

## 自動運転バスの混入が信号交差点の交通流に及ぼす影響の評価

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○堀 蓮

群馬工業高等専門学校 正会員 鈴木 一史

## 1. はじめに

近年、バス事業者における深刻な運転手不足に加え、高齢者等の移動手段の確保が喫緊の課題となっている。これら課題の解消手段として自動運転バスが注目されており、各地で実用化に向けた実証実験が進められている。一方で、これら自動運転バスの運行にあたっては、安全性確保のために相対的に低速での走行を前提とすることが多く、周辺交通流への影響が懸念される。しかしながら、自動運転車両が信号交差点の交通流に与える影響に着目した既往研究は少なく(例えば1),2), とりわけ低速走行する自動運転バスが混入したときの交通流への影響については十分に明らかになっていない。そこで本研究では、群馬県前橋市内で実施された自動運転バス実証実験時のビデオ観測データに基づき、自動運転バスの混入が交通流に及ぼす影響について、簡易なシミュレーションモデルにより評価することを目的とする。

## 2. 自動運転バス実証実験における車両挙動データ収集

## 2.1 実証実験の概要と観測方法

本研究で対象とする自動運転バス実証実験は、2018年12月から2019年3月にかけて前橋市内の中央前橋駅～前橋駅間で実施されたものであり、2019年3月21日、22日、28日の3日間にわたって中間地点の歩道橋からビデオ観測調査を行った。撮影したビデオ映像に基づき、専用のビデオ画像解析システムにより車両軌跡データを収集することで、車種別の発進反応時間、発進時加速度、自由走行速度等の車両挙動データを取得する。

## 2.2 車両挙動データの取得結果

車両挙動データの収集結果を表1に、各車両挙動特性に関する分析結果の考察を以下に述べる。

(1)発進反応時間 自動運転車両はセンサーで信号青開始を認識してから発進するため、発進反応時間が一般車両よりも大きくなる可能性がある。観測結果では、平均値は手動運転小型車、手動運転バス、自動運転バスの順に増加している。一方で、手動運転小型車、手動運転バスよりも、自動運転バスのバラツキは小さい傾向にあり、ドライバの運転よりも安定していることがわかる。

(2)発進時加速度 自動運転バスの発進時加速度は手動運転バスに比べて小さく、穏やかな加速をしており、バ

表1 車種別の車両挙動特性の観測値

観測項目	手動運転 小型車	手動運転 バス	自動運転 バス
(1)発進反応時間 (s)	1.04 (0.66) n=50	1.24 (0.69) n=24	1.49 (0.31) n=7
(2)発進時加速度 (m/s <sup>2</sup> )	1.57 (0.49) n=20	1.00 (0.25) n=15	0.76 (0.06) n=10
(3)自由走行速度 (km/h)	55.7 (7.2) n=30	45.9 (6.3) n=30	17.2 (0.4) n=7

※表中の数値は平均値、( )内の数値は標準偏差

表2 追従特性パラメータ(IDM+)の設定値

パラメータ	手動運転 小型車	手動運転 バス	自動運転 バス
発進反応時間 $\tau$ (s)	0.70 (0.20)	1.20 (0.50)	1.50 (0)
希望速度 $V$ (km/h)	40	40	20,30,40
停止時最小車間距離 $S_0$ (m)	2.0	2.0	2.0
安全車間時間 $T_{min}$ (s)	1.20	1.65	1.65
最大加速度 $a$ (m/s <sup>2</sup> )	1.60	1.00	0.80
希望減速度 $b$ (m/s <sup>2</sup> )	1.60	1.85	3.00
加速度指数 $\delta$	4	4	4
車長 $l$ (m)	4.5	7.0	7.0

※表中の数値は平均値、( )内の数値は標準偏差

ラツキも小さい傾向にある。

(3)自由走行速度 観測区間は制限速度が40km/hであるが、今回の実証実験では自動運転バスの上限速度は20km/hで運行され、観測結果からも当該速度付近で走行をしており、手動運転車両に比べて自由走行速度のバラツキも非常に小さいことがわかる。

## 3. 自動運転バス混入による交通流への影響評価

## 3.1 簡易なシミュレーション評価の方法

本研究では、2.2で取得した車両挙動データに基づき、式(1)に示す追従モデルIDM+<sup>3)</sup>のパラメータを適宜調整することで、信号交差点で青開始から20台分の車両が捌けるまでの交通状況をモンテカルロシミュレーションにより再現し、自動運転バスの様々な混入条件に応じた交通流への影響を評価する。

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = a \cdot \min \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_d} \right)^\delta, 1 - \left( \frac{s^*}{s} \right)^2 \right] \\ s^* = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $a$ : 最大加速度、 $b$ : 希望減速度、 $v$ : 自車速度、 $\Delta v$ : 先行車との相対速度、 $v_d$ : 希望速度、 $\delta$ : 加速項のべき乗数、 $s$ : 車間距離、 $s^*$ : 希望車間距離、 $s_0$ : 停止時最

小車間距離,  $T$ : 安全車間時間である.

表 1 の観測値, および既往研究<sup>4)</sup>における ACC を搭載した小型車・大型車の走行実験データに基づくパラメータ調整結果を参考に, 表 2 に示すパラメータを設定し, 自動運転バスの混入率に応じた交通流率の変化を比較する. なお, 本研究では小型バス (車長 7.0m) を想定する. 交通流率は図 1 に示すように, 発進遅れの影響がなくなると考えられる 4 台目以降の車両停止線通過時刻より回帰式で求める. シミュレーションでは, 自動運転バスの希望速度別 (40, 30, 20km/h) に, 自動運転バスの混入率を 0~25% (5/20 台) まで 5% (1 台) ずつ変化させ, 各シナリオについて 100 回分のモンテカルロシミュレーションの平均値を得る. また, 自動運転バスの車列中での存在位置による影響を確認するため, 1 台の自動運転バスが 1 台目から 20 台目までのいずれかの位置に存在するときのシミュレーションも併せて実施する.

