



2019年度

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）／自動運転の高度化に則したHMI及び安全教育方法に関する調査研究」

成果報告書

2020年3月

学校法人慶應義塾 慶應義塾大学
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立大学法人筑波大学
東京都ビジネスサービス株式会社

「本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（N E D O）の委託業務として、〇〇〇〇株式会社が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）／〇〇〇〇」の2019年度成果を取りまとめたものです。

従って、本報告書の著作権は、N E D Oに帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、N E D Oの承認手続きが必要です。」

内容

1. Executive summary (全体要旨)	6
1.1. 課題 A	6
1.1.1. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握	6
1.1.2. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析	7
1.1.3. 自動運転化レベル4を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向け HMI の実装	9
1.2. 課題 B	9
1.2.1. 運転引継後の運転行動	10
1.2.2. 運転引継前の運転監視行動	11
1.2.3. 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討	13
1.3. 課題 C	14
1.3.1. Web 調査	14
2. 委託概要	16
2.1. 委託の目的	16
2.2. 委託の内容	16
2.3. 用語の定義	18
3. 課題 A : 低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発	19
3.1. はじめに	19
3.2. 課題 A の 2019 年度の計画	20
3.3. 課題 A の 2019 年度の具体的な目的と方法	20
3.4. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握	23
3.4.1. 目的や方法論の概要	23
3.4.2. 対象とした道の駅・実証実験	23
3.4.3. ドライブレコーダの映像データ	28
3.4.4. 映像データの分析方針	30
3.4.5. 結果	31
3.4.6. 考察	45
3.4.7. 本節のまとめ	48
3.5. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析	

とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析	50
3.5.1. 車両挙動や外向け HMI を利用した自動運転車から周囲交通参加者 へのコミュニケーションの負の影響に関する検討	50
3.5.2. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から横断歩道歩行者へ のコミュニケーション設計に関する予備的検討	86
3.5.3. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から後続ドライバーへ のコミュニケーション設計に関する予備的検討	120
3.6. 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転 車の実験車両の製作および外向け HMI の実装	157
3.6.1. 実施目的	157
3.6.2. 自動運転実験車両の製作	157
3.6.3. 試験走路環境製作の検討	158
3.6.4. 本節のまとめ	159
3.7. 課題 A のまとめ	160
参考文献	163
4. 課題 B：走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切 な運転引継のための HMI 等に関する研究開発	164
4.1. 目的	164
4.2. 方法	165
4.2.1. 実験期間	165
4.2.2. 実験参加者	165
4.2.3. 装置および刺激	165
4.2.4. 手続き	165
4.3. 結果	168
4.3.1. 運転引継後の運転行動および視認行動	168
4.3.2. 運転監視時の視認行動	186
4.4. 考察	192
4.4.1. 運転引継後の運転行動	192
4.4.2. 運転引継前の運転監視行動	193
4.5. 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検 討 196	
4.5.1. (実験 B-2-3-1：一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎ を支援する HMI の検討)	196
5. 課題 C：運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関 する研究開発	200

5.1.	Web 調査	200
5.1.2.	回答者属性	200
5.1.3.	調査結果と考察	203
5.1.4.	まとめ	219
5.2.	実験 C ii-1	220

1. Executive summary (全体要旨)

1.1. 課題 A

2019 年度の研究開発からは、低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションを主な対象として研究開発を進める一方で、過年度の研究開発において確認された外向け HMI を活用する際の負の影響についても本研究開発の検討課題として加えている。

課題 A の研究開発の全体像としては、道の駅等の自動運転実証実験での観測により、低速走行の移動・物流サービス等を対象にした自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの現状と特徴について分類・整理を行い、コミュニケーションのユースケースを抽出するとともに、VR 実験により、自動運転車と交通参加者の 1 対 1、1 対複数のコミュニケーションにおける負の影響に関してその形態や原因等を分析し、外向け HMI 等のコミュニケーション方法や運用、交通参加者が備えるべき知識等について検討する。さらに VR 実験や TC (テストコース) 実験等により、自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションの重要なユースケースを対象に、外向け HMI 等のデザインファクター案や交通参加者のエデュケーションファクター案を抽出し、実証実験等によりそれらの案についての検証を行う。

1.1.1. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握

幹線道路での走行ルートを含む地域では、追い越しの頻度は高く、生活道路が中心の走行ルートである地域では、接近や横断などの歩行者とのインタラクションの機会が比較的多いが確認され、追い越しのインタラクションの頻度が高かったが、コミュニケーションの失敗の頻度では、接近もしくは回避、横断で高い結果となった。接近もしくは回避では、対象が歩行者であるケースが多く、横断に関するインタラクションでは、対象が自動車であるケースが多く、コミュニケーションの失敗が見られる場面では、インタラクションの対象者が自動運転車両の挙動や行動の意図が理解できていないことが見受けられるものであった。低速走行の自動運転車両では、減速しているという挙動が伝わりにくいということが考えられる。一方、追い越しに関するインタラクションでは、インタラクションの対象はほとんどが自動車であり、主に、単路部、丁字路、逆丁字路で、自動運転車両が停止中もしくは直進中のときに追い越しをされることが多いが、逆丁字路のときは、左折をするために左ウインカを出して停止中の際に追い抜きをされるケースも見られ、これは、左折の待機中に左ウインカを出すことで、後続の車両の追い越しを譲るという意図を誤って伝達し

ている可能性が考えられる。

1.1.2. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析と コミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析

1.1.2.1. 車両挙動や外向け HMI を利用した自動運転車から周囲交通参加者への コミュニケーションの負の影響に関する検討

自動運転車から横断歩道の歩行者に向けられた譲り意図に対する横断歩道以外の他の歩行者の認識は、本実験で設定した減速・停止の実験条件では、初期速度の違いや外向け HMI 搭載/非搭載に関わりなく、自動運転車から譲られているという認識はほとんどなく、自動運転車通過前の横断開始も少ない。しかしながら、本実験で設定した早期減速・停止の実験条件では、外向け HMI 搭載の自動運転車で初期速度が低い場合に、自動運転車から譲られているという認識割合が高くなり、自動運転車通過前の横断開始も増加する。他の歩行者が 20m 程度の距離に存在することを確認した場合は、外向け HMI を利用しない、あるいは早期減速を実施しないなどの対応が必要である。

自動運転車から横断歩道の歩行者に対して、本実験で設定した早期減速・停止は、歩行者に対して自動運転車から譲られているとの認識を与え、かつ自動運転車の到達・停止前の横断開始を促す効果があり、外向け HMI 搭載の自動運転車、外向け HMI 非搭載の自動運転車の違いにはほとんど依存しない。

自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することにより、歩行者において周囲確認に関する自動運転車への依存性が高まり、その結果、左方向への確認行動が減少する可能性が示唆される。特に外向け HMI 搭載の自動運転車の場合にはその傾向が高まるものと考えられる。

運転免許所有者を対象として、自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することによる周囲確認の自動運転車への依存性の高まりを低減するためには、外向け HMI を利用しないコミュニケーションを提供する、あるいは外向け HMI を利用する場合でも「お先にどうぞ」ではなく「とまります」を利用するなどの工夫を行うことで周囲確認の自動運転車への依存性を改善できる可能性が示唆される。

運転免許非所有者を対象にして、自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することによる周囲確認の自動運転車への依存性の高まりを低減するためには、譲り意図が自動運転車から提供される場合でも歩行者自身が必ず周囲確認を行う必要があるなど適切な知識を事前に提供し活用できるような対応、例えば、自動運転車とのコミュニケーションに関わる交通指導や交通教育での対応が必要であると考えられる。

1.1.2.2.低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から横断歩道歩行者へのコミュニケーション設計に関する予備的検討

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と横断歩道歩行者とのコミュニケーションに関して、車両挙動や外向け HMI の組合せに基づいて、歩行者の認識や判断、行動について VR 環境を用いた実験を実施した。本実験を通じて、1)早期減速によって車両からの譲り意図が伝わり、横断開始タイミングが早まること、2)外向け HMI を使用した車両から譲り意図が伝達されることにより横断開始タイミングが早まること、3)外向け HMI の有無よりも車両挙動の違いが歩行者の横断判断に与える影響が大きいこと、4)外向け HMI を使用した車両からの譲り意図伝達により、安心感の低下、過剰な焦り、対向車の確認不足が引き起こされる可能性は低いことなどが示唆される。

1.1.2.3.低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から後続ドライバーへのコミュニケーション設計に関する予備的検討

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から後続ドライバーへの進路譲りのコミュニケーション方法について予備的検討を実施した結果、1)従来の灯火器（左ウィンカ）を用いた譲り意図の伝達は、それを一定頻度経験した後続車ドライバーに対して、左折と譲り挙動の混同や誤解を招く可能性があるが、後続車向け HMI による譲り意図の伝達が付随した譲り挙動は、左折との混同・誤認識を軽減させることができる可能性があること、2)灯火器類や後続車向け HMI による譲り意図が十分に伝わる場合、自動運転車の車両挙動が変化する前に追い越し判断をする場合が多く、追い越し判断のタイミングで挙動間に差が無い傾向があることから、交通の流れにおける円滑という観点において「直進を続ける」走行は効果があること、3)灯火器等により譲り意図が伝わらない場合、左寄せや減速が追い越しを確実に促す上で効果的であること、4)車両挙動や灯火器のみでなく、後続車向け HMI を用いた譲り意図の伝達がより早いタイミングでの追い越しを実行させるのに効果があること、5)後続車向け HMI による譲りのための停止意図の伝達は後続車ドライバーに他意を与え、追い越し判断を鈍らせるだけでなく、安全や安心の観点からも負の効果を生む可能性があること、6)後続車向け HMI による譲り意図の伝達は、灯火器のみや停止意図の伝達時と比較して後続車ドライバーに譲り意図を認識させるだけでなく、後続車ドライバーのフラストレーションを低減させる効果があることなどが示唆される。

1.1.3. 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向け HMI の実装

2020 年度以降の試験走路実験のための自動運転の実験車両（ゴルフカートタイプ）の製作ならびに試験走路環境の検討を実施し、自動運転の実験車両については車両製作ならびにナンバー登録等を完了した。手動運転での運行ならびに試験走路実験等の事前調整が可能な状態となり、また試験走路環境の整備については、電磁誘導線敷設の検討結果に基づいて 2020 年度早期に電磁誘導線敷設等を実施する予定となった。

1.2. 課題 B

第 1 期 SIP では、運転監視を必要としない自動運転から手動運転へ運転モードが遷移した場合に、ドライバーの運転引継に対する準備状態（Readiness）が低下することにより、運転引継が困難になる可能性を報告した。この成果に基づき、課題 B では、ドライビングシミュレータを用いた定量的評価によって、運転引継が困難となる状況について詳細に検討することを研究目的においた。2019 年度は特に次の二つの課題を検討するための実験を実施した。

一つ目の課題は、自動運転機能使用可能区間を外れる際（いわゆる ODD 遷移）の運転引継において、遷移前後の運転環境の変化に応じて運転引継の困難性が異なる可能性についての検討である。具体的には、運転環境に大きな変化がない場合（例えば、自動車専用道内での遷移）では、運転環境に大きな変化がある場合（例えば、専用道からゲートを通過して一般道へ移る場合）に比べて、適切な運転引継がより困難になると考えられる。そして、困難な運転引継状況を改善するモード遷移のあり方についての検討も同時に行われた。第 1 期 SIP で検討してきた運転監視を必要としない自動運転から手動運転へのモード遷移では、ドライバーに運転監視義務のない状態からの突然の運転引継となるため、適切な運転引継が困難であると考えられる。そこで、運転監視を必要としない自動運転から手動運転への遷移の間に、遷移猶予モード（運転監視を必要とする自動運転モードに相当）を挿入する、段階的モード遷移を提案し、適切な運転監視（Object and Event Detection and Response: OEDR）状態への回復効果を検証した。

もう一つの課題は、運転引継が困難であるか否かを判断するドライバー状態の人間計測指標を確立することであった。第 1 期 SIP では Readiness として主に眠気の検出を主眼に置いたが、SAE レベル 2 相当と呼ばれるような高度運転支援システムの利用においては、操作主体はシステムにありながらもドライバーには運転監視義務が課せられる。こうしたシステムの利用時においては、シ

システムの利用中にその利用を継続して良いかどうかや、システムの利用可能区間が終了する際に操作主体をドライバーに受け渡しても良いかどうかをシステム側が判断できなければならない。すなわちドライバーの運転監視状態を計測・評価する手法の開発が必要である。そこで本研究では、ドライバーに運転監視を課した際のドライバーの視認行動を計測し、適切な監視状態を反映する指標の探索を行った。

1.2.1. 運転引継後の運転行動

本研究の目的は、ODD 遷移による運転引継事態における、ドライバーのパフォーマンスを向上させる適切な引継手法の探索であった。まず他車両が存在しない条件の方が、存在する条件よりも素早く車線変更を完了することが示された。また、他車両が存在する場合は、運転引継前から運転監視を開始する条件の方が、運転監視をしない要件よりも素早く車線変更を完了することが示された。ただし、他車両が存在しない場合でも、監視を開始する条件の方が、監視を開始しない条件よりも、同程度に素早く車線変更を完了していることから、監視ありによる車線変更時間の短縮効果は、運転監視の開始に伴って、テトリスをプレイしていたタブレット PC を運転引継より前から手放していたため、素早く運転操作ができたためであると考えられる。なお、運転監視を開始する条件では、ゲートによる車線変更完了までの時間短縮効果は認められなかった。また、運転監視を開始しない条件では、事前に運転引継を予告しても車線変更完了までの時間短縮効果は認められなかった。さらに、他車両が存在する場合は、事前に運転引継の予告がある条件の方が、予告がない条件よりも安全に車線変更できることが示された。さらに、予告に加えて事前の運転監視とゲートの存在が重複した場合に、もっとも安全に車線変更できることが示された。したがって、運転引継の 1 分前から運転監視を開始すると安全に車線変更が可能となり、ゲートが存在することでその安全性が高まると考えられる (表 1-1)。

表 1-1 他車両のある条件における運転引継後のパフォーマンス向上効果

(数値はパフォーマンス向上が期待される要素を含まない条件 4 との差分)

比較した条件		条件1 - 条件4	条件2 - 条件4	条件3 - 条件4
パフォーマンス向上が期待される要素		予告+監視+ゲート	予告+監視	予告
運転引継のスムーズさ				
反応時間	運転引継後何らかの手动運転操作が開始されるまでの時間 (秒)	-1.6 ****	-1.2 ****	-0.1 n.s.
運転引継後の視認行動				
前方注視率	運転引継直後10秒間に進行方向を注視していた時間の割合 (%)	+12.5 ****	+8.3 *	+2.5 n.s.
頭部正対率	運転引継直後10秒間に頭部が進行方向と正対していた時間の割合 (%)	+10.4 ***	+10.0 ***	+2.7 n.s.
車線変更のスムーズさ				
車線変更所要時間	車線変更完了までに要した時間 (秒)	-1.7 **	-1.2 †	-0.1 n.s.
車線変更所要距離	車線変更完了までに走行しなければならなかった距離 (m)	-22.7 *	-16.3 n.s.	-3.8 n.s.
車線変更余裕距離	車線変更完了時点で車線変更禁止となる地点までどれだけ猶予があったか (m)	+24.7 **	+18.5 †	-1.7 n.s.
車線変更の安全性				
車線変更未実施率	車線変更できずに分岐地点を通り過ぎてしまった走行の割合 (%)	-10.2 **	-8.2 *	-7.2 †
車線変更時衝突率	車線変更時に他車両に衝突してしまった走行の割合 (%)	-6.0 **	-2.0 n.s.	-3.7 n.s.
車線変更違反率	車線変更禁止区間に入ってから車線変更を行った走行の割合 (%)	-1.3 n.s.	-2.5 n.s.	+2.6 n.s.
車線変更失敗率	車線変更で何らかの問題があった走行の割合 (未実施 or 衝突 or 違反) (%)	-14.6 ****	-10.6 *	-6.6 n.s.

**** $p < .001$, *** $p < .005$, ** $p < .010$, * $p < .050$, † $p < .100$ (Holm 法による多重比較補正後の値)

1.2.2. 運転引継前の運転監視行動

本研究のもう一つの目的は、自動運転レベル 2 相当を使用するドライバーの運転監視状態 (いわゆる OEDR) を評価する手法の開発に利用できる人間計測指標を探索することであった。そこで、本実験における運転引継の 1 分前に運転監視を求めた 2 条件 (条件 1 および 2) における、運転監視中の視線行動と

頭部運動に注目し、その時間的変化を検討した。その結果、以下の4点がそれぞれ示された。

- (1) 運転監視開始直後はサイドミラーなどを注視する頻度が高くなり、相対的に前方注視率が低くなる。
- (2) 運転監視開始後、時間経過に従って前方注視率が徐々に高くなる。
- (3) 運転監視開始後 30 秒程度で前方注視率の上昇は止まり、その後は前方 7 割・周辺 3 割程度の注視割合で安定する。
- (4) 頭部運動の計測によっても上記 3 点のおおよその傾向を検出可能である。

この結果より、以下のようなドライバー状態の時間的推移が運転監視時には起きていると考えられる。まず運転監視開始直後、ドライバーは周辺環境についての情報を全く持たないため、積極的に頭部運動を伴う視線移動を行なって、周辺情報の収集に務める過程を経る必要がある。運転監視開始直後に前方注視率が低くなったのはそのためであると考えられる。そしてこの周辺情報を持たない状況で運転引継を求められた場合、安全に車両を制御することは難しいことが予想される。次に、注視行動が安定するまでに運転監視開始後 30 秒程度を要することから、運転監視を開始してから実際に運転引継を行うまでに少なくとも 30 秒程度の猶予時間がドライバーにとっては必要である可能性が示唆される。実際に、実質的な猶予時間が 0 であった本実験における引継前に運転監視を行わない条件 (条件 3 および 4) では、たとえ事前に運転引継があることを予告されていても、車線変更課題の成績は向上しなかった。このことは、引継があるという心がまえだけでなく、実際に周辺の環境がどうなっているかを理解しているか否か、つまりドライバーの OEDR 状態が適切であることが重要であることを示唆している。従って、本実験で取り扱った一部の ODD 遷移のように、どのタイミングで引継が行われるか事前に分かっている状況 (例えば高速道から一般道へ降りる際) においては、引継に先行して運転監視を行い、かつその際の視行動がある程度安定するのを待ってから引継を行うのが、最適な引継方法であると考えられる。

また、ドライバーが理想的な運転監視状態にあるかを判断するための人間計測指標の基準値として、前方注視割合 7 割・周辺注視割合 3 割という基準が利用できる可能性が示された。前述の通り、運転監視開始後 30 秒程度経過した後は、前方 7 割・周辺 3 割程度の注視割合で安定した。これは、周辺環境の理解状態が十分となった後、その状態を維持するための視行動を反映していると考え

えられる。従って、この安定状態からの逸脱していないかどうかを判定することで、運転引継が可能なドライバー状態にあるかを判断することができると考えられる。今後はこの知見の妥当性を高めるため、更なる検証実験を行う予定である。

ただし、本実験では運転監視開始後、引継までに1分程度の時間的余裕が常にある条件での計測しか実施していない。従って、実験参加者は1分後の引継までに周辺環境の理解をすればよく、たとえもっと急いで環境理解をすることが可能であったとしても猶予時間をいっぱいに使ってゆっくりと監視を行っていた可能性は否定できない。従って、猶予時間30秒という絶対値に意味はなく、運転監視開始後の注視行動安定を待って引継を行うべき、という時間経過と注視行動安定の関係性が示された点にのみ注目すべきである（ただしこの関係性についても探索的検討の結果であるので、更なる検証が必要である）。今後は、時間的余裕がない場合に、最短でどのくらいの時間内に周辺環境理解を完了させられるか（すなわち、注視行動が安定するまで最短で何秒必要か）を、余裕時間を連続的に変化させる実験により検討する必要がある。また、注視行動が安定する前の段階での運転引継が本当に難しいかどうかの直接的証拠はまだない。これについても、今後の余裕時間を変化させる実験において、余裕時間が極端に短い条件を設定して検討し、その影響の程度を明らかにする必要がある。加えて、注視行動安定までに必要な時間および前方注視割合によるドライバー状態評価には個人差の影響が大きい可能性にも注意しておく必要がある。ただし個人差の検討を行うには大きなサンプルサイズの実験が必要であり、十分な検討はできてない。この課題については、今後の実験において対応する計画である。

1.2.3. 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討

HMI提示のありとなしの二つのグループに分けて、少人数（HMI提示ありの条件のみは4名、HMI提示なしの条件のみは4名）で画像認識プログラムおよび走行するシナリオを確認した。HMI提示ありの方が、ADASが車両以外の物体（パイロンなど）および、バイクを含む二輪車を認識できない可能性があることが認識されており、システムに対する理解がより適切だという傾向が見られた。来年度に行う予定のドライビングシミュレータ実験を実施できる環境が整ったことを確認した。

1.3. 課題 C

1.3.1. Web 調査

本調査は国内の各年齢層が自動運転の情報についての関心度や自動運転中ドライバーの役割について理解度・認識度、自動運転に関わる用語の理解度・認識度などを確認した。調査をまとめた結果、高齢者が若年、壮年、中年の人より、自動運転レベルの違いとドライバーの役割について他群より正しく理解している現状となっている。

自動運転の用語の中、各用語の平均点により、「自動ブレーキ」、「衝突回避操舵支援」そして「自動縦列駐車」のような近年の市販車に既に搭載している運転支援機能に対して、全回答者においてその平均点が他の用語よりも高く見られた。

「運転引き継ぎ」、「運転引き継ぎ要請」、「オーバーライド」、そして「引き継ぎ時間」という自動運転から手動運転へ引き継ぐ場面を説明する際によく使われる用語に対して、用語の中でも全回答者において比較的低い平均点が見られた。

全年齢層の回答者に対して、一般の人々の理解度の低い用語を専門家が伝える際に、現時点では簡易な表現を用いて説明するなど工夫する必要がある。提案として、自動運転を普及化する前に、専門用語を一般生活に浸透するよう、単語だけで機能や意味などが想像できるように新しい用語を作るなど、より自動運転を理解してもらうために工夫する必要がある。

さらに、多重比較の結果により、大部分の用語に対しての理解度は、年齢層が高いほど、各用語に対しての理解度が高い傾向があるという結果となっている。考察により、その理由は高齢者が自動運転の情報に対して、他の年齢層より高い関心を持つためだと示唆している。同時にそのきっかけで高齢者が一部の自動運転の用語を知った可能性も考えられる。主観による結果では、高齢者が他の年齢層群より、一部の自動運転の用語を認識・理解していると示している。

最後に、自動運転社会への期待について、過半数の回答者が社会全体とユーザー自身のメリットとして、自動運転によってより安全な交通社会を期待していることがわかった。

今回の調査は過去の結果との比較とまとめることにより、以上の結果をまとめた。今年度の回答者数を含めて既に 5000 以上のデータセットがあり、今後の自動運転の発展に役立てる重要な根拠となると考えられる。

1.3.2. 実験 C ii-1

本実験では、自動運転に関する一般論を事前に知識として与えておくことが、特定のシステムの利用時における理解を深めることに効果があることがうかがわれた。特に高齢層に関して、事前に一般知識を知っておくことはより安全に自動運転システムを使用できたことが示唆された。ゆえに、一般的知識をあらかじめ教育しておくことによって、数か月程度の時間を経た後でも、特定のシステムを利用する際の教育にかかる時間・実際の運転パフォーマンスに効果が認められたという仮説が支持された。

2. 委託概要

2.1. 委託の目的

自動運転車と周囲の交通参加者間の安全を確保し、お互いの意図が明確に分かるような安心できる円滑なコミュニケーション方法に関する研究、運転者が存在する運転自動化レベル（以下「レベル」という。）3又は4相当の自動運転車で、走行環境条件を外れた場合や自動運転システムの機能低下の場合における運転引継等を適切に行うためのHMI等に関する研究、レベル3及び4相当の自動運転車や普及が進むレベル2相当の高度運転支援システムに関し、運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究を行うことにより、以下を実施ならびに実現することを目的とする。

- ▶ レベル4相当の低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの設計に関する設計要件や推奨項目を明らかにすること。そして成果を国際標準（ISO/TC22/SC39/WG8）に提案すること。
- ▶ レベル3、4から手動運転に遷移する場合の、適切な遷移プロトコルとHMI、および一般道を含めた道路交通環境におけるレベル2走行において、ドライバーのOEDRパフォーマンスを評価する手法と、確実な運転引継ぎを促すHMIや教育・訓練の要件を明らかにすること。そして成果を国際標準に提案すること。
- ▶ 自動車教習所、運転免許更新教習、ディーラー・レンタカー会社などで、自動運転システムを安全に利用するための教育・訓練プログラムのプロトタイプを提案し、国内の制度化に寄与すること。
- ▶ 国際的な研究連携を通して、欧米の動向との協調を図るとともに、国際的なイニシアティブをとること。

2.2. 委託の内容

次の3項目を実施する。

課題 A：低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発

課題 B：走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継のためのHMI等に関する研究開発

課題 C：運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究開発

課題 A では、道の駅等の自動運転実証実験での観測により、低速走行の移動・物流サービス等を対象にした自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの現状と特徴について分類・整理を行い、コミュニケーションのユース

ケースを抽出するとともに、VR 実験により、自動運転車と交通参加者の 1 対 1、1 対複数のコミュニケーションにおける負の影響に関してその形態や原因等を分析し、外向け HMI 等のコミュニケーション方法や運用、交通参加者が備えるべき知識等について検討する。さらに VR 実験やテストコース (TC) 実験等により、自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションの重要なユースケースを対象に、外向け HMI 等のデザインファクター案や交通参加者のエデュケーションファクター案を抽出し、実証実験等によりそれらの案についての検証を行う。

課題 B では、ドライビングシミュレータ (DS) による実験的検討を通じて、レベルの遷移 (モード遷移) における運転引継時の問題の定量的評価とこれを向上させる HMI の提案を行う。さらに、一般道でのレベル 2 における運転監視状態の定量的評価とこれを向上させる HMI について、産業界が利用可能な具体的データに基づいた提案を行う。

課題 C では、自動運転に関する一般向けの安全運転教育のコンテンツを開発するとともに、そのコンテンツに関してドライビングシミュレータを用いた検証ならびに実運用の試行と改善を行う。また、特定のシステムを対象として、自動車販売のディーラーやレンタカーの営業所などで、当該システムに関する知識を伝達する方法論を開発し、ドライビングシミュレータでの検証を行う。

本プロジェクトは、3 つの課題を 6 機関にて研究開発を進めていく。研究開発責任者ならびに各機関の管理者・研究者間で、研究開発の進捗、研究開発成果 (検証結果) の情報共有を行う運営会議を設置し定期的開催する。また、年に数回の頻度にて各課題に関係する省庁 (国土交通省、警察庁ほか) の担当者を交えた推進会議 (公募要領記載の HMI 推進検討委員会に該当) を開催することとする。開催の実施にあたっては、NEDO ロボット・AI 部 (委託元) と調整の上、実施する。なお、会議の運営業務は東京都ビジネスサービスが実施する。

日本自動車工業会等の自動車業界との連携としては、一般社団法人日本自動車工業会、公益社団法人自動車技術会、本研究プロジェクトの 6 機関をメンバーとする会議体を設置し、定期的な情報共有・意見交換を実施していく。

海外研究者と連携した研究開発としては、「自動運転ヒューマンファクター研究に関する日独連携 (SIP 第 2 期想定テーマをもとに日独両政府の承認済み (2018 年 12 月))」として、課題ごとにドイツの研究機関と連携していく。加えて、三極連携の枠組みの中で英国との共同研究を検討していく。

また、本プロジェクトの取り組みや成果について国民に発信することを目的とし、適宜、成果報告会を開催することとする。なお、成果報告会の運営業務は東京都ビジネスサービスが実施する。

2.3. 用語の定義

研究課題の枠組みについては、下記の通り用語を統一する。

- 課題 A：低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発
- 課題 B：走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継のための HMI 等に関する研究開発
- 課題 C：運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究開発

3. 課題 A : 低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発

3.1. はじめに

課題 A では、低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発を実施し、コミュニケーションの設計に関する設計要件や推奨項目を検討するものである。平成 30 年度「戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）自動走行システム／大規模実証実験／H M I」[1] においては、低速走行する自動運転車からの譲り意図をドライバーや歩行者に認識させるには、主として車両挙動（減速挙動・停止挙動）の活用が重要となること、自動運転車からの譲り意図を早いタイミングでドライバーや歩行者に認識させ、行動判断を確信させるためには外向け H M I（Human Machine Interface）の活用が有効となることが確認された。その一方で、外向け H M I の活用に関して、外向け H M I のコンテンツによっては、交通参加者の確認行動が減少することなど負の影響を誘発する可能が示唆された。また、外向け H M I を含めた自動運転車に対する解釈が交通参加者によって多様な傾向を示したことから、安心して円滑なコミュニケーションを実現するには技術的な要素だけでなく、交通参加者への教育等も必要であること示唆された。2019 年度の研究開発からは、低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションを主な対象として研究開発を進める一方で、過年度の研究開発において確認された外向け H M I を活用する際の負の影響についても本研究開発の検討課題として加えている。

課題 A の研究開発の全体像としては、道の駅等の自動運転実証実験での観測により、低速走行の移動・物流サービス等を対象にした自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの現状と特徴について分類・整理を行い、コミュニケーションのユースケースを抽出するとともに、VR 実験により、自動運転車と交通参加者の 1 対 1、1 対複数のコミュニケーションにおける負の影響に関してその形態や原因等を分析し、外向け H M I 等のコミュニケーション方法や運用、交通参加者が備えるべき知識等について検討する。さらに VR 実験や TC（テストコース）実験等により、自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションの重要なユースケースを対象に、外向け H M I 等のデザインファクター案や交通参加者のエデュケーションファクター案を抽出し、実証実験等によりそれらの案についての検証を行う。

3.2. 課題 A の 2019 年度の計画

道の駅自動運転実証実験のドライブレコーダ映像分析、ドライビングシミュレータ（DS）実験、バーチャルリアリティ（VR）実験を通じて、低速走行する自動運転車と周囲の交通参加者とのコミュニケーションに関する基本的知見を抽出するとともに、自動運転車から意図や状態を他の交通参加者に伝達するためのコミュニケーションとして外向け HMI を実装する際の基本要件や推奨項目、留意事項等を導出する。また外向け HMI を利用して自動運転車が他の交通参加者とのコミュニケーションを図る際の負の影響についても検討する。2019 年度における計画は、図 3-1 に示す通りである。

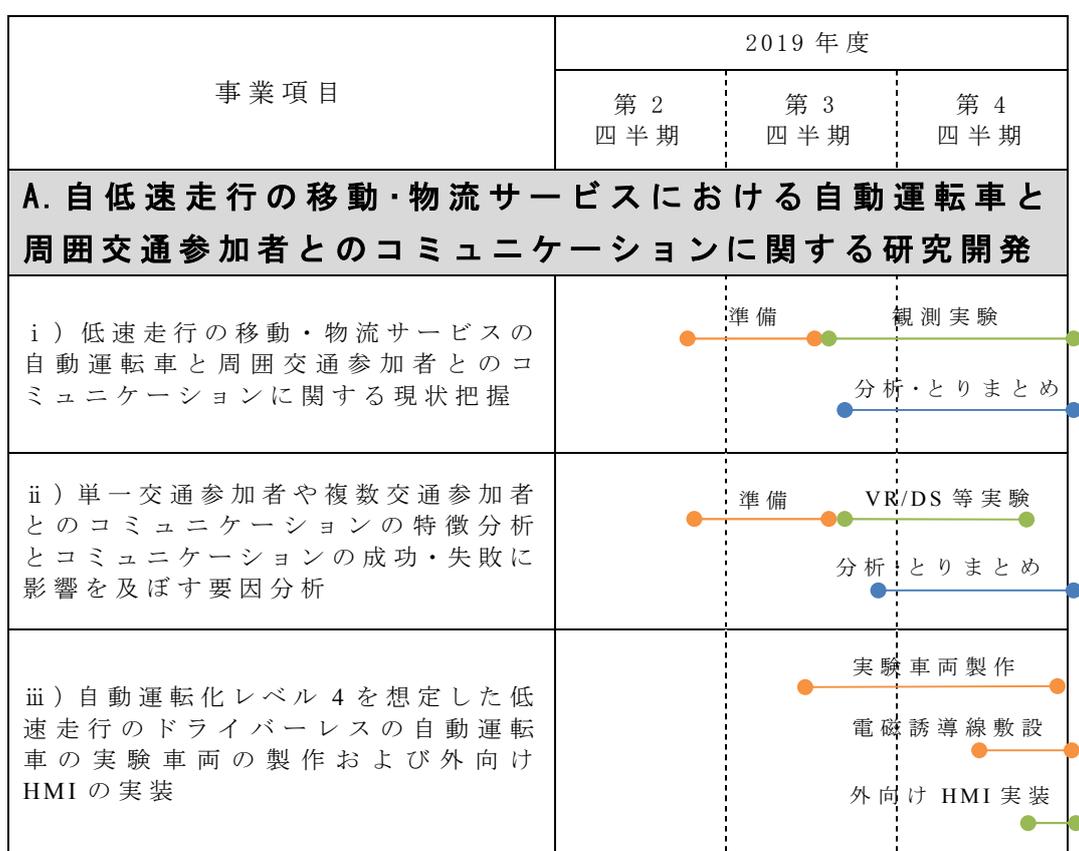


図 3-1 課題 A の 2019 年度の計画

3.3. 課題 A の 2019 年度の具体的な目的と方法

i. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握

【目的】

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車が実際の道路環境・交通状況を走行する実証実験等を対象にして、自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションやインタラクションの場面を観測・記録し、周囲交通参加者

の属性、自動運転車と周囲交通参加者の位置関係、道路環境や交通状況などコミュニケーションを特徴づける各種要素を考慮した上で分類や類型化等を行い、低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との間の典型的なコミュニケーションや不安全なコミュニケーション、両者間での意図伝達や行動等の特徴を明らかにする。また観測を通じて得られたコミュニケーションの種類を、安全、安心、円滑の観点から分析・評価し、コミュニケーションの改善や新たな方法の導入等を検討する。

【観測方法】

国土交通省をはじめとする関連省庁や地方自治体等が実施している移動・物流サービス等の自動運転実証実験を対象に、自動運転車や走行環境等にカメラ等の計測装置や車両状態に関わる計測機器を設置して自動運転車の周囲状況を観測・記録し、自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションやインタラクション等の場面データ（例えば、道路環境や交通状態、交通参加者の属性や位置等）やその他関連データ（例えば、自動運転車の走行状態や乗員状態等）を抽出する。自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション等は、過去の周囲交通参加者の自動運転車との遭遇経験の有無によって異なること、時間経過に伴って変化することが考えられる。自動運転車の実証実験等の未実施地域や長期的に観測可能な地域、また地方の中山間地域や観光地、都市部の近郊地域などの特徴、地域交通としての役割や特徴も自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションの特徴に影響を及ぼすと考えられる。これらの要素も考慮して関連省庁や関係機関と調整し、観測対象とする自動運転実証実験の候補地域を検討する。これらの自動運転実証実験地域での観測データに基づいて、コミュニケーションの特徴分析と類型化等を行う。特に、運転自動化レベル4を想定した低速走行やドライバー不在等の状態、また駐車場等において自動運転車と交通参加者が空間を共有するような状態なども分析対象として考慮する。

ii. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析

【目的】

単一交通参加者や複数交通参加者が自動運転車の周囲に存在する道路環境・交通状況を対象に、自動運転車と周囲交通参加者との間でコミュニケーションが生じる際の特徴を抽出するとともに、自動運転車から発信された意図や状態に対する交通参加者ならびに周囲の他の交通参加者の解釈や意思決定、安心等の心的影響等と、周囲交通参加者との接触やコンフリクトの有無

やその形態との関係から、コミュニケーションの成功/失敗に関する要因等について明らかにする。またこれらの特徴から、安全・安心なコミュニケーションと交通参加者の知識との関係性について考察する。

【方法】

i にて実施した単路部や交差点部、駐車場等での現場観測によるコミュニケーションやインタラクションの特徴分析や、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システム／大規模実証実験／HMI（以下、「第1期SIP」という）」における外向けHMIを利用した自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの特徴分析の結果に基づいて、自動運転車と単一の周囲交通参加者とのコミュニケーションや、自動運転車と複数の周囲交通参加者とのコミュニケーションが生じる道路環境や交通状況をヘッドマウントディスプレイやドライビングシミュレータによる仮想空間に再現し、また必要に応じて試験走路環境に再現する。周囲交通参加者の位置や人数、外向けHMIのコンテンツ等の組合せに基づいて、自動運転車から伝達される意図や状態に対する各々の交通参加者の認識や周囲に対する判断、判断後の行動等の特徴を計測・分析する。

iii. 自動運転化レベル4を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向けHMIの実装

【目的】

低速走行する移動・物流サービスの自動運転車と外向けHMIとの組合せに対する周囲交通参加者の認識や判断、安心感等の心理面への影響を2020年度以降の試験走路実験等で定量的に分析・検討するために、低速走行ならびに無人で特定経路を走行可能な自動運転車を実験車両として製作する。

【製作方法】

低速走行する移動・物流サービスの市販自動運転車（ゴルフカート等）を改造して模擬的な自動運転の実験車両を製作する。車両状態や周囲交通参加者の状態や関連情報を計測するための各種装置を実装する。また第1期で製作した外向けHMIの仕様を考慮して外向けHMIをこの実験車両に実装する。低速走行ならびに無人で特定経路を走行可能な自動運転車とするために、慶應義塾大学新川崎K2キャンパス内の構内道路ならびに駐車エリアに電磁誘導線等を敷設し、実験走行の際は構内道路ならびに駐車エリアを一時的に封鎖して、模擬的に単路環境や交差点環境、駐車場環境を再現する。本事業終了時には敷設した電磁誘導線等の撤去を行い、原状復帰を行う。

3.4. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握

3.4.1. 目的や方法論の概要

自動運転車両の外付け HMI に関する既存研究では、自動運転車両と他の交通参加者のコミュニケーション[2][3]や、自動運転車両に設置する外付け HMI のデザイン[4]に関する研究は見られる。しかし、いずれも実験室や仮想現実などの統制された環境下での研究であり、現実の交通環境で研究はなされていない。外付け HMI の必要性や設計条件などの検討をするためには、外付け HMI がない自動運転車両が他の交通参加者とどのようなインタラクションがあり、そのうち、どのような場面でコミュニケーションの失敗を引き起こしているのか、把握することは重要である。

本研究では、以下の3つを明らかにすることを目的とする。まず、中山間地の道の駅自動運転において、インタラクションにはどのような形態の頻度が多いのか分析する。次に、これらインタラクションの要因として、道路環境や交通状況、周囲の歩行者や運転手の特徴などがどのように関与しているのかを分析する。そして、インタラクションの交通安全性や交通効率などへの影響を踏まえて、どのようなコミュニケーション設計が必要となるのかについて検討する。

インタラクションの頻度に関する分析では、インタラクションを接近や回避（自動運転車両と移動方向が交わらない交通参加者に半径 1 m 以内に接近するときや、交通参加者が回避するとき）、横断（自動運転車両と移動方向が交わる交通参加者のインタラクションがあったとき）、追い越し（自動運転車両を他の交通参加者が追い越すとき）に分類し、それぞれの頻度を算出する。

インタラクションの要因に関する分析では、要因を周辺環境（道路の形）、自動運転車両の状況（車両の形、車両の状態、意思伝達の有無、インタラクションの位置）、インタラクションの相手の状況（交通手段）に分類し、それぞれの分類における頻度を算出し、インタラクションに対する影響を検証した。

そして、これらの結果を踏まえ、インタラクションの交通安全性や交通効率などへの影響や、コミュニケーション設計について考察をする。

3.4.2. 対象とした道の駅・実証実験

対象地は、コスモール大樹、かみこあに、ひたちおおた、南アルプスむら長谷、芦北でこぼんの5つの道の駅を中心とした地域であり（図 3-2（国土交通省の資料[5]を参照し、白地図 Craft MAP（<http://www.craftmap.box-i.net/>）を用いて作成。）、いずれも中山間地域におけるモビリティについての検証を目的に実証実験を行っている。いずれの対象地においても、走行するルートは道の

駅を中心として、役所、郵便局、病院などの主要な都市施設を結んでいる（図 3-2～図 3-7（国土交通省の実証実験における走行ルートに関する資料 [5][6][7][8][9]を参照し、Google Map（<https://www.google.co.jp/maps/>）を用いた。）。実証実験の期間は次の通りである：コスモール大樹（2019年5月21日～6月21日）、かみこあに（2018年12月9日～2019年2月8日）、ひたちおおた（2019年6月23日～7月21日）、南アルプスむら長谷（2018年11月5日～11月29日）、芦北芦北でこぼん（2019年1月27日～3月15日）。

実証実験において用いる車両は、対象地域によって異なり、かみこあに、ひたちおおた、芦北でこぼんでは、ヤマハ発動機のゴルフカート型（図 3-8 参照。定員 6 人。埋設された電磁誘導線からの磁力を感知して、既定ルートを走行。速度は自動時～12km/h 程度、手動時 20 km/h 未満。）であり、コスモール大樹と南アルプスむら長谷では、先進モビリティ株式会社のバス型（図 3-8。定員 20 人。GPS と磁気マーカ及びジャイロセンサにより自車位置を特定して、既定のルートを走行。速度は 35 km/h 程度（最大 40 km/h）を用いる。

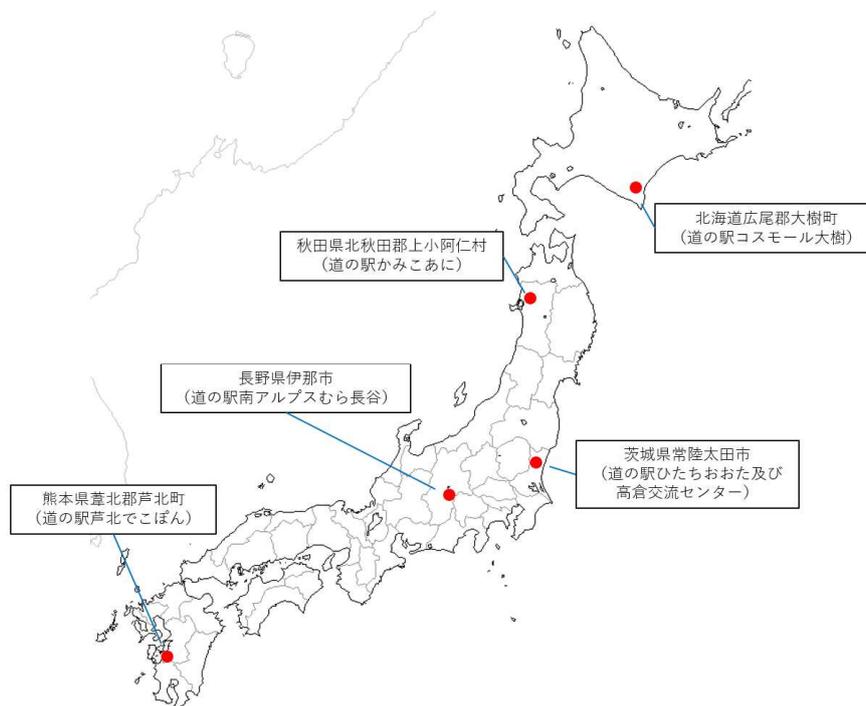


図 3-2 本研究で取り上げる実証実験の対象地

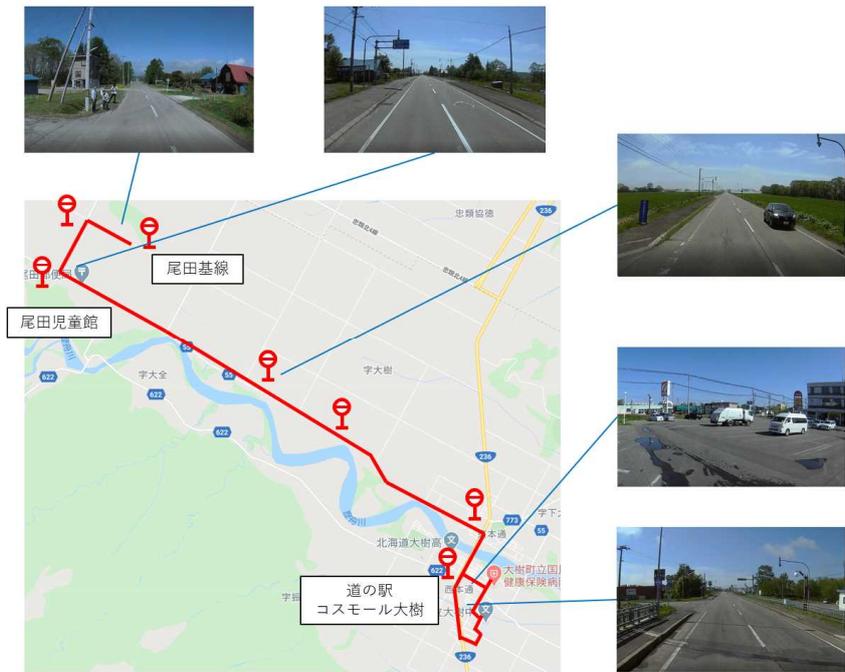


図 3-3 コスモール大樹の走行ルート

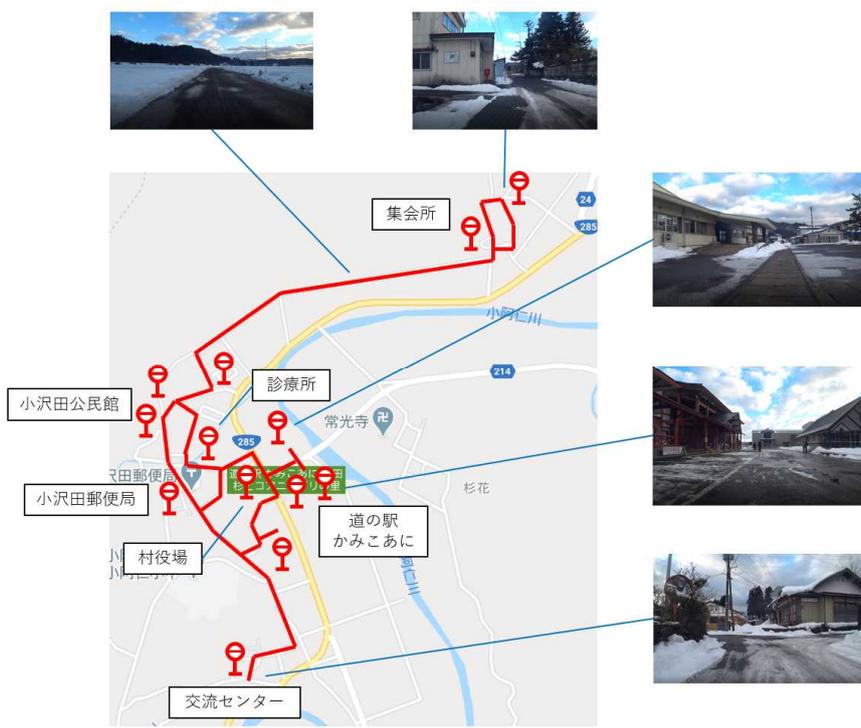


図 3-4 かみこあにの走行ルート

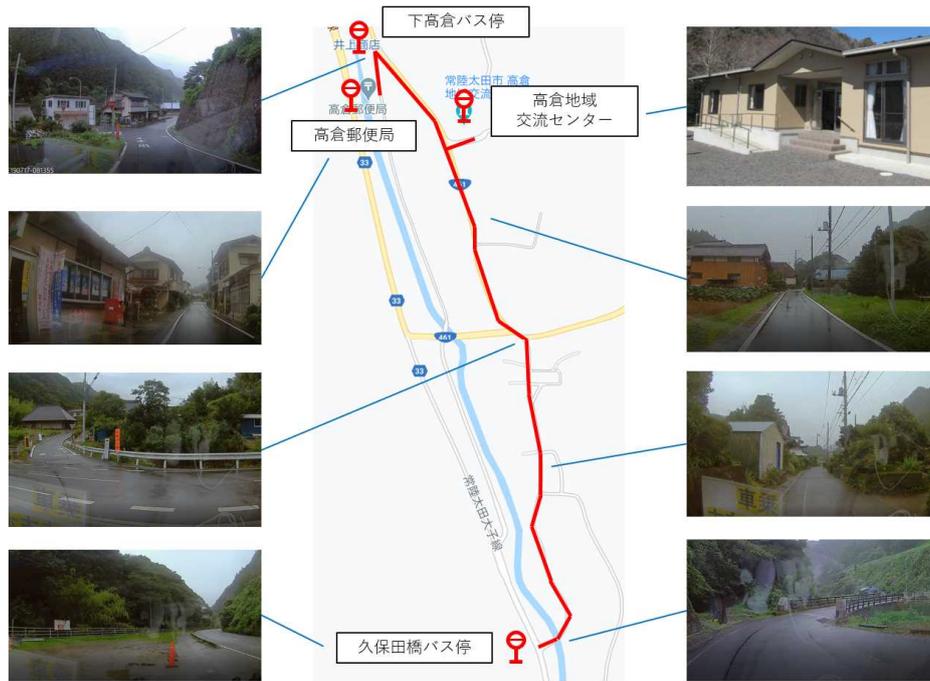


図 3-5 ひたちおおたの走行ルート



図 3-6 南アルプスむら長谷の走行ルート

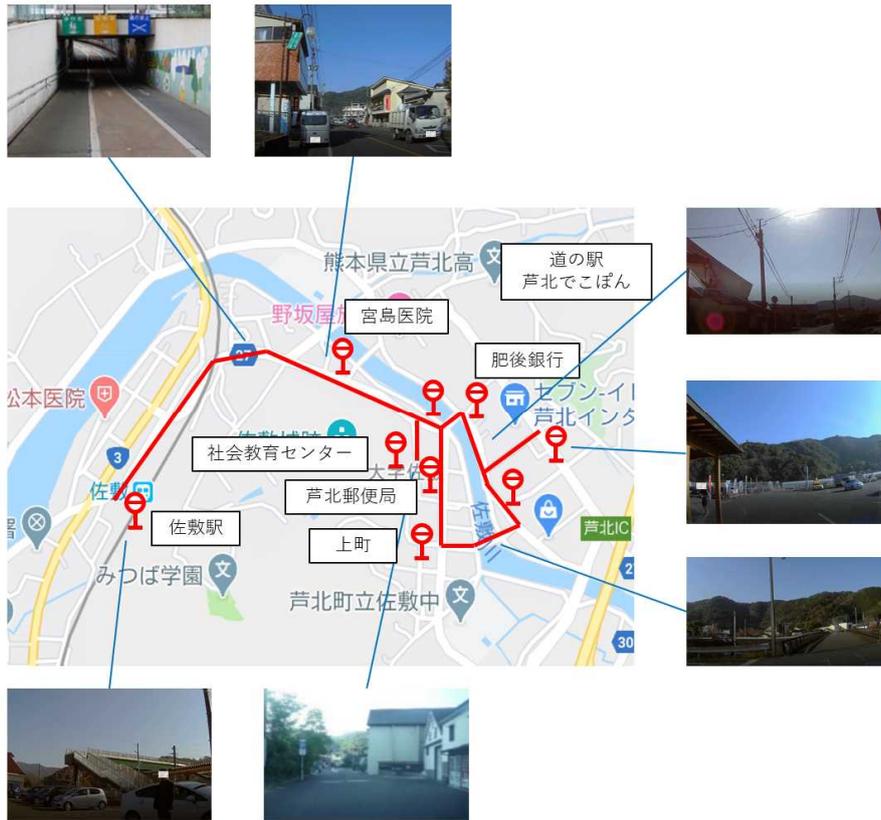


図 3-7 芦北でこぼんの走行ルート



図 3-8 自動運転車両（左：ゴルフカート型、右：バス型
国土交通省の資料[4]から画像を引用）

3.4.3. ドライブレコーダの映像データ

対象地によって、車載カメラの設置位置は異なる。カメラの位置は、車両前方カメラ、運転手カメラ、乗客カメラ、車両後方カメラの4つに分けられる。ただし、ひたちおおたでは、乗客カメラは存在せず、コスモール大樹や南アルプスむら長谷では、バス型の車両を用いているため、乗客カメラが複数台存在する。



図 3-9 コスモール大樹（1：車両前方カメラ、2：運転手カメラ、3：前方乗客カメラ、4：後方乗客カメラ、5：車両後方カメラ）



図 3-12 南アルプスむら長谷（1：車両前方カメラ、2：運転手カメラ、3：前方乗客カメラ、4：後方乗客カメラ、5：右方乗客カメラ、6：車両後方カメラ）

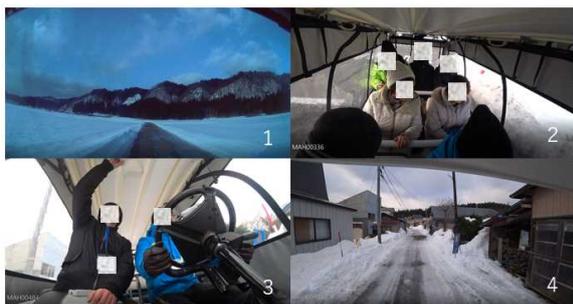


図 3-10 かみこあに（1：車両前方カメラ、2：運転手カメラ、3：乗客カメラ、4：車両後方カメラ）



図 3-13 芦北でこぼん（1：車両前方カメラ、2：運転手カメラ、3：乗客カメラ、4：車両後方カメラ）



図 3-11 ひたちおおた（1：車両前方カメラ、2：運転手カメラ、3：車両後方カメラ）

3.4.4. 映像データの分析方針

過去に5つの道の駅（コスモール大樹、かみこあに、ひたちおおた、南アルプスむら長谷、芦北でこぼん）で実施された自動運転バスの実証実験における初日（ひたちおおたは初日の映像が欠損していたため、2日目の映像を使用）と末日のドライブレコーダの映像（計10日分）を用いて、自動運転車両と他の交通参加者とのコミュニケーションを抽出する。ここで、インタラクションの定義としては、自動運転車両もしくは他の交通参加者のいずれか、もしくは双方が、相手の存在を認識して交通行動（回避や追い越しなど）を起こした時のことを指している。そして、コミュニケーションの失敗の定義としては、自動運転車両もしくはコミュニケーション対象のインタラクションが円滑ではなかった場面を指している。映像データから表3-1の観点を抽出し、定量データとして記録する。

表 3-1 映像から抽出する主な項目

項目	記録する内容
対象者	①歩行者（歩行中）、②歩行者（作業中）、③歩行者（立ち話）、④歩行者（直立）、⑤自転車、⑥バイク、⑦自動車、⑧その他
自動運転車両の状態	①道路脇に停車、②道路上に停車、③加速中、④走行中、⑤減速中、⑥左折中、⑦右折中、⑧その他
コミュニケーションの種類	①接近（1m以内）、②回避、③横断のための待機、④横断、⑤追い越し、⑥その他
コミュニケーション時に積極的な意思伝達：（声がけやジェスチャーなど）をしているか	①していない、②している（声がけ）、③している（ジェスチャー）、⑤不明、④している（その他）
対象者の概ねの年齢	①10歳未満、②10代、③20代、④30代、⑤40代、⑥50代、⑦60代以上、⑧不明
対象者の性別	①男性、②女性、③不明
コミュニケーション開始時に、交通主体の存在する方向	①車体の前方、②後方、③右方、④左方
その場面におけるウインカの有無	①あり、②なし、③不明
抽出した場面の道路の種類	①単路、②逆T字路、③T字路、④Y字路、⑤十字路、⑥駐車場内、⑦丁字路、⑧その他
運転が自動か手動か	①自動、②手動、③不明
自動運転車両の種類	① ゴルフカート型、② バス型

3.4.5. 結果

3.4.5.1. インタラクションの頻度

まず、インタラクションの頻度を算出した。結果として、接近もしくは回避：97件、横断：270件、追い越し：599件、その他（狭い道での譲り合いなど）：51件という頻度となった（図 3-14）。そのうち、コミュニケーションに失敗があった場面は、接近もしくは回避：4件、横断：7件、追い越し：2件、その他：1件となった（図 3-15）。対象地ごとにインタラクションやコミュニケーションの失敗の割合を比較すると（図 3-16 及び図 3-17）、割合の大きさは異なり（例えば、南アルプスむら長谷では追い越しが多く、コスモール大樹では横断が多い）、これは、各地域で運行している自動運転車両の形や、地域の物理的・社会的環境が影響していると考えられ、インタラクションの要因に関する分析で検証する。

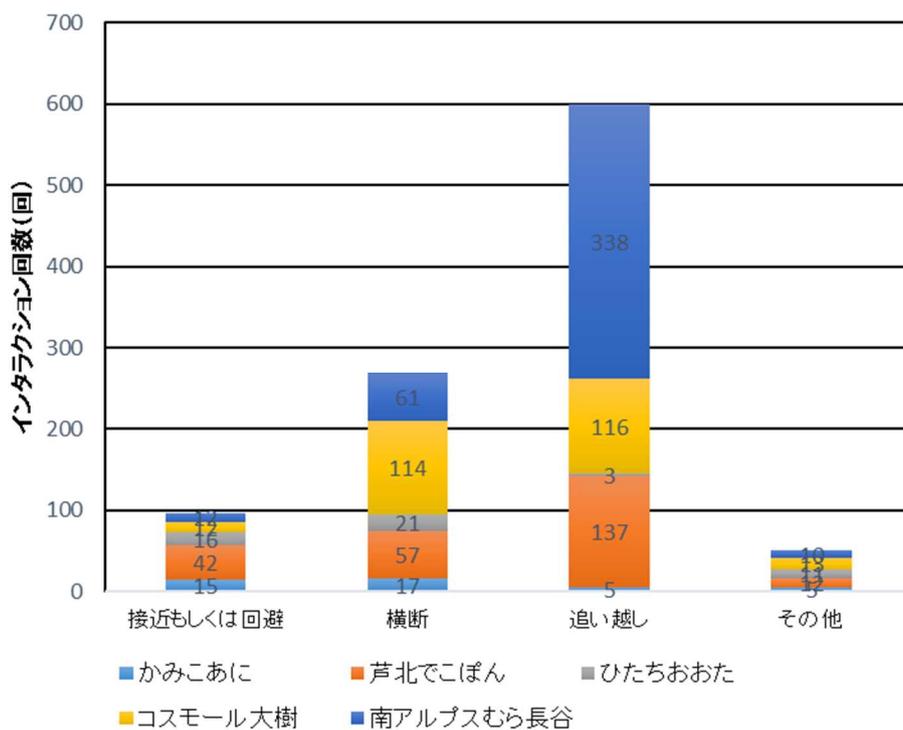


図 3-14 対象地ごとのインタラクションの頻度の総計

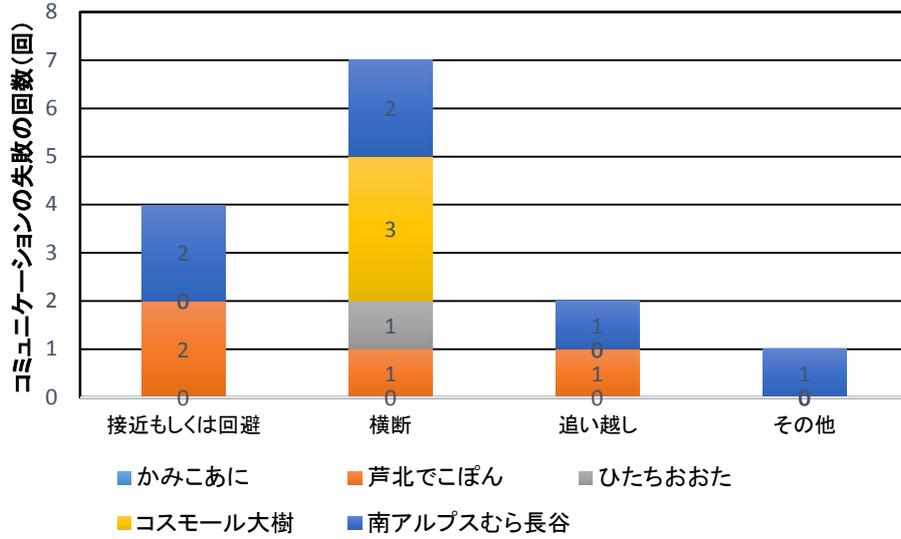


図 3-15 対象地ごとのコミュニケーションの失敗の頻度

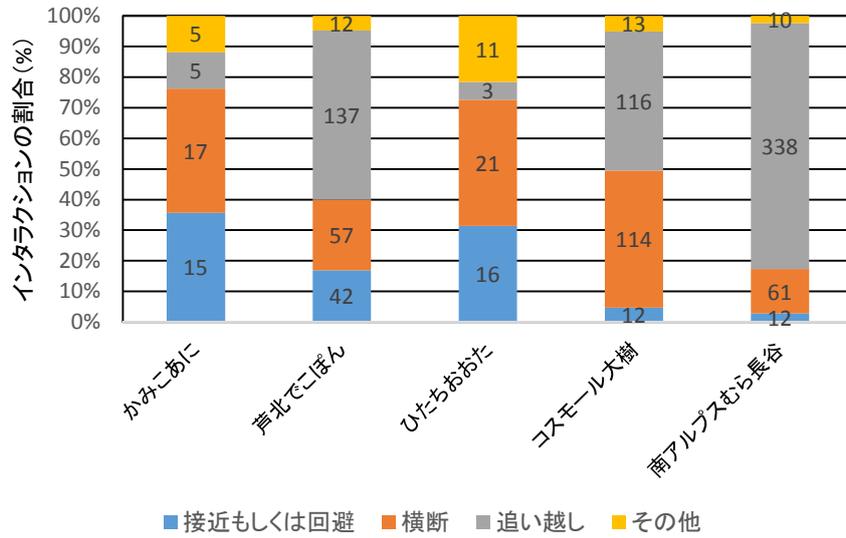


図 3-16 対象地ごとのインタラクションの頻度の割合

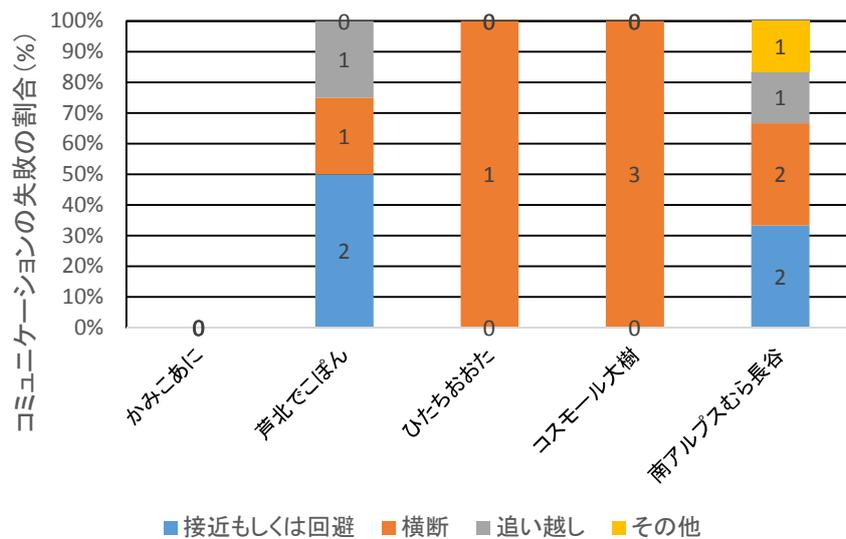


図 3-17 対象地ごとのコミュニケーションの失敗の頻度の割合

3.4.5.2.インタラクションの要因

次にインタラクションの要因について分析する。要因としては、周辺環境（道路の形）、自動運転車両の状況（車両の形、車両の状態、意思伝達の有無、インタラクションの位置）、インタラクションの相手の状況（交通手段）が考えられる。

接近や回避に関するインタラクション（計 97 件）は歩行者（64 件）と自動車（23 件）が相手である場合が多い。ここでは、インタラクションの相手を踏まえて分類したうえで、要因を検討する。まず、歩行者に対して接近や回避に関するインタラクションがある場所については（図 3-18）、歩行者、自動車ともに単路部で多く、次いで、駐車場や交差点部（丁字路、T字路など）で見られることが多い。インタラクションが起きるときの自動運転車両から見たときの方向としては（図 3-19）、歩行者とのインタラクションは車両の左側で多く、自動車とのインタラクションでは車両の右側が多い。これは、自動車は左側通行のため、歩行者とは距離が近くなる左側、対向から接近する自動車とは右側でインタラクションが起きやすいからである。自動運転車両の前方では、歩行者と自動車ともにインタラクションがあるが、後方ではほとんど見られない。各車両のタイプ（ゴルフカート型とバス型）の総インタラクションに対する歩行者と自動車とのインタラクション（接近や回避）の割合を比較すると（図 3-20）、ゴルフカート型の方が歩行者と自動車ともに、インタラクションの頻度が大きいことがわかる。これは、ゴルフカート型の車両の方が小さく低速のため、生活道路などの狭い道路を含んだルートで導入するためだと考えられる。社会実験実施日による違いについては、サンプルが少ない背景もあり、顕著な違いは見られなかった。

接近や回避に関するインタラクションでコミュニケーションの失敗が見られたケースとしては、歩行者が相手の場面では、芦北でこぼんにおける実証実験で、自動運転車両が右折を待機しているときに児童の歩行者集団が自動運転車両の挙動を理解できずに、立ち止まってしまったケースが見られた（図 3-21）。自動車が相手の場面では、芦北でこぼんや南アルプスむら長谷における実証実験で、道幅が狭いときに対抗の車両と譲り合う際に、どちらが先に行くべきかを判断する場面で、すれ違いが円滑でなかったケースが見られた（図 3-22）。

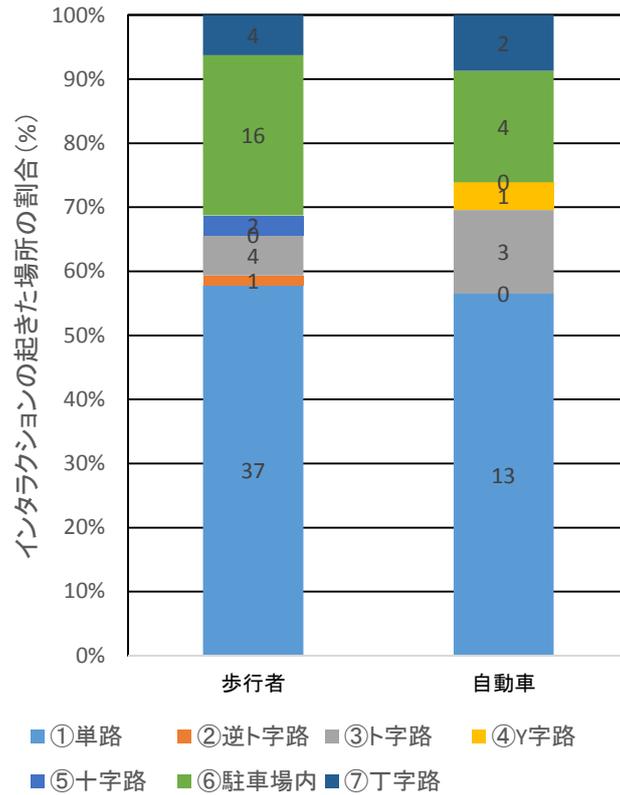


図 3-18 道路の形状ごとの接近や回避に関するインタラクションの頻度

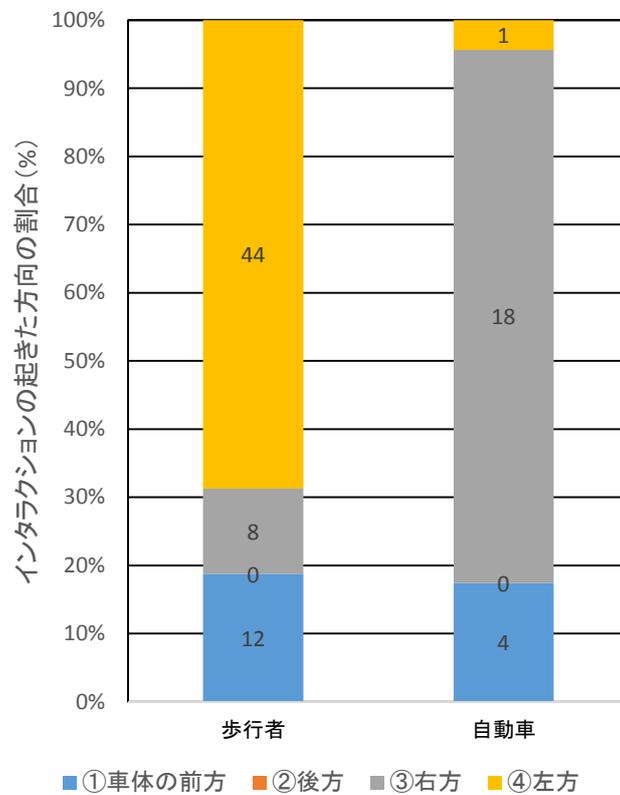


図 3-19 自動運転車両から見た接近や回避のインタラクションの発生位置

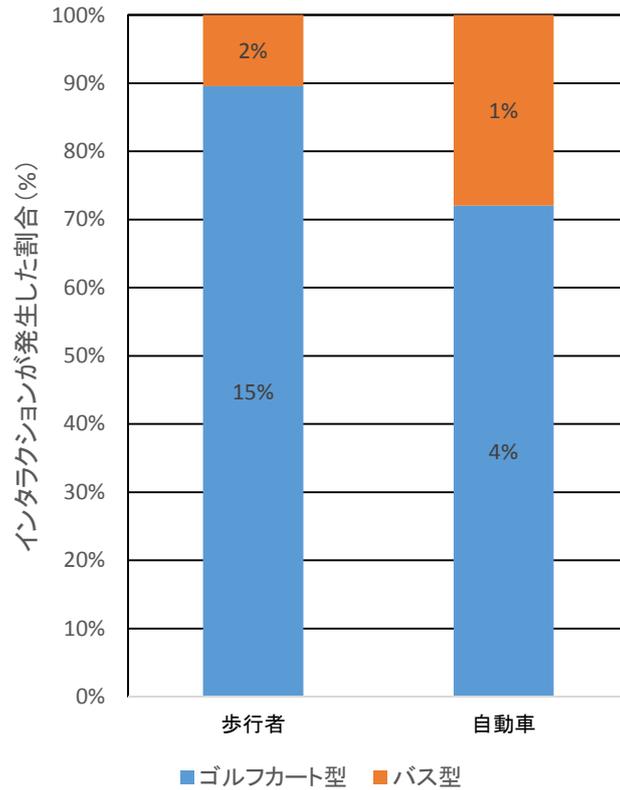


図 3-20 自動運転車両のタイプごとの接近や回避のインタラクションが発生した割合



図 3-21 歩行者集団に接近時のコミュニケーションの失敗（芦北でこぼん）



図 3-22 幅員が狭い道路でのすれ違い（南アルプスむら長谷）

横断に関するインタラクション（計 270 件）は、自動車とのインタラクションが多くみられ（233 件）、歩行者や自転車とのインタラクションは比較的少ないが、いくつか観察される（17 件及び 10 件）。ここでは、主に車道を走行する自動車及びバイク（計 241 件）と、主に歩道を用いる歩行者及び自転車（計 27 件）に分類して分析を行う。

