

模擬走行実験による自動運転からドライバーへの 権限移譲時の影響に関する研究

A Study on the Influence of Switching from Automated to Manual Driving Using Simulated Experiment

松本 美紀*

Miki MATSUMOTO

*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

1.はじめに (第1, 2章)

自動運転技術は日々進化を遂げ、前方監視主体がシステムに置き換わりドライバーの車内活動が自由化するレベルの自動運転が実用化に至る段階は目前まで来ている。しかし、レベル3の自動運転ではシステム限界や故障により操作の権限移譲が起こる場面があり、その際に起こりうるドライバーの行動を把握することが必要とされている。そこで本研究では、ドライビングシミュレータ (DS) を用いてレベル3の自動運転の再現実験を行い、手動運転ならびに自動運転時における運転行動や視行動に関する権限移譲時の影響を把握することを目的とする。具体的には交通量の多寡、自動運転時のセカンドタスク (運転以外の作業) の有無、そして自動運転中の情報提供等の違いが与える影響である。

2.実験概要及び検証仮説 (第4章)

普通自動車免許を有する20~50代の被験者32名により走行実験を実施し、DSによる運転行動データに加え、アイトラッカーを用いて視行動のデータを収集した。2車線の高速道路を模したVRにおいて、10分程度の自動運転での走行を終えた後、権限移譲が予告なく発生し、手動運転による走行を1分間行い1回の実験走行は終了する。権限移譲の設定としては、右車線の前方に故障車が停車し、その手前にパイロンが5つ並べられている状況に対し、200m手前に達したタイミングで警告音と「自動運転解除」の文字が表示される (図1参照)。

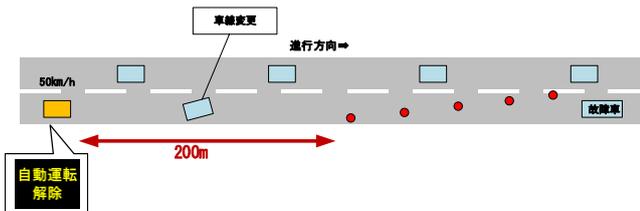


図1 権限移譲の設定

権限移譲時の影響を調べるため、交通量の多寡とセカンドタスク有無、そして前方注意を促す情報提供の有無を組み合わせ、表1の通り権限移譲の起こ

るシナリオを5種類設定した。被験者は休憩を挟みながらランダムな順序で5つのシナリオを1回ずつ、計5回走行する。被験者は実験走行前に、同一VRにおいて手動運転による走行実験を1時間半程度行っており、DSの操作と環境に十分慣れた状態で本実験に臨んでいる。

交通量が少ない場合を300台/h、多い場合を1800台/hと定めることで周辺車両数に違いを設けた。セカンドタスクについては、カーナビゲーション画面でのクイズ番組の視聴とし、情報提供については、自動運転中に3回「混雑しています。周りの車両にご注意ください。」という音声がかかる仕様とした。

表1 実験シナリオ内容

シナリオ名称	交通量	セカンドタスク	情報提供
A	少ない	無し	無し
B		有り	
C		無し	
D	多い	無し	無し
E		有り	有り

本実験における検証仮説として、権限移譲が起こった際にブレーキやアクセル、ハンドル等の操作を初めて行うまでの反応時間に着目し、以下の3つを設定した。

- 仮説1: 交通量が多い場合、少ない場合に比べて権限移譲時の反応時間が短い。
- 仮説2: セカンドタスクが有る場合、無い場合に比べて権限移譲時の反応時間が長い。
- 仮説3: 交通量大・セカンドタスク有りの状況下で前方監視を促す情報提供をした場合、情報提供をしない場合に比べて、権限移譲時の反応時間が短い。

この仮説の検証を通じて実験結果の分析を行った。

3.交通量とセカンドタスクの影響分析 (第5章)

交通量とセカンドタスクの影響に着目し、シナリオA~Dの結果を用いて分析を行った。分析には、ハンドル操作までの時間TTS (Time to Steer) とブレーキ・アクセル操作によるスピードコントロールま

での時間 TTP (Time to Pedal) の二つの指標を用いた。要因ごとの平均値をまとめたものが表 2 である。

表 2 反応時間平均値

		セカンドタスク無し		セカンドタスク有り		
交通量小	A	TTS	TTP	B	TTS	TTP
			2.304	3.197		1.945
交通量大	C	TTS	TTP	D	TTS	TTP
			2.400	2.374		2.042

(単位 s)

各々を用いて分散分析及び t 検定を行った結果、交通量に関してはともに有意差が見られず、仮説 1 については支持されなかった。また、セカンドタスクに関しては TTS で有意差が見られ、セカンドタスク有りの場合で無しの場合より反応が早いという、仮説 2 の内容とは逆の結果が得られた。TTP については有意差が見られず、仮説 2 は支持されなかった。

