

視線検知を利用した運転権限移譲判断手法

森田一成¹ 染谷一輝² 清原良三¹

概要：近年、自動運転の研究が盛んに行われている。制御のためのセンシング、認識だけではなく、ドライバーへの権限移譲の問題から、法律や保険制度の課題など多岐に渡る。その中でも、自動運転レベル3に関しては様々な角度から数多く行われ、特に責任問題や権限移譲問題など数多くの問題が残されている。自動運転レベル3の定義からは、運転者はシステムが行う運転の監視をしなくてはならず、緊急時には運転者が運転を行わなければならない。しかし、現実を見ると、海外で行われている自動運転レベル3の事故を見てみると運転者は監視しておらず、緊急時に対応できずに事故を起こしている。現実的な問題を解決するために運転者の状態をリアルタイムで取得し、その情報をもとに権限移譲可能かどうかを判断するシステムがあればこの権限移譲問題の一部を解決できると考え、運転者の状態を取得するシステムを検討した。

キーワード：SAE 自動運転レベル3 権限移譲 ドライビングシミュレータ

Decision of Transition from Automated Driving to Manual by Detection of the Gaze Direction

KAZUNAEI MORITA¹ KAZUKI SOMEYA² RYOZO KIYOHARA¹

1. はじめに

情報技術の発展に伴い、自動運転技術に関する研究開発が活発に行われている。今後自動運転車両が明らかになる課題を克服することにより、徐々に普及していくことが想定される。自動運転過渡期では、さまざまなレベルの自動運転車両が混在となり、各レベルの車両も主体となるドライバーが入れ替わるというようなカオスな状態となることが想定されている。特に、役割が入れ替わるケースは入れかえて問題がないかなど常に状態の把握が必要となる。

このような自動運転システムと運転者の役割を表1に示すように Society of Automotive Engineers (SAE)がレベルを定義している[1]。自動運転レベル1, 2では、運転するのは運転者であり、システムはステアリング操作、加減速の補助をする。自動運転レベル3では特定条件化でシステムがステアリング操作、加減速の操作をし、運転者は周辺の監視をすると定義されている。自動運転レベル4では特定条件化ではシステムがステアリング操作、加減速、周辺監視のすべてを行う。運転者は自動運転中、運転に関するタスクを何一つ負わなくて良い。自動運転レベル5ではすべての道路でシステムがステアリング操作、加減速、周辺監視をする。

現在、自動運転レベル3までの自動車が販売されている。

市販されている自動運転車では高速道路において自動運転走行することができる。自動運転レベル3の課題として、責任問題の課題、センサーなどのセンシング技術の課題、権限移譲の課題などに分類することができる。

表1 SAEによる自動運転レベル分けの定義

(出典) 官民 ITS 構想・ロードマップ 2017[1]

レベル	概要	安全運転に係る監視、対応主体
運転者が全てあるいは一部の運転タスクを実施		
SAE レベル0 運転自動化なし	・ 運転者が全ての運転タスクを実施	運転者
SAE レベル1 運転支援	・ システムの前後・左右の両方の車両制御に係る運転タスクのサブタスク実施	運転者
SAE レベル2 部分運転自動化	・ システムが前後・左右の両方の車両制御に係る運転タスクのサブタスクを実施	運転者
自動運転システムが全ての運転タスクを実施		
SAE レベル3 条件付運転自動化	・ システムのすべての運転タスクを実施 (限定領域内) ・ 作動継続が困難な場合の運転者は、システムの介入要求等に対して、適切に応答することが期待される	システム (作動継続が困難な場合は運転者)
SAE レベル4 高度運転自動化	・ システムが全ての運転タスクを実施 (限定領域内) ・ 作動継続が困難な場合、利用者が応答することは期待されない	システム
SAE レベル5 完全運転自動化	・ システムが全ての運転タスクを実施 (限定領域内ではない) ・ 作動継続が困難な場合、利用者が応答することは期待されない	システム

