

レベル3自動運転における運転権限移譲時の覚醒判断手法

森田 一成¹ 橋本 優汰¹ 中屋 拓海¹ 清原 良三¹

概要：自動運転レベル3の実用化が間近である。レベル3では高速道路など限定的な場所でのみ自動運転可能であり、一般道などでは人が運転する必要がある。限定エリアから非限定エリアに出る際には必ず自動車を制御する権限の委譲が発生する。権限を委譲する際には、人が運転できる状態でなければ事故の危険性がある。本報告では、権限移譲に関してそのプロセスを考察するとともに、権限移譲を実施しても良いかどうかの判断手法を提案し、ドライビングシミュレータを利用して検証したので報告する。

How to Confirm Awakening of Driver on Transition from Autonomous Driving to Manual

MORITA KAZUNARI¹ HASHIMOTO YUTA¹ NAKAYA TAKUMI¹ KIYOHARA RYOZO¹

1. はじめに

自動運転に関する技術開発が世界各国で盛んに行われている。自動運転技術により、スムーズな交通流や、交通事故の削減、CO₂の削減が期待されている。自動運転は、表1に示すように Society of Automotive Engineers (SAE) により定義されている [1]。

現時点では、研究開発が進み、法整備の問題が解決でき

ればレベル3の自動運転車両を市場に投入できるような状況 [2] でもあり、近い将来確実にレベル3の車両が市中に登場する。しかしながら、レベル3の運転においても、解決すべき課題は多数ある [3]。その中でも自動車を制御する権限移譲に関しては技術的課題としても大きな要素である [4]。自動運転の権限移譲が発生する中でも、特に自動運転中のシステムからドライバに権限移譲する場合が課題となる。極端な場合では、例えばドライバが寝ているだけでも権限移譲してしまうと事故に直接つながるからである。

権限移譲が発生する場合は、以下の3つの場合に分けられる。

- 自動運転のできる限定エリアから出る場合
- システムの異常などの都合により権限移譲する必要がある場合
- ドライバからの要請で権限移譲する場合

限定エリアから出る場合は、経路があらかじめ決まっているため、どこで権限移譲しなければならないか明確にわかっているが、システムの異常や想定外の周辺状況などはあらかじめわかっているわけではない。

また、ドライバの要請での権限移譲の場合は、ドライバは運転可能状態であることが明確である。緊急時の権限移譲においても最低4秒程度は必要であると実験からも示されている [5]。一方限定エリアから出る場合に関しては以下に示す課題がある。

表1 SAEによる自動運転のレベル定義

レベル	概要	運転主体
0	運転者が全ての運転タスクを実施	
1	システムの車両制御に関わる1つのサブタスクを実施	運転者
2	システムの車両制御に関わる複数のサブタスクを実施	運転者
3	システムのすべての車両制御を限定域内で実施。(必要に応じて運転者介入)	運転者 システム
4	システムのすべての車両制御を限定域内で実施。(運転者介入不要)	システム
5	システムのすべての車両制御をどこでも実施。	システム

¹ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

- システムがドライバの状態を把握すること。
 - システムがドライバを覚醒させること。
 - システムがドライバが覚醒したことを確認すること。
- ドライバが寝ていたり、ゲームや仕事をしているなど数秒で復帰できるかどうかの状態を把握し、限定エリアからでる以前の段階で、ドライバが運転できる状態にする必要がある。運転できる状態にすることを覚醒させると呼ぶことにし、なんらかの手段で覚醒させる。実際に運転できる状態になったかどうかを確認することで、権限移譲ができる。

例えば、この一連のフローがないために、2018年3月18日ウーバーテクノロジーズ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いる。運転席には自動運転システムの稼働状況を監督者も同乗していたが、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た[6]。このような事故を防ぐためにも必須である。

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。この監視の意識低下により、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。

