

車線変更時における路面への情報呈示による運転支援システム

日大生産工(院) ○塚原 悠貴 日大生産工 風間 恵介
日大生産工 丸茂 喜高

1. 緒言

近年、自動車の運転支援システムが普及し、交通事故の発生を抑制するだけでなく、ドライバの運転操作の負担を軽減する支援も開発されている。しかし、自動車の運転に苦手意識を持つ人は依然として多い。高速道路の運転に苦手意識をもつ運転免許証保有者830名に対して、どの場面が苦手であるか調査を行ったところ、車線変更が56.0%を占め、さらに車線変更のアシストに期待している回答は91.6%に上った¹⁾。ドライバが車線変更の苦手意識を持つ原因として、後側方車に対する認知・判断の難しさが挙げられ、後側方車の接近状況を見誤ることが報告されている²⁾。

車線変更時の運転支援として、衝突の危険性がある場合に点灯するブラインドスポットモニター（以下、BSMとする）がある³⁾。BSMは、後側方車両が自車の死角に進入した際、ドアミラーに搭載されたインジケータが点灯することによってドライバに危険を知らせる。しかし、これでは、車線変更の実施可否のタイミングについては提供されず、苦手意識を持つドライバは、適切なタイミングを自分で測り、車線変更を実施できないものと考えられる。

ドアミラーへの情報呈示は、ドライバの視線移動を伴う。そこで、視線移動を伴わずに、タイミングについての情報をドライバに伝える必要がある。例えば、前方の道路上に、車線変更の可否のタイミングに相当する位置をドライバに知らせることなどが考えられる。実際、信号交差点における安全性や燃費向上のために、Head-Up Display (HUD) を用いて、信号情報を路面上に仮想的に情報呈示することで、支援の有効性が確認されている⁴⁾。この手法を、車線変更の支援にも応用することで、前述の課題が解決できることが考えられる。

そこで本研究では、車線変更が可能な領域（以下、車線変更可能領域とする）を路面に仮想的に呈示することにより、車線変更時のドライバの認知・判断を支援するシステムを提案する。今回はドライビングシミュレータ（以下、DSとする）上に支援を構築し、その有効性を確認した。

2. 支援システムの概要

本研究では、後側方車をセンシングすることで、後側方車の位置と速度の情報を取得し、この情報をもとに、HUDを用いて路面上へ仮想的に情報を、呈示することを想定している。

車線変更可能領域は、車線変更開始位置および車線変更終了位置の2つの指標により定義される。まず初めに、本研究で使用する記号について、Fig. 1から説明する。

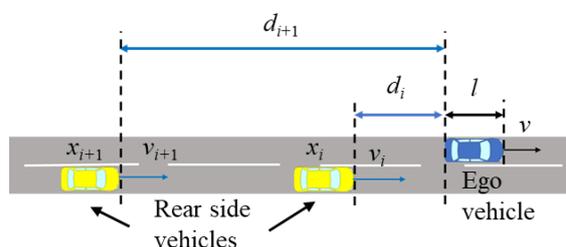
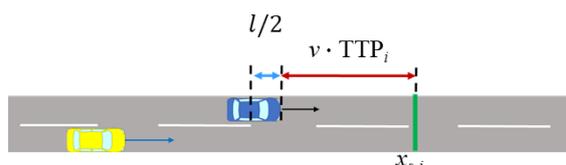


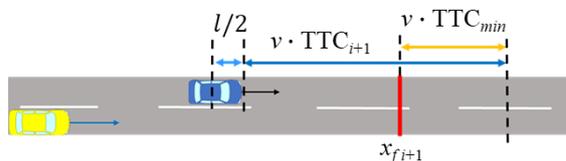
Fig. 1 Vehicle states

各車両の重心位置を x 、速度を v 、車間距離を d 、全長を l とする。また、対象となる後側方車 i 台目の添え字を台数が増すごとに、 $i+1$ 、 $i+2$ と表記する。

