

電動二輪モビリティと既存交通モードの親和性に関する研究

井村 公一¹・小嶋 文²・久保田 尚³

¹非会員 さいたま市役所 都市局 都市計画課 (〒330-9588 埼玉県さいたま市浦和区常盤6-4-4)
E-mail:jep45-a1z1@city.saitama.lg.jp

²正会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 准教授 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)
E-mail:kojima@dp.civil.saitama-u.ac.jp

³フェロー会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 教授 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)
E-mail: hisashi@dp.civil.saitama-u.ac.jp

諸外国において、電動モーターで自走し、ペダルによる走行も可能な「フル電動自転車」の利用が広まっている。日本では法律上位置づけのない乗り物となっているが、本研究では、高齢化や子育て支援等への今後の活用可能性を念頭に、他モードとの混合交通を考慮したフル電動自転車の走行実験を行い、各車両に乗車している時の運転者の笑顔度、歩行時のストレス値、フル電動自転車の速度、追い越し挙動のデータ収集を行った。その結果、普通自転車とフル電動自転車の間に、運転者の笑顔度や歩行者のストレス値に大きな違いは見られなかった。また、フル電動自転車の平均速度は12km/h程度であり、特に危険な速度ではないが、フル電動自転車の最高速度の平均は16km/h程度であり、普通自転車と比べるとやや速い速度となっていたことも明らかとなった。

Key Words : *bicycle, electric two-wheeled mobility, transportation mode, affinity*

1. はじめに

近年、健康や環境への意識の高まり等の理由で、我が国における自転車利用者は増加傾向にあり、特に通勤・通学、買物等の身近な目的地への移動の手段として利用されており、また環境的に持続可能な乗り物として自転車に注目が集まっている。

一方で、我が国では、少子高齢化や人口減少等といった深刻な社会問題を抱えており、こうした背景から身体的負担を軽減できる乗り物の需要が高まっている。

そこで本研究では、自転車型電動二輪モビリティ（以下フル電動自転車とする）に着目した。フル電動自転車は、ハンドルに搭載されているスロットルを回すことで、ペダルを回さなくても進むことができる乗り物であり、両足を接地した状態で発進することが可能である。著者の先行研究¹⁾では、発進時や坂道走行時における安全性や快適性について、電動アシスト自転車と似たような特徴が見られ、普通自転車よりも優れた乗り物である可能性が高いことが分かっている。

このような乗り物は中国をはじめ、諸外国で利用が広がっており、また様々な研究が行われてきている。

例えば、Luら²⁾は中国において電動自転車利用者の危険な行動と安全性の影響の比較分析を行い、電動自転車や普通自転車に通行権を譲らない自動車運転者は、電動自転車の事故の77.7%を占めており、普通自転車の事故の76.1%を占めている事を明らかとしている。Linら³⁾は、中国における電動自転車運転者の心理と事故への関係性を分析し、運転ミスや攻撃的な行動を頻繁にする電動自転車運転者は、事故に関わりやすい傾向にあったということを示している。Weberら⁴⁾は、スイスにおける事故の特徴について、年齢分布や事故のタイプ、ヘルメットの利用、損傷の深刻さ等の関係性を分析し、電動自転車運転者と自転車運転者のいずれにおいても、0-39歳より40歳以上の方が、より頻繁に深刻な・致命的な傷害を起こすという傾向にあったということを示している。このように、海外では、電動二輪モビリティの事故分析が行われていると同時に、電動二輪モビリティの利用特性の研究も進められている。

例えば、Weinert ら⁹⁾は、中国において普通自転車利用者と電動自転車利用者にインタビューを行い、電動自転車の利用特性等についての研究を行った結果、電動自転車利用者は自転車利用者より、平均でさらに 32%の距離を移動していた。電動自転車による移動の目的は主に通勤や通学で、移動頻度は 1 日当たり 2~4trip であったということを報告している。また、普通自転車と電動自転車を通勤手段として選んだ理由として、普通自転車は快適性や道路渋滞を回避するために利用しており、電動自転車は普通自転車よりも速いから、快適だから等という理由が挙げられていたと報告している。Dill ら⁹⁾は、アメリカで電動自転車がどのように扱われているのかを調査し、電動自転車所有者の多くは、普通自転車または自動車の代わりとして電動自転車を利用していることを明らかにした。また、電動自転車所有者は電動自転車と普通自転車の速度差に関してネガティブな印象を抱いており、特に自転車レーン内を走行するときの錯綜に不安を感じていたと報告している。

