

ウォーカブルなまちづくりへの 電動モビリティ利活用に関する実証実験

電動モビリティによる歩道空間モニタリングのデータ解析

林 俊光*¹・藤岡 友美*¹・宮本 美哉*²・小平 倫子*³

Keywords : community design, electric mobility, sidewalk space, road surface condition

まちづくり, 電動モビリティ, 歩道空間, 路面性状

1. はじめに

近年、人口減少や少子高齢化等に伴い、地域の活力低下が懸念され、賑わいを創出する魅力的な街づくりが求められている。その施策の1つとして、街中における交流や滞在空間の創出に向けた官民の取り組みを街づくり計画に位置付け、居心地が良く、歩きたくなる空間づくりを国土交通省が推進している(図-1)¹⁾。我々は、都市再生特別措置法に基づく滞在快適性等向上区域に選定された愛知県岡崎市で、「魅力的なまちづくりの推進(利便性向上)」および「もっと歩きたくなるまちウォーカブルシティの構築(回遊性向上)」の実現に向けた、様々な共創事業を展開している²⁾。



図-1 まちなかウォーカブル推進プログラム¹⁾
Fig.1 Walkable promotion program for downtown¹⁾

本報は、市内に点在する駅や公共施設等の移動に対して、自動車ではなく、歩道走行も可能な電動モビリティを導入した場合の利便性や回遊性に与える効果を実証実験により検証する。検証では、電動モビリティに搭載する当社独自のモニタリングシステムで、歩道空間の路面性状を計測・解析する。これにより得られた路面振動の位置等の定量値と、乗車者(被験者)の感応評価による定性値から、走行しやすさ等のウォーカブルに資する要素を明らかにする。

2. 実証実験概要

2.1 実施内容

まず実証実験を実施するにあたり、当社と岡崎市は、新しい地方創成に係る魅力的な街づくり推進のための包括連携協定『次世代モビリティを活用したまちの歩道空間や路面状況等のモニタリングの共創事業』を締結した²⁾。その事業下で本実証は、図-2の乙川リバーフ



図-2 実証実験全体図(岡崎市)
Fig.2 Overview for social experiments (in Okazaki city)

*1 技術センター イノベーション戦略部 技術開発戦略室
*2 中部支店 営業部(開発)
*3 営業総本部 まちづくりプロジェクト推進部

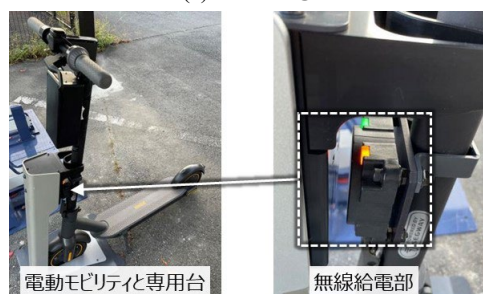
ロント地区の乙川河川緑地において、公共施設間の回遊誘導や街路空間の活用等を目的に以下の3テーマを実施する。

- ① 公共空間活用で街中の発電不足に対応できる、再生可能エネルギーの供給モデル構築
- ② 電動モビリティへの給電で価値向上と需要創出
- ③ ウォーカブル推進に向けた街中の歩きやすさや移動しやすさの見える化

以降、各テーマの詳細について説明する。①脱炭素に配慮した、再生可能エネルギーの供給モデルとして、市民が往来する河川沿い歩道(以降、沿川歩道と称す)に路面太陽光発電システムを設置して発電する(写真-1(a))。なお、歩道上の発電パネルは、その上をそのまま歩行者の通行や軽車両の走行ができるため、歩道空間を阻害せずに適用可能である。②発電した電力は電動モビリティへ供給され、乗車後に専用台へ返却すると無線で自動充電される(写真-1(b))。これは磁界結合方式^{注1)}の無線給電技術を採用しており、従来の電池差し替えや電源ケーブルによる充電等の作業が不要なため、利便性の向上と需要の増加が見込まれる。③充電



