および希望走行位置の被験者回答状況（実験 A）

実験パターンごとに被験者の不安感と希望走行位置の回答結果を集計したものを図 6、図 7 に示す。走行中の不安感（図 6）については、自動車交通量が最も多い 1000 台/時のパターン 1、4、7 において不安感が高く、自動車交通量が最も少ない 200 台/時のパターン 3、6、9 において不安感が低い傾向にあり、自動車交通量の影響が顕著にみられる。一方、希望走行位置（図 7）については、歩行者が歩道上に存在しないパターン 3、5、7 において「歩道」走行を希望する傾向にあり、その度合いも自動車交通量の多い順に従って 7>5>3 の順で高いことから、自動車交通量にも影響を受けていることが窺える。また、不安感と歩道走行にやや正の相関がみられ（ $R=0.370$, $P<.001$ ）、車道走行時の不安感が高まるほど歩道走行を希望する傾向にある。

3.2 不安感の被験者回答状況（実験 B）

自転車レーンの有無に応じた各パターン別の被験者の不安感の回答状況を図 8、図 9 に示す。自転車レーンなしのケース（図 8）より、路肩幅員が広いほど不安感は低減する傾向にあるが、自転車交通量が最も多い 200 台/時では同一の路肩幅員であっても不安感が高まる傾向にある。自転車レーンありのケース（図 9）においても同様の傾向がみられ、路肩幅員が広いほど不安感は低減する傾向にある。一方で、パターン 18 のように路肩幅員が広くても、自転車交通量が多く車道上の自動車速度が高い場合には、利用者の不安感が高い傾向にあり、自転車レーンではなく構造的に分離した走行空間とすることが利用者の不安感低減には望ましいものと推察される。

3.3 不安感および希望走行位置に及ぼす影響要因のコンジョイント分析

実験 A の結果に基づき、電動 KB 利用者の不安感および希望走行位置に及ぼす影響要因を明らかにするため、走行直後のアンケート結果に基づきコンジョイント分析を行った。なお、分析に

