

(別紙1)

## 事業の実施内容及び成果に関する報告書

### 1 事業名

平成29年度自動運転VRシミュレータを用いたドライバーの行動特性の分析補助事業

### 2 事業の実施経過

#### (1) 事務手続き関係

平成29年 4月 1日 交付決定通知書受理(4/1付)  
5月26日 誓約書・振込依頼届・前金払申請書提出  
6月15日 補助金受領(5,000,000円)  
11月29日 補助事業の状況報告書提出  
継続研究(複数年)承認申請書提出  
12月 5日 標識の送付依頼書提出  
平成30年 1月18日 補助金精算申請書提出  
2月22日 複数年研究事業継続に関する承認通知受理  
4月25日 補助事業の状況報告書(2回目)提出  
4月25日 精算報告書・収支報告書・収支簿・証憑提出  
4月25日 2年目収支予算書データ提出  
5月 2日 補助金前払申請書(2年目)提出  
5月31日 補助金受領(5,000,000円)  
10月25日 補助事業の状況報告書(3回目)提出  
3月31日 事業完了  
4月 日 補助金精算申請書(2年目)提出

#### (2) 事業関係

##### ①自動運転VRシミュレータの基本設計

平成29年 4月～5月 システムモデル分析、シミュレータの基本設計

##### ②自動運転VRシミュレータの開発

平成29年 6月～11月 シミュレータの方法検討、シミュレータの開発

##### ③自動運転VRシミュレータの検証

平成29年 12月～平成30年 1月 シミュレータのテスト

##### ④報告書の作成

平成30年 2月～3月 報告書、論文作成

##### ⑤自動運転時の走行実験

平成30年 4月～6月 実験モデルの作成、走行実験の実施

(別紙1)

⑥自動運転時のデータ分析

平成30年 6月～7月 分析方法の検討、視線ログデータの分析

⑦シミュレータの改良

平成30年 8月～9月 HMIの取り付け、情報提示方法の検討

⑧自動運転切換え時の走行実験

平成30年 10月～11月 情報提示実験の実施

⑨自動運転切換え時のデータ分析

平成30年 12月～平成31年2月 心電図データの分析

⑩報告書の作成

平成31年 3月 報告書、論文作成

### 3 実施内容及び成果

#### (1) 実施内容

本研究は、周辺の交通環境に対して安全な自動運転車を普及させるため、自動運転VRシミュレータによる走行実験環境を構築し、自動運転時のドライバーの行動特性を明らかにすることで、自動運転車に必要なHMI（ヒューマン・マシン・インタフェース）の設計に役立てることを目指したものである。

平成29年度は、システムモデルに基づいた自動運転システムの分析を行い、分析にもとづいたHMIの設計開発、および自動運転ドライビングVRシミュレータの設計開発を行った。システムモデルによる分析からは、円滑な運転権限の移譲等を実現するためには、自動運転車の状態およびメッセージを視覚情報、聴覚情報、触覚情報等を用いてドライバーに伝達する機能が重要であり、その機能を実現するためには、Communication SystemとCommunication Decision Systemが効果的に連携することが重要であることが分かった。図1は、上記の分析に基づいて設計されたHMIの画面イメージを示したものである。具体的なHMIの実装は、ディスプレイ設計支援ツールSCADE Displayを使用して開発を行った。ディスプレイ情報はシミュレータの動作中の情報に基づいて提示される。

自動運転VRシミュレータに関しては、自動運転時のドライバーの行動特性を計測するために、没入感、臨場感の高い仮想環境を構築するとともに、自動運転車のHMIの設計や制御アルゴリズムの検討等に利用できる必要がある。そのため本研究では、24インチモニタを3面並べることで水平方向の視野を拡大した簡易型VRシミュレータと、正面、左面、右面、床面の大画面4面スクリーン構成のCAVEディスプレイを用いた没入型VRシミュレータの設計開発を行った。シミュレータにおける、ステアリング、アクセル、ブレーキ等の運転操作機能に関しては、これまでに開発を行ってきたドライビングシミュレータ

