

路面への情報呈示によるドライバの交差点通過支援システム

日大生産工(院) ○中野 堯 日大生産工(学部) 中西 智浩
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、自動車を引き起こす環境やエネルギーの問題に対する解決策として、車両側やドライバ側からの取り組みが行われている。車両側においては、パワートレインの改良やハイブリッド車および、燃料電池自動車をはじめとする、次世代自動車の普及促進活動が行われている。一方、ドライバ側においては、加減速操作の少ない運転や早めのアクセルオフをするなど、ドライバの走行方法の工夫によって、燃費を向上させるエコドライブ¹⁾が注目を集めている。

さらに、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、前述の車両側やドライバ側で行われている解決策では、信号交差点における不要な加速を抑制することが困難である。そこで、実際に路車間通信技術を利用して、前方交差点の信号情報を取得することで、車載表示器に情報呈示をする技術がある。この技術により、ドライバに早めのアクセルオフを促したり、推奨速度を呈示することで、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、実車を用いた社会実験として行われている³⁾。また、海外には、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する⁴⁾。

しかし、走行支援の情報を、車載表示器を用いてドライバに呈示する手法では、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に対して、反応が遅れてしまい、追突などの思わぬ事故の要因となる可能性がある。また、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、時間情報をもとにした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、判断に必要な情報を道路上へ視覚的に呈示することができれば、前方の道路環境から注意が逸れることのない走行支援が可能となる。具体的には、赤信号から青信号へ切り替わるまでの、交差点通過時に不必要な減速を回避するような走行支援を行うことで、速度低下が抑制される。その結果、不要な再加速も低減できることから、燃費の向上へつながることが期待できる。

そこで本研究では、信号交差点における不要な減速を回避し、燃費を向上させることを目的とし、減速が必要か否かの情報を道路上へ視覚的に呈示する支援システムについて、ドライビングシミュレータ（以下、DSとする）実験により、その有効性を検討する。

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へ仮想的に呈示することで支援を行う。

前方交差点が赤信号の際に、不要な減速をすることなく、青信号で進入できるように支援する評価指標として、減速要求距離 $d_d(t)$ を用いる。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（入口側停止線を通り）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呈示する手法の模式図を図1に示す。図1(a)は、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、前方へ呈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可能である。

一方、車両が評価指標の領域へ進入している場合の模式図が図1(b)である。この場合、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。

Passage Assistance System at Signalized Intersection
by Indicating Evaluation Index on Road Ahead Virtually

Takashi NAKANO, Tomohiro NAKANISHI,
Yoshitaka MARUMO and Hironori SUZUKI

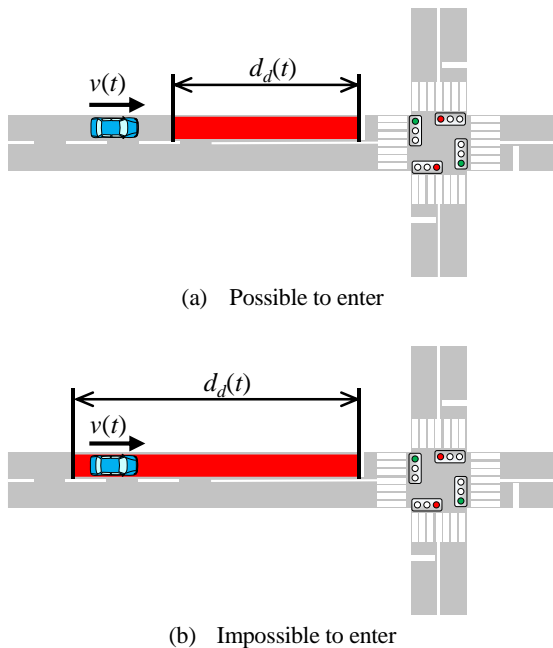


Fig. 1 Schematic diagram of indicating evaluation index

3. ドライビングシミュレータ実験

3.1 実験方法

図2に実験で用いた定置型の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3に支援システムの提示イメージを示す。同図のように道路上へ視覚的に情報提示を行う「支援あり」と、提示を行わない「支援なし」で走行を行い、支援システムの有効性についてDS実験により確認する。また、交差点進入約10s前から支援を行うものとして、車両が60km/h (16.7m/s) で走行することを想定し、情報提示開始位置は、交差点入口側停止線から167m手前の地点とした。

