

信号交差点における停止車両を考慮した 不要減速回避支援システム

丸茂喜高*, 中西智浩**, 山崎光貴***, 鈴木宏典****

Assistance System to Prevent Unnecessary Deceleration Considering Stopped Vehicle at Signalized Intersection

Yoshitaka MARUMO*, Tomohiro NAKANISHI**, Koki YAMAZAKI***
and Hironori SUZUKI****

Keywords: Driver Assistance Systems, Energy Saving Driving, Signalized Intersection, Human Interface, Augmented Reality

1. 序論

自動車が引き起こす環境・エネルギー問題を解決するために、信号交差点における早めのアクセルオフなど、ドライバー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⁾の取り組みが行われている。都心部に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、発進時が最も多く、38.2%を占めている¹⁾。このことから、前方の信号が赤信号の際に、不要な減速を回避する支援を行うことで、不要な再発進や再加速も低減できるため、燃費の向上が期待できる。

不要な減速を回避するためには、前方の信号の切り替わりタイミングの情報が必要である。そこで、路車間通信技術により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呈示する信号情報活用支援運転支援システム²⁾が実用化している。しかし、車載表示器へ情報を呈示する場合、速度が時々刻々と変化する状況において、表示器に視線を移す必要があるため、前方の道路環境への注意が逸れる可能性がある。そのため、前方交差点の通過の可能性を、位置情報として路面に仮

想的に呈示することで、赤信号に切り替わる際の通過・停止の判断を支援するシステムが提案された³⁾。燃費に影響を及ぼす、青信号に切り替わる場面でも同様に、減速判断に必要な情報を道路上へ呈示することで、燃費が改善することが確認された⁴⁾。

この支援システムは、青信号になるまでの時間と現在の自車速から、減速が必要な領域を道路上に仮想的に呈示して、ドライバーに減速判断を知らせるものである。前方に信号待ちをしている車両（以下、先行車とする）が存在しない場合には、呈示される情報により減速判断が可能になる。しかし、先行車が存在する場合には、呈示される情報に従うと、先行車の影響により、必ずしも不要な減速を回避できるとは言えない。

そこで本研究では、青信号切り替わり後に先行車が等加速度運動を行うという仮定のもと、不要な減速を回避する支援システムを提案し、ドライビングシミュレータ（以下、DSとする）実験により支援システムの検証を行う。

2. 不要減速回避支援システムの評価指標

青信号切り替わり後に等加速度運動する先行車に対し

* 日本大学生産工学部機械工学科准教授

** 日本大学大学院生産工学研究科機械工学専攻博士前期課程2年

*** 日本大学大学院生産工学研究科機械工学専攻博士前期課程1年

**** 日本工業大学先進工学部ロボティクス学科教授

て、自車が一定速で走行し、相対速度がない状態で接触する場合について考える。予測される接触点を算出するために、各車両の位置の推移を Fig. 1 に示す。なお、ここでは車両の全長は考慮していないが、実際の運転支援システム設計時には考慮するものとする。横軸の時間 0s は青信号に切り替わるタイミングであり、手前側を負としている。縦軸の位置 0 m は交差点入口側停止線であり、時間と同様に手前側が負である。信号切り替わりタイミングは、路車間通信等を利用して取得することを想定し、青信号に切り替わるまでの時間を TTG (Time To Green: $TTG > 0$) とする。現在の自車位置 $x(t)$ と予測される接触位置 $x_i(t)$ を結ぶ線の傾きを、先行車と接触する上限速度 $v_{lim}(t)$ として、先行車の等加速度運動と自車の等速運動から、予測される接触時間 t_i を求める (t_i の導出過程は、末尾の付録に記載されている)。それにより、予測される接触位置 x_i も求まり、この位置を起点として、先行車と接触するまでの時間 TTT (Time To Tangency) に現在の速度 $v(t)$ をかけあわせた減速要求距離 $d_d(t)$ が求まる。

$$d_d(t) = v(t) \cdot TTT \quad (1)$$

ただし、減速要求距離 d_d は先行車との予測接触位置 x_i を基準とするが、道路上に呈示する際には、入口側停止線より奥側は呈示しないものとする。

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 Fig. 2 に示す。Fig. 2 (a) のように、自車が評価指標の領域外を走行している場合は、現在の速度を維持することで、先行車と衝突することなく、不要な減速を回避することが可能である。一方、Fig. 2 (b) のように、自車が領域内を走行している際は、そのままでは先行車と衝突する危険性があるため、自車の領域内への進入度合いに応じて領域を点滅させることで、ドライバーに減速操作を促す。減速操作により自車が評価指標の領域外に出た場合には、それ以上の減速操作は不要となる。

