

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

松本 修一¹・土屋 常²・大門 樹³・川嶋 弘尚⁴

¹正会員 慶應義塾大学講師 先端研究センター (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)
E-mail: shuichi@ae.keio.ac.jp

²非会員 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)
E-mail: jo_tsuchiya_0794@yahoo.co.jp

³非会員 慶應義塾大学教授 理工学部 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)
E-mail: daimon@ae.keio.ac.jp

⁴正会員 慶應義塾大学名誉教授 コ・モビリティ社会研究センター
(〒212-0032 川崎市幸区新川崎7-1)
E-mail: kawashima@co-mobility.com

エコドライブは、e-スタートなどによって車両挙動が他車両と異なってくるため、交通流の円滑化を阻害することが懸念させている。そこで車車間通信や路車間通信を視野に入れた複数台の車両群でのエコドライブの協調走行などに関する研究が必要となる。このような背景から本研究では、1) エコドライブ走行を行う車両を追従する複数台の追従車両の燃料消費率や追従車両の車両挙動を解析すること2) 先行車両の燃料消費情報が追従車両に与える影響を考察することを目的とした。

その結果、以下の知見を得ることができた。1)複数台の追従車両に情報を与えた場合、2台目の燃料消費率には情報の有無によって低減効果は見られなかったが、3台目に関しては、燃料消費率を低減させる効果があった。2)先行車両の燃料消費情報を追従車両に与えた場合、減速時に車間が詰まって交通流の混雑を緩和する傾向が見られた。

以上のことから、車群を対象とした場合、先行車両情報を共有することの有用性が示唆された。

Key Words : ITS, Traffic Flow, Eco-Driving, Driving simulator

1. はじめに

地球温暖化問題の1つとして、自動車に起因する二酸化炭素排出量の増加がある。わが国では1990年比で25%削減の二酸化炭素排出量削減のために、環境省が主体となりチャレンジ25キャンペーンという取組みがはじまった¹⁾。このチャレンジ25キャンペーンが提唱する”Smart Move”の取組みとしてエコドライブが挙げられている。

エコドライブは、燃費改善に有効であるとされており、チーム・マイナス6%が勧める「エコドライブ10のすすめ」²⁾など様々な活動が行われている。「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。これは環境に優しい運転行動をドライバに喚起する運動であり、省エネルギーセンターの調べでは、総合的な効果として25.7%燃料消費率の削減が可能

であると言われている³⁾。

このエコドライブに関する研究では、車両単体での効果に関して多くの試みがなされているが、エコドライブを行う車両を追従する車両の影響に関する定量的な評価は余りなされていない。

本稿では、ドライビングシミュレータ（以下「DS」と記す）を活用し、エコドライブを模した走行（以下「エコドライブ走行」と記す）を行う車両に追従する際の複数台の車両（以下「車群」と記す）に与える影響に関して定量的な評価を行う。

2. 本研究の位置付け

エコドライブが燃料消費率改善効果に与える影響については、トラックなどの運送業者に対する教育前後の比較^{4),5)}や一般の運転者を対象としたエコドライブの教示前後における比較⁶⁾など実車両の運転環境下における検

