

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02261

研究課題名（和文）自動運転車の挙動特性と普及率に応じた安全・円滑な交差点制御手法に関する研究

研究課題名（英文）Research on safe and efficient control method for intersections depending on characteristics of autonomous vehicles and penetration rates

研究代表者

中村 英樹（Nakamura, Hideki）

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：10212101

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：信号交差点におけるHDVおよびAV挙動を再現するシミュレータを開発し、AV混在交通流を様々なシナリオの下で再現して安全性と交通容量への影響を分析した。AVには、挙動特性の異なるaAV、nAV、dAV3種を想定した。AVの各種パラメータ設定によっては交通容量を増大させることはできるものの、その際には安全性評価に関わる指標値が危険側に推移する傾向があることが定量的に示された。交通容量をHDVのみの現状交通流の状況の水準を維持した場合、dAVの混入率が100%で安全性評価指標は30.6%改善、安全性を現状水準と同等に維持するという条件下では、aAVにより交通容量を約37%向上することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

道路ネットワークのボトルネックとなる交差点において、AVの各種性能設定が安全性と交通容量のそれぞれに対してどの程度寄与することが期待できるのかを、AVの混入率に応じて定量的に示したことは、とくに過大評価されがちであったAVの普及に際しての効果と留意事項を現実的に示している点において社会的意義が高い。また、今後開発される自動運転車の各種制御パラメータ設定に際して、有益な情報を示唆するものである。

研究成果の概要（英文）：A microscopic traffic simulator that reproduces HDV and AV behavior at signalized intersections was developed. By using this simulator, mixed AV traffic flows under various scenarios were reproduced and their effects on safety and capacity were analyzed. For AV, three types of aAV, nAV, and dAV with different behavior characteristics were assumed. Although it is possible to increase the capacity by setting various parameters of AV, it was quantitatively shown that the index value related to the safety evaluation tends to shift to the dangerous side at that time. If the current traffic flow level of HDV only is maintained, the dAV rate is 100%, the safety evaluation index is improved by 30.6%, and if the safety is maintained at the same level as the current level, it was shown that aAV improves capacity by about 37%.

研究分野：交通工学

キーワード：自動運転車 交通容量 信号交差点 混在交通流 シミュレーション 安全性

1. 研究開始当初の背景

交通事故や交通渋滞の解消の切り札として自動運転車(AV)の普及が期待されているものの、その普及段階において現実的にはかなりの長期間続くことが想定される人の運転する車両(HDV)との混在状況が、交通流の円滑性と安全性に与える影響は不明確なままである。特に道路ネットワークのボトルネックとなる交差点において、AVとHDVの間の相互作用を明らかにし、どのような交差点構造でいかに制御を行うことで混在交通流の安全性と円滑性の双方の向上につながるのかについて定量的に把握することが、AV普及に際して解明すべき重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究は、交差点部とその近傍において相互に影響し合うAVとHDVの混在環境を表現可能な交通流シミュレータを開発し、AVの混入率や制御アルゴリズムに基づく挙動特性に応じた安全かつ円滑な交差点構造と制御手法を提示することを目的とするものである。

3. 研究の方法

(1) 信号交差点ミクロ交通流シミュレータの開発

研究代表者は、信号交差点とその近傍における安全性と円滑性評価を目的として、ミクロ交通流シミュレータを開発してきた(Dang, et al.(2013))。本シミュレータの特徴として、安全性に大きな影響を及ぼす車両の軌跡とその分布を、交差点幾何構造に応じて表現可能な点にある。しかしながら、本シミュレータはHDVのみを対象としたものであったため、本研究においてはまずこのシミュレータに改良を施し、AV特有の挙動・性能を表現可能とした。AV特有の挙動・性能として考慮した項目は、AVの反応時間・加減速度・追従挙動などの各種パラメータ、各種挙動のHDVに比較して小さい分布特性、より広範な周辺障害物認知性能、などである。なお、対象とする交差点は四枝交差点とし、その幾何構造による安全性と円滑性への影響を分析する。また、信号制御方式は、交差点利用者間の交錯が想定される標準的な二現示制御、ならびにこれに右折専用現示を加えた四現示制御とすることとした。

(2) 想定する交錯事象

本研究では、図-1に示す交錯事象を想定し、AVの各種設定値や混入率に応じた安全性への影響を評価する。図-1の交錯事象のうち、特に(a-2)直進車と対向右折車について、直進車がHDVで対向右折車がAVである場合に、右折AVの予期せぬ挙動によって直進車のドライバーが反応し、後続車に影響を及ぼす可能性が考えられる。このため、このケースについては仮想現実(VR)ソフトウェアを用いたドライビングシミュレータ実験を行い(図-2)、ドライバーの反応についてデータを収集して急減速挙動発生確率のモデル化を行った。上記のほか、青信号開始時の先頭車両のスタートアップモデル、右折車のギャップ/ラグアクセプタンスモデル、横断歩行者速度モデルなどを新たに開発し、キャリブレーションを施した上で、シミュレータに実装した。