本報告では、覚醒手段としては音声を利用し、そのタイミングに関して提案し、実験評価を行う。

2. 関連研究

ドライバの状態を確認する研究は多数ある。例えば、カメラを利用して視線を監視することにより眠気を検知する手法などは実用化もされている[7]、あるいは、心拍センサを利用した研究もある[8]。このようにドライバの状態を推定する手法は多数研究されており、ドライバの眠気などを防止する研究も実施されており、一定の成果を上げている[9]。また、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も提案されている[10]。

また、我々の先行研究としても、ドライバの状態ごとの危険性とイベントによる状態遷移の整理なども行っており[11]、その中でも位置に依存することに特化した研究も

実施している[12]。

また、ドライバを覚醒する手段としては、以下に示す3点を主に研究がされている。

- 音声によるもの
- 表示によるもの
- 触覚刺激によるもの

音声は、瞬時のブザーなどでは多数の種類があり、なぜ知られているかを認識するのに時間がかかる。声で表現すると読み上げに時間がかかり瞬時に知らせることができない。カーナビなどでの表示は見なければ意味がないが、ヘッドアップディスプレイなどでは見ている可能性が高くなるが、自動運転中で別のことをしていると難しい[13]。触覚刺激も種類が増えると難しい[14]が、これらを組み合わせることで覚醒させることができると思われる。

また、覚醒のタイミングに関しても、眠気から起こすためのタイミングに関する研究[15]があるが、眠気だけであり、レベル3の自動運転を対象としたものでもない。

レベル3を対象とした研究として、手動運転への切り替えの情報をドライバに伝えてから何秒後なら覚醒できて安全に切り替えたかという実験結果も報告されている[16]。この報告で10秒あったとしても事故が起きる場合があるとされ、覚醒されたかどうかの判断が重要であることを示している。

また、高速道路への合流や退出時が権限移譲時であることから、退出時のドライバの行動分析の研究もある[5]。この研究では、ドライビングシミュレータを利用して、手動運転時との行動の違いを明確にして、余裕時間が違うことによる影響を分析している。しかしながら、覚醒しているかどうかの判断などはしていない。

そこで、本研究では自動運転レベル3を対象とした覚醒手法として、特にタイミングに関する提案と評価を行う。

3. 基礎実験と評価

自動運転から手動運転への権限移譲の起こる場所は、以下のような場所が想定できる。

- 自動車専用道路の出口
- 一般道での歩車分離エリア内から分離エリア外への出口
- 各種センサなどのインフラ設備の整ったエリア（一般道、駐車場など）からそのエリア外への出口

この中で、一般道や駐車場の場合は、路側に停止することなども可能であり、手動運転ができてないと判断すると自動車を停止させるということが比較的容易に自動的にできると考える。自動車専用道では、退出口で停止するのは危険であるし、退避可能な場所がある場合とない場合がある。また、経路案内しているため、自動車専用道上では、手動運転可能かどうかを判断しやすく、また路側帯やパーキングエリアでの停止も可能であることを考えると、まずは自

自動車専用道を想定した。

自動車専用道で、経路案内上で手動運転に切り替える必要が生じた際に、権限移譲のプロセスを実行し、権限移譲できないと判断した場合には、図1に示すようにパーキングエリアに退避し停止する。適切なパーキングエリアがない場合には、路側帯に停止する。ドライバが手動運転に自らの行動で切り替えればその時点から手動運転となる。

経路案内上で、権限移譲を実施する必要がある場合に事前に以下のフローを実施する(図2)。

- (1) 視線検知、心拍などドライバのモニタリングの情報に基づき、覚醒状態かどうかを判断する。(判断できない場合は覚醒していないと判断する。)
- (2) 音声により、覚醒を促す。
- (3) 覚醒されたかどうかをペダル、ステアリングの操作状

