

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06262

研究課題名(和文) 信号情報提供に対する反応を考慮したネットワーク交通流円滑化とCO2削減効果の分析

研究課題名(英文) Analyzing effects of traffic signal information provision on network traffic flow improvement and CO2 emission reduction considering driver response

研究代表者

松本 幸正 (MATSUMOTO, Yukimasa)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：30239123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：交差点に接近する車両に信号情報を提供することにより、交通流の円滑化や二酸化炭素排出量の削減を図るシステムの開発を目指した。実環境を模擬した交通状況を再現し、その中の1台としてドライビングシミュレータで運転実験を行い、情報提供の効果を把握した。その結果、情報提供によって無駄な加減速挙動が減り、CO2排出量も削減されることがわかった。信号情報に反応するドライバーが混在する環境での情報提供の効果を把握するため、マルチエージェントシミュレーションを行った。その結果、反応ドライバーが多いほど、交差点での停止率が減少して交通流の円滑化につながることもわかった。

研究成果の概要(英文)：The system providing traffic signal information to a vehicle approaching a signalized intersection has been developed for alleviating traffic congestion and reducing an amount of CO2 emissions. Driving experiments with a driving simulator under actual traffic conditions reproduced by a microscopic traffic simulation show that unnecessary vehicle movements are reduced and the amount of CO2 emissions is also decreased by information provision on traffic signal. A multi-agent simulation was also conducted for grasping effects of information provision under mixture conditions of responding drivers to the information. As a result, stopping ratio at each intersection is decreased more and traffic flows are smoothed more as the ratio of responding drivers becomes larger.

研究分野：交通工学

キーワード：交通信号 交差点 情報提供 二酸化炭素 ドライビングシミュレータ 交通流シミュレーション マルチエージェント 強化学習

1. 研究開始当初の背景

走行する車両へ交差点の信号情報を伝達するインフラ協調型の安全運転支援システム DSSS(Driving Safety Support System)の運用が、平成 23 年 7 月に開始された。具体的には、赤信号で停車の際に待ち時間の目安が表示されるもので、ドライバーに発進の準備を促すことにより発進遅れの減少につなげようというものである。このように、インフラ側の情報として信号情報の利用が実務的に可能となり、信号情報を用いたさらなる交通流の円滑化策が期待されている。

信号情報の提供は道路ネットワーク環境の改善に有効であると考えられており、信号情報を利用してアイドリングストップを促すシステムの開発を目指した研究¹⁾、信号現示の情報から推奨速度を提供するシステムのシミュレーションを行った研究²⁾、アクセルオフ情報の提供による二酸化炭素の排出量削減効果をシミュレーションで明らかにした研究³⁾、信号灯色残時間の提供によるジレンマ軽減効果を実道路で実験した研究⁴⁾などがあり、信号情報の提供効果が様々な面から示されている。しかしながらこれらの研究においては、信号情報提供による個々のドライバーの反応が考慮されておらず、ドライバー特性に応じた最適な情報提供の実現には至っていない。

信号の状態によってドライバーの実際の走行挙動がどのようになるかを観測した研究⁵⁾も見られる。これらの研究成果は、信号情報を適切にドライバーに伝えることによって、走行挙動を望ましい方向に変えることができることを示唆している。

様々な交通状況下において、情報提供を受けたドライバーの反応を観測することは、実際には難しい。また、まだ実現していないシステムの評価を行うことは現実的には不可能である。このような場合には、ドライビングシミュレータの活用が有効で、多くの研究実績も見られる⁷⁾、⁸⁾、⁹⁾。特に、危険を伴う可能性がある情報提供システムの評価には、ドライビングシミュレータを用いた実験が適しているといえる。例えば、追従状態においては、情報を受け取った先行車が予期せぬ挙動を取った場合には衝突の危険性が高まる可能性があり、ドライビングシミュレータを用いた安全な環境下において、情報提供による危険性の評価が欠かせない。

新たな情報提供システムが普及する段階においては、情報を受け取る車両と受け取らない車両とが混在した交通流を形成すると考えられる。この場合、情報提供が道路ネットワーク環境の改善に及ぼす影響は、1 台のみに情報を提供した場合の効果を単純に足し合わせたものとは異なる。また、情報を受け取る車両の混在率によっても、道路ネットワーク環境の改善効果に及ぼす影響も異なってくると考えられる。このように、情報を受け取る車両の混在率と道路ネットワーク環境

