

信号交差点における不要な減速を回避する運転支援システムに関する研究

日大生産工(院) ○中西 智浩 日大生産工(学部) 山崎 光貴
 日大生産工 丸茂 喜高 日本工業大・工 鈴木 宏典

1. まえがき

近年の自動車が引き起こす環境やエネルギー問題を解決するために、車両側やドライバ側からの取り組みが行われている。車両側では、パワーtrainの改良やハイブリッド車および、電気自動車に代表されるような、次世代自動車の普及が進んでいる。一方、ドライバ側では、信号交差点における早めのアクセルオフなど、ドライバが走行方法を工夫することで、燃費を向上させるエコドライブ¹⁾が注目を集めている。都心部での自動車の走行モード別燃料消費量の割合に着目してみると、発進時における燃料消費量が1番多く、約38%を占めている²⁾。

しかし、前述のような車両側やドライバ側で行われている解決策では、適切な操作量がわかりにくいと、信号交差点における不要な加減速を抑制することが困難である。この課題に対して、路車間通信技術を利用し、前方交差点の信号情報を取得することで、車載表示器に走行支援情報を表示する技術が実用化されている³⁾。これにより、ドライバに早めのアクセルオフを促したり、推奨の速度幅を提示することで、信号に切り替わるまでの不要な減速を回避した走行支援が可能となっている。また、信号機側では、信号が切り替わるまでの時間を具体的に提示する信号機も存在している⁴⁾。

走行支援の情報を、車載表示器を用いて提示する手法（以下、車載提示）では、速度が時々刻々と変化する場合には、表示器に視線を移す必要がある。ところが、ドライバが表示器に注視しすぎていると、先行車の意図せぬ急制動が発生した場合には、ドライバの反応が遅れることによる追突など、思わぬ事故の要因となる可能性がある。また、時間を直接提示する場合には、ドライバがあと何秒で交差点に到達するかを認識する必要がある。そのため、ドライバが交差点に近づかないと、時間情報をもとに、必要な運転操作を判断することが困難である。

これらの問題を解決するため、判断に必要な情報を道路上へ視覚的に提示する手法（以下、路面提示）が提案された⁵⁾。ドライビングシミュレータ（以下、DS）を用いた実験を行った結果、不

要な減速を回避することで、不要な再加速も低減できるため、燃料消費率の向上が確認された。しかし前述の状況において、車載提示に対する路面提示の安全面での優位性が確認されていない。そこで本研究は、前方の信号が赤信号の際に不要な減速を回避する運転支援システムの提示手法による運転行動の変化について検討するため、提案された路面提示と従来の提示手法である車載提示で比較実験を行う。

2. 交差点での通過を支援する評価指標

本研究において、前方交差点の信号情報は、路車間通信技術などを用いて、事前に取得していることを想定している。この信号情報を活用して、前方交差点の信号が赤の場合に、青信号へ切り替わるタイミングで、現在の速度で進入可能か否かを、以下に述べる評価指標を道路上または、車載表示器に情報を提示することで支援を行う。

路面提示で用いる評価指標は、減速要求距離 $d_d(t)$ である。これは、現在の速度を維持した場合に、信号が青に切り替わるタイミングで交差点へ進入（入口側停止線を通過）するには、減速が必要となる距離である。この距離は、現在の速度 $v(t)$ と、信号が青になるまでの時間TTG(Time To Green)を用いて、次式より算出される。

$$d_d(t) = v(t) \cdot \text{TTG} \quad (1)$$

前述の評価指標を道路上へ視覚的に提示する手法の模式図を図1に示す。図1(a)は、車両が現在の速度を維持した場合に、交差点に進入するまでに信号が赤から青に切り替わる（青信号時には交差点へ進入可能）場合である。この場合、前方へ提示されている評価指標の領域へ進入しないように走行することで、減速することなく交差点へ進入が可能である。

一方、図1(b)のように車両が評価指標の領域へ進入している場合は、青信号に切り替わるまでに交差点へ到達してしまうため、減速操作を行い評価指標の領域外へ出る必要がある。ここで、車両が評価指標へ進入している場合には、進入の度合いに応じて領域を点減させ、ドライバへ減速操作

Driver Assistance System to Avoid Unnecessary Deceleration at Signalized Intersection

