

原著論文

先方車群情報が燃料消費量および発進時の車両挙動に与える影響

松本 修一¹⁾

¹⁾ 文教大学情報学部

Effect of Acceleration and Deceleration Information from Leading Vehicle Group to the Fuel Consumption and Vehicle Behavior of the Following Vehicle

Shuichi MATSUMOTO¹⁾

¹⁾ Faculty of Information and Communications, Bunkyo University

Abstract: Eco-driving and other environmentally-friendly behaviors have been gaining widespread acceptance. In order to encourage eco-driving efficiently, this study looked at the effect of preceding and pre-preceding vehicle's acceleration-deceleration information on the following vehicle's gasoline mileage. As a result, the followings were found: 1. By providing information to a following vehicle, the fuel consumption rate of the following vehicle can be reduced. 2. With the provision of information on the pre-preceding vehicle, the following vehicles started moving earlier. 3. The pre-preceding vehicle's acceleration information caused the following vehicle to increase its creeping time and accelerate gradually when starting to move. Therefore, it was suggested that sharing the information on pre-preceding vehicles was effective.

Keywords: ITS (Intelligent Transport Systems), Traffic flow, Eco-Driving, Driving simulator

キーワード: 高度道路交通システム, 交通流, エコドライブ, ドライビングシミュレータ

1. はじめに

地球温暖化問題の主要因は、産業革命以降の化石燃料消費の急激な増加によるものとされており、地球温暖化問題とエネルギー消費との間には密接な関係がある。我が国のCO₂排出量は約12億トンにおよび、運輸部門はその19.1%を占めている。そのため、自動車交通においては、CO₂削減や省エネルギー走行といった環境やエネルギーへの対策が重要な課題となっている^{[1],[2]}。

このような背景を踏まえ、エコドライブ普及推進協議会などは、環境に配慮した運転である「エコドライブ10のすすめ」を推進している。「エコドライブ10のすすめ」では、緩やかな発進であるふんわりアクセル「e-スタート」や加減速の少ない運転行動などが推奨されている^[3]。

また、「走る、曲がる、止まる」に加えて、自動車の新たな機能の一つとして「繋がる」に注目が集まっている。この「繋がる」という機能を用いて、自車両だけでなく前方の車両や車群の情報を提供することでドライバーが前方の交通状況に調和した運転を支援することが近年の盛んに議論がなされているととも

にエコドライブの効率化など自動車の環境対策に結びつける研究などもはじまっている。

2. 本研究の目的

近年、エコドライブを継続的に長期間実行するには、モチベーションの向上や継続させる方策の検討^[4]、情報提供・情報共有によるサポートの重要性が指摘されている^[5]。そこで、燃料消費率に関する情報を提供することでドライバーの動機付けに寄与し、運転行動を変化させるシステムの検討^[6]も進められており、エコドライブインジケータなど多くのシステムが開発されている。これらのシステムを今後さらに発展させるためには、自車両だけでなく、さらに先方車群の情報を察知することで、ドライバーに対してより交通流に調和した運転を支援することが重要である^[7]。佐藤らは、加減速情報を先行車両の後部にパネルにして視覚的に後続車に提示する事で、燃料消費率の向上を試みた。その結果、情報提供によって無駄な加速度変化の少ない理想的な追従が行いやすく、燃料消費率も向上する可能性が示唆されると報告している^[8]。また、加茂らの研究^[9]では、先々行車両と先行車両の加減速情報を同時に提示し、先行車両の加減速情報を重視する実験参加者より先々行車両の加減速情報を重視する実験参加者の方が、燃料消費量が良くなる傾向があることを明らかにしている。この研究では、先行車両のブレーキランプを点けないことで先々

2016年1月15日受理。(2016年3月10-11日シンポジウム「モバイル'16」にて発表)

行車両と先行車両の加減速情報の有用性の比較を行った。しかし、ブレーキペダルからアクセルペダルに足を踏みかえる際に、ブレーキランプが消えることが、後続車両のドライバが速度調整や発進のタイミングの参考にしている可能性があるためブレーキランプを付けない自動車に対する追従走行が、必ずしも通常の発進行動を反映していない可能性があることなどが課題となった。

そこで本研究では、これらの研究結果を踏まえ、より実環境に近い条件で、先行車両および先々行車両の加減速情報を同時に提示し、これがドライバの運轉行動に与える影響を定量化した。