の改善効果の関係も捉えておく必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、信号情報をドライバーに提供することによって、道路ネットワーク環境を改善し、車両からの二酸化炭素排出量を削減可能なシステムの開発を目指し、次の大きな 2 つの目的を設定して研究を遂行する。

(1) 複数車両が走行する交通流環境下における情報提供の効果の把握

1 台の車両のみではなく、複数車両が走行する道路ネットワーク環境における情報提供の効果の把握するため、マイクロ交通流シミュレータとドライビングシミュレータを連動させる。この連動により、マイクロ交通流シミュレーションで構築した道路交通流環境下をドライビングシミュレータで走行するという整合の取れた交通環境を創り出すことができ、車両間が相互に影響を及ぼし合う交通流において、信号情報を提供した場合の交通流円滑化や二酸化炭素排出量削減への効果を把握する。

車両が複数台走行するため、先行車両が情報提供を受けて予期せぬ減速等を行い、後続車が追突する可能性もある。このため、複数車両の存在を前提とした情報提供方法も考案して情報提供システムに組み込み、情報提供による追突危険性の低減を図る。

(2) ドライバーの反応を考慮した情報提供効果の把握

情報提供システムの普及期においては、情報を受け取れる車両と受け取れない車両が混在すると考えられる。あるいは、情報提供を行ったとしてもその情報に対して反応しないドライバーが存在する可能性もある。そこで、情報提供に反応するドライバーと反応しないドライバーが混在する環境を想定し、それらのドライバーをマルチエージェントによって表現して交通流シミュレーションを行い、情報提供を受ける車両の混在率と道路ネットワーク環境の改善効果の関係を把握する。

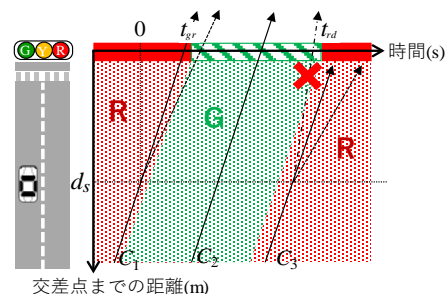


図1 アクセルオフ情報の考え方

3. 研究の方法

(1) 複数車両が走行する交通流環境下における情報提供の効果の把握

図 1 は、信号交差点に接近する車両の時間—距離図である。横軸は時間経過であり、縦

軸は信号交差点までの距離である。背景の色は車両が一定の速度で走行したときに交差点に到着したときの信号の状態を示している。この図において、ある車両 C_1 が一定の速度で走行した場合、信号交差点に到達したときの信号状態は、赤信号であるため停止する。しかし、信号は、 t_{gr} のタイミングで、青信号に切り替わるため、車両が減速を行った場合、赤信号で停止すること無く信号交差点を通過できると考えられる。そこで、車両 C_1 に対して、距離 d_s の地点で減速支援の情報提供を行う。車両 C_1 は、情報に従って走行した場合、破線のように信号交差点を無停止で通過可能となる。

車両 C_2 は、一定の速度で走行した場合、信号の状態が青信号のときに到達するため、情報提供を行わないこととする。

車両 C_3 は、一定の速度で走行したとき、赤信号で到達するが、加速を行った場合において、鎖線のように信号交差点を通過することができる。しかし、そのような行動は、交通事故のリスクを高める可能性がある。そのため、車両 C_3 に対しては、減速支援の情報を提供し、破線のような挙動をとらせるようにする。この情報提供を行うことで、信号交差点付近のアイドリング時間の低減が見込めることになる。

本システムでは、現在速度では交差点を通過できないが、アクセルを離せば交差点が通過可能となる場合、「アクセルオフ通過可能」情報の提供が行われる。この情報提供中に減速が十分に行われ、現在の速度で交差点を通過できるようになった時点で、「推奨速度」情報に表示を切り替える。

一方、車両がアクセルを離して走行したとしても信号交差点を通過できない場合は、「アクセルオフ停止時間減少」情報を提供する。この場合、交差点の手前でブレーキを踏むことになるが、待ち時間を減少できることになる。

