

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*

Fundamental Study on Effect of Eco-Driving Behavior of Preceding Vehicle on Following Vehicle *

松本 修一**・戸澤 毅***・平岡 敏洋****・山邊 茂之*****・川嶋 弘尚*****

By Shuichi MATSUMOTO**・Tsuyoshi TOZAWA***・Toshihiro HIRAO****・Shigeyuki YAMABE*****・

Hironao KAWASHIMA *****

1. はじめに

1997年に採択された京都議定書では、我が国は2008年から2012年までの期間中に温室効果ガスの排出量を1990年の排出量から6%削減しなければならないとされている。また、2009年6月には2020年までに温暖化ガスの排出量を1990年比で25%減という中長期目標が発表された。日本の二酸化炭素排出量内訳を見ると運輸部門の排出量が全体の20%を占めており、その大半を自動車から排出している。このような状況の中で、自動車から排出される二酸化炭素削減の一手法としてエコドライブが注目されている。

エコドライブは、燃費改善に有効であるとされており、様々な普及活動が行われている。日本における代表的な活動にチーム・マイナス6%が勧める「エコドライブ10のすすめ」がある¹⁾。「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が推奨されている。これらエコドライブは、環境に優しい運転行動をドライバーに喚起する運動である。また、エコドライブに関しては、車両単体での効果に関しては多くの研究がなされているが、エコドライブを行う車両の追従車両などに与える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追従車両に与える影響に関して定量的に評価することを目的とする。

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^{2)、3)} 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⁴⁾ など多様な実運転環境下における検証が行われているが、同一環境下における比較実験はあまりなされていない。

エコドライブには、ふんわりアクセル「e-スタート」のようにゆっくりとした加速を行うもの（以下「日本式エコドライブ」と記す）と早めに燃費の良い速度域まで加速をしようとするもの⁵⁾

（以下「ドイツ式エコドライブ」と記す）など国内外で複数の手法が提案されている。この日本式エコドライブとドイツ式エコドライブの効果に関する比較研究として、平岡らのDSを用いた研究⁶⁾ がある。この研究では、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と比較して、日本式エコドライブとドイツ式エコドライブを行うことで、同程度の燃費改善効果があるという結果を確認している。

また、加藤ら⁷⁾ は実車を用いたエコドライブ試乗会を開催して、ゆっくり加速を意識したエコドライブ（本稿における日本式エコドライブに相当）と速めの加速を意識したエコドライブ（本稿におけるドイツ式エコドライブに相当）の比較を行い、普段通りの運転に比べ、前記二つのエコドライブで燃費改善効果があることが確認されている。これらの研究は、車両単体でのエコドライブの効果に関して定量的に評価を行うものである。

一方で、筆者ら⁸⁾ は実車実験データにもとづいて、日本式エコドライブとドイツ式エコドライブ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、通常運転時と日本式エコドライブおよびドイツ式エコドライブ運転時での速度－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⁹⁾ 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

*キーワード：ITS、交通流、地球環境問題

**正員、博(工)、慶應義塾大学 先端研究センター

(神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1、

TEL045-566-1616、E-mail:shuichi@ae.keio.ac.jp)

***非員、修(工)、元慶應義塾大学大学院 理工学研究科

****非員、博(情報)、京都大学大学院 情報学研究科

*****非員、博(情報)、東京大学 生産技術研究所

*****正員、工博、慶應義塾大学 理工学部

車両を追従する車両の走行特性を精緻に模擬することが課題とされていた。

そこで本研究では、エコドライブ車両を走行履歴からDS上に模擬的に再現し、その車両を被験者がDS上で追従走行を行うことで、エコドライブ走行の交通流に与える影響を2台の車両に限定した形ではあるが、定量的に評価するものである。

3. 実験概要

(1) 実験環境

本実験では、同一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¹⁰、三菱プレジジョン製）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。

本実験で利用した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。これらの装置は主計算機で一括に制御されている。

