

# 車両走行環境を考慮した自動運転の 段階的引き継ぎ要求のシミュレーション検討

林 聡一郎<sup>1</sup> 田中 佳輝<sup>1</sup> 佐藤 健哉<sup>1</sup>

概要：近年、自動運転レベル3を目指し、メーカーや技術者が取り組んでいる。自動運転レベル3では、ドライバが常に道路の見る必要はなく自動で運転可能である。しかし、システムが動作限界に達した場合は、ドライバが運転の引き継ぎ要求 (TOR : Take Over Request) に応答して、運転を引き継ぐ必要がある。しかし、運転の引き継ぎ要求の提供だけでは交通状況や天候、時刻といった車両走行環境によっては、運転を引き継ぐのに十分な余裕がない可能性がある。そこで、本研究では運転の引き継ぎの要求が発生するかもしれない可能性がある時に、運転の引き継ぎ要求の前に可変のタイミングで事前通知を提供することで、ドライバの視線を道路に向けて道路状況を十分に確認できるようにして運転の引き継ぎ要求に備えられるようにする段階的引き継ぎ要求を提案する。ドライビングシミュレータを用いて評価を行なった結果、事前通知は必要であり、事前通知のタイミングを可変する必要があることを示し、安全でドライバのストレスが少ない事前通知の提案手法のタイミングを示した。さらに、事前通知のタイミングについて提案手法のタイミングと関連研究のタイミング、事前通知がない場合のドライバの余裕とストレス、ブレーキの踏み方を比較して、実験シナリオとドライバの特性によっては提案手法のタイミングの方が向上することを示した。

## Simulation Evaluation of Automated Driving Gradual Take Over Requests Considering Vehicle Driving Environment

SOICHIRO HAYASHI<sup>1</sup> YOSHIKI TANAKA<sup>1</sup> KENYA SATO<sup>1</sup>

### 1. はじめに

#### 1.1 背景

自動運転車は車両の安全や、渋滞などに有益な影響を与える可能性がある [1] ののである。現在では、SAE が自動運転を5つのレベルで定義 [2] している。近年は、自動運転レベル3を目指し、メーカーや技術者が開発や研究に取り組んでいる。自動運転レベル3では、ドライバが常に道路の見る必要はなく自動で運転可能である。しかし、システムが動作限界に達した場合は、ドライバが運転の引き継ぎ要求 (TOR : Take Over Request) に応答して、運転を引き継ぐ必要がある。

自動運転レベル3の運転の引き継ぎに関しては、運転の引き継ぎの要求が発生するかもしれない状況 (横断歩道、工事現場等に近づく) になった時に、MR(Monitoring

Request) を提供することによって、あらかじめ視線を道路に向けて、引き継ぎ要求に備える手法 [3] や2段階の運転の引き継ぎを行う手法 [4]、聴覚、視覚、触覚の組み合わせによる警告で運転の引き継ぎを行う手法 [5] などがある。

自動運転レベル3の手法の運転の引き継ぎ要求のタイミングについては、時間予算5~7秒がよく使用 [6] される。しかし、運転の引き継ぎ要求の提供だけでは交通状況や天候、時刻といった車両走行環境によっては運転を引き継ぐのに十分な余裕がなく、ドライバのストレスや事故につながる可能性がある。また、段階的引き継ぎ要求として、引き継ぎ要求の前に固定のタイミングで事前に通知を提供した場合も同様に、交通状況や天候、時刻といった車両走行環境によっては運転を引き継ぐのに十分な余裕がなく、ドライバのストレスや事故につながる可能性がある。

<sup>1</sup> 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

## 1.2 目的

本研究では、運転の引き継ぎの要求が発生するかもしれない可能性がある時に、天候、時刻、交通状況といった車両走行環境を考慮して運転の引き継ぎ要求の前に可変のタイミングで事前通知を提供することで、ドライバの視線を道路に向かせて道路状況を十分に確認できるようにして運転の引き継ぎ要求に備えられるようにして、ドライバの余裕とストレス、ブレーキの踏み方を向上させることが目的である。

## 2. 関連研究と問題点

関連研究として、安全で効率的な引き継ぎのために運転手の準備を改善することを目的として、背景にて述べた運転の引き継ぎの要求が発生するかもしれない状況(横断歩道、工事現場等に近づく)になった時に、MRを提供することによって、あらかじめ視線を道路に向かせて、引き継ぎ要求に備える手法が提案されている。MRと引き継ぎ要求の条件では、横断歩道の12秒前にMRを提供し、道路を横断する歩行者がいた場合は、MRの提供から7秒後に運転の引き継ぎ要求を提供した。事前通知がない場合の条件では、車両が歩行者と衝突する5秒前に運転の引き継ぎ要求が提供された。結果としては、MRと引き継ぎ要求の条件の方が運転の引き継ぎ要求に対する応答時間が短く、衝突までの最小時間が長くなる利点を示した。

しかし、この手法には問題点が2つある。1つ目は、実際の運転時に存在する交通状況や天候、時刻といった車両走行環境が考慮されていないことである。もう一つは、MRのタイミングが必ず衝突12秒前に固定されており、安全やドライバのストレスを考慮したタイミングではないことである。

## 3. 提案手法

### 3.1 概要

本研究では、関連研究のMRの問題点として、交通状況や天候、時刻といった車両走行環境を考慮せず、MRのタイミングが固定されていた問題点を解決した事前通知を提供する。よって、自動運転中にドライバが作業を行なっている時に自動運転では対応できずドライバが運転の引き継ぎ要求に回答しなければならない可能性がある状況の時に、運転引き継ぎ要求より事前に交通状況や天候、時刻といった車両走行環境を考慮した安全でドライバのストレスが少ない可変のタイミングで通知を行う事前通知を提供し、ドライバの視線を道路に向かせて道路状況を十分に確認できるようにして運転引き継ぎ要求に備えられるようにする段階的引き継ぎ要求が提案手法である。

