

# 減速時における加減速情報が 追従挙動に与える基礎的研究

池田 佳樹<sup>1</sup>・松本 修一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 文教大学 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

E-mail: b4p41007@shonan.bunkoy.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 文教大学准教授 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

E-mail: shuichi@shonan.bunkyo.ac.jp

従来の「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、ドライバーから見えない先々行車両などの情報提供をすることで先行車両の挙動を予測した運転を促すことが今後重要になってくる。本研究では、ドライビングシミュレータを用い、高速道路において先々行車両が減速する際に加減速情報を提供した際の有効性を検証した。その結果、加減速情報を提供することで、1)高速域における急な減速が少なくなる、2)アクセルおよびブレーキの踏み込み量が少なくなる、3)燃費の改善効果が期待されるなどの効果が見込めることが分かった。

**Key Words :** ITS, Driving Simulator, Acceleration / Deceleration Information

## 1. はじめに

政府が閣議決定した「日本再興計画」や「世界最先端IT国家創造宣言」のもとドライバー支援型の自動運転の実現に向けた動きが活発になっている。また、米国運輸省の国家道路交通安全局(NHTSA)が自動運転システムの自動化レベル分類を発表した<sup>1)</sup>。この分類では、自動車を運転するドライバーに対する運転支援の度合いによって、自動運転のレベルはレベル0からレベル4までの5段階で分類している。レベル0は機械による直接的なサポートがないので、ドライバーの運転行動の変化を促す間接型運転支援システムを活用することで、効率的な運転が可能になると言われている。

さらに、車車間通信などを活用したCACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) などによる交通流の円滑化が期待されている<sup>2)</sup>。このように、従来の「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、ドライバーから見えない先々行車両などの情報提供をすることで先行車両の挙動を予測した運転を促すことが今後重要になってくる<sup>4)</sup>。

## 2. 研究の動向および本研究の目的

先行車両、先々行車両を加味したドライバーへの動的な情報提供に関しては、近年多くの研究がなされている。佐藤らは、先行車両の後方にLEDパネルを設置し、加減速情報を提供し、ドライバーが先行車両の挙動を予測することで、高速道路において、後続車両の無駄な加減速を減らすシステムを提案した<sup>5)</sup>。また、山村らの研究<sup>6)</sup>では、前方車両のブレーキランプ点灯、非点灯の差異が後続車の追従挙動に与える影響を把握する実験を行い、点灯時の方が非点灯時と比較して、後続車が早めの減速を示すことが分かっており、速度が低く、車間距離が開くという結果を得ている。この研究の課題として、ITSによる車車間通信や路車間通信を活用し、ブレーキランプを高度に制御し渋滞を抑制するような手法の探索が挙げられる。また、田中らは、先行車両より前方の車両の挙動も加味した情報から、早めの加減速を予測した運転の支援を行うことが重要であると指摘している<sup>7)</sup>。さらに、加茂らの研究<sup>8)</sup>では、ドライビングシミュレータ(以下、「DS」と記す)を用いた追従実験により、先々行車両の加減速情報を重視する実験参加者のほうが先々行車両、先行車両の加減速情報を比較し、燃費が良いということが実証

されている。松本ら<sup>9)</sup>の研究では、DSを用いてサグ部において、先々行車両の加減速情報を提供することによって、交通容量が5.8%増加することを示唆している。

このように車車間通信などを視野に入れた先々行車両を加味した動的な車両挙動に関する情報提供の研究が近年活発に行われてきている。筆者らは、特に先々行車両の加減速情報に関し特化して研究を行ってきており、一般路における発進時の円滑性の向上やサグ部における交通容量の増加など有用な知見を得ている。

本研究では、高速道路において車頭時間の微小攪乱を発生する走行環境をDSで模擬し、先々行車両の加減速情報を提供することによる運転行動や車両挙動、燃料消費量の変化に着目し、先々行車両の加減速情報の有用性を検証する。