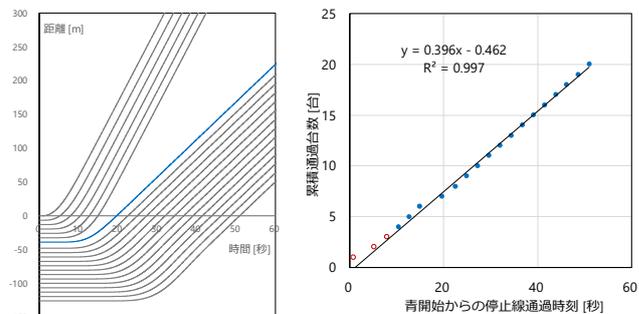
### 3.2 シミュレーション結果および考察

自動運転バスの混入率, 希望速度の違いによる交通流率の変化を図 2 に示す. 自動運転バスの混入率が増加するほど交通流率は手動運転バスに比べて低下する傾向にある. 特に自動運転バスの希望速度が 20km/h の場合には, 1 台 (5%) 混入しただけでも交通流率は大きく低下しており, 低速走行時に自動運転バスを先頭に大きなギャップが生じることが影響していると考えられる.

次に, 1 台の自動運転バスが車列の何台目に存在するかに応じて交通流率がどのように変化するかを評価した結果を図 3 に示す. 交通流率は自動運転バスが車列の中央付近に存在するほど低下傾向にあり, とりわけ希望速度が低いほど低下率は大きいことがわかる. 自動運転バスは手動運転バスに比べて加速が緩慢であり, 車列中央付近を走行しているほど, 車群先頭車となって大きなギャップを伴って停止線を通過するためと考えられる.

### 4. おわりに

本研究では, 低速走行する自動運転バスが混入したときの交通流率への影響を評価するため, 観測データに基づきパラメータ調整した簡易なシミュレーションモデルを用いて, 自動運転バスの希望速度別に混入率や車列位置を変化させたときの交通流率を比較した. その結果, 現行性能の自動運転バスの場合には, 混入率が増加するほど交通流率への影響が生じ, その影響は希望速度が低いほど大きいことがわかった. 今後の課題として, 自動運転バスの将来性能ケースを走行して追従性能を改善した場合や, 混入率に応じた自動運転バス専用レーンの導入条件等に関する検討が挙げられる.



※ 自動運転バスが 7 台目に混入した場合

図 1 Time-Space 図および交通流率の算出方法

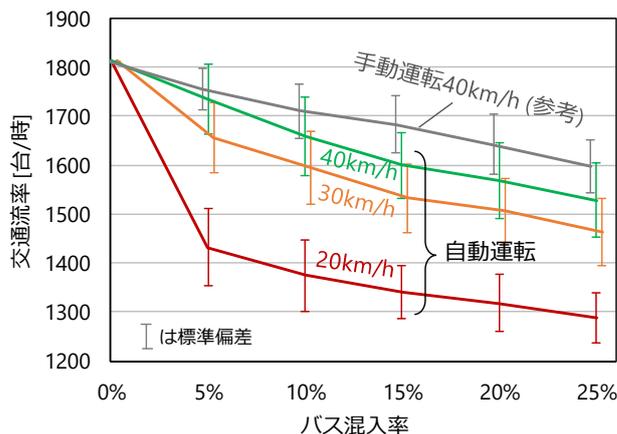


図 2 自動運転バス混入率に応じた交通流率の変化

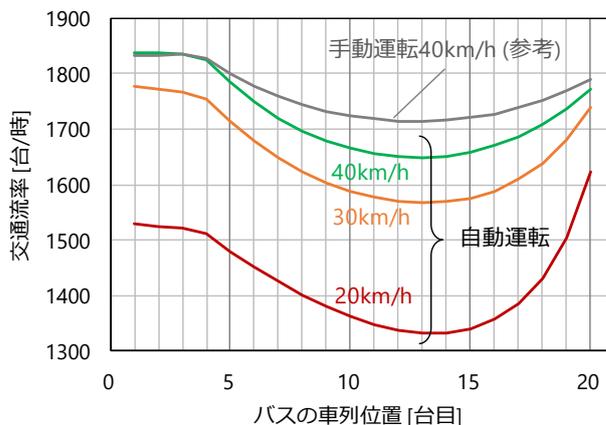


図 3 自動運転バスの車列位置に応じた交通流率

### 参考文献

- 1) 鱈部万磨・柿元祐史・中村英樹・井料美帆: 自動運転車両の混在が信号交差点交通容量に与える影響に関する分析, 交通工学論文集, 第 5 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A\_167-A\_175, 2019.
- 2) 香山裕紀・鈴木弘司: 観測調査に基づいた自動運転車の挙動特性と交差点での交通流へ与える影響の分析, 交通工学論文集, 第 5 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A\_20-A\_26, 2019.
- 3) Shackel, W.J., van Arem, B. and Netten, B.D.: Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on traffic flow stability, 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.759-764, 2010.
- 4) 鈴木一史・山田康右・堀口良太・鹿野島秀行・牧野浩志: ソフト的渋滞対策の段階的導入による高速道路サグ部渋滞の削減可能性, 第 35 回交通工学研究発表会論文集, No.50, pp.315-330, 2015.