

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20843

研究課題名(和文) 生体疲労計測に基づく時間依存性を考慮した合理的な走行路面評価手法の開発

研究課題名(英文) Reasonable Evaluation Method of Road Surface Unevenness Considering
Physiopsychological Time-dependency

研究代表者

富山 和也 (Tomiyama, Kazuya)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：70589580

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)：本研究は、路面の縦断凹凸由来の生体疲労について、人の精神的負荷および認知的注意の観点から、ドライビングシミュレータを用いた走行試験を実施し検討したものである。結果として、路面凹凸の増加に伴い、認知反応時間が有意に増加する場合、生理的に定量化された短期的および長期的な精神的ストレスが共に増加することがわかった。この結果より、路面凹凸の増加は、快適性の低下のみならず、疲労の増加に伴う反応時間の増加により、安全性の低下につながることを明らかにした。また、生理心理反応に基づき、幹線道路における縦断凹凸の許容限界について検討し、既存研究成果を裏付ける結果を得た。

研究成果の概要(英文)：This study examines the influence of road surface unevenness on the mental fatigue expressed by physiopsychological responses of humans by use of a sophisticated driving simulator. This study employs the following two physiopsychological measures: one is perceptual reaction time that refers to attentional resources for evaluating cognitive performance of humans, and heart rate variability indices that indicate mental stress corresponding to physiological changes in the autonomic nervous systems. As a result, both the long- and short- term mental stress increase when reaction time increases significantly proportional to the increase of surface roughness. This result indicates that surface roughness affects not only the ride comfort but also reduction of the safety by increasing reaction time with increasing mental fatigue. This study also provides the acceptable limit of the IRI for highways, which supports existing research results regarding roughness evaluation.

研究分野：交通工学

キーワード：路面評価 生体疲労 精神的負荷 認知反応時間 生理心理計測 ドライビングシミュレータ

1. 研究開始当初の背景

人口構造および社会基盤施設の高齢化が深刻化する昨今、道路・交通環境の整備には、利用者の視点を取り入れた質的満足度の高い対策が求められている。特に、道路利用者評価に直結する路面の状態は、豊かなモビリティ社会をつくるために欠かせない、道路・交通環境の重要な評価指標である。しかし、これまでの路面評価には、車両振動の時間的な変化と対応した以下の問題（時間依存性）があり、道路の管理実態と利用者評価の間に乖離が生じている。

- (1) 問題 1 持続時間：従来の路面評価は対象とする区間長を恣意的に選択し、一定区間を走行した平均的な評価を意図しているため、瞬間的な局在損傷により、利用者評価が歪められる可能性がある。また、評価結果は、道路利用者の事前の期待と経験の影響を受ける可能性がある。
- (2) 問題 2 累積時間：従来の路面評価は、路面機能として最低限確保されるべき車両の快適性・安全性については考慮されているが、長期的な走行時間とともに累積し、潜在的な要因である路面由来の生体疲労への影響は未解明となっている。

2. 研究の目的

本研究課題は、道路の管理実態と利用者評価の間に生じた乖離を埋めるための研究として位置づけ、生理心理情報に基づき、利用者評価の時間依存性を考慮した合理的な走行路面、特に縦断凹凸の評価手法の開発を目的とした。具体的には、以下の通りである。

- (1) 生理反応に基づく受動疲労の時間依存性解明：ここでは、生体情報計測に基づき、路面損傷に起因する車両振動の持続時間と累積時間に着目し、路面由来の生体疲労を「受動疲労」と定義しモデル化することで、利用者評価の時間依存性を解明する。
- (2) 生理心理反応に基づく路面評価手法の開発：最終目標は、時間依存性を考慮した路面評価手法を開発し、心理負荷を根拠とした疲労限界を設定するとともに、既存手法に対する提案手法の優位性・有効性を検証することである。

3. 研究の方法

本研究では、ドライビングシミュレータ（以下、DS とする）を用いた VR（Virtual Reality）空間において走行試験を実施し、生理心理計測に基づく路面評価手法の開発を行った。路面評価型 DS による走行試験状況を図-1 に示す。また、DS において、実路面測定データを利用するにあたり、各種路面測定装置の測定