以上のように、海外では様々な研究がなされている。一方で、我が国では、現在、フル電動自転車は自転車として位置付けられておらず、ミラーや方向指示器等の搭載やナンバープレートの申請、ヘルメットの装着、保険等の様々な条件を満たすことによって原動機付自転車として扱われることになっている。

もし、このフル電動自転車が、我が国でも自転車と似たような扱いで公道を走行することが出来れば、免許を返納した高齢者や子育て世代の女性をはじめ様々な人々にとって利用しやすい乗り物となるのではないかと考えられる。しかし、これまで、我が国でフル電動自転車が公道を走行した場合の利点や課題、活用可能性等はほとんど考えられていない。

そこで本研究では、このフル電動自転車が普通自転車に近い位置付けで公道を走行出来るようになった場合における、他の交通への影響や課題等を見つけ出し、フル電動自転車の位置付けや公道への導入可能性を検討していく上での情報を収集することを目的としている。

2. 実験概要

本実験は、埼玉大学構内の道路において、2016年1月5日から1月7日までの3日間実施した。実験時間は、運転者の表情が撮影できるような明るい時間帯を選び、9:00~16:00とした。被験者は自動車運転免許を持っている大学生30名で、内27名が男子学生、3名が女子学生であった。

走行実験を実施した道路は、全長約60m、幅員7mであり、本実験では幅員2mの自転車道、幅員3mの歩道、幅

員4mの単断面道路の3つの道路空間を想定し、条件によってカラーコーンを移動させて幅員を変更して行った。

本実験では、変速機のない普通自転車、フル電動自転車、普通自動車を使用し、運転者の笑顔度測定調査、歩行者のストレス測定調査、フル電動自転車の速度調査を実施し、また実験終了後にアンケート調査を実施した。

フル電動自転車の走行条件として、前方の自転車を追い越してはいけない場合と、追い越しについて制限を設けないパターンでの走行を実施し、挙動の違い及び心理的側面について検討した。

(1) 運転者の笑顔度測定調査

図-1のように普通自転車とフル電動自転車のハンドル、自動車の車内にビデオカメラを設置し、運転中の運転者の表情を撮影した。撮影した映像からオムロン株式会社の表情認識センサーによって笑顔度を解析した。

a) 表情認識について

オムロン株式会社のセンサーOKAO Vision (図-2)を用い、取り込んだ動画から顔を認識して目や口の形、顔のしわなどの情報から笑顔度合いを約2秒に1度、0~100%までの数値で出力するシステムを用いた。



図-1 普通自転車・フル電動自転車・自動車のビデオカメラ



図-2 オムロン株式会社の表情認識センサー (出典: オムロン株式会社ウェブサイト⁷⁾)

(2) 歩行者のストレス測定調査

フル電動自転車とのすれ違い時または追い越し時に、歩行者にかかるストレスを測定するため、被験者には手に皮膚電位計を装着させて実験を実施した。

a) 皮膚電位計について

皮膚電位計は、精神的緊張の水準でもある覚醒水準を計測する時に用いる皮膚電位水準 (SPL) を計測する装置である。SPLは興奮時に陰性に高い値を示し、リラックスしている時には陰性が低下する。すなわち、このSPLは、ストレスを外的に与えられるときも陰性方向に高い値を示すということになる。

(3) フル電動自転車の速度調査

フル電動自転車はスロットルのみで加速が可能のため、他モードとの速度の違いについて検討する必要がある。そこで、フル電動自転車に搭載したスピードメーターから走行している速度を測定し、歩行者や自動車とすれ違った時の速度等を調査した。

3. 実験結果

(1) 運転者の笑顔度測定調査結果

自転車道上、歩道上、単断面道路路上で普通自転車、フル電動自転車、自動車を運転している時の笑顔度を計測した。被験者は 30 名であるが、逆光等によって笑顔度を検出できない場合もあり、実際に分析で使用したサンプル数が 30 に満たない場合があった。

まず、自転車道上において、フル電動自転車の追い越し挙動別に見た、普通自転車とフル電動自転車の運転中の平均笑顔度の測定結果を図-3 に示す。

これをみると、普通自転車では追い越され方による平均笑顔度の違いは見られなかった。またフル電動自転車においても、平均値の差の検定の結果、有意な差は見られなかった。

次に、歩道上において、フル電動自転車の追い越し挙動別に見た、普通自転車とフル電動自転車の運転中の平均笑顔度の測定結果を図-4 に示す。

これを見ると、普通自転車、フル電動自転車のどちらにおいても、追い越してはいけない時に平均笑顔度が低くなっていた。平均値の差の検定を行ったところ有意な差は見られなかった。

