

自動運転普及期における適切な交差点進入モデル

原達郎¹ 清原良三¹

国内外を問わず自動車メーカー各社は自動運転車両の実現化に向けて開発を活発化させている。また、既にクルーズコントロールやレーンキープアシストなど、支援機能として実用化されている技術も多い。自動運転車両が普及すれば、交通事故などの多くの問題が解決すると期待されている。しかし、自動運転車両が普及することによる問題解決は、すべての車両が自動運転車両であるということが前提とされている場合が多い。そこで、本論文では、自動運転車両普及期にフォーカスを当て、自動運転車両と手動運転車両が混在している環境をドライビングシミュレータを用いて再現し、混在環境下で起こると予想できる各種問題を明確にし、手動運転車両のドライバが様々な状況でどのような対応をするか調査し、解決策を提案評価する。

1. はじめに

国内外を問わず、自動車メーカー、大学などが中心となり電気自動車、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、制動のうちの複数をシステムが制御できるようになっており、クルーズコントロールやレーンキープアシストとして利用されている。

日本政府が行っている第5回未来投資会議では、無人運転走行による移動サービスの実現に向けた政府の方針が発表[1]され、実現化に向け開発が進められており、2020年の自動運転システムの世界市場規模は、2015年の約4.29倍になるという調査結果も出ている[2]。自動運転システムが普及すれば、交通事故削減、少子高齢化社会への対応、ドライバ不足の解消、地方活性化など様々な期待ができてとされている[3]。

しかし、自動運転車両を普及するには様々な課題がある。課題の一つに自動運転車両はシステムであるという点が挙げられる。ヒューマンエラーに比べ、システムエラーの発生確率は低い。しかし、自動運転のシステムは目には見えないことがあり、システムに対する不安が募る面も否定できない。加えて、自動運転車両を利用するドライバは自動運転車がどこまで対応できるか把握する必要がある。

自動運転車両の普及期には、自動運転車両と手動運転車両が混在する交通流が必ず存在する。そのような環境下では、手動運転ドライバが自動運転車両の動きを予測するのは困難であり、逆もまた同じである。自動運転車両が実用化され、普及した場合一部のドライバは、自動運転システムを過信して、設計者やシステムが想定していないアクションをする可能性がある。現在においても、自動運転モードを過信したドライバが交通事故に遭い死亡している[4]。

自動運転が普及すれば、現在起きている様々な問題が改善される、しかし同時に、自動運転車両普及がトリガとなって発生する問題も存在してくる。

そこで本論文では、自動運転車両が普及期に起きる課題を明らかにし、その解決策を検討する。具体的には、ドライビングシミュレータを用いて、自動運転車両と手動運転

車両の混在環境を構築し、混在環境下で、自動運転車両の行動に対して、手動運転車両のドライバがどのような対応をするのか調査し、モデル化することにより、自動運転普及期における協調型運転のための交差点進入方法を提案する。

2. 関連研究

現在、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。宮崎ら[5]は、混在環境下においてドライバ支援方式の実現を目的とした研究を行っている。研究の結果として、混在環境において、自動運転車両の占有率が高い場合、渋滞軽減効果が期待できたが、低い場合は満足の行く結果が得られていないとしている。この研究では自動車の運転モデルとして交差点への侵入に関して時間をベースに行っている。しかし、実際にドライバは時間ではなく距離を見ていることが多い。

また、西村ら[6]は、混在環境における直線道路を対象として自動運転の普及の割合によって、ドライバの挙動がどのように変化するかを調査して、定量化する研究を行っている。

本論文では、交差点に着目するとともに、混在環境における自動運転車両のドライバ視点と一般車両のドライバ視点の双方にたつて、ブレーキを踏まないですむ交通流にはどうあれば良いかを明らかにする。

3. シミュレーション環境

自動運転と手動運転の混在環境に関する研究の多くは、安全面、再現性からドライビングシミュレータや、交通シミュレータを用いて行われている。両シミュレータの違いは、取得できるデータにある。ドライビングシミュレータと交通シミュレータの特徴を下記に示す。

