

ヘッドアップディスプレイを用いた信号交差点における ドライバの判断支援システム

日大生産工(院) ○三浦 裕弥 日大生産工(院) 山崎 光貴
日大生産工 丸茂 喜高

1 緒言

近年、衝突被害軽減ブレーキに代表されるように、交通事故を未然に防ぐ予防安全技術の普及等により、交通事故発生件数や交通事故死傷者数は減少傾向にある。しかし、平成28年中における交通事故発生件数は約50万件にのぼり、依然として高い水準にある¹⁾。これを道路形状別にみると、交差点およびその付近における事故件数の割合は56%となっており、半数近くを占めている。中でも、信号機が設置されている交差点においても14%の交通事故が発生している。

この一因として考えられるのが、ジレンマゾーンと呼ばれる領域で、ドライバが黄信号に遭遇した際の判断の迷いが挙げられる²⁾。ジレンマゾーンとは、停止線までに通常の減速度で制動するための十分な距離がなく、黄信号中に交差点へ進入(停止線を通過)するには距離が長い領域のことである。この領域は、黄信号における判断の迷いを誘発する危険領域といわれている。ジレンマゾーンに入りこまないように、前方交差点の信号情報を取得することを想定して、車載表示器に情報呈示する手法^{3,4)}がドライビングシミュレータ(以下、DSとする)実験により検討されている。しかし、走行支援のための情報を、車載表示器などを用いてドライバへ知らせる際に、速度変化などにより状況が変わる場合には、通過の可能性も時々刻々変化するため、表示器に注意を向ける必要がある。そのため、ドライバが表示器に注意を向け続けていると、意図せぬ先行車の急制動に対して、追突など思わぬ事故の要因になりかねない。

この課題に対し、既存研究では通過・停止の判断のための情報を道路上へ視覚的に呈示する支援システムが提案され、DS実験において、有効性が確認されている⁵⁾。しかし、通過・停止のための情報を、シミュレータ上の模擬映像として直接描画を行っており、ヘッドアップデ

ィスプレイ(以下、HUDとする)等により別途描画した際の支援の有効性は明らかではない。そこで本研究では、通過・停止の判断のための情報を道路上へ視覚的に呈示する方法として、シミュレータ用HUDの製作を行い、HUDを用いて、DS実験により有効性を確認する。

2 実験装置

図1にプロジェクタ、スクリーン、コンバイナから構成されるHUD装置の構成を示す。

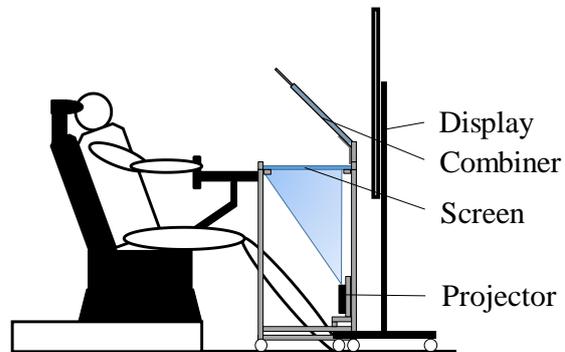


Fig.1 Configuration of HUD

呈示情報の表示方法として、プロジェクタから照射した映像を、スクリーンに投影させ、スクリーンから透過された映像は、コンバイナを介して、虚像として映し出される。通常、自動車のフロントガラスやコンバイナでは、映像を投影する際、光の屈折やガラス等の厚みにより二重像として知覚されるため、視認性の低下が考えられる。そのため、使用するコンバイナの内側に、増反射を施したフィルム(反射率25%)を貼り付けることで、二重像を軽減し、虚像を鮮明に投影することで、視認性を向上させた。

虚像を表示する際、プロジェクタからスクリーンまでの距離がある程度必要となるため、比較的短い焦点で映像を投影できるプロジェクタを用いており、コンバイナサイズは、虚像サ

Driver's Judgment Assistance System at Signalized Intersection Using Head-up Display

Yuya MIURA, Koki YAMAZAKI and Yoshitaka MARUMO

イズを考慮し、600mm×400mm×3mmのものを使用した。ドライバのアイポイントから虚像までの距離は、スクリーンからコンパイナまでの距離と、ドライバからコンパイナまでの距離の和であり、ここでは約1.3mとなった。ディスプレイは、49型（1.0m×0.61m）のサイズを使用し、ドライバからディスプレイまでの距離は約1.3mとして実験を行った。

