

エコドライブ走行の燃料消費率低減効果に関する研究*

A Study of Fuel Consumption Reduction Effect of Eco-Driving *

松本 修一**・朴 泰輝***・川嶋 弘尚****

By Shuichi MATSUMOTO **・Taehwi PARK ***・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走行が注目されている。

エコドライブ走行は、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という運転行動が推奨されている。本稿では、これらの運転行動をまとめて日本式エコドライブと呼ぶ。一方、ドイツを中心とした欧州では、日本式エコドライブとは異なり速めの加速によって早めに燃費の良い速度域に達するエコドライブ走行が普及している²⁾。本稿では、この運転行動をドイツ式エコドライブと呼ぶ。これら日本式エコドライブとドイツ式エコドライブの最大の違いは、発進時の加速方法である。本研究では、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブでの走行時における燃料消費率の違いに関して定量的な評価を行うことを目的とする。

2. 本研究の位置づけ

日本式エコドライブが燃料消費率改善効果に与える

*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)

***学生員、工学士、慶應義塾大学大学院 理工学研究科

****正員、工博、慶應義塾大学 理工学部

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³⁾、⁴⁾ や一般の運転者を対象としたエコドライブ走行の教示前後における比較⁵⁾ など、多種多様な実運転環境下における検証が行われているが、交通量や信号などが同一の交通状況下における研究があまりなされていない。

また、ドイツ式のエコドライブ走行に関しては、Beusenら⁶⁾ がエコドライブ講習会の前後4~29週間にわたって8人分の走行データを取得して、教示前に比べて燃費改善効果があったことを報告している。

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筆者ら⁷⁾ 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に関して交通流シミュレータを用いて分析している。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燃料消費率を推定した。また、加藤ら⁸⁾ 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、上記2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。

また、ドライビングシミュレータ(以下「DS」と記す)を用いたものとして、平岡らの研究⁹⁾ 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ドイツ式エコドライブの方が日本式エコドライブより燃費改善効果が高いという結果を確認している。また、今後の課題として、信号などがある一般街路における実証の実験が挙げられている。

そこで本研究では、信号のある2交差点間での車両挙動に注目して解析を行い、これまで細かい議論が余りなされてこなかった一般街路における短距離での日本式エコドライブおよびドイツ式エコドライブに関して、燃費改善効果や運転行動に関する比較などを行った。

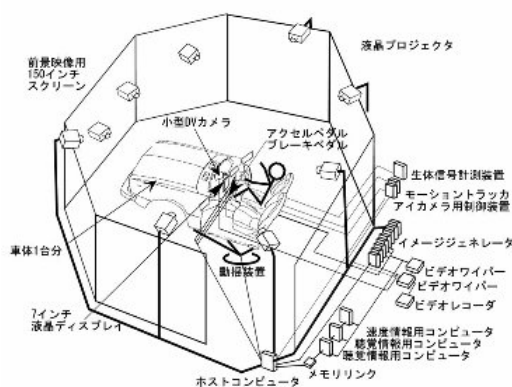
3. 実験概要

(1) 実験環境

本実験では、慶應義塾大学のDS及び交通シミュレータ“AIMSUN”¹⁰⁾（以下「TS」と記す）（DSは慶應義塾大学・国土技術政策総合研究所共同開発¹¹⁾、三菱プレジジョン製、TSはTSS社製）を相互接続させて（以下「TS/DS接続機能」と記す）、仮想空間上に交差点を模擬した環境下で実験を行った。

TS/DS 接続機能は、TSを用いて実験シナリオを作成し、DSを用いてシナリオ上で走行実験を行うものである。このTS/DS接続機能を用いることにより、同一環境下で何度でも実験を行うことができるというメリットがある。また、TSより旅行時間、遅れ時間、停止時間、平均速度など、DSより加速度、速度、エンジン回転数、アクセル踏み込み量、ブレーキ踏み込み量、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ーの視野角は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。



