

自動運転における指差し呼称 Take-Over 時の ドライバの注視点解析

藤澤 洋佑¹ 佐野 聡² 中野 泰彦² 河中 治樹¹ 小栗 宏次¹

概要: 本研究では、指差し呼称を用いた自動運転の Take-Over におけるドライバの運転交代準備の誘導手法について提案する。自動運転中は 2 次タスクを行うことにより Situation Awareness (状況認識) が低下するため、Take-Over 時の状況認識は重要だと考えられるが、これまでにドライバの Take-Over 時の状況認識を促す研究報告は少ない。本研究では、主体的な確認行為である指差し呼称を用いた Take-Over によって確認すべき対象に対して視線移動を促し、状況認識を誘導できると仮説を立てた。ドライビングシミュレータを用いた自動運転模擬実験結果から、指差し呼称を用いた Take-Over 時には通常の Take-Over よりも注視点分布が拡大することと、安全性に関する主観評価および運転行動指標が向上したことを確認した。

Driver's Fixation Analysis when Taking Over Highly Autonomous Driving using Finger-Pointing and Calling Method

FUJISAWA YOSUKE¹ SANO SATOSHI² NAKANO YASUHIKO² KAWANAKA HARUKI¹ OGURI KOJI¹

1. はじめに

交通事故削減に向けて、従来の安全運転支援技術をより高度化した自動運転技術に関する研究開発が世界的に進められている。自動運転の技術開発や導入は段階を追って行われており、内閣府による自動運転のレベル定義では、レベルに応じてドライバのシステム監視義務の責任の所在が定められている [1]。自動運転レベル 3 の準自動走行であれば、システムが全ての車両制御を担うため、ドライバがシステムを常に監視する義務はないが、特定の環境下ではドライバが Take-Over を要求される。Take-Over とは、自動運転から手動運転に切り替わってドライバが運転責任を負って操作、もしくは監視する役割の交代を意味する。自動運転システムが運転タスクを代替する割合が増えるにつれて、ドライバの運転に関する作業負荷が低減され、これが自動運転による利点の一つといえる。しかし自動運転

中、ハンドルは握らないまま常に意識を保ち、突然の運転交代や権限移譲の要求にも対応することは不可能である。そのため今後、安全な Take-Over の検討は重要な課題とされている [1]。また自動運転中は読書など 2 次タスクを行うことにより Situation Awareness (状況認識) が低下することが報告されている [2]。状況認識 (図 1) のループ外による状況認識の低下は自動運転中には問題ないが、システム終了時にはドライバ対応に影響があると報告されている [3]。そのため Take-Over 時の状況認識は重要だと考えられるが、これまでにドライバの Take-Over 時の状況認識を促す研究報告は少ない。

そこで本研究では、ドライバの状況認識を促すために主体的な確認行為である指差し呼称に着目した。状況認識は目視確認によって行われるため、指差し呼称を用いた Take-Over によって通常の Take-Over よりも多い目視確認を促し、手動運転への切り替え前に必要な状況認識を促せるのではないかと仮説を立てた。本研究ではドライビングシミュレータを用いた自動運転模擬実験を行い、ドライバの注視点解析や運転行動解析に基づいて、自動運転の指差し呼称 Take-Over の有効性を示すことを目的とする。

¹ 愛知県立大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Aichi Prefectural University

² (株) 富士通研究所
Fujitsu Laboratories Ltd.

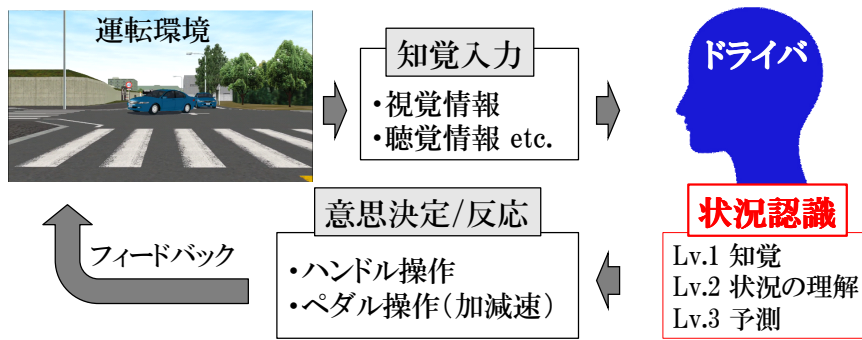


図 1 Endsley による Situation Awareness (状況認識) モデル [2]

