



2021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

2022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(NEDO)が管理法人を務め、内閣府が実施した「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）」(NEDO 管理番号：JPNP18012)の成果をまとめたものです。

内容

1. Executive summary (全体要旨)	7
1.1. 課題 A	7
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	7
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eHMIの実装	8
1.1.6. 自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案 9	
1.1.7. 論文投稿・掲載を含む研究成果の公表	9
1.2. 課題 B	10
1.2.1. システム主導(RtIの提示あり)による自動から手動への遷移	10
1.2.2. ドライバー主導による自動から手動への遷移	11
1.3. 課題 C	12
1.3.2. 仮説検証(購入者向け)	12
1.3.3. 安全運転教育の試行	12
1.3.4. ウェブ実験のフィージビリティスタディ	13
1.3.5. 自動運転の安全教育の検討	13
2. 委託概要	14
2.1. 委託の目的	14
2.2. 委託の内容	14
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	16
3.1. はじめに	16
3.2. 課題 A の 2021 年度の計画	17
3.3. 課題 A の 2021 年度の具体的な目的と方法	18
3.4. 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	25
3.4.1. はじめに	25
3.4.2. 宿泊施設敷地内での実証実験およびドライブレコーダ映像の分析 26	
(1) コミュニケーション対象者の種別ならびにコミュニケーション観測件数 27	

3.4.3. 自動運転車および手動自動車と周囲交通参加者とのインタラクションの現状	42
(3) インタラクション失敗の観測件数および特徴	46
3.4.4. 本節のまとめ	50
3.5. 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	52
3.5.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車とのコミュニケーションの負の影響の低減・抑制に関する検討	52
3.5.2. 本節のまとめ	67
3.6. 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 eHMI の実装	68
3.6.1. 実施目的	68
3.6.2. eHMI の仕様	68
3.6.3. eHMI の取付具	69
3.6.4. フロント用 eHMI の実装	69
3.6.5. リア用 eHMI の実装	71
3.6.6. フロント/リア用 eHMI の実装	72
3.6.7. eHMI 取付に伴う基準緩和申請	73
3.6.8. 本節のまとめ	73
3.7. iv. 単路部や交差点を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための外向け HMI 等に関する検討と提案	74
3.7.1. 試験走路環境を利用した横断ケース時の歩行者の非効率な行動や不安感を低減する自動運転サービスカーのコミュニケーション方法に関する研究 74	
3.7.2. 自動運転サービスカーの eHMI が後続ドライバーの認識・確認行動に与える影響に関する研究	84
3.7.3. 本節のまとめ	92
3.8. v. 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための外向け HMI 等に関する検討と提案	93
3.8.1. 接近・回避ケースにおける歩行者の判断・行動を支援する自動運転サービスカーのコミュニケーション方法に関する事前検討	93
3.8.2. eHMI・路面標示・路面標示を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討	100

3.8.3.	ビデオ視聴を通じた自動運転車から交通参加者へのコミュニケーションに支援方法に関する検討	105
3.8.4.	eHMI・路面標示・路面標示を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討	110
3.8.5.	視覚と聴覚の eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討	114
3.8.6.	本節のまとめ	120
3.9.	vii.自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案	121
3.9.1.	車両挙動や eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーションに関する検討	121
3.10.	viii.論文投稿・掲載を含む研究成果の公表	127
3.10.1.	各研究項目について、NEDO 研究にて得られた成果を社会に還元する目的で、論文投稿に取り組み、論文発表、国際会議等を含む学会等への成果発表を行った（表 3-30 参照）。	127
3.11.	課題 A のまとめ	130
	参考文献	133
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	135
4.1.	システム主導(RtI の提示あり)による自動から手動への遷移	135
	実験 1：計画的遷移時の問題の再確認と解決方策（RtM プロトコル）の最適条件の検討	135
	実験 2：RtM プロトコルの実施における問題の確認と解決手法の検討 ..	144
4.2.	ドライバー主導による自動から手動への遷移	148
	参考文献	154
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	155
5.1.	一般知識に関する安全運転教育手法及び検証実験 Civ（再実験） ...	155
5.1.1.	目的	155
5.1.2.	実験参加者	155
5.1.3.	実験装置	155
5.1.4.	教育手法	156
5.1.5.	自動運転機能	156
5.1.6.	実験計画	156
5.1.7.	実験手順	156

5.1.8. 仮説と評価指標	157
5.1.9. 結果と考察	159
5.1.10. まとめ	161
5.2. ウェブ実験のフイージビリティスタディ 実験 Cvii	161
5.2.1. 実験の目的	161
5.2.2. 研究対象者	162
5.2.3. 実験装置	162
5.2.4. 実験計画	164
5.2.5. 実験タスクと教示	164
5.2.6. 実験手順	164
5.2.7. 実験の結果	165
5.2.8. まとめ	167
5.3. 一般ユーザーが習得知識に関する Web 調査	167
5.3.1. 目的	167
5.3.2. 設問と回答者属性	168
5.3.3. 調査結果と考察	170
5.3.4. まとめ	175
5.4. 特定のシステムに関する知識の伝達の検討と検証	175
5.4.1. 目的	175
5.4.2. 実験参加者	175
5.4.3. リモート実験によるシステム説明（教示部分）	175
5.4.4. 実験計画	176
参考文献	177

1. Executive summary (全体要旨)

1.1. 課題 A

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

車両や歩行者の通行区分が明確に分離されていない共有空間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の特徴を抽出するために、広域な施設内道路や広場、遊歩道、駐車エリアなどにおいて車両と歩行者との共有空間を有する宿泊施設の協力のもと、これら共有空間に自動運転の実験車両（ゴルフカートタイプ）を走行させて、低速走行する自動運転車と周囲交通参加者（歩行者、他車両）とのコミュニケーション場面を自動運転車に装備したドライブレコーダで観測・記録した。観測された映像データから、共有空間における低速走行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の特徴を抽出した。また不安全なコミュニケーション、非効率なコミュニケーションとして過年度までに分類・整理したユースケースと同様な事象が発生することなどを確認した。

道の駅等の駐車エリアや周囲の道路において定点観測を実施し、自動運転車と周囲交通参加者との間のコミュニケーションと一般車両と周囲交通参加者とのコミュニケーションの特徴に関する比較検討を試みた。

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

SIP 第 1 期では、自動運転車から譲り意図を歩行者に表明する際、外向け HMI(External Human Machine Interface、以後 eHMI)の使用が歩行者に過度な依存を生じさせ、横断開始前や横断中の周囲確認を行わなくなることが確認された。このような eHMI の負の影響を詳細に検討するために、VR(Virtual Reality)環境での実験（以後 VR 実験）を実施して、eHMI を活用した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の特徴を抽出するとともに、eHMI への歩行者の過度な依存、依存によって誘発される確認行動の減少を改善する対策として、周囲環境の見通し状況に応じて eHMI のメッセージを消灯する手続きを導入して、当該交通場面における自動運転車への交通参加者の解釈や意思決定、安心等の心的影響等を検討した。

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 eHMI の実装

過年度までに抽出された低速走行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方法（車両挙動および eHMI の仕様）を実証するために、2022 年度に道の駅等の自動運転サービスの実証実験（中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス）と連携して一般道での実証実験を実施する。この実証実験の一般道において、過年度に製作した自動運転の実験車両（ゴルフカートタイプ）に eHMI を実装して走行するための基準緩和認定申請を行う。そのための eHMI の取付方法について考案し、いくつかの取付具を製作して取付方法を検討した。関連法規との関係性ならびに eHMI の操作・保守等の観点から、前方用 eHMI はフロントウィンドウ内側、ダッシュボード上に加工なくネジ留めにて設置すること、後方用 eHMI は荷室内に加工なくネジ留めにて設置することとし、走行に伴う振動などでがたつきが生じないことなどを確認した。この取付方法と eHMI の仕様、ならびに eHMI にて提示するメッセージ内容（コミュニケーションにおける意図・状態に関する伝達内容）を合わせて、2022 年度に基準緩和申請を行う。

1.1.4. 単路部や交差部を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案

道の駅周囲の一般道路のうち単路部での横断ケースを対象として、低速走行の移動・物流サービスの自動運転車（ゴルフカート）から歩行者への安全・安心で円滑なコミュニケーションを促す方法案を試験走路環境に再現して被験者実験を実施し、車両挙動と eHMI の組合せが歩行者の無信号横断歩道の横断に関わる認識・判断・行動、心理面にもたらす影響を定量的に分析した。同様に、単路部での追越ケースを対象として、自動運転車（ゴルフカートから後続ドライバーへのコミュニケーション方法について、ドライビングシミュレータを利用した被験者実験を実施して、追越行動を行おうとするドライバーの視認行動への影響や心理面への効果について分析した。

1.1.5. 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションに関する負の効果等への対応・対策の提案

道の駅の駐車エリア等の共有空間などでの接近・回避ケースを対象として、低速走行の移動・物流サービスの自動運転車から歩行者への安全・安心で円滑な

コミュニケーションを促す方法案を VR 環境に再現して被験者実験を実施した。低速走行の自動運転車（ゴルフカート）が歩行者後方から接近する際の歩行者の回避場面におけるコミュニケーション支援として、テキスト表示や音声提示などの eHMI などを取り上げ、歩行者の回避行動に関わる認識・判断・行動、心理面にもたらす影響を調査した。

1.1.6. 自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案

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・物流サービスの自動運転実証実験を対象に、過年度に抽出された eHMI の仕様を自動運転車に実装し、低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と eHMI の仕様や特徴に対する周囲交通参加者の解釈や認識、行動判断について 2022 年度に調査する。この実証実験に関する事前検討として、eHMI を含めた自動運転車とのコミュニケーション、負の影響の低減・抑制に対して周囲交通参加者が備えるべき知識、エデュケーションファクター等を VR 実験を通して分析した。

1.1.7. 論文投稿・掲載を含む研究成果の公表

各研究項目について、NEDO 研究にて得られた成果を社会に還元する目的で、学術誌等への論文投稿や論文発表、国際会議等を含む学会等への成果発表を行った。2019 年度ならびに 2020 年度のドライブレコーダ分析、2021 年度の自動運転実証実験での現地観測、仮想空間や試験走路における実験等での検討結果から得られる自動運転車や eHMI に対する周囲交通参加者の認識や心理面への影響等の特徴、コミュニケーションの成功/失敗の要因等に基づいて、低速走行する移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との安全・安心なコミュニケーションの実現に対して、周囲交通参加者が備えるべき知識、エデュケーションファクター案等を提案する。

1.2. 課題 B

1.2.1. システム主導 (RtI の提示あり) による自動から手動への遷移

今年度の目的：RtI が提示されて自動運転から手動運転へ遷移する際、自動運転中に実施していた運転以外の活動を遷移少し前にやめて、周辺道路環境を監視することが、スムーズな移行に有効であることを昨年までの実験で示した。今年度は、周辺監視の適切な開始タイミング、すなわち、ドライバーが事前に周辺道路環境を監視するために必要な時間について検討した。

実験 1：ドライバーの周辺認識の時間を変えた条件での実験

30 名が参加したドライビングシミュレータ実験で、自動走行開始から一定時間後に運転引継を発生させ、運転引継と同時に表示される進路案内板の表示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。自動運転中、実験参加者はパズルゲームをし、外部カメラを用いて実験参加者の視認行動を計測した。

運転引継発生の 5 秒、10 秒、20 秒、55 秒前に周辺道路環境の監視を求める監視 5 秒、監視 10 秒、監視 20 秒、監視 55 秒条件と、監視時間の無い監視 0 秒条件、実験シナリオを終始手動で運転するマニュアル運転条件の計 6 条件を設定した。監視を求める際は「まもなく運転交代」と音声アナウンスを提示した。運転引継を求める際は電子音を提示した。どちらも実験前にその意味を教示し、練習において理解できていることを確認した。

実験の結果、前方注視率は監視開始からの時間経過とともに高くなり、監視開始から 30 秒程度経過後にマニュアル運転時に近い注視率で安定することが示された。周辺注視率は監視開始後 5～15 秒でピークをむかえ、その後減少し、監視開始から 30 秒程度経過後に 0.1～0.2 の範囲となる（マニュアル運転時は、運転交代前はおおよそ 0.1 程度）ことが示された。監視 20s 条件は、監視 55s 条件に比べて、注視回数が多く、1 回あたりの注視時間が短い結果であった。運転交代後の車線変更成功率に関して、監視 55s 条件は、RtI 提示前に前方注視率約 70%で安定し、運転交代後に、手動運転条件に近い車線変更の成功率（他条件と比べて最も高い成功率）であることが示された。

実験 2：周辺認識を促す HMI の原理・原則の検討実験

周辺監視を事前に行う場合、ドライバーが周辺監視に応じなかった場合を考慮して、どのような促し方があるかをドライビングシミュレータ実験で検討した。実験では、周辺監視を促す際の提示方法に関して、(a)周辺監視に応じずパズルゲームを続ける条件、(b)「1 分後に運転交代」と交代時間を明示する条件、(c)周辺監視を複数回に分けて促し、運転引継 5 秒前からカウントダウンする条件、(d)周辺監視とともに、ハンズオン（ハンドルを把持するが操作は不要）を

求めた条件、(e)周辺監視に応じなかった際に警告を発する（周辺監視開始後に5秒以上前方走行映像から視線を外したらビープ音を提示）条件、(f)周辺監視に応じなかった際に警報に加えて、車両の緊急停車を予告した条件の6つを比較した。

実験の結果、運転交代の事前に周辺監視をすることの効果は、ドライバーが周辺監視要請に適切に応答することを前提するが、カウントダウン、ハンズオン、警告といった工夫を施すことで、ドライバーの応答が多少不適切であってもスムーズな運転引継ぎの効果を維持できる可能性が示された。

1.2.2. ドライバー主導による自動から手動への遷移

今年度の目的：レベル2運転支援を一般道で安全に適用することを可能とするために、特に信号交差点付近において、レベル2運転支援走行時のドライバーの注意レベル向上および、リスクに対する適切な対応を支援するHMIを提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行うことで、ドライバー主導の適切な運転介入を支援するHMI要件を調査する。

実験1：信号交差点を含む一般道におけるレベル2運転支援時の交通信号変化時の要因となる提示情報の調査

信号認識による制御を行うことを前提としていない運転支援の時、ACC(Auto Cruise Control)で追従制御を行っている時に信号交差点接近の際に信号が黄色に変わると、ドライバー主導の運転介入を行って車を停止させることが求められる。本実験では、レベル2運転支援による自動走行中の車両による安全な信号交差点の通行を支援するためのHMI要件の調査を目的とする。地図情報を基にした静的環境情報を提示するものと、静的環境情報に加えインフラ情報を基にした動的環境情報を提示するもの、2種類のHMIを提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。リスク（自車は運転介入せず自動走行を行った場合、停止線付近で赤信号となる）発生後の対応について、動的HMIを使用した場合に、緩やかな減速および、余裕を持った停止が行われることが示されており、これは先読み情報により前もって赤信号になることをドライバーが知ることにより、準備行動をとることができた可能性が考えられる。

実験2：信号交差点を含む一般道におけるレベル2運転支援時の交差点における他車両との事故防止の要因となる提示情報の調査

本実験では、レベル2運転支援による走行中の適切な運転介入による信号交差点付近の車-車間事故の防止を実現するためのHMIの要件の調査を目的とする。危険な場所を明示することを目的として、地図情報をもとにした静的環境

情報を提示するものと、運転支援システムの仕組みの確認を目的として、車載センサー情報を基にした物体認識情報を提示するもの、2種類のHMIを提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。リスクシーン（バイクが自車の前方に割り込む）においてバイクが車線変更を終了した時点からの自車の速度変化およびTHW（Time Headway：前方車両の現在位置に自車が到達するまでの時間）の時間変化を比較した。センサーHMIと静的HMIの併用条件では、手動運転における反応に比較的近い速度およびTHWの維持を示しており、運転権限の移行が円滑に行われたことが考えられる。

1.3. 課題 C

1.3.1. 評価検証（一般市民向け）

自動運転に関する一般的な知識の教育に関して、知識の定着を図るための工夫として、具体的なシステムを例示すること、ならびに運転引継ぎを体験する機会を提供すること、の2点に着目し、評価実験を行った。

その結果、特定システムの説明は引継ぎ時の安全性、自動運転機能への理解に効果的であることが示された。一方、引継ぎ体験単独による顕著な効果は見られなかった。なお、特定システムを説明した上の引継ぎを体験することは引継ぎ時の安全性と機能理解により有効であった。

1.3.2. 仮説検証（購入者向け）

本実験では安全運転教育において自動運転に関する一般的な知識を前提として、特定のシステムを利用するにあたってユーザーに提供すべき知識の項目を整理、その有効性をDS（Driving Simulator）実験によるその効果を評価することを目的とする。運転の引継ぎ体験を具体的に行うこと、ならびに学習すべき内容をユーザーのペースで自由に学ぶようにさせてよいかに着目し、効果の評価を行う実験を計画した。

実験の実施においては、講習の時間的な効果を評価する必要があると考えられることから、知識の講習とDS検証実験に分け、間に1ヶ月程度空ける実験を計画した。2021年度は事前の講習のみを行った。DS検証実験は令和4年度4月から実施する予定である。

1.3.3. 安全運転教育の試行

自動運転車教育への動機づけを行い、自動運転車を自分の身近なモノと関連付けをし、運転車としてどのように接するか、交通利用者として、どのようにふるまうかなど検討してもらうことで、自動運転車の異なるレベルが混在する