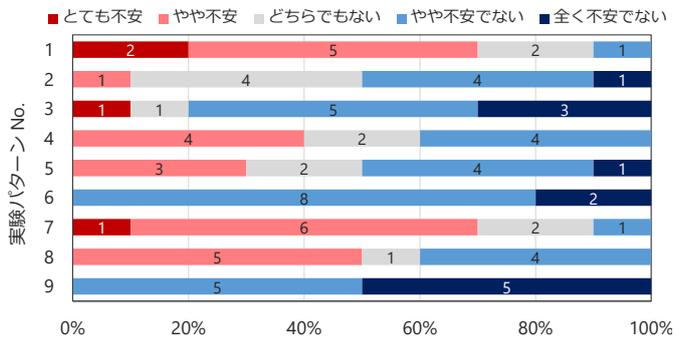


図 6 不安感の回答状況（実験 A）

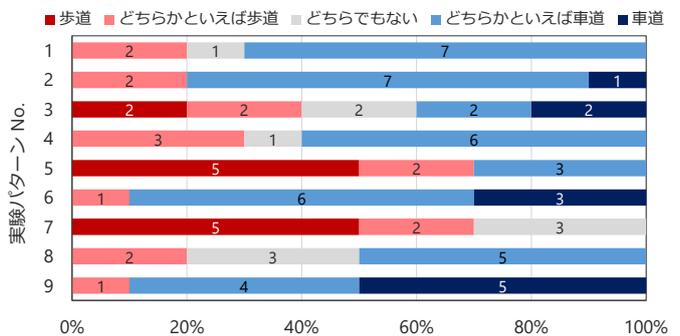


図 7 希望走行位置の回答状況（実験 A）

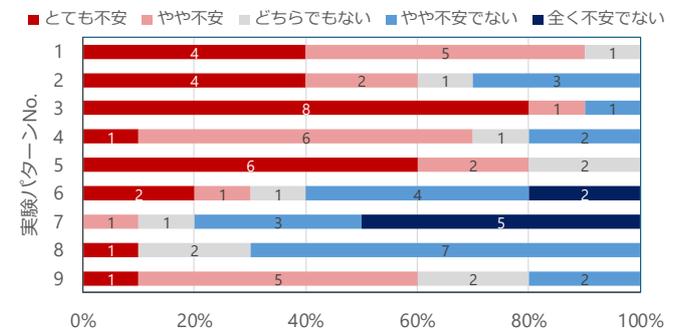


図 8 不安感の回答状況（実験 B, レーンなし）

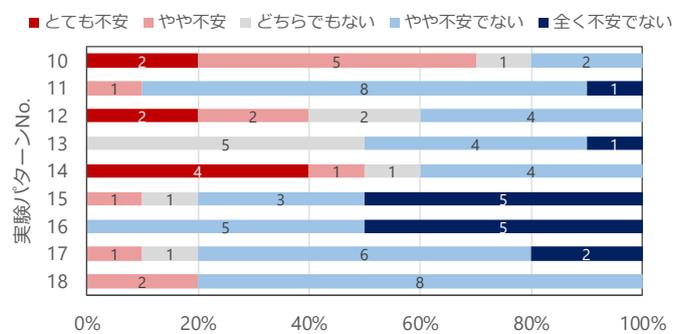


図 9 不安感の回答状況（実験 B, レーンあり）

際しては、被験者の走行後アンケートの回答 5 段階評価値を目的変数に用いた。不安感および希望走行位置に関する推定結果を表 4 および表 5 に示す。部分効用値が高いほど不安感および歩道への走行希望が高いことを表す。今回の実験では、被験者数が 10 名と限られたサンプルサイズの実験結果であるため、自由度修正済み決定係数は低く、必ずしも良好とはいえない結果となっている。

不安感に関しては表 4 より、自動車交通量が不安感に最も影響を及ぼしており、交通量が多くなるほど不安感が高まることがわかる。一方、自動車走行速度の影響は小さいものの 40km/h で不安感が最も低い傾向にある。これは、車道上の自動車との速度差が比較的小さい場合には併走時間が長くなることで不安感が高まり、速度差が大きい場合には併走時間が短くなることで不安感は低くなる一方、さらに速度差が大きくなると、自動車が高速であることの影響が卓越するためと推察される。

希望走行位置に関しては表 5 より、歩行者交通量、自動車交通量の影響が大きく、自動車走行速度の影響は小さいといえ、自動車交通量が多いほど歩道走行を希望する傾向にある。歩行者交通量は歩道上に歩行者が存在しないときは歩道走行をしやすく、歩行者交通量が増加するに従い歩道走行しにくくなるものの、250 人/時と 500 人/時の差は小さい。歩行者交通量が一定レベルを超えた場合には、利用者認識に対する歩行者交通量の多寡は大きく影響しない可能性がある。

表 4 不安感のコンジョイント分析結果

要因	水準	部分効用値	重要度
自動車 走行速度	30 km/h	0.111	26%
	40 km/h	-0.189	
	50 km/h	0.078	
自動車 交通量	200 台/時	-0.889	49%
	600 台/時	0.078	
	1,000 台/時	0.811	
歩行者 交通量	0 人/時	0.144	25%
	250 人/時	-0.356	
	500 人/時	0.211	

(サンプルサイズ $N=90$, 自由度調整済み決定係数 $\bar{R}^2 = 0.402$)

表 5 希望走行位置のコンジョイント分析結果

要因	水準	部分効用値	重要度
自動車 走行速度	30 km/h	-0.167	23%
	40 km/h	0.067	
	50 km/h	0.100	
自動車 交通量	200 台/時	-0.567	34%
	600 台/時	0.200	
	1,000 台/時	0.367	
歩行者 交通量	0 人/時	0.933	43%
	250 人/時	-0.534	
	500 人/時	-0.400	

(サンプルサイズ $N=90$, 自由度調整済み決定係数 $\bar{R}^2 = 0.342$)

4. 今後の課題

本研究では、車道上を走行する電動 KB 利用者の不安感および希望走行位置に対して、道路交通条件がどのような影響を及ぼすかについて、VR シミュレータによる被験者実験により評価した。その結果、不安感については自動車交通量の影響が大きく、自動車交通量が多いほど不安感が高まることが明らかとなった。また、希望走行位置については歩行者交通量、自動車交通量の順に影響が大きく、歩道上に歩行者が存在せず、自動車交通量が多いほど歩道走行を希望する傾向にあることが明らかとなった。

本研究は、被験者年齢が 20 歳前後の若年者 10 名という限定的なサンプルに基づくものであることから、今後はサンプルサイズを確保するとともに、年代の違いや電動 KB 乗車経験の有無などの影響についても検討していくことが課題として挙げられる。また、今回の VR 実験では、追い越し時の自動車の離隔量は一定としたが、離隔量の違いによる影響や、電動 KB と周辺自転車との速度差の違いが利用者の追い越し挙動に及ぼす影響等についても検討する必要がある。