3 通過・停止判断に用いる評価指標

既存研究⁹⁾では、ドライバに通過・停止の判断の支援を行うため、評価指標としてGO/NOGO指標を用いていた。よって本研究でも既存研究と同様のものを用いる。また、前方の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、ドライバの通過・停止の判断の支援を行うものとする。

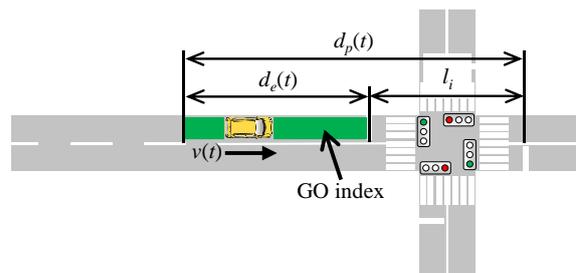
GO指標には、進入可能距離と通過可能距離を用いる⁹⁾。進入可能距離は、現在の速度を維持した場合に、赤信号になる（黄信号終了）までに交差点へ進入（入口側停止線を通過）可能な距離である。通過可能距離は、現在の速度を維持した場合に、全赤終了（交差側信号青現示）時まで、交差点の出口側停止線（対向車線側）を通過可能な距離である。NOGO指標には、停止距離を用いる⁹⁾。停止距離は、現在の速度から、予め想定した通常の減速度（想定減速度）で停止線に停止可能な距離である。

ここで、評価に用いる指標を道路上へ視覚的に呈示する手法の模式図を図2に示す。図2(a)は、進入・通過いずれも可能な場合であり、自車の位置がGO指標の距離内にあれば（呈示された緑色の上に自車が乗っていれば）、現在の速度を維持することで交差点に進入・通過可能である。一方、その距離に達していない場合には、進入・通過のうち少なくともいずれかが不可であり、図2(b)のように、GO指標にNOGO指標を重畳させることで、停止距離に達するまでにブレーキ操作を行い、緩やかな減速度で停止することが可能となる。

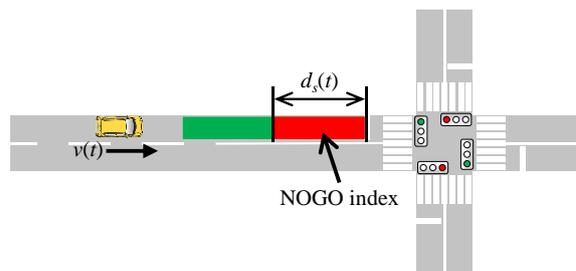
4 DS実験

4.1 実験方法

道路上へ視覚的に情報呈示を行う「支援あり」と、呈示を行わない「支援なし」で支援の有無による走行を行い、支援システムの有効性についてDS実験により確認する。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道路の直線道路を実験参



(a) Possible to enter and pass



(b) Impossible to enter or pass

Fig.2 Schematic diagram of indicating indices



Fig.3 Overview of fixed-base driving simulator

加者に走行してもらうこととした。信号切り替わりタイミングは、交差点から55m地点（ニュートラル条件）、65m地点（停止条件）、45m地点（通過条件）の3条件とし、5つの交差点の内、1つ（残りはダミー条件）をランダムに設定した⁹⁾。

図4に、支援システムの呈示イメージを示す。実験の際の呈示情報は、交差点に進入する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、情報呈示開始位置は、交差点入口側停止線から167m手前の位置とする。実験参加者は、支援がある場合は、支援システムの呈示を参考にして任意で行い、支援がない場合には、状況に応じて任意で行うものとした。支援あり、支援なしで、それぞれ3条件ずつ走行を行い、それらを2回繰り返す計12走行を行った。なお、信号のタイ

ミングについては3条件でランダムとした。実験参加者は、普通自動車免許を保有している実験前に練習走行を十分行うことで、DSの運転に習熟した20代の男性6名(実験参加者A~F)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。

4.2 実験結果

図5および図6に、実験参加者Aの第2走行における速度および加速度の時系列応答をそれぞれ示す。これらの図において、時間0sが黄信号に切り替わるタイミングであり、167m手前地点に到達した-6.1s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。