1 神奈川工科大学
 Kanagawa Institute of Technology

2 神奈川工科大学大学院
 Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

権限移譲が起こる場面として、以下に分類することができる。

1. 運転者が運転に戻るべく自主的に権限移譲する場合
2. システムが自動運転可能領域を超えるため、システムが運転車に権限移譲を依頼する場合
3. 想定外のことが起こり、事故が回避できないため、責任問題を自動運転側が負わないために運転者に強制的に権限移譲をする場合

の3つに分類することができる。1.2は通常に権限移譲を行うが、3では緊急時の権限移譲に分類することができる。本論文では2の通常時の自動運転解除依頼による権限移譲に焦点をあてる。

自動運転レベル3の定義として、運転はシステムが行い、運転者は監視をする。しかし、海外で行われている自動運転レベル3での公道実験を見ると、多数の事故が起きている。事故の詳細を見ると、2018年3月18日ウーバーテクノロジー社がアリゾナ州で起こした事故で、49歳の歩行者を時速64キロではねて死亡させてしまった。運転席には自動運転システムの稼働状況を監督する「人」も同乗していたが、同乗者は携帯電話でテレビ番組を視聴し、対応できずに事故を起こしてしている[2]。

自動運転システムでは、運転者が慣れるまでは、自動運転システムを信用せずに、監視をすると考えられるが、時間の経過とともに、信頼できるものと判断すると、監視の意欲低下が十分に予想できる。この監視の意欲低下により、緊急時に対応できない側面とともに、非緊急時の場合にも、自動運転可能領域の終了場面時、権限移譲の依頼を運転者に通知したとき、運転者が自動運転解除依頼を確認することができずに権限移譲が安全にできないことが想定できる。

つまり、このような意識低下は避けられないものであるため、運転者の状態をカメラ、センサーなどで取得し、取得した情報をもとに運転者の状態を判断するシステムが必要である。権限移譲が不可能と判断したときは運転者に警告するとともに適切な対応をすることで、緊急時の対応やスムーズな権限移譲を可能とし、権限移譲の問題を解決することができる。

2. 関連研究

本間らは自動運転から手動運転の切り替え時間の研究をしている[3]。切り替え時間を「2秒」、「5秒」、「10秒」で実験を行ったが、実験の結果として切り替え時間でも事故が起きてしまっている。「10秒」以上の切り替え時間設定が安全を考慮すれば必要という結果になった。実験では運転者は携帯電話の操作や居眠りなどの2次タスクを制限しておらず、運転者の状態を考慮していない。そのため、切り替え時間が「10秒」でも事故が起こったと考える。

竹本らは高速道路での合流時、退出時における自動運転から手動運転交代場面での行動分析の研究をしている[4]。

運転交代の要求(TOR:Take-Over Request)が出て、交代が完了するまでの状況を高速道路の合流場面、退出場面の車線変更に着目して手動運転時との比較実験を行った。自動運転から手動運転の切り替え時間、交代余裕時間を「2秒」、「4秒」、「6秒」で定め、4秒を基準に実験している。結果として、交代余裕時間によって、TORの開始地点が変わり、このTORの開始地点が手動運転時の本来の行動開始タイミングとの関係が重要だとわかった。TORの開始地点が手動運転時の本来の行動タイミングよりも遅い場合、車線変更のための、ウィンカー操作、バックミラーの確認とサイドミラーの確認、目視確認、およびステア操舵の行動を前倒しする補完行動が見られた。また、ステア操舵開始後のサイドミラーの確認行動が多くなった。

しかし、竹本らの研究では、長時間の自動運転による覚醒度やビジランスの低下、セカンダリタスクによる影響は対象外としているため、運転者が運転に戻る状態の研究のため、交代余裕時間が「4秒」と短くても、事故なく切り替えが行えている。

現在市販されている自動運転レベル3の「Audi A8」の仕様書によるとドライバを監視するシステムが搭載されている[5]。しかし、ドライバが下を向いている時に、寝ていると判断し、警告すると記載されているため、眠気検知機能と推測できる。権限移譲可能かを判断するには眠気検知だけでは不十分なため、もっと幅広いドライバ監視システムが必要だと考える。

