

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*

Quantitative Evaluation of Fuel Consumption Reduction Effect of Eco-Driving*

朴泰輝**・松本修一***・平岡敏洋****・川嶋弘尚*****

By Tae Hwi PARK**・Shuichi MATSUMOTO***・Toshihiro HIRAOKA****・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年の排出量合計水準から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05年比で15%減（1990年比約8%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、その大半を自動車が出している。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方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ものに、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速めに制限速度域に達するエコドライブが普及している²⁾。このエコドライブ手法をドイツ式エコドライブと呼ぶ。

このように日本式エコドライブとドイツ式エコドライブの大きな違いは、発進時の加速方法である。日本式エコドライブは緩やかな加速を行うのに対し、ドイツ式エコドライブは速めの加速を行う。

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の一つは、ドライビングシミュレータ（以下「DS」と記す）を用いた平岡ら³⁾の研究がある。この研究ではJ C-08モードで走行する車両に追従する

*キーワード：交通流、ITS、エコドライブ

**学生員、工学士、慶應義塾大学大学院理工学研究科

(横浜市港北区日吉3-14-1、

TEL:045-566-1141、FAX:045-566-1617)

***正員、博(工)、慶應義塾大学先端研究センター

****非会員、博(情報)、京都大学大学院情報学研究科

*****正員、工博、慶應義塾大学理工学部

形で実験を行っているが、信号などがある一般街路においての実証実験が今後の課題とされている。

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った。

2. 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”⁴⁾（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⁵⁾、三菱プレジジョン製、TSはTSS社製）を相互連動させて（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。また、TSより旅行時間、燃料消費量、停止時間、平均速度、DSより加速度、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。図-1にDSの概要を示す。

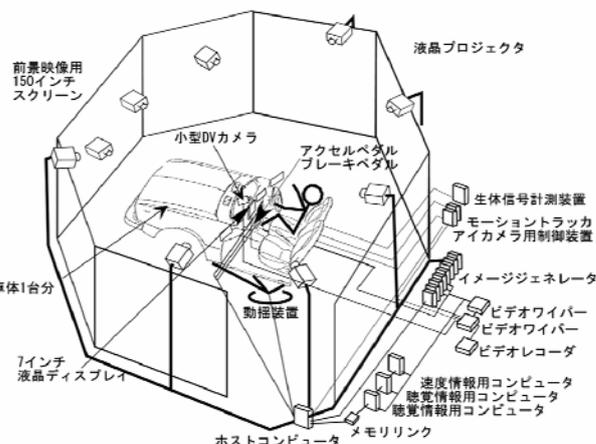


図-1 ドライビングシミュレータの概要

(2) 燃料消費量の計算

エンジン回転数とアクセル操作量より図-2 に示すマップに基づいて瞬間燃料消費量[kg/s] を計算する。この値と標準的なガソリン密度0.76[kg/l] および自転車両速度[km/h]を用いて燃料消費率[km/l]を算出する。

図-2 によると、アクセル開度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、アクセル開度が大きい領域では、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。アクセル開度が0.2から0.6程度のいわゆるパーシャルスロットル領域では、アクセル開度による影響も、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。

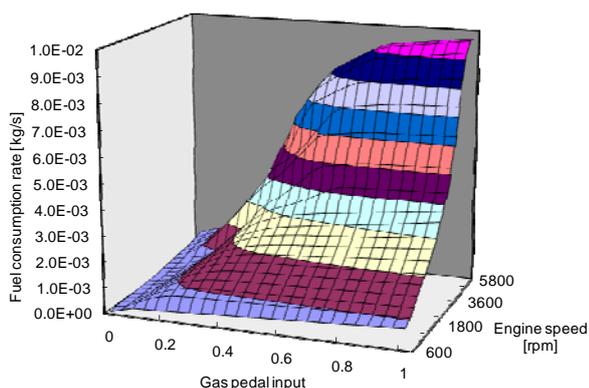


図-2 エンジンマップ

(3) 実験概要

まず、TSを用いて、最初に信号で停止した状態で実験を開始し、400mの直線走行後に信号交差点で停止し、その後残り300mの直線走行を行うという単路部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。なお、先導車両及び追従車両は60km/hを制限速度とした。なお、先導車両及び追従車両は信号に差し掛かるとTSの車両挙動モデルに従い加減速を行う。

(4) 実験手順

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。実験開始前後に表-1のような項目のアンケートに回答した。

表-1 アンケート概要

時期	項目
実験前	個人属性(年齢、運転免許取得年数、視力)、運転頻度など
実験後	エコドライブに関する嗜好

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。以下に教示内容について記す。

- 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、まず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20km/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
 - 3) 速めのアクセルオフでエンジンブ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(40-80km/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) エコドライブに関する嗜好

アンケート結果より、5名の被験者中2名(被験者A、Bとする)は日常でもエコドライブ走行をしていることが分かった。そこで、被験者A、Bをエコドライブ実践群、被験者C、D、Eをエコドライブ非実践群とする。