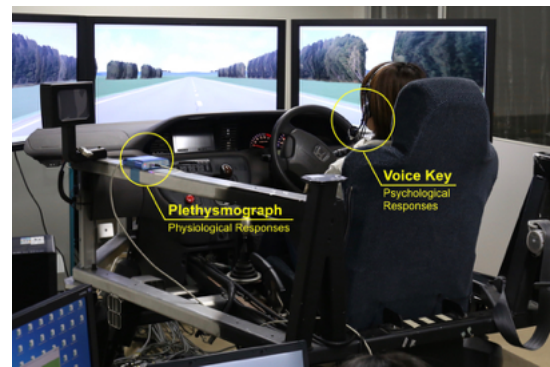


図-1 ドライビングシミュレータの外観

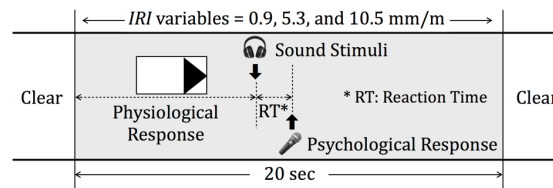


図-2 走行試験シナリオ

精度について検証を行った¹⁾。

(1) 物理・生理・心理指標の概要

① 物理指標

物理指標は、路面縦断凹凸の評価指標として世界的に標準の国際ラフネス指数(IRI)を用いた。また、IRIは、国内においても、近年策定された舗装点検要領²⁾において必須の点検項目となっている。ここで、IRIとは、一般的な二軸四輪車の一輪をモデル化し、そのサスペンションストロークを走行距離で割ることにより求められる、車両振動に基づく路面縦断凹凸の評価指標である。

② 心理指標

複数の作業や情報の認知的処理に対し、同時に向けられる注意は分割されて配分される。その処理に必要な心的エネルギーが注意資源であり、その量には限界があることが知られている³⁾。例えば、複数与えられた刺激の一つに注意を向けた場合、異なる刺激での注意資源量が低下し、要求課題へのパフォーマンスが低下する。注意資源が影響する認知過程の把握には、与えられた音程の異なる音刺激に対する反応時間（Reaction Time）を指標とした。反応時間は、Psychology Software Tools社のE-Prime2.0およびレスポンスボックスを用いたVoice Keyによる音声回答により計測した。

③ 生理指標

精神的ストレスの評価には、心拍変動の周波数領域における自律神経系指標の有効性が確認されている⁴⁾。心拍変動は、精神的ストレスなどによって変化する自律神経系の活動を

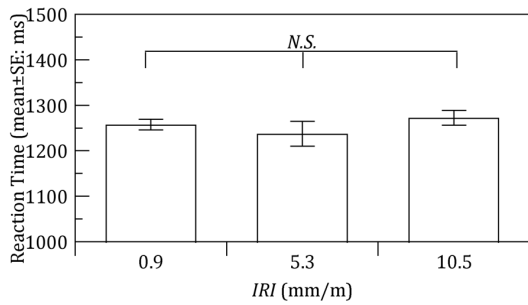


図-3 IRI ごとの平均反応時間

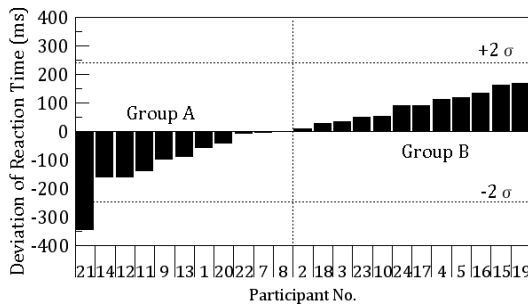


図-4 基準路面との反応時間差

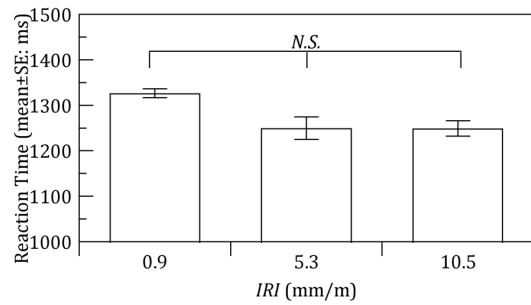
表す重要な生体情報の一つである。とりわけ、心拍変動は、周波数領域において、高周波成分 (HF: 0.15-0.4Hz) と低周波成分 (LF: 0.04-0.15) に 2 つのピークを持ち、HF は副交感神経系の、LF は副交感神経系と交感神経系の活動を反映することが知られている⁴⁾。本研究では、生理指標として HF および LF/HF を用いた。ここで、HF はストレスのない状況下で増加し、LF/HF はストレス状況下で増加する性質がある。なお、脈波計測は、株式会社 TAOS 研究所製の BACS Advance を用いた。