なお、一般的には先行車に対しては、速度に応じた車

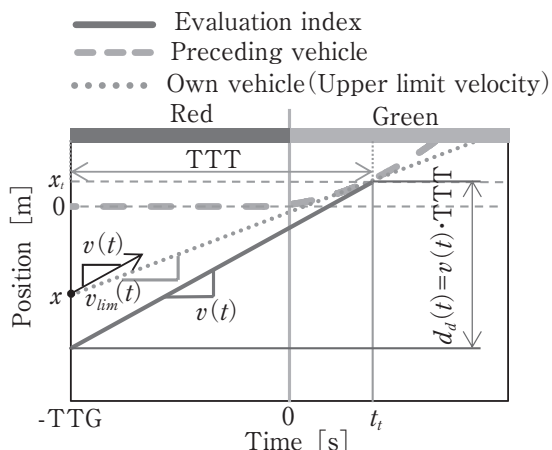


Fig. 1 Predicted tangency point.

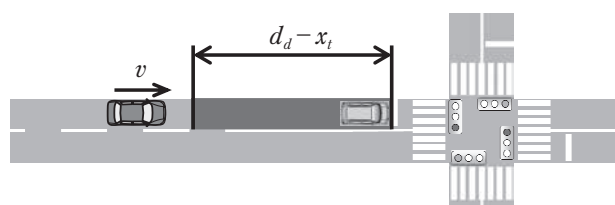
間距離 (車間時間) を保って走行するが、適切な車間時間は個人差等の影響を受けるため、ここでは接触 (衝突) の可能性をドライバーに呈示して、先行車に対するマージンはドライバー自身が判断するものとした。

3. シミュレータ実験

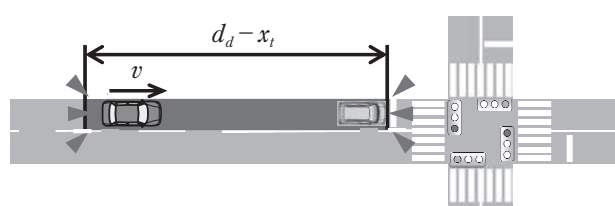
Fig. 3 に示す定置型 DS を用いて、前述の支援システムの検証を行う。Fig. 4 に、ドライバーの視点から見た評価指標の呈示イメージを示す。

情報呈示の開始タイミングは、自車が交差点に進入する 10s 前として、60km/h (16.7 m/s) で走行することを想定し、交差点入口側停止線から 167 m 手前の位置から情報呈示を開始することとした。実験参加者は、走行開始後、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する。ここで、自車が現在の速度を維持した場合に、自車が交差点 (入口側停止線) に進入するまでの時間を TTI (Time To Intersection) とすると、青信号へ切り替わるタイミングは $TTG = TTI - 2s$ とした。これは、先行車が存在しない場合には減速が不要であるが、先行車がいる場合は減速が必要な条件である。実験参加者は、筆者の一人であり、DS の運転の運転に習熟した 20 代男性である。

実験結果の一例として、Fig. 5 に速度の推移を示す。実線が自車速、破線が先行車速で、一点鎖線が上限速度である。 $TTG = TTI - 2s$ であるため、 $-8s$ が情報呈示開始タイミングである。同図より、情報呈示開始直後は、自車は上限速度よりも高い速度で走行している (呈示指標の領域内にいる) ため、現在の速度を維持すると先行車に追突する可能性がある。呈示された情報により減速の必要性を認識し、上限速度以下 (領域外に出



(a) Unnecessary to decelerate



(b) Necessary to decelerate

Fig. 2 Schematic diagram of indicating evaluation index.



Fig. 3 Overview of fixed-base driving simulator.

