

信号情報を用いたドライバの判断支援システムに関する研究

日大生産工(院) ○小林 浩之 日大生産工(院) 中野 堯
日大生産工 丸茂 喜高 茨城大学・工 道辻 洋平

1. まえがき

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26年中における交通人身事故件数は約57万件にのぼり、依然として高い水準にある。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53.7%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15.6%の交通事故が発生している⁽¹⁾。

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において、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)~(3)}。ジレンマゾーンとは、停止するには停止線までに制動する十分な距離がなく、交差側の信号が青信号になる（全赤終了）までに交差点出口側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、ドライバが交差点を通過するか停止するか判断が難しい領域である。

このため、様々な技術が、ジレンマゾーンを原因とする信号交差点での交通事故を防止するよう研究されてきた。このジレンマゾーンに入り込まないように、ゾーン手前の車両を検出し、信号機側のタイミングを制御するジレンマ感応式信号が一部導入されている⁽⁴⁾。また、車両側では、光ビーコンなどの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手法が挙げられる。取得した情報を車載表示器に呈示することで、ドライバへ早めの減速を促したり、速度維持を指示し、交差点を無停止で通過できるような走行支援が、社会実験として行われている⁽⁵⁾。しかし、走行支援のための情報呈示を、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、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になりかねない。

この課題に対し、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ことができれば、前方の道路環境から注意が逸れることがなく、ドライバの判断の支援を行うことが可能となると考えられる。そこで本研究では、黄信号に直面した際のドライバの判断の迷いを防止する支援システムについて、判断に必要な

情報を道路上へ視覚的に呈示し、ドライビングシミュレータ（以下、DSとする）実験により有効性を検討することを目的とする。

2. 評価に用いる指標

本研究において、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、前方の信号交差点を安全に通過可能か否か、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、ドライバの通過・停止の判断の支援を行うものとする。

2.1 通過（GO）指標

通過（GO）の判断を支援する評価指標として、進入可能距離および通過可能距離を用いる。

進入可能距離 $d_e(t)$ 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。これは、現在の速度 $v(t)$ と、信号が赤になるまでの時間TTR（Time To Red）を用いて、次式より算出される。

$$d_e(t) = v(t) \cdot TTR \quad (1)$$

次に、通過可能距離 $d_p(t)$ 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）時までには交差点の出口側の停止線（対向車線側）を通過可能な距離である。これは、現在の速度 $v(t)$ と、交差側の信号が青になる（全赤終了）までの時間TTG_C（Time To Green cross）を用いて、次式より算出される。

$$d_p(t) = v(t) \cdot TTG_C \quad (2)$$

ただし、通過可能距離は出口側停止線を基準とするが、道路上に呈示する際には、交差点内には呈示せず、交差点長 l_i を引いた距離を、入口側停止線から呈示するものとする。

以上の進入可能距離と通過可能距離は、走行速度や交差点長により変化する。例えば、走行速度が増加すると、全赤終了までに出口側停止線を通過は可能であるが、黄信号終了までに進入が不可能な場合がある。この場合、入口側停止線からの距離は、通過可能距離の方が長く、進入可能距離の方が短い。よって、いず

Research on Driver's Judgment Assistance System Using Signal Information

Hiroyuki KOBAYASHI, Takashi NAKANO,
Yoshitaka MARUMO and Yohei MICHITSUJI

れか短い方の距離を呈示することで、進入も通過も可能なことを知らせる。

2.2 停止 (NOGO) 指標

停止 (NOGO) の判断を支援する評価指標として、空走距離と制動距離を合わせた停止距離を用いる。停止距離 $d_s(t)$ 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。これは、現在の速度 $v(t)$ と反応時間 T 、想定減速度 a_a (ただし、 $a_a < 0$) を用いて、次式より算出される。

$$d_s(t) = v(t) \cdot T + \frac{v^2(t)}{2(-a_a)} \quad (3)$$

2.3 GO/NOGO指標の呈示方法

前節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、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1(b)のように GO指標とあわせて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。

なお、本研究における呈示手法を実車へ適用する際には、AR (Augmented Reality) 技術により、HUD (Head-Up Display) を用いて、車両のフロントガラスなどへ投影することで、道路上へ視覚的に呈示されているかのように見えるインターフェースを用いた支援を行うことを想定している。