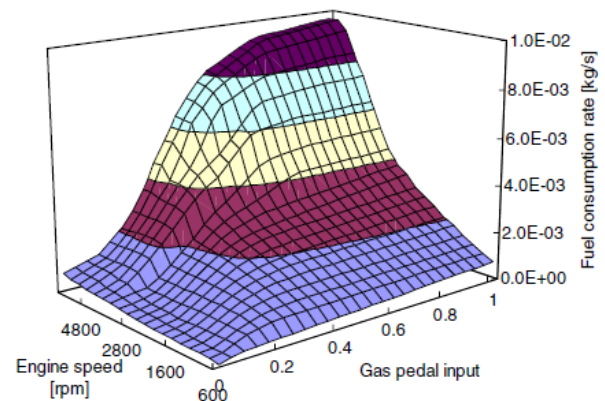
図－1 ドライビングシミュレータの概要

(2) 燃料消費量の計算

本研究では、平岡らの研究⁹⁾と同様に図－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2.5 [l]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0.76 [kg/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。

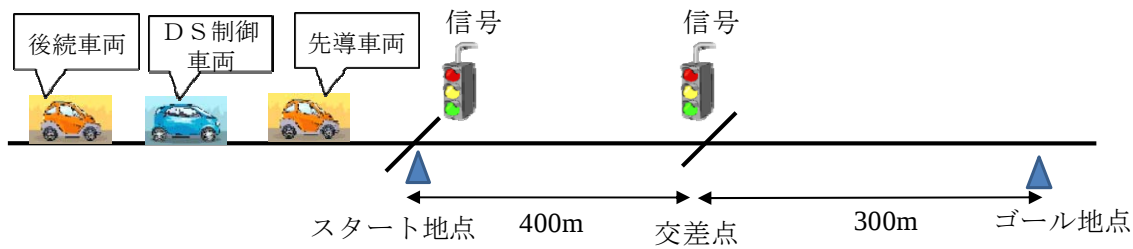
図－2によると、アクセル踏み込み量が非常に小さい領域では、エンジン回転数が上がっても燃料消費量の変化は小さい。惰性走行を行っているときや、ブレーキ操作を行っているときは、主にこの領域となる。また、アクセル踏み込み量が大きい領域では、エンジン回転数の上昇に伴って燃料消費量は増加する。しかしながら、高速道路の合流や急坂を上るときなどの特殊な状況以外にアクセルを全開にすることは稀である。アクセル踏み込み量が0.2から0.6程度のいわゆるパシャルスロットル領域では、アクセル踏み込み量による影響も、エンジン回転数による影響もともに高い領域であるといえる。とくに、エンジン回転数が3600 [rpm]を超えると、燃料消費量が急激に増加する傾向となっている。



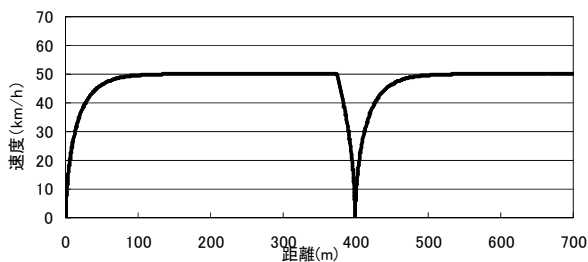
図－2 燃料消費率マップ

(3) 実験概要

本実験では、TSを用いて最初に信号で停止した状態で実験走行を開始し、400 [m]の直線走行後に信号交差点で必ず停止するよう設定し、その後300 [m]の直線走行を行うという単路の実験シナリオを作成した。被験者は、前方および後方に車両が存在するように設定したDS制御車両に乗車し実験を行った（図－3参照）。なお、先導車両と後続車両はTSに内装された車両挙動モデルに従い¹⁰⁾走行し、50 [km/h]を制限速度と設定した。また、図－4に先導車両の走行軌跡として、速度と距離の関係を示す。被験者は男性5名（22～24歳、平均年齢22.6歳、標準偏差0.8歳）である。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として本実験に参加した被験者の属性の概要を示す。



