ISSN 2186-5647

信号交差点における不要減速回避支援システムの呈示方法が運転行動に及ぼす影響

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

1 緒　言

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，車両側とドライバ側からの取り組みが行われている．車両側では，パワートレインの改良や（プラグイン）ハイブリッド車および電気自動車，燃料電池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[1]．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[2]が注目を集めている．都心部おける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，発進時に消費する燃料が1番多く，約38%を占めている[2]．これらのことから車両側の対策だけではなく，信号交差点での不要な減速を回避するような情報をドライバに呈示することで，不要な再加速も低減できることから燃費の向上が考えられる．

そこで，路車間通信技術を利用して前方の交差点の信号情報を取得し，推奨速度域などの走行支援情報を車載表示器に呈示する技術が実際に商品化されている[2]．これにより，車両の流れを最適化することを可能にし，時間の短縮や環境への負担を軽減することを実現している．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呈示する信号機も存在している[4]．

しかし，走行支援の情報を，車載表示器に呈示する手法（以下，車載呈示とする）では，速度が時々刻々と変化する場合に，表示器に視線を向ける必要がある．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，信号が切り替わるまでの時間を直接呈示する場合には，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難しい．

これらの問題を解決するため，不要な減速を回避するための情報を道路上へ視覚的に呈示する手法（以下，路面呈示とする）が提案された[5]．ドライビングシミュレータ（以下，DSとする）を用いた実験を行った結果，支援により不要な減速を回避することで，不要な再加速も低減することが可能となり，燃費の向上が確認された．しかし，提案された路面呈示は，従来の呈示手法である車載呈示との比較が行われておらず，路面呈示の優位性が確認されていない．

そこで本研究では，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呈示手法による運転行動への影響を，提案された路面呈示と従来の情報呈示手法である車載呈示で，DSを用いた比較実験を行うことで検討する．

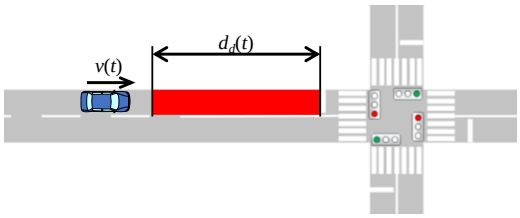
2 不要減速回避のための評価指標

本研究において，前方交差点の信号情報は，高度化光ビーコン[6]などの路車間通信技術を利用して，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り後，現在の速度で交差点へ進入可能か否かを，以下に述べる評価指標を路面上または，車載表示器に呈示することでドライバの支援を行う．

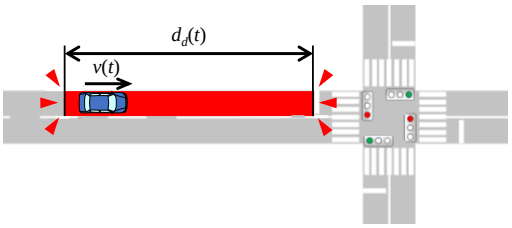
路面呈示で用いる評価指標は，減速要求距離$d_d(t)$である．これは，現在の速度を維持した場合に，信号が青に切り替わるまでに自車が進む距離である．この距離は，現在の速度$v(t)$と，信号が青になるまでの時間TTG(Time To Green)を用いて，次式より算出される．

Effects of Indicating Method for Driver Assistance System to Prevent Unnecessary Deceleration at Signalized Intersection on Driving Behavior

Tomohiro NAKANISHI, Koki YAMAZAKI,
Yoshitaka MARUMO and Hironori SUZUKI



(a) Unnecessary to decelerate



(b) Necessary to decelerate

Fig1 Schematic diagram of indicating evaluation index

$$d_d(t) = v(t) \cdot \mathrm{TTG} \tag{1}$$

前述の評価指標を路面上へ視覚的に呈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，交差点へ進入するまでに信号が赤から青に切り替わる場合である．この場合，自車の前方に呈示されている評価指標の領域に乗らないように走行することで，減速することなく青信号に切り替わり後，交差点へ進入することが可能である．

一方，図1(b)のように車両が評価指標の領域に乗っている場合は，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，車両が評価指標に乗っている場合には，車両の乗っている距離に応じて領域を点滅させることでドライバへ減速操作を促すものとした．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は，それ以上の減速の必要はなくなり，その速度を維持することで青信号に切り替わり後，交差点へ進入することが可能である．

車載呈示で用いる評価指標は，減速要求度DRI（Deceleration Required 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，減速の必要な度合を表した指標である．これは，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．

$$\mathrm{DRI} = \frac{d_d(t)}{d(t)} = \frac{v(t) \times \mathrm{TTG}}{d(t)} \tag{2}$$