また、エコドライブ実践群は日本式エコドライブと通常走行及びドイツ式エコドライブを比較した場合、日本式エコドライブの方が走行しやすいということが分かった。一方、エコドライブ非実践群では日本式エコドライブが運転しやすいと回答した人はいなかった。

(2) 旅行時間の解析結果

実験にて計測した旅行時間に関して通常走行、日本式エコドライブ走行、ドイツ式エコドライブ走行で比較を行った。その結果を図-3に示す。

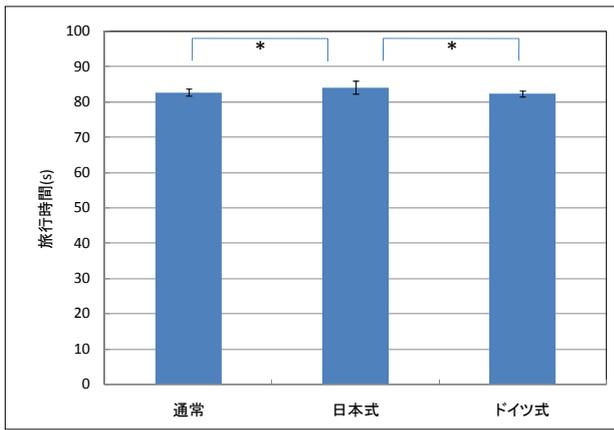


図-3 旅行時間 (DS制御車両)

図-3から日本式エコドライブの場合に最も旅行時間が長くなっており、通常走行及びドイツ式エコドライブよりも2%ほど長い。

DS制御車両において、日本式エコドライブの場合に最も旅行時間が長くなってしまったのは、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。

(3) 燃料消費率改善効果及びその考察

DSより算出された実験結果を基に算出した各条件の燃料消費率を図-4に示す。

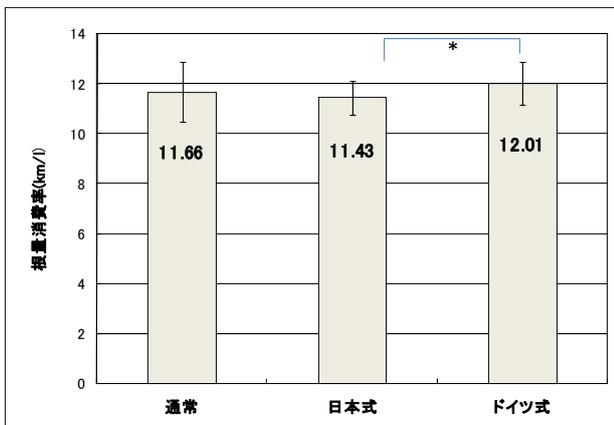


図-4 各走行パターンの燃料消費率

燃料消費率の平均値は、通常走行に対してドイツ式エコドライブが5%ほど上回っており、日本式エコドライブは2%ほど下回っている。ただし、いずれも統計的有意差は認められない。

一般的に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言われている。しかし、本研究では、日本式エコドライブを行うと逆に燃料消費率を悪化するという結果になった。

ここで、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する。さらに、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

定義し、その結果を図-5に示す。

図-5より、惰性走行率に関しては、ドイツ式エコドライブが最も高く、日本式エコドライブが最も低くなっている。

図-2のマップより、惰性走行中の燃料消費率はほぼ0 [kg/s]とみなすことができる。今回作成した実験シナリオは400m走行後、必ず信号で停止し残りの300mを走行するというものであった。

通常走行の場合、日本式エコドライブに比べてアクセル踏み込み量が大きく、スタート後の燃料消費率は大きくなるが、制限速度60km/hに達したときには、信号が見えるために惰性走行状態となる。一方の日本式エコドライブの場合、制限速度60km/hに達するまで常にアクセルを踏み込んでいるため、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かったために、結果的に通常走行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。この参考として通常走行及び日本式エコドライブの距離とアクセル踏み込み量の関係を図-6、7に示す。

ドイツ式エコドライブの場合に通常走行に比べて燃料消費率が改善したのは、惰性走行率が高く、制限速度60km/hに達した直後に無駄なアクセル操作をしていないためだと考えられる。このことは、図-6、8より明らかである。

既存研究において、市街地などを長距離走行したデータをもとに燃料消費率の改善が報告された例はあるが、短い走行距離の間に発信と停止を行うような場合におけるエコドライブ走行の燃料消費率の定量化及び挙動に関する検討は余りなされていない。本研究では、信号機や渋滞などで停止回数が多いことから、発進から停止までの走行距離が短い場合、エコドライブ走行による燃料消費率削減効果は必ずしも期待できないことを示唆できたのではないかと考える。

