

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16302

研究課題名(和文)GO/NOGO指標の路面呈示による信号交差点でのドライバ判断支援

研究課題名(英文)Driver's judgment assistance at signalized intersection by indicating GO/NOGO indices on road ahead virtually

研究代表者

丸茂 喜高 (MARUMO, Yoshitaka)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：00409088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、信号交差点においてドライバの通過・停止の判断を支援するシステムについて検討した。通過の可能性に関する評価指標を道路上に視覚的に呈示するシステムについて、ドライビングシミュレータ実験により評価した。支援システムにより、黄信号になるよりも前に減速を行い、急減速を回避することが可能となり、先行車が急制動する状況において、車載表示器との比較を行った結果、提案手法の方が、急制動に対する反応時間が短くなり、先行車に対する衝突危険性も低減した。

研究成果の概要(英文)：This study examines the driver assistance system to judge whether a passage or a stop at a signalized intersection ahead. The assistance system indicates the evaluation indices of passage possibility on the road ahead virtually. The driving simulator experiments are conducted to evaluate the assistance system. The assistance system encourages the earlier deceleration before turning to the amber signal and prevents the emergency braking behavior. The assistance system shortens drivers' reaction time to the emergency deceleration of the preceding vehicle and suppresses the collision risk to the preceding vehicle in comparison with the onboard monitor indication in the own vehicle.

研究分野：機械力学，制御工学，人間工学

キーワード：安全システム 運転支援システム ヒューマンインタフェース オーグメンテッドリアリティ ジレン  
マゾーン 信号交差点 状況認識

1. 研究開始当初の背景

近年、衝突被害軽減制御装置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、交通事故発生件数および死傷者数は年々減少傾向にあるが、交通人身事故件数は依然として高い水準にある。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半数近くを占めている。中でも、信号機が設置されていない交差点のみでなく、信号機が設置されている交差点においても、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。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込まないように、信号機側における対策として、事前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。また、海外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。車両側では、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おり、実際に高度化光ビーコンなどの路車間通信技術を用いた実証実験も行われている。このような支援により、ドライバへ早めの減速を促したり、速度維持を指示したりすることで、交差点での交通事故を防ぐことが期待されている。

2. 研究の目的

信号機による対策では、事前に検知した情報をもとに制御を行うため、速度変化などの状況変化が生じる場所には導入することができない。また、時間を直接呈示する場合においても、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。さらに、車両側での対策として、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手法では、速度が時々刻々と変化する場合には、通過の可能性も変化するため、表示器に視線を移す必要がある。しかし、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、思わぬ事故の要因になりかねない。

これらの課題に対して、進入・停止の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がなく、ドライバの判断を支援することが可能になると考えられる。そこで本

研究では、まず、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ために、ジレンマゾーンに陥らないように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、その有効性を検討する。次に、先行車が急制動する場面において、車載表示器による呈示を想定したものと比較し、支援システムの呈示手法によるドライバの運転行動への影響について、DS 実験により検討する。

3. 研究の方法

本研究では、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。

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  $d_e$  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、現在の速度と、信号が赤になるまでの時間の積で算出される。通過可能距離  $d_p$  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、現在の速度と、交差側の信号が青になる (全赤終了) までの時間の積で算出される。

停止 (NOGO) の判断を支援する評価指標として、停止距離を用いる。停止距離  $d_s$  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、現在の速度とドライバの反応時間、想定減速度を用いて算出される。

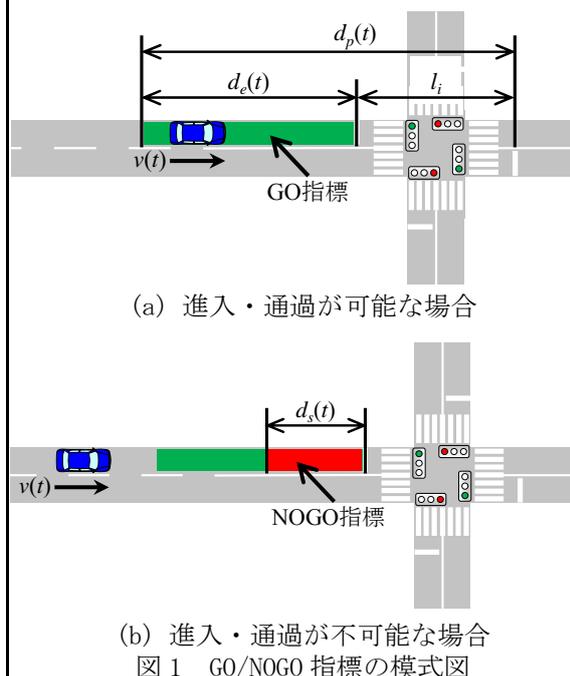


図1 GO/NOGO 指標の模式図

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、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(呈示された緑色の領域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、路面呈示を実車へ適用する際には、AR (Augmented Reality) 技術により、HUD (Head-Up Display) 用いて、車両のフロントガラスやコンパインなどへ投影することで、図2のように、道路上へ視覚的に呈示されているようなインターフェースにより支援を行うことを想定している。