Tomohiro NAKANISHI, Koki YAMAZAKI,
 Yoshitaka MARUMO and Hironori SUZUKI

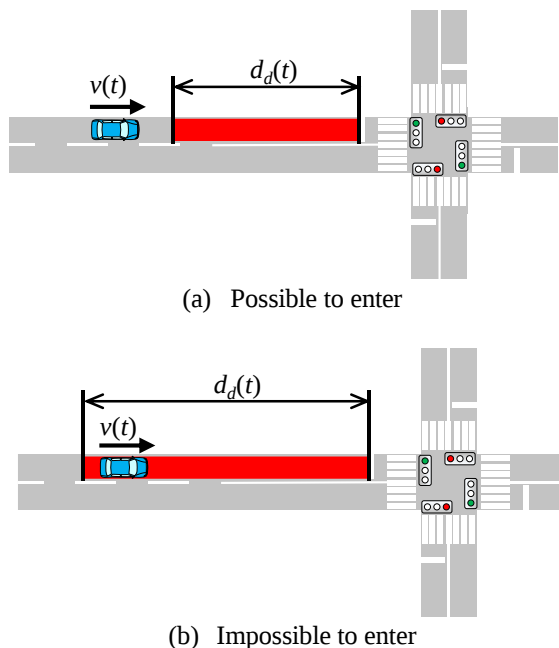


Fig. 1 Schematic diagram of indicating evaluation index

を促すこととした。また、ドライバの減速操作により車両が領域外へ出た場合、それ以上の減速の必要はなくなる。

車載呈示で用いる評価指標は、減速要求度DRI (Deceleration Requirements Index) である。これは、現在の速度を維持した場合に、信号が青に切り替わるタイミングで交差点へ進入（入口側停止線を通過）するための、減速の必要度合を表した指標である。この度合は、減速要求距離 $d_d(t)$ と入口側停止線から現在の自車位置までの距離 $d(t)$ を用いて、次式より算出される。

$$DRI = \frac{d_d(t)}{d(t)} = \frac{v(t) \times T_{TG}}{d(t)} \quad (1)$$

前述の評価指標を車載表示器に呈示する手法の模式図を図2に示す。バーは赤色で呈示され、DRIが大きくなると下に伸び、DRIが小さくなると上に縮む。DRI ≥ 1 のときは、DRIが1未満になるまで減速を行う必要がある。一方、DRI < 1 の場合は、現在の速度を維持することで交差点に進入が可能である。

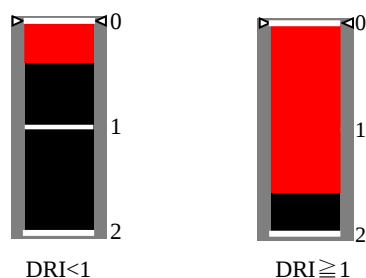


Fig. 2 Evaluation indices indication at onboard monitor

3. ドライビングシミュレータ実験

3.1 実験方法

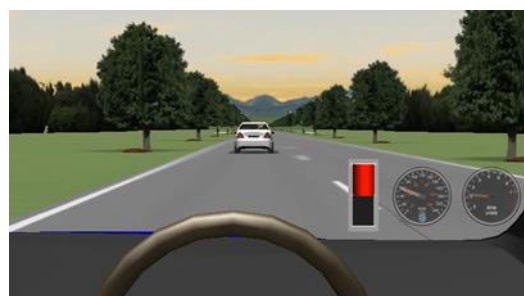
図3に実験で用いた定置型DSを示す。このDSを用い、実験では片側一車線の直線道路を実験参加者に走行してもらった。図4に路面呈示及び車載呈示の呈示イメージを示す。車載呈示は、同図(b)のようにDSの画面右下に図2の情報が呈示される。実験は「路面呈示」と「車載呈示」で走行を行い、呈示手法による運転行動の変化をDS実験により検討する。



Fig. 3 Overview of fixed-base driving simulator



(a) On-road indication



(b) Onboard monitor

Fig. 4 Indication image of evaluation indices

車両が60km/h(16.7m/s)で走行したと仮定し、情報呈示開始位置は、交差点入口停止線から約167m手前の位置とした。実験は、自車の前方に先行車が追従している状況で、5つの交差点を設置している、片側一車線の直線道路において追従走行を行う。

先行車は60km/hで走行中に、交差点手前で50km/hまで2m/s²で減速を行い、その後、実験参加者が予期できないタイミングで急停止(6m/s²)を行うものとした。