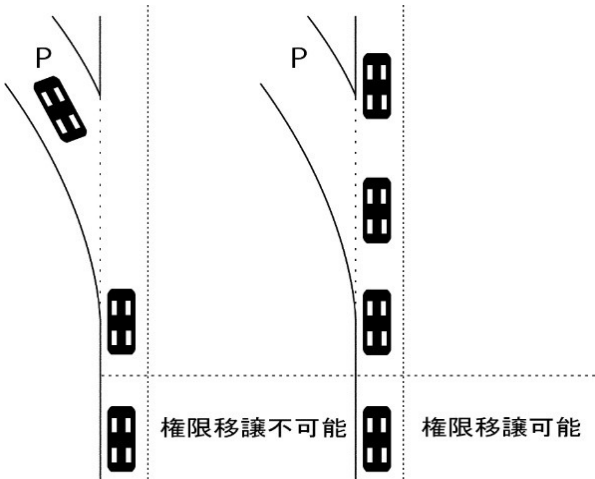


図1 権限移譲不可不可走行イメージ

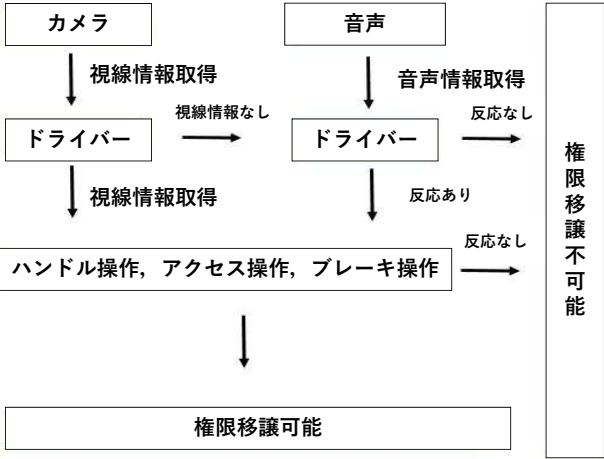


図2 権限移譲プロセス

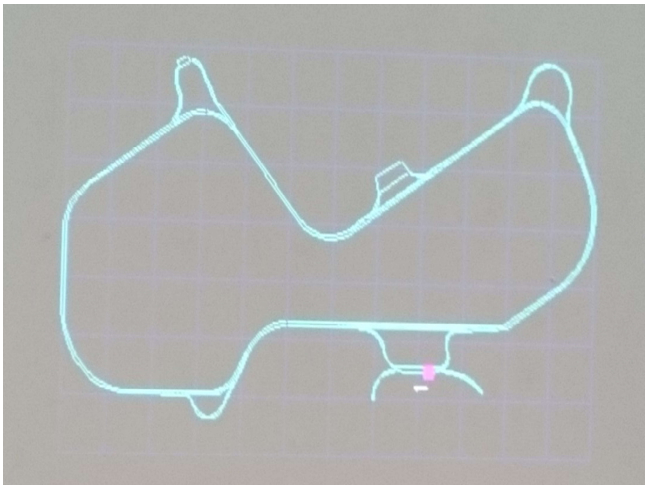


図3 実験コース

況において判断する。

- (4) 権限移譲と判断すれば、権限を委譲する。

これらのフローのうち、覚醒を促すタイミングおよび覚醒判断に関して基本的な実験を行った。覚醒を促す音声後、覚醒できる時間までをドライビングシミュレータで計測した。自動運転中で自動車専用道を想定するため時速60km走行、80km走行、100km走行する。それぞれの場合で、覚醒を促した後、運転可能状態になるまでの時間を測定する。その際、実際に権限移譲しなければならない場所まで10秒、3分、5分、10分のそれぞれで実施した。なお、被検者は覚醒を促されてから実際に権限移譲しなければならないまでの時間を知っている状態で実施した。走行コースを図3に示す。このコースを15分程度自動走行してから覚醒を行った。

被検者は、表2に示す3名である。被検者は、自動運転走行確認後、携帯電話の操作を実施。実験は3時間程度実施したが、疲労による影響を防ぐため、1時間以内の実施後、十分な休養を取る形で合計で3時間になるように実施した。また実施の様子はビデオカメラで撮影することにより被検者の操作状況などを確認した。

具体的には、覚醒するための声をかけて、視線が前方を見るまでの時間を測定した。ドライバは携帯電話操作中であり、かつ実際に権限移譲まで時間があることがわかってるため、個人差がでることを想定している。