交通環境において、安全行動への態度を高めることができるかを検証するための研修を行う準備を行った。本研修は、インストラクショナルデザインの理論を援用してデザインした。実際の実施は、2022年度当初に行う予定である。

1.3.4. ウェブ実験のフィージビリティスタディ

2020年度において、ウェブベースのリモート実験の実行可能性を確認できたが、2020年度では実験者が電話を通じて参加者に詳細に説明、指示を与えていた。今年度は、ウェブベースのリモート実験を実験者の介入なく実施できるようにウェブシステムの作りこみを行った。

実験の結果、実験者の介入なくドライビング実験を実施できることを確認した。また、実験結果がこれまでの実験と同様の傾向を示すことも確認された。

1.3.5. 自動運転の安全教育の検討

研究成果の社会実装を目指し、自動運転に関する教材作成にあたっての留意事項をまとめた解説書の構成を検討するとともに、具体的な執筆を始めた。また、教育を行う際に活用する教材のサンプルの作成を行った。

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(Object and Event Detection and Response)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、eHMI 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、eHMI 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を開催する。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、会議の運營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。

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、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 eHMI

の活用が有効となることが確認された。その一方で、eHMI の活用に関して、eHMI 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、eHMI 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 eHMI 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、eHMI 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、eHMI 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 2021 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、バーチャルリアリティ（VR）実験、構内道路等の実環境での実験（構内道路実験）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 eHMI 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 eHMI 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。2021 年度における計画は、図 3-1 課題 A の 2021 年度の計画に示す通りである。

事業項目	2021 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
A. 自低速走行の移動・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				
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		観測実験 分析・とりまとめ		
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		VR/実験	分析・とりまとめ	
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 eHMI の実装			eHMI 実装 分析・とりまとめ eHMI 設置・認可	
iv) 単路部や交差点を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案			試験走路実験 DS 実験 分析・とりまとめ・仕様案等	
v) 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションに関する負の効果等への対応・対策の提案			VR 実験 分析・とりまとめ・仕様案等	
vii) 自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案		分析・とりまとめ・ エデュケーションファクター案等の検証	VR 実験	
viii) 論文投稿・掲載を含む研究成果の公表			研究成果の公表	

図 3-1 課題 A の 2021 年度の計画

3.3. 課題 A の 2021 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면을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、網羅性を考慮しつつ、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。

【仮説】

低速走行、移動・物流サービス、ドライバーレス等が伴う自動運転車と周囲交通参加者には、適切なコミュニケーションや自動運転に関する知識が伴わない状況であり、複数の周囲交通参加者（自転車含む）が関与するニアミスやヒヤリハット等の不安全行動、意思疎通が適切に図れないことによる不安の増大や行動の躊躇等を誘発している。これら不適切なコミュニケーションの特徴や不安全行動に関わる諸条件等を分析し、コミュニケーションのユースケースとして整理することで、自動運転車と周囲交通参加者間の効果的・効率的なコミュニケーション設計・開発への貢献が期待できる。

【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や、慶應義塾大学が実施した宿泊施設敷地における実証実験を対象に、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。また、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推測される。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、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。

【分析評価】

移動・物流サービス等の自動運転車が走行する際に他の交通参加者との間にコミュニケーションやインタラクション等が発生する場面を対象に、道路環境の種類、周囲交通参加者の種類、地域交通の特徴、コミュニケーションやインタラクションの形態、コミュニケーションの成立/不成立、交通参加者の不安全行動の有無や行動の特徴等进行分析し、コミュニケーションやインタラクションに伴う周囲交通参加者の不安全行動の特徴や発生の要因・条件等を検討する。

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。

【仮説】

eHMIにより、特定の状況下では不安全事象を誘発するが、eHMIの運用方法、路面標示、交通参加者の知識等により改善できる。

【方法】

iにて実施した単路部や交差点、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eHMI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、eHMI 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。

【分析評価】

交通参加者の不安全行動として、自動運転車とのニアミスや接触のほか、周囲交通参加者間のニアミスや接触を検討するとともに、周囲への確認行動の有無や回数、行動開始タイミング、eHMI 等の仕様を含めた自動運転車に対する認識等を分析して、自動運転車と周囲交通参加者の間でコミュニケーションが成功する際の諸要因、同様に失敗する場合の諸要因、さらに安全で安心なコミュニケーションの実現に対して交通参加者の持つ知識の効果について交通参加者の属性等を考慮して考察し整理する。

iii.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 eHMI 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 eHMI 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。また自動運転車に eHMI を装備するための取付具等を製作し、eHMI 装備の自動運転車が一般道を走行することができるよう基準緩和認定申請の準備を進める。

【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 SIP で製作した eHMI の仕様を考慮して eHMI 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 タウン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することでテストコースとし、模擬的に単路環境や交差点環境、駐車場環境を再現する。また実験車両に eHMI を装備するにあたり、基準緩和認定申請を考慮して、実験車両を加工せずに既存のネジ穴等を活用する取付具を製作して取付を行う。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。

iv. 単路部や交差点を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案

【目的】

2020 年度に引き続き、道の駅等での現地観測から得られる単路部や交差点でのコミュニケーション場面に対する特徴分析と類型化を行いつつ、より詳細な分析を行う必要のあるコミュニケーション場면을試験走路上やドライビングシミュレータで模擬的に再現する。実験車両と eHMI の実験装置に基づいて、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定量的に分析・検討し、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基本的なコミュニケーションに関わる設計要素ならびに eHMI を設計・実装する際の推奨事項等を明らかにする。

【仮説】

eHMI、路面標示、交通参加者への教育により不安全事故が改善し、交通参加者の安心感・交通の円滑化が向上する。

【方法】

2020 年度に引き続き、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サービスや物流サービス等の自動運転実証実験を対象に、単路部や交差点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やインタラクション等の分析から検討すべき場면을考慮しつつ、その検討対象とな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再現する。その仮想空間での道路環境や交通状況を対象に、eHMI を実装した低速走行の移動・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場면을再現し、eHMI の仕様や特徴に対する周囲交通参加者の解釈や認識、行動判断について、また自動運転車や eHMI に関する知識の影響等についても調査する。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環境での実験結果に基づいて抽出された eHMI の仕様や特徴を 2019 年度に開発した実験車両に設定し、それらを新川崎 K2 タウンキャンパスの構内道路の試験走路を利用した実験により詳細分析する。また、不安全を軽減する自動運転車に対する後続車の追越についてはドライビングシミュレータを用いて分析をする

【分析評価】

ヘッドマウントディスプレイあるいはドライビングシミュレータの利用による単路部や交差点の実験では、交通参加者の不安全行動として、自動運転車とのニアミスや接触のほか、周囲交通参加者間のニアミスや接触を検討するとともに、周囲への確認行動の有無や回数、行動開始タイミング、eHMI等の仕様を含めた自動運転車に対する認識や判断、行動等を分析する。試験走路を利用した実験では単路や交差点にてeHMI等を実装した際の低速走行の物流・移動サービスの自動運転車に対する認識や印象等を分析する。これらの分析を通じて、単路部や交差点において自動運転車と周囲交通参加者の間でコミュニケーションが成功する際の諸要因、同様に失敗する場合の諸要因、さらに安全で安心なコミュニケーションの実現に対してeHMI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について交通参加者の属性等を考慮して考察し整理する。

v. 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションに関する負の効果等への対応・対策の提案

【目的】

2020年度に引き続き、道の駅等での現地観測から得られる駐車場等の共有空間を対象としたコミュニケーション場面に対する特徴分析と類型化を行いつつ、単路部や交差点ほど通行に関する明確な優先権が存在しない状況下においてより詳細な分析を行う必要のあるコミュニケーション場面を試験走路上で模擬的に再現する。実験車両とeHMIの実験装置に基づいて、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定量的に分析・検討し、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基本的なコミュニケーションに関わる設計要素ならびにeHMIを設計・実装する際の推奨事項等を明らかにする。

【仮説】

eHMIにより、特定の状況下では不安全事象を誘発するが、eHMIの運用方法、路面標示、交通参加者の知識等により改善できる。

【方法】

2020年度に引き続き、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サービスや物流サービス等の自動運転実証実験を対象に、駐車場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やインタラクション等の分析から検討すべき場面を抽出して、その検討対象とな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

に再現する。その仮想空間での道路環境や交通状況を対象に、eHMI を実装した低速走行の移動・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場面を再現し、eHMI の仕様や特徴に対する周囲交通参加者の解釈や認識、行動判断について、また自動運転車や eHMI に関する知識の影響等についても調査する。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実験の結果に基づいて抽出された eHMI の仕様や特徴を 2019 年度、2020 年度に開発の実験車両に設定し、それらを新川崎 K2 タウンキャンパスの構内道路の試験走路を利用した実験により詳細分析する。

【分析評価】

ヘッドマウントディスプレイあるいはドライビングシミュレータの利用による駐車場等の共有空間の実験では、交通参加者の不安全行動として、自動運転車とのニアミスや接触のほか、周囲交通参加者間のニアミスや接触を検討する。周囲への確認行動の有無や回数、行動開始タイミング、eHMI 等の仕様を含めた自動運転車に対する認識や判断、行動等を分析し、試験走路を利用した実験では駐車場等にて eHMI 等を実装した際の低速走行の物流・移動サービスの自動運転車に対する認識や印象等を分析する。これらの分析を通じて、駐車場等の共有空間において自動運転車と周囲交通参加者の間でコミュニケーションが成功する際の諸要因、同様に失敗する場合の諸要因、さらに安全で安心なコミュニケーションの実現に対して、eHMI 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について交通参加者の属性等を考慮して考察し整理する。

vii. 自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案

【目的】

2019 年度ならびに 2020 年度の現地観測、仮想空間や試験走路における実験等での検討結果から得られる自動運転車や eHMI に対する周囲交通参加者の認識や心理面への影響等の特徴、コミュニケーションの成功/失敗の要因等に基づいて、低速走行する移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との安全・安心なコミュニケーションの実現に対して、周囲交通参加者が備えるべき知識、エデュケーションファクター案等を提案する。

【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サービスや物流サービス等の自動運転実証実験を対象に、2020 年度に抽出された eHMI の仕様を自動運転車に実装するとともに、課題 C で得られる歩行者等交通参加者への教育を自動運転実証実験にて実施して、低速走行の移動・物流サ

ービスの自動運転車と eHMI の仕様や特徴に対する周囲交通参加者の解釈や認識、行動判断について調査し、eHMI を含めた自動運転車とのコミュニケーションに対して周囲交通参加者が備えるべき知識、エデュケーションファクター等を検証する。

viii. 論文投稿・掲載を含む研究成果の公表

【目的】

各研究項目について、NEDO 研究にて得られた成果を社会に還元する目的で、論文投稿に取り組む。学術誌等への論文発表、国際会議等を含む学会等への成果発表を行う。2019 年度ならびに 2020 年度、2021 年度の自動運転実証実験での現地観測、仮想空間や試験走路における実験等での検討結果から得られる自動運転車や eHMI に対する周囲交通参加者の認識や心理面への影響等の特徴、コミュニケーションの成功/失敗の要因等に基づいて、低速走行する移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との安全・安心なコミュニケーションの実現に対して、周囲交通参加者が備えるべき知識、エデュケーションファクター案等を提案する。

【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サービスや物流サービス等の自動運転実証実験を対象に、2020 年度、2021 年度に抽出されたコミュニケーションの手続きや eHMI 等のデザインファクター案を反映したコミュニケーション手段を自動運転車に実装し、自動運転実証実験を実施して、低速走行する自動運転車と eHMI の仕様や特徴に対する周囲交通参加者の解釈や認識、行動判断について調査し、実証地域の地域交通の特徴等も踏まえて、eHMI の仕様を含めたコミュニケーションに関するエデュケーションファクター等を検証する。

3.4. 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

3.4.1. はじめに

過年度において「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス」の実証実験にて計測・記録されたドライブレコーダ映像を分析して、低速走行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場面を抽出し、自動運転車と交通参加者との間の非効率なコミュニケーションや不安全的なコミュニケーションの特徴を検討した。その結果、非効率なコミュニケーションや不安全的なコミュニケーションの典型的なユースケースとして、接近・回避ケース（進行中の歩行者や自転車の後方あるいは前方から自動運転車が接近して追いつく場面）、横断ケース（単路や交差点付近を走行する自動運転車の前方を歩行者や自転車が横断する場面）、追越ケース（自動運転車の後方から他車両が接近して追いついてしまい、その他車両が自動運転車を追い越す場面）が抽出され、またそれらのユースケースにおける非効率性と不安全性を改善するためのコミュニケーション方法について机上検討を実施した。

一方、自動運転車と周囲交通参加者の通行区分が不明確であるような共有空間におけるコミュニケーション、特に遊歩道や駐車エリアなどで自動運転車と歩行者のコミュニケーションに関しては実環境を対象にした観測データは少なく、そのようなコミュニケーション場面での特徴を十分に抽出できていない。また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を明確にする上で、一般的な手動運転車（普通自動車）と周囲交通参加者とのコミュニケーションと比較する必要があるが、低速走行の自動運転車に搭載のドライブレコーダではそのようなコミュニケーション場面を観測することはできず、定点観測などを実施する必要がある。

そこで本研究では、共有空間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の特徴を抽出するために、広域な敷地（アミューズメントエリア）を有する宿泊施設の協力のもと、自動運転車と周囲交通参加者の共有空間をそのエリアに設定し、自動運転車に装備したドライブレコーダを利用して周囲交通参加者とのコミュニケーション場面を観測・記録した。また道の駅等のエリアで観測されたコミュニケーションのユースケースと比較することを目的として、国土交通省道路局の協力・連携のもと、道の駅 赤来高原にて定点観測を実施して手動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション観測を実施した。

3.4.2. 宿泊施設敷地内での実証実験およびドライブレコーダ映像の分析

3.4.2.1. 背景と目的

実道環境における共有空間を対象にした低速走行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で失敗が観測される場面や要因について、特に低速走行の自動運転車と歩行者が混在する共有空間、道路環境での不安全や非効率なコミュニケーション場面を抽出し、不安全や非効率が生じる要因の考察と不安全や非効率を解消する施策を検討することを目的とする。なお本研究は慶應義塾大学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。

3.4.2.2. 実証実験の対象地

静岡県御殿場市にある御殿場高原時之栖の協力のもと、時之栖園内の道路ならびに遊歩道を対象に実証実験を実施した。御殿場高原時之栖は、宿泊施設、レジャー施設、運動施設、飲食店等が立地し、地域内外から観光客が多く訪れる。図 3-2 に示されるように、敷地内の道路は歩行者と車両が混合する共有空間となっていた。敷地内の主要な店舗や施設の付近に実験車両が停止するように制御をおこなった。実施期間は 8 月 21 日から 28 日の 8 日間であった。



図 3-2 御殿場高原時之栖の園内マップ [12]

3.4.2.3. 実証実験で運用した自動運転車両

本実証実験において運用した自動運転車両は、図 3-3 に示されるヤマハ発動機製ゴルフカートであり、慶應義塾大学が所有する実験車両であった。この実験車両は乗車定員 6 人の車両であり、道路上に敷設した電磁誘導線からの磁力を感知して既定ルートを自動運転するものであった。自動運転時の最高速度は 12km/h 程度であったが、歩行者との共有空間を走行することから、ヤマハ発動機関係者の助言に基づいて、自動運転時の最高速度を 6km/h に設定した。なお、手動運転時の最高速度は 20 km/h であった。



図 3-3 自動運転車両（ゴルフカート、国土交通省の資料[5]より引用）

3.4.2.4. ドライブレコーダによる撮影対象およびカメラ設置位置

ドライブレコーダのカメラを、車両前方付近の周囲交通参加者の状況記録用、eHMI 点灯/消灯確認記録用、車内状況確認記録用、車両後方付近の周囲交通参加者の状況記録用に設定し、フロントスクリーンに 2 台、後方荷室ルーフ部に 2 台、それぞれ設置した。

3.4.2.5. ドライブレコーダの映像データの分析項目

過年度と同様に、映像データの分析項目として、歩行者や自動車などのコミュニケーション対象者の種別、単路部や交差点などの道路環境の種類・形状、接近・回避ケース、横断ケース、追越しケースなどコミュニケーションの種類等を設定した。

3.4.2.6. 観測結果

(1) コミュニケーション対象者の種別ならびにコミュニケーション観測件数

実証実験において観測された自動運転車とのコミュニケーション対象者の種別について整理した結果を図 3-4 に示す。施設内の道路や遊歩道等を対象に走行していることからコミュニケーション対象者として歩行者がもっとも多

く観測されており、次いで自動車が多く観測される結果となった。コミュニケーション対象者として自転車やオートバイの観測数は少なく、アミューズメントエリアであることからセグウェイなどのモビリティも観測された。

これらのうち、コミュニケーション対象者を歩行者と自動車に限定し、コミュニケーションが発生した道路環境の種類について整理した結果を図 3-5 に示す。歩行者については、全体として、単路部や共有空間（シェアードスペース）において多くのコミュニケーションが観測されており、その種類としては接近・回避ケースや横断ケースが多く観測された。交差点においては、横断ケースが多く観測された。一方、自動車については、歩行者とのコミュニケーションと比較して、観測数が少ないが、交差点におけるコミュニケーション観測数が単路部の場合よりもやや多く、交差点では横断ケース、単路部や共有空間では接近・回避ケースがそれぞれ多く観測された。