Nuance(ニュアンス)社がCES2019で展示した、音声認識と視線情報から勘定や眠気を検知するドライバ監視システムがある[6]。ドライバのモニタリング技術にはAffectiva(アフェクティブ)社が開発したものを使用しており、声のトーンから感情を読み取り、それに加え、表情、眉や頬の動きから運転者の状態を推定する。しかし、この技術は自動運転に使用されている技術ではない。3節の提案手法はこの技術を参考にした。

3. 提案手法

自動運転時には運転者は素早く運転に戻る状態を維持している必要がある。しかし、1節でも述べたようにシステムを信頼するにつれ、運転以外の行動をすることが想定される。そこで、自動運転可能領域を超えるケースとして高速道路の退出場面を想定する。運転者の状態を退出場面より前に取得し、権限移譲が不可能と判断したときには、退出場面よりも前に一時停止できる場所に車を止めるシステムを提案する。

Audi A8の仕様書では運転者の権限移譲が不可能と判断したら路側帯に停車する[5]。しかし、自動運転過渡期では手動運転との混在環境になり、路側帯の駐車は手動運転に影響を及ぼすおそれがある。そのため、図1のように提案手法では事前に運転者の状態を取得、判断することにより、権

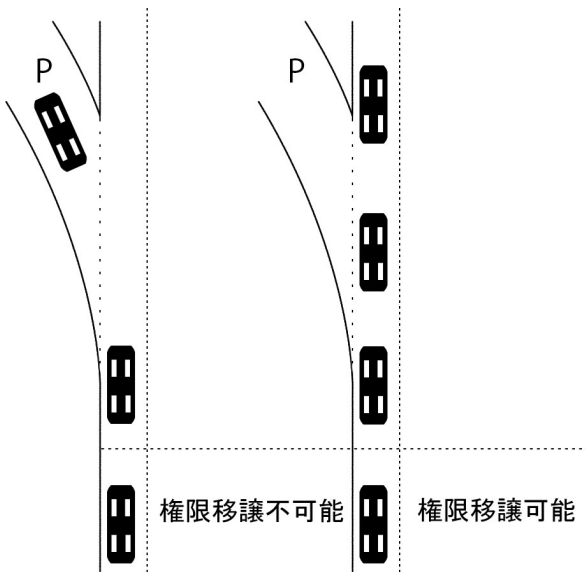


図 1.権限移譲状態による対応

あるか判断する。質疑応答の内容は運転に関するものとする。例として、「自車両は今、時速何キロで走行していますか？」など視線を運転に向ける質問をし、運転者の視線が戻るかで判断する。最終確認で、アクセル、ブレーキ、ステアリング操作を段階的に操作してもらうことで、運転意識があり、権限が可能と判断する。

この提案手法を何分前に適用するのが最善なのかを調べるために、実験で提案手法を適用する時間を自動運転解除から「10分前」、「5分前」、「3分前」で実験する。これにより、適切な時間を調査する。

4. 実験環境

実験にはドライビングシミュレータ(DS)を使用する。使用しているのはホンダのDSで、加速度などのアクチュエータがなく、画面だけを出力する。実験にはモニタ1枚を使用し、そのモニタに前方画面と、前方画面中にドアミラー情報、バックミラー情報を提示している。

実験コースは高速道路を使用する。自動運転中では携帯電話の操作をしてもらい、実験を行った。

実験の被験者は以下の3名である

- 被験者1 : 23歳(男性), 運転免許取得1年目
- 被験者2 : 22歳(男性), 運転免許取得3年目
- 被験者3 : 23歳(男性), 運転免許取得4年目

実験では先行車両を生成し、それに追従する形をとり、自動運転中の自車の速度は「60km」、「80km」、「100km」で実験を行った。また切り替え時間を「10秒」と設定し、自動運転解除場所をあらかじめ設定しており、自車が今の速度を維持した場合に自動運転解除場所にあと何秒で到達するかを逆算して自動運転解除依頼を出す。実験で切り替え時間が「10秒」を超えた場合は権限移譲不可能と判断し、停止する。