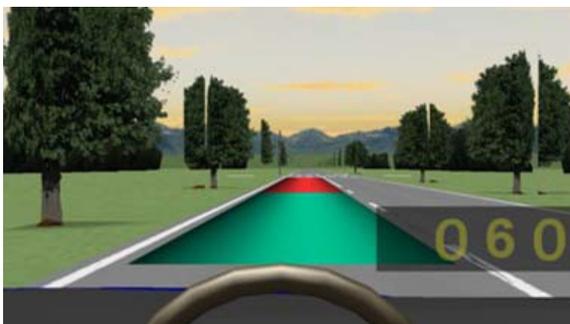


図2 GO/NOGO指標の呈示イメージ

提案した運転支援システムについて、既存のシステムのように支援の効果が得られるのか有効性を確認するとともに、既存のシステムに対して、優位性を確認するために、呈示手法による影響を、シミュレータ実験により検証する。

#### (1) 運転支援システムの有効性

既存の運転支援システムのように、路面呈示を行うことで支援の効果が得られるかどうかについて確認する。支援システムの有効性を調べるために、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」の2条件で、DS実験を行う。

本実験では、黄信号への信号切り替わりタイミングとして3地点を設定した。進入および停止が困難なジレンマゾーンである「ニュートラル条件」と、前後10mずつずらした「停止条件」および「通過条件」の地点の3条件で実験を行うものとする。なお、実験では、ダミー条件として、必ず交差点を通過可能または停止する条件を加えた。前述の各条件となる交差点は、5つの交差点の内、1つ(残り4つはダミー条件)でランダムに設定した。

情報呈示の支援は、交差点進入約10s前から行うものとして、車両が60km/h (16.7m/s)

で走行をすることを想定し、情報呈示開始位置は、交差点入口側停止線から167m手前の地点とした。この地点を通過後に、図2のように、各評価指標が道路上へ視覚的に呈示される。

実験参加者は一定の加速区間の間に、制限速度として設定した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。支援の有無で、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た20代の男性7名(実験参加者A~G(21~23歳、平均年齢22.0歳、平均運転経験年数2年4ヶ月))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。実験前に練習走行を十分に行い、DSでの運転および支援システムに習熟してから実験を行った。

#### (2) 運転支援システムの呈示手法による影響

既存の運転支援システムで用いられている車載表示器による手法と比較することで、本研究で提案した支援システムの優位性について確認する。具体的には、先行車の急制動に対して、支援システムの呈示手法によるドライバの運転行動への影響について検討する。この実験で使用する支援システムは、前述の路面呈示と、車載表示器を想定した情報呈示による運転支援システム(以下、車載呈示)の2種類である。車載呈示では、信号切り替わり時における運転リスク評価指標である、「進入余裕度(MTE: Margin To Enter)」、「通過余裕度(MTP: Margin To Pass)」および「停止余裕度(MTS: Margin To Stop)」を基に、図3に示すように画面右下に情報呈示が行われ、路面呈示と同様に進入・通過および停止の判断が行えるものとした。

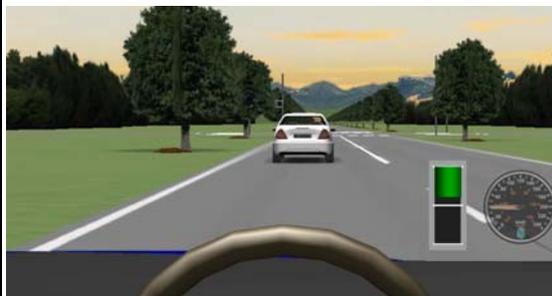


図3 車載表示器の呈示イメージ

先行車は、40km/hで走行中に、交差点手前で50km/hまで加速を行い、その後、実験参加者が予期できないタイミングで、急減速で停止するものとした。40km/hで走行している際には、自車はGO指標に達していないが、

