

高速道路合流部における自動運転からドライバーへの権限移譲時の影響分析

京都大学 非会員 前田 凌
 京都大学 正会員 ○宇野伸宏
 京都大学 正会員 栗木 周

1. はじめに

将来、自動運転車が本格的に導入され、人間自らが自動車を操作する必要がなくなることが期待されている。SAE¹⁾が定義する自動運転レベル3において自動運転中はドライバーが運転監視義務から免除される一方で、緊急時には手動運転による適切な対応が要求される。この自動運転から手動運転への権限移譲要求をTOR(Take Over Request)と呼ぶ。レベル3の自動運転の成否のカギは、TOR時にスムーズかつ安全に手動運転に移行できるか否かという点にあるといえる。本研究では、ドライビングシミュレーター(DSと略記)を用いて模擬運転実験を行い、TOR時における被験者の運転行動を特に安全性の点から分析し、手動運転への切り替えが安全に行われるための条件について考察する。

2. 実験概要

本研究では、普通自動車免許を有する被験者23名の参加を得て、DSによる模擬走行実験を実施し、運転行動及び車両挙動データを収集した。高速道路を模したVRにおいて、5分程度自動運転での走行を終えた後、合流部分においてTORを予告なく発生させた。TORの発生は「自動運転解除」の表示と警告音により被験者に知らせ、アクセルまたはブレーキペダルを踏む、ハンドルを操作する、のいずれかにより手動運転への切り替えられることとした。切り替え後は、本線への合流後、約20秒の手動運転を行うことが求められる(図-1)。これを2回繰り返し、1つのシナリオが終了する。

TOR時の手動運転への切り替え時の安全性を分析するため、加速車線長の長さ、セカンドタスクの有無、事前通知の有無に着目した。自動運転中のセカンドタスクとして「間違い探し」を採用し、事前通知は、合流直前において、合流の接近を音声と画面表示で被験

者に通知する仕様とした。これら3点を組み合わせ、表-1の通りに実験シナリオを4種類設定した。被験者は実験前にDSの操作練習を10分程度とTOR後の手動運転への切り替え練習を2回行った後、本実験に臨んでいる。

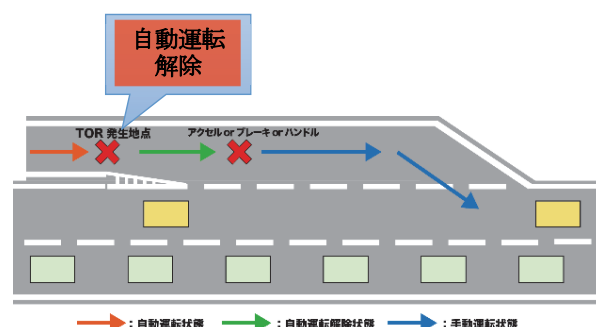


図-1 TOR発生シーン

表-1 実験シナリオ

シナリオ	加速車線長	セカンドタスク	事前通知
A	100m	有り	無し/有り
B	150m	有り	無し/有り
C	200m	有り	無し/有り
D	100m	無し	無し/有り

3. 分析指標と検証仮説

本研究で用いる分析指標は表-2に示す5つとした。TTCとPICUDは衝突危険性を評価するコンフリクト

表-2 分析指標一覧

分析指標	説明
反応時間	TOR後、手動運転に替わるまでの時間
合流完了後速度	合流完了後の速度
安定時間	合流完了後、車体が安定するまでの時間
TTC	2つの車両が同じ速度を保った時、衝突が起こるまでの時間
PICUD	前方車両が急減速し、後方車両が遅れて急減速し、停止した時の車間距離(負値は衝突危険性有りを示す)

キーワード 自動運転, TOR, 安全性, ドライビングシミュレータ, 模擬走行実験

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター 京都大学工学研究科都市社会工学専攻 TEL075-383-3226