続いて、Fig. 2に示す支援システムの各指標について説明する。



(a) Lane change start position



(b) Lane change finish position

Fig. 2 Definition of indication

同図(a)は車線変更開始位置 $x_{s,i}$ を示したものである。車線変更開始位置 $x_{s,i}$ は、後側方車が自

車に接近している状況において、この位置から車線変更が可能になることを示すものである。この位置の基準は、後側方車が自車を追い越す位置とする。自車位置 x に、自車速度 v と自車が i 台目の後側方車が自車を追い越すまでの時間 TTP_i (Time To Passage) をかけたものを加えることで、この位置は求められる。自車中心で考えているため、指標を自車前方に呈示するように式全体に、自車全長の半分 $l/2$ を加える。車線変更開始位置 x_{s_i} は、(1)式より算出される。

$$x_{s_i} = x + v \cdot TTP_i + \frac{l}{2} \quad (1)$$

ここで TTP_i は、後側方車が自車を追い越すまでの時間であるため、自車と後側方車 i 台目の車間距離に2台分の全長を足したものを後側方車との相対速度で除した値であり、(2)式に示される。

$$TTP_i = \frac{d_i + 2l}{v_i - v} \quad (2)$$

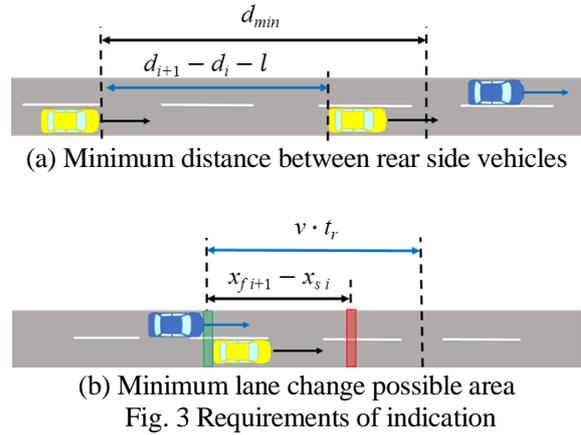
車線変更終了位置 $x_{f_{i+1}}$ をFig. 2(b)に示す。後側方車が自車に対してある程度離れている状況において、この位置から車線変更が危険であることを示すものである。この位置の基準は、後側方車が自車の前後位置に到達する位置とする。 $i+1$ 台目の後側方車が自車の前後位置に到達する絶対位置を求めるために、衝突余裕時間 TTC_{i+1} (Time To Collision) に自車速度 v をかけ、自車位置 x を加える。この位置では車線変更を行った場合に後側方車と衝突する可能性があるため、そこから衝突防止の余裕を設ける必要がある。そこで、後側方車との衝突余裕時間 TTC_{i+1} から最小余裕時間 TTC_{min} を引く。また、自車中心で考えているため、指標を自車前方に呈示するように式全体に、自車全長の半分 $l/2$ を加える。車線変更終了位置 $x_{f_{i+1}}$ は、(3)式より算出される。

$$x_{f_{i+1}} = x + v \cdot (TTC_{i+1} - TTC_{min}) + \frac{l}{2} \quad (3)$$

ここで、 TTC_{i+1} は自車と後側方車 $i+1$ 台目の車間距離を後側方車との相対速度で除した値であり、(4)式に示される。

$$TTC_{i+1} = \frac{d_{i+1}}{v_{i+1} - v} \quad (4)$$

車線変更可能領域は、車線変更開始位置が車線変更終了位置よりも後方(手前側)にある場合に存在するが、その条件だけでは、衝突の危険性は小さいものの、短い後側方車間への車線変更が行われたり、車線変更可能領域が小さいと、その領域内でドライバーが車線変更のための操舵が行えなかつたりする可能性がある。そこで、各指標が呈示される条件を以下のように2つ設けるものとする。Fig. 3に呈示条件を示す。



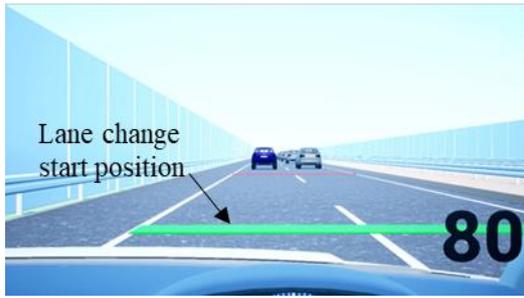
1つ目の条件は支援開始時、隣接車線の後側方車同士の車間距離が、自車が安全に車線変更できる車間距離であるかどうか判断するための条件である。この条件が満たされない場合の状況をFig. 3(a)に示す。後側方車同士の車間距離 $d_{i+1} - d_i - l$ が、車線変更が安全に実施できる最短の車間距離 d_{min} より長い場合に呈示される。この条件は(5)式により判断される。