2. 指差し呼称を用いた Take-Over 手法

本研究は、内閣府 SIP における自動運転レベル 3 を想定した自動運転中に、システムが終了する際の適切な移行方法を検討する。本研究で着目した指差し呼称とは、ヒューマンエラー防止手法として、鉄道の運転士や医療現場など多くの産業現場で用いられている日本独自の安全確認手法である。確認対象の目視確認、指差し確認に加え、「○○、ヨシ！」というように声に出して呼称確認を行う複合的な確認動作によって、注意対象物への確認動作を確実に実行する方法である。指差し呼称には、ヒューマンエラー低減効果や脳の活性化効果があるとこれまでの先行研究で明らかになっている [4,5]。また、運転中に指差し呼称による安全確認を適用したときの効果として、脳血流を計測して脳活動状態を評価した結果、指差し呼称によって脳活動が高まり、ドライバーの注意力が高められる可能性が示唆されている [6]。

そこで本研究では、自動運転の Take-Over 前に必要となる状況認識を誘導するために、周辺の道路環境に対して指差し呼称による確認行為の実施を提案する。Take-Over の過程を考慮すると、まず Take-over の要請時に、ドライバーは自動運転中に行っている運転以外の 2 次タスクを中止する。次に、道路環境の注視によって現在の状況認識を行う。この際、状況認識が不十分である場合、手動運転への交代リスクが高まることが考えられる。本研究では、指差し呼称 Take-Over を実施することによって、状況認識 Lv.1 である運転に必要な環境情報の要素への自主的な注視確認行動を促すことができると仮説を立てた。

本研究では、Take-Over Zone 内で、ドライバーが指差し呼称を周辺環境に対して行った際の、注視行動と運転行動における評価項目を定義して評価を行った。そして、通常の Take-Over と比較することで、指差し呼称 Take-Over の有効性を検証した。

3. 自動運転模擬実験

3.1 実験目的・方法

ドライビングシミュレータを用いて、高速道路の自動運転を模擬したコースを走行する (図 2)。ドライビングシミュレータ走行のためのコースの作成には、FORUM8 社の UC-win/Road を用いた。被験者は健康常男性 4 名 (平均年齢 23.0 ± 1.0 歳) である。

本実験シナリオ (図 3) は高速道路における自動運転終了後の車線変更シーンを想定して設定した。図 4 に実験環境を示す。手動運転時の車速は 80 [km/h] を維持するよう指示した。実験開始後は時速 80 [km/h] で自動運転システムを開始する。他車は追い抜き車線を自車との距離 40 [m] 間隔で走行している。自動運転中は、ドライバーに読書を行ってもらうことで、覚醒度は高いが道路状況を認識していない条件として統一した。5 分間の自動運転後に、自動運転を終了する通知予告を 30 秒前に開始した。なお、この予告時には自動運転システムは継続され、条件の秒数が経過すると自動運転が解除可能となる。そして HMI に Take-Over Request が表示された後、ドライバーは任意のタイミングで自動運転の Take-Over を行う。Take-Over の 10 秒後に、HMI により追抜車線への車線変更を促す。ドライバーが車線変更を行おうとするとき、後続車が自車を相対速度 20 [km/h] で追い越そうとする (80 [km/h] から 100 [km/h] へ加速)。このとき、後続車との衝突ヒヤリハットを設定した。なお手動運転時には 5 分間の走行と、

