

車線変更時のブラインドスポットモニタリングの 提示する手法と評価

黄黎^{*1} 貝塚勉^{*1} 小杉正則^{*2} 河田充弘^{*2} 佐々木しのぶ^{*2} 中野公彦^{*3}

東京大学生産技術研究所 (153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)^{*1}

株式会社東海理化(480-0195 愛知県丹羽郡大口町豊田 3-260)^{*2}

東京大学大学院情報学環 (153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)^{*3}

手動運転中にドライバーが自由意志で車線変更を行うとき、死角に他車が存在することをドライバーに提示する警報システムの有効性を調査するため、ドライビングシミュレータ実験を行った。警報の内容は、死角の他車が存在する方向のドアミラーにインジケータで点灯あるいは点滅の表示、ターンレバーの振動、インジケータの表示とターンレバーの振動を併用する 3 種類である。また、自動運転から手動運転への切り替わった後での手動運転中の車線変更時の有効性も検討した。

Method and Evaluation of Warning by Blind Spot Monitoring in Lane Change Process

Li Huang^{*1} Tsutomu Kaizuka^{*1} Masanori Kosugi^{*2} Mitsuhiro Kawada^{*2} Shinobu Sasaki^{*2} Kimihiko Nakano^{*3}

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo(4-6-1 Komaba, Meguro-ku

Tokyo, 153-8505)^{*1}

TOKAI RIKKA CO., LTD.(3-260 Toyota, Oguchi-cho, Niwa-gun, Aichi 480-0195)^{*2}

Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo(4-6-1 Komaba, Meguro-ku

Tokyo, 153-8505)^{*3}

A driving simulator experiment was conducted to investigate the effectiveness of an alarm system that presents to the driver that another vehicle is present at the blind spot area when the driver freely changes the lane during manual operation. There are three types of alarming that use the indicator lighting or blinking on the door mirror in the direction in which another car at the blind is present, the vibration of the turn lever, both of the indicator and the vibration of the turn lever. We also examined the effectiveness of lane change during manual operation after switching from automatic operation to manual operation.

Keyword: Blind Spot Monitoring, Lane Change, Transition from Automatic to Manual

1 まえがき

最近のアンケート調査⁽¹⁾によると、第一当事者の行動類型別に見た車両相互（四輪車、二輪車）の死傷事故件数に対する死亡事故件数の割合から見ると、

車線変更は横断を除いて事故に至る割合が一番高い。車の車線変更（進路変更、追越、蛇行等を含む）は走行スピードが速いので、ウィンカーを点滅している間に安全確認し、加速をしないでハンドルを切り

過ぎないなどのコツや手順、ルームミラーやサイドミラーの位置を調整するなど複雑な運転作業となり、一旦事故になると重大な結果となる⁽²⁾。特に、車の周辺には、ドアミラーで目視できない死角が存在する。例えば、ドアミラーの死角に隠れていた車両に気が付かず、うっかり車線変更した接触は、よくある事故のパターンである。ゆえに、より安全にドライブを楽しむためには、死角にあるリスクを軽減する必要がある⁽³⁾。

実際の車線変更時に、ドライバは自らの安全状況を直接確認する必要がある。そこで、最近ドライバに死角に車が存在することを教えてくれるブラインドスポットモニタリング (BSM) が実用化されている。BSM は、死角エリアに入っている車をセンサーで捉えて、その車の存在をドアミラーにおけるインジケータの表示や警告音でドライバに知らせるものである。

本研究では、手動運転中にドライバが自由意志で車線変更を行うとき、死角に他車が存在することをドライバに知らせる BSM システムの提示する手法の比較とその有効性を調査した。また、自動運転 (SAE: Society of Automated Engineering 定義⁽⁴⁾) のレベル 2 相当) から手動運転へ切り替わった後での手動運転中の車線変更にも注目し、切替の有無による傾向の違いについても調査した。

2 方法

2-1 警報

死角における他車の存在を知らせる警報として、インジケータ、振動ターンレバー、および両者の併用という 3 種類の警報を用意した。以下、より詳しく説明する。

図 1 はサイドミラーに表示されたインジケータで提示する BSM である。図中の黄色の長方形がインジケータである。死角に他車が存在すると、インジケータが点灯し、それに気づかずにドライバがターンレバーを ON にすると、インジケータが点滅し、かつ、警報音が鳴る。

図 2 は振動ターンレバーを装着する BSM である。死角に他車が存在する状況で、ドライバがターンレバーに触れると (触れるだけでターンレバーを ON にはしていない状態)、ターンレバーが比較的弱く振動し、ターンレバーを ON にすると、ターンレバーが比較的強く振動する。