現在速度で交差点を通過でき、かつ、制限速度以下の場合は、「推奨速度」情報として現在速度を表示する。制限速度以上の場合は、情報提供を行わない。

後続車両に対しても同様の方法で情報提供を行う。

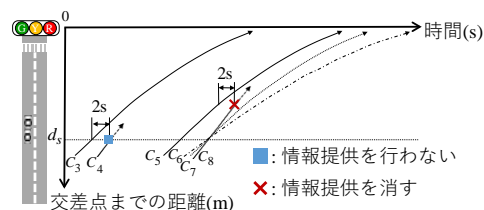


図2 複数車両への情報提供方法

図2は、複数の車両が距離 d_s から信号交差点に接近する場合の時間と距離の関係を示した図である。

情報提供を受けた先行車両 C_3 は、次の信号交差点から一定の距離 d_s より、減速を開始す

る。この場合、後続車両 C_4 が、先行車両 C_3 の予期せぬ減速挙動に反応しきれない可能性がある。このとき、先行車両と後続車両との距離が短くなり、衝突の潜在的な危険性が高まることもあると考えられる。そのため、情報提供開始地点において、後続車両と前方車両との車頭時間が2秒以内である場合、情報提供を行わないこととし、車頭時間が2秒以上確保された後、情報提供を行うこととする。

車頭時間が2秒以上であり、後続車両の速度が先行車両より遅いか同じ C_6, C_7 の場合は、先行車と同様に情報提供を行う。車頭時間が2秒以上あるものの、後続車両の速度が先行車両より速い C_8 のような場合、後続車両に対して情報提供を行ったとしても、両車の距離が接近し過ぎてしまう可能性が考えられる。したがって、2台の車両間の車頭時間が2秒未満になった時点で、提供された情報を消すこととする。

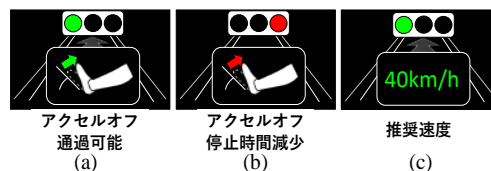


図3 情報のデザイン

図3は、走行実験中表示される3種類の情報提供のデザインである。左の図3(a)は、情報提供に従い、アクセルを離して走行したとき、次の信号交差点を無停止で通過可能となる場合に表示される「アクセルオフ通過可能情報」である。中央の図3(b)は、アクセルを離して走行したとき、次の信号交差点を通過することは出来ないが、アイドリング時間の減少が見込める場合に表示される「アクセルオフ停止時間減少情報」である。右の図3(c)は、走行速度がアクセルオフ情報により低下したとき、現在速度で信号交差点を十分に通過可能となった場合に表示される推奨速度情報である。

(2) ドライバーの反応を考慮した情報提供効果の把握

走行挙動をモデル化するにあたり、車両の走行を車間距離により自由走行と追従走行の2種類に分ける。自由走行とは、車間距離が広がっている場合に用いる走行方式であり、追従走行とは、車間距離が狭まった場合に、前方車との衝突が起きないように追従を行う走行方式である。

自車が現在速度で2秒走行した時の距離が、現在の前方車との距離以上である場合に追従走行とし、それ以上の距離がある場合は自由走行とする。

信号情報に反応することで加減速を行うことになるが、これを強化学習によって決定し、できるだけ赤信号で停止することなく通過できるように学習する。停止しなければならぬ場合は、できるだけ停止時間を短く、

かつ、交差点到達時の速度が低くなるように学習する。

この強化学習では、情報を取得した際に実際に取った加減速度の行動の結果、どのような走行状態になったのかを Q-learning で順次学習し、次の加減速の行動を選択していくことになる。

なお、無反応ドライバーの行動は、自由走行と追従走行の走行状態のみによって決定される。



図4 対象区間の概略



図5 ミクロ交通流シミュレーションによる実交通流の再現

4. 研究成果

(1) 複数車両が走行する交通流環境下における情報提供の効果の把握

実在する環境下での情報提供効果の把握を行うため、図4に示す沖縄県国道58号線の一部を対象とした区間をドライビングシミュレータ上に仮想空間として構築するとともに、ミクロ交通流シミュレーションでもこの区間を再現する。

実環境の交通流は、交通量、分岐率、信号現示時間の観測値を用いて再現する。交通量は、渋滞が起きていないものの、ある程度の交通量がある時間帯として、2013年8月1日(木)の午前6時から午前7時に観測された合計4,701台/一方向/時間を用いた。図5は、本実験の対象コースである沖縄県の国道58号線一部区間を、交通流シミュレーションで再現した一場面である。