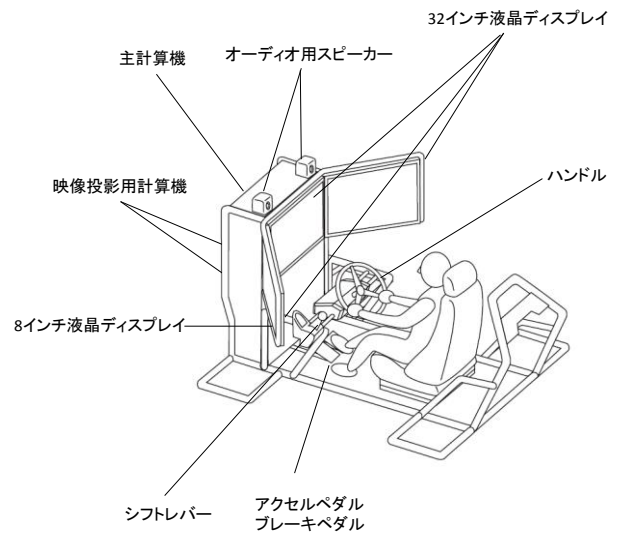


図-1 実験設備

### 3. 実験概要

#### (1)実験設備

実験設備の概要を図-1に示す。実験では32インチディスプレイ3面からは走行状況が、8インチモニタからは先々行車両の加減速情報が表示される(表-1参照)。

本実験では、複数の実験参加者が同一走行環境下において運転を行うためにDSを活用し、仮想空間上に直線の高速度道路を作成して実験を行った。実験シナリオでは、5台の車両(以後、先頭から順に「先頭車両」、「先々行車両」、「先行車両」、「自車両」、「後続車両」)が同一車線を走行するように設定をした(図-2参照)。なお、後続車は図-3のようなアルゴリズムで追従挙動を決定するように設定した。

表-1 加減速情報の表示形式

加速度[m/s <sup>2</sup> ]	表示
$0.4 \leq a$	
$-0.4 < a < 0.4$	
$a \leq -0.4$	

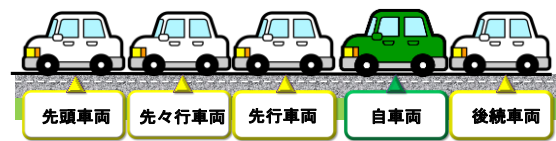


図-2 車両の位置関係

#### (2)情報提供

加減速情報を表-1のように3段階で表示し、ドライバーの左側に設置した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 $0.4\text{m/s}^2$ 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 $-0.4\text{m/s}^2$ 以下の状態では赤色の三角形で表示を行う。

図-4に先々行車両の加減速パターンを示す。この図の第2軸において情報提供を行っている時間帯を1、情報提供を行っていない時間帯を0として表している。

#### (3)実験の条件

走行実験の前に練習走行として、DSに慣れるためにJC-08モードに追従するシナリオ、情報提供に慣れるために先々行車両がJC-08モードで走行する状況における先々行車両の加減速情報を提供するシナリオ、高速道路の車間距離に慣れるために92km/hで等速走行する車両の