Fig.1 Indicator of BSM

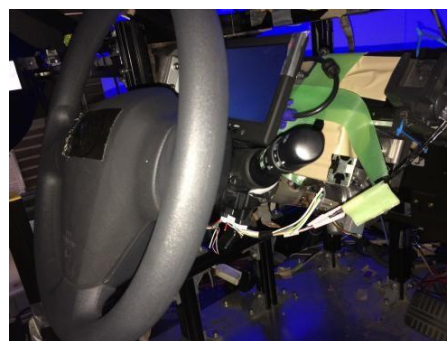


Fig.2 Vibrating lever of BSM

2-2 被験者

日本の普通自動車免許を所持する 20 代の男性 8 名 (平均年齢 22.5 歳) が実験に参加した。この実験は、東京大学倫理審査専門委員会の承認を受けて実施するものである。なお、被験者に対しては、実験前に口頭と書面で説明を行い、実験参加の同意を得た。

2-3 ドライビングシミュレータ

実験に用いたドライビングシミュレータ (DS) は、図 3 に示すように 6 自由度動揺装置を有するものであり、3 台のプロジェクトによって前方に設置された画面が 140 度の視野を確保する。

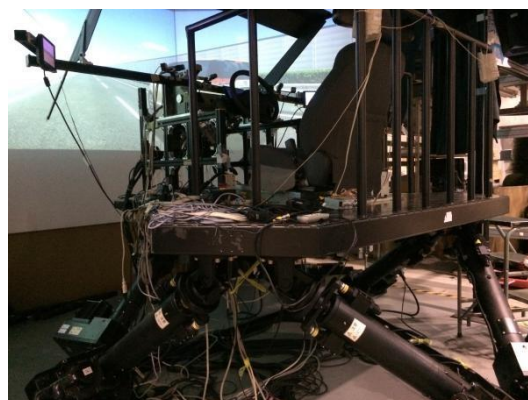


Fig.3 Driving simulator

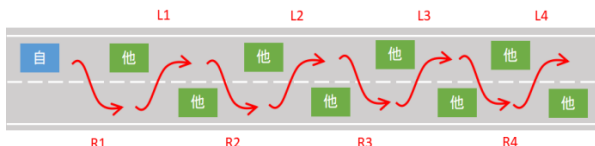


Fig.4 Driving instruction

2-4 走行シナリオ

コースは図4に示すような片道2車線の直線の高速道路である。自動運転から手動運転への切り替えがあるシナリオでは、走行開始後2分間は自動運転とした。自動運転では左車線を80km/hで走行する。また、自動運転中にはドライバに1-backという二次タスクを課した。1-backとは、0から9までの数字を4秒間に1回の頻度でランダムに音声で提示して、いま提示された数字より1つ前に提示された数字を口頭で答えるタスクである。この二次タスクを自動運転中に行うことで、運転への集中が削がれた状態を模擬している⁽⁵⁾。走行開始から2分後、自動運転から手動運転へ切り替わる。切り替え10秒前に報知音が鳴り、ドライバに手動運転の準備を促し、切り替わる瞬間に別の報知音が鳴り、ドライバに手動運転の開始を促す⁽⁶⁾。手動運転では、なるべく80km/hで走ること、先行車が遅ければ車線変更をして80km/hを維持すること、速度を維持する目的以外で車線変更をしないことをドライバには事前に指示した。図4に示すように他車が走行しており、自車の目の他車が減速するようにプログラムを設定した。つまり、減速した先行車を避けて80km/hを維持するために自車は車線変更をするが、変更後の車線の先行車も減速を始めるので再び車線変更を促されというように、車線変更を繰り返し行うことになる。そして、ある車線変更のときに、死角に他車が突如出現する（死角に他車を瞬間移動させるプログラムとしている）。BSMに関する実験であることはドライバは事前に説明を受けており、警報が鳴ったら、無理に車線変更をすると死角の車に衝突してしまうし、車線変更をせずに速度を維持すると先行車と衝突してしまうので、車線変更をせずに減速をして、死角の他車がいなくなったことを確認したら、車線変更をして80km/hに速度回復するよう、事前に教示した。

自動運転から手動運転への切替がないシナリオは、最初の2分間が自動運転ではなく手動運転であること以外は、切替があるシナリオと同じである。最初の2分間は、先行車は減速せず、すなわち、自車は左車線を維持して走るだけである。

実験本番の前に、本番と同じ道路を他車のない状態で練習走行を行った。自動運転中の1-back、自動

運転から手動運転への切り替わり、手動運転で80km/hを維持し、自由意志で車線変更を行うという動作を練習した。また、運転をしながらではないが、インジケータ、振動ターンレバー、両者の併用という3種類の警報をDSの運転席で本番前に体験してもらった。