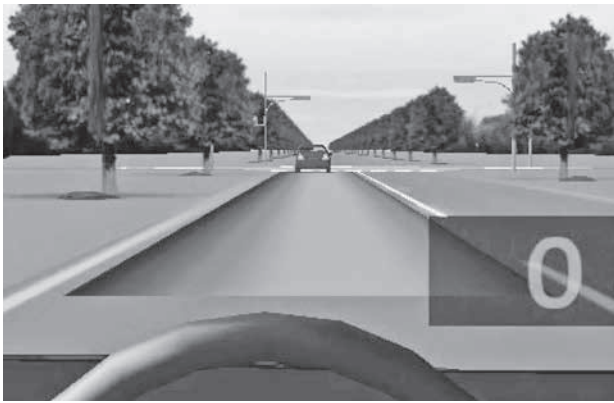


Fig. 4 Indication image of evaluation index.

る)まで減速操作を行い、それ以上は減速をすることなく、そのままの速度を保っていることがわかる。

Fig. 6に位置の推移を示す。実線が自車位置、破線が先行車位置で、一点鎖線が呈示領域の手前側の位置である。支援により、ドライバーは現在の速度を維持すると先行車と衝突する可能性があることを認識しているため、領域の外へ出るように減速操作を行っている。領域の外に出た後に、領域内に進入しないように走行することで、先行車へ追突することなく、追従している状況が確認できる。

なお、先行車の加速が遅れる場合や加速度が低い場合など、先行車の速度の仮定が実際と異なる場合には、その時点で減速要求距離を再計算する必要がある。今回の実験結果からは、信号切り替わり時(0s)の先行車に対する衝突余裕時間から、先行車が停止し続けた場合でもドライバーが制動を行う余裕が十分あるため、直ちに危険な状況を引き起こすことはないと考えられる。

4. 結論

本研究では、信号交差点での停止車両を考慮した不要な減速を回避する支援システムを提案し、DS実験により検証した。その結果、支援システムにより、先行車と衝突することなく、不要な減速を回避して、先行車に追

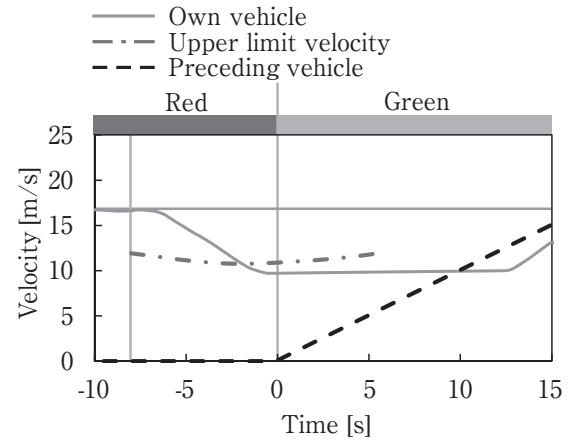


Fig. 5 Time history of vehicle velocity.

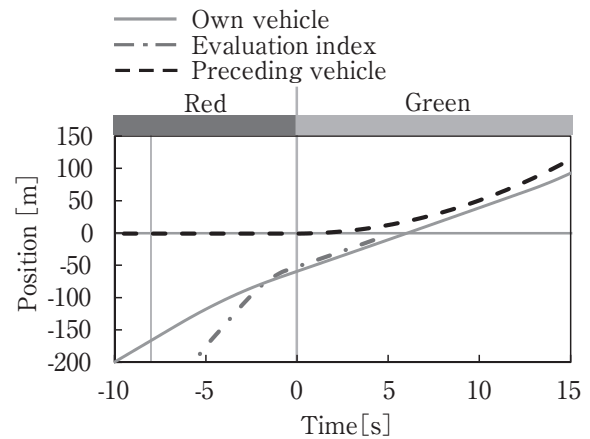


Fig. 6 Time history of vehicle position.