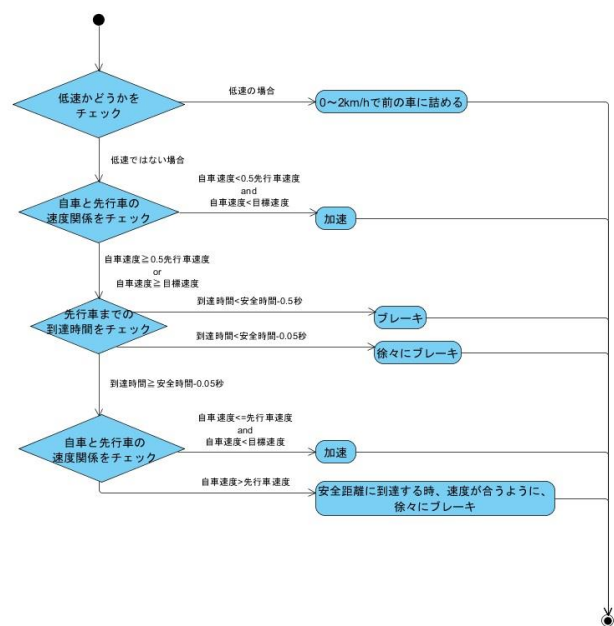


図-3 後続車両アルゴリズム

後ろに追従するシナリオをそれぞれ1走行ずつ被験者が慣れるまで走行してもらった。本実験では、各実験参加者が

- ・「情報提供なし」の走行
- ・「情報提供あり」の走行
- ・先々行車両が92km/hで等速走行を行う走行（以下「ダミー走行」と記す）

の3つの条件をそれぞれ2回ずつ走行した。ダミー走行を行う理由は、被験者が先行車両の走行パターンに慣れてしまうことを防ぐためである。走行実験の順序は、順序効果を抑制するために各実験参加者でランダムとした。

走行実験後には、「情報提供なし」と「情報提供あり」の走行の違い、日頃の運転傾向についてアンケートを実施した。

実験で使用したのは、高速道路を模擬した片側2車線道路とし、0m、40m、80mの3段階で車間距離確認区間を設けている。なお、図-5に実験で使用したコースの様子を示す。実験の1走行の所要時間は約4分である。1被験者あたり2時間程度の時間をかけ実験を行った。

#### 4. 実験参加者

実験参加者は20代前半から40代前半の一般ドライバ6名（男性4名、女性2名、平均年齢は34歳、標準偏差は10.3歳、平均免許所得年数13年、標準偏差9.6年）であった。すべての被験者は最低でも週1、2回走行する人とした。実験参加者には、実験開始前のインフォームドコンセントにおいて、全実験参加者に対し、1) 実験により生じる実験参加者への不利益、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。また、走行ごとに以下のような教示を毎回行った。

- ・「車線変更を行わず、道なりに走行すること」
- ・「交通ルールを守り、安全運転を行うこと」
- ・「先行車両に追従すること」
- ・「車間を空け過ぎないようにすること」