図4に視線が戻るまでの時間を、図5に切り替えに要した時間を示す。

表2 基礎実験被検者

	性別	年齢	運転免許年数
被検者1	男	23	1年
被検者2	男	22	3年
被検者3	男	23	4年

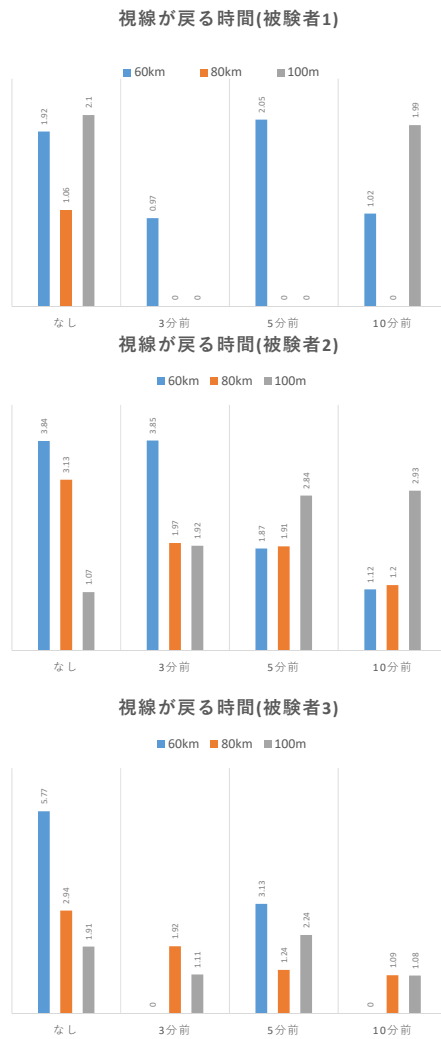


図 4 基礎実験の結果（視線が戻るまでの時間）

この結果の中で、視線が戻るまでの時間 0 は、覚醒させる音声を出すときに既に視線が前方を見ていた場合を示す。また切り替え時間の 0 は切り替えに 10 秒以上を要しており、結果として切り替えしなかったことを示している。

この結果は、ドライビングシミュレータを利用しているため緊張感欠如のバイアスがかかっている。また自動運転のために走行速度の違いがドライバに伝わらず、速度による違いが見られていない。これは加速度の影響は、風切り音など臨場感が実際とは異なることに起因する。携帯電話でのタスクは操作の切れ目までの時間で、権限移譲のための切り替え動作と関係が深いことが被験者へのインタビューからも読み取れた。つまり、覚醒の音声などトリガはわかっても、覚醒するかどうかはその時に何をしているかにかなり依存すると考えられる。また個人ごとの意識による差も大きい。