図－3 実験シナリオの概要



図－4 先導車両の速度と走行距離の関係

表－1 被験者属性

被験者ID	年齢	免許取得年数	運転頻度
A	23	4年10ヶ月	週1, 2回
B	22	2年2ヶ月	2ヶ月に1回
C	24	2年11ヶ月	月1, 2回
D	22	2年11ヶ月	週1, 2回
E	22	4年1ヶ月	月1, 2回

被験者は、通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブの順でそれぞれ5回ずつ計15回走行した。この順番で走行をした理由として、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブの後に、通常走行で実験した場合、エコドライブ走行の影響が及ぶ可能性があると考えたためである。

それぞれの1回目の実験実施前に、運転方法に関して教示し、練習走行を実施した。以下にその際行った教示の概要について記す。

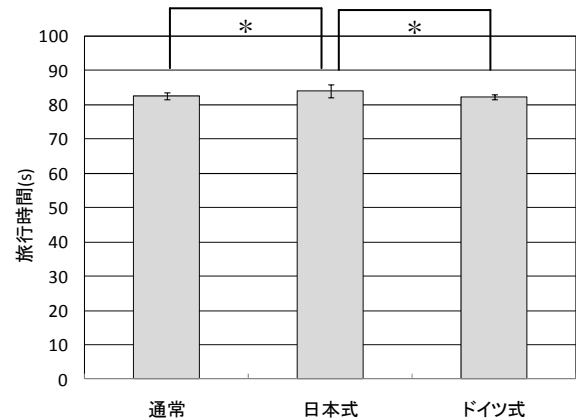
・通常走行

普段運転している通りの運転方法を行う。

・日本式エコドライブ

- 1) 加速時は、クリーブ現象を用いて、ゆっくりとアクセルを踏み込んでいく（5秒で20 [km/h]を目安）。
- 2) 走行中は加減速をなるべく少なく、アクセルはできるだけ一定に保つ。

I:±SD, *:p<0.1



図－5 旅行時間の比較 (n=25)

3)速めのアクセルオフでエンジンプレーキを積極的に使う。

・ドイツ式エコドライブ

- 1) 加速は素早く（但し、急加速は禁物）、速めに燃費の良い速度域（40-80 [km/h]）にもっていく。
- 2) 燃費の良い速度域に達したらアクセルを足から離し、惰性走行を多く使う。

4. 実験結果

（1）旅行時間に関する比較

本実験では、図－4にある実験シナリオにおいて、スタート地点からゴール地点までの旅行時間を通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブで比較を行った。その結果を図－5に示す。

図－5から日本式エコドライブの場合が最も旅行時間がかかっており、通常走行及びドイツ式エコドライブよりもそれぞれ1.8%（1.4秒）、2.1%（1.8秒）長くなっている（ $p<0.1$ ）。

日本式エコドライブの場合に最も旅行時間が長くなったのは、日本式エコドライブの運転方法の特徴であるゆっくりと加速していく「e-スタート」が原因であると考えられる。その一方、加速を素早く行うドイツ式エコド

ライブと通常走行との間での旅行時間には統計的に優位な差が出なかった。このことからドイツ式エコドライブと日本式エコドライブの加速方法を比較すると、日本式エコドライブの「e-スタート」の方が、旅行時間に与える影響が大きいことが分かる。

（2）燃料消費率に関する比較

本節では、DSより算出されたアクセル踏み込み量およびエンジン回転数から図-2の燃料消費率マップを用いて算出した各走行条件の燃料消費率を比較する。まず図-6に各走行条件での燃料消費率の結果を示す。

図-6より燃料消費率は、通常走行に対してドイツ式エコドライブが4.1% (0.48km/l) 上回っており、日本式エコドライブは0.87% (0.1km/l) 下回っている。ただし、これらにはいずれも統計的有意差は認められなかった。

また日本式エコドライブとドイツ式エコドライブに関しては、ドイツ式エコドライブの方が5.1%(0.56km/l)