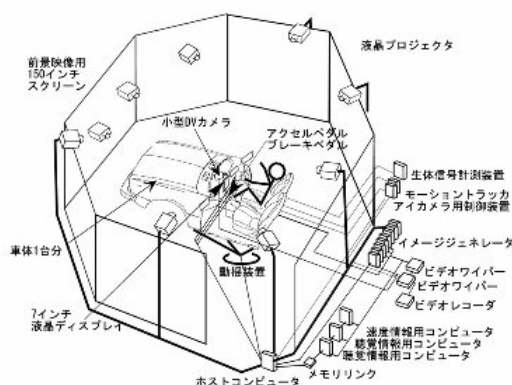


図-1 ドライビングシミュレータの概要

(2) 燃料消費量の計算

本研究では、平岡らの研究²⁾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量を算出する。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

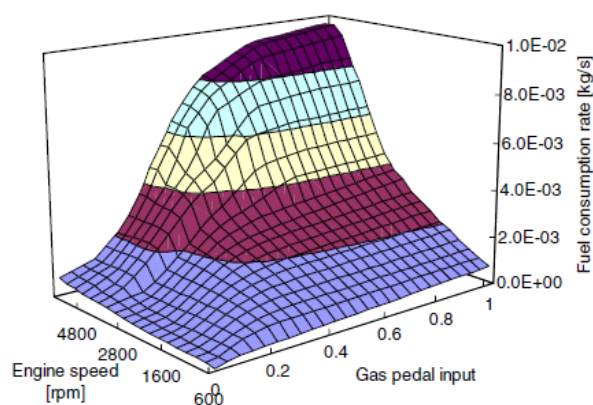


図-2 燃料消費率マップ

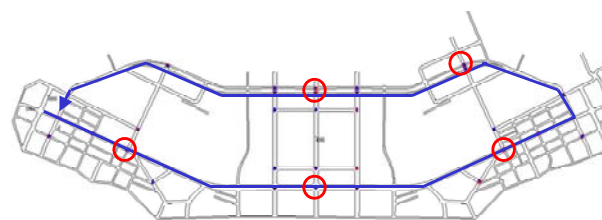


図-3 実験シナリオの概要

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) 実験概要

a) 予備実験

予備実験では、後述する本実験の際の先行車両の車両走行パターンを作成すること、またその際の平均燃費を算出することを目的とする。なお、予備実験では、みなとみらい21地区を模したシナリオ（図-3参照）において、1)日頃の運転を行う（以下「通常走行」と記す）、2)「加減速の少ない運転」を行う（以下「等速走行」と記す）、3)「加減速の少ない運転」および「eスタート」を行う（以下「エコドライブ走行」と記す）という3つの車両走行パターンを作成した。また、この車両走行パターンで走行した際の車両走行履歴を保存した。予備実験における各車両走行パターンの概要を以下に記す。