横断に関するインタラクションがある場所については（図 3-23）、歩行者・自転車とのインタラクションでは、丁字路などの道路が交差する地点でのインタラクションだけでなく、単路や駐車場など、横断するための設備がない場所でのインタラクションが多かった。一方で、自動車・バイクとのインタラクションでは、単路や駐車場内での横断のインタラクションは少なく、主に道路が交差する場所でのインタラクションが主に見られた。各車両のタイプ（ゴルフカート型とバス型）の総インタラクションに対する歩行者・自転車と自動車・バイクとのインタラクション（横断）の割合を比較すると（図 3-24）、ゴルフカート型とバス型でインタラクションの頻度の違いは明確に見られなかった。このことから、横断に関するインタラクションは、車両の大きさや、導入する地域環境に大きく影響を受けることが示唆される。

横断に関するインタラクションでコミュニケーションの失敗が見られたケースは、接近や追い越しなどの他のインタラクションと比較して多い（図 3-15）。これは、横断はインタラクションをする主体の動線が交わるため、衝突の危険性が大きいいため、慎重な行動となるためだと考えられる。歩行者とのインタラ

クションでは、自動運転車両が駐車場から道路に出るために右折をする際に、車両の右側から来る歩行者が車両の前を横断できずに立ち止まったケースが見られた（図 3-25）。同様に車両の前を横断できない例は、丁字路におけるバイクとのインタラクションや、駐車場における自動車とのインタラクションでも見られた（図 3-26、図 3-27）。これらのケースでは、自動運転車両の挙動が理解できずに引き起こされたと考えられる。

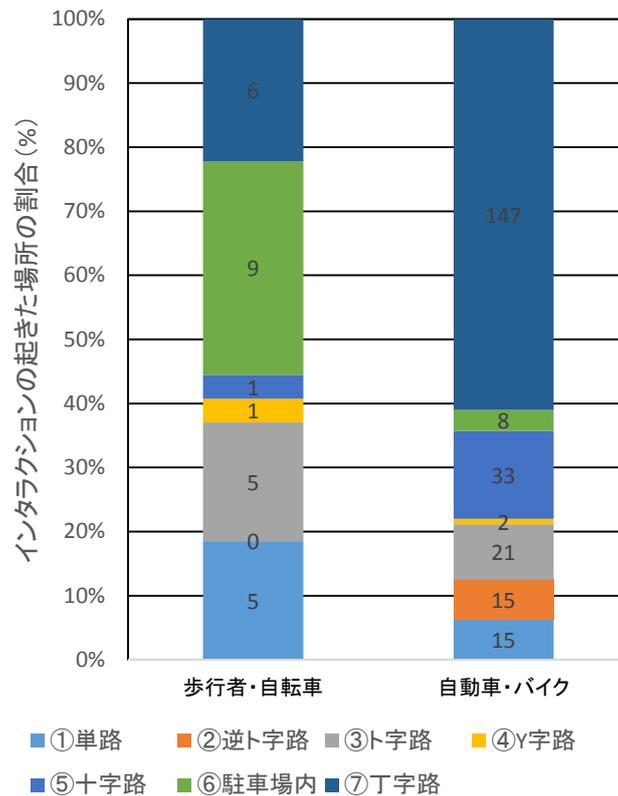


図 3-23 道路の形状ごとの横断に関するインタラクションの頻度

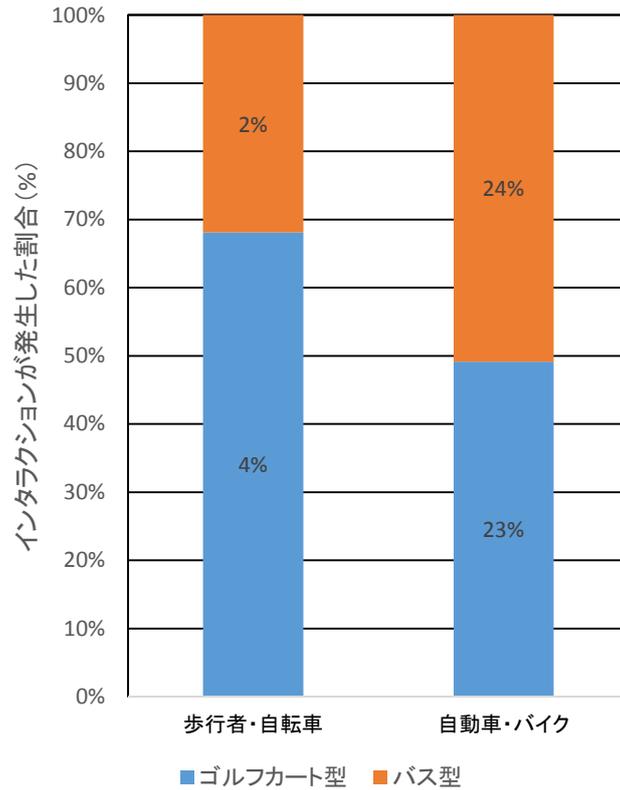


図 3-24 自動運転車両のタイプごとの横断のインタラクションが発生した割合



図 3-25 横断時のコミュニケーションの失敗 (南アルプスむら長谷)



図 3-26 横断時のコミュニケーションの失敗（ひたちおおた）



図 3-27 駐車場でのコミュニケーションの失敗（コスモール大樹）

追い越しに関するインタラクションは、ほとんどが自動車とのインタラクションであるが、最も頻度が多いインタラクションである（計 599 件）。ここでは、インタラクションの相手を自動車に限定し（計 585 件）、分析を行う。追い越しのインタラクションがある場所については（図 3-28）、単路部、ト字路、逆ト字路で多い結果となった。追い越しがあるときの自動運転車両の状況を見ると（図 3-29）、停止中だけでなく、走行中や減速中でも多くみられる。逆ト字路では、自動運転車両が左折をするために減速した際に、追い抜きをするケースが多くみられた。各車両のタイプ（ゴルフカート型とバス型）の総インタラクションに対する追い越しのインタラクションの割合を比較すると（図 3-30）、バス型の方がインタラクションの頻度が大きいことがわかる。しかし、各地域で比較すると、ゴルフカート型の車両でも、芦北でこぼんのように追い越しの割合が大きい地域も存在する（図 3-31）。南アルプスむら長谷、コスモール大樹、芦北でこぼんは交通量が多く、走行速度の大きい道路も自動運転車両が走行することから、追い越す機会が多いと考えられる。

追い越しに関するインタラクションでコミュニケーションの失敗が見られたケースとしては、自動運転車両が停車している状態から発進するときに、後続の車両が追い抜いたことで、接触する危険性が見られた（図 3-32）。また、自動運転車両が停止中に、後続の車両が追い抜いて良いかわからず、追い抜くまで時間がかかってしまう場面も観察できた。これは、後ろから自動運転車両の挙動が認識できなかったことで引き起こされたと考えられる。

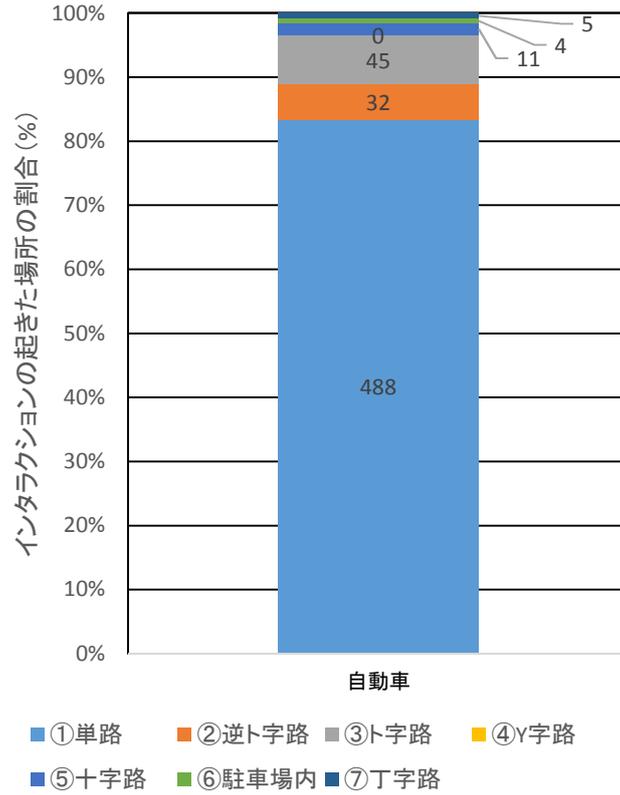


図 3-28 道路の形状ごとの追い越しに関するインタラクションの頻度

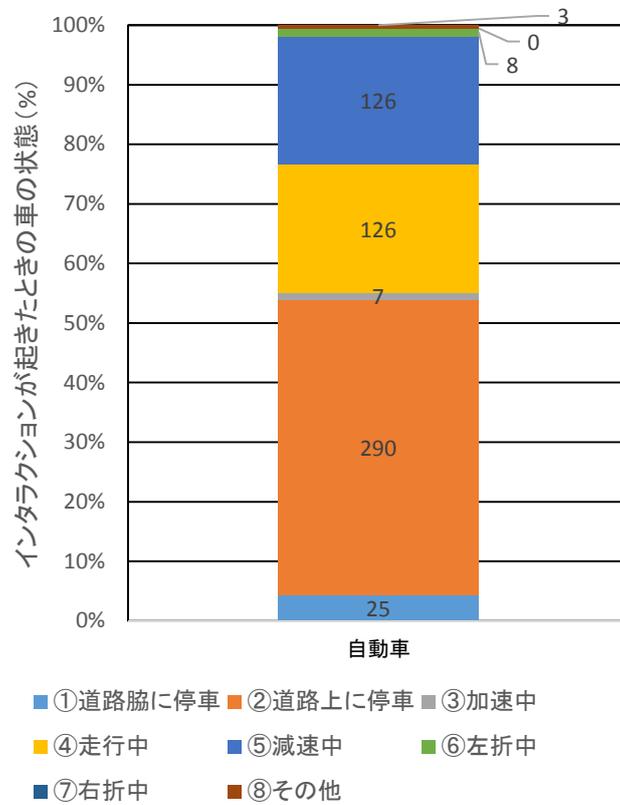


図 3-29 追い越しがあるときの自動運転車両の状況

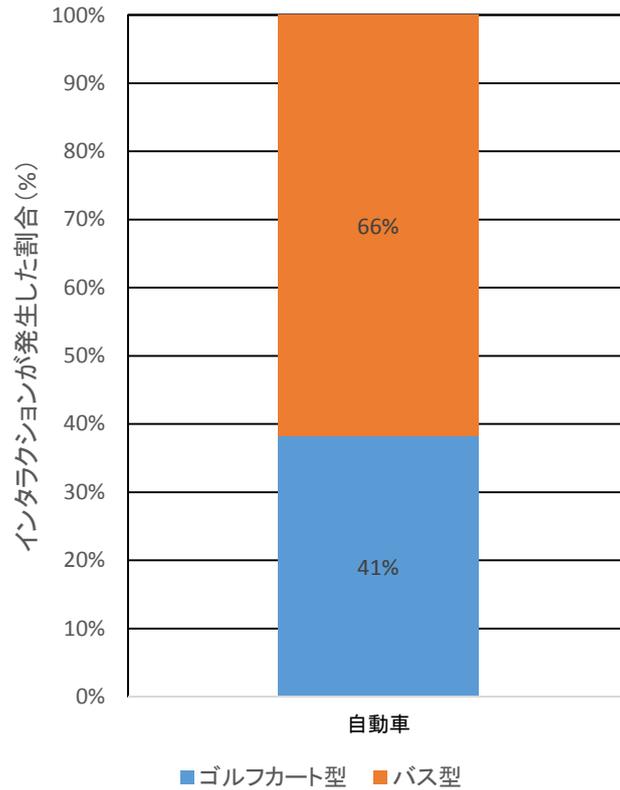


図 3-30 自動運転車両のタイプごとの追い越しのインタラクションが発生した割合

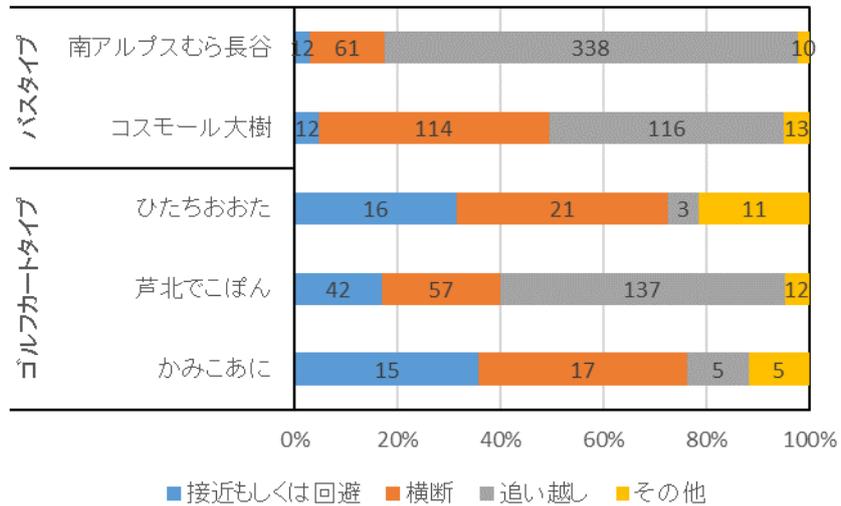


図 3-31 車両のタイプごとのインタラクションの頻度



図 3-32 自動運転車両が発進時に追い越しがあった場面

3.4.6. 考察

5つの対象地における自動運転車両のインタラクションの頻度の総計を見ると、自動車による追い越しが最も多い結果となった（図 3-14）。一般的な自動車より、自動運転車両は比較的低速で走行しているため、一般的な自動車よりも、追い越される機会は多いと考えられる。個別の対象地で見ると、導入される対象地の地域環境による影響も大きいと考えられる。幹線道路での走行ルートを含む芦北でこぼん、コスモール大樹、南アルプスむら長谷は、追い越しの頻度は高く、生活道路が中心の走行ルートであるかみこあにやひたちおおたでは比較的頻度は低い。一方で、かみこあにやひたちおおたでは、接近や横断などの歩行者とのインタラクションの機会が比較的多い（図 3-16）。インタラクションの頻度の高さが地域ごとに異なることが見られたため、地域によって、重点的に円滑化を図るためのコミュニケーションが異なる。例えば、幹線道路を通る走行ルートに導入する自動運転車両では、追い越しのインタラクションにおけるコミュニケーションの円滑化が重要であり、生活道路を中心に周回する走行ルートに導入する自動運転車両では、接近や横断といった自動車だけでなく、歩行者や自転車などとのコミュニケーションが重要となるため、これらの違いを踏まえた周辺住民に対する教育の実施や、外付け HMI 等のコミュニケーション機器を開発することが求められる。

コミュニケーションに失敗があった頻度を見ると、接近もしくは回避、横断で高い結果となった（図 3-15）。インタラクションの回数を除いて、コミュニケーションの失敗の確率を比較すると、接近もしくは回避：4.1%、横断：2.6%、追い越し：0.3%、その他：2.0%となり、追い越しと比較すると、接近、回避、横断といったインタラクションでは、コミュニケーションに失敗するケースが多い。したがって、追い越しに関するコミュニケーションよりも、接近、回避、横断に関するインタラクションでのコミュニケーションを改善する方が、交通の円滑化への寄与は大きいと言える。

接近もしくは回避、横断、追い越しに関するインタラクションの要因をそれぞれ見ると、インタラクションの対象者、インタラクションが起きる道路環境、自動運転車両から見たインタラクションが起きる向きの違いがあったため、それらの違いを踏まえたコミュニケーションの設計が必要である。接近もしくは回避では、対象が歩行者であるケースが多く、次いで自動車とインタラクションが多い。インタラクションが見られる場所は交差点や駐車場であり、歩行者が対象のときは自動運転車両の前方や左方でインタラクションが起き、自動車が対象のときは自動運転車両の前方や右方でインタラクションが起きる。コミュニケーションの失敗が見られる場面では、インタラクションの対象者が自動運転車両の挙動や行動の意図が理解できていないことが見受けられる。特に自

動運転車両は低速のため、減速しているという挙動が伝わりにくいということが考えられる。この場合、自動運転車両の運転手が声がけや身振りなどを行うことで、対象者とコミュニケーションをとっている。したがって、将来的に、自動運転車両の運転手がいなくとも、交通の円滑化が図られるべきだとすると、車両の前方や側方に、挙動の意図を伝えることのできる外付け HMI を設置することが望ましい。

横断に関するインタラクションでは、インタラクションの対象者は主に自動車で、次いで歩行者がいる。インタラクションが見られる場所は、歩行者では交差点だけでなく、単路や駐車場などでも見られ、一方で、自動車やバイクは交差点でのインタラクションが多くみられた。自動運転車両から見たインタラクションの向きは主に前方や側方で見られた。接近もしくは回避に関するインタラクションと同様に、コミュニケーションの失敗がある場面では、対象者が自動運転車両の挙動を理解できていないことが原因であると考えられるため、車両の前方や側方に外付け HMI を設置することは一つの解決策であると考えられる。

追い越しに関するインタラクションでは、インタラクションの対象はほとんどが自動車である。インタラクションが見られる場所は、単路部、ト字路、逆ト字路で多く、自動運転車両の後方でインタラクションが発生する。主に、自動運転車両が停止中もしくは直進中のときに追い抜きをされるが、逆ト字路のときは、左折をするために左ウインカを出して停止中の際に追い抜きをされるケースも見られた。左折の待機中に左ウインカを出すことで、後続の車両の追い越しを譲るという意図を誤って伝達している可能性も考えられる。追い抜き禁止車線でも追い抜きが起きるケースが多くみられ、追い抜きをする自動車が自動運転車両や対向車と接触、衝突する可能性もあり危険だと考えられる。そのため、円滑で安全な交通を実現するため、自動運転車両の挙動や、周辺の交通環境を踏まえて、後続の自動車に対して、外付け HMI 等によって追い抜きが可能であるどうかを伝えることは有効であると考えられる。

コミュニケーションの失敗があった場面では、全て運転手がジェスチャーで意思疎通をしていた。また、ウインカはほとんどの場合ついていなかった。したがって、ジェスチャーやウインカを用いることなく、コミュニケーションの円滑化が図れる方法を検討する必要がある。

本研究の限界として、各対象地の実証実験の初日と最終日の映像のみを扱っており、データとして不足していたため、実証実験期間のインタラクションの変遷に関しては明確にわからなかった。今後、初日と最終日以外の映像も含めて分析することで、自動運転車両の導入してからの期間とインタラクションの関係性が分析できると考えられる。また、映像データを用いて分析をしている

ため、対象者の個人属性を判断することは難しかった。今後は実証実験の対象地での質問紙調査と組み合わせて分析をすることで、個人属性とインタラクションの関係を明らかにすることができると想定している。

3.4.7. 本節のまとめ

道の駅自動運転実証実験において自動運転車両に搭載されたドライブレコーダ映像に基づいて、自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの現状を分析した。その結果、自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションについて、以下の特徴が得られた。

- 幹線道路での走行ルートを含む地域では、追い越しの頻度は高く、生活道路が中心の走行ルートである地域では、接近や横断などの歩行者とのインタラクションの機会が比較的多い。
- 総じて、追い越しのインタラクションの頻度が高かったが、コミュニケーションの失敗の頻度では、接近もしくは回避、横断で高い結果となった。
- 接近もしくは回避では、対象が歩行者であるケースが多く、横断に関するインタラクションでは、対象が自動車であるケースが多い。コミュニケーションの失敗が見られる場面では、インタラクションの対象者が自動運転車両の挙動や行動の意図が理解できていないことが見受けられる。特に自動運転車両は低速のため、減速しているという挙動が伝わりにくいということが考えられる。
- 追い越しに関するインタラクションでは、インタラクションの対象はほとんどが自動車であり、主に、単路部、T字路、逆T字路で、自動運転車両が停止中もしくは直進中のときに追い抜きをされるが、特に逆T字路のときは、左折をするために左ウインカを出して停止中の際に追い抜きをされるケースも見られた。これは、左折の待機中に左ウインカを出すことで、後続の車両の追い越しを譲るという意図を誤って伝達している可能性が考えられる。

国際的に、自動運転車両の社会導入は十分に進んでおらず、自動運転車両を導入したときのリスクはわかっていない。本研究では、国内で自動運転の実証実験で得られた映像データを用いて、導入のリスクに関する一定の知見を得られた点で価値があると考えられる。

分析の結果、いくつかのケースで自動運転車両のインタラクションが円滑でない場面が見受けられた。本研究で得られたデータでは、接触や衝突などの重大な事故は観察できなかったが、円滑でない交通行動は、重大な事故を引き起こす可能性があることから、何かしらの方策によって、円滑でない交通行動を排除していくことは重要であると考えられる。

自動運転車両のコミュニケーションを検討する際は、以下の点を考慮することが望ましいと考えられる。インタラクションの種類や頻度は、自動運転車両を

導入する地域環境に大きく影響を受ける。例えば、幹線道路を走る場合は、追い越しをされる機会が多く、生活道路を主に走る場合は、歩行者や自動車と対面したインタラクション（接近、回避、横断）が多くみられる。自動車と対面したインタラクション（接近、回避、横断）では、自動運転車両が譲ろうとするのか、発進しようとするのかを示すことによって、交通を円滑化できると考えられる。追い越しに関するインタラクションでは、自動運転車両が後続の自動車に対して、安全な追い越しが可能かどうかを示すことが重要である。上記に関わるコミュニケーションの課題を解決することで、自動運転車両に関わる交通の円滑化が図られると考えられる。

3.5. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析と コミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析

3.5.1. 車両挙動や外向け HMI を利用した自動運転車から周囲交通参加者への コミュニケーションの負の影響に関する検討

3.5.1.1. 目的および方法論の概要

本実験では、単一交通参加者や複数交通参加者が自動運転車の周囲に存在する道路環境・交通状況を対象に、自動運転車と周囲交通参加者との間でコミュニケーションが生じる際の特徴を抽出するとともに、車両挙動や外向け HMI など自動運転車から発信された意図や状態に対する交通参加者ならびに周囲の他の交通参加者の解釈や意思決定、安心等の心的影響等と、周囲交通参加者との接触やコンフリクトの有無やその形態との関係から、コミュニケーションの成功/失敗に関する要因等について明らかにする。またこれらの特徴から、安全・安心なコミュニケーションと交通参加者の知識との関係性について考察することを目的とする。

SIP 第 1 期では、外向け HMI による自動運転車からの譲り意図表明時における負の影響に関する予備検討として、無信号横断歩道での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションを対象に、非高齢の運転免許所有者に限定して、VR 環境を利用した予備実験を実施した。実験シナリオは、無信号横断歩道にて横断待ちの歩行者が左右方向から複数の車両（自動運転車 1 台、手動の普通車複数台、大型トラック複数台）が横断歩道に接近・停止、あるいは接近・通過する交通状況を繰り返し体験するもので、自動運転車の外向け HMI を介して「お先にどうぞ」「とまります」「進みます」「自動運転中」などの意図や状態に対する認識や判断、その後の横断行動について分析するものであった。その結果、大型トラックが横断歩道先で渋滞停車している交通状況に際して、自動運転車が「お先にどうぞ」「とまります」などの意図を発信して横断歩道手前で停止すると、大型トラックの停車により対向車線の交通状況が確認しづらくなっているにもかかわらず、数名の歩行者が横断途中で対向車線方向への確認を行わず、その結果、対向車線を横断歩道に向かって接近する手動運転車とニアミスや接触などが生じる行動が観測された。実験終了後のインタビューの結果から、自動運転車が周囲の安全確認を代替してくれている、手動運転車のドライバーは外向け HMI を確認しているので横断歩道手前で停止するはずなど、外向け HMI を介した意図や状態の発信に対して歩行者が過度に依存して確認行動を怠る傾向が見られた。

-
-
- ① 無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者が存在している状況で、歩行者の右方向からその歩行者に譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる際、無信号横断歩道以外の歩道区間上（道路中央線からみて自動運転車と同じ側）に歩行者が道路脇から出現して自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態を視認した際の認識や判断、行動の特徴を計測・分析する実験シナリオ
 - ② 無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者が存在している状況で、歩行者の右方向からその歩行者に譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる際、無信号横断歩道以外の歩道区間上（道路中央線からみて自動運転車と反対側、対向車線側の歩道）に歩行者が道路脇から出現して自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態を視認した際の認識や判断、行動の特徴を計測・分析する実験シナリオ
 - ③ 無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者に、歩行者の右方向から譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる際、自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態を視認した際の歩行者の認識や判断、行動の特徴を計測・分析する実験シナリオ
 - ④ ③、③の実験シナリオを体験後、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者に、歩行者の右方向から譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近・停車した後、大型トラックの渋滞停車により対向車線への状況確認がしづらい交通場面での歩行者の認識や判断、行動の特徴を計測・分析するシナリオ
 - ③' ③の実験シナリオを体験後、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者に、歩行者の右方向から譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近・停車した後、大型トラックの渋滞停車により対向車線への状況確認がしづらい交通場面での歩行者の認識や判断、行動の特徴を計測・分析するシナリオ

これら①から③ならびに③'の実験シナリオに基づいて、車両挙動や外向け HMI を利用した自動運転車と単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションに関する負の影響等を含めた特徴分析を行うこととした。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

3.5.1.2. 実験装置

本実験では、実験参加者が VR-HMD（VR 用ヘッドマウントディスプレイ）を装着し、ワイヤレスコントローラを操作することで実験を行った。歩行者

の横断開始タイミングの違い、横断する際の衝突リスク、視認行動等を評価するために実験参加者に実際に試験走路を横断させることには車両と歩行者が接触するリスクが伴うため、本研究では VR-HMD を使用した。使用した VR 空間は、ベースステーションによって作成された。各装置の仕様を示す。

(1) VR-HMD

本実験で用いた VR 向け HMD を図 3-33 に示す。本実験では、HTC 製の HTC Vive pro を使用した。VR 空間内の表示や文字を鮮明に見ることができ、没入感の高さが特徴である。ディスプレイは対角 3.5 インチの有機 EL が 2 つ 装備されるものであった。解像度は片目あたり 1440px×1600px（合計 2880px×1600px）で、リフレッシュレートは 90Hz、視野角は 110 度であった。



図 3-33 VR-HMD (Vive pro)

(2) ワイヤレスコントローラ

本研究で用いたコントローラを図 3-34 に示す。コントローラは VR 空間で使用することができ、トリガーとトラックパッドを備えていた。VR-HMD とコントローラがペアリングされた状態で使用した。



図 3-34 ワイヤレスコントローラ

(3) ベースステーション

本研究で用いたベースステーションを図 3-35 に示す。ベースステーションは、VR-HMD とコントローラに信号を送信することでそれらの動きを 360 度追跡し、精密な動作や位置を取得することができた。VR-HMD に装備されているセンサーにより、最大 5×5(m)の範囲において、VR-HMD を装着する人の顔の動きや位置のトラッキングが可能であった。



図 3-35 ベースステーション

3.5.1.3.実験環境

慶應義塾大学理工学部矢上キャンパス 24 棟 609 号室ならびに 14 棟 B203 号室にて実験を実施した。実験環境におけるベースステーション配置状況を図 3-36 に示す。ベースステーションは三脚を用いて床から 2.0m の高さになるように設置し、2 つのベースステーションの間隔は 3.90m であった。

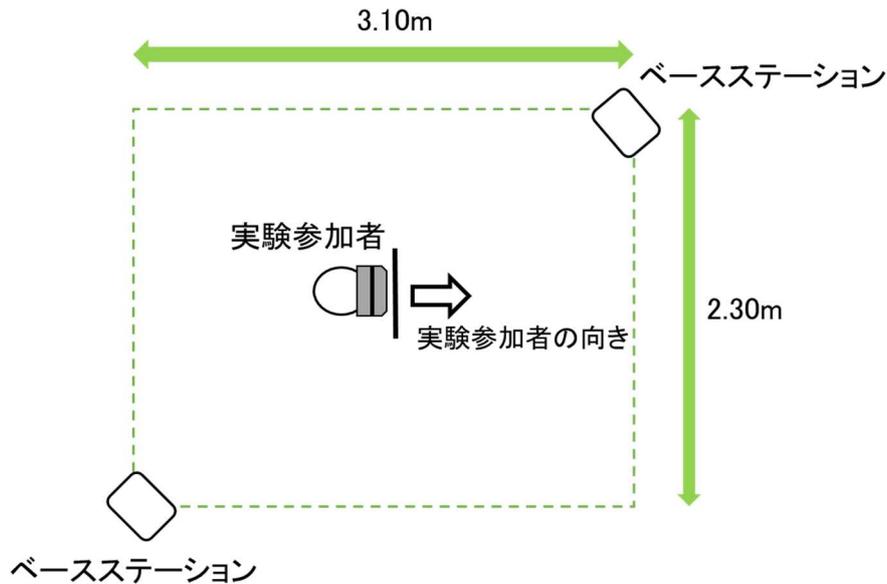


図 3-36 実験環境における機器配置と実験参加者の位置

3.5.1.4.開発用ソフトウェア

(1) Unity

Unity は統合開発環境を内蔵し、HTC 製 VR-HMD に対応する Unity Technologies SF 社のゲームエンジンで、使用したバージョンは 2018.2.1f1 であった。プログラミング言語は、スクリプト言語として C#, UnityScript (Javascript), Boo の 3 種類に対応しており、本研究では C#により Visual Studio2017 を使用して実験環境を開発した。また、Unity Asset Store 上の 3D モデルを使用することで、実験環境におけるオブジェクトの作成が可能であった。

(2) SteamVR

SteamVR は、VR-HMD を Unity に接続するための PC 向けの VR プラットフォーム(Valve 製)であった。SteamVR Plugin を Unity Asset Store より導入することで、SteamVR を Unity 上で認識・制御することが可能であった。

3.5.1.5.実験構成および VR 環境内での道路環境

本実験では、3.5.1.1 節の 4 種類の交通場面を対象にして、実験参加者に横断判断、横断行動を行わせた。実験場面の概要的な構成を図 3-37 に示す。無信号横断歩道に接近する自動運転車が横断歩道で横断待ちしている歩行者に譲りを表明する際に、横断歩道以外の地点に立つ歩行者が自動運転車の接近状態や車両挙動、外向け HMI の状態を視認した際の認識や判断に与える影響を分析するために、自動運転車と同じ道路側歩道で観測する交通場面①（図 3-38 参照）、自動運転車とは対向側歩道で観察する交通場面②（図 3-39 参照）を設定した。また自動運転車が横断歩道で横断待ちしている歩行者に車両挙動や外向

け HMI を利用して譲りを表明する際に、自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態に対する歩行者の認識や判断、行動を分析するために交通場面③（図 3-39 参照）を設定した。さらに交通場面①から交通場面③までを経験したことによって、渋滞停止の大型トラックの存在で対向車線の状況が見づらい横断状況の中で、自動運転車の車両挙動や外向け HMI が歩行者の認識や横断中の安全確認などを分析するための交通場面③'（図 3-40 参照）を設定した。

- ① 自動運転車から横断歩道の歩行者への譲りの表明を横断歩道以外の地点で認識・横断判断（自動運転車と同じ道路側の歩道）
- ② 自動運転車から横断歩道の歩行者への譲りの表明を横断歩道以外の地点で認識・横断判断（自動運転車の対向側の歩道）
- ③ 自動運転車から横断歩道の歩行者への譲りの表明を横断歩道脇にて認識・横断判断（自動運転車と同じ道路側の歩道）
- ③' 自動運転車から横断歩道の歩行者への譲りの表明を横断歩道脇にて認識・横断判断（自動運転車と同じ道路側の歩道）。ただし、歩行者の左方向には渋滞停車の大型トラックが存在

図 3-37 実験場面の構成

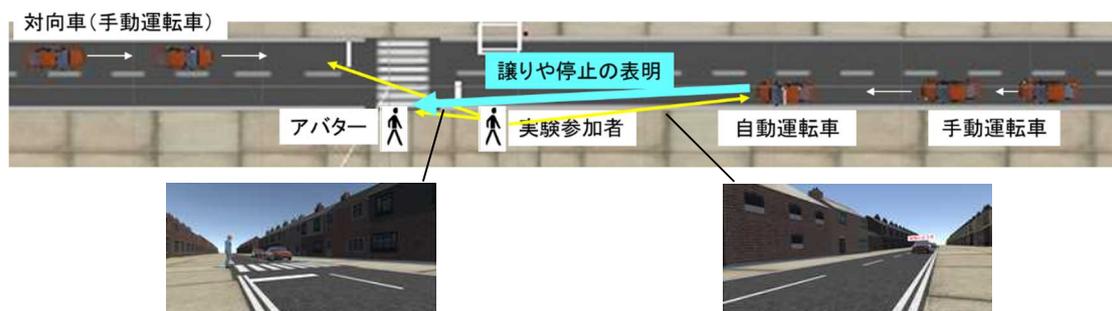


図 3-38 交通場面①に対する道路環境と映像例

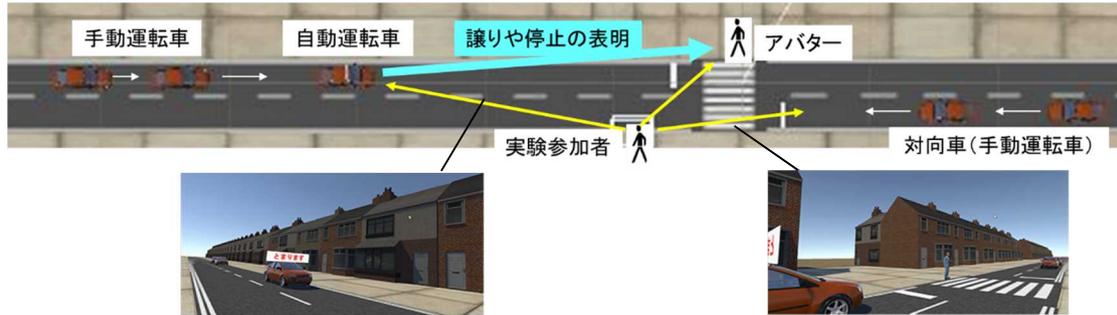


図 3-39 交通場面②に対する道路環境と映像例

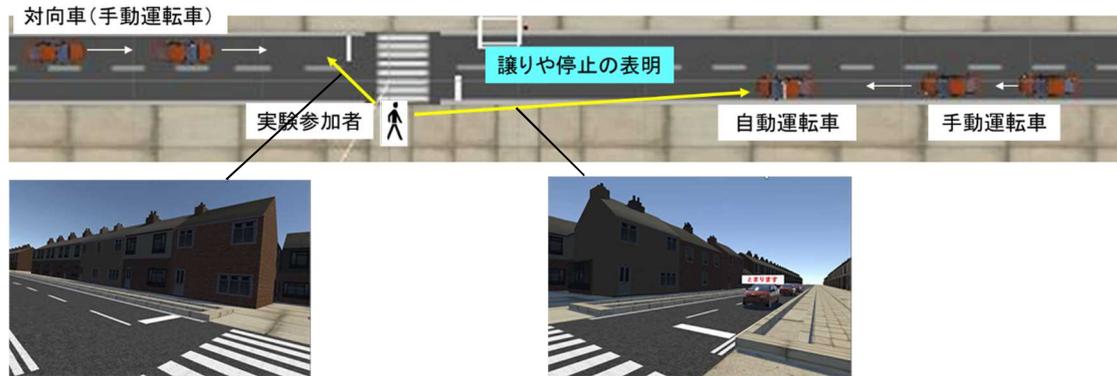


図 3-40 交通場面③に対する道路環境と映像例

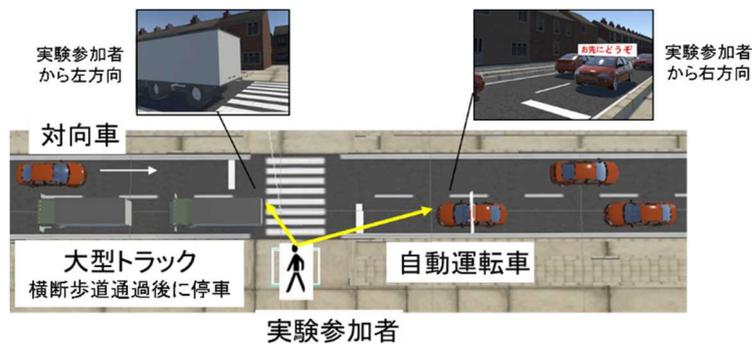


図 3-41 交通場面③'に対する道路環境と映像例

道路環境については、いずれの交通場面についても共通的に、道路幅員（無信号横断歩道の長さ）は 5.7m、停止線の設置位置は横断歩道中心から停止線中心までの距離にして 4.3m、停止線の幅は 0.4m であった。また自動運転車に対する実験参加者の観察位置は、交通場面①と交通場面②では無信号横断歩道の中心から自動運転車が接近してくる上流方向に 9m の地点、交通場面③と交通場面③'では無信号横断歩道の中心の位置であった。

3.5.1.6.実験タスク

本実験では、接近してくる自動運転車からの進路譲りや対向車を含む周囲の他車両の状態を見て、横断できると判断した時に、手元のコントローラを操作して横断するタスクを実験参加者に課した。横断中における左右方向の確認行動についても調査するため、実験参加者には手元のコントローラを使用して、前後方向の移動を行いつつ、交通場面①②では横断歩道が設置されていない道路部分を、交通場面③③'では横断歩道を横断するように指示した。横断速度（歩行速度）は、事前に計測した実験参加者の歩行速度を設定した。実験参加者が横断開始や横断中の前進・後退を行えるよう、図 3-42 に示されるように、コントローラのトリガーとタッチパッドを利用して、横断開始、横断中の前進・後退を行えるように設定した。各交通場面の開始時に、実験参加者には前方足下付近を見た状態であるように指示し、準備ができたタイミングで顔を上げさせ、自動運転車が存在する上流側や下流側の道路方向を視認させた。手動運転車ならびに自動運転車は実験参加者前へと次々と接近し、実験条件に応じて通過あるいは停車し、実験参加者は首を左右に振って周囲の交通状況や自動運転車の状態を確認して、横断可能と判断したタイミングで横断を開始した。必要であれば、横断中に歩行の停止や後退が可能であった。実験参加者は、各試行において首振りによる確認とコントローラによる歩行開始、歩行停止、後退を行い、実験参加者の安全確保のため、実験室内では歩行しないように指示した。実験参加者が道路を横断すると、アンケート画面に遷移し、実験参加者は質問に口頭で回答した。アンケートの回答終了後、次の条件の試行を開始した。これらを基本的な実験タスクとして、交通場面①から交通場面③'までを実施した。



図 3-42 横断行動に関する実験参加者のコントローラ操作

3.5.1.7.実験条件

本実験における実験条件を構成する実験因子として自動運転車の車両挙動および外向けHMIを設定した。詳細を下記に説明する。

(1) 自動運転車の車両挙動

自動運転車の車両挙動を図 3-43 に示す。自動運転車の車両挙動は、初期速度、減速パターン（減速開始地点、目標速度などの組合せ）に基づいて構成した。本実験では、初期速度を 15km/h と 25km/h の 2 種類、減速開始地点を横断歩道中央線から上流に向かって 20m 地点と 30m 地点にそれぞれ設定した（20m 地点で減速を開始する減速パターンを減速・停止、30m 地点で減速を開始する減速パターンを早期減速・停止とそれぞれ称す）。また、減速開始地点が 20m 地点の場合、初速度 15km/h から減速して停止線付近にて停止する減速パターン（平均減速度約 0.55m/s^2 ）、初速度 25km/h から減速して停止線付近にて停止する減速パターン（平均減速度約 1.5m/s^2 ）、また減速開始地点が 30m 地点の場合、初速度 15km/h から減速して 15m 付近で 5km/h となるよう減速し（平均減速度約 0.49m/s^2 ）、15m 地点付近から停止線付近で停止する（平均減速度約 0.096m/s^2 ）減速パターン、初速度 25km/h から減速して 15m 地点付近で 5km/h となるよう減速し（平均減速度約 1.5m/s^2 ）、15m 地点付近から停止線付近で停止する（平均減速度約 0.096m/s^2 ）減速パターンの 4 種類の減速パターンを設定した。これに加えて、減速することなく、初期速度 15km/h あるいは初速度 25km/h のまま、接近・通過する車両挙動も 2 種類設定した（以後、一定速と称す）。合計で 6 種類の車両挙動を設定した。

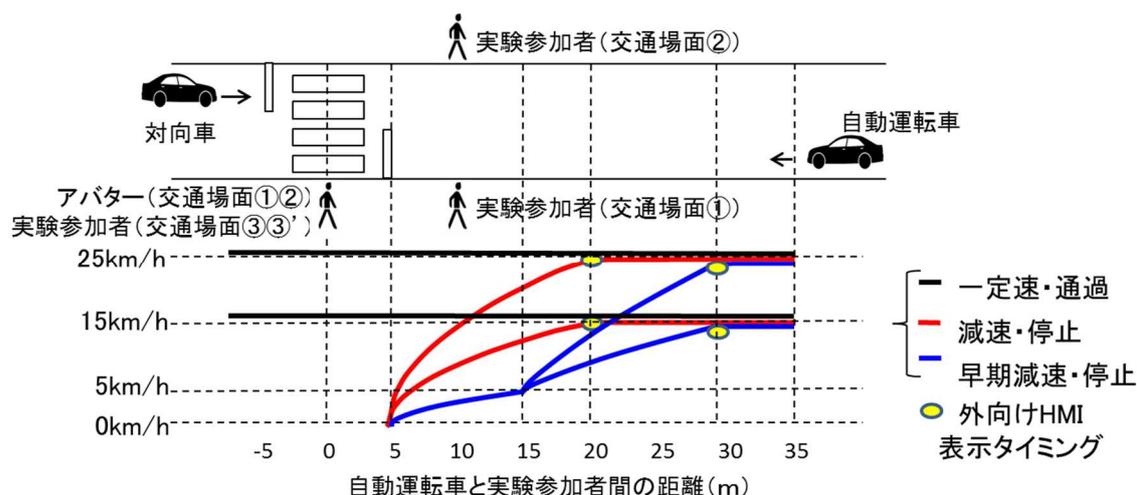


図 3-43 自動運転車の車両挙動

(2) 外向け HMI

外向け HMI の意図伝達コンテンツの表現方法としては、テキストや灯火(色、パターン)、アイコン・シンボルなどが考えられるが、本実験では自動運転車の車両挙動や外向け HMI の意図伝達コンテンツの組合せに対する歩行者の認識や判断、行動等を分析対象としていることから、外向け HMI については、学習や経験の有無に関わりなく、歩行者がそのコンテンツを適切に正しく認識できるよう、事前学習が不要であるテキストを利用することとした。テキストによるコンテンツは、SIP 第 1 期の成果を考慮して、“お先にどうぞ”、“とまります”の 2 種類を設定した。自動運転車に実装した外向け HMI の意図伝達のコンテンツを図 3-44 に示す。



(a)お先にどうぞ

(b)とまります

図 3-44 自動運転車の外向け HMI のコンテンツ

外向け HMI の各コンテンツは、横断歩道中央から自動運転車が接近していく上流約 30m 地点でもテキストを認識できるように VR 環境内で設計した。“お先にどうぞ”は自動運転車から歩行者への進路譲りの意図を伝えるためのテキストメッセージ、“とまります”は自動運転車の停止意図を伝えるためのテキストメッセージとして活用した。本実験では、歩行者が自動運転車の状況や周囲交通を確認して横断可能かどうかを判断して横断することになるが、すべての実験条件において自動運転車が停止してしまうと自動運転車や他車両は必ず停車するものと認識してしまい、実験結果に影響を及ぼす可能性がある。そこで本実験では、自動運転車が進路を譲らず、また減速せずに進行する実験条件(一定速の車両挙動)を設定した。また外向け HMI の有無による歩行者の認識や判断、行動への影響も検討するために、外向け HMI を実装しない自動運転車も設定した。外向け HMI を実装しない自動運転車を図 3-45 に示す。外向け HMI を実装しない自動運転車は、外向け HMI に関する要素以外の外観に関わる要因が歩行者の認識や判断、行動に影響を及ぼさないよう、双方で同一の車種、同一のボディ色に設定して外観を同一にした。



図 3-45 外向け HMI を実装しない自動運転車

(3) 周囲交通の状況

実験参加者には多様な交通状況であることを印象付けるために、各交通場面において、対向車線に配置した手動運転車の無信号横断歩道への接近・停止・通過の車両挙動がある程度多様なものとなるように設定した。基本的には、自動運転車の横断歩道への接近・停車あるいは接近・通過に対して、自動運転車の横断歩道手前での停止や通過のタイミングに基づいて、対向直進車の横断歩道手前の車両挙動を交通場面ごとに設定した。交通場面①②については表 3-2 に示されるように、また交差点場面③については表 3-3、交差点場面③'については表 3-4 に示されるように、それぞれ設定した。

表 3-2 交通場面①②における対向直進車の車両挙動

車両挙動	開始タイミング
停止線にて停止	停止線での自動運転車停止タイミングよりも先
	停止線での自動運転車停止タイミングよりも後
停止線で停止せず、横断歩道を通過	自動運転車の停止通過タイミングよりも後

表 3-3 交差点場面③における対向直進車の車両挙動

車両挙動	開始タイミング
停止線にて停止	停止線での自動運転車停止タイミングよりも先
	停止線での自動運転車停止タイミングよりも後
停止線で停止せず、横断歩道を通過	自動運転車の停止通過タイミングよりも先

表 3-4 交差点場面③'における対向直進車の車両挙動

車両挙動	開始タイミング
停止線で停止せず、横断歩道を通過	自動運転車の停止通過タイミングよりも後 (実験参加者が横断歩道中央付近に到達時)

なお、自動運転車に後続する手動運転車の車両挙動は自動運転車に追従するものとし、自動運転車が横断歩道手前の停止線で減速・停止する場合は、その車両挙動に合わせて減速・停止し、自動運転車が横断歩道を通過する場合は、その車両挙動に合わせて通過する設定とした。

(4) 各実験場面における実験条件

上記で説明した車両挙動、外向け HMI、周囲交通状況の組合せに基づいて、実験場面①②に対する実験条件を表 3-5 に、また実験場面③に対する実験条件を表 3-6 に、実験場面③'に対する実験条件を表 3-7 に、それぞれ示す。

表 3-5 交通場面①②を対象にした実験条件の詳細

条件番号	自動運転車 車両挙動	外向け HMI 搭載車両	外向け HMI 非搭載車両	対向直進車 車両挙動	備考
1	停止 25→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	分析対象
2	早期減速 25→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	分析対象
3	通過 25→25km/h	(表示せず)	—	通過	分析対象
4	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	分析対象
5	早期減速 15→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	分析対象
6	通過 15→15km/h	(表示せず)	—	通過	分析対象
7	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
8	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー

表 3-6 交通場面③を対象にした実験条件の詳細

条件番号	自動運転車 車両挙動	外向け HMI 搭載車両	外向け HMI 非搭載車両	対向直進車 車両挙動	備考
1	停止 25→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	分析対象
2	早期減速 25→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	分析対象
3	通過 25→25km/h	(表示せず)	—	通過	分析対象
4	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	分析対象
5	早期減速 15→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	分析対象
6	通過 15→15km/h	(表示せず)	—	通過	分析対象
7	通過 25→25km/h	(表示せず)	—	停止	ダミー
8	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	ダミー
9	通過 25→25km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	ダミー
10	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	ダミー

表 3-7 交通場面③'を対象にした実験条件の詳細

条件番号	自動運転車 車両挙動	外向け HMI 搭載車両	外向け HMI 非搭載車両	対向直進車 車両挙動	備考
11	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	分析対象

3.5.1.8.計測項目

本実験では、各実験場面に含まれる下記の項目について計測した。

(1) 横断開始時の自動運転車との位置関係

自動運転車が歩行者役である実験参加者の前を通過する前（自動運転車が道路の上流方向から接近中）における横断開始の有無、横断開始時の自動運転車との距離、自動運転車の速度等を計測した。

横断開始タイミングは、コントローラを操作して歩行を開始し、車道部分と歩道脇の路側帯の境界線付近から歩行者の重心座標が車道側に超えたタイミングを横断開始タイミングとして定義した。

(2) 自動運転車や他車両への接触の有無

実験参加者が横断を開始した後、自動運転車や対向直進車への接触あるいはニアミスの有無について記録した。

(3) 横断判断・横断開始に関わる確認行動

実験参加者の横断開始前の周囲状況の確認状態から横断終了後（あるいは実験条件終了後）までの確認行動に伴う首振り状態（視線方向）について記録した。

(4) 横断判断・横断開始に関わる心的状態

横断終了直後（あるいは実験条件終了直後）に、自動運転車からの譲り意図の認識の程度、自動運転車通過前横断時の安心感、自動運転車停車に対する横断速度への気遣いなどについて、1点から5点までの主観評点でレイティングさせて記録した。またそれぞれについて自由記述での回答も合わせて実施した。また交通場面③'の実験条件については、対向直進車に対する実験参加者の認識等についてもインタビューを介して記録した。

3.5.1.9. 実験参加者

実験参加者は、年齢と運転免許所有/非所有の属性に基づいて、非高齢者（運転免許所有者）、非高齢者（運転免許非所有者）、中学生、高齢者（運転免許所有者）が本実験に参加した。実験参加者の年齢や性別、属性等の構成は表 3-8 に示される通りである。

各実験参加者への実験条件の割り当ては、外向け HMI の実験因子に基づく被験者間計画に基づいてデザインした。実験参加者は、事前に3つの実験参加者グループ（外向け HMI 非搭載の自動運転車とのコミュニケーションのみを体験するグループ、外向け HMI 搭載で「お先にどうぞ」を表示する自動運転車とのコミュニケーションのみを体験するグループ、外向け HMI 搭載で「とまります」のみを体験するグループの計3グループ）に分類された。その詳細を表 3-9 に示す。

表 3-8 実験参加者の年齢構成等の詳細

実験参加者	運転免許証	性別	年齢	人数
非高齢者	所有者	男性	22-38 歳、平均 25.9 歳	15
		女性	23-45 歳、平均 38.1 歳	15
	非所有者	男性	23-29 歳、平均 24.7 歳	12
		女性	23-45 歳、平均 31.8 歳	15
中学生	非所有者	男性	14-15 歳、平均 13.5 歳	14
		女性	14-15 歳、平均 13.7 歳	14
高齢者	所有者	男性	65-75 歳、平均 67.9 歳	13
		女性	68-73 歳、平均 67.9 歳	3

表 3-9 外向け HMI の実験因子に基づく 3 つの実験参加者群

実験参加者群	年齢・運転免許		人数
外向け HMI 非装備	非高齢者	運転免許所有	10
		運転免許非所有	9
	中学生	運転免許非所有	10
	高齢者	運転免許所有	9
外向け HMI 装備 “とまります”	非高齢者	運転免許所有	10
		運転免許非所有	8
	中学生	運転免許非所有	8
	高齢者	運転免許所有	3
外向け HMI 装備 “お先にどうぞ”	非高齢者	運転免許所有	10
		運転免許非所有	10
	中学生	運転免許非所有	10
	高齢者	運転免許所有	4

3.5.1.10. 実験手続き

実験開始前に実験参加者に対して実験内容の説明を行い、実験参加への同意を得た。また、普段の歩行の特性や VR 経験に関するアンケートに回答するよう指示した。その後、実験参加者の両眼視力と歩行速度を計測した。次に実験参加者をベースステーションから検知しやすい指定の位置に立たせた後、VR-HMD を装着させ、コントローラを持たせた。実験中の安全確保のため、実験中は実際には歩行しない指示した。ただし、VR 環境においても実環境と同様な周囲確認や横断判断等を再現するように依頼した。

VR-HMD 装着後、交通場面①、交通場面②、交通場面③、交通場面③'の順序

で実施した。また本実験の実施前に練習を数回実施し、VR 環境での判断、コントローラの操作やアンケートの回答方法に関して、実験参加者の習熟を確認した後に計測を伴う実験条件を実施した。交通場面によって、実験参加者の観察位置が異なる場合があることから、交通場面①の実施前、交通場面③の実施前に別途練習を実施した。またすべての実験場面に設定された実験条件を実施する上で、実験参加者がゲーム感覚的な判断や日常的に実施している横断判断と乖離した意思決定を行わないよう、すべての実験条件の開始前にゲーム感覚的な判断や行動をせず、日常的に実施している横断判断や行動を行うよう依頼するテキスト表示を VR 環境内で行った。

交通場面①では、実験参加者に対して、実験参加者から見て右側から接近する車両が自動運転車であること、自動運転車の車両挙動や自動運転車の外向け HMI の状態を見て（外向け HMI 非搭載の自動運転車は車両挙動のみ）、少しでも譲られたと感じて横断可能であると判断した際に手元のコントローラのトリガーを引いて横断するように教示した。また必要に応じて、途中で停止したり、歩道に戻ったりしてもよいことも合わせて教示した。1 回の実験条件が終了するごとに VR 環境内に表示される質問項目に対して 1 点から 5 点で回答するように指示した。また、実験途中でシミュレータ酔いを感じたときにはすぐに申し出るように伝え、実験実施者は酔いを感じていないか実験参加者に適宜確認した。交通場面①で設定した 8 種類の実験条件の体験順序は、実験参加者ごとにランダムな順序を設定して実験を実施した。その後、交通場面②ではについても交通場面①と同様な手続きで 8 種類の実験条件を実施した。ただし、実験場面②では、実験参加者から見て左側（対向車線側）から接近する車両が自動運転車であることを説明した。交通場面①および交通場面②が終了した後に実験参加者に対してインタビューを行い、実験中に自動運転車の車両挙動や外向け HMI などを含めたコミュニケーションに対して実験参加者が感じた心理状態等を自由記述にて回答するよう依頼した。

交通場面③では、実験参加者に対して、実験参加者の観察位置が横断歩道付近に移動したことを告げるとともに、再び、実験参加者から見て右側から接近する車両が自動運転車であること、自動運転車の車両挙動や自動運転車の外向け HMI の状態を見て（外向け HMI 非搭載の自動運転車は車両挙動のみ）、少しでも譲られたと感じて横断可能であると判断した際に手元のコントローラのトリガーを引いて横断するように教示した。交通場面①および交通場面②と同様に 1 回の実験条件が終了するごとに、VR 環境内に表示される質問項目に対して 1 点から 5 点で回答するように指示した。実験場面③で設定した 10 種類の実験条件の体験順序も実験参加者ごとにランダムに設定・実施した。実験場面③の 10 種類の実験条件が終了してもインタビューを介した自由記述による

回答は実施せず、すぐ交通場面③'を実施した。

交通場面③'は、交通場面③に引き続いて中断することなく、また特別な説明も追加することなく、交通場面③の一連の実験条件のような形態で実施した。交通場面③'の終了後に、インタビューを介した自由記述による回答を実施した。また必要に応じて、途中で停止したり、歩道に戻ったりしてもよいことも合わせて教示した。1回の実験条件が終了するごとに VR 環境内に表示される質問項目に対して1点から5点で回答するように指示した。

実験途中にシミュレータ酔いを感じたときにはすぐに申し出るように伝え、実験実施者は酔いを感じていないか実験参加者に適宜確認した。実験場面①で設定した8つの実験条件の体験順序は実験参加者ごとにランダムに設定・実施した。その後、実験場面②についても実験場面①と同様な手続きで各実験条件を実施した。実験場面①と実験場面②が終了した後に実験参加者に対してインタビューを行い、実験中に自動運転車の車両挙動や外向け HMI などを含めたコミュニケーションに対して実験参加者が感じた心理状態等を自由回答にて記録した。

3.5.1.11.実験結果

交通場面①、交通場面②、交通場面③、交通場面③'の実験実施時に、実験装置や計測機器の不具合によって実験データにおけるノイズの発生や、実験データの欠損が生じた。また実験参加者の操作ミスが伴う実験データも一部発生した。これらの実験データは分析対象から除外することとした。また実験結果は、交通場面ごとに取りまとめ、その特徴等を記述することとした。

(1) 交通場面①（横断歩道以外を横断しようとする歩行者への影響検討）

交通場面①では、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者が存在している状況で、歩行者の右方向からその歩行者に譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる際、無信号横断歩道以外の歩道区間上（道路中央線からみて自動運転車と同じ側）に歩行者が道路脇から出現して自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態を視認した際の認識や判断、行動の特徴を計測・分析する実験シナリオであった。このような交通場面での実験参加者の判断や行動の特徴を分析する。

(1-1) 自動運転車接近時の横断開始の有無

自動運転車が無信号横断歩道に接近する際、実験参加者の目前を自動運転車が通過する前に横断を開始したか、横断せずに自動運転車を見送ったかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-46 から図 3-51 にそれぞれ示す。

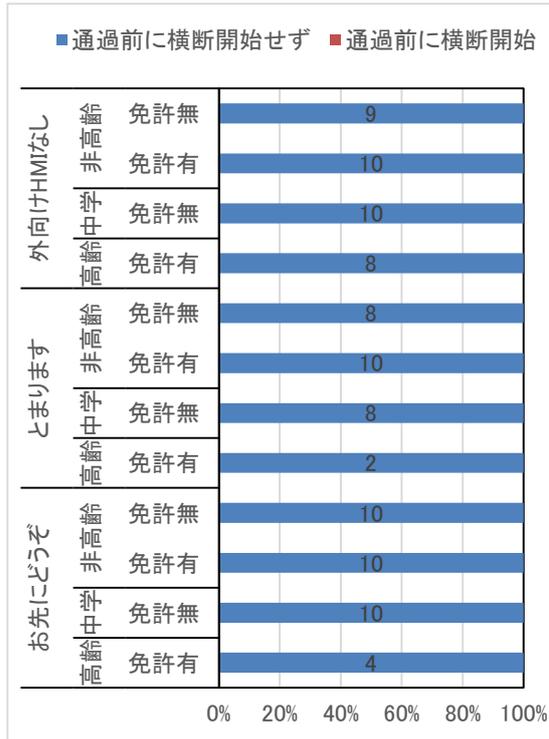


図 3-46 減速・停止 (25→0km/h)

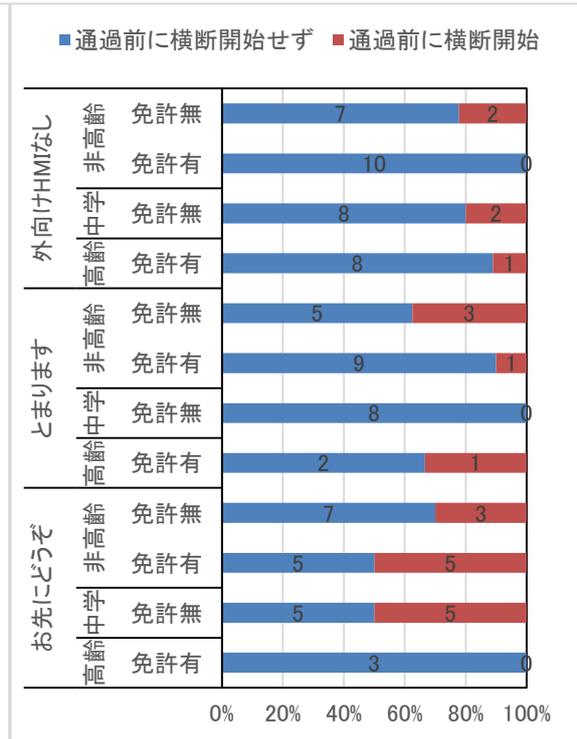


図 3-47 早期減速・停止 (25→5→0km/h)

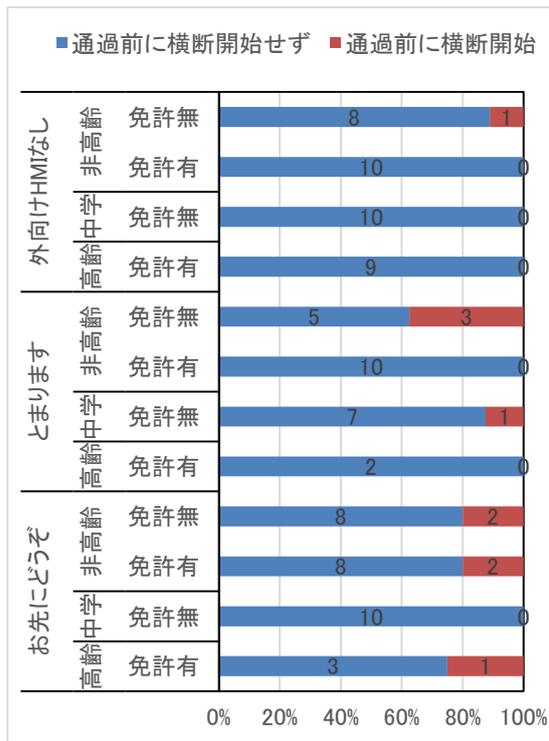


図 3-48 減速・停止 (15→0km/h)

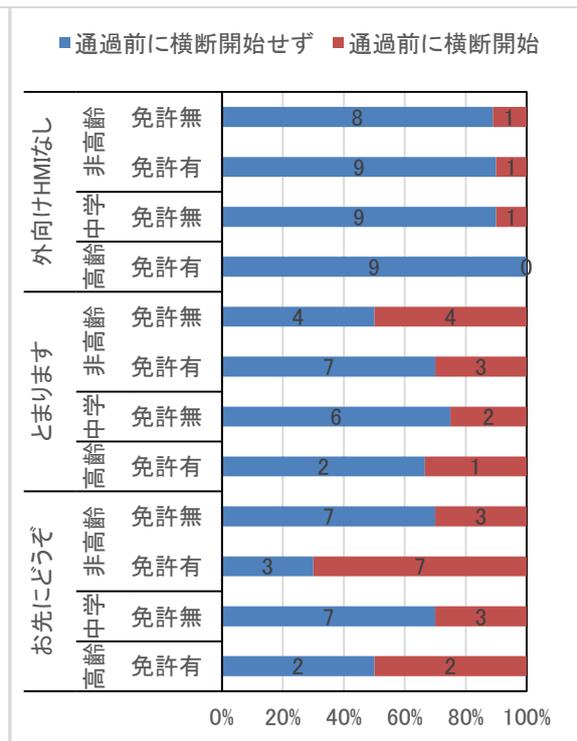


図 3-49 早期減速・停止 (15→5→0km/h)

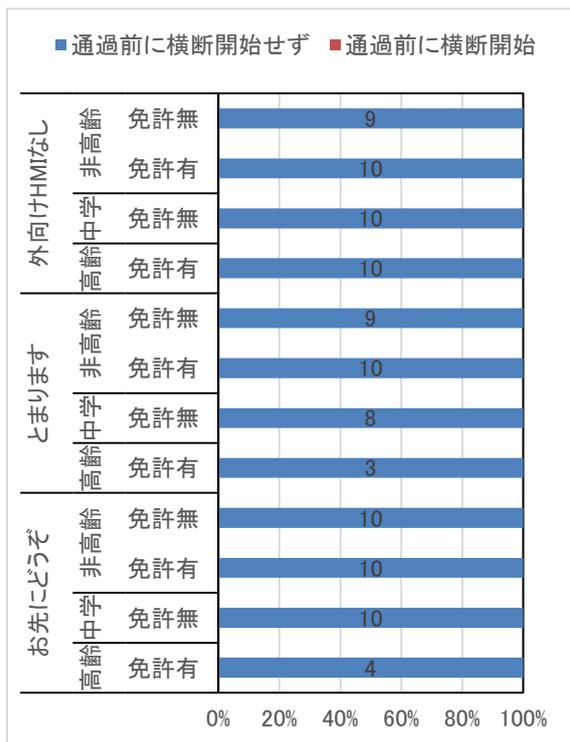


図 3-50 一定速・通過 (25→25km/h)

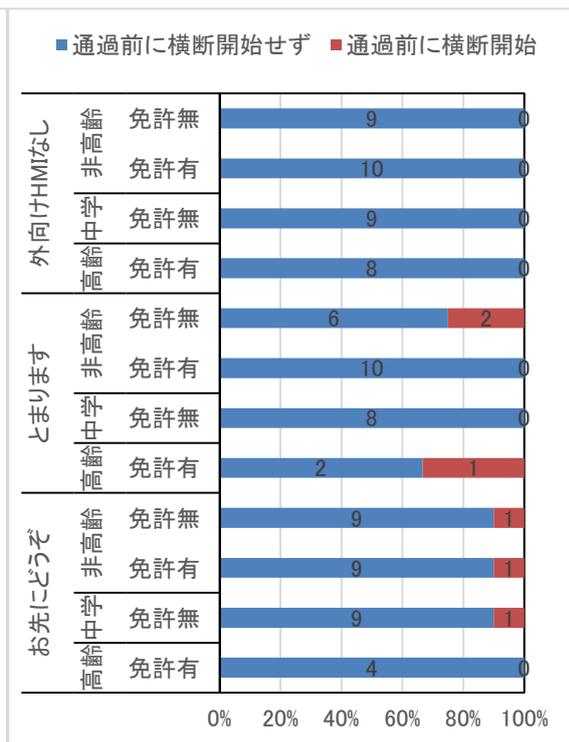


図 3-51 一定速・通過 (15→15km/h)

減速・停止 (25→0km/h) ならびに一定速・通過 (25→25km/h) では、自動運転車の接近に対してすべての実験参加者は自動運転車の通過前には横断を開始しない結果となった。しかしながら、一定速・通過 (15→15km/h) では、外向け HMI が装備された実験条件で実験参加者数名が自動運転車の通過前に横断を開始し、減速・通過 (15→0km/h) では一定速・通過 (15→15km/h) の実験条件に対してさらに数名の実験参加者が自動運転車の通過前に横断を開始した。実験参加者数が少数である属性もあるが、外向け HMI 非搭載の自動運転車の場合は通過前に横断を開始することはほぼなく、速度が 15km/h と比較的低速状態で外向け HMI 搭載の自動運転車の場合のみ、通過前に横断を開始する実験参加者が少数生じる結果となった。

その一方で、減速・停止の実験条件と比較すると、早期減速・停止 (25→5→0km/h) および早期減速・停止 (15→5→0km/h) では、外向け HMI 非搭載の自動運転車で若干の自動運転車通過前の横断開始が観測されたが、外向け HMI 搭載の自動運転車では自動運転車通過前の横断開始が多く観測され、早期減速・停止 (25→5→0km/h) で 1/3 程度、早期減速・停止 (15→5→0km/h) で半数程度が自動運転車の通過前に横断を開始する結果となった。

(1-2) 実験参加者の確認行動、自動運転車や他車両への接触の有無

自動運転車が接近する際の実験参加者の確認行動は、自動運転車の状態だけでなく、対向車線の手動運転車の状況や横断歩道付近の歩行者の状況も含めたものであることが観測された。また自動運転車の通過前に横断を開始した実験参加者については、自動運転車や他車両への接触は観測されなかった。

(1-3) 自動運転車からの譲りの認識

自動運転車が無信号横断歩道に接近する際、実験参加者が自動運転車の状態を見て、自動運転車から譲りの意図を認識したかどうかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-52 から図 3-57 にそれぞれ示す。主観評点が低いほど自動運転車から譲られていないと認識し、主観評点が高いほど自動運転車から譲られたと認識したことを表している。

減速・停止や一定速・通過の実験条件では、初期速度の違いに関わりなく、ほぼすべての実験参加者が自動運転車から譲られていないと認識する結果となった。その一方で、早期減速・停止の実験条件では、譲られている、譲られていないのそのどちらともいえないと認識する実験参加者が増加し、特に早期減速・停止（15→5→0km/h）の「お先にどうぞ」の非高齢者（運転免許所有）では、譲られていると認識する傾向が高まる結果となった。