なお、情報提供を行うシナリオに対しては、「必要に応じて情報を参考にして運転すること」を追加で教示を行った。

#### 5. 結果・考察

本実験では、先々行車両が減速を開始する134秒から減速が終わり、加速が開始する直前の150秒の間を解析区間とした。

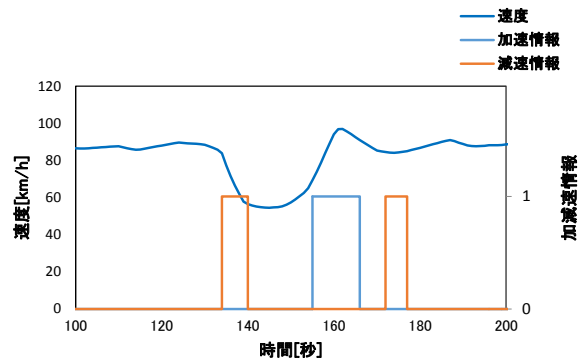


図-4 先々行車両加減速情報



図-5 実験で使用した模擬の高速道路

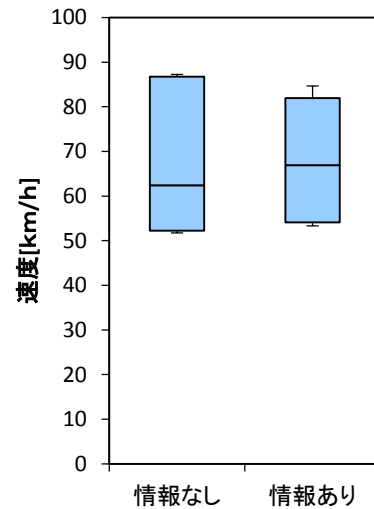


図-6 平均速度

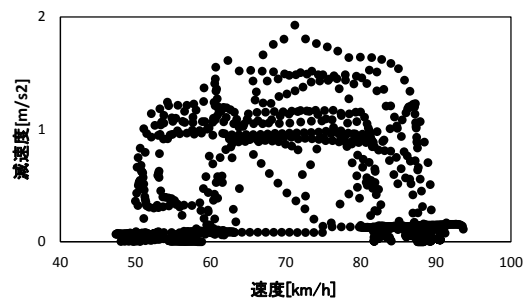


図-7 情報なしにおける減速度の散布図

(1)平均速度

DSから所得したデータより、加減速情報を提供した走行、提供しなかった走行での解析区間における平均速度を図-6に示す。図-6から、平均速度のばらつきが小さく平均速度は上がるが、t検定による統計的に有意な差は無く、交通状況に悪影響を与えないといえる。

(2)減速度

図-7、図-8に解析区間における加減速情報を提供した走行、提供しなかった走行での減速度と速度の散布図を表す。これらの図により、加減速情報の提供を行わない時は高速域において、減速度が大きくなっていることが分かる。加減速情報を提供することによって、急減速をしないようにドライバを促すことができる。

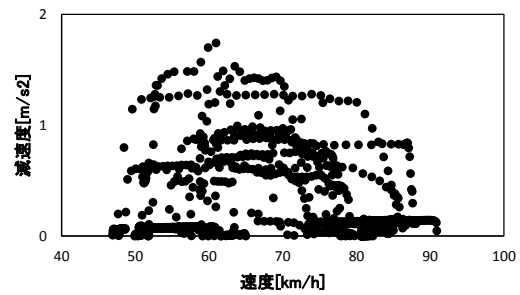


図-8 情報ありにおける減速度の散布図

(3)ブレーキ踏み込み量

図-9は解析区間における加減速情報を提供した走行、提供しなかった走行でのブレーキ踏み込みの量の比較を行った。加減速情報を提供することによって、ブレーキの踏み込みが少なくなることが分かる。このことから、加減速情報の提供を行わない場合、ブレーキを多く踏み込む傾向が見られた。

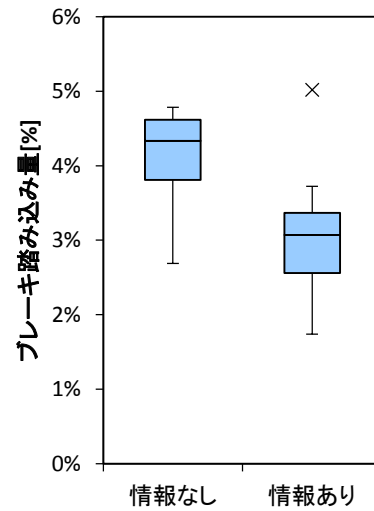


図-9 ブレーキ踏み込み量

(4)アクセル踏み込み量

解析区間における加減速情報を提供した走行、提供しなかった走行でのアクセルの踏み込み量を図-10に示す。

この図から加減速情報を提供することで、アクセルの踏み込み量が小さくなっていることが分かる。加減速情報の提供によってドライバのアクセルの踏み込みが抑制され、車両が緩やかな加速になることが分かった。

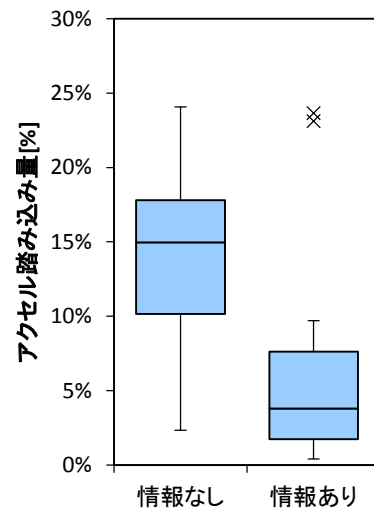


図-10 アクセル踏み込み量

図-11に解析区間における加速度の推移を示す。情報ありは、情報なしに比べて、加速度の差が小さく、緩やかな減少をしている。これらのことから、加減速情報を提供し、ドライバが先々行車両の減速を察知することで、減速時に早めのアクセルオフを促し、比較的減速度を抑えた走行に寄与することがわかる。