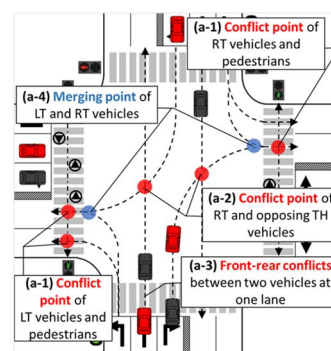
(3) シミュレーションによる円滑性と安全性の評価

シミュレータ上で走行するAVについては、加減速性能、追従挙動、ギャップ/ラグアクセプタンス挙動、黄信号開始時の停止/通過判断挙動、がそれぞれ異なるaAV、nAV、dAVの3種を設定することとした。シミュレーションでは、同一タイプのAVのみとHDVとの混在環境を再現した。

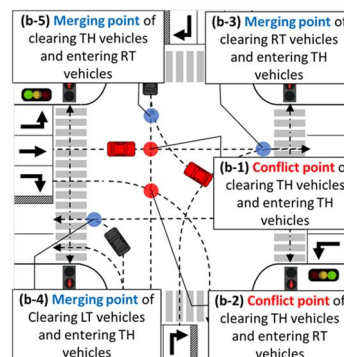
交差点の交差角や隅角部半径といった幾何構造諸元を変化させるとともに、交通条件やAVの混入率を0~100%の間で変化させたシナリオを設定し、各ケースの演算を行って評価を行った。各シナリオにおける円滑性の評価指標には車線別交通容量を、安全性の評価指標にはPET、TTC、ならびにConflict Index(CI)を用いた。

4. 研究成果

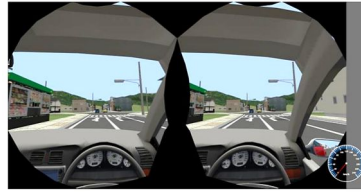
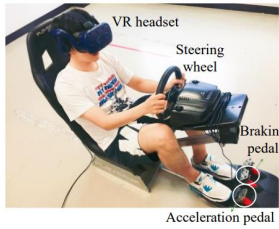
図-3より、AV混入率の増加につれてnAV、dAVの場合にはCIが減少し安全性が向上するが、aAVの場合にはCIが著しく増加することがわかる。一方で交通容量に関しては、図-4より、直進車線、右折車線ともにnAVやdAVでは混入率の増大に伴い減少することが明らかとなった。横断歩行者との交錯が生ずる左折については、図-5に示すように、混入率の増加に伴ってaAVでは交通容量、5秒未満のPETともに増加するが、nAVではほぼ感度がなく、dAVではいずれの指標も減少する傾向を示すことがわかった。



(a) 青時間中



(b) 信号切り替わり時
図-1 想定する交錯事象



(a) VRドライビングシミュレータ (b) 被験者から見たVR映像
図-2 VRドライビングシミュレータ実験

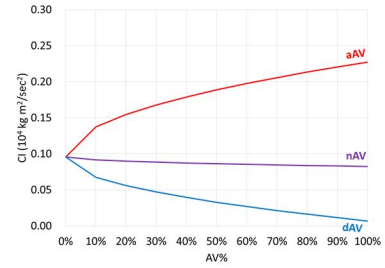
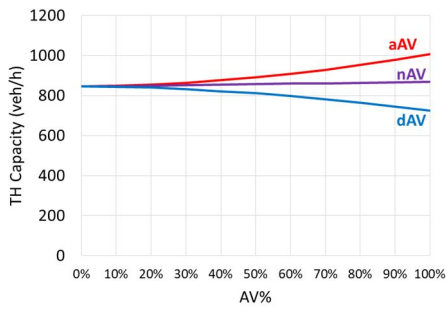
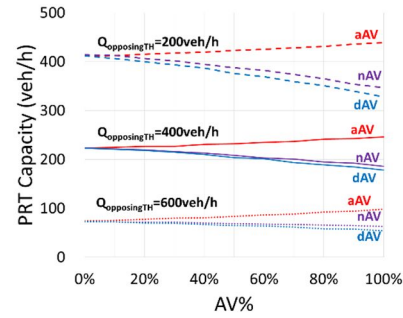