また、車両が現在の速度を維持した場合に交差点に到達するまでの時間をTTI(Time To Intersection)とすると、 $TTG > TTI$ の条件では、交差点に進入するまでの時間の方が短く、領域へ進入しているため減速の必要がある。一方、 $TTG < TTI$ は青信号になるまでの時間に対して、交差点へ進入するまでの時間が長いので減速の必要はない。急停止が発生する交差点での青信号に切り替わるタイミングは、 $TTG = TTI + 0.5s$ とした。これは60km/hで走行している際には現在の速度を維持すると赤信号で進入してしまう状況であるが、先行車が50km/hまで減速を行うことで、交差点を進入可能な条件とした。それにより、進入の可否が変化するため、ドライバーは指標を確認する必要がある。先行車の急制動は交差点よりも手前で開始され、交差点を進入することはないものとした。

さらに実験では、ブレーキランプの点灯で急減速が発生することによる単純反応を避けるため、交差点手前で通常の加減速($2m/s^2$)や、加減速を伴わずに定速のまま走行するダミー条件を加えた。一例として、先行車の速度パターンを図5に示す。同図の点線は、先行車が交差点へ進入(入口側停止線を通過)する時間を表している。このときの、青信号に切り替わるタイミングは、 $TTG = TTI - 1.5s$ (加速時)、 $+0.5s$ (減速時)、 $-1.0s$ (定速走行時)とした。

ここで、急停止が発生する交差点は、5つの内、1つ(残り4つはダミー)でランダムに設定し、実験は先行車が急減速が発生した時点で終了とした。実験参加者は、普通自動車運転免許を保有している、DSの運転に習熟した20代の男性3名(実験参加者A~C)であり、事前に文書によるインフォームドコンセントを得た。

4. 実験結果

図6に結果の一例として、実験参加者Aの第1走行の速度の推移を示す。この図は先行車が急減速開始4s前からの速度の推移であり、0s(点線)が先行車(一点鎖線)の急減速開始タイミングである。同図より路面呈示(実線)と車載呈示(破線)を比較すると、先行車の急減速に対して、早く反応し減速操作が開始できていることがわかる。さらに速度の傾きも緩やかであることから、小さな減速度で停止できることが確認できる。

図7に先行車が急減速を開始してからブレーキ操作が行われるまでの反応時間を示す。同図には、実験参加者3名が2走行した計6走行の平均値が示されている。ここで反応時間は、追従時の加減速操作と区別するため、先行車の急減速開始後に踏み込み量が7%以上、踏み込まれるまでに要した時間としている。この図から、路面呈示の方が車

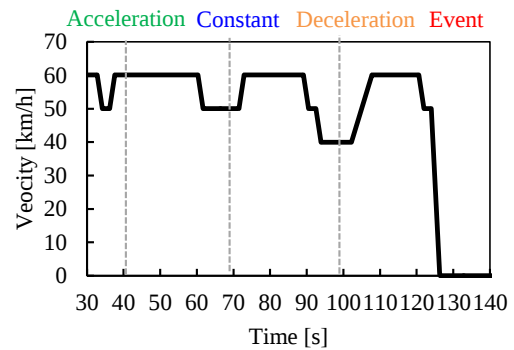


Fig. 5 Velocity pattern of preceding vehicle with emergency deceleration.

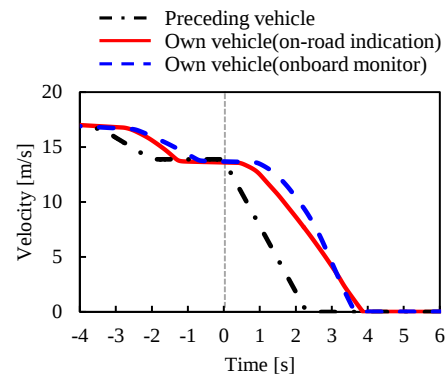


Fig. 6 Vehicle velocity with emergency deceleration of preceding vehicle (1st trial by Participant A)