前述の評価指標を車載表示器に呈示する手法を図2に示す．バーは赤色で，DRIの値に応じて下方向へバーの長さ（大きさ）が変化する表示形態である．DRI＜1の場合は，現在の速度を維持することで減速することなく青信号に切り替わり後，交差点に進入することが可能である．

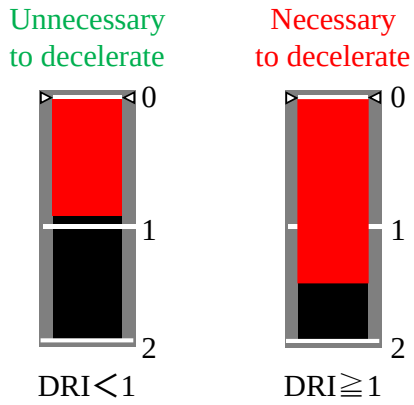


Fig.2 Evaluation index indication at onboard monitor

一方，DRI≧1のときは，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，DRIが1未満になるまで減速を行う必要がある．ドライバの減速操作によりDRIが1未満になった場合は，それ以上の減速は必要なくなり，その速度を維持することで青信号に切り替わり後，交差点に進入することが可能である．

3 DS実験

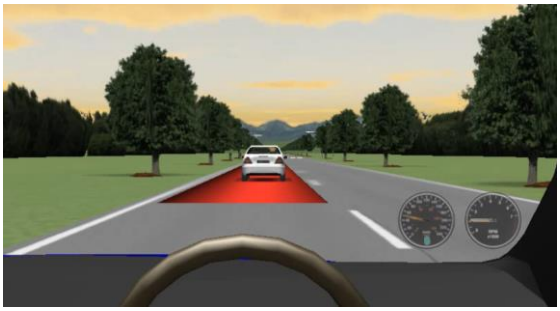
3.1 実験方法

図3に実験で用いた定置型DSを示す．このDSを用いて，実験では自車の前方に先行車が走行している状況で，交差点が5つ設置されている，片側一車線の直線道路において追従走行を行う．図4に路面呈示及び車載呈示の呈示イメージを示す．路面呈示は同図(a)のように道路上に赤色で評価指標が呈示される．一方，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．実験では「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への影響をDS実験により検討する．

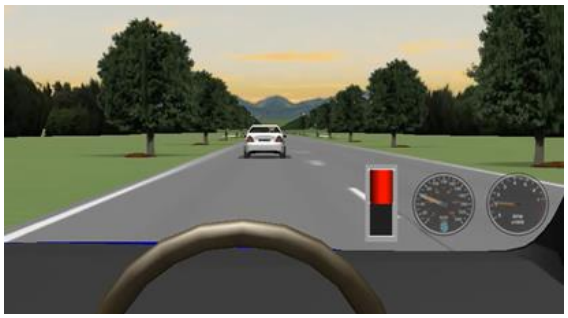
車両が60km/h(16.7m/s)で走行したと仮定し，情報呈示開始位置は，交差点入口停止線から約167m手前の位置とした．先行車は60km/hで走行中に，交差点手前で50km/hまで2m/s²で減速を行い，その後，実験参加者が予期できないタイミングで急停止（6m/s²）を行うものとした．

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は青信号になるまでの時間に対して，交差点へ進入（入口側

Fig.3 Overview of fixed-base driving simulator



(a) On-road indication



(b) Onboard monitor

Fig.4 Indication image of evaluation indices

停止線を通過）するまでの時間が長いため車両が領域に乗ること（DRI≧1）はなく減速の必要はない．一方，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，領域に乗っている（DRI≧1）ため減速する必要がある．

先行車の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まで減速することで，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，ドライバは呈示情報を確認する必要が生じる．先行車の急制動は交差点よりも手前で開始され，先行車が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，

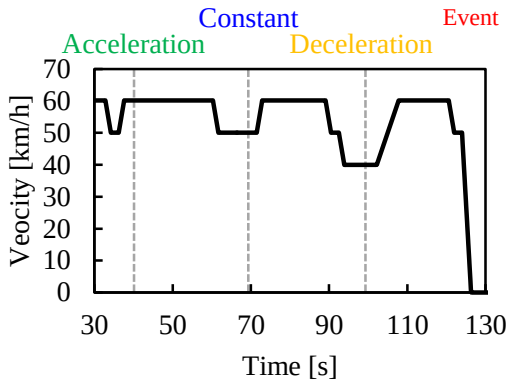


Fig.5. Velocity of preceding vehicle

先行車が交差点手前で通常の加減速(2m/s²)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した時点で終了とした．また，呈示手法による運転行動への影響を調べるため，実験参加者は，前方の状況を確認するとともに，呈示されている情報を確認しながら走行するものとした．走行中に先行車との衝突の危険を認識した時点で，ブレーキ操作のみで衝突を回避するように教示した．実験参加者は，普通自動車運転免許を保有する，DSの運転に習熟した（実験前に十分練習）20代の男性4名（実験参加者A～D）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．

