

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04298

研究課題名（和文）自転車走行環境の多様性を考慮した乗り心地評価システムの構築

研究課題名（英文）Development of a riding comfort evaluation system based on the diversity of bicycle riding environments

研究代表者

高橋 清（TAKAHASHI, KIYOSHI）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：50236270

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：環境に対する意識の向上やリスク回避のため、自転車需要が増加しており、走行している車種も多様である。そこで本研究では、汎用的な自転車振動モデルの開発と評価指標構築を目的に、多様な自転車を用いて自転車加振実験と自転車体感評価実験を行った。その結果、車種の振動特性を考慮した汎用的な自転車振動モデルを開発し、開発したモデルにより算出された路面評価指標（BRI）の実路面への適用性を検証したところ、指標は多様な車種の乗り心地評価と高い相関を示すことを明らかとした。また、MPMにて取得した実道プロファイルや画像データを用い算出したBRIを路面性状とともに地図上に可視化させることを可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、環境に対する意識の向上やリスク回避のため、自転車交通の需要が高まる中、安全性や快適性を考慮した自転車走行空間の創出は極めて重要な課題である。そこで本研究では、多様な車種が走行している自転車走行空間を評価するため、汎用的な自転車振動モデルの開発を行い、評価指標を可視化することで、自転車利用者の乗り心地評価のみならず道路管理者への有効な情報提供を行うシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：To develop a general-purpose bicycle vibration model and construct an evaluation index, this study conducted bicycle vibration tests and bicycle experience evaluation tests using various types of bicycles. As a result, the vibration characteristics of various bicycle models were identified, a general-purpose bicycle vibration model was developed, and the applicability of the road surface evaluation index calculated based on the developed model to actual road surfaces was verified. It was found that the constructed indices had a high correlation with the ride quality evaluation of various bicycle models and could reflect the ride quality of bicycles even when they were driven on the road surface with various types of bicycles. In this study, we calculated BRI, which is a road surface evaluation index from the viewpoint of a bicycle, and visualized it on a map together with road surface properties, using actual road profiles obtained by MPM and image data from an action camera.

研究分野：交通計画

キーワード：自転車走行環境 自転車振動モデル 乗り心地評価 路面評価

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、環境に対する意識の向上や、特に 2020 年春より感染が拡大した COVID-19 のリスク回避のため、自転車利用は都市内の移動において重要な交通手段として世界中で増加している。自転車交通の需要が高まる中、安全性や快適性を考慮した自転車走行空間の創出は極めて重要な課題である。しかし、自転車走行が想定されている車道左側端部分は十分な整備状況であるとは言い難い。自転車需要が高まる中、安全・快適な走行を可能とするため、客観的データに基づく路面評価を行い、ユーザー視点での走行データの収集と可視化された走行環境情報を提供することが必要となる。特に、近年では電動アシストを搭載した E-bike は、今後の都市内の自転車走行空間において中心的な車種になると想定され、加えて観光分野におけるサイクルツーリズムの推進等により、観光関連の自転車需要の増加とともに、観光関連の自転車も電動アシスト系自転車の割合が高くなると考えられる。よって、今後、多様な自転車の車種に対応した評価モデルの重要性は高まると考えられる。

2. 研究の目的

本研究グループでは、自転車の振動特性を考慮した新たな路面評価指標の構築を目的とし、特に郊外での移動に着目し、クロスバイクの振動特性を考慮した 2 自由度系の自転車振動モデルを開発した^{1),2)}。さらに開発した振動モデルを用いて、自転車からみた路面評価指標として BRI (Bicycle Ride Index) を構築し、その有効性を確認している³⁾。しかし、開発された自転車振動モデルと評価指標は、あくまでもクロスバイクという単一の車種を対象としたものであり、多様な車種が走行する路面評価を行うのは難しいことが想定される。

そこで本研究では、当研究グループで開発した自転車振動モデルを基に、多様な自転車の車種を評価できる振動モデルおよび指標を構築し、さらに評価指標に走行データを適用することで走行環境情報を可視化し、自転車利用者や、さらには道路を管理する側へも情報提供するシステムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 初年度の研究は、自転車振動モデルの汎用性向上を目指し、研究を実施した。対象とする車種をクロスバイクの他、シティサイクルやロードバイク、さらには電動アシストを搭載した E-bike などとした。個々の車種は、それぞれ乗車姿勢や構成する質量も異なり、加えて自転車の利用目的や乗り心地に影響する振動感受性も多様である。そこで、各自自転車の振動特性を把握し、多様な車種の振動特性および、様々なサイクリストの属性等を考慮した振動モデルを開発し、多様な自転車の評価を可能とするモデル構築のための実験・計測を行った。