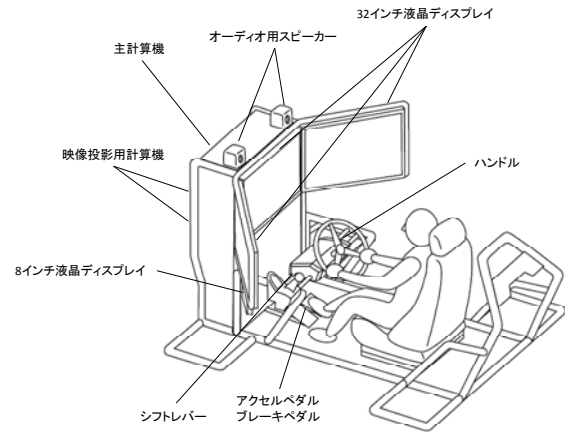


図1 DS概観図

3. 実験概要

3.1 実験環境

本実験では、同一走行環境下において複数の実験参加者に運轉を行ってもらふ必要があるため、ドライビングシミュレータ(以下「DS」と記す(図 1 参照))を活用し、仮想空間上に直線道路を作成して実験を行った。DS からは、速度、加速度、アクセル踏み量、ブレーキ踏み量、車両の位置などをアウトプットとして得ることが出来る。DS のシステム構成は、32 インチ液晶ディスプレイ 3 面、主計算機 1 台、映像発生用計算機 2 台、情報提供用の 8 インチ液晶ディスプレイ 1 台、座席の背後にはコンソール用の計算機などが配置されている。実験コース上では、4 台の車両(以後、先頭から順に「先々行車両」、「先行車両」、「自車両」、「後続車両」とする。また、先々行車両、先車両をまとめて「先方車群」と記す。)が走行する(図 2 参照)。8 インチ液晶ディスプレイに関しては、実験機材の制約上、左側の 32 インチ液晶ディスプレイの中央部とした。これは一般的な車載情報機器よりやや左側である。8 インチディスプレイの設置場所に関して、実車両と若干異なる点は留意すべきである。



図 2 車両の位置関係

表 1 加減速情報の表示形式

| 加速度 $a[m/s^2]$ | 表示 |
|------------------|----|
| $0.4 \leq a$ | ▲ |
| $-0.4 < a < 0.4$ | — |
| $a \leq -0.4$ | ▲ |

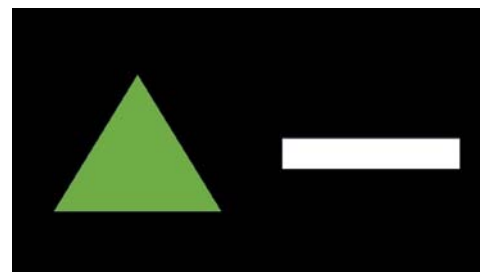


図 3 加減速情報のレイアウト

先方車群の加減速パターンは、20 代の男性(運轉取得後年数 3 年、運轉頻度週 4~5 回)が追従した際の走行データとした。後続車両は、自車両が先行車両と車間距離を取り過ぎないようにするため、既存の研究^[7]を参考にして、自車両の挙動に従って後方を追従するようにした。

3.2 情報提供

本実験では、先方車群の加減速に応じた加減速情報を表 1 のように 3 段階で表示し、ドライバ正面の左側に設置した 8 インチ液晶ディスプレイ上に更新周期を 1Hz として情報を提示した。前方車両の加速度が $0.4m/s^2$ 以上の状態では緑色の三角形、加減速がほとんど無い状態では白い横棒、減速度が $-0.4m/s^2$ 以下の状態では赤色の三角形で表示を行う。また、8 インチ液晶ディスプレイ内に横に並べ、左側に先々行車両の加減速情報を、右側に先々行車両の加減速情報をそれぞれ

配した(図 3 参照)。

先方車群の走行パターンと加減速情報の提供状況を図 4、5 に示す。この図において、緑色および赤色の三角形で加減速情報の提供を行っている時間帯を 1、白い横棒で情報提供を行っている時間帯を 0 として表している。また、横軸の時間は、本実験における各走行のシナリオ開始時間を 0 秒としている。以降、本稿における時間軸はシナリオの開始を 0 秒として設定した。