さらに別変数により分析を行ったところ、反応時間と最大ブレーキ量の相関分析の結果から、本実験においては反応時間が短いほど急ブレーキを行い、反応時間が長いほど緩やかなブレーキ操作を行っている傾向が確認された。セカンドタスクが無い場合には周辺への注意を払うようになり、余裕を持って手動運転を開始している可能性が考えられる。

4. 情報提供効果に関する分析 (第 6 章)

続いて、情報提供の影響に着目し、シナリオ D と E の結果を用いた分析を行った。t 検定の結果、TTS に関しては有意差が見られたが、TTP に関しては見られなかった。この結果から明らかになったことは、情報提供の影響により権限移譲時にハンドル操作を行うまでの時間が長くなるという、仮説 3 とは逆の内容である。前章と同様に、情報提供により余裕を持って手動運転を開始する可能性がある。

ここで、被験者によって情報提供の影響がある人とそうでない人が存在する点に着目し、クラスター分析により被験者 32 名を分類し、どのようなドライバーが情報提供によって行動に変化が現れやすいかを検証した。表 3 に示すシナリオ D の走行で計測された 6 つの変数を正規化により次元を揃えて利用し、階層クラスター分析により、被験者を 3 つに分けた。各変数の平均値を正規化し図示したものが図 2 であり、クラスターの特徴を示す。

クラスター 1 は自動運転中に映像を注視しているが、落ち着いた操作によりスムーズに権限移譲に対応していたと考えられる。クラスター 2 も自動運転中に映像を注視しているが、急ブレーキの傾向があった。クラスター 3 は危険への意識が最も高い層であると推測され、自動運転中に映像よりも前方に注意を払う傾向があった。

表 3 クラスタ分析使用変数一覧

変数名	説明
TTS	TOR発生時からTOR後に初めてハンドル操作を行うまでの時間
TTP	TOR発生時からTOR後に初めてペダル操作を行うまでの時間
最大ブレーキ量	TOR発生地点から100m区間に計測されたブレーキ量の最大値
前方注視時間割合	TOR前2分間のうち前方画面を見た時間の割合
映像注視時間割合	TOR前2分間のうち映像を見た時間の割合
視点移動回数	TOR前2分間のうち視点が異なる場所に移った回数

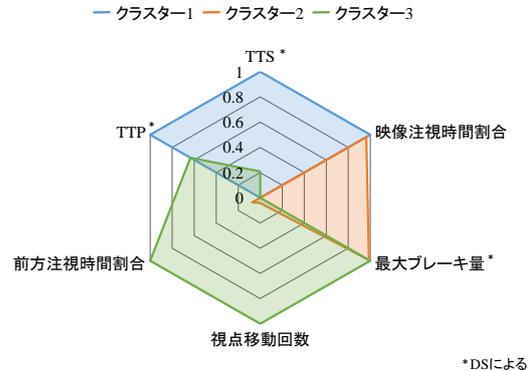


図 2 クラスタの特徴

次に、表 3 の各変数についてシナリオ E の値から D の値を引き、変化量を算出した。分散分析によりクラスター間の変化量を比較したところ、有意差が見られたのが TTP と最大ブレーキ量、映像注視時間割合、視点移動回数であった。クラスターによって情報提供の影響が異なることが確認され、特にクラスター 2 については前方への注視を増やし、権限移譲時の過敏な反応が緩和されたことから、自動運転中の情報提供が効果的に働く可能性が示唆された。

5. 結論 (第 7 章)

本研究では、交通量、セカンドタスク、自動運転中の情報提供が権限移譲時に与える影響に着目した。

主な知見として、セカンドタスク無しの場合に比べ、有りの場合にハンドルを握るまでの時間が短くなることが明らかになった。しかし、反応時間が短くなるとともに権限移譲後のブレーキ強度が強まる傾向が確認され、本実験においては反応時間が長い場合に緩やかなブレーキ操作によって安全に権限移譲に対応している可能性が示唆された。

また、クラスター分析により被験者を 3 つに分類し、情報提供有無による変化について検証したところ、映像注視時間割合が大きい被験者の中でも過敏なブレーキ操作を行っていた層には情報提供が効果的に働き、周囲への注視を増やし落ち着いたブレーキ操作にさせたことが分かった。

本研究の結果が、自動運転車導入の際の交通マネジメントや、適切な高速道路上での自動運転車両オペレーションのあり方の検討、自動運転車に対する安全対策に寄与することを期待する。

修士論文指導教員

山田教授, Schmöcker 准教授, 宇野教授