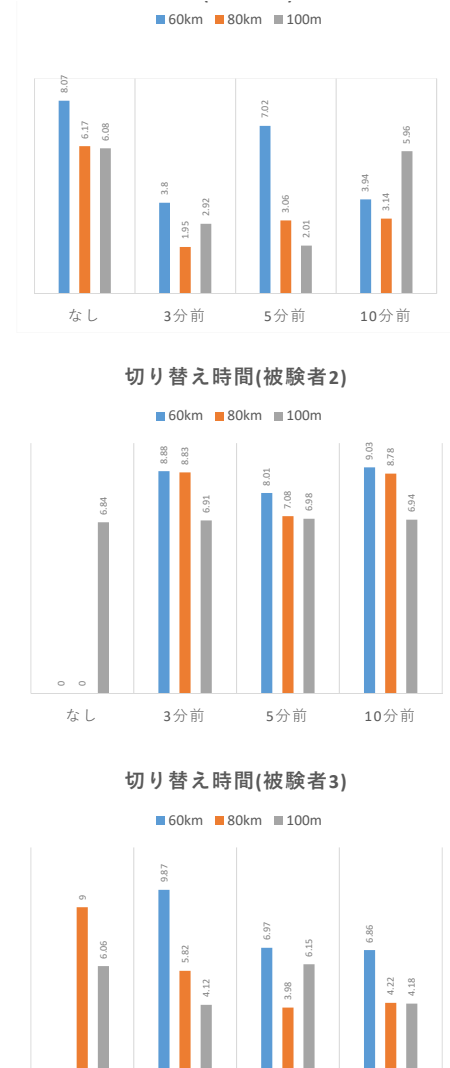


図 5 基礎実験の結果（切り替え時間）

4. 提案手法

覚醒にあたっては、一時的に声で通知するだけでは意識の差と実際に何をやってるかに依存して、覚醒が間に合わないことがあるため、音声はカウントダウン式にし、逼迫感を与えることにより個人の感覚の差や、ほかのタスクを実施していても中断するという意識を出させることにする。一方で、カウントダウンにすることで、うっとおしきが出るのが避けるため、カウントの間隔は直前までは間隔をあける方式とする。

判断のプロセスは基礎実験から図 6 に示すような方式に変更する。

ゲームやメールなどのサブタスクは、信号の停止時間ではちょっと足りない程度であることが多いため、3 分前からカウントダウンすることで、権限移譲のリミットまでには新し場面に入ることなく中断しやすい場面になると考え

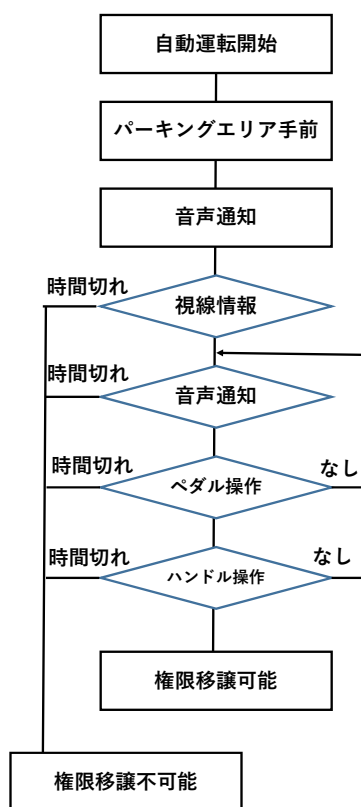


図 6 提案方式の覚醒判断プロセス

られ、3 分前から 1 分ごとのカウントダウンで十分である。一方直前には、30 秒前、10 秒前から秒読みスタイルとすることにした。いわゆる将棋や囲碁の秒読みと同じである。

さらに、タスクの種類の影響も考え、タスクとして長いゲームや短いゲーム、読書、動画視聴といったタスクを表 3 に示すように設定した。

被検者は、自動運転の走行中に、表 3 のいずれかのタスクを実施してもらい、覚醒のためのカウントダウン開始されたら、きりが良いところがタイムリミットまでに手動運転への切り替えを実施するように依頼した。また、基礎実験と同じコースで、基礎実験の結果から自動運転中は走行速度にはあまり関係しないことから、走行速度は 80km のみ実験を実施した。提案方式での切り替えるまでの時間を図 7 示す。

表 3 実験対象アプリ

タスク	特徴
長いゲーム	10 分以上時間がかかるゲーム
短いゲーム	2 分以下で終了するゲーム
読むこと	本やメール、SNS を使ったタスク
動画視聴	映像コンテンツを使ったタスク