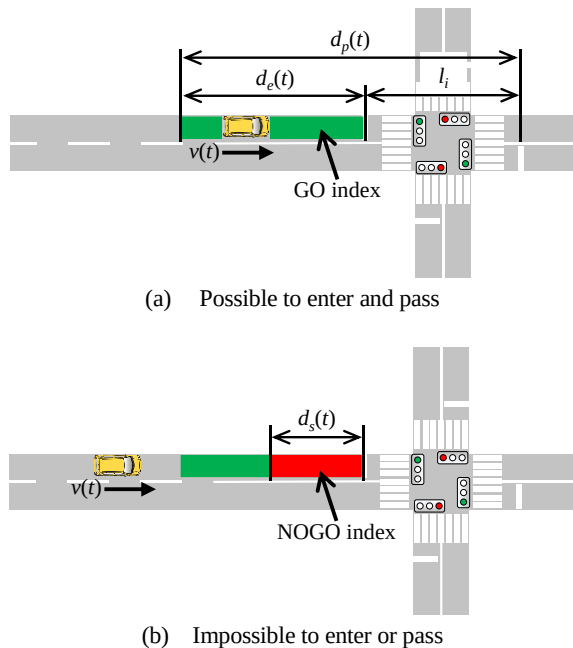


Fig. 1 Schematic diagram of indicating indices



Fig. 2 Overview of fixed-base driving simulator

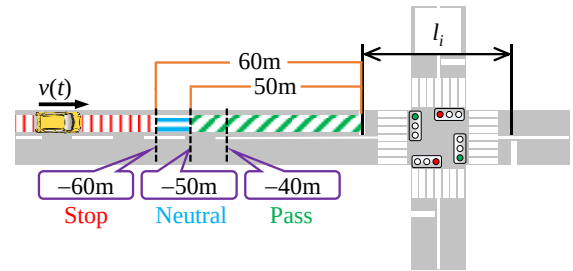


Fig. 3 Experimental condition of signal timing

3. ドライビングシミュレータ実験

3.1 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うこととした。図3に、実験条件に関する模式図を示す。ここで、交差点長 l_i は32m (60km/h 走行時に2sで通過)、黄信号時間を3s、全赤時間を2s、停止距離に用いる想定減速度 a_a は -2.94m/s^2 、反応時間 T は 0.75s ⁽²⁾とする。

図3より、60km/h (16.7m/s) で走行中に黄信号中 (3s 間) に走行できる距離は50mであり、図中の斜線で示した交差点手前50mの地点を越えていれば交差点に進入 (かつ通過) 可能である。一方、想定減速度以下で停止線に停止するためには、図中の横線で示した60m よりも手前から減速する必要がある、この地点を越えると、想定減速度以上の減速度が必要になる。よって、黄信号時に自車両の位置が、60mの地点を過ぎて、50m よりも手前の場合 (図中の横線の領域) には、想定減速度以上の減速度が必要か、そのままの速度では、黄信号中に交差点に進入および全赤終了までに通過が不可能な領域である。そこで本実験では、図中の3地点を信号タイミングの条件とする。入口側停止線を基準 (0m) とすると、これらは手前の領域であることから、負の領域とし、図中の横線の領域内の-50m (以下、Neutral条件) と、前後10mずつずらした-60m (以下、Stop条件) および-40m (以下、Pass条件) の地点の3条件で実験を行うものとする。なお、実験では、通