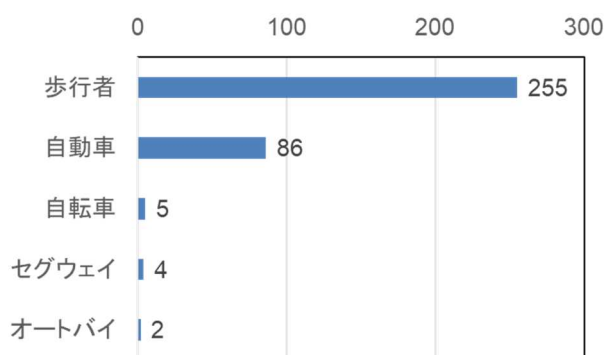


図 3-4 コミュニケーション対象者の種別とコミュニケーション観測件数

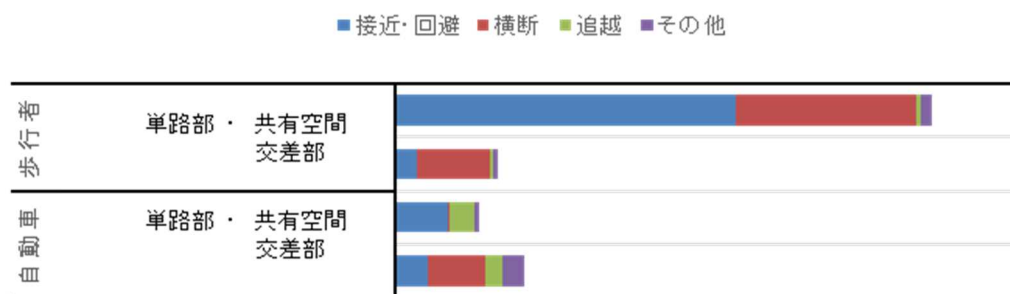


図 3-5 歩行者や自動車を対象にしたコミュニケーション観測数と分類

3.4.2.7. 観測されたコミュニケーションの特徴

(1) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例（スマートフォン利用しながら歩行）

低速走行の自動運転車特有の歩行者とのコミュニケーション失敗の事例の一つは、単路部や部、共有空間において、スマートフォン利用しながら歩行している、いわゆる「歩きスマホ」の状態であり、図 3-6 や図 3-7 に示されるように、周囲への注意があまり向けられていない歩行者に自動運転車が接近する場面が該当した（観測件数 7 件）。コミュニケーション失敗の原因としては、歩きスマホの状態による歩行者の周囲状況への注意不足がまず挙げられるが、その一方で低速走行の自動運転車の走行音は小さく、自動運転車の存在に急に気づくこと、電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと（自動運転のまま回避できないこと）などが歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。



図 3-6 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例（遊歩道）

（スマートフォンを利用しながら歩行しているため、そもそも歩行者が周囲状況に注意を払っていない状況であることに起因しているが、前方から接近する自動運転車に気づかず、自動運転車も自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている）



図 3-7 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例
(遊歩道)

(スマートフォンを利用しながら歩行しているため、そもそも歩行者が周囲状況に注意を払っていない状況であることに起因しているが、後方から接近する自動運転車に気づかず、自動運転車も自動運転で回避することができず、歩行者との距離によって緊急停止することになり、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)

(2) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例 (高齢者)

図 3-8 や図 3-9 に示されるように、単路部や交差部、共有空間において、若年者と比較して周囲に向けられる注意が低いあるいは周囲状況に気づきにくいと考えられる高齢者などの歩行者に接近する場面が観測された (観測件数 3 件)。コミュニケーション失敗の原因としては、歩行中のスマートフォン利用などはないものの、低速走行の自動運転車の存在に急に気づくこと、電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと (自動運転のまま回避できないこと) などが歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。



図 3-8 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例
(単路部)

(高齢の歩行者の後方から自動運転車が接近しているが、歩行者は後方から接近する自動運転車に気づかず、自動運転車も自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)



図 3-9 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例
(交差点付近)

(電磁誘導線上の走行軌道に従って自動運転で交差点を右折する自動運転車に対して、高齢の歩行者が前方から歩行速度を緩めることなく接近しており、歩行者は接近する自動運転車が歩行者を避けて走行することを期待して

いる模様であるが、自動運転車は電磁誘導線上から外れて自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)

(3) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例（幼児を伴う歩行者）

図 3-10 や図 3-11 に示されるように、単路部や交差部、共有空間において、自動運転車が幼児を伴う歩行者に接近する場面が観測された(観測件数3件)。コミュニケーション失敗の原因としては、低速走行の自動運転車の存在に気づいているが、電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと(自動運転のまま回避できないこと)などを理解していないためか、電磁誘導線上およびその付近からすぐに回避するに至らず、歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。



図 3-10 低速走行の自動運転車と幼児を伴う歩行者とのコミュニケーション失敗の事例（遊歩道）

幼児を伴う歩行者が後方から接近する自動運転車の存在を認識しているが、電磁誘導線上およびその付近から回避しようとせず、非効率、不安全なコミュニケーションに至っている。

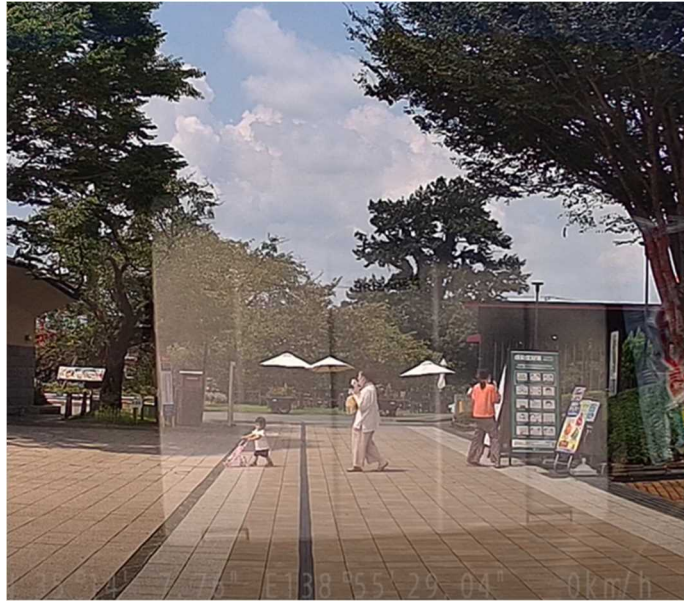


図 3-11 低速走行の自動運転車と幼児を伴う歩行者とのコミュニケーション失敗の事例（共有空間）

（幼児を伴う歩行者が側方から接近する自動運転車の存在を認識しているが、電磁誘導線上およびその付近からすぐに回避しようとせず、非効率、不安全なコミュニケーションに至っている）

（4）歩行者とのコミュニケーションの失敗事例（交差点付近）

図 3-12 や図 3-13 に示されるように、交差点付近における自動運転車が自動運転で右折・左折する際に歩行者に接近する場面が観測された（観測件数 3 件）。コミュニケーション失敗の原因としては、低速走行の自動運転車の進路、走行軌道を予想できず、また電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと（自動運転のまま歩行者を避けて走行できないこと）などを理解していないためか、電磁誘導線上およびその付近からすぐに回避するに至らず、また自動運転車からの意図伝達・意図表明がないことから、歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。

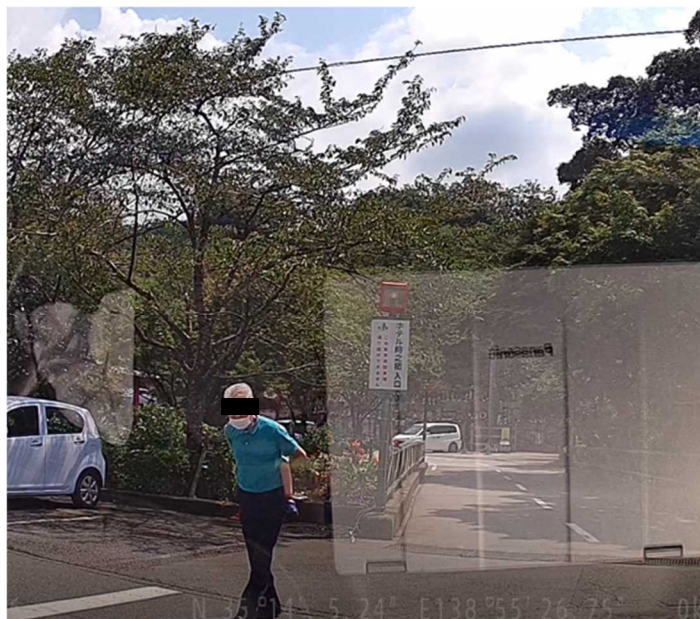


図 3-12 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例
(交差点にて左折)

(電磁誘導線上の走行軌道に従って自動運転で交差点を左折しようとする自動運転車に対して、歩行者が前方から歩行速度を緩めることなく接近したため、手動介入して自動運転車を停止。自動運転車は電磁誘導線上から外れて自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)



図 3-13 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例
(交差点にて右折)

(電磁誘導線上の走行軌道に従って自動運転で交差点を右折しようとする自動運転車に対して、歩行者2名が前方から歩行速度を緩めることなく接近したため、手動介入して自動運転車を停止。自動運転車は電磁誘導線上から外れて自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)

(4) その他の歩行者とのコミュニケーションの失敗事例

既に記述したコミュニケーションの失敗事例のほかに、道の駅等の実証実験で観測された不安全、非効率なコミュニケーションの事例として、次のような交通場面が観測された。

- 単路部や交差点において自動運転車が歩行者や自転車、自動車と対面し、自動運転車の前方を横断しようとしているが、アイコンタクトやパッシング等の手掛かりがないことによって不安全や非効率なコミュニケーションとなっている場面
- 単路部において自動車が自動運転車を追い越そうとしているとき、追い越してよいのかどうか判断できず、非効率なコミュニケーションとなっている場面

3.4.2.8. 低速走行の自動運転車との不安全や非効率なコミュニケーションを低減・抑制するための対応

本実証実験にて観測された低速走行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の特徴に基づき、また過年度に実施した低速走行の自動運転車と周囲交通参加者との不安全、非効率なコミュニケーションを低減・抑制するための検討結果なども踏まえ、次のような対応案が考えられる。

- 低速走行・電気自動車であることによる静粛性や電磁誘導線上のみの自動運転などの走行軌道の制約(迂回できない)などから、自動運転車の接近や存在に気づきにくいことから音信号や音声など聴覚インタフェースによる歩行者への接近・注意喚起などを行うことで不安全、非効率なコミュニケーションを低減・抑制できることが考えられる。
- 従来の手動運転車のようなドライバーによるアイコンタクトやパッシングライト等による意図伝達の手掛かりを提供できるよう、自動運転車においても意図伝達の手掛かりを提供できる装備、eHMIを装備・運用する

ことによって不安全、非効率なコミュニケーションを低減・抑制できることが考えられる。

これらを踏まえた上で、本実証実験にて観測された低速走行の自動運転車と周囲交通参加者との不安全、非効率なコミュニケーションの特徴とその対応策を表 3-1 に示す。コミュニケーションについては交通場面、観測件数、不安全性、非効率性などの項目、要因については自動運転車両、車両の特徴・機能制約、交通参加者、人的要因、道路形状などの項目、対応策については机上による検討結果であり、車両挙動制御、eHMI、インフラ、知識・教育などの項目について整理している。

表 3-1 低速走行の自動運転車と周囲交通参加者との不安全・非効率なコミュニケーションの特徴とその対応策

コミュニケーション				要因				対応策					
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
歩行者が自動運転車の前を横断する場面	5	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型 / バス型	低速走行 / 既定の加速 / 既定の軌道 / アイコンタクトやジャスチャーがない	歩行者	自動運転車の意図がわからず停止する / 自動運転車が止まると過信し横断する	単路 / 交差点 / 駐車場	停止位置を通者から離し、意図を明確にする	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することや、周辺環境を検知する方法に関する知識を提供する	—
自動二輪車が自動運転車前を横断する場面	2	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型 / バス型	低速走行 / 既定の加速 / 既定の軌道 / アイコンタクトやジャスチャーがない	自動二輪車	自動運転車の意図がわからず停止する / 自動運転車が止まると過信し横断する	単路 / 交差点 / 駐車場	停止位置を通者から離し、意図を明確にする	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することや、周辺環境を検知する方法に関する知識を提供する	—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動車が自動運転車の前を横断する場面	62	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型 / バス型	低速走行 / 既定の加速 / 既定の軌道 / アイコンタクトやジェスチャーがない	自動運転車	自動運転車の意図がわからず停止する / 自動運転車が止まると過信し横断する	単路 / 交差点 / 駐車場	停止位置を交差点から離し、意図を明確にする	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することや、周辺環境を検知する方法に関する知識を提供する	—
自動運転車が後から歩者に追いつく場面	3	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型	既定の軌道 / アイコンタクトやジェスチャーがない	歩行者	自動運転車の軌道がわからず迂回できると思いついてから、交通参加者は軌道上で停止もしくは移動している	狭い単路 / 駐車場	参加者に近づかず、内側を歩行者に譲ることを認識してもらう	eHMIによって退避してほしい意図を示す	路面上に自動運転車の軌道を明示する	自動運転車は軌道上のみを走行することに関する知識を提供する	—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動運転車が後から自転車に追いつく場面	2	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	交通参加者が後方の自動運転車に気づかずにいる時間が長ければ、自動運転車が追いつき越すことができないため、非効率性がある	ゴルフカート型	既定の軌道/アイコンタクトやジェスチャーがない	歩行者	自動運転車の軌道がわからない、もしくは迂回できないかと思いついて入ることから、交通参加者は軌道上で移動している	単路	参加者少近づき軌道に内まいてを認識し、道留てをう	eHMIによって退避してほしい意図を示す	路面上に自動運転車の軌道を明示する	自動運転車は軌道上のみを走行することに関する知識を提供する	—
自動運転車と自動車狭路ですれ違う場面	38	—	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	主にゴルフカート型	アイコンタクトやジェスチャーがない	自動車	自動運転車の意図がわからず停止する/自動運転車が止まると過信し直進する	狭い単路	—	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することに関する知識を提供する	—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動二輪車が自動運転車を追い越す場面	2	自動二輪車が自動運転車を追い越した後、対向車が接近していた場合は、衝突する不安全性がある	—	主にゴルフカート型	低速走行/既定の軌道（路肩沿いで走行）/小さい車体	自動二輪車	走行速度が遅く、面倒でイライラする/低速で左側に寄っていることから追い越しを促されるように勘違いする/自動運転車の停止や左折時の左ウインカーによって追い越しを促されるように勘違いする	単路/交差点	—	eHMIによってウインカーをいらずに止譲やりの意を明示			—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動車が自動運転車を追越す場面	16	自動車が自動運転車を追越した後、対向車が接近していた場合は、衝突する不安全性がある	—	主にゴルフカート型	低速走行/既定の軌道(路肩沿いで走行)/小さい車体	自動車	走行速度が遅く、面倒でイライラする/低速で左側に寄っていることから追いつきを促されるように勘違いする/自動運転車の停止や左折時の左ウインカーによって追いつきを促されるように勘違いする	単路/交差点	—	eHMIによってウインカーをいらずに停止や譲りの意図を示す		自動運転車の左ウインカーは、主に停止や左折の意図で用いられることに関する知識を提供する	—

3.4.3. 自動運転車および手動自動車と周囲交通参加者とのインタラクションの現状

3.4.3.1. 観測方法・分析方法

道の駅 赤来高原（島根県飯石郡飯南町下赤名）において国土交通省が実施している「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス」の協力・連携のもと、実証実験において自動運転車（ヤマハ発動機製ゴルフカート）の運行ルートの一部を対象に定点観測を実施した（2020年9月～10月）。定点観測により取得した16日分の映像データを用いて、自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション場面ならびに一般の手動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション場面を抽出・分析した。図3-14および図3-15に示されるように、定点観測は自動運転車が運行する道の駅付近の駐車場及び交差点を上方から俯瞰的に撮影できるようにして映像データを取得した。自動運転車と周囲交通参加者とのインタラクションの観測件数については83件、一般の手動自動車と周囲交通参加者とのインタラクションの観測件数は100件（駐車場と交差点それぞれ無作為に50件ずつ抽出）を対象に比較し、自動運転車と従来の手動自動車との比較によるインタラクションの特徴、違いなどを分析した。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。



図 3-14 駐車場付近の映像データの例



図 3-15 交差点付近の映像データの例

3.4.3.2. 分析項目

映像データに基づいて自動運転車もしくは手動運転車と周囲交通参加者とのインタラクション場面から抽出する項目を表 3-2 に示す。インタラクション場面において抽出する項目は、インタラクション対象者（相手）、インタラクションの種類、インタラクション失敗の有無・種類とした。またインタラクションの種類については、図 3-16 に示されるように、過年度の検討において抽出された典型的なユースケース、接近・回避ケース（すれ違い）、横断ケース、追越ケースの 3 種類とした。

表 3-2 周囲交通参加者とのインタラクション場面での抽出項目

Columns	Detail
インタラクション相手	①歩行者, ②自転車, ③オートバイ, ④自動車
インタラクションの種類	①すれちがい（接近、回避等）, ②横断, ③追い越し
インタラクションの失敗の有無	①あり（危険性のある場面）, ②あり（非効率性のある場面）, ③なし