(4)燃費

本研究では、平岡らの研究<sup>10)</sup>などで活用されている。

図-12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 のエンジンを持つ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。図-13に解析区間における燃費の変化を示す。減速情報開始の 134 秒から加速情報終了の 162 秒までを解析区間とした。図-13



から加減速情報の提供を行うことで、燃費が良くなること  
 が分かる.有意水準 10%で t 検定を行ったところ, $t(22)=-1.89$ ,  $p=0.072$  であった.先々行車両の加減速情  
 報の提供によって自車両の無駄なアクセル踏み込みが減  
 ることで燃費改善に効果があると示唆される.

(5)車頭時間

高速道路において、車頭時間の擾乱を起こすことで、後  
 続車両の追従挙動が乱れ、渋滞の一因になるといわれて  
 いる.加減速情報の提供により、先行車両が減速する場  
 合の追従時における追従の安定性を調べるために先行車  
 両と自車両の車頭時間の標準偏差を指標とし、その結果  
 を図-14 に示す.この図から加減速情報を提供すること  
 で、車頭時間のばらつきが小さいことがわかる.このこと  
 は、加減速情報を提供することで、車頭時間の微小擾乱  
 が少なくなり、渋滞が起りにくくなる可能性を示唆し  
 ている.

6. まとめ

本研究では、高速道路において先々行車両が減速し、  
 車頭時間の微小攪乱を発生する走行環境をDSで模擬し、  
 先々行車両の加減速情報を提供することによる運転行動  
 や車両挙動、燃料消費量の変化などを検証した.

その結果として、先々行車両の加減速情報をドライバ  
 に提供することで、高速域において、ドライバに急減速  
 をしないように促すことができることがわかった.また、  
 加減速情報を提供することで、ドライバのアクセルワー  
 クにも影響を及ぼし、ブレーキの踏み込み量の減少とと  
 もにアクセル踏み込み量の減少を促すことが分かった.  
 また、先々行車両の加減速情報を提供することで、早め  
 にアクセルを抜くなど、急な減速が少なくなり、燃費改  
 善に効果的であることも示唆された.更には車頭時間の  
 標準偏差が大幅に少なくなることから渋滞が起りにく  
 い走行にも寄与する可能性が示された.以上のことから、  
 先々行車両の加減速情報を用いることで、高速道路にお  
 ける先々行車両の減速時に有用であることがわかる.

今後の課題として、本研究では、1 台のみでの実験結  
 果であったが、追従積重ね実験などにより追従車両が多  
 い状況においても加減速情報の効果を検証する必要があ  
 る.また、先行車両、先々行車両が1種類の走行での実  
 験であり、本研究の結果が汎用的であるとはいえない.  
 そこで様々な走行環境下における加減速情報提供の効果  
 を考察する必要がある.また、本研究では、DS 上での  
 走行実験であったため、実道路における情報提供の有  
 用性を検証し、実車両への実装を検討していくことも必  
 要である.この際には、最適な加減速度の閾値やドライバ

