

# 手動運転車両のドライバの自動運転車両の挙動認識評価

遠藤 史貴<sup>†1</sup> 清原 良三<sup>†1</sup>

## 概要：

最近、国内外を問わず自動車メーカー各社は自動運転車両の開発でしのぎを削っている。また、現実にオートクルーズ機能やレーンキープ機能が実際に使われ、支援機能としては製品化されている。政府を始め多くの場合に、自動運転によって多くの問題が解決されるとしている。しかし、すべての自動車が自動運転であることを前提にするなど、非現実的なことを想定していることも多い。そこで、本論文では自動運転車両普及期において、手動運転の車両と混在した場合に起こるであろう、各種問題を整理することを目的により、ドライビングシミュレータを用いて、自動運転車両が一般の道路に普及した環境をシミュレーション環境上で作成し、手動運転車両のドライバが様々な状況でどのような行動をするかを調査、評価したことを報告する。

**キーワード：**ドライビングシミュレータ、トラフィックシミュレータ、自動運転

## Evaluation of Driver's Recognition of Autonomous Vehicle Behavior

FUMITAKA ENDO<sup>†1</sup>

RYOZO KIYOHARA<sup>†1</sup>

### 1. はじめに

最近、自動車メーカー、大学などを中心に電気自動車、と自動運転車両の開発が活発化している。現在発売中の車両においても、加速、操舵、制動の中の複数の機能を機械制御できるようになっており、オートクルーズ機能や、レーンキープとして利用されている。さらに、政府主導で2020年の東京オリンピックを目安にドライバが一切関与しない完全自動運転車両の実現化に向け開発が進められている。自動運転が普及すれば交通事故の減少、渋滞の削減、CO2排出量の削減などよりよい交通環境が実現されると考えられる[1]。

しかし、自動運転車両で期待される効果を実際に出すためには様々な課題がある。自動運転車両は機械で運転しているため人間の運転と異なる挙動になると容易に推定できる。もし、人間と全く同じだとすると、事故の削減、渋滞の削減、CO2の削減は実現できない。挙動が変わるからこそ実現できるとされている。例を挙げると人間の場合、信号が青になった際すぐ発進するのではなく一呼吸おいて発進する、合流してくる車をギリギリのタイミングで追い抜く、信号が変わった直後にウインカを出すといったことなど様々な人がおり、それぞれの判断で臨機応変に道路交通法を解釈し行動に移すと考えられる[2]。

また、杓子定規的に法律を順守し、安全運転を実施する

自動運転車両が環境に現れたら、自動運転車両の挙動に慣れていないドライバが自動運転車両の挙動に対し不快感を感じる可能性もある。カナダの交通心理学者ジェラルド＝ワイルド氏の提唱したリスクホメオスタシス理論[3]によれば、危険を回避する手段・対策をとって安全性を高めたとしても、安全になった分の利益を期待して大胆な行動をとり、結果として危険が発生する確率が一定に保たれるとされている。そのため、自動運転が実用化され普及した場合においても、ドライバが自動運転の挙動になれていないため挙動の予測ができずに危険が増し、自動運転車両の性能を過信して手動運転側が無茶な運転をするといった問題が挙げられる。

本論文ではこのような課題を明らかにすることを目的に、ドライビングシミュレータを用いて、自動運転車両が一般の道路に普及した環境をシミュレーション環境上で作成し、手動運転車両のドライバが様々な状況でどのような行動をするかを調査、評価したことを報告する。

### 2. 関連研究

自動運転と手動運転の混在環境を想定した様々な研究が進められている。その研究の多くは、安全面、再現性の観点からドライビングシミュレータや、トラフィックシミュレータを扱った研究が多くある。ドライバの運転特性解析といった主にドライバに挙動に重点を置いた研究の多くはドライビングシミュレータを活用している。特に、人間的な特徴を反映させたい場合に用いられることが多い。

<sup>†1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology

一方、トラフィックシミュレータを用いた研究は交通流の解析といった道路環境の解析といった主に環境に重点を置いた研究が多い。またこの2つのシミュレータの統合や課題点についての研究も多く行われている。