ミクロ交通流シミュレーションは、全車両に対してアクセルオフ情報の提供が行われる場合と行われない場合の計2パターンで行った。これらの交通流シミュレーションによる個々の車両の走行ログをドライビングシミュレータの環境に読み込み、その交通流中の1台として運転実験を行う。



図6 ドライビングシミュレータによる実交通環境の再現

図6は、ドライビングシミュレータの運転

実験における画面である。図のように中央画面の左下の位置にカーナビゲーションを想定して、情報を表示させる。

走行実験は、運転経験が1年以上の免許を保有する20歳代の計10名を被験者として行った。最初に約3分間の練習走行を本実験のコースで行ってもらった後、再現した交通流中の1台の車両として、対象区間を走行してもらった。走行実験のパターンは、計3パターンであり、全車両に情報提供が行われない場合の交通状況下において、被験者の車両に情報提供が行われない場合と行われる場合の2パターンの組み合わせに加え、全車両に情報提供が行われている交通状況下において、被験者の車両にも情報提供が行われるパターンである。また、今回は情報提供開始位置を信号交差点から150mとした。

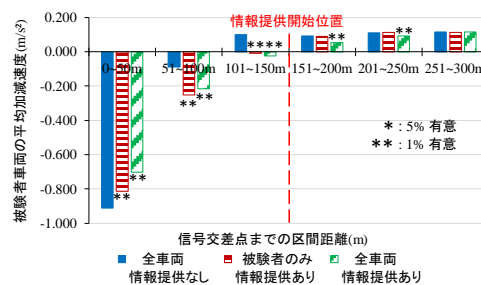


図7 平均加減速度の比較

図7は、信号交差点までの区間距離ごとの平均加減速度を情報提供パターン別で示している。この図より、被験者車両への情報提供を行うことで車両がより緩やかな減速挙動をとっていることが、特に交差点から0~150m区間において見て取れる。

全車両情報提供なしのパターンとその他の2パターンとの差の検定をそれぞれ、区間ごとに行った。被験者車両のみ情報提供ありのパターンにおいては、情報提供が行われた信号交差点から150m以内の区間平均加減速度において、全車両情報提供なしの場合と比べて有意な差が生じており、被験者の車両への情報提供が緩やかな車両挙動につながっていることがわかる。しかしながら、全車両情報ありのパターンでは、交差点から201m~250m区間から有意な差が生じている。この要因として、全ての車両への情報提供によって交通流全体で交差点手前で緩やかな減速が発生し、それらに続く後続車にも速度低下が伝搬していくことになるが、同様に被験者車両も実際の情報提供位置である150mよりも早い区間において前車からの影響を受けて減速したことによると思われる。

図8は、情報提供パターン別で1軸に走行状況別の被験者車両からのCO₂排出量の割合を、2軸に被験者車両からのCO₂排出量(kg-CO₂)を示した図である。この図より、情報提供が行われた2パターンにおいて、全車両情報提供なしのパターンと比べ、それぞれ減速時や停止時におけるCO₂排出量の割合

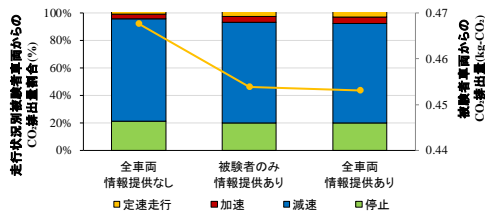


図8 走行状況別のCO₂排出量の比較

が減少していることが見て取れる。一方、定速走行時と加速時におけるCO₂排出量割合は、全車両情報提供なしのパターンと比べ、それぞれ増加していることが見て取れる。しかし、減速時や停止時のCO₂排出量の占める割合が高かったため、情報提供が行われた2パターンにおけるCO₂排出量は、全車両情報提供なしのパターンと比べ、削減される結果となった。

以上のことから、実現象を再現した複数車両が存在する交通流環境下においても、信号情報に基づくアクセルオフ情報の提供によって、信号交差点手前における加減速挙動は減少し、交通流の円滑化につながるようになった。車両から排出されるCO₂も、アクセルオフ情報の提供によって削減され、特に、交通流全体に情報提供を行った場合の削減効果が最も大きいことがわかった。