3.3 実験条件

練習走行として、「情報提供無し」と「情報提供有り」のシナ

リオをそれぞれ走行してもらい、実験環境での運転には十分に慣れてもらった。本実験では、1)「情報提供無し」の場合、2)「情報提供有り」の場合の2水準を各被験者に対してそれぞれ2回走行実験を実施した。走行実験は順序による効果を少なくするため、各被験者に対してランダムに行った。実験後には、「情報提供無し」と「情報提供有り」の走行の違いについてアンケートを実施した。実験参加者は、月に1回以上運転を行っている男性9名、女性9名の計18名(平均年齢30.8歳、SD10.8歳、平均免許取得年数11.5年、SD9.8年、表2参照)とした。実験における各走行時の被験者に対しては、十分なインフォームドコンセントを行い、1)実験による生じる被験者への不利益、2)プライバシーへの配慮、3)実験に参加しない自由の確保、に関して十分な説明を行い、実験に参加することの同意を得た後、走行毎に以下のような教示を毎回行った。

- ・日本の交通法規に従うこと
- ・安全運転を行うこと
- ・追い越しはせず、先行車両に追従すること
- ・車線変更をしないこと
- ・車間を空け過ぎないようにすること

また、情報提供を行う走行では、「加減速情報を必要に応じて参考にして運転すること」を追加で教示した。なお、実験は1日に2~3名に対して実施した。

3.4 燃料消費率の計算

本研究では、筆者らの研究^[5]などで活用されているエンジンマップにもとづいて燃料消費率を算出する。このマップは車両運動シミュレーションソフトウェア CarSim に組み込まれており、排気量 2.5l のエンジンを有する普通乗用車において、エンジン回転数とアクセル操作量に対する瞬間燃料消費量 [kg/s] を表している。この値と標準的なガソリン密度 0.76kg/l および自車両速度を用いて燃料消費率 [km/l] を算出する。

4. 結果・考察

4.1 燃料消費率

「情報提供無し」と「情報提供有り」の実験における走行全体の燃料消費率の違いを図6に示す。「情報提供有り」では「情報提供無し」に比べ、4.1%の燃料消費率の改善が観測された。t検定を行った結果、 $t(35)=2.73$ 、 $p=0.0098$ となり統計的に有意な差があった。

4.2 発進挙動

次に、発進時におけるドライバの運転行動に変化について解析した。発進時におけるエコドライブには穏やかにアクセルを踏んで発進する運転方法であるふんわりアクセル「e-スタート」やクリーブ現象を用いて発進する「クリーブ発進」などが挙げられる。ふんわりアクセル「e-スタート」は、「最初の5秒で、20km/h程度が目安」とされている^[3]。そこでこの値を参考に、発進時にどれだけ穏やかな発進しているのかを評価するため

表2 実験参加者属性

| ID | 年齢 | 性別 | 免許取得年数 | 運転頻度 |
|----|----|----|--------|----------|
| A | 19 | 男性 | 1 | ほぼ毎日 |
| B | 24 | 男性 | 5 | 週に1~2回 |
| C | 21 | 男性 | 2 | 月に1回 |
| D | 36 | 女性 | 17 | 週に3~4回 |
| E | 21 | 女性 | 3 | 2~3ヶ月に1回 |
| F | 20 | 男性 | 2 | 週に1~2回 |
| G | 41 | 女性 | 16 | ほぼ毎日 |
| H | 19 | 女性 | 1 | 月に1回 |
| ID | 46 | 女性 | 28 | ほぼ毎日 |
| J | 21 | 男性 | 3 | ほぼ毎日 |
| K | 29 | 男性 | 11 | 月に1回 |
| L | 27 | 男性 | 9 | 週に1~2回 |
| M | 32 | 男性 | 13 | 週に3~4回 |
| N | 46 | 男性 | 26 | ほぼ毎日 |
| O | 20 | 女性 | 1 | 月に1回 |
| P | 46 | 女性 | 22 | 週に1~2回 |
| Q | 43 | 女性 | 23 | 週に3~4回 |
| R | 43 | 女性 | 24 | 週に1~2回 |