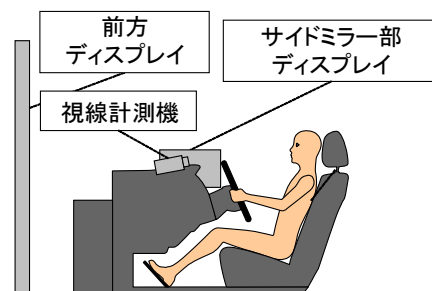


図 2 ドライビングシミュレータ構成

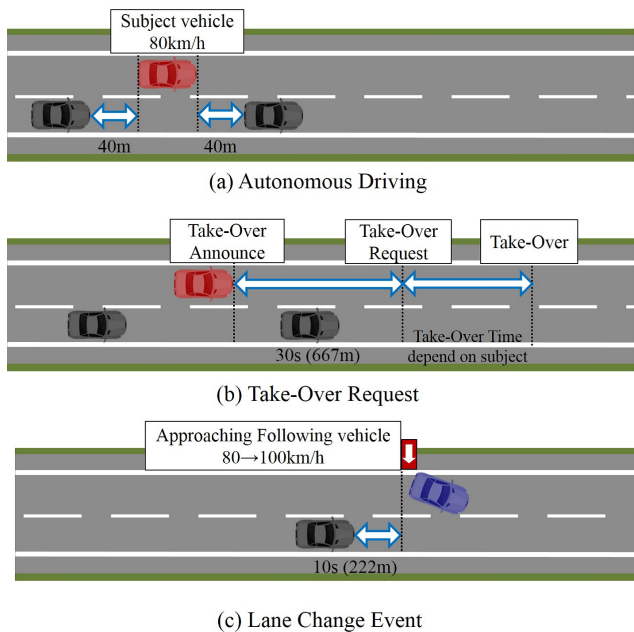


図 3 実験シナリオ

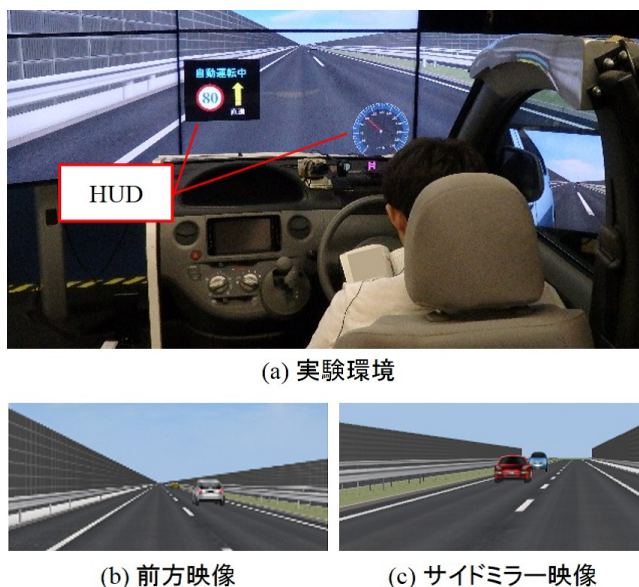


図 4 実験環境

自動運転条件と同様に追抜車線への車線変更イベントを設定した。ドライビングシミュレータの自動運転システムの解除は、運転座席横に設置したキーボード入力とし、操作すると即座に自動運転のための制御が解除され、手動運転に切り替わるようにした。自動運転システムの作動状況や解除をドライバに知らせるための HMI (Human Machine Interface) には、Homma ら [7] を参考として視覚表示をドライビングシミュレータの前方ディスプレイ上に、聴覚表示を 1 [kHz] の単音で 1 秒間を呈示する。

本実験では、Take-Over 時における指差し呼称がドライバに与える影響を調査するため、以下の 3 パターンで実験を行う。

1. 手動運転
 自動運転機能を用いずに手動運転を行う。
2. 通常 Take-Over による自動運転
 通知後にドライバは何も確認行為を行わずに Take-Over を行う。
3. 指差し呼称 Take-Over による自動運転
 通知後にドライバは指差し呼称を実施して道路環境を確認してから Take-Over を行う。本来、運転中の状況認識の対象は先行研究 [8] で挙げられているように車間距離、センターラインの位置、標識の有無、信号といった車外情報や速度計や各種ディスプレイといった車内情報など多く存在する。本研究では高速道路走行を対象としているため、車外情報として「前方車および周辺車」、車内情報として「HMI およびメータ画面」を確認対象とする。被験者は、以上の状況を目視した後に前方映像およびサイドミラーに対して「前方よし!」「後方よし!」と指差し呼称を行う。実験環境の制約上、バックミラー映像を用いることができないため、サイドミラーへの注視を後方確認とする。