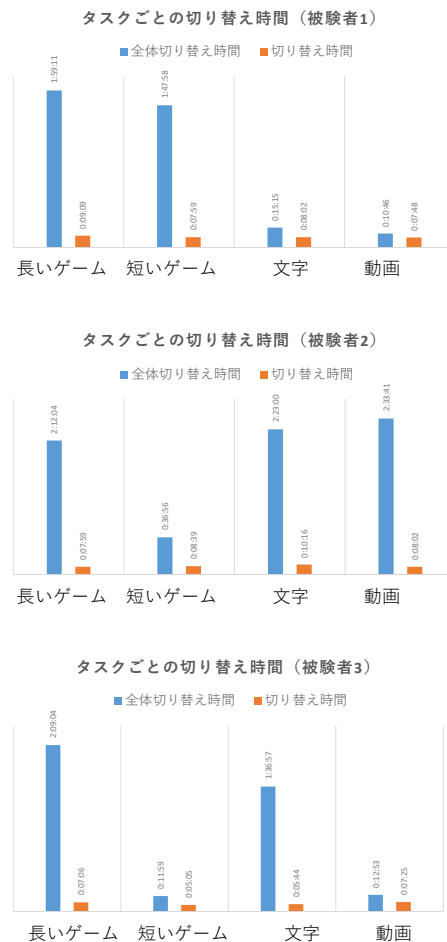


図 7 提案方式での切り替え時間

基礎実験時に比べ、切り替えに時間を要していることがわかる。これはカウントダウンであるがための余裕を感じた結果と考えられる。実用上は問題のない行動である。動画や長く続くゲームなどにおいては個人ごとにどこで切り替えるが決まるが、短いゲームなどでは、切れ目で切り替えれば済んでいる。カウントダウンにすることにより、ドライバに危機感と安心感を与えている。

その結果、最終の動作確認が完了しているかどうかの確認とカウントダウンの警告音が需要であるため、さらに詳細実験を行った。

5. 詳細実験

基礎実験から 30 秒程度の切り替え確認時間を余裕時間とし、カウントダウンすること方式とし、確認できなかった場合には、自動運転でパーキングエリアまたは路側帯への駐車を誘導することとした。カウントダウンの効果の有無を調べるため、カウントダウン警告音がある場合とない場合の比較を行った。また、最終の確認は、視線とステアリ

ングを握る圧力で判断した。

基礎実験同様に被検者3名であるが、うち2名は異なる被検者に実施してもらった。初めて経験する被検者は、切り替え準備が早く、3回目となる被検者は、ぎりぎりまで実施しない。つまり慣れも影響する要素である。結果を図8に示す。

この結果、ほぼ全員が確実に覚醒できて覚醒判断まででできることがわかる。もちろん睡眠などの場合ではなく、別の作業をしているような場合に限られる。音声のあるなしの違いはある場合とない場合がある。音声によって、危機感がつの場合と逆に安心する場合があり、これらは個人差によるものと考える。カウントダウンの音があれば安心できるが、なければ、早めの動作をするものの、慣れている被検者を見ると、ぎりぎりまで切り替えをしないため危険と隣り合わせともいえ、カウントダウンの警告がある方

が望ましいことがわかる。

6. おわりに

自動運転から手動運転への権限移譲の発生する自動運転レベル3を想定し、安全に権限移譲するためのドライバへの警告の発生のタイミングと覚醒したかどうかを判定するタイミングに監視を提案した。結果として、警告を発するタイミングなどは、経験、実際にやってる別作業などに依存するところが大きいものの、警告をカウントダウンにすることにより、安全に権限移譲することができることがわかった。

今後さらに、確実に覚醒させる手法およびドライバの状態を判断する精度の向上を図る必要がある。また、サブタスクを携帯電話の操作に限らず想定できるあらゆるもので実験する必要がある。特に夢中になるような事象および、簡単に手を離さないような場合を網羅する必要がある。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16K001443 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] SAE, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles," Ground Vehicle Standard J3016_201806, 2018
- [2] 清水直茂, "レベル3 実現に冗長系や LiDAR、Audi が自動運転の先駆者に," <https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/mag/15/397260/080200185/> (accessed 2020/04/12)
- [3] 井熊均, 井上岳一, "「自動運転」ビジネス 勝利の法則-レベル3をめぐる新たな攻防-", 日刊工業新聞社 (B&T ブックス), 2017
- [4] UNECE : WP29, Regulation No.79 Automatically Commanded Steering Function (ACSF), Results of the Study on ACSF Transition Time (ACSF-04-15), <https://wiki.unece.org/display/trans/ACSF+4th+session>, (accessed 2020/04/12).
- [5] 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, Vol.50, No.3, pp.904-910 (2019)
- [6] 下山哲平, "【最新版】自動運転の事故まとめ ウーバーやテスラの死亡事故、日本の事例を解説," 自動運転ラボ, https://jidounten-lab.com/y_1615 (accessed 2020/04/13)
- [7] 今井章博, 小栗宏次, "居眠り運転時の特徴的な眠気推移傾向を組み込んだ眠気レベル推定手法の提案," 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J96-D, No.4, pp.1012-1019, 2013
- [8] C. V. Anilkumar, M. Ahmed, R. Sahana, R. Thejashwini and P. S. Anisha, "Design of drowsiness, heart beat detection system and alertness indicator for driver safety," 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), pp. 937-941.
- [9] 毛利佳之, 川口雅人, 小島茂也, 山田宗男, 中野倫明, 毛利佳年雄, "居眠り運転防止に関する睡眠リバウンドのない磁気刺激による覚醒保持効果," 電気学会論文誌 C, Vol.136, No.3, pp. 383-389, 2016
- [10] Nuance Communications, Inc., "Nuance Automotive Advances Humanized User Experience for the Digital Car of the Future," <https://investors.nuance.com/>