2-5 実験デザイン

表1に示すように、自動運転から手動運転への切り替えの有無、振動ターンレバーの有無、インジケータの有無の3因子実験とした。全8条件である。対応ありの実験とし、全ての被験者は各条件を1回ずつ体験した。順番効果を抑えるため、被験者間で条件提示順をカウンターバランスしている。

Condition	Transition	Vibrating Level	Indicator
Condition 1	without	without	without
Condition 2			with
Condition 3		with	without
Condition 4			with
Condition 5	with	without	without
Condition 6			with
Condition 7		with	without
Condition 8			with

Table 1 Experimental conditions

2-6 評価項目

1回の走行が終わるたびに主観評価を行った。評価項目は次の3つである。1つ目は、「死角の他車に気づいたのは、いつですか?」という質問で、「ウィンカーをONにする前」「ウィンカーをONにした後(ただし、他車と衝突する前)」「他車と衝突した後」の3択の回答である。

2つ目は、「死角の他車に気づいたのは、どうしてですか?」という質問で、「インジケータが見えた」「警報が聞こえた(インジケータの表示に気づかずターンレバーをONにしたとき鳴る警報音のこと)」「ターンレバーが振動した」「他車がミラーに見えた」「他車と衝突した」の5択の回答である。なお、死角に他車を瞬間移動させることは前述のとおりだが、瞬間移動後に自車の加減速に瞬時には追従しきれずサイドミラーに他車が映ることもあるため、「他車がミラーに見えた」という選択肢がある。なお、この質問については複数回答可としている。

3つ目は、「車線変更を行うことに対する不安感、どうでしたか?」という質問で、「とても不安」を8点、「全く不安じゃない」を0点として、9段階評価とした。

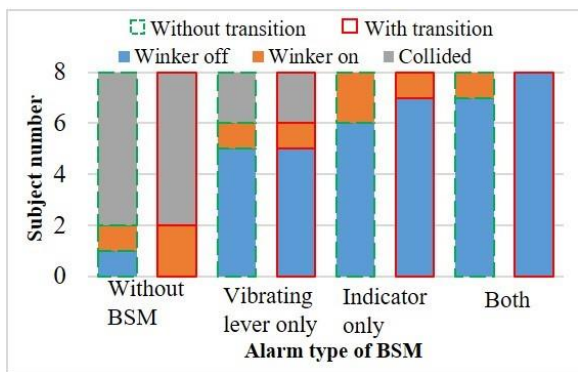


Fig.5 Time of awareness

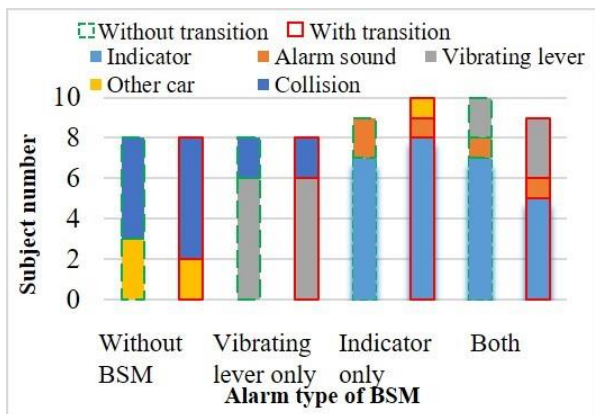


Fig.6 Reason of awareness

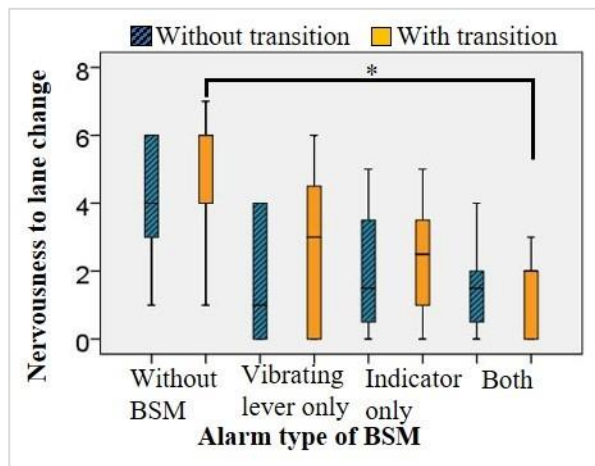


Fig.7 Nervousness to lane change

3 実験結果

「死角の他車に気づいたのは、いつですか？」という1つ目の質問に対する回答を集計したものが図5である。横軸が8つの条件、縦軸が回答の各選択肢を選んだ人数、「Winker off」「Winker on」「Collided」はそれぞれ「ウィンカーをONにする前」「ウィンカーをONにした後(ただし、他車と衝突する前)」「他車と衝突した後」の3択の結果である。警報がない条件、振動ターンレバーのみがある条件、インジケ