これより、自転車道上と歩道上のどちらにおいても、普通自転車とフル電動自転車の間に、走行中の快適性に大きな差はないと言える。

続いて、単断面道路路上において、歩行者がいない時のフル電動自転車の追い越し挙動別に見た、普通自転車と

フル電動自転車と自動車の運転中の平均笑顔度の測定結果を図-5 に示す。

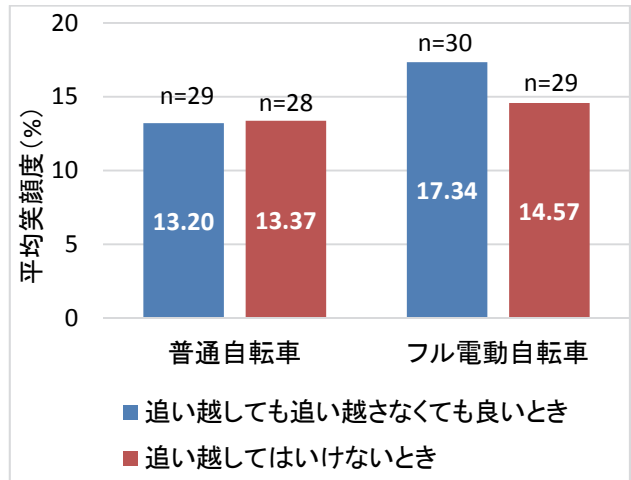


図3 自転車道上を普通自転車とフル電動自転車で走行している時の平均笑顔度

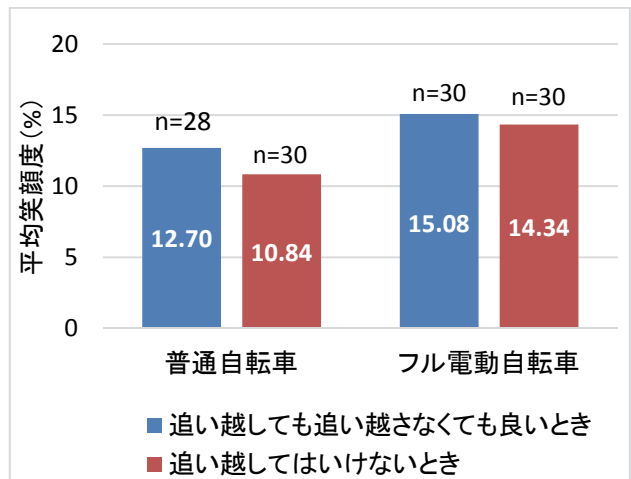


図4 歩道上を普通自転車とフル電動自転車で走行している時の平均笑顔度

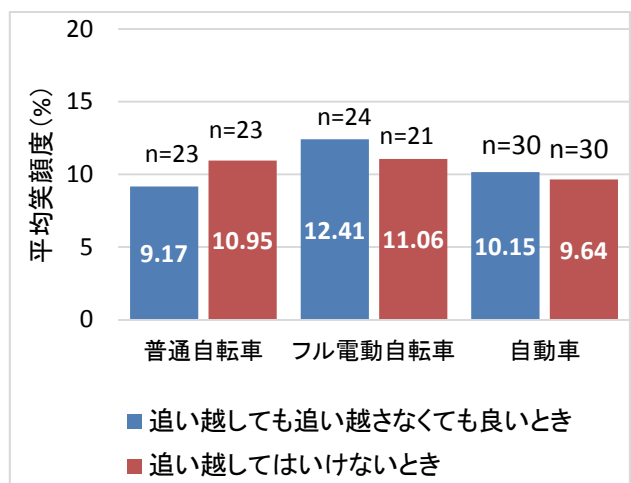


図5 単断面道路路上で歩行者がいない場合における普通自転車とフル電動自転車で走行している時の平均笑顔度

これを見ると、普通自転車では、追い越しても追い越さなくても良いときに平均笑顔度が低くなっている一方、フル電動自転車と自動車では追い越してはいけない時に平均笑顔度が低くなっていた。平均値の差の検定を行ったところ、有意な差は見られなかった。

また、歩行者がいる時の、フル電動自転車の普通自転車に対する追い越しの方法別に見た、運転中の平均笑顔度の測定結果を図-6に示す。

これを見ると、普通自転車では追い越され方による平均笑顔度の違いは見られなかった一方で、フル電動自転車と自動車では追い越してはいけない時に平均笑顔度が低くなっていた。平均値の差の検定を行ったところ有意な差は見られなかった。