青信号への信号切り替わりタイミングは、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の時間をTTI(Time To Intersection)とすると、信号が赤から青へ切り替わるタイミングで交差点に進入する状況、すなわち $TTG=TTI$ (車両が交差点に到達する時間で、信号が青に切り替わるタイミングとなる条件)を基準とした。この条件に加えて、信号のタイミングを $TTG=TTI\pm 2s, \pm 4s, +6s$ と変化させた計6条件で実験を行った。ここで、 $TTG>TTI$ 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。それに対し、 $TTG<TTI$ の条件では、交差点に進入するまでの時間の方が長いので、減速する必要はない。

実験参加者は、片側一車線の直線道路を60km/hの一定速度を維持して走行するものとした。支援の有無で、それぞれ前述の6条件を1走行あたり2条件、ランダムに設置し、それらを2回繰り返す計12走行を行った。なお、走行開始後、ドライバーには直線道路上の5つの交差点を通過してもらい、条件となる交差点は、そのうちの2つ(残り3つはダミー条件)でランダムに設定した。実験参加者は、普通自動車運転免許を保有している、DS



Fig. 2 Overview of fixed-base driving simulator

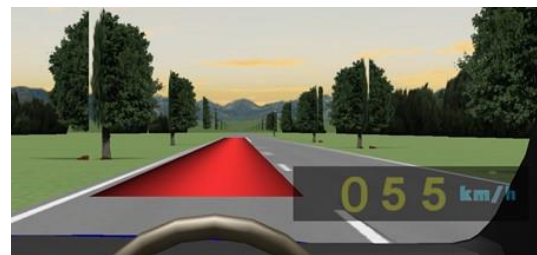


Fig. 3 Indication image of evaluation index

の運転に習熟した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

結果の一例として、 $TTG=TTI-2s$ (減速の必要なし)と、 $TTG=TTI+4s$ (減速の必要あり)の2条件について、支援の有無による比較を行う。

図4に、実験参加者Aの第1走行における $TTG=TTI-2s$ 条件での、速度の時系列応答を示す。同図において、時間0sが青信号に切り替わるタイミングであり、167m手前に到達した-8s付近の点線が、支援システムの提示開始時間となっている。図4より、支援がある場合(実線)には、支援により現在の速度を維持すれば、減速する必要がないことが事前にわかっているため、減速することなく交差点を通過していることが確認できる。一方、支援がない場合(破線)には、交差点への接近とともに、-5s程度から減速を開始し、青信号に変わってから、減速により低下した速度を回復するために加速を行っている。

実験参加者A第1走行における $TTG=TTI-2s$ 条件での、車両位置の時系列応答を図5に示す。図5(a)が支援あり、図5(b)が支援なしである。同図において、横軸の時間については、前述と同様であり、縦軸の位置0mは交差点入口側停止線となっている。ここで、図5(b)に、評価指標の推移が示されているが、実際には支援なしのため、ドライバーには提示されていない。この図から、支援の有無に関わらず、自車位置(実線)が、評価指標(破線)の領域(以下、領域とする)に達していない(自車位置の方が負の方に大きくなっている)。そのため、そのままの速度を維持して走行をすることで、自車が交差点へ進入する前に、青信号に切り替わる状

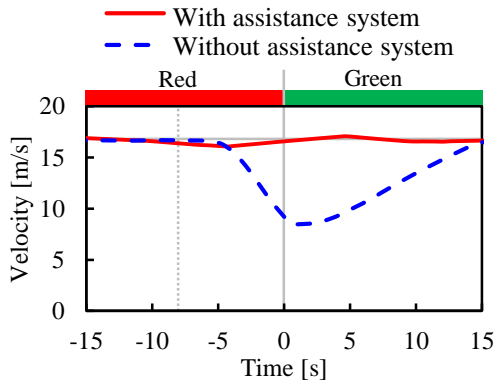


Fig. 4 Vehicle velocity (1st trial by Participant A ; -2s)