・通常走行

定常走行時に加減速の多い運転を行う（55km/h～65km/hの間で加減速を繰り返しながら走行）。

・等速走行

定常走行時に加減速の少ない運転を行う（59km/h～61km/hの間を維持して走行）。

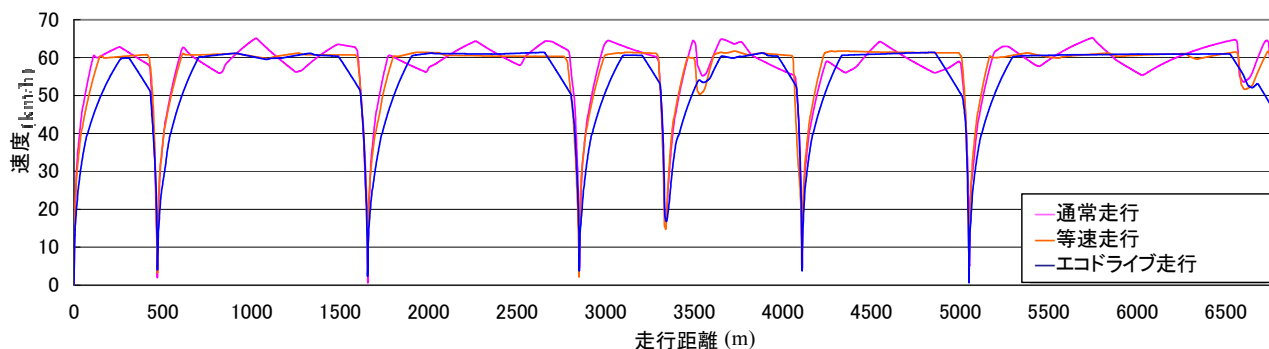


図-4 各走行パターンでの速度変化

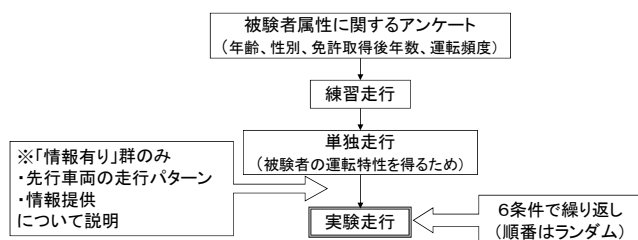


図-5 実験のフロー

・エコドライブ走行

定常走行時に加減速の少ない運転を行う（59km/h～61km/hの間を維持して走行）。発進・停止の際に加減速をゆるやかに行う。加速時に4～5秒で20km/hに到達を目安に、エンジン回転数を2,000rpm以下に保つ。減速時にはアクセルを離し、エンジンブレーキを利用する。

なお、予備実験では、エコドライブに習熟している被験者1名における単独での車両走行履歴を活用した。また、この被験者に対しては、1) 上記の各走行パターンになるよう心掛けて走行を行うこと2) 日本の交通法規に従い、安全運転を行うことと事前に教示を行った。この結果として得られた車両走行履歴を図-4に示す。

b) 本実験

本実験では、予備実験で保存した車両走行履歴に従い走行する車両（以下「先行車両」と記す）を被験者が運転する実験車両（以下「追従車両」と記す）が追従することとした。

図-3の赤丸部分は、実験中に走行する追従車両および先行車両が停止する場所であり、青色の矢印の順路で被験者は先行車両に追従し日本の交通法規に従い安全運転するよう教示を行った。

この実験シナリオにおける2台の車両の走行距離は約6800m、走行時間は信号による停止時間を含み大よそ10分間である。また、図-5として実験のフローを示す。先行車両は、通常走行、定常走行、エコドライブ走行と

表-1 被験者属性

被験者ID	年齢	免許取得年数	運転頻度
A	25	3年11ヵ月	月に1回程度
B	22	1年11ヵ月	月に1回程度
C	24	5年8ヵ月	月に1回以下
D	24	4年2ヵ月	月に1回程度
E	24	4年11ヵ月	月に1回程度
F	23	5年4ヵ月	月に1回程度
G	20	1年6ヵ月	月に1回程度
H	22	3ヵ月	月に1回以下
I	24	5年8ヵ月	週3、4回程度
J	23	3年4ヵ月	月に1回以下



写真-1 情報提供のイメージ

いう3種類のパターンで走行する先行車両に従い60km/h前後で走行し、コースのはほぼ中間である左折地点の前後で走行パターンが変化するよう設定した。3種類のパターンのうち2種類の組合せと順序の違いにより6つの実験条件を設定し、各条件における走行の順序をランダムに並べ替えた上で、計6回の実験走行を行った。これら実験のフローを図-5として示す。

なお、被験者は男性10名（22～24歳、平均年齢23.1歳、標準偏差2.0歳）である。被験者のうち5名を先行車両の走行方法を情報提示しない「情報無し群」、5名を先行車両の走行方法を情報提示する「情報有り群」とし、走行実験を行った。実験開始前に年齢などの個人属性お