これより、自転車道や歩道の時と同様に、単断面道路上においても、普通自転車とフル電動自転車の間に、走行中の快適性に大きな差はないと言える。

続いて、実験終了後に実施したアンケート調査において、各空間における普通自転車の走りやすさについての回答結果を図-7に、フル電動自転車の走りやすさについての回答結果を図-8に示す。

これらを見ると、普通自転車に乗っている時はどの空間においても、追い越してはいけないときに、少しでも走りやすいと回答した割合が有意に高くなっていた。なお、比率の差の検定を行ったところ、歩道と単断面道路において、追い越しても追い越さなくても良いときと追い越してはいけないときの間には有意な差が見られた。(歩道： $p=0.004$ ，単断面道路： $p=0.000$)

一方で、フル電動自転車を運転している時はどの空間においても、追い越しても追い越さなくても良いときに、少しでも走りやすいと回答した割合が高くなっていた。なお、比率の差の検定を行ったところ、自転車道において、追い越しても追い越さなくても良いときと追い越してはいけないときの間には有意な差が見られた。($p=0.015$)

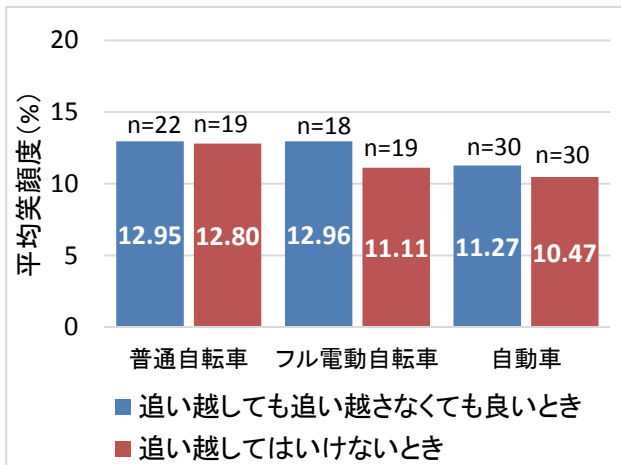


図-6 単断面道路上で歩行者がいない時の普通自転車とフル電動自転車で走行している時の平均笑顔度

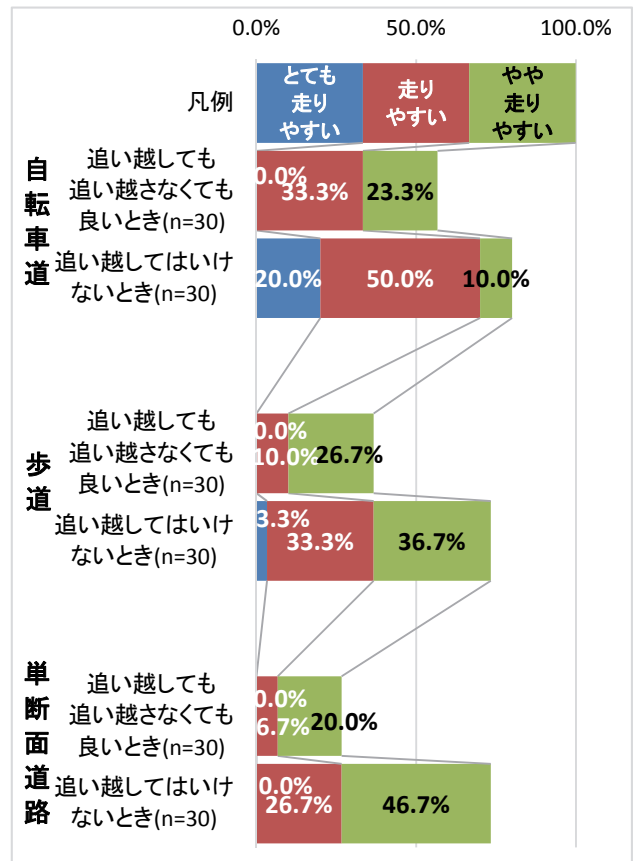


図-7 各空間における普通自転車の走りやすさの回答結果

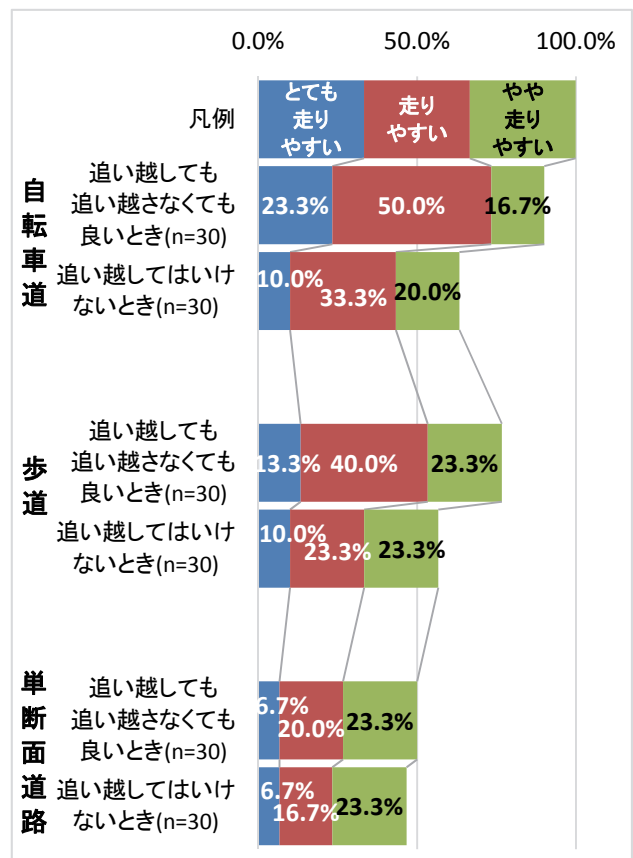


図-8 各空間におけるフル電動自転車の走りやすさの回答結果

(2) 歩行者のストレス測定調査結果