被験者は以下の条件で実験コースを4回、走行する。

1. 1週目は自動運転と切り替えを体験する。自動運転走行から約15分後の場所を高速道路の退出場所と設定し提案手法を適応しない状態で権限移譲を行った。
2. 1週目と同じ場所に退出場所を設定し、退出場面から3分前(退出場所から自車の速度をもとに逆算して求める)に状態を提案手法により取得し、その結果により、権限が不可能と判断した場合には一度停止し、運転者が気付いたら、運転者に時間を伝え走行を開始する。
3. 2と同じ条件で実験し、提案手法を5分前に通知する。
4. 2と同じ条件で実験し、提案手法を10分前に通知する。

上記の条件で速度を「60km」、「80km」、「100km」で計12回の実験を被験者3名で行なった。

評価としては、自動運転解除依頼が行われてから手動運転に戻るまでの時間である「切り替え時間」と自動運転解除依頼が行われてから、被験者が反応する時間である「視線が戻るまでの時間」の2つで評価する。

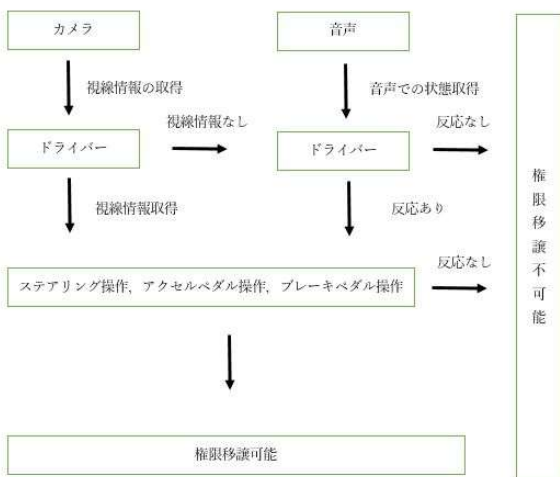


図 2.提案手法の構成図

限移譲不可能と判断したら、路側帯ではなく、サービスエリアやパーキングエリアにゆっくり誘導することを想定している。サービスエリアやパーキングエリアの誘導中に運転者が運転に関与したときは、反応がなかったことを運転者に通知し、手動運転の切り替えを行うことを想定している。

図2に提案手法の構成を示す。運転者の状態の取得として、カメラによる視線情報と音声による質疑応答、最終確認にアクセル、ブレーキ、ステアリング操作を段階的に操作してもらうことで、権限移譲可能と判断し、退出場面まで走行する。視線情報は運転画面である、フロントガラスに視線があるかで運転者の状態を判断する。もしフロントガラスに視線がない場合は、音声による質疑応答で運転者の意識が

また、被験者には実験の終了とともに、アンケートに回答してもらう。

5. 実験結果

切り替え時間をまとめたものを図3から図5に示す。視線が戻る時間を図6から図8に示す。アンケートの結果を図9から12に示す。

図4の提案手法を適用してない場合の「60km」、「80km」のデータが0になっているのは、切り替え時間「10秒」に間に合わなかったため、0となっている。

図6の視線が戻る時間でも提案手法3分前の「80km」、「100km」で0となっているのは、自動運転解除依頼をする前に視線があるため、0となっている。

実験結果を見てみると、被験者のほとんどが提案手法を適用していない場合よりも、提案手法が適用した場合の方が切り替え時間は早くなっていることがわかった。唯一、図4の被験者2だけは自車両が「100km」において、提案手法を適用していない場合と提案手法を適用している場合の変化がほとんどなく、提案手法を適用していない場合が誤差の範囲ではあるが、提案手法を適用したときよりも早くなった。

視線の結果を見ると、こちらもほとんどの場合で提案手法を適用した場合の方が時間は早くなっている。例外として、図2の被験者1の自車両が「60km」の場合で、提案手法5分前の時に、時間が遅くなっている。切り替え時間をみても提案手法を適用していない場合とほとんど変わらない時間になっているので、被験者が携帯に集中していたことがわかった。しかし、提案手法を適用していた場合では自動運転解除依頼をする前に視線がある状態が確認されたので、提案手法が有効だと言えた。