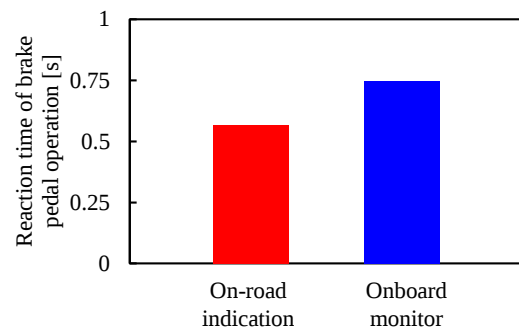


Fig. 7 Reaction time of brake pedal operation

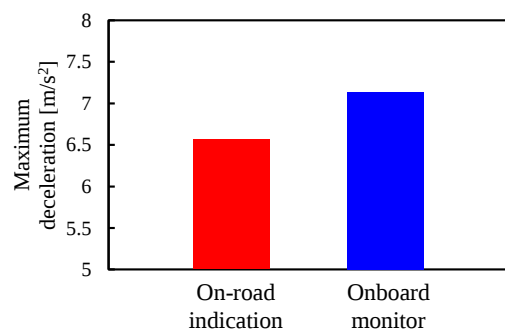


Fig. 8 Maximum deceleration

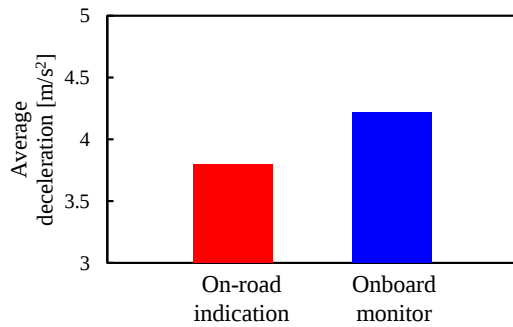


Fig. 9 Average deceleration

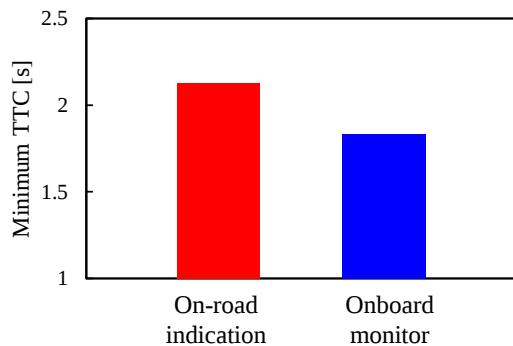


Fig. 10 Minimum TTC to the preceding vehicle

載呈示の場合と比べ、ブレーキ操作が開始されるまでが短いことが確認された。

次に先行車の急減速に対する安全性について検討する。図8に前述と同様に実験参加者3名が2走行した計6走行の最大減速度の平均を示す。同図から路面呈示と車載呈示を比較すると、路面呈示の最大減速度が大きいことが確認された。

また、図9に前述と同様に実験参加者3名が2走行した計6走行の平均減速度の平均を示す。同図から路面呈示と車載呈示を比較すると、路面呈示の平均減速度も大きいことが確認された。

さらに、先行車急減速時の先行車との衝突余裕時間TTC (Time To Collision) に着目する。図10に先行車に対するTTCの最小値を示す。同図は前述と同様に実験参加者3名が2走行した計6走行のTTCの最小値の平均が示されている。この図より、路面呈示の方が、車載呈示に比べTTCの最小値が大きいことがわかる。これより、先行車との衝突リスクが低減されていることがわかる。

4. まとめ

前方の信号が赤信号の際に前方の信号が赤信号の際に不要な減速を回避する運転支援システムの、呈示手法による運転行動の変化について、提案された路面呈示と従来の呈示手法である車載呈示で比較実験を行い、検討した。

その結果、従来の呈示手法である、車載表示器に運転支援の情報を呈示する手法に比べ、道路上へ視覚的に呈示する手法の方が、先行車の急減速に対して、いち早く反応し、減速操作を行うことが可能になった。それにより、小さな減速度で停止することが可能となり、先行車への衝突リスクも低減することが可能になった。

今後の課題として、実験参加者をさらに増やすことが挙げられる。

「参考文献」

- 1) 省エネルギーセンター, LET'Sスマートドライブ,
<http://www.eccj.or.jp/drive/08/index.html>
(参照日 2016年10月19日)
- 2) 交通エコロジー・モビリティ財団,
乗用車のエコドライブテキスト,
http://www.ecomo.or.jp/environment/ecodrive/ecodrive_text_private.html
(参照日 2016年10月19日).
- 3) 本田技研工業株式会社, ホンダ アコード, 性能.
<http://www.honda.co.jp/ACCORD/webcatalog/performance/>
- 4) Long, K., Liu, Y., and Han D.L., "Impact of countdown timer on driving maneuvers after the yellow onset at signalized intersections: An empirical study in Changsha, China", *Safety Science*, Vol. 54 (2013), pp. 8-16.
- 5) 中野 堯, 中西 智浩, 丸茂 喜高, 鈴木 宏典
信号交差点におけるドライバのエコドライブ支援システム, 日本機械学会第24回交通・物流部門大会講演論文集 No.15-63, CD-ROM(2015)