歩行者のストレスを測定するために、皮膚電位計を用いた。皮膚電位計は皮膚電位水準 (SPL) を測定する機材であり、緊張状態にある時は陰性の値を示し、リラックスしている状態の時に陽性の値を示す。これをストレス値として捉える際、個人差を考慮して比較するため、式(1a)によって基準化を行った。基準化したストレス値が 0 に近い値であるほどリラックスしている状態、1 に近い値である程緊張している状態を表す。

基準化したストレス値

$$\frac{\text{被験者の SPL 最大値} - \text{測定された SPL}}{\text{被験者の SPL 最大値} - \text{被験者の SPL 最小値}} \quad (1a)$$

また、基準化したストレス値のうち、歩行者が普通自転車、フル電動自転車、自動車とすれ違った瞬間から前後2秒間のストレス値を平均したものをストレス平均値とした。さらに、各道路空間で普通自転車、フル電動自転車、自動車と最初にすれ違ったまたは追い越した時だけを抽出した。

まず、歩行者が歩道上を歩いている時のストレス平均値を図-9 に示す。

これを見ると、普通自転車やフル電動自転車に追い越されるよりもすれ違う時の方が、ストレス平均値が高くなっていたが、平均値の差の検定を行ったところ、有意な差は見られなかった。

これより、フル電動自転車が前方または後方から接近してきた時のストレス平均値には有意差が見られなかったことから、歩行者はフル電動自転車を普通自転車と同等の車両と捉えていたと考えられる。

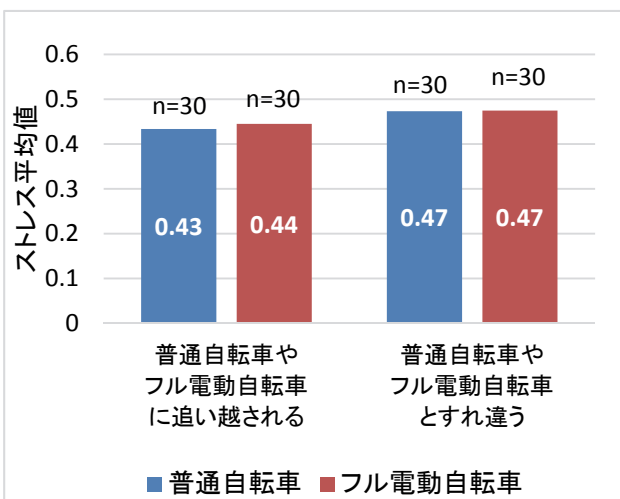


図-9 歩行者が歩道上を歩いている時のストレス平均値

次に単断面道路を歩いている時のストレス平均値を図-10 に示す。なお、単断面道路の場合は、普通自転車、フル電動自転車と歩行者は常にすれ違うように設定し実験を進めた。

これを見ると、自動車に追い越される場合、普通自転車や自動車に追い越されるよりもフル電動自転車とすれ違う時が、ストレス平均値が高くなっていたが、平均値の差の検定を行ったところ、有意な差は見られなかった。