### 3.2 提案手法の具体例

提案手法の具体例として、周りの車の位置と速度情報を

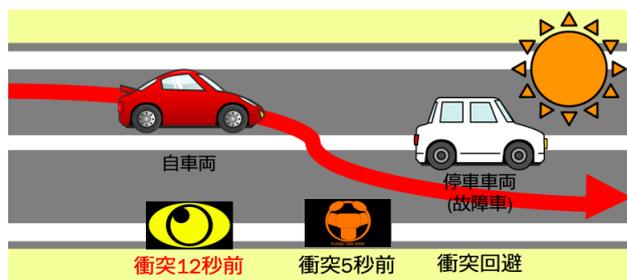


図1 見通しが良い晴れかつ昼間の時

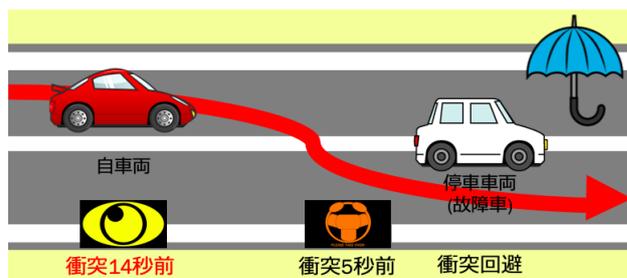


図2 見通しが悪い雨かつ夜間の時

把握している前提で自車両が前方にある故障して停車している車両に衝突する可能性がある場合について挙げる。自動運転中にドライバが作業を行っている時に、交通状況が変化し運転の引き継ぎ要求が発生する可能性がある時に、ドライバの視線を道路に向かせて道路状況を十分に確認できるように、図1のような道路の見通しが良い天候が晴れかつ時刻が昼間の時は衝突12秒前に事前通知を提供し、逆に、図2のような道路の見通しが悪い天候が雨かつ時刻が夜間の時はより早めの衝突14秒前に事前通知を可変のタイミングで提供する。このように、安全でストレスが少ない事前通知のタイミングで事前通知を提供してドライバが運転の引き継ぎ要求に備えられるようにし、自動運転システムが動作限界になり運転の引き継ぎ要求が発生した時に停車車両との衝突回避を行えるようにする。

## 4. 実験

### 4.1 実験環境

本研究では、図3フォーラムエイト社の3次元リアルタイム・バーチャルリアリティソフト UC-win/Road[7]を用いたドライビングシミュレータを使用する。ドライビングシミュレータでは、車両走行環境や事前通知、引き継ぎ要求を仮想的に実装でき、運転時のレーキの踏み具合等のログを取ることができる。

また、実験協力者は20人で、男性が15人、女性が5人である。平均年齢が24.6歳で平均免許取得年数が5年2.5ヶ月である。

### 4.2 実験手順

実験は、実験協力者を募集して実験協力者を募る。そし



図 3 ドライビングシミュレータ

て、ドライビングシミュレータがある研究室で実験の概要を説明した後に、実験協力者は事前アンケートの記入にする。

事前アンケートの質問項目を以下に示す。体調、眠気の有無、安全運転をしているかは5段階評価である。

- 年齢
- 性別
- 免許取得年数
- 体調
- 睡眠時間
- 眠気の有無
- 一週間にどのくらいの時間車に乗っているか
- 安全運転をしているか
- ドライビングシミュレータに乗ったことがあるか
- 実験で自動運転中に何の作業をするか

次に、ドライビングシミュレータの練習を行った。ドライビングシミュレータの練習では、アクセル、ブレーキ、ハンドル、ギア、ミラー、車幅感覚等を確認した。また、バイクを回避する場面で車線変更の練習を行い、パトカーと並走する練習で車両の速度を一定に保つ練習を行なった。夜間に雨が降っている場面では、ライトをつける練習とワイパーを開始する練習を行った。次に、自動運転から手動運転に切り替える練習を行なった。

練習が終了すると、その次に実験を行った。

さらに、実験後に追加でアンケートを行った。質問項目を以下に示す。運動が得意か、反射神経（刺激に関して瞬間的に反応する能力）はどの程度かは5段階評価である。

- 運動が得意か
- 反射神経（刺激に関して瞬間的に反応する能力）はどの程度か
- いままでしてきたスポーツの競技名と年数の記入

### 4.3 実験シナリオ

実験シナリオの走行開始場所は2車線のうち左側の車線であり、速度は50km/hで自動運転の走行が開始する。自動運転中は速度を50km/hに維持する。自動運転中は、実

表 1 各実験シナリオの交通状況と天候、時刻

実験シナリオ	交通状況	天候	時刻
停車晴れ	前方の故障車(停車車両)をドライバが回避	晴れ	昼間
停車雨	前方の故障車(停車車両)をドライバが回避	強い雨	夜間
緊急晴れ	後方の緊急車両(パトカー)をドライバが回避	晴れ	昼間
緊急雨	後方の緊急車両(パトカー)をドライバが回避	強い雨	夜間

験協力者にスマートフォンの操作や食事等の作業を行う。

実験シナリオは、停車晴れ、停車雨、緊急晴れ、緊急雨の4つのシナリオを用意した。停車晴れとは、交通状況は故障車（停車車両）が道を塞いでいて、自動運転では対応不可能で人間の運転でなければ追い抜けない状況で、天候は晴れで、時刻は昼間のパターンである。停車雨とは、交通状況は故障車（停車車両）が道を塞いでいて、自動運転では対応不可能で人間の運転でなければ追い抜けない状況で、天候は雨で、時刻は夜間のパターンである。緊急晴れとは、交通状況は緊急車両が後ろから接近し、左に自車両を幅寄せする必要がある自動運転では対応不可能で人間の運転でなければ追い抜けない状況で、天候は晴れで、時刻は昼間のパターンである。緊急雨とは、交通状況は緊急車両が後ろから接近し、左に自車両を幅寄せする必要がある自動運転では対応不可能で人間の運転でなければ追い抜けない状況で、天候は雨で、時刻は夜間のパターンである。表1は、それぞれ4つのシナリオの交通状況と天候、時刻をまとめた表である。