(a) テーマ①



(b) テーマ②



(c) テーマ③

写真-1 実証実験の各テーマ

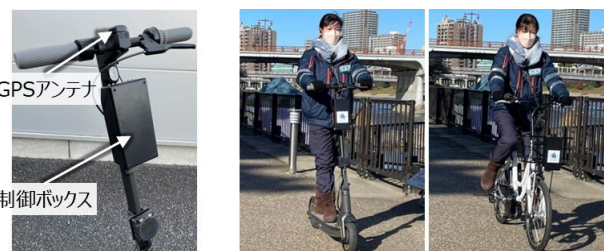
Photo.1 Each theme of social experiments

される電動モビリティの車体は、様々なタイプがある中で、高い移動性と回遊性が見込まれる、電動キックボードおよび電動アシスト自転車(以降、電動自転車と称す)を計8台実験導入する(写真-1(c))。本実証では、観光名所である岡崎城へ訪れる、東岡崎駅からの人の流れを想定した総移動距離 約1.6kmの内、沿川歩道の約1km区間をモビリティルート(拠点A~B間)と定める。本ルートで、被験者には電動モビリティによる移動しやすさ等を体験・体感して頂く一方、当該車両に走行軌跡や振動等を計測するモニタリングシステムを取り付け、走行時の移動しやすさ等に係る路面振動を同時計測する。また乗車後は、設問式アンケートで車両の操作性や路面状況等の感応的な情報を収集する。これらの情報を基に、本ルートの歩道空間に対する路面性状や移動性等を見える化する。本報では上記テーマの③を取り上げ、次節以後でモニタリングシステムや実証実験のデータ解析結果等の詳細について述べる。

2.2 モニタリングシステム

モニタリングシステムを写真-2に示す。本システムは、路面性状等のデータを計測・記録する装置として、加速度等を計測する振動ジャイロ姿勢センサー^{注2)}、路面映像を記録するカメラ、計測データを演算・保存する制御器、そして上記機器類を格納する制御ボックスと、衛星信号を受信するGPSアンテナで構成される(写真-2(a))。本システムを電動キックボードおよび電動自転車の前輪上部に取り付け、被験者がモビリティルートを自由走行する際の移動軌跡や加速度等の計測データ、前輪付近の路面映像データをリアルタイムに同時取得する(写真-2(b))。なお、本システムの主な仕様(振動ジャイロ姿勢センサー)は、計測周期 200ms、加速度計測範囲 $\pm 3G (= \pm 29.4m/s^2)$ 、加速度精度 $\pm 0.08m/s^2$ 、位置精度 2m (CEP 50%^{注3)})である。

従来、同類の路面性状計測システムとして、例えば様々なセンサーを多数搭載した、高速道路や国道向けの車道用特殊専用車両や、カメラと2次元レーザース



(a) システム構成

(b) 計測風景

写真-2 モニタリングシステム

Photo.2 Monitoring system

キャナ(LiDAR^{注4)})等を搭載した台車型計測システムが提案されている³⁾⁴⁾⁵⁾。これらに対して本報のモニタリングシステムは、小型で簡易的であり、利便性や回遊性の高い電動モビリティへ搭載できることから、車道に限らず、狭い歩道等を含むあらゆる道路での計測が可能である。仮に当該電動モビリティがシェアリングサービスへ導入され、日常的に多数のユーザーが利用し、街中走行と併せて路面性状が計測されれば、従来のシステムに比べて広範囲かつ緻密な路面性状データベースの生成が可能である。このような特徴と可能性を有する本システムは、街中の道路整備、都市計画、そしてウォークアブルシティへの活用が期待される。

3. 歩道空間モニタリング

3.1 基礎実験

岡崎市での実証実験に先立ち、当社技術センターの敷地内でモニタリングシステムの基礎実験を行う。実験では、電動モビリティに搭載した本システムで、アスファルト舗装された走行経路上にマンホールやグレーチング等の凹凸通過を含む路面条件に対して、計測を行う(写真-3)。なお、本システムの座標系は、写真-2(b)の走行姿勢に対して、進行(前後)方向 X 軸、左右方向 Y 軸、上下(鉛直)方向 Z 軸と定義する(図-3)。