上回っていた ($p < 0.05$)。

一般的に日本式エコドライブを行った場合、通常走行時と比較すると燃料消費率が良くなるといわれている。しかし、本実験では、加減速の少ない運転という運転行動である日本式エコドライブでは、交差点間隔が狭い場合、燃料消費率が改善されるという結果にはならなかった。次に、1) アクセル、ブレーキ入力がない、2) 加速度が負、という状態を惰性走行と定義し、総走行時間に占める惰性走行時間の割合を惰性走行率として計算した結果を図-7に示す。図-7より、惰性走行率に関しては、ドイツ式エコドライブが圧倒的にも高く、日本式エコドライブが最も低くなっていることがわかる ($p < 0.01$)。

また、今回の実験シナリオにおける通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブにおける走行距離とアクセル踏み込み量の例として、被験者Aの3回目の走行データを図-8~10に示す。

I: $\pm$ SD, **: $p < 0.05$

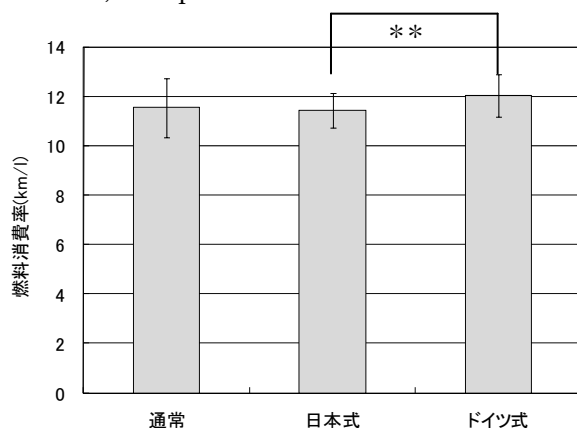


図-6 各走行パターンの燃料消費率 (n=25)

I: $\pm$ SD, ***: $p < 0.01$

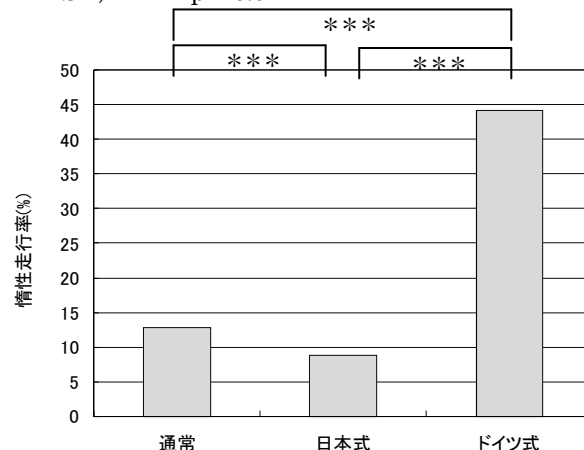


図-7 各走行パターンの惰性走行率 (n=25)