そこで、本節では関連研究として混在環境に関する研究と課題点、ドライビングシミュレータとトラフィックシミュレータに関する研究について述べる。

## 2.1 自動運転車両と手動運転車両が混在する環境における研究

自動運転車両と手動運転の混在環境においては、技術的な観点、非技術的な観点からいくつかの課題が存在する。技術的な観点の課題についての研究例として、自動運転、手動運転でブレーキのかけるタイミングの違和感をなくすことを目的に、自動ブレーキ操作を行う場合に、自動ブレーキとドライバー手動でブレーキをかけるタイミングの違いを調査した研究がある[4]。この研究ではドライビングシミュレータを用い、同じ車間時間を同じになるように走行させ、先頭車両の走行速度に応じブレーキの操作タイミングについて調査している。

非技術的な側面ではヒューマンファクタ上の課題、法律の整備における課題がある。ヒューマンファクタ上の課題に関しては、表1に示した自動運転の自動化レベル3において緊急時に自動運転から手動運転に遷移せざるを得ない際ドライバーが対応しきれない可能性があるという課題である[5]。法律の整備における課題は自動運転車が事故を起こした場合責任はどこまでがドライバーの責任でどこまでがシステムの責任なのかといった点である。現在各国で検討が進められている[6]。

これらの研究成果を踏まえて、これらの課題が実際にどのような影響があるのかを本論文では評価する。

## 2.2 ドライビングシミュレータを用いた研究

ドライビングシミュレータを用いた研究例として路上に駐車場所を設定した場合の運転への影響を調べた複合現実感交通実験スペースを用いた路上駐車場所の安全性評価があげられる。[7]非優先車両の進入依頼や優先車両の進入判

表 1 自動運転自動化レベル(Society of Automotive Engineers 2016) [6]より引用

レベル	定義	操作の主体	走行モニタリング	運転のバックアップ
0	すべての手動操作	人	人	人
1	加減速、方向操作のどちらか一方自動	機械+人	人	人
2	限定状況で加減速、方向操作が自動	機械	人	人
3	緊急時に人が対応できる自動運転	機械	機械	人
4	特定のモードで完全自動運転	機械	機械	機械
5	完全自動運転	機械	機械	機械

断の場所と時間、どの程度の時間的余裕があるかについて調査した無信号交差点における車車間通信の人間工学的考察[8]といったものがある。どちらの実験も実車で行ったほうがより正確なデータが取れるが、法律面、安全面の配慮によってドライビングシミュレータを用いた実験を行っている。

しかしながらこれらの実験では自動運転車両が存在することを仮定しておらず、特有の挙動をする車両がある場合の評価まではできていない。

## 2.3 トラフィックシミュレータを用いた研究

トラフィックシミュレータを用いた研究のひとつに、個々の車両の挙動を再現できるマイクロ型のトラフィックシミュレータである MITRAM を用いて道路網を交差点を主体とした接続で表現し、その有効性を評価した研究がある[9]。この研究では主に市街地の交通解析を目的として研究されている。ネットワークモデルを交差点で作成し、交差点同士の接続で道路モデルを作成している。

この手法を行うことで設定が必要な車両道路は各モジュール内で設定可能となり、大規模なシミュレーションが必要な場合でもモジュール間は独立しているため、必要なモジュールのみ設定を行い、交差点同士の接続を行うことで用いる経路を減らすことができる。またこの手法を用いた実験を行った結果、実際の道路環境とほぼ同じデータが取れたことから、用いた手法の有効性も確認されている。しかし、自動運転車両に関しては考慮されていない。

## 3. ドライビングシミュレータ

ドライビングシミュレータのシナリオエディタを用い、自動運転と手動運転の混在環境を作成したシナリオをドライビングシミュレータを用いて評価実験を行う。ドライビングシミュレータには、単に PC 上で画像を表示し、キーボードやマウスなどで運転を模擬するものから、PC 上の画面を見るものの、ステアリングやブレーキ、アクセルなどは足で操作するタイプもあれば、自動車学校の教習所にあるような画面を大きくして、自動車の雰囲気のみ体験できるもの、および6軸のアクチュエータを備え、加速度など体感でき、より現実的に近いもの、さらに6軸だけでなく、



図1 使用するドライビングシミュレータ

レーンの上で走らせることにより、より現実に近い体感を得られるものなどがある。

本論文ではドライバが自動運転車両をどのように感じたかという点に重点を置くため、ブレーキ、カーブの際の重力を再現する必要はなく、提案手法の有効性を調べるためコストも考慮の上で、教習所タイプのドライビングシミュレータで十分である判断し、図1に示すドライビングシミュレータを用いることとした。

## 4. 要求と実装

### 4.1 自動運転車両の定義

本論文ではドライビングシミュレータを用い自動運転車両と手動運転車両の混在環境を再現し、ドライバの運転の仕方を評価することを目的とする。そのため自動運転車両を想定した車両は以下の2点を満たしているものとする。