また、自動車とすれ違う場合、普通自転車とすれ違う時に比べ、フル電動自転車とすれ違う時の方が、ストレス平均値が高くなっていたが、この場合も有意な差は見られなかった。このことから、歩行者は、普通自転車よりもフル電動自転車が接近してくる方が緊張している状態にあったが、その差僅かであり、フル電動自転車をほとんど普通自転車と同等に捉えていた可能性がある。

続いて、実験終了後に実施したアンケート調査において、歩道を歩いている時の安全性についての回答結果を図-11 に示す。

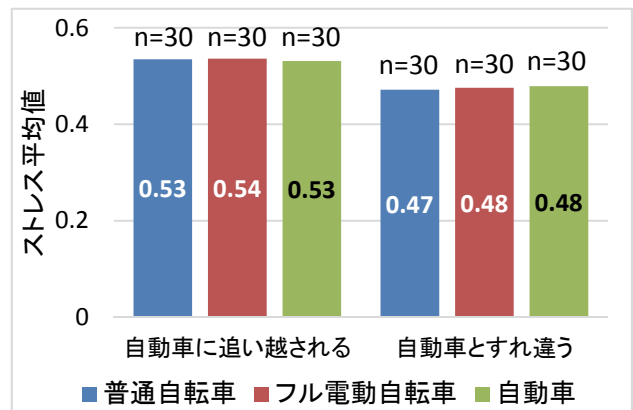


図-10 単断面道路を歩いている時のストレス平均値

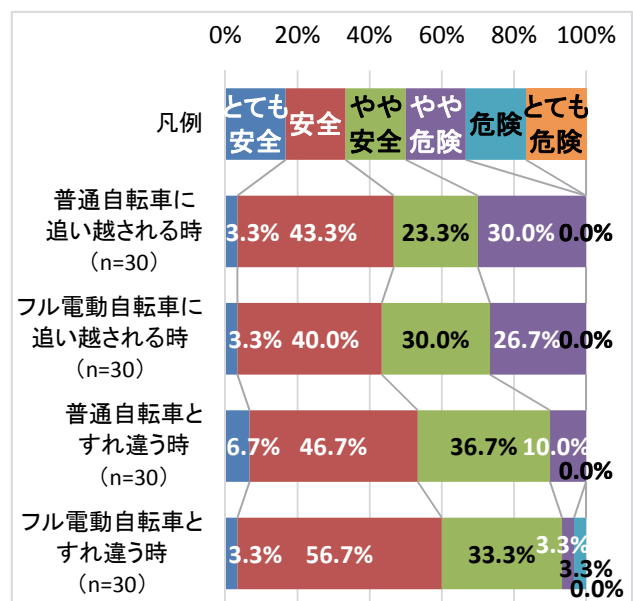


図-11 歩道を歩いている時の安全性に関する回答結果

これを見ると、普通自転車・フル電動自転車とすれ違う時に、「とても安全」、「安全」、「やや安全」と回答した割合が、どちらも90%以上であり、有意な差は見られなかった ($p=0.7744$)。また、普通自転車・フル電動自転車に後ろから追い越される時に、「とても安全」、「安全」、「やや安全」と回答した割合が、どちらも70%程度であり、有意な差は見られなかった ($p=0.6404$)。

続いて、単断面道路を歩いている時の安全性に関する回答結果を図-12に示す。なお、実験方法の設定上、歩行者に前方から接近するのは普通自転車・フル電動自転車・自動車である一方、後方から接近するのは自動車のみである。

これを見ると、普通自転車・フル電動自転車とすれ違う時に、「とても安全」、「安全」、「やや安全」と回答した割合 66.7%となっており、有意な差は見られなかった ($p=1.0000$)。

(3) フル電動自転車の速度調査結果

自転車道、歩道、車道において、フル電動自転車が普通自転車を追い越しても追い越さなくても良い時の平均速度と追い越してはいけない時の平均速度の結果を図-13に示す。なお、自転車道、単断面道路における普通自転車の速度は 13km/h 以下、歩道における速度は 10km/h 以下で走行するように設定している。

これを見ると、どの道路空間においても、追い越しても追い越さなくても良い時の平均速度が12km/h程度であった。追い越してはいけない時では、どの道路空間においても、追い越しても追い越さなくても良い時に比べ速度が低くなっており、平均値の差の検定を行ったところ、どの道路空間においても有意な差が見られた (いずれの場合も $p=0.000<0.05$)。

次に、自転車道、歩道、車道において、フル電動自転車が普通自転車を追い越しても追い越さなくても良い時の最高速度の平均と追い越してはいけない時の最高速度の平均を図-14に示す。これを見ると、どの道路空間においても、追い越しても追い越さなくても良い時の最高速度の平均が 16.5km/h 程度であった。追い越してはいけない時では、どの道路空間においても、追い越しても追い越さなくても良い時に比べ速度が低くなっており、平均値の差の検定を行ったところ、どの道路空間においても有意な差が見られた (いずれの場合も $p=0.000<0.05$)。