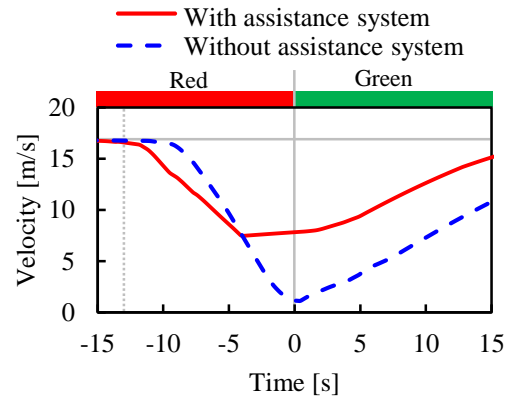
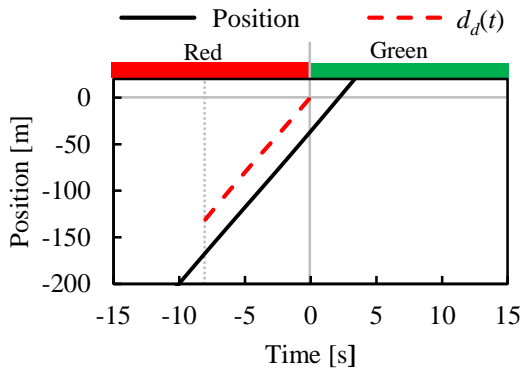
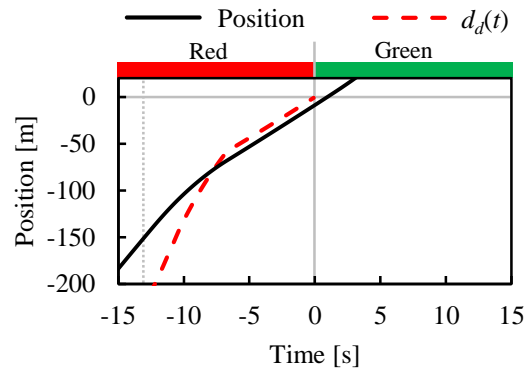


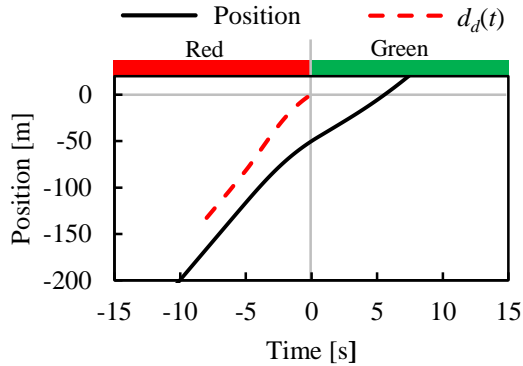
Fig. 6 Vehicle velocity (1st trial by Participant A ; +4s)



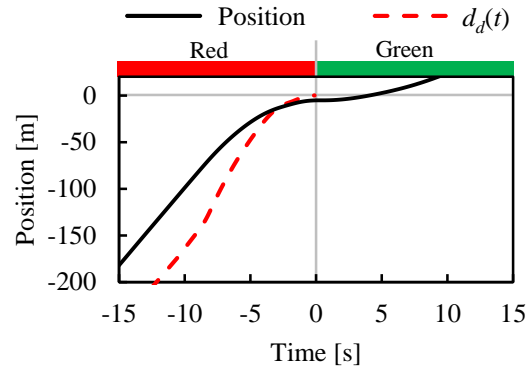
(a) With assistance system



(a) With assistance system



(b) Without assistance system



(b) Without assistance system

Fig. 5 Vehicle position (1st trial by Participant A ; -2s)

Fig. 7 Vehicle position (1st trial by Participant A ; +4s)

況となっていることがわかる。支援がある場合には、事前に前述の状況であることがわかるため、そのままの速度を維持することで、青信号への信号切り替わり後に、交差点へ進入している。一方、支援がない場合には、そのままの速度を維持して走行をすることで、自車が交差点へ進入する前に、青信号に切り替わる状況となっていることがわからない。それゆえ、減速をする必要なく交差点を通過できるにもかかわらず、交差点へ接近した際に減速操作が行われ、自車位置と領域との距離の差が大きくなっていることがわかる。

実験参加者Aの第1走行におけるTTG=TTI+4s条件での、速度の時系列応答を図6に示す。同図において、時間0sが青信号に切り替わるタイミングであり、167m手

前に到達した-14s付近の点線が支援システムの呈示開始時間となっている。この条件では、支援の有無に関わらず減速が必要な条件であることから図より、支援がある場合（実線）には、領域呈示開始後に速やかに減速を行っていることがわかる。また、その減速幅は必要最低限に抑えられており、減速終了後はその速度を維持することで、交差点を通過している。それに対して、支援がない場合（破線）では、支援がある場合よりも減速開始が遅く、必要以上に減速を行った後、信号切り替わり後に再加速を行っていることがわかる。

図7に実験参加者A第1走行におけるTTG=TTI+4s条件での、車両位置の時系列応答を示す。図7(a)が支援あり、図7(b)が支援なしである。同図において、横軸の