各シナリオには、事前通知があるパターンとないパターンがある。事前通知がある場合は事前通知のタイミングを衝突17~7秒前に1秒刻みで設定する。実験では合計48回の走行を行う。

#### 4.3.1 事前通知がある場合

事前通知を各実験シナリオそれぞれで提供する。

まず、故障車（停車車両）が道を塞いでいて、人間の運転でなければ通り抜けられない自動運転システムでは対応不可能な状況の動作手順を図4に示す。

次に、緊急車両が後ろから接近し、左に自車両を幅寄せする必要がある自動運転システムでは対応不可能な状況の動作手順を図5に示す。

また、各実験シナリオの実験の様子を図6,7,8,9に示す。

各実験シナリオのアンケートの質問項目を以下に示す。総合的に事前通知（目のマーク）のタイミングはどうか、余裕を持って運転を引き継げたか、事前通知（目のマーク）のタイミングにどのくらいストレスを感じたかは5段階評価である。

- 車両と衝突したか
- 総合的に事前通知（目のマーク）のタイミングはどうか
- 余裕を持って運転を引き継げたか
- 事前通知（目のマーク）のタイミングにどのくらいス

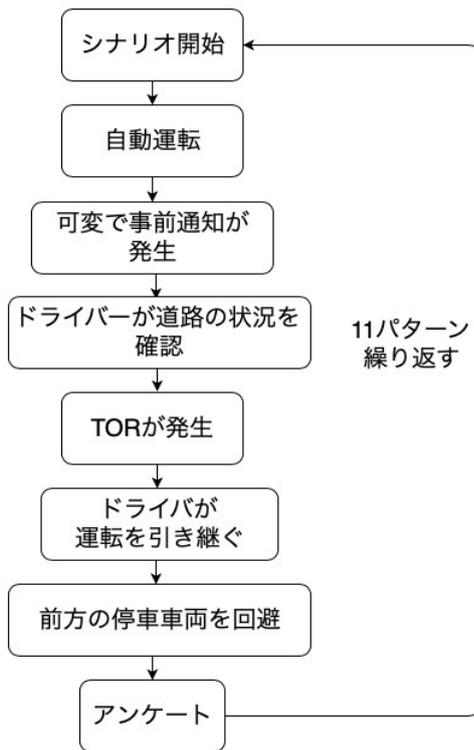


図 4 前方に停車車両がある場合の動作手順

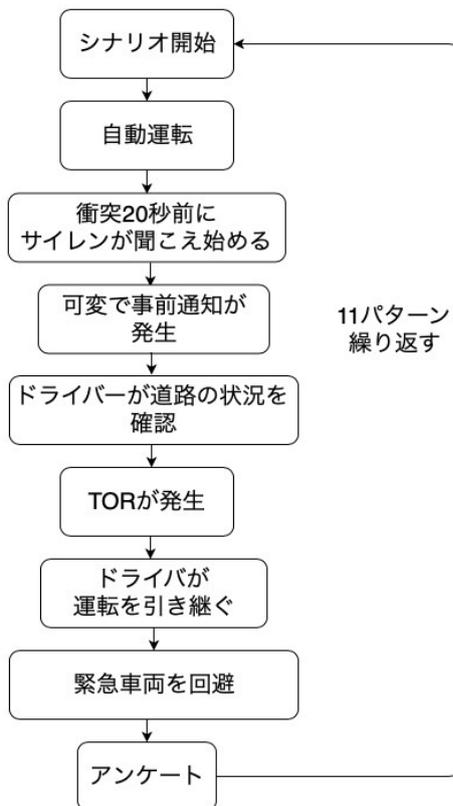


図 5 後方から緊急車両が接近する場合の動作手順

トレスを感じたか

#### 4.3.2 事前通知がない場合

事前通知がない場合は、上記と異なり事前通知がないパターンである。よって、上記の動作手順と実験の様子から

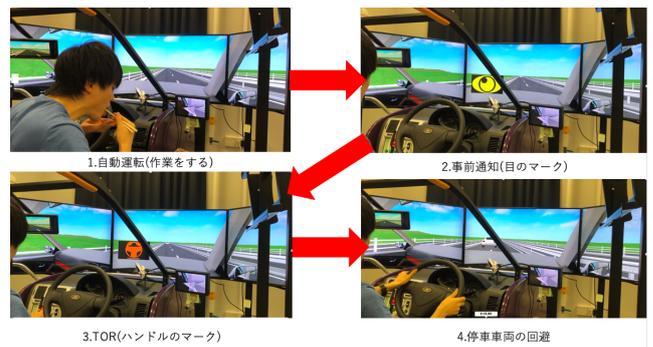


図 6 停車晴れの実験の様子



図 7 停車雨の実験の様子

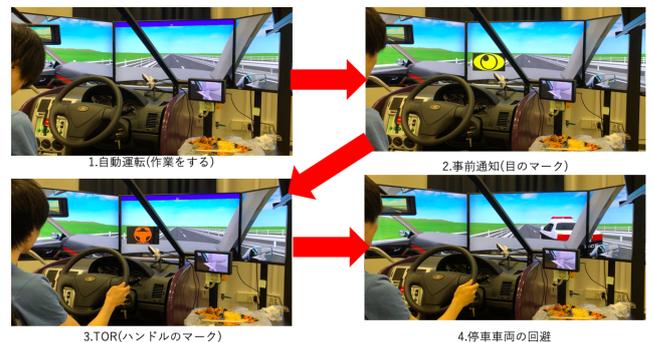


図 8 緊急晴れの実験の様子



図 9 緊急雨の実験の様子

事前通知の部分省いたものである。アンケートについては、事前通知がある場合と異なる。事前通知がない場合のアンケートの質問項目を以下に示す。余裕を持って運転を引き継げたか、事前通知（目のマーク）がない方がストレ