よびエコドライブの経験などのアンケートに回答を行った。表-1に本実験に参加した被験者の属性の概要を示す。

情報有り群の被験者（表-1被験者A～E）には、先行車両の走行パターンが変化したタイミング（走行開始直後及び左折直後）で情報を提供した。情報提供は、DSの車内に設置されているカーナビの画面に、走行パターンをイメージした画像を約5秒間表示し（写真-1参照）、同時に注意喚起音を鳴らした。

e) アンケート

本実験では、以下に示すように、A) エコドライブに関する質問、B) 各実験走行後に情報有り群、情報無し群共に行う質問、C) 各実験走行後情報有り群に行う質問を用意した。

A) エコドライブに関する質問

Q-1：エコドライブを知っているか？

→「エコドライブ10のすすめ」より選択させる

Q-2：エコドライブを実践しているか？

→「エコドライブ10のすすめ」より選択させる

B) 二群に共通する質問

Q-3：先行車両に追従しやすかったか？

Q-4：先行車両の動きは予想しやすかったか？

C) 情報有り群に対する質問

Q-5：先行車両情報を活用したか？

上記Q-1、Q-2に関しては、（はい・いいえ）の2択、Q-3～Q-5に関しては、6段階評価および自由記述にて回答してもらった。

このアンケート結果から、今回の実験におけるすべての被験者がエコドライブに関する知識を持っていることが分かった。特に「e-スタート」に関しては、被験者全員がその内容を具体的に知っており、被験者F、I以外の被験者は、日頃から何がしかのエコドライブを実践していることが分かった。

4. 実験結果

（1）平均燃費に関する比較

予備実験で得られた走行履歴データに基づいて作成した図-4に示す各走行パターンの平均燃費を図-6に示す。

図-6より先行車両の平均燃費は、エコドライブ走行（20.0km/l）、等速走行（19.6km/l）、通常走行（18.2km/l）の順で燃費が良くなり、エコドライブ走行と比較し、等速走行で7.6%（1.4km/l）、通常走行で10.2%（1.8km/l）の改善効果がある。また、今回の予備実験においてはエコドライブ走行と等速走行の平均燃費の差を「e-スタート」とするとその効果は0.4km/lとな