● ドライビングシミュレータ

ドライビングシミュレータは、被験者に実際に運転してもらうことで、ブレーキや、アクセル、速度などの運転ログを取得できることである。トラフィックシミュレータに比べて、より現実に近いことが特徴の一つといえる。上記の理由から、ドライビング

¹ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

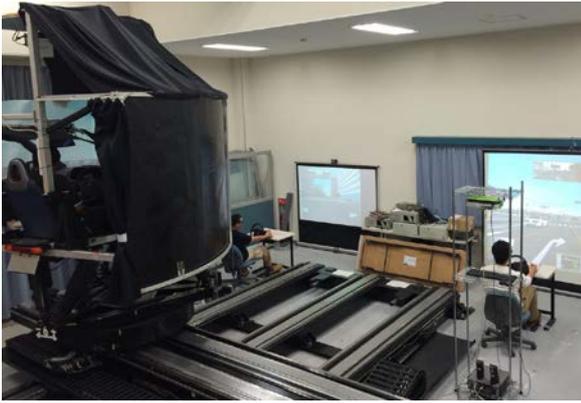


図1 ネットワーク型シミュレータ (神奈川工科大学)



図2 評価用ドライビングシミュレータ

シミュレータを用いた研究は主に、ドライブの挙動に重きを置いた研究が多い。また、図1に示すように複数のドライビングシミュレータを連携したネットワーク型のドライビングシミュレータもあり、車両同士の動きに合わせて動作を決めることができるという特徴もある。しかし、人が運転する車両の台数には限りがある。

● 交通シミュレータ

交通シミュレータは交通流全体を見る事が可能であり、1台1台の車両をシミュレートするミクロ的手法と流れとしてとらえるマクロ的なものがある。ドライビングシミュレータに比べ、広い視野で交通環境を見ることができる。具体的には、道路工事が及ぼす交差点や沿道への影響や大型店舗等への乗入待ち行列が及ぼす影響[7]などの道路環境の解析に重点を置いた研究が多く存在する。

上記の2つのシミュレータを統合や課題点に関する研究も数多く行われている。我々も、この2つのシミュレータの統合をめざし2つシミュレータで使い方が違う視覚のための地図と道路としての地図の変換などの研究もある[8].

4. 右左折時の課題

4.1 事前検証

ドライビングシミュレータにて、右左折のタイミングに依存して、人が危険と感じるか、ブレーキを操作してしまうかを調査した。ドライビングシミュレータは図2に示すシミュレータを利用した。

被験者には、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作成したシナリオを運転してもらい、評価実験を行った。ドライビングシミュレータは、PC上に画像を表示し、キーワ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、ステアリング、ブレーキ、アクセルなどは手足で操作するタイプ、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、6軸のアクチュエータを備え、加速度など体験でき、より現実に近いものや6軸のアクチュエータに加え、レールの上で走らせることにより、現実と同じような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のかという点に重点を置くため、6軸のアクチュエータを用いた重力再現は必要なく、コストの面も考慮の上で、教習所タイプのドライビングシミュレータで実験は十分に行うことができると判断した。よって、図2に示したドライビングシミュレータを用いて実験をすることとした。

4.2 要求と実装

4.2.1 自動運転とは

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と手動運転車両の混在環境を再現する。この混在環境下で、自動運転車両が対向車線から右折してきた場合と脇道からいきなり左折し侵入してきた場合のドライバの運転の仕方を比較する。そのために自動運転車両は以下の2点の要件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する。
- (2) 自動運転車両側から右左折を行う場合は、接触の危険がないと判断した場合、手動運転側のドライバの感じ方に関係なく、減速、停止をせずに進行する。

4.2.2 シナリオ

あるタイミングで、右折車や左折車を出現させるには、図3に示すようなシミュレータのシナリオ開発環境で作り、ある地点を車両が通過したことをトリガに発生させるというようなシナリオを作成する。具体的には、他車両の出現するタイミングや速度、右左折を操作するには、シナリオを用いる。作成したシナリオはドライビングシミュレータがインストールされているパソコンの適切なディレクトリに配置することで、シナリオを追加することができる。追加したシナリオはドライビングシミュレータで実際に走行することができる。

