

交通流シミュレータを用いた 自律型自動運転自動車の社会受容性の分析

工保 淳也¹・藤生 慎²・高山 純一³・中山 晶一朗⁴

¹学生会員 金沢大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: jeep5528@gmail.com

²正会員 金沢大学助教 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp

³フェロー会員 金沢大学教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

自動運転自動車と一般車両の挙動は異なるため、自動運転自動車が一般道路を走行することになった場合を想定してシミュレーションを行い、事前に交通流に与える影響を評価しておく必要がある。そこで、本研究では、交通流シミュレーションソフト (Aimsun8.1.1) 上に自動運転自動車を再現し、交通流への影響を事前に評価する。まず、自動運転自動車を一般道路上に走行させる交通流シミュレーションを実施し、自動運転自動車が一般道路を走行することによるポジティブ/ネガティブな効果について検証することとする。さらに、OD間の旅行速度へ与える影響や右折待ちの待ち行列への影響なども合わせて評価する。そして混入率を変化させ、将来的な交通予測を行う。なお、交通流シミュレーションの対象地区は、過疎部・地方部・都市部・大都市部とした。

Key Words : *self-driving car, Traffic stream, simulator, Aimsun, Social receptivity*

1. はじめに

近年、社会では新たなシステムとして自動走行システムというもの注目されている。平成25年には日本で「世界最先端IT国家創造宣言」が閣議決定されている。内容としては「2018年を目途に交通事故死者数を2500人以下とし、2020年までに世界で最も安全な道路交通社会を実現する」¹⁾そして、このために「車の自律系システムと車と車、道路と車との情報交換等を組み合わせ、2020年代中には自動走行システムの試用を開始する」とされている。また世界でも自動走行は注目されており、例を挙げればGoogle社のドライバーレスカーが最も有名であろう。走行中は、GPS (全地球測位システム) を使い、現在地と目的地をリアルタイムで比較しながら、コンピュータが自動でハンドルを回す。またレーザーカメラやレーザースカナを搭載しており、これは様々な道路情報 (周辺の車両、歩行者、信号、障害物) を識別する。これらの装置で収集した情報は、コンピュータが総

合的に解析し、ハンドル、アクセル、ブレーキなどの運転に必要となる動作の最終決定を行うために使われる。このように非常に利便性の高い自動運転だが、雨天時の走行が困難なことや一般車両との共存など課題もまだ多く残っている。そのため本研究においては自律型自動運転自動車が一般社会に将来的に受け入れられていくのかという社会受容性可能性について調査を行うことにした。

2. 本研究の目的

自律型自動運転自動車はあらかじめ決められている制約条件のもとで運転がなされるため、一般的な車両とは走行の挙動が異なると考えられる。したがって一般車両との共存は、大小さまざまなポジティブ/ネガティブな効果を与えるということが推定される。実際の交通流に自律型自動運転を組み込むことは現段階では困難なため、交通流シミュレータを用いて推測を行うこととした。このシミュレーションによって自動運転自動車と一般車の



図-1 金沢大学が所有する自律型自動運転自動車

移動状況の変化を捉え、どちらかの車両がスムーズに交通流が流れれば、社会的にはその車両を利用する方向に行く可能性が考えられる。

3. 本研究の位置づけ

本研究で取り扱っている自動運転システムについての研究は近年の動向もあり盛んに行われている。自動運転システム構造自体を取り扱うハード的な研究は多く行われているが、自動運転システム自体が社会に迎合されるのか、またどんな影響を及ぼしうるのかといったソフト面の研究はまだ類を見ない。したがって、本研究では、自律型自動運転自動車が社会に受け入れられていくために、現在は何が可能で、何が不足しているのかということをも基本的な調査によって明らかにしようと考えている。今回の調査項目としては、アンケート調査による経済的調査、心理的調査と交通シミュレーションによる交通的調査を想定している。

4. 既往研究

Google社はGoogle Self-Driving Car Projectと銘打ち、自律型自動運転自動車に対し積極的な開発を行っており、現在までに10台以上の実験車を開発しているという。自動運転技術では、車両に搭載したセンサーを使い、あらかじめ作った3次元の地図情報と走行中に収集する周囲の情報を照合することで自車の位置を推定し、最適な走行経路を計算するため、「Google Maps」を持つGoogle社にとっては得意な分野であることが大きな要因と考えられる。また最近では、より詳細な地図データを作成し、運転技術の精度を高めている。²⁾