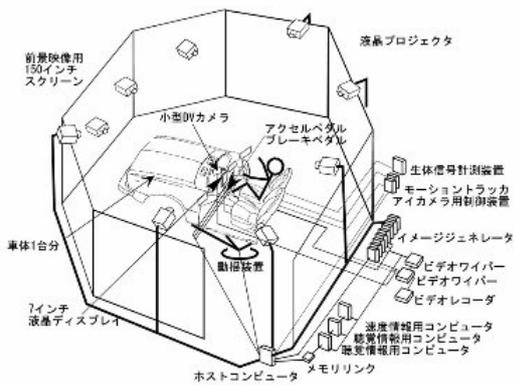


図-1 ドライビングシミュレータの概要

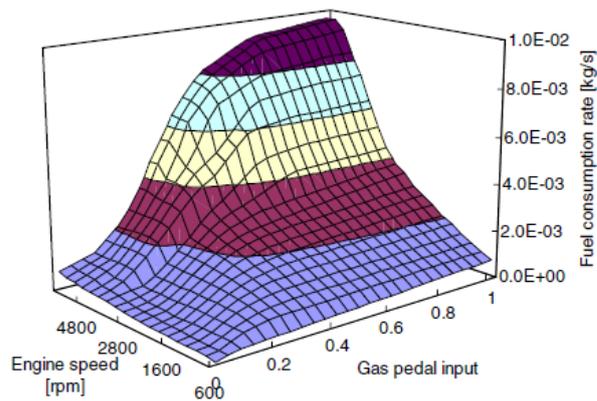


図-2 燃料消費率マップ

証が行われている。その一方で、DSなどを用い走行条件が同一の環境下における実験はあまり行われていない。

このDSを活用した実験としては、JC-08モードで走行する車両に追従する形で実験を行い通常の走行（以下「通常走行」と記す）と比較し、エコドライブ走行が15.4%程度燃料消費率を向上されることを示した平岡らの研究⁷や市街地におけるエコドライブの効果が大きくない可能性を示唆した筆者らの研究⁸などがある。

筆者ら⁹は実車走行データにもとづいて、エコドライブ走行と通常走行の違いが燃料消費率に与える影響を分析している。この研究では、通常走行時とエコドライブ走行時での速度-加速度分布をもとに交通流シミュレータ（以下「TS」と記す）を活用し燃料消費率を推定した。また、加藤ら¹⁰もエコドライブ実施時における車両挙動をTSにて模擬し、交通流に与える効果に関して定量化を行っている。しかし、これらTSを活用した研究では、エコドライブ車両を追従する車両の走行特性を精緻に模擬することなどが課題とされている。

次に、森らの研究¹¹では、実際の都市内において実車実験を行い、交通流におけるエコドライブの効果や混雑時のエコドライブの実現性などに関して検討を行った。この研究では、交通流としてのエコドライブの効果検証が課題とされている。

そこで本研究では、エコドライブ車両の走行履歴からDS上に模擬的に再現し、その車両を被験者が追従走行を行うことで、エコドライブ走行が交通流に与える影響を検討する。

3. 実験概要

(1) 実験環境

本実験では、同一走行環境下において複数の被験者に運転を行ってもらう必要があるため、慶應義塾大学のDS（慶應義塾大学・国土技術政策総合研究所共同開発¹²、三菱プレジジョン株式会社製）を活用し、仮想空間

上に交差点を模擬した環境下で実験を行った。DSからは、加速度、速度、エンジン回転数、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。

本実験で使用したDSは、前方、左右前方、左右側方、左右後方、後方の8つの映像スクリーンで構成されている（図-1参照）。これらのスクリーンに対して10台の投影用プロジェクタから走行映像が投影される。運転席からのドライバの視野角は360度で、左右サイドミラーおよびルームミラーは実車と同様の鏡面体を用い、後方スクリーンの映像を間接的に捉える方式をとっている。また、車体には6軸の動揺装置が取り付けられている。なお、これらの装置は主計算機で一括に制御されている。

(2) 燃料消費率の計算

本研究では、平岡らの研究⁸などで活用されている図-2に示す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[km/h]を用いて燃料消費率[km/l]を算出する。

(3) 燃料消費情報の概要

本実験では、先行車両の燃料消費情報を追従車両に提供することで、追従車両の燃料消費率および運転挙動の変化などに関して定量的な評価を行う。

本実験で想定している燃料消費情報は、先行車両の瞬間燃料噴射量から先行車両のエコドライブ状況を把握するものである。

この燃料消費情報に関しては、各社様々な情報の出し方があるため、本実験では図-3のようなアルゴリズムで情報の提示を行うこととした。なお、被験者に対しては、図-4の内容をDSのカーナビに提示した。