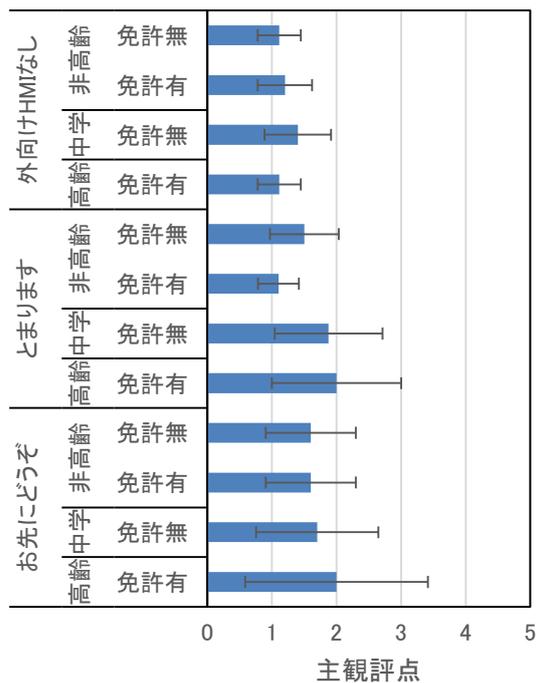


図 3-52 減速・停止 (25→0km/h)

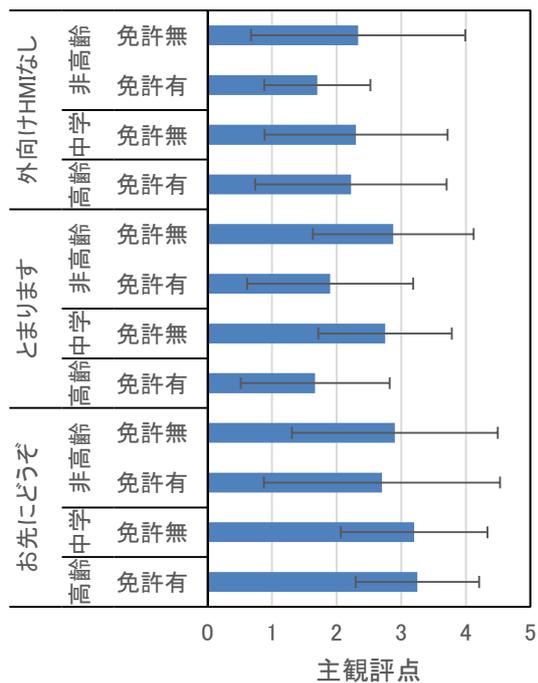


図 3-53 早期減速・停止 (25→5→0km/h)

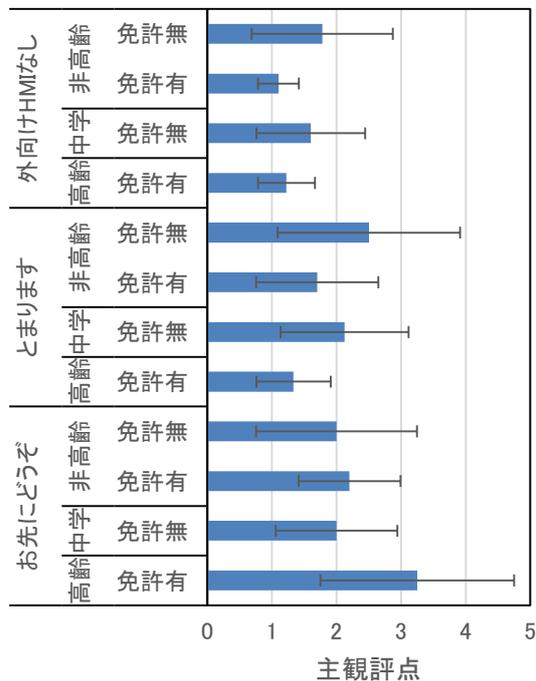


図 3-54 減速・停止 (15→0km/h)

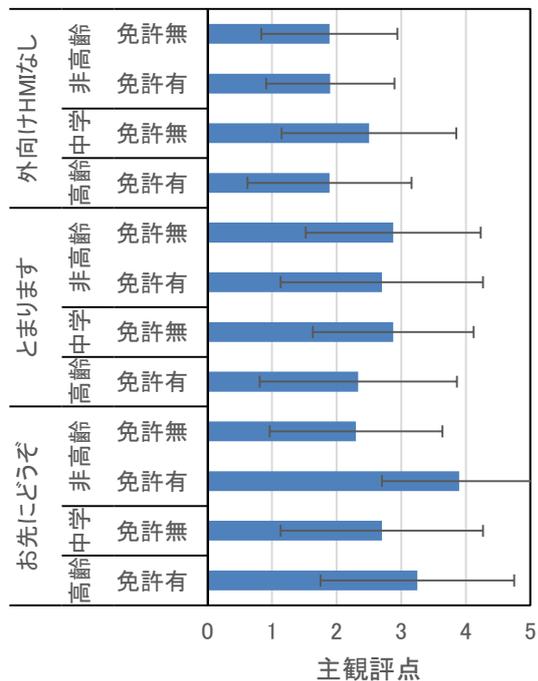


図 3-55 早期減速・停止 (15→5→0km/h)

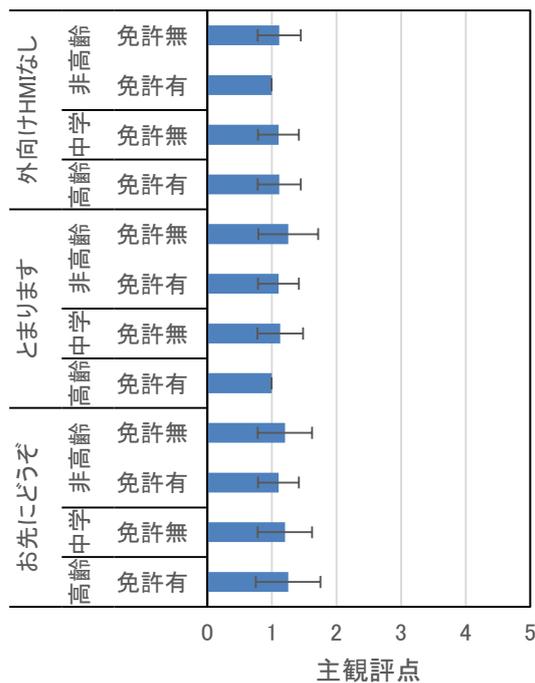


図 3-56 一定速・通過 (25→25km/h)

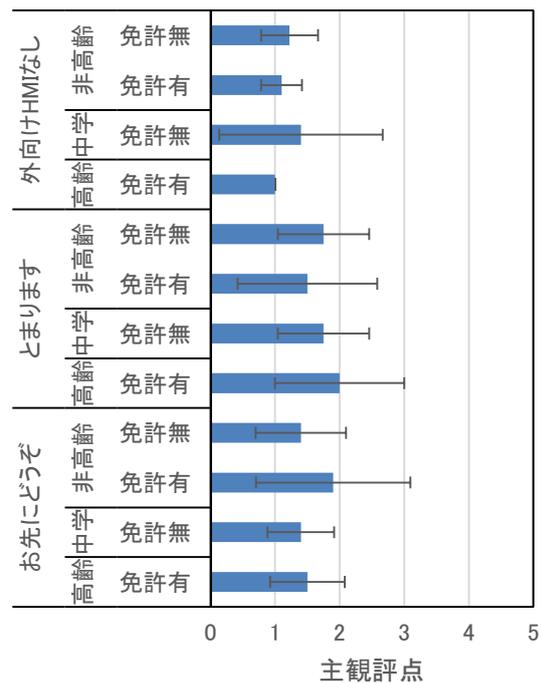


図 3-57 一定速・通過 (15→15km/h)

(2) 交通場面② (横断歩道以外を横断しようとする歩行者への影響検討)

交通場面②では、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者が存在している状況で、歩行者の左方向からその歩行者に譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる際、無信号横断歩道以外の歩道区間上(道路中央線からみて自動運転車と反対側)に歩行者が道路脇から出現して自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態を視認した際の認識や判断、行動の特徴を計測・分析する実験シナリオであった。このような交通場面での実験参加者の判断や行動の特徴を分析する。

(2-1) 自動運転車接近時の横断開始の有無

自動運転車が無信号横断歩道に接近する際、実験参加者の目前を自動運転車が通過する前に横断を開始したか、横断せずに自動運転車を見送ったかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-58 から図 3-63 にそれぞれ示す。

(1)交通場面①の場合と同様な傾向を示したが、自動運転車通過前の横断開始の観測数が実験条件によって多少異なる傾向も見られた。減速・停止(25→0km/h)や一定速・通過(25→25km/h)では自動運転車通過前の横断開始はほとんど観測されなかったが、一定速・通過(15→15km/h)や減速・通過(15→0km/h)では自動運転車通過前の横断開始が平均的に 1/4 から 1/3 程度観測された。さらに早期減速・停止(25→5→0km/h)や早期減速・停止(15→5→0km/h)

では、自動運転車通過前の横断開始が多く観測されたが、(1)交通場面①と比較するとやや少ない傾向が見られた。

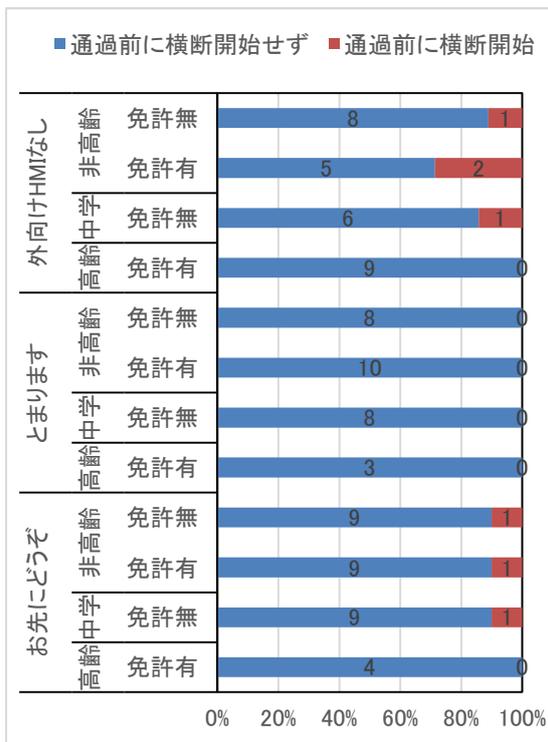


図 3-58 減速・停止 (25→0km/h)

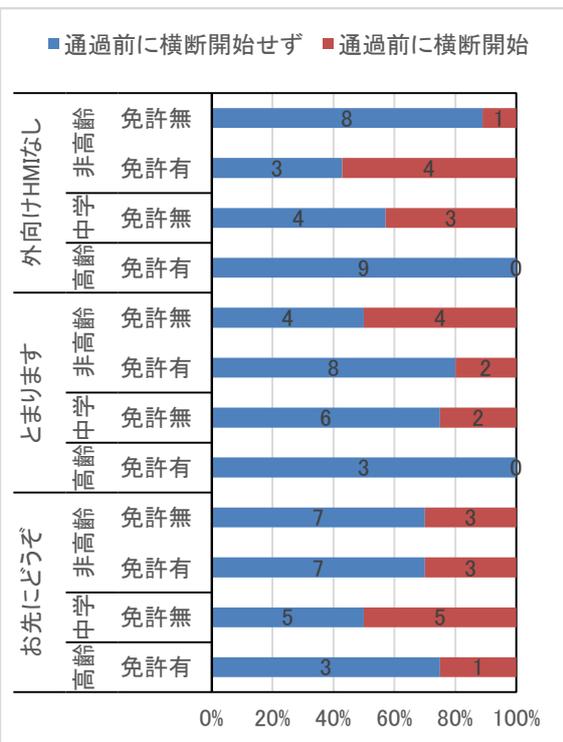


図 3-59 早期減速・停止 (25→5→0km/h)

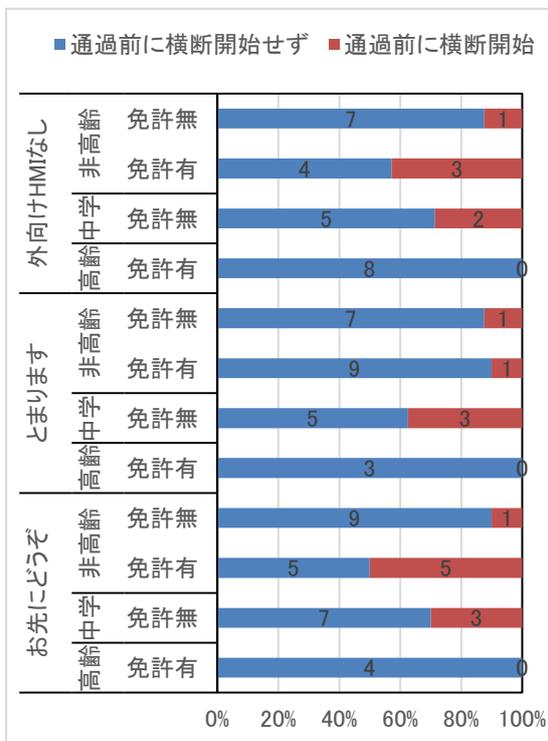


図 3-60 減速・停止 (15→0km/h)

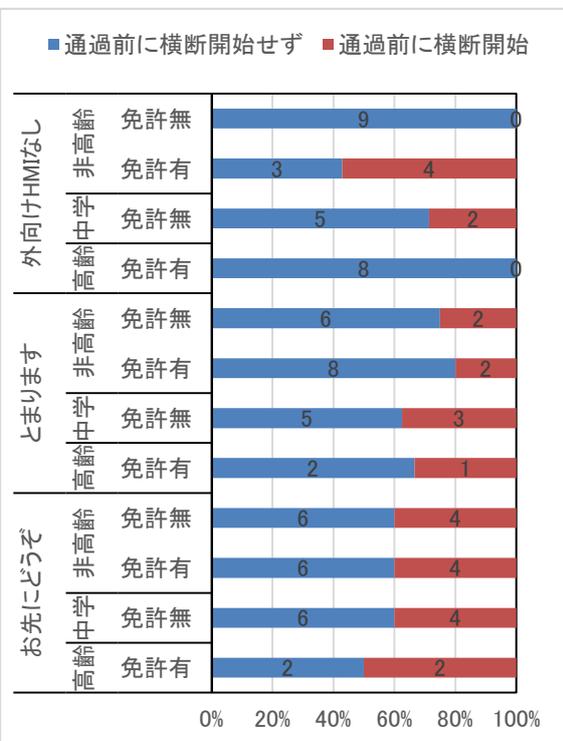


図 3-61 早期減速・停止 (15→5→0km/h)

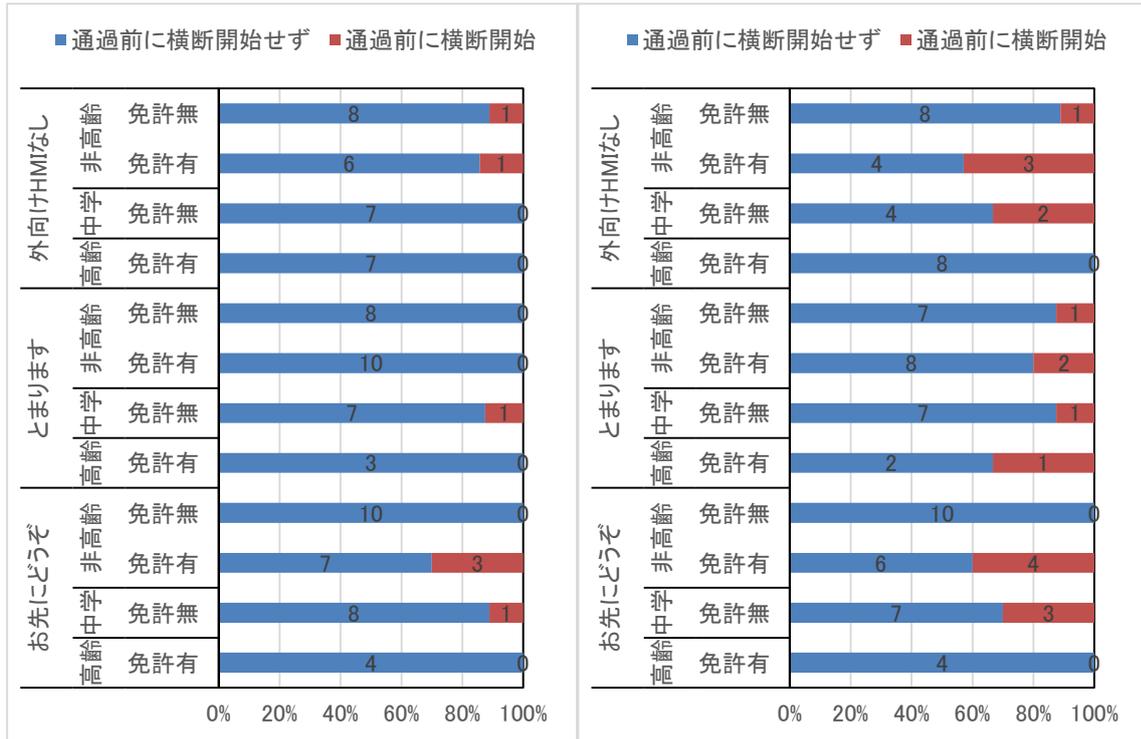


図 3-62 一定速・通過 (25→25km/h) 図 3-63 一定速・通過 (15→15km/h)

(2-2) 実験参加者の確認行動、自動運転車や他車両への接触の有無

自動運転車が接近する際の実験参加者の確認行動は、自動運転車の状態だけでなく、対向車線の手動運転車の状況や横断歩道付近の歩行者の状況も含めたものであることが観測された。また自動運転車の通過前に横断を開始した実験参加者については、自動運転車や他車両への接触は観測されなかった。

(2-3) 自動運転車からの譲りの認識

自動運転車が無信号横断歩道に接近する際、実験参加者が自動運転車の状態を見て、自動運転車から譲りの意図を認識したかどうかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-64 から図 3-69 にそれぞれ示す。主観評点が低いほど自動運転車から譲られていないと認識し、主観評点が高いほど自動運転車から譲られたと認識したことを表している。

主観評点値に多少の違いは見られたものの、おおむね(1)交通場面①と同様な傾向を示した。基本的に、減速・停止、一定速・通過の実験条件において主観評点がほぼ同様か若干の増加が見られたが、譲られていないと判断されるものであった。一方、早期減速・停止の実験条件では、(1)交通場面①と比較して、主観評点がやや低く、また外向け HMI 搭載車でも譲られていると認識する傾向は見られなかった。

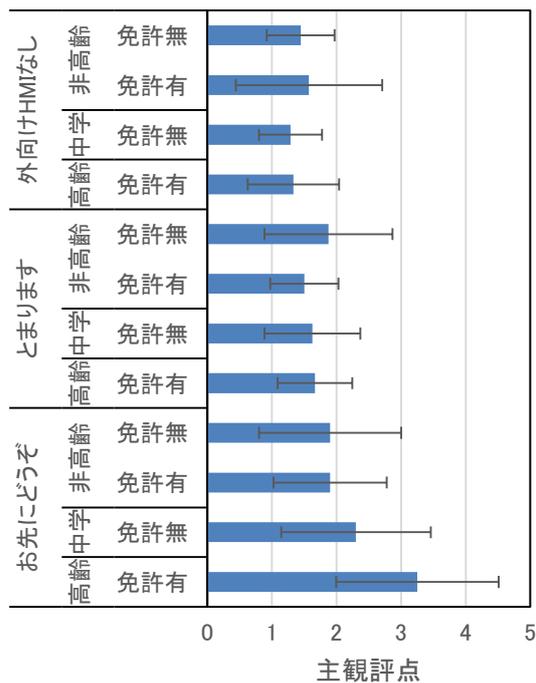


図 3-64 減速・停止 (25→0km/h)

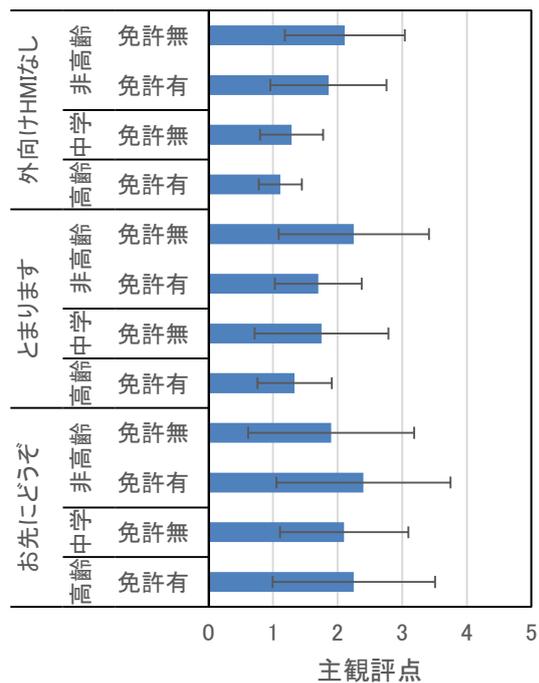


図 3-65 早期減速・停止 (25→5→0km/h)

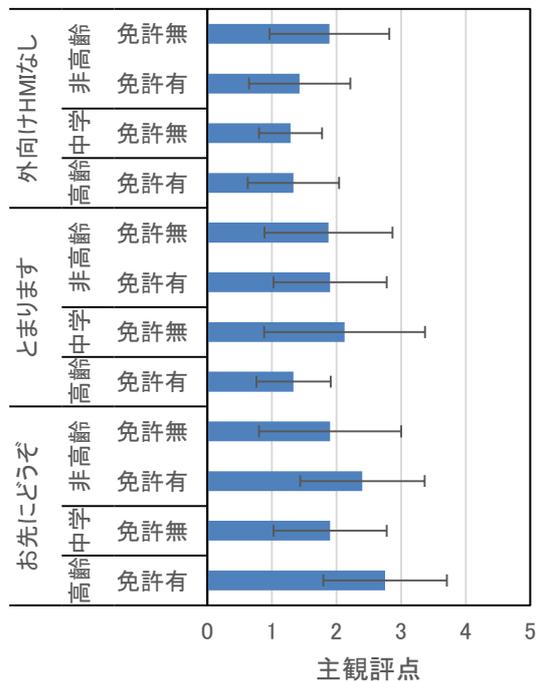


図 3-66 減速・停止 (15→0km/h)

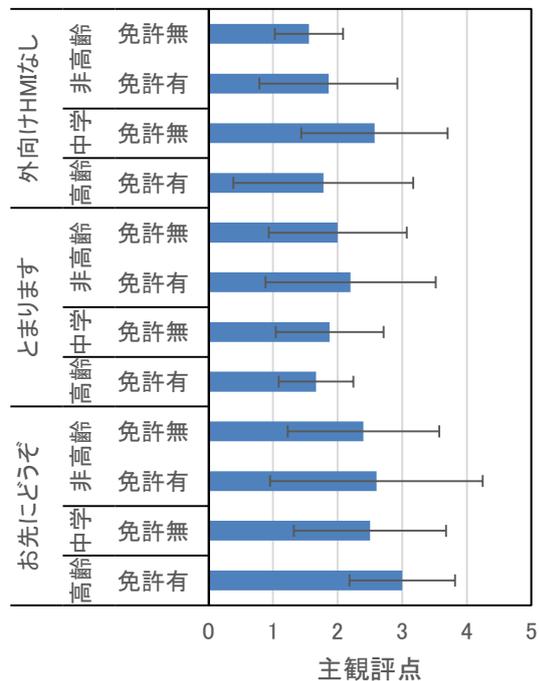


図 3-67 早期減速・停止 (15→5→0km/h)

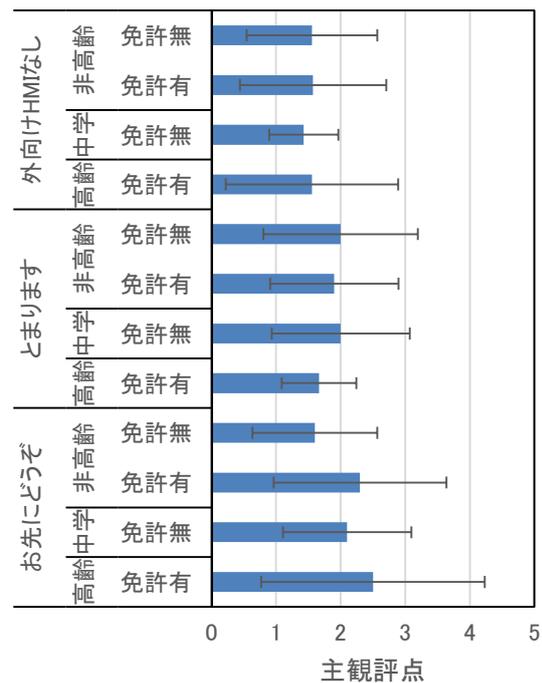
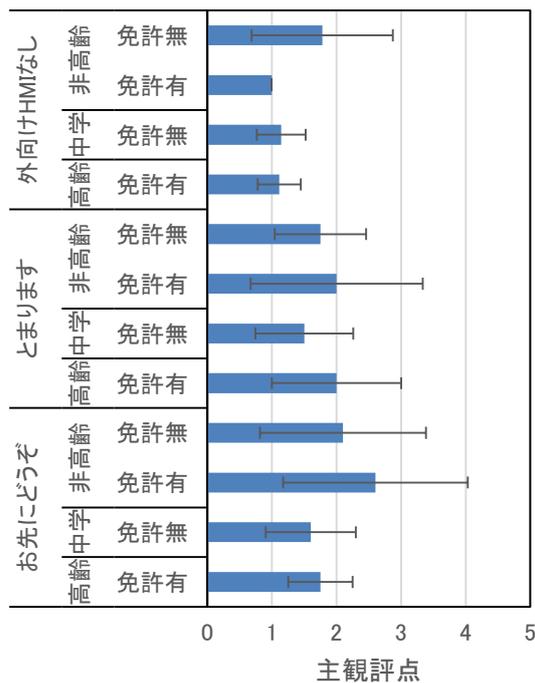


図 3-68 一定速・通過 (25→25km/h)

図 3-69 一定速・通過 (15→15km/h)

(3) 交通場面③ (横断歩道を横断しようとする歩行者への効果検討)

交通場面③では、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者に、歩行者の右方向から譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる際、自動運転車の車両挙動や外向け HMI の状態を視認した際の歩行者の認識や判断、行動の特徴を計測・分析する実験シナリオであった。このような交通場面での実験参加者の判断や行動の特徴を分析する。

(3-1) 自動運転車接近時の横断開始の有無

自動運転車が無信号横断歩道に接近する際、実験参加者の目前を自動運転車が通過する前に横断を開始したか、横断せずに自動運転車を見送ったかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-70 から図 3-75 にそれぞれ示す。

減速・停止の実験条件では、初期速度が高いと外向け HMI 搭載の自動運転車では停止前の横断開始はほぼ観測されなかったが、初期速度が低いと外向け HMI 搭載の自動運転車でも停止前の横断開始は半数程度に増加し、また外向け HMI 搭載車では停止前の横断開始がさらに増加する結果となった。早期減速・停止の実験条件では、初期速度の高低に関わりなく、停止前の横断開始が多く観測され、特に外向け HMI 搭載の自動運転車では停止前の横断開始がほとんどであった。

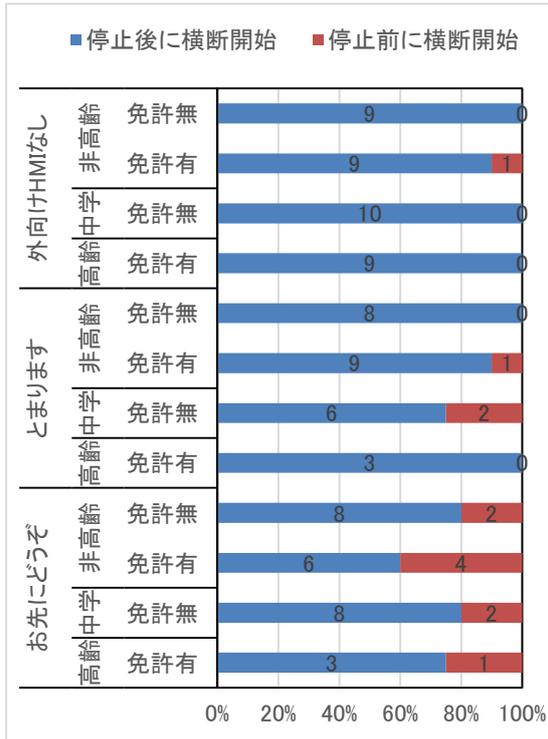


図 3-70 減速・停止 (25→0km/h)

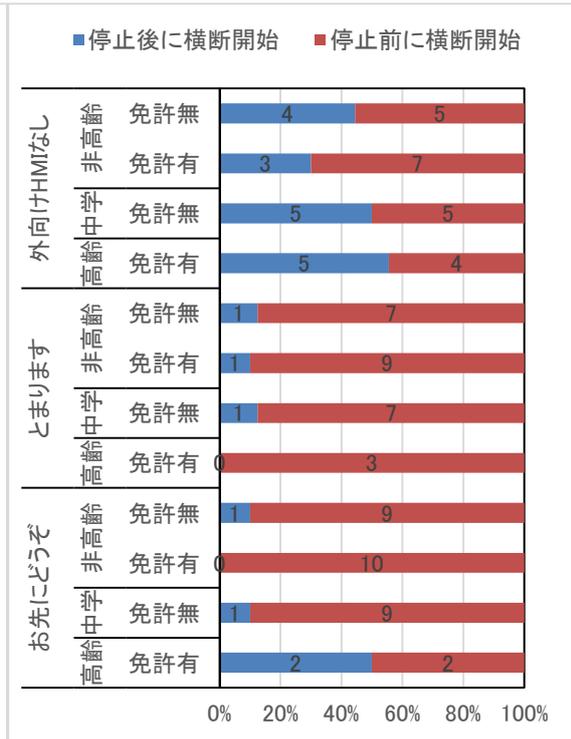


図 3-71 早期減速・停止 (25→5→0km/h)

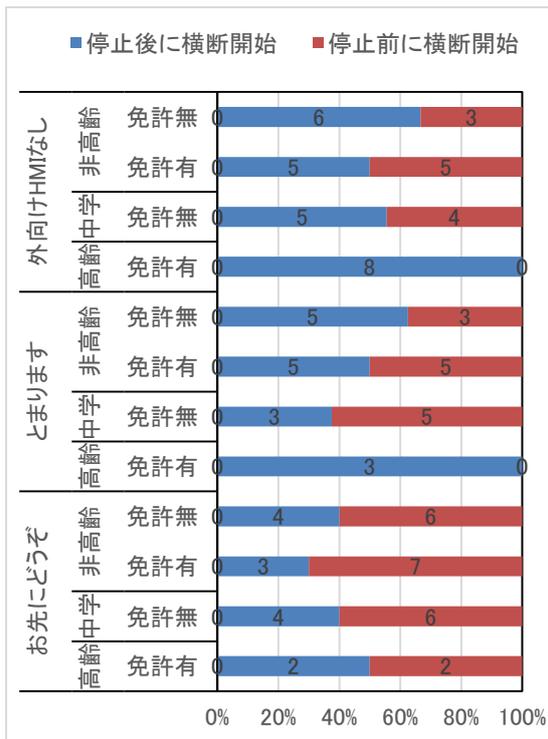


図 3-72 減速・停止 (15→0km/h)

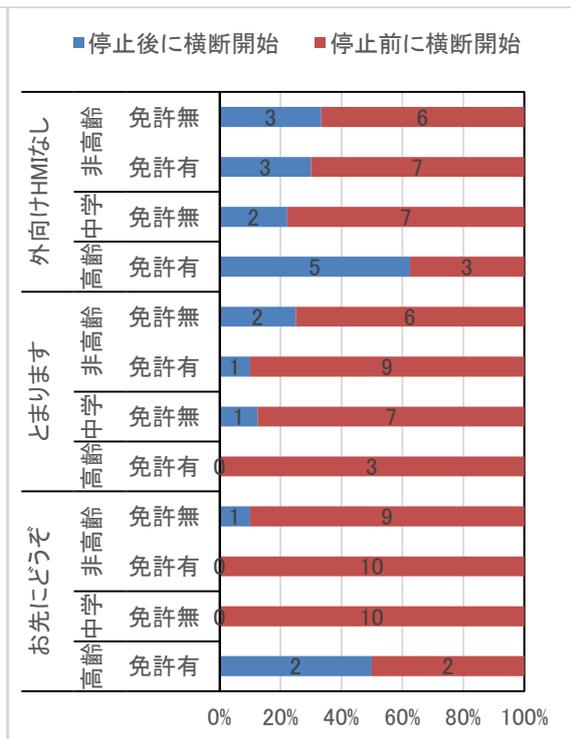


図 3-73 早期減速・停止 (15→5→0km/h)

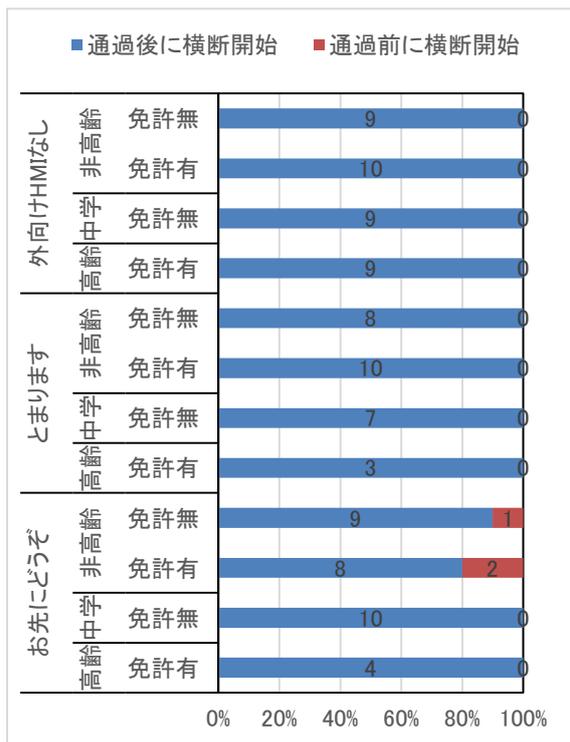


図 3-74 一定速・通過 (25→25km/h)

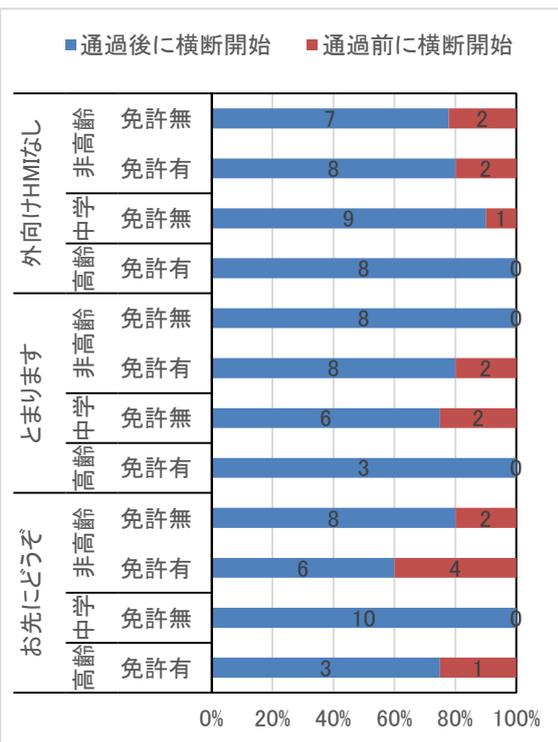


図 3-75 一定速・通過 (15→15km/h)

(3-2) 実験参加者の確認行動、自動運転車や他車両への接触の有無

自動運転車が接近する際の実験参加者の確認行動は、自動運転車の状態だけでなく、対向車線の手動運転車の状況や横断歩道付近の歩行者の状況も含めたものであることが観測された。また自動運転車の通過前に横断を開始した実験参加者については、自動運転車や他車両への接触は観測されなかった。

(3-3) 自動運転車からの譲りの認識

自動運転車が無信号横断歩道に接近する際、実験参加者が自動運転車の状態を見て、自動運転車から譲りの意図を認識したかどうかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-76 から図 3-81 にそれぞれ示す。主観評点が低いほど自動運転車から譲られていないと認識し、主観評点が高いほど自動運転車から譲られたと認識したことを表している。

基本的に、減速・停止、早期減速・停止の実験条件では主観評点が高く、ほぼ譲られたと認識されるものであった。一方、一定速・通過の実験条件では譲られていないと認識されるものであり、速度が高いほどより譲られていないと認識される結果であった。

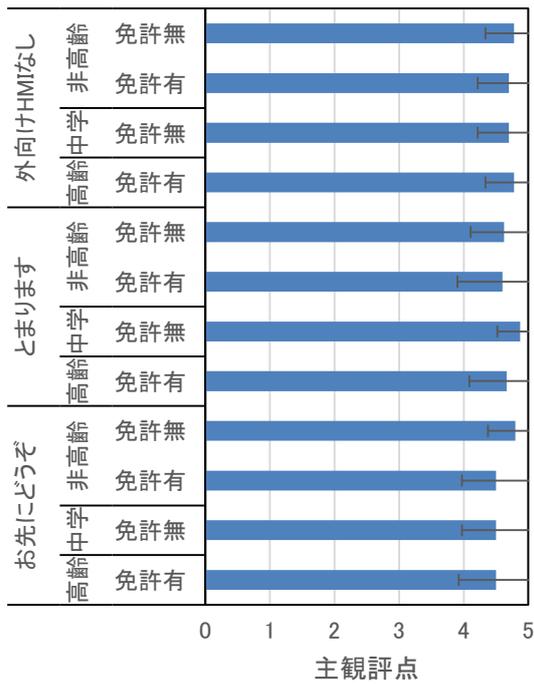


図 3-76 減速・停止 (25→0km/h)

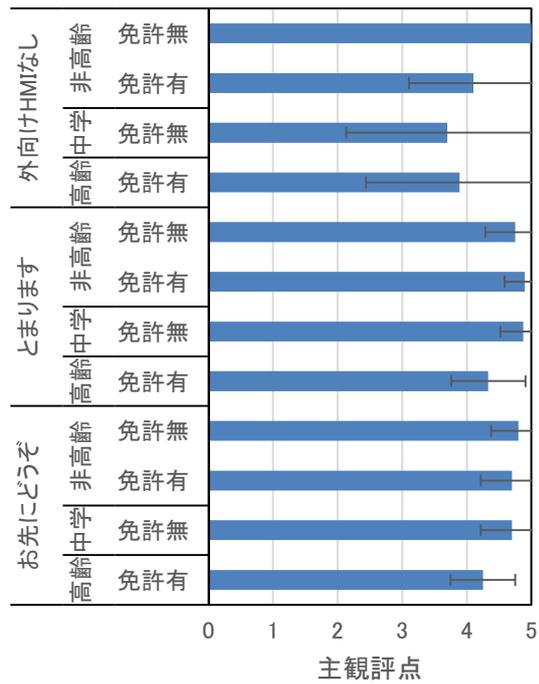


図 3-77 早期減速・停止 (25→5→0km/h)

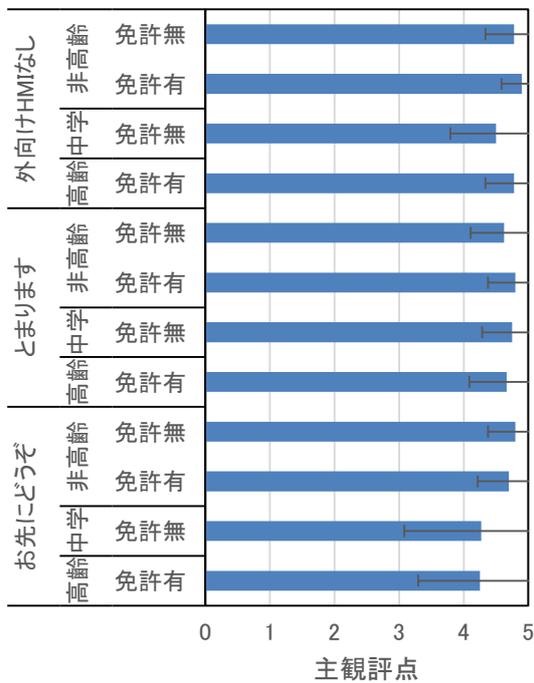


図 3-78 減速・停止 (15→0km/h)

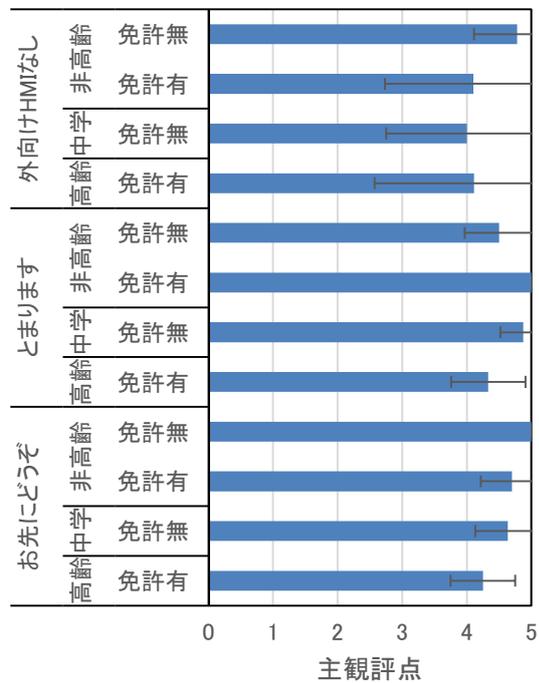


図 3-79 早期減速・停止 (15→5→0km/h)

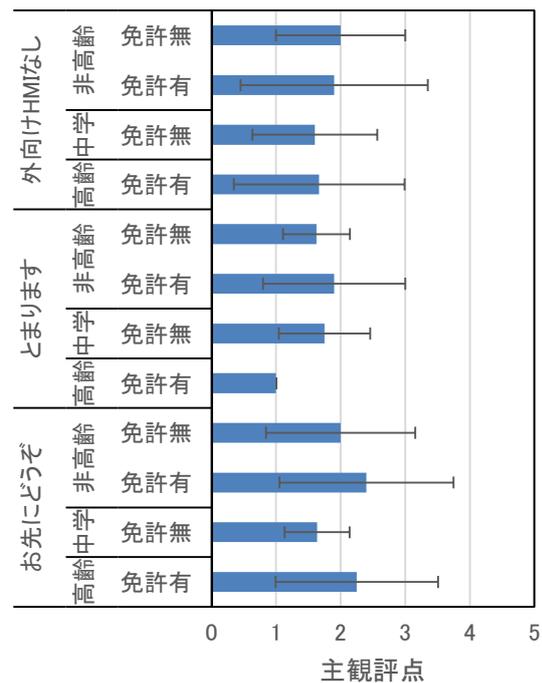
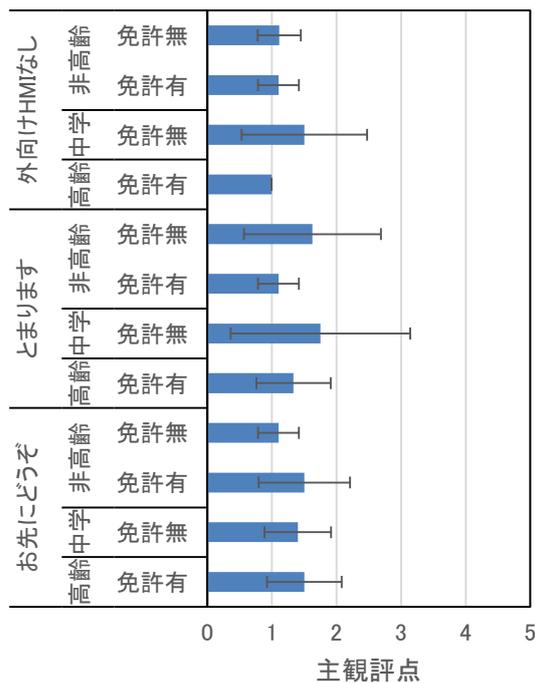


図 3-80 一定速・通過 (25→25km/h)

図 3-81 一定速・通過 (15→15km/h)

(4) 交通場面③' (横断歩道を横断しようとする歩行者への負の影響検討)

交通場面③'では、交通場面③の実験シナリオを体験後、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者に、歩行者の右方向から譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近・停車した後、大型トラックの渋滞停車により対向車線への状況確認がしづらい交通場面での歩行者の認識や判断、行動の特徴を計測・分析するシナリオであった。このような交通場面での実験参加者の判断や行動の特徴を分析する。

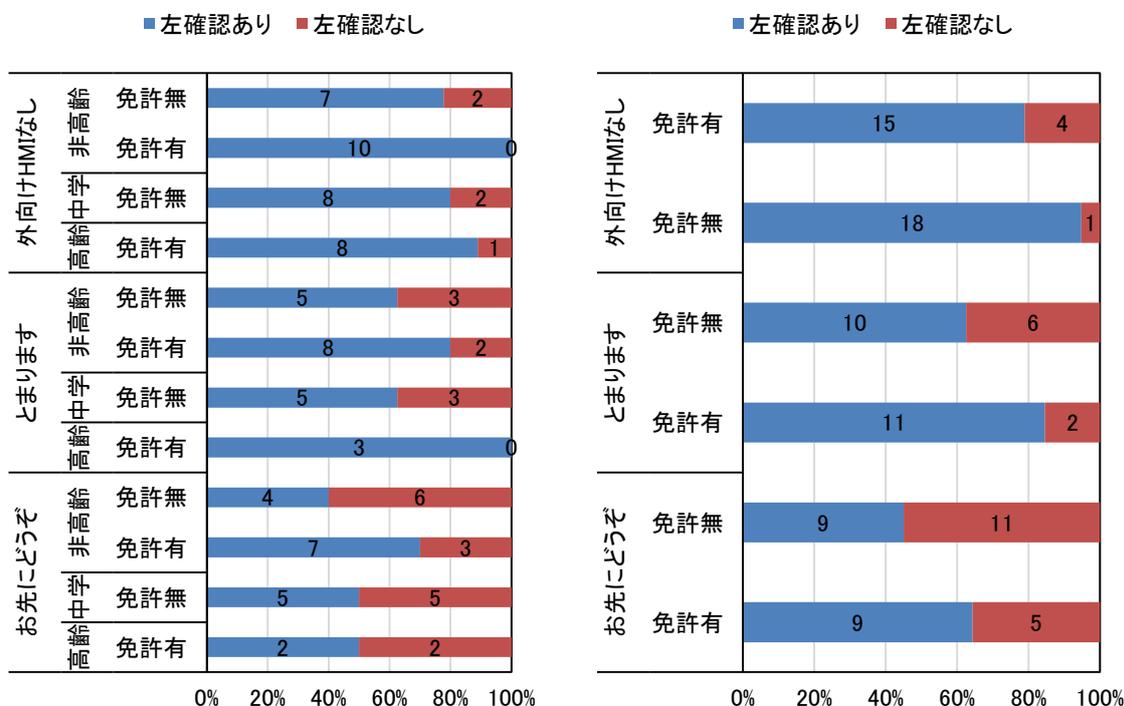
(4-1) 実験参加者の確認行動

自動運転車の停止前、停止線での停止後に関わりなく、横断を開始した実験参加者が周囲状況を確認しているかどうかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-82 に示す。図 3-82(a)は年齢と運転免許所有の有無による分類、図 3-82(b)は運転免許所有の有無による分類である。

交通場面③'では、実験参加者が横断歩道を横断する際、横断歩道脇で実験参加者の左手に渋滞停止の大型トラックが存在していて対向車線方向を確認しづらい状況であったため、対向車線方向に対向直進車が存在するかどうかを確認するために左方向への確認が必要な状況であった。

外向け HMI 非搭載の自動運転車では左方向を確認する実験参加者の割合が高かったが、外向け HMI 搭載の自動運転車では左方向を確認しない割合がお

およそ半数まで増加する傾向が見られ、またその傾向は運転免許非所有者の方が運転免許所有者よりも高い割合を示す傾向が見られた。



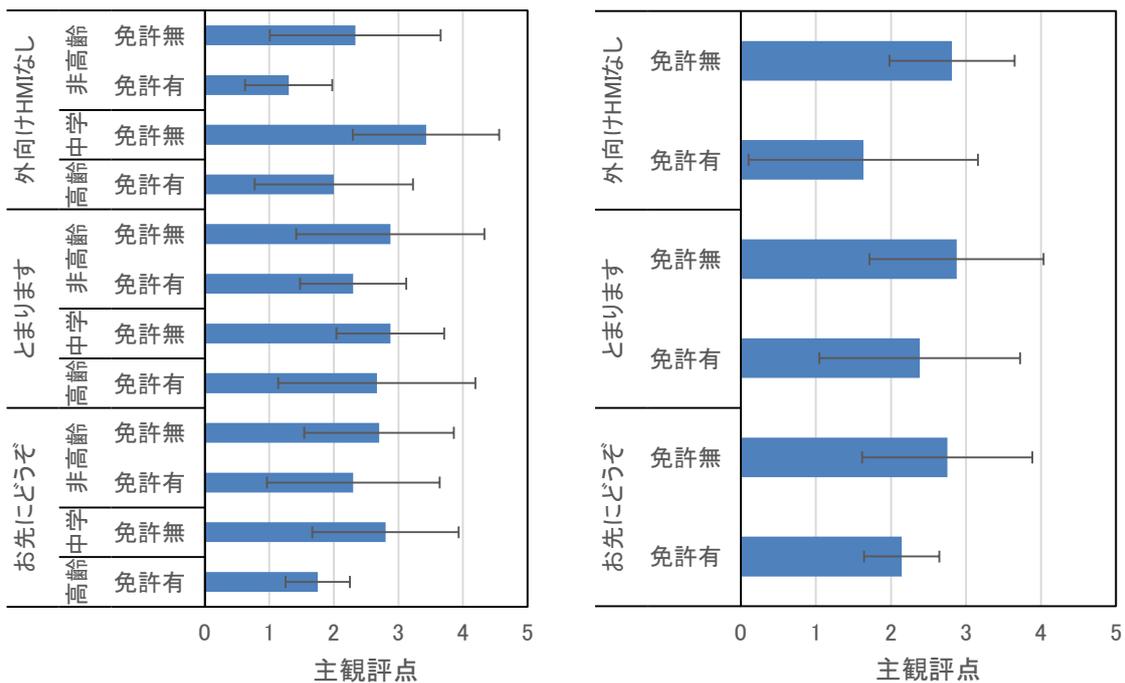
(a) 年齢・運転免許有無による分類 (b) 運転免許有無による分類

図 3-82 大型トラックの陰から出る際の歩行者の左方向確認

(4-2) 周囲確認に関する自動運転車への依存

周囲確認に関して、本来、実験参加者自らが周囲を確認する必要があるが、自動運転車が周囲状況の確認を行った上で実験参加者に譲っていると認識したかどうか、周囲確認に関する自動運転車への依存性が生じていたかどうかを実験条件ごとにまとめた。その結果を図 3-83 に示す。図 3-83(a)は年齢と運転免許所有の有無による分類、図 3-83(b)は運転免許所有の有無による分類である。

外向け HMI 非搭載、外向け HMI 搭載の自動運転車の違いによる周囲確認の自動運転車への依存性についてはほとんど差のない結果となった。その一方で、運転免許所有者、運転免許非所有者ともに全体的にはそれほど高い依存性を示さなかったものの、運転免許非所有者ではやや高い評点値を示す結果となり、運転免許非所有者は、自動運転車が周囲状況を確認した上で歩行者に譲っていると認識している傾向がやや見られる結果となった。



(a) 年齢・運転免許有無による分類 (b) 運転免許有無による分類

図 3-83 周囲確認に関する自動運転車への依存性

3.5.1.12. 考察

本実験では、無信号横断歩道に接近中の自動運転車が車両挙動や外向け HMI を利用して横断歩道で横断待ちの歩行者に譲りの意図を表明する状況を想定し、そのような状況において無信号横断歩道から自動運転車が存在する方向にやや離れた地点で他の歩行者が自動運転車の状況を視認した際の認識や判断について分析した。また車両挙動や外向け HMI を利用した自動運転車からのコミュニケーションを経験することによる負の影響、特に周囲確認の自動運転車への依存について分析した。本節では、車両挙動や外向け HMI の正の効果や負の影響について検討するとともに、安全の観点からその対応方法について議論する。

(1) 自動運転車から横断歩道の歩行者に向けられた譲り意図に対する横断歩道以外の他の歩行者の認識

本実験では、無信号横断歩道から 9m 上流側に実験参加者を他の歩行者役として配置し接近する自動運転車や周囲の他車両の状況を観察させた。その結果、自動運転車と同じ道路側で自動運転車を観察した場合、本実験で設定した減速・停止の実験条件では、初期速度の違いや外向け HMI 搭載/非搭載に関わりなく、自動運転車から譲られているという認識はほとんどなく、実際、自動運

転車通過前の横断開始も少なかった。横断開始の判断は、自動運転車から譲られていることの認識だけでなく、自動運転車と歩行者との距離や TTC なども横断開始の判断要因となるが、本実験の結果に基づくと、減速・停止や一定速・通過の車両挙動を利用すれば、横断歩道以外の歩行者に「自動運転車から譲られている」との誤認識を与えることは回避できるものと考えられる。また本実験で設定した減速・停止の減速開始地点と歩行者との距離はおおよそ 10m であったことを考慮すると、15km/h の速度から減速する場合は歩行者との間に 10m 以下の距離を設定すれば、歩行者には譲られていないと認識するものと示唆される。

一方、本実験で設定した早期減速・停止の実験条件では、外向け HMI 搭載の自動運転車において初期速度が低い場合に自動運転車通過前の横断開始が 1/3 から半数程度発生した。歩行者には「自動運転車から譲られている」と認識されており、特に「お先にどうぞ」では「とまります」と比較して譲られていると認識される傾向が高いものと考えられる。本実験で設定した早期減速・停止の減速開始地点と歩行者との関係は、おおよそ 20m であったことを考慮すると、横断歩道の歩行者に対して譲りの意図を表明し、かつ横断歩道以外の他の歩行者に譲りの意図を認識させないようにするには、20m 程度の距離に他の歩行者が存在しないことを確認した上で早期減速・停止する、20m 程度の距離に他の歩行者が存在することを確認した場合は、外向け HMI を利用しない、もしくは早期減速を実施しないなどの対応が必要であると考えられる。

(2) 早期減速と外向け HMI に基づく横断歩道の歩行者の譲り意図の認識

早期減速や外向け HMI を利用して、自動運転車から横断歩道で横断待ちしている歩行者に譲り意図を伝達した場合の認識や判断を分析した結果、本実験で設定した早期減速・停止の実験条件は、「自動運転車から譲られている」との認識を与え、かつ歩行者に自動運転車停止前の横断開始を高い割合で促す結果となった。早期減速・停止の実験条件において外向け HMI の搭載/非搭載による歩行者の認識にほとんど違いが見られなかったことを考慮すると、自動運転車からの譲りを認識する上で早期減速が効果をもたらしているものと考えられる。また、減速・停止の実験条件では「自動運転車から譲られている」と認識されているものの、初期速度が高い場合に自動運転車停止前の横断開始の割合が低く、初期速度が低い場合に自動運転車停止前の横断開始の割合が高いといった特徴を踏まえると、減速開始から停止線到達までの所要時間の長短が横断開始に影響を与えている可能性が考えられる。本実験で設定した減速・停止、早期減速・停止の各減速開始から停止線で停止するまでの所要時間を近似的に算出すると、減速・停止 (25→0km/h) で約 4.5 秒、減速・停止 (15→0km/h) で

約 7.5 秒、早期減速・停止(25→5→0km/h)で約 18 秒、早期減速・停止(15→5→0km/h)で約 20 秒となることから、減速開始から停止線での停止に対して約 18 秒以上の所要時間が予想される場合にはほとんどの実験参加者が停止前に横断を開始し、約 7.5 秒の所要時間が予想される場合には約半数の実験参加者が停止前に横断するものと考えられる。このような所要時間と自動運転車停止前の横断開始の関係については所要時間 7.5 秒から 18 秒までを対象にしたさらなる検討が必要である。

(3) 車両挙動や外向け HMI による自動運転車とのコミュニケーション経験と横断開始後の確認行動

自動運転車から譲り意図が実験参加者に表明されるコミュニケーションを何度も経験した後、実験参加者が横断歩道の横断を開始する際に、進行方向左手に大型トラックが渋滞停車して対向車線への状況が確認しづらい中、大型トラックの陰から出る際の左方向確認と周囲確認に関する自動運転車への依存性について分析した。これらの分析結果に基づくと、自動運転車とのコミュニケーション経験の増加に伴って周囲確認に関する自動運転車への依存性が高まり、左方向への確認行動が減少する傾向があり、特に外向け HMI 搭載の自動運転車の場合にはその傾向が高まるものと考えられる。運転免許所有者を対象とする場合、周囲確認に関する自動運転車への依存性が高まらないようにするためには、外向け HMI を利用しないコミュニケーションを提供する、あるいは外向け HMI を利用する場合でも「お先にどうぞ」ではなく「とまります」を利用するなどの工夫が必要である。一方、運転免許非所有者を対象とする場合は、周囲確認に関する自動運転車への依存性が、外向け HMI 搭載の自動運転車、外向け HMI 非搭載の自動運転車に関わりなく、ほぼ同様であったことを考慮すると、自動運転車とのコミュニケーションがある場合でも歩行者自身が必ず周囲確認を行う必要があるなど適切な知識を事前に提供し活用できるような対応、例えば、自動運転車とのコミュニケーションに関わる交通指導や交通教育での対応が必要であると考えられる。

3.5.1.13.本節のまとめ

本実験では、低速走行の自動運転車を対象に、車両挙動や外向け HMI などを利用して発信された意図や状態に対する周囲交通参加者の認識や判断、行動の特徴を抽出した。自動運転車から横断歩道の歩行者に向けられた譲り意図の表明を横断歩道外の他の歩行者が視認した際の認識や判断、行動の特徴、さらに自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し体験することによる周囲状況の確認行動への影響や周囲状況の確認に関する自動運転車への依存などの負の影響を検討した。VR 実験を通じて下記の結果が得られた。

- 自動運転車から横断歩道の歩行者に向けられた譲り意図に対する横断歩道以外の他の歩行者の認識は、本実験で設定した減速・停止の実験条件では、初期速度の違いや外向け HMI 搭載/非搭載に関わりなく、自動運転車から譲られているという認識はほとんどなく、自動運転車通過前の横断開始も少ない。しかしながら、本実験で設定した早期減速・停止の実験条件では、外向け HMI 搭載の自動運転車で初期速度が低い場合に、自動運転車から譲られているという認識割合が高くなり、自動運転車通過前の横断開始も増加する。他の歩行者が 20m 程度の距離に存在することを確認した場合は、外向け HMI を利用しない、あるいは早期減速を実施しないなどの対応が必要である。
- 自動運転車から横断歩道の歩行者に対して、本実験で設定した早期減速・停止は、歩行者に対して自動運転車から譲られているとの認識を与え、かつ自動運転車の到達・停止前の横断開始を促す効果があり、外向け HMI 搭載の自動運転車、外向け HMI 非搭載の自動運転車の違いにはほとんど依存しない。
- 自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することにより、歩行者において周囲確認に関する自動運転車への依存性が高まり、その結果、左方向への確認行動が減少する可能性が示唆される。特に外向け HMI 搭載の自動運転車の場合にはその傾向が高まるものと考えられる。
- 運転免許所有者を対象として、自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することによる周囲確認の自動運転車への依存性の高まりを低減するためには、外向け HMI を利用しないコミュニケーションを提供する、あるいは外向け HMI を利用する場合でも「お先にどうぞ」ではなく「とまります」を利用するなどの工夫を行うことで周囲確認の自動運

転車への依存性を改善できる可能性が示唆される。

- 運転免許非所有者を対象にして、自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することによる周囲確認の自動運転車への依存性の高まりを低減するためには、譲り意図が自動運転車から提供される場合でも歩行者自身が必ず周囲確認を行う必要があるなど適切な知識を事前に提供し活用できるような対応、例えば、自動運転車とのコミュニケーションに関わる交通指導や交通教育での対応が必要であると考えられる。

3.5.2. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から横断歩道歩行者へのコミュニケーション設計に関する予備的検討

3.5.2.1. 実験概要

本研究では、車両挙動と外向け HMI の組み合わせが歩行者の横断判断に与える影響を検討する実験と、外向け HMI の負の影響を検討する実験を、一人の実験参加者に対して連続して実施した。図 3-84 に実験全体の流れを示す。

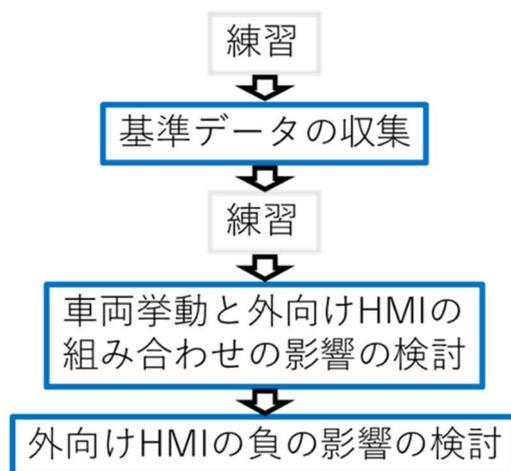


図 3-84 実験全体の流れ

3.5.2.2. 実験装置

本実験では、実験参加者が VR-HMD (VR 用ヘッドマウントディスプレイ) を装着し、ワイヤレスコントローラを操作することで実験を行った。歩行者の横断開始タイミングの違い、横断する際の衝突リスク、視認行動等を評価するために実験参加者に実際に試験走路を横断させることには車両と歩行者が接触するリスクが伴うため、本研究では VR-HMD を使用した。使用した VR 空間は、ベースステーションによって作成された。各装置の仕様を示す。

(1) VR-HMD

本実験で用いた VR 向け HMD を図 3-85 に示す。本実験では、HTC 製の HTC Vive pro を使用した。VR 空間内の表示や文字を鮮明に見ることができ、没入感の高さが特徴である。ディスプレイは対角 3.5 インチの有機 EL が 2 つ装備されるものであった。解像度は片目あたり 1440px×1600px (合計 2880px×1600px) で、リフレッシュレートは 90Hz、視野角は 110 度であった。



図 3-85 VR-HMD (Vive pro)

(2) ワイヤレスコントローラ

本研究で用いたコントローラを図 3-86 に示す。コントローラは VR 空間で使用することができ、トリガーとトラックパッドを備えていた。VR-HMD とコントローラがペアリングされた状態で使用した。



図 3-86 ワイヤレスコントローラ

(3) ベースステーション

本研究で用いたベースステーションを図 3-87 に示す。ベースステーションは、VR-HMD とコントローラに信号を送信することでそれらの動きを 360 度追跡し、精密な動作や位置を取得することができた。VR-HMD に装備されているセンサーにより、最大 5×5(m)の範囲において、VR-HMD を装着する人の顔の動きや位置のトラッキングが可能であった。



図 3-87 ベースステーション

3.5.2.3. 実験環境

慶應義塾大学工学部矢上キャンパス 24 棟 609 号室にて実験を実施した。ベースステーションは三脚を用いて床から 2.0m の高さになるように設置し、2 つのベースステーションの間隔は 3.90m であった。実験環境のベースステーション配置状況を図 3-88 に示す。

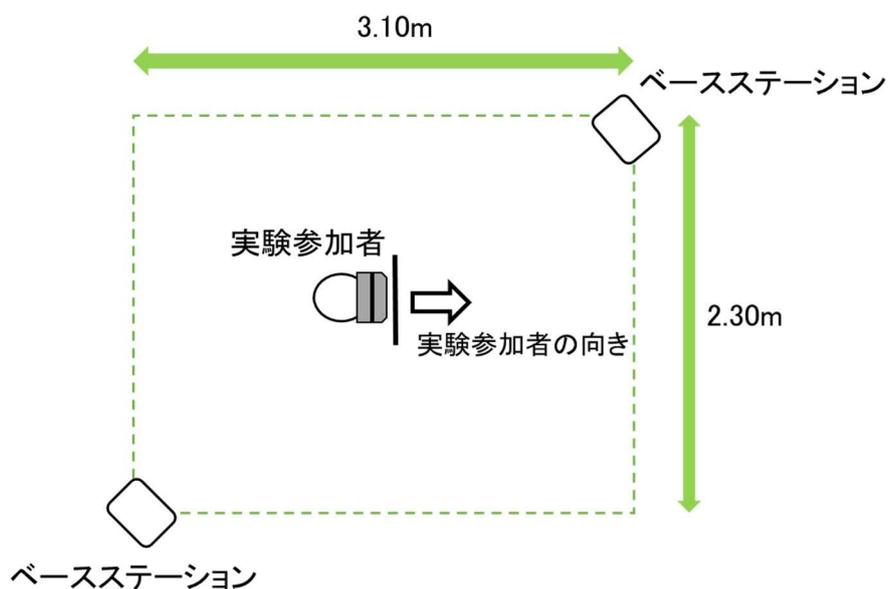


図 3-88 実験環境の様子

3.5.2.4. 開発用ソフトウェア

(1) Unity

Unity は統合開発環境を内蔵し、HTC 製 VR-HMD に対応する Unity Technologies SF 社のゲームエンジンで、使用したバージョンは 2018.2.1f1 であった。プログラミング言語は、スクリプト言語として C#, UnityScript (Javascript),

Boo の 3 種類に対応しており、本研究では C#により Visual Studio2017 を使用して実験環境を開発した。また、Unity Asset Store 上の 3D モデルを使用することで、実験環境におけるオブジェクトの作成が可能であった。

(2) SteamVR

SteamVR は、VR-HMD を Unity に接続するための PC 向けの VR プラットフォーム(Valve 製)であった。SteamVR Plugin を Unity Asset Store より導入することで、SteamVR を Unity 上で認識・制御することが可能であった。

3.5.2.5.VR 実験で設定した道路環境

(1) VR 実験で設定した道路環境

VR 実験で設定した道路環境を図 3-89 に示す。実験で使用したのは 2 方向・2 車線の道路で、実験参加者が無信号横断歩道の手前に立っている状態から開始した。横断歩道は長さ 5.7m で、右側から接近してくる先頭の車両は、実験参加者から 30m の距離から走行を始めるよう設定した。

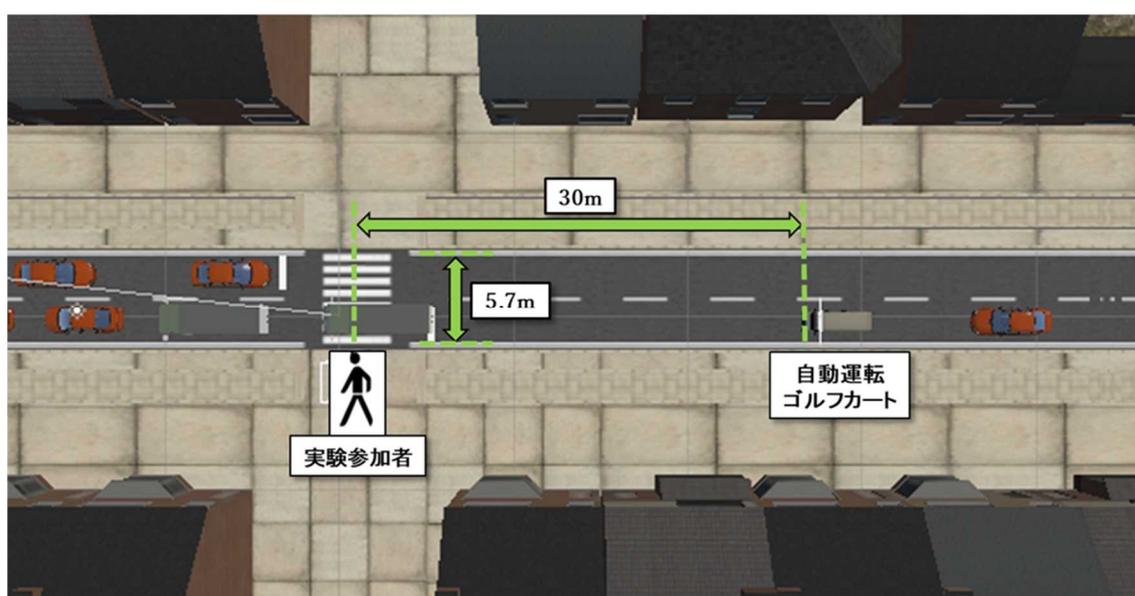


図 3-89 VR 実験で設定した道路環境の配置

使用した車両は、オーナーカーはトヨタプリウス（型式：DAA-ZVW51）の大きさに基づいて作成し、車両の最前端から最後端までの長さである車両の全長は約 4.5m、全幅は約 1.7m であった。オーナーカーにはドライバーを乗せ、手動運転で走行しているように見せた。ゴルフカートはヤマハ発動機株式会社のゴルフカート（型式：G30Es）の大きさに基づいて作成し、車両の全長は約 4.0m、全幅は約 1.4m であった。手動運転のゴルフカートにはドライバーを乗せたが、自動運転のゴルフカートにはドライバーを乗せず、無人で走行しているように

見せた。

右側から接近してくる先頭の車両には後続車としてオーナーカーが2台存在し、これらの後続車は先頭車両と同様の挙動をとるようにした。また、対向車線には対向車としてオーナーカーが3台存在し、先頭の対向車はシナリオごとに設定された挙動をとり、その後続車は先頭車両と同様の挙動をとるようにした。実験参加者から見た道路環境を図3-90に示す。



(a)実験参加者の左側の映像



(b)実験参加者の右側の映像



(c) 実験開始時の正面の映像

図 3-90 実験参加者から見た道路環境

3.5.2.6.実験条件

(1) ゴルフカートの車両挙動

ゴルフカートの車両挙動として、先行研究における試験走路での実験をもとに、初速2種類（25km/h、15km/h）と減速タイミング3種類（通常減速、早期減速、一定速通過）を組み合わせた6種類を設定した。通常減速は、ゴルフカートと実験参加者の距離が30mの地点から設定された初速で車両が動き始め、距離17m地点から減速を開始して停止線で停止する挙動とした。早期減速は、車両と実験参加者の距離が30mの地点から設定された初速で車両が動き始め、距離25m地点から減速を開始して距離12.25m地点で5km/hまで減速し、そこから停止線まで減速を続けて停止線で停止する挙動とした。一定速通過は、設定された初速のまま歩行者の前を通過する挙動とした。図3-91に、上記の車両