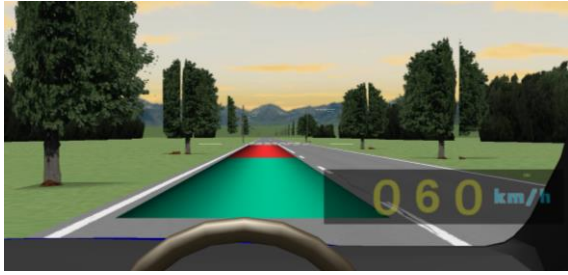


Fig. 4 Indication image of GO/NOGO indices

過する交差点の信号ですべて黄信号に変わることによる単純反応を避けるため、黄信号にならないダミー条件を含む5つの交差点を通過することとした。

図4に、支援システムの提示イメージを示す。実験の際の情報提示は、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、情報提示開始位置は、交差点入口側停止線から167m手前の位置とする。また、黄信号へ変化するタイミングについても、支援を行う際には事前に取得する必要があるため、167mの地点を通過後、60km/hの一定速度で走行したと仮定して、各条件のもとで黄信号に変化するように、オープンループ的に時間制御した。したがって、速度が変化した場合には、必ずしもその地点で黄信号に変化するわけではなく、速度が増加した場合には、想定した地点よりも交差点近くで黄信号になり、逆に低下した場合には、想定地点よりも速くで黄信号になる。

実験参加者は一定の加速区間の間に、60km/hまで加速を行い、その後、一定速度(60km/h)を維持するものとした。実験参加者による交差点を通過するか、停止するか判断は、支援がある場合は、支援システムの提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、普通自動車運転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7名(実験参加者A~G)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

実験における各条件の通過割合を図5に示す。この図は、実験参加者7人の2試行の各条件14走行分の結果を示している。Pass条件に関しては、支援がある場合ではすべての参加者が交差点を通過しているのに対し、支援のない場合だと一部のドライバーが交差点で停止していることが確認できる。一方、Stop条件において、支援の有無にかかわらず、すべての実験参加者が停止を行っていることがわかる。

結果の一例として、実験参加者Aの第1走行におけるPass条件(-40m)での速度の時系列応答を図6に示す。この図において、時間0sが黄信号に変わるタイミングであり、167m手前に到達した-7.6s付近の点線が支援シ

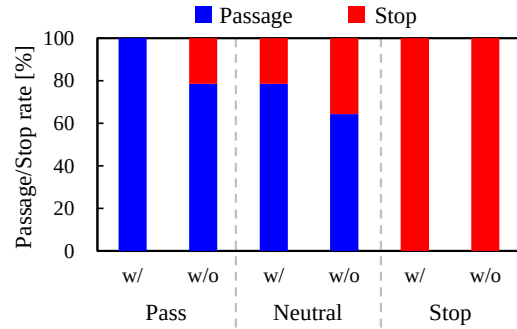


Fig. 5 Ratio of passage and stop (14 trials)

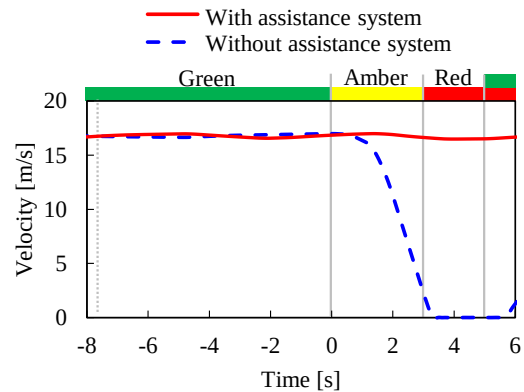


Fig. 6 Velocity (1st trial by Participant A : Pass)

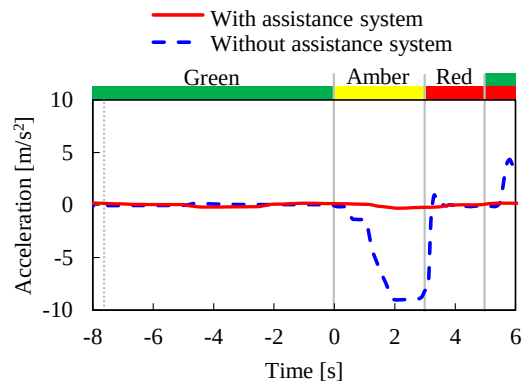


Fig. 7 Acceleration (1st trial by Participant A : Pass)

ステムの提示開始時間となっている。また、実線は支援がある場合、破線は支援がない場合をそれぞれ示している。図より、支援がある場合では、終始車両の速度を維持し、交差点を通過している。一方、支援がない場合においては、黄信号になってから、減速操作による停止を行っているため、急減速となっていることがわかる。