(2) 走行試験シナリオ

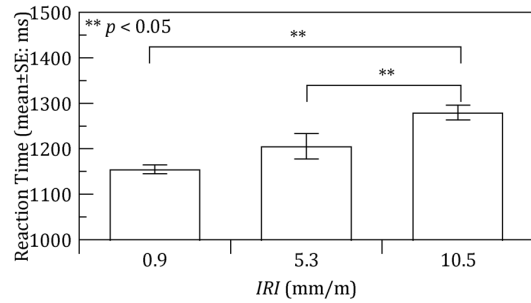
走行試験における路面条件は、一般道路の新設や高速道路、供用中および供用後の破損が生じた状態を想定し、IRI が (i) 0.9, (ii) 5.3 および (iii) 10.5 mm/m の 3 水準とした。走行条件は、運転操作による生理・心理的負荷の影響を排除するため助手席状態とし、1 試行あたり、各被験者に対しランダムに与えられた各路面水準について、幹線道路を想定した走行速度 60 km/h で 20 秒間体験するよう設定した。試行回数は、各路面条件を 15 回の計 45 回である。試験シナリオを図-2 に示す。

(3) 試験参加者

走行試験には、参加者として、健常な男女 24 名 (女性 12 名、平均年齢 21.6 歳) の協力を得た。また、本試験は、北見工業大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を受け、全ての被験者から自由意志による試験参加への同意を得た上で実施した。なお、女性被験者 1 名については、心理および生理反応



(a) グループ A



(b) グループ B

図-5 参加者グループごとの平均反応時間

の計測エラーによる欠測のため、解析対象外とした。

4. 研究成果

(1) 心理反応

① 反応時間と IRI の関係

図-3 に IRI ごとの平均反応時間を示す。図より、IRI が増加するに従い、反応時間も増加する傾向にあるが、IRI を独立変数とし反応時間を従属変数とした有意水準 5% での対応のある一元配置分散分析の結果、IRI の主効果に有意差はみられず ($F(2, 44) = 0.78, p > 0.05$)、個人差で有意 ($F(22, 44) = 16.65, p < 0.05$) となった。ここで、反応時間の絶対値の解釈は困難であるため、図-4 に示す通り、被験者ごとに IRI が 0.9 mm/m の路面より得られた結果を基準とし、IRI が 5.3 mm/m および 10.5 mm/m における条件下で得られた反応時間との相対的な差の平均値を求め整理した。図中、参加者 6 は上述の通り欠測となっている。図より、反応時間は、基準路面上で得られた値に比べ、減少する場合と増加する場合が同程度存在することがわかった。そこで、本章では、図-4 に示す様に基準路面からの反応時間が減少したグループ A と増加したグループ B の参加者グループに分けて実施する。なお、参加者 21 は、解析対象とした全参加者の平均的な反応時間差に対し、5% 有意水準の棄却域に相当する標準偏差の 2 倍以上異なる結果となったことから、以降の解析では除外することとした。