3.2 評価指標

3.2.1 注視点指標

指差し呼称による安全確認を実施することで、目視による安全確認が促進されると仮定し、視線評価指標を用いて評価を行う。人間は視覚により外界の情報の 9 割を認識しているといわれているため [9]、ドライバの注視行動に着目する。ドライバの視線情報を用いた評価として、Fixation Map [10] を用いて対象物の注視評価を行う。Fixation Map は元々は静的な物体に対する注視点移動に用いられている手法 [11] であり、応用先として自動車における道路シーンでの注視にも用いられている [12]。有限の標本点から全体の分布を推定する 2 次元カーネル密度推定を用いて式 (1) により注視点分布を作成する。ここで、 n は標本点数、 X_i, Y_i は注視点の座標値、 x, y は密度推定値の座標値、 h_x, h_y はバンド幅、 K はカーネル関数 (本研究では標準正規分布を用いた) を示す。

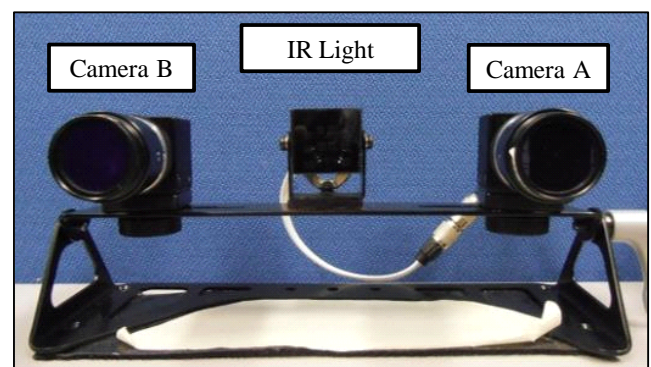


図 5 視線計測機器 faceLAB システムの構成

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{nh_x h_y} \sum_{i=1}^n K \left[\frac{1}{2\pi} e^{-\left\{ \frac{x-X_i}{h_x} \right\}^2} e^{-\left\{ \frac{y-Y_i}{h_y} \right\}^2} \right] \quad (1)$$

3.2.2 Visual Analogue Scale(VAS) 主観評価指標

Visual Analogue Scale (VAS) は, Hayes ら [13] により開発された検査用紙である. VAS は直接的に測定することができない疲労や痛み, 体調など, 対象とする尺度を数値化して評価する際に用いられる. 具体的には, 100 [mm] の水平に引かれた線分の両端に評価したい尺度の言語項目を配置し, 今現在の自分の状態が線分上のどの部分に当てはまるか判断し, 当てはまると思う位置に線分を引くことで評価を行う. 通常, 評価を行う際には, 一方の極から評定者が引いた線分までの長さを [mm] 単位で測定し, その距離を得点として用いることが多い. VAS は評定者自身の心理的尺度を物理尺度に変換していると解釈できることから標準化を行う必要がないという利点がある. 質問項目は主に Take-Over 時の準備状態と状況確認の主観評価, Take-Over 後の車線変更タスク時の運転行動と安全確認に関する主観評価で設定した. この VAS 評価値を用いて, ドライバの指差し呼称が Take-Over 時の状況認識に与える影響を検証する.

3.2.3 運転行動指標

運転行動指標として, 高速走行時の安定性に関する運転行動指標を算出する. ドライバのヨー方向感覚が車両操舵において最も重要な感覚とされていることから, 本研究ではヨー角速度に着目する. 図 6 に車輛の回転挙動を示す. 式 (2) により車線変更時の車輛ヨー角の最大角速度 ω_m [rad/s] を算出する.

$$\omega_m = \max(\omega) \quad (2)$$

ここで, ω は車輛ヨー角の角速度 [rad/s] を示す.