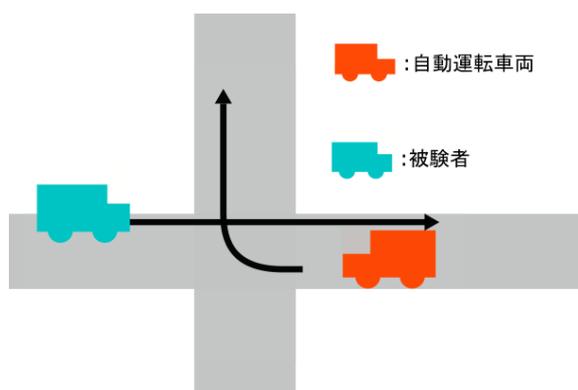


図5 シナリオ1

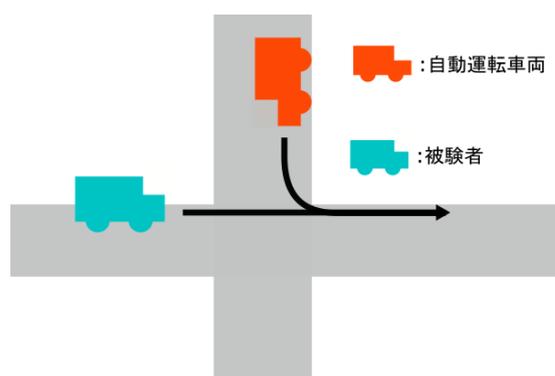


図6 シナリオ2

を調査する。

- 見通しの良い全長 150m の片側一車線の道路走行しているものとする。スタート地点から80m付近に十字路があり、その道路の対向車線に自動運転車が時速 20 kmで右折をするような状態を作る。この自動運転車は、ドライバが進行する前に、右折を行う。目の前でいきなり右折したとき、手動運転ドライバは急ブレーキや、ハンドルを切る、切らないかなどの対応の方法を記録するとともに、この右折を行う動作を十字路から 15m, 20m, 23m, 25m と離れた時、ドライバが適切な判断ができる距離はどの程度なのか調査する。本実験では、上記のイベントが発生するシナリオ以外に全く関係のないシナリオ 4 種類を混ぜて、ランダムに走行をした。実験をするシナリオイメージを図5に示す。

- 実験人数 3人

(2) シナリオ2 (図6 参照)

- 目的

自動運転車両が左折をする状況下において、自動運転車両の挙動に対するドライバの対応を調査する。

- 内容

見通しの良い全長 150m の片側一車線の道路を運転しているものとする。スタート地点から 80m 付近で、自動運転車両が急に左折し、ドライバが運転している道路に侵入をする。侵入してくる位置を 0m としたとき、15m, 20m, 23m, 25m と距離をずらして、ドライバが適切な判断を行える距離を調査する。ドライバの走行するシナリオはシナリオ1と同様に、シナリオ2のイベントとは別の関係のないイベントを 4 種類用意し、ランダムに走行を行った。シナリオ2のイメージを図6に示す。

- 実験人数 3人

また、シナリオ1、シナリオ2の実験を実施する前に被験者に、以下の3点の質問を行った

- 年齢
- 運転頻度
- 1回の運転で走行する距離

各シナリオ走行後被験者に走行しやすかったかを質問を行った。

5.4 実験結果

5.4.1 シナリオ1

シナリオ1の走行結果の速度と距離の関係を表したグラフを図7に示す。シナリオ1は約150m道路を制限速度30kmで走行し、スタート地点から80m付近で右折してくる自動運転車両を用意した。そして侵入してくるタイミングを十字路から15m, 20m, 23m, 25mと変更し、その時の被験者の対応の仕方を調査した。図7のグラフから右折時は対向車線にすでに車が見えているため、速度が0kmになるといった状態が少なかった。これは被験者が車を視認しているため、意識して運転していると考えられる。