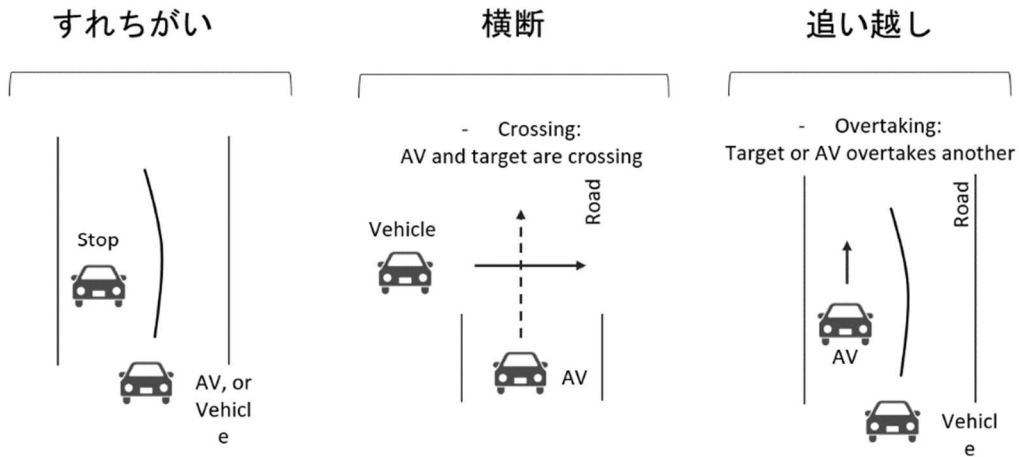


図 3-16 コミュニケーションの種類

3.4.3.3. 観測結果

(1) インタラクション対象者の種別

自動運転車との間に観測されたインタラクション対象者ならびに手動運転車（従来の自動車）との間に観測されたインタラクション対象者の結果を駐車場と交差点に分類・整理した。その結果を図 3-17 および図 3-18 にそれぞれ示す。駐車場、交差点ともに道の駅 赤来高原への来訪者数に依存するため、自動運転車、手動運転車の間にインタラクション対象者の種別による違いは観測されなかった。

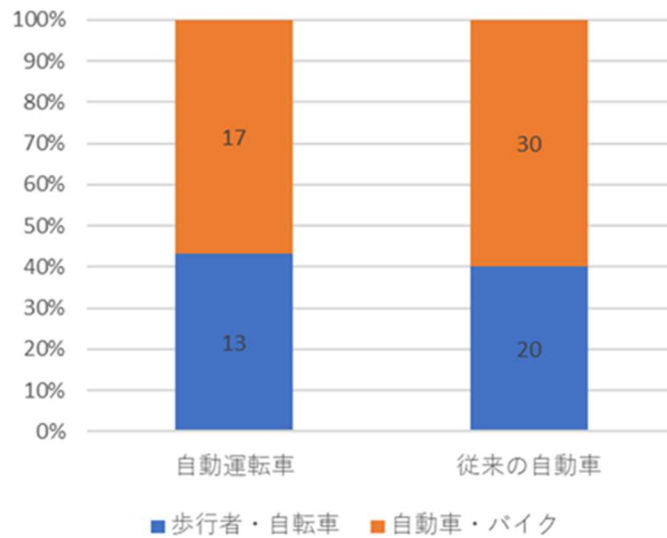


図 3-17 駐車場

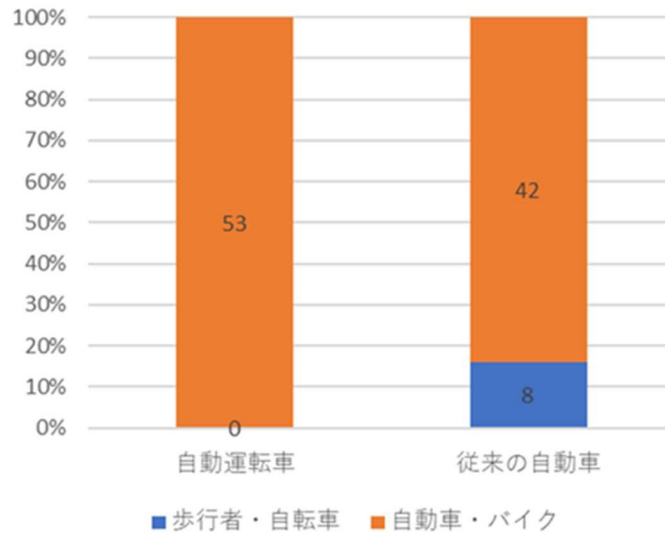


図 3-18 交差点

(2) インタラクション種別と観測件数

自動運転車との間に観測されたインタラクション種別ならびに手動運転車（従来の自動車）との間に観測されたインタラクション種別の結果を駐車場と交差点に分類・整理した。その結果を図 3-19 および図 3-20 にそれぞれ示す。自動運転車については、積極的に周囲交通参加者の付近を通行しないよう運行されているため、駐車場を対象に手動運転車（従来の自動車）と比較すると、接近・回避ケース（すれ違い）の観測件数が少ない結果となった。交差点付近についてはどちらも少ない観測となった。

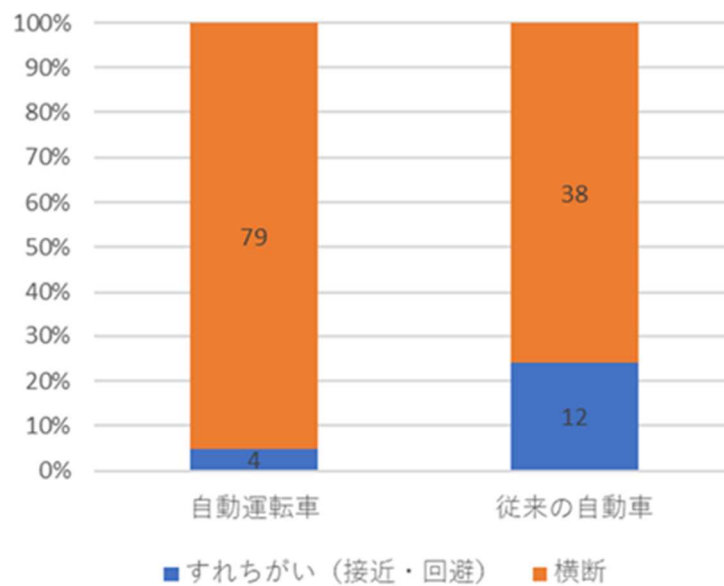


図 3-19 駐車場

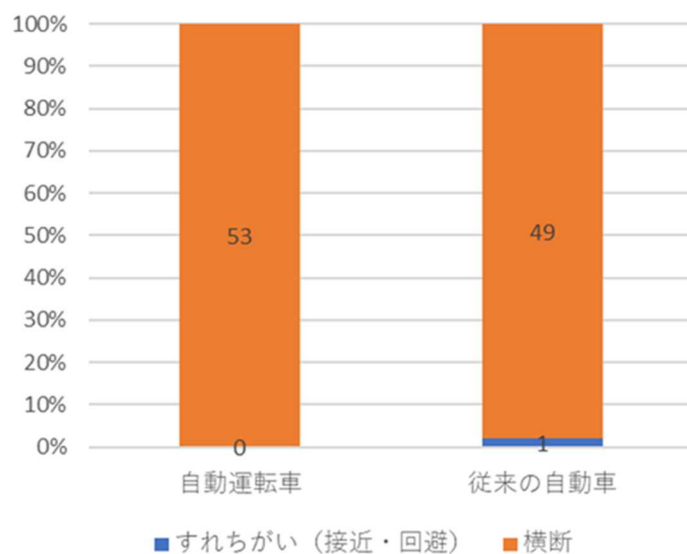


図 3-20 交差点

(3) インタラクション失敗の観測件数および特徴

自動運転車との間に観測されたインタラクションの失敗ならびに手動運転車（従来自動車）との間に観測されたインタラクションの失敗の結果を駐車場と交差点に分類・整理した。その結果を図 3-21 および図 3-22 にそれぞれ示す。自動運転車の場合と手動運転車（従来自動車）の場合を比較したところ、若干、駐車場における自動運転車の場合でやや観測件数が多い結果となったが、基本的には駐車場、交差点ともにインタラクションの失敗は少数に留まった。

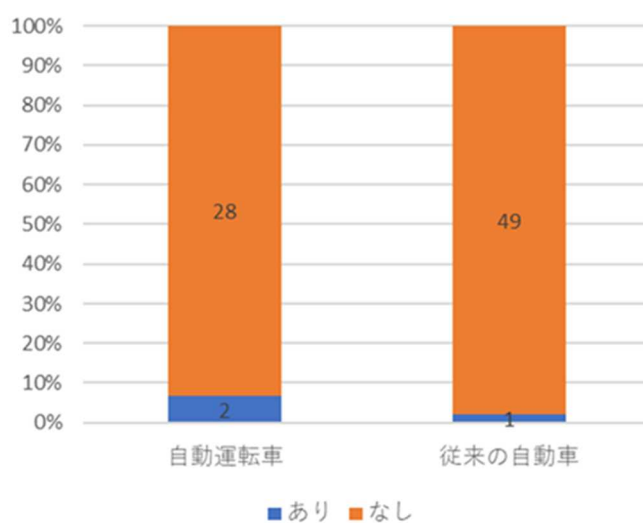


図 3-21 駐車場

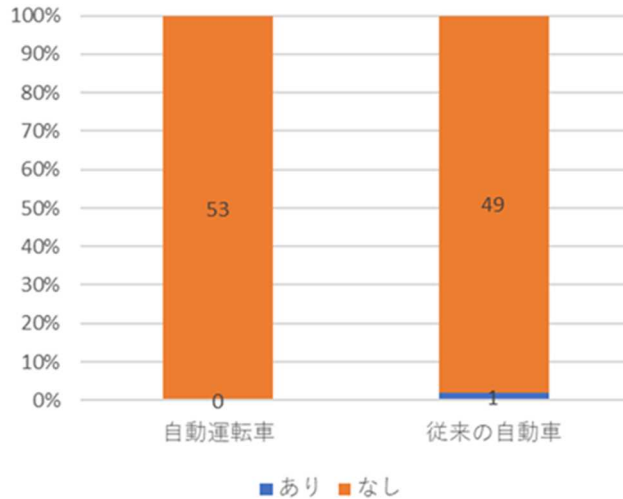


図 3-22 交差点

これらインタラクションの失敗について分析したところ、次のような特徴が抽出された。駐車場における自動運転車と他車両とのコミュニケーション失敗の交通場面の観測例を図 3-23 に示す。この観測事例では、自動運転車が駐車場内の電磁誘導線上を運行している際に、駐車場入口から一般車両の進入が見られたため、優先側の自動運転車が一般車両に進路を譲るために停止したが、その意図を一般車両側が認識できず、お互いに見合った状況に至っている。同様に、駐車場における自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の交通場面の観測例を図 3-24 に示す。この観測事例では、歩行者が駐車場内の電磁誘導線が敷設された区間に沿って道の駅の建物に向かって歩行している際に、後方から自動運転車が電磁誘導線上を自動運転で走行、歩行者の後方から接近して停止に至っている。歩行者は後方からの自動運転車の接近に気づかず、手動介入して自動運転車を電磁誘導線上から外れて回避しなければならない状況に至っている。

一方、比較のために、交差点部において手動運転車同士のインタラクション失敗の交通場面の観測例を図 3-25 に示す。この交通場面では、優先側の車両が減速したため、非優先側の車両が進路を譲ってくれたと認識して停止状態から発進したが、優先側の車両は譲る意図は無かったようで、そのまま直進通過している。つまり、手動運転車同士の場合は、交通場面によって優先が自車にあるのか相手にあるのかをドライバーが判断・行動しており、常に相手に優先権があるという前提で運行している自動運転車の場合とは異なっている。

上記に見られるように、自動運転車は電磁誘導線上の走行軌道のみを自動運転し、走行軌道を外れて自動運転できないといった制約に依存したインタラクション失敗や、低速走行することを考慮してインタラクション対象者に積極的

に譲ろうとするが、その意図が十分に伝わらないことによるインタラクション失敗が発生している。これらの交通場面に対して、自動運転車からの意図の伝達が適切に実施されれば、インタラクション失敗は生じず、不安全、非効率なコミュニケーションの低減・抑制による安全性、効率性の向上を図れるものと考えられる。

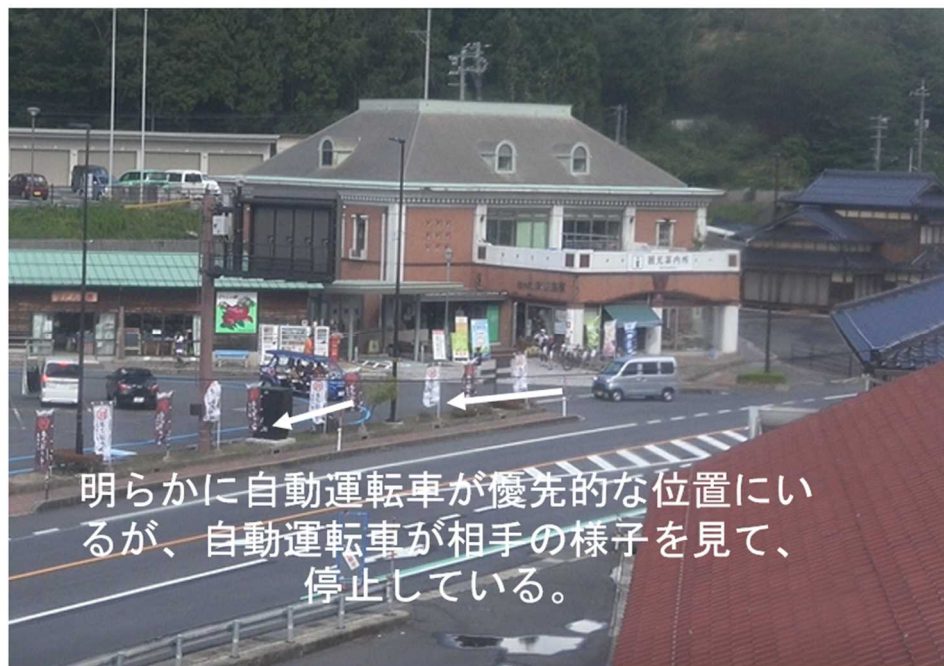


図 3-23 自動運転車が他車両に譲ろうとしてお見合いする場面



図 3-24 歩行者の後方から自動運転車が追い越す場面

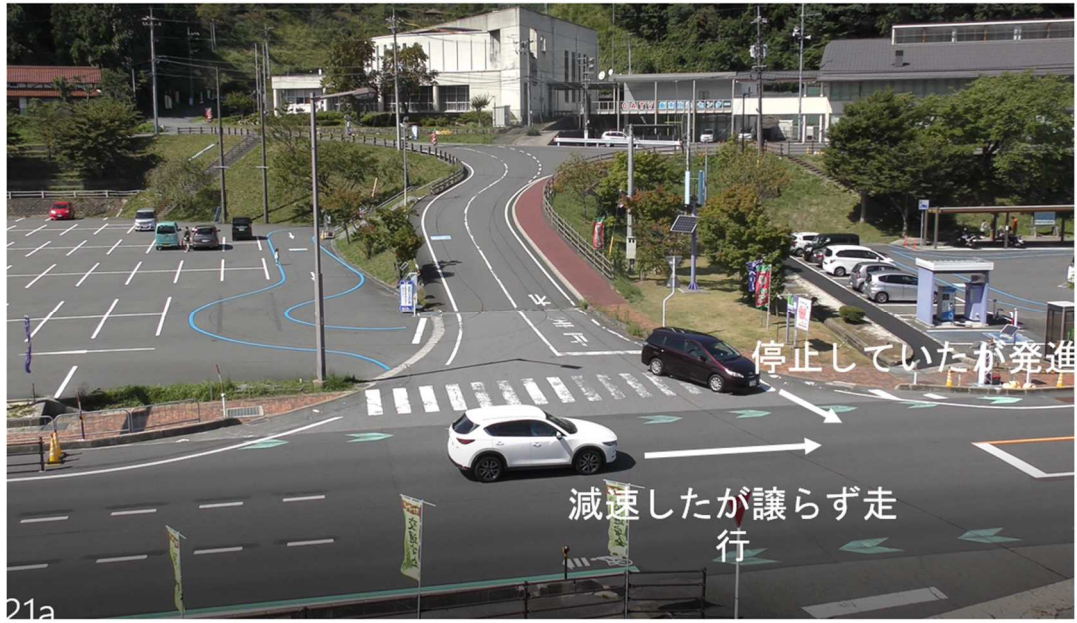


図 3-25 手動自動車同士のインタラクション失敗の例（お見合い）

3.4.4. 本節のまとめ

本節では、道の駅自動運転実証実験で観測された映像データに基づいて、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おける不安全や非効率なケースについて抽出・検討した。不安全や非効率なケースを検討した結果、低速自動運転車特有の不安全や非効率を引き起こす要因として以下の特徴が得られた（表 3-1 参照）。

不安全を回避するため、自動運転車は相手の行動を優先することが多く、他の交通参加者とお見合いする場面が増加する。

自動運転車の外観が交通参加者にとって珍しく、また自動運転技術に対する交通参加者の信頼が低いためか、交通参加者は自動運転車の行動を優先させようとし、その結果、自動運転車とお見合い場面を誘発させている。

自動運転車は、アイコンタクトやジェスチャーがないことによって、交差点や道路上、駐車場で交通参加者とお見合いする場面で、交通参加者が自動運転車の意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしている。