図-3 AV混入率に応じた右折対直進のCI

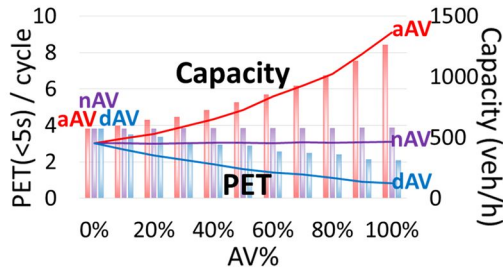


(a) 直進車線

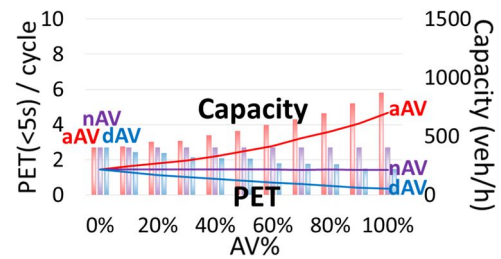


(b) 右折車線

図-4 AV混入率に応じた交通容量の変化

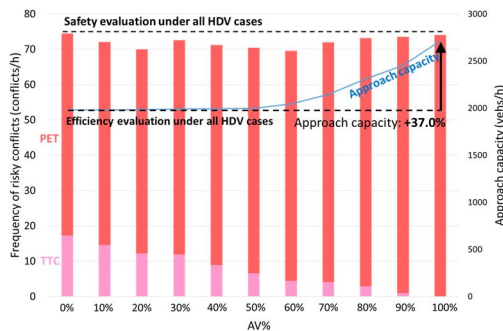


(a) 横断歩行者: 300人/時; PET<5秒

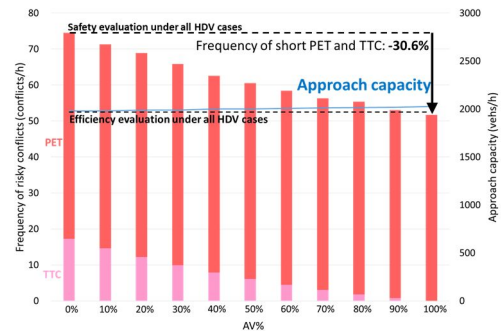


(b) 横断歩行者 600人/時; PET<5秒

図-5 AV混入率に応じた右折交通容量と5秒未満PET発生頻度の変化



(a)dAVにより交通容量現状維持



(b)aAVにより安全性現状水準維持

図-6 AV混入率に応じた交通容量と安全性評価指標

上記の結果から、AVの各種パラメータ設定によっては交通容量を増大させることはできるものの、その際には安全性評価に関わる指標値が危険側に推移する傾向があることが定量的に示された。そこで、交通容量をHDVのみの現状交通流の状況の水準を維持した場合に、dAVの混在が安全性の向上にどの程度寄与するのかを試算した結果が図-6(a)である。これより、dAVの混入率が100%の際には、安全性評価指標は30.6%改善されることがわかる。一方、図-6(b)より、安全性を現状水準と同等に維持するという条件下であれば、aAVにより交通容量を約37%向上させることができることが示された。

<引用文献>

Dang, M., Alhajyaseen W., Asano, M. and Nakamura, H. (2013) Development of microscopic traffic simulation model for safety assessment at signalized intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2316, pp. 122-131.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Pan Ang, Zhang Xin, Iryo-Asano Miho, Nakamura Hideki	4. 巻 20
2. 論文標題 Efficiency and Safety Evaluation of Left-turn Vehicles and Crossing Pedestrians in Signalized Intersections under the Autonomous Vehicle Mixed Flow Condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 103 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-021-00276-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Pan Ang, Zhang Xin, Nakamura Hideki, Alhajyaseen Wael	4. 巻 45
2. 論文標題 Investigating the Efficiency and Safety of Signalized Intersections Under Mixed Flow Conditions of Autonomous and Human-Driven Vehicles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Arabian Journal for Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 8607 ~ 8618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13369-020-04810-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Emagnu, Y. M., Zhang, X., Iryo-asano, M. and Nakamura, H.
2. 発表標題 Estimation of Waiting Pedestrian Occupancy-time at Signalized Crosswalks for Turning Vehicle Maneuver Analysis
3. 学会等名 100th Transportation Research Board Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Emagnu, M. Y., Zhang, X., Iryo-Asano, M. and Nakamura, H.
2. 発表標題 A Study on Expected Blockage Time of Left Turning Vehicles under the Influence of Pedestrians at Signalized Intersections
3. 学会等名 土木学会第62回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Emagnu, Y. M., Iryo-Asano, M. and Nakamura, H.
2. 発表標題 Pedestrian Presence Probability Distribution under High Demand Conditions at Signalized Crosswalks
3. 学会等名 土木学会第61回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Pan, A., Zhang, X., Nakamura, H. and Alhajyaseen, W.
2. 発表標題 An Analysis of the Efficiency and Safety of Signalized Intersections under Condition of Autonomous Vehicle Mixed Flows
3. 学会等名 99th Transportation Research Board Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Pan, A., Nakamura, H. and Zhang, X.
2. 発表標題 An Analysis of the Performance of Signalized Intersections under Conditions of Autonomous Vehicle Mixed Flows
3. 学会等名 第39回交通工学研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柿元 祐史 (KAKIMOTO YUJI) (30812937)	名古屋大学・環境学研究科・助教 (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井料 美帆 (IRYO MIHO) (80469858)	名古屋大学・環境学研究科・准教授 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関