電動モビリティの内、電動キックボードの各路面条件に対する 3 軸加速度の時系列データを図-4 に示す。併せて、本システムのカメラで記録されたマンホールまたはグレーチング通過時の路面映像データ(キャプチャー画像)も示す。マンホール部は、走行経路上に 3 カ所あり、マンホール面が周囲の舗装路面に対して 10~20mm 程度低くなっている。これに対応する形で、図-4 (a)から加速度の突発的な変化点が同数の 3 カ所を捉えている。3 カ所目(18 秒付近)については、最も高低差の大きいマンホール部の通過であるが、20mm 程度の高低差に対して 2G 強の Z 軸加速度(赤)が計測された。一方、グレーチング部は、走行経路上に 1 カ所で、図-4 (b)からも加速度の突発的な変化点が 15 秒付近に 1 カ所を捉えており、2G 弱の Z 軸加速度(赤)が計測された。なお、走行経路上で、マンホール部およびグレーチング部以外にあたる、アスファルト舗装路は、図-4 より、当該区間の Z 軸加速度(赤)が概ね±0.2G(紫の破線)に収束することが分かった。

上記基礎実験より、電動モビリティに搭載した本システムで走行時の路面性状計測が可能であり、特に路面凹凸は Z 軸加速度に寄与することを確認した。一例

として本実験の路面条件では、20mm 程度の段差通過時で 2G 強、アスファルト舗装路の定常走行時で 0.2G 程度の計測値(計測データ)が得られた。当該システムでは 3 軸加速度が計測できるが、次節の実証実験から、



写真-3 基礎実験の路面条件
Photo.3 Road surface conditions for basic experiments

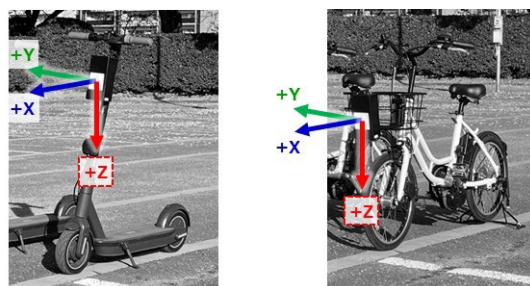


図-3 モニタリングシステムの座標軸
Fig.3 Coordinate axis for the monitoring system

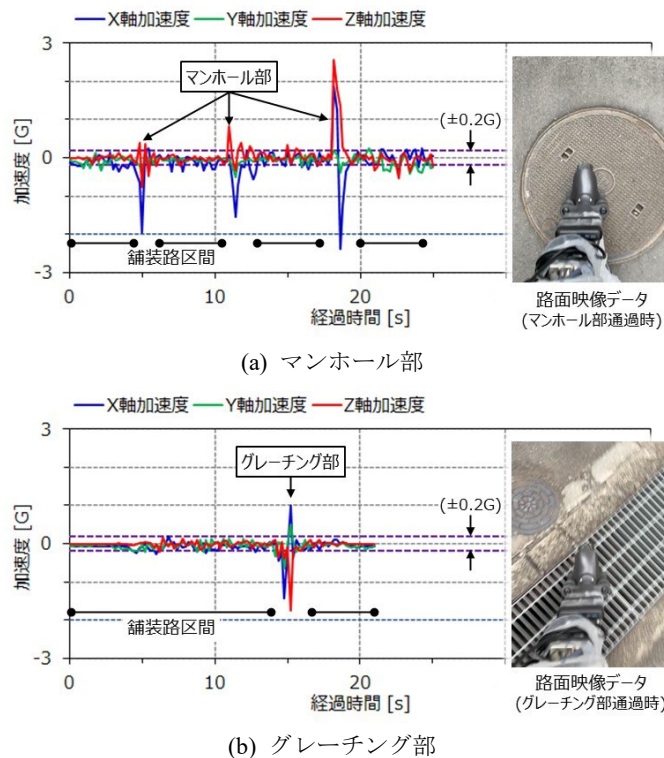


図-4 実験結果 (基礎実験)
Fig.4 Experimental results (for basic experiments)

路面凹凸に係る鉛直方向の Z 軸加速度(以降、鉛直加速度と称す)に絞ってデータ解析を進める。

3.2 実証実験

実証実験では、図-2 に示した拠点 A~B 間のモビリティルート(以降、実証区間と称す)を、電動モビリティの走行に併せて路面性状を計測する。なお、実証期間は 2022 年 11~12 月の週末 9 日間で、本実証に際する沿川歩道の走行等に関する行政許可は事前取得済である。