表 2 ドライバの特性の項目と分類

分類	ドライバの特性	分類	ドライバの特性
1	免許取得から3年以上	4	運動が得意
	免許取得から3年未満		運動が苦手
2	普段車を運転している	5	眠気がある
	普段車を運転していない		眠気がない
3	男性		
	女性		

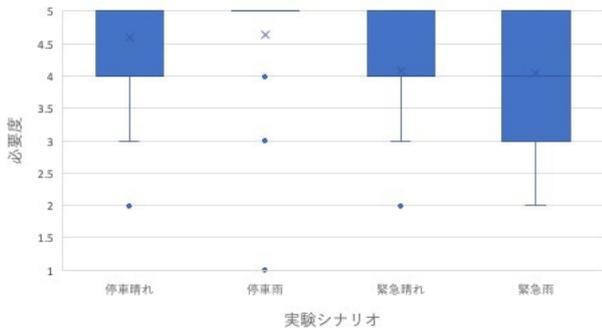


図 10 事前通知の必要性

スを感じたか、事前通知（目のマーク）がある方が良いと感じたかは 5 段階評価である。

- 車両と衝突したか
- 余裕を持って運転を引き継げたか
- 事前通知（目のマーク）がない方がストレスを感じたか
- 事前通知（目のマーク）がある方が良いと感じたか

## 5. 評価

### 5.1 評価方法

事前アンケートで、実験協力者は免許取得年数が 3 年以上か 3 年未満か、普段車を運転しているかしていないか、男性か女性か、運動が得意か苦手が、眠気があるかないかといった実験協力者のドライバの特性を調査したので、これらの項目を元に実験協力者の実験データを区分し、分類して評価する。表 2 に、ドライバの特性の項目と分類した表を示す。

### 5.2 評価内容

まず、事前通知の必要性の検討と事前通知のタイミングを可変する必要性を評価する。そして、事前通知の必要性があり、事前通知のタイミングを可変する必要がある場合は、車両走行環境を考慮した安全でストレスが少ない事前通知の可変のタイミングを評価する。さらに、提案手法のタイミングと関連研究のタイミング、事前通知がない場合のドライバの余裕とストレス、ブレーキの踏み方を比較する。

## 6. 評価結果

### 6.1 事前通知の必要性

事前通知の必要度についてまとめた図を図 10 に示す。

表 3 実験シナリオごとに支持度が高い事前通知のタイミング

	停車晴れ	停車雨	緊急晴れ	緊急雨
実験協力者のデータ(全員)	12秒	14秒	15秒	13秒

表 4 ドライバの特性ごとに支持度が高い事前通知のタイミング

分類	ドライバの特性	停車晴れ	停車雨	緊急晴れ	緊急雨
1	免許取得から3年以上	12秒	12秒	12秒	13秒
	免許取得から3年未満	16秒	13秒	13秒	12秒
2	普段車を運転している	12秒	12秒	15秒	11秒
	普段車を運転していない	16秒	14秒	15秒	13秒
3	男性	13秒	11秒	14秒	13秒
	女性	15秒	14秒	15秒	14秒
4	運動が得意	16秒	14秒	17秒	13秒
	運動が苦手	12秒	12秒	15秒	13秒
5	眠気がある	14秒	12秒	15秒	14秒
	眠気がない	13秒	14秒	15秒	13秒

### 6.2 支持された事前通知のタイミング

事前通知がある各実験シナリオで実験シナリオごとに支持度が高い事前通知のタイミングを表 3 に示す。さらに、ドライバの特性ごとに支持度が高い事前通知のタイミングを表 4 に示す。

### 6.3 事前通知のタイミングによる余裕とストレス

表 4 で支持された事前通知のタイミングの運転の引き継ぎの余裕やストレスを図 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20 に示す。

図 11 は、事前通知あり停車晴れの時のドライバの分類ごとの余裕度についてまとめたものである。また、図 12 は事前通知あり停車晴れの時のドライバの分類ごとのストレス度についてまとめたものである。

図 13 は、事前通知あり停車雨の時のドライバの分類ごとの余裕度についてまとめたものである。また、図 14 は事前通知あり停車雨の時のドライバの分類ごとのストレス度についてまとめたものである。図 15 は、事前通知あり停車雨の時の眠気があるかないかと運転しているかしていないかのドライバの特性ごとの余裕度についてまとめたものである。また、図 16 は事前通知あり停車雨の時の眠気があるかないかと運転しているかしていないかのドライバの特性ごとのストレス度についてまとめたものである。

図 17 は、事前通知あり緊急晴れの時のドライバの分類ごとの余裕度についてまとめたものである。また、図 18 は事前通知あり緊急晴れの時のドライバの分類ごとのストレス度についてまとめたものである。

### 6.4 安全でストレスの少ない事前通知のタイミング

表 4 の中で、事前通知あり停車晴れ、停車雨、緊急晴れ、緊急雨で余裕があつてストレスが少ないドライバの特性の分類を図 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20 より調査した。各実験シナリオの安全でストレスが少ない事前通知のタイミングをまとめたものを表 5 に示す。

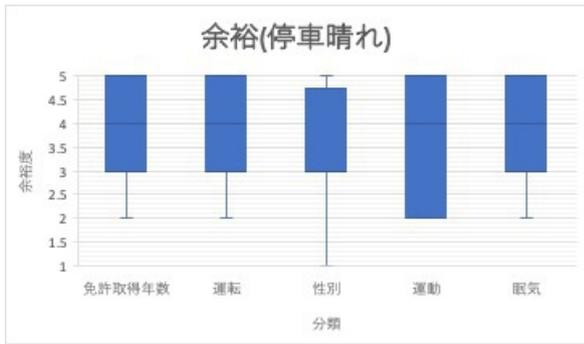


図 11 余裕を持って運転を引き継げたか (停車晴れ)