以上から、フル電動自転車の追い越し挙動によって速度に違いが生じていることが分かった。

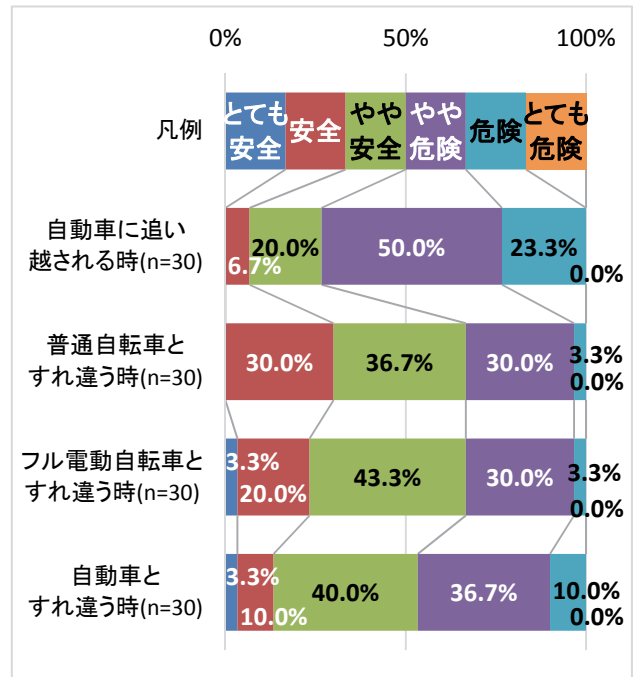


図-12 単断面道路を歩いている時の安全性に関する回答結果

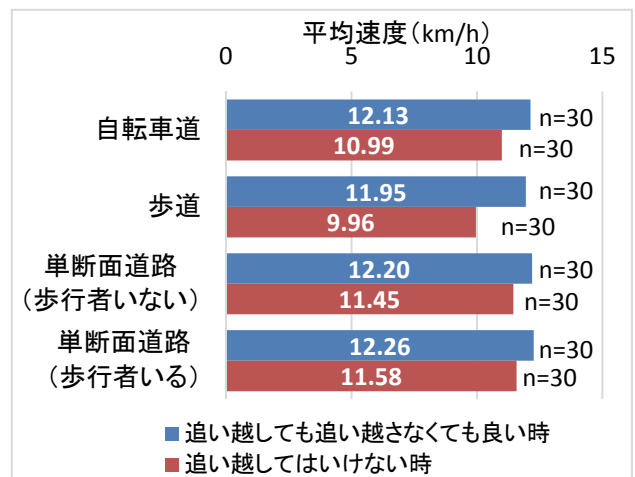


図-13 フル電動自転車の平均速度

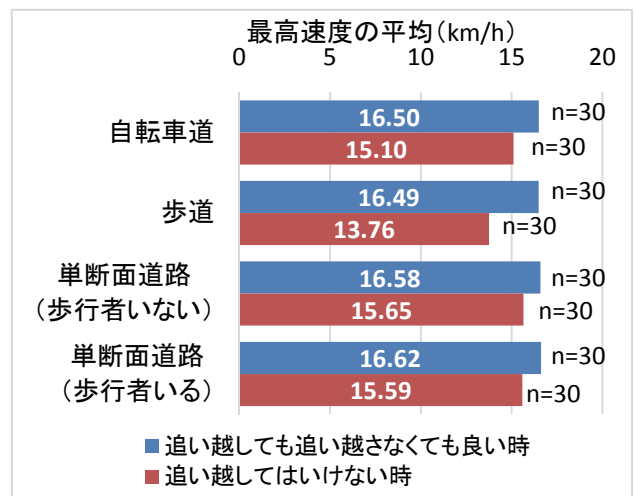


図-14 フル電動自転車の最高速度の平均

4. まとめと今後の課題

本研究では、埼玉大学構内において、フル電動自転車の走行実験として、運転者の笑顔度測定調査、歩行者のストレス測定調査を実施した。

運転者の笑顔度測定調査では、自転車道上、歩道上、単断面道路上の歩行者がいない時、単断面道路上で歩行者がいる時のいずれの場合においても、笑顔度に差は見られなかった。これより、フル電動自転車の走行中の快適性は、普通自転車と同等であったと考えられる。一方で、アンケート調査の結果では、追い越し挙動の違いによる走りやすさの割合に有意な差が見られた点もあり、笑顔度測定調査とは異なる結果となってしまう。今後は運転中の笑顔度では分からない心理的状态についても検討していく必要があるだろう。