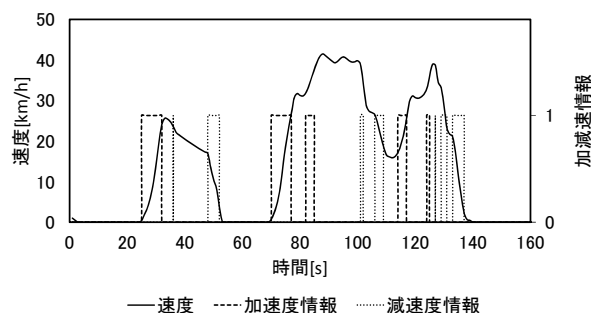


図4 先行車両の走行パターンと加減速情報提供状況

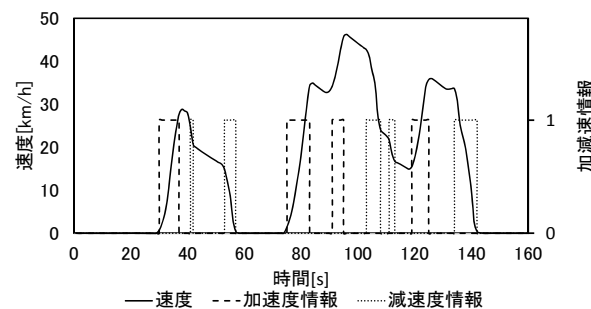


図5 先々行車両の走行パターンと加減速情報提供状況

発進から速度が20km/hになるまでの時間(以下「20km/h到達時間」と記す)を調べた。その結果を図7に示す。この図より、情報提供によって発進から速度が20km/hに達するまでの時間が1.3秒増加していることが分かる。なお、t検定を行った結果、 $t(35)=3.18$ 、 $p=0.0031$ となり統計的に有意な差があった。

また、20km/h 到達時間における、平均アクセル踏込量を求めた。その結果、図 8 のように「情報提供有り」の場合には、平均アクセル踏込量が「情報提供無し」の場合に比べて 9.8%減少し、t 検定を行った結果、 $t(35)=3.37$ 、 $p=0.0018$ となり統計的に有意な差があった。

4.3 アクセルワーク

本実験環境下において、先方車群の加減速情報の提供を行うことで、走行全体の燃料消費率が改善することが示された。発進してからアクセルを踏み込むまでの時間をクリープ走行時間として定義し、各走行に対するクリープ走行時間を図 9 に示す。

その結果から、統計的に有意な差はなかったがクリープ走行時間は平均で 0.35 秒延びたことがわかる。また、前述の 20km/h 到達時間も情報提供を行うことで 1.3 秒伸びた。これらの結果から、情報提供を行うことで、ふんわりアクセル「e-スタート」のような穏やかな発進を助長する効果があると言える。

また、アンケート調査で先々行車両と先行車両の加減速情報の参考度合に関して、「先行車両の加減速情報を参考にした」、「どちらかというと先行車両の加減速情報を参考にした」、「同じ程度」、「どちらかというと先々行車両の加減速情報を参考にした」、「先々行車両の加減速情報を参考にした」の 5 段階の評点スケールを用いて質問を行い、評点スケール上の該当する場所にx印をマークさせた。そして、「先行車両の加減速情報を参考にした」を 0%、「先々行車両の加減速情報を参考にした」を 100%と評点し集計をしたところ、50%以上の評点となった被験者が 14 名存在した。このことから、先々行車両の加減速情報と先行車両の加減速情報を提供した場合、先々行車両の加減速情報の方をより参考にする傾向があることから、先々行車両の加減速情報の方が有用性があると考えられる(図 10 参照)。

次に、ある時点 n における過去 3 点 ($n-3$ 、 $n-2$ 、 $n-1$) のアクセル踏込量をもとに 2 次のテーラー展開により n 時点でのアクセル踏込量の予測値と実際のアクセル踏込量の値の差 $\Delta\theta(n)$ を求める。平岡らの研究^[10]では、この値が大きいと予測値と実測値の値に差が小さいと滑らかな運転であると定義している。この結果を図 11 に示す。この結果は、不等分散であったため、ウェルチの t 検定を行った結果、 $t(35)=1.61$ 、 $p=0.11$ となった。この図より、統計的に有意な差はなかったが加減速情報を提供することで、アクセル踏込量の滑らかさのばらつきが小さくなり、発進時に滑らかなアクセルワークで運転を行える可能性も示唆される。

5. まとめ

近年、自動車の「繋がる」という機能に注目が集まり、燃費や安全に関する情報を提供することで、ドライバーに対して運転支援を行う研究は多くなされてきている。また、先行車群に対