$$d_{i+1} - d_i - l > d_{min} \quad (5)$$

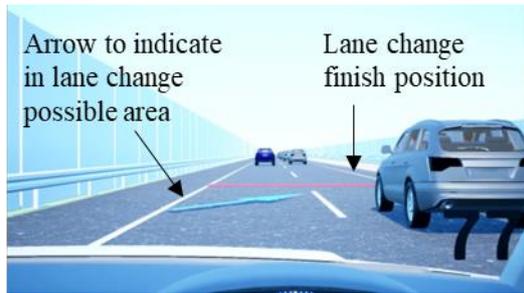
2つ目の条件は、ドライバーが指標に反応し、操舵を開始できる最低限の領域を確保するために設けた。Fig. 3(b)にこの条件が満たされない場合の状況を示す。ドライバーが実施できると仮定した最短の反応時間 t_r および自車速度 v を用いた(6)式により判断される。

$$x_{f_{i+1}} - x_{s_i} > v \cdot t_r \quad (6)$$

路面に呈示する車線変更開始位置および車線変更終了位置は2車線分のラインを引き、色を緑と赤とする。さらに、ドライバーが車線変更可能領域内を走行していることを認識させるために、自車前方に水色の矢印を呈示する。これらの指標をDSの路面上に呈示した際のイメージをFig. 4に示す。



(a) Lane change start position



(b) Lane change finish position

Fig. 4 Indication image of assistance system

3. 実験条件

本研究では、Fig. 5に示す定置型DSにより支援の有効性を検討する。



Fig. 5 Overview of driving simulator

実験参加者は、片側2車線以上の自専道を走行車線から追越車線へ車線変更する。実験条件として、初期状態は自車の周辺に車両は存在せず、自車は走行車線に停止した状態とした。実験参加者には自車の速度が100km/hになるように加速を指示し、95km/hを越えた際に、先行車と後側方車群が出現するように設定した。先行車は自車前方70mに速度80km/hで出現し、一定の速度で走行する。後側方車群は、車群の先頭が自車前方10mに速度100km/hで出現し、一定の速度で走行する。さらに、後側方車群のうち前の5台は、自車が安定した後側方車群との相対速度を確保するために、ダミー車両として、車間距離がすべて30mで一定になるように設

定した。それ以降の後側方車群の車間距離は、30m~60mの間で間隔を10mずつランダムな順序となるように設定した。また、呈示条件は最短の車間距離 d_{min} を30mとし、最短の反応時間を1sとした。

本研究では、後側方車群の車間距離をランダムとしているため、試行回数が少ないと、車間距離の順序によっては、特定の車間距離で車線変更を実施することになる。それを防ぐために、試行回数を多く行うこととする。路面上へ情報呈示を行う「支援あり」と呈示を行わない「支援なし」をそれぞれ20回ずつ、合計で40走行を行う。実験参加者は、普通自動車運転免許を保有するDSの運転に習熟した20代の男性2名であり、事前にインフォームドコンセントを得た。

4. 実験結果

実験参加者2名分の車間距離の条件に応じたの車線変更の実施率をFig. 6に示す。

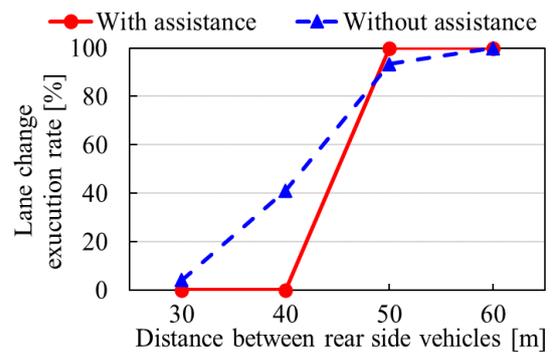


Fig. 6 Lane change execution rate

実施率は各車間距離の条件において車線変更を行った回数を、行った回数と行わなかった回数を含めたすべての回数で除した値である。支援なしの場合は30mと40mで実施することがあり、50mで車線変更を実施しないことがあった。一方、支援ありの場合、40m以下の条件では車線変更を実施せず、50m以上の条件では必ず車線変更を実施した。

支援の有無による車線変更時の安全性を確認するために、車線変更開始タイミングに着目する。自車が後側方車に完全に抜かされた時点から、自車の右端が中央線上に乗った時点までの経過時間を車線変更開始時間と定義する。全車間距離の条件において、車線変更開始時間の平均値をFig. 7に示す。支援なしと比べ、車線変更開始時間は短く、危険率1%の有意な差が確認された。支援により、車線変更の可否の判断が事前にできるようになったことで、車線変更開始時間が短くなったと考えられる。