挙動をまとめたものを示す。図中の“外向け HMI タイミング”に関しては次項で述べる。

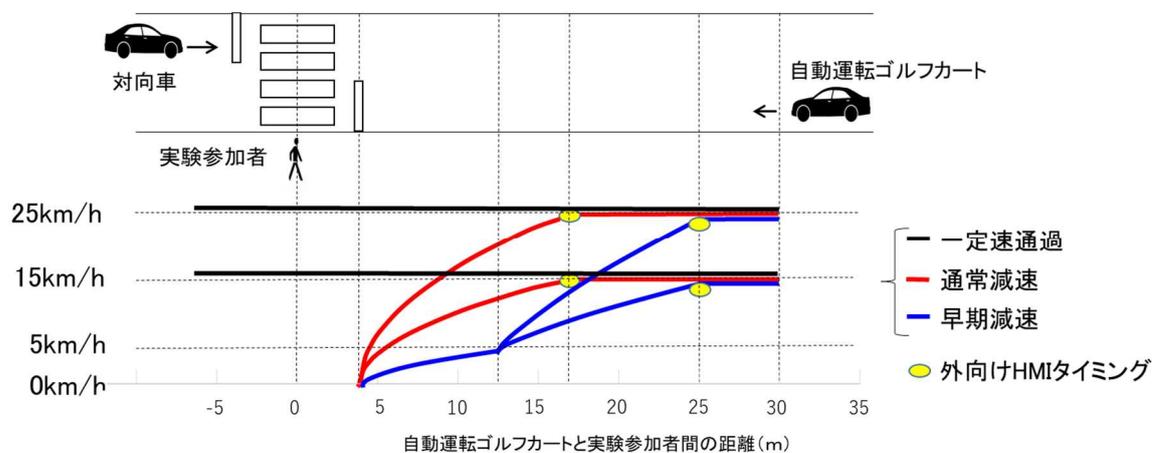


図 3-91 ゴルフカートの車両挙動

(2) 外向け HMI

外向け HMI なしの条件におけるゴルフカートの外観ならびに外向け HMI を用いたゴルフカートによる意図伝達の状況を図 3-92 に示す。



図 3-92 外向け HMI の様子

本実験では、自動運転車からの意図伝達が歩行者の横断判断に与える影響を検討することが目的であるため、そのメッセージをより明確に伝える手段として、テキストメッセージを選択した。使用したのは、ゴルフカートが途中で減速して停止線で停止する条件について、走行開始時は何も表示せず、減速開始タイミングで、赤い文字で“とまります”と書かれた白いパネルを表示し始めるという外向け HMI であった。減速開始タイミングとは、通常減速では距離 17m 地点、早期減速では距離 25m 地点のことを意味する。オーナーカーを対象

として実施された先行研究では、“お先にどうぞ”や“自動運転中”といったテキストメッセージも使用されてきたが、本研究では、外向け HMI のコンテンツによる違いではなく、外向け HMI の有無、つまり意図伝達の有無による違いを比較したいため、歩行者の横断判断の早期化に効果があると期待できる外向け HMI として、“とまります”を選択した。

3.5.2.7. 実験構成

車両挙動と外向け HMI の組合せに基づく実験条件を表 3-10 に示す。最初の練習は、VR 空間とコントローラの操作に慣れるために手動運転オーナーカーで実施した。基準データの収集は、手動運転オーナーカーと手動運転ゴルフカートで実施した。手動運転オーナーカーの試行は、現在の交通状況を再現したものとみなし、以降実施する自動運転ゴルフカートの試行の結果を現状と比較する際に基準とするものとして実施した。手動運転ゴルフカートの試行は、現状のドライバー有の手動運転オーナーカーと、サービスカーを想定したドライバー不在の自動運転ゴルフカートと比較する際に、ドライバーの有無と車両の形状という 2 要素の各影響を検討するために実施した。ここまでの試行では、対向車の車両挙動は、右側からの接近車両が停止線手前で停止する前に実験参加者の前を通過していく挙動（以降、“前通過”と称す）に統一した。これは、対向車が対向車線の停止線手前で停止して歩行者に進路を譲る条件の場合、歩行者の横断判断に対向車の車両挙動が影響を与えてしまう可能性があることを考慮した。前通過の車両挙動は、試行開始直後に対向車が実験参加者との距離 26m 地点から 30km/h で走行を開始して通過していくよう設定した。また、手動運転車の試行であるため、外向け HMI はなしで統一した。

二度目の練習は、自動運転ゴルフカートが接近してくる場面に慣れるために 4 試行実施した。一つ目と二つ目は、対向車の存在を意識させる、三つ目と四つ目は、自動運転ゴルフカートが必ずしも停止して譲ってくれるわけではないことを意識させるために実施した。練習後、車両挙動と外向け HMI の組み合わせの影響の検討のために、自動運転ゴルフカートで 12 試行実施した。対向車の車両挙動は、前通過に加えて、ゴルフカートが停止線手前で停止、もしくは停止線を通るタイミングの数秒前に対向車線の停止線手前で停止する挙動（以降、“前停止”と称す）と、ゴルフカートが停止線手前で停止、もしくは停止線を通るタイミングの数秒後に対向車線の停止線手前で停止する挙動（以降、“後停止”と称す）を含めた 3 種類とした。これは、実験参加者が右側からの接近車両にばかり注意を向けて対向車確認を怠ることを防ぐ目的で設定した。前停止の車両挙動は、ゴルフカートが実験参加者との距離 22m 地点まで走行したタイミングで、実験参加者との距離 26m 地点から 30km/h で走行

を開始して停止線手前で停止するよう設定した。後停止の車両挙動は、ゴルフカートが実験参加者との距離 12m 地点まで走行したタイミングで、実験参加者との距離 26m 地点から 30km/h で走行を開始して停止線手前で停止するよう設定した。ただし、先述した理由と同様の理由から、自動運転ゴルフカートの車両挙動と外向け HMI の組み合わせの影響を比較検討する際には、対向車の車両挙動が前通過の試行のみを使用した。表 3-11 に、実施した各試行のゴルフカートの車両挙動、対向車の車両挙動、外向け HMI の条件の組み合わせを示す。この 12 試行では、対向車の車両挙動が前通過の 4 試行（試行 1～4）と、その他の 8 試行（試行 5～12）を分けて、前通過の試行 1 つと他の試行 2 つが交互に体験されるように実施する試行順の割り当てを決めたうえで、4 試行と 8 試行のそれぞれについて乱数を発生させ、何回目の試行でどの試行番号の試行を実施するかを被験者ごとにランダムに配置した。これは、12 試行を体験する中で実験参加者の習熟がすすむことによる順序効果が出てくる可能性を考慮して設定した。外向け HMI の条件については、二度目の練習以降は HMI なしの実験参加者と HMI ありの実験参加者に分けて実験を行った。また、本研究では歩行者の横断判断に注目したいため、自動運転ゴルフカートの車両挙動のうち一定速通過の 2 条件はダミー条件として使用し、解析対象からは除外した。

最後に、外向け HMI の負の影響の検討のために、自動運転ゴルフカートで 1 試行実施した。この試行は、手前車線が渋滞のため横断歩道の左側でトラックが停止していて、そのトラックに隠れて対向車線の様子が確認しにくい状況とした。ゴルフカートの車両挙動は、初速 15km/h の通常減速とした。対向車の車両挙動は、実験参加者が横断歩道を渡り始めて既定の距離歩いたタイミングで、実験参加者との距離 21m 地点から 30km/h の速度で横断歩道に接近を開始し、減速することなく通過していくように設定した（以降、“後停止”と称す）。既定の距離は実験開始前に測定した各実験参加者の歩行速度をもとに算出された値で、実験参加者が一度も立ち止まることなく横断歩道を横断した場合に、実験参加者の背中が対向車とぎりぎり接触するかどうかの距離になるよう設定し、この条件で対向車と実験参加者の接触の有無を調査することで、外向け HMI の負の影響の検討とした。外向け HMI の条件については、二度目の練習以降の条件を各実験参加者にそのまま適用した。この試行は、実験参加者の学習を防ぐために一連の実験の最後に実施した。外向け HMI の負の影響の検討のための試行における実験参加者の左側の様子を図 3-93 に示す。

表 3-10 実験構成

	右側からの接近車両		対向車の車両挙動	外向けHMI	
	車両の種類	車両挙動			
練習	手動運転オーナーカー	減速・停止（初速15km/h）	前通過	なし	
基準データの収集	手動運転オーナーカー	減速・停止（初速15km/h）	前通過	なし	
	手動運転ゴルフカート	減速・停止（初速15km/h）	前通過	なし	
練習	自動運転ゴルフカート	減速・停止（初速15km/h）	前通過	なし	あり
		減速・停止（初速15km/h）	後停止	なし	あり
		一定速通過（25km/h）	前通過	なし	あり
		一定速通過（15km/h）	前通過	なし	あり
車両挙動とHMIの影響の検討	自動運転ゴルフカート		前通過	なし	あり
				なし	あり
				なし	あり
			前通過	なし	あり
				なし	あり
				なし	あり
			前通過	なし	あり
				なし	あり
				なし	あり
			前通過	なし	あり
		なし	あり		
負の影響の検討	自動運転ゴルフカート	減速・停止（初速15km/h）	後通過	なし	あり

表 3-11 車両挙動と外向け HMI の組み合わせの影響の検討における試行

試行番号	自動運転ゴルフカートの車両挙動	対向車の車両挙動
1	減速・停止（初速25km/h）	前通過
2	早期減速・停止（初速25km/h）	前通過
3	減速・停止（初速15km/h）	前通過
4	早期減速・停止（初速15km/h）	前通過
試行番号	自動運転ゴルフカートの車両挙動	対向車の車両挙動
5	一定速通過（25km/h）	前停止
6	一定速通過（15km/h）	前停止
7	減速・停止（初速15km/h）	前停止
8	早期減速・停止（初速15km/h）	前停止
9	一定速通過（25km/h）	後停止
10	一定速通過（15km/h）	後停止
11	減速・停止（初速15km/h）	後停止
12	早期減速・停止（初速15km/h）	後停止



図 3-93 外向け HMI の負の影響の検討における実験参加者の左側の映像

3.5.2.8. 実験タスク

本実験では、実験参加者に、左右から接近してくる車両を見て横断できると判断したときに、実際に歩いて横断する代わりに、手元のコントローラのトリガーを引くことで横断歩道を横断するというタスクを課した。ただし、VR 空間内での歩行速度は、実験開始前に実験参加者ごとに測定した歩行速度に設定した。

3.5.2.9. 評価項目

実験参加者には、年齢、性別、視力、VR 経験、普段の歩行の特性等について事前にアンケート調査を行った。全試行終了後には、外向け HMI あり条件の被験者に対しては、実験 2 についてのアンケートにも回答させた。対向車

線を確認しようと思ったかどうかと、対向車との遭遇時の心境とその理由について質問した。その後、全実験参加者に対して最終質問調査を実施した。自動運転車のどのような挙動に譲り意図を感じるか、急いで横断しようと思う理由、VR-HMD装着中の体調不良の有無、VR映像の違和感の有無について質問した。

(1) 横断開始時の距離と速度

実験参加者が右側から接近してくる先頭の車両からの譲りを認識して横断を開始したタイミングにおける、実験参加者と車両の間の距離を、横断開始時の距離と定義する。この距離は、車両の最前端から歩行者までの距離を測定した。また、同タイミングにおける、右側から接近してくる先頭の車両の速度も測定した。

(2) 完全停止から横断開始までの時間

実験参加者が右側から接近してくる先頭の車両からの譲りを認識して横断を開始したタイミングに注目し、その車両が停止線手前で完全停止したタイミングとの時間差を、完全停止から横断開始までの時間と定義する。正の値は、車両が完全停止する様子を確認してから実験参加者が横断を開始したことを意味し、負の値は、車両の完全停止前に横断可能と判断して横断を開始したことを意味する。

(3) 譲りの認識度、安心感の程度、気づかいの程度

1 試行終了ごとに VR 空間の画面が切り替わり、図 3-94 に示すような 3 項目の主観評価アンケートが表示され、5 段階の尺度から数字を選び、実験参加者に口頭で回答させた。一つ目の質問で、横断判断前に右側から接近してきた先頭の車両からどの程度譲られていると感じたかを評価させた。この回答を譲りの認識度と定義する。二つ目の質問で、右側から接近してきた先頭の車両からの譲り意図を認識して横断できると判断した時に、どの程度安心して横断できると感じたかを評価させた。この回答を安心感の程度と定義する。三つ目の質問で、右方もしくは左方から接近してきた車両が停止線手前で停止した時に、車両に対してどの程度気をつけて早く渡ろうと感じたかを評価させた。この回答を気づかいの程度と定義する。この評価項目は、歩行者が車両からの譲りを感じ取って早く渡らなければという焦りが生まれることで、左右の安全確認が不十分なまま横断を開始するという行動を引き起こす可能性があるのではないかと仮定のもと、評価項目として使用した。

- 1.右側から接近してきた先頭の車はあなたに対して道を譲ってくれていた
- 2.右側から接近してきた先頭の車が通過する前に、安心して渡ることができた
- 3.とまってくれた車に気を遣って早く渡ろうとした

- 回答の選択肢
- ①全く同意しない
 - ②同意しない
 - ③どちらともいえない
 - ④同意する
 - ⑤強く同意する

図 3-94 主観評価アンケート

3.5.2.10.実験参加者

実験参加者は 20 名（平均：39.3 歳、標準偏差：11.6 歳、22～56 歳）であり、男性 11 名（平均：35 歳、標準偏差：11.1 歳、22～56 歳）、女性 9 名（平均：44.6 歳、標準偏差：9.8 歳、26～55 歳）であった。HMI の有無の条件について、10 名ずつ実験を行った。HMI なし条件の 10 名（平均：39.1、標準偏差：10.7 歳、22～54 歳）は、男性 6 名（平均：36 歳、標準偏差：9.6 歳、22～50 歳）、女性 4 名（平均：43.8 歳、標準偏差：10.6 歳、26～54 歳）であった。HMI あり条件の 10 名（平均：39.5 歳、標準偏差：12.3 歳、22～56 歳）は、男性 5 名（平均：33.8 歳、標準偏差：12.5 歳、22～56 歳）、女性 5 名（平均：45.2 歳、標準偏差：9.2 歳、28～55 歳）であった。全実験参加者は両眼視力 0.7 以上で、運転免許を保有していた。また、男性 9 名、女性 6 名に VR 経験があった。

3.5.2.11.実験手続き

本実験は、慶應義塾大学理工学部・理工学研究科生命倫理委員会からの承認を得て実施された。実験開始前に、実験参加者に対して実験内容の説明を行い、実験協力への同意を得た。また、年齢、性別、視力、VR 経験、普段の歩行の特性等に関するアンケートへの回答を指示した。その後、実験参加者の両眼視力と歩行速度の測定を行った。

次に実験参加者に実験内容と方法の詳細を説明した。実験内容としては、左右から接近してくる車両を見て横断できると判断したときに、手元のコントローラのトリガーを引くことで横断歩道を横断するというタスクを課すと伝えた。コントローラの操作については、人差し指でトリガーを引くと前進することができ、親指でトラックパッドを押すと後退することができることを伝えた。

その後、ベースステーションから検知しやすい指定の位置に実験参加者を立たせ、実験中はその位置から動かないよう、実際に歩くことがないよう指示した。その場で VR-HMD を装着し、コントローラを持たせ、練習試行を実施し

た。各試行の開始時には、実験参加者には横断歩道の方向（正面向き）を向いているように指示し、道路の場面に切り替わって準備ができ次第ゆっくり右側を見て、右側に位置する車両を視認するよう伝えた。実験参加者が右側の先頭車両を視認するとその車両が横断歩道に接近し始め、少しでも安全に渡れると思ったタイミングで横断を開始すること、ただし一か八かで渡るといようなゲーム感覚にはならず、ぶつかったらけがをする本当の道路だと思って、普段横断歩道を横断するときと同じように周囲の交通に注意しながら横断することを指示した。

横断後には VR 空間内の表示が道路からアンケートに切り替わり、表示された 3 つの質問に対してそれぞれ 5 段階の尺度で回答すること、またその理由についても口頭で回答することを伝えた。練習試行の際に、アンケート項目への回答の練習も実施、回答が終了しても実験実施者の指示があるまではコントローラのトリガーの操作をしないよう指示した。また、実験参加者には、必要な時に休憩をとることができることを伝え、実験実施者は、実験参加者が酔いを催していないか適宜確認した。

VR 環境での横断判断、コントローラの操作方法、アンケートの回答方法について十分に練習した後、右方、左方から接近してくる車両はすべて手動運転車であることを伝え、周囲の交通に注意しながら普段と同じように横断するよう指示したうえで、基準データの収集のために手動運転オーナーカーの試行を実施し、VR 空間内の主観評価アンケートに回答させた。以降の各試行の開始前には毎回、周囲の交通に注意しながら普段と同じように横断するよう指示し、横断後には VR 空間内のアンケートに回答させた。

手動運転オーナーカーと手動運転ゴルフカートの 2 試行を実施後、自動運転ゴルフカートの試行を開始する前に、次から体験する試行において右側から接近してくる先頭の車両はゴルフカートで、それは自動運転車であることを伝えた。自動運転車については、道路交通法を遵守し、可能な限り歩行者に対して進路を譲るように設計されていること、ただし、現在の技術水準では、周囲の交通状況等によっては歩行者に進路を譲れないことがあることを教示し、自動運転車がすべての場面で譲るとは限らないことを認識しているよう指示した。同時に、ゴルフカート以外の車両はすべて手動運転車であることを伝えた。自動運転のゴルフカートが接近してくる場面の練習として 4 試行実施した後に、本番の開始を伝えて、車両挙動と外向け HMI の組み合わせの影響の検討として 12 試行実施した。その後、外向け HMI の負の影響の検討として 1 試行実施した。全試行終了後に、外向け HMI あり条件の実験参加者に対しては、外向け HMI の負の影響の検討として最後に実施した試行についてのアンケートにも回答させた。その後、全実験参加者に対して最終質問調査を実施した。

3.5.2.12.実験結果

(1) 車両挙動と外向け HMI の組み合わせの影響の検討

(1-1) ゴルフカートの車両挙動と外向け HMI

(1-1-1) 横断開始時の距離と速度

HMI なしの実験参加者における横断開始時の距離と速度の関係を図 3-95 に示す。ただし、図中の赤い曲線は通常減速、青い曲線は早期減速の測定データであり、図 3-91 のゴルフカートの車両挙動に対応している。

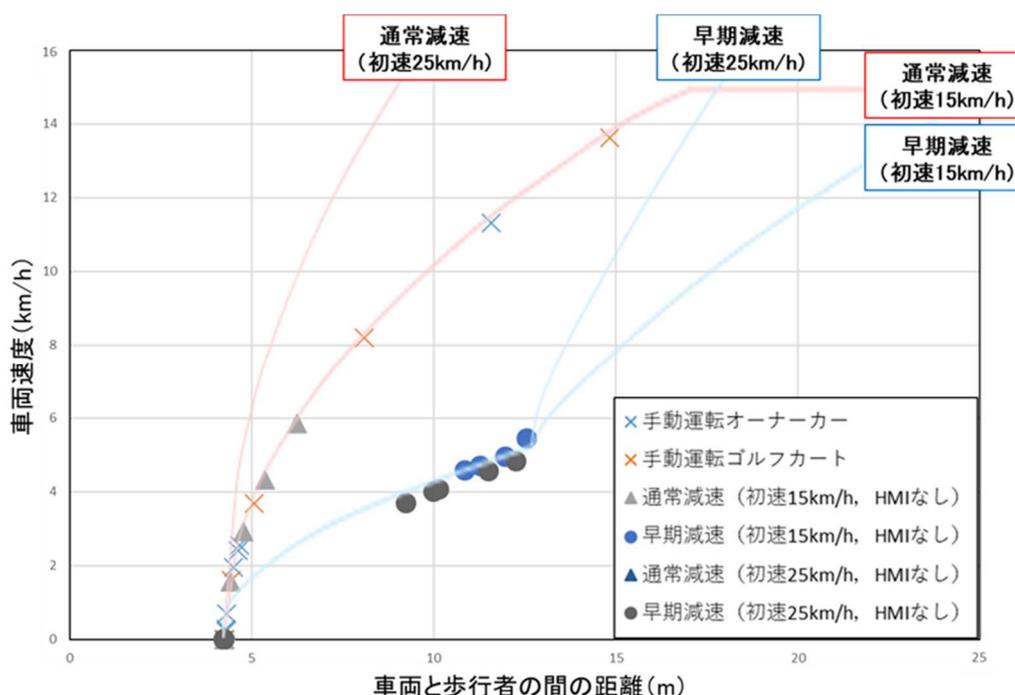


図 3-95 HMI なしの実験参加者における横断開始時の距離と速度

初速 25km/h の通常減速では、ゴルフカートの完全停止後に横断する傾向が見られた。本研究での実験参加者全員がゴルフカートの完全停止を確認してから横断を開始していた。他の車両挙動では、完全停止前と後で二種類の横断傾向が見られた。初速 15km/h の通常減速では、完全停止前に横断開始した実験参加者が 4 名いたが、この 4 名は全員、手動運転オーナーカー、手動運転ゴルフカートの一方もしくは両方の試行においても車両の完全停止前に横断を開始していた。早期減速については、完全停止前に横断開始した実験参加者は、初速 15km/h で 4 名、初速 25km/h で 5 名であった。初速 15km/h で完全停止前に横断開始した 4 名は全員、初速 25km/h でも完全停止前に横断開始していた。また、この 4 名は、初速 15km/h の通常減速で完全停止前に横断開始した 4 名と一致していた。

HMI ありの実験参加者における横断開始時の距離と速度の関係を図 3-96 に示す。ただし、図中の赤い曲線は通常減速、青い曲線は早期減速の測定データであり、図 3-91 のゴルフカートの車両挙動に対応している。

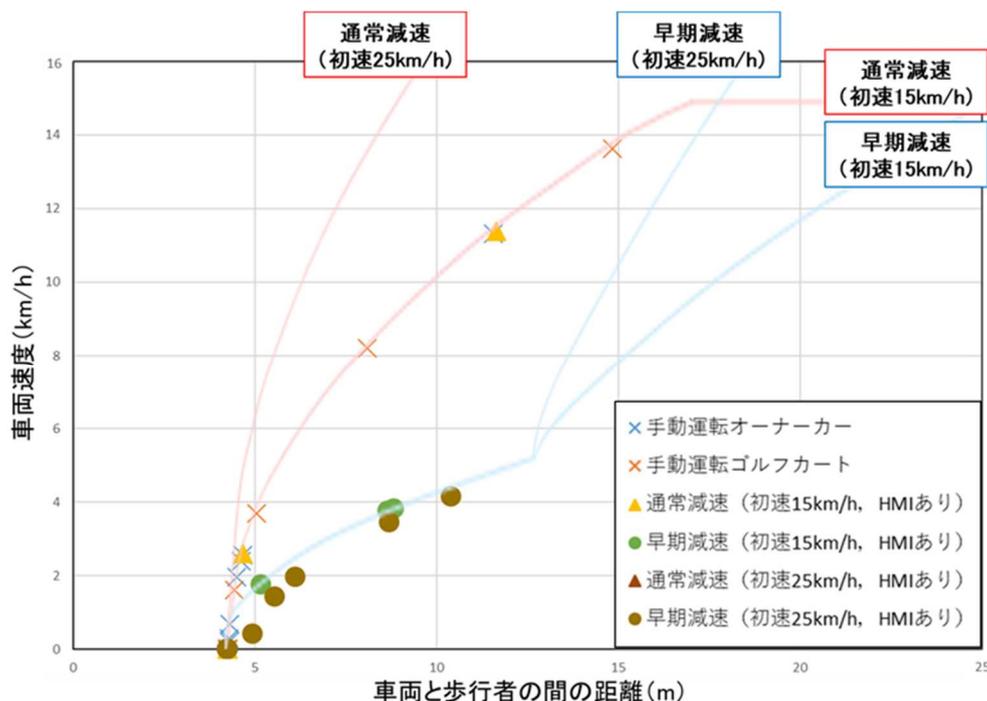
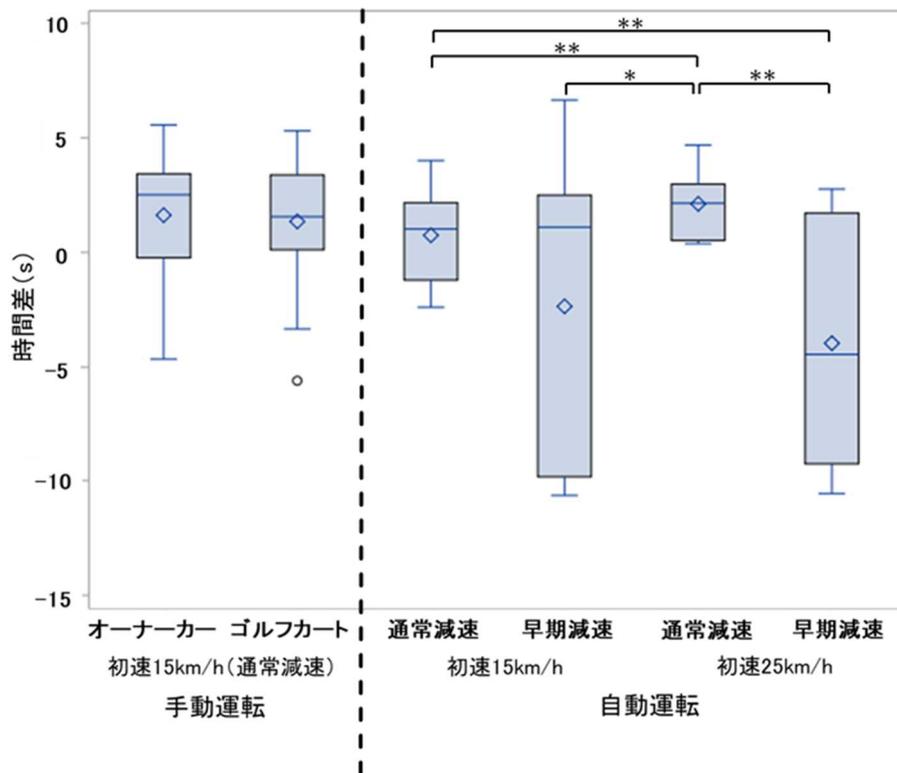


図 3-96 HMI ありの実験参加者における横断開始時の距離と速度

初速 25km/h の通常減速では、ゴルフカートの完全停止後に横断する傾向が見られた。本研究での実験参加者全員がゴルフカートの完全停止を確認してから横断を開始していた。他の車両挙動では、完全停止前と後で二種類の横断傾向が見られた。初速 15km/h の通常減速では、完全停止前に横断開始した実験参加者が 2 名いたが、この 2 名はどちらも、手動運転オーナーカーの試行においても車両の完全停止前に横断を開始していた。早期減速については、完全停止前に横断開始した実験参加者は、初速 15km/h で 4 名、初速 25km/h で 5 名であった。初速 15km/h で完全停止前に横断開始した 4 名は全員、初速 25km/h でも完全停止前に横断開始していた。また、この 4 名の中には、初速 15km/h の通常減速で完全停止前に横断開始した 2 名が含まれていた。図 3-95 と図 3-96 を比較すると、HMI なしの方が完全停止前横断のタイミングが早いことが見て取れる。

(1-1-2) 完全停止から横断開始までの時間

HMI なしの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間を図 3-97 に示す。

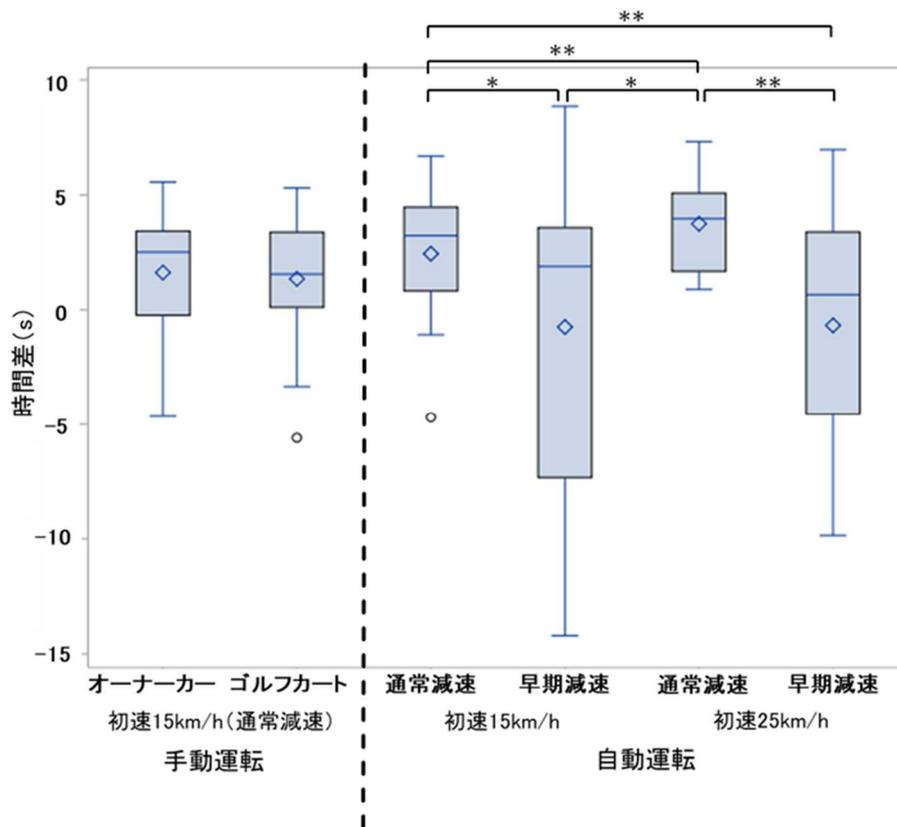


*有意確率 5%, **有意確率 1%

図 3-97 HMI なしの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間

通常減速よりも早期減速の方が横断開始が早まる傾向が見られた。時間差を従属変数、車両挙動を独立変数として Friedman 分析を実施したところ、有意差が見られた。そこで、Wilcoxon の符号順位検定を実施したところ、初速 25km/h の通常減速と初速 25km/h の早期減速の間で p 値は 0.0039 で有意差が見られ、初速 15km/h の通常減速と初速 25km/h の通常減速の間で p 値は 0.0098、初速 15km/h の通常減速と初速 25km/h の早期減速の間で p 値は 0.0098 で、有意傾向が見られた。また、車両挙動が同じである手動運転オーナーカー、手動運転ゴルフカート、初速 15km/h の通常減速の 3 試行に注目すると、箱ひげ図の形状が類似していることが見て取れる。

HMI ありの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間を図 3-98 に示す。



*有意確率 5%, **有意確率 1%

図 3-98 HMI ありの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間

通常減速よりも早期減速の方が横断開始が早まる傾向が見られた。時間差を従属変数、車両挙動を独立変数として Friedman 分析を実施したところ、有意差が見られた。そこで、Wilcoxon の符号順位検定を実施したところ、初速 25km/h の通常減速と初速 25km/h の早期減速の間で p 値は 0.002 で有意差が見られ、初速 15km/h の通常減速と初速 25km/h の通常減速の間で p 値は 0.0098、初速 15km/h の早期減速と初速 25km/h の通常減速の間で p 値は 0.0137、初速 15km/h の通常減速と初速 25km/h の早期減速の間で p 値は 0.0098 で、有意傾向が見られた。また、車両挙動が同じである手動運転オーナーカー、手動運転ゴルフカート、初速 15km/h の通常減速の 3 試行に注目すると、箱ひげ図の形状が類似していることが見て取れる。

(1-1-3) 譲りの認識度

HMI なしの実験参加者における譲りの認識度として、“車は道を譲ってくれていた” に対する回答結果を図 3-99 に示す。

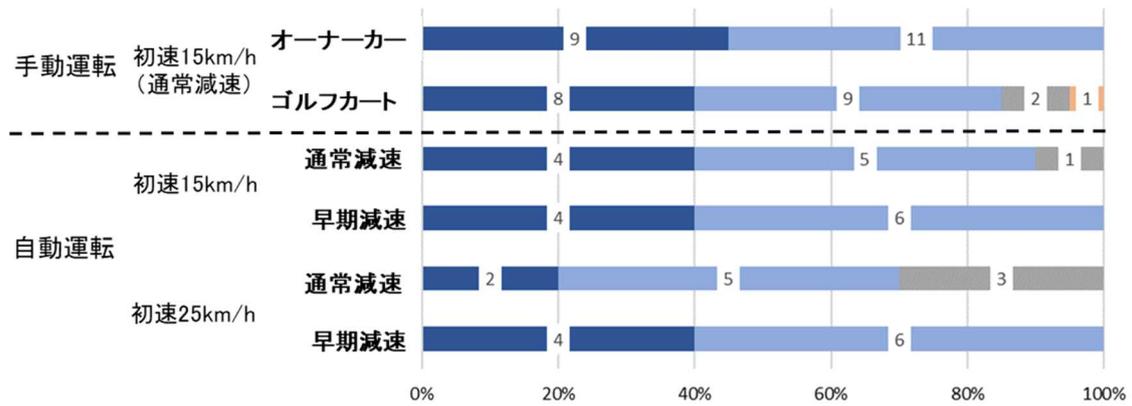


図 3-99 HMI なしの実験参加者における譲りの認識度

初速 25km/h の通常減速のみ“強く同意する”の回答数が少ないことから、この条件は他条件よりも歩行者が譲り意図を受け取りにくい傾向が見て取れる。また、通常減速では“どちらとも言えない”という回答者がいる一方で、早期減速では全員が“強く同意する”もしくは“同意する”と回答していることから、早期減速の方が譲り意図が歩行者に伝わりやすい傾向が見て取れる。譲りの認識度を従属変数、車両挙動を独立変数として Friedman 分析を実施したところ、p 値が 0.0185 で有意差が見られた。しかし、Wilcoxon の符号順位検定では、どの挙動間でも有意傾向は見られなかった。

HMI ありの実験参加者における譲りの認識度として、“車は道を譲ってくれていた”に対する回答結果を図 3-100 に示す。

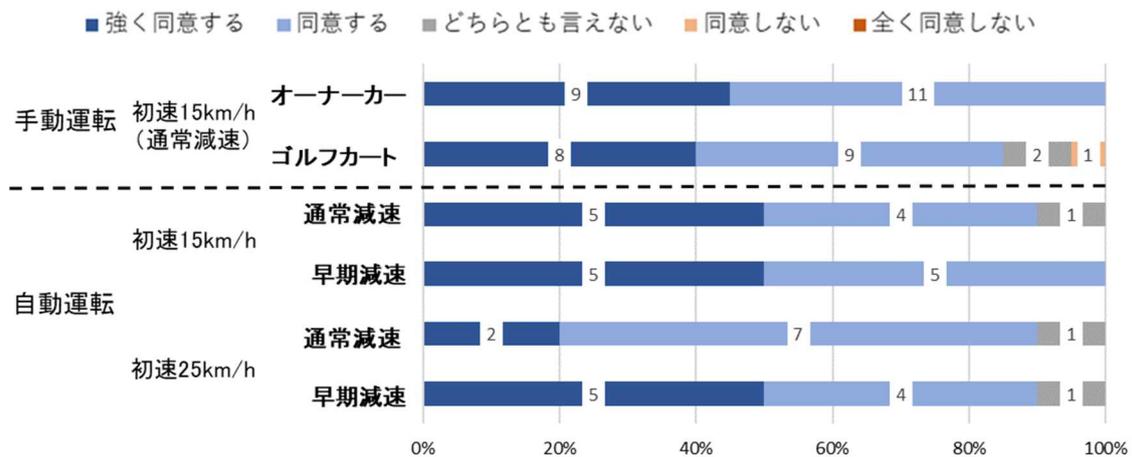


図 3-100 HMI ありの実験参加者における譲りの認識度

初速 25km/h の通常減速のみ“強く同意する”の回答数が少ないことから、この条件は他条件よりも歩行者が譲り意図を受け取りにくい傾向が見て取れる。また、初速 15km/h の早期減速では全員が“強く同意する”もしくは“同意する”と回答していることから、この条件は他条件よりも譲り意図が歩行者に

伝わりやすい傾向が見て取れる。譲りの認識度を従属変数、車両挙動を独立変数として Friedman 分析を実施したが、有意差は見られなかった。

図 3-99 および図 3-100 の比較より、全条件において、譲りの認識度は高い傾向が見られた。また、“強く同意する” もしくは “同意する” の回答数に注目すると、HMI ありの方が譲り意図が伝わりやすい傾向が見て取れる。試行後のアンケートでは、HMI ありの 10 名のうち 6 名が、車両からの譲り意図を感じた理由として HMI を見たことを挙げていた。

(1-1-4) 安心感の程度

HMI なしの実験参加者における安心感の程度として、“安心して渡ることができた” に対する回答結果を図 3-101 に示す。

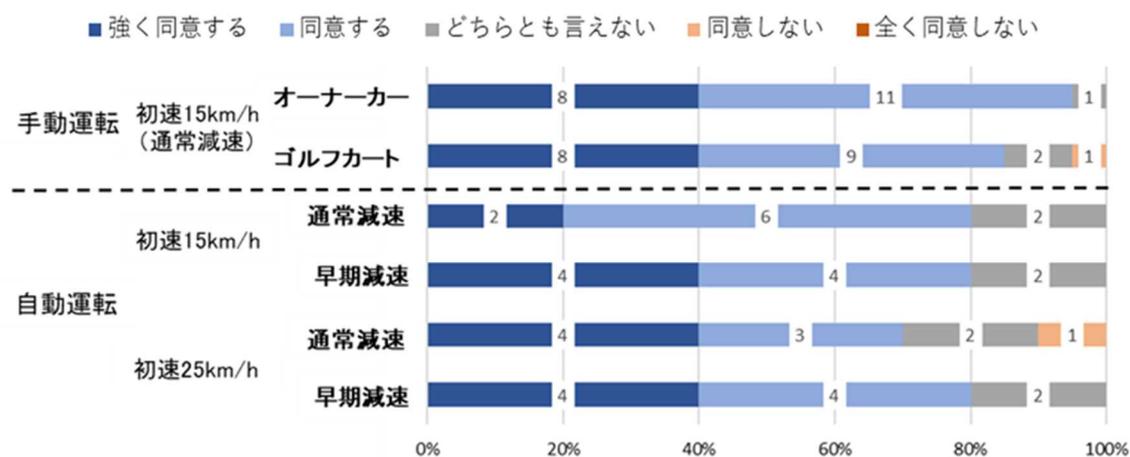


図 3-101 HMI なしの実験参加者における安心感の程度

初速 25km/h の通常減速のみ “同意しない” という回答者が 1 名いることが見て取れる。試行後のアンケートで、“車両速度がはやかったため停止するか判断できず、停止後も再び動き出す可能性を考えて横断中もゴルフカートに注意を向けていた” と回答していた。安心感の程度を従属変数、車両挙動を独立変数として Friedman 分析を実施したが、有意差は見られなかった。

HMI ありの実験参加者における安心感の程度として、“安心して渡ることができた” に対する回答結果を図 3-102 に示す。

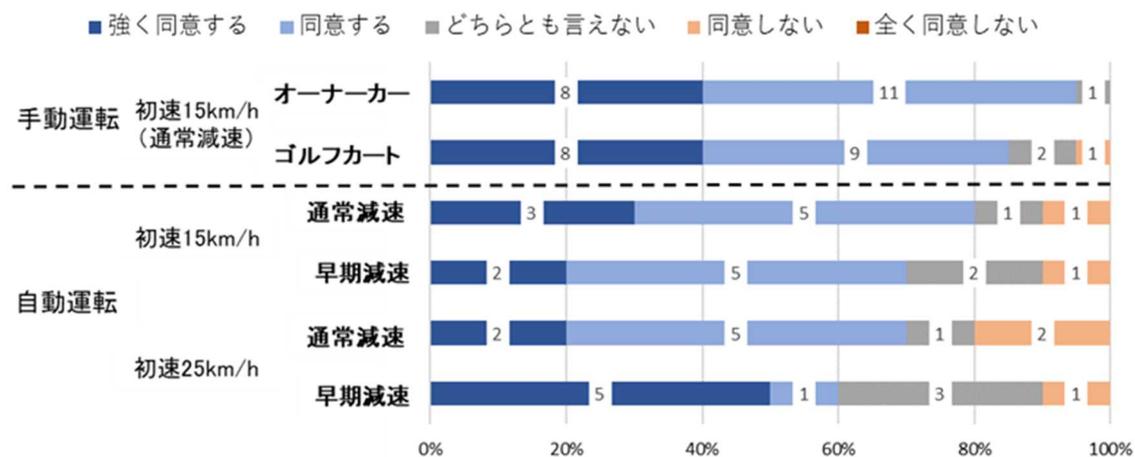


図 3-102 HMI ありの実験参加者における安心感の程度

安心感の程度が低い回答が一定数存在することが見て取れる。試行後のアンケートでは、“システムで動く自動運転車には誤作動等の可能性があり信用できない”、“無人で走行するのは怖い”という回答があった。また、初速によらず、早期減速において“どちらとも言えない”という回答が多くなっていることが読み取れる。試行後のアンケートでは、“減速後の車両速度があまりにも低速で、このまま動き続けるのではないかと思った”という回答があった。安心感の程度を従属変数、車両挙動を独立変数として Friedman 分析を実施したが、有意差は見られなかった。

図 3-101 および図 3-102 の比較より、全条件において、安心感の程度は高い傾向が見られた。また、HMI ありの方が安心感が低い結果となっているが、試行後のアンケートでは、HMI ありの 10 名のうち 4 名が、安心して横断できた理由として HMI を見たことを挙げていた。一方、HMI があることにより安心感が低下したという回答は見られなかった。

(1-1-5) 気づかいの程度

図 3-103 に、HMI なしの実験参加者における気づかいの程度として、“車を気を遣って早く渡ろうとした”に対する回答結果を示す。ただし、質問の解釈が二種類に分かれて、“車両が再び動き出すのが怖いから早く渡ろうと思った”という理由で“同意する”を選択した回答が複数あったが、それらは今回の質問の意図に沿わないため、解析対象からは除外した。

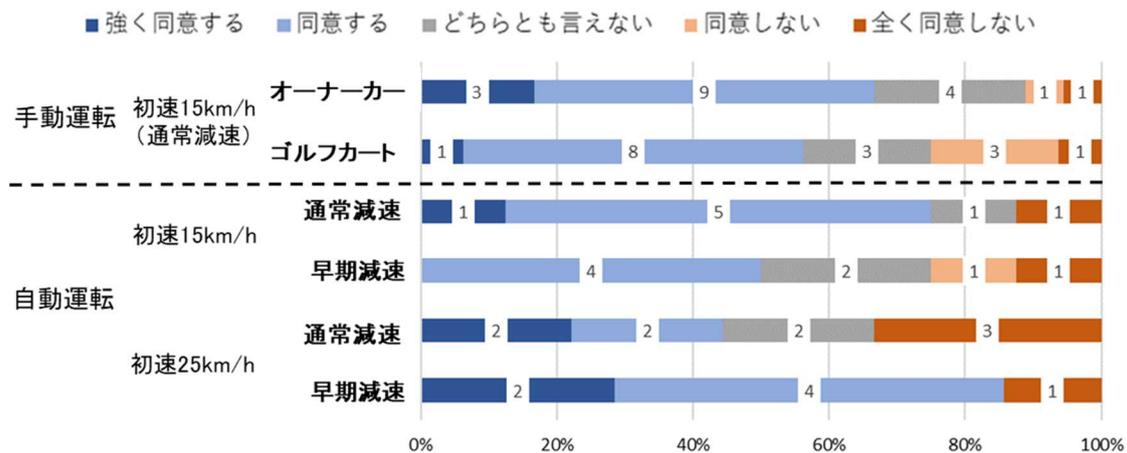


図 3-103 HMI なしの実験参加者における気づかひの程度

初速 25km/h の通常減速の“全く同意しない”という回答が多いことが見て取れる。試行後のアンケートでは、“無人の機械に対して気をつかう必要はないと思った”という回答があった。一方、初速 25km/h の早期減速の“強く同意する”と“同意する”の回答が多いことも見て取れる。試行後のアンケートでは、“自分のことを認識してくれていると感じた”、“停止してくれたことへの感謝の気持ちを抱いた”、“後続車にも悪いと思った”という回答があった。

HMI ありの実験参加者における気づかひの程度の結果のうち、“車に気を遣って早く渡ろうとした”に対する回答結果を図 3-104 に示す。ただし、“車両が再び動き出すのが怖いから早く渡ろうと思った”という理由で“同意する”を選択した回答は解析対象から除外した。

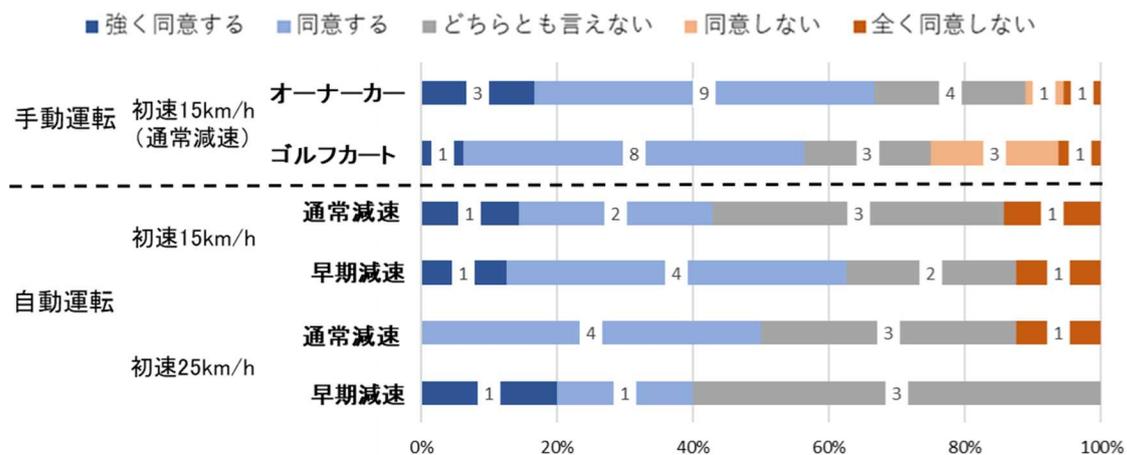


図 3-104 HMI ありの実験参加者における気づかひの程度

初速 25km/h の早期減速の“どちらとも言えない”の回答が多いことが見て取れる。試行後のアンケートでは、“低速だから急ぐ必要がないと思った”、“無

人であるうえに停止してくれたから急ぐ必要がないと思った”という回答があった。図 3-103 および図 3-104 の比較より、HMI の有無で気づかひの程度に大きな差があるわけではないことが見て取れる。

(1-1-6) 二元配置分散分析の結果

完全停止から横断開始までの時間を従属変数、車両挙動（通常減速、早期減速）と外向け HMI（なし、あり）を独立変数として、初速 15km/h の場合と初速 25km/h の場合についてそれぞれ二元配置分散分析を実施した。表 3-12 に初速 15km/h の場合の分散分析表、表 3-13 に初速 25km/h の場合の分散分析表を示す。ただし、二元配置分散分析はデータの正規性が仮定されなくてもある程度頑健性があることを前提に実施した。

表 3-12 初速 15km/h の場合の分散分析表

要因	自由度	平方和	平均平方	F 値	Pr > F
Behavior	1	98.85299727	98.85299727	3.46	0.071
HMI	1	27.28713316	27.28713316	0.96	0.3349
Behavior*HMI	1	0.02050102	0.02050102	0	0.9788

表 3-13 初速 25km/h の場合の分散分析表

要因	自由度	平方和	平均平方	F 値	Pr > F
Behavior	1	275.3988575	275.3988575	15.21	0.0004
HMI	1	60.4731441	60.4731441	3.34	0.0759
Behavior*HMI	1	6.8988493	6.8988493	0.38	0.5409

表 3-1 および表 3-2 より、初速によらず、車両挙動と外向け HMI の交互作用は認められない結果となった。しかし、平均平方の大小関係に注目すると、表 3-1 では $98.9 > 27.3$ 、表 3-2 では $275.4 > 60.5$ より、外向け HMI の有無よりも車両挙動の違いの方が、歩行者の横断開始タイミングに与える影響が大きいことが示唆された。

(1-2) 対向車の車両挙動の影響

HMI なしの実験参加者における左右の両車両の完全停止から横断開始までの時間を図 3-105 に示す。ただし、ゴルフカートの車両挙動が初速 15km/h の通常減速の場合のみを抽出した。図中の赤点線はゴルフカートの完全停止タイミング、緑点線は対向車の完全停止タイミングを表している。

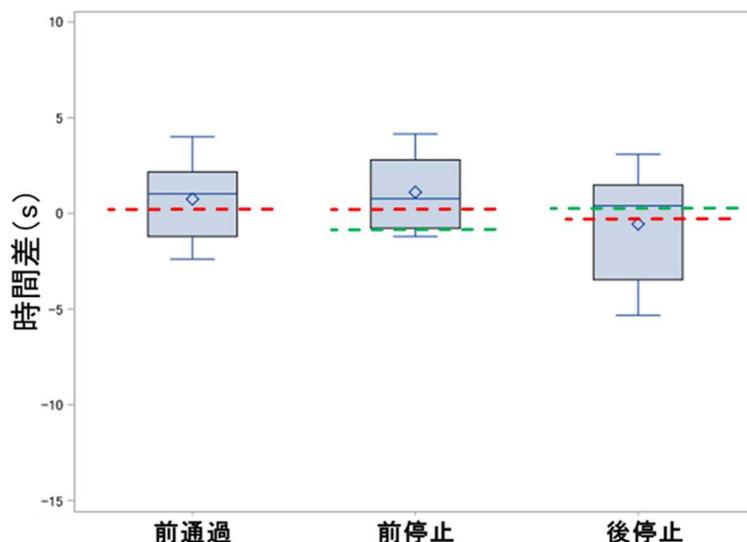


図 3-105 HMI なしの実験参加者における左右の両車両の完全停止から横断開始までの時間

HMI ありの実験参加者における左右の両車両の完全停止から横断開始までの時間を図 3-106 に示す。ただし、ゴルフカートの車両挙動が初速 15km/h の通常減速の場合のみを抽出した。図中の赤点線はゴルフカートの完全停止タイミング、緑点線は対向車の完全停止タイミングを表している。

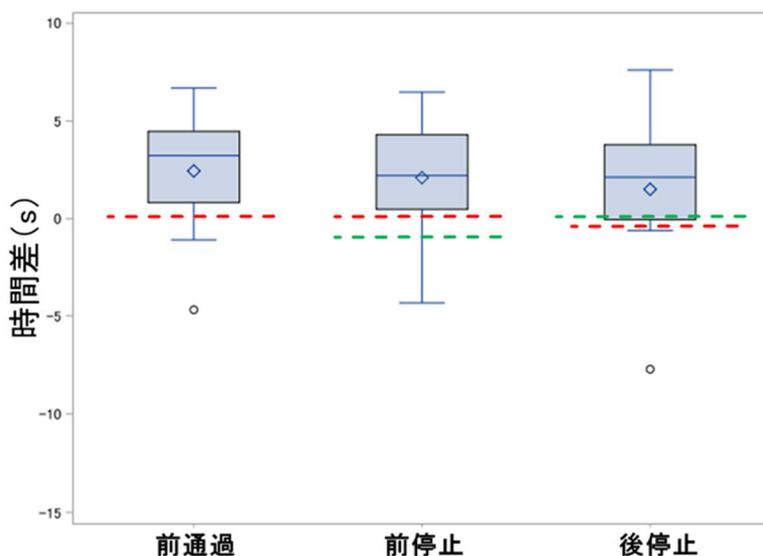


図 3-106 HMI ありの実験参加者における左右の両車両の完全停止から横断開始までの時間

図 3-106 より、HMI なしの場合に後停止において早く横断する傾向が見られた。しかし、HMI の有無によらず、対向車の車両挙動の 3 条件で平均値、中央値の値に大きな差異は見られない結果となった。

(1-3) 外向け HMI の負の影響の検討

(1-3-1) 接触の有無

外向け HMI なし条件と外向け HMI あり条件について、対向車との接触の有無をまとめた結果を図 3-107 に示す。対向車が後通過の条件であるため、実験参加者は、横断途中で死角から現れた対向車を視認して、対向車が横断歩道を通過した後に横断することが期待される。対向車線に注意を向け続けて、対向車を視認後中央線手前で立ち止まって対向車を通過させることができた実験参加者は接触なしとして扱い、途中立ち止まりつつも確認が不十分で対向車を認識できなかった実験参加者や、認識しても立ち止まらなかった実験参加者を接触ありとして扱った。左を見ることなく、一度も立ち止まらずに横断を続けた実験参加者はニアミスとした。

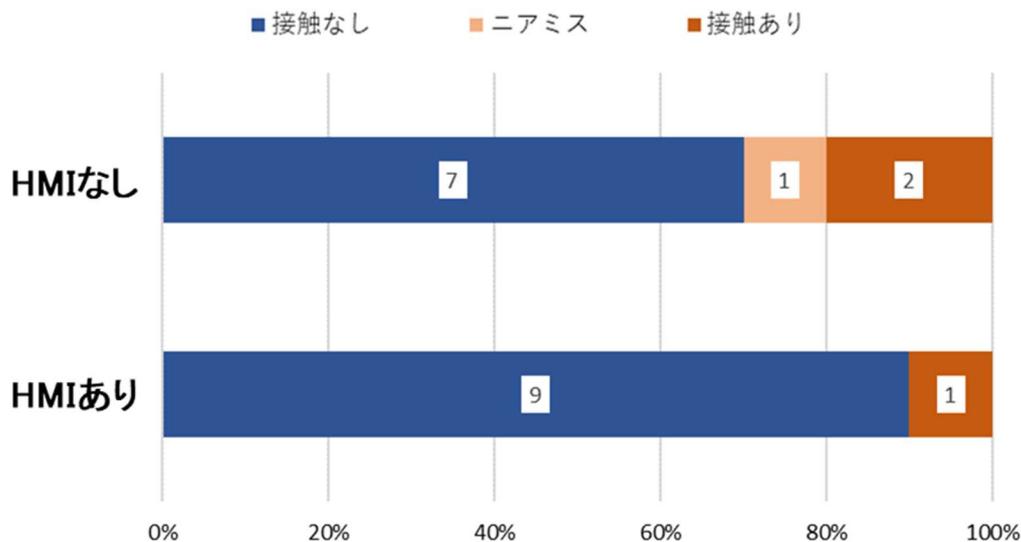


図 3-107 対向車との接触の有無

死角から現れた対向車との接触が、HMI なしで 2 件、HMI ありで 1 件観測された。HMI なし条件で接触した 2 名は、途中立ち止まりつつも確認が不十分で対向車を認識することができなかった。HMI あり条件で接触した 1 名は、試行後のアンケートにおいて、“対向車が予期せず横断歩道直前にいた”、“対向車が止まってくれると思ったのに止まってくれなかった”。“左側から接近する対向車がいたとしても右側で止まっている自動運転車の状況を見ていれば、対向車も横断歩道手前で止まると思った”と回答していた。

HMI なし条件でニアミスの 1 名は、ゴルフカートの停止を確認後、一度も左を確認することなく立ち止まることもなく横断していた。この実験参加者は、一連の実験においても、横断開始前は左右に注意を払っているものの、横断開始後は正面を向いたままである傾向が見られた。

(1-3-2) 横断開始時の距離と速度

外向け HMI なし条件と外向け HMI あり条件について、横断開始時の距離と速度の関係を図 3-108 に示す。ただし、図中の赤い曲線は減速・停止挙動、青い曲線は早期減速・停止挙動の測定データであり、図 3-91 のゴルフカートの車両挙動に対応している。

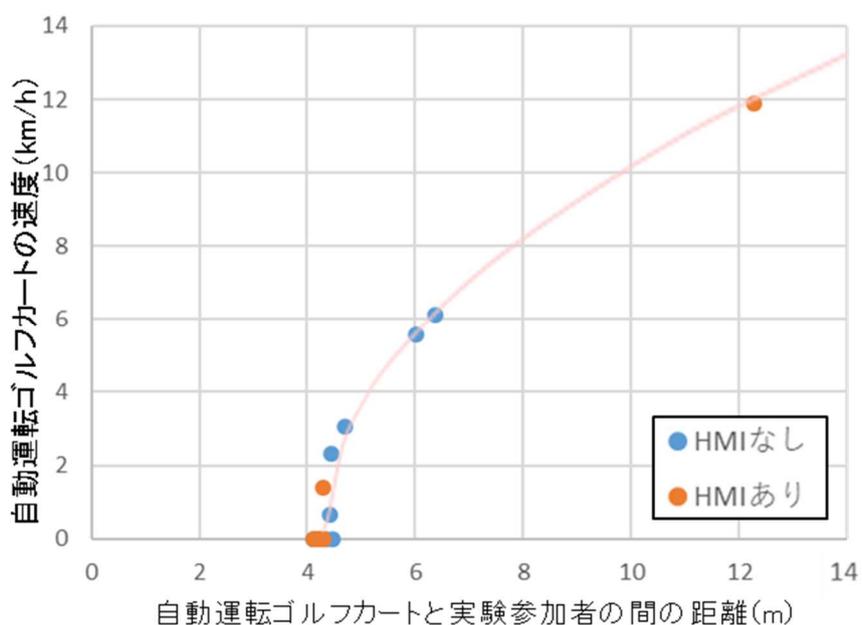


図 3-108 横断開始時の距離と速度

HMI なしの条件の方が、完全停止前に横断開始する実験参加者が多い結果が見て取れる。

(1-3-3) 完全停止から横断開始までの時間

外向け HMI なし条件と外向け HMI あり条件について、ゴルフカートの完全停止から歩行者の横断開始までの時間を図 3-109 に示す。

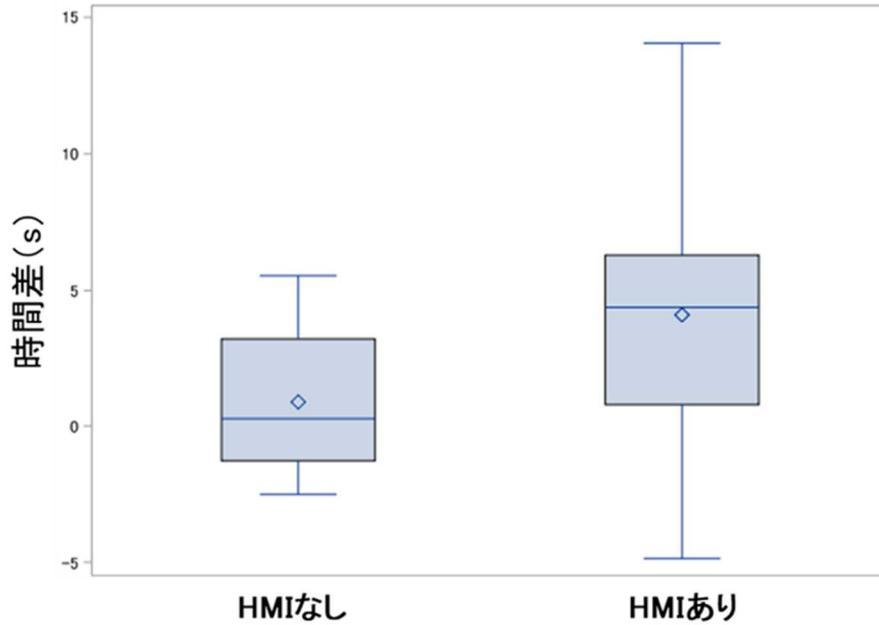


図 3-109 完全停止から横断開始までの時間差

HMI ありの条件は、HMI なしの条件と比較して、ばらつきは大きいものの、時間差が正の値となっている実験参加者が多いことがわかる。Wilcoxon の順位和検定を実施したが、有意差は見られなかった。

(1-3-4) 譲りの認識度

外向け HMI なし条件と外向け HMI あり条件における譲りの認識度として“車は道を譲ってくれていた”に対する回答結果を図 3-110 に示す。

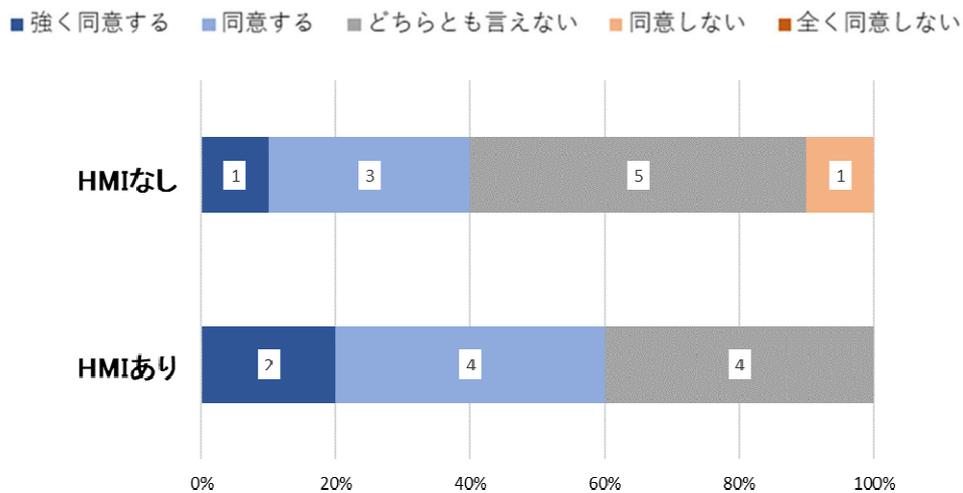


図 3-110 譲りの認識度

HMI ありの方が譲りの認識度が高い傾向が見て取れる。また、試行後のアンケートでは、HMI の有無によらず 20 名のうち 9 名が、“ゴルフカートが自分を認識して譲ってくれたのか、渋滞で停止せざるを得ないために減速して停止したのか、判断がつかなかった”と回答していた。Wilcoxon の順位和検定を実施したが、有意差は見られなかった。

(1-3-5) 安心感の程度

外向け HMI なし条件と外向け HMI あり条件における安心感の程度として、“安心して渡ることができた”に対する回答結果を図 3-111 に示す。

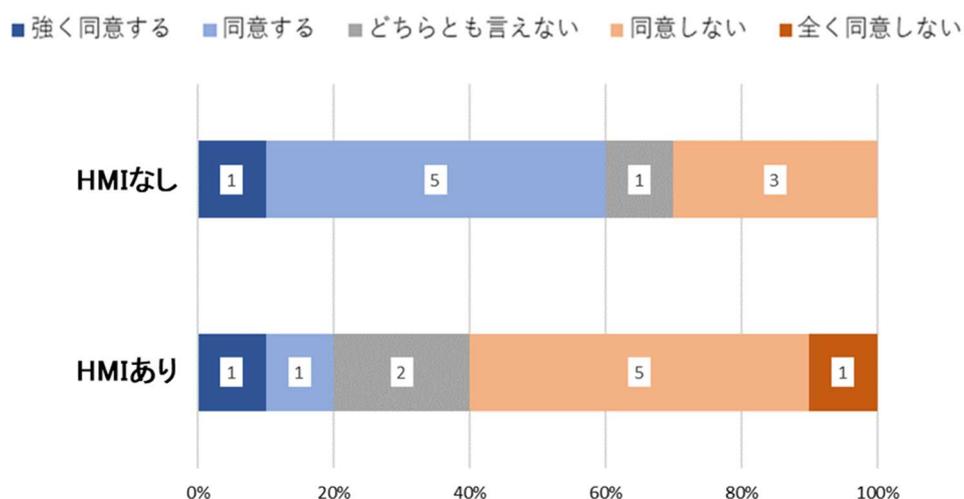


図 3-111 安心感の程度

HMI なしで安心感の程度が高い回答が多く得られたが、HMI なしで“同意する”と回答したうちの 3 名は、接触した 2 名とニアミスの 1 名であった。また、HMI ありで“強く同意する”と回答した 1 名は、接触した 1 名であった。接触・ニアミスしていない実験参加者で“強く同意する”もしくは“同意する”と回答した人は、右側からの接近車両についてのみ言及して、車両の停止を確認したことを安心感の理由としていた。一方、安心感の程度が低い回答の理由としては、“対向車線を確認できないまま横断を開始しなければならず怖い”という回答があった。Wilcoxon の順位和検定を実施したが、有意差は見られなかった。

(1-3-6) 気づかいの程度

外向け HMI なし条件と外向け HMI あり条件における気づかいの程度として、“車に気を遣って早く渡ろうとした”に対する回答結果を図 3-112 に示す。

■ 強く同意する ■ 同意する ■ どちらとも言えない ■ 同意しない ■ 全く同意しない

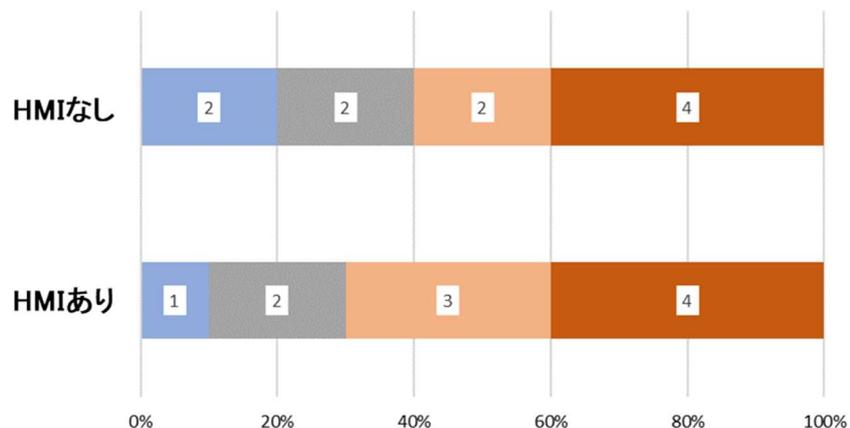


図 3-112 気づかいの程度

HMI の有無によらず、気づかいの程度が低い回答が多いことが見て取れる。試行後のアンケートでは、ゴルフカートの状態を“渋滞で停止せざるを得ないために減速して停止していた”と認識したという回答が多く、“対向車線を確認して安全に横断することを一番に考えた”という回答が見られた。Wilcoxon の順位和検定を実施したが、有意差は見られなかった。

3.5.2.13. 考察

(1) 車両挙動と外向け HMI の組み合わせの影響の検討

(1-1) ゴルフカートの車両挙動と外向け HMI

図 3-113 および図 3-114 より、HMI の有無のよらず早期減速において完全停止前に横断開始する実験参加者の存在を複数確認できたことから、早期減速によって車両からの譲り意図が伝わり、歩行者の横断開始タイミングが早まる可能性が示唆された。しかし、HMI なしと HMI ありで比較すると、プロットとゴルフカートの車両挙動の曲線との位置関係より、HMI なしの方が完全停止前横断のタイミングが早いことが見て取れる。

また図 3-115 および図 3-116 に注目しても、HMI の有無によらず早期減速の方が通常減速よりも横断開始タイミングが早まる傾向が見て取れ、横断を促せる可能性が示唆された。しかし、特に初速 25km/h の早期減速において、HMI なしの方が横断開始が早まる傾向が見て取れる。そこで、この結果が HMI の有無の違いに起因しているのか、つまり、HMI なしで車両挙動だけの方が横断を促せるのか、HMI があることによって横断開始が遅れてしまっているのかを調べることにした。基準データ収集の際の手動運転の試行において車両の完全停止後に横断開始した実験参加者だけに注目することで、彼らの中で HMI あり条件の実験参加者の横断開始が遅れるか否かで、HMI の影響を判断できると考えた。HMI なし条件で、かつ手動運転で完全停止後に横断開始した実験参加者のみの、完全停止から横断開始までの時間を図 3-113 に示す。

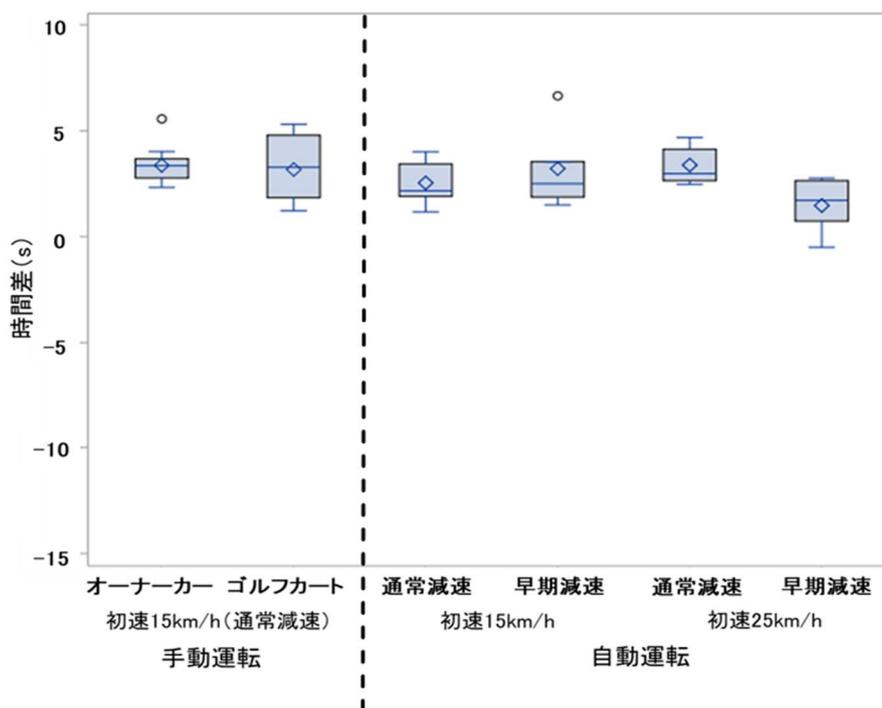


図 3-113 HMI なしの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間②
HMI あり条件で、かつ手動運転で完全停止後に横断開始した実験参加者のみ