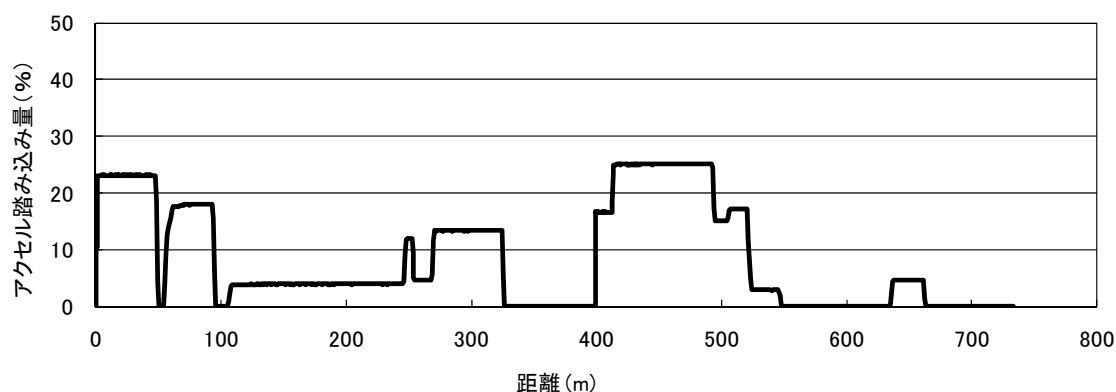
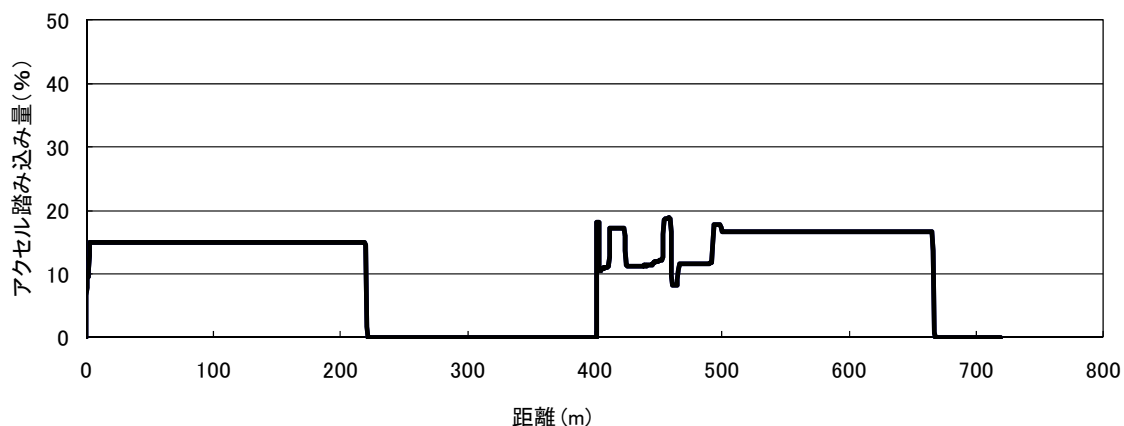
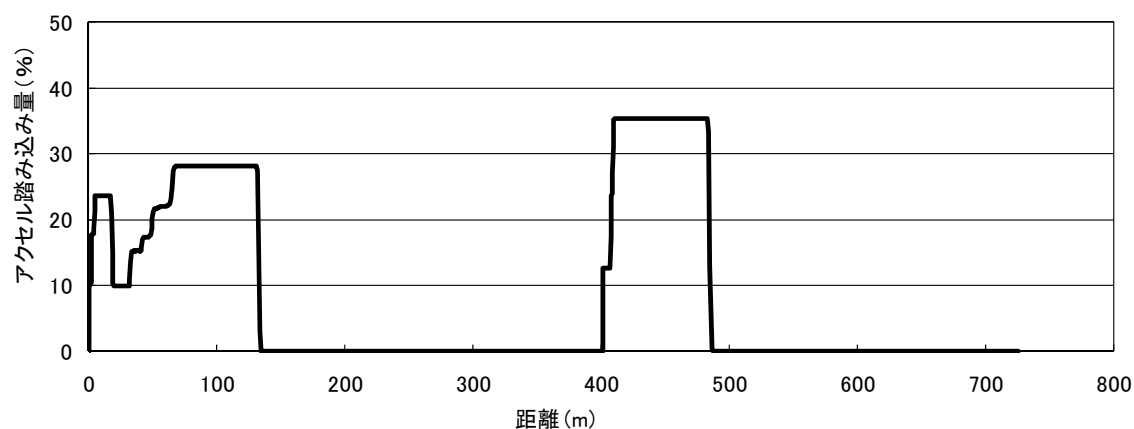


図-8 アクセル踏み込み量と走行距離の例
(通常走行)



図－9 アクセル踏み込み量と走行距離の例
(日本式エコドライブ)



図－10 アクセル踏み込み量と走行距離の例
(ドイツ式エコドライブ)

図－9に示すように、日本式エコドライブの場合「e-スタート」の活用をするので、アクセル踏み込み量は小さくともアクセルを踏んでいる時間が長いので、結果的に惰性走行率が低くなり、ドイツ式エコドライブに比べて日本式エコドライブの燃料消費率が悪くなったと考えられる。