シナリオ1のブレーキ開度を表したグラフを図8に示す。23m, 25m離れた位置で右折してくるシナリオはグラフから56m付近でブレーキを踏んでいることがわかる。これは侵入してくる車両から24m離れている。よって、右折距離から23m以上離れている場合、ドライバは適切な判断を行うことが可能だとグラフから読み取ることができる。

5.4.2 シナリオ2

シナリオ2の走行結果、速度と距離の関係を表したグラフを図9に示す。シナリオ2も同様に、150mの道路を制限速度30kmで走行し、スタート地点から、80m付近で左折し、被験者の道路に侵入してくる自動車を用意した。そして、自動運転車両が侵入してくるタイミングを十字路から15m, 20m, 23m, 25mの離れた位置にし、被験者がどのように対応するかを調査した。グラフから、距離が近いほど、速度は0kmにならずに被験者は対処している。左折車両が侵入してくる距離から20mを超えるとグラフから差があ

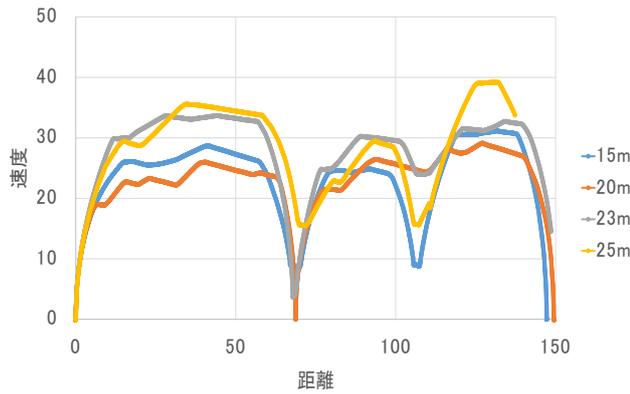


図7 シナリオ1の速度と距離

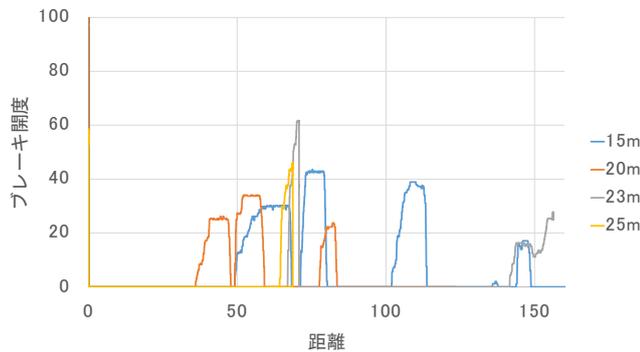


図8 シナリオ1のブレーキ開度

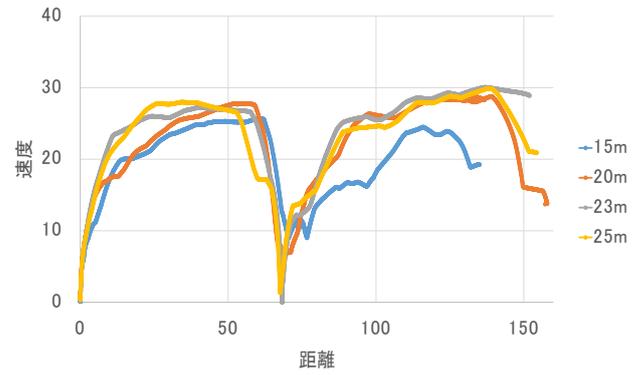


図9 シナリオ2の速度と距離

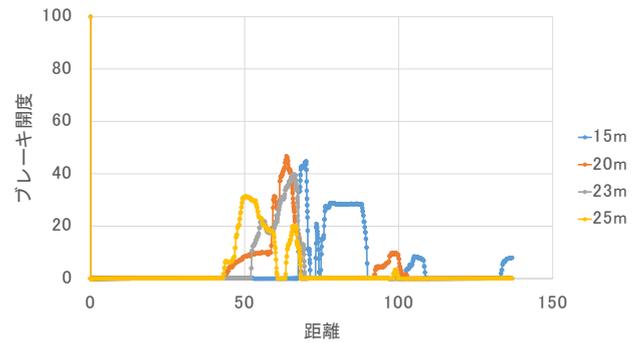


図10 シナリオ2のブレーキ開度

まり見られない。このことから被験者は適切に対処していると考えられる。

次に、各シナリオでのブレーキ開度を表したグラフを図10に示す。グラフより、20mより距離が離れている時の方が、ブレーキ開度値が低く、かつ緩やかに上昇している。これは被験者が目の前に侵入してくる車両を目で捉えていると考えることができ、あらかじめブレーキを踏んでいると読み取ることができる。25mのブレーキ開度を見ると、スタート地点から42m付近でブレーキを61m付近でもう1度ブレーキを踏んでいる。これは十字路に入る前に侵入車を認識して、ブレーキを踏み、対処し終わった上で十字路に差し掛かったといえる。なので、図9の25mのグラフを見ると、62mから66mの間は速度の変化がない。15mのブレーキ開度を見ると数回にわたりブレーキを踏んでいることが確認できる。このことから被験者はまた急に自動車が侵入してくるのではないかと警戒状態に入っているのではないかと考えることができる。この状態では急発進、停止を繰り返していることがわかる。