自動運転関連市場は、現状では自動運転自動車自体の市場はまだ立ち上がっておらず、LKAS/LDW、ACC、PCSといった運転支援システムとして展開している。これらを統合したADASの世界市場規模は2012年で

1,363千システム存在している。市場シェアはBMW、ダイムラー、ボルボ、フォルクスワーゲンといった欧州自動車メーカーが上位を占め、現状では欧州メーカーが先行している。日本は富士重工業の「Eye Sight」によって欧州メーカーに次ぐシェアを有している。³⁾

以上のように開発が行われているが、いずれも一般人が自動運転車を利用できるレベルには達しておらず、まだ社会に対してどのような影響が起こるのかということの実践的には把握することができない。したがって本研究では交通シミュレータを用いて再現し、どのような挙動を示すのかを算定することとした。

5. 自律型自動運転自動車について

(1) 自律型自動運転自動車の概要

本研究で取り扱う金沢大学計測制御研究室が所有する自律型自動運転自動車⁴⁾について簡潔に説明する。

自律型自動運転自動車とは車両に搭載されているコンピュータやセンサーによって道路状況を判断し、走行を自動で行う車両のことを指す。今まで自動走行といえばPoint-to-Pointの比較的整備された環境でのものしか存在しなかった。(飛行機など。)しかし今回取り扱う自律型自動運転自動車とはDoor-to-Doorの自動走行にあたる。このシステムが向上すれば知能を持つことになり無人走行をも視野に入れることができる。また交通事故の削減、高齢者、障害者の移動支援システムなどの利用方法が考えられる。

(2) 珠洲市における実証実験

2月21日に珠洲市と金沢大学が共同記者説明会で計画概要を発表し、日本初の普通乗用車型の自律型自動運転自動車(高度有人運転支援システム搭載)を用いた市街地における社会的実証実験が、2月24日、珠洲市内で開始された。

国内の大学が、自治体と連携の上、継続的に自律走行型の自動運転自動車を利用した歩行者や他の車両も通行する一般公道での社会的実証実験は、わが国では初めての先駆的な試みとなる。

この実証実験では、市街地環境をも走行可能な自律型自動運転知能を開発することを目的としており、将来の交通事故低減・高齢者等の移動支援に資する高度な運転支援システムの技術開発を促進させ、また、地方創生や超高齢化社会への対応の観点から、珠洲市を代表とする地域課題の将来的な解決に貢献することが期待されている。

10月27日には、金沢大学と石川県珠洲市が連携して実

新ルート概要

全長約60km
(国内で類例のない規模)



図-2 新実験ルート

施している自律型自動運転自動車（高度有人運転支援システム搭載）を用いた市街地における日本初の社会的実証実験について、研究開発をより加速させるため、実験ルートを延長することとなった。

同プロジェクトは、市街地環境をも走行可能な自立型自動運転知能を開発することを目的とするものである。本研究における実験ルートについて、さまざまな道路環境・交通状況に即した4コースを新たに設定・拡充し、従来の約6Kmから10倍近い延べ約60Kmへ延長した。

登坂車線やトンネル、ループ橋などのこれまでの実験ルートにはない環境での実証実験をとおして研究開発をさらに促進し、我が国の自動運転技術における国際競争力の強化を図るとともに、地方創生や超高齢社会といった地域課題の将来的な解決に貢献することが期待されている。

6. 自動運転自動車の社会受容性の評価

(1) 交通流シミュレータ(Aimsun)の概要

まずは今回用いる交通シミュレータAimsun⁵⁾の概要について述べる。

① 総合的な交通シミュレーションプラットフォーム
AimsunとはスペインのTSS社で開発された高機能交通シミュレータである。Aimsunは、マイクロシミュレーション、メソシミュレーション、ハイブリッドシミュレーション及び交通需要モデルなどを一体的に、一つのアプリケーションで取り扱うことのできる総合的な交通シミュレーションプラットフォームである。利用目的に応じて、必要なパッケージを導入し、使い分けることができる。また、モデルに応じて動的確率的経路選択モデル（マイクロ・メソ）、動的均衡配分モデル（メソ）、そして静的な交通配分モデル（マクロ）を組み合わせることで利用可能

である。

② 高速計算

マルチスレッドに対応しており、シミュレーション計算を高速で行うことができる。例えば、シンガポール市街地全体（約1万交差点・合計レーン長さ約4500km）のマイクロシミュレーションを、ノートパソコンでも約2～3倍の速度で行える。静的交通配分も複数のスレッドで実行可能である。メソシミュレーションでは、モントリオール、メルボルン、トロント、ニューヨーク市など、最大規模の都市の動的なモデリングに成功している。

