

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

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○香山裕紀
 名古屋工業大学大学院 正会員 鈴木弘司

1. はじめに

近年では、世界各国で自動運転車の開発が進められている。しかし、自動運転車が普及していく過程において、自動運転車両の挙動が混在する一般車両と大きく異なると、自動運転車両の挙動に一般車両が即座に反応できないことが原因で交通容量の低下や、思わぬ危険が発生する可能性は否定できない。自動運転車両と一般車両が混在する状況の交通流について、高速道路に関する研究¹⁾があるが、一般道路に着目した事例は少ない。本研究では愛知県と企業が合同で行う自動運転車両の実証実験において外部観測により車両挙動を調査し、一般車両との挙動の相違とそれが交通流に与える影響を分析する。

2. 調査概要

愛知県豊橋市と岡崎市で実施された自動運転実証実験の概要を表-1に示す。調査を行った各交差点の概要と自動運転車両の走行ルートそれぞれ図-1~図-4に、使用された自動運転車両をそれぞれ図-5と図-6に示す。

3. 交差点直進時の挙動比較

まず、発進挙動について、岡崎調査での単独走行時における信号への反応時間を表-2に示す。ここでは、信号が青に変化してから車両が動き出すまでの時間を計測した。これより、自動運転車両の方がバラつきは少ないが、平均として約0.5秒反応が鈍く、平均値に統計的有意差が見られることが分かる($\alpha=0.05$)。次に、信号待ち車群の先頭にいた場合の岡崎市民病院北交差点の通過時間の比較を表-3に示す。図-4の上側の黄線で示す交差点通過時間の他、10m毎の区間通過時間も示す。これより、交差点通過時間の平均値に有意差が見られ($\alpha=0.05$)、一般車両よりも時間を要することがわかる。しかし、区間0~10m, 10~20mでは差があるものの($\alpha=0.05$)、20m~30m, 30m~40mでは差は見られず($\alpha=0.05$)、停止線から20m以上下流では一般車両と殆ど変わらない走行挙動が示された。

次に、直進車を対象とした停止線通過時の車頭時間分布を図-7~図-10に示す。赤線と青線は自動運転車両が車群中に含まれている場合をまとめた結果で、緑線と紫線は一般車両のみをまとめた比較用グラフである。直進挙動をまとめる為、豊橋では浜道沢東交差点、技科大学東交差点の2交差点の結果を用いる。これらから、まず豊橋の車両の反応が鈍く、自動運転車両と先行車両との車頭時間についてはどのケースでも一般車両の平均所要時間の2倍以上の時間を要していることが読み取れる。一方で岡崎の車両では、1台目、3台目のケースは一般車両

表-1 調査概要

	豊橋調査	岡崎調査
日付	2017年8月30日(水)	2017年11月6日(月)
実験時間	10:00~17:00	9:30~16:00
調査した時間	10:20~17:00	9:45~16:00
実験元	愛知県 アイサンテクノロジー(株)	愛知県 アイシン・エイ・ダブリュ(株)
使用車両	トヨタ エスティマ サイエンスコア	トヨタ プリウス 岡崎市福祉の村
ルート	↓ ↓ JAあぐりパーク食彩村 延長3.0km	↓ ↓ 三河青い鳥医療福祉センター 延長3.7km
走行回数	9往復(一部手動の箇所有)	14往復(一部手動の箇所有)
取得走行回数	9往復	14往復
調査箇所	浜道沢東交差点(図-1) 天伯交差点(図-2) 技科大学東交差点(図-3)	岡崎市民病院北交差点(図-4)
調査内容	調査地点付近の歩道より複数の画角から自動運転車両および一般車両の様子を撮影	調査地点付近の歩道より複数の画角から自動運転車両および一般車両の様子を撮影
取得項目	追従時の発進・加速挙動 交差点の通過速度 車頭時間	単独時の発進・加速挙動 交差点の通過速度 車頭時間

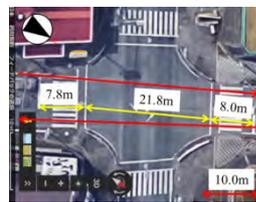


図-1 浜道沢東交差点



図-2 天伯交差点



図-3 技科大学東交差点



図-4 岡崎市民病院北交差点



図-5 自動運転車両(豊橋)



図-6 自動運転車両(岡崎)

表-2 青信号への反応時間比較(岡崎市民病院北交差点)

	自動運転車(n=12)	一般車(n=90)
平均(秒)	1.938	1.470
標準偏差	0.465	0.807
変動係数	0.240	0.549
p値	0.008	

表-3 岡崎市民病院北交差点の通過時間比較

	自動運転車(n=12)		一般車(n=46)		p値	有意水準 5%における 有意差
	通過時間 平均(秒)	標準偏差 (秒)	通過時間 平均(秒)	標準偏差 (秒)		
全体(0~40m)	6.218	0.351	5.831	0.738	0.013	有
内訳						
0~10m	2.48	0.277	2.234	0.382	0.042	有
10~20m	1.473	0.111	1.366	0.171	0.044	有
20~30m	1.201	0.146	1.135	0.154	0.190	無
30~40m	1.064	0.058	1.096	0.130	0.217	無