3.3 実験結果

3.3.1 注視点解析結果

本研究では, Take-Over Request 発生後には自動運転中

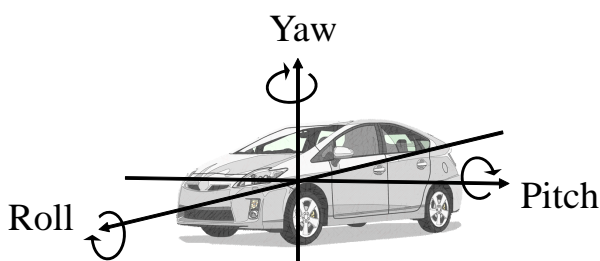


図 6 車輛の回転挙動

に不足する運転環境の認識を求められるため, 道路環境認識を注視点解析によって評価することが可能であると本研究では考えた. そこで交通状況全体およびサイドミラー部分を注視している際の視線停留時間に着目して解析を行う. Take-Over Request 発生後からドライバが Take-Over するまでの区間において, Take-Over に要した時間 T_t , サイドミラー部分の目視時間 T_m [s] の全被験者の平均値および標準偏差を図 7 に示す. 図 7 より, 通常 Take-Over による自動運転の場合ではどの被験者も T_t が短くなり, 道路環境の認識が不十分な状態で Take-Over を行っていると考えられる. 特に T_m では全被験者において 0 秒となり, サイドミラー部分を確認していないことを確認した. この結果はドライバが Take-Over 時に車線変更等を行わないために道路環境の認識が不十分な状態でも Take-Over が可能だと判断したためだと考えられる. 実験説明時には, 通常時の Take-Over の仕方は統一せずに被験者の直感的な Take-Over を行ってもらったため, 実際の運転においても, 交通シーンにおいてはドライバが周辺確認を行わずに Take-Over を行ってしまふことが想定される.

一方, 指差し呼称 Take-Over による自動運転では, 全被験者の T_t , T_m が増加した. 指差し呼称確認を行なうために通常 Take-Over による自動運転よりも長い時間道路環境の認識を行っていたと考えられる. また, Take-Over Request が発生するとドライバは道路環境の認識を充分に行わないまま Take-Over を行う傾向にあるが, 指差し呼称の実施によって通常よりも確認すべき対象に対する認識行為をより確実に誘導できたと考えられる.

また, 通常時および指差し呼称時における全被験者の Fixation Map を図 8, 図 9 に示す. 横軸はドライビングシミュレータの正面ディスプレイの横ピクセル X [pixel], 縦軸は縦ピクセル Y [pixel] を示す. Colorbar の値が高いほど, 注視点の分布が高まって集中している状態を示す. 図 8, 図 9 から, 指差し呼称 Take-Over においてドライバの注視点が周辺車両, HMI, メータ, サイドミラー部分に移動していることを確認できる. この結果から, 指差し呼称 Take-Over を実施することによってドライバが Take-Over 前に確認すべき自車や周辺の状況を確認し, 広範囲に周辺