従できることを確認した。

本報告では、先行車が一台で停止している状況について扱ったが、信号待ち車両が複数台の場合や、停止せずに走行している場合でも、先行車の速度プロファイルを仮定することができれば、それに応じて減速要求距離を求めて対応することが可能である。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) JP17 H 02055「交通実態と効果評価に基づくドライバーの認知判断支援による信号交差点の安全・円滑化」の助成を受けた。ここに、記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団：乗用車のエコドライブテキスト, (2015), p.25.
- 2) 一般財団法人道路交通情報通信システムセンター：信号情報活用運転支援システム (TSPS), <http://www.vics.or.jp/know/service/tsps.html>, (参照日 2018年2月7日).
- 3) 丸茂喜高, 中野亮, 中西智浩, 道辻洋平：路面への情報呈示による信号交差点でのドライバー判断支援シ

ステム, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.843, (2016), p.16-00276

- 4) T. Nakanishi, K. Yamazaki, Y. Marumo and H. Suzuki: Driver Assistance System to Prevent Unnecessary Deceleration at Signalized Intersection Using signal Information, Proceedings of the 4th International Symposium on Future Active Safety Technology Towards zero traffic accidents (FAST-zero '17), (2017).

(H 30. 2 . 7 受理)

付録

A 自車が先行車に接触する時間の算出方法

自車が先行車に接触する時間 t_i の導出過程は, 以下の通りである。位置 0 m で停止している先行車が, 時間 0 s から加速度 a ($a > 0$) で等加速度運動を行う場合, $t \geq 0$ における先行車の速度 $v_p(t)$ と位置 $x_p(t)$ は, それぞれ以下のように表せる。

$$v_p(t) = at \quad (\text{A.1})$$

$$x_p(t) = \frac{1}{2}at^2 \quad (\text{A.2})$$

自車速は上限速度 v_{lim} 一定であり, 接触する時間 t_i において, 先行車と自車の速度は等しいことから,

$$v_{lim} = at_i \quad (\text{A.3})$$

となる。

一方, 自車は等速運動であり, t_i において予測される接触位置 x_i にいるため,

$$v_{lim} = \frac{x_i - x}{t_i - t} \quad (\text{A.4})$$

となる。予測される接触位置は, (A.2) 式より,

$$x_i = \frac{1}{2}at_i^2 \quad (\text{A.5})$$

であるので, (A.3) および (A.4) 式より, $t_i > 0$ として解くと

$$t_i = t + \sqrt{t^2 - \frac{2x}{a}} \quad (\text{A.6})$$

が求まる。この時間を用いて, (A.5) 式より接触位置 x_i も求めることができる。

Biographical Sketches of the Authors



Yoshitaka Marumo received B. Eng., M. Eng. and Dr. Eng. Degrees in Mechanical Systems Engineering from Tokyo University of Agriculture and Technology in 1998, 2000 and 2006 respectively. In 2000, he joined the Japan Automobile Research Institute (JARI). Since 2005, he has been with the College of Industrial Technology, Nihon University, where he is currently an Associate Professor. His research interests include driver assistance systems, and vehicle dynamics and control. He is a member of the Japan Society of Mechanical Engineers, Society of Automotive Engineers of Japan, the Society of Instrument and Control Engineers, and Human Interface Society.



Tomohiro Nakanishi received B. Eng. Degree in Mechanical Engineering from Nihon University in 2016. He is currently a master course student of Graduate School of Nihon University. His research interests include driver assistance systems. He is a member of the Japan Society of Mechanical Engineers and Society of Automotive Engineers of Japan.



Koki Yamazaki received B. Eng. Degree in Mechanical Engineering from Nihon University in 2017. He is currently a master course student of Graduate School of Nihon University. His research interests include driver assistance systems. He is a member of the Japan Society of Mechanical Engineers and Society of Automotive Engineers of Japan.



Hironori Suzuki received his bachelor and master degrees in the field of transportation engineering from Nihon University in 1995 and 1997, and doctoral degree in the same field from Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. After serving for Japan Automobile Research Institute (JARI) as a researcher, he joined the Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology as an assistant professor. He is currently teaching at Faculty of Mechanical System Engineering as a full rank professor. His research interests are modeling of traffic systems, traffic simulation, active safety measures and driver assistance systems. He is a member of the Japan Society of Mechanical Engineers, Society of Automotive Engineers of Japan, the Society of Instrument and Control Engineers and Eastern Asia Society for Transportation Studies.