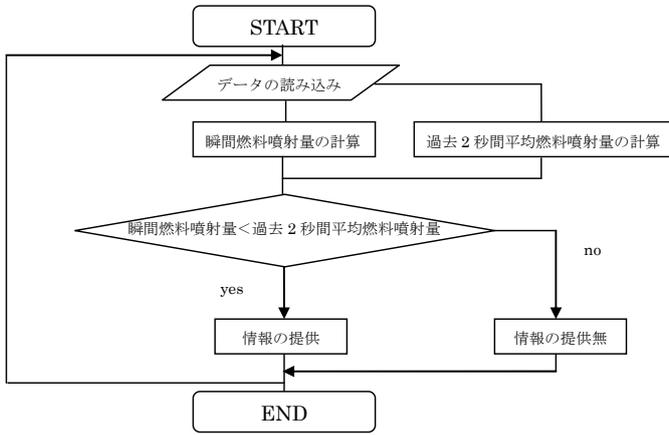


図-3 燃料消費情報のアルゴリズム



図-4 燃料消費情報

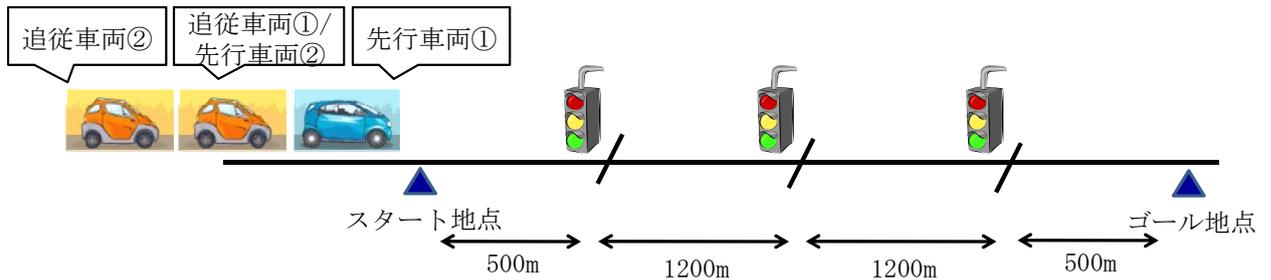


図-5 実験シナリオの概要

(4) 実験の流れ

まず、本実験の実験シナリオの概要を図-5に示し、実験手順を図-6として示す。この実験は、3台の車両による追従走行実験であるが、実験で用いるDSが1台であるため、最初に先行車両の設定を行いこの車両に追従する形で走行実験（以下「本実験1」と記す）を行った。その後、本実験1のデータを解析し、その挙動を本実験2におけるDSの前に走行する車両（以下「先行車両②」と記す）の挙動とした。この追従車両に追従する形でDSを用いて再度走行実験（以下「本実験2」と記す）を行った。

(5) 予備検討および予備実験1、2

予備検討では、後述する本実験の先行車両の車両走行パターンを作成するための被験者を選定することを目的とした。この被験者に関する属性を表-1にまとめる。また、表-1の被験者には以下のように教示を行い、DS単独で4回の走行データを採取した。

- ・停止時から初めの5秒間で20km/hの速度上昇を目安に加速をする
- ・加減速を抑えてできるだけペダルの踏み込みを一定に保つ
- ・停止時は早めのアクセルオフを行う
- ・交通法規に則って走行をする

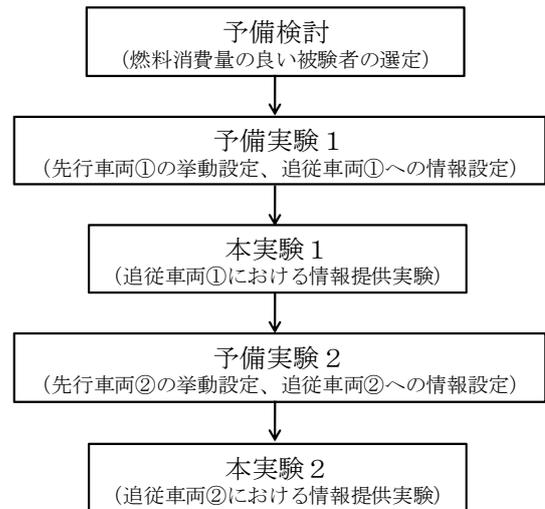


図-6 実験のフロー

この走行結果から、平均燃料消費率が最も良かった被験者Bに再度上記の教示を行った後、図-5の実験シナリオにおいてDSによる3回の単独走行を行った。この3回の走行の中で1回の情報提示時間の平均が最も長かった