の、完全停止から横断開始までの時間を図 3-114 に示す。

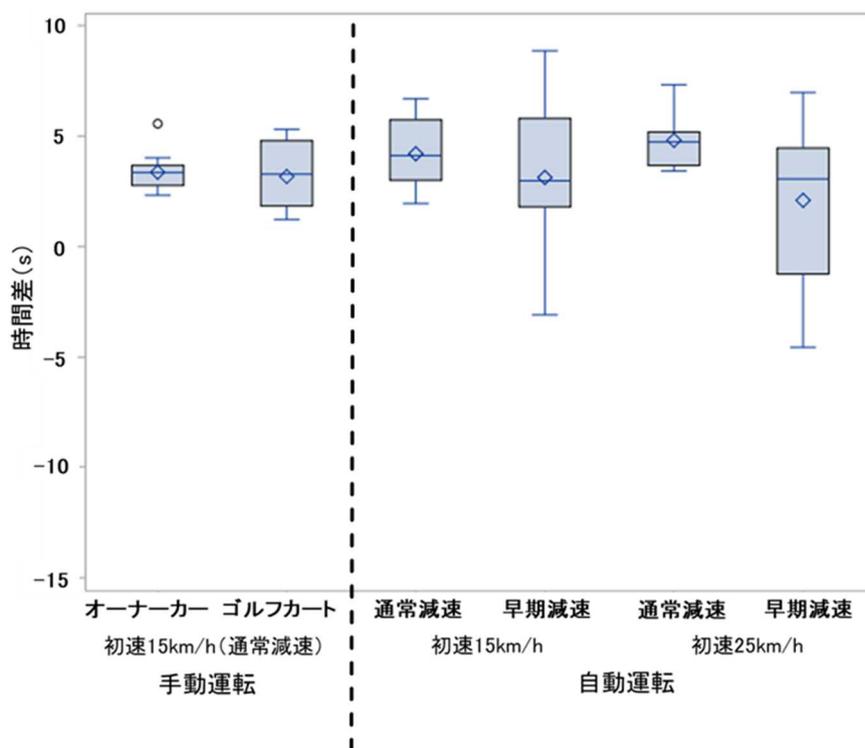


図 3-114 HMI ありの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間②

HMI なしでは完全停止後に横断開始する傾向、HMI ありでは早期減速においてばらつきが大きい傾向が見て取れる。HMI がない方が横断が早まるという傾向や、HMI があることで横断が遅れる傾向があるとは言いがたいことから、本研究で HMI なしの方が横断開始が早まる結果となったのは、普段の横断習慣の個人差によるものと推測できる。同時に、HMI ありで早期減速の組み合わせは、横断を躊躇させる可能性を否定はできない一方で、横断を促せる可能性もあることが示唆された。

主観評価アンケートの結果に注目すると、早期減速はゴルフカートからの譲り意図が伝わりやすい傾向があるものの、挙動の解釈は、早い段階で減速してくれることで安心して横断できたという回答と、挙動が予測できず低速のまま動き続けるのではないかと思ったという回答の二種類に分かれた。これより、早期減速は歩行者の横断開始を早める可能性が期待できる一方で、現状の交通状況では遭遇しない不自然な挙動として認識される可能性もあることが示唆された。

HMI なしの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間を標準得点化したものを図 3-115 に示す。

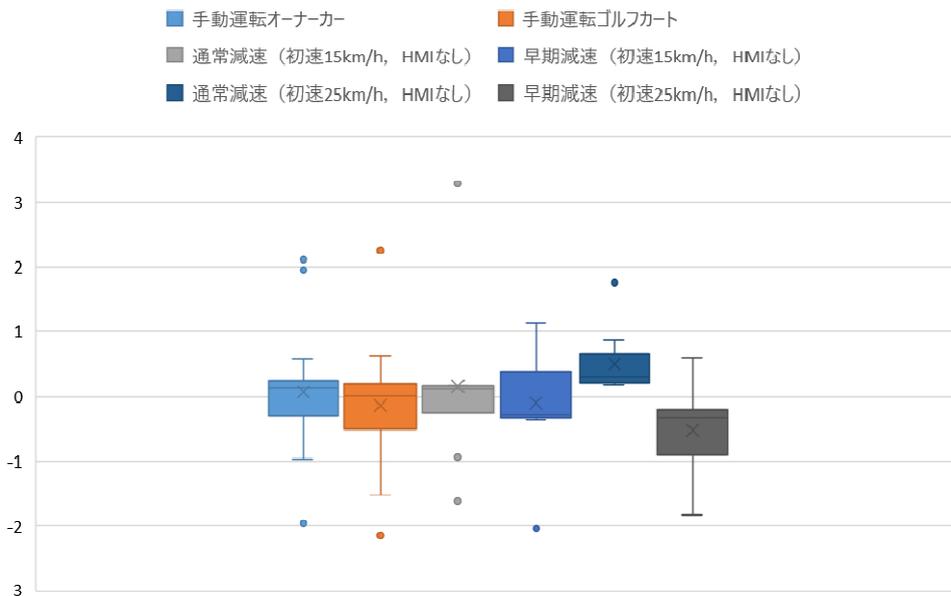


図 3-115 HMI なしの実験参加者の標準得点

HMI ありの実験参加者における完全停止から横断開始までの時間を標準得点化したものを図 3-116 に示す。

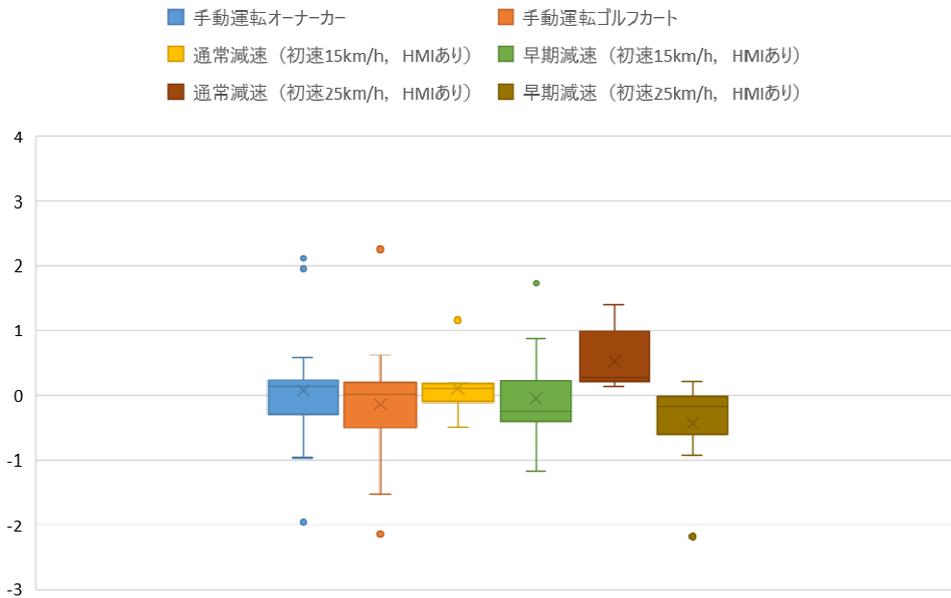


図 3-116 HMI ありの実験参加者の標準得点

標準得点の大小関係は HMI なしと HMI ありで同様の傾向が見て取れる。これより、普段の横断行動の個人差によらず、早期減速で横断開始が早まる傾向が示唆された。

また、HMIについては、HMIがあることでゴルフカートからの譲りを感じたり、安心感につながったという回答が一定数あったことから、安心かつ円滑な交通の実現のためにHMIが有用である可能性が示唆された。同時に、HMIからの譲り意図を認識したとしても過剰に焦りを感じたという回答は見られず、あくまで車両挙動ありきで横断判断をしたというアンケート結果から、HMIが歩行者の安全確認を阻害する可能性は低いと考えられる。この傾向は二元配置分散分析の結果とも矛盾がなく、妥当であると考えられる。

(1-2) 対向車の車両挙動の影響

対向車の車両挙動の違いによる明らかな差異は見られなかった。対向車が停止する2条件と比較したときに前通過の条件のみ横断開始タイミングが早い傾向が見られたとすれば、すでに対向車は通過したから対向車線に注意を向ける必要はないと考えて確認を怠ったことによる横断早期化の可能性等が考えられるが、そのような傾向は見られなかった。これより、実験参加者は右側だけでなく、必要な場面で左側にも注意を向けていたと考えることができ、対向車の車両挙動が前通過の条件のみに注目した前項の結果と考察も妥当であると考えられる。

(1-3) 外向けHMIの負の影響の検討

対向車との接触の有無の結果より、HMIを使用したゴルフカートからの意図伝達の有無によらず接触やニアミスが観測されたことから、これらの接触はHMIの負の影響として捉えるべきとは言えないと考えられる。しかし、HMIあり条件で接触した1名については、アンケート結果を参照すると、HMIによるゴルフカートからの譲り意図を過信した可能性が示唆されている。主観評価アンケートの“ゴルフカートは渋滞で停止せざるを得ないから停止したのか、自分を認識して止まったのか判断がつかなかった”という回答もふまえると、この試行で設定した渋滞で停止するような場面においては、HMIを表示しない方が良いという考え方も可能と言える。例えば、何もないはずの場面において歩行者を認識して停止する場合にのみHMIを表示するといった方法は、HMIが表示されたときには歩行者に対する譲りであると認識でき、HMIが表示されない状態が続くのであれば歩行者は自分は認識されていないのだという理解のもと行動できるという可能性も考えられる。

しかし同時に、安心感の程度と気づかひの程度の結果から、HMIからの譲り意図のみで安心して横断したり、危険な状況であることを考慮せず横断を急いだりする可能性は低いことが示唆された。

以上より、外向けHMIによって、安全を確保したうえで安心・円滑な横断行

動を促すことができる可能性が示唆された。

3.5.2.14.本節のまとめ

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と横断歩道歩行者とのコミュニケーションに関して、車両挙動や外向け HMI の組合せに基づいて、歩行者の認識や判断、行動について VR 環境を用いた実験を実施した。本実験を通じて、次の結果が得られた。

- 早期減速によって車両からの譲り意図が伝わり、横断開始タイミングが早まる可能性が示唆された
- 外向け HMI を使用した車両からの譲り意図伝達により、横断開始タイミングが早まる可能性が示唆された
- 外向け HMI の有無よりも車両挙動の違いが歩行者の横断判断に与える影響が大きいことが示唆された
- 外向け HMI を使用した車両からの譲り意図伝達により、安心感の低下、過剰な焦り、対向車の確認不足が引き起こされる可能性は低いことが確認された

本実験では、外向け HMI の条件について 10 名ずつの結果をもとに検討したが、より明らかな傾向を見るためにも、実験参加者数を増やして外向け HMI の有無による歩行者認識の差異を検討する必要があると考えられる。また、本研究で対象としなかった属性（学童、高齢者等）を対象に車両挙動と外向け HMI の組み合わせが横断判断に与える影響を検討することも、自動運転車の実用化には不可欠であると考えられる。

加えて、オーナーカーを対象とした先行研究をふまえて、自動運転車についても様々な外向け HMI コンテンツを使用して、外向け HMI による意図伝達が歩行者の横断判断に与える影響を検討することも有意義であるといえる。

3.5.3. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から後続ドライバーへのコミュニケーション設計に関する予備的検討

3.5.3.1. 実験概要

本実験では、自動運転車が白破線・片道一車線（幅 3m）の道路を走行中に、後続車に追従され、追い越しが違反または危険となる道路環境に差し掛かる前に後続車に進路を譲る場面を想定した。実験参加者には後続車ドライバーの役割を担わせ、決められた走路を走行する中で、自動運転車への追従後、挙動や従来の灯火器類、後続車向け HMI による意思表示を用いた自動運転車の譲り挙動に対する自由なタイミングでの追い越し行為を実行させ、効果的に「安全」「安心」「円滑」を促せる方法を検討する。同時に、左ウインカを用いた後続車への譲り表明と左折意思の表明が混同する可能性についても検討するにあたり、追従していた自動運転車が逆ト字路にて左折する場面も体験させた。ドライビングシミュレータ上では、実際に自動運転車が実証実験にて走行している中山間地域を参考にした風景や道路環境等を作成し使用した。

3.5.3.2. 実験装置

(1) ドライビングシミュレータ

本実験では、三菱プレジジョン社製ドライビングシミュレータ（慶應義塾大学・国土技術政策総合研究所 共同開発）を使用した（以降、DS と総称する）。その概略図および外観の写真を図 3-117、図 3-118、図 3-119 に示す。

DS は、実際に実験参加者が乗り込む車両、150 インチスクリーン、液晶プロジェクタ、DLP プロジェクタ、6 軸電動動揺装置の他に、DS 計算機 1 台、シナリオ計算機 1 台、モーション制御用計算機 1 台、音響計算機 4 台、映像発生装置(計算機)10 台などから構成されていた。150 インチスクリーンは 8 面、360 度で実車両を取り囲んでおり、視覚的に現実環境と近い走行を模擬することが可能となっていた。また、6 軸電動動揺装置によってアクセルペダルやブレーキペダル、ステアリング操作等に伴う車体の動揺も再現された。左右のサイドミラー・ルームミラーは実車と同じ鏡面体を使用し、それぞれのミラー用にスクリーンに投射した映像を偏光板を通して分離させてそれぞれのミラーに映し出すことで、視覚的に違和感のない状況が実現された。

また、車内のインストルメントパネル内に設置された自動車用 TFT 液晶型ディスプレイには、実車両を模擬して、自車の速度やギアポジション、ドアの開閉状態やウインカの ON/OFF 等の情報が提示され、ドライバーにとってより実環境に近く、視覚情動的に違和感のない環境となっていた。

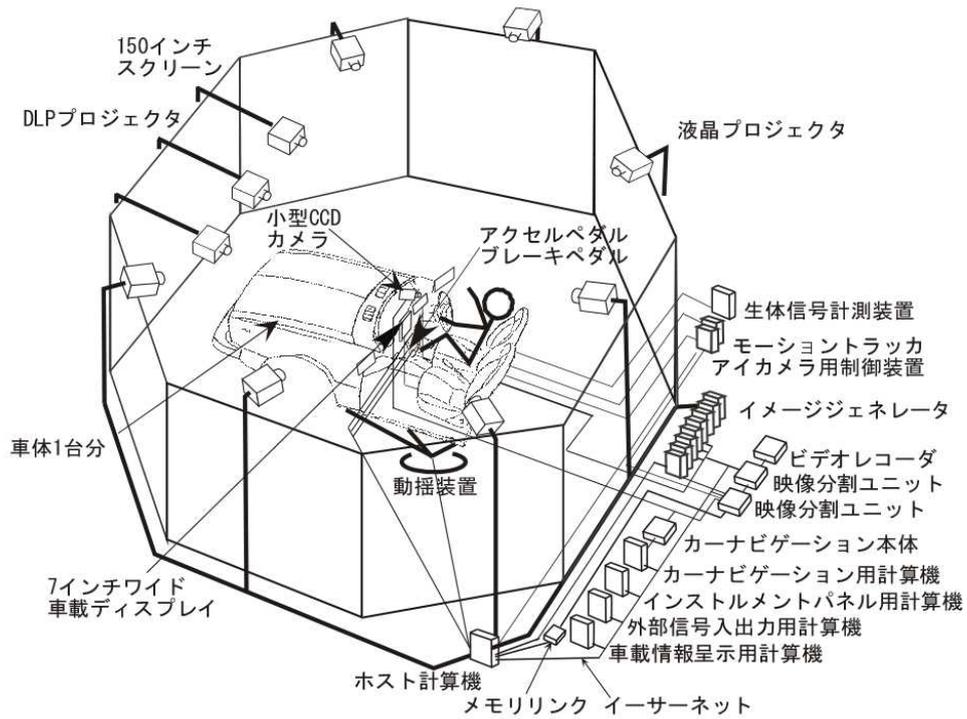


図 3-117 ドライビングシミュレータ概略図



図 3-118 ドライビングシミュレータ外観



図 3-119 運転席からの風景

(2) 視線計測装置

本実験では、実験参加者が走行中に視線を向けている領域を計測するために、Smart Eye 社製の視線計測装置 Smart Eye Pro を使用した。Smart Eye Pro は実験参加者を図 3-120 にある前方 3 ヶ所のカメラを用いて、耳や鼻といった顔の特徴点や眼球位置の情報から視線を計測することができる装置である。



図 3-120 Smart Eye Pro のカメラ

(3) 実験コース

実験参加者が走行する道路環境の線形を示したものが図 3-121 である。片側一車線かつ中央線が白破線である法定速度 40km/h を想定した単路であり、一車線の幅は約 3m であった。実験参加者は約 310m 単路を走行した後に自動運転車に遭遇し、対向車により追い越しが不可能となるおよそ 200m の区間を約 1.2 分間自動運転車に追従した。追従後、図 3-121 に示した区間で自動運転車は譲りの意図を示す挙動や合図を行った。また、自動運転車が単路を直進後に左折を行う走行については図 3-122 のような逆ト字路を使用した。

対向車については、自動運転車に追従させる時間を一定に固定するために、一定区間での追い越しを不可能にする目的で走行させた。譲り意図を示す、または左折意図を示すための車両挙動・灯火器類、後続車向け HMI の表示は、対向車がなくなったのと同時に開始した。これは、自動運転車の行った挙動等がいかに追い越しを促すことができたのか、表示や車両挙動の開始から追い越し判断までのタイミングを条件ごとに比較するためであり、対向車が存在している状態だと追い越しを促せても実行できないことを考慮したものであった。

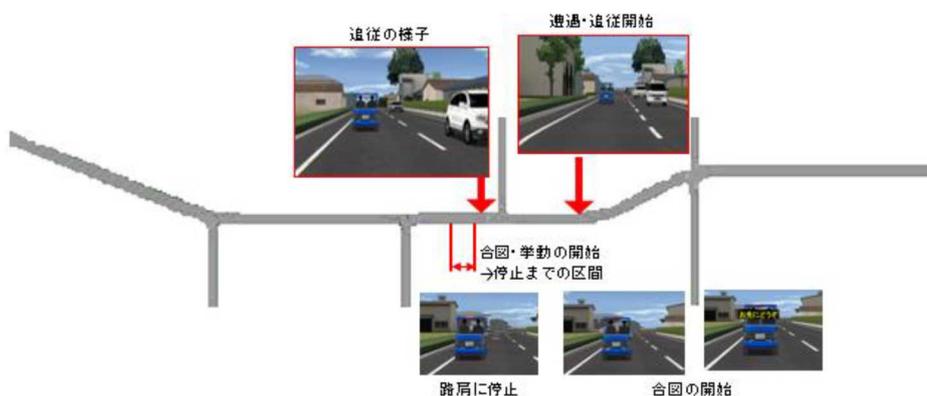


図 3-121 実験コース（譲り意図を示す走行）の概要

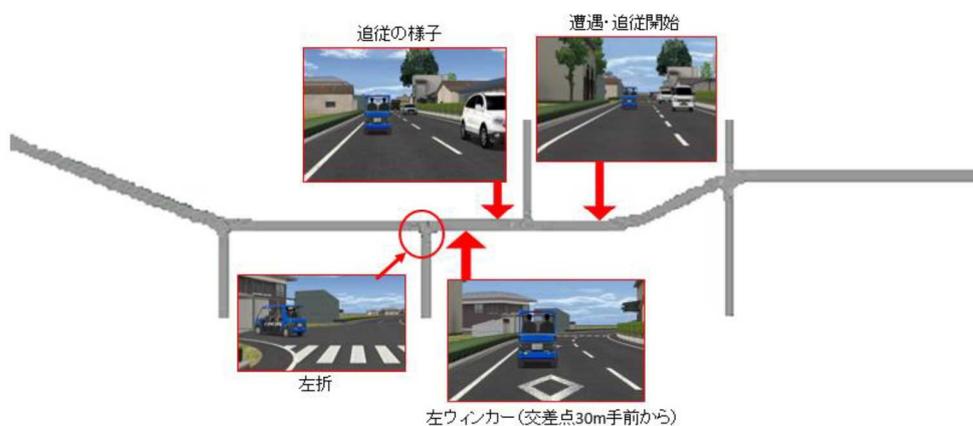


図 3-122 実験コース（左折をする走行）の概要

(4) 自動運転車

自動運転車は、道の駅自動運転実証実験で実際に導入されているヤマハ発動機株式会社のゴルフカートを図 3-123 に示される CG 製作し、DS 上に導入した。ゴルフカートの諸元は全長 4.172m、全幅 1.333m、全高 1.697m であった。

ドライバー1名・乗客5名の計6名が乗車できる設定になっているが、本実験では、自動運転車がレベル4での運行を目指していることに加え、自動運転であることを実験参加者に印象付ける目的で、人間の乗車状況については、ドライバー無しで、最後部座席に2名乗客を乗せている状態に設定した。また、実証実験において、自動運転車の走行位置が車線の中央に対して左寄りであったことに鑑みて、DS 上でも、車線の外側線から約 70 cm に固定した位置での走行をするように設定し、実環境での左寄りの走行を再現した。



図 3-123 DS 上での自動運転車の外観

3.5.3.3. 実験条件

自動運転車の後続車への譲り意図を表明する方法として、自動運転車の車両挙動、灯火器類の状態、後続車向け HMI の状態を条件として各条件を組み合わせた実験デザインを行った。また、自動運転車の走行パターン（直進→譲り意思の表明、直進→左折）についても条件とした。各条件の詳細を以下に示す。

(1) 車両挙動

車両挙動の条件では、自動運転車が「路肩に寄る」挙動と、「直進を続ける」挙動の2水準を設定した。「路肩に寄る」挙動については、図 3-124 に示したように、左ウインカを点滅させ、その3秒後に左寄せを開始、左寄せ終了後に約 20m の距離を使って 10km/h から 0km/h に減速停止しハザードランプを点灯させるという挙動であった。このような一連の挙動は、一般的に自動車路肩に寄って停止する際に使用されている、かつ法規に合った動作であり、後続車に追い越しを促す可能性のある挙動として活用した。また、「直進を続ける」挙動については、「路肩に寄る」挙動の比較水準として取り入れた。

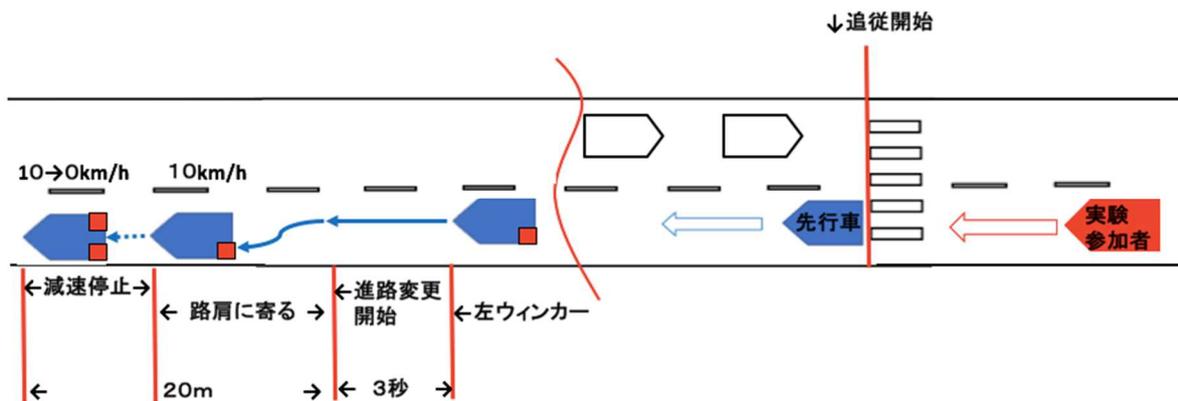


図 3-124 路肩に寄り譲る挙動

(2) 灯火器類の状態

自動運転車に備わっている従来の灯火器類を活用した条件として、「左ウインカーあり」と「左ウインカーなし」の2水準を取り入れた。「左ウインカーあり」の水準では、自動運転車が後続車に追い越しを促すために進路を譲る意思表示のタイミングで左ウインカーを点滅させた。

(3) 後続車向け HMI

前述したように、外向け HMI はライトの点滅パターンや図によってその意図を伝達する方法も考案されているが、本実験の後続車向け HMI の条件では、その有無と意図伝達の内容による後続車ドライバーの認識の差異による行動の違いを検証することを目的としているため、「お先にどうぞ」「とまります」のテキストメッセージの2水準と「後続車向け HMI なし」の比較水準を合わせた3水準を取り入れた。以上の後続車向け HMI の有無、テキストメッセージの内容によるそれぞれの水準の意思表示の様子が図 3-125 である。「お先にどうぞ」は自動運転車の後続車への譲り意図を伝達することを目的としたメッセージとして、「とまります」は自動運転車が停止挙動を予定していることの伝達を目的としたメッセージとして活用した。



(a) お先にどうぞ (b) とまります (c) 後続車向け HMI 無し

図 3-125 後続車向け HMI (テキストメッセージ) 表示の様子

(4) 自動運転車の走行パターン

走行パターンについては、「後続車に進路を譲る」走行と「左折をする」走行の 2 水準とした。これは、左ウインカや左寄せを含む挙動によって自動運転車に進路を譲られる経験をした後続車ドライバーが、左折をする自動運転車に遭遇した時に、その挙動が譲りではなく左折を意図するものであることを混同することなく正確に判断することができるのかを検証するための条件として設定した。「左折する」挙動については、図 3-126 に示したように、左ウインカをだして 3 秒後に左寄せを開始し、交差点の 30m 手前までに左寄せを完了した後、減速した上で左折をする、法規に沿った一連の動作を定義し「左折」とした。

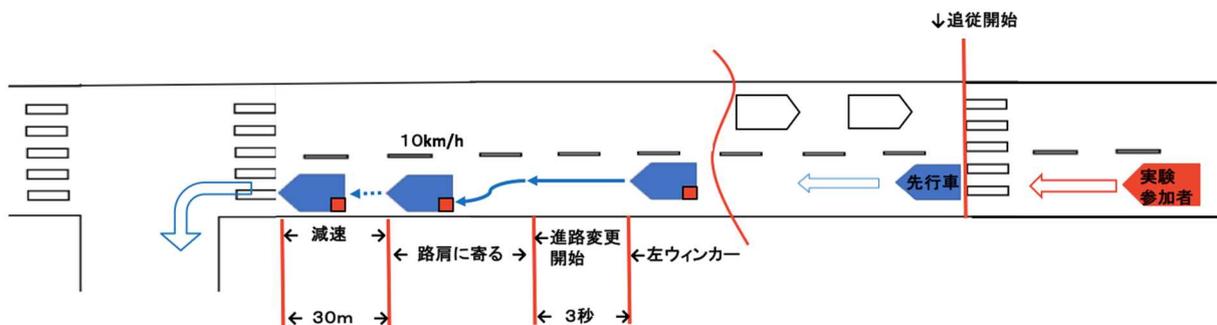


図 3-126 左折挙動

以上 4 つの条件、それぞれの条件における水準を組み合わせ、実験条件として整理し示したものが表 3-14 である。それぞれの条件の水準を組み合わせただ中で、路肩に寄る動作に左寄せの進路変更が伴うにも関わらず、左ウインカ無しで行う条件、また、「とまります」と意図表明を行うにも関わらず、直進を続ける車両挙動の組み合わせとなっている条件については法規的に許容されない条件と考えられるため抹消した。また、自動運転車の挙動として結果的に同じ状態になる条件は同様のものとした結果、全部で 7 条件の走行となった。

表 3-14 実験条件の組み合わせ

(4) 走行パターン							左折する
後続車に進路を譲る						⑦	
(1) 車両挙動		(2) 灯火器類の状態		(3) 後続車向けHMI			
		左ウィンカー有り	左ウィンカー無し	お先にどうぞ	とまります	HMI無し	
路肩に寄る	①	X		④	⑥	①	
直進を続ける	②	③	⑤	X		③	

表 3-14 に示したそれぞれの走行の具体的な自動運転車の挙動については次のとおりであった。

① 車両挙動（路肩に寄る）×灯火器類（左ウィンカー有り）

車両挙動（路肩に寄る）×後続車向け HMI（無し）

路肩に寄る挙動は、左ウィンカーを使用するものと定義しているため、この条件の組み合わせの施行は図 3-124 に示したものと同様の挙動・動作となった。

② 車両挙動（直進を続ける）×灯火器類（左ウィンカー有り）

左ウィンカーを点灯させて後続車に追い越しを促しながらも、自動運転車自体は直進を続ける挙動は、図 3-127 に示したように行った。

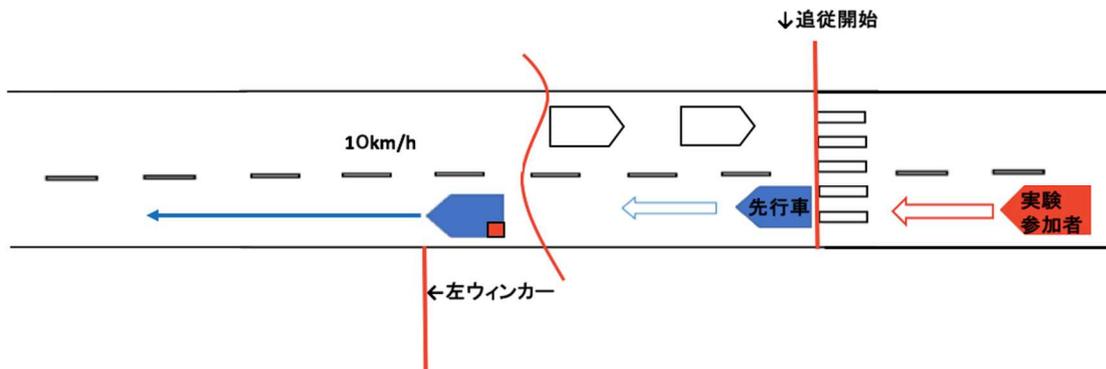


図 3-127 車両挙動（直進を続ける）×灯火器類（左ウィンカー有り）

③ 車両挙動（直進を続ける）×灯火器類（左ウィンカー無し）

車両挙動（直進を続ける）×後続車向け HMI（無し）

これらの条件の組み合わせは、自動運転車が後続車に追い越しを促すべく進路を譲る意思を持ちながらも、それを示す車両挙動や灯火器による合図を行わない、ベース条件となる試行であった。よって、自動運転車の走行は図 3-128 のようになった。

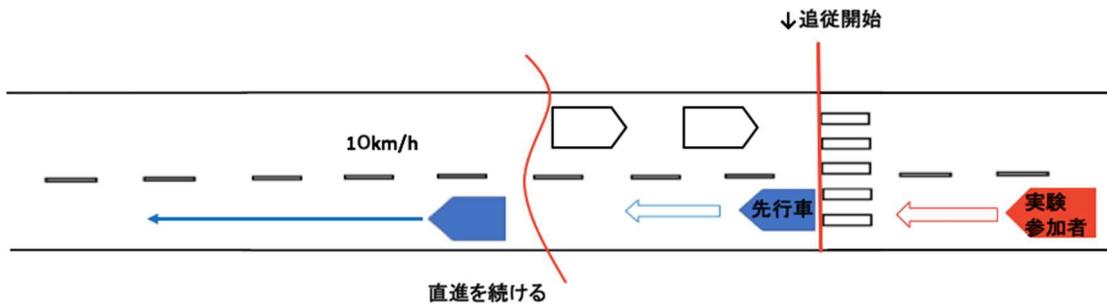


図 3-128 車両挙動（直進を続ける）×灯火器類（左ウインカ無し）

④ 車両挙動（路肩に寄る）×後続車向け HMI（お先にどうぞ）

図 3-129 に示したように、自動運転車が左ウインカを出すのと同じタイミングで後続車向け HMI を表示させ、減速停止後もテキストを表示させる方法を取った。

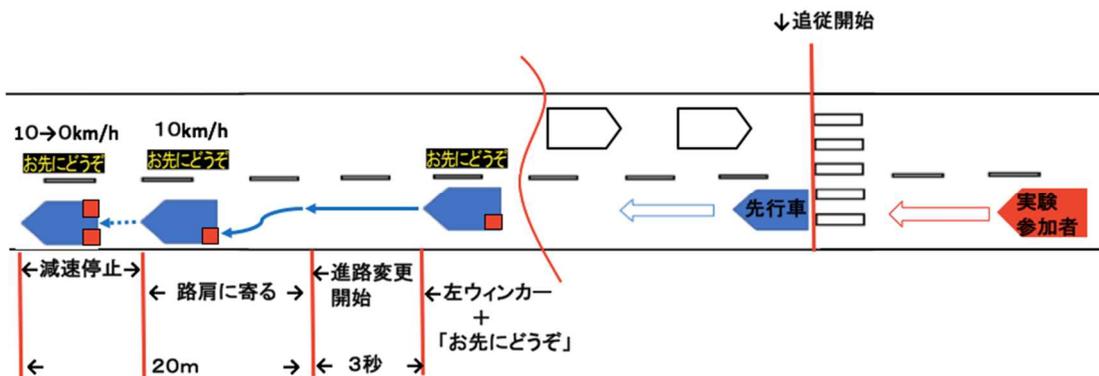


図 3-129 車両挙動（路肩に寄る）×後続車向け HMI（お先にどうぞ）

⑤ 車両挙動（直進を続ける）×後続車向け HMI（お先にどうぞ）

図 3-130 に示したように、他の条件での試行と同様に一定区間の追従をさせた後に、対向車がいなくなったタイミングで「お先にどうぞ」の表示を行い、直進を続けながら表示を続けた。

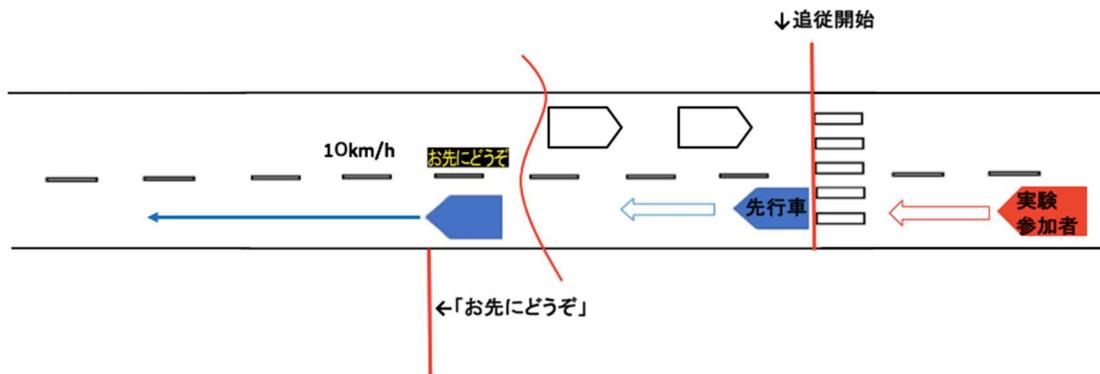


図 3-130 車両挙動（直進を続ける）×後続車向け HMI（お先にどうぞ）

⑥ 車両挙動（路肩に寄る）×後続車向け HMI（とまります）

図 3-131 に示したように、自動運転車が左ウインカを出すのと同じタイミングで後続車向け HMI を表示させ、減速停止後に「とまります」の表示は消えるように設定した。

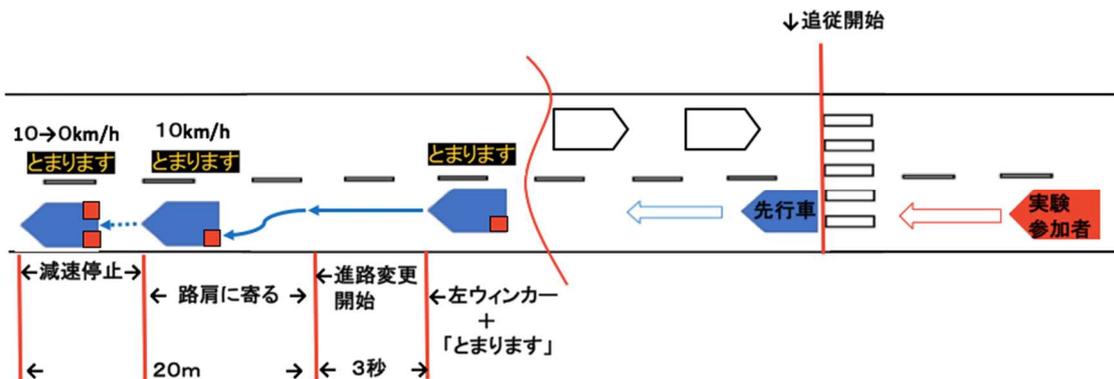


図 3-131 車両挙動（路肩に寄る）×後続車向け HMI（とまります）

⑦ 自動運転車が左折する走行

図 3-122 に示した逆 T 字路において、自動運転車が左折を行った。左折時には図 3-126 のような一連の挙動パターンを行った。

3.5.3.4. 計測・評価項目

実験参加者には、実験を開始する前段階で、年齢・性別・運転頻度・免許取得年月・視力等のアンケートを行った。実験開始後、それぞれの試行後に計測・評価した項目は、以下の通りであった。また実験実施前・1 回目の左折走行後・毎走行後に使用したアンケート用紙をそれぞれ巻末の付録に示す。

(1) 追い越し判断のタイミング

自動運転車が譲り意思の表明を行った（挙動や灯火器、後続車向け HMI の状

態の変化が表れた) 時点から実験参加者が追い越しのために右ウインカを出すまでの時間を計測した。この時間を本実験では追い越し判断までのタイミングとして定義した。

(2) 追い越し実行のタイミング

自動運転車が譲り意思の表明を行った(挙動や灯火器、後続車向け HMI の状態の変化が表れた) 時点から実験参加者が追い越しのために中央線をはみ出すまでの時間を計測した。この時間を本実験では追い越し実行のタイミングとして定義した。

(3) 追い越し前後の車両速度の変化

自動運転車が車両挙動や灯火器・後続車向け HMI で後続車に追い越しを促す各条件の走行において、実験参加者の車両速度を計測した。追い越しをする前後の速度変化の観察により、急ブレーキや急加速など、実験参加者車両に不自然な挙動がないか分析することを目的とした。

(4) 追い越し時に伴う視線行動

実験参加者が追い越しを行う際の安全確認実施状況を確認するにあたって、実験参加者がルームミラーやサイドミラー等に視線を向けたか否かを観測した。

(5) 自動運転車の左ウインカに対する解釈

1 回目の左折走行を対象に、自動運転車が出す左ウインカが左折を意図するものとして捉えられているのか、路肩に停止する意図を示すものとして捉えられているのかの調査を行った。実験参加者がその後の試行を経験する前に、左ウインカをどのような意図の表れとして判断していたのか調査しておき、試行経験後に印象に変化があるのかを比較する目的で行った。

(6) 自動運転車に対するストレス・いらつき

自動運転車に対して感じられるストレスやいらつきの状態を図 3-132 に示されるリカートスケールに基づいて 5 段階で評価させた。評価の際、なぜそのように感じられたのかを自由回答形式にて回答させた。自動運転車に追従すること、また、挙動や灯火器・後続車向け HMI により譲り意図を示された経験が後続車ドライバーである実験参加者に与えるフラストレーションの感度をはかり、各条件が実験参加者の精神状況に与える影響とその理由について考察することを目的とした。

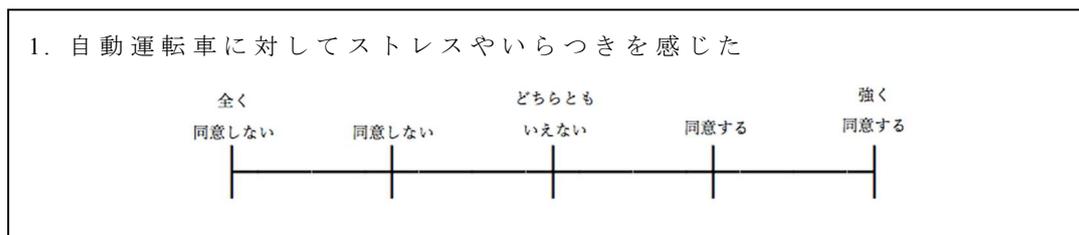


図 3-132 ストレス・いらつきに対する主観評価

(7) 自動運転車からの譲りの認識

自動運転車から感じられた譲りの認識について、図 3-133 に示されるリカートスケールに基づいて 5 段階で評価させた。評価の際、なぜそのように認識したのかを自由回答形式で回答させた。各条件の自動運転車に追従、譲り意図の表明を受ける中で、どの程度「譲られた」と感じたかどうかを評価させた。左折する自動運転車に追従する試行においては、この評価は、譲り挙動を左折と混同したかどうかの指標としても使用することを目的とした。

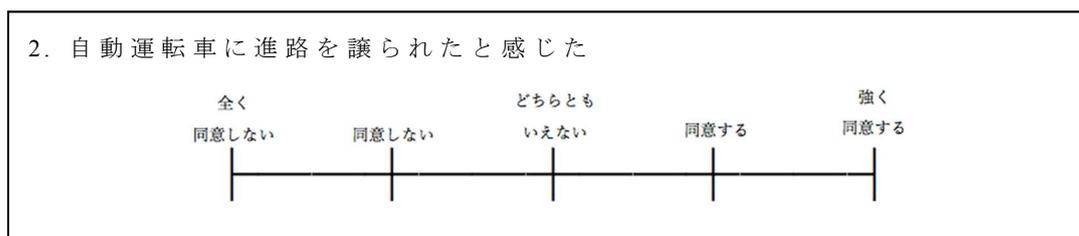


図 3-133 譲りの認識に対する主観評価

(8) 自動運転車から譲られたことによる追い越しへの急ぎ

自動運転車から譲られたと感じた際、早く自動運転車を追い越さなければならないと感じたかどうかを図 3-134 に示されるリカートスケールに基づいて 5 段階で評価させた。評価の際、なぜそのように感じられたのかを自由回答形式で回答させた。この評価項目は、自動運転車に進路を譲られたと感じただけでなく、その譲り挙動によって「早く追い越しをしなければならない」とどの程度感じたかを評価させた。円滑な追い越しを促すためにどのような条件が有効かどうかを検証するだけでなく、焦りに似た感情を持っての追い越しは、安全確認がおろそかにされる可能性を帯びているということも含め、譲り挙動による追い越し行為の負の影響を考察することも目的とした評価項目であった。

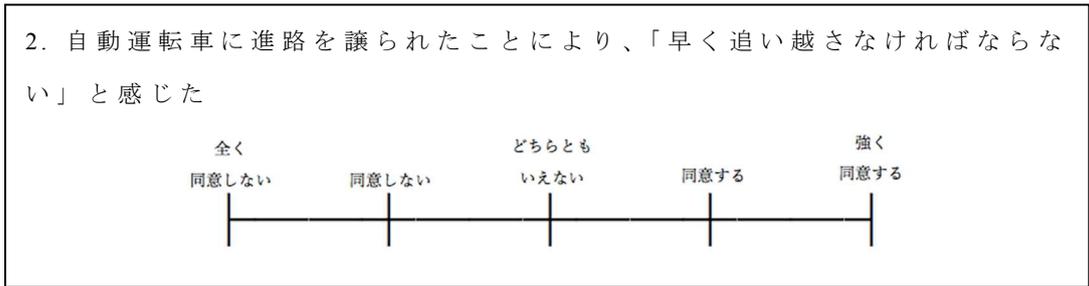


図 3-134 追越しを急かされたと感じたかに対する主観評価

3.5.3.5. 実験参加者

実験参加者は 12 名、(平均：22.0 歳、標準偏差：0.913 歳、21～24 歳) であり、男性 7 名 (平均：22.3、標準偏差：1.03)、女性 5 名 (平均：21.6、標準偏差：0.490) であった。全実験参加者は両眼視力 0.7 以上で運転免許を保有しており、運転頻度は月 1～2 回以上であった。

3.5.3.6. 実験手続き

(1) 実験の流れ

実験実施の流れを表 3-15 に示す。前節までの具体的に走行方法である 7 条件は、表 3-15 に示される構成で実施した。

表 3-15 実験の流れ

順番	走行内容
1	左折する走行
2	後続車向けHMIなし(路肩に寄る走行)
3	左ウィンカーあり(直進を続ける走行)
4	左ウィンカーなし(直進を続ける走行)
5	左折する走行
6	お先にどうぞ(路肩に寄る走行)
7	お先にどうぞ(直進を続ける走行)
8	とまります(路肩に寄る走行)
9	何も出さない(直進を続ける走行)
10	左折する走行

実験施行の流れに大枠は、左折する走行→灯火器と車両挙動で譲り意思を示す走行→左折する走行→後続車向け HMI と車両挙動で譲り意思を示す走行→左折する走行とした。

逆T字路にて自動運転車が左折をする走行については、一番初め・灯火器類による譲り意思表明を行う 3 走行の後・後続車向け HMI による譲り意思表明

を行う4走行の後、の3回のタイミングで行うことで、灯火器（左ウインカ）を用いて行われる譲り挙動を繰り返し体験することで、また、後続車向けHMIによる譲り意思の表明をされる走行を経験することで、左折と譲り挙動の混同が起こる可能性について、追い越し行為の有無や左ウインカに対する認識から考察することを目的とした。

従来の灯火器（左ウインカ）と車両挙動による譲り意思の表明は青枠で囲った3条件であり、この中で順番は実験参加者ごとにランダムにして行った。

また、後続車向けHMIと車両挙動による譲り意思の表明は赤枠で囲った4条件（うち1条件はダミーの試行）であり、同様に4条件内で実験参加者ごとにランダムにして試行を行った。ここでは、全て後続車向けHMIが提示される条件であったとき、HMIの内容によらず、提示そのものを譲り意図と判断したり、HMIの提示があることを前提にしたりしてしまうことで、提示前に追い越し判断をしたにもかかわらず追い越しを行わない実験参加者が存在する可能性をかんがみて、4条件のうち、ダミー条件として後続車向けHMIを出さない条件を含めた。

以上より、評価対象となる走行は、左折する走行3回と譲りを促す走行6条件1走行ずつの計9走行となった。

(2) 実験教示

実験の大まかな流れに対する教示タイミングを図3-135に示す。



図 3-135 教示のタイミング

初めに、練習走行を含む走行の前に、DS上での運転行動をするにあたり以下に示す教示（図3-135における教示①）を行った。

- 走行開始の音声での合図があるまで走行を開始しないこと
- 法定速度40km/hの道路での走行であること
- ゲーム感覚にならず、実環境での運転と同じく安全に留意した運転を心がけること
- （DS上での自動運転車の外観を見せながら、）当該車両が自動運転車と総称されており、無人ドライバーで自動走行している場面に遭遇するこ

とがあること

さらに、灯火器と車両挙動によって自動運転車に譲り意図を示される実験走行の前に、次のような教示を行った。

- バスなど路肩に停止する車両や、低速走行する車両に対して、日常で自然に追い越し行為を行うことがあること（日常的な自然な追い越し行為の想起）
- 先行車が追い越しを促すような、また、後続車に進路を譲るような挙動をしていると感じた場合や、普段だったら追い越しをしているという場面に遭遇した場合、積極的に追い越しをすること

加えて、後続車向け HMI と車両挙動によって譲り意図を示される試行の前に、次のような教示を行った。

- 自動運転車には図 3-136 のような情報板が搭載されており、黄色い文字が投影されることがある。



図 3-136 情報板（外向け HMI）

実験開始前に実験参加者に対して実験の目的、実験内容の説明をはじめ、DSを使用する実験に伴うリスクや、個人情報、映像データ等の取り扱い方法等に関する一連の説明を行った後に、実験協力に伴う同意を得た。その後、前述した、年齢・性別・運転頻度等の基本情報に関する実験開始前のアンケートへの回答協力を得た。

実験開始に際し、DS に案内し、座席の調節やシートベルトの装着等を施した上で、基本的な運転操作の説明を行った。また、シミュレータ操作を行う上で酔いを感じた場合はすぐに申し出るように伝え、実験途中も適宜酔いが生じていないか、実験参加者の健康状態に留意しながら実験を進めた。

練習走行後、前述したタイミングでの教示を行い、実験を開始した。全 10 走行の各試行後には、実験参加者に前述した評価項目の主観評価を行わせた。その際、毎試行後に実験者が実験参加者のもとに向かい、口頭で回答させたものを実験者が記述する方式をとった。

3.5.3.7.実験結果

(1) 解析方法

観測した客観的指標や主観評価について解析を行った。「車両挙動」の水準ごとの比較については、各挙動で灯火器類・後続車向け HMI の状態が同条件である“左ウインカ”、“お先にどうぞ”のそれぞれの条件にて Wilcoxon-signed rank 検定を実施した。また、「灯火器・後続車向け HMI の状態」の水準ごとの比較は、車両挙動の各条件の中で Friedman 検定を行い、有意差が確認できた場合、Dunn 法により水準間で Wilcoxon-signed rank 検定を実施した。なお、各水準を比較する際、第一種の誤りのレベルを維持するために、各比較の α レベルは α / C (テストされるべきペア数) とした。一部の分析では、Fisher の正確確率検定を実施した。

(2) 左折する自動運転車に対する追い越しの有無と認識

先行する自動運転車が左折を行う走行について、追い越しを行なった実験参加者の割合と、左折の際に点灯させた左ウインカに対する実験参加者の認識について、図 3-137、図 3-138 に示した。なお、左折①は表 3-14 に示した自動運転車が灯火器類や後続車向け HMI による譲りの意思表示等行う走行を経験する前の試行であり、左折②は「灯火器と車両挙動で譲り意思を示す走行」を経験した直後、左折③は「後続車向け HMI と車両挙動で譲り意思を示す走行」を経験した直後に行なった試行とした。

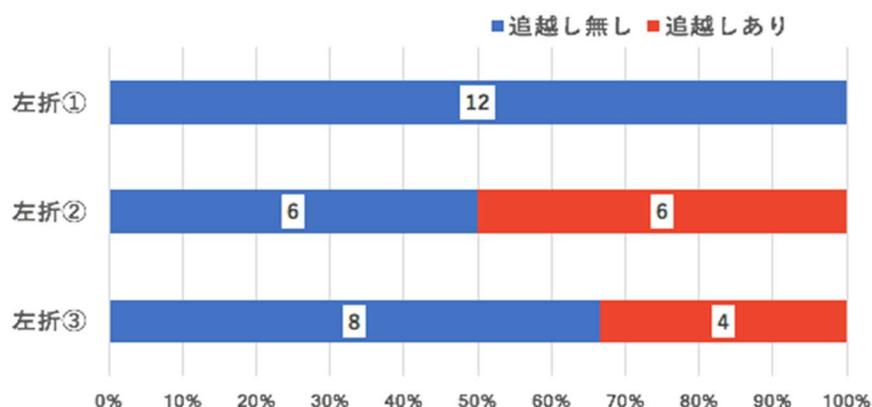


図 3-137 左折する自動運転車に対する追い越しの有無

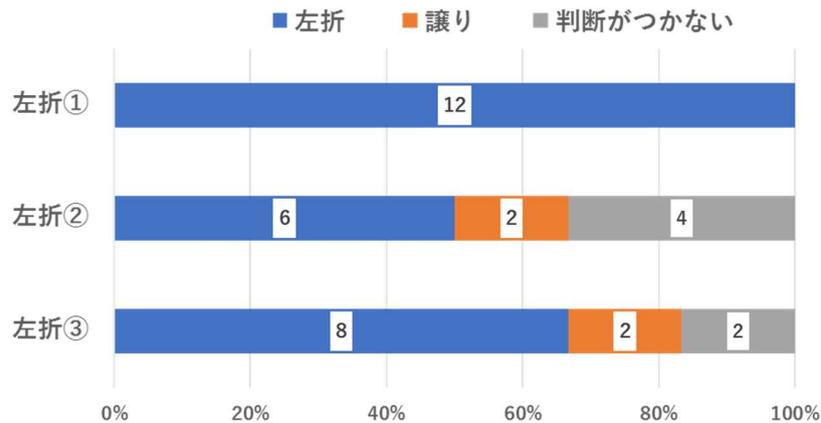


図 3-138 左ウインカに対する認識

左折①では、全ての実験参加者が自動運転車の出した左ウインカを左折を行う意思表示であると認識しており、追い越しを行なった事例は無かった。

左折②では、左ウインカが左折の意思表示であると判断した6人については、追い越しを行わなかった。追い越しを行なった6人のうち2人は左折の意思表示のために出した左ウインカを後続車に対する「譲り」の意思表示であると認識した上で追い越しを実行していた。左ウインカが左折・譲りのどちらの意思表示であるのか判断がつかなかった4人については、「どちらか判断がつかなかったが、自動運転車から譲り意思が提示されたかどうかに関わらず、自らの意思で追い越しを実行する決断をした」という回答があった。

左折③では、左折②と同様に、左ウインカが左折の意思表示であると判断した8人については、追い越しを行わなかった。追い越しを行なった4人のうち2人は左折の意思表示のために出した左ウインカを後続車に対する「譲り」の意思表示であると認識した上で追い越しを実行していた。左ウインカが左折・譲りのどちらの意思表示であるのか判断がつかなかった2人については、どちらか判断がつかなかったが、自動運転車から譲り意思が提示されたかどうかに関わらず、自らの意思で追い越しを実行する決断をしたと述べた。

また、左折②・③において、左ウインカを左折の合図であると解釈した実験参加者の全員が、「交差点が近くにあるのがわかった」「左に道が伸びているのが見えた」など、道路環境や地形を手掛かりにして認識していた。

(3) 譲り意思を示す自動運転車に対する追い越しの有無

先行する自動運転車が車両挙動や灯火器・後続車向け HMI によって譲り意思を示した走行について、追い越しを行なった実験参加者の割合を図 3-139 に示した。

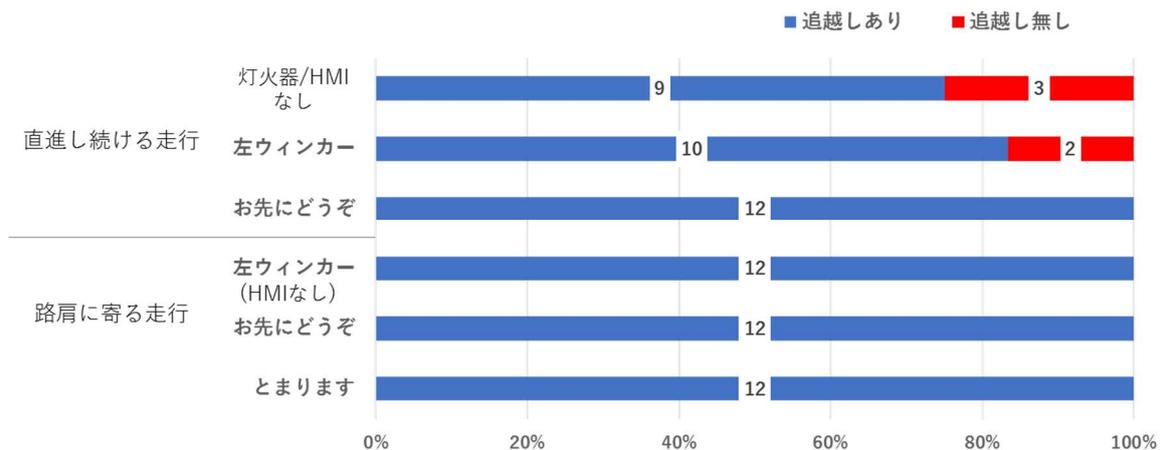
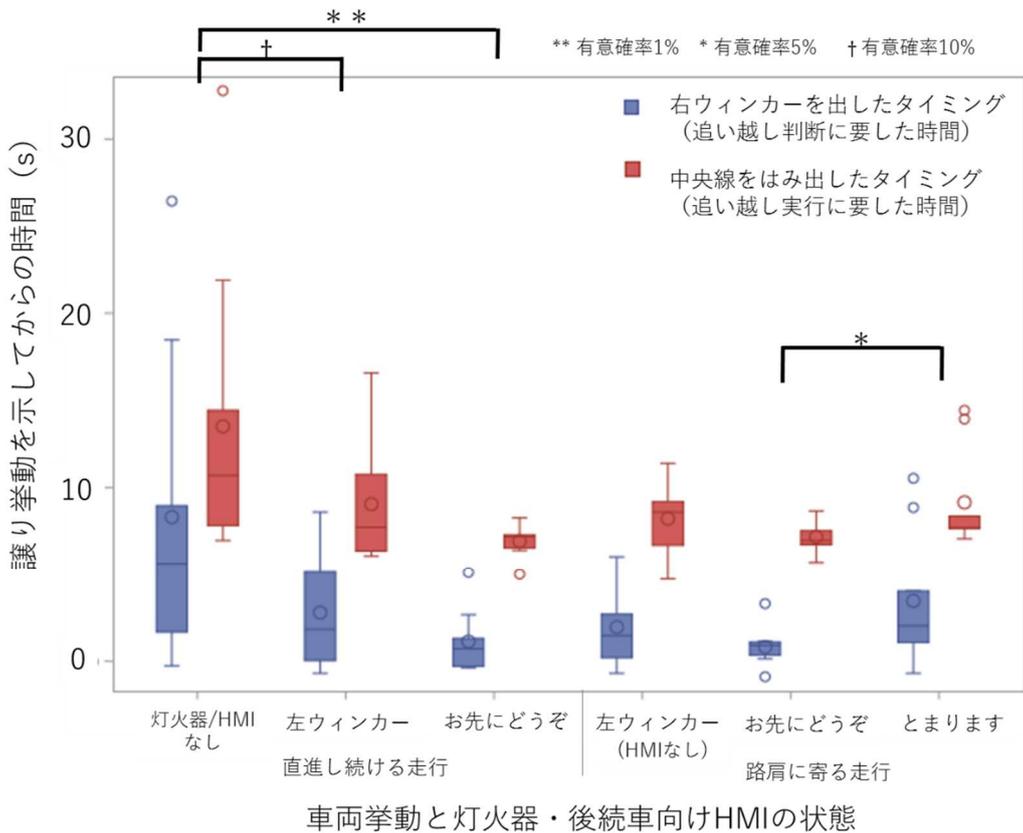


図 3-139 譲り意思を示す自動運転車に対する追い越しの有無

灯火器類(左ウィンカ)や後続車向け HMI を出さずに直進を続けた走行と、左ウィンカのみ点滅させながら直進を続けた走行については、追い越しを行わなかった事例が観測された。以上の 2 条件で追い越しを行わなかった実験参加者の内省報告では、追い越しを行わなかった理由について、「一定速度で同じ位置を走行し続けているため譲られたとは全く思わなかった」こと、その上で「無人操縦である自動運転車が今後どのような挙動をするのか予測できないことによる不安感」などが報告された。

(4) 追い越し判断・実行のタイミング

実験参加者が追い越しの決断をしたタイミング、また実際に追い越しを実行したタイミングを、自動運転車が灯火器類、後続車向け HMI によって後続車に追い越しを促すための譲り意図を示してから実験参加者が右ウィンカを出すまでの時間、また中央線をはみ出すまでの時間としてそれぞれ観測した。各条件の結果を図 3-140 に示す。また、“左ウィンカ”、“お先にどうぞ”の条件について、各実験参加者が追い越し判断を行なったタイミングを車両挙動別にそれぞれ図 3-141、図 3-142 に示した。なお、図 3-141、図 3-142 は追い越しを行わなかった条件のある 3 名の実験参加者のデータを除いた 9 人分のデータを示したものであり、検定については、自動運転車が譲り挙動を示す前に追い越し判断を行った実験参加者 2 名のデータを除き、7 名分を取り扱った。



*** 有意確率 0.1% * 有意確率 5% † 有意確率 10%

図 3-140 自動運転車に対する追い越し判断・実行に要した時間

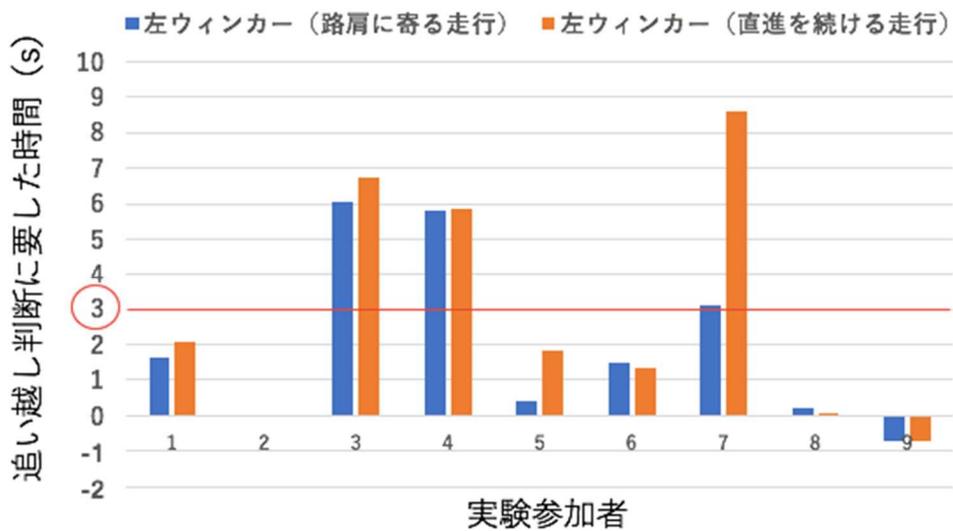


図 3-141 追い越し判断に要した時間 (左ウィンカー点滅の条件時)

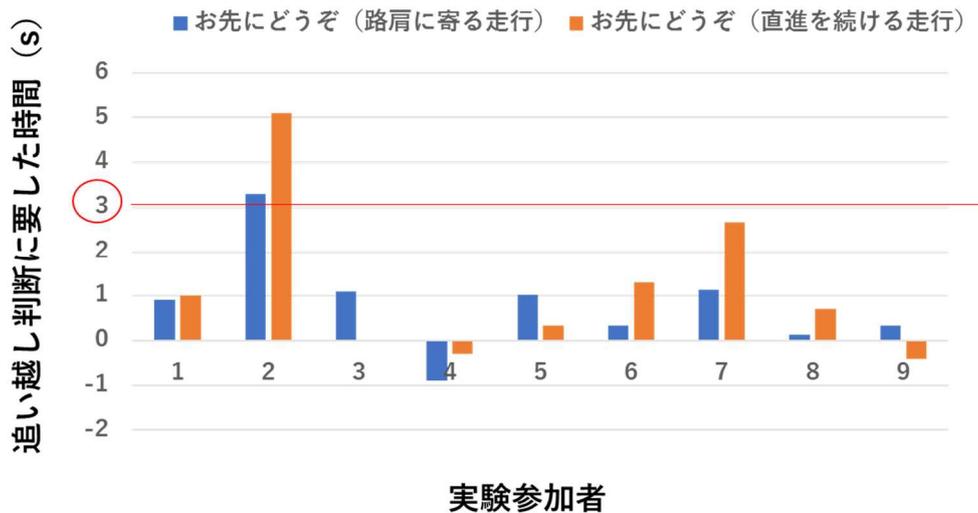


図 3-142 追い越し判断に要した時間（お先にどうぞの条件時）

(4-1) 車両挙動の違いに基づく分析

図 3-140 より、追い越しを判断したタイミングと実行したタイミングは水準間で同様である傾向が読み取れる。

車両挙動(直進を続ける・路肩に寄る)を独立変数、追い越し判断に要した時間を従属変数とし、各挙動で灯火器類・後続車向け HMI の状態が同条件である“左ウインカ”、“お先にどうぞ”のそれぞれの条件について、Wilcoxon-signed rank 検定を行なった結果、両条件とも車両挙動による有意差は見られなかった。また、追い越し実行に要した時間を従属変数として同様の分析を行った結果も同様であった。

図 3-141、図 3-142 より、“左ウインカ”の水準については、左ウインカを点滅させてから路肩に寄る挙動を開始する 3 秒時点より前に追い越し判断をした実験参加者が半数以上、“お先にどうぞ”の水準については、1 人を除き全員が「お先にどうぞ」と提示してから路肩に寄る挙動を開始するまでの 3 秒時点より前に追い越し判断をしていたことが読み取れた。

(4-2) 灯火器・後続車向け HMI に基づく分析

図 3-140 より、追い越しを判断したタイミングと実行したタイミングは水準間で同様である傾向が見て取れた。

追い越し判断に要した時間に注目すると、図 3-140 から読み取れるように、直進を続ける車両挙動であった条件の中では、“灯火器/HMI なし”の条件と比較して“左ウインカ”、“お先にどうぞ”提示時に追い越し判断が早まる傾向となった。路肩に寄る車両挙動であった条件の中では、“左ウインカ”の条件と比較して“お先にどうぞ”提示時に追越し判断が早まる傾向、“とまります”提示

時に追越し判断やや遅くなる傾向が見て取れた。

車両挙動別に、灯火器類・後続車向け HMI の状態を独立変数、追越し判断に要した時間を従属変数として Friedman 検定を行なった結果、どちらにも有意差がみられた（直進を続ける走行： $p=0.0009$ 、路肩に寄る走行： $p=0.0119$ ）。

さらに車両挙動ごとの各水準間で Wilcoxon-signed rank 検定による比較($\alpha=0.0166$)を行なった結果、直進を続ける走行の条件では、“灯火器/HMI なし”と“お先にどうぞ”の水準間で有意差が見られた（ $p=0.0039$ ）。また、“灯火器/HMI なし”と“左ウィンカ”の水準間で有意傾向となった（ $p=0.0977$ ）。路肩に寄る走行の条件では、“お先にどうぞ”と“とまります”の水準間で有意傾向が見られた（ $p=0.0391$ ）。

追越し実行に要した時間についても同様の分析を行った結果、各挙動内の Friedman 検定により、どちらにも有意差がみられ（直進を続ける走行： $p=0.0055$ 、路肩に寄る走行： $p=0.0006$ ）、車両挙動ごとの各水準間で Wilcoxon-signed rank 検定による比較($\alpha=0.0166$)では、直進を続ける走行の条件では、“灯火器/HMI なし”と“お先にどうぞ”の水準間で有意差が見られた（ $p=0.0039$ ）。また、“灯火器/HMI なし”と“左ウィンカ”の水準間で有意傾向となった（ $p=0.0273$ ）。路肩に寄る走行の条件では、“お先にどうぞ”と“とまります”の水準間で有意傾向が見られた（ $p=0.0273$ ）。

(5) 追越し時の車両速度の変化

各条件で、実験参加者が追越しを行なった際の車両速度を、自動運転車が車両挙動や灯火器・後続車向け HMI の状態を変化させることで譲り挙動を示したタイミングの 10 秒前から示したものが図 3-143 から図 3-148 である。なお、挙動や灯火器類の状態に変化の無い条件に対しては、他の条件で譲り挙動が示され始める場所と同位置を自動運転車が通過したタイミングからの速度変化となっている。なお、追越しを行わなかった条件のある 3 名の実験参加者のデータは除いて解析を行なった。

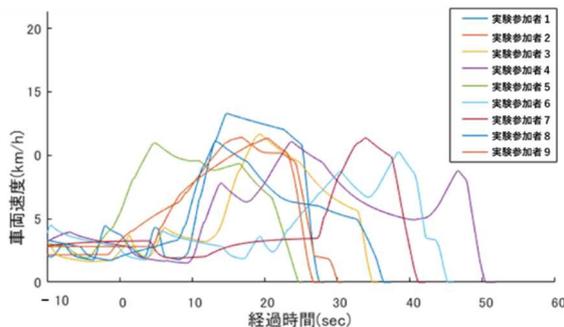


図 3-143 車両速度の変化
(直進する・灯火器/HMI なし)

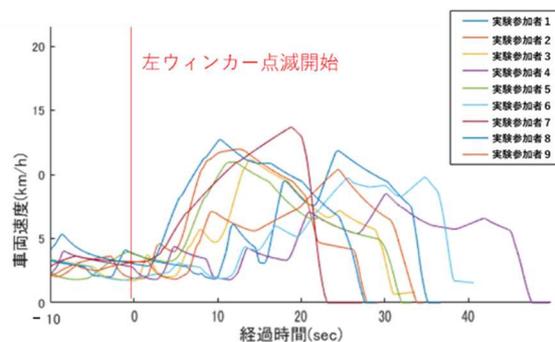


図 3-144 車両速度の変化
(直進する・左ウィンカ)

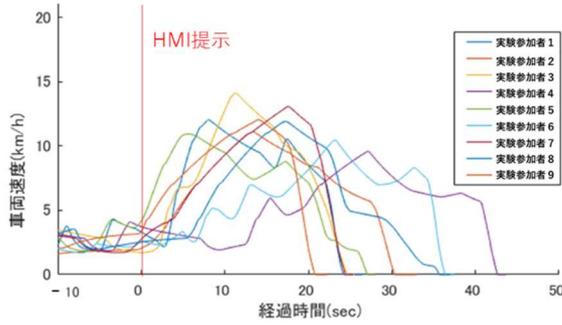


図 3-145 車両速度の変化
(直進する・お先にどうぞ)

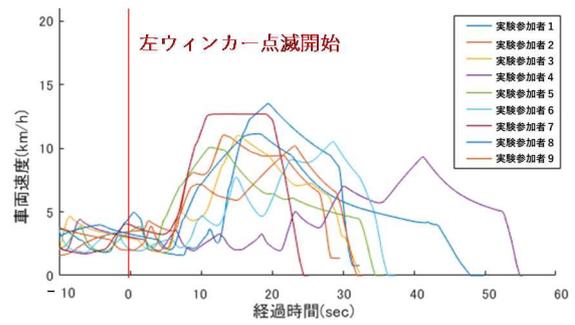


図 3-146 車両速の変化
(路肩に寄る・左ウィンカ(HMIなし))