③ 汎用性・拡張性

Aimsunは一般的なGISデータ、CADデータ、他の交通シミュレータ等からのデータインポートができるだけでなく、外部の交通需要モデル、信号制御プログラムとのインターフェースがあり、高い汎用性を持っている。また、Python、C++などの言語に対応した拡張インターフェースが用意されているため、専門性の高い利用目的に対しても高い拡張性がある。

Aimsunでは車両1台ごとの変化を詳細に表わすことができる（図-3.1）。また交通流の時間ごとの変化（車両の時間遅れや交差点内における車両長の変化など）をグラフにシミュレーションが終了すると同時に出力可能である。（図-3.2）

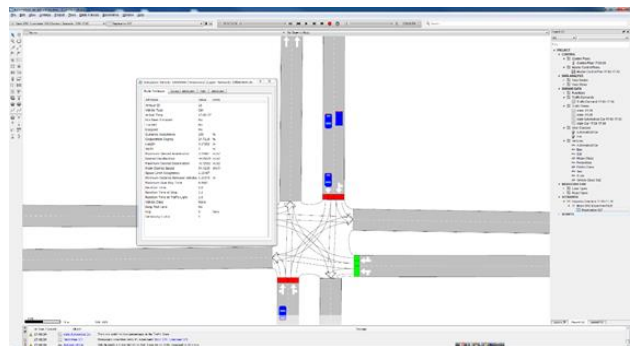


図-3.1 車両の詳細情報

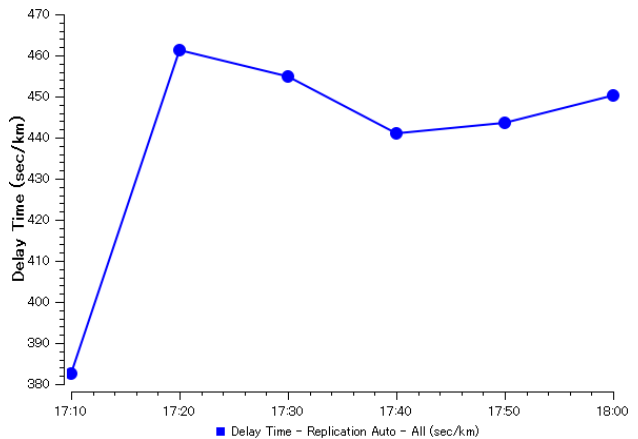


図-3.2 車両の各時間における時間遅れ

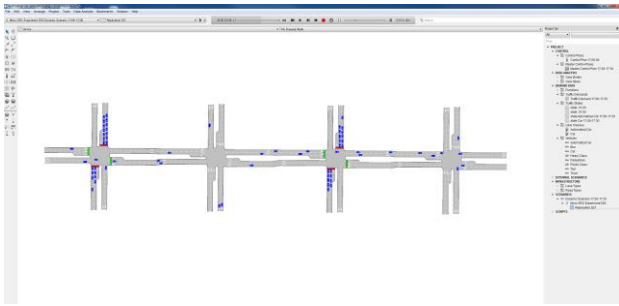


図-3.3 対象ネットワーク

今回のシミュレータに用いる対象ネットワークを図に示す(図-3.3)。今回は初のシミュレーションであるので簡易的なネットワークを作成した。

(2) 自律型自動運転自動車の運転挙動アルゴリズム

a) 追従理論

Aimsun 上では車両挙動アルゴリズムに Gipps の追従式理論を用いている。以下に式を示す。

$$Va(n,t+T) = V(n,t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n,t)}{Ve(n)} \sqrt{0.025 + \frac{V(n,t)}{Ve(n)}}\right) \quad (1)$$

$V(n,t)$: 時間 t における車両 n のスピード

$Ve(n)$: 車両 n の期待される速度

$a(n)$: 車両 n の最大加速度

T : ドライバーの反応速度

$$Vb(n,t+T) = d(n) + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2\{x(n-1,t) - s(n-1) - x(n,t)\} - V(n,t)T - \frac{V(n,t)^2}{d'(n-1)} \right]} \quad (2)$$