先行車が 50km/h に加速を行うことで、自車も GO 指標に到達可能な条件とした。それにより、進入・通過の可否が変化するため、ドライバーは指標を確認する必要がある。先行車の急制動は、交差点よりも手前で開始され、交差点を通過することはないものとした。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や、交差点で必ず減速を行うことによる単純反応を避けるため、交差点手前で通常の加減速や、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。

#### 4. 研究成果

##### (1) 運転支援システムの有効性

結果の一例として、ニュートラル条件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 4 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。同図において、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 -7s 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 4 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。

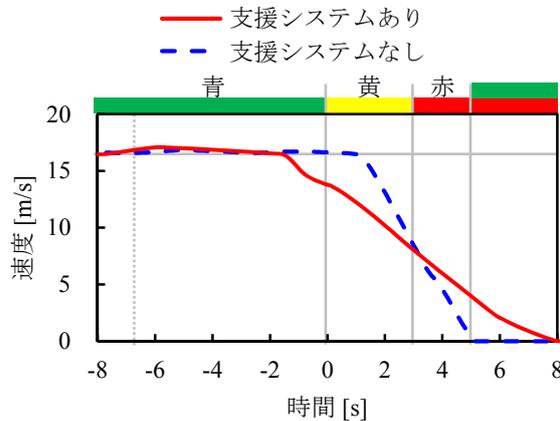


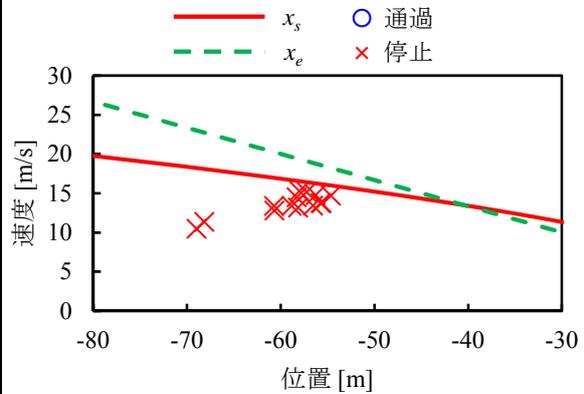
図 4 速度の時系列応答

図 5 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 5(a) が支援あり、図 5(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。同図において、通常の減速で停止可能な位置  $x_s$ （実線）は、黄信号開始時の速度、ドライバーの反応時間、想定減速度を用いて算出される。さらに、黄信号中に交差点へ進入可能な位置  $x_e$ （破線）は、黄信号開始時の速度と黄信号時

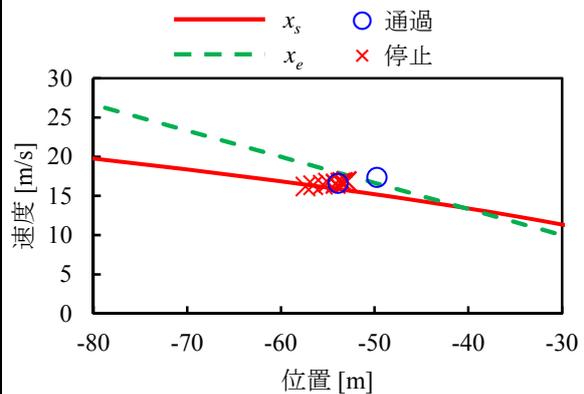
間を用いて算出される。

図 5 より、支援がある場合には、黄信号時に、すべて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（実線の左下の領域）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（実線と破線の間の領域）であるジレンマゾーン内に位置していることがわかる。そのため、多くのケースでは停止をしているが、通過・停止判断の迷いが生じ、交差点で停止するには想定減速度以上の減速度が必要な状況となっている。

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、判断の迷いを防止できたことが確認できる。



(a) 支援システムありの場合



(b) 支援システムなしの場合

図 5 黄信号切り替わり時の車両位置と速度

##### (2) 運転支援システムの呈示手法による影響

図 6 に、結果の一例として、顕著な差が見られた実験参加者 B 第 1 走行の速度の推移を示す。この図は、先行車の急減速開始 6s 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、路面呈示の方が早く反応して減速操作を開