表-1 予備検討における被験者属性

ID	年齢	免許取得年	運転頻度
A	24	3年3ヵ月	余り運転しない
B	24	5年2ヵ月	週1、2回
C	24	5年8ヵ月	2、3ヵ月に1回
D	24	5年4ヵ月	週に3、4回
E	24	3年6ヵ月	余り運転しない

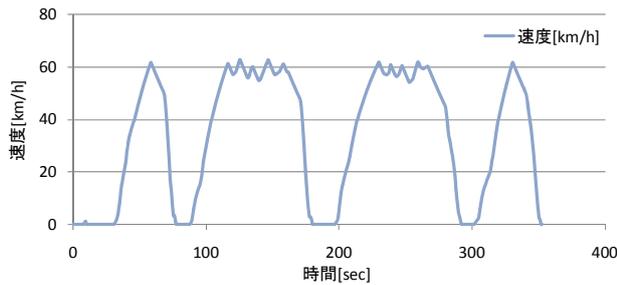


図-7 先行車両①の走行軌跡

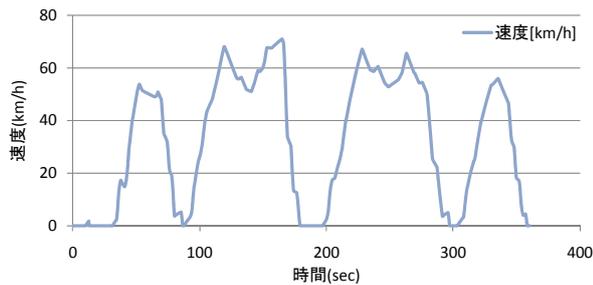


図-8 先行車両②の走行軌跡

走行の車両軌跡を先行車両①とした。このような手続きの元得られた先行車両①の走行軌跡を図-7に示す。

次に、後述する本実験1において得られた各被験者の走行における燃料消費率からすべての被験者の燃料消費率の平均値を算出し、その平均値に最も近い値を示した被験者の走行軌跡を追従車両②として設定した。この追従車両②の走行軌跡を図-8に示す。

(6) 本実験

本実験においては、被験者に3節で述べた情報を与えた走行と情報を与えなかった走行に分けて実験を行った。本実験1、2における実験の流れを図-9に示す。この実験では、被験者は先行車両に追従しながら走行運転を行う。

被験者に関しては、本実験1、本実験2共に7名で実験を行った。この被験者の属性に関して表-2にまとめる。また、本実験における各走行時の被験者への教示は以下の通りである。

- ・日本の交通法規に従い、安全運転を行うこと
- ・先行車両の追い越しはしないこと
- ・制限速度 60km/h の道路を想定して普段通りの走行すること
- ・車線変更をせず、先行車両に追従すること

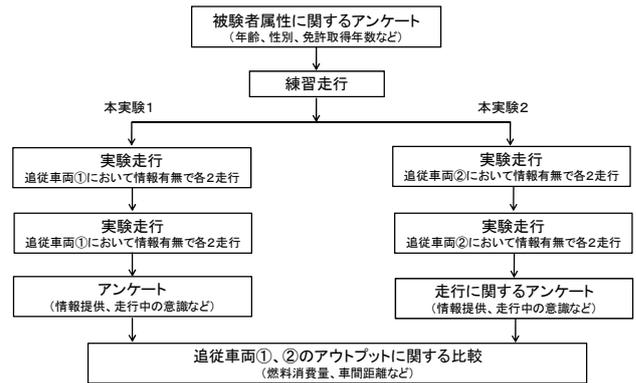


図-9 本実験のフロー

表-2 被験者属性

	被験者ID	年齢	免許取得年数	運転頻度
本実験1	A	21	1年3ヵ月	週に1、2回
	B	21	3年8ヵ月	月に1回
	C	30	9年8ヵ月	ほぼ毎日
	D	19	1年2ヵ月	2ヵ月に1回
	E	24	5年2ヵ月	2ヵ月に1回
	F	20	1年	月に1回
	G	22	4年2ヵ月	週に1、2回
本実験2	H	30	12年	殆ど運転しない
	I	24	3年3ヵ月	2ヵ月に1回
	J	23	3年	月に1回
	K	21	3年3ヵ月	2ヵ月に1回
	L	22	3年	2ヵ月に1回
	M	21	1年7ヵ月	2ヵ月に1回
	N	28	10年	月に1回