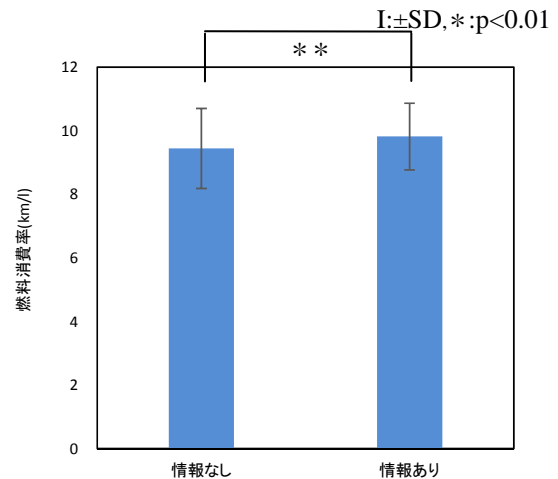


図 6 燃料消費率

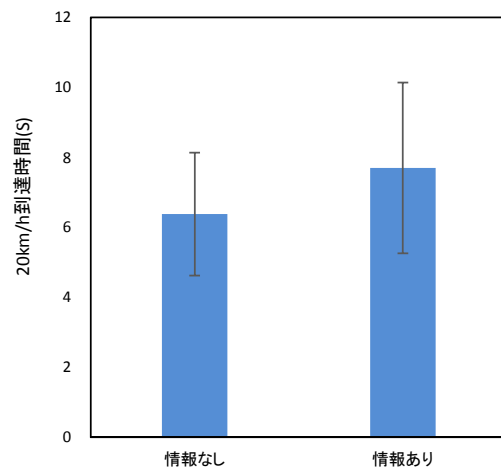


図 7 20km/h 到達時間

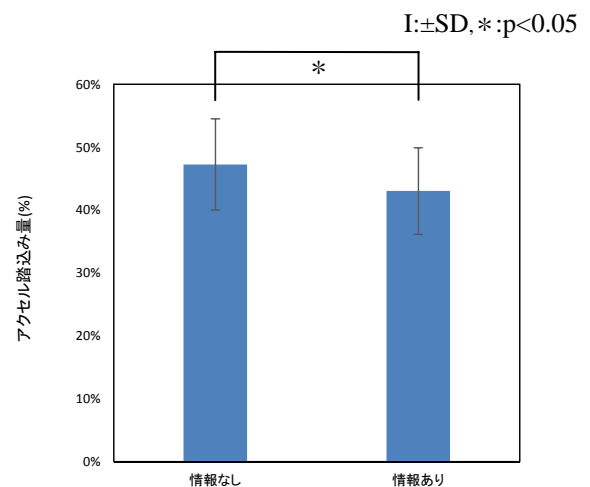


図 8 20km/h 到達時間内の平均アクセル踏込量

する情報に関しては、先行車両よりもさらに前の車両の情報も提供する必要性が指摘されている^[5]。そこで本研究では、DSを用いて先行車両だけでなく先々行車両の加減速情報もドライバーに対して同時に提示することによって、燃料消費率や運転行動に対する影響に関して定量的な評価を行った。

その結果、情報提供により燃料消費率が改善する可能性が示された。さらに、発進時における加速情報がクリープ走行時間の増加や穏やかな加速、緩やかなアクセル操作といったエコドライブの運転行動に似た傾向に変化する可能性が確認された。以上より、先方車群の加減速情報を追従車両へ提供することの有用性が示唆された。

今後の課題としては、様々な走行シナリオにおける実験を行うことによって、本研究成果の一般的な効果を確認する必要がある。また、さらに被験者数を増やしデータの信頼性を高めること、発進時以外の走行状態におけるドライバーの運転行動や車両の燃料消費率にどのような影響を与えるのかをより明確にすること、実車両を用いた一般道のような実環境において実験を行うことなどが挙げられる。

謝辞

本研究を行うに際し、文教大学情報学部西元崇氏、高木美野氏より多大な協力等を得ました。ここに、あらためて感謝の意を表します。なお、本研究は、科学研究費補助金(若手 B 課題番号 25870712)および科学研究補助金(基盤 B 課題番号 25280032)による研究成果の一部である。