一方、ドイツ式エコドライブでは、図－10に示すように、発進時にアクセル踏み込み量が大きく、スタート直後の燃料消費率は大きくなる。その後、燃料消費量が少ない惰性走行状態となるため、他の走行パターンと比較すると燃料消費率が良くなったと考えられる。

このように、既存研究においては、エコドライブ走行の効果として、日本式エコドライブに関しては燃料消費率が良くなるという報告が多いが、400m程度の比較的短い距離の間における日本式エコドライブの燃料消費率が通常走行と比較し、必ずしも削減効果がないことが

示唆された。

また、これまで平岡ら⁹⁾の研究で課題とされていた短距離における日本式エコドライブおよびドイツ式エコドライブにおける燃料消費率に関する定量化を行った。その結果、本研究のような発進から停止までの走行距離が短い場合においては、ドイツ式エコドライブにおいて燃料消費率改善効果が期待できる可能性を示唆することができた。

(3) エコドライブの運転行動に関する比較

本節では、通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブでの運転行動に関して比較を行う。まず、全被験者のすべての走行に関して、速度－ブレーキ踏み込み量および速度－加速度の関係、車頭間隔距離と速度の関係に関して図－11～16に示す。

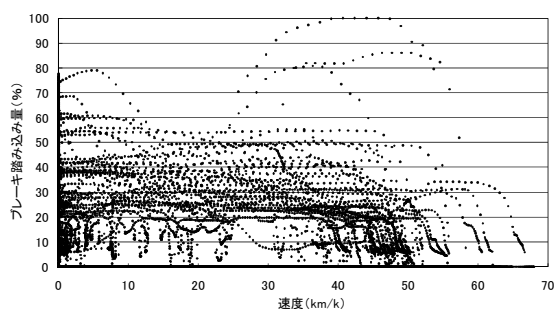


図-11 速度とブレーキ踏み込み量の関係
(通常走行)

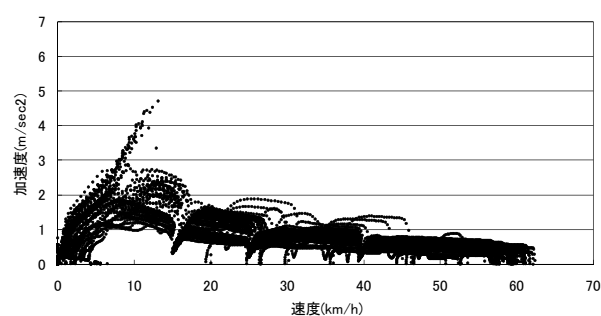


図-15 速度—加速度分布 (日本式エコドライブ)

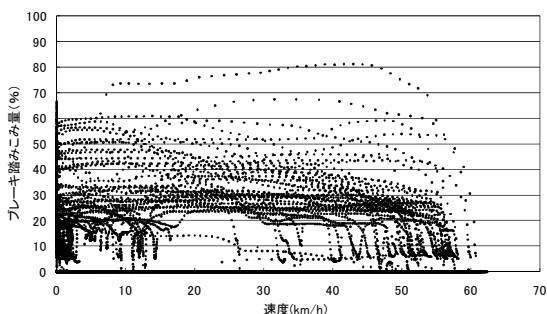


図-12 速度とブレーキ踏み込み量の関係
(日本式エコドライブ)

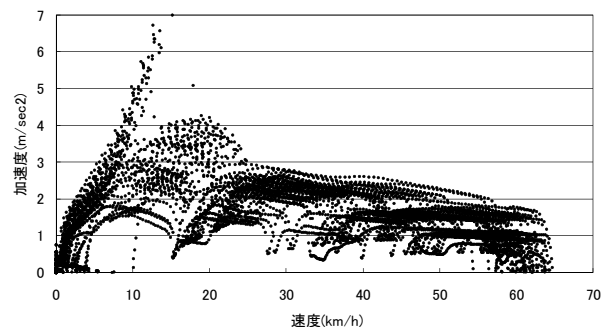


図-16 速度—加速度分布 (ドイツ式エコドライブ)