5.5 評価

本実験では、右折してくる車と左折してくる車に焦点を

当て、急に侵入してきたときのドライバーが適切に判断を行える距離を、ドライビングシミュレータを用いて調査した。右折時は、図7、図8より、適切な対処をするためには約20m以上離れている必要があり、左折時は、図10と図11のグラフより十字路から約23m離れていれば適切な判断を行えるという結果となった。

本実験とは別に速度を40kmに変更して4.2.1項と同じ条件で実験を行った。右折時の速度と距離の関係のグラフを図11に左折時のグラフを図12に示す。

図11より、十字路から15m、20m、23m離れた場所から右折してきた時、被験者は対応が間に合わず、自動運転車両と接触してしまった。図12の左折時も同様に15m離れた個所から侵入した時、対応が間に合わず接触をしていることがわかる。時速30kmの実験において、右折時は23m以上であれば適切な対処をすることが可能だということが分かった。速度が向上した場合、23mよりも遠く離れて居なければ対処できないというのは容易に想像できる。よって時速40kmでの適切に対処できる距離は25m以上必要であると考えられる。右左折時に、時速30km時と時速40km時の適切に判断できる距離との関係を表したグラフを図

13に示す。

図13のグラフより等速で移動している場合において、右折時に侵入してくる場合、ドライバが対応できる距離を式(1)に示す。同様に、左折時の時を式(2)に示す。

$$x \geq \frac{1}{2} \times v + 5 \quad (1) \quad x \geq \frac{1}{5} \times v + 17 \quad (2)$$

このような速度に応じた距離を最低でもあけることがスムーズな交通流には必要である。

6. おわりに

本論文では、自動運転車両と手動運転車両の混在環境をドライビングシミュレータを用いて再現し、右折時と左折時に、ドライバが適切な判断を行える距離を調査した。ドライビングシミュレータから出力される走行ログを分析することにより、ドライバの普段、意識していないデータを取得した。

ドライビングシミュレータでは、シナリオを作成するコストがかかるうえに、ダミーのシナリオというのも複数用意しなければ、慣れを防げず、適切な実験を行うことは難しい。ドライビングシミュレータだけで、ドライバの情報を得るのは容易だが、ドライバの運転している周囲の交通流などは取得できない。そのため、交通シミュレータなどを統合した統合型のドライビングシミュレータの作成が求められる。