指標であり、合流後の被験者車両と本線第一車線の後方車両との衝突危険性を評価するものとした。

本研究で指定した仮説は以下の3つであり、表-2の指標を用いて検証を試みる。

仮説 1：加速車線長が長いほど安全な運転になる。
 仮説 2：セカンドタスクが無い場合は有る場合よりも安全な運転になる。
 仮説 3：事前通知が有る場合は無い場合よりも安全な運転になる。

4. シナリオ間比較と仮説検証

本研究では、表-1に示したA～Dの4つのシナリオの比較分析を通じて、特に上記の仮説1と2について、検証を行う。模擬走行実験により収集したサンプルは23名分であるが、運転行動が他の被験者と著しく異なった5名はシナリオ間比較のデータから除いた。18名分のサンプルを対象として、統計分析を行う。

(1) 加速車線長の影響

反応時間に着目し、加速車線長(3水準)と事前通知の有無(2水準)に対して二元配置分散分析を行った結果を表-3に示す。また、加速車線長と反応時間の関係を図-2に示す。表-3より加速車線長については5%有意であったため、加速車線長について多重比較を行ったところ、図-2からも読み取れるように、加速車線長200mのケースでは、150m、100mの場合と比較して有意に反応時間が大きくなる傾向が確認された。

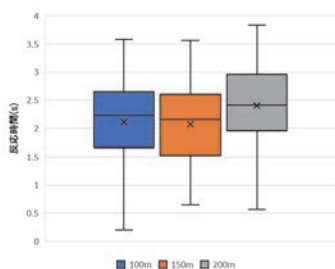


図-2 加速車線長と反応時間

表-3 反応時間に関する分散分析(加速車線長×事前通知)

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P値
加速車線長	2.3614	2	1.1807	4.5158	0.0182 *
事前通知	0.2443	1	0.2443	0.8632	0.3658
交互作用	0.7666	2	0.3833	1.8884	0.1668
誤差	59.497	102	0.5833		

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

加速車線長が200mと長い状況下では、反応時間が長くなり、TOR後ゆとりを持って手動で合流できると

の結果となった。紙幅の制約のため分散分析の結果などは省くが、合流までに猶予があるため、ゆったりと加速、合流を行っており、逆に本線後方車両の接近によりPICUDが小さくなり、潜在的な危険性を示した。

(2) セカンドタスクと事前通知の影響

次にシナリオA、Dの比較分析を通じて、セカンドタスクの有無及び事前通知の有無が、反応時間に及ぼす影響について検証する。表-4は二元配置分散分析の結果を示す。

表-4 反応時間に関する分散分析(セカンドタスク×事前通知)

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P値
セカンドタスク	13.522	1	13.522	38.294	0 **
事前通知	0.4698	1	0.4698	2.1306	0.1626
交互作用	0.0076	1	0.0076	0.076	0.7861
誤差	25.673	68	0.3775		

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

セカンドタスクの有無は反応時間に対して1%有意であり、セカンドタスクが無い条件において、反応時間が小さくなる結果となった。分散分析の結果などは省くが、セカンドタスクのない場合PICUDも有意に大きく、比較的安全と評価出来た。一方、表-4からも分かる様に、自動運転中に合流部に接近することを注意喚起する事前通知は、反応時間に有意な影響を及ぼしていない。

5. おわりに

本研究ではレベル3の自動運転にて発生するTake Over Request(TOR)が、運転行動、特に合流挙動の安全性に及ぼす影響について分析した。運転行動・車両挙動データはDSを用いた模擬運転実験より収集した。その結果自動運転時のセカンドタスクの有無が、手動運転切り替えまでの反応時間や本線後続車との潜在的衝突危険性に影響することが示唆された。一方、加速車線長について200mと長めに設けた場合、150m以下の状況と比較して、余裕を持って手動運転に切り替え可能であることも示唆された。

今後の課題としては、分析指標の総合的分析ならびにクラスター分析の適用による、安全面から見た被験者の分類、セカンドタスクの影響を緩和するための方策の検討を挙げることができる。

参考文献

- 1) SAE On-Road Automated Driving (ORAD) committee, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles," 2021.