(別紙1)

をベースにした。今回、新たに自動運転車の制御機能の開発、実験用交通環境モデルの作成を行ったが、簡易型VRシミュレータと没入型VRシミュレータの間で、これらの機能やモデルを共有することが必要である。そのため、自動運転車の制御機能、交通環境モデルの作成に関しては、汎用ドライビングシミュレーションソフトPreScanを使用した。没入型VRシミュレータの開発においては、PreScanの映像出力を視線方向の異なる複数面のスクリーンに提示する方法を新たに開発する必要があり、PreScanのRemote Viewerの機能を使用してCAVEのレンダリング用WS上で各視線方向の複数映像を生成する方法を実装した。図2はHMIを備えた簡易型VRシミュレータ、図3はCAVEを使用した没入型VRシミュレータを示す。

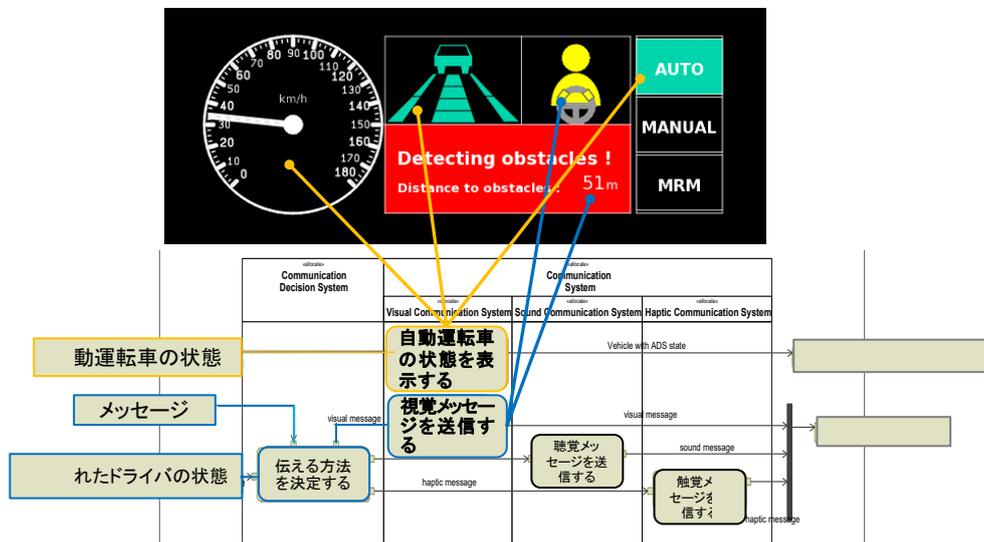


図1 HMI機能のグラフィックスへの割当て



図2 3面ディスプレイ構成の簡易型VRシミュレータ

(別紙1)



図3 CAVEを使用した没入型VRシミュレータ

平成30年度は、自動運転VRシミュレータを用いた走行実験を行い、自動運転時のドライバーの行動特性に関する計測実験を行った。交通環境としては、PreScanを用いて、a)交差点の右折、b)右側からの車両合流の2つのシナリオを構築し、被験者には自動運転モードと自分で運転するマニュアルモードの走行を行ってもらった。この際、ドライバーの注視行動を比較するため、モバイル型アイマークレコーダEMR9（ナックイメージテクノロジー社）を使用し、視線の動きを計測した。図4は、ビデオ映像上に記録された視点位置の例を示したものである。記録された視線データからは、ビデオのコマ送りにより、視線の移動位置、移動タイミング、移動回数等の分析を行った。