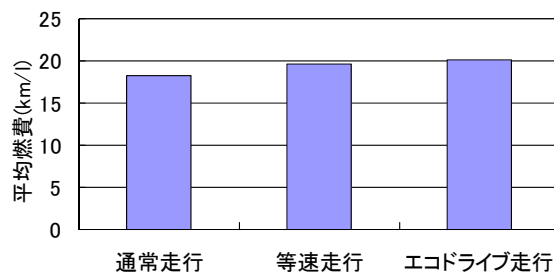


図-6 予備実験における平均燃費

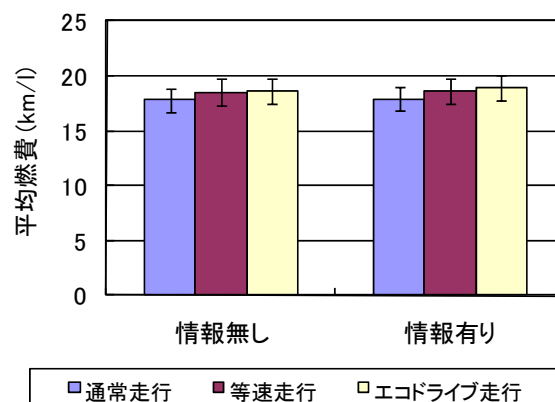


図-7 先行車両ならびに追従車両の平均燃費の比較

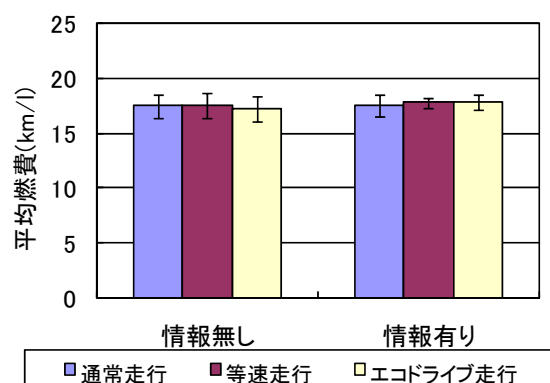


図-8 追従車両における平均燃費の比較

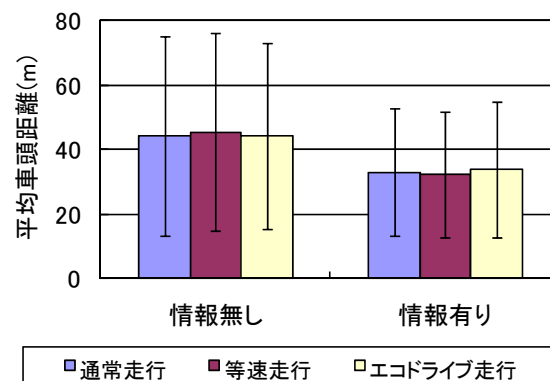


図-9 平均車頭距離

る。また、等速走行と通常走行の平均燃費の差を「加減速の少ない運転」とすると、その効果は1.4km/lとなる。

つぎに、情報あり群および情報なし群における先行車両、追従車両の2台分の平均燃費を走行パターンごとに求めたものを図-7に示す。また、各走行パターンでの追従車両のみの平均燃費を図-8に示す。

図-7から2つの車群の平均燃費を比較すると、前方車両情報の有無にかかわらず通常走行、等速走行、エコドライブ走行の順で平均燃費が良くなる傾向がみられる。

その一方、図-8の追従車両のみに着目すると、統計的な有意差は認められないが、エコドライブ走行の場合には、情報提供有り群の方が情報無し群よりも平均燃費が向上している。

また、先行車両、追従車両の2台の合計で考えると、情報無し群および情報有り群では、通常走行と比較すると1台当たりの平均燃費に関する「e-スタート」の効果には統計的な有意な差が認められなかった。つぎに「加減速の少ない運転」の効果に関しては、情報有り群、情報無し群ともに有意傾向 ($p < 0.1$) を示した。具体的には、情報無し群では4.0% (0.72km/l)、情報有り群では4.5% (0.80km/l) となった。以上より、「e-スタート」と「加減速の少ない運転」を比較すると、今回の実験においては情報提供の有無に関わらず「加減速の少ない運転」の方が燃費改善に大きく寄与することが明らかになった。

(2) 前方車両情報の有無による車群の比較

つぎに、各走行パターンにおける先行車両の走行情報の追従車両への情報提供の有無による追従車両のドライバの運転行動の変化に関して考察を行う。

まず、先行車両と追従車両の平均車頭距離に関して図-9に示す。なお、本稿での平均車頭距離は、実験時における停止時を除く走行中の全ての時間において、0.1秒毎に計測した車頭距離(m)の平均値と定義した。

図-9より平均車頭距離に関しては、各走行方法で前方の車両走行情報を提供することで、車頭距離が短くなることが分かった ($p < 0.05$)。

また、本実験で走行を行ったすべての車両走行パターンにおいて、追従車両の速度と先行車両と追従車両における車間距離の散布図を図-10、11に示す。図-10、11より情報無し群では、情報有り群と比べて車頭距離が広くなる傾向が見られる。これは3章3節の先行車両情報の活用に関するアンケートより情報有り群の実験走行(合計30走行、被験者5名×6条件)において、「先行情報車両情報を活用することが出来ましたか?」との質問に対して20走行で「やや活用することができた」、「活用することができた」、「非常に活用することができた」と回答している。また、情報無し群の被験者からは、