- (1) 制限速度を順守する。自動運転車両は常に一定の速度で走ることを想定し、一般に手動運転で起こりがちな制限速度+10km程度での走行を行わないようにする。
- (2) 自動運転側が右折を行う時や対向車が車線をはみ出して走行する場面で、手動運転側のドライバの感じ方に関わらず接触の危険が無い場合減速、停止せずに進行する。

### 4.2 シナリオエディタ

ドライビングシミュレータで車両の出現するタイミングや距離などはシナリオエディタを用いることで作成する。作成したシナリオを実行したいドライビングシミュレータのホストPCにコピー、インストールすることで新しいコースを追加することが可能である。

### 4.3 実装

4.1節で定義した要求をシナリオエディタで以下のように設定した。

- (1) 自動運転を想定した車両は制限速度ちょうどで走るように設定した。また右折初めから右折時は教習所で目安としている速度の時速20kmで走行するように設定した。これにより自動運転で想定される常に制限速度で走る車両を再現した。
- (2) 挙動  
手動運転のドライバが指定最高速度+5kmの時、ぶつからないタイミングで進行するようにした。自動運転車両は他の車両が制限速度で走ることを想定しているため[11]、手動運転側が指定最高速度+5km時点で接触の危険が無い場合、手動運転側の感じ方に関わらず減速、停止せずに進行、右折を行う自動運転車両の挙動を再現した。

## 5. 評価実験

### 5.1 実験計画

4.3節で実装したドライビングシミュレータのシナリオを用いてシミュレータ実験を行った。本実験の目的は自動運転車両が自動運転特有の挙動(急な右折、車線をはみ出して進行する車両がいても減速しない)に対して自動運転車両との距離に応じて対処の仕方がどのように変化するかを調査することである。そのため、調査内容ごとに車両同士の距離を変化させたシナリオを5種類用意した。これらのシナリオをシミュレータ上で被験者が運転した。その際以下の点を実験の際に以下の4点を考慮した上で実験を実施した。

- (1) ドライバによって積極的に行動するタイプであるのか、慎重に行動するタイプであるのか異なる。これらの要因として日常的に運転しているのか、そうでないのか、年齢等が関わっている。そのため、シミュレーション実験を行う前に運転歴、運転頻度を調査した上で実験を実施した。
- (2) ドライビングシミュレータの感じ方は実際の運転の感じ方と異なる部分が存在する。そのため、ドライビングシミュレータの動作に慣れてもらうため、シミュレータの操作方法を教えた後、実験とは無関係のシナリオを実行し、ある程度慣れてから実験を行うシナリオを実行した。
- (3) 被験者がシミュレータ実験中、観察者が後ろから挙動を確認する。何か特筆すべき点があった場合メモを取ることとする。
- (4) 調査内容ごとに用意した5種類のシナリオを終了した後、最も運転しやすかったシナリオを確認する。その際、理由を聞き単に5回行ったことによる慣れによるものかそうでないのかを確認する。

### 5.2 実験目的

本実験の目的は自動運転と手動運転の混在環境で発生する事故の原因の一つである自動運転と手動運転側でのお互いの挙動の認識の差について調査することである。現在発生している混在環境の事故の原因の1つはお互いに「この距離なら進行してこないだろう」という認識の差にあるとされている。そのため本実験では手動運転と自動運転の混在環境で認識の違いによって発生した事故をドライビングシミュレータ上で再現し、どの程度の距離があれば事故が発生しないのかを調査した。

### 5.3 実験内容

本実験はドライビングシミュレータのシナリオエディタを用いて実験を行った。現在自動運転車両が起こした事故の環境をシナリオエディタで再現した。まずドライビング

シミュレータの操作に慣れてもらうためにあらかじめ用意されているシナリオを使用し、操作方法を説明する。操作に慣れた段階で実験を開始する。

自動運転の挙動を想定した車両を用意したシナリオで実験を行った。また、シナリオは1つのシナリオにつき自動運転を想定した車両の距離を変更し複数作成した。作成したシナリオを実際に運転してもらいドライバがどのような対応をするのか確認した。シナリオ終了後年齢、運転歴、1つのシナリオのうち何番目に実施したものが最も運転しやすかったかという質問を実施した。以下に作成したシナリオの目的と内容を記述する。