図5より、支援システムがある場合(実線)では、現在の速度を維持すると、交差点への進入および通過の少なくともいずれかが不可能であることが事前にわかるため、黄信号になる前の青信号中に減速操作を開始していることが確認できる。一方、支援システムがない場合(破線)には、交差点への通過および進入の可能性が事前にわからないため、黄信号に切り替わってから減速操作を開始していることがわかる。

図6より、加速度に着目すると、支援がある場合には、黄信号になる前の青信号中に、減速操作を開始することがわかる。一方、支援がない場合には、黄信号に切り替わってから減速操作を開始しているため、支援がある場合と比較して、比較的大きな減速度が生じていることが確認できる。

図7にニュートラル条件において、支援の有無による黄信号切り替わり時の車両位置と速度の分布を示す。図7(a)が支援あり、図7(b)が支援なしである。図中の○印が交差点を通過、×印が停止を表している。また、同図において、通常の減速で停止可能な位置を x_s (実線)、黄信号中に速度 v で交差点へ進入可能な位置を x_e (破線)としている。入口側停止線を基準(0m)とし、これらは手前の領域であることから、負の領域とする。自車位置を x とした時、 $x < x_e$ の領域は、通過が不可能な領域である。一方、 $x_s < x$ の領域は、通常の減速度で停止はできない領域である。よって、 $x_s < x < x_e$ に位置している場合、車両は通過・停止のいずれも不可能であり、判断の迷いを誘発するジレンマゾーンに陥っていることとなる。

図7より、支援がある場合には、黄信号時に、

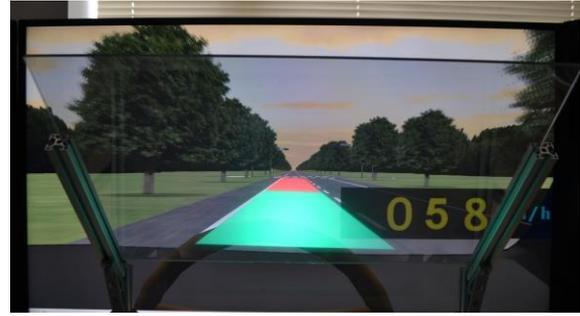


Fig.4 Indication image of GO/NOGO indices

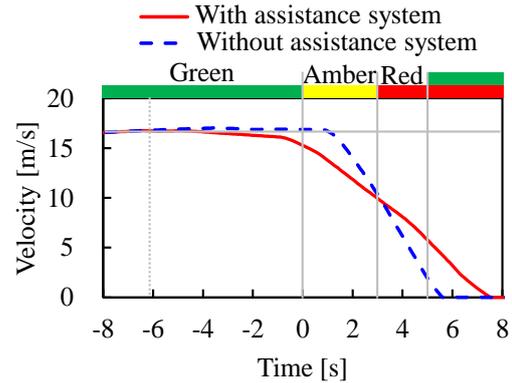


Fig.5 Velocity (2nd trial by Participant A : Stop)

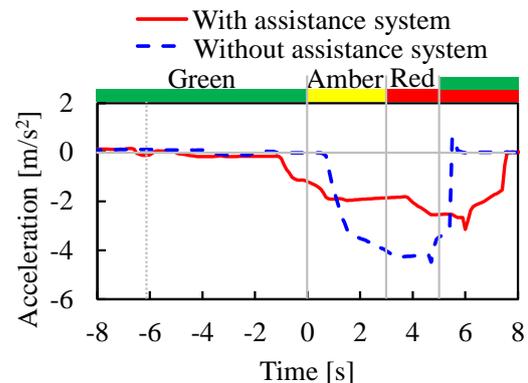


Fig.6 Acceleration (2nd trial by Participant A : Stop)

ほとんどの車両が交差点を通過することはできないが、通常の減速度で停止することができる領域($x < x_s$ 側の領域)に位置していることが確認できる。一方、支援がない場合には、ほぼすべての車両が交差点での通過・停止の判断の迷いを誘発する領域($x_s < x < x_e$ の領域)であるジレンマゾーン内に位置していることがわかる。この結果から、支援システムにより、交差点での通過・停止の判断の迷いを誘発する領域への進入を回避しており、判断の迷いを防止することが可能となっていることが確認できる。