(2) ドライバーの反応を考慮した情報提供効果の把握

実在する環境を用いたシミュレーションでの検証を行うため、ここでも図4に示した沖縄県国道58号線一部区間の交通流についてシミュレーションを行う。発生させる交通量を約3,000 [台/h]と固定し、車両は、直進のみとする。

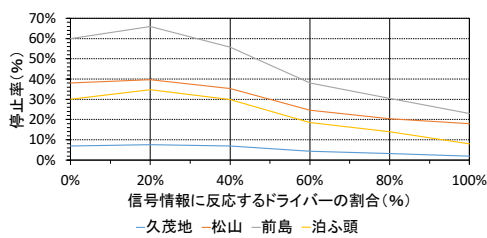


図9 交差点ごとの停止率の変化

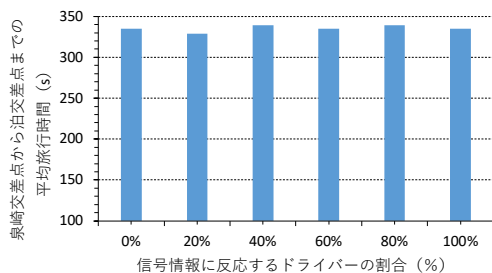


図10 平均旅行時間の変化

図9は、横軸に反応ドライバーの割合、縦軸に各交差点の停止率を取ったものである。どの交差点においても、反応するドライバーの割合が上がるにつれて停止率が低下する

傾向にあることがわかる。反応ドライバーの割合が60%まで増えると、停止率が大きく下がっていることもわかる。

図10は、横軸に反応ドライバーの割合、縦軸に泉崎交差点から泊交差点までの個々の車両の旅行時間の平均を取ったものである。この図からは、反応するドライバーの割合に関係なく、平均旅行時間は、ほぼ一定値であることが見て取れる。このことは、信号情報を受け取って減速をしたとしても、区間の旅行時間に変化はなく、遅れを生じることはないことを意味する。

以上のことから、信号交差点の円滑な通過挙動を取る信号情報に反応するドライバーの混在率が増加するに従って、交差点での停止率は低下し、その結果、無駄なアイドリングが減少し、交通流が円滑化されることがわかった。これらの反応ドライバーは、交差点手前で信号での停止時間を短くするために減速を行うが、これによって区間の旅行時間は増加せず、信号情報の提供によって遅れ時間を発生することはないこともわかった。

<参考文献>

- ① 塚田悟之, 山田勝規: 信号残秒時間を活用したアイドリングストップ支援システムの構築, 第31回交通工学研究発表会論文集, pp.427-432, 2011
- ② Kinoshita, Y., Inoue, S., Fujimaki, T., Simulation of the speed recommendation system for green signal passage, Proceedings of 19th ITS World Congress, 2011
- ③ Iwata, Y., Otake, H. and Takagi, M., Results from simulation evaluation of green wave advisory system, Proceeding of 19th ITS World Congress, 2012
- ④ 塚田悟之: 信号灯色残秒時間を活用したジレンマ軽減支援方策, 交通工学, Vol.48, No.4, pp.42-51, 2013
- ⑤ 小出啓明, 大口敬, 鹿田成則, 小根山裕之: 歩行者信号表示に着目した車両挙動分析, 第31回交通工学研究発表会論文集, pp.7-11, 2011
- ⑥ 小沼良裕, 安井一彦: 停止線付近の車両挙動に着目した単独信号制御の高度化, 第30回交通工学研究発表会論文集, pp.45-48, 2010
- ⑦ 彭冠露, 松本幸正, 大島達哉: ドライビングシミュレータを用いた情報提供方法の違いによるCO₂排出低減効果の比較, 第34回交通工学研究発表会論文集, pp.377-381, 2014
- ⑧ 中山達貴, 中村俊之, 宇野伸宏, 山崎浩気, 山村啓: ドライビングシミュレータを利用した赤信号切り替わり情報提供時の車両挙動分析, 土木学会論文集 D3 特集号, Vol.71, No.5, pp.I_865-I_874, 2015
- ⑧ 櫻井宏樹, 松本修一, 葛西誠, 平岡敏洋: 先々行車両の加減速情報が後続車に与え

る影響, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.71, No.5, pp.I_797-I_804, 2015

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7件)