時間については、前述と同様であり、縦軸の位置0mは交差点入口側側停止線となっている。ここで、図7(b)に、評価指標の推移が示されているが、実際には支援なしのため、ドライバーには呈示されていない。この図から、支援の有無に関わらず、自車位置(実線)が、領域(破線)に達している(自車位置の方が正の方に大きくなっている)。そのため、このままの速度を維持して走行をすると、赤信号中に交差点へ進入してしまう状況である。支援がある場合には、赤信号中に交差点へ進入してしまい、減速が必要であることがわかるため、領域外へ出るように減速操作を行っている。その後、領域に進入しないように走行することで、青信号への信号切り替わり後に、交差点を通過していることがわかる。

一方、支援がない場合には、事前に赤信号中に交差点へ進入してしまう状況であり、減速が必要であることがわからない。このことから、入口側停止線に接近とともに減速を行い(領域に達し続けている)、その後、青信号へ切り替わった際に交差点へ進入していることがわかる。そのため、支援がない場合、実際に領域が呈示されているわけではないが、支援ありと比べると領域外へ出るタイミングが遅い。その結果、高い走行速度での走行距離が長く、交差点への接近タイミングが早くなり、必要となる減速幅も大きくなってしまふ。

つぎに、不要な減速が回避されることで、速度低下および、不要な再加速が抑制されることが燃料消費率にどのような影響を与えるのかを検討するため、燃料消費率に着目する。図8に、本研究で使用した車両の150kwエンジンの燃料消費率マップを示す。燃料消費率は、このマップに基づく燃料消費重量と走行距離およびガソリン密度(0.77kg/l)より算出した⁵⁾。TTG=TTI-2sおよびTTG=TTI+4s条件での燃料消費率を図9に示す。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、燃料消費率は、呈示開始からの評価区間(450m)内における燃料消費率のことである。この図より、支援ありの方が、燃料消費率が向上していることがわかる。これは、支援により交差点を通過する際の不要な減速が回避され、速度低下を抑制することが可能となる。そのため、不要な再加速を低減できることから、燃費が向上したと考えられる。また、実験参加者4名計8走行の燃料消費率の平均に対して、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、支援がある場合の燃料消費率が有意に大きいことが確認された(p<0.01)。

4. まとめ

本研究では、信号交差点における不要な減速を回避し、燃費を向上させることを目的とし、減速が必要か否かの情報を道路上へ視覚的に呈示する支援システムについて、DS実験により、その有効性を検討した。その結果、支援システムにより、青信号に切り替わるまでの間に不必要な減速を回避することが可能となり、速

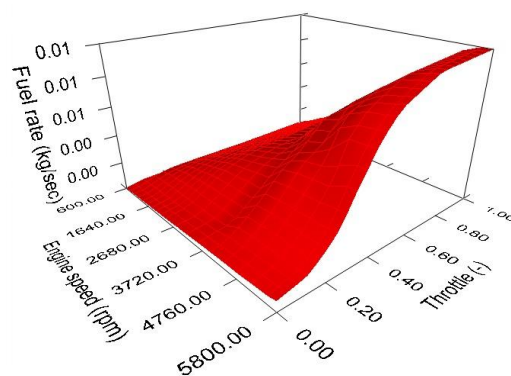


Fig. 8 Fuel consumption rate map⁵⁾

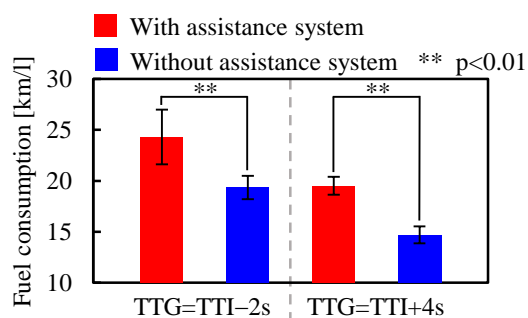


Fig. 9 Fuel consumption (eight trials ; -2 and +4s)

度低下が抑制された。これによって、不要な再加速も低減できることから、燃費が向上することがわかった。以上より、路面への情報呈示によるドライバーの交差点における通過を支援するシステム有効性が確認された。

「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 2015年10月20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 2015年10月20日).
- 3) 本田技研工業株式会社, ニュースリリース 2014年3月28日, <http://www.honda.co.jp/news/2014/4140328.html> (参照日 2015年10月20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) Mechanical Simulation Corporation, VehicleSim Browser Reference Manual Powertrain System, CarSim 8.1.1 Driving Simulator, (2012).