4. 実験結果

(1) 燃料消費率の比較

まず、各走行における燃料消費率の結果を図-10に示す。これらに対し分散分析を行った結果、情報の主効果が有意であった($p=0.0071$)。また追従車両の主効果が有意傾向を示した($p=0.0922$)。この分散分析の結果を表-2として示す。これらの結果から情報提供によって燃料消費率の改善効果があることが分かる。また、車群で考えた際、エコドライブ走行を行う車両の追従車両に関して考えると、1台目より2台目の方が燃料消費率が良くなる可能性が示唆された。

表-2 平均燃料消費率に関する分散分析表

要因	df	SS	MS	F値	P値
情報	1	8.34	8.34	10.19	0.0071
追従車両	1	7.63	7.63	3.3	0.0922
情報×追従車両	1	0.026	0.026	0.04	0.8483

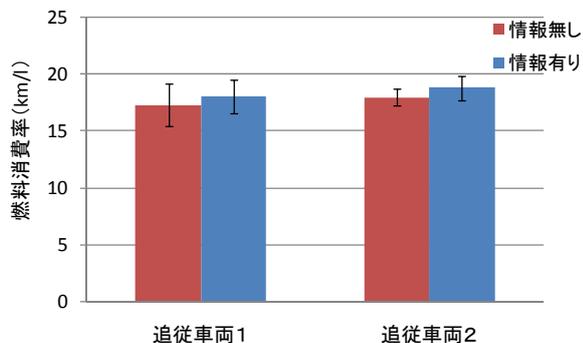


図-10 後続車両の平均燃料消費率

次に、先行車両①が停止している時間から60km/hになるまでの時間を「加速時」、その後の走行を「定常時」、定常走行後減速し停止するまでの時間を「減速時」と定義し、情報の有無および各後続車両の燃料消費率を図-11、12に示す。

図-11、12から追従車両①、追従車両②によらず加速時、定常時、減速時の順で燃料消費率が高いことが分かる。また、追従車両①、追従車両②で比較すると、追従車両②の方が情報を提供することによる燃料消費率の改善傾向が高いことが分かる。

(2) 交通流に与える影響

次に、本実験での走行データにおいて先行車両が停止する4つの交差点での停止位置から250m手前での先行車両、追従車両①、追従車両②の交差点距離と時間の関係を平均化したものを図-13、14に示す。

この図では、折れ線の各軌跡の縦軸の間隔が平均車頭間隔、横軸の間隔が平均車頭時間になる。また、黒線は情報の有無での交差点での停止時の交通状況の変化を可視化するために、交通需要が900台/時と仮定した際のショックウェーブ理論における理論上の停止波(9.47km/h)プロットしたものである^{13,14}。

これらの図から情報を提供することによって追従車両①から追従車両②の間での停止波の伝播速度が早くなることが分かる。このことから交通流で考えた場合、過飽和の区間が減る可能性があるため、本実験における情報が交通流における停止時の混雑を緩和する効果も期待できることを示唆している。

また、各車両の交差点での平均車頭時間、平均車頭間隔に関して、表-3としてまとめる。表-3より、平均車頭時間に関しては、情報の有無に関わらず追従車両①より追従車両②の方が平均車頭時間が大きいことが分かる。

また、平均車頭間隔に関しては、先行車両と追従車両①の平均車頭間隔より、追従車両①と追従車両②の平均車頭間隔の方が長くなる傾向にあることが分かる。このようにエコドライブ走行を行う車両の追従車群に燃料消