キーワード：自動運転車両 交通流 交差点 実証実験

連絡先： 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 TEL 052-735-7962

よりも1~2秒程時間を要するものの、4台目のケースでは一般車両とはほぼ変わらない値を示した。また、自動運転車両の後ろについている車両については、特にその他の一般車両との違いは見られなかった。ここで、4台目以降の車頭時間の平均値を算出し飽和交通流率を求めた結果を表-4に示す。これより、一般車の場合に比べて豊橋が約86%、岡崎が約96%となり、自動運転車両が混在する場合にやや非効率な結果となることが示された。

4. 交差点左折時の挙動比較

天伯交差点を北東流入部から南東流出部にかけて4区間に分割して左折車の通過時間を計測し速度を比較した結果を図-11に示す。これより、流出部に近づくにつれて自動運転車両と一般車両の速度差が開くことが分かる。

急制動に着目した安全性の観点から両者の挙動を比較する。最下流区間を除く各区間の出口に車両が到達した時点で流出部横断歩道に人が飛び出して来たとして仮定し、そこから横断歩道入口までの残り距離で停止するために必要な減速度を式(1)より算出する。なお走行速度は各区間の平均速度とし、空走時間は、一般車両については0.75秒²⁾に設定、自動運転車両は、岡崎実験から得られた青信号に対する反応時間の平均値1.94秒として設定する。

$$\text{減速度} = -\left\{ \left(0 - \text{速度}^2 \right) \div \left[2 \times \left(\text{距離} - \text{速度} \times \text{空走時間} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Sector毎の必要減速度を図-11に示す。これより、sector 2出口までは自動運転車両の方が余裕を持って停止出来るが、sector 3出口では空走時間の中に横断歩道に進入すること、また、一般車両も必要減速度が1.0Gを超えている為、完全停止することは出来ない³⁾ことが分かる。

5. 交差点右折時の挙動比較

技科大学東交差点を西流入部から南流出部にかけて3分割して通過挙動を比較した結果ならびに必要な減速度を図-12に示す。これより、左折時と同じく、流出部に近づくにつれて自動運転車両と一般車両の速度差が開くことが分かる。また、Sector 1出口の減速度より一般車両と自動運転車両は共に余裕を持って停止することが出来る。更にSector 2出口の減速度についても、自動運転車両は安全な減速度で停止できることが示された。一方で一般車両も0.3Gを超える急ブレーキとなるものの、横断歩道の手前で停止することが出来ることが分かった。

6. おわりに

本稿では、自動運転車両と一般車両の挙動を比較し、自動運転車の動きが交差点での交通流に与える影響について実証した。今後は、得られたデータを基に車両挙動のパラメータを設定したシミュレーションを構築し、自動運転車との混在状況が信号交差点の交通流にどのような影響を与えるかについての研究を行う。

謝辞

本研究の調査実施に際して、愛知県産業労働部産業振興課自動車産業グループより、多大なるご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。



図-7 自動運転車が1台目(先頭車両)の場合の車頭時間比較

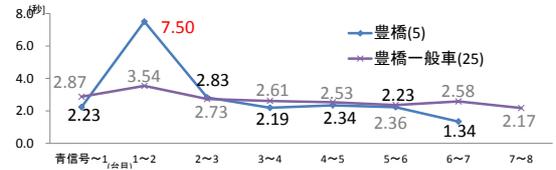


図-8 自動運転車が先頭から2台目の場合の車頭時間比較

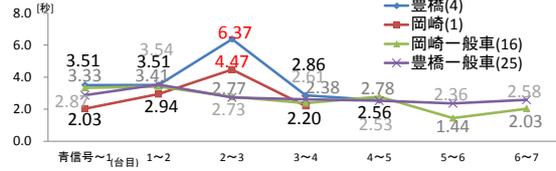


図-9 自動運転車が先頭から3台目の場合の車頭時間比較

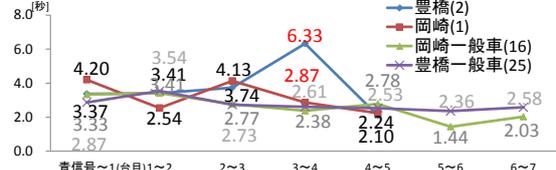


図-10 自動運転車が先頭から4台目の場合の車頭時間比較

表-4 飽和交通流率比較

	平均車頭時間(秒)	飽和交通流率(台/青1時間)	一般車両を100%とした場合の割合(%)	自動運転車混入率(%)
豊橋	2.87	1251	85.8	13.3
豊橋一般車	2.46	1458	100	
岡崎	2.46	1461	96.3	16.7
岡崎一般車	2.37	1518	100	



図-11 左折時の挙動比較

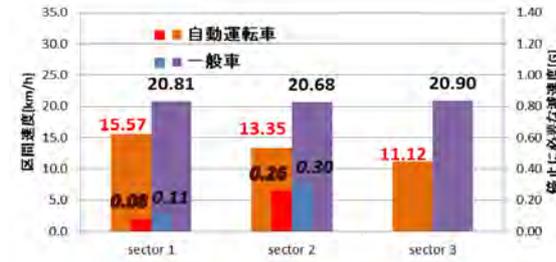


図-12 右折時の挙動比較

参考文献

1) 飯田 克弘：自動運転システム制御車両の混在比率が異なる交通流に対するドライバーの受容性計測、http://www.takatafound.or.jp/support/articles/pdf/160615_02.pdf
 2) S&E ブレーキ株式会社：クルマの停止距離、<http://advicsaftermarket.co.jp/support/brake/detail/46/index.html>
 3) Honda モーターズスポーツ：<http://www.honda.co.jp/F1/spcontents2005/f1catalogue/04/>