3.2.1 実験諸元

実証区間の両端には電動モビリティの発着所の拠点(図-2)を設け、乗車前の事前説明を行う。2 種類の電動モビリティの内、特に電動キックボードは初被験者が多いため、予め拠点で乗車練習を行い、安全かつ安定した走行操作を確認した上で乗車を許可する。実証区間(写真-4)は、拠点 A から B へ河川の緩やかな流れに沿った、概ね平坦な沿川歩道であり、区間内には橋桁下の通路や、途中の分岐・合流部で複数の経路が選択でき、被験者には実証区間内を自由に走行してもらう。

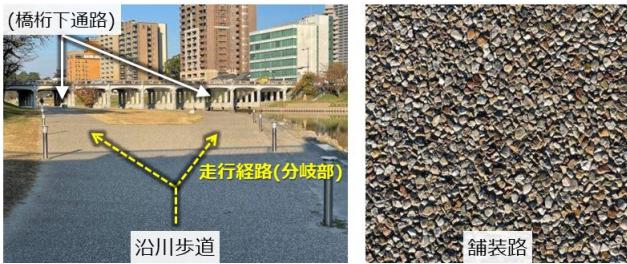


写真-4 実証実験のモビリティルート
Photo.4 Mobility route for social experiments

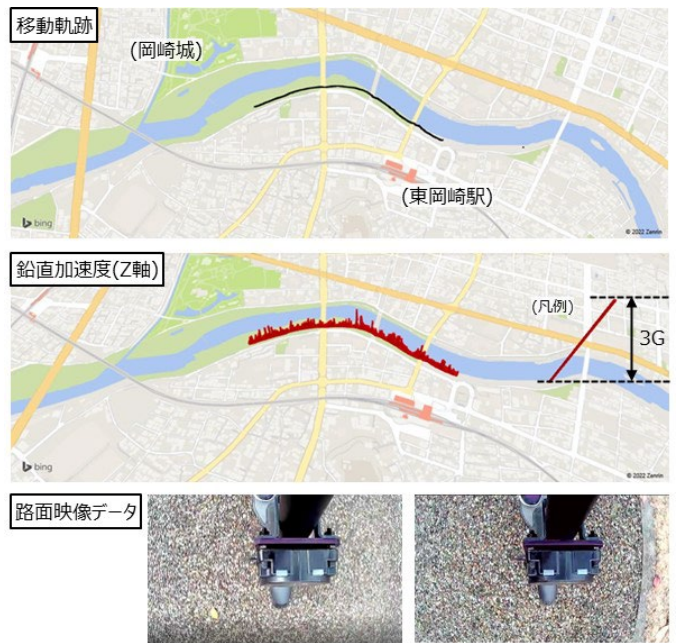


写真-5 実証実験風景
Photo.5 Scenes of social experiments

なお、路面条件は、路面に微小な凹凸のある洗い出し舗装路^{注5)}である。本実証の実施風景として、電動モビリティの貸し出し拠点や乗車練習、沿川歩道の走行の様子を写真-5 に示す。

3.2.2 解析結果

初めに、実証区間の計測状況や路面性状等を確認するため、1 台の電動キックボードおよび電動自転車に着目して、車両別の解析結果を図-5 に示す。本結果では、衛星測位した計測データに基づく移動軌跡(計測点)と、



(a) 電動キックボード



(b) 電動自転車

図-5 実験結果 I (実証実験)
Fig.5 Experimental results : I (for social experiments)

当該計測点に対して鉛直加速度の強度を俯瞰図で可視化する。なお、3.1節と同様、カメラで記録された路面映像データの一部(2ヵ所のキャプチャー画像)も示す。電動キックボード(図-5(a))に関して、移動軌跡(黒)の結果から、一時的に上空を遮る橋桁下通過が含まれるが、衛星測位の精度も概ね良好で、沿線歩道に沿って走行位置が計測されていた。続いて鉛直加速度(赤)の結果は、凡例の3G(俯瞰図のため赤の斜線高)に対して、全体的に低い推移であり、最大でも1G弱であることが分かった。また、路面映像データからも、歩道の舗装路上を終始走行しており、路面上に大きな凹凸は確認できなかった。本区間の歩道は整備された舗装路であるが、計測データからも走行経路上の路面性状は良好であることが分かった。一方、電動自転車(図-5(b))に関して、前者の電動キックボードとは差異が見られた。移動軌跡(黒)の結果では、当該車両は異なる経路や蛇行等の走行状況に加え、鉛直加速度(赤)の結果より、突発的な3G弱が複数の位置で計測された。路面映像データを確認すると、時折、歩道の舗装路と芝生の境界や、舗装路面に対してやや低くなった縁石の段差等を走行しており、これらが要因と推測される。