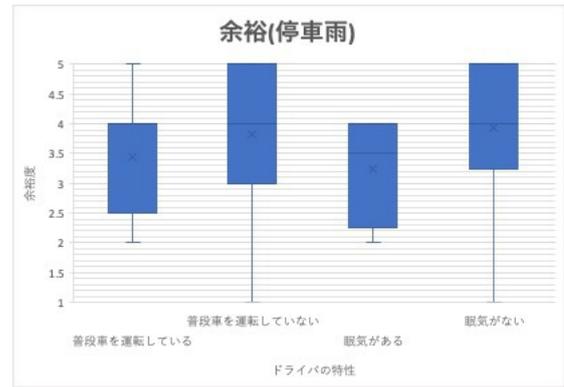


図 15 余裕を持って運転を引き継げたか (停車雨)

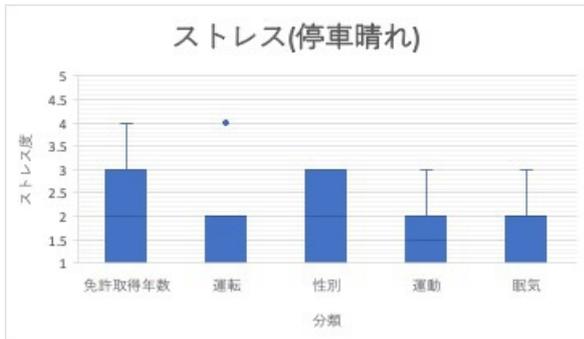


図 12 ストレスを感じたか (停車晴れ)

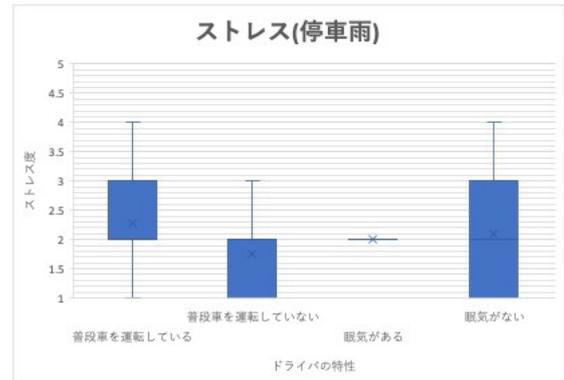


図 16 ストレスを感じたか (停車雨)

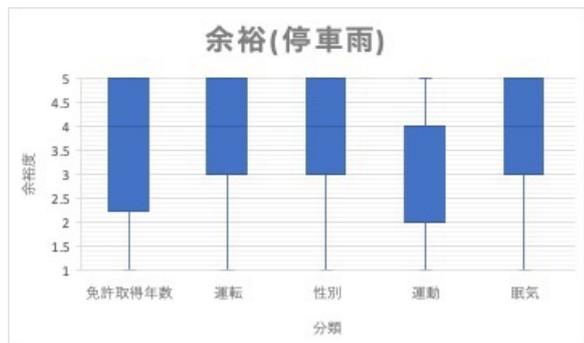


図 13 余裕を持って運転を引き継げたか (停車雨)

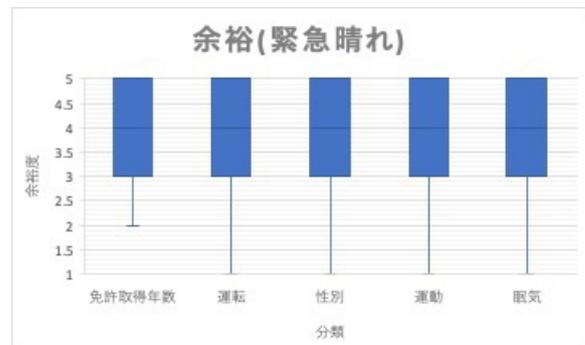


図 17 余裕を持って運転を引き継げたか (緊急晴れ)

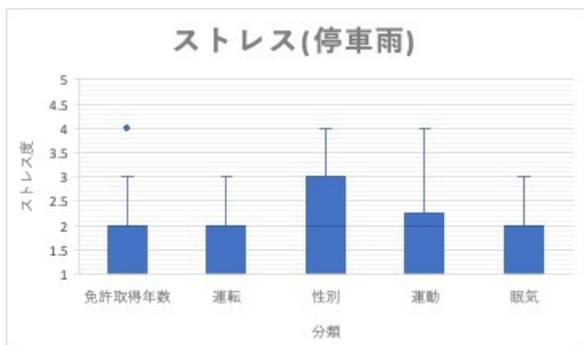


図 14 ストレスを感じたか (停車雨)

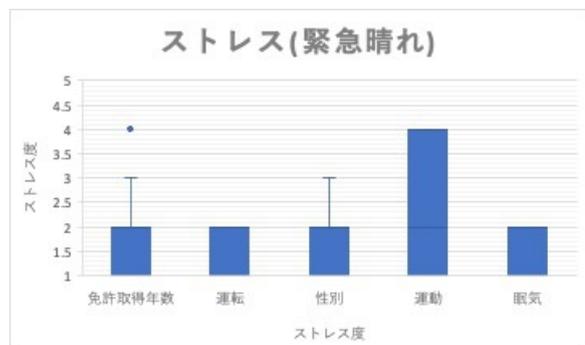


図 18 ストレスを感じたか (緊急晴れ)

### 6.5 提案手法タイミングのドライバーの余裕とストレス

ドライバーの特性ごとに、提案手法のタイミングと関連研究のタイミング、事前通知がない場合のドライバーの余裕とストレスを調査した。ドライバーの余裕を図 21 に示し、ス