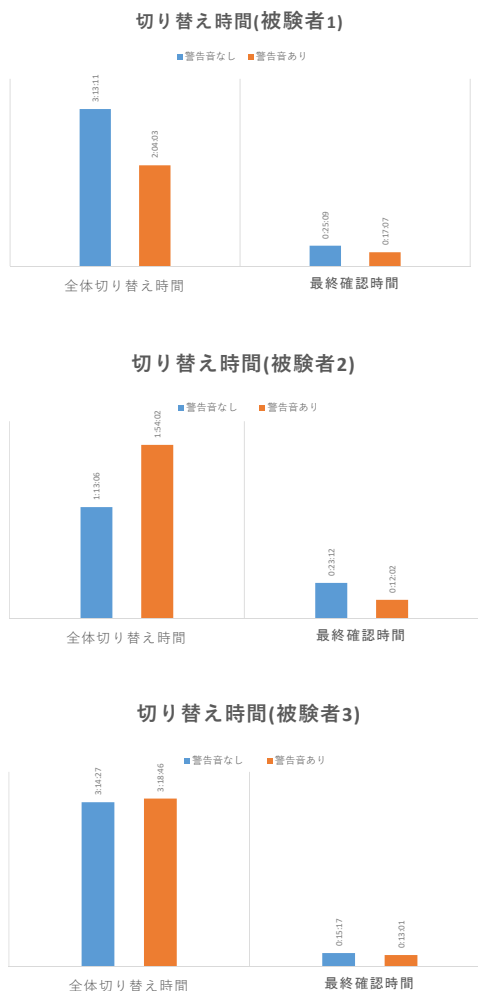


図 8 詳細実験での切り替え時間と覚醒判断時間

- investors/news/press-release-details/2018/Nuance-Automotive-Advances-Humanized-User-Experience-for-the-Digital-Car-of-the-Future/default.aspx (accessed 2020/4/13)
- [11] Yuki Chigira, Yuichi Tokunaga, Ryozi Kiyohara, " A study of driver's contexts for visibility of equipment on vehicle, " IWIN(Internal Workshop on Infrmatcs), 2017
- [12] 松山聖路, 徳永雄一, 清原良三, " 認知地図の構築過程に着目したスマートフォンによる運転者の地点把握度推定手法, " 情報処理学会論文誌 Vol.58, No.10, pp.1606-1616, 2017
- [13] 阿部晃大, 古谷涼, 伊東敏夫, " 自動運転時のドライバ覚醒維持を目的とした 各種タスク効果の脳波解析による比較, " 自動車技術会論文集 Vol.49. No.2, pp.422-427, 2018
- [14] 鈴木彰真, 菱田勇弥, 村田嘉利, " 座面アクチュエータを用いた臀部触覚による自動車の周辺情報通知, " 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, " Vol.8, No.1, pp.39-47, 2018
- [15] 沼田仲穂, 北島洋樹, 五井美博, 山本恵一, " 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究 : 第 2 報, 眠気変動の予測と居眠り警報タイミングの決定, " 日本機械学会論文集 C 編, Vol.63, No.613, pp. 3067-3074, 1997
- [16] 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, Vol.50, NO.2, pp.517-523, 2019