- ① Matsumoto, Y. and Ishiguro, S., Effect of Information Provision to Following Vehicle on Reducing Amount of CO2 Emissions and Safety Drive, Transportation Research Procedia 27, pp. 93-100, 査読有, 2017.12
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.137>
- ② 石黒祥梧・松本幸正・杉田正俊: ドライビングシミュレータを用いた実環境下における車両への推奨走行情報提供によるCO2排出量の削減効果分析, 第15回ITSシンポジウム2017, p.6, 査読無, 2017.12
- ③ 西尾和也・松本幸正・杉田正俊: 幹線道路における信号情報に反応するドライバーの割合が信号通過に及ぼす影響の分析, 第15回ITSシンポジウム2017, p.6, 査読無, 2017.12
- ④ 西尾和也・松本幸正: 信号情報に対する反応ドライバーが信号交差点通過に及ぼす影響の分析, 交通工学研究発表会論文集, Vol.37, pp.97-102, 査読有, 2017.8
- ⑤ 石黒祥梧・松本幸正: ドライビングシミュレータを用いた異なる情報提供によるCO2排出量削減効果の定量的把握, 第14回ITSシンポジウム2016, 2-B-05, CD-ROM, 査読無, 2016.11
- ⑥ Matsumoto, Y. and Peng, G., Analysis of driving behavior with information for passing through signalized intersection by driving simulator, Transportation Research Procedia 10, pp.103-112, 査読有, 2015.9,
[doi:10.1016/j.trpro.2015.09.060](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.060)
- ⑦ 彭冠露・松本幸正: ドライビングシミュレータを用いた追従車への信号情報提供システム導入によるの挙動変化, 第35回交通工学研究発表会論文集, pp.139-142, CD-ROM, 査読有, 2015.8

[学会発表] (計 9件)

- ① 石黒祥梧・松本幸正・塚本将成・塚本晃直・杉田正俊: 模擬実環境下での車両への推奨走行情報の提供によるCO2排出量の削減効果分析, 平成29年度土木学会中部支部研究発表会, 名古屋大学, 2018.3.2
- ② 西尾和也・松本幸正: 信号情報に反応ドライバーの割合が信号停止に及ぼす影響の分析, 平成29年度土木学会中部支部研究発表会, 名古屋大学, 2018.3.2
- ③ 石黒祥梧・松本幸正: ドライビングシミュレータを用いた複数車両への推奨走行情報の提供による危険性とCO2削減量の把握, 第56回土木計画学研究発表会, 岩手

大学, 2017.11.3

- ④ Ishiguro, S. and Matsumoto, Y., Comparing Vehicle Behavior by Information Provision for Reducing CO2 Emissions to Following Vehicle, 12th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2017.9.18
- ⑤ 西尾和也・松本幸正: 信号情報に反応するドライバーの割合が単一交差点通過に与える影響の分析, 土木学会年次学術講演会, 九州大学伊都キャンパス, 2017.9.11
- ⑥ 石黒祥梧・松本幸正: 追従車両への推奨走行情報の提供が運転挙動に及ぼす影響分析, 土木学会年次学術講演会, 九州大学伊都キャンパス, 2017.9.11
- ⑦ 石黒祥梧・松本幸正: 追従状態車両への推奨走行情報の提供が運転挙動に及ぼす影響分析, 平成28年度土木学会中部支部研究発表会, 金沢大学, 2017.3.3
- ⑧ 西尾和也・松本幸正: 信号情報を取得した車両が交差点通過挙動に与える影響, 平成28年度土木学会中部支部研究発表会, 金沢大学, 2017.3.3
- ⑨ 彭冠露・松本幸正: ドライビングシミュレーションを用いた信号情報提供システム導入による追従車の挙動分析, 平成27年度土木学会年次学術講演会, 岡山大学, 2015.9.16-2015.9.18

[図書] (計 1件)

- ① Matsumoto, Y. and Ishiguro, S., Evaluation of CO2 Emission Reduction from Vehicles by Information Provision Using Driving Simulator, Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation and Logistics, Vol.1, No.2, pp.290-304, 2017.7
https://doi.org/10.1007/978-3-319-57105-8_14
In: Zak J., Hadas Y., Rossi R. (eds) Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation and Logistics. EWGT 2016, EURO 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 572. Springer, Cham
Print ISBN: 978-3-319-57104-1, Online ISBN: 978-3-319-57105-8

[その他]

ホームページ等
<http://civil.meijo-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 幸正 (MATSUMOTO, Yukimasa)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号: 30239123