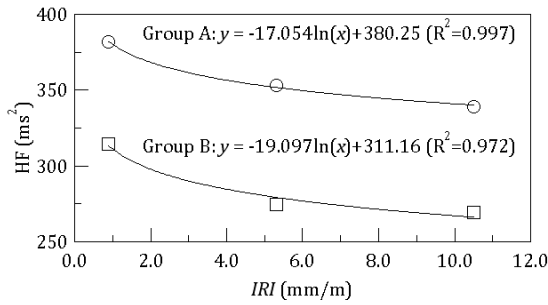


図-6 IRI と HF の関係

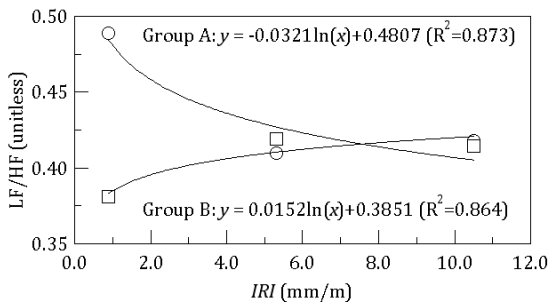


図-7 IRI と LF/HF の関係

② 参加者グループ別の反応時間

図-5 に、前項で判別したグループごとの平均反応時間を示す。また、分散分析において、主効果が有意となった場合には、事後にチューキーのHSD法により多重比較検定を行なった。図より、グループAでは、主効果に有意差がみられなかった ($F(2, 18) = 2.97, p > 0.05$)。一方、グループBでは、主効果に有意差があり ($F(2, 22) = 12.96, p < 0.05$)、多重比較の結果、IRIが0.9 mm/mと10.5 mm/mおよび5.3 mm/mと10.5 mm/mの間で有意差がみられた。このことから、反応時間が増加する参加者は、運転行動が伴わない場合であっても、路面凹凸が注意資源に影響を及ぼす結果となった。

(2) 生理反応

① HF と IRI の関係

図-6 に、参加者グループごとのIRIとHFの関係を示す。図より、どちらのグループもIRIの増加に伴いHFが減少しており、精神的ストレスが増加する結果となった。また、精神的ストレスの増加傾向は各グループで同様であるが、グループBはグループAに比べ、精神的ストレスが高い傾向にあった。

② LF/HF と IRI の関係

図-7 に、参加者グループごとのIRIとLF/HFの関係を示す。図より、グループAでは、IRIの増加に伴いLF/HFが減少する一方、グループBでは、IRIの増加に伴いLF/HFが増加する結果となった。ここで、既往研究⁵⁾において、LF/HFは、時間変化に伴う精神的ストレ

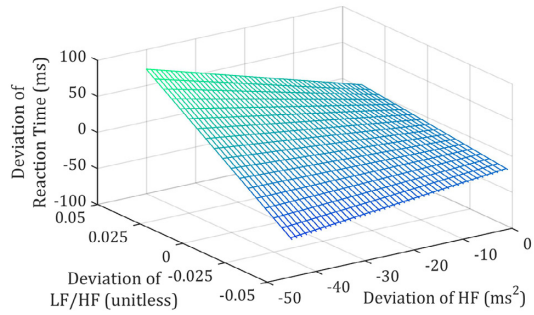


図-8 反応時間と心拍変動指標の関係

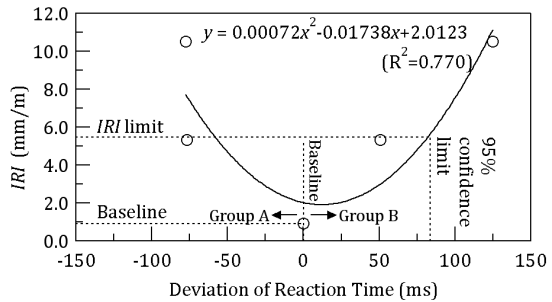


図-9 IRI と基準路面に対する反応時間差の関係

スと相関し、比較的長い時間で生じる路面由来の精神的な疲労と関係することが示唆されている。この結果に鑑みると、グループAは、試験時間内での疲労の発現がなく、一方のグループBでは、疲労が発現したものといえる。このことから、グループAとグループBでは、生理反応の生じ方が異なるものといえる。

(3) 生理心理反応に基づく路面評価モデル

これまでの結果から、図-8に示す通りHFとLF/HFがともに精神的ストレスを表す場合に反応時間が増加することが確認できる。この結果は、IRIの増加が、ストレス増加に伴う快適性の低下のみならず、疲労の増加に伴う安全性の低下につながることを示している。

以上の結果に基づき、図-9に、IRIとグループごとの各路面条件下での基準路面に対する反応時間差の平均値の関係を示す。図中、IRIと反応時間差の関係は二次関数により回帰した。ここで、IRI = 0.9 mm/mにおける反応時間の95%信頼区間の幅を求めたところ、83.4 msとなった。即ち、これ以上の反応時間の増加は偶然には生じ得ないと考えられる。そこで、図-9に示す回帰式から、反応時間差83.4 msに対応するIRIを求めたところ、IRI = 5.4 mm/mとなり、この値が、乗員の安全性および快適性を考慮した幹線道路におけるIRIの許容限界の目安になるものといえる。