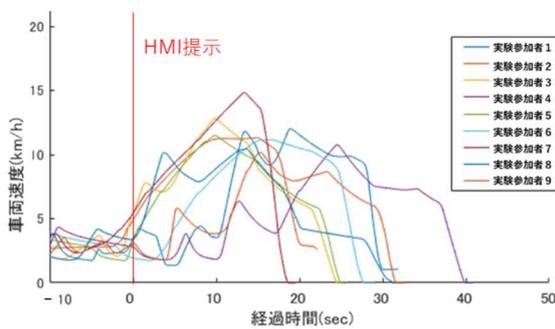


図 3-147 車両速度の変化
(路肩に寄る・お先にどうぞ)

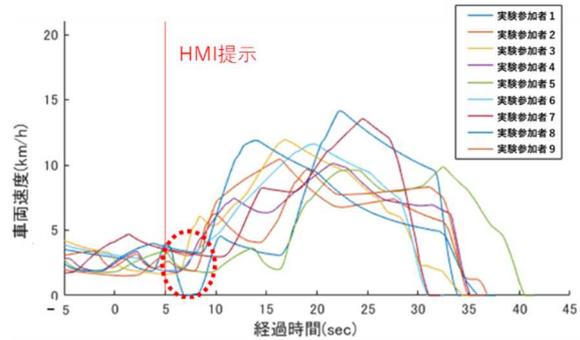


図 3-148 車両速度の変化
(路肩に寄る・とまります)

直進する走行の 3 水準と路肩に寄る走行の 2 水準（左ウィンカ(HMIなし)、お先にどうぞ)については、追い越しに際して不自然な加減速は見受けられず、スムーズに追い越しが行われたと思われる。一方、“とまります”の条件において後続車向け HMI 提示後に一時停止を行なった事例が観測された。実験参加者からはこの一時停止について「“とまります”の意図が不明で、急に止まるのかと思いつきにブレーキを踏んでしまった」という報告がされた。

(6) 追い越し時の後方安全確認の有無

追い越しをする際、ルームミラーやサイドミラー等で後方の安全確認を行っているかどうかを観測した。なお、機械の精度が悪かった事例やデータの欠損が生じたため、追い越しを行った実験参加者のうち 5 名のデータを分析した。また、安全確認については「右ウィンカを出してから反対車線にはみ出すまでにルームミラーやサイドミラーに視線が向いた」事例について「あり」と定義した。

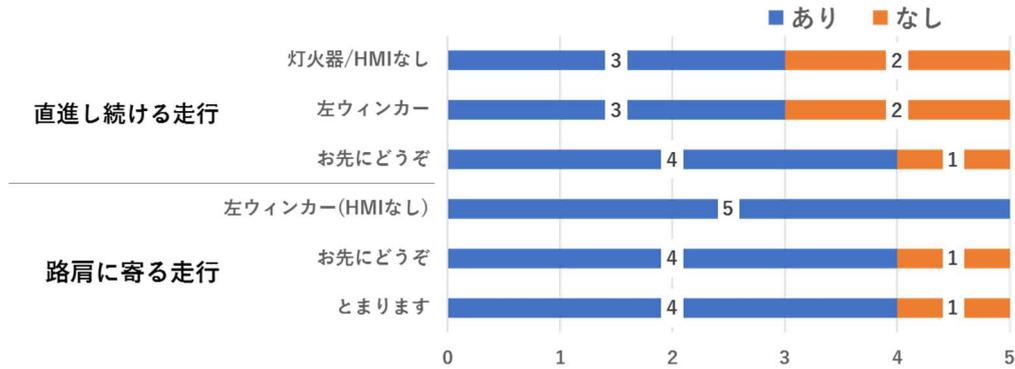


図 3-149 追い越し時の後方安全確認の有無

Fisher の正確確立検定を行った結果、車両挙動間・内ともに有意差は見られなかった。データが取得できた実験参加者の中で、他の条件では安全確認を行ったにもかかわらず、後続車向け HMI の条件のみ安全確認を怠った事例はなかった

(7) 自動運転車に対するストレス・いらつき

先行する自動運転車に対するストレスやいらつきの程度について、条件ごとに分類した結果を図 3-150 に示す。

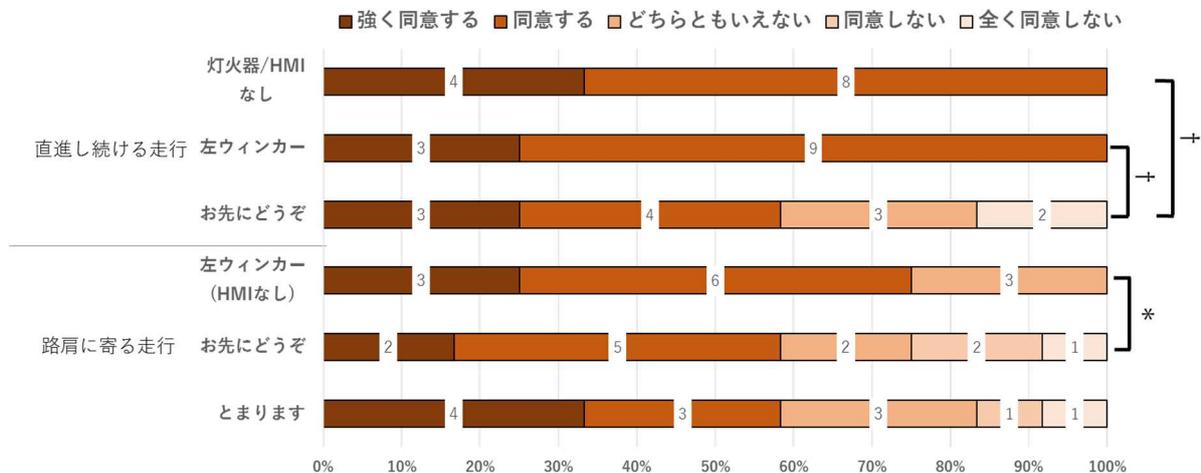


図 3-150 自動運転車に対するストレスやいらつきの程度

(7-1) 車両挙動の違いに基づく分析

車両挙動(直進を続ける・路肩に寄る)を独立変数、フラストレーションの感度を従属変数とし、各挙動で灯火器類・後続車向け HMI の状態が同条件である“左ウィンカ”、“お先にどうぞ”のそれぞれの条件について、Wilcoxon-signed rank 検定を行なった結果、両条件とも車両挙動による有意差は見られなかった。

(7-2) 灯火器・後続車向け HMI に基づく分析

直進を続ける車両挙動であった条件の中では、“灯火器/HMIなし” “左ウインカ”の条件と比較して、“お先にどうぞ”提示時にフラストレーションが減少する傾向となった。路肩に寄る車両挙動であった条件の中では、“左ウインカ”の条件と比較して“お先にどうぞ” “とまります”提示時にフラストレーションが減少する傾向が見て取れた。

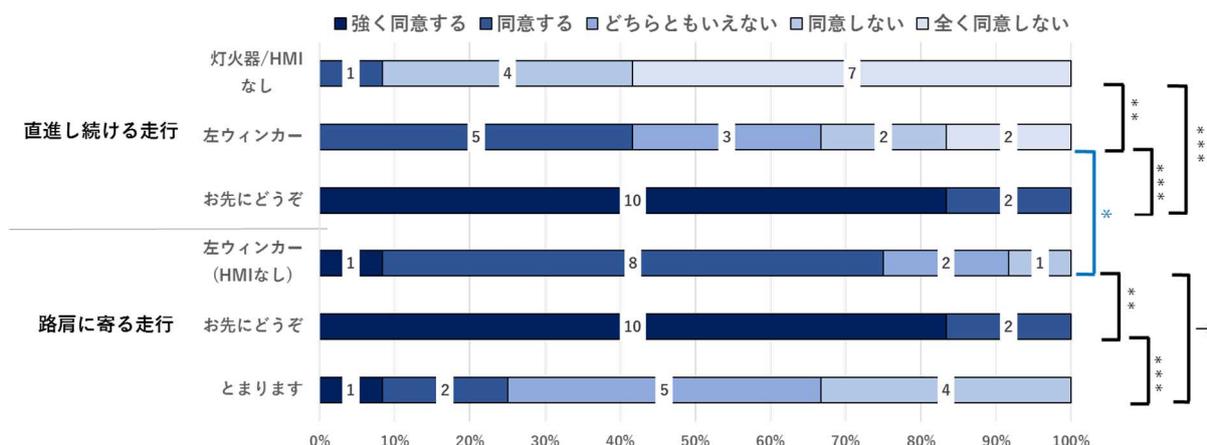
車両挙動別に、灯火器類・後続車向け HMI の状態を独立変数、フラストレーションの感度を従属変数として Friedman 検定を行なった結果、どちらにも有意差がみられた（直進を続ける走行： $p<0.0001$ 、路肩に寄る走行： $p=0.0242$ ）。

さらに車両挙動ごとの各水準間で Wilcoxon-signed rank 検定による比較($\alpha=0.0166$)を行なった結果、直進を続ける走行の条件では、“お先にどうぞ”と“灯火器/HMIなし”、“左ウインカ”それぞれの水準間で有意傾向となった（灯火器/HMIなし： $p=0.0625$ 、左ウインカ： $p=0.0625$ ）。路肩に寄る走行の条件では、“左ウインカ”と“お先にどうぞ”の水準間で有意傾向が見られた($p=0.0313$)。

内省報告にて、条件によらずフラストレーションの要因は自動運転車が「低速」であることがわかった。また、フラストレーションの感度が低下する傾向が見られた“お先にどうぞ”の条件について、“どちらともいえない”以下の評点をつけた実験参加者からは「譲りの意図を他意なく明確に受け取ることができたためストレスが緩和された」という報告がされた。“とまります”についても、フラストレーションの感度が低かった実験参加者からは、“お先にどうぞ”と同様の意見や、「自動運転車の今後の挙動が完全に把握できてストレスが緩和された」という報告がなされた。一方、“とまります”や“左ウインカ”の条件で、「その意図が理解しかねたために低速であることに加えてよりフラストレーションが強まった」という意見もあった。

(8) 自動運転車からの譲りの認識

先行していた自動運転車の譲り意思を示す挙動や灯火器・後続車向け HMI の状態に対する認識について、条件ごとの結果を図 3-151 に示した。なお、「自動運転車に進路を譲られたと感じた」という文言に対する評価であった。



*** 有意確率 0.1% ** 有意確率 1% * 有意確率 5% † 有意確率 10%

図 3-151 自動運転車の挙動・状態に対する譲りの認識

(8-1) 車両挙動の違いに基づく分析

“左ウインカ”の条件では、直進を続ける車両挙動と比較して路肩に寄る挙動時の譲りに対する認識が高まっている傾向が読み取れた。一方、“お先にどうぞ”の条件では、車両挙動の2水準間で譲りに対する認識に差異は全く見られない結果となった。

車両挙動(直進を続ける・路肩に寄る)を独立変数、譲りに対する認識を従属変数とし、各挙動で灯火器類・後続車向け HMI の状態が同条件である“左ウインカ”の条件について Wilcoxon-signed rank 検定を行なった結果、車両挙動の2水準間で有意差が見られた ($p=0.0156$)。

(8-2) 灯火器・後続車向け HMI に基づく分析

図 3.151 から読み取れるように、直進を続ける車両挙動であった条件の中では、“灯火器/HMI なし” “左ウインカ”の条件と比較して、“お先にどうぞ”提示時に譲りに対する認識が高まる傾向となった。路肩に寄る車両挙動であった条件の中では、“お先にどうぞ”の水準の譲りに対する認識が圧倒的に高く、他の2水準と比較して“とまります”の譲りに対する認識が低い傾向にあることが見て取れた。

車両挙動別に、灯火器類・後続車向け HMI の状態を独立変数、譲りに対する認識を従属変数として Friedman 検定を行なった結果、どちらにも有意差がみられた(直進を続ける走行： $p<0.0001$ 、路肩に寄る走行： $p<0.0001$)。

さらに車両挙動ごとの各水準間で Wilcoxon-signed rank 検定による比較($\alpha=0.0166$)を行なった結果、直進を続ける走行の条件では、全ての水準間で有意差がみられた。“お先にどうぞ”に対しては、“灯火器/HMI なし”の水準間で

p=0.0005、“左ウインカ”の水準間で p=0.0010 とそれぞれ 1 % 有意となった。また、“灯火器/HMI なし”と“左ウインカ”の水準間では p=0.0078 の 1 % 有意となった。路肩に寄る走行の条件では、“お先にどうぞ”と“左ウインカ”、“とまります”それぞれの水準間で有意差が見られた（左ウインカ：p=0.0039、とまります：p=0.0010）。また、“左ウインカ”と“とまります”の水準間で有意傾向が見られた（p=0.0625）。

内省報告により、“左ウインカ”の条件で“どちらともいえない”以下の評点をつけた実験参加者については「左折と混同した」という報告がなされた。また、“とまります”について、“どちらともいえない”以下の評点をつけた実験参加者からは「乗客の乗降」や「前方に障害物があるため」の“とまります”等、譲り意図を以外の合図に解釈できるために本意が不明であるという報告がされた。

(9) 自動運転車から譲られたことによる追い越しへの急ぎ

先行していた自動運転車の譲り意思を示す挙動や灯火器・後続車向け HMI の状態に対して、追い越しを促されたと感じたかどうかについて、各条件の結果を図 3-152 に示した。なお、「自動運転車に進路を譲られたことにより、早く追い越さなければならないと感じた」という文言に対する評価であった。

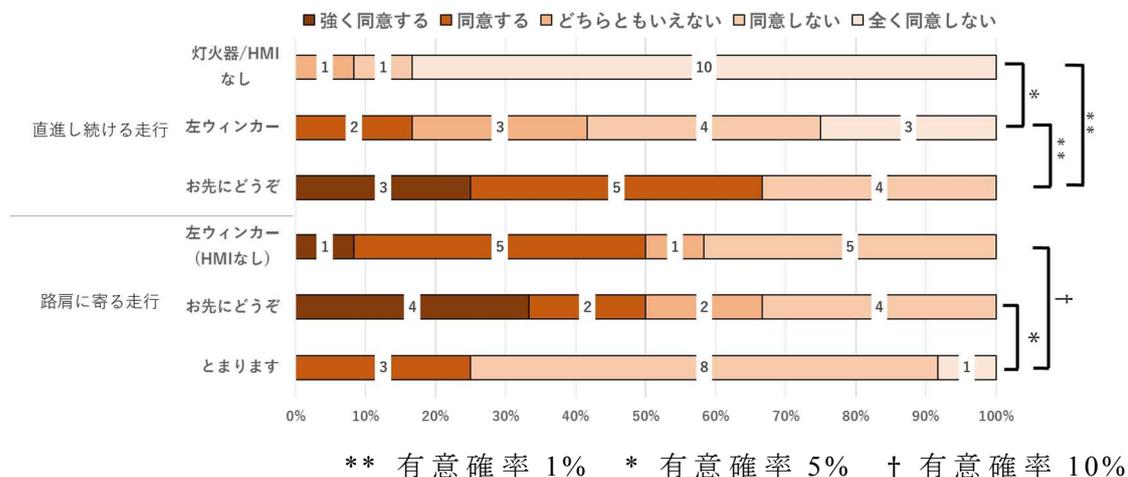


図 3-152 自動運転車の譲り挙動による追越しの促しに対する感度

(9-1) 車両挙動の違いに基づく分析

車両挙動(直進を続ける・路肩に寄る)を独立変数、追越しの促しに対する感度を従属変数とし、各挙動で灯火器類・後続車向け HMI の状態が同条件である“左ウインカ”、“お先にどうぞ”のそれぞれの条件について、Wilcoxon-signed rank 検定を行なった結果、両条件とも車両挙動による有意差は見られなかった。

(9-2) 灯火器・後続車向け HMI に基づく分析

直進を続ける車両挙動であった条件の中では、“灯火器/HMI なし” “左ウインカ” の条件と比較して、“お先にどうぞ” 提示時に追い越しの促しに対する認識が高まる傾向となった。路肩に寄る車両挙動であった条件の中では、他の 2 水準と比較して“とまります” の追い越しの促しに対する認識が低い傾向にあることが見て取れた。

車両挙動別に、灯火器類・後続車向け HMI の状態を独立変数、譲りに対する認識を従属変数として Friedman 検定を行なった結果、どちらにも有意差がみられた（直進を続ける走行： $p<0.0001$ 、路肩に寄る走行： $p=0.0016$ ）。

さらに車両挙動ごとの各水準間で Wilcoxon-signed rank 検定による比較($\alpha=0.0166$)を行なった結果、直進を続ける走行の条件では、全ての水準間で有意差・有意傾向がみられた。“お先にどうぞ” に対しては、“灯火器/HMI なし” の水準間で $p=0.0039$ 、“左ウインカ” の水準間で $p=0.0039$ とそれぞれ 1 % 有意となった。また、“灯火器/HMI なし” と “左ウインカ” の水準間では $p=0.0391$ の有意傾向となった。路肩に寄る走行の条件では、“お先にどうぞ” と “とまります” の水準間で有意差が見られた ($p=0.0391$)。また、“左ウインカ” と “とまります” の水準間で有意傾向が見られた ($p=0.0625$)。

内省報告では、条件によらず“同意する”以上の評点をつけた実験参加者から、「譲られたからには早く応えなければならぬと感じた」ことにより追い越しを急かされた感じがしたという趣旨の解答が得られた。さらに、“お先にどうぞ” の条件については、「文言がかなり追い越しを急かしている気がして、焦って追い越さなければならぬと強く感じた」という報告をする実験参加者もいた。

(10) 自動運転車からの譲りの認識とストレスやいらだち

譲りに対する認識とフラストレーションの感度について各条件で主観評価によりつけられた評点において、図 3-153 に評点値の散布図を示す。なお、譲りに対する認識については「自動運転車に進路を譲られたと感じた」という文言に対して、フラストレーションの感度については「自動運転車にストレス・いらつきを感じた」という文言に対して、「全く同意しない」を 0、「同意しない」を 1、「どちらともいえない」を 2、「同意する」を 3、「強く同意する」を 4 とした評点である。

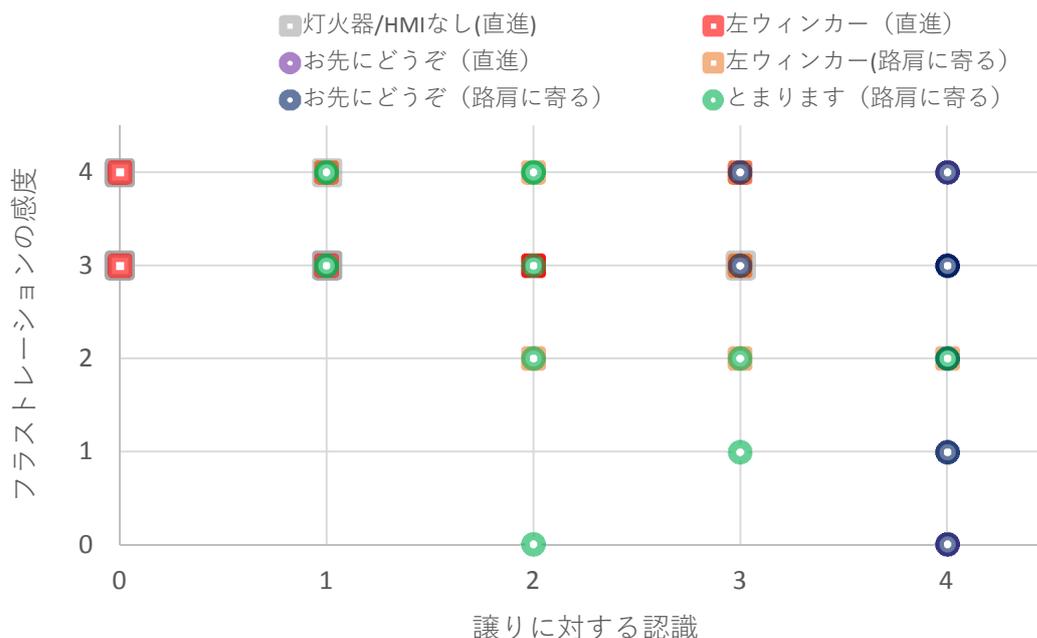


図 3-153 譲りに対する認識とフラストレーションの感度の関係

譲りに対する認識に関わらず、フラストレーションの感度は高い位置を維持する事例が一定数存在する傾向が窺える。一方、“とまります”など、譲りに対する認識にばらつきがある条件については、譲りに対する認識が高いほどフラストレーションの感度が低下する傾向も読み取れた。

(11) 譲りに対する認識と譲りによる追い越しの促しに対する感度

譲りに対する認識と譲りによる追い越しの促しに対する感度について各条件で主観評価によりつけられた評点において、図 3-154 に評点値の散布図を示した。なお、譲りに対する認識については「自動運転車に進路を譲られたと感じた」という文言に対して、フラストレーションの感度については「自動運転車に進路を譲られたことにより、早く追い越さなければならぬと感じた」という文言に対して、「全く同意しない」を 0、「同意しない」を 1、「どちらともいえない」を 2、「同意する」を 3、「強く同意する」を 4 とした評点である。



図 3-154 譲りに対する認識と譲りよる追い越しの促しに対する感度の関係

“とまります”など、譲りに対する認識にばらつきがある条件については、譲りに対する認識が高いほど追い越しの促しに対する感度が増加する傾向が読み取れた。

3.5.3.8. 考察

(1) 左折時の意図表示に対する誤認識の可能性

左折①では実験参加者全員が左ウインカを表示した自動運転車に対して「左折である」という認識を持った上で、追い越しを行わなかったことがわかる。しかし、「灯火器と車両挙動で譲り意思を示す走行」を経験した直後に実施した自動運転車が左折する走行である左折②、「後続車向け HMI と車両挙動で譲り意思を示す走行」を経験した直後に実施した自動運転車が左折する走行である左折③では、左ウインカによって左折意図を示した自動運転車に対する追い越し行為が見られた。追い越しをした実験参加者は、左ウインカに対して譲り意図との混同や誤認識をしており、従来の灯火器（左ウインカ）を用いた譲り意図の伝達は、それを一定頻度経験した後続車ドライバーに対して、左折と譲り挙動の混同や誤解を招く可能性があるといえる。また、混同や誤認識をせずに左ウインカを「左折である」と認識した実験参加者の全員が交差点の有無等の道路環境や地形を手掛かりにした判断を行っていることが内省報告により明らかになっており、先の道路環境が確認しにくい場所等での走行時はさらに左折挙動・譲り挙動の混同や誤認識が増加すると推測できる。

しかし、左折②と左折③を比較すると、左折③では譲り挙動と混同して追い越しを行った実験参加者が 2 名減っていることから、後続車向け HMI と車両挙動による譲り意図の表明は、従来の灯火器と車両挙動のみを用いた譲り挙動よりも、左折の意図表明である左ウインカとの混同・誤認識を軽減させることのできる可能性がうかがえる。

(2) 車両挙動が後続車ドライバーの運転行動と心理状態に与える影響

(2-1) 追い越し運転に対する検討

本実験では、自動運転車が追い越しを促す際の車両挙動として「路肩に寄る」水準を取り入れ、その比較条件として「直進を続ける」水準も実行した。

「路肩に寄る」水準では灯火器や後続車向け HMI の状態に関わらず後続車に 100% 追い越しを促すことができたが、「直進し続ける」水準では、“灯火器（左ウインカ）”を用いなかった条件と“左ウインカ”の条件で追い越しを促すことのできなかつた事例が観測された。追い越しを行わなかつた実験参加者から「一定速度で同じ位置を走行し続けているため譲られたとは全く思わなかつた」という意見があり、「路肩に寄る」際の左寄せや減速が、後続車に譲り意図を伝達し、追い越しを促す上で効果的である可能性が示唆された。

一方、追い越しを行わなかつた実験参加者を除いて解析を行った追い越し判断・実行のタイミングについては、灯火器と後続車向け HMI の条件を同一にして比較を行ったが、車両挙動による差は見られなかつた。これは、実験参加者

が自動運転車の車両挙動が変化する前に追い越し判断をしていることに起因すると考えられる。実際に、「路肩に寄る」水準では自動運転車は左ウインカを出してから3秒後に左寄せを開始する方法をとっていたのに対し、多くの実験参加者が左ウインカ、後続車向け HMI によって追い越しを促すための譲り意思を受けてから3秒未満で追い越し判断をしていたことが分かっている。後続車に追い越しを促すにあたり、「路肩に寄る」挙動は「直進を続ける」挙動よりも自動運転車の運行の観点から時間的なロスがあるといえるため、後続車が挙動を確認する前に灯火器や後続車向け HMI のみで追い越し判断を行い、交通の流れにおける円滑という観点において挙動間に差が無い傾向が確認された上では、自動運転車の運行を円滑に行う観点から「直進を続ける」走行が効果的であると考えられる。

また、車両挙動間での比較に際し、追い越し判断のタイミングと追い越し実行のタイミングに水準間で同様な傾向が見られる結果となったことから、「追い越ししよう」と判断しつつも実行を疎外する要素のある水準はなく、追い越し判断を促すことができる水準がより早い追い越しの実行を実現させると考えられる。

(2-2) 譲り挙動や意図伝達に対する主観的評価に関する検討

自動運転車に対するストレスやいらだちの程度、ならびに譲り挙動による追い越しの急ぎを対象に、灯火器や後続車向け HMI の条件を同一にし、車両挙動の違いを比較したが、それらの差異は見られなかったことから、車両挙動の違いがストレスやいらだち、追い越しの急ぎに対して与える影響は少ないと考えられる。しかし、譲りに対する認識については“左ウインカ”の条件で比較時に2つの車両挙動間で有意差が見られ、「路肩に寄る」挙動がより譲られている認識を高める結果となった。実験参加者からは“左ウインカ”について「左折と混同する」という意見が多く、灯火器の状態のみで自動運転車の意図を汲み取ることが困難であるときは、車両挙動から譲りの意図を受け取っている可能性があると推測できる。また、そのような状況においては、「路肩に寄る」挙動が譲り意図を伝えるために効果的であると考察できる。

(3) 灯火器・後続車向け HMI の状態が後続車ドライバーの運転行動と心理状態に与える影響

(3-1) 追い越し行為に対する客観的な評価に関する検討

本実験では、譲りを促すための灯火器・後続車向け HMI の状態として、「直進を続ける」条件内では“灯火器/HMI なし”、“左ウインカ”、“お先にどうぞ”の3水準、「路肩に寄る」条件内では“左ウインカ(HMI なし)”、“お先にどうぞ

ぞ”、“とまります”の3水準を取り入れた。

追い越しの有無に注目すると、「直進を続ける」挙動において、“お先にどうぞ”の水準で100%追い越しを促すことができたのに対し、“灯火器/HMIなし”、“左ウインカ”の水準で追い越しを促すことができなかった事例が観測された。前項で述べた通り、「直進を続ける」挙動が譲り意図を伝達するものとして非効果的であった可能性が十分に考えられるが、“お先にどうぞ”の水準では全員の追い越しを促せたことから、“左ウインカ”だけでは追い越しを促す意図が十分に伝わらない可能性があるといえる。また、追い越しを行わなかった実験参加者から、“左ウインカ”において「無人操縦である自動運転車が今後どのような挙動をするのか予測できないことによる不安」を感じたという意見から、追い越しを促すために「直進を続ける」挙動に左ウインカを組み合わせる走行は、追い越しの促しに対して非効果的であるだけでなく、後続車に不信感を与える要素も併せ持つことが考察できる。

一方、追い越しを行わなかった実験参加者を除いて解析を行った追い越し判断・実行のタイミングについては、車両挙動内での灯火器・後続車向け HMI の水準間での比較に際し、追い越し判断、タイミングと追い越し実行のタイミングに水準間で同様な傾向が見られる結果となったことから、「追い越ししよう」と判断しつつも実行を疎外する要素のある水準はなく、追い越し判断を促すことができる水準がより早い追い越しの実行を実現させると考えられる。図 3.154 より、

「直進を続ける」車両挙動において“お先にどうぞ”、“左ウインカ”の水準が追い越し判断のタイミングを早める傾向にあることが窺えた。また、「路肩に寄る」挙動においても“お先にどうぞ”が追い越し判断のタイミングを早める傾向にあり、特に“とまります”との水準間には有意傾向が見られた。以上より、車両挙動や灯火器のみでなく、後続車向け HMI を用いた譲り意図の表明が後続車ドライバーにより早い追い越し判断を促すのに効果的である考えられる。一方、“とまります”については HMI がいない条件よりも追い越し判断のタイミングが遅くなる傾向にあることから、後続車向け HMI による譲りのための停止意図の伝達は後続車ドライバーに他意を与え、追い越し判断を鈍らせている可能性が推測できる。

さらに、条件ごとに追い越し時の実験参加者の車両速度の変化を観測した中で、“とまります”の水準で後続車向け HMI 提示後に一時停止を行なった事例が観測された。実験参加者からは「“とまります”の意図が不明で、急に止まるのかと思いつきにブレーキを踏んでしまった」という報告がされており、譲りの意図を効果的に伝達して円滑な追い越しを促すことができず、他意を与える可能性のある後続車向け HMI による譲りのための停止意図の伝達は、安全

や安心の観点からも負の効果を生む可能性があると考えられる。

(3-2) 譲り挙動や意図伝達に対する主観的評価に関する検討

譲りに対する認識については、“お先にどうぞ”や“左ウインカ”の水準が他水準と比較して認識度が高い傾向になったことが読み取れることから灯火器や後続車向け HMI を用いることは車両挙動のみの場合と比較して譲りに対する認識を強めると考察できる。特に、“お先にどうぞ”の水準は約 9 割が「強く同意する」と回答しており、後続車向け HMI による譲り意図の伝達は後続車ドライバーに譲り意図を認識させる上で非常に効果的であるといえる。しかし、“左ウインカ”、“とまります”の水準については「どちらともいえない」以下の評点で、「左折と混同した」、「乗客の乗降」や「前方に障害物があるためだと思った」等、譲りのための意図表明だと明確に伝達することができなかった実験参加者も多数存在し、他意を与える可能性が示唆された。

ストレスやいらだちの程度についてはどちらの車両挙動においても“お先にどうぞ”の水準が他水準と比較して感度が低下する傾向にあることが分かった。“お先にどうぞ”については、「譲りの意図を他意なく明確に受け取ることができたためストレスが緩和された」という趣旨の意見が多くの実験参加者からあった一方、“とまります”や“左ウインカ”の条件で、「その意図が理解し兼ねたために低速であることに加えてよりストレスやいらだちが強まった」という意見もあった。以上の結果より、自動運転車が低速であることにより後続車ドライバーに抱かれるストレスやいらだちは、コミュニケーションをとって譲り意図を伝達する中で、明確に伝達することができれば緩和される一方、そのコミュニケーションが譲り意図を伝達するのに曖昧であったり、意図が汲み取りにくいものであったりすると、よりストレスやいらだちを増加させる要因になる可能性があると考えられる。

追い越しの促しに対する感度についても、“お先にどうぞ”や“左ウインカ”の水準が他水準と比較して感度が高い傾向になったことが読み取れることから灯火器や後続車向け HMI を用いた譲り意図の伝達は車両挙動のみの場合と比較して追い越しの促しに対する認識を強め、効果的に追い越し行為を誘発できる可能性があると考えられる。しかし、追い越しの促しの感度が高いことは円滑面において評価できる反面、焦りや不安感を抱かせるなど、負の効果が生まれる可能性も考えられる。特に、“お先にどうぞ”の水準については、「焦りを強く感じた」という意見もあったことから、後続車向け HMI による譲り意図の伝達は後続車ドライバーに焦り等の感情を与え、安心感を損なわせる可能性に配慮する必要があると考えられる。

(4) 自動運転車による譲り挙動が追い越し時の後方安全確認に与える影響

ある水準のみで安全確認を怠らせる結果とはならなかった。また、各水準で有意差が見られなかったことから、特定の車両挙動や灯火器・後続車向け HMI の状態が後方安全確認を怠らせる可能性は低いと思われる。また、他の条件では安全確認を行ったにもかかわらず、後続車向け HMI の条件のみ安全確認を怠った事例はなかったことから、本実験のような状況で、後続車向け HMI による譲り意図の伝達が後続車ドライバーに安全確認を怠らせるような負の影響があるとは考えにくい。

後方安全確認が疎かになった事例については、同じ走行環境（対向車・後続車の状況、走行位置等）での追い越し行為を繰り返し経験することによって「慣れ」が生じたことにより、一定確率で安全確認を忘れる走行があった可能性が考えられる。しかし、分析できた人数が非常に少ないため、評価対象数を増やして傾向を捉えていく必要があると思われる。

(5) 譲りに対する認識がストレスやいらだちに与える影響

譲りに対する認識の強弱に関わらず、ストレスやいらだちが強く感じられていることが読み取れる。これは、「低速」である自動運転車に追従することが後続車ドライバーに与えるストレスやいらだちは、譲りを受けたことが明確に認識されたとしても保ち続けられる可能性があることを示唆している。しかし、譲りに対する認識が高まるとストレスやいらだちの感度が低下する傾向も同時に見受けられた。この結果からは、譲りの意図をより明確に後続車ドライバーに伝えることができれば、自動運転車に対するストレスやいらだちを低減させることができる可能性が窺える。よって、譲りに対する認識が高い傾向にあった「路肩に寄る」車両挙動や、“お先にどうぞ”など後続車向け HMI による譲り意図の伝達は、後続車ドライバーのストレスやいらだちを低減させ、自動運転車の社会受容性を高める効果も期待できると推測できる。

(6) 譲りに対する認識が追い越しの促しに対する感度に与える影響

譲りに対する認識が高くなると追い越しの促しに対する感度も高い評点値をとる傾向が見られた。これにより、譲りに対する認識が高い場合、追い越しの促しに対する感度も高くなる可能性が推察でき、後続車ドライバーにより円滑な追い越しを実現させることが可能であると考えられる。一方で、強すぎる追い越しの促しが、後続車ドライバーに必要以上の焦りや不快感を与える可能性も少なからず考えられる。よって、譲りに対する認識が高い傾向にあった「路肩に寄る」車両挙動や、“お先にどうぞ”など後続車向け HMI による譲り意図の伝達は、追い越しの促しに対する感度を高め、交通を円滑に保つ観点から効

果的であると考えられるが、安心感を損なわせるほどの促しとなってしまう可能性を鑑み、後続車ドライバーに与える譲り意図が過度にならぬよう配慮する必要があると言える。

3.5.3.9.本節のまとめ

本実験では、道路環境上また交通法上追い越しが不可となる道路に差し掛かる前の安全な追い越しが可能である道路環境を想定し、車両挙動・灯火器類・後続車向け HMI を使用して後続車に追い越しを促す行為を自動運転車が積極的に行う場面を想定した。その上で、従来の灯火器（左ウインカ）を用いて譲り意図の表明を受けた経験が、左折意図を示す左ウインカに対する譲り挙動との混同・誤認識を与える可能性や、譲りを促すための車両挙動・灯火器・後続車向け HMI の状態が後続車ドライバーの追い越し時の運転行動と心理状態に与える影響について検討を行った。次の結果が得られた。

- 従来の灯火器（左ウインカ）を用いた譲り意図の伝達は、それを一定頻度経験した後続車ドライバーに対して、左折と譲り挙動の混同や誤解を招く可能性があるが、後続車向け HMI による譲り意図の伝達が付随した譲り挙動は、左折との混同・誤認識を軽減させることができる可能性がある。
- 灯火器類や後続車向け HMI による譲り意図が十分に伝わる場合、自動運転車の車両挙動が変化する前に追い越し判断をする場合が多く、追い越し判断のタイミングで挙動間に差が無い傾向があることから、交通の流れにおける円滑という観点において「直進を続ける」走行が効果的である。ただし、灯火器等により譲り意図が伝わらない場合、左寄せや減速が追い越しを確実に促す上で効果的である。
- 車両挙動や灯火器のみでなく、後続車向け HMI を用いた譲り意図の伝達が、より早いタイミングでの追い越しを実行させるのに効果的である。一方、後続車向け HMI による譲りのための停止意図の伝達は後続車ドライバーに他意を与え、追い越し判断を鈍らせるだけでなく、安全や安心の観点からも負の効果を生む可能性がある。
- 後続車向け HMI による譲り意図の伝達は、灯火器のみや停止意図の伝達時と比較して後続車ドライバーに譲り意図を認識させる上で非常に効果的であり、後続車ドライバーのフラストレーションを低減させ、自動運転車の社会受容性を高める効果や追い越しの促しに対する感度を高めて交通を円滑に保つ効果も期待できる一方、焦り等の感情を与え、安心感を阻害する可能性が示唆される。

本実験では、20～30歳の若年を対象とした実験ならびに検討を行った。しか

し、高齢者を含め、後続車ドライバーの年代により自動運転車の車両挙動・灯火器類・後続車向け HMI の状態に対する認識や心理状態が異なる可能性があり、さまざまな年齢層にて比較検討すべきであると考えられる。加えて、後続車に追い越しを促す車両挙動や灯火器の使用方法については、地域ごとにローカルルールや習慣が存在する等、地域間での認識の差も存在する可能性があると考えられ、地域差を考慮した検討も実施の余地があるといえる。

さらに、本研究では譲り意図の伝達が焦り等の感情を与える可能性が示唆され、このような後続車向け HMI による譲り意図の伝達に起因する負の影響についても検討・配慮が必要である。加えて、後続車向け HMI による譲り意図の伝達に起因して追い越し時の安全確認が損なわれる可能性について、本実験ではその傾向は見受けられなかったが、分析対象を増やして確認する必要がある。

また、実際に自動運転車が導入される中山間地域の中には、物理的に追い越しが不可能である道路環境も珍しくなく、自動運転車に追従を余儀なくされる後続車ドライバーのフラストレーションの緩和等、環境が異なる地域ごとのさまざまな課題点を洗い出し、「安全」「安心」「円滑」を確保した上で自動運転車が他の交通参加者と共存し、社会受容性を高めることのできる策を講じる必要があると考えられる。

3.6. 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向け HMI の実装

3.6.1. 実施目的

低速走行する移動・物流サービスの自動運転車と外向け HMI との組合せに対する周囲交通参加者の認識や判断、安心感等の心理面への影響を 2020 年度以降に実環境を利用した試験走路実験等で定量的に分析・検討するために、低速走行ならびに無人で特定経路を走行可能な自動運転車を実験車両として製作することを目的とした。

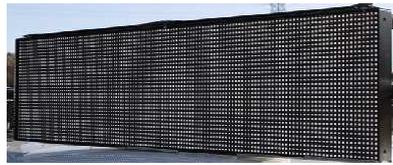
3.6.2. 自動運転実験車両の製作

低速走行する移動・物流サービスの市販自動運転車（ゴルフカート等）を改造して模擬的な自動運転の実験車両を製作した。自動運転の実験車両を製作するにあたり、3.4 節にて記載した国土交通省道路局が実施する道の駅自動運転実証実験等で実際に使用されている自動運転車両の仕様等を調査した。また道の駅自動運転実証実験にて使用されているゴルフカートタイプの自動運転車両が公道走行を可能とするための仕様についても製造メーカーの技術者に聴聞調査した。調査結果の結果、公道走行を可能とするためには、前方障害物の存在を検知するためのセンサーの搭載が必要となることから、自動運転の実験車両の製作時に当該センサーを実装することとした。製作した実験車両の外観を図 3-155 に示す。



図 3-155 実験車両（ゴルフカートタイプ）の外観

また車両状態や周囲交通参加者の状態や関連情報を計測するためのドライブレコーダ等を含めた各種装置を実装することとした。第 1 期 SIP で製作した外向け HMI の仕様（図 3-156 参照）を考慮して外向け HMI をこの実験車両に実装できるような機器配置を検討した。



(a)テキスト型



(b)灯火型

図 3-156 外向け HMI の仕様

3.6.3. 試験走路環境製作の検討

低速走行ならびに無人で特定経路を走行可能な自動運転車とするために、慶應義塾大学新川崎 K2 キャンパス内の構内道路ならびに駐車エリアに電磁誘導線等を敷設することを検討した。その詳細を図 3-157 に示す。実験走行の際は構内道路ならびに駐車エリアを一時的に封鎖して、模擬的に単路環境や交差点環境、駐車場環境を再現することを念頭に置くこととした。構内道路には 2 種類の電磁誘導線を敷設し、一つは短距離の周回路、もう一つは長距離の直線区間を含む周回路とした。実験目的や実験仕様に応じて周回路を選択できるようにした。また本事業終了時には敷設した電磁誘導線等を撤去し、原状復帰を行うことを前提とした。



図 3-157 外向け HMI の仕様（写真部分は Google マップより引用）

また電磁誘導線への給電設備等は構内道路脇の研究棟内に設置し、また周回路は排他的に利用することを前提として、周回路への給電制御のための機器構成を検討した。

3.6.4. 本節のまとめ

本節では、2020年度以降の試験走路実験のための自動運転の実験車両（ゴルフカートタイプ）の製作ならびに試験走路環境の検討を実施した。自動運転の実験車両については車両製作ならびにナンバー登録等が完了し、手動運転での運行ならびに試験走路実験等の事前調整が可能な状態となった。また試験走路環境の整備については、電磁誘導線敷設の検討結果に基づいて2020年度早期に電磁誘導線敷設等を実施する予定である。

3.7. 課題 A のまとめ

- 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握

幹線道路での走行ルートを含む地域では、追い越しの頻度は高く、生活道路が中心の走行ルートである地域では、接近や横断などの歩行者とのインタラクションの機会が比較的多いが確認され、追い越しのインタラクションの頻度が高かったが、コミュニケーションの失敗の頻度では、接近もしくは回避、横断で高い結果となった。接近もしくは回避では、対象が歩行者であるケースが多く、横断に関するインタラクションでは、対象が自動車であるケースが多く、コミュニケーションの失敗が見られる場面では、インタラクションの対象者が自動運転車両の挙動や行動の意図が理解できていないことが見受けられるものであった。低速走行の自動運転車両では、減速しているという挙動が伝わりにくいということが考えられる。一方、追い越しに関するインタラクションでは、インタラクションの対象はほとんどが自動車であり、主に、単路部、丁字路、逆丁字路で、自動運転車両が停止中もしくは直進中のときに追い越しをされることが多いが、逆丁字路のときは、左折をするために左ウインカを出して停止中の際に追い抜きをされるケースも見られ、これは、左折の待機中に左ウインカを出すことで、後続の車両の追い越しを譲るという意図を誤って伝達している可能性が考えられる。

- 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析

(1) 車両挙動や外向け HMI を利用した自動運転車から周囲交通参加者へのコミュニケーションの負の影響に関する検討

自動運転車から横断歩道の歩行者に向けられた譲り意図に対する横断歩道以外の他の歩行者の認識は、本実験で設定した減速・停止の実験条件では、初期速度の違いや外向け HMI 搭載/非搭載に関わりなく、自動運転車から譲られているという認識はほとんどなく、自動運転車通過前の横断開始も少ない。しかしながら、本実験で設定した早期減速・停止の実験条件では、外向け HMI 搭載の自動運転車で初期速度が低い場合に、自動運転車から譲られているという認識割合が高くなり、自動運転車通過前の横断開始も増加する。他の歩行者が 20m 程度の距離に存在することを確認した場合は、外向け HMI を利用しない、あるいは早期減速を実施しないなどの対応が必要である。

自動運転車から横断歩道の歩行者に対して、本実験で設定した早期減速・停止は、歩行者に対して自動運転車から譲られているとの認識を与え、かつ自動運転車の到達・停止前の横断開始を促す効果があり、外向け HMI 搭載の自動運

転車、外向け HMI 非搭載の自動運転車の違いにはほとんど依存しない。

自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することにより、歩行者において周囲確認に関する自動運転車への依存性が高まり、その結果、左方向への確認行動が減少する可能性が示唆される。特に外向け HMI 搭載の自動運転車の場合にはその傾向が高まるものと考えられる。

運転免許所有者を対象として、自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することによる周囲確認の自動運転車への依存性の高まりを低減するためには、外向け HMI を利用しないコミュニケーションを提供する、あるいは外向け HMI を利用する場合でも「お先にどうぞ」ではなく「とまります」を利用するなどの工夫を行うことで周囲確認の自動運転車への依存性を改善できる可能性が示唆される。

運転免許非所有者を対象にして、自動運転車とのコミュニケーションを繰り返し経験することによる周囲確認の自動運転車への依存性の高まりを低減するためには、譲り意図が自動運転車から提供される場合でも歩行者自身が必ず周囲確認を行う必要があるなど適切な知識を事前に提供し活用できるような対応、例えば、自動運転車とのコミュニケーションに関わる交通指導や交通教育での対応が必要であると考えられる。

(2) 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から横断歩道歩行者へのコミュニケーション設計に関する予備的検討

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と横断歩道歩行者とのコミュニケーションに関して、車両挙動や外向け HMI の組合せに基づいて、歩行者の認識や判断、行動について VR 環境を用いた実験を実施した。本実験を通じて、1)早期減速によって車両からの譲り意図が伝わり、横断開始タイミングが早まること、2)外向け HMI を使用した車両から譲り意図が伝達されることにより横断開始タイミングが早まること、3)外向け HMI の有無よりも車両挙動の違いが歩行者の横断判断に与える影響が大きいこと、4)外向け HMI を使用した車両からの譲り意図伝達により、安心感の低下、過剰な焦り、対向車の確認不足が引き起こされる可能性は低いことなどが示唆される。

(3) 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から後続ドライバーへのコミュニケーション設計に関する予備的検討

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から後続ドライバーへの進路譲りのコミュニケーション方法について予備的検討を実施した結果、1)従来の灯火器（左ウインカ）を用いた譲り意図の伝達は、それを一定頻度経験した後続車ドライバーに対して、左折と譲り挙動の混同や誤解を招く可能性があるが、

後続車向け HMI による譲り意図の伝達が付随した譲り挙動は、左折との混同・誤認識を軽減させることができる可能性があること、2) 灯火器類や後続車向け HMI による譲り意図が十分に伝わる場合、自動運転車の車両挙動が変化する前に追い越し判断をする場合が多く、追い越し判断のタイミングで挙動間に差が無い傾向があることから、交通の流れにおける円滑という観点において「直進を続ける」走行は効果があること、3) 灯火器等により譲り意図が伝わらない場合、左寄せや減速が追い越しを確実に促す上で効果的であること、4) 車両挙動や灯火器のみでなく、後続車向け HMI を用いた譲り意図の伝達がより早いタイミングでの追い越しを実行させるのに効果があること、5) 後続車向け HMI による譲りのための停止意図の伝達は後続車ドライバーに他意を与え、追い越し判断を鈍らせるだけでなく、安全や安心の観点からも負の効果を生む可能性があること、6) 後続車向け HMI による譲り意図の伝達は、灯火器のみや停止意図の伝達時と比較して後続車ドライバーに譲り意図を認識させるだけでなく、後続車ドライバーのフラストレーションを低減させる効果があることなどが示唆される。

- 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向け HMI の実装

2020 年度以降の試験走路実験のための自動運転の実験車両（ゴルフカートタイプ）の製作ならびに試験走路環境の検討を実施し、自動運転の実験車両については車両製作ならびにナンバー登録等を完了した。手動運転での運行ならびに試験走路実験等の事前調整が可能な状態となり、また試験走路環境の整備については、電磁誘導線敷設の検討結果に基づいて 2020 年度早期に電磁誘導線敷設等を実施する予定となった。

参考文献

- [1] 平成 30 年度「戦略的イノベーション創造プログラム (S I P) 自動走行システム / 大規模実証実験 / H M I」報告書、http://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/121.pdf
- [2] Habibovic, A., Lundgren, V. M., Andersson, J., Klingegård, M., Lagström, T., Sirkka, A., & Larsson, P. : Communicating Intent of Automated Vehicles to Pedestrians. *Frontiers in psychology*, Vol.9, pp. 1-17, 2018.
- [3] Dey, D., Martens, M., Eggen, B., & Terken, J. : Pedestrian road-crossing willingness as a function of vehicle automation, external appearance, and driving behaviour, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 65, pp. 191-205, 2019.
- [4] Ackermann, C., Beggiato, M., Schubert, S., Krems, J.F. : An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles?, *Applied Ergonomics*, Vol. 75, pp. 272-282, 2019.
- [5] 国土交通省(2019) 道の駅「かみこあに」で自動運転サービス本格導入へスタート. http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/kisya/kisyah/images/78774_1.pdf.
- [6] 国土交通省(2019) 道の駅「コスモール大樹」を拠点とした自動運転サービスの長期実証実験を開始. https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/douro_keikaku/fns6a1000000c1lt-att/fns6a1000000neat.pdf.
- [7] 国土交通省(2019) 常陸太田市における自動運転サービスの長期実証実験を開始. <https://www.mlit.go.jp/common/001293996.pdf>.
- [8] 国土交通省(2018) 道の駅「南アルプスむら長谷」において長期間の実証実験を開始. <https://www.cbr.mlit.go.jp/kisya/2018/11/1102.pdf>.
- [9] 国土交通省(2019) 道の駅「芦北でこぼん」を拠点とした自動運転サービスの長期間の実証実験を開始. http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h30/19012305.pdf.

4. 課題 B：走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継のための HMI 等に関する研究開発

4.1. 目的

第 1 期 SIP では、運転監視を必要としない自動運転から手動運転へ運転モードが遷移した場合に、ドライバーの運転引継に対する準備状態 (Readiness) が低下することにより、運転引継が困難になる可能性を報告した。この成果に基づき、課題 B では、ドライビングシミュレータを用いた定量的評価によって、運転引継が困難となる状況について詳細に検討することを研究目的においた。2019 年度は特に次の二つの課題を検討するための実験を実施した。

一つ目の課題は、自動運転機能使用可能区間を外れる際 (いわゆる ODD 遷移) の運転引継において、遷移前後の運転環境の変化に応じて運転引継の困難性が異なる可能性についての検討である。具体的には、運転環境に大きな変化がない場合 (例えば、自動車専用道内での遷移) では、運転環境に大きな変化がある場合 (例えば、専用道からゲートを通過して一般道へ移る場合) に比べて、適切な運転引継がより困難になると考えられる。そして、困難な運転引継状況を改善するモード遷移のあり方についての検討も同時に行われた。第 1 期 SIP で検討してきた運転監視を必要としない自動運転から手動運転へのモード遷移では、ドライバーに運転監視義務のない状態からの突然の運転引継となるため、適切な運転引継が困難であると考えられる。そこで、運転監視を必要としない自動運転から手動運転への遷移の間に、遷移猶予モード (運転監視を必要とする自動運転モードに相当) を挿入する、段階的モード遷移を提案し、適切な運転監視 (Object and Event Detection and Response:OEDR) 状態への回復効果を検証した。

もう一つの課題は、運転引継が困難であるか否かを判断するドライバー状態の人間計測指標を確立することであった。第 1 期 SIP では Readiness として主に眠気の検出を主眼に置いたが、SAE レベル 2 相当と呼ばれるような高度運転支援システムの利用においては、操作主体はシステムにありながらもドライバーには運転監視義務が課せられる。こうしたシステムの利用時においては、システムの利用中にその利用を継続して良いかどうかや、システムの利用可能区間が終了する際に操作主体をドライバーに受け渡しても良いかどうかをシステム側が判断できなければならない。すなわちドライバーの運転監視状態を計測・評価する手法の開発が必要である。そこで本研究では、ドライバーに運転監視を課した際のドライバーの視認行動を計測し、適切な監視状態を反映する指標の探索を行った。

4.2. 方法

4.2.1. 実験期間

2020年1月22日から2020年3月30日であった。

4.2.2. 実験参加者

過去3ヶ月間に週1日以上車を運転していると報告した成人30名（女性15名、男性15名、平均年齢45.7歳、年齢範囲20-70歳）であった。参加者の募集にあたっては、20代、30代、40代、50代、60代、70代の参加者数および男女比がおおよそ均等になるよう調整された。

4.2.3. 装置および刺激

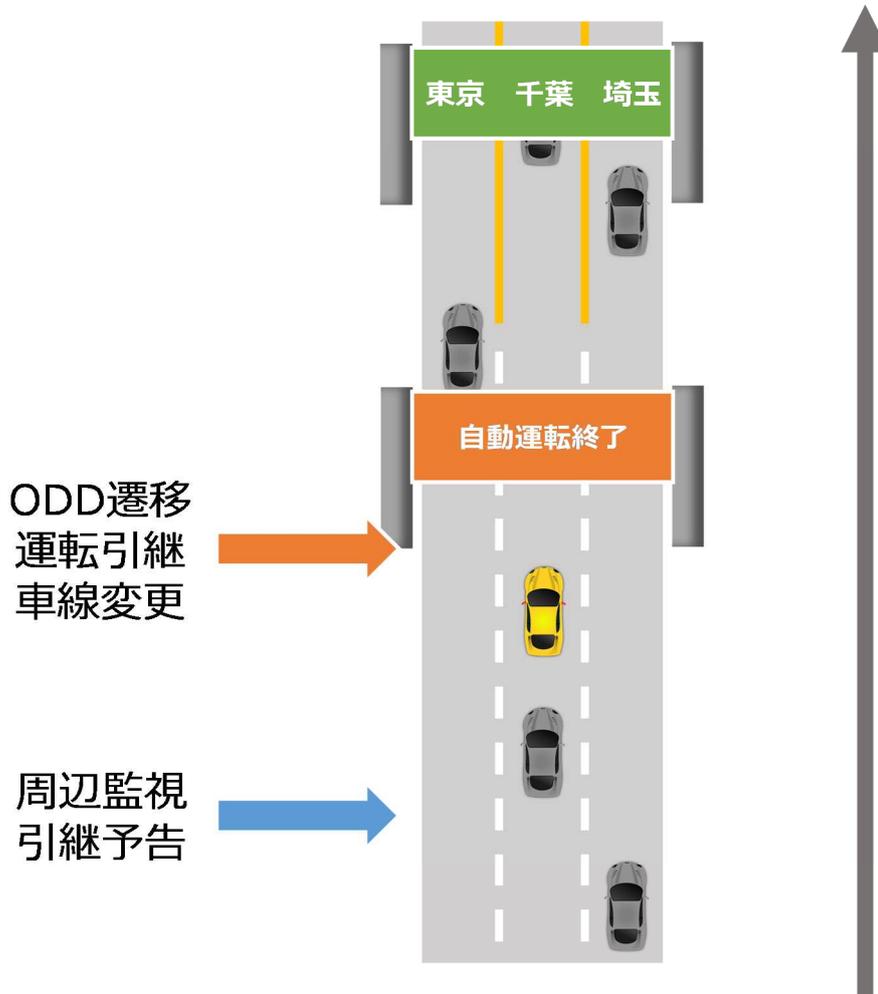
実験は国立研究開発法人産業技術総合研究所の保有する定置型ドライビングシミュレータ（三菱プレシジョン社製）を使用して行われた。これは制御用ソフトウェア（D3Sim、三菱プレシジョン社製）、1台のホストコンピュータ、6台の映像出力用コンピュータにより制御され、運転席の前方、左前方、右前方、左側方、右側方に設置された75インチ型液晶ディスプレイ（PN-HB751、SHARP社製）に模擬走行映像が表示された。また後方には70インチ型液晶ディスプレイ（TH-70LF50J、Panasonic社製）が設置され、ルームミラー越しに見た際に車両後方の自然な模擬走行映像が見られるよう調整された。またサイドミラーは電子式で、運転席の左右に7インチ型液晶ディスプレイ（LCD7620、ADTECHNO社製）が設置され、左右側後方の模擬走行映像がそれぞれ表示された。ハンドルやアクセル・ブレーキペダルなどの操作は、毎秒120回の頻度でホストコンピュータに記録された。

自動運転中に実施したドライバーのサブタスクには、テトリスを用い、タブレットPC（Surface Pro、Microsoft社製）上で実行された。実験参加者の視認行動計測には頭部運動計測装置（三菱プレシジョン社製）およびゴーグル装着型アイトラッカー（EMR-9、ナックイメージテクノロジー社製）が用いられた。頭部運動および視線位置は毎秒120回、ドライバーの頭部に取り付けたカメラ画像に視線位置を重畳した映像データは毎秒30回の頻度で記録された。

4.2.4. 手続き

実験では、ODD遷移と運転引継が発生する約5分間の走行シナリオを設定した(図4-1図4-1)。

被験者のタスク(運転引継後)
「東京方面に向かって走行してください」



被験者のタスク(運転引継前)
「テトリスを行なってください」

図 4-1 走行シナリオの模式図

具体的には、まず片側3車線の自動車専用道の中央車線を時速約60キロで自動走行した。実験参加者は、自動運転中は常にタブレットPCを使用してゲーム(テトリス)をプレイした。なお、テトリスのプレイ中は走行映像表示用ディスプレイを一面グレーにして、周辺走行環境を盗み見できないようにした(走行音は通常通り提示した)。自動走行開始から約70から160秒後にODD遷

移に伴う運転引継を発生させ、約 12 から 21 秒以内に運転引継と同時に表示される進路案内板の表示（東京方面）に従って左右どちらかの車線への手動運転操作による車線変更を求めた。このときの運転行動、視線運動および頭部運動を計測した。

実験条件はまず運転引継時のドライバー状態の向上効果が期待される以下の 3 要素を組み合わせた 4 条件を設定した（エラー！参照元が見つかりません）。第 1 の要素は、運転引継の約 1 分前（自動運転終了地点の 1 km 前地点通過時）に音声アナウンス（「まもなく自動運転を終了します」）による予告を行うか否かであった（予告）。第 2 の要素は、運転引継の約 1 分前（自動運転終了地点の 1 km 前地点通過時）からテトリスを中止して周辺環境の監視を開始するか否かであった（監視）。第 3 の要素は「自動運転終了」と書かれたゲートを道路上に設置し、運転引継位置を視覚的に知らせるか否かであった（ゲート）。さらに探索的検討要素として、周囲に他車両が走行していない場合、すなわち運転監視による交通環境理解の影響を排除した条件を 2 条件設定した（条件 5、6）。

表 4-1 実験条件と操作された要素の組み合わせ

操作された要素		条件1	条件2	条件3	条件4	条件5	条件6
予告	運転引継の約1分前に音声アナウンスによる予告を行うか否か	あり	あり	あり	なし	あり	なし
監視	運転引継の約1分前からゲームをやめて運転監視を開始するか否か	あり	あり	なし	なし	あり	なし
ゲート	道路上にゲートを立てて運転引継位置を視覚的に表示するか否か	あり	なし	なし	なし	あり	なし
他車両	自車以外の車両が周辺を走行しているか否か	あり	あり	あり	あり	なし	なし

他車両のある 4 条件における運転引継時の他車両の配置およびその後の走行アルゴリズムは 10 パターンで、参加者はこの 10 パターンを条件ごとに 1 回ずつ走行した。これにより各条件間での車線変更の難易度が同じになるよう統制された。なお、車両の視覚的要素（車両の色もしくは車種）を走行ごとに変更し、複数の条件の走行を同じ日に行わない（すなわち 1 日に同じパターンを複数回経験しない）ようにし、条件ごとに実施順を変更することで、

同じパターンが存在することに気づかれないよう配慮した。他車両なしの2条件では、他車両のない環境で10回ずつ走行した。よって各参加者が行った実験走行は計60回であった。各条件は別の日に実施されたため1日あたりの走行回数は10回、実験参加日数は6日間であった。条件の実施順は参加者ごとにランダム化された。

4.3. 結果

4.3.1. 運転引継後の運転行動および視認行動

4.3.1.1. 運転引継反応時間 (何らかの運転操作がされ始めるまでの時間)

自動運転区間終了後、どの程度スムーズに運転引継が開始されたかを検討するため、各条件における自動運転区間終了地点を起点とした運転操作開始までの平均反応時間 (すなわち、ステアリング、アクセル、ブレーキ、ウィンカーのいずれかを操作し始めるまでの時間) を算出した。この時間が短いほど、運転引継をスムーズに開始できるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図4-2に示す。

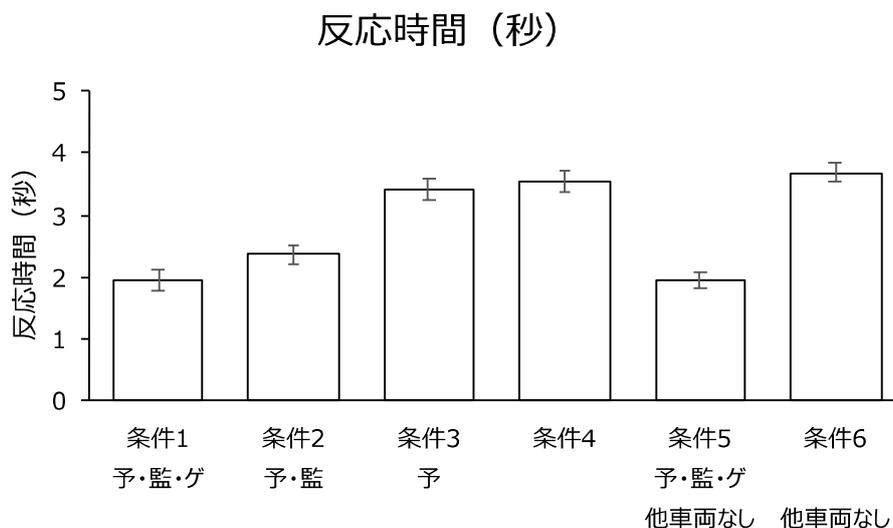


図 4-2 運転引継反応時間 (ステアリング、アクセル、ブレーキ、ウィンカーのいずれかを操作し始めるまでの時間)。反応時間が短いほどスムーズな運転引継ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予=予告、監=監視、ゲ=ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、主効果は有意であった、 $F(5, 145) = 37.90, p < .001, \eta^2_G = 0.44$ 。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .153, d = -0.40$,

95% CI = [-0.97, 0.15]。条件 1 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.42$, 95% CI = [-2.0, -0.9]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.54$, 95% CI = [-2.2, -1.0]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.02$, 95% CI = [-0.5, 0.6]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.67$, 95% CI = [-2.3, -1.2]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.03$, 95% CI = [-1.6, -0.5]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.14$, 95% CI = [-1.7, -0.6]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .135$, $d = 0.421$, 95% CI = [-0.1, 1.0]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p < .001$, $d = -1.27$, 95% CI = [-1.9, -0.8]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.12$, 95% CI = [-0.7, 0.4]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.45$, 95% CI = [0.9, 2.1]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .737$, $d = -0.24$, 95% CI = [-0.8, 0.3]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.56$, 95% CI = [1.1, 2.2]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.13$, 95% CI = [-0.7, 0.4]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.69$, 95% CI = [-2.3, -1.2]。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、運転引継をスムーズに開始できるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

4.3.1.2. 所要時間 (車線変更完了までに要した時間)

車線変更がどの程度スムーズに行われたかを検討するため、車線変更を求められてから (教示により、運転交代時がすなわち車線変更を企図するタイミン
グになるよう操作されている)、各条件において実際に車線変更を完了するま
でにどの程度の時間を要したかを算出した。この時間が短いほど、車線変更を
スムーズに行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。なお、通
常の交通場面では安全のため、車線変更の意思表示後 3 秒程度走行した後に車
線変更が開始されるが、本実験では運転引継後の最短車線変更可能時間を明ら
かにするため、車線変更の意思表示後 3 秒未満に車線変更を開始してもよいこ
ととした。結果を図 4-3 に示す。

所要時間 (秒)

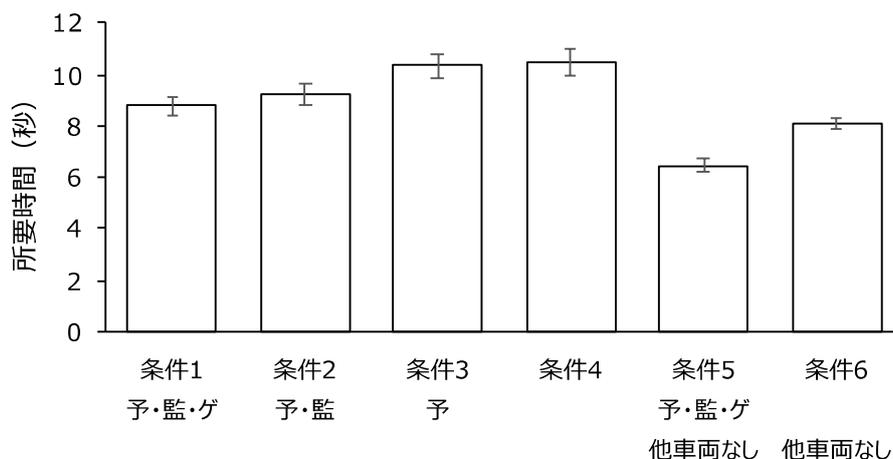


図 4-3 所要時間 (車線変更が求められてから完了するまでに要した時間)。時間が短いほどスムーズな車線変更ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予=予告、監=監視、ゲ=ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は有意であった、 $F(3.6, 104.2) = 20.88, p < .001, \eta^2_G = 0.31$ (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .580, d = -0.19, 95\% \text{ CI} = [-1.9, 0.9]$ 。条件 1 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p = .007, d = -0.62, 95\% \text{ CI} = [-3.0, -0.2]$ 。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .004, d = -0.66, 95\% \text{ CI} = [-3.1, -0.3]$ 。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.91, 95\% \text{ CI} = [0.9, 3.7]$ 。条件 1 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .408, d = 0.27, 95\% \text{ CI} = [-0.7, 2.1]$ 。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .088, d = -0.42, 95\% \text{ CI} = [-2.5, 0.3]$ 。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .069, d = -0.47, 95\% \text{ CI} = [-2.6, 0.2]$ 。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 1.10, 95\% \text{ CI} = [1.4, 4.2]$ 。条件 2 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .069, d = 0.47, 95\% \text{ CI} = [-0.2, 2.6]$ 。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .816, d = -0.04, 95\% \text{ CI} = [-1.5, 1.3]$ 。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 1.53, 95\% \text{ CI} = [2.5, 5.3]$ 。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.89, 95\% \text{ CI} = [0.9, 3.7]$ 。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 1.57, 95\% \text{ CI} = [2.6, 5.4]$ 。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.93, 95\% \text{ CI} = [1.0, 3.8]$ 。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみら

れた、 $p = .005$, $d = -0.64$, $95\% \text{ CI} = [-3.0, -0.2]$ 。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更をスムーズに行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

4.3.1.3.所要距離 (車線変更完了までに要した走行距離)

車線変更完了までの時間により、車線変更のスムーズさを評価したが、交通の流れの状況によって、スムーズさを適切に評価できない可能性もある。例えば、車速が速い場合、変更前の車線をしばらく走り続けていたとしても、車線変更までの時間は短く評価されてしまう。そこで、車線変更を企図してから車線変更完了までに要した走行距離を算出し、条件ごとに算出した。結果を図 4-4 に示す。

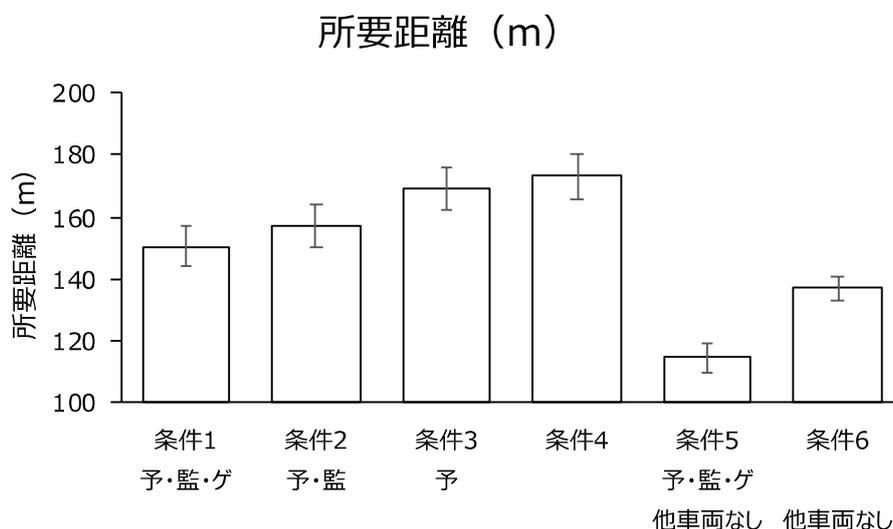


図 4-4 所要距離 (車線変更を求められてから車線変更完了までに要した走行距離)。距離が短いほどスムーズな車線変更ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は有意であった、 $F(5, 145) = 18.23$, $p < .001$, $\eta^2_G = 0.27$ 。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .758$, $d = -0.16$, $95\% \text{ CI} = [-28.1, 15.3]$ 。条件 1 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .060$, $d = -0.48$, $95\% \text{ CI} = [-40.7, 2.8]$ 。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .019$, $d = -0.57$, $95\% \text{ CI} = [-44.4, -1.0]$ 。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 0.91$, $95\% \text{ CI} = [14.5, 57.9]$ 。条件 1

と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .253$, $d = 0.34$, 95% CI = [-8.1, 35.3]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .260$, $d = -0.32$, 95% CI = [-34.3, 9.2]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .133$, $d = -0.41$, 95% CI = [-38.0, 5.4]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.07$, 95% CI = [20.9, 64.3]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .047$, $d = 0.50$, 95% CI = [-1.7, 41.8]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .758$, $d = -0.09$, 95% CI = [-25.5, 18.0]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.38$, 95% CI = [33.5, 76.9]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 0.82$, 95% CI = [10.9, 54.3]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.48$, 95% CI = [37.2, 80.6]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 0.91$, 95% CI = [14.6, 58.1]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .019$, $d = -0.57$, 95% CI = [-44.3, -0.9]。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更をスムーズに行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

4.3.1.4. 余裕距離 (車線変更完了地点と車線変更禁止区間開始地点までの距離)

車線変更がどの程度余裕を持って行われていたかを検討するため、各条件における、車線変更完了地点と黄色線 (車線変更禁止区間の開始地点) までの平均距離を算出した。この距離が長いほど、車線変更は余裕を持って行われたと解釈できる。結果を図 4-5 に示す。