アンケートはすべての被験者がまったく同じことを回答した。

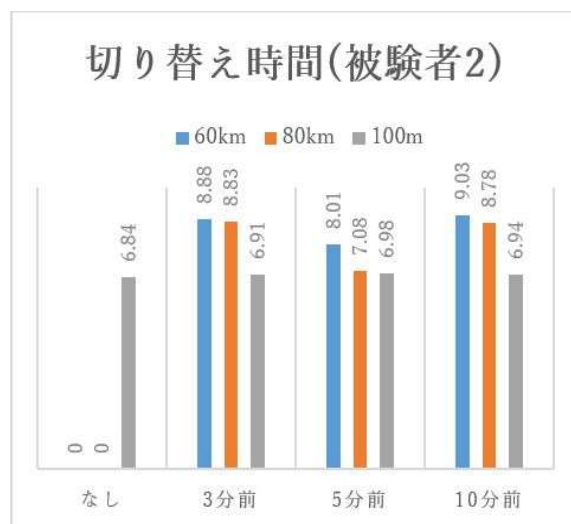


図4.被験者2の切り替え時間

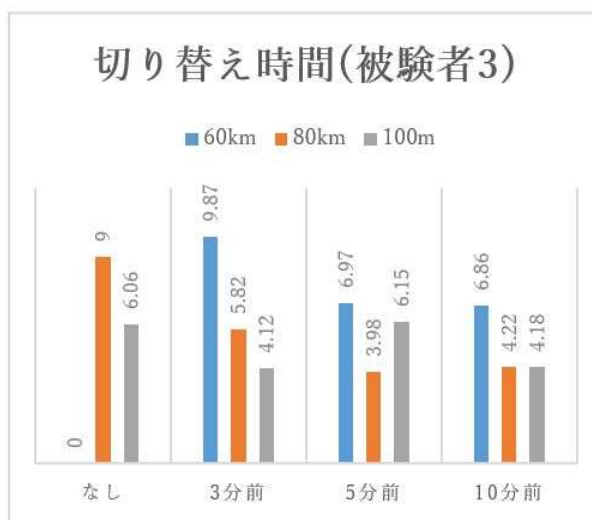


図5.被験者3の切り替え時間

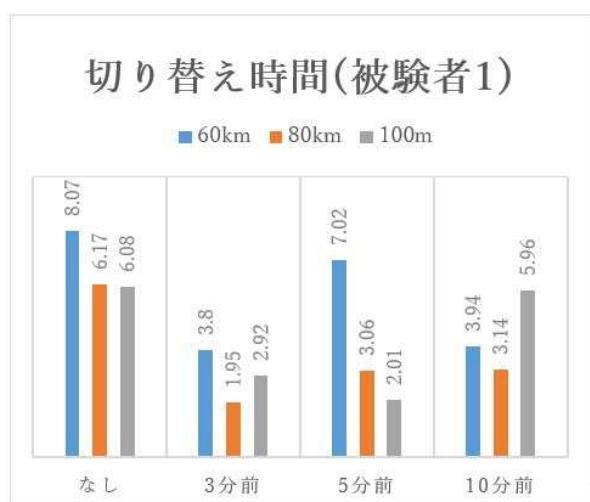


図3.被験者1の視線が戻るまでの時間

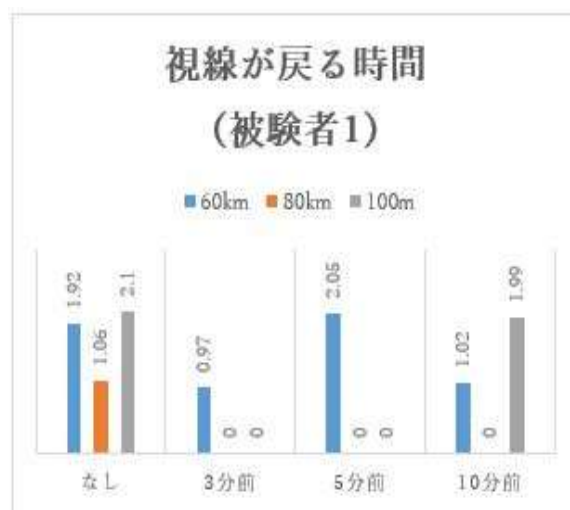


図6.被験者1の視線が戻るまでの時間

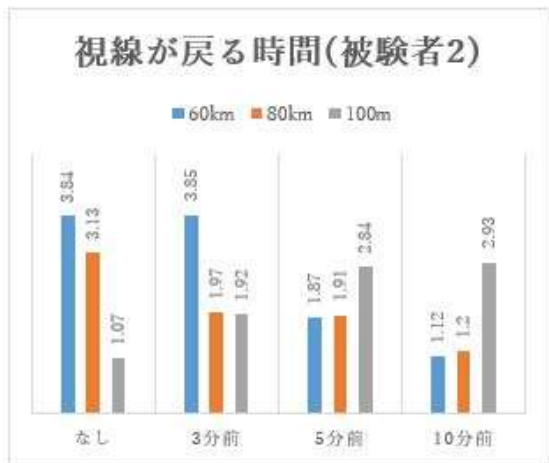


図 7.被験者 2 の視線が戻るまでの時間

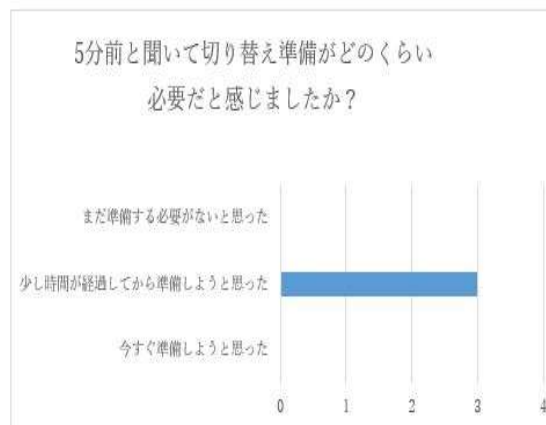


図 9. 被験者が 5 分前と聞いて感じたこと

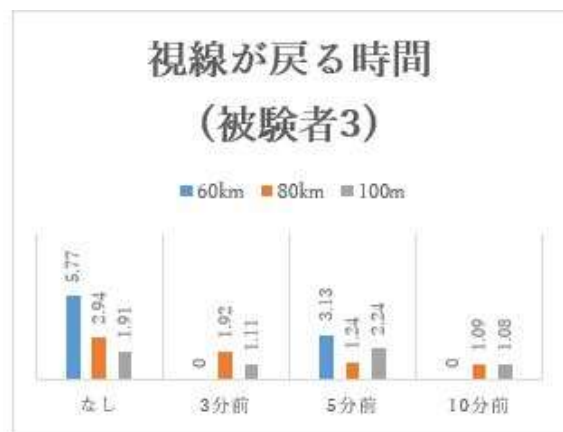


図 8.被験者 3 の視線が戻るまでの時間