次に、実証期間中の全ての電動キックボードおよび電動自転車の計測データを集計した解析結果を図-6に示す。本結果は、図-5と同様、移動軌跡と鉛直加速度であるが、後者の鉛直加速度については、俯瞰図ではなく、範囲を1~2Gと2~3Gに分け、各範囲内で計測した点を平面図上にプロットする。電動キックボード(図-6(a))に関して、移動軌跡(黒)の結果から、本区間内の河川側や道路側の複数の経路を網羅的に走行しており、計測データから平均8.5km/hであった。続いて鉛直加速度(赤)の結果は、全体的に低い推移ではあるものの、1~2Gの路面振動が河川側の経路で複数点在していることが分かった。また、電動自転車(図-6(b))に関して、移動軌跡(黒)の結果から、電動キックボードと同様、複数の経路をほぼ網羅的に平均8.4km/hで走行していた。走行速度は電動キックボードとほぼ同等であるが、鉛直加速度(赤)の結果は、電動キックボードに比べて1~2Gの路面振動が多数点在しており、さらに強い2~3Gでは点在数が1~2Gより減り、路面振動の位置が局所的に絞られていることが分かった。ここで注目すべきは、電動キックボード(図-6(a))の1~2Gと、電動自転車(図-6(b))の2~3Gの点在分布が類似している。加速度範囲の差を除けば、両者の局所的な路面振動は、例えば橋桁下付近に集中する他、全体的に位置や密度の分布が近い。車両間の加速度範囲の差は約1Gであるが、

タイヤを含む車両構造等の違いや、車両の設置制約に伴う本システムの計測条件の差異等、結果的に車両自体がもつ固有振動等の差が要因と考えられる。そこで計測データから、電動自転車の固有振動は電動キックボードより広く、その差を約1Gと仮定すれば、前述した電動自転車(図-6(b))の2~3Gと、1G低い電動キックボード(図-6(a))の1~2Gの計測データは、局所的に点在する路面振動の位置や密度の分布が概ね一致する。なお、この局所的な路面振動は計測データ全体の2~3%であり、他の大部分は走行経路上の舗装路による微振動



(a) 電動キックボード



(b) 電動自転車

図-6 実験結果 II (実証実験)

Fig.6 Experimental results : II (for social experiments)

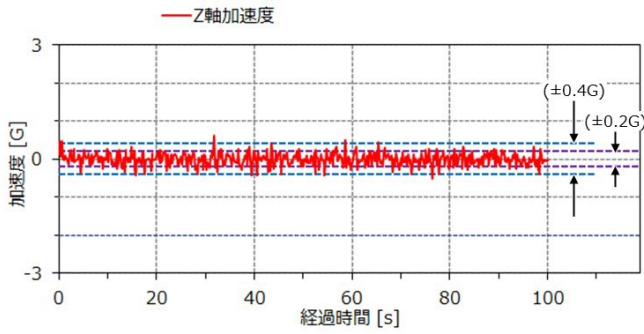


図-7 実験結果 III (実証実験)

Fig.7 Experimental results : III (for social experiments)

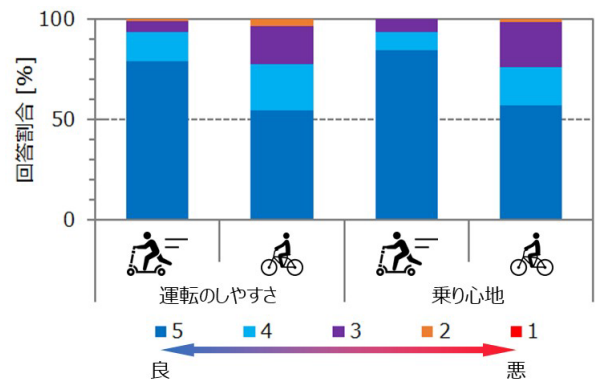
が占めている。3.1 節の基礎実験結果では、舗装路の微振動は、電動キックボードの計測で 0.2G 程度であったが、本実証の計測データはやや大きかった。そこで同じ電動キックボードの舗装路区間に対する Z 軸加速度の時系列データを図-7 に示す。ただし当該データは、任意の 1 台から舗装路の走行部分を抽出した 100 秒の計測データである。図-7 より、Z 軸加速度(赤)は基礎実験の±0.2G(紫の破線)を越え、概ね±0.4G(青の破線)に収束している。故に本区間の洗い出し舗装路では、基礎実験のアスファルト舗装路を上回る、定常的な路面振動が走行時に発生することが分かった。