歩行者のストレス測定調査では、どの場合においても、歩行者のストレス平均値は、普通自転車とフル電動自転車の間に大きな違いが見られなかった。アンケート調査の結果でも、歩道と単断面道路における追い越し挙動の違いによる、安全だと感じた割合に有意な差が見られなかった。これより、歩行者はフル電動自転車を普通自転車と同等の車両であると捉えていたと考えられる。

フル電動自転車の速度調査では、フル電動自転車の平均速度は、どの道路空間においても、追い越しても追い越さなくても良い時の平均速度は 12km/h 程度であり、追い越し挙動の違いによって差があることがわかった。フル電動自転車の最高速度の平均は、どの道路空間においても、追い越しても追い越さなくても良い時の最高速度の平均が 16.5km/h 程度であり、追い越してはいけない時の速度と比べると有意に高い速度となっていた。

このことから、フル電動自転車の追い越し挙動によって速度に違いが生じていることが分かった。また、最高速度の平均も 16.5km/h と、普通自転車に比べるとやや高い速度で走行している時があるということが分かった。

以上より、フル電動自転車が他の交通モードにどの程度の影響を与えているのかを知ることが出来た。

しかし、本研究では、大学の敷地内で行った実験の結

果であり、実際の混合交通を再現できていない。また、被験者も大学生のみで性別にも偏りがあった。そのため、今後は様々な層の被験者を対象とし、公道実験を行っていくことが重要である。

さらに、今回使用したフル電動自転車は、中国国内で生産されている鉛蓄電池を用いた車両であり、車重が 40kg と重い為、今後はリチウムイオン電池を用いた車両を使用していく必要もある。

謝辞: 本研究は総務省SCOPE：戦略的通信研究開発推進制度（研究代表者：長谷川孝明）の支援を受けて実施した。本研究の実施にあたりご協力いただいた、さいたま市、本田技研工業株式会社の皆様に深謝します。

参考文献

- 1) 井村公一, 小嶋文, 久保田尚: 電動二輪モビリティの安全性及び快適性に関する研究, 交通工学論文集, 第1巻, 第2号(特集号A), pp.A_97-A_106, 2015.2
- 2) Lu Bai, Pan Lin, Yuguang Chen, Xin Zhang, Wei Wang: Comparative analysis of the safety effects of electric bikes at signalized intersection, Transportation Research Part D: Transport and Environment Vol.20, pp.48-54, 2013
- 3) Lin Yao, Changxu Wu: Traffic safety of e-bike in China: safety attitudes, risk perception, and aberrant riding behaviors, Transportation Research Record 2314, pp.49-52, 2012
- 4) T.Weber, G.Scaramuzza, K.-U. Schmitt: Evaluation of e-bike accidents in Switzerland, Accident Analysis and Prevention 73, pp47-52, 2014
- 5) Jonathan X.Weinert, Chaktan Ma, Xinmiao Yang, Christopher R. Cherry: Electric Two-Wheelers in China: Effect on Travel Behavior, Mode Shift, and User Shift, and User Safety Perceptions in a Medium-Sized City, Transportation Research Record 2038, pp.62-68, 2007
- 6) Jennifer Dill, Geoffrey E-bikes and Transportation Policy: Insight from Early Adopters, 91th Annual Meeting of the Transportation Research Board January, pp22-26, 2012
- 7) オムロン株式会社 WEB サイト, <http://www.oss.omron.co.jp/smilecan/function/index.html#contop> (2016年4月21日アクセス)

(2016.4.22受付)

Study on the affinity between electric two-wheeled mobility and existing transportation mode

Koichi IMURA, Aya KOJIMA and Hisashi KUBOTA

In foreign countries, the utilization of “full electric bicycle” which can run by electric motor or pedaling spread. But, in Japan, this mobility is not positioning in law. In this study, we conducted experiments about the affinity between full electric bicycle and existing transportation mode included in driver’s smile survey, pedestrian’s stress survey and speed survey of full electric bicycle.

As a result, we didn’t find that significant difference between regular bicycle and full electric bicycle about driver’s smile and pedestrian’s stress value. And, it was revealed that average of full electric bicycle

is approximately 12km/h and average of maximum speed of full electric bicycle is approximately 16km/h. So, it was thought that the speed of full electric bicycle is not particularly fast speed in comparison with a regular bicycle.