

⑩高速道路で自動運転車が合流する際に 周辺車両に与える影響に関する研究

自動車安全研究部 ※真鍋 裕輝 児島 亨 北田 幸一

1. はじめに

今後の市場導入が予想されるより高度な自動運転車では、SA/PA 等の安全な場所で装置を作動開始及び作動終了させる等の運用形態も考えられ、本線への合流を行う機能を備えることが想定される。より高度な自動運転車の導入にあたって、自動運転車によって行われる合流が周囲の交通車両にとって危険な挙動とならないことが求められる。

一方、現状の自動運転車の国際規則においては合流に関する規定は存在せず、高速道路等で使用する乗用車の自動車線維持システムに関わる国連協定規則 (UNR157¹⁾) において、システム主導の車線変更が規定されているのみである。

本調査では、ドライビングシミュレータ (以下、DS) を活用し、高速道路を走行中のドライバが運転する車両が合流地点を通過する際に、他車両 (自動運転車) が合流する場面を再現し実験した。結果より、自動運転車による合流が本線を走行する車両にとって危険な挙動とならないようにするための指針等を、UNR157 で規定される車線変更と比較し検討した。

2. 実験方法

2.1. ドライビングシミュレータと参加者

本実験ではドライビングシミュレータ (以下、DS) を用い、本線を走行中の実験参加者が合流地点で危険事象に遭遇する場面を再現した。実験に用いた DS の概観を図 1、仕様を表 1 に示す。17 枚の有機 EL パネルで水平方向 360°覆われたポッドを 8 m 並進台と 6 軸電動装置によって駆動し、車両の動きを模擬した。参加者は日常的に高速道路を運転する運転歴 5 年以上の一般ドライバ 20 名とした。



(a) DS の外観 (b) DS の内部と操縦席
図 1 DS の概観

表 1 DS の仕様

画面	サイズ	55 in
	解像度	1920 x 1080 ppi
	フレームレート	60 fps
	画面数	17
	水平視野	360°
並進装置	可動範囲	8 m
	最大加速度	$\pm 4 \text{ m/s}^2$
6 軸ユニット	可動範囲	$\pm 0.3 \text{ m}$
	最大加速度	$\pm 0.5 \text{ m/s}^2$

2.2. 実験場面

実験場面の概略を図 2 に示す。ドライバが運転する車両を自車 (図表中 Ego)、合流する車両を自動運転車 (図表中 AD)、追い越し車線を走行する車両を交通車両とする。自動運転車の合流する際の速度は 50 km/h 固定とし、自車は定速走行装置を用いて 100 km/h で走行することとした。自動運転車が合流車線から本線に進入する地点を絶対位置 AP (Absolute Position) とする。AP は合流車線と本線を仕切るフェンスの終端から 50m、100m、150m 離れた 3 条件を設けた。自車と AP との相対距離 RD (Relative Distance) が 14m、28m、70m となるように合流タイミングを制御した。ただし、自動運転車が本線に進入する前に自車が減速した場合には、RD の値は変化することとなる。AP および RD の値を表 2 に示す。



図 2 実験場面の概略図

表 2 実験条件

No.	合流条件								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
AP [m]	50	50	50	100	100	100	150	150	150
RD [m]	14	28	70	14	28	70	14	28	70

ここで、各実験条件を Merge 1~9 (以下、M1~M9) と番号付けした。なお、UN-R157 の車線変更方法に適合する実験条件 (RD=70 m, M3, 6, 9) よりも RD が短

い条件 (RD = 14, 28m, M1, 2, 4, 5, 7, 8) も設定した。ただし、ドライバが自発的にあらかじめ減速した場合には、14 m や 28 m よりも RD は長くなる。

3. 実験結果

本場面において、合流車両がフェンスに隠れて視認可能になる前に減速した参加者はいなかった。安全性の指標として、自転車と自動運転車までの衝突予測時間 (Time To Collision、以下 TTC) のうち、2 車両の横位置がオーバーラップしている間の前後方向の TTC の最小値を検討する (横位置がオーバーラップしない衝突する危険性のない状態は考慮しない)。また、実験結果の差の検定として、Kruskal-Wallis の検定および Steel-Dwass の多重比較 (有意水準 0.05) を適用した。

