

自動運転の安全な Take-Over に向けた 指差し呼称確認時におけるドライバの注視点解析

藤澤 洋佑

指導教員：小栗 宏次

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輛制御を担うため、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。今後、安全な Take-Over の検討は重要な課題とされている[2]。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, 図 1) が低下することが報告されている[3]。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[4]。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。

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。

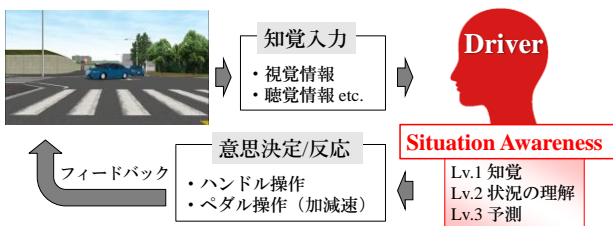


図 1 Situation Awareness モデル[3]

2 指差し呼称によるドライバ主体の安全確認

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、「〇〇、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進行確認方法である。本研究で用いている安全な Take-Over は、「Take-Over Request 後、ドライバが運転に必要な環境情報の対象への目視確認を主体的に実施することで状況認識 (Situation Awareness) を向上した後の Take-Over」と定義する。

3 指差し呼称 Take-Over がドライバに与える影響

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走行を被験者に指示した。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。被験者は健康男性 4 名 (平均年齢 23.0±1.0 歳) である。なお本研究の前提条件として、自動運転レベル 3 を想定しているため運転以外の 2 次タスクを行っており、覚醒度は高い状態で保たれているとする。実験は、高速道路における自動運転終了後の車線変更シーン (図 2) を想定して設定した。

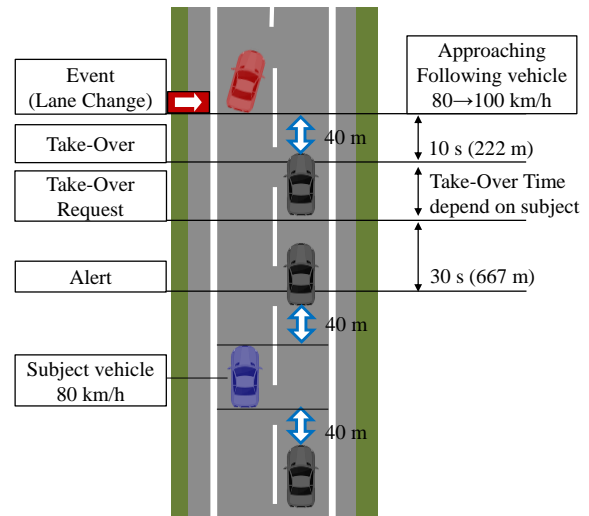


図 2 自動運転終了場面および Take-Over Request

実験環境を図 3 に示す。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、ドライバは任意のタイミングで自動運転の Take-Over を行う。Take-



(a) Experimental condition



(b) Front screen



(c) Side mirror screen

図 3 実験環境

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 へ速度を上げている)。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、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。

4 指差し呼称 Take-Over 時の注視点解析結果

指差し呼称の有効性を検証するために、通常 Take-Over による自動運転、指差し呼称 Take-Over による自動運転で比較を行う (図 4)。指差し呼称 Take-Over による自動運転では Take-Over Request 後にドライバがまず道路環境を認識した後に指差し呼称を行い、最後に Take-Over を行う。本研究の状況認識の対象は、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」「周辺車」、車内情報として「HMI」「メータ画面」の計 4 項目を確認対象とする。被験者は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。指差し呼称 Take-Over による自動運転では実験環境の制約上、サイドミラーへの注視を後方確認とする。

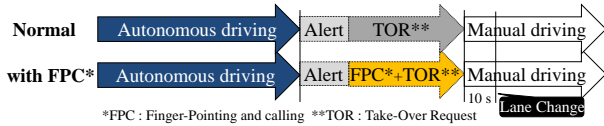


図 4 実験プロトコル

Take-Over Request 発生後には自動運転中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。交通状況全体およびサイドミラー部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、道路環境の認識に要した時間 T_t 、サイドミラー注視時間 T_m の全被験者の平均値および標準偏差を図 5 に示す。通常 Take-Over による自動運転ではどの被験者も T_m が 0 秒となり、サイドミラー部を確認していないことが分かった。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。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 が増加することで、Take-Over するまでの全体の動作時間が増加することを確認した。

また、注視点分布を示す Fixation Map [5] を用いて状況認識評価を行う。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) により作成する。

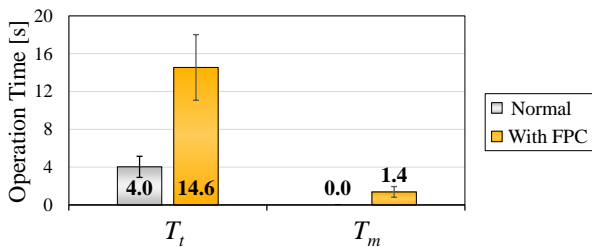


図 5 Take-Over 所要時間およびサイドミラー注視時間

ここで n は標本点数、 X_i および Y_i は視線計測機によるドライバの注視点の座標値、 x および y は密度推定点の座標値、 h_x および h_y はバンド幅、 K はカーネル関数を示す。本研究ではカーネル関数として標準正規分布を用いた。

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

Take-Over Zone におけるドライバの Fixation Map の結果を図 6 に示す。図 6 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、広範囲に周辺認識を行うことを示唆した。

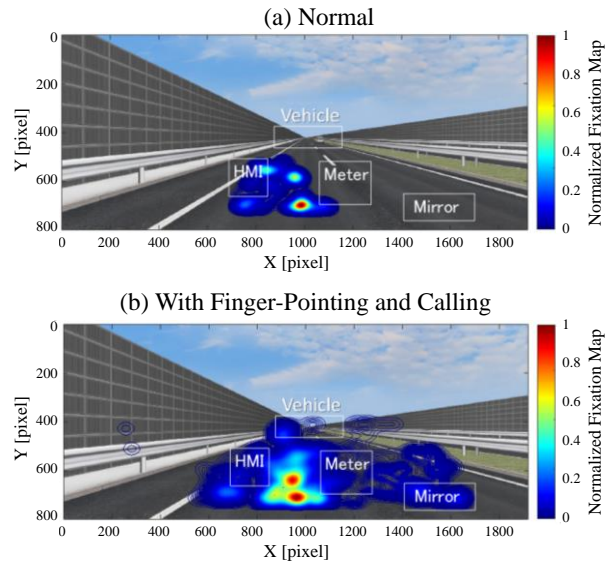


図 6 Take-Over Zone における Fixation Map 結果

5 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に与える影響を調査した。Take-Over Zone におけるドライバの注視点を解析した結果、指差し呼称 Take-Over を行った場合は注視点分布が広がり、より広範囲の確認を行なっていることを Fixation Map より確認した。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認識を誘導し、状況認識が高まり安全な Take-Over に繋がった可能性を示唆した。この研究の今後の課題は、より複雑な道路環境を含むと考えられる市街地シーンの自動運転における指差し呼称 Take-Over の有効性の検証である。

参考文献

- [1] 内閣府 SIP, 2016.
- [2] Homma et al., Proc. 23rd ITS World Congress, 2016.
- [3] Endsley M. R., Human Factors, 1995.
- [4] Winter et al, A Review of the Empirical Evidence, Transportation Research, 2014.
- [5] David S.Wooding, Proc. Symposium on Eye Tracking Research, 2002.