余裕距離 (m)

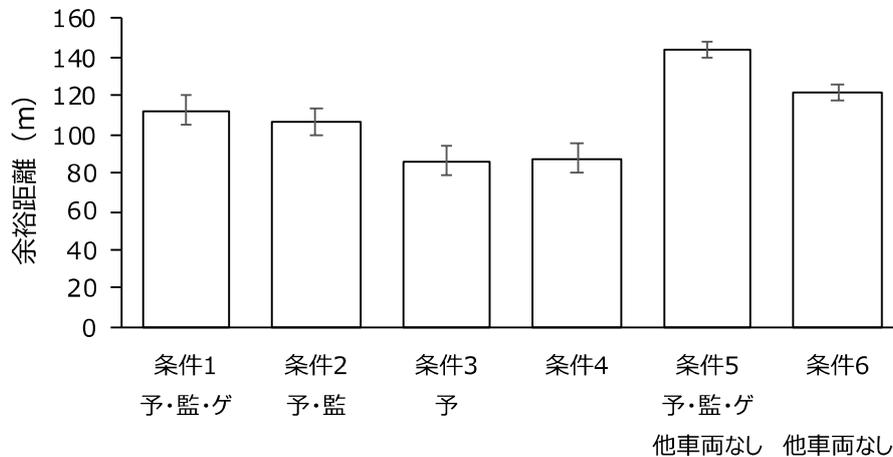


図 4-5 余裕距離 (車線変更完了地点と車線変更禁止地点までの距離)。距離が長いほど余裕のある車線変更ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は有意であった、 $F(3.9, 112.6) = 17.01, p < .001, \eta^2_G = 0.25$ (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .811, d = 0.15, 95\% \text{ CI} = [-16.0, 28.4]$ 。条件 1 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p = .005, d = 0.64, 95\% \text{ CI} = [4.0, 48.3]$ 。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .009, d = 0.61, 95\% \text{ CI} = [2.5, 46.9]$ 。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.77, 95\% \text{ CI} = [-53.7, -9.3]$ 。条件 1 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .671, d = -0.22, 95\% \text{ CI} = [-31.3, 13.1]$ 。条件 2 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p = .049, d = 0.49, 95\% \text{ CI} = [-2.2, 42.1]$ 。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .070, d = 0.45, 95\% \text{ CI} = [-3.7, 40.7]$ 。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.93, 95\% \text{ CI} = [-59.9, -15.5]$ 。条件 2 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .166, d = -0.38, 95\% \text{ CI} = [-37.5, 6.9]$ 。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .844, d = -0.04, 95\% \text{ CI} = [-23.7, 20.7]$ 。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -1.42, 95\% \text{ CI} = [-79.8, -35.4]$ 。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.87, 95\% \text{ CI} = [-57.4, -13.1]$ 。条件 4 と条件 5 の間に有意な差

がみられた、 $p < .001$, $d = -1.38$, 95% CI = [-78.3, -34.0]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -0.83$, 95% CI = [-56.0, -11.6]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .021$, $d = 0.55$, 95% CI = [0.2, 44.6]。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

4.3.1.5.未実施率 (車線変更できずに通り過ぎてしまった走行の割合)

実験では運転引継後できるだけ早く車線変更を行うことが求められたが、車線変更を行うことなく実験走行が終了される場合があった。走行後の感想などから、周辺確認の遅れなどにより安全に車線変更ができないと判断した場合にこうしたことが起きており、車線変更の余裕度を反映する指標となる可能性があった。そこで、各条件における車線未実施率 (全体における車線変更を最後まで実施できなかった試行の割合) を算出した。車線失敗率が低いほど、車線変更を安全に、余裕を持って行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図 4-6 に示す。

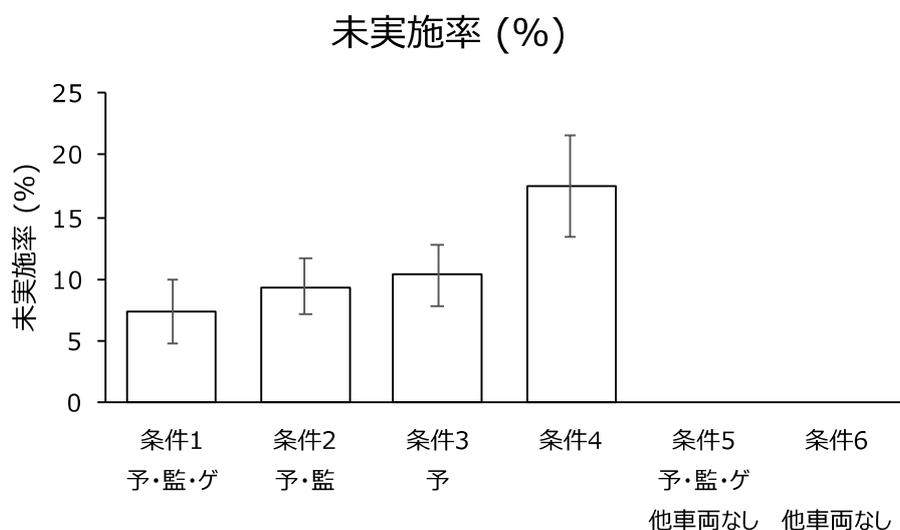


図 4-6 未実施率。割合が低いほどスムーズな車線変更ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は優位であった、 $F(5, 145) = 10.83$, $p < .001$, $\eta^2_G = 0.19$ 。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.13$, 95% CI = [-10.6, 6.6]。条件 1 と条件 3 の間に有意な差はみられな

った、 $p = 1.000$, $d = -0.19$, 95% CI = [-11.6, 5.6]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .006$, $d = -0.65$, 95% CI = [-18.7, -1.6]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .083$, $d = 0.47$, 95% CI = [-1.2, 15.9]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .083$, $d = 0.47$, 95% CI = [-1.2, 15.9]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.06$, 95% CI = [-9.6, 7.6]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .041$, $d = -0.52$, 95% CI = [-16.7, 0.4]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .015$, $d = 0.59$, 95% CI = [0.8, 17.9]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .015$, $d = 0.59$, 95% CI = [0.8, 17.9]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .083$, $d = -0.46$, 95% CI = [-15.7, 1.4]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .006$, $d = 0.66$, 95% CI = [1.8, 18.9]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .006$, $d = 0.66$, 95% CI = [1.8, 18.9]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.11$, 95% CI = [8.9, 26.1]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.11$, 95% CI = [8.9, 26.1]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = 1.000$, $d = 0.00$, 95% CI = [-8.6, 8.6]。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

4.3.1.6.衝突率（車線変更時の他車両へ衝突してしまった走行の割合）

上記の車線変更失敗に見られるように、安全に車線変更を行うことができない状況において、衝突を辞さず無理やり車線変更が行われる場合もあった。そこで各条件における、車線変更時の他車両への衝突率を算出した。衝突率が低いほど、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図 4-7 に示す。

衝突率 (%)

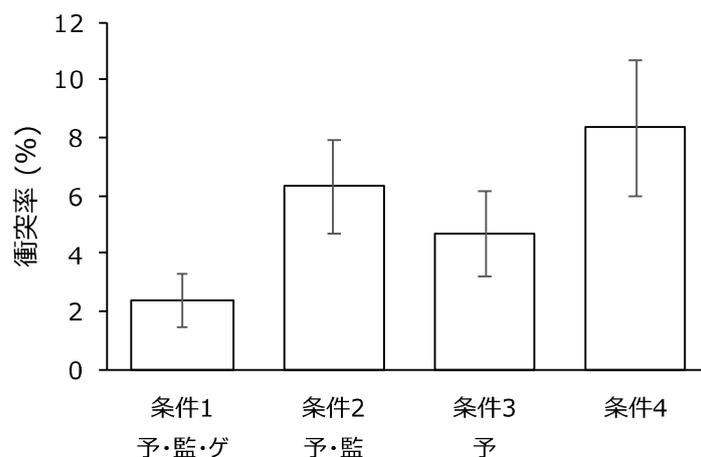


図 4-7 衝突率。割合が低いほど安全な車線変更ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 4 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は優位であった、 $F(3, 87) = 4.40, p = .006, \eta^2_G = 0.05$ 。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .112, d = -0.42, 95\% \text{ CI} = [-8.6, 0.6]$ 。条件 1 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .545, d = -0.25, 95\% \text{ CI} = [-6.9, 2.3]$ 。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .004, d = -0.64, 95\% \text{ CI} = [-10.6, -1.4]$ 。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .545, d = 0.18, 95\% \text{ CI} = [-2.9, 6.3]$ 。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .545, d = -0.21, 95\% \text{ CI} = [-6.6, 2.6]$ 。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .137, d = -0.39, 95\% \text{ CI} = [-8.3, 0.9]$ 。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

4.3.1.7.違反率 (車線変更禁止区間に進入した後に車線変更が行われた割合)

上記の衝突を辞さない車線変更と同様に危険な車線変更として、車線変更禁止区間に進入した後で車線変更を行うケースも見られた。そこで、車線変更がどの程度安全に行われていたかをさらに検討するため、各条件における、車線変更違反率 (全体における車線変更禁止区間に進入した後に黄色線を跨いだ車線変更が行われた走行の割合) を算出した。この割合が低いほど、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図

4-8 に示す。

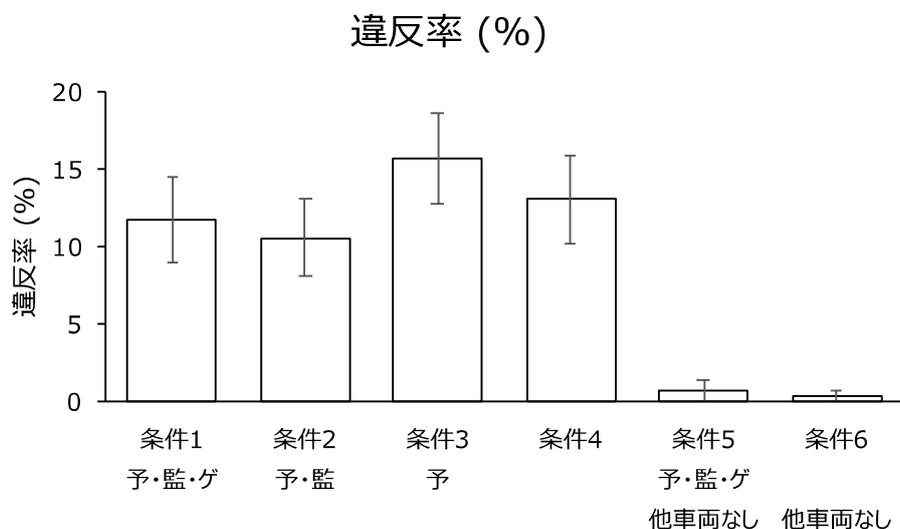


図 4-8 違反率 (車線変更禁止区間に入進した後に黄色線を跨いだ車線変更が行われた走行の割合)。割合が低いほど安全に配慮した車線変更ができていたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す；予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は優位であった、 $F(3.6, 103.9) = 10.69, p < .001, \eta^2_G = 0.20$ (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = 0.08, 95\% \text{ CI} = [-7.3, 9.7]$ 。条件 1 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.25, 95\% \text{ CI} = [-12.4, 4.5]$ 。条件 1 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.08, 95\% \text{ CI} = [-9.8, 7.2]$ 。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.71, 95\% \text{ CI} = [2.6, 19.6]$ 。条件 1 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.74, 95\% \text{ CI} = [3.0, 19.9]$ 。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .506, d = -0.33, 95\% \text{ CI} = [-13.6, 3.3]$ 。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.16, 95\% \text{ CI} = [-11.0, 6.0]$ 。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .005, d = 0.64, 95\% \text{ CI} = [1.4, 18.4]$ 。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .004, d = 0.66, 95\% \text{ CI} = [1.7, 18.7]$ 。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = 0.17, 95\% \text{ CI} = [-5.9, 11.1]$ 。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.97, 95\% \text{ CI} = [6.6, 23.5]$ 。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.99,$

95% CI = [6.9, 23.8]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた, $p < .001$, $d = 0.80$, 95% CI = [3.9, 20.9]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた, $p < .001$, $d = 0.82$, 95% CI = [4.3, 21.2]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった, $p = 1.000$, $d = 0.02$, 95% CI = [-8.1, 8.8]。結果より、違反車線変更実施率に対する、運転引継前 1 分間の運転監視、運転引継の事前予告、ゲートによる運転引継位置の視覚的表示の影響は見出されなかった。

4.3.1.8. 失敗率 (未実施、衝突、違反のいずれかに当てはまる走行が行われた割合)

さらに車線変更がどの程度安全に配慮して行われたかを総合的に検討するため、上記の車線変更未実施、車線変更時衝突、違反車線変更のいずれかに当てはまる走行が行われた割合を車線変更失敗率として算出した。結果を図 4-9 に示す。

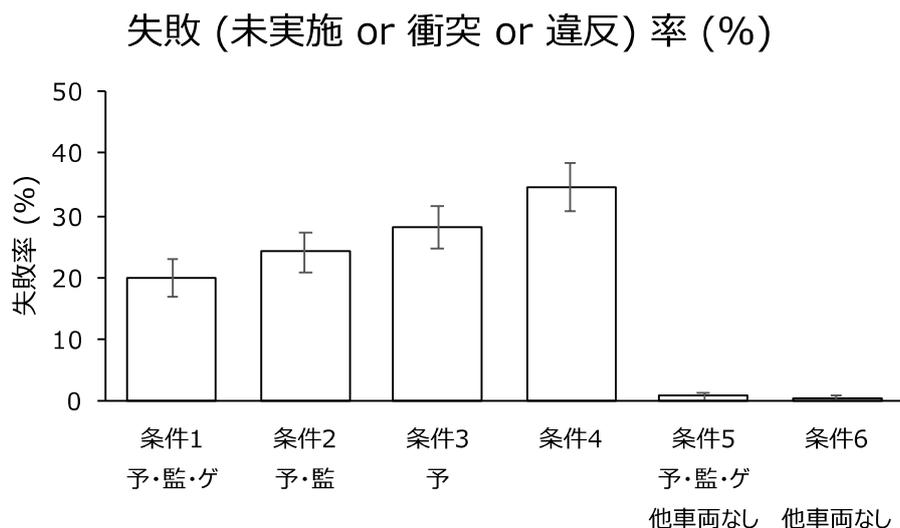


図 4-9 失敗率 (車線変更未実施、車線変更時衝突、違反車線変更のいずれかに当てはまる走行が行われた割合)。割合が小さいほど安全に配慮した車線変更が行われたことを示す。条件名下の文字は操作された要素を示す; 予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は優位であった、 $F(3.6, 104.4) = 35.56$, $p < .001$, $\eta^2_G = 0.44$ (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .711$, $d = -0.22$, 95% CI = [-14.2, 6.1]。条件 1 と条件 3 の間に有

意な差はみられなかった、 $p = .097$, $d = -0.43$, 95% CI = [-18.2, 2.1]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -0.79$, 95% CI = [-24.8, -4.5]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.04$, 95% CI = [9.2, 29.4]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.05$, 95% CI = [9.5, 29.8]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .771$, $d = -0.22$, 95% CI = [-14.1, 6.1]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .013$, $d = -0.57$, 95% CI = [-20.7, -0.4]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.25$, 95% CI = [13.2, 33.5]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.27$, 95% CI = [13.5, 33.8]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .219$, $d = -0.35$, 95% CI = [-16.7, 3.6]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.47$, 95% CI = [17.2, 37.5]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.49$, 95% CI = [17.5, 37.8]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.82$, 95% CI = [23.8, 44.1]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.84$, 95% CI = [24.1, 44.4]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .922$, $d = 0.02$, 95% CI = [-9.8, 10.5]。結果より、違反車線変更実施率に対する、運転引継前 1 分間の運転監視、運転引継の事前予告、ゲートによる運転引継位置の視覚的表示の影響は見出されなかった。

4.3.1.9. 運転引継後の視認行動 (アイトラッカーによる視線計測の結果)

次に、運転引継後の視認行動をアイトラッカーによる視線計測結果から検討した。なおアイトラッカーとの相性が悪く視線データを取得できなかった条件が 1 つでもあった 2 名のデータを除き、28 名分を解析に用いた。視対象を前方、サイドミラー、ルームミラー、計器その他に分類し、それぞれに対する運転引継直後 10 秒間の注視率を算出した。

4.3.1.9.1. 運転引継直後 10 秒間の前方注視率

前方注視率の結果を図 4-10 に示す。1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析を実施した結果、条件の主効果は有意であった、 $F(3.6, 96.6) = 9.68$, $p < .001$, $\eta^2_G = 0.21$ (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .603$, $d = 0.28$, 95% CI = [-4.2, 12.6]。条件 1 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p = .006$, $d = 0.67$, 95% CI = [1.6, 18.3]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 0.84$, 95% CI = [4.1, 20.9]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .603$, $d = -0.28$, 95% CI = [-12.6, 4.2]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差はみ

られなかった、 $p = .295$, $d = 0.38$, 95% CI = [-2.8, 13.9]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .295$, $d = 0.39$, 95% CI = [-2.6, 14.1]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .034$, $d = 0.56$, 95% CI = [-0.1, 16.6]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .033$, $d = -0.57$, 95% CI = [-16.8, 0.0]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .739$, $d = 0.09$, 95% CI = [-7.0, 9.7]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .739$, $d = 0.17$, 95% CI = [-5.9, 10.9]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -0.95$, 95% CI = [-22.5, -5.8]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .603$, $d = -0.30$, 95% CI = [-12.8, 4.0]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.12$, 95% CI = [-25.0, -8.3]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .121$, $d = -0.47$, 95% CI = [-15.3, 1.5]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .007$, $d = 0.66$, 95% CI = [1.4, 18.1]。

引継後10秒間の前方注視率 (%)

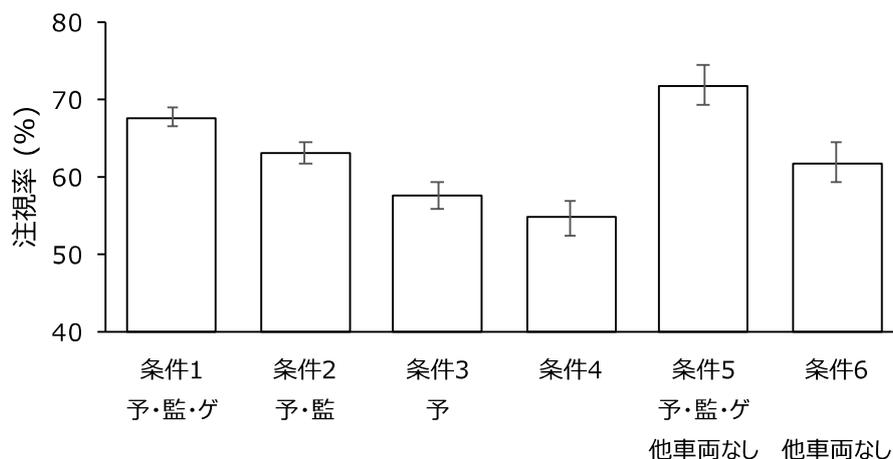


図 4-10 運転引継直後 10 秒間の前方注視率。条件名下の文字は操作された要素を示す；予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート。エラーバーは標準誤差

4.3.1.9.2. 運転引継直後 10 秒間のサイドミラー注視率

サイドミラー注視率の結果を図 4-11 に示す。1 要因 6 水準の繰り返しのあ
る分散分析を実施した結果、条件の主効果は有意であった、 $F(5, 135) = 47.31$,
 $p < .001$, $\eta^2_G = 0.52$ 。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と
条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .316$, $d = -0.38$, 95% CI = [-7.2,
1.4]。条件 1 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.22$,
95% CI = [-5.9, 2.6]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p =$

1.000, $d = -0.21$, 95% CI = [-5.8, 2.7]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.70$, 95% CI = [8.6, 17.2]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.41$, 95% CI = [6.4, 15.0]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.16$, 95% CI = [-3.0, 5.5]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.18$, 95% CI = [-2.9, 5.6]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 2.08$, 95% CI = [11.5, 20.1]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.79$, 95% CI = [9.3, 17.9]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.01$, 95% CI = [-4.2, 4.4]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.91$, 95% CI = [10.2, 18.8]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.63$, 95% CI = [8.1, 16.7]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.90$, 95% CI = [10.2, 18.7]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 1.62$, 95% CI = [8.0, 16.6]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .805$, $d = -0.29$, 95% CI = [-6.4, 2.1]。

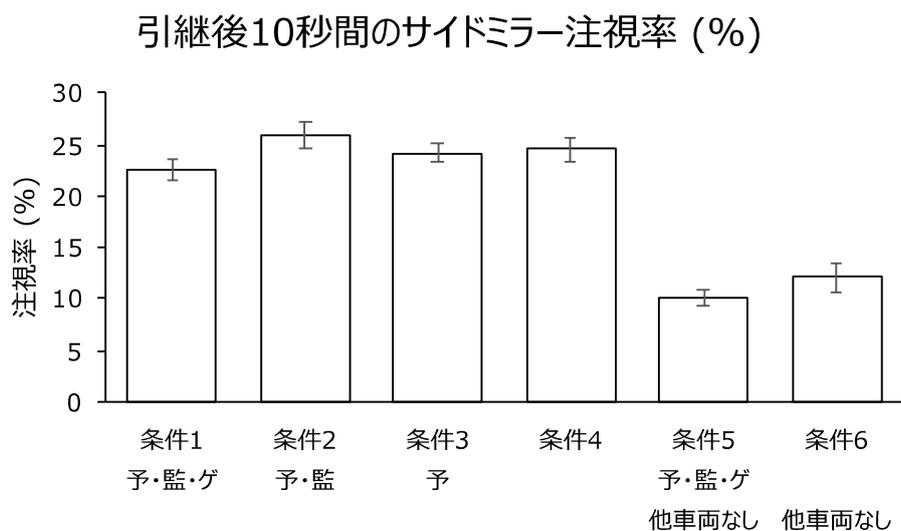


図 4-11 運転引継直後 10 秒間のサイドミラー注視率。条件名下の文字は操作された要素を示す；予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート。エラーバーは標準誤差

4.3.1.9.3. 運転引継直後 10 秒間のルームミラー注視率

ルームミラー注視率の結果を図 4-12 に示す。1 要因 6 水準の繰り返しのあ
る分散分析を実施した結果、条件の主効果は有意であった、 $F(5, 135) = 4.03$, $p = .002$, $\eta^2_G = 0.07$ 。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と
条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .807$, $d = -0.30$, 95% CI = [-2.9,
0.9]。条件 1 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.10$,

95% CI = [-2.2, 1.6]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.03$, 95% CI = [-2.0, 1.8]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .308$, $d = 0.42$, 95% CI = [-0.5, 3.3]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .807$, $d = 0.31$, 95% CI = [-0.8, 2.9]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.21$, 95% CI = [-1.2, 2.6]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .940$, $d = 0.27$, 95% CI = [-1.0, 2.8]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .003$, $d = 0.72$, 95% CI = [-0.5, 4.3]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .021$, $d = 0.61$, 95% CI = [0.2, 3.9]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.07$, 95% CI = [-1.7, 2.1]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .092$, $d = 0.52$, 95% CI = [-0.2, 3.6]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .322$, $d = 0.41$, 95% CI = [-0.5, 3.2]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .217$, $d = 0.45$, 95% CI = [-0.4, 3.4]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .635$, $d = 0.35$, 95% CI = [-0.7, 3.0]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.11$, 95% CI = [-2.2, 1.5]。

引継後10秒間のルームミラー注視率 (%)

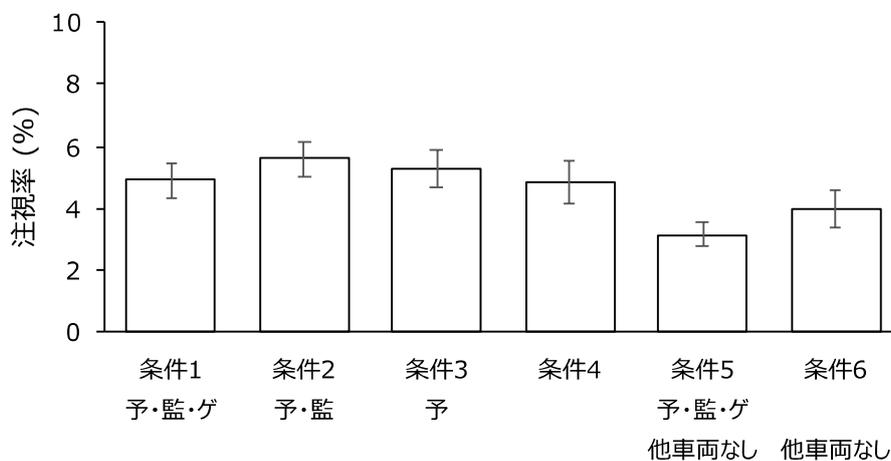


図 4-12 運転引継直後 10 秒間のルームミラー注視率。条件名下の文字は操作された要素を示す；予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート。エラーバーは標準誤差

4.3.1.9.4. 運転引継直後 10 秒間の計器その他注視率

計器その他注視率の結果を図 4-13 に示す。1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析を実施した結果、条件の主効果は有意であった、 $F(3.1, 82.5) = 11.83$, $p < .001$, $\eta^2_G = 0.23$ (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は

Greenhouse-Geisser 法により補正された)。Holm 法による多重比較 (有意水準 5%) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.03$, 95% CI = [-8.3, 7.6]。条件 1 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p = .037$, $d = -0.54$, 95% CI = [-15.6, 0.3]。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .002$, $d = -0.74$, 95% CI = [-18.3, -2.5]。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .002$, $d = -0.72$, 95% CI = [-18.1, -2.2]。条件 1 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.19$, 95% CI = [-24.7, -8.8]。条件 2 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p = .048$, $d = -0.52$, 95% CI = [-15.2, 0.6]。条件 2 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p = .003$, $d = -0.72$, 95% CI = [-18.0, -2.1]。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .003$, $d = -0.70$, 95% CI = [-17.7, -1.9]。条件 2 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = -1.17$, 95% CI = [-24.3, -8.5]。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.20$, 95% CI = [-10.7, 5.2]。条件 3 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.18$, 95% CI = [-10.4, 5.4]。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p = .007$, $d = -0.65$, 95% CI = [-17.0, -1.2]。条件 4 と条件 5 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.02$, 95% CI = [-7.7, 8.2]。条件 4 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .090$, $d = -0.45$, 95% CI = [-14.3, 1.6]。条件 5 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = .084$, $d = -0.47$, 95% CI = [-14.5, 1.3]。

引継後10秒間の計器その他注視率 (%)

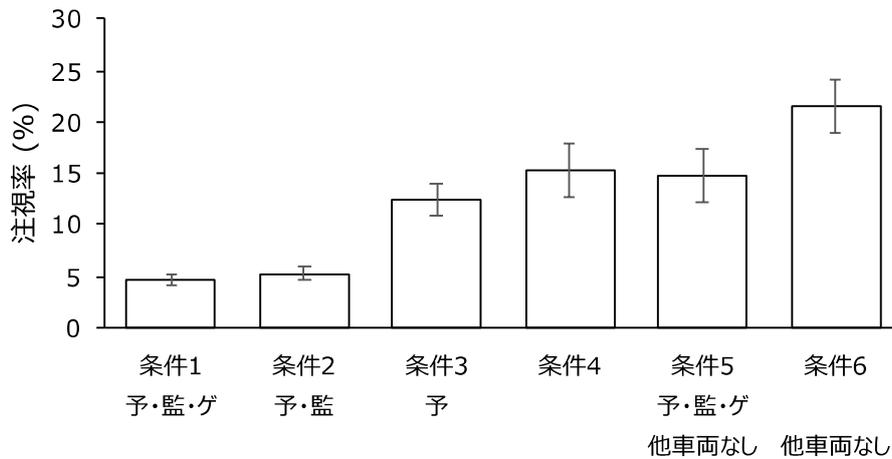


図 4-13 運転引継直後 10 秒間の計器その他注視率。条件名下の文字は操作された要素を示す；予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート。エラーバーは標準誤差

結果より、前方注視率は引継前の運転監視とゲートによる引継位置の視覚的表示により高くなること、反対に計器その他注視率は引継前の運転監視とゲートによる引継位置の視覚的表示により低くなるということがそれぞれ示された。その理由の第一は、自動運転中に行なっていた非運転課題から運転課題への切り替えに要した時間（例えば、手に持っていたタブレット PC を置く際に手元や置き場所を注視していた時間）が影響していると思われる。ただ一方で、サイドミラー注視率およびルームミラー注視率には条件差が見られなかった。このことから、運転課題への切り替えに際して安全確認の時間を失った場合、前方の視認が優先して犠牲にされ、側・後方の視認が維持されることがわかる。ただし運転監視のない条件の方が車線変更のスムーズさ・安全さともに良くなかったことと併せて考えると、犠牲となった前方注視率（および計器その他注視率）と引継後の運転パフォーマンスの間に何らかの関係性があるものと推察され、これらが運転行動の予測因子となる可能性が示唆された。

4.3.1.10. 運転引継後の視認行動（頭部運動計測）

さらに、簡便な方法での視認行動計測として、頭部運動計測を実施した。頭部運動は実験開始前の較正において、正面の映像表示ディスプレイ中央と正対した際の値を 0 とし、そこから頭部正面がいずれの方向にも 10 度以上ずれていなければ「正対」とみなし、運転引継直後から 10 秒間の正対率を算出した。なお分析には頭部運動計測データがいずれの条件においても欠損のなかった 25 名分を用いた。結果を図 4-14 に示す。

引継後10秒間の頭部正対率 (%)

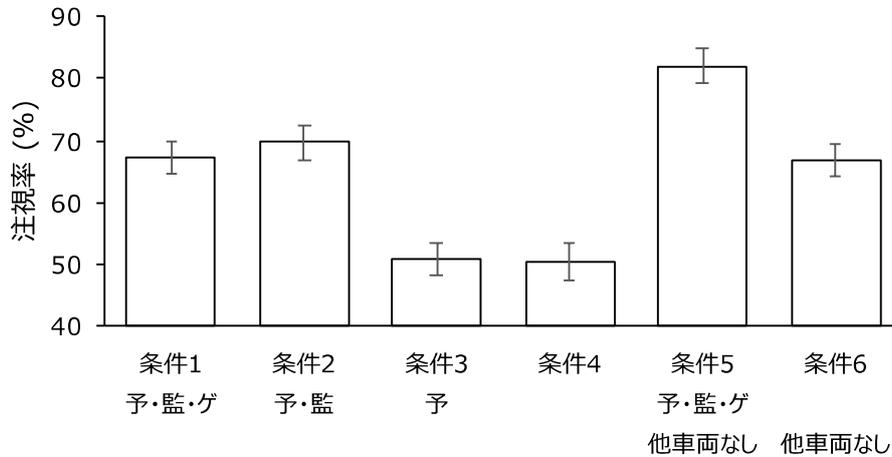


図 4-14 運転引継直後 10 秒間の頭部正対率。条件名下の文字は操作された要素を示す；予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート。エラーバーは標準誤差

1 要因 6 水準の繰り返しのある分散分析の結果、条件の主効果は有意であった、 $F(5, 120) = 25.64, p < .001, \eta^2_G = 0.52$ 。Holm 法による多重比較 (5%水準) の結果、条件 1 と条件 2 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.16, 95\% \text{ CI} = [-12.9, 7.4]$ 。条件 1 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.97, 95\% \text{ CI} = [6.2, 26.5]$ 。条件 1 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.97, 95\% \text{ CI} = [6.3, 26.6]$ 。条件 1 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.89, 95\% \text{ CI} = [-25.2, -4.9]$ 。条件 1 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = 0.24, 95\% \text{ CI} = [-9.7, 10.5]$ 。条件 2 と条件 3 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 1.13, 95\% \text{ CI} = [8.9, 29.2]$ 。条件 2 と条件 4 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 1.14, 95\% \text{ CI} = [9.1, 29.3]$ 。条件 2 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p = .002, d = -0.73, 95\% \text{ CI} = [-22.5, -2.2]$ 。条件 2 と条件 6 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = 0.18, 95\% \text{ CI} = [-7.0, 13.3]$ 。条件 3 と条件 4 の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.07, 95\% \text{ CI} = [-10.0, 10.3]$ 。条件 3 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -1.86, 95\% \text{ CI} = [-41.6, -21.3]$ 。条件 3 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.94, 95\% \text{ CI} = [-26.1, -5.8]$ 。条件 4 と条件 5 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -1.87, 95\% \text{ CI} = [-41.7, -21.4]$ 。条件 4 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.95, 95\% \text{ CI} = [-26.2, -5.9]$ 。条件 5 と条件 6 の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.92, 95\% \text{ CI} = [5.3, 25.6]$ 。結果より、運転引継前 1 分間の運転監視が、運転引継直後のドライバーの前方注視の割合を高める可能性が示唆された。

4.3.2. 運転監視時の視認行動

4.3.2.1. 運転監視時の視認行動 (アイトラッカーによる視線計測の結果)

自動運転システム利用時の運転監視におけるドライバーの標準的な視認行動を明らかにするため、視認行動をアイトラッカーによる視線計測結果から検討した。視対象を前方、サイドミラー、ルームミラー、計器その他に分類し、それぞれに対する運転引継直後 10 秒間の注視率を算出した。

4.3.2.1.1. 運転監視時の前方注視率の推移

前方注視率の結果を図 4-15 に示す。ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果 (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)、ゲートの有無の主効果は有意ではなかった、 $F(1, 27) = 3.95, p = .057, \eta^2_G = 0.02$ 。時間経過の主効果は有意であった、 $F(2.1, 55.8) = 59.57, p < .001, \eta^2_G = 0.29$ 。交互作用は有意ではなかった、 $F(3.0, 82.3) = 0.48, p = .698, \eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の効果について、Holm 法による多重比較 (5%水準) の結果、0-10 秒と 10-20 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -1.56, 95\% \text{ CI} = [-18.0, -8.7]$ 。0-10 秒と 20-30 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -2.30, 95\% \text{ CI} = [-24.3, -15.1]$ 。0-10 秒と 30-40 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -2.43, 95\% \text{ CI} = [-25.5, -16.2]$ 。0-10 秒と 40-50 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -2.37, 95\% \text{ CI} = [-25.0, -15.7]$ 。10-20 秒と 20-30 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.74, 95\% \text{ CI} = [-11.0, -1.7]$ 。10-20 秒と 30-40 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.88, 95\% \text{ CI} = [-12.1, -2.9]$ 。10-20 秒と 40-50 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -0.82, 95\% \text{ CI} = [-11.6, -2.4]$ 。20-30 秒と 30-40 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.13, 95\% \text{ CI} = [-5.8, 3.5]$ 。20-30 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = -0.08, 95\% \text{ CI} = [-5.3, 4.0]$ 。30-40 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = 0.06, 95\% \text{ CI} = [-4.1, 5.1]$ 。

運転監視開始後10秒毎の前方注視率の推移

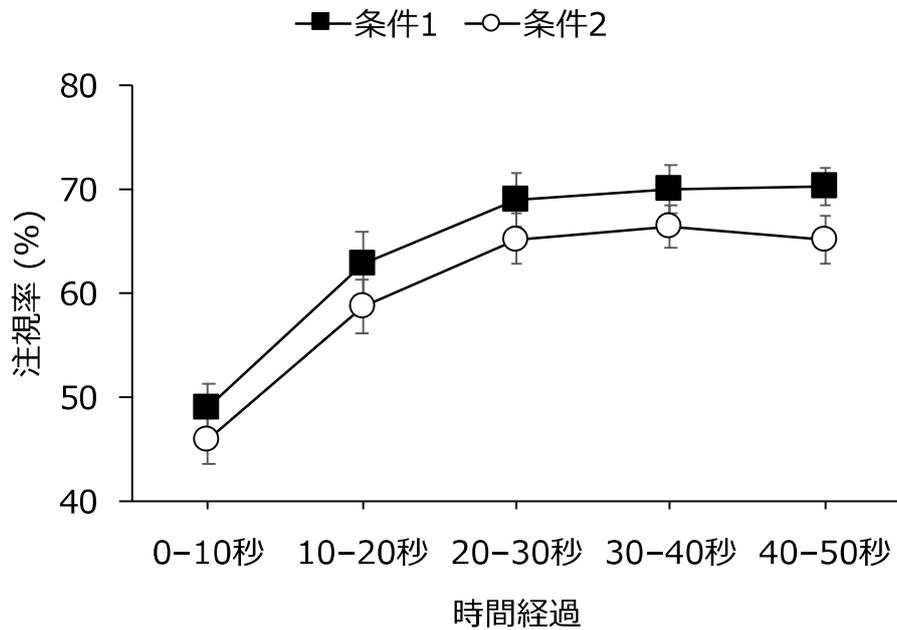


図 4-15 運転監視のある2条件における監視開始後10秒毎の前方注視率の推移。エラーバーは標準誤差

4.3.2.1.2. 運転監視時のサイドミラー注視率の推移

サイドミラー注視率の結果を図 4-16 に示す。ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果 (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)、ゲートの有無の主効果は有意ではなかった、 $F(1, 27) = 1.76, p = .196, \eta^2_G = 0.02$ 。時間経過の主効果は有意ではなかった、 $F(2.6, 70.1) = 2.44, p = .080, \eta^2_G = 0.01$ 。交互作用は有意ではなかった、 $F(3.3, 88.7) = 0.94, p = .432, \eta^2_G = 0.00$ 。

運転監視開始後10秒毎のサイドミラー注視率の推移

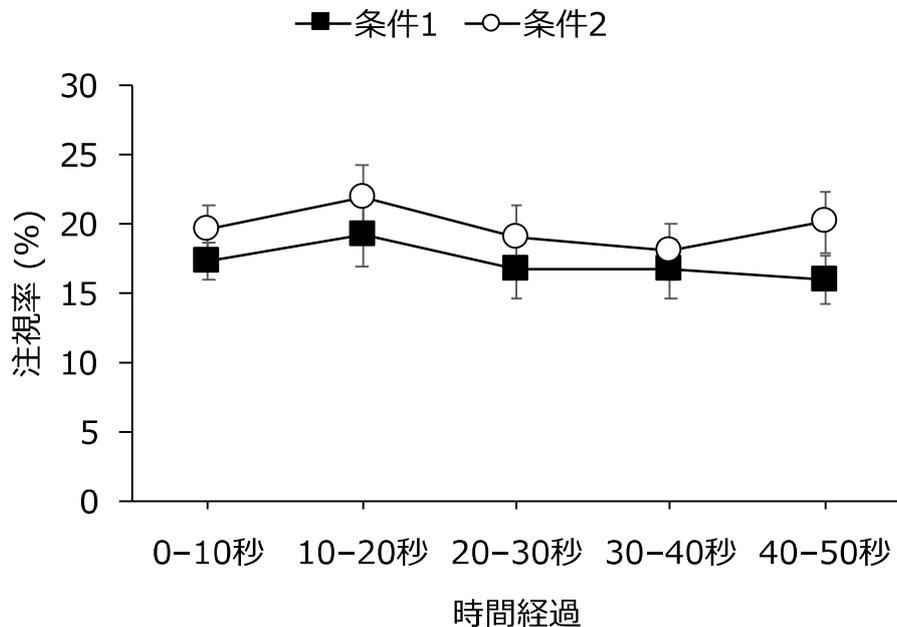


図 4-16 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎のサイドミラー注視率の推移。エラーバーは標準誤差

4.3.2.1.3. 運転監視時のルームミラー注視率の推移

ルームミラー注視率の結果を図 4-17 に示す。ゲートの有無（あり、なし）と時間経過（0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒）からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果（球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された）、ゲートの有無の主効果は有意ではなかった、 $F(1, 27) = 0.80, p = .378, \eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の主効果は有意だった、 $F(2.9, 78.0) = 7.75, p < .001, \eta^2_G = 0.04$ 。交互作用は有意ではなかった、 $F(2.7, 72.5) = 0.75, p = .559, \eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の効果について、Holm 法による多重比較（5%水準）の結果、0-10 秒と 10-20 秒の間に有意な差がみられた、 $p = .021, d = -0.57, 95\% \text{ CI} = [-3.3, 0.0]$ 。0-10 秒と 20-30 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000, d = 0.22, 95\% \text{ CI} = [-1.0, 2.3]$ 。0-10 秒と 30-40 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = .620, d = 0.31, 95\% \text{ CI} = [-0.7, 2.5]$ 。0-10 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = .620, d = 0.31, 95\% \text{ CI} = [-0.7, 2.5]$ 。10-20 秒と 20-30 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.79, 95\% \text{ CI} = [0.5, 3.7]$ 。10-20 秒と 30-40 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.88, 95\% \text{ CI} = [0.7, 4.0]$ 。10-20 秒と 40-50 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = 0.88, 95\% \text{ CI} = [0.7, 4.0]$ 。20-30 秒と 30-40 秒の間に有意な

差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.10$, 95% CI = [-1.3, 1.9]。20-30 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.10$, 95% CI = [-1.3, 1.9]。30-40 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.00$, 95% CI = [-1.6, 1.6]。

運転監視開始後10秒毎のルームミラー注視率の推移

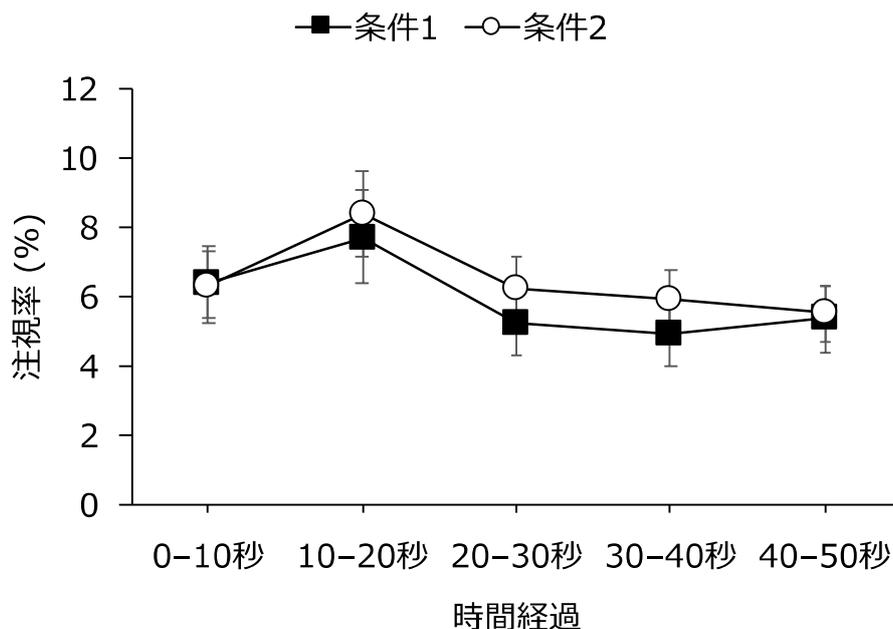


図 4-17 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎のルームミラー注視率の推移。エラーバーは標準誤差

4.3.2.1.4. 運転監視時の計器その他注視率の推移

ルームミラー注視率の結果を図 4-18 に示す。ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果 (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)、ゲートの有無の主効果は有意ではなかった、 $F(1, 27) = 0.03$, $p = .320$, $\eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の主効果は有意だった、 $F(1.2, 32.5) = 82.28$, $p < .001$, $\eta^2_G = 0.45$ 。交互作用は有意ではなかった、 $F(2.1, 56.5) = 0.22$, $p = .815$, $\eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の効果について、Holm 法による多重比較 (5%水準) の結果、0-10 秒と 10-20 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 2.53$, 95% CI = [12.7, 19.6]。0-10 秒と 20-30 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 2.73$, 95% CI = [14.0, 20.9]。0-10 秒と 30-40 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 2.76$, 95% CI = [14.2, 21.1]。0-10 秒と

40-50 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001$, $d = 2.80$, 95% CI = [14.4, 21.4]。10-20 秒と 20-30 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.23$, 95% CI = [-2.2, 4.7]。10-20 秒と 30-40 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.28$, 95% CI = [-2.0, 4.9]。10-20 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = .956$, $d = 0.33$, 95% CI = [-1.8, 5.2]。20-30 秒と 30-40 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.05$, 95% CI = [-3.3, 3.7]。20-30 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.09$, 95% CI = [-3.0, 3.9]。30-40 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.04$, 95% CI = [-3.2, 3.7]。

運転監視開始後10秒毎の計器その他注視率の推移

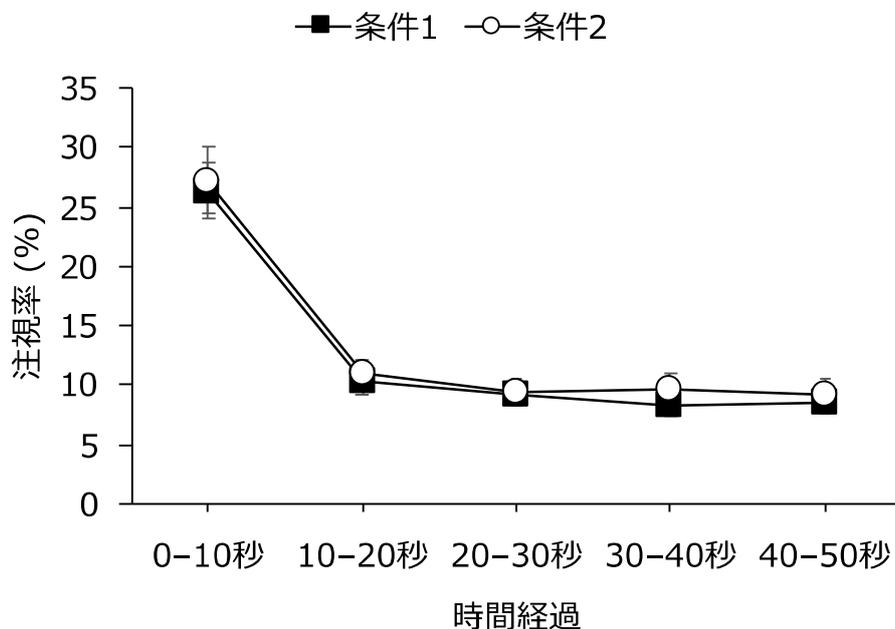


図 4-18 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎の計器その他注視率の推移。エラーバーは標準誤差

結果より、運転監視開始直後の前方視認の割合は低く、時間経過に伴って前方視認の割合が 7 割程度になるまで増加（相対的に前方以外の注視率は減少）し、安定し横ばいになるまでには監視開始後 20 秒程度かかることがそれぞれ示された。

4.3.2.2. 運転監視中の視認行動（頭部運動計測の結果）

さらに、簡便な方法での視認行動計測として、頭部運動計測を実施した。頭

部運動は実験開始前の較正において、正面の映像表示ディスプレイ中央と正対した際の値を 0 とし、そこから頭部正面がいずれの方向にも 10 度以上ずれていなければ「正対」とみなして運転監視開始直後から 10 秒毎の正対率を算出した。なお分析には頭部運動計測データがいずれの条件においても欠損のなかった 27 名分を用いた。結果を図 4-19 に示す。

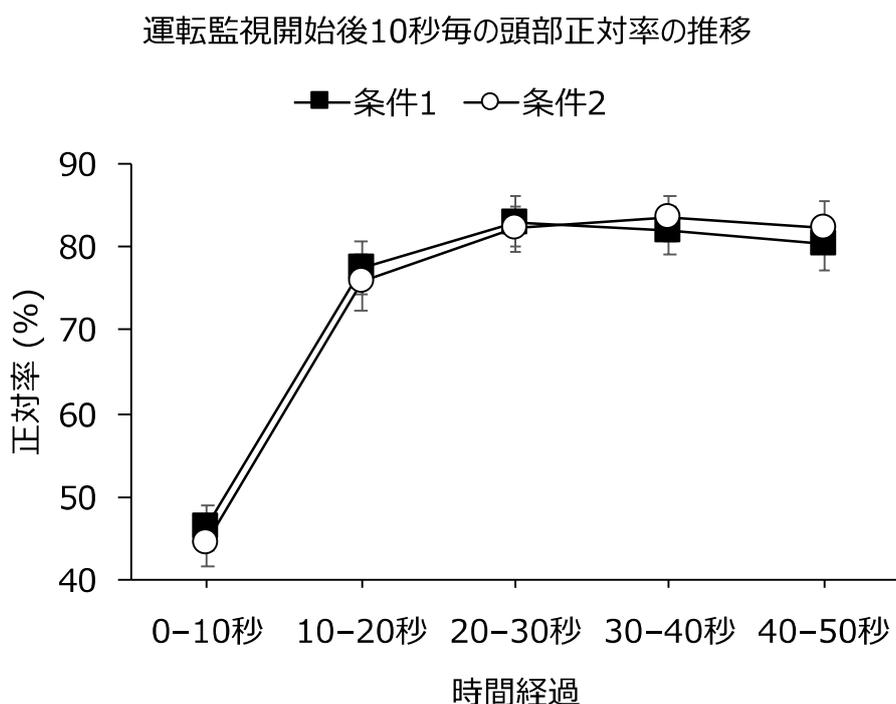


図 4-19 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎の頭部正対率の推移。エラーバーは標準誤差

ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果 (球面性検定の結果が有意であったため、自由度は Greenhouse-Geisser 法により補正された)、ゲートの有無の主効果は有意ではなかった、 $F(1, 26) = 0.00, p = .967, \eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の主効果は有意であった、 $F(1.8, 47.3) = 134.46, p < .001, \eta^2_G = 0.48$ 。交互作用は有意ではなかった、 $F(2.0, 50.8) = 0.83, p = .440, \eta^2_G = 0.00$ 。時間経過の効果について、Holm 法による多重比較 (5%水準) の結果、0-10 秒と 10-20 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -3.08, 95\% \text{ CI} = [-36.9, -25.7]$ 。0-10 秒と 20-30 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -3.66, 95\% \text{ CI} = [-42.8, -31.6]$ 。0-10 秒と 30-40 秒の間に有意な差がみられた、 $p < .001, d = -3.67, 95\% \text{ CI} = [-42.9, -31.7]$ 。0-10 秒と 40-50 秒の間に有意な差がみられ

た、 $p < .001$, $d = -3.54$, 95% CI = [-41.6, -30.3]。10-20 秒と 20-30 秒の間に有意な差がみられた、 $p = .016$, $d = -0.59$, 95% CI = [-11.6, -0.3]。10-20 秒と 30-40 秒の間に有意な差がみられた、 $p = .016$, $d = -0.59$, 95% CI = [-11.6, -0.4]。10-20 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = .075$, $d = -0.46$, 95% CI = [-10.3, 0.9]。20-30 秒と 30-40 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = -0.01$, 95% CI = [-5.7, 5.6]。20-30 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.13$, 95% CI = [-4.3, 6.9]。30-40 秒と 40-50 秒の間に有意な差はみられなかった、 $p = 1.000$, $d = 0.13$, 95% CI = [-4.3, 6.9]。結果より視線計測と同様の傾向、すなわち運転監視開始直後の前方視認の割合は低く、時間経過に伴って前方視認の割合が 7 割程度になるまで増加し、横ばいになるまでは監視開始後 10 秒から 20 秒程度かかることがそれぞれ示された。

4.4. 考察

4.4.1. 運転引継後の運転行動

本研究の目的は、ODD 遷移による運転引継事態における、ドライバーのパフォーマンスを向上させる適切な引継手法の探索であった。まず他車両が存在しない条件の方が、存在する条件よりも素早く車線変更を完了することが示された。また、他車両が存在する場合は、運転引継前から運転監視を開始する条件の方が、運転監視をしない要件よりも素早く車線変更を完了することが示された。ただし、他車両が存在しない場合でも、監視を開始する条件の方が、監視を開始しない条件よりも、同程度に素早く車線変更を完了していることから、監視ありによる車線変更時間の短縮効果は、運転監視の開始に伴って、テトリスをプレイしていたタブレット PC を運転引継より前から手放していたため、素早く運転操作ができたためであると考えられる。なお、運転監視を開始する条件では、ゲートによる車線変更完了までの時間短縮効果は認められなかった。また、運転監視を開始しない条件では、事前に運転引継を予告しても車線変更完了までの時間短縮効果は認められなかった。さらに、他車両が存在する場合は、事前に運転引継の予告がある条件の方が、予告がない条件よりも安全に車線変更できることが示された。さらに、予告に加えて事前の運転監視とゲートの存在が重複した場合に、もっとも安全に車線変更できることが示された。したがって、運転引継の 1 分前から運転監視を開始すると安全に車線変更が可能となり、ゲートが存在することでその安全性が高まると考えられる (表 4-2)。

表 4-2 他車両のある条件における運転引継後のパフォーマンス向上効果
(数値はパフォーマンス向上が期待される要素を含まない条件4との差分)

		比較した条件	条件1 - 条件4	条件2 - 条件4	条件3 - 条件4
		パフォーマンス向上が期待される要素	予告+監視+ゲート	予告+監視	予告
運転引継のスムーズさ					
反応時間	運転引継後何らかの手动運転操作が開始されるまでの時間	(秒)	-1.6 ****	-1.2 ****	-0.1 n.s.
運転引継後の視認行動					
前方注視率	運転引継直後10秒間に進行方向を注視していた時間の割合	(%)	+12.5 ****	+8.3 *	+2.5 n.s.
頭部正対率	運転引継直後10秒間に頭部が進行方向と正対していた時間の割合	(%)	+10.4 ***	+10.0 ***	+2.7 n.s.
車線変更のスムーズさ					
車線変更所要時間	車線変更完了までに要した時間	(秒)	-1.7 **	-1.2 †	-0.1 n.s.
車線変更所要距離	車線変更完了までに走行しなければならなかった距離	(m)	-22.7 *	-16.3 n.s.	-3.8 n.s.
車線変更余裕距離	車線変更完了時点で車線変更禁止となる地点までどれだけ猶予があったか	(m)	+24.7 **	+18.5 †	-1.7 n.s.
車線変更の安全性					
車線変更未実施率	車線変更できずに分岐地点を通り過ぎてしまった走行の割合	(%)	-10.2 **	-8.2 *	-7.2 †
車線変更時衝突率	車線変更時に他車両に衝突してしまった走行の割合	(%)	-6.0 **	-2.0 n.s.	-3.7 n.s.
車線変更違反率	車線変更禁止区間に入ってから車線変更を行った走行の割合	(%)	-1.3 n.s.	-2.5 n.s.	+2.6 n.s.
車線変更失敗率	車線変更で何らかの問題があった走行の割合 (未実施 or 衝突 or 違反)	(%)	-14.6 ****	-10.6 *	-6.6 n.s.

**** $p < .001$, *** $p < .005$, ** $p < .010$, * $p < .050$, † $p < .100$ (Holm 法による多重比較補正後の値)

4.4.2. 運転引継前の運転監視行動

本研究のもう一つの目的は、自動運転レベル2相当を使用するドライバーの運転監視状態 (いわゆる OEDR) を評価する手法の開発に利用できる人間計測指標を探索することであった。そこで、本実験における運転引継の1分前に運

転監視を求めた 2 条件 (条件 1 および 2) における、運転監視中の視線行動と頭部運動に注目し、その時間的变化を検討した。その結果、以下の 4 点がそれぞれ示された。

- (1) 運転監視開始直後はサイドミラーなどを注視する頻度が高くなり、相対的に前方注視率が低くなる。
- (2) 運転監視開始後、時間経過に従って前方注視率が徐々に高くなる。
- (3) 運転監視開始後 30 秒程度で前方注視率の上昇は止まり、その後は前方 7 割・周辺 3 割程度の注視割合で安定する。
- (4) 頭部運動の計測によっても上記 3 点のおおよその傾向を検出可能である。

この結果より、以下のようなドライバー状態の時間的推移が運転監視時には起きていると考えられる。まず運転監視開始直後、ドライバーは周辺環境についての情報を全く持たないため、積極的に頭部運動を伴う視線移動を行なって、周辺情報の収集に務める過程を経る必要がある。運転監視開始直後に前方注視率が低くなったのはそのためであると考えられる。そしてこの周辺情報を持たない状況で運転引継を求められた場合、安全に車両を制御することは難しいことが予想される。次に、注視行動が安定するまでに運転監視開始後 30 秒程度を要することから、運転監視を開始してから実際に運転引継を行うまでに少なくとも 30 秒程度の猶予時間がドライバーにとっては必要である可能性が示唆される。実際に、実質的な猶予時間が 0 であった本実験における引継前に運転監視を行わない条件 (条件 3 および 4) では、たとえ事前に運転引継があることを予告されていても、車線変更課題の成績は向上しなかった。このことは、引継があるという心がまえだけでなく、実際に周辺の環境がどうなっているかを理解しているか否か、つまりドライバーの OEDR 状態が適切であることが重要であることを示唆している。従って、本実験で取り扱った一部の ODD 遷移のように、どのタイミングで引継が行われるか事前に分かっている状況 (例えば高速道から一般道へ降りる際) においては、引継に先行して運転監視を行い、かつその際の視行動がある程度安定するのを待ってから引継を行うのが、最適な引継方法であると考えられる。

また、ドライバーが理想的な運転監視状態にあるかを判断するための人間計測指標の基準値として、前方注視割合 7 割・周辺注視割合 3 割という基準が利用できる可能性が示された。前述の通り、運転監視開始後 30 秒程度経過した後は、前方 7 割・周辺 3 割程度の注視割合で安定した。これは、周辺環境の理解状態が十分となった後、その状態を維持するための視行動を反映していると

考えられる。従って、この安定状態からの逸脱していないかどうかを判定することで、運転引継が可能なドライバー状態にあるかを判断することができると考えられる。今後はこの知見の妥当性を高めるため、更なる検証実験を行う予定である。

ただし、本実験では運転監視開始後、引継までに1分程度の時間的余裕が常にある条件での計測しか実施していない。従って、実験参加者は1分後の引継までに周辺環境の理解をすればよく、たとえもっと急いで環境理解をすることが可能であったとしても猶予時間をいっぱいに使ってゆっくりと監視を行っていた可能性は否定できない。従って、猶予時間30秒という絶対値に意味はなく、運転監視開始後の注視行動安定を待って引継を行うべき、という時間経過と注視行動安定の関係性が示された点にのみ注目すべきである(ただしこの関係性についても探索的検討の結果であるので、更なる検証が必要である)。今後は、時間的余裕がない場合に、最短でどのくらいの時間内に周辺環境理解を完了させられるか(すなわち、注視行動が安定するまで最短で何秒必要か)を、余裕時間を連続的に変化させる実験により検討する必要がある。また、注視行動が安定する前の段階での運転引継が本当に難しいかどうかの直接的証拠はまだない。これについても、今後の余裕時間を変化させる実験において、余裕時間が極端に短い条件を設定して検討し、その影響の程度を明らかにする必要がある。加えて、注視行動安定までに必要な時間および前方注視割合によるドライバー状態評価には個人差の影響が大きい可能性にも注意しておく必要がある。ただし個人差の検討を行うには大きなサンプルサイズの実験が必要であり、十分な検討はできてない。この課題については、今後の実験において対応する計画である。

4.5. 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討

4.5.1. (実験 B-2-3-1: 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討)

2019年度の目標:

システムの OEDR 機能限界をドライバーに認識させる HMI を検討する。情報量とドライバーにとっての理解のしやすさにはトレードオフがある。ドライバーがシステムの未検知、誤検知をもっとも理解しやすい HMI の候補を挙げ、試作することを目標にしている。ドライビングシミュレータ実験により検討することを予定していることから、2019年度は、ドライビングシミュレータの前方映像に対応してシミュレータ内の HMI に画像が得られているか、評価を行う。

手法:

ドライビングシミュレータ実験により、システムが認識している情報を知らせる HMI が動作するかを確認し、その効果を検討する。

成果:

(1) シナリオの作成

障害物検知が難しいと考えられる、見通しの悪い非優先道路から出てきた自動車、道路工事個所に置かれたパイロン、二輪車等が存在する幹線道をイメージした片側2-3車線の道路を走行するシナリオを作成した。はじめは自車を第二(中央)車線にACCで走らせて、非優先道から進入する車やパイロンの認識状況を、HMIで見せておく(HMI提示ありの場合)。その後、車線減少等により、自然に左側車線を走行する状況となり、非優先道から進入する車(図4-20)や道路工事個所に置かれたパイロン(図4-21)が突然目の前に現れ、介入により事故回避が必要な状況となる。

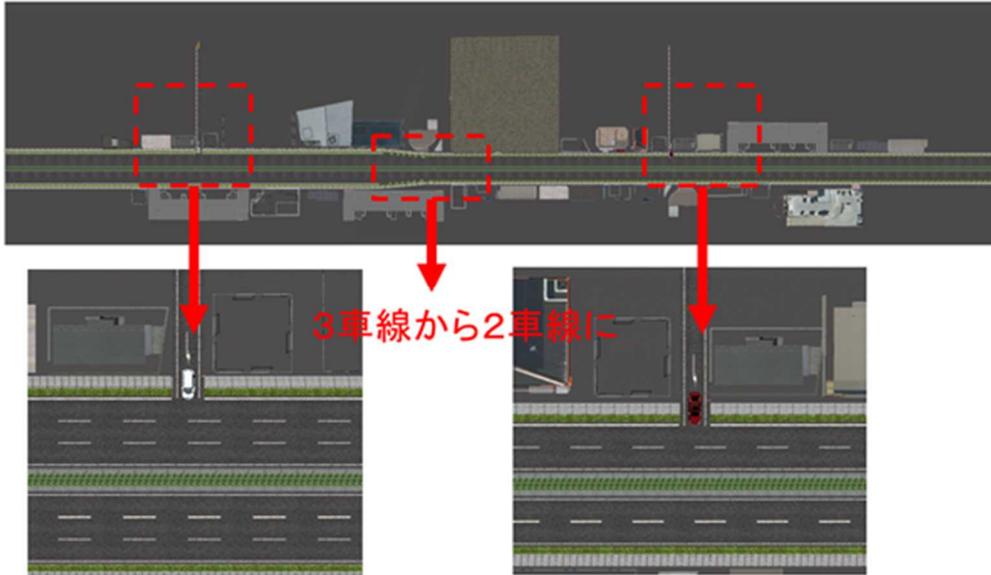


図 4-20 見通しの悪い非優先道路から出てきた自動車（シナリオ 1）

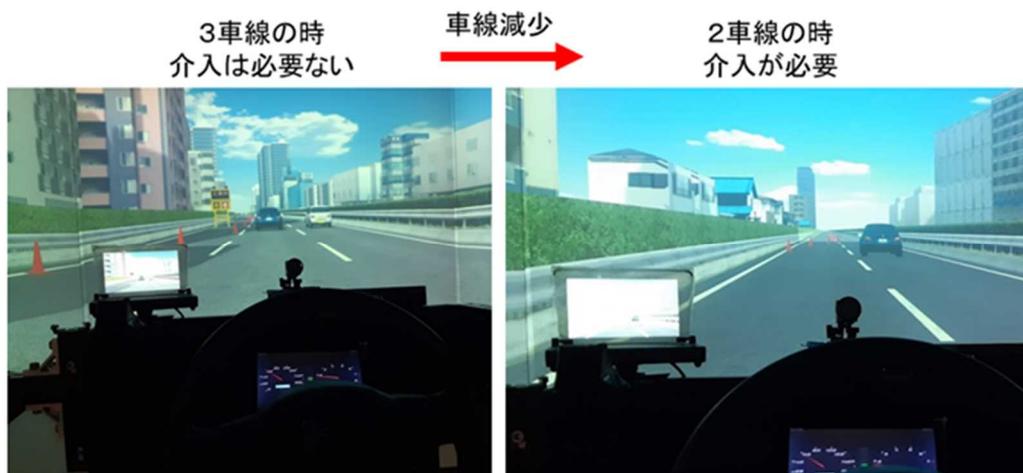


図 4-21 道路工事個所に置かれたパイロン（シナリオ 2）

（2） HMI の提案と試作

ドライビングシミュレータで開発した画像認識プログラムを実装し、動作確認を行った。ダッシュボード上のスクリーンに投影された前方映像のタグ付け画像を表示できるようになった（図 4-22～4-24）。

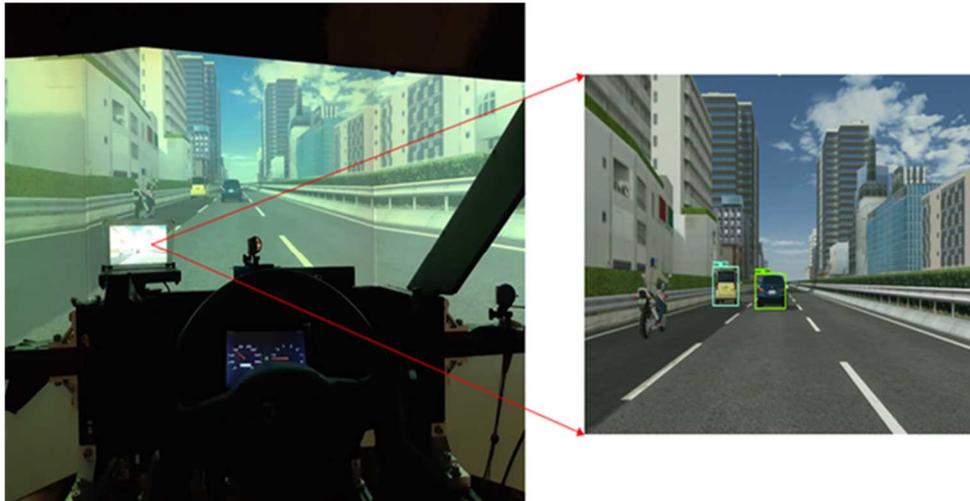


図 4-22 ヘッドアップディスプレイにより試作したタグ付け画像 HMI を表示



図 4-23 試作した HMI（非優先道路から出てきた自動車のシーン）

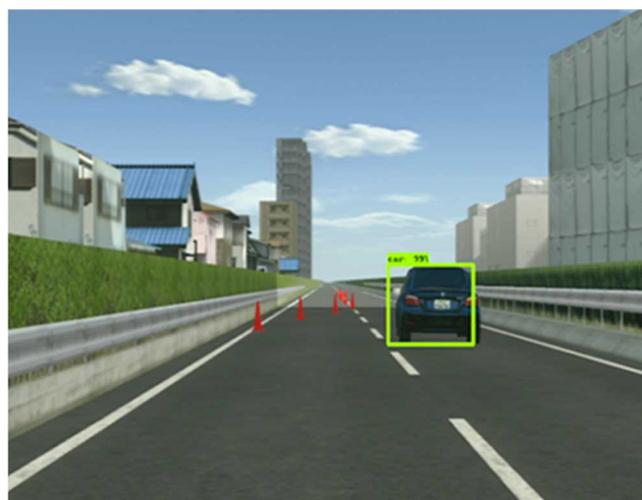


図 4-24 試作した HMI（道路工事個所に置かれたパイロンのシーン）

(3) シナリオと HMI の確認

HMI 提示のありとなしの二つのグループに分けて、少人数（HMI 提示ありの条件のみは 4 名、HMI 提示なしの条件のみは 4 名）で画像認識プログラムおよび走行するシナリオを確認した。HMI 提示ありの方が、ADAS が車両以外の物体（パイロンなど）および、バイクを含む二輪車を認識できない可能性があることが認識されており、システムに対する理解がより適切だという傾向が見られた（図 4-25）。来年度に行う予定のドライビングシミュレータ実験を実施できる環境が整ったことを確認した。

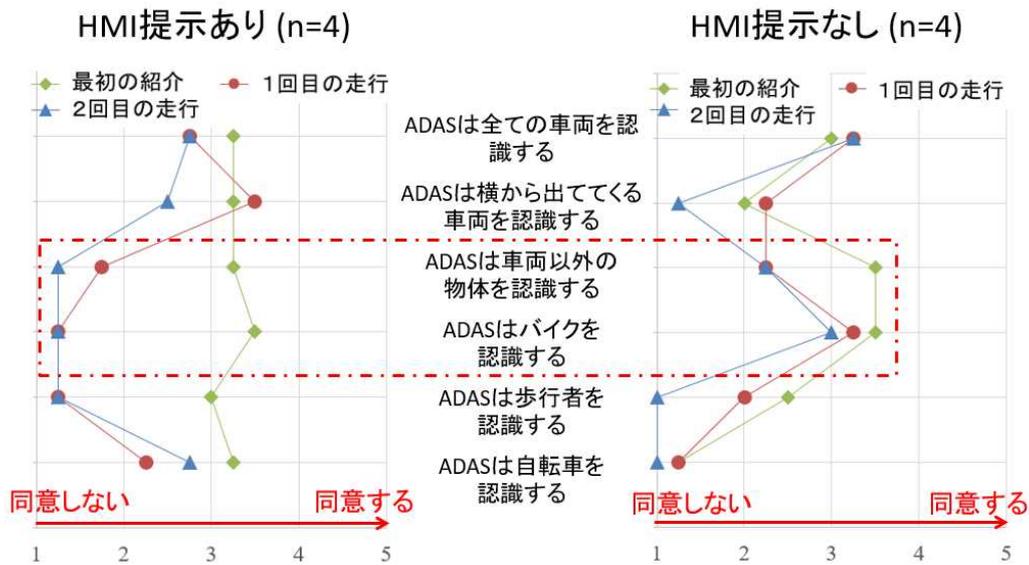


図 4-25 ADAS 認識性能に関する質問

5. 課題 C：運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究開発

5.1. Web 調査

5.1.1. 実験目的

近年、自動運転技術が急速に発展しているため、一般の人々が自動運転の機能や用語に対して理解の不足や誤解など懸念がある。本調査は国内の免許保有者、または過去に免許を保有していた者に対して Web 調査を行い、アンケートを通して国内の各年齢層が自動運転への関心度や自動運転中ドライバーの役割について理解度・認識度、自動運転に関わる用語の理解度・認識度など確認するためである。本報告書は 2020 年 3 月に行ったアンケートの調査結果と 2017 年 2 月、2018 年 2 月、2018 年 12 月に行った調査とを比較し、まとめたものである。調査対象は、以下に示す基準に株式会社マクロミルを依頼し行った調査である。