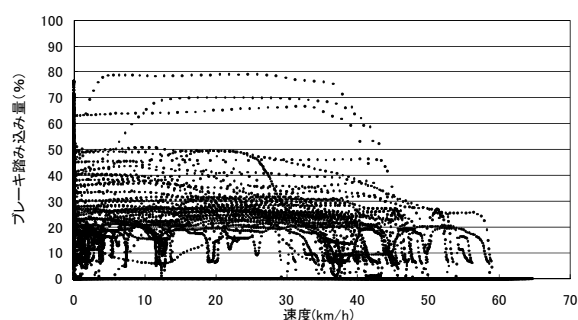


図-13 速度とブレーキ踏み込み量の関係
(ドイツ式エコドライブ)

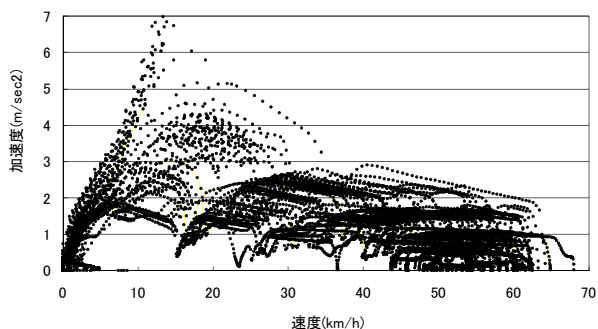


図-14 速度—加速度分布 (通常走行)

図-11～13は、各走行方法での走行時の速度とブレーキ踏み込み量の関係を示したものである。これらを比較すると、全体的にドイツ式エコドライブが日本式エコドライブよりブレーキを踏込む量が少ない傾向にある。特に40 [km/h] 以上においては、ドイツ式エコドライブは日本式エコドライブに比べてブレーキを踏込む量が非常に少ないことが分かる。

また、図-14～16の各走行方法での速度—加速度分布をみると、低速度域において、比較的加速度が大きい傾向にある。次に、通常走行、ドイツ式エコドライブと比較すると、日本式エコドライブにおいて加速度が抑制されていることが分かる。これは日本式エコドライブがゆっくりアクセルを踏み出した後、アクセルを一定に保つので加速度は小さいまま推移するが、ドイツ式エコドライブは素早い加速で発進することが影響しているためであると考えられる。

次に各走行方法における、実験シナリオ全体での先行車両との車頭間隔距離の平均値を図-17に示す。この図より各走行方法を比較すると、日本式エコドライブ、通常走行、ドイツ式エコドライブの順に車頭間隔が大きくなる傾向がみられる。これもエコドライブの手法として、ゆっくり加速する日本式エコドライブと早めに燃費の良い速度帯まで加速するドイツ式エコドライブの違いによって生じたと考えられる。

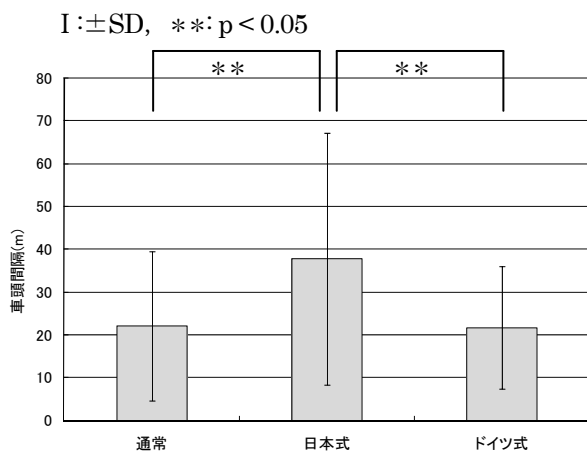


図-17 速度と車頭間隔の関係

図-17のように、車頭間隔に関して日本式エコドライブを通常走行、ドイツ式エコドライブと比較すると、2倍程度長くなることが分かる。また、各走行方法を比較すると、車頭間隔距離では日本式エコドライブのばらつきが大きくなることが分かる。