自動運転車は、低速であることや加減速が柔軟でないことから、交差点や道路上、駐車場で交通参加者とお見合いする場面で、交通参加者が自動運転車の車両挙動から意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしている。自動運転車が軌道上のみしか走れないことを交通参加者が理解していないことによって、歩行者や自転車に自動運転車が後方から追いつく場面で、歩行者や自転車が十分に自動運転車の走行範囲から離れることができず、交通の不安全や非効率を引き起こしている。

自動運転車が低速かつ道路左側に寄っていることから、後続の車両（自動車や自動二輪車）が追い越しを促されているように誤解したり、低速な走行によって焦ることで、後続の車両の追い越しを誘発したり、見通しの悪い道路で対向車が接近している場合、追い越す車両と対向車が接触したりするような交通の不安全を引き起こしている。

低速自動運転車特有の不安全や非効率なケースを低減するための対応案を机上検討したところ、以下の結果が得られた（表 3-1 参照）。

アイコンタクトやジェスチャーがないことによって、引き起こされる不安全や非効率は、eHMIによって解消することが考えられる。

低速や加減速が明確でないことによって、引き起こされる不安全や非効率は、車両挙動の改善によって解消することが考えられる。

自動運転車が軌道上のみしか走れないことを交通参加者が理解していないことや、自動運転の技術に対する信頼がないことによって、引き起こされる不安全や非効率は、自動運転車に関する知識を提供する教育によって解消することが考えられる。

自動運転車の後続の自動車の追い越しについては、安全なタイミングで追い越しができることを後続の自動車に知らせる eHMI や、一定距離ごとに自動運転車が路肩に停止し、後続の自動車が追い越しできるような道路の整備によって解消することが考えられる。

3.5. 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

3.5.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車とのコミュニケーションの負の 影響の低減・抑制に関する検討

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、eHMI を介して意図や状態を発信する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、eHMI に対する歩行者の過度な依存による確認行動を怠る傾向を改善する対策を提案する。eHMI のメッセージのテキスト消灯型による交通参加者の自動運転車に対する解釈や意思決定、安心等の心的影響等を明らかにする。またこれらの運用方法による効果を明らかにすることから、安全・安心なコミュニケーションと交通参加者が自動運転車に関して備えるべき知識について検討することを目的とする。

SIP 第 1 期では、eHMI による自動運転車からの譲り認識表明時における負の影響を分析するために、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、年齢や運転免許などの人口統計的要因を含めて VR 環境を利用した実験を実施した。この実験から、歩行者は、eHMI を介した自動運転車とのコミュニケーションを繰り返すことで、自動運転車における過度な期待感を持ち、周囲環境の確認を疎かにする傾向が見られた。このような負の影響を改善するため、自動運転車両のセンサーが検知できない交通場面があると想定し、eHMI のテキストメッセージを消灯する方法を VR 環境で実装した。2020 年度 3 月から実施した実験では、テキストを消灯することで歩行者の注意喚起を狙い、負の影響の改善効果を調べた。しかし、コロナ禍により、負の影響の存在と改善における十分な知見を得るには実験被験者(以下、被験者)数が不十分であったことから、有意な統計分析結果を得るための参加者数の増加が必要となった。

このことから、本実験は、性別と年齢を考慮して参加者を実験に参加させ、eHMI を介したコミュニケーションによる負の影響の改善手法の効果を検証することとした。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、被験者が 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。横断する際の

衝突リスク、視認行動等を評価するために被験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 3-26 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 3-26 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 3-27 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 3-27 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 3-28 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 3-28 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 K2 キャンパス K 棟 104 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 3-29 に示す。被験者は、図 3-29 の赤丸の位置に立って頂き、VR-HMD を被り、コントローラを用いて実験に参加した。



図 3-29 実験環境における機器配置

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 環境内の道路環境

本実験では、被験者の右側から接近してくる自動運転車が存在する交通場面を対象にして、被験者に横断判断、横断行動を行わせた。実験場面の概要的な構成を図 3-30 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車両挙動や eHMI 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 eHMI 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①（図 3-31 参照）を設定した。さらに交通場面①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 eHMI 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②を設定した（図 3-32 参照）。

- 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脇にて認識・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止の大型トラックが存在

図 3-30 実験場面の構成

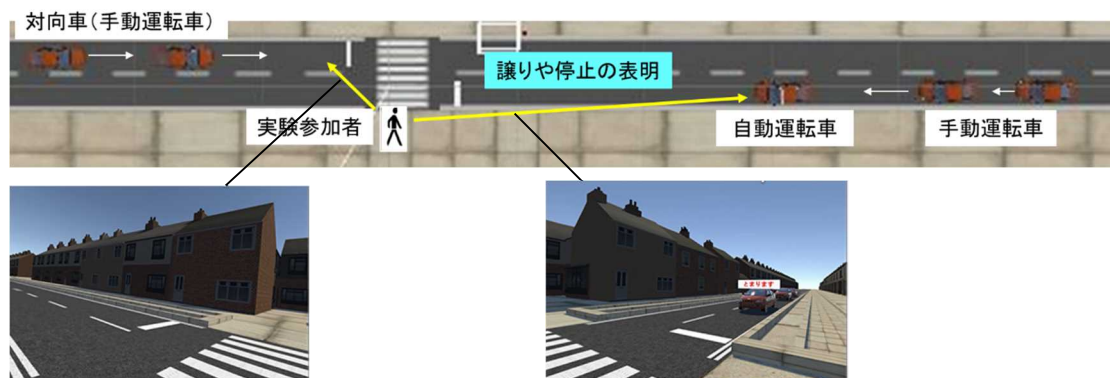


図 3-31 交通場面①に対する道路環境と映像例

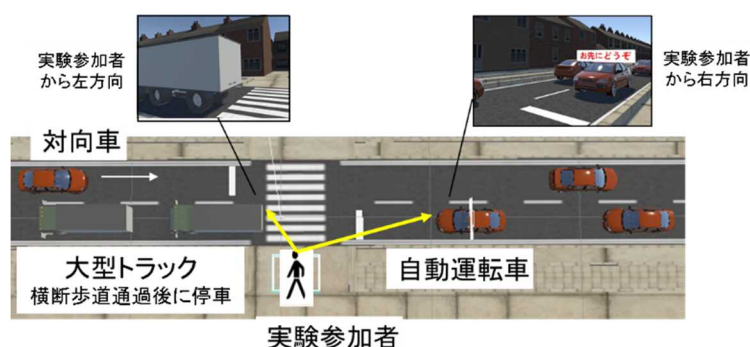


図 3-32 交通場面②に対する道路環境と映像例

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。交通場面①と交通場面②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被験者に課した。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、被験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、二つの交通場面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、事前に計測した被験者の歩行速度を設定した。被験者が横断開始や横断中の前進・後退を行えるよう、図 3-33 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、被験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被験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、被験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。被験者は、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、被験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。被験者が道路を横断すると、アンケート画面に遷移し、被験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、全ての交通場面を実施した。



図 3-33 横断行動に関する被験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 eHMI のメッセージおよび改善方法を設定した。詳細を下記に説明する。

(1) eHMI テキスト

eHMI 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 eHMI 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、eHMI 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 eHMI の意図伝達のコンテンツを図 3-34 に示す。



(a)お先にどうぞ

(b)とまります

図 3-34 自動運転車の eHMI のコンテンツ

eHMI 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くる上流約 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 eHMI 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、eHMI を実装しない自動運転車も設定した。eHMI を実装しない自動運転車を図 3-35 に示す。eHMI を実装しない自動運転車は、eHMI 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 3-35 eHMI を実装しない自動運転車

(2) 周囲交通の状況

被験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①については表 3-3、交通場面②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 3-3 交通場面①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 交通場面②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 (被験者が横断歩道中央付近に到達時)

(3) 改善方法

交通場面①で eHMI を用いた自動運転者と持続的にコミュニケーションを行うことによって、eHMI に対する歩行者の過度の依存による確認行動を怠る可能性がある。eHMI を用い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における負の影響の発生を改善するために、本実験では eHMI のテキストの消灯を利用することとした。図 3-36 の「テキスト消灯時」は、交差点場面②を対象とし、eHMI のテキストを消灯する改善方法を実装した際の自動運転車を示す。交通場面②では、歩行者が歩行を開始してから対向車線の手動運転車が動き始めるように設定している。そこで、右側から接近してくる自動運転車が停止した時点でも、歩行者が横断を開始しない限り自動運転車のセンサーは対向車線の手動運転車を検知できない。このことから、自動運転車の前方に停止されている大型トラックを検知し、自動運転車の速度が 2km/h 以下になった時点で eHMI のテキストが消灯されるように設定した。交通場面②において、eHMI のテキストが消灯されることを確認できなかった参加者が生じないように、周囲の交通状況に注意を向けながら横断するように指示した。

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。



図 3-36 負の影響の改善方法実装時の eHMI の状態

(4) 各実験場面における実験条件

上記で説明した eHMI のメッセージ、改善方法の組合せに基づいて、また実験場面に対する実験条件を表 3-5 に示す。全ての被験者には実験条件 1 から 10 まではランダムに経験し、最後に実験条件 11 を経験した。

表 3-5 交通場面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	eHMI メッセージ	改善方法	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	ダミー
2	早期減速 25→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
3	通過 25→25km/h	(表示せず)	—	通過	ダミー
4	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
5	早期減速 15→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
6	通過 15→15km/h	(表示せず)	—	通過	ダミー
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
11	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	テキスト消灯型	通過	分析対象

3.5.1.8. 計測項目

本実験では、負の影響の改善方法を評価するために、実験場面②に含まれる下記の項目について計測した。

(1) 自動運転車や他車両への視認行動・停止・接触の有無

被験者が横断を開始した後、周囲交通環境への確認や、それに伴う停止行動、また、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。

(2) 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、(a)自動運転車からの譲り意図の認識の程度、(b)自動運転車通過前横断時の安心感、(c)自動運転車停車に対する横断速度への気遣い、(d)自動運転車に対する信頼感について、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②の実験条件については、対向直進車に対する被験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. 被験者

被験者は、年齢属性に基づいて、非高齢者（運転免許所有者）が本実験に参加した。被験者の年齢や性別は表 3-6 に示される通りである。各テキストメッセージにおいて、男女 40 名が参加した。

表 3-6 「テキスト消灯型」条件の被験者の年齢構成等の詳細

テキストメッセージ	性別	年齢	人数
お先にどうぞ	男性	20-58 歳、平均 36.3 歳	10
	女性	24-59 歳、平均 40 歳	10
とまります	男性	21-56 歳、平均 35.9 歳	10
	女性	20-54 歳、平均 41.2 歳	10

3.5.1.10. 実験装置

実験開始前に被験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に指示した。その後、被験者の両眼視力と歩行速度を計測した。次に被験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よう指示した。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、被験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、被験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、被験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、被験者に対して、被験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、被験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 eHMI の状態を見て（eHMI 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。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①で設定した 10 種類の実験条件の体験順序は被験者ごとにランダムに設定・実施した。実験場面①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②を実施した。

交通場面②は、交通場面①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①の一連の実験条件のような形態で実施した。交通場面②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被験者に適宜確認した。実験場面①と②で設定した11つの実験条件の体験順序は被験者ごとにランダムに設定・実施した。その後、実験場面①と実験場面②が終了した後に被験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eHMIなどを含めたコミュニケーションに対して被験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

本実験では、交通場面②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。また被験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②（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②では、交通場面①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被験者の判断や行動の特徴を分析する。図 3-37 は、被験者の確認行動を左右確認、一旦停止、ニアミスや接触の有無の割合を示す。ここでは、負の影響の改善方法の効果を調べるため、過去の実験の結果も含めている。

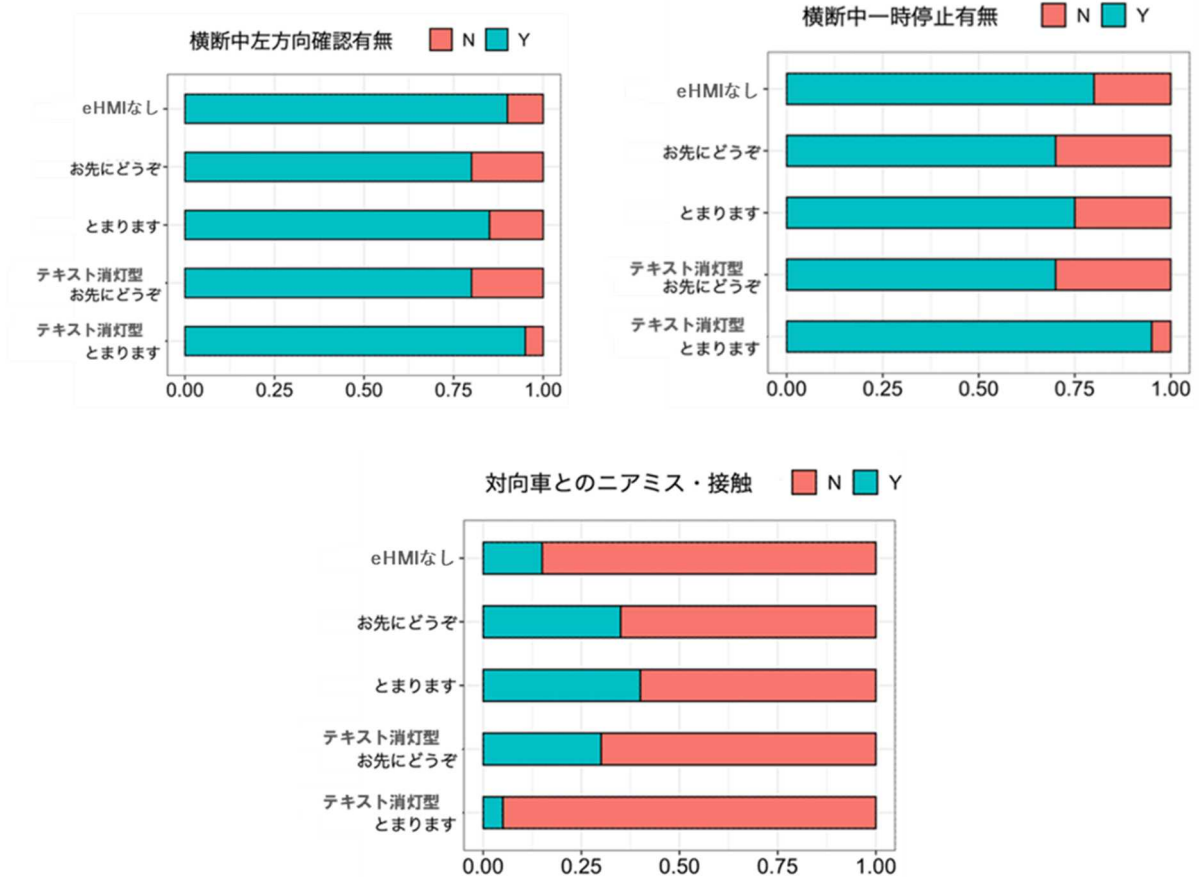


図 3-37 被験者の横断時の左右確認・一旦停止・接触有無

自動運転車の停止前、停止線での停止後に関わりなく、横断を開始した被験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。

交通場面②では、被験者が横断歩道を横断する際、横断歩道脇で被験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。改善方法の効果を調べるために、全ての被験者は eHMI のテキストが消灯されたことを確認してから横断を実施した。本実験結果は、テキストが消灯されたことを確認してないまま横断した参加者のデータは除いている。

図 3-37 に基づくと、eHMI が“お先にどうぞ”のメッセージを発信する条件で、左右を確認する視認行動を行ってない被験者が、他の実験条件より多く見られた。改善方法が適用された「テキスト消灯型・お先にどうぞ」条件でも同じ傾向が見られている。しかし、“とまります”のメッセージを発信していた eHMI がテキストメッセージを消灯した際に、改善方法を適用してない「とまります」条件と比べて、左右を確認する参加者の数が増えた。特に、「テキスト消灯型・

とまります」条件で、「eHMI なし」条件より視認行動を行った参加者の割合が高かった。

横断中に一旦停止を行なったケースの結果は、視認行動の結果と似たような傾向が見られた。しかし、図 3-37 が示す通り、視認行動を行った参加者より一旦停止した参加者が少なかったことがわかった。「テキスト消灯型・とまります」条件以外の全ての条件において、このような傾向が観測された。“とまります”を表示する eHMI において、改善方法を実装した場合、20 名の中 1 名のみ横断中に一旦停止してないことが確認できた。

最後に、対向車線を走行する手動運転車とのニアミス・接触有無を確認した結果、“お先にどうぞ”のメッセージを発信する eHMI を経験した被験者のみが手動運転車と接触したことがわかった。詳細には、eHMI テキスト消灯型・お先にどうぞの条件で 1 件の接触が確認された。

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 eHMI をテキスト消灯型にすることで、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に対する改善効果について分析した。本実験では、譲りの意図を意味する“お先にどうぞ”と、停止の意図を意味する“とまります”の二つのテキストメッセージを eHMI に実装した。被験者は、実験場面①と②を通じて eHMI を介した自動運転車とのコミュニケーションを経験した。