(2) 研究 2 年目は、汎用的な自転車振動モデルの開発と評価指標構築を目的に、多様な自転車を基に自転車加振実験と自転車体感評価実験を行った。実験結果の分析を行うことで、多様な車種の振動特性を把握、汎用的な自転車振動モデルを開発した。さらに、開発したモデルを基に算出される自転車からみた路面評価指標の実路面への適用性を検証し、構築した指標と多様な車種の乗り心地評価との相関分析を行い、多様な車種で実路面を走行した場合、自転車の乗り心地を反映できるか否かについての検討を行った。

(3) 研究 3 年目では、開発された多様な車種を考慮した自転車振動モデルを用い、実道における BRI による評価手法を構築するため、実道プロファイルを計測し、路面性状の記録を行った。さらに、アクションカメラにて取得した路面性状の画像を、位置情報や背景画像を含め ArcGIS 上のポイントデータと紐づけることで、走りづらいと考えられる路面の路面性状について確認できるか分析を行った。また、得られた評価データとアクションカメラからの画像とを評価マップに示すことを試みた。

4. 研究成果

(1) 多様な自転車車種を考慮した汎用性のある振動モデルの開発

今回の研究では、車種の振動特性を明らかにするため振動台により自転車の加振実験を行い、車種の特性分析を行った。分析の結果、得られた成果は以下の通りである。振動試験装置を用いた自転車加振実験より、E-cross、E-city、ポロクルの 3 種類の自転車の振動特性を把握し、ハンドル部の共振は概ね 10Hz 付近に存在することが示され、前輪フレーム部における共振は 15Hz から 20Hz 付近であることが明らかとなった(図-1)。本研究で開発した 2 自由度系自転車振動モデルを用いて、上下加速度のシミュレーションを実行したところ、BRI の算出において重要とされるハンドル部は周波数領域にて高い再現性が示された。また、本研究で開発された振動モデルを用いて、都市内の自転車交通を考慮した汎用的な自転車振動モデルを開発した。開発した汎用的な自転車振動モデルを基に算出される BRI の実路面への適用性を検証するため、自転車体感評価実験を行い、BRI と乗り心地の関係性を検討した。その結果、汎用的な自転車振

動モデルは多様な車種の乗り心地を反映していることが明らかとなり、算出した指標を実路面で用いることの妥当性が確認された⁴⁾(図-2)。

(2) 実道プロファイルデータを用いた BRI の MAP 上での可視化

今回の研究では、多様な路面性状を有する実道プロファイルから算出される BRI を可視化させる自転車走行路の評価手法を構築するとともに、IRI と BRI の比較分析により、路面性状による評価特性の違いを明らかにした。主な研究成果は以下のとおりである。実道における広域的な自転車からみた路面評価を行うことを目的とし、MPM を用いて取得した実道の路面プロファイルやアクションカメラの画像データ等を用いて、BRI による実道の評価を地図上に可視化させた(図-3)。既存の指標との混在による管理者への混乱や負担を考慮し、IRI と BRI の評価特性の違いについて検討を行った。その結果、プロファイルに含まれる波長成分の多少と算出される IRI, BRI の大小の間に整合性があることを明らかにし、自転車の乗り心地の評価にはラフネスに加え、路面粗さが関係していることを示した(図-4)。作成した評価マップを用い、設定した管理基準よりも BRI が大きく算出された路面性状を確認した結果、IRI によって補修の必要性が低いと評価される路面でも、路面の粗さ等の BRI が高く算出される要因が確認された。以上の結果から、今回の評価システムは、自転車利用者のみならず車道の維持管理側にとっても有効なシステムであることが明らかとなった⁵⁾。

<引用文献>

- 1) 佐々木優太, 高橋清, 富山和也, 萩原亨, 渡辺健太: 路面平坦性評価のための自転車振動モデルの開発, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 74, No. 3, 1_85-1_93, 2018
- 2) 岡部光樹, 高橋清, 富山和也, 萩原亨, 森石一志: 自転車振動モデルを用いた路面平坦性の評価指標構築, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol. 75, No. 2, 1_67-1_75, 2019
- 3) 岡部光樹, 高橋清, 富山和也, 萩原亨: Bicycle Ride Index を用いた自転車の振動乗り心地に基づく路面管理手法の検討, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol. 76, No. 2, 1_187-1_194, 2020
- 4) 橋奎伍, 松岡龍祐, 高橋清, 富山和也, 萩原亨: 多様な自転車の振動特性を考慮した自転車振動モデル開発と評価指標の構築, 土木学会論文集 E 1 (舗装工学) vol. 78, CD-R, 2022
- 5) 橋奎伍, 明田拓土, 高橋清, 富山和也, 萩原亨: 実道プロファイルを用いた BRI による路面評価および IRI との波長応答特性比較, 土木学会論文集 E1(舗装工学), vol. 79, CD-R21, 1-9, 2023