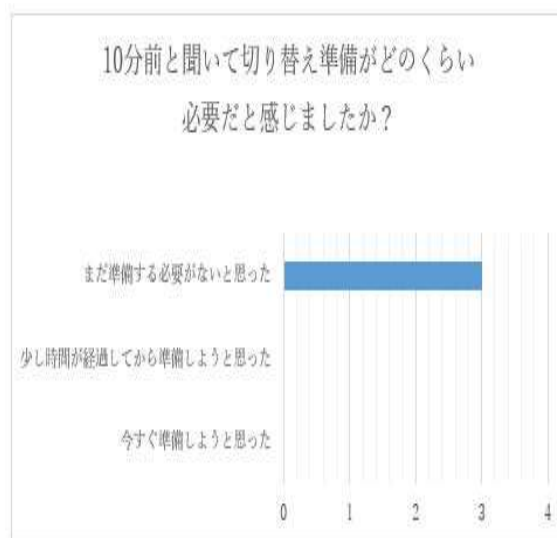


図 11.被験者が 10 分前と聞いて感じたこと

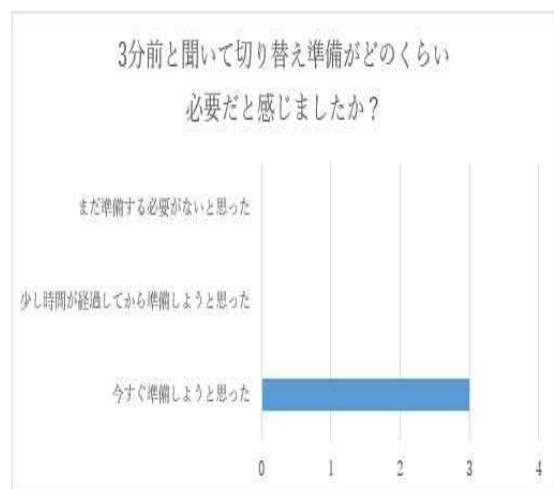


図 9. 被験者が 3 分前と聞いて感じたこと

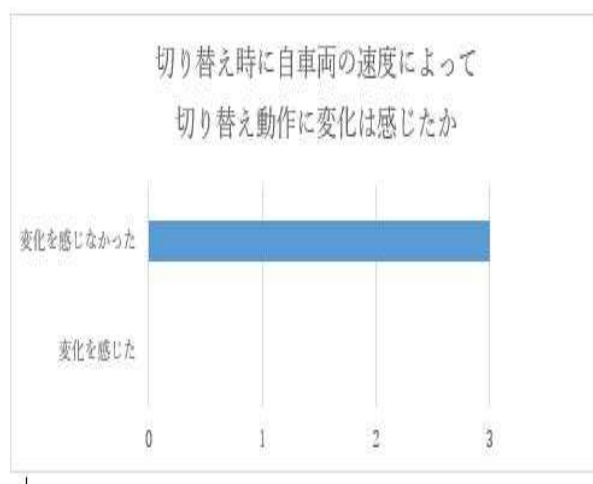


図 12.切り替え時に自車両の速度によっての変化

6. 考察

実験を実施している時の被験者の様子をビデオカメラで録画している。その様子を見ると、今回、評価項目としている切り替え時間はリアリティ性がないとわかった。これは実験に DS を使用しているため、被験者に緊張感を与えることができず、被験者は状況確認不足でも切り替えを行い、逆に携帯電話を操作して、自動運転解除の動作が遅れているにもかかわらず、ゆっくりと手動運転準備をするところが観察されたため、切り替え時間の結果は信憑性がないと言える。

図 12 のアンケートですべての被験者が速度の変化を感じなかったと回答していることや、実験結果が自車両の速度によって変化が感じられない。これは、第 3 節でものべたように、使用した DS に加速度がないことが原因だと考えることができ、これは実験結果に大きく影響したと考えることができる。

提案手法を何分前にやるのが最良なのか実験結果からは得ることができなかった。図 9 のアンケートではすべての被験者が 3 分前では「すぐに準備しようと思った」と回答しているが、5 分前や 10 分前と明確な差が出ることはなかったため、提案手法を適用する適切な時間は実験結果では判明しなかったと言える。

実験結果でも書いた通り、図 3 の被験者 1 の自車両が「60km」の時に視線が提案手法を適用していない場合の方が時間は早くなった。しかし、切り替え時間を見てみると提案手法を適用している方が 1 秒早くなっている。これは視線が戻る時間という反射的な時間は遅れたが、事前に自動運転解除依頼がこの後起こることを認知していたため、状況判断が早く行うことができ、結果的に切り替え時間は早くなったと考えることができる。