参考文献

- [1] 環境省：日本の温室効果ガス排出量の算定結果，<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2010ghg.pdf> [2016, January 10]
- [2] 交通エコロジー・モビリティ財団，2009 年度 運輸・交通と環境，pp.2-14, (2009).
- [3] エコドライブ普及推進協議会：http://www.ecodrive.jp/eco_10.html [2016, January 10]
- [4] 塚田悟之，福島正夫：エコドライブの『継続』支援
 - ① に関する研究，交通工学，Vol.50, No.1, pp.57-66,
 - ② (2015).
- [5] 松本修一，川嶋弘尚：前方車両情報が車群の燃費低減に与える影響に関する基礎的研究，土木学会論文集，Vol.69, N0.5, pp.I_423-I_431, (2013).
- [6] Boriboonsomsin, K, Barth,M., Vu, A. “Evaluation of Driving Behavior and Attitude towards Eco-Driving: A Southern California Limited Case Study”, Transportation Research Board Annual Meeting 2011 Paper #11-0151, (2011).
- [7] 松本修一，戸澤毅，平岡敏洋，山邊茂之，川嶋弘尚：エコドライブ走行が追従車両に与える影響に関する基礎的研究，土木学会論文集 D3, Vol.6, No.5, pp67-72, (2011).
- [8] 佐藤宏明，斉藤裕一，橋本尚久，伊丹誠，加藤晋：“追

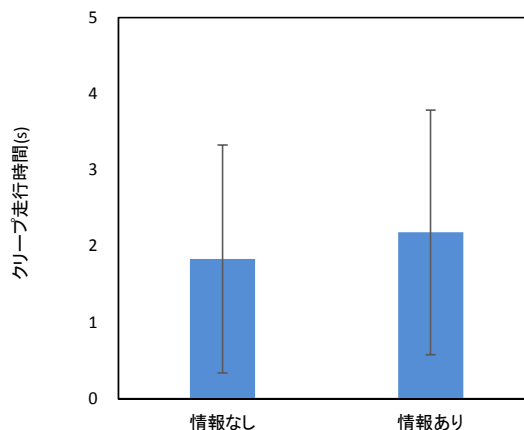


図9 クリープ走行時間

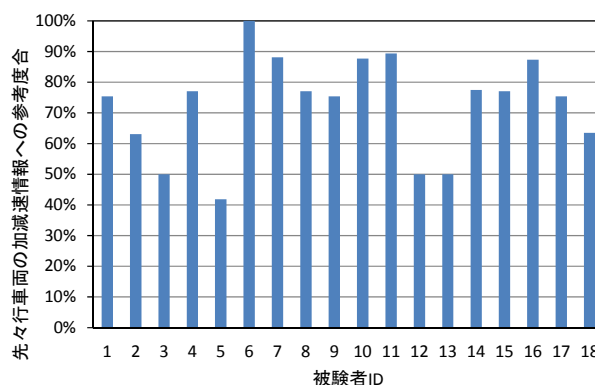


図10 各被験者の先々行車両の加減速情報への参考度

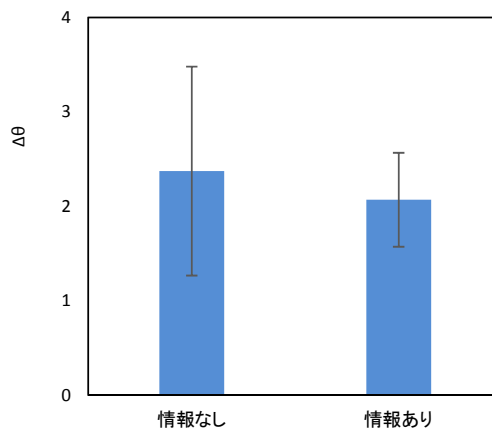


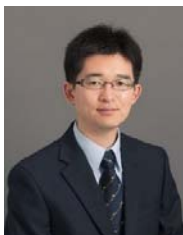
図11 アクセル踏込量の滑らかさ

- 従車両に対する加減速情報の提示効果”電子情報通信学会信学技報 IEICE Technical Report Vol.111、No. 486, ITS2011-63, pp.51-56, (2012).
- [9] 加茂碧唯，松本修一：前方車群の加減速情報が後続車両の燃料消費率に与える影響に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，CD-ROM, (2013).
 - [10] 平岡敏洋，野崎敬太，高田翔太，塩瀬隆之，川上浩司：

松本修一: 先方車群情報が燃料消費量および発進時の車両挙動に与える影響

エコドライブ支援システムにおける能動的工夫の余地が運転技能の習熟に与える影響, 人工知能学会論文集, Vol.28, No.3, pp.249-254,(2013).

著者紹介



松本 修一(正会員)

2006年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士後期課程退学(満期)、博士(工学)。2004年高知工科大学助手、慶應義塾大学理工学部専任講師を経て、現在に至る。専門は、高度道路交通システム、交通計画。

テム、交通計画。