$d(n)$: 車両 n の最大減速度

$x(n,t)$: 車両 n の時間 t における位置

$s(n-1)$: 車両 $n-1$ の車両の長さ

$d'(n-1)$: 推定される車両 $n-1$ の期待される減速度

以上の2つの式によって導かれる値を比較して、小さいほうが採用される。

$$Va(n,t+T) = \min(Va(n,t+T), Vb(n,t+T)) \quad (3)$$

一方で、自律型自動運転自動車の速度は自動運転車の前方を走行する車両との車両間隔に依存する。

b) 車両間隔

Aimsun 上の車両間隔の計算式を以下に示す。

$$VehicleInterval = \frac{V_2^2}{2b} - \frac{V_1^2}{2b} + 1.5V_2RTL \quad (4)$$

b : 減速度

RT : 反応速度

L : 車両長さ+前の車両との停止時の最小間隔

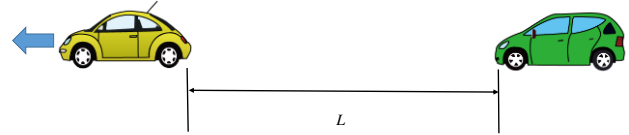


図-3.4 直進時の車両間隔

本研究で取り扱う自律型自動運転自動車の車両間隔は以下に式によって決定される

$$VehicleInterval = 5 + \text{車両長さ} \times TTC \quad (5)$$

TTC: Time To Collision: 先行車両との車間距離を相対速度で除した値

今回取り扱う自律型自動運転自動車ではあらかじめ TTC を 2(s) と設定している。

c) 減速開始距離

減速開始位置から停止位置までの距離を l とすると

$$l = \frac{1}{2a} V^2 \quad (6)$$

によって停止位置が計算される。

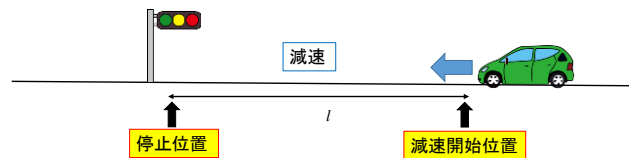


図-3.5 停止開始条件

d) 右左折判断

右左折は以下の式条件を満たした時に開始される。

- ① 一時停止後 1.5s 以上経過後
- ② 5s 以内に走行ルートに対向車両が通過しなければ発進

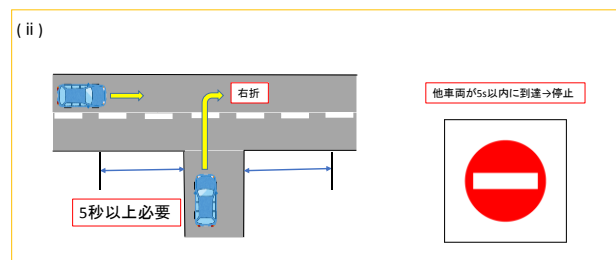


図-3.6 右左折開始条件

7. 評価項目

今回は自律型自動運転自動車の社会受容性を示すパラメータとして以下の評価基準を設定した。

- ① 信号停止時における停止車両の合計長さ
- ② 交差点における直進可能台数
- ③ 右左折レーンにおける右左折可能台数
- ④ 交差点を通過する車両の経過時間
- ⑤ 交差点を通過する車両の速度変化
- ⑥ 交差点周辺における渋滞発生の有無

いずれも、対象の車両を追加した際の交通流の変化を示すものであり、自律型自動運転自動車を組み込むことにより渋滞等を引き起こす場合は社会受容性が低いと判断することとする。

8. まとめと今後の課題

まず、本研究で取り扱う自律型自動運転自動車を Aimsun に読み込むために自律型自動運転自動車の運転アルゴリズムを整理し、そのアルゴリズムを Aimsun 上に再現した。そしてシミュレーションを行い設定した評価基準を用いて自律型自動運転自動車の公道における社会受

容性を評価した。

今後の課題としてはまず取り扱う公道ネットワークの拡大、自律型自動運転自動車の台数を増加させることによる影響の変化の考察、運転挙動のより詳細な表現、時間帯を考慮したシミュレーションの設定などが考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたって、多くの方々から貴重なご指導とご助言を賜りました。また本研究で取り扱う自律型自動運転システムを開発され、データなどを提供いただきました金沢大学計測制御研究室の皆様には謝意を表させていただきます。

参考文献

- 1) SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 自動走行システム研究開発計画内閣府
- 2) Google Self-Driving Car Project Monthly Report March 2016 <https://www.google.com/selfdrivingcar/reports/>
- 3) 平成 25 年度 特許出願技術動向調査報告書 (概要) 特許庁
- 4) 金沢大学理工学域計測制御研究室 <http://its.w3.kanazawa-u.ac.jp/index.html>
- 5) Aimsun エイムサン総合交通シミュレーション <http://www.udec.co.jp/software/aimsun/>