この結果、交差点右折時は、横断歩道前で一時停止後、マニュアル運転では歩行者が横断し終わるまで注視し続けるのに対し、自動運転では歩行者を最後まで追跡せず周囲の建物等に移動する様子が観察された。これは自動運転車両が一時停止した段階で、ドライバーが歩行者の検出を共有でき、ドライバーの行動に余裕が現れたものと考えられる。一方、車両合流時は、マニュアル運転では早い段階で合流車両を確認し、自車の速度を下げ道譲る行動が見られたのに対し、自動運転ではドライバーが合流車両を確認した段階では速度が減速せず、合流が完了するまで前方と合流車両の間で何度も視線を往復する動きが見られた。これは、ドライバーが合流車両を確認した段階では車が減速しないため、自動運転車両の安全確認の状態をドライバーが共有できず、何度も確認行動を取ったものと理解できる。

自動運転車とドライバーの安全確認に関する認識の差は、ドライバーの安心感や緊急時対応の問題につながるため、十分な検討が必要である。この問題を解決するためには、自動運転車のセンサ範囲を人間の確認行動に近づけるか、HMIを用いて自動運転車の安全確認等の状況をドライバーと共有可能にすることが必要であることが確認された。

(別紙1)



図4 自動運転VRシミュレータ実験で記録された視点位置

次に、HMIによる情報共有の効果についての比較実験を行った。交通環境としては右側からの車両合流シナリオを使用し、情報共有の無い条件での自動運転時と、自動運転車が合流車両を検知したタイミングで聴覚メッセージを提示する条件で、被験者の心電図を計測した。心電図から計算されるRRV（R波-R波間隔の分散値）は、人間の精神負荷を表す指標として知られており、RRVが小さい状態は集中しており、RRVが大きい状態はリラックスしていることを表している。

図5は、自動運転車のドライバーのRRVの計測結果の例を示したものである。前半が情報共有の無い状態、後半が情報共有を行った状態でのRRVの変化を示している。この結果から情報共有を行った時の方が、RRVは比較的高い値を示しており、ドライバーの精神負荷は軽減されていることが分かる。以上の実験結果から、レベル2からレベル3段階での自動運転では、ドライバーに対する精神負荷の軽減や円滑な運転権限の移譲の実現のためにも、自動運転車とドライバーの間で安全確認等に関する情報共有が重要であることが確認された。

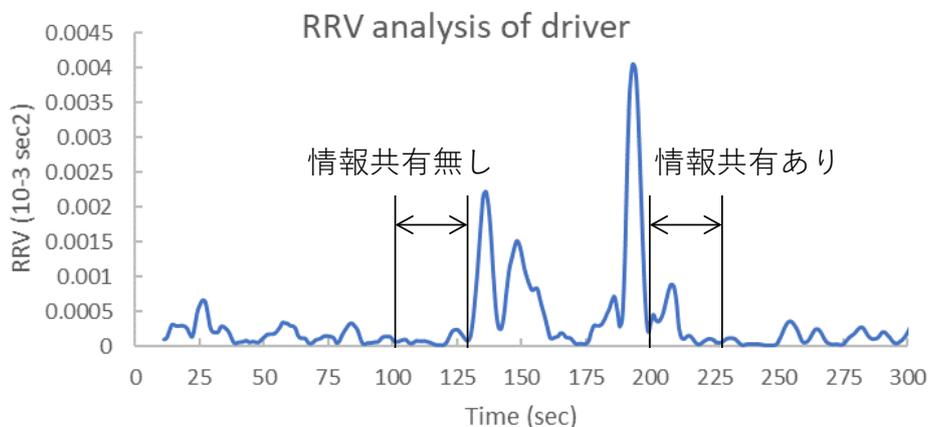


図5 自動運転時のドライバーのRRV

(別紙1)

## (2) 成 果

本研究では、自動運転車内のドライバーの行動特性を分析するための、自動運転VRシミュレータとして、3面ディスプレイ構成の簡易型VRシミュレータとCAVEを使用した没入型VRシミュレータの開発を行い、両者で制御方法や交通環境モデル等を共有できる環境を構築した。