上記実証実験より、回遊性の高い電動モビリティが様々な走行経路を誘発すると共に、本システムの計測データと組み合わせることで、簡易的に路面性状の計測と見える化が可能であることを確認した。また、車両の特性差を踏まえ、計測データの類似性から、走行時の局所的な路面振動の位置が推定可能なことも確認した。本実証では、洗い出し舗装路による微振動はあるものの、路面振動の強度として突発的な路面凹凸も少なく、全体的には走行しやすい歩道空間であることを計測データと解析結果から明らかにした。

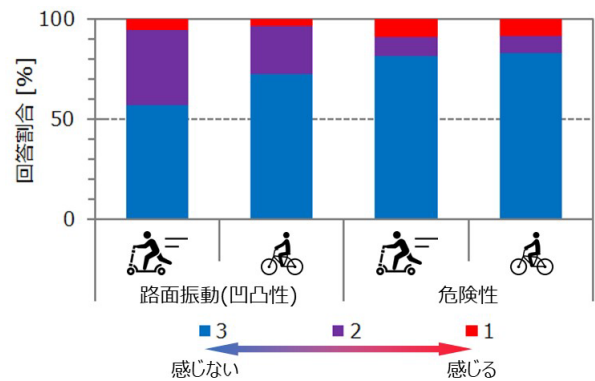
4. アンケートによる感応評価

電動モビリティに乗車後、被験者に設問式アンケートを行い、その集計結果を図-8 に示す。回答数は電動キックボードが約 200 件、電動自転車が約 60 件で、年齢層は 10~60 代と幅が広く、その内 20~50 代が半数を越えている。また岡崎市は、所謂、車社会の地域であり、20~50 代の回答でも普段の移動には約半数が自家用車の使用と回答している。本アンケートの目的は、自動車ではなく、新たな電動モビリティに対する受容性や道路環境等、被験者視点の感応評価データを収集することである。運転しやすさや乗り心地(図-8 (a))に

関して、感応的に良い(5)、どちらかと言えば良い(4)、のように悪い(1)までの 5 段階で回答を得た。その結果、5 段階中 3 以上の肯定的な回答が 95%を越え、特に電動キックボードについては初被験者が多いこともあり、手元操作で電動走行可能な点や走行時の爽快感等も相まって良(5)の回答が目立った。ただ総じて電動モビリティに対する受容性が高く、これらが街中での利便性や回遊性の向上に寄与する可能性は考えられる。また、走行中の路面振動や危険性(図-8 (b))に関して、感応的に感じない(3)から感じる(1)までの 3 段階で回答を得た。その結果、路面振動の凹凸性は 3 段階中 1 の「感じる」とする回答が約 3~5%であり、3.2 節の実証実験結果「突発的な路面振動も少なく、走行しやすい歩道空間」と概ね一致することが分かった。しかし、3 段階中 3 の「感じない」とする回答については、電動自転車が電動キックボードに比べて多い。電動キックボードはペダルを漕いだりせず、被験者は静止したまま電動走行できるため、路面振動に対して敏感で、「感じない」と断言する回答はしなかったと考えられる。また危険性は、車両に関わらず 3 段階中 1 の「感じる」とする回



(a) 運転のしやすさ・乗り心地



(b) 走行中の路面振動・危険性

図-8 アンケート結果 (実証実験)

Fig.8 Questionnaire results (for social experiments)

答が約9%あった。アンケートの記述欄には、狭い歩道での歩行者追い抜き等が挙げられていることから、路面振動以外の要因と考えられる。電動モビリティの普及拡大により、ウォーカブルな街づくりの促進には繋がるが、街中を回遊する車両台数が増加すると、歩道空間の歩行者との共存も課題となる。本実証では、モニタリングシステムの鉛直加速度の計測データから路面振動を主に解析したが、例えば上記追い抜き時やヒヤリハット時の急なハンドル操作を角速度の計測データから車両挙動として解析可能である。本システムによるモニタリングデータの拡張解析については今後の課題とする。