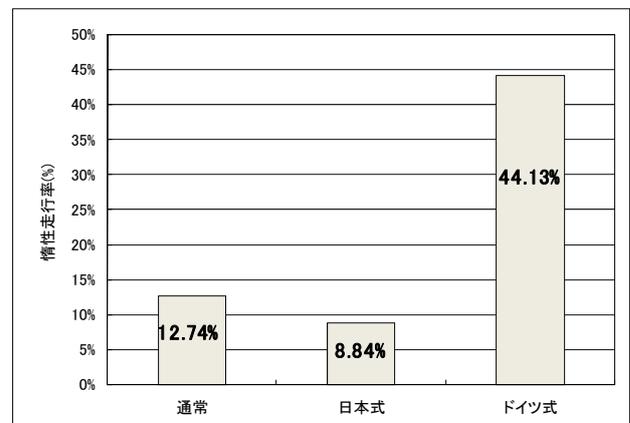


図-5 各走行パターンの惰性走行率

(4) 走行時の運転行動

DSより算出された計測項目より通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブで速度とアクセル踏

込み量の関係や速度-加速度分布に違いが見られた。

図9、10は日本式エコドライブとドイツ式エコドライブの速度とブレーキ踏み込み量の関係を示した図である。二つの図を比較すると、40km/h以上において、日本式エコドライブはドイツ式エコドライブに比べて分布が多い。すなわち、高速域でブレーキを操作する回数が多かったことが分かる。

図-11、12、13の加速度の分布図より各走行の特徴が明らかになっている。まず、0～20km/hの範囲で違いが見られる。日本式エコドライブにおいては、加速度が抑制されている。それに比べると通常走行及びドイツ式エコドライブでは、全体的に加速度が大きくなっていることが分かる。また、10～20km/hの範囲では通常走行の加速度はドイツ式エコドライブよりも大きいことが分かる。20km/h以上では、日本式エコドライブとドイツ式エコドライブで加速度に違いがある。日本式エコドライブは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小さいまま推移するが、ドイツ式エコドライブは一定以上の加速度が維持されており、日本式エコドライブに比べて加速度が大きい。40km/h以上では、通常走行とドイツ式エコドライブを比べると通常走行の方が加速度の分布が多いことが確認できる。これは、通常走行がドイツ式エコドライブに比べて60km/hに達した後も加速を続けていたことを示唆している。

(3) エコドライブ実践群と非実践群の比較

エコドライブ実践群と非実践群に関する燃料消費率の比較を図-14に示す。

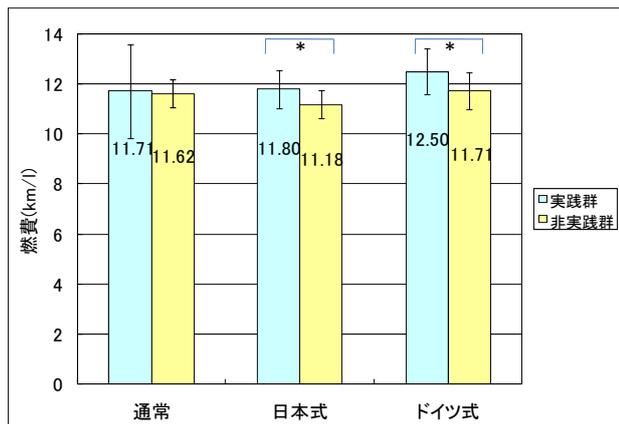


図-14 エコドライブ実践群と非実践群の燃料消費率

通常走行、日本式エコドライブ、ドイツ式エコドライブ全ての走行パターンにおいて、エコドライブ実践群の方が燃料消費率が良いという結果を得た。ただし、通常走行の場合には統計的有意差は認められず、日本式エコドライブおよびドイツ式エコドライブは有意水準が10%

であった。通常走行条件において有意差がなかったのは、被験者Bのばらつきが大変大きかったためであり、そのため標準偏差も大きな値となっている。エコドライブ実践群の燃料消費率が良いという結果により、エコドライブ走行の経験、こと前の知識が燃料消費量削減に寄与するということが示唆された。

5. おわりに

本研究では、同一環境下で実験を繰り返すことができる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、通常走行と比較してドイツ式エコドライブ走行は10%ほどの燃料消費率の改善を確認できた。その一方、日本式エコドライブは、通常走行に比べて2%ほど悪化したことが確認できた。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短くなった場合、必ずしもエコドライブ走行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、エコドライブ走行を日頃実践している場合、エコドライブ走行を実践していない場合に比べて燃料消費率が良くなることが示唆された。

今後の課題としては、本実験で得られた短い距離における燃料消費率の改善要因を踏まえた上で、走行距離を長くして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、エコドライブ実践群及び非実践群の違いを考察していくことなどが挙げられる。また、先行車両の挙動を自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予定である。

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) 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。
- 3) ドイツフォード社，Ford Eco-Driving Kompakt : <http://www.ford-eco-driving.de/>
- 4) 馬場園 克也：「マイクロシミュレーション環境ツールAIMSUNGの紹介」情報処理学会研究報告ITS, Vol. 2005, No. 61(20050617) pp. 13-20, 2005。
- 5) 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, 200