#### (1) シナリオ 1

##### ・目的

手動運転車両を想定したドライバの右折時と自動運転を想定した車両の右折時の挙動に対するドライバの対応の違いを調査する。

##### ・内容

図2に示すようにドライバは直進し、直進しているドライバに対し右折車両が登場し右折を試みる。右折車は2種類登場し、最初に出てくる右折車はウインカを表示するが、ドライバが進行した後、または明らかに安全なタイミングで右折を行う。後に出てくる車両はウインカを表示し、ドライバが進行する前に右折を行う。この後半の車両に対しブレーキを踏むか、踏まないか、急なハンドルを切ったか切らないかといったドライバの対処を調査する。上記の内容のシナリオで対向車が発信する距離を変更したものを5種類用意した。最も近い距離はシナリオエディタのテスト走行で実際に走行し、ぶつからないと判断した距離は91.2m時点で対向車がスタートするものとし、そこから10mずつ距離を広げていき最も遠い距離は95.2mとした。対向車の挙動はカーブし始める直前まで制限速度の

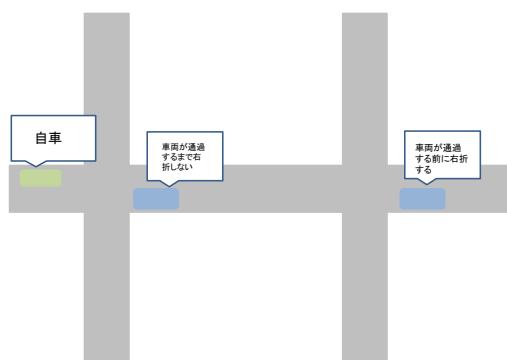


図2 シナリオ1のシミュレーションイメージ

40kmで走行し、カーブに差し掛かった時点で速度を20kmまで落とし、ウインカを出す。そのまま20kmで右折する。

##### ・実験人数

8名

#### (2) シナリオ 2

##### ・目的

車線をはみ出し進行せざるを得ない状況下においてどの程度の距離があれば安全に運転できるのか

##### ・内容

図3に示すように見通しの良い道路のドライバが運転している側の道路にトラックを配置する。その対向車線側に自動運転を想定した車両を進行させ車線をはみ出して進行しなければならない状態を作る。この状況下においてドライバが運転し、自分が先に行くのか、接触はしなかったかといった距離による安全の差を調査する。シナリオ1と同様にシナリオエディタのテスト走行で実際に走行し対向車が発進する距離を変更したシナリオを5種類用意した。ぶつからないと判断した距離が143mメートル時点で対向車が走行を始めるものとし、そこから5mずつ距離を広げていき最も遠い距離は163mとした。対向車の挙動は自社の挙動に関係なく常に制限速度の40kmで走り続けるものとした。

##### ・実験人数

8名

また実験の協力者に以下の3点の質問を行った。

##### 質問内容

##### ・年齢

##### ・運転歴

##### ・何番目のシナリオが最も運転しやすかったか、またその理由

#### 5.4 実験結果

本実験は20代の被験者として男性8名で行った。

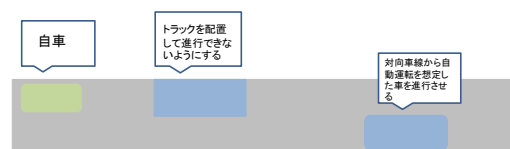


図3 シナリオ2のシミュレーションイメージ

### 5.4.1 シナリオ 1

シナリオ 1 の実験結果を図 4 のグラフに示す。最も運転しやすいと答えた方が多いのはシナリオの 5 番であった。5 番を最も運転しやすいと答えた 3 人のうち 2 人は最も余裕を感じたと答え予想通りの結果が得られた。しかし 8 人中 3 人と半数以上が 5 番以外を最も運転しやすいと答えている。3 番を最も運転しやすいと答えた 2 名に理由を聞いたところ、最も余裕が感じられたという意見と、何となく運転しやすかったという意見であった。このうち最も余裕が感じられたという感想を述べた方は運転歴が 3 年半で頻度はほぼ毎日運転していると答えた。そのため 3 番のシナリオの距離である 93.2m の距離があればある程度余裕を持って運転できるのではないかと考えられる。その他の 2 番を最も運転しやすいと答えた方は 1 番で運転を行ったことで運転に慣れた、運転しやすいシナリオが無いと答えた 2 人は特に理由がないと答えたため車のタイミングは特に影響していないものと考えられる。