また、ダミーシナリオを含め、似たようなシナリオ複数回連続で行ったため、ドライバが十字路などを警戒してしまい、普段より速度を落とすなど適切なデータをとることが困難であった。これは実験で使用したドライビングシミュレータがシナリオという固定した情報を読み取るという性質上ドライビングシミュレータのみで解決するのは困難であるといえる。ドライビングシミュレータと交通シミュレータの機能を併せ持つ、統合型ドライビングシミュレータを用いれば、シナリオを読み込んで走る従来のドライビングシミュレータとは異なり、動的に値を変えることが可能になる。そうすることにより、ドライバはドライビングシミュレータの慣れによる、危険の予測、回避が困難になり、より現実に近いデータを取得できると考えられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 16K00143 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 首相官邸. <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai5/siryou5.pdf> (accessed 2017.05.25)
- 2) 自動運転システムの世界市場に関する調査を実施(2016). <http://www.yano.co.jp/press/pdf/1633.pdf> (accessed 2017.05.25)
- 3) Traffic-Cation 第42号. http://www.jaef.or.jp/6-traffic-cation/Traffic-Cation_no42.pdf (accessed 2017.05.25)
- 4) 日本経済新聞 米テスラ、「自動運転モード」作動中に初の死

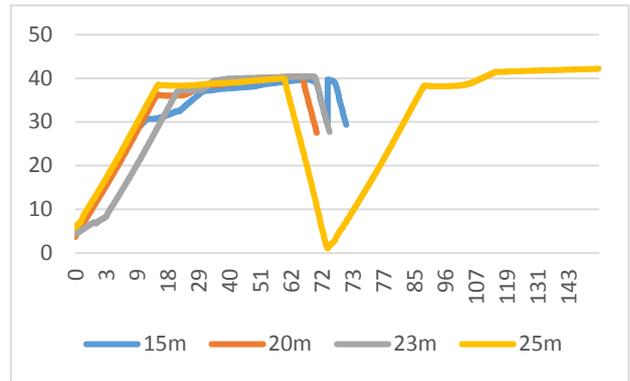


図11 シナリオ1を時速40km走行時の速度と距離

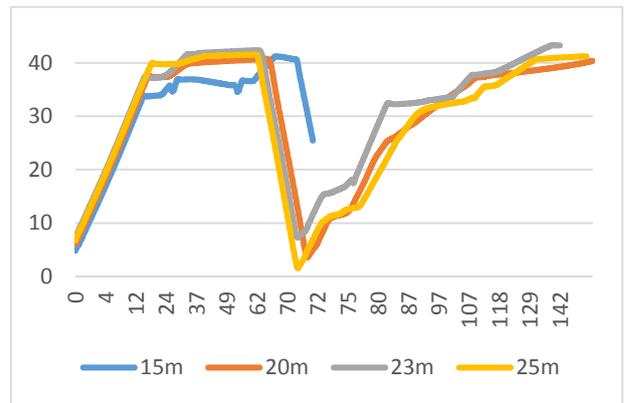


図12 シナリオ2を時速40km走行時の速度と距離

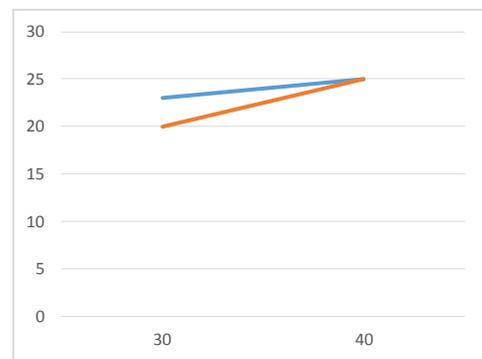


図13 時速30km時と時速40km時の適切に判断できる距離との関係

- 亡事故 http://www.nikkei.com/article/DGXLASGN01H0T_R00C16A7000000/ (accessed 2017.05.29)
- 5) 宮崎千展, 松山聖路, 齋藤正史, 清原良三, “自動運転車両と手動運転車両の混在状況におけるT字路におけるドライバ支援方式の検討,” 情報処理学会 DICOMO2016, pp.1277-1284
 - 6) 西村友佑, 藤田 敦, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 諏訪晃, 浦山博史, 竹嶋進, 高井峰生, “自動運転車両と従来車両の混在が相互の走行にもたらす影響の検討,” 情報処理学会研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ 2017-ITS-68.
 - 7) 交通マイクロシミュレーション ～交通実態の見える化(PCによる交通推計システム) <http://www.nihonkai.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/micro.pdf> (accessed 2017.05.30)