本実験では、実験場面②を対象として分析し、eHMI のテキスト消灯の実装による負の影響の改善効果を確認した。過去の実験は、eHMI を介した自動運転車両との持続的インタラクションは、負の影響を引き起こすと観測した。テキスト消灯による効果は、“とまります”のメッセージを発信する eHMI を介した自動運転車とのコミュニケーションを行った場合のみ見られたと言える。「テキスト消灯型・とまります」条件を経験した参加者は、他の条件を経験した参加者より、より周囲環境に注意を配ることが確認された。改善方法が実装された後の流れを考えると、周囲環境を確認するための視認行動と、危険に対応するための一旦停止を行う参加者が多く見られた。さらに、他の条件と比べて、対向車線の対向車とニアミス・接触した参加者の数が明らかに少なかった。過去の実験で、“とまります”を表示する eHMI が負の影響を引き起こした可能性を示唆したことから、テキスト消灯により注意喚起の効果が見られたと言える。しかし、なぜ eHMI のメッセージが消灯したのかがわからない状態だと、自動運転車両に対する適切な心理的態度を形成できない可能性がある。また、参加者から、eHMI は何かに対する事前情報が欲しいという意見があったことから、負

の影響を抑制できる方法として、歩行者に対する事前知識の説明が考えられる。

3.5.2. 本節のまとめ

本節では、無信号横断道路において、歩行者が eHMI を装着した低速移動自動運転車とコミュニケーションを続けることで発生しうる負の影響を改善する方法に着目した。テキスト型 eHMI（例えば、“お先にどうぞ”、“とまります”）を介したコミュニケーションによる、自動運転車両に対する歩行者の過度な依存や信頼によって周囲環境への確認を疎かにするなど、歩行者の情報処理過程に影響することから、負の影響を改善する方法として eHMI のテキストメッセージを消灯する方法を実装した。VR 実験のデータを分析した結果、テキストを消灯することで歩行者の注意を喚起し、周りの交通環境における確認や行動を誘導できる効果が見られた。しかし、このような効果は、自動運転車両が“とまります”を発信する場合に限っていて、“お先にどうぞ”を発信する場合には負の影響の改善効果が大きく確認されてなかった。このことから、歩行者における事前教育との組み合わせることなど、他の支援方法と組み合わせることで負の影響を改善することが期待される。

3.6. 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 eHMI の実装

3.6.1. 実施目的

2019 年度から 2021 年度にかけて、低速走行する移動・物流サービスの自動運転車（以後、自動運転サービスカーと称す）と eHMI 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 VR 実験や DS 実験、構内道路実験により分析し、自動運転サービスカーと周囲交通参加者のコミュニケーション方法について検討した。歩行者とのコミュニケーション場面および後続ドライバーとのコミュニケーション場면을対象に、本研究にて抽出された自動運転サービスカーと周囲交通参加者とのコミュニケーション方法を実道環境にて実証することを目的として、比較的遠くからでも自動運転サービスカーの意図や状態のテキスト表示を視認できるよう、SIP 第 1 期にて製作・実装した LED テキスト表示板を eHMI として自動運転サービスカーの実験車両に装備する。また、eHMI を自動運転サービスカーに搭載するにあたり、一般道を走行するための灯火器に関わる保安基準等に配慮するとともに基準緩和申請を行うこととする。

3.6.2. eHMI の仕様

eHMI として図 3-38 に示される LED 表示器（コイト電工製セレクトカラー表示器、Type H 20308-11000 に準拠）を使用した。



図 3-38 eHMI の外観

eHMI の仕様の詳細は表 3-7 に示されるように、表示サイズは 768mm×192mm、テキストやピクトグラムを構成する LED のドット間隔 6mm、面輝度は約 1600cd/m²（白色全点灯時）であり、日中でも十分に視認、可読可能な大きさ、輝度を有していた。またこの機材は AC100V で稼働し、重量は 4.0kg であった。

表 3-7 eHMI の仕様

入力電圧	AC100V で運用
LED ドット間隔	6 mm
表示サイズ	768 mm (W) ×192 mm (H)
表示色	512 色 (最大同時発色数 : 8 色)
面輝度	約 1600cd/m ² (白色全点灯時)

3.6.3. eHMI の取付具

実験車両に eHMI を実装する際の取付具を図 3-39 に示す。eHMI をフロント用に設置するための取付具を 2 種類、eHMI をリア用に設置するための取付具 1 種類を製作した。いずれもスチール製であり、十分な強度を有しており、フロント用およびリア用の取付具は車両に既存のボルトと共締めにより固定され、またフロント/リア用の取付具はルーフ部の左右端に挟み込むことにより固定される。



(a) フロント用



(b) フロント/リア用



(c) リア用

図 3-39 eHMI 取付具の外観

3.6.4. フロント用 eHMI の実装

フロントスクリーン内・ダッシュボード上に設置する eHMI の取付状態を図 3-40 および図 3-41 にそれぞれ示す。eHMI は取付具によってダッシュボード上に両面テープと既存ボルトとの共締めで固定され、eHMI の設置高さは、前方視界基準や左方視界基準に準拠して調整された。



図 3-40 フロント用 eHMI の外観



図 3-41 フロント用 eHMI のダッシュボード上への取付状態

3.6.5. リア用 eHMI の実装

リア荷室に設置する eHMI の取付状態を図 3-42 および図 3-43 にそれぞれ示す。eHMI は取付具によってリア荷室に既存ボルトとの共締めで固定され、eHMI の設置高さは、運転席から直接後方を視認する際ならびに運転席からルームミラーを介して後方を視認する際のいずれの場合でも後方への視認に支障のない高さに調整された。



図 3-42 リア用 eHMI の外観



図 3-43 リア用 eHMI のリア荷室への取付状態

3.6.6. フロント/リア用 eHMI の実装

フロント用 eHMI もしくはリア用 eHMI としてルーフ部に設置する際の取付状態を図 3-44 および図 3-45 にそれぞれ示す。eHMI は取付具によってルーフ部左右端に金属プレートにて挟み込んで固定された。



図 3-44 フロント/リア用 eHMI の外観（写真はフロント用）

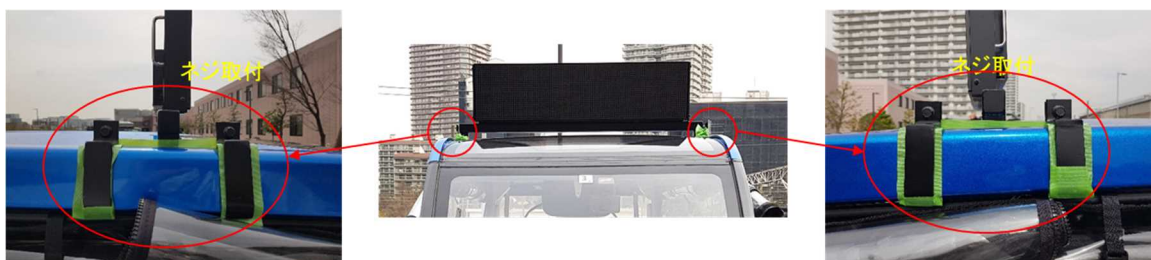


図 3-45 フロント/リア用 eHMI のルーフ部への取付状態

3.6.7. eHMI 取付に伴う基準緩和申請

中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験における運行ルートを対象に eHMI を実装して走行するにあたり、eHMI に関わる基準緩和申請、具体的には、実証実験地域にて設定された運行ルートを走行するために「その他の灯火等の制限」に関する基準緩和申請を行う。また eHMI を自動運転サービスカーに取り付ける際、乗員保護等に関わる規程に準拠する必要がある。指定部品か指定外部部品かに関わりなく、取付時にドライバー、レンチ等の工具を使用するため、固定的取付方法に該当するが、フロントスクリーン内・ダッシュボード上にフロント用 eHMI を、リア荷室内にリア用 eHMI をそれぞれ設置する場合、車両の長さ、幅、高さに変更は生じることとはなく、車両重量も eHMI および取付具の重量を加算しても許容範囲内に収まることから、構造等変更検査には該当しない。フロント用 eHMI のフロントスクリーン内、ダッシュボード上への設置に関しては、乗員保護を目的として LED 表示板の裏面（乗員側）および突起部・角部にはパッド類を装着する。

3.6.8. 本節のまとめ

本節では、2019 年度から 2021 年度に得られた eHMI を中心としたコミュニケーション手段を自動運転サービスカーの実験車両に装備するための取付具の製作ならびに取付時の留意事項、基準緩和申請などを考慮した eHMI の設置を行った。製作した取付具を使用して、フロントスクリーン内、ダッシュボード上にフロント用 eHMI とリア荷室内にリア用 eHMI をそれぞれ設置して基準緩和申請を行い、認可された後に、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験に、実験車両を導入して、eHMI に関する実証を行う。

3.7. iv. 単路部や交差点を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案

3.7.1. 試験走路環境を利用した横断ケース時の歩行者の非効率な行動や不安感を低減する自動運転サービスカーのコミュニケーション方法に関する研究

3.7.1.1. 本研究の目的

過去の先行研究では自動運転車と歩行者の間のコミュニケーション手段として eHMI の有効性が示されている。しかし、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスで想定される自動運転車と歩行者のコミュニケーションについて十分に検討されているとは言えない。自動運転サービスカーとして使用される可能性のあるゴルフカートは、一般的な車両と見た目が異なるため、経験的に車両挙動を予想することが困難である可能性が高い。また自動運転サービスカーは 12km/h 程度の低速であり、歩道と車道の区別のない道幅 5 m 程度の狭路を走行することから、歩行者の横断判断が異なる可能性がある。さらに、自動運転サービスが行われる中山間地域では、高齢者との関わりが不可欠であるため、分かりやすいものである必要があると考える。

そこで、本研究では自動運転レベル 4 の自動運転車を想定し、道幅 5 m 程度の狭路において低速の自動運転サービスカーと歩行者が遭遇する場面を取り上げる。狭路での非効率及び不安な歩行者の横断を低減する自動運転サービスカーの eHMI を検討することを目的とした。具体的には、eHMI に対して、車両挙動、ドライバーの有無が歩行者の横断行動及び判断に与える影響を検討した。また、本研究では実車による実験を行い、VR 環境よりもより現実に近い有効な結果を得ることを目指した。さらに、街頭インタビューで歩行者は車内にドライバーがいる場合に、安全に横断できると回答されたという先行研究から、ドライバーの有無を実験条件に設定し歩行者の横断判断への影響を検討した [13]。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。

3.7.1.2. 実験被験者（以下、被験者）

被験者は 32 名（平均：39.2 歳、標準偏差：12.4 歳、21 歳～59 歳）男性 16 名（平均：38.9 歳、標準偏差：11.9 歳、21 歳～57 歳）、女性 16 名（平均：39.4 歳、標準偏差：12.9 歳、21 歳～59 歳）であった。両眼視力（矯正含）は 1.0 以上で、運転免許を持ち日常的な運転を経験のあることを募集条件とした（表 3-8 参照）。

表 3-8 被験者の年齢構成等の詳細

テキストメッセージ	性別	年齢	人数
eHMI なし（支援なし）	男性	25-51 歳、平均 39.5 歳	4
	女性	21-56 歳、平均 39.8 歳	4
自動運転中	男性	21-57 歳、平均 39.5 歳	4
	女性	21-53 歳、平均 37.8 歳	4
とまります	男性	22-57 歳、平均 39.3 歳	4
	女性	22-50 歳、平均 39.5 歳	4
お先にどうぞ	男性	22-50 歳、平均 37.3 歳	4
	女性	22-59 歳、平均 38.5 歳	4

eHMI の条件について 8 名ずつ実験を実施した。eHMI なし（支援なし）の 8 名（平均：39.6 歳、標準偏差：11.8 歳 21 歳～56 歳）は男性 4 名（平均：39.5 歳、標準偏差：10.2 歳、25 歳～51 歳）、女性 4 名（平均：39.8 歳、標準偏差：13.1 歳、21 歳～56 歳）であった。

“自動運転中”の 8 名（平均：38.6 歳、標準偏差：12.7 歳、21 歳～57 歳）は男性 4 名（平均：39.5 歳、標準偏差：12.9 歳、21 歳～57 歳）、女性 4 名（平均：37.8 歳、標準偏差：12.5 歳、21 歳～53 歳）であった。

“とまります”の 8 名（平均：39.4 歳、標準偏差：12.7 歳、22 歳～57 歳）は男性 4 名（平均：39.3 歳、標準偏差：13.9 歳 22 歳～57 歳）、女性 4 名（平均：39.5 歳、標準偏差：11.3 歳、22 歳～50 歳）であった。

“お先にどうぞ”の 8 名（平均：37.9 歳、標準偏差：11.9 歳、22 歳～59 歳）は男性 4 名（平均：37.3 歳、標準偏差：10.0 歳、22 歳～50 歳）、女性 4 名（平均：38.5 歳、標準偏差：13.5 歳、22 歳～59 歳）であった。

3.7.1.3. 実験装置

本研究では右側から接近してくる車両の前を横断する際、ボタンを押すことによって横断判断を行った。実環境で被験者に横断させることは、車両と被験者が接触するリスクが伴う。本研究では被験者に歩行による横断ではなく、ボタンを押すことによる横断を行った。実環境実験に使用した各装置の仕様を次節に説明する。

3.7.1.4.自動運転サービスカー

本研究で使用した自動運転サービスカーを図 3-1 に示す。本研究では、ヤマハ発動機株式会社製の乗用車タイプの自動運転車両を使用した。定員は6人で、速度は自動走行時で12km/h程度、手動走行時20km/h未満である。埋没された電磁誘導線からの磁力を感知して、規定ルートを走行する。被験者との遭遇時は、全ての実験において自動走行であった。



図 3-46 自動運転サービスカー

3.7.1.5.eHMI

本研究で使用した eHMI を図 3-47 に示す。本研究では、コイト電気株式会社製の文字表示型 eHMI（セレクトカラー表示器）を使用した。表示範囲は縦192mm×横768mm（32ドット×128ドット）である。本研究において、“ドライバーなし”条件を実現するため、eHMIの電源にリレースイッチを取り付けることで遠隔でのスイッチ入り切りを可能にした。

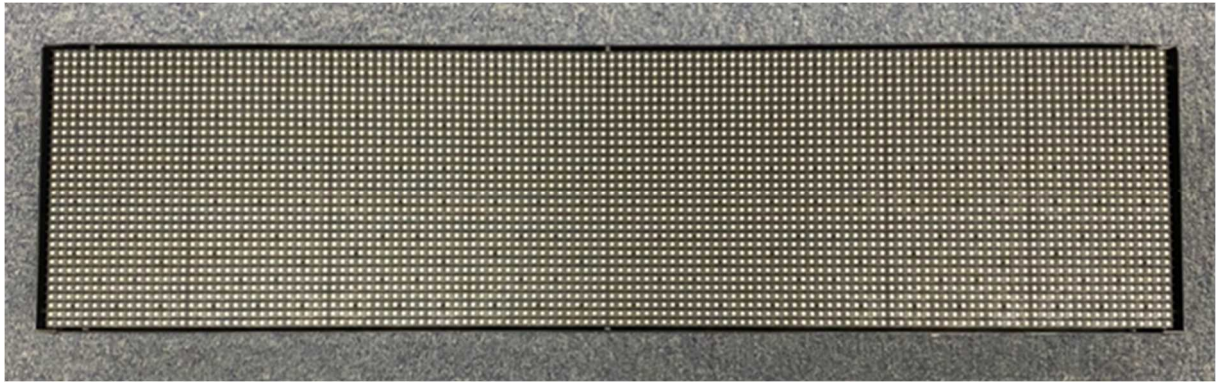


図 3-47 eHMI

3.7.1.6. RFID

本研究で使用した RFID(Radio Frequency Identification)を図 3-48 に示す。車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）を実現するように所定の位置に配置した。RFID の配置によって被験者が車両挙動を学習するのを防ぐため、図 3-49 に示すようにポケットの中に RFID を配置した。



図 3-48 RFID



図 3-49 RFID 配置の様子

3.7.1.7. 実験構成

本研究の実験構成を表 3-9 に示す。本研究では eHMI 4 種類について被験者間計画で実施した。練習・統制群・実験群・統制群の順に実験を行った。はじめにボタンの操作方法・横断方法を確認するために、自動運転サービスカーで練習走行を実施した。ドライバーは乗車し、通常停止で実施した。被験者がゲーム感覚で横断することを防止するために、右側から接近してくる車両が停止せずに被験者の前を通過する挙動をダミー条件として配置した。統制群は各条件と比較するために“ドライバーあり”、“ドライバーなし”のそれぞれで通常停止、eHMI なしで実施した。実験群ではドライバー状態（“ドライバーあり”、“ドライバーなし”）についてブロックに分けて実施し、その順序はランダムとした。各ブロックで車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）をランダムに配置した。

表 3-9 実験構成

	eHMI	車両挙動	ドライバー	
練習	なし	通常停止	有	
統制群データ	なし	通過	有	ダミー条件
	なし	通常停止	***	
	なし	通常停止	***	
休憩				
実験群データ	なし	通過	有	ダミー条件
	*	**	有	
	*	**	有	
	*	**	有	
	なし	通過	無	ダミー条件
	*	**	無	
	*	**	無	
	*	**	無	
休憩				
統制群データ	なし	通過	有	ダミー条件
	なし	通常停止	***	
	なし	通常停止	***	

ドライバー有無（有、無）の順序はランダムに配置

車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）の順序はランダムに配置

- * 被験者群ごとにeHMI（支援なし、“自動運転中”、“とまります”、“お先にどうぞ”）も条件を配置
- ** 車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）をランダムに配置
- *** ドライバー有無（有、無）をランダムに配置