また図 5 のグラフはブレーキを踏んだか踏んでいないかの人数合計を表したグラフである。車の距離が遠くなるにつれてブレーキを踏む人数は減少している。急ブレーキを踏んだ人数が最も多い回は 1 回目と 2 回目の 5 人で 3 回目以降は急ブレーキを踏んだ人数は 1 人のみとなっている。4

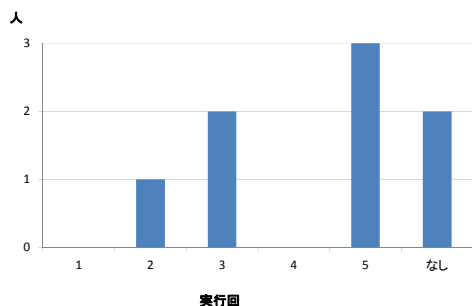


図 4 シナリオ 1 で最も運転しやすいと答えたシナリオ

回目と 5 回目は全く同じ結果が得られた。そのため 4 回目と 5 回目の距離の差はあまり関係なく 4 番目が最も運転しやすいと答えた方がいないことと関係があると考えられる。

### 5.4.2 シナリオ 2

シナリオ 2 の実験結果を図 6 に示す。最も距離が離れている 6 回目と次に距離が離れている 5 回目が最も運転しやすいという結果になった。5 回目と 6 回目を最も運転しやすいと答えた被験者に理由を聞いたところどちらも最もスピードを感じず、最も余裕だったという理由であった。そのため 5 回目の距離である 158m 時点で感じ方としては上限ではないかと考えられる。また 2 番目が最も運転しやすいと答えた方は対向車が通り過ぎるのが最も早い気がしたと理由を述べており 6 つのパターン全てで対向車を先に走行させていた。最も運転しやすいシナリオがないと答えた方は 1 回目の実験でも最も運転しやすいシナリオがないと答えており、4 年間運転を続けているため運転経験から運転のしにくさを感じなかったのではないかと考えられる。

また図 7 のグラフは自分と対向車のどちらが先に走行したかをまとめたグラフである。このグラフより距離が遠くなればなる程自分が先に行く方が増えるのが分かる。中でも 4 回目の距離である 153m 時点は先に行くか後に行くかの人数が同じであるため最も事故が起こりやすいのではないかと考えられる。

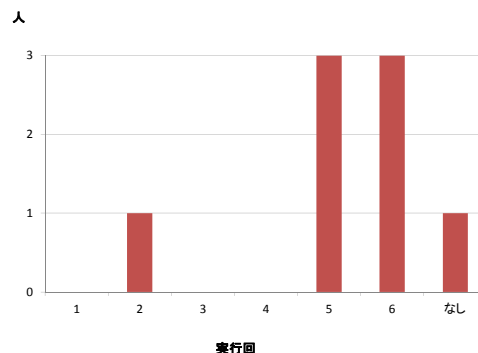


図 6 シナリオ 2 で最も運転しやすいと答えたシナリオ

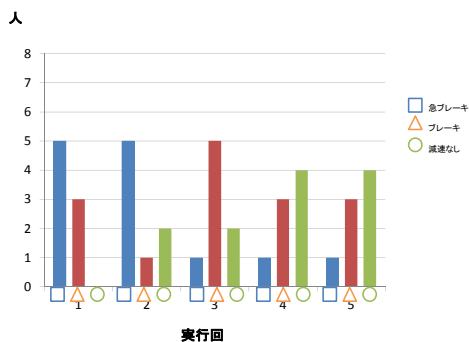


図 5 シナリオ 1 のブレーキ使用状況

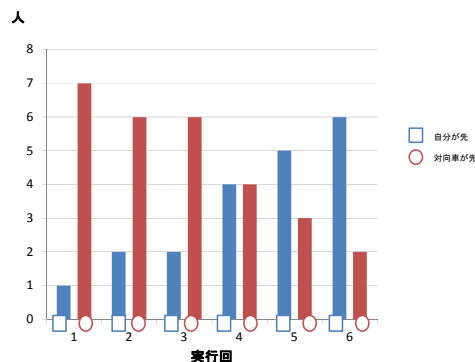


図 7 シナリオ 2 の走行状況

## 5.5 評価

今回の実験では予想した通り距離が遠ければ遠いほど運転しやすいと答える方が多かった一方で、運転手の性格などによって差が出たように感じられた。十分にドライビングシミュレータの操作に慣れてもらってから実験を開始するようにしたが、免許を所持していない、あるいはペーパードライバである被験者と、普段から車を運転しており運転に慣れている被験者とはやはり運転操作が異なるように感じた。