始できていることがわかる。さらに、速度の傾きも路面呈示の方が緩やかであることから、小さな減速度で停止していることが確認できる。

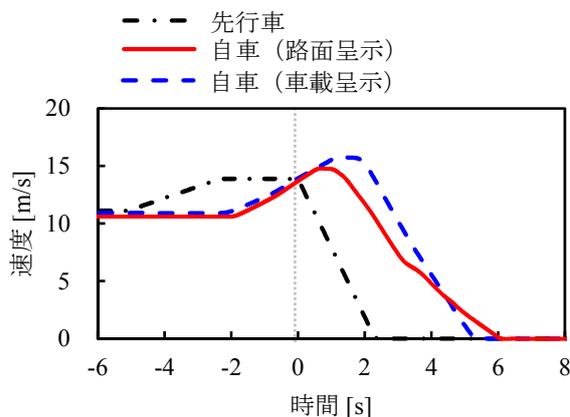


図6 先行車急制動時の速度の時系列応答

先行車急減速時の先行車との衝突危険性を調べるために、先行車との衝突余裕時間 (TTC: Time To Collision) に着目する。図7に先行車に対するTTCの最小値を示す。同図には、前述までと同様に実験参加者7名が走行した計14走行分のTTCの最小値の平均が示されている。この図より、路面呈示の方が、車載呈示と比較して、TTCの最小値が有意に大きいことがわかる ( $p < 0.01$ )。この結果から、路面呈示により先行車との衝突リスクが低減されていることが確認できる。路面呈示により、先行車との速度差が大きく生じる前に、いち早く減速操作を開始することが可能となるため、先行車とのTTCの最小値が大きくなったと考えられる。

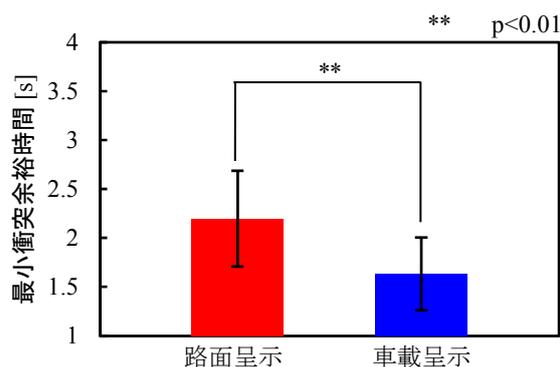


図7 衝突余裕時間の最小値

以上より、本研究で得られた結論は以下のようになる。

道路上へ視覚的に情報呈示を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。これにより、急な加減速操作を抑制し、交差点での安全な通過・停止が可能となった。

支援システムの呈示手法として、道路上へ視覚的に情報呈示を行うことで、先行車の急減速が発生した場合においても、車載表示器による呈示と比較して、いち早く反応して減速操作を行うことが可能となった。その結果、小さな減速度で停止をすることが可能となり、先行車への衝突リスクも低減することが確認された。

本研究で得られた成果については、国内外で発表を行い、中でもポスタ発表中心の学術講演会において、研究内容が高く評価された結果、368件中12件の口頭発表に選出された (学会発表⑤)。

今後は、走行場面が比較的単純な理想環境下ではなく、実際の運転場面でのどの程度の効果が得られるのかについての検討を行うとともに、前方の模擬映像上に直接描画していた呈示情報を、実際のHUDによりドライバーへ呈示して、その効果を確認することが課題として挙げられる。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 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、査読有、Vol. 82、No. 843、2016、1-16  
DOI: 10.1299/transjsme.16-00276

[学会発表] (計5件)

- ① 中西 智浩、山崎 光貴、丸茂 喜高、道辻 洋平、鈴木 宏典、信号情報を活用した運転支援システムの呈示手法による影響、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2016、2016年12月6日、滋賀県立体育館 (滋賀県大津市)
- ② 小林 宏之、丸茂 喜高、信号情報を用いたドライバの判断支援システムの呈示手法による影響、第49回(平成28年度)日本大学生産工学部学術講演会、2016年12月3日、日本大学生産工学部 (千葉県習志野市)
- ③ Y. Marumo, T. Nakano, T. Nakanishi and Y. Michitsuji: Indicating GO/NOGO Indices on Road Ahead Virtually to Assist Driver's Judgment at Signalized Intersection, HFES Europe Chapter Annual Conference 2016, Oct. 26, 2016, Prague (Czech Republic)
- ④ 小林 浩之、中野 堯、丸茂 喜高、道辻 洋平、信号情報を用いたドライバの判断支援システム、日本機械学会第24回交通・物流部門大会、2015年12月5日、東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区)
- ⑤ 中野 堯、小林 浩之、丸茂 喜高、道辻 洋平、鈴木 宏典、信号情報を活用して安全性と燃費を向上させるための運転支援システム、計測自動制御学会システム・情

報部門学術講演会 2015、2015 年 11 月 19  
日、函館アリーナ（北海道函館市）

〔その他〕

丸茂研究室ホームページ：

<http://www.me.cit.nihon-u.ac.jp/lab/marumo/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

丸茂 喜高 (MARUMO, Yoshitaka)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：00409088