3.7.1.8. 歩行者データ

歩行者に関して表 3-10 のデータを収集した。

表 3-10 実験構成

分類	評価対象	評価指標	データ収集方法
歩行者の属性	個人属性	年齢	・年代を回答してください
		性別	・性別を回答してください
歩行者の行動	横断時の非効率性	横断開始時刻	・車両停止時刻と歩行者横断開始時刻の差
歩行者の判断	横断時の心理状態	譲りの認識度	・右側から接近してきた車両は、道を譲ってくれていると感じた ・7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）
		不安の程度	・右側から接近してきた車両に対して、横断できると判断した際に不安を感じた ・7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）
		気遣いの程度	・右側から接近してきた車両に対して、気を遣って早く渡ろうとした ・7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）

3.7.1.9. 分析方法

分析方法を表 3-11 に示す。

表 3-11 分析項目および分析方法

分類	分析の目的	用いる手法
歩行者の行動	<ul style="list-style-type: none"> ・eHMIごとの横断開始時刻の比較 ・車両挙動、ドライバー有無、年齢、性別による違いも分析 ・eHMIと車両挙動の交互作用を分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・一元配置分散分析 ・二元配置分散分析 ・t検定 ・相関分析
歩行者の判断	<ul style="list-style-type: none"> ・eHMIごとの譲り認識度の比較 ・車両挙動、ドライバー有無、年齢、性別による違いも分析 ・eHMIと車両挙動の交互作用を分析 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・eHMIごとの不安の程度の比較 ・車両挙動、ドライバー有無、年齢、性別による違いも分析 ・eHMIと車両挙動の交互作用を分析 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・eHMIごとの気遣いの程度の比較 ・車両挙動、ドライバー有無、年齢、性別による違いも分析 ・eHMIと車両挙動の交互作用を分析 	

3.7.1.10. eHMI が歩行者に与える影響

eHMI が歩行者の行動に与える影響として以下の結果が得られた。

- ・ 「お先にどうぞ」表示は他のメッセージと比べて横断開始が早まる傾向 ($p < 0.001$)
- ・ 早期減速は他の車両挙動と比べて横断開始が早まる傾向 ($p < 0.001$)
- ・ ドライバー有無による横断開始時刻への影響は見られなかった ($p > 0.05$)
- ・ 女性の方が男性よりも横断開始が早い傾向 ($p < 0.05$)
- ・ 年齢と横断開始時刻に相関は見られなかった ($p > 0.05$)
- ・ eHMI と車両挙動による交互作用は見られた ($p < 0.001$)

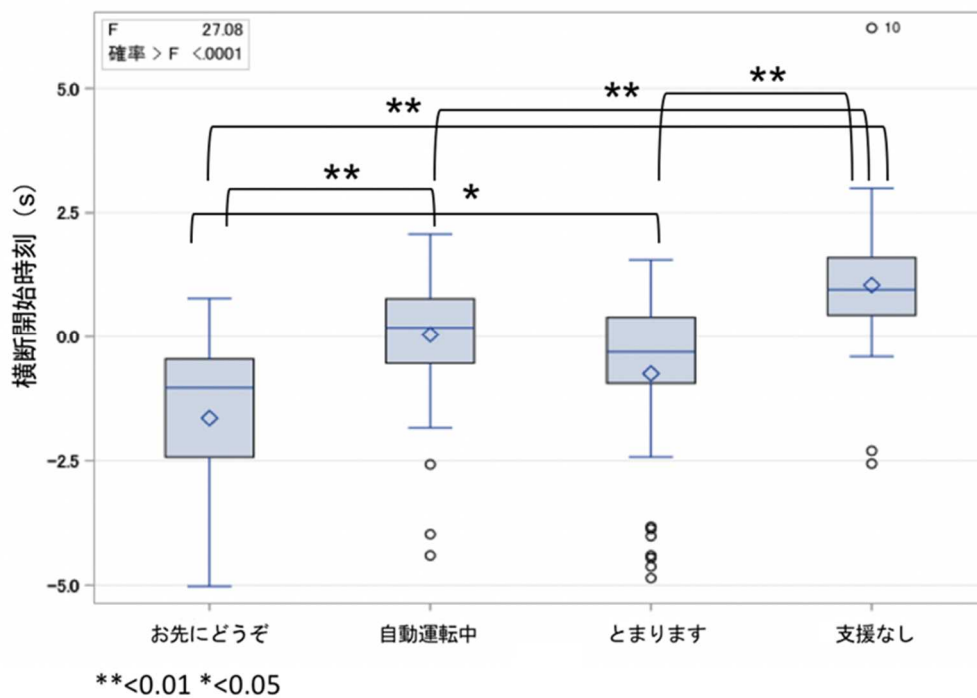


図 3-50 eHMI ごとの横断開始時刻

(2) eHMI が歩行者の判断に与える影響

eHMI が歩行者の判断に与える影響として以下の結果が得られた。

- ・ 「とまります」「お先にどうぞ」表示で譲りの認識度が高くなる傾向 ($p < 0.001$)
- ・ 早期停止で譲りの認識度が高くなる傾向 ($p < 0.05$)
- ・ ドライバー有無による譲りの認識度への影響は見られなかった ($p > 0.05$)
- ・ 性別による譲りの認識度への影響は見られなかった ($p > 0.05$)
- ・ 年齢と譲りの認識度に相関は見られなかった ($p > 0.05$)
- ・ eHMI と車両挙動の交互作用は見られなかった ($p > 0.05$)

- ・ eHMI による不安の認識度への影響は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ 早期停止で不安は小さく ($p<0.05$)、早期減速で不安が大きくなる傾向 ($p<.001$)
- ・ ドライバー有無による不安の認識度への影響は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ 女性の方が男性よりも不安が大きくなる傾向 ($p<0.05$)
- ・ 年齢と不安の認識度に相関は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ eHMI と車両挙動の交互作用は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ eHMI による気遣いの認識度への影響は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ 車両挙動による気遣いの認識度への影響は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ ドライバーがいることで気を遣って早く渡らせる可能性 ($p<0.1$)
- ・ 性別による気遣いの認識度への影響は見られなかった ($p>0.05$)
- ・ 年齢が高いほど、気遣いの認識度が小さくなる傾向 ($p<0.001$)
- ・ eHMI と車両挙動の交互作用は見られなかった ($p>0.05$)

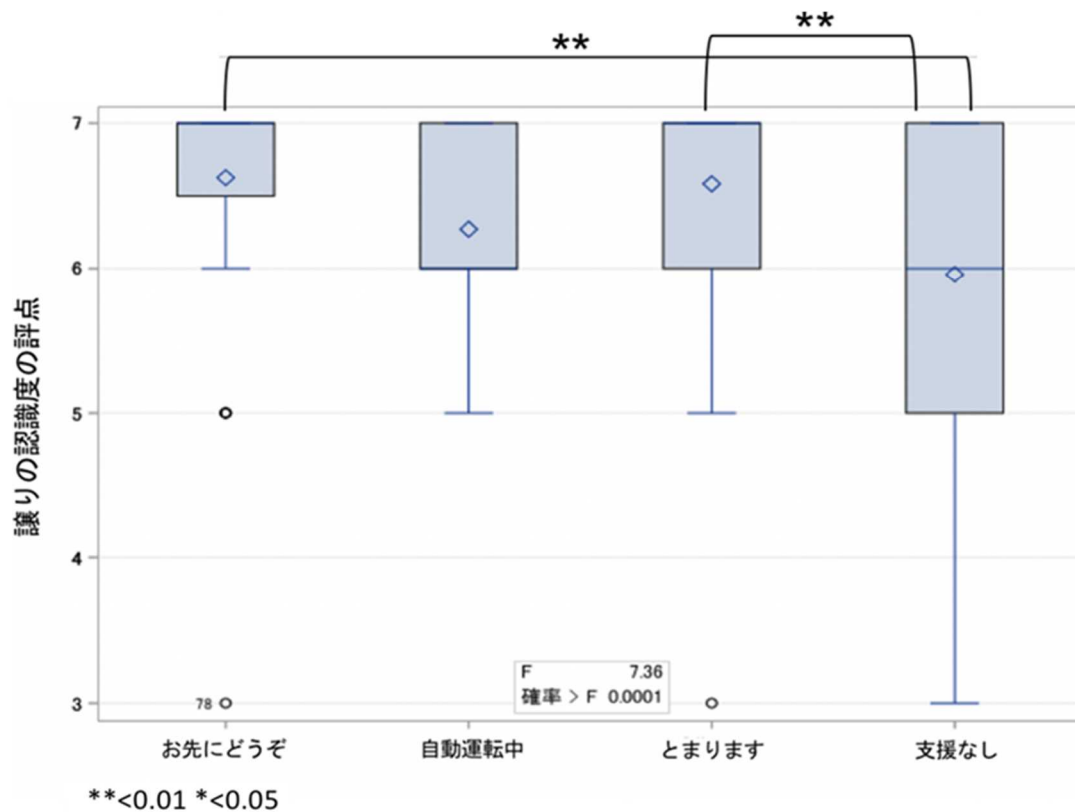


図 3-51 eHMI ごとの譲りの認識度の評点

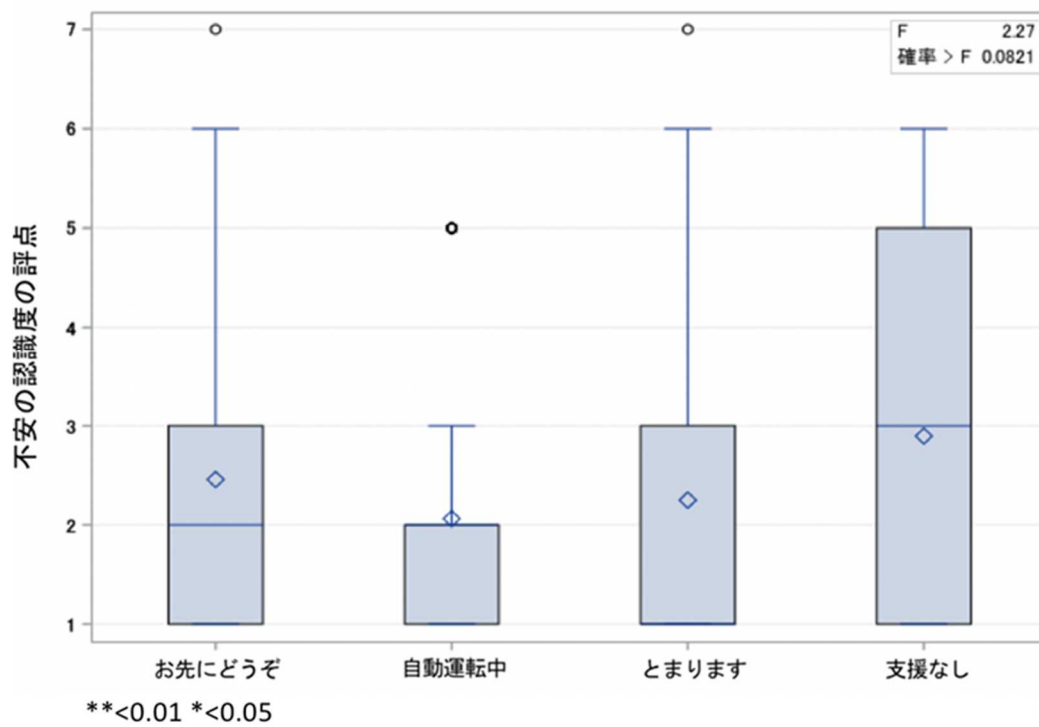


図 3-52 eHMI ごとの不安の認識度の評点

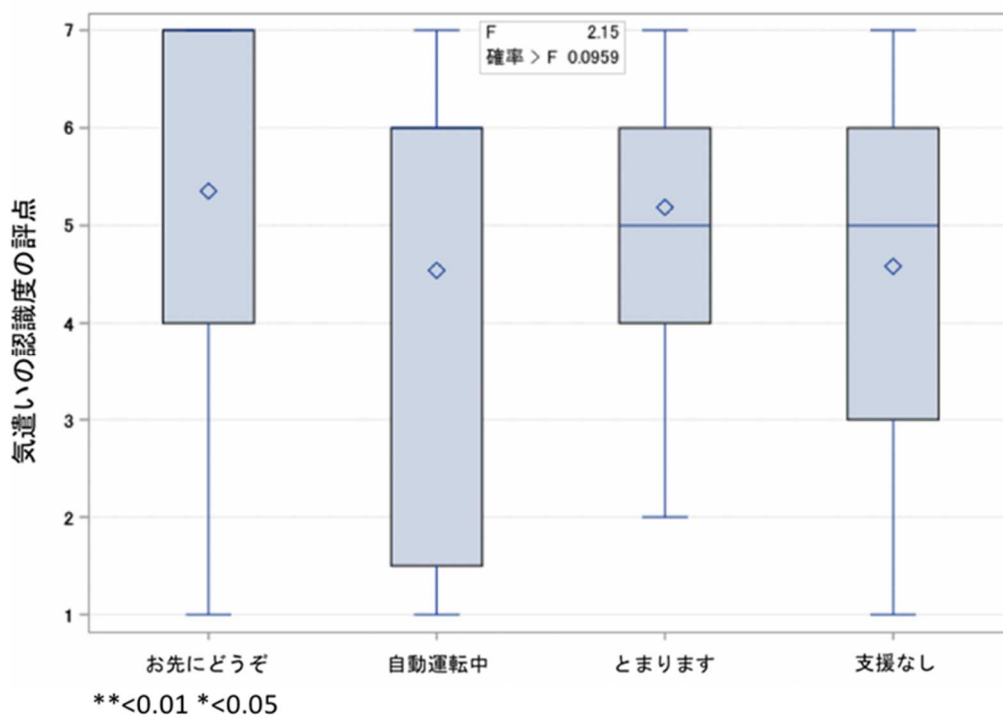


図 3-53 eHMI ごとの気遣いの認識度の評点

3.7.1.11. 考察

eHMI が歩行者の行動と判断に与える影響の要因として以下が挙げられる。

“お先にどうぞ”表示で早い横断を促し、非効率な横断が低減する可能性や“お先にどうぞ”表示によって歩行者は譲り意図を強く感じることに関連している可能性がある。

eHMI があることで早い横断を促す→eHMI ありで譲りの認識度が高いことに関連している可能性がある。（“自動運転中“< “とまります“の理由は、どちらも歩行者に自動運転車が認識していることを eHMI 表示によって感じさせることができるが、後者では認識に加えて止まるという意図が明確に伝わるため）

”自動運転走行中”表示のように自動運転である情報のみでは歩行者の判断に大きな影響がないこと（Dey et al., 2019）[11]や”お先のどうぞ”表示のように相手に行動を促す表示の方が歩行者に好まれること（Ackermann et al., 2019）[12]は先行研究の結果でも見られている。

早期減速において “とまります” と “お先にどうぞ” 表示で早い横断を促す可能性がある（最もメッセージ間で差が生じた挙動であり、支援なしと “自動運転中 “のような譲り意図が低いメッセージでは歩行者は車両が停止してから横断する傾向）。

eHMI は歩行者の横断時の不安を小さくする可能性→eHMI によって歩行者は自動運転車に認識されていると感じ、車両の挙動が自分に向けられたものであると判断することができるため不安を感じにくい。

研究の限界として以下が挙げられる。

サンプル数を増やした場合に同様な結果が得られるとは限らない。他の属性（学童、高齢者、免許なし、視力 1.0 未満など）における狭路での自動運転車と歩行者のコミュニケーションの検討ができていない。他の交通参加者が入り混じるケースで検討ができていない。

先行研究では見た目が判断に影響を与えていると言われていたが、本研究では検討できていない（Palmeiro et al., 2018）[13]。実際に歩行者が横断するケースは検討できていない。天候ならびに気温の影響を考慮できていない。他のメーカーの eHMI については検討できていない。

3.7.2. 自動運転サービスカーの eHMI が後続ドライバーの認識・確認行動に与える影響に関する研究

3.7.2.1. 本研究の目的

自動運転サービスカーの eHMI が後続ドライバーの認識・確認行動に与える影響を検討することを目的とする。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。

3.7.2.2. 実験装置・環境

実験装置や環境は以下の通りである。

- ドライビングシミュレータ：360° 視野、スクリーン 8 画面、6 軸動揺装置（図 3-54 参照）。
- 道路環境：白色中央線(破線)、片側一車線(約 3m)、法定速度 40km/h の単路
→ 実証実験の中山間地域や地方部を参考
- 自動運転サービスカー：後方座席に乗客 2 名、速度 12km/h で左寄り走行（図 3-55 参照）。



図 3-54 ドライビングシミュレータ



図 3-55 自動運転サービスカー



図 3-56 DS での走行の様子

3.7.2.3. 実験場面・eHMI のメッセージ

● スタート地点から約 400m 走行後、自動運転サービスカーに遭遇・eHMI のメッセージを視認→eHMI のメッセージ視認後、認識・確認行動に与える影響を比較

● eHMI のメッセージ (4 条件)

- ① 支援なし
- ② 自動運転車 | 低速走行中
- ③ 追越注意
- ④ 周囲に注意 | お先にどうぞ

3.7.2.4. 実験シナリオ

実験シナリオを表 3-12 に表す。

表 3-12 実験シナリオ

トライアル	eHMI のメッセージ	自動運転車の車両挙動	自動運転車視認前に対向車が3台走行	自動運転車遭遇前に対向車が5台走行	追従車の有無
1	自動運転車 低速走行中	走行し続ける	なし	あり	なし
2	支援なし		なし	なし	なし
3	自動運転車 低速走行中		あり	あり	なし
4	追越注意		なし	あり	あり
5	周囲に注意 お先にどうぞ		あり	あり	あり
6	追越注意		あり	なし	なし
7	支援なし		なし	なし	あり
8	周囲に注意 お先にどうぞ		あり	なし	あり
9	グループ1: 支援なし グループ2: 自動運転車 低速走行中 グループ3: 追越注意 グループ4: 周囲に注意 お先にどうぞ		あり	なし	あり