次に、図8に、停止条件における、実験参加

者6名が各2走行した計12走行分の最大減速度の平均値を示す。最大減速度は、ブレーキ操作開始時から停止するまでの減速度の最大値である。ここで、ブレーキ操作は、交差点で停止するための減速操作と速度調整のための減速操作を区別するため、情報呈示後に踏み込み量が10%以上踏み込まれるまでに要した時間としている。同図より、支援がある場合の方が、最大減速度が小さく抑えられていることが分かる。また、実験参加者6名計12走行の最大減速度の平均に対して、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、支援がある場合の最大減速度が優位に小さいことが確認された($p<0.01$)。

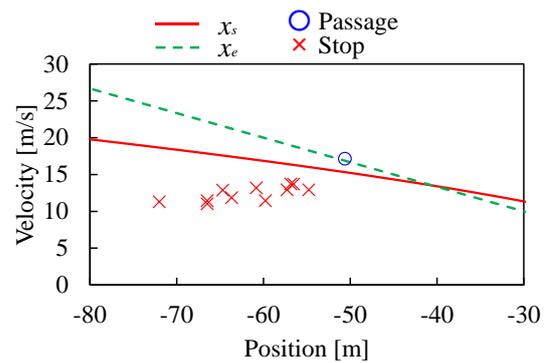
5 結論

本研究では、通過・停止の判断のための情報を道路上へ視覚的に呈示する方法として、シミュレータ用HUDの製作を行い、HUDを用いて、DS実験により有効性を確認した。その結果、道路上へ視覚的に情報呈示する支援システムにより、黄信号になる前の青信号中に通過・停止判断を行い、減速操作をすることが可能となり、信号切り替わり時の判断の迷いが防止された。今後の課題として、先行車がいる場合においても支援システムが有効であるかを検討する予定である。

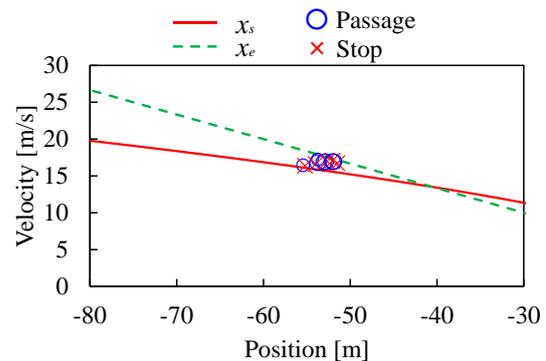
HUD作製に当たりPanasonic株式会社の望月誠氏の助言を得た。ここに記して謝意を示す。

「参考文献」

- 1) 総務省 統計局, 平成28年度における交通事故の発生状況,
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001176564> (参照日: 2017年10月19日)
- 2) 山口大助, 織田利彦, 須田義大, 田中伸治, ジレンマゾーン実験へのドライビングシミュレータの活用, 生産研究, Vol.59, No.3(2007)pp. 192-196.
- 3) 石倉嵩也, 鈴木宏典, 信号交差点におけるカウントダウンタイマー導入効果の検証, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.840(2016)p.16-00074.
- 4) Yang, B., Zheng, R., Yin, Y., Yamabe, S. and Nakano, K., Analysis of influence on driver behavior while using in-vehicle traffic lights with application of head-up display, IET Intelligent Transport Systems, Vol.10, No.5(2016)pp. 347-353.



(a) With assistance system



(b) Without assistance system

Fig.7 Vehicle states at changing to amber signal (12 trials: Neutral)

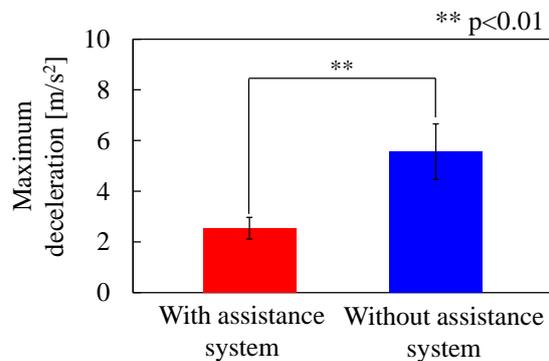


Fig.8 Maximum deceleration (12 trials, : Stop)

- 5) 丸茂喜高, 中野堯, 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.