図 3 は各 RD 条件における最小 TTC を示している。RD は自転車と自動運転車の接近状況を表し、運転行動に大きく影響すると考えられるため、RD 条件ごとの最小 TTC を比較した。また、第 2 車線に車線変更することで衝突を回避し、横方向にオーバーラップしなかった 2 例は除外し、減速開始が早く最小 TTC が 154 秒となった例を図中で省略した。多重比較の結果、全ての条件間で有意差は検出されなかった。

図 3 において、M1 で 4 件、M7 で 2 件の衝突が発生した。M1 および M7 はいずれも RD = 14 m の条件であり、AP に到達した時点から減速を開始した場合には、約 7 m/s^2 の大きな平均減速度が必要となる。自動運転車が本線に合流する際には、本線の車両に過度の減速は期待できないことが明らかとなった。一方で、衝突が発生した条件を除く全ての合流条件において最小 TTC は 1.5 秒以上確保されており、直ちに衝突の危険が高い状況には至らなかった。このため、合流車両に対する本線を走行する車両の減速開始のタイミングは通常の車線変更車両に対する場合と異なることが明らかとなった。

次に、自転車の平均減速度を絶対位置 AP ごとに比較した結果を図 4 に示す。図 4 において、操舵によって第 2 車線に回避した例 (合計 13 例) は除外した。多重比較の結果、AP = 50 m と 100 m、50 m と 150 m の間に有意差が見られた。

UN-R157 においては、車線変更をする際に、後続の車両に 3 m/s^2 以上の減速度を発生させてはならないという規定がある。ただし、具体的に何割のドライバが当該減速度を発生させてはならないのかという規定

は存在しない。このため、75 % の本線のドライバが 3 m/s^2 未満の減速度でなければならないと解釈した場合には、全ての条件において UNR157 の規定を満たしておらず、自動運転車は速度差が大きい状況ではシステム判断で本線へ合流することができない可能性が考えられる。

以上より、実験で得られた結果と現状の UNR157 を比較すると、本線の車両に期待できる減速開始のタイミングや本線の車両が発生させる減速度には乖離があることがわかった。

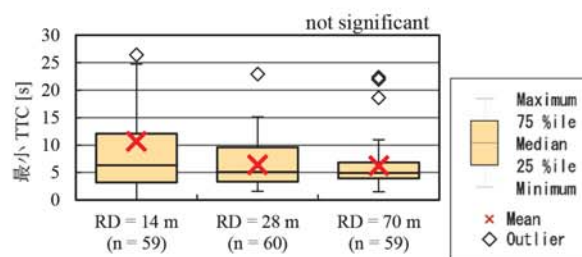


図 3 最小 TTC

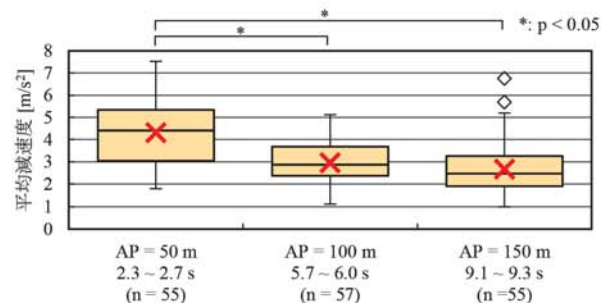


図 4 平均減速度

4. まとめ

高速道路を走行中の一般車両の前方に自動運転車が合流する場面において、両車両の速度差が大きい場合の一般車両の挙動を DS 実験により調査した。特に重要と考えられる結果を以下にまとめる。

- ・ 本線のドライバは合流車線の車両を認識した場合、あらかじめ減速するが、必ずしも衝突を回避することはできず、合流する自動運転車は本線車両の減速を過度に期待することはできない
- ・ UN-R157 が規定する車線変更の方法において、自動運転車は本線車両との速度差が大きい場合にシステムの判断で合流できない可能性がある

参考文献

- 1) UN ECE: ECE/TRANS/WP.29/2022/59/Rev.1 (2022)