３．２ 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する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．

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4名が2走行した計8走行の平均値が示されている．ここで反応時間は，追従走行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ブレーキペダルの踏み込み量が10%以上，踏み込まれるまでに要した時間と

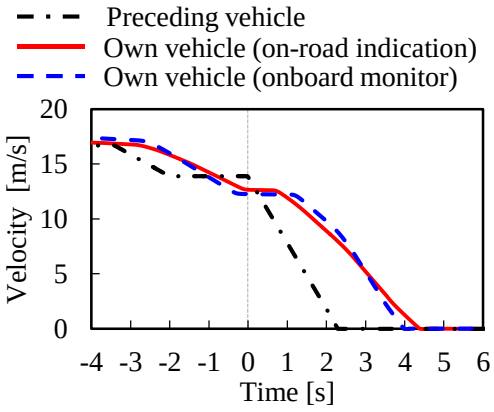


Fig.6 Vehicle velocity (1st trial by Participant A)

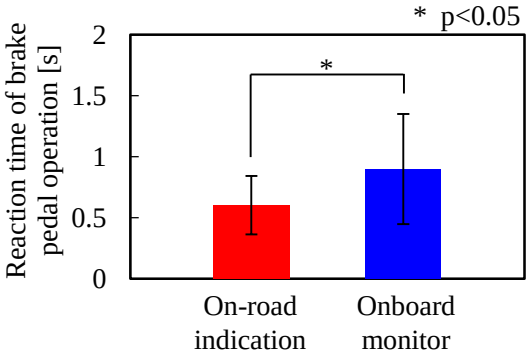


Fig.7 Reaction time of brake pedal operation (eight trials)

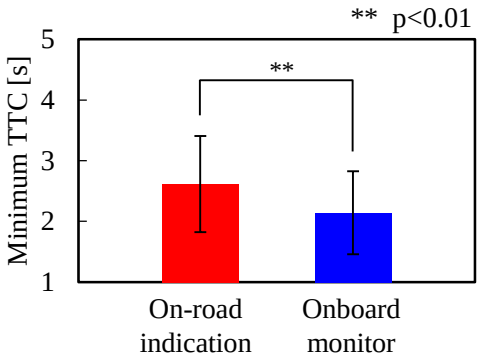


Fig.8 Minimum TTC to the preceding vehicle (eight trials)

している[7]．この図から，実験参加者と走行回数に対応のあるt検定を行った結果，路面呈示の方が車載呈示に比べ，ブレーキ操作が開始されるまで反応時間が有意に短いことが確認された($p<0.05$)．

さらに，先行車が急減速をした時の先行車との衝突余裕時間TTC（Time To Collision）に着目する．図8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4名が2走行した計8走行のTTCの最小値の平均が示されている．同図より反応時間と同様にt検定を行った結果，TTCの最小値が有意に大きいことが確認された($p<0.01$)．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 結　論

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への影響を，提案された路面呈示と従来の情報呈示手法である車載呈示でDSを用いた比較実験を行うことで検討した．その結果，従来の呈示手法である車載表示器に走行支援情報を呈示する手法に比べ，提案した路面呈示の方が，先行車の急減速に対して，早く反応することができ，減速操作を行うことが可能になった．また，衝突余裕時間も長くなったことから，先行車への衝突リスクも低減することを確認した．

「参考文献」

1) 一般社団法人 日本自動車工業会，次世代自動車（乗用車）の国内販売台数の推移，http://www.jama.or.jp/eco/earth/earth_03_g01.html#，(参照日 2017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(平成27年7月発行版)，(2015)
3)本田技研工業株式会社, FREED FREED+ Press Information 2016.9.16, http://www.honda.co.jp/factbook/auto/FREED/201609/201609_FREED.pdf, (参照日 2017年10月19日)
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) 中野尭，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).
6) 葉山幸治，白永英晃，三宅一正，谷口裕一，通信容量を拡大した高度化光ビーコンの開発，SEIテクニカルレビュー，Vol.185(2015)pp.72-76.
7) 中野尭，丸茂喜高，鈴木宏典，先行車後部への情報呈示による加減速操作の予測運転支援システム，日本機械学会論文集，Vol.81，No.832(2015)p.15-00196.