ータのみがある条件、両者を併用する条件を比べてみると、この順番に他車に気づくタイミングが早くなっていく傾向がある。振動ターンレバーとインジケータを個別に使用するよりも、併用したほうがタイミングを早められるという傾向は興味深い。また、自動運転から手動運転への切替については、その有無による結果への影響は見られなかった。

「死角の他車に気づいたのは、どうしてですか？」という2つ目の質問に対する回答を集計したものが図6である。横軸が8つの条件、縦軸が回答の各選択肢を選んだ人数(この質問は複数回答可のため、各条件の回答者数は必ずしも8人にならない)である。警報がない条件、振動ターンレバーのみがある条件、インジケータのみがある条件、両者を併用する条件を比べてみると、警報がない条件では衝突して初めて他車に気づく割合が多いが、振動ターンレバーのみの条件で衝突の割合が顕著に下がり、インジケータのみ、あるいは、両者を併用する条件では衝突の割合がゼロになった。また、自動運転から手動運転への切替については、その有無による結果への影響は見られなかった。

「車線変更を行うことに対する不安感は、どうでしたか？」という3つ目の質問に対する回答を集計したものが図7である。横軸が8つの条件、縦軸が点数である。警報がない条件、振動ターンレバーのみがある条件、インジケータのみがある条件、両者を併用する条件を比べてみると、警報がない条件よりも警報がある条件で不安感が抑えられ、また、振動ターンレバーやインジケータを個別に使用する条件よりも併用する条件で不安感がより抑えられる傾向が見て取れる。自動運転から手動運転への切替については、切替が有るほうが無いよりも不安感が増す傾向が見て取れる。また、フリードマン検定を行ったところ、8条件間で有意差が確認された($\text{Chi-Square}=16.307, p=0.022$)。さらに、各条件間で一対比較を行ったところ、自動運転から手動運転への切り替えがあって警報がない条件と、自動運転から手動運転への切り替えがあって警報が併用の条件との間のみ、有意差が確認された($p=0.040$)。振動ターンレバーとインジケータを併用してはじめて警報なしとの間に有意差が確認されたことから、併用の効果があったと言える。

4 結論

手動で車線変更を行うときに死角に他車がいることを知らせる警報として、振動ターンレバー、インジケータ、両者の併用を用意し、それぞれの有効性

を DS 実験における主観評価を通して検討した。評価項目は、いつ死角の他車に気づいたか、どの警報によって死角の他車に気づいたか、車線変更に対する不安感ほどの程度かの3つとした。

いつ死角の他車に気づいたかについては、警報が全くない、振動ターンレバーのみがある、インジケータのみがある、両者の併用の条件により、他車に気づくタイミングが順次に早められている傾向があり、自動運転から手動運転への切替の有無による影響は見られなかった。

どの警報によって死角の他車に気づいたかについては、警報がない場合に他車と衝突してから気づいた割合が多いと比べて、振動ターンレバーのみがあるによりは顕著に減少した、インジケータのみがあると両者の併用によりはゼロになった、自動運転から手動運転への切替の有無による影響は見られなかった。

車線変更に対する不安感ほどの程度かについては、警報が全くない条件より警報がある条件で不安感が抑えられ、振動ターンレバーやインジケータを個別に使用する条件よりも併用する条件で不安感が抑えられる傾向があり、自動運転から手動運転への切替については、切替が有るほうが無いより不安感が増

す傾向が見て取れる。さらに、振動ターンレバーとインジケータを併用により不安感が有意に抑えられる効果があったと考えられる。

参考文献

- (1) パーク 24 株式会社, 運転テクニックに関するアンケート結果. ニュースリリース, 2015 年 5 月 8 日.
- (2) 公益財団法人交通事故総合分析センター, 交通事故統計年報. 2014.
- (3) STROHM, Karl M., et al. Development of future short range radar technology. Proc 2nd Eur. Radar Conf., Oct. 2005, pp. 165–168.
- (4) SAE International J3016, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicle. 2016.
- (5) Chaparro, Alex, Joanne M. Wood, and Trent Carberry, Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance. *Optometry & Vision Science*, 2005, 82.8: 747-754.
- (6) 本間亮平, 若杉貴志, 小高賢二, 高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討: 自動運転時の覚醒度低下や運転以外の作業と権限委譲時のドライバー対応行動. *自動車技術会論文集*, 2016, 47.2: 537-542.