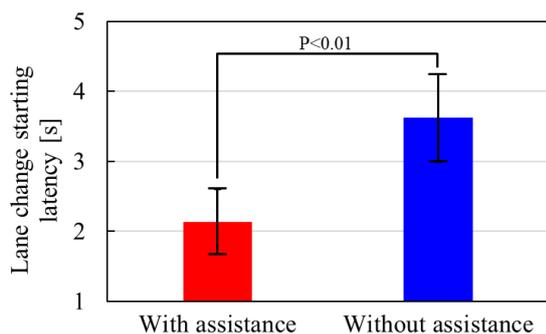


Fig. 7 Lane change starting latency

支援の有無により、車線変更後の後側方車との接近リスクを調べるために、後側方車との車間距離を後側方車の速度で除した車間時間 THW (Time HeadWay) の最小値に着目する。各車間距離の条件における最小 THW の平均値を Fig. 8 に示す。

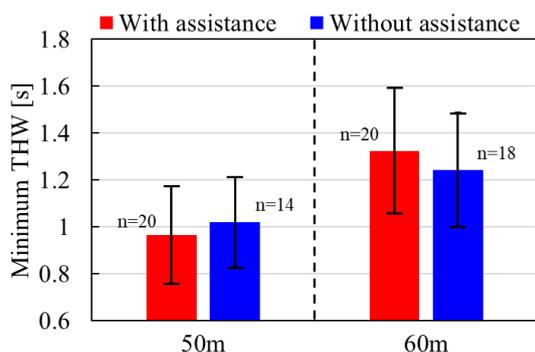


Fig. 8 Minimum THW

いずれの車間距離の条件においても、最小 THW に支援の有無による有意な差は確認されず、同程度の接近リスクであることがわかる。車線変更を開始するタイミングは早まったが、後側方車との接近リスクには違いが見られなかった。このことは、後側方車との相対速度を抑えるための前後方向の加速が、支援により緩やかになったことが考えられる。そこで、車線変更時の前後加速度の最大値に着目する。各車間距離の条件における最大加速度の平均値を Fig. 9 に示す。同図より、50m において、危険率 5% 未満の有意な差が確認され、支援がある方が、最大加速度は小さく、車線変更時の加速操作を緩やかに行なったことがわかる。しかし、60m では有意な差が確認されず、加速度が変化しないことがわかる。60m の場合には、支援の有無によらず、同程度の加速度になったのは、後側方車との距離が長いので、後側方車との接近リスクを抑えるための加速が、50m の場合ほど必要ではなかったことが考えられる。

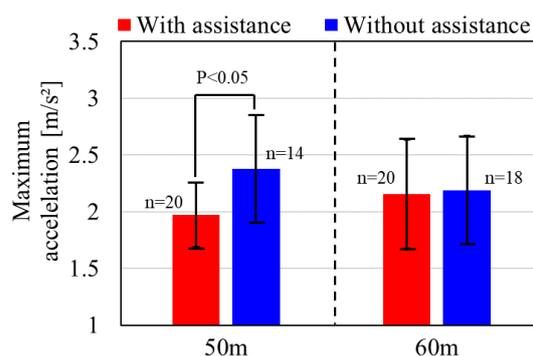


Fig. 9 Maximum acceleration

5. 結語

本研究では、車線変更可能領域を定義し、その領域を仮想的に路面上へ呈示する運転支援システムを提案した。さらに、この支援の有効性を DS 実験により検証した。

路面上へ視覚的に車線変更が可能となる領域を呈示することにより、車間距離が短い条件では必ず実施をせずに、長い条件では必ず実施した。さらに、支援なしと比べ、事前に車線変更の可否の判断ができるようになったことで、車線変更を実施するタイミングが早くなったが、後側方車との最小 THW には違いは見られなかった。これは後側方車との相対速度を抑えるための前後方向の加速操作を、緩やかに行なったことによるものだと考えられる。

参考文献

- 1) 日産自動車株式会社, 日本マーケティング本部, "高速道路にできれば乗りたくないと感じる「#高速道路ナーバス」を調査", <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000098.000009883.html> (参照日 2023 年 9 月 18 日)。
- 2) C. Bernhard, D. Oberfeld, H. Hecht, "Rear-view perception in driving: Distance information is privileged in the selection of safe gaps", *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, Vol. 86 (2022), pp. 263-280.
- 3) 信時宜和, 高橋達朗, 清水賢治, 松本成司, 花田充基, "後側方障害物警報システムの開発", *マツダ技報*, Vol. 26, No. 21 (2008), pp. 124-130.
- 4) 丸茂喜高, 山崎光貴, 鈴木宏典, 道辻洋平, "予測された信号現示を路面上に呈示する運転支援システムの検討", *自動車技術会論文集*, Vol. 50, No. 4 (2019), pp. 1145-1150.