トレスを図 22 に示す。

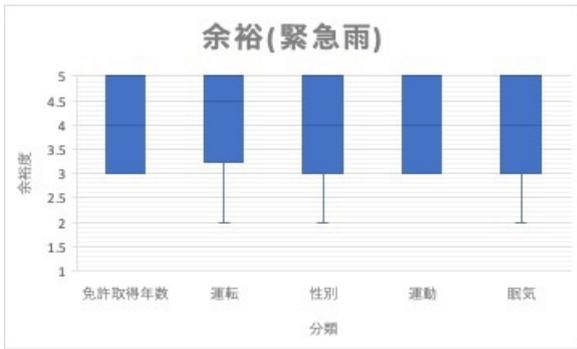


図 19 余裕を持って運転を引き継げたか (緊急雨)

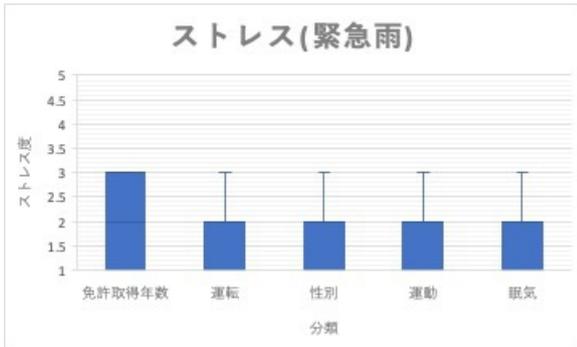


図 20 ストレスを感じたか (緊急雨)

表 5 各実験シナリオの安全でストレスが少ない事前通知のタイミング

分類	ドライバーの特性	停車時
5	眠気がある	14秒
	眠気がない	13秒

分類	ドライバーの特性	停車雨
2	普段車を運転している	12秒
	普段車を運転していない	14秒

分類	ドライバーの特性	緊急時
1	免許取得から3年以上	12秒
	免許取得から3年未満	13秒

分類	ドライバーの特性	緊急雨
2	普段車を運転している	11秒
	普段車を運転していない	13秒

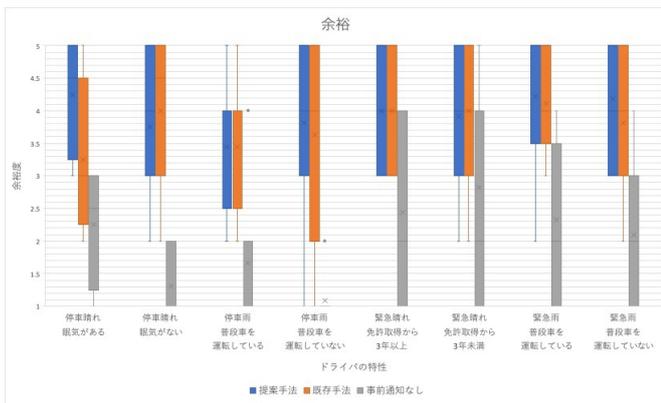


図 21 ドライバの特性ごとの提案手法のタイミングと関連研究のタイミング, 事前通知がない場合のドライバーの余裕度

6.6 提案手法のタイミングのドライバーのブレーキの踏み方  
 ドライバの特性ごとに、提案手法のタイミングと関連研究のタイミング、事前通知がない場合のブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間とブレーキの踏み込み

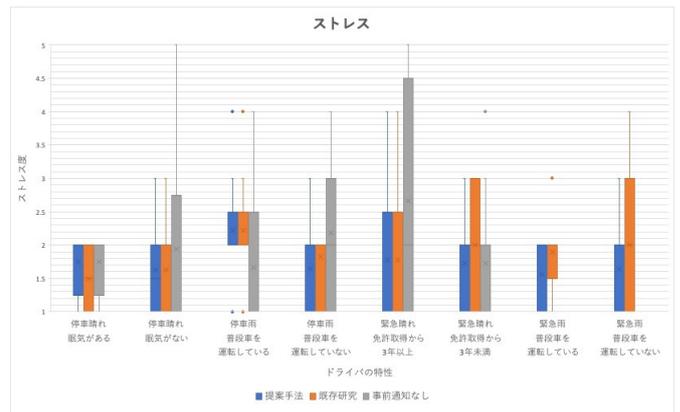


図 22 ドライバの特性ごとの提案手法のタイミングと関連研究のタイミング, 事前通知がない場合のドライバーのストレス度

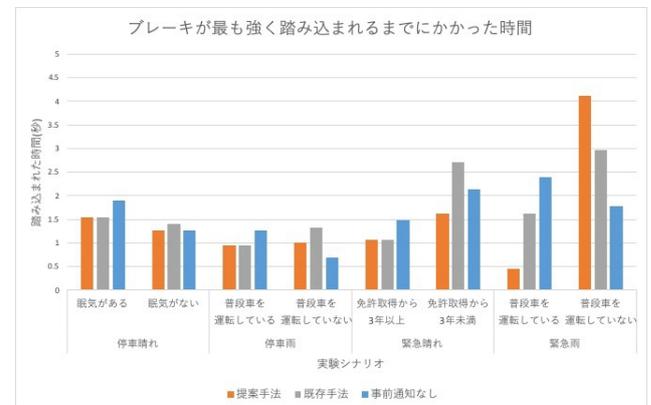


図 23 ドライバの特性ごとの提案手法のタイミングと関連研究のタイミング, 事前通知がない場合のブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間

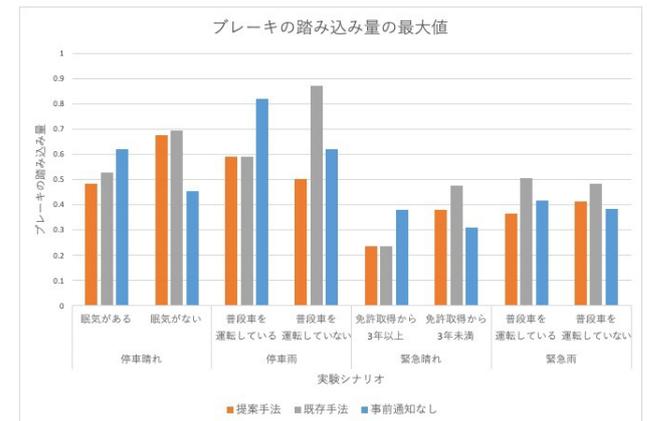


図 24 ドライバの特性ごとの提案手法のタイミングと関連研究のタイミング, 事前通知がない場合のブレーキの踏み込み量の最大値

量の最大値を調査した。ブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間を図 23 に示し、ブレーキの踏み込み量の最大値を図 24 に示す。