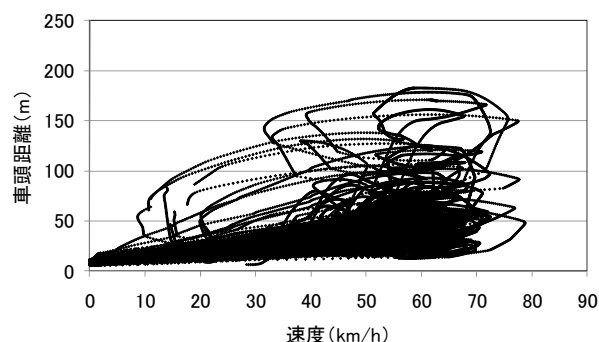


図-10 速度一車間距離散布図(情報無し)

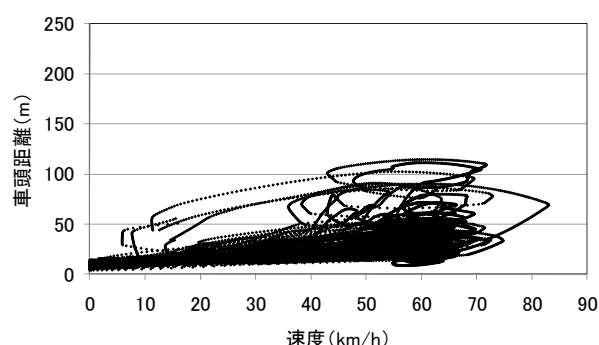


図-11 速度一車間距離散布図(情報有り)

自由回答として「加速の速さが掴めない」(被験者G)、「発進時の加速の具合が異なるため車間距離が開いた」(被験者H)との回答があった。これらのことから先行車両情報を提示することによって、ドライバが先行車両の走行方法を知ることができ、適切な車間距離を保った走行を行うことが出来るようになると考えられる。

以上より、前方車両の走行情報が分かることにより車間距離が詰まって交通密度が高くなる可能性が示唆される。この車頭間隔の減少に関する原因に関しては、今後追加実験などを行い更なる考察が必要である。

5. まとめ

エコドライブに関する研究では、これまで被験者が運転する車両にフォーカスをおいた研究が多くなされ様々な成果があがっていた。しかしエコドライブを行う車両の追従車両や交通流における総合的な調査研究があまりなされてこなかった。

そこで本研究では、DSを活用し、エコドライブ走行におけるe-スタートや加減速の少ない走行など「エコドライブ10のすすめ」の中から複数の運転行動を選択しエコドライブ走行を行う車両の追従車両およびエコドライブ走行を行う車両とその追従車両の2台合計での燃料消費量や平均車頭距離に関する評価を行った。また、追従車両のドライバに先行車両の走行情報を提供する場合と

しない場合における燃費および車頭距離などの変化に関して定量化を行った。

その結果、エコドライブ走行車両とその追従車両の2台で考えると、エコドライブ走行を先行車両が行っている場合、2台での平均燃費をみると約4.6%改善することが分かった。また先方車両の情報を追従車両に情報提供することで、情報がない場合と比べると追従車両にとって燃費改善効果の差が見られないという結果になった。その一方で、先行車両の走行情報を提供することが、車間距離の削減に繋がることも分かった。これらのことから、先行車両情報を活用することで、道路における交通密度が削減されることによる交通流の効率化を支援する可能性を示唆することができる。

今後の課題としては、まず被験者を増やすことで実験結果の妥当性を向上させる必要がある。また、本実験では2台の車両に関する考察を行ったが、車両台数を増やした際の結果や実験手法を検討する必要がある。更には、情報提供方法の具体化や車間距離が削減されることによる事故や危険性の増加など、様々な面から検討を行う予定である。

謝辞

本研究を行うに際し、慶應義塾大学大門樹准教授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) エコドライブ普及連絡会：「エコドライブ 10 のすすめ」、2005.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) ドイツフォード社、"Ford Eco-Driving Kompakt"：
<http://www.ford-eco-driving.de/> .
- 6) 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量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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 加藤秀樹、松橋啓介、小林伸治、近藤美則：「道路状況に応じたエコドライブ効果の推定に関する研究」、土木計画学研究・講演集、Vol.40、CD-ROM、2009.
- 10) 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.