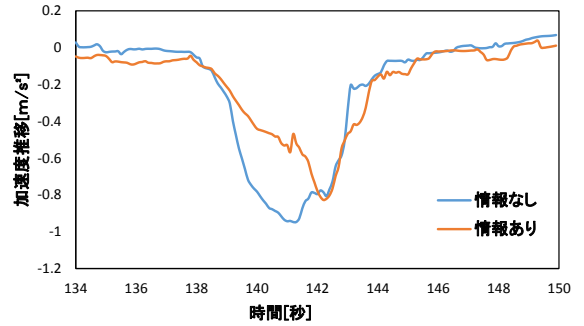


図-11 加速度の推移

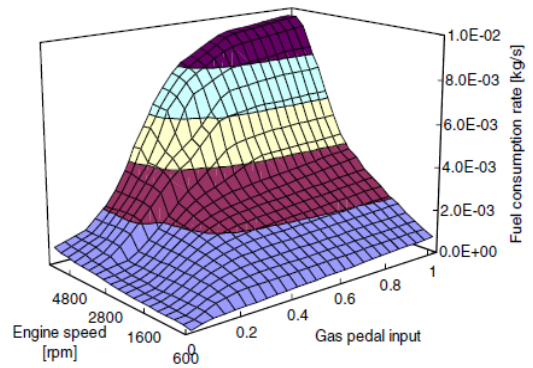


図-12 燃費消費率マップ

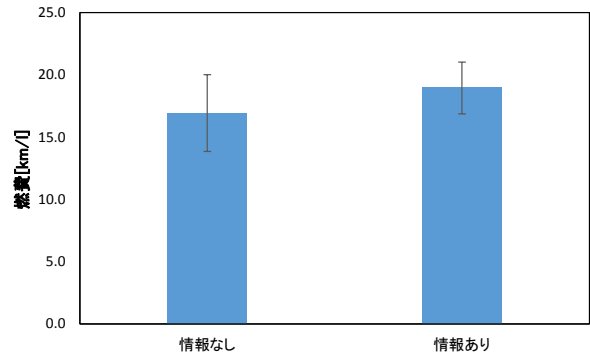


図-13 燃費

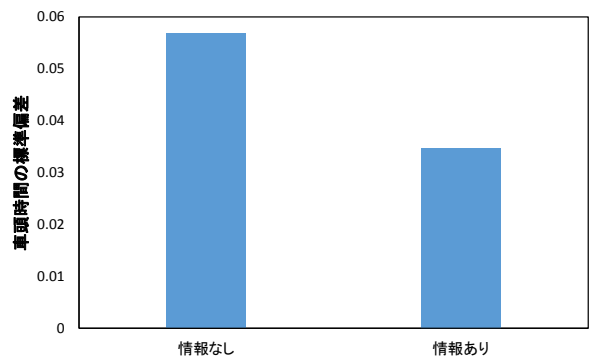


図-14 車頭時間の標準偏差

に分かりやすいインタフェースの開発などを検討する必要がある。

**謝辞**：本研究を行うに際し、(株)JR東日本情報システム西元崇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）による研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development, <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development> [2016, July 16]
- 2) 高速道路サグ部の交通円滑化サービス, <http://www.its-jp.org/english/files/2013/10/Smartway-with-CCCACClearlet.pdf> [2016, July 18]
- 3) 国土交通省道路局 ITS ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/> [2016, July 20]
- 4) 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, pp. 67-72, 2011.
- 5) 佐藤 宏明, 伊丹 誠, 斉藤 裕一, 橋本 尚久, 加藤 晋: 追従車両に対する加減速情報の提示効果, 電気学会 ITS 研究会資料, Vol. ITS-12, No. 1-10, pp. 51-56, 2012.
- 6) 山村 啓一, 宇野 伸宏, 中村 俊之: ブレーキランプの点灯が追従挙動に与える影響の分析, 交通工学研究発表会論文集, Vol35, pp.389-395.2015.
- 7) 田中健太, 丸茂喜高, 鈴木宏典: 先々行車の挙動を考慮した評価指標の提示が運転行動に及ぼす影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 131-140, 2013.
- 8) 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, 第 47 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2013.
- 9) 松本 修一, 櫻井 宏樹, 大門 樹: サグ部における先々行車両加減速情報提供の渋滞緩和効果, 第 53 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2016.
- 10) 平岡敏洋, 西川聖明, 川上浩司, 塩瀬隆之: 自発的な省燃費運転行動を促すエコドライブ支援システム, 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 11, pp. 754-763, 2012.

(2016.?.? 受付)

## Effect of acceleration and deceleration information provision of pre-preceding vehicle in decelerating Yoshiki IKEDA, Shuichi MATSUMOTO