5. まとめ

本研究では、同一環境下で実験を繰り返し行うことのできるTS/DS接続機能を用いて、単路における通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブの燃料消費率の定量的な比較を行った。その結果、日本式エコドライブと比較してドイツ式エコドライブが4%程度の燃費改善効果が見られた。また、通常走行と日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブの間では統計的優位な差が見られなかった。この結果は、発進から停止までの距離が信号などによって400m程度と比較的短くなった場合、必ずしも日本式エコドライブによる燃料消費率改善が期待できるものではないことを示唆している。

また、エコドライブによる運転行動の違いに注目し速度と加速度や速度と車頭間隔の関係を示した。その結果、日本式エコドライブが全般的に加速度の少ない走行傾向を示すこと、ドイツ式エコドライブが全般的にブレーキ踏み込み量の少ない傾向を示すことが示唆された。また、車頭間隔に関しては、日本式エコドライブを行うことで、通常走行の2倍程度の距離が開くことが分かった。

今後は、走行台数が多い場合の交通流全体に対するエコドライブ走行の影響を定量化することや、被験者数を増やして実験を行うことで、日常的にエコドライブを行っている被験者と日常的にエコドライブを行っていない被験者の相違について詳細に調べるなどがある。また、先行車両の動向をDS制御車両が察知することで燃料

消費率の良い走行方法を行うといった新たな試みも検討する。最後に、交差点間距離とエコドライブの効果などに関するより細かな考察も行っていく予定である。

謝辞

本研究を行うに際し、慶應義塾大学大門樹准教授、京都大学大学院平岡敏洋助教、東京大学山邊茂之助教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) ドイツフォード社，"Ford Eco-Driving Kompakt"： <http://www.ford-eco-driving.de/> .
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) B. Beusen、T. Denys： Experiences using an onboard logging device with CAN-interface, GPS, GPRS, and Wi-Fi for surveying long term driving behavior, Proceedings of 15th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 2008.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 平岡敏洋、寺門康弘、松本修一、山邊茂之：「ドライビングシミュレータによるエコドライブ走行の燃料消費率低減効果に関する定量評価」、第7回 ITS シンポジウム 2008 Peer-Review Proceedings、pp.163-168、2008.
- 10) 馬場園克也：「マイクロシミュレーション環境ツール AIMSUN NG の紹介」、情報処理学会研究報告、ITS、Vol.2005、No.61、pp. 13-20、2005.
- 11) 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

エコドライブ走行の燃料消費率低減効果に関する研究*

松本 修一**・朴 泰輝***・川嶋 弘尚****

地球温暖化対策の一手法として、自動車から排出される二酸化炭素量をエコドライブ走行を行うことによって削減しようという試みがある。エコドライブ走行は、発進時における緩やかな加速や、走行時の加減速を減らすなどの運転行動によって低燃費を実現する手法である。エコドライブ走行の有効性に関する検討は、単一車両による評価がほとんどであり、複数台の車群に関しては未だ不十分である。本研究では、ドライビングシミュレータと交通シミュレータを相互接続した実験環境を用いて、一般街路における車両追従時のエコドライブ走行が燃料消費量削減に与える影響などを定量的に評価する。

A Study of Fuel Consumption Reduction Effect of Eco-Driving *

By Shuichi MATSUMOTO **・Taehwi PARK ***・Hironao KAWASHIMA ****

Eco-driving is expected to make contributions to efforts against global warming by slashing carbon-dioxide emissions of vehicles. It enables low-fuel consumption mainly by less frequent acceleration and deceleration, and smooth acceleration at start. The effectiveness of eco-driving has been proven as to a single body of vehicle; however, it remains to be investigated on multiple vehicles. Utilizing driving simulator, this paper examines the advantage of eco-driving for vehicles following others on open roads, measuring the effectiveness on fuel consumption and so on.