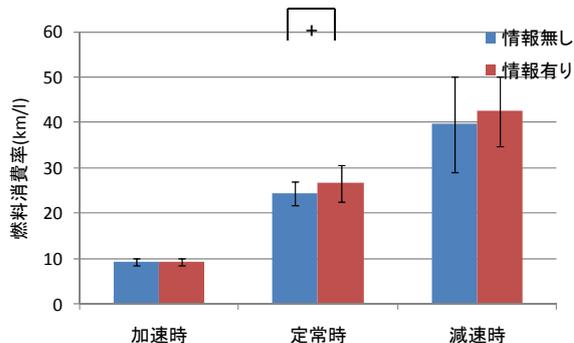


図-11 追従車両①の区間別燃料消費率

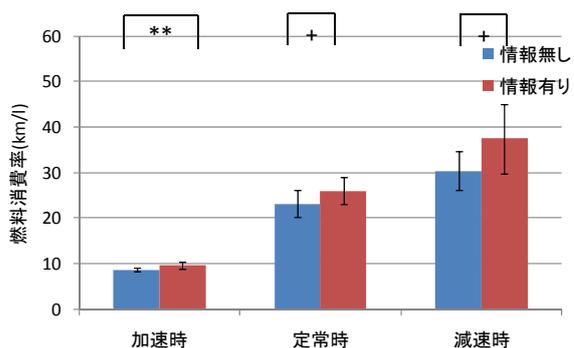


図-12 追従車両②の区間別燃料消費率

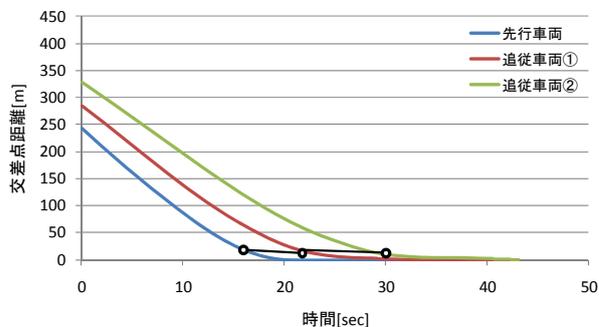


図-13 交差点距と時間の関係 (情報無し)

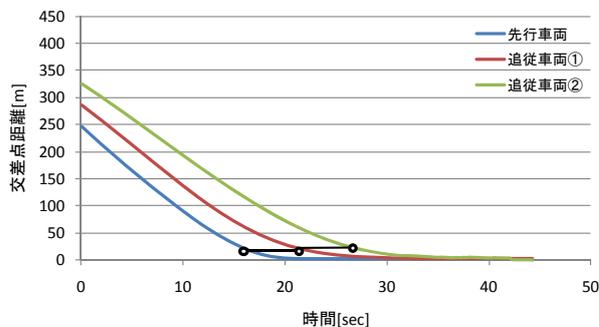


図-14 交差点距離と時間の関係 (情報有り)

表-3 平均遅れ時間、平均車頭間隔の比較

		追従車両①	追従車両②
平均車頭時間	情報無し	4.7 sec	8.2 sec
	情報有り	4.8 sec	6.79sec
平均車頭間隔	情報無し	29.8m	49.5m
	情報有り	31.6m	39.6m

費情報を提供することで、車頭時間や車頭間隔が短くなることが示唆された。このことは、特に交差点間距離が短い道路において信号停止時の待ち行列に入れる車両が増えることが考えられる。このことによって、燃料消費情報が交通流の円滑化にも役立つ可能性があると考えられる。

5. まとめ

エコドライブに関する研究では、従来実車やDSを用いたエコドライブ走行を行う車両単体での効果に関して多く研究がされてきた。その一方でエコドライブが交通流に与える影響に関しては、TSを活用した研究が多く、詳細な自動車の運転行動を反映したものは余り研究がされて来なかった。また、エコドライブ走行の後続車両に対する燃料消費率の改善に関する検討は殆どなされて来なかった。

本研究では、車車間通信などを模擬した協調走行を行った場合、車群で燃料消費情報を共有することによって、燃料消費率削減効果およびそれに伴う交通流への影響に関して検討を行った。

その結果、次のような知見を得ることが出来た。まず、エコドライブ車両に追従する車両に燃料消費情報を提供することで、車群での燃料消費率削減効果があることが示唆された。また、燃料消費情報を追従車両に提供することで、追従車両群の車頭間隔および車頭時間が減ることによって、道路の効率的な運用が期待できる。