自動運転VRシミュレータを用いた走行実験の結果、自動運転車のドライバーは自車の安全確認状況を把握できる状態では安心して乗車できるが、安全確認状況を把握できない状態では、余計な緊張を強いられていることが確認された。

そのため、自動運転車においてはドライバーと相互に安全確認等に関する情報を共有するための、視覚情報、聴覚情報、触覚情報等を用いたHMI（ヒューマン・マシン・インタフェース）が重要であり、そのための基本設計を行い、有効性を確認した。

4 事業実施に関して特許権、実用新案権等を申請又は取得したときはその内容  
該当無し

## 5 業界等において今後予想される効果

人工知能の研究の発展を背景に、自動運転車に対する期待は世界的に大きな高まりを見せており、急テンポで導入が進みつつある。自動運転車は、ハンドル操作や加減速の1つの機能だけを制御するレベル1から、完全自動運転を実現するレベル5まで、段階的に開発が進んでいる。現状は、ハンドル操作と加減速等の複数の操作を同時に制御するレベル2から限定的な状況下において全ての操作の制御するレベル3の段階であり、この段階では、ドライバーの安全確認や運転権限の移譲をスムーズに行えることが重要である。

本研究の成果である、ドライバーの行動特性に基づいたHMIの設計は、レベル2から3の段階における自動運転車に対し、ドライバーの精神的な負担を軽減し、ドライバーと自動運転車の間の協調的な運転を実現し、安全性を確保する点で重要な役割を果たすことが予想される。また、これらの成果により現状のレベル2からレベル3の段階をスムーズに進展させることは、将来的な完全自動運転車への到達を確実なものにし、ヒューマンエラーによる事故のない、安全な交通社会が実現されることが期待される。

## 6 本事業により作成した印刷物（研究報告書等）

1) ユン・ソングル、西村秀和：システムモデルに基づく自動運転システムに対する解析モデルの構築、第15回「運動と振動の制御」シンポジウム(MoViC2017)、2017.8

(別紙1)

- 2) 楠正篤、ユン・ソングル、西村秀和、手嶋高明、西村光雄：自動運転システムのヒューマンマシン・インタフェースをテストするためのシミュレーター環境構築、第15回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2017)、2017. 8
- 3) 西村秀和：自動運転社会に備える自動運転システムをテストするためのドライビングシミュレータの構築、日本機械学会2017年度年次大会、2017. 9
- 4) ユン・ソングル、西村秀和：システムモデルに基づく自動運転システム設計の評価のためのシミュレーションモデル、日本機械学会2017年度年次大会、2017. 9
- 5) 手嶋高明、楠正篤、西村秀和、小木哲朗、伊藤研一郎、ユン・ソングル、西村光雄、三浦遥夏：ドライビングシミュレータを用いた自動運転システム用HMIのアーキテクチャ定義と検証、Automotive Simulation World Congress 2017、2017. 10
- 6) Hidekazu Nishimura: Verification of HMI for an Automated Driving System by Using a Driving Simulator, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE Las Vegas 2018), 2018. 1
- 7) 手嶋高明、西村秀和：HMIを考慮した自動運転システムの設計のためのモデル検査による検証、日本設計工学会2018年度春季大会研究発表講演会講演論文集、pp. 115-118、2018. 5
- 8) 小湊翔太、西村秀和、ユン・ソングル、手嶋高明、三浦遥夏：システムモデルに基づく自動運転車に用いるHMIの要求定義、日本機械学会、日本機械学会2018年度年次大会、2018. 9、J1810104
- 9) 三浦遥夏、西村秀和、西村光雄、ユン・ソングル、小湊翔太：自動運転システムアーキテクチャに基づいた走行可能エリアの決定、第61回自動制御連合講演会、2018. 11
- 10) 轟中洋、小木哲朗、三浦遥夏、尹善吉、西村秀和：シミュレータを用いた自動運転車ドライバーの行動分析、日本機械学会関東支部第25期総会・講演会、2019. 3

## 7 その他

該当無し