図7に加速度の時系列応答を示す。この図より、支援がある場合では、減速操作を行っていないのに対し、支援がない場合においては、大きな減速が行われていることがわかる。

次に、Stop条件(-60m)でのドライバーの行動について、支援の有無による比較を行う。図8に実験参加者B第1走行における速度の時系列応答を示す。横軸の時間は前述と同様であり、167m手前に到達した-6.4s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。図より、支援がある場合（実線）には、黄信号になる前の青信号中に、緩やかな減速操作が開始されている。それに対し、支援がない場合（破線）では、Pass条件と同様に、黄信号に切り替わった後に減速操作を行っている。

図9に、加速度の時系列応答を示す。支援がある場合では、走行時の速度のままでは交差点を安全に通過できないことが事前に分かっているため、 3m/s^2 以下の小さな減速度で減速を行っているが、支援がない場合は、減速操作の反応遅れによる強い減速が行われていることがわかる。

図10に、距離平均の最大減速度を示す。実験参加者7人の2試行の、各条件14走行分の結果を示している。支援がある場合では、減速度が小さく抑えられていることがわかる。一方、支援がない場合には、支援がある場合の減速度より大きいことがわかる。また、t検定を行った結果、支援がある場合の方が、減速度が有意に小さいことが確認できた。

4. 結語

本研究では、黄信号に遭遇した際のドライバの判断の迷いを防止する支援システムについて、判断に必要な情報を道路上へ視覚的に呈示し、DS実験により有効性を検討することを目的とした。その結果、支援システムにより、黄信号になる前の早めの減速が実現され、判断の迷いを防止できることが確認された。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。

「参考文献」

- (1) 警察庁交通局, 平成 26 年中の交通事故の発生状況, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do> (参照日 2015 年 10 月 12 日)。
- (2) 道辻洋平, 大竹正俊, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 信号機切り替わり時の横断歩行者に対する運転リスク評価指標の提案, 自動車技術会論文集, Vol. 44, No. 2 (2013), pp. 555-560.
- (3) 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.
- (4) 高橋義典, 齋藤威, 板倉誠司, 北川朝靖, 空間型感知器を用いたジレンマ感応制御方式のフィールドへの適用, 土木学会第 29 回土木計画学研究発表会・講演集 (2004).
- (5) 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 12 日)。

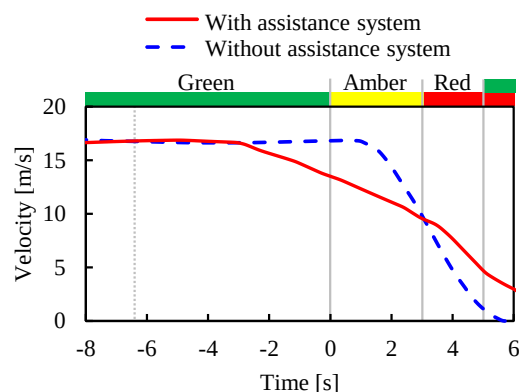


Fig. 8 Velocity (1st trial by Participant B : Stop)

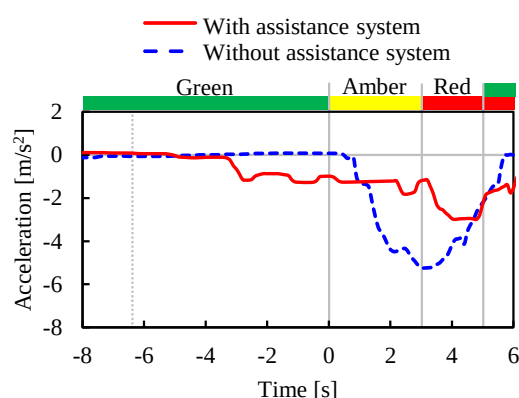


Fig. 9 Acceleration (1st trial by Participant B : Stop)

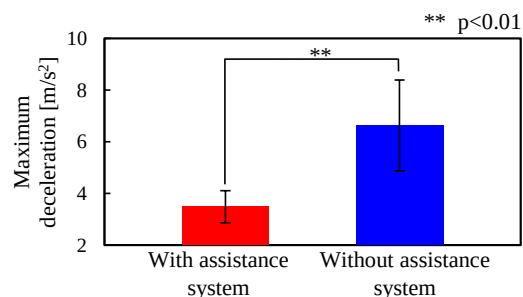


Fig. 10 Maximum deceleration (14 trials, -60m)