## 7. 考察

### 7.1 事前通知の必要性に関する考察

結果の図 10 より、各実験シナリオそれぞれで事前通知を必要としている傾向があることが示された。交通状況については、前方の故障車をドライバが回避する交通状況の方が、後方の緊急車両をドライバが回避する交通状況よりも事前通知を必要としている傾向がある。

さらに、同じ前方の故障車をドライバが回避する交通状況でも、天候が雨で時刻が夜間の方が特に事前通知を必要としている傾向がある。

以上より、事前通知の有効性が示された。

### 7.2 事前通知のタイミングを可変する必要性に関する考察

結果の表 3 より、実験シナリオによって、支持度が高い事前通知のタイミングが異なることを示した。

結果の表 3 についてであるが、性別や免許取得年数、運動が得意か、眠気があるか、普段車を運転しているかといったドライバの特性を含んでおらず、ドライバの特性によっては支持度が高いタイミングが異なる可能性がある。そこで、ドライバの特性ごとに支持度が高い事前通知のタイミングを調査した。表 4 より、ドライバの特性によって、支持度が高い事前通知のタイミングが異なることを示した。

よって、事前通知のタイミングを可変させる提案手法の有効性が示された。

### 7.3 事前通知のタイミングに関する考察

事前通知あり停車晴れの場合、結果の図 11 と図 12 を総合的に評価すると、眠気があるかどうかの分類が他の分類よりも支持された事前通知のタイミングにおいて運転の引き継ぎに余裕があり、ストレスが少ない。よって、眠気があるかどうかで事前通知のタイミングを可変すべきである。

事前通知あり停車雨の場合、結果の図 13 と図 14 を総合的に評価すると、眠気があるかどうかの分類と普段車を運転しているかどうかの分類の余裕とストレスが同程度なので、結果の図 15 と図 16 の普段車を運転しているかどうかと眠気があるかどうかのドライバの特性の余裕とストレスを総合的に評価すると普段車を運転しているかどうかのドライバの特性が、眠気があるかどうかのドライバの特性よりも支持された事前通知のタイミングにおいて運転の引き継ぎに余裕があり、ストレスが少ない。よって、普段から運転しているかどうかで事前通知のタイミングを可変すべきである。

事前通知あり緊急晴れの場合、結果の図 17 と図 18 を総合的に評価すると、免許取得年数が 3 年以上か 3 年未満かの分類が他の分類よりも支持された事前通知のタイミングにおいて運転の引き継ぎに余裕があり、ストレスが少ない。

よって、免許取得年数が 3 年以上か 3 年未満かで事前通知のタイミングを可変すべきである。

事前通知あり緊急雨の場合、結果の図 19 と図 20 を総合的に評価すると、普段から運転しているかどうかの分類が他の分類よりも支持された事前通知のタイミングにおいて運転の引き継ぎに余裕があり、ストレスが少ない。よって、普段から運転しているかどうかで事前通知のタイミングを可変すべきである。

### 7.4 提案手法タイミングのドライバの余裕とストレス

結果の図 21 より、提案手法のタイミングと関連研究のタイミングの時の余裕度を比較すると、ドライバの特性の停車晴れ眠気ありと停車雨普段車を運転していないでは、関連研究のタイミングの時よりも余裕度が向上した。その他のドライバの特性については同程度であった。また、提案手法のタイミングと事前通知がない場合のタイミングの時の余裕度を比較すると、すべてのドライバの特性において余裕度が向上した。

結果の図 22 より、提案手法のタイミングと関連研究のタイミングの時のストレス度を比較すると、ドライバの特性の緊急晴れ免許取得から 3 年未満と緊急雨普段車を運転していないでは、関連研究のタイミングの時よりも余裕度が向上した。その他のドライバの特性については同程度であった。また、提案手法のタイミングと事前通知がない場合のタイミングの時のストレス度を比較すると、停車晴れ眠気ありと停車雨普段車を運転していない、緊急晴れ免許取得から 3 年以上は同程度であったが、その他のドライバの特性において余裕度が向上した。

以上より、提案手法のタイミングでは、関連研究のタイミングと事前通知がない場合と比較してドライバの特性によってはドライバの余裕とストレスについて向上することが示された。

### 7.5 提案手法のタイミングのドライバのブレーキの踏み方

ブレーキの踏み方については、ブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長く、ブレーキの踏み込み量の最大値が小さいほど緩やかなブレーキである。また、ブレーキを緩やかにするには、ブレーキの踏み込み量の最大値の方が、ブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間よりも重要である。結果の図 23、図 24 より、提案手法のタイミングと関連研究のタイミングの時のブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間とブレーキの踏み込み量の最大値を比較すると、ドライバの特性の停車雨普段車を運転していないと緊急晴れ免許取得から 3 年未満、緊急雨普段車を運転しているでは、関連研究のタイミングの時の方が、ブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長い、提案手法のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。また、ドライバの

特性の緊急雨普段車を運転していないでは、提案手法のタイミングの時の方がブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長く、提案手法のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。その他のドライバの特性についてはブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間とブレーキの踏み込み量の最大値は同程度であった。