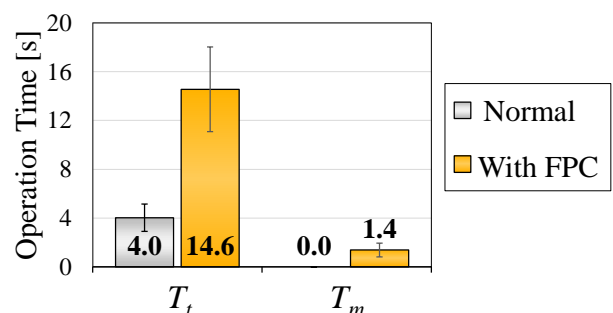


図 7 サイドミラー目視時間 T_m および Take-Over 所要時間 T_t

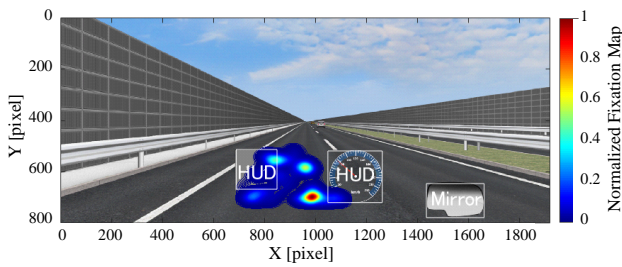


図 8 通常 Take-Over 時の Fixaton Map

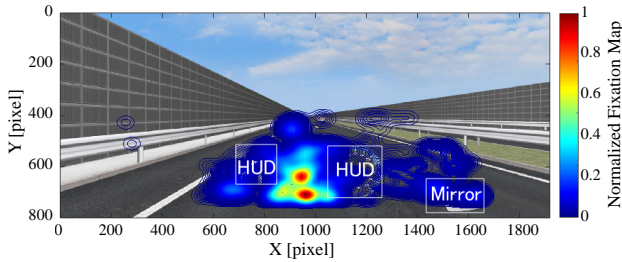


図 9 指差し呼称 Take-Over 時の Fixaton Map

認識を行うことを示唆した。

これらの結果から、指差し呼称を用いた Take-Over を実施することによってドライバーが Take-Over 前に確認すべき自車や周辺の状況を確認し、広範囲に周辺認識を行うことによって状況認識 (Situation Awareness) が高まり安全な Take-Over に繋がる可能性を示唆した。

3.3.2 Visual Analogue Scale(VAS) 主観評価解析結果

Take-Over および状況認識に関する主観評価 VAS 値の全被験者の平均値の結果を図 10 に示す。横軸は質問項目、縦軸は Visual Analogue Rating [mm] を示す。これらの結果から、指差し呼称 Take-Over による自動運転において通常 Take-Over による自動運転よりもどの評価項目においても VAS 値が増加したことを確認した。注視点解析結果から算出した視線停留時間の傾向を考慮すると、指差し呼称による状況認識確認行為の実施によって、より安全に Take-Over ができ、周辺認識の確実性も向上したと主観値にも反映されたと考えられる。この結果は、Take-Over 前に指差し呼称によって状況認識を一度実施しているため、Take-Over 後にもドライバーが安全確認動作を行う誘導効果がある可能性が挙げられる。指差し呼称を実施することによって、ドライバーの安全評価に関する主観 VAS 値が増加したことを確認した。

3.3.3 運転行動指標解析結果

Take-Over 後の車線変更時の運転行動指標を算出した結果を図 12 に示す。図 12 より、指差し呼称 Take-Over 時が最も小さく、次に手動運転、最後に通常 Take-Over という結果を得た。車線変更時の車輪ヨー角の最大角速度 ω_m [rad/s] が大きいほど、車輪操舵角が急になっていると考えられるため、指差し呼称 Take-Over の操舵安定性の向上の可能性を示唆した。