なお、表-1は、物理・心理・生理指標による路面の縦断凹凸評価の既往研究成果を整理

表-1 路面の縦断凹凸評価に関する
既往研究成果

物理指標	心理指標
藤田ら ⁶⁾ は、市街道路の路面モニタリングの結果、一般国道および主要地方道におけるIRIは概ね5 mm/m以下であることを報告している。	石田ら ⁷⁾ は、DSを用いた体感試験によるアンケート評価の結果、IRIが5 mm/mの場合、走行速度60 km/hでは、乗り心地が「悪く」安心感として「やや危険」であることを示している。
生理指標	本研究
富山ら ⁵⁾ は、DSを用いた体感試験の結果、路面由来の精神疲労の観点から、幹線道路におけるIRIの許容水準として5.2 mm/mが目安となることを示している。	本研究では、路面と人の認知に関わる心理反応および精神的ストレスに関わる生理反応を統合し検討したところ、IRIの許容限界が5.4 mm/mとなることを明らかにした。

したものであるが、いずれの研究においても、概ねIRI = 5 mm/m程度が閾値となっており、本研究結果は、IRIの許容限界として妥当なものであり、また、既往研究成果を裏付けるものとなった。本研究結果は、路面管理基準の策定のみならず、移動時の精神的・身体的負担の軽減に寄与することから、特に今日の社会的関心事である職業ドライバや高齢ドライバの疲労軽減、交通事故低減にも貢献するものと期待できる。

<引用文献>

- 1) Tomiyama, K., Nakamura, H., Mashito, H., Jomoto, M., and Watanabe, K.: Accuracy of Road Surface Profilers in TRUE Project: Experiment to Compare Test Methods for Surface Roughness Under Actual Road Environment: Transportation Research Board, Vol.96, No.17-03150, January, 2017.
- 2) 国土交通省道路局: 舗装点検要領, 2016.
- 3) 日本認知心理学会編: 認知心理学ハンドブック, 有斐閣, 2013.
- 4) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart Rate Variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, European Heart Journal, Vol. 17, No. 3, pp. 354-381, 1996.
- 5) 富山和也, 川村 彰, Rossi, R., Gastaldi, M., Mulatti, C.: 心拍変動解析に基づく精神疲労を考慮した路面平坦性評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.71, No.3, pp.1-1-1.8, 2015.
- 6) 藤田 旬, 富山和也, Nueraihemaitjiang

ABLIZ, 川村 彰: 簡易平坦性測定およびGISに基づく市街地道路の路面モニタリング, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.2, pp.1-90-1.97, 2013.

- 7) 石田 樹, 岳本秀人, 川村 彰, 白川龍生: ドライビングシミュレータによる舗装路面の乗心地・安心感評価, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp.49-56, 2004.

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計15件)

- [1] Kazuya Tomiyama, Akira Kawamura, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, and Claudio Mulatti: Contribution of Physiopsychological Measurements to Improving Ride Experience of Road Users Related to Surfaces Unevenness, Proceedings of the 8th Symposium on Pavement Surface Characteristics, Vol.8, pp.1-10, 2018 (査読有り) .
- [2] Kazuya Tomiyama, Hiroyasu Nakamura, Hiroyuki Mashito, Kazushi Moriishi, Masakazu Jomoto, Kazuhiro Watanabe: Comparison of Different Roughness Measuring Devices in True Project, Proceedings of the 8th Symposium on Pavement Surface Characteristics, Vol.8, pp.1-7, 2018 (査読有り) .
- [3] Kazuya Tomiyama, and Akira Kawamura: Physiological Information for Pavement Ride Quality Verification, Journal of Testing and Evaluation, ASTM, Vol.46, No.1, pp.227-235, January, 2018 (査読有り) .
- [4] 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: 路面のラフネスに対する車両乗員の生理心理反応と許容限界評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.73, No.3 (舗装工学論文集第22巻), pp.1-89-1.96, 2017年12月 (査読有り) .
- [5] Kazuya Tomiyama, Akira Kawamura, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: Road Roughness Evaluation Considering Mental Fatigue Accumulation on Heart Rate Signals, Proceedings of the International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Vol.10, Paper No.75, 2017 (査読有り) .
- [6] Kazuya Tomiyama, Hiroyasu Nakamura, Hiroyuki Mashito, Kazushi Moriishi, K, Masakazu Jomoto, and Kazuhiro Watanabe: Harmonization of Devices for Measuring Surface Roughness in True Project, Proceedings of the International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Vol.10, Paper No.82, 2017 (査