次に、今後の課題としては、様々な交通状況下での実験を行うことによって、燃料消費情報を共有することが車群に与える影響を一般化することが必要である。また、ドライバに提供する情報の内容や通信手段などの検討も必要である。

謝辞

本研究を行うに際し、京都大学大学院平岡敏洋助教、東京大学山邊茂之助教、パナソニックシステムネットワーク株式会社織田利彦氏、朝田将氏より多大なご助言等を得ました。ここに、あらためて感謝の意を表します。

参考文献

1) チャレンジ25キャンペーン事務局：チャレンジ

25 キャンペーン, <http://www.challenge25.go.jp/> [2011, February 28]

- 2) エコドライブ普及連絡会：エコドライブ10のすすめ, http://www.ecodrive.jp/eco_10.html [2011, April 1]
- 3) 省エネルギーセンター：エコドライブ <http://www.eccj.or.jp/eco-drive/> [2011, February 28]
- 4) 間地寛, 春日伸予, 石太郎, 大聖泰弘：エコドライブ活動による燃費改善と交通事故低減, 自動車技術会論文集, No. 38, Vol.2, pp.99-104, 2007.
- 5) 齋藤晃, 高田寛：小型貨物自動車のエコドライブの実態と燃費改善効果の関係について, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.99-08, pp.27-30, 2008.
- 6) 宮坂力, 谷口正明, 三分一寛：AT車での省エネ運転効果の可能性, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.80-05, pp.13-16, 2005.
- 7) 平岡敏洋, 寺門康弘, 松本修一, 山邊茂之：エコドライブ走行の教示内容および燃料消費計の提示が燃料消費率低減効果に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No.1, pp.71-80, 2010.
- 8) 松本修一, 朴泰輝, 川嶋弘尚：エコドライブ走行の燃料消費率低減効果に関する研究, 土木計画学研究論文集, Vol. 27, No.5, pp.991-998, 2010.
- 9) 松本修一, 小林功, 中村彰宏, 川嶋弘尚：エコドライブ走行が交通流に与える影響の経済評価, 交通学研究, pp.169-178, 2007.
- 10) 加藤秀樹, 小林伸治：エコドライブにおける燃費改善要因の解析, 自動車技術, Vol.62, No.11, pp.79-84, 2008.
- 11) 森健二, 牧下寛：混雑時におけるエコドライブの効果, 土木計画学研究論文集, Vol. 27, No.5, pp.935-940, 2010.
- 12) 宗広裕司, 山崎勲, 大門樹, 有住正人：ドライビングシミュレータを活用した出会い頭事故のヒューマンエラー分析と対策の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, CD-ROM, 2006.
- 13) 高木相：道路交通流の物理的性質(Ⅱ) -t-sダイアグラムによる交通流の表示-, 計測制御学会東北支部第247回研究集会, 資料番号247-5, 2008.
- 14) 桑原雅夫, 吉井稔雄, 堀口良太：ブロック密度法を用いた交通の表現方法について, 交通工学, Vol.32, No.4, 1997.

Fundamental Study on Effect of Lead Vehicle Information to Fuel Consumption Reduction of Vehicle Groups

By Shuichi MATSUMOTO, Jou TSUCHIYA, Tatsuru DAIMON,
Hironao KAWASHIMA

It is a concern that eco-driving vehicles, because those driving behaviors are different from other vehicles due to e.g. e-start, may inhibit smooth traffic flow. Therefore, it is necessary to study about cooperation in eco-driving by vehicle groups that were viewed with “vehicle-to-vehicle communication” and “road-to-vehicle communication”. From that background, this study aimed to: 1) Analyze fuel consumption rates and driving behaviors of multiple succeeding vehicles to follow an eco-driving vehicle. 2) Observe the impact of information on fuel consumption rate of the preceding vehicle to succeeding ones.

As a result, the following findings were obtained: 1. When the information was provided to multiple succeeding vehicles, the fuel consumption rate of the second one was not affected, while the third one was.

2. When the information of fuel consumption of a preceding vehicle was provided to succeeding one, it was found that the following distance was closer at lower speeds and congestion in traffic flow tended to be eased.

From the above, it is suggested that sharing the information on preceding vehicles was effective when vehicle groups were targeted.