上記アンケートを用いた感応評価より、計測データによる解析結果と被験者のアンケート結果には一定の相関性があり、本システムの有効性を確認した。また、自家用車の利用が多い当該地域において、本実証の電動モビリティに対する受容性と本区間の走行しやすさが、被験者から好意的な回答を得られ、電動モビリティの導入効果が見込めることも確認した。

5. まとめ

ウォーカブルな街づくりの実現に向けて、東岡崎駅から岡崎城へ移動する一部区間を実証フィールドに、独自のモニタリングシステムを搭載した電動モビリティの利活用に関する実証実験を行った。電動モビリティについては、電動キックボードおよび電動自転車計8台を導入して、実証区間を延べ約300人が走行体験・体感した。本実証を通じて得られた結論は、以下の3点である。

- 電動モビリティは移動の利便性や回遊性を高めると共に、搭載した本システムで広範囲な路面性状の計測データから走行しやすさ(路面振動等)の見える化が可能
- 計測データによる路面性状等の解析結果は、被験者の感応評価結果と一定の相関性が認められ、本システムの有効性を確認
- 本実証の沿川歩道は、舗装路による微振動があるものの、突発的な路面振動も少なく、全体的に走行しやすい歩道空間であることを確認

冒頭のウォーカブルに資する要素については、本実証の知見から論じれば、「狭い路地や歩道でも走行でき、ユーザーフレンドリーな電動モビリティの導入」と「路面振動や危険性等のない、走行しやすい道路環境の整備」の2点に集約できる。特に後者については、

本システムが多種多様な多数の車両に搭載され、路面性状モニタリングを車両走行と併せて広域展開できれば、道路環境のデータベース生成を担い、当該データを基にしてウォーカブルな街づくりの整備等に寄与することが期待される。

今後の展開としては、各地での実証実験を積み重ねながらノウハウの蓄積と本システムによる歩道空間モニタリングの精度向上と高度化を進め、歩きやすさ・移動しやすさ等を定量的な見える化ツールとして活用することで、魅力的でウォーカブルな街づくりに貢献していきたい。

謝辞

実証実験を遂行するにあたり、多大なるご支援、ご協力を頂いた岡崎市並びに関係者各位、またモニタリングシステムのセンサーに関してご助言を頂いた東京計器株式会社へ感謝の意を表する。

注

- 注1) 近接した2つのコイルのうち、片側の送電コイルに電流を流すことで磁界を発生させ、もう一方の受電コイルに誘導電流が流れる原理を利用した方式
- 注2) 実装されたMEMS(Micro Electro Mechanical Systemsの略称)素子で、動く物体の回転系で現れる見かけの力(コリオリの力)から加速度や角速度等を算出するセンサー
- 注3) CEPはCircular Error Probabilityの略称で、GPS受信機がある円内にいる確率が50%を意味する指標
- 注4) LiDARはLight Detection and Rangingの略称で、レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離等を計測するセンサー
- 注5) 石とセメントを使用して、施工中に表面を洗い出すことで石の色や質感を引き出した景観コンクリート系舗装路

参考文献

- 1) 国土交通省：“「居心地が良く歩きたくなる」まちなかづくり～ウォーカブルなまちなかの形成～」
https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_machi_tk_000072.html
(参照 2022年11月18日)
- 2) 大成建設株式会社：“大成建設と岡崎市が「魅力的なまちづくり推進のための包括連携協定」を締結”(ニュースリリース)
https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/221118_9148.html
(参照 2022年11月18日)
- 3) 大成ロテック株式会社：“路面性状測定車”
<https://www.taiseirotec.co.jp/technicalinfo/路面性状測定車/>
(参照 2022年11月18日)
- 4) 江守 他：“手押し台車型MMSを用いた歩道空間の計測に関する実験”，土木学会論文集F3, vol.71, No.2, 2015.
- 5) 川末 他：“レーザースキャナを用いた台車型道路形状計測システム”，日本機械学会論文集, vol.82, No.839, 2016.