表 5-1

実施時期	2020 年 3 月 6 日から 8 日
調査方法	Web 調査：株式会社マクロミルの会員（モニター）調査
回答者数(n)と基準	1,044(下記の属性に偏りが出ないようにスクリーニング) →居住地区：9 区分（北海道／東北／関東／甲信越／北陸／中部／関西／中国・四国／九州・沖縄） →年齢：4 区分（若年（20－35 歳）／壮年（36－45 歳）／中年（46-60 歳）／高齢（61 歳以上）） →運転免許証の保有（または過去に保有していた） →同調査に参加したことはない

5.1.2. 回答者属性

回答者属性は以下の表 5-2、表 5-3、表 5-4 に示すとおりである。なお、2017 年 2 月、2018 年 2 月、2018 年 12 月に行った調査を比較とまとめるため、その属性も記載した。今年度の回答者数は 1044 人であり、過去に同調査に参加したことの無い人に限定した。回答者数について、今回の回答者数は 2017 年 2 月調査の回答者数の約半分となり、2018 年 2 月と 12 月に行った調査と同人数である。回答者の性別、年齢、居住地内訳の比率は過去 3 回とほぼ同程度である。回答者の性別は表 5-2、回答者の年齢は表 5-3、居住地は表 5-4 に示している。

表 5-2 本調査と過去調査の回答者の性別

性別	2017-2		2018-2		2018-12		2020-3（今回）	
	N	%	N	%	N	%	N	%
男性	1073	51.5	504	48.3	497	47.6	522	50.0
女性	1011	48.5	540	51.7	547	52.4	522	50.0
全体	2084	100	1044	100	1044	100	1044	100

表 5-3 本調査と過去調査の回答者の年齢

年齢	2017-2		2018-2		2018-12		2020-3	
	N	%	N	%	N	%	N	%
20～24	51	2.4	29	2.8	32	3.1	36	3.4
25～29	153	7.3	75	7.2	76	7.3	71	6.8
30～34	256	12.3	140	13.4	129	12.4	124	11.9
35～39	239	11.5	107	10.2	130	12.5	125	12.0
40～44	282	13.5	141	13.5	115	11.0	136	13.0
45～49	233	11.2	100	9.6	139	13.3	121	11.6
50～54	178	8.5	108	10.3	81	7.8	77	7.4
55～59	145	7.0	74	7.1	66	6.3	79	7.6
60以上	547	26.2	270	25.9	276	26.4	275	26.3
全体	2084	100	1044	100	1044	100	1044	100

表 5-4 本調査と過去調査の回答者の居住地

地方	2017-2		2018-2		2018-12		2020-3	
	N	%	N	%	N	%	N	%
北海道	168	8.1	84	8.0	84	8.0	84	8.0
東北	168	8.1	84	8.0	84	8.0	84	8.0
関東	496	23.8	248	23.8	248	23.8	248	23.8
中部	584	28.0	292	28.0	292	28.0	292	28.0
近畿	332	15.9	168	16.1	168	16.1	168	16.1
中国	112	5.4	64	6.1	57	5.5	60	5.7
四国	56	2.7	20	1.9	27	2.6	24	2.3
九州	168	8.1	84	8.0	84	8.0	84	8.0
全国	2084	100.0	1044	100.0	1044	100.0	1044	100.0

自動車に対する興味について、結果は表 5-5 と図 5-1 のようになっている。今年度の調査結果によると自動車に興味を持つ人が半数を超え、割合が 50.5% と例年より高い。

表 5-5 本調査と過去調査の回答者の自動車への関心度

自動車への関心度	2017-2		2018-2		2018-12		2020-3	
	N	%	N	%	N	%	N	%
とても興味をもっている	304	14.6	141	13.5	177	17.0	158	15.1
少し興味を持っている	689	33.1	365	35.0	344	33.0	370	35.4
どちらでもない	477	22.9	244	23.4	239	22.9	202	19.3
あまり興味がない	384	18.4	197	18.9	189	18.1	186	17.8
全然興味がない	230	11.0	97	9.3	95	9.1	128	12.3
全体	2084	100	1044	100	1044	100	1044	100

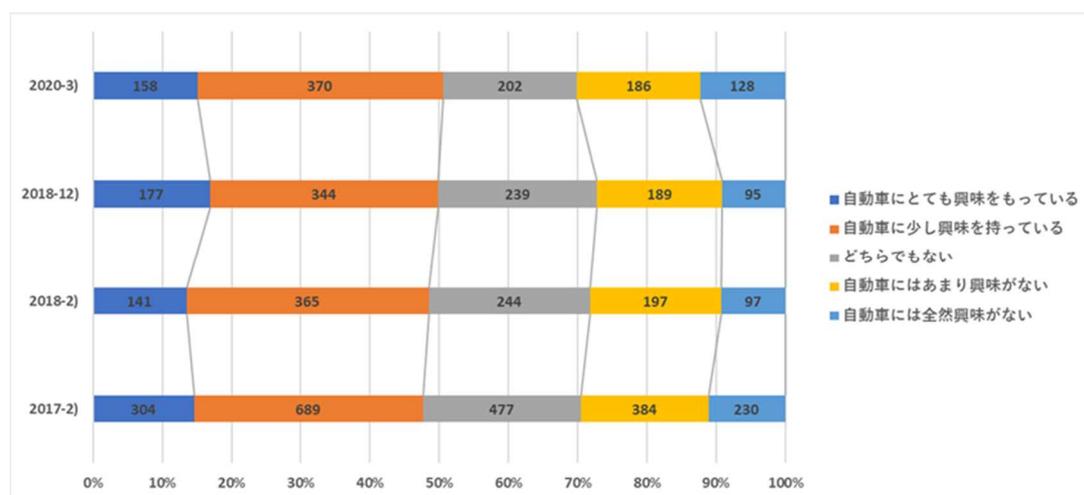


図 5-1 本調査と過去調査の回答者の自動車への関心度の割合

自動運転の話題にどの程度関心を持っているかの問題について、結果は表 5-6 と図 5-2 のようになっている。回答について、以下 4 種類の選択以外、回答者は「その他」という選択も選ぶことができる。その他を選んだ場合はその理由を書く必要がある。この 4 回の調査には「その他」を選んだ回答者は 2 名のみ。この 2 名が「その他」を選んだ理由は「記事や報道を全く見ない」という回答のため、2 名の結果を「記事や報道を見かけても、ほとんど見ない」としてカウントする。表 5-6 の結果により、今年度の自動運転の話題に関心を持っている回答者の割合は例年と比較すると同程度である。

表 5-6 自動運転に関する情報の関心度の結果の集計表

「TV、新聞、ネットニュースなどでの自動運転の話題にどの程度関心がありますか。」

自動運転の情報の関心度	2017-2		2018-2		2018-12		2020-3	
	N	%	N	%	N	%	N	%
新しい記事や報道がないか、自分でいつも探している	282	13.5	117	11.2	143	13.7	154	14.8
記事や報道をたまたま見かければ、必ず見る	493	23.7	230	22.0	267	25.6	239	22.9
記事や報道を見かけた場合、面白そうだったときだけ見る	906	43.5	485	46.5	454	43.5	454	43.5
記事や報道を見かけても、ほとんど見ない	403	19.3	212	20.3	180	17.2	197	18.9
全体	2084	100	1044	100	1044	100	1044	100.0

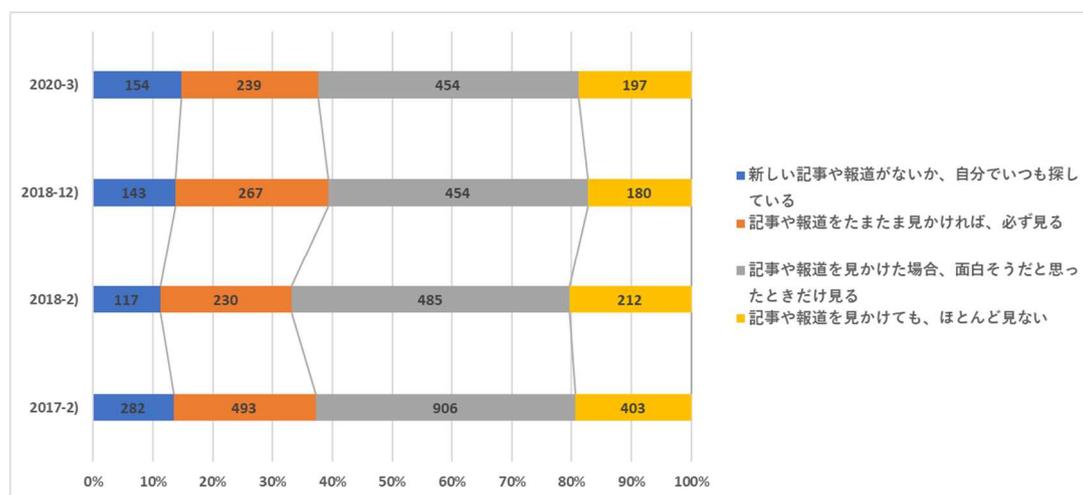


図 5-2 自動運転に関する情報の関心度の割合

5.1.3. 調査結果と考察

5.1.3.1. ドライバーの役割に対する理解度

本調査は回答者が自動運転のレベル 1、2、3 に属するシステムを利用する際に、ドライバーの役割を正しく理解しているかどうか評価するため質問した。レベル 4 とレベル 5 については言及しなかった。そこで、それぞれのレベルに 9 つの問題の質問、総計 27 問用意した。9 問中 2 問は今回の評価目的ではない

ため、分析から除去した。結果、それぞれのレベルについて7つの問題を分析し、総計21問を元に評価する。問題概要について、レベル1、2、3の自動運転システムが作動している時、当レベルのドライバーの役割に当てはまると思う選択をチェックする。当てはまると思う項目全部を選択できる、すなわち複数回答が可能である。また、「上記にあてはまるものはない」という選択もあり、そのレベルの全部の役割が当てはまらないと思う場合に選択する。表5-7と表5-8と表5-9は質問内容と選択項目を示している。

5.1.3.2.レベル1使用中のドライバー役割について

レベル1相当の自動運転作動中におけるドライバーの役割として、当てはまると思うものをすべて選択する問題について、回答結果は表5-7と図5-3のとおりとなる。黒い太字で表記した選択項目は、回答者が当てはまるとして選択した場合はその役割は当レベルに行うべきと意味する。

レベル1の場合、「常に走行の状況を監視しなければならない」、「常にハンドルを握っていなければならない」、「ハンドルかペダルのどちらかを操作しなければならない」、「運転席に座っていなければならない」、「お酒は飲んではならない」、「眠ってはならない」この6項目が当レベルを使用中のドライバーの正しい役割として取り上げられる。

表 5-7 ドライバーの役割に関する問題の集計表

「自動運転のレベル 1 の自動運転作動中におけるドライバーの役割について、当てはまると思うものをすべて選んでください。」(割合)

	2017-2 人 (割合)	2018-2 人 (割合)	2018-12 人 (割合)	2020-3 人 (割合)
常に走行の状況を監視しなければならない	1305(62.6%)	623(59.7%)	727(69.6%)	674(64.6%)
常にハンドルを握っていないとなければならない	1179(56.6%)	570(54.6%)	663(63.5%)	623(59.7%)
システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない	408(19.6%)	224(21.5%)	228(21.8%)	205(19.6%)
ハンドルかペダルのどちらかを操作しなければならない	927(44.5%)	478(45.8%)	568(54.4%)	521(49.9%)
運転席に座っていないとなければならない	1228(58.9%)	602(57.7%)	697(66.8%)	633(60.6%)
お酒は飲んでほならない	1321(63.4%)	641(61.4%)	732(70.1%)	667(63.9%)
眠ってはならない	1295(62.1%)	632(60.5%)	717(68.7%)	654(62.6%)
上記にあてはまるものはない	400(19.2%)	229(21.9%)	158(15.1%)	217(20.8%)
全体	2084	1044	1044	1044

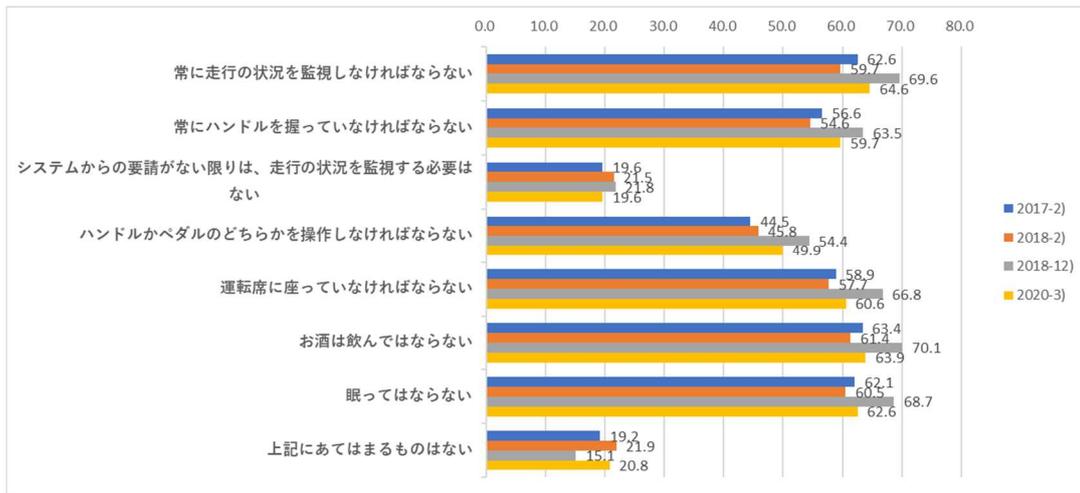


図 5-3 自動運転のレベル 1 のドライバーの役割についての理解度(年別)

今年度は過去 3 年の回答を比較した結果、正しい役割の 6 項目に当てはまると思う人の割合は、調査時期によって多少の差異はあるものの、全体としては大きな変化は認められない。

また、「システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない」という項目について、「当てはまらない」と思う回答は正解としてカウントする。その理由は、レベル 1 の場合は、ドライバーは常時に走行の状況を監視する必要があるため、この質問は「当てはまらない」を選択した方が正解である。結果、「システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない」という項目の不正解割合が 19.6% であり、これについても大きな変動は認められない。

5.1.3.3. レベル 2 使用中のドライバー役割について

レベル 2 の自動運転作動中におけるドライバーの役割として、当てはまると思うものをすべて選択する問題について、回答結果は表 5-8 と図 5-4 のとおりとなる。表 5-8 に黒い太字で表記した選択項目は、回答者が当てはまるとして選択した場合はその役割は当レベルに行うべきであると意味する。レベル 2 に「常に走行の状況を監視しなければならない」、「運転席に座っていなければならない」、「お酒は飲んでではない」、「眠ってはならない」この 4 項目が当レベルを使用中のドライバーの正しい役割として取り上げられる。

表 5-8 ドライバーの役割に関する問題の集計表

「自動運転のレベル 2 の自動運転作動中におけるドライバーの役割について、
当てはまると思うものをすべて選んでください。」(割合)

	2017-2 人 (割合)	2018-2 人 (割合)	2018-12 人 (割合)	2020-3 人 (割合)
常に走行の状況を監視しなければならない	919(44.1%)	439(42%)	496(47.5%)	464(44.4%)
常にハンドルを握っていないなければならない	821(39.4%)	399(38.2%)	447(42.8%)	408(39.1%)
システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない	327(15.7%)	152(14.6%)	187(17.9%)	159(15.2%)
ハンドルかペダルのどちらかを操作しなければならない	681(32.7%)	330(31.6%)	401(38.4%)	382(36.6%)
運転席に座っていないなければならない	951(45.6%)	458(43.9%)	534(51.1%)	505(48.4%)
お酒は飲んではならない	1030(49.4%)	496(47.5%)	555(53.2%)	521(49.9%)
眠ってはならない	1010(48.5%)	483(46.3%)	547(52.4%)	511(48.9%)
上記にあてはまるものはない	529(25.4%)	309(29.6%)	231(22.1%)	274(26.2%)
全体	2084	1044	1044	1044

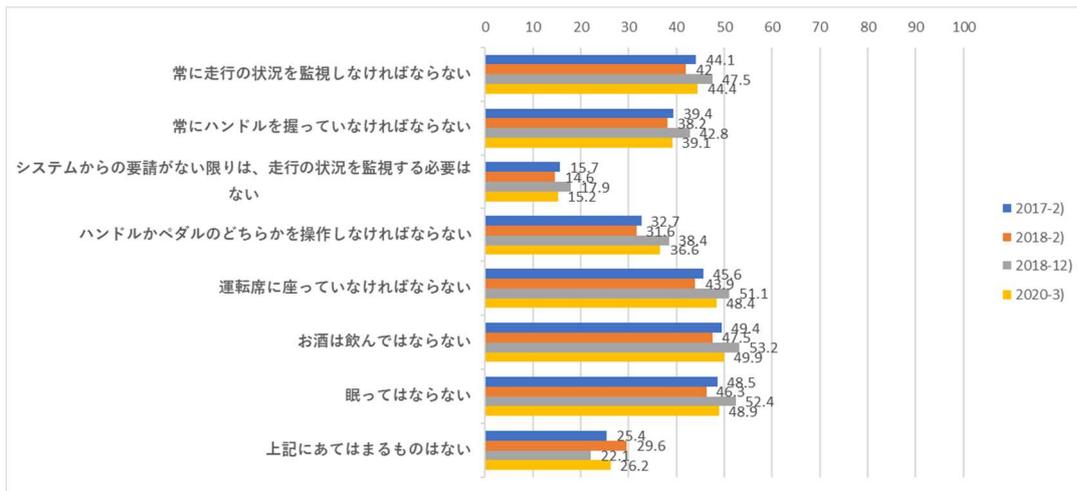


図 5-4 自動運転のレベル 2 のドライバーの役割についての理解度(年別)

今年度は過去 3 回の回答を比較した結果、この 4 項目が当てはまると思う人の割合は、やはり大きな変動は認められない。

「常に走行の状況を監視しなければならないという項目に対して」、今年度は半数以下の人々の割合が当てはまると思っている。

また、「運転席に座っていないといけない」、「お酒は飲んではいけない」、「眠ってはならない」という法の関連問題について、表 5-7 のレベル 1 の結果と比較して、調査時期と関係なく、全体的に当てはまると思う人の割合が減少した。つまり、回答者は自動運転レベルが高いほど、このような行為を行ってよいと思う人の割合が高くなることを示唆している。結果、回答者が自動運転システムレベル 2 の機能とドライバー役割に対して正しく理解していない可能性が高いことが読み取れる。

5.1.3.4. レベル 3 使用中のドライバー役割について

レベル 3 の自動運転作動中におけるドライバーの役割として、当てはまると思う項目をすべて選択する問題について、回答は表 5-9 と図 5-5 のとおりとなる。表 5-9 に黒い太字で表記した選択項目は、回答者が当てはまるとして選択した場合はその役割は当レベルに行うべきと意味する。レベル 3 に「システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない」、「運転席に座っていないといけない」、「お酒は飲んではいけない」、「眠ってはならない」この 4 項目が当レベルを使用中のドライバーの正しい役割として取り上げられる。

表 5-9 ドライバーの役割に関する問題の集計表

「自動運転のレベル 3 の自動運転作動中におけるドライバーの役割について、当てはまると思うものをすべて選んでください。」(割合)

	2017-2 人 (割合)	2018-2 人 (割合)	2018-12 人 (割合)	2020-3 人 (割合)
常に走行の状況を監視しなければならない	743(35.7%)	354(33.9%)	392(37.5%)	337(32.3%)
常にハンドルを握っていないなければならない	456(21.9%)	217(20.8%)	235(22.5%)	210(20.1%)
システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない	545(26.2%)	241(23.1%)	310(29.7%)	326(31.2%)
ハンドルかペダルのどちらかを操作しなければならない	340(16.3%)	149(14.3%)	171(16.4%)	153(14.7%)
運転席に座っていないなければならない	875(42%)	433(41.5%)	490(46.9%)	442(42.3%)
お酒は飲んではならない	1001(48%)	501(48%)	556(53.3%)	515(49.3%)
眠ってはならない	959(46%)	481(46.1%)	540(51.7%)	502(48.1%)
上記にあてはまるものはない	568(27.3%)	323(30.9%)	258(24.7%)	294(28.2%)
全体	2084	1044	1044	1044

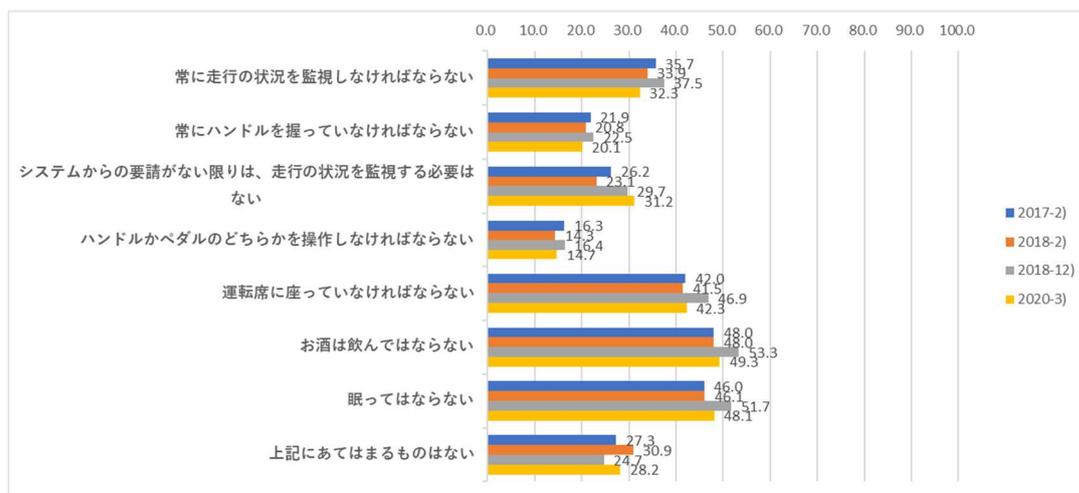


図 5-5 自動運転のレベル 3 のドライバーの役割についての理解度(年別)

今年度と過去 3 回の回答を比較した結果、「システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない」という選択項目について、レベル 3 ドライバーの役割の特徴として考えられる。しかし、当てはまると思う人の割合は 31.2% しかなかった。つまり、約 6 割の回答者がレベル 3 のドライバー役割について理解していない可能性が高い。

また、「運転席に座っていないといけない」、「お酒は飲んではならない」、「眠ってはならない」という法の関連問題について、今年度の結果により、レベル 3 使用中に以上の行為を行ってよいと思う人の割合が半数以上いる。

結果、回答者が自動運転システムレベル 3 の機能とドライバー役割に対して正しく理解していない可能性が高いことが読み取れる。

以上の結果を踏まえ、回答者が各自動運転レベルの問題に対しての平均の正解数をまとめ、各年齢層群に自動運転レベルに対する認識の違いがあるかどうか調査する。

5.1.3.5.各年齢層群に自動運転レベルに対する理解・認識の違いの確認

この部分は引き続き表 5-7、表 5-8 と表 5-9 のデータを用いて、各年齢層群に自動運転レベルに対する理解と認識度の差があるかどうか確認する。各年齢層、総数 5216 名の回答者に対して、回答者の自動運転に対して正しく理解しているかどうか評価するため、平均正解数を用いて考察する。レベル 1、2、3 におけるそれぞれ 7 問に対して、回答が正解した場合、1 得点する。総計 21 問で最大得点は 21 点となる。そして、平均を取り、全問正解の場合は平均正解数の最大得点は 7 点、全問不正解の場合平均正解数は 0 点となる。つまり、平均正解数が高いほど、自動運転のレベルの違いと各レベルのドライバー役割に

対して理解していると考えられる。

表 5-10 年齢層群別と正解数の平均値

年齢層	平均値	N
20-35 若年	3.9	1304
36-45 壮年	4.1	1304
46-60 中年	4.1	1304
61-88 高齢	4.3	1304

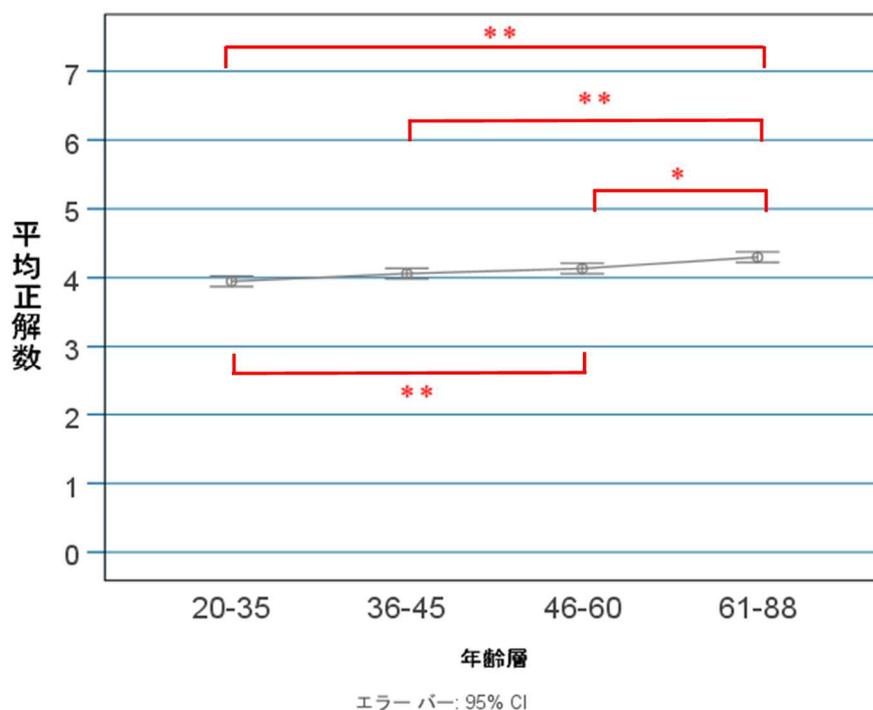


図 5-6 年齢層群別と問題の平均正解数の関係

各年齢層の間に平均正解数の差があるか一元配置分散分析を行った結果、年齢の主効果が有意であった ($F(3,5212)=14.159, p<0.001, \eta^2=0.008$)。観測検定力が 1.0 である。結果は表 5-11 と図 5-6 に示した。

さらに、多重比較 (Tukey HSD 法) を行った結果、「高齢」群が他の 3 群に比べて有意に高い得点を示していた (高齢/若年群の間: $p<0.001$) (高齢/壮年群の間: $p<0.001$) (高齢/中年群の間: $p<0.05$)。また、「中年」群が「若年」群に比べて

有意に高い得点を示していた。(p<0.01)

結果、現状は高齢者の方が若年、壮年、中年の人より、自動運転レベルの違いとその役割についてより正しく理解していると考えられる。

自動運転の機能に関する用語に対する理解度

この部分は 2017 年 2 月、2018 年 2 月、2018 年 12 月、2020 年 3 月の調査で総数 5216 名の回答者に対して 44 の自動運転の機能に関する用語の理解度について、5 段階の主観評価を行った。回答者が各用語に対して、

- A. 「聞いたことがない」を選択した場合は 0 点
- B. 「説明を見たことがなく、理解していない」を選択した場合は 1 点
- C. 「説明を見たが、理解していない」を選択した場合は 2 点
- D. 「言葉から想像がつく」を選択した場合は 3 点
- E. 「正しく理解している」を選択した場合は 4 点

としてカウントする。

各年齢層が各用語に対して理解度の差があるか Welch's One-Way ANOVA を行った結果、全 44 種類の用語に対しての理解度、全て 5% 有意水準で有意であった。

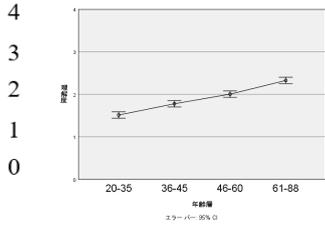
全 44 問に対してさらに、多重比較 (Games-Howell 法) を行った結果、表 5-11 に示した用語と群間以外、他の全部の群間には有意差が認められた (5% 水準以下)。

図 5-7 が 44 種類の分析結果を示した。縦軸は理解度の平均数、横軸は年齢層別となっている。

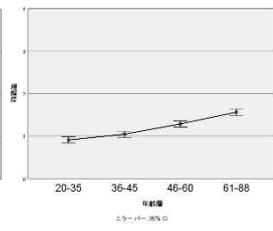
表 5-11 有意差が認められなかった用語とその群間

用語	群 1		群 2
LDW	若年群	対	壮年群
LDW	中年群	対	高齢群
ACC	中年群	対	高齢群
協調型アダプティブクルーズコントロール	中年群	対	高齢群
誤発進	若年群	対	壮年群
ブラインドスポットモニター	中年群	対	高齢群
自動ブレーキ	壮年群	対	壮年群
オートメーションサプライズ	若年群	対	壮年群
オートメーションサプライズ	中年群	対	高齢群
システムに対しての過信	若年群	対	壮年群
権限移譲	若年群	対	壮年群
権限移譲	中年群	対	高齢群
システムの機能限界	若年群	対	壮年群
遷移時間	若年群	対	壮年群
遷移時間	中年群	対	高齢群
モードコンフュージョン	若年群	対	壮年群
モードコンフュージョン	中年群	対	高齢群
オーバーライド	若年群	対	壮年群
オーバーライド	中年群	対	高齢群
テイクオーバー	若年群	対	壮年群
テイクオーバー	中年群	対	高齢群
テイクオーバーリクエスト	中年群	対	高齢群

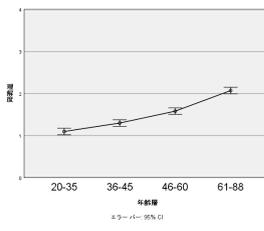
1. 運転支援



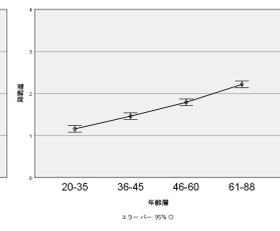
2. 機能限界



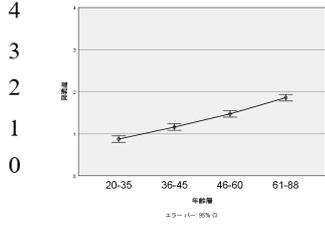
3. 運転の主体



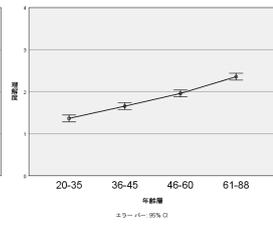
4. 車線維持支援制御装置



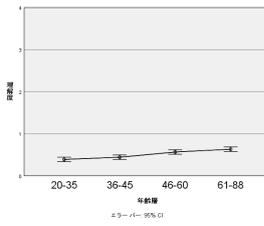
5. レーン・キープアシスト



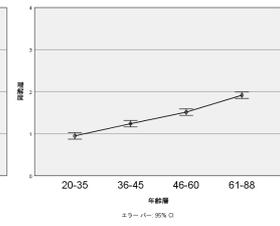
6. 車線逸脱警報



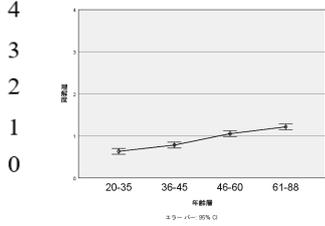
7. LDW



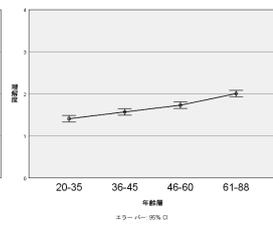
8. レーン逸脱防止装置



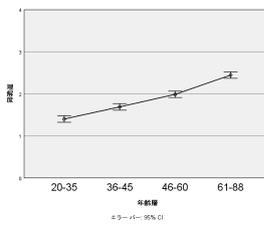
9. アクティブ・レーンチェンジングアシスト



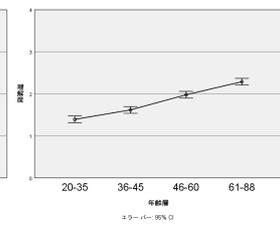
10. 車線変更アシスト



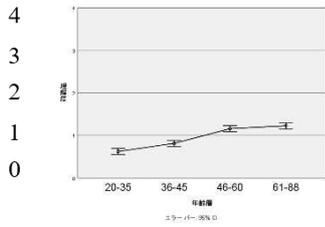
11. 衝突回避操舵支援



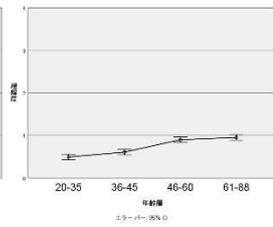
12. 自動追従機能



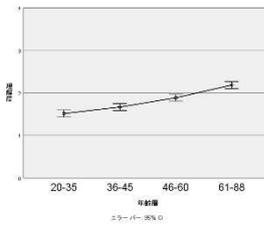
13. ACC



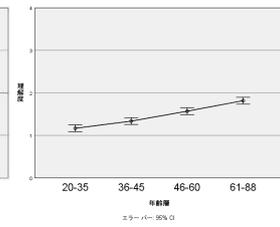
14. 協調型ACC



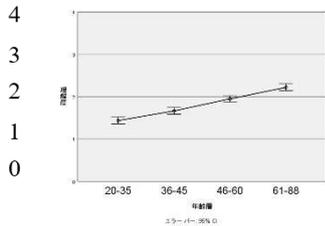
15. 誤発進抑制機能



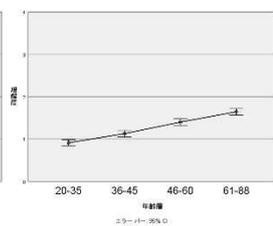
16. 発進遅れ防止支援



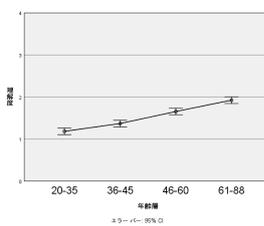
17. 衝突被害軽減ブレーキ



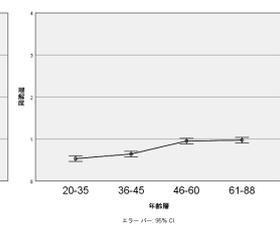
18. 信号情報活用運転支援



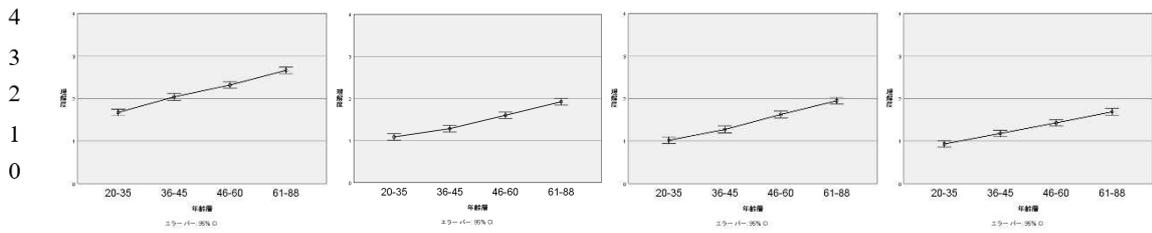
19. 道路標識認識機



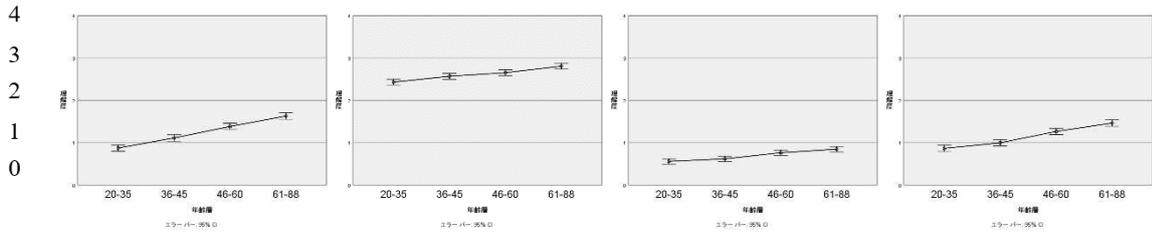
20. ブラインドスポットモニタ



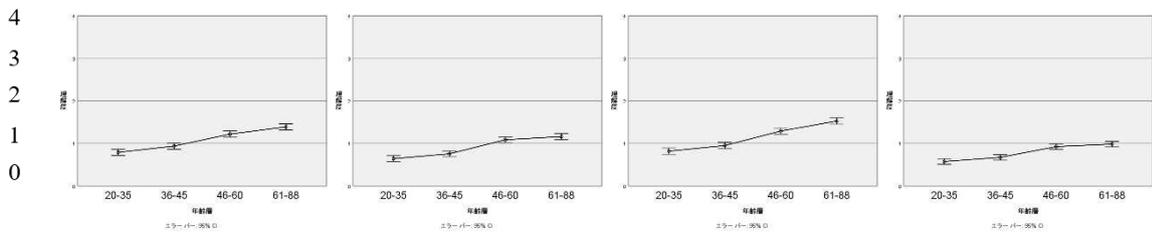
21.自動縦列駐車 22.ドライバーモニタリング装置 23.車車間通信 24.歩車間通信



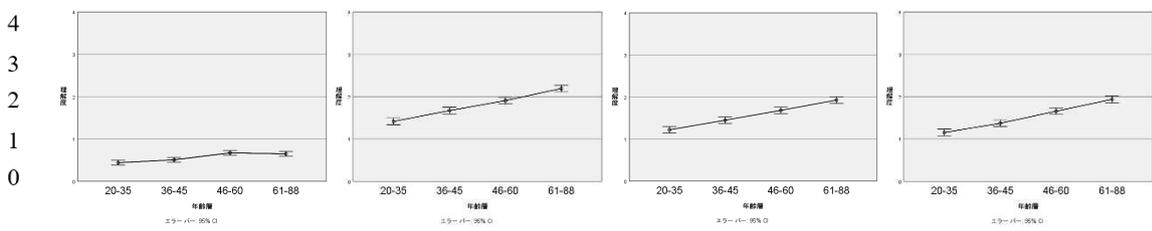
25.路車間通信 26.自動ブレーキ 27.オートメーションサプライズ 28.システム機能に対する過信



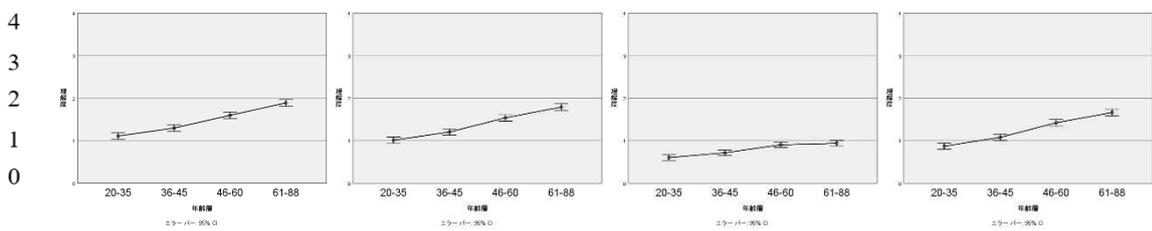
29. システム機能に対する過信 30.権限の委譲 31.システムの機能限界 32.遷移時間/運転引き継ぎ時間



33.モードコンフュージョン 34.ドライバー責任 35.システム責任 36.監視義務



37.周辺監視 38. システム監視 39.オーバーライド 40.自動運転解除予告



41.自動運転のレベル 42.部分自動運転 43.運転引き継ぎ 44.運転引き継ぎ要請



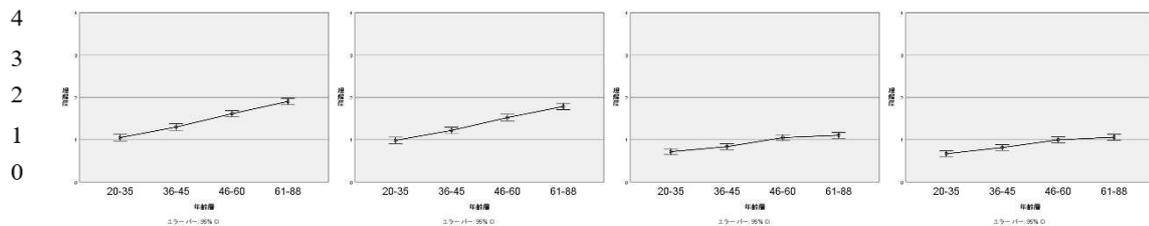


図 5-7 各年齢層の自動運転の機能に関する用語に対する理解度
(5段階主観評価)

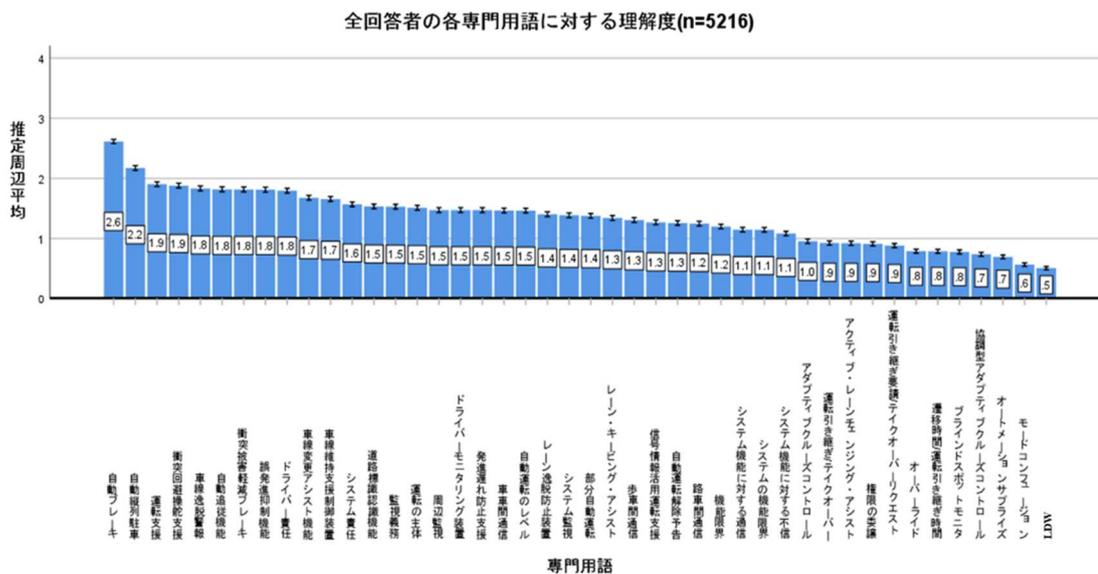


図 5-8 自動運転の機能に関する用語に対する理解度（全回答者）
(5段階主観評価)

各用語の理解度の平均点により、自動運転の機能に関する用語の中で、「自動ブレーキ」(M=2.6)、「自動縦列駐車」(M=2.2)、そして「衝突回避操舵支援」(M=1.9)のような近年の市販車に既に搭載している運転支援機能に関する用語に対して全年齢層の平均点が他の用語よりも高く見られた。

一方、「運転引き継ぎ」(M=0.9)、「運転引き継ぎ要請」(M=0.9)、「オーバーライド」(M=0.8)、そして「引き継ぎ時間」(M=0.8)といった自動運転から手動運転という引き継ぎ場面を説明する際によく使われる用語に対しては、用語の中でも全回答者において比較的低い平均点(M=1.0以下)が見られた。

また、「オートメーションサプライズ」(M=0.7)と「モードコンフィュージョン」(M=0.6)のようなヒューマンマシンインタラクションに関する専門用語も同じ傾向が見られた。

結果、現時点では、一般の人々の理解度の低い用語を専門家が伝える際に、簡易な表現を用いて説明するなど工夫する必要がある。自動運転を普及化する

前に、一般の人々に関連の専門用語の理解度を高める必要があり、一般生活に浸透するよう、単語だけで機能や意味などが想像できるように新しい用語を作るなど、より自動運転を理解してもらうために工夫をする必要がある。

年齢層別の多重比較の結果(図 5-7 と表 5-10)により、大部分の用語に対しての理解度は、年齢層が高いほど、各用語に対しての理解度が高い傾向があるという結果となっている。その理由を考察するため、問 7 の 4 段階の主観評価である「TV、新聞、ネットニュースなどでの自動運転の話題にどの程度関心がありますか。」という自動運転の情報の関心度の問題に注目した。

年齢層別において自動運転の情報の関心度に差があるか調べるため Welch's One-Way ANOVA を行った結果、有意であった($F(3,2894.2)=8.13, p<0.001$)。詳細は図 5-9 に示す。

さらに、多重比較 (Games-Howell 法) を行った結果、若年群と他の 3 群の間には、有意差が認められた(若年/壮年群の間: $p<0.05$) (若年/中年群の間: $p<0.001$) (若年/高齢群の間: $p<0.001$)。そのため、壮年群 ($M=1.31$)、中年群 ($M=1.36$) と高齢群 ($M=1.37$) が、自動運転の情報の関心度に対して、若年群 ($M=1.21$) より平均的に高いことがわかった。壮年群、中年群と高齢群は自動運転の情報の関心度が若年群より高いため自動運転の専門用語がより知られている可能性を示唆している。

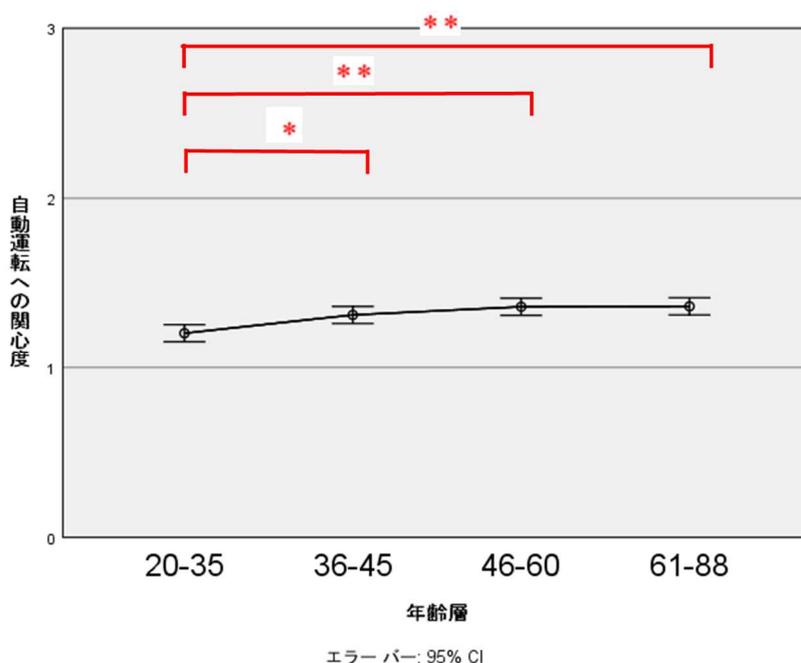


図 5-9 各年齢層の自動運転の情報への関心度

5.1.3.6.自動運転への期待度

今年度の回答者の自動運転への期待度について報告する。社会全体のメリットとユーザーのメリットそれぞれ個別の意見を求めた。社会全体にとって一番のメリットとして、56%の回答者が事故低減だと回答した。次に、交通弱者の交通参加支援が12.5%、過疎地における公共交通の代替が10.2%である。詳細は図5-10に示している。

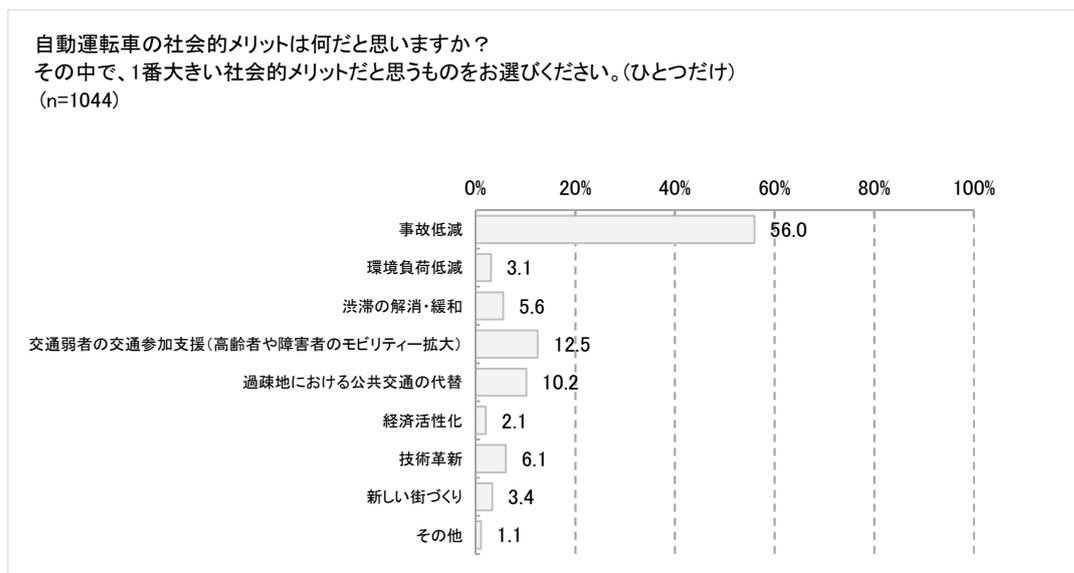


図 5-10 自動運転に対して最も期待される社会的メリット (N=1044)

ユーザーにとって一番のメリットとして、58.1%の回答者が事故の回避だと回答した。次に、疲労低減が22.1%、運転への不安解消が6.6%である。詳細は図5-11に示している。

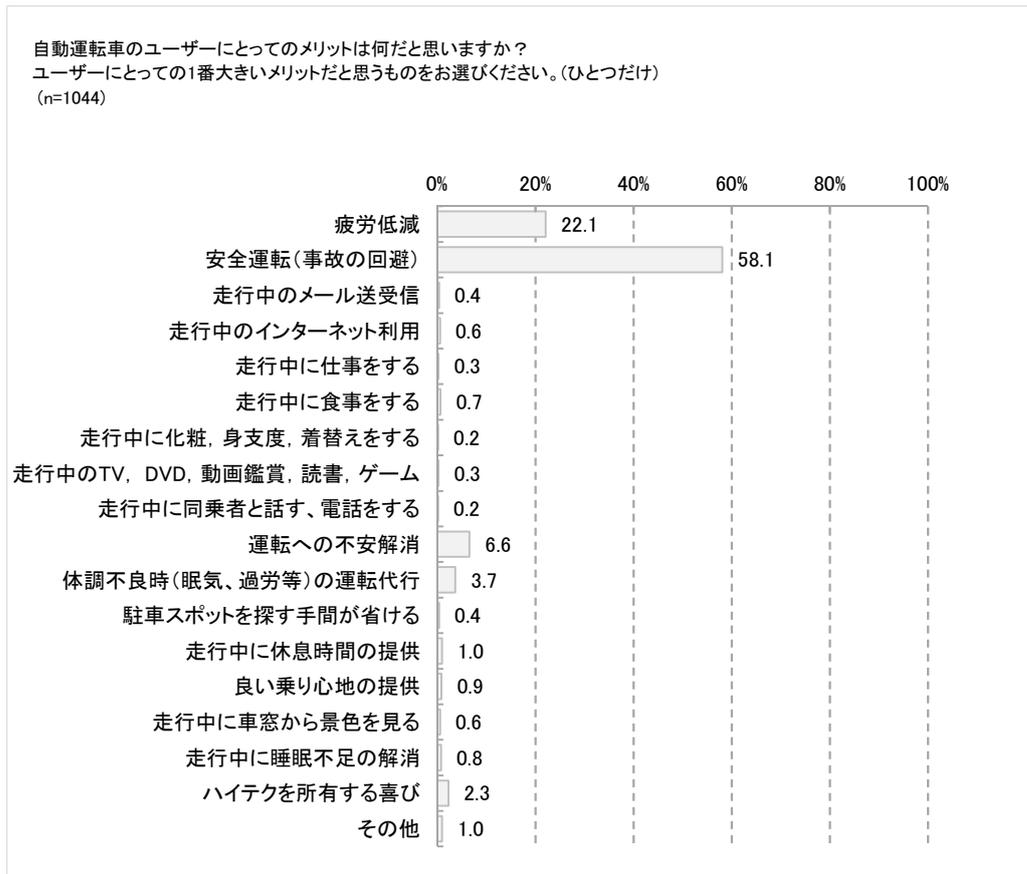


図 5-11 自動運転に対して最も期待されるユーザーのメリット (N=1044)

以上の結果により、過半数の回答者が社会全体とユーザー自身のメリットとしても、自動運転による安全な交通社会を期待していることがわかった。また、交通弱者の交通参加支援や過疎地における公共交通の代替など、社会福祉と地域貢献に期待感を抱いていた。

5.1.4. まとめ

本調査は国内の各年齢層が自動運転の情報についての関心度や自動運転中ドライバーの役割について理解度・認識度、自動運転に関わる用語の理解度・認識度などを確認した。調査をまとめた結果、高齢者が若年、壮年、中年の人より、自動運転レベルの違いとドライバーの役割について他群より正しく理解している現状となっている。

自動運転の用語の中、各用語の平均点により、「自動ブレーキ」、「衝突回避操舵支援」そして「自動縦列駐車」のような近年の市販車に既に搭載している運転支援機能に対して、全回答者においてその平均点が他の用語よりも高く見られた。

「運転引き継ぎ」、「運転引き継ぎ要請」、「オーバーライド」、そして「引き継ぎ時間」という自動運転から手動運転へ引き継ぐ場面を説明する際によく使われる用語に対して、用語の中でも全回答者において比較的低い平均点が見られ

た。

全年齢層の回答者に対して、一般の人々の理解度の低い用語を専門家が伝える際に、現時点では簡易な表現を用いて説明するなど工夫する必要がある。

提案として、自動運転を普及化する前に、専門用語を一般生活に浸透するよう、単語だけで機能や意味などが想像できるように新しい用語を作るなど、より自動運転を理解してもらうために工夫する必要がある。

さらに、多重比較の結果により、大部分の用語に対する理解度は、年齢層が高いほど、各用語に対する理解度が高い傾向があるという結果となっている。考察により、その理由は高齢者が自動運転の情報に対して、他の年齢層より高い関心を持つためだと示唆している。同時にそのきっかけで高齢者が一部の自動運転の用語を知った可能性も考えられる。主観による結果では、高齢者が他の年齢層群より、一部の自動運転の用語を認識・理解していると示している。

最後に、自動運転社会への期待について、過半数の回答者が社会全体とユーザー自身のメリットとして、自動運転によってより安全な交通社会を期待していることがわかった。

今回の調査は過去の結果との比較とまとめることにより、以上の結果をまとめた。今年度の回答者数を含めて既に 5000 以上のデータセットがあり、今後の自動運転の発展に役立つ重要な根拠となると考えられる。

5.2. 実験 C ii-1

5.2.1. 目的

第 1 期 SIP における研究成果並びに関係プロジェクトなどでの検討結果を踏まえ、レベル 3 のシステムに関する教育コンテンツについての検証を目的とする。さらに、この実験においては、運転者の属性と教育の効果と関係を明らかにすることを目指す。また、教育の時間的効果をも評価する必要があると考えられることから、教育の機会と、評価の機会との間を 1 か月程度空ける実験デザインとした。

5.2.2. 実験参加者

普通運転免許を有する 19～82 歳の 72 名年齢、男女比については、実験計画において詳細を説明する。なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の承認を得た上で実施した（承認番号：2019R333-1）。

5.2.3. 実験装置

本実験では、定置型ドライビングシミュレータを用いる。このシミュレータは、三菱プレシジョン社製 DS3Sim ver.6 である。前方に 42 インチのディスプレイを 1 面配置し、約 100 度の水平視界を提供している（図 5-12）。



図 5-12 実験 Cii-1 で使用したドライビングシミュレータ

本実験で低速のみ及び速度制限なしの 2 種類の自動運転システムを使用した。なお、いずれも単路に限定したレベル 3 の自動運転(ACSF カテゴリ B2)である。車線変更が必要な場面では、ドライバーが制御介入をしなければならない。

5.2.4. 実験計画

本実験では、教育方法（「事前教育有 v.s.無」）と対象自動運転システム（「低速のみ v.s.速度制限なし」）の 2 つの要因を取り上げ、いずれも被験者間要因であり、2 つの水準を有する。各条件の実験参加者の内訳は、表 5-12 の通りである。また、独立変数としては制御しないが、年齢、運転歴、遵法意識（DBQ 簡易版）についてもデータ収集し、これらの変数と実験結果との関係も分析した。

表 5-12 実験参加者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
教育有 / 低速のみ	10	10	57.6	54.8	56.2
教育有 / 制限なし	10	10	57.4	54.2	55.8
教育無 / 低速のみ	8	9	63.6	52.7	57.8

教育無／制限なし	7	8	51.6	56.8	54.3
----------	---	---	------	------	------

なお、教育有の2つ条件においては、自動運転システムの未経験者を対象とした。

5.2.5. 実験手順

事前教育有群は初日の教育及び2日目の走行実験に参加した。なお、教育の時間的効果を評価するのに、初日と2日目の実験の間に1か月程度空けた。初日は、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、13分間の動画を用い、自動運転に関する一般的知識の教示を行った。2日目は、図5-12に示したシミュレータにおける運転操作の説明と練習を行い、つぎに、使用する自動運転システムについての説明と、システムの設定、解除及び引継ぐ方法を説明し、具体的な操作方法を練習した。その後、システムから提示される運転引継ぎ要請についての説明を行った。説明終了後、実際に8つの本走行を経験させた。

事前教育無群は2日目の走行実験のみに参加した。詳細な実験の流れは表5-13に示された。なお、この実験では、各群の被験者の半分に表の1→8順番で、残りの半分に8→1順番で経験させた。

5.2.6. 仮説と評価指標

本実験では、一般的知識をあらかじめ教育しておくことによって、数か月程度の時間を経た後でも、特定のシステムを利用する際の教育にかかる時間・実際の運転パフォーマンスに効果が認められることを仮説として設定した。故に、下記の指標を評価する。

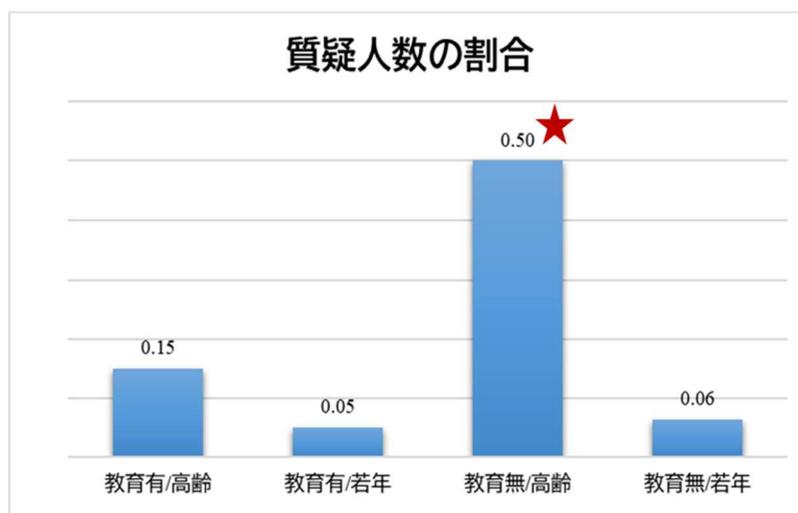
- ・ システム説明後の質疑の有無と時間
- ・ 引継ぎ時の事故率
- ・ 引継ぎ要請から介入までの時間
- ・ 引継ぎ要請まで視線

表 5-13 実験の流れ

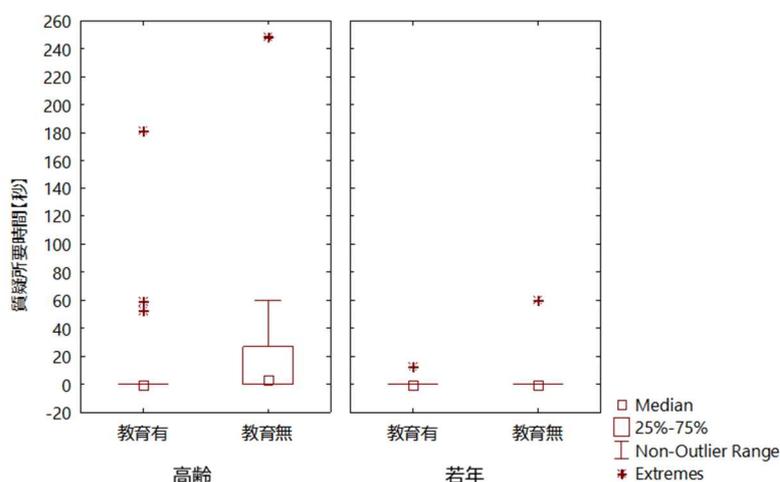
実験日	事前教育有群	事前教育無群
初日	実験全体及び初日の説明	—
	インフォームドコンセント	
	動画に関する一般的知識の教示	
	フェイスシート・DBQ	

2 日 目	実験説明	
	—	インフォームドコンセント
	シミュレータにおける運転操作の説明と練習	
	使用する自動運転システムの説明と練習	
	運転引継ぎの説明	
	<p>本走行</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. (PA)渋滞で 40km/h で低速走行、そのまま高速道路 PA へ 2. 最初から最後まで 85~95km/h を保ちながら走行 3. (雨)雨で 50km/h で低速走行、さらに大雨による視界が悪化 4. (合流)40km/h まで低速走行、合流エリア入り 5. (解消)低速 (40~50km/h) 走行し、渋滞解消 6. (事故)低速 (40~50km/h) 走行し、事故現場に遭遇し 7. 渋滞になり、50km/h まで減速して低速走行 (RtI 無) 8. (失陥)雪で 50km/h で低速走行、機能失陥による RtI 	
	—	フェイスシート・DBQ

5.2.7. 結果と考察



(ア) 質疑人数の割合



(イ) 質疑所要時間【秒】

図 5-13 自動運転システムの説明を受けてから質疑に関する結果

図 5-13 には自動運転システムの説明を受けてから質疑した実験参加者の割合（ア）と質疑の所要時間（イ）を示す。使用するシステムについての教示において、事前教育のない条件の高齢者は、約半分の参加者が何らかの質問をした。事前教育のある高齢者が質問をした割合は 15% 程度である。若年層では、事前教育の有無によらず、質問をしたのは 5% 程度にとどまっている。これらのことから、特に高齢者に向けて説明をすることを考える場合、事前に一般論として知識を与えておくことによって、特定のシステムを利用する際に受ける説明をスムーズに理解できるようになることが期待される。また、質問をする人は、1 分から 4 分程度質疑に要していた。

事故率

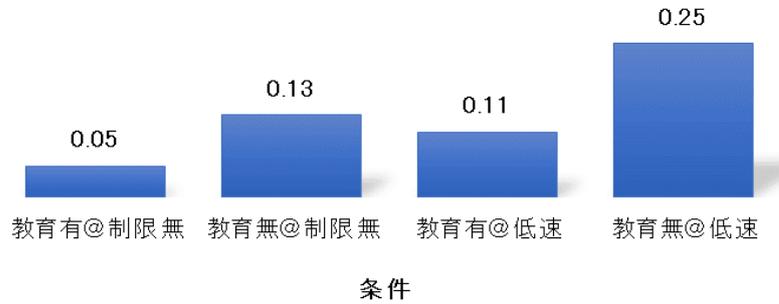


図 5-14 事故車両イベントにて引継ぎ際の事故率

RtI への対応としては、事故車両が前方にある状況での運転引継ぎ場面において、事前の教育を受けていない群が事故発生率が高くなる結果を得た。その結果は図 5-14 に示す。ただし、事故有無と教育有無に関して、カイ二乗検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($\chi^2(1) = 1.98, p = .160$)。

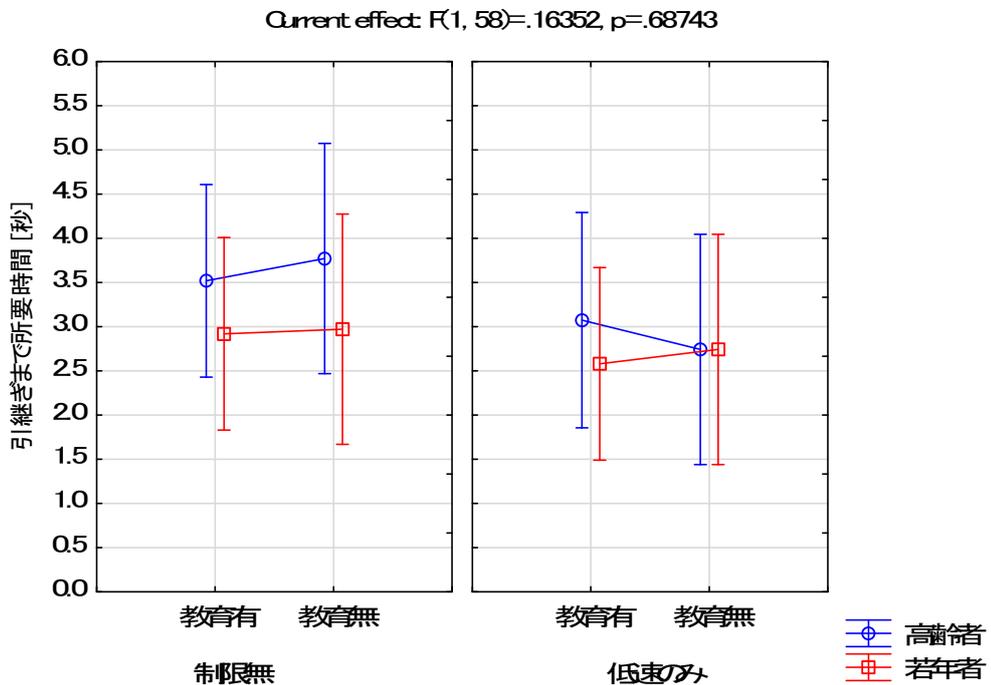


図 5-15 事故車両イベントにて引継ぎまで所要時間

また、事故イベントにおける引継ぎまでの所要時間に「教育有無」と「教育システム」及「年齢層」という 3 要因の分散分析を行った結果、交互作用と各要因の主効果はいずれも有意ではなかった (交互作用: $F(1, 58) = 0.16$).

p=0.69 ; 教育有無 : F(1,58)= 0.01, p=0.94 ; 「年齢層」 : F(1,58)= 1.22, p=0.27)。
その結果を図 5-15 に示す。

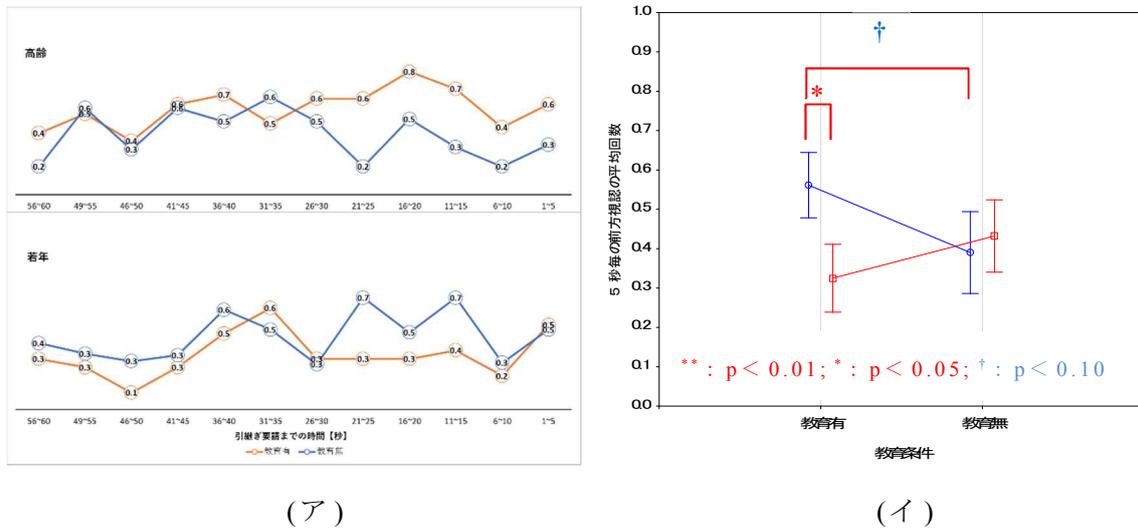


図 C-16 事故車両イベントにおいて引継ぎ要請まで 5 秒毎の前方視認平均回数

図 5-16 の (ア) には事故車両イベントにおいて引継ぎ要請まで 5 秒毎の前方視認回数を示す。その結果から、事前教育を受けた高齢群は、受けない群に比べ、非運転タスクをやりながら前方交通状況をよく確認したことが分かった。5 秒毎の前方視認平均回数に教育有無と年齢層という 2 要因の繰り返しのある分散分析を行った結果、交互作用と年齢層の主効果が見られた(交互作用 : F(1,11)=10.95, p<0.01** ; 教育有無 : F(1,11)= 2.91, p=0.12 ; 「年齢層」 : F(1,11)= 5.88, p<0.05*)。多重比較を行った結果、事前教育を受けた条件においては、高齢者と若年層の間に有意な差があった(p<0.05*) ; 高齢群に関して、教育無の間にも有意な傾向がみられた(p<0.10†)。その結果は図 5-16 (イ) に示す。

5.2.8. まとめ

本実験では、自動運転に関する一般論を事前に知識として与えておくことが、特定のシステムの利用時における理解を深めることに効果があることがうかがわれた。特に高齢層に関して、事前に一般知識を知っておくことはより安全に自動運転システムを使用できたことが示唆された。ゆえに、一般的知識をあらかじめ教育しておくことによって、数か月程度の時間を経た後でも、特定のシステムを利用する際の教育にかかる時間・実際の運転パフォーマンスに効果が認められたという仮説が支持された。