また、提案手法のタイミングと事前通知がない場合の時のブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間とブレーキの踏み込み量の最大値を比較すると、ドライバの特性の停車晴れ眠気ありと停車雨普段車を運転している、緊急晴れ免許取得から3年以上、緊急雨普段車を運転しているでは、事前通知がない場合のタイミングの時の方がブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長い、提案手法のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。また、ドライバの特性の緊急晴れ免許取得から3年未満では、提案手法のタイミングの時の方がブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長く、提案手法のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。また、ドライバの特性の停車晴れ眠気がないでは、提案手法のタイミングと事前通知がない場合のブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が同程度で、事前通知がない場合のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。また、ドライバの特性の緊急晴れ免許取得から3年未満では、事前通知がない場合のタイミングの時の方がブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長く、事前通知がない場合のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。また、ドライバの特性の緊急雨普段車を運転しているでは、提案手法のタイミングの時の方がブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間が長い、事前通知がない場合のタイミングの方がブレーキの踏み込み量の最大値が小さい。

以上より、提案手法のタイミングでは、関連研究のタイミングと比較してドライバの特性によってはブレーキの踏み方についてブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間とブレーキの踏み込み量の最大値が向上する、もしくは、ブレーキの踏み込み量の最大値のみが向上することから提案手法のタイミングの有効性が示された。

また、提案手法のタイミングでは、事前通知がない場合と比較してドライバの特性によってはブレーキの踏み方についてブレーキが最も強く踏み込まれるまでにかかった時間とブレーキの踏み込み量の最大値が向上する、もしくは、ブレーキの踏み方についてブレーキの踏み込み量の最大値のみが向上することから提案手法のタイミングの有効性が示された。しかし、停車晴れ眠気がない、緊急晴れ免許取得から3年未満、緊急雨普段車を運転しているについては、事前通知がない場合の方が最も強く踏み込まれるまでにか

かった時間が向上もしくは同程度で、ブレーキの踏み込み量の最大値が向上するのでブレーキの踏み方においては一部事前通知がない場合のタイミングの方が有効性があることが示された。

## 7.6 提案手法の有効性

提案手法タイミングのドライバの余裕とストレスと提案手法のタイミングのドライバのブレーキの踏み方から、提案手法は有効であるか検討する。提案手法のタイミングでは、関連研究のタイミングと事前通知がない場合と比較するとドライバの特性によっては、ドライバの余裕とストレスが向上し、ブレーキの踏み方も向上したので提案手法のタイミングの方が優れている。しかし、一部の事前通知がない場合のドライバの特性のブレーキの踏み方の方が向上したが、明らかに提案手法のタイミングの方がドライバの余裕とストレスは向上している。以上より、提案手法は有効である。

## 8. おわりに

自動運転レベル3では、ドライバが常に道路の見る必要はなく自動で運転できるが、システムが動作限界に達した場合は、ドライバは運転の引き継ぎ要求に応答して運転を引き継ぐ必要がある。しかし、運転の引き継ぎ要求の提供だけでは交通状況や天候、時刻といった車両走行環境によっては、運転を引き継ぐのに十分に余裕がない可能性がある。また、段階的引き継ぎ要求として、引き継ぎ要求の前に固定のタイミングで事前に通知を提供した場合も同様に、交通状況や天候、時刻といった車両走行環境によっては運転を引き継ぐのに十分な余裕がなく、ドライバのストレスや事故につながる可能性がある。そこで、本研究では運転の引き継ぎの要求が発生するかもしれない可能性がある時に、運転の引き継ぎ要求の前に可変のタイミングで事前通知を提供することで、ドライバの視線を道路に向けて道路状況を十分に確認できるようにして運転の引き継ぎ要求に備えられるようにする段階的引き継ぎ要求を提案した。

評価では、事前通知は必要であり、事前通知のタイミングを可変する必要があることを示し、安全でドライバのストレスが少ない事前通知のタイミングを示した。そして、提案手法のタイミングでは、関連研究のタイミングと事前通知がない場合と比較してドライバの特性によってはドライバの余裕とストレスについて向上することが示した。また、提案手法のタイミングでは、関連研究のタイミングと事前通知がない場合と比較すると、ドライバの特性によっては、ドライバのブレーキの踏み方が向上することを示した。しかし、一部事前通知がない場合のドライバの特性の方が提案手法のタイミングの時よりもブレーキの踏み方が向上することが示された。

結論としては、提案手法のタイミングでは、関連研究のタイミングと事前通知がない場合と比較するとドライバの特性によっては、ドライバの余裕とストレスが向上し、ブレーキの踏み方も向上したので提案手法のタイミングの方が優れている。しかし、一部の事前通知がない場合のドライバの特性のブレーキの踏み方が向上したが、明らかに提案手法のタイミングの方がドライバの余裕度とストレス度は向上している。以上より、提案手法の有効性を示した。

#### 参考文献

- [1] Daniel J.Fagnant, Kara Kockelman, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 77, pp. 167-181, 2015.
- [2] 内閣官房 IT 総合戦略室, 自動運転レベルの定義を巡る動きと今後の対応(案), 入手先 ([https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon\\_bunka/detakatsuyokiban/dorokotsu\\_dai1/siryou3.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/detakatsuyokiban/dorokotsu_dai1/siryou3.pdf)) (参照 2019-05-20).
- [3] Z. Lu, B. Zhangb, Feldhütter, R.Happee, M.Martens, J.C.F.De Winter, Beyond mere take-over requests: The effects of monitoring requests on driver attention, take-over performance, and acceptance, *Transportation Research Part F*, Vol. 63, pp. 22-37, 2019.
- [4] Sandra Epple, Fabienne Roche, Stefan Brandenburg, The Sooner the Better: Drivers' Reactions to Two-Step Take-Over Requests in Highly Automated Driving, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 62, pp. 1883-1887, 2018.
- [5] Sol Hee Yoon, Young Woo Kim, Yong Gu Ji, The effects of takeover request modalities on highly automated car control transitions, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 123, pp. 150-158, 2019.
- [6] Bo Zhang, Joost de Winter, Silvia Varotto, Riender Happee, Marieke Martens, Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 64, pp. 285-307, 2019.
- [7] UC-win/Road, 入手先 (<http://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/ucwin-road-1.htm>) (参照 2019-05-20).