また今回の実験では極力同じ条件を作成したが、そのせいで1回目である程度シナリオの内容が予測できてしまっているのではないのかという例がやや見られた。慣れてシナリオが予測できたから最も運転しやすかったと答えた例が1つ存在したため、その1つを除いて今回は特に影響が見られないようであったが、今後の課題として挙げられる。

### 5.5.1 シナリオ 1

5 番目のシナリオが最も運転しやすいと答える方が多いと予想した。5 番は最も多かったが 3 番のシナリオも多くの方が運転しやすいとの答えであった。2 番目と 3 番目の間が最も急ブレーキを踏む方が減少したため、影響していると考えられる。またブレーキを踏まずに走行する方が最も多いパターンは 4, 5 回目であったため運転しやすいと答えたシナリオを含めて 4 回目の距離である 94.2m の距離があればドライバは危険を感じることなく安全に直進できるのではないと考える。

### 5.5.2 シナリオ 2

対向車線にはみ出さざるを得ない状況で起こる事故原因は「相手は進行してこないだろう」というお互いの認識のずれによって発生するため、5 回目の距離である 158m 地点では自分が先に走行した人数が 5 人、対向車を先に走行させた人数 3 人と差が余りなくやや危険ではないかと考えられる。そのため 6 回目の距離である 163m 程があれば安全に直進できるのではないかと考えられる。

## 5.6 今後の課題

シナリオそのものに慣れてしまってシナリオを予測し、問題が起こりそうな箇所ですべて速度を落とすといったことが起こった場合正確なデータが得られない。そのため見通し、信号の有無などといった実験に影響のなさそうなデータを変えたシナリオの作成を行い実験する、ドライビングシミュレータとトラフィックシミュレータの機能を併せ持つ統合ドライビングシミュレータを作成して実験中に走行データの値を変えられるようにすることで慣れによるシナリオの予期を極力できないようにすることが重要であると考えられる。

## 6. むすび

本論文ではドライビングシミュレータを用いて自動運転車両が普及した環境において、事故が起こりやすい環境

を作成し、ドライバの感じ方を評価する実験を行った。シミュレータに加えドライバに質問を行うことでドライバに重点を置いた評価が行えたと考える。

しかし、本論文で用いたドライビングシミュレータでは常に決められた通りのシナリオのみ可能で距離を変更するためにはシナリオを複数作成しなければならず、シナリオの作成に手間がかかりドライビングシミュレータ内で実装できるシナリオの数も限られているため、問題解決のために統合ドライビングシミュレータの作成が求められる。

## 参考文献

- [1] Ancar Channel, “日本政府が 2020 年の東京五輪で目指す自動運転サービスとは,” <https://ancar.jp/channel/articles-337> <accessed 2017/1/31>
- [2] 宮本和明, “自動運転車との並走で見た「人間と共存」の課題,” <http://www.nikkei.com/article/DGXMZO76776800Y4A900C100000/?df=2>, 日経新聞 <accessed 2017/1/31>
- [3] Gerald J S Wilde, “Risk homeostasis theory: an overview,” *Injury Prevention*, Vol. 4, Issue.2, pp.89-91, 1998
- [4] 森田和元, 関根道昭, 岡田竹雄: 運転支援システムのためのドライバのブレーキ操作タイミングに関する要因の解析計測自動制御学会論文集 Vol.44, No.2.2008
- [5] 津川定之, “自動運転の課題,” 電子情報通信学会 Fundamentals Review, Vol. 10, No. 2, pp.93-99, 2016
- [6] 山本晋也, “寝ながら目的地に行けるのはいつ? 自動運転の進化を辿る,” <http://ascii.jp/elem/000/001/068/1068898/> <accessed 2017/1/31>
- [7] 田中伸治, 桑原雅夫, “複合現実感交通実験スペースを用いた路上駐車場所の安全性評価,” 生産研究, Vol. 59, No. 3, pp. 176-179, 2007
- [8] 沼田仲穂, 竹本雅憲, 久保田泰成, 富永隆人, 紫藤聖也, 北島洋樹, “無信号交差点における車車間通信の人間工学的考察,” 日本機械学会論文, Vol. 82, No. 835, 2016
- [9] 石川亮, 本多中二, 風間洋, “微視的道路交通シミュレータ MITRAM による広域交通解析,” 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用, Vol.46, No.SIG17, pp.46-55, 2005