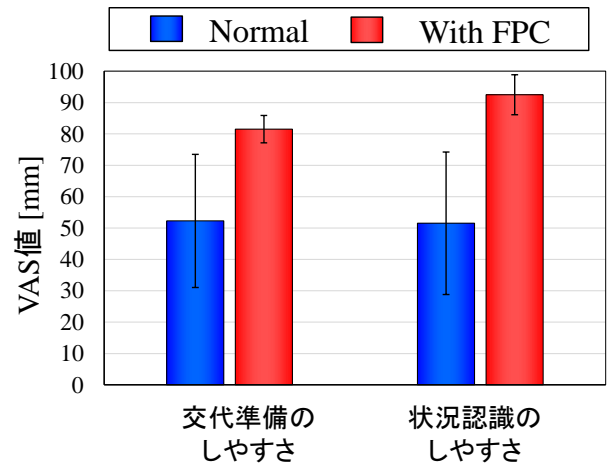


図 10 Take-Over および状況認識に関する主観評価 VAS 値

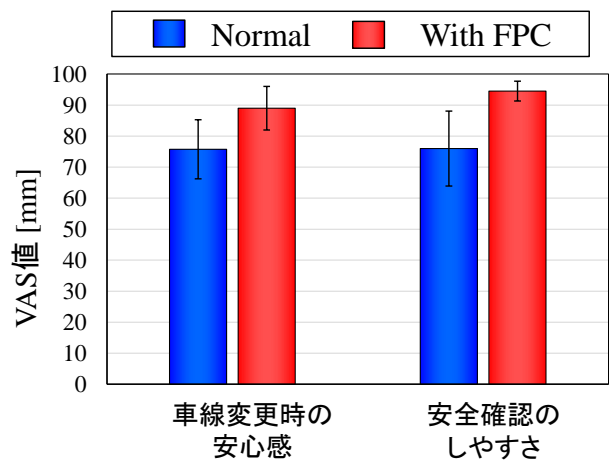


図 11 Take-Over 後の車線変更タスクに関する主観評価 VAS 値

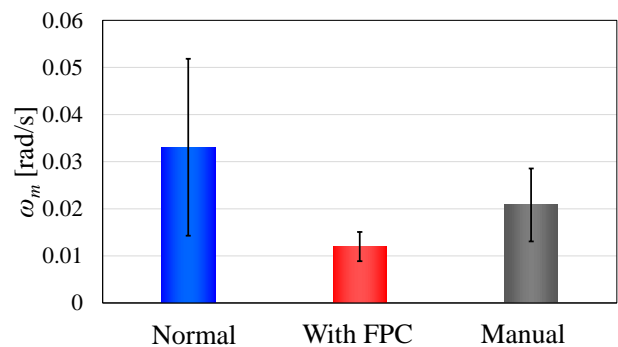


図 12 車線変更時の車輪ヨー角の最大角速度 ω_m

4. おわりに

本研究では、自動運転の Take-Over において指差し呼称による周辺状況確認がドライバーに与える影響を調査した。Take-Over Zone におけるドライバーの注視点、主観 VAS 値および運転行動解を解析した結果、特に注視点解析結果から指差し呼称 Take-Over を行った場合は周辺認識のための注視点分布の拡大、および視線停留時間の向上を確認した。

本実験結果から、指差し呼称 Take-Over によって道路環境全体の状況認識 (Situation Awareness) を誘導し、状況認識が高まり安全な Take-Over をドライバーに誘導できる可能性を示唆した。今後の課題は、状況認識の評価指標を考慮した指差し呼称 Take-Over の有効性検証である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K12087 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 内閣府, “戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動走行システム研究開発計画”, 2016.
- [2] Endsley M. R., “Toward a theory of situation awareness in dynamic systems”, *Human Factors*, Vol.37, no.1, pp.32-64, 1995.
- [3] De Winter, J.C.F., et al, “Effects of Adaptive Cruise Control and Highly Automated Driving on Workload and Situation Awareness”, *A Review of the Empirical Evidence*, *Transportation Research Part F* 27, p.196-217, 2014.
- [4] Kazumitsu Shinohara, Hiroshi Naito, Yuko Matsui and Masaru Hikono, “The effects of “finger pointing and calling” on cognitive control processes in the task-switching paradigm”, *International Journal of Industrial Ergonomics* 43, pp.129-136, 2013.
- [5] 川田綾子, 宮腰由紀子, 藤井宝恵, 小林敏生, 田村紫野, 寺岡幸子, “確認作業に「指差し呼称」法を用いた時の前頭葉局所血流変動の比較”, *日本職業・災害医学会誌, JJOMT* Vol.59, No.1, pp.19-26, 2011.
- [6] Chika Kishi, Yasuhiko Nakano, Md. Shoaib Bhuiyan, Haruki Kawanaka and Koji Oguri, “Verification of the Effect on “Finger Pointing and Calling” Method from Observation of Brain Activity Related Driver’s Attention”, *2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.1896-1897, 2014.
- [7] Ryohei HOMMA, Takashi WAKASUGI, Kenji KODAKA, “Human-Factors issues of transition from an automated driving system to manual driving,” *23rd ITS World Congress*, 2016.
- [8] 鈴木達也, “運転におけるヒューマンファクターの解析～コントローラとしてのドライバー～”, *計測と制御*, Vol.45, No.3, pp.231-236, 2006.
- [9] E.Hartman, “Driver Vision Requirements,” *Society of Automotive Engineers*, pp. 629-630, 1970.
- [10] David S.Wooding, “Fixation maps: Quantifying Eye-movement Traces,” *Proc. Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, pp.31-36, 2002.
- [11] 竹村憲太郎, 松本吉央, 小笠原司, “ドライバー行動解析のための非侵襲な注視計測システム開発”, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol.71, No.702, pp.165-170, 2005.
- [12] Isler R.B., Starkey N.J., Williamson A.R., “Video-based road commentary training improves hazard perception of young drivers in a dual task,” *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 41, No.3, pp.445-452, 2009.
- [13] T.H. Monk, “A visual analogue scale technique to measure global vigor and affect,” *Psychiatry Research*, Vol.27, pp.89-99, 1989.