実験結果でも述べた通り、図 4 の被験者 2 の自車両が「100km」の時の切り替え時間がほとんど変わらないについては、図 7 の視線の結果を見てわかる通り、提案手法を適用していないときが一番早いことがわかる。これは提案手法を適用していないときに、携帯電話の操作がひと段落つき、携帯電話の操作に集中していないときに、自動運転解除依頼が起こったため、提案手法を適用してなくても、スムーズに切り替えが行えたことがわかる。また被験者 3 は提案手法を適用したときに運転の監視をする動作が見られなかった。被験者 1、被験者 3 では提案手法を適用したときに、運転の監視をする動作が見られ、自動運転解除依頼をしたときに、視線が最初からある状態が見られたが、被験者 2 では視線が最初からある状態が見られず、ずっと携帯電話の操作をしていた。これは上記でも記述した通り、実験環境が DS で緊張感がなかったために、見られた状態なのか、今回の実験では提案手法は最速で 3 分前としており、この 3 分前では運転の準備をする必要があると運転者が思わな

ったのか判断できなかった。提案手法を 3 分前よりも早い 2 分前や 1 分前の実験が必要だと言える。しかし、2 分前や 1 分前に運転者の状態を取得し、権限移譲不可能と判断した場合は路側帯に停車しなければならないので、意味がなくなってしまうので 5 分前や 10 分前との併用を考える必要があると言える。またその複数回の提案手法を適用したときの運転者のストレスも考えなくてはならない。

実験では、提案手法は時間で適用していたが、その適用した時間で権限移譲不可能と判断しても、近くにパーキングエリアがない場合を想定していなかったため、パーキングエリアを想定した実験をする。

7. まとめ

本論文では、高速道路などの自動運転解除場所がわかっている時に、運転者が権限移譲可能なのかを、事前に視線、音声、動作で確認することにより、権限移譲をスムーズに、また権限移譲不可能の状態をなくすための調査を行った。実験を通じて、以下の結果が得られた。

実験環境が DS ということがあり、被験者に緊張感を与えることができず、切り替え時間に関しては信憑性がない。また、被験者に加速度による速度の変化を感じさせることができなかったことが、実験結果に大きく影響を及ぼしていると考えられる。しかし、視線情報は信憑性があり、切り替え時間と視線情報をあわせることにより、実験結果から本論文の提案手法は有用であると示すことができたと考えられる。加速度のある環境での実験をする必要性を感じた。

被験者 2 のように、3 分前の通知でも携帯電話の操作など 2 次タスクをやめない運転者がいることがわかった。また、提案手法を適用する時間で結果に差が出なかったことから、提案手法を適用する最良の時間を導き出すことはできなかった。以上のことから、3 分前よりも早い 1 分前や 2 分前での提案手法の適用する実験が必要だと感じたが、1 分前や 2 分前で運転者の状態を把握したときに、権限移譲不可能と判断した場合、路側帯に停車する必要がある、本論文の主旨とは離れてしまうので、5 分前や 10 分前との併用が必要であり、その場合での提案手法を複数回適用したときの、運転者のストレスも考える必要がある。

本論文では、権限移譲不可能と判断したときに、パーキングエリアなどの駐車場に停車することを目的としていたが、実験ではパーキングエリアなどの駐車場を想定せずに、時間だけで実験をしていたので、パーキングエリアを想定した実験を想定する必要性もある。

参考文献

- [1] 官民 ITS 構想・ロードマップ 2017
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/roadmap.pdf>
- [2] 自動運転事故のまとめ ウーバーやテスラが起こした死亡事故の事例を解説

- https://jidouten-lab.com/y_1615
- [3] 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」, 自動車技術会論文集, Vol50, NO2,p517-523(2019)
- [4] 竹本 雅憲, 内藤 貴博, 塩谷 武司, 北島 洋樹, 中嶋 豊 「高速道路の合流時および退出時における自動運転からの運転交代場面での行動分析」, 自動車技術会論文集, Vol50,No3,p904-910
- [5] Audi MediaCenter
- https://www.audi-press.jp/press-releases/2017/09/20170911_PressText_Audi_A8_traffic_jam_pilot.pdf
- [6] 音声認識に視線や感情, 眠気検知を組み合わせ, より柔軟なエージェントに
<https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1901/15/news045.html>