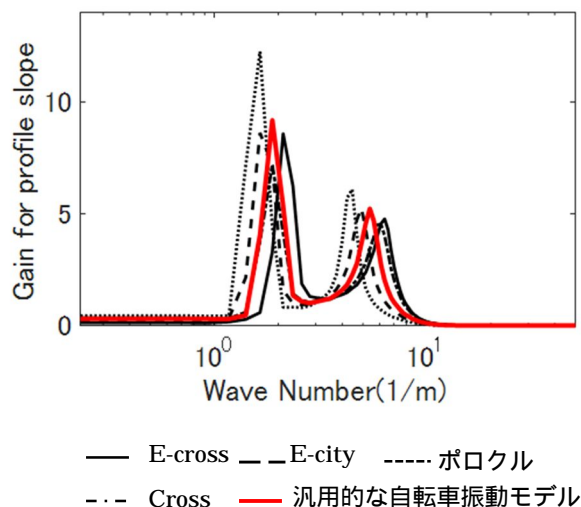


図-1 汎用的な自転車振動モデルの波数応答

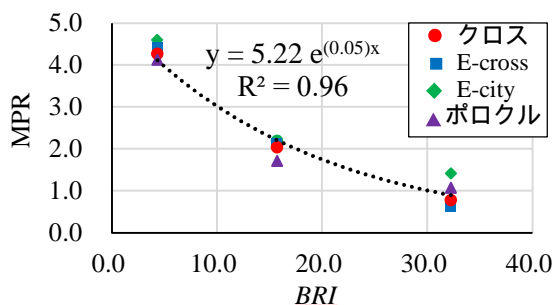


図-2 BRI と主観評価の関係性

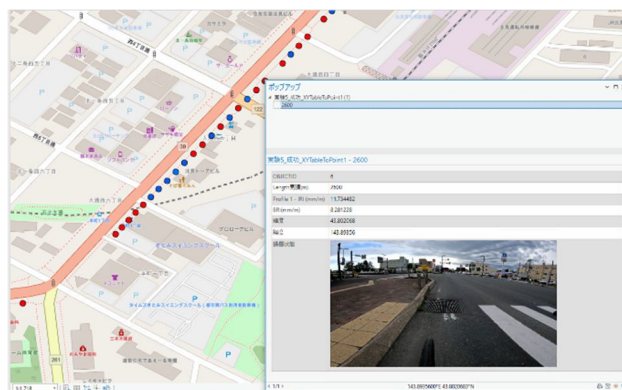


図-3 評価マップに示される路面性状

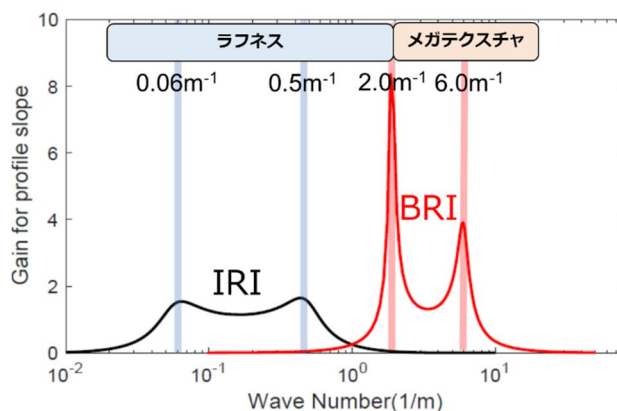


図-4 IRI, BRI の波数応答とピーク波長

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 橋奎伍、松岡龍祐、高橋清、富山和也、萩原亨	4. 巻 vol.78
2. 論文標題 多様な自転車の振動特性を考慮した自転車振動モデル開発と評価指標の構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集E 1（舗装工学）	6. 最初と最後の頁 —
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 松岡 龍祐、高橋清、富山和也、萩原亨	4. 巻 Vol.78
2. 論文標題 自転車振動モデルの開発に向けた多様な自転車における振動特性の分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 奎伍、明田 拓士、高橋 清、富山 和也、萩原 亨	4. 巻 Vol.79
2. 論文標題 実道プロファイルを用いた BRIによる路面評価および IRIとの波長応答特性比較	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集E1(舗装工学)	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 橋奎伍、松岡龍祐、高橋清、富山和也、萩原亨
2. 発表標題 多様な自転車の振動特性を考慮した自転車振動モデル開発と評価指標の構築
3. 学会等名 第27回舗装工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橘圭吾、高橋清、富山和也、萩原亨
2. 発表標題 自転車振動モデルを用いた路面平坦性の評価
3. 学会等名 土木学会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 明田拓士、橘奎伍、高橋清、富山和也、萩原亨
2. 発表標題 BRIを用いた実道における自転車走行路面評価の可視化に関する基礎的研究
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	萩原 亨 (HAGIHARA TORU) (60172839)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	富山 和也 (TOMIYAMA KAZUYA) (70589580)	北見工業大学・工学部・准教授 (10106)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------