- 読有り) .
- [7] Kazuya Tomiyama, Akira Kawamura, Masayuki Eguchi, Masaru Terada, and Kazuhiro Watanabe: Test Method for Accuracy Verification of Low-speed Profilers in Construction Control of Pavement Surface, Proceedings of the International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Constructed Infrastructure Facilities, Vol.10, Paper A.8.3, 2017 (査読有り) .
- [8] Kazuya Tomiyama, Hiroyasu Nakamura, Hiroyuki Mashito, Masakazu Jomoto, and Kazuhiro Watanabe: Accuracy of Road Surface Profilers in TRUE Project: Experiment to Compare Test Methods for Surface Roughness Under Actual Road Environment, Transportation Research Board, Vol.96, No.17-03150, January, 2017 (査読有り) .
- [9] Trinh Thi Lan, Kunnawee Kanitpong, Kazuya Tomiyama, Akira Kawamura, and Takashi Nakatsuji: Effectiveness of Retroreflective Tape at Rear End of Heavy Trucks to Increase Visibility and Reduce Rear-End Collisions, Transportation Research Board, Vol.96, No.17-03792, January, 2017 (査読有り) .
- [10] 富山和也, 川村 彰, 江口利幸, 寺田 剛, 渡邊一弘: 平坦性評価に要する低速プロファイラの測定精度とその検証に関する視点と方法, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 72, No.3, pp.I_27-I_35, 2016年12月 (査読有り) .
- [11] Kazuya Tomiyama, Akira Kawamura, Application of Lifting Wavelet Transform for Pavement Surface Monitoring by Use of a Mobile Profilometer: International Journal of Pavement Research and Technology, Vol.9, No.5, pp.345-353, September, 2016 (査読有り) .
- [12] 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: 心拍変動解析に基づく精神疲労を考慮した路面平坦性評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.71, No.3, pp.I_1-I_8, 2015年12月 (査読有り) .
- [13] 富山和也, 中村博康, 増戸洋幸, 城本政一, 渡邊一弘: 共通試験結果に基づく路面プロファイラの有効性とその検証方法, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.71, No.3, pp.I_9-I_16, 2015年12月 (査読有り) .
- [14] Kazuya Tomiyama, and Akira Kawamura: Application of Lifting Wavelet Transform for Pavement Surface Monitoring by use of a Mobile Profilometer, Proceedings of the International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Vol.9, August, 2015 (査読有り) .
- [15] Kazuya Tomiyama, and Akira Kawamura: Physiological Information for Pavement Ride Quality Verification, Proceedings of the International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Vol.10, August, 2015 (査読有り) .
- [学会発表] (計9件)
- [1] 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: ヒトの心理および生理情報に着目した客観的な路面のラフネス評価, 土木学会土木情報学委員会, 東京・四谷, 2017年9月.
- [2] 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: 生理心理計測に基づく走行路面の安全性および快適性評価の可能性, 土木学会, 福岡県福岡市, 2017年09月.
- [3] 富山和也, 川村 彰, 亀山修一: 水準測量および Dipstick による基準路面プロファイルの測定方法, 土木学会北海道支部, 北海道北見市, 2017年2月.
- [4] 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: 生体情報に基づく精神的負荷の時間依存性を考慮した路面平坦性評価, 土木学会土木情報学委員会, 東京・四谷, 2016年09月.
- [5] 富山和也, 川村 彰: 路面由来の精神疲労評価における心拍変動指標の有効性と時間依存性の検証, 土木学会, 宮城県仙台市, 2016年9月.
- [6] 富山和也, 川村 彰, Nueraihemaitjiang Abulizi: 簡易路面測定装置を用いた生活道路における平坦性実態の把握, 土木学会北海道支部, 北海道札幌市, 2016年01月.
- [7] 富山和也, 川村 彰, 岩本惇志, 脈波計測に基づく路面評価を対象とした生体疲労関連指標の検討, 土木学会, 岡山県岡山市, 2015年09月.
- [8] 富山和也: 「質の時代」における路面プロファイリング, 北見土木技術協会, 北海道北見市, 2015年06月.
- [9] 富山和也: 「質の時代」の路面プロファイリング, 北海道土木技術会舗装研究委員会, 北海道札幌市, 2015年06月.
- [その他]
ホームページ等
Kazuya Tomiyama/KIT
<https://sites.google.com/site/kittomiyama/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
富山 和也 (Kazuya Tomiyama)
北見工業大学・工学部
助教
研究者番号: 70589580