3.7.2.5. 被験者

使用した会社はランスタッド株式会社：20代男女8名、40代男女8名、50代男女8名および、株式会社エイジェック：30代男女8名である。募集条件は視力(矯正含む)が両眼1.0以上、免許あり、日常的な運転経験ありとなっている。被験者属性を表3-13に表す。

表 3-13 被験者の属性

グループ	eHMIのメッセージ	20代		30代		40代		50代	
		男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
1	支援なし	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
2	自動運転車 低速走行中	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
3	追越注意	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
4	周囲に注意 お先にどうぞ	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人

3.7.2.6. 実験手順・インストラクション

- 実験概要説明・諸注意（法定速度40km/hなど）
- 練習走行（直進、低速バスを追従・追越※、右折、左折）
- 自動運転サービスカー・情報板の黄色いテキストの説明
- シナリオのトライアルを走行
- トライアル終了後、アンケートに回答
- 4~5を繰り返す

3.7.2.7. 計測・評価項目

計測・評価項目を表 3-14 に示す。

表 3-14 計測・評価項目

分類	評価対象	評価指標	データ収集方法
運転手の認識	注意喚起の認識	「周囲を確認して追い越してほしい」という意図を感じた	7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）
	譲り意図の認識	自動運転サービスカーに譲られたと感じた	
	イラつきの認識	メッセージに対してイラつきを感じた	
運転手の行動	追い越し時の確認行動	周辺状況注視時間	Smart Eye Pro による視線計測（メッセージへの目線を外した後から中央線をはみ出すまでの時間を計測）

3.7.2.8. 分析方法

分析方法を表 3-15 に示す。

表 3-15 分析方法

分類	分析の目的	用いる手法
運転手の認識	<ul style="list-style-type: none"> ● メッセージごとの注意喚起の認識の比較 ● 年齢や性別による違いも分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一元配置分散分析 ・ t検定 ・ 相関分析
	<ul style="list-style-type: none"> ● メッセージごとの譲り意図の認識の比較 ● 年齢や性別による違いも分析 	
	<ul style="list-style-type: none"> ● メッセージごとのイラつきの認識の比較 ● 年齢や性別による違いも分析 	
運転手の行動	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認行動を促すメッセージを調べる ● 年齢や性別による違いも分析 	

3.7.2.9. 実験結果

(1) eHMI が後続車のドライバーの認識に与える影響

- 「追越注意」「周囲に注意|お先にどうぞ」は注意喚起を感じている傾向 ($p < 0.05$)
- 年齢と注意喚起の感度に相関があるといえない ($p > 0.05$)
- 性別と注意喚起の感度に有意差はあるといえない ($p > 0.05$)

- 「自動運転車|低速走行中」、「周囲に注意|お先にどうぞ」は譲り意図に対する認識が高くなる傾向 ($p < 0.05$)
- 年齢と譲り意図の感度に相関はあるといえない ($p > 0.05$)
- 性別と譲り意図の感度に有意差はあるといえない ($p > 0.05$)
- 「追越注意」はイラつきの感度が低くなる傾向 ($p < 0.05$)
- 年齢とイラつきの感度に相関はあるといえない ($p > 0.05$)
- 性別とイラつきの感度に有意差はあるといえない ($p > 0.05$)

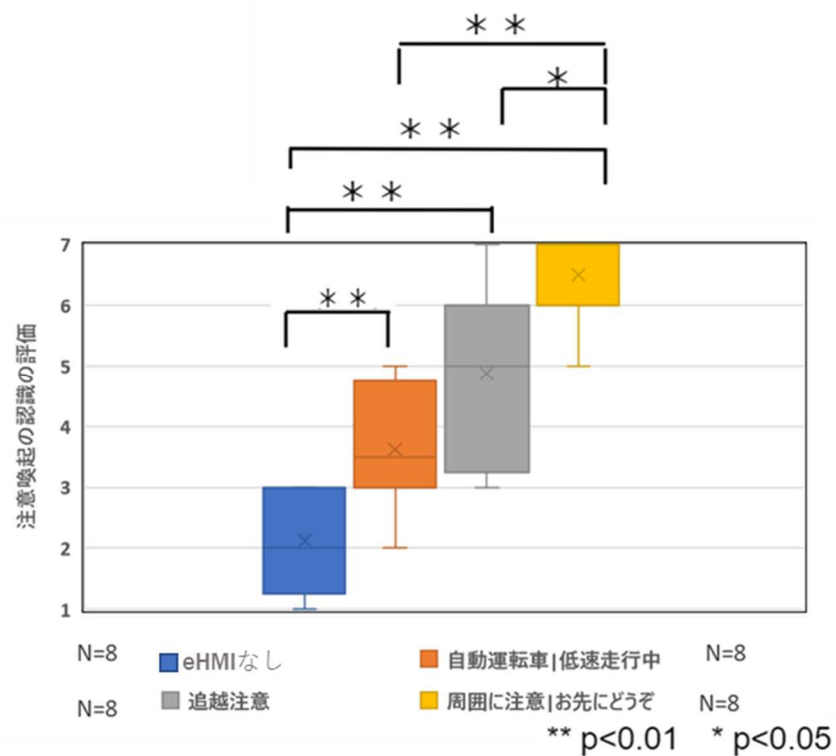


図 3-57 注意喚起の認識

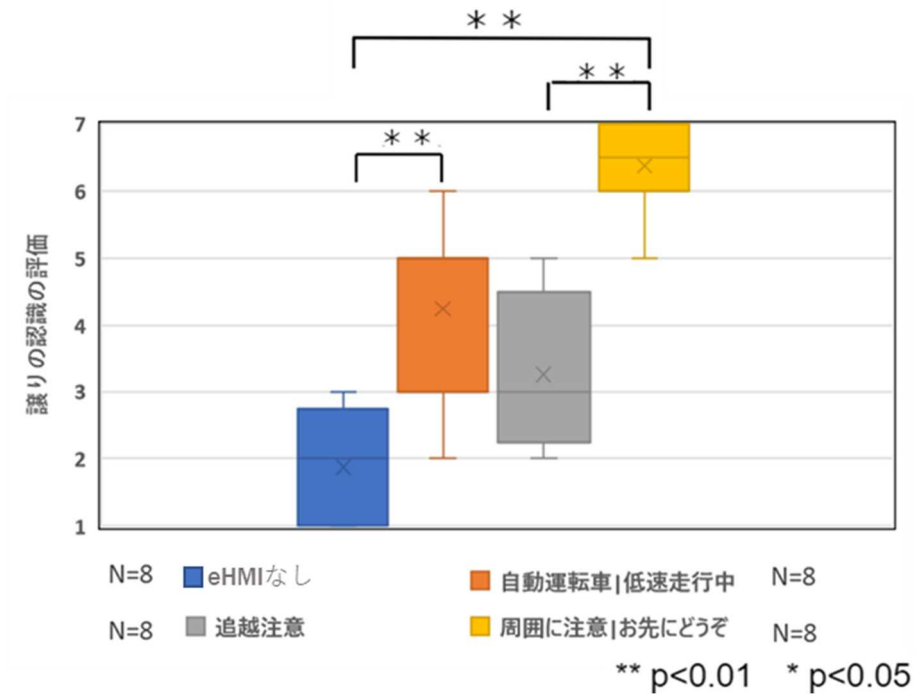


図 3-58 譲り意図の認識

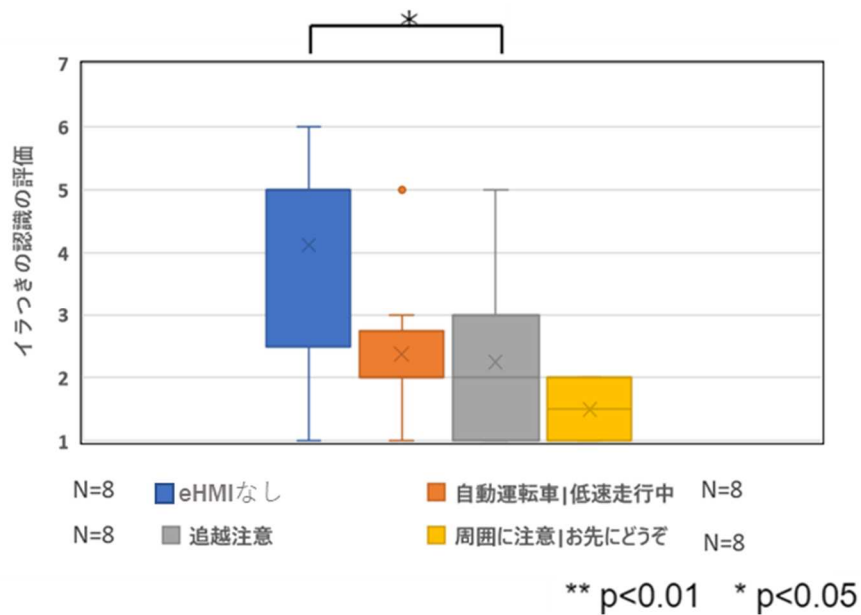


図 3-59 イラツキの認識

3.7.2.10. eHMI が後続車のドライバーの確認行動に与える影響

- 「追越注意」は周辺状況注視時間が長くなる傾向 (p<0.05)
- 年齢と周辺状況注視時間に相関はあるといえない (p>0.05)
- 性別と周辺状況注視時間に有意差はあるといえない (p>0.05)

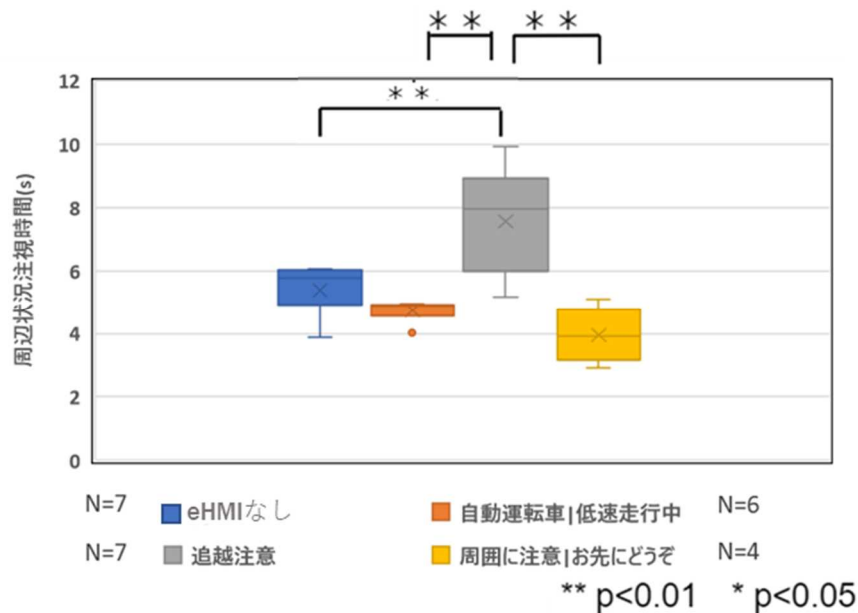


図 3-60 追越時の確認行動（周辺状況注視時間）
（周辺状況注視時間が 15 秒以上の人は除いている）

3.7.2.11. 考察

認識に影響を与える eHMI のメッセージについては以下の通りである。

「自動運転車|低速走行中」は、状態を表しているので注意喚起は感じず、フリーコメントから「低速で走るので追い越していいよ」と感じるケースが見られ、譲りの意図を多少感じた可能性がある。また、低速で走ることを認識し、追い越す判断がしやすく、イラつきの感度が低くなった可能性がある。

「追越注意」は、追い越しに対する注意意識による影響から注意喚起を感じた可能性。そして、行動は促されていないため、譲り意図を感じなかった可能性。また、一般道路や高速道路で見られる情報板と同じように注意喚起されていると感じ、イラつきの感度が低かった可能性がある。

「周囲に注意|お先にどうぞ」は、行動と注意喚起を促すため、注意喚起と譲り意図の感度が一番高くなった可能性。また、後続ドライバーは自動運転サービスカーから行動を促され、追い越す判断がしやすく、イラつきの感度が低くなった可能性。先行研究の結果とも整合する (Ackermann et al., 2019) [5]。

「自動運転車|低速走行中」のように自動運転である情報のみでは歩行者の判断に大きな影響がないとされていたが (Dey et al., 2019) [6]、本研究のように相手が自動車による追い越し場面ではイラつきの低減のような有効性がみられた。

確認行動に影響を与える eHMI のメッセージについては以下の通りである。

「自動運転車|低速走行中」は、譲り意図を多少感じ、イラつきの感度が低いため、周辺状況注視時間が若干短くなった可能性がある。

「追越注意」は、譲り意図とイラつきの感度が低いため、周辺状況注視時間が長くなった可能性がある。

「周囲に注意|お先にどうぞ」は、譲りの意図をととても感じ、イラつきの感度が低いため、周辺状況注視時間が短くなった可能性がある。

譲り意図を大きく感じる eHMI ほど周辺状況の確認行動が抑制されることは先行研究の結果でも報告されている (Mitman et al., 2008; Zhuang & Wu, 2012) [7][8]。

研究の限界は以下の通りである。サンプル数を増やした時に同様な傾向が得られるとは限らない、本研究では DS 上での実験であるため、実環境で同様な結果が得られるとは限らないこと、実験のスケジュール上、本研究で扱った eHMI のメッセージは、白色中央線以外の道路環境において検討できていないこと、eHMI を常時表示しているため、後続車に対してどのタイミングで eHMI のメッセージを表示するかは検討できていないこと、本研究ではコイト電工株式会社の「文字表示型 eHMI」の形式「CS1302」を用いることを想定した実験であるため、他のメーカーの eHMI については検討できていないことがあげられる。

3.7.3. 本節のまとめ

道の駅等を拠点とした自動運転サービスで想定されるコミュニケーション場面である単路部での歩車間コミュニケーションを支援する方法が必要とされている。本節では、前方に向けて歩いている歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの接近・回避のコミュニケーションユースケースに着目し、円滑なコミュニケーション支援方法を提案、及び、検証した。VR環境で奥永源寺の単路部をシミュレーションして得られた結果を下記にまとめる。

非効率及び不安な歩行者の横断を低減する自動運転サービスカーの eHMI を検討した。結果を下記にまとめる。

- “お先にどうぞ”表示で早い横断を促し、非効率な横断が低減する可能性→ “お先にどうぞ”表示によって歩行者は譲り意図を強く感じることに関連している可能性
- eHMIがあることで早い横断を促す→eHMIありで譲りの認識度が高いことに関連している可能性
また、不安全な後続車の追い越しを低減する自動運転サービスカーの eHMI を検討した。結果を下記にまとめる。
- 「自動運転車|低速走行中」は、譲り意図の感度が高く、周辺状況注視時間が短くなり、確認行動を促す効果がない可能性
- 「追越注意」は、注意喚起の促しやイラつきを低減する効果があり、譲り意図の感度が低く、周辺状況注視時間が長いため、確認行動を促す効果がある可能性
- 「周囲に注意|お先にどうぞ」は、注意喚起の促しやイラつきを低減する効果があるが、譲り意図の感度が高く、周辺状況注視時間が短いため、確認行動を促す効果がない可能性

3.8. v. 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのためのeHMI等に関する検討と提案

3.8.1. 接近・回避ケースにおける歩行者の判断・行動を支援する自動運転サービスのコミュニケーション方法に関する事前検討

3.8.1.1. 実験目的

道の駅を拠点とした自動運転サービスの展開を想定し、2020年度から、単路部を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションのあり方について取り組んできた。自動運転車の接近と歩行者の適切な回避を促せる支援方法を提案するため、本調査では、後ろから接近する自動運転車と遭遇した際の歩行者の印象と、望ましい支援の手がかりについて調べるための事前検討と位置づけビデオ視聴実験を実施した。具体的には、歩行者が自動運転車の意図を理解でき、適切かつ十分な回避行動を取るために、自動運転車が伝えるべき内容やそれを伝えるモダリティに関する意見を収集した。また単路上でのコミュニケーションであっても接近・回避ケースなどにおいては、車両と歩行者の通行区分の境界が明確ではなく、共有空間でのコミュニケーションに近い状況であると考えられる。そこで本研究では、単路部におけるそのような交通場面についても共有空間でのコミュニケーションとして捉えて検討することとした。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。

3.8.1.2. 実験装置および被験者

慶應義塾大学理工学部 K2 キャンパス K 棟 104 号室にて実験を実施した。3.5.1. 節で記述した VR 装置を用いて、奥永源寺の単路部を模擬し、歩行者の後ろから接近してくる自動運転ゴルフカートに気づいて振り向く場面を録画した。ビデオを視聴させるため、PC を使用してビデオ映像を操作し、PC からの外部モニター端子に接続した 24 インチモニターによりビデオ映像を表示した。本実験に参加する被験者を表 3-16 に示す。被験者は運転免許証を所有している一般の男性 5 名、女性 4 名であり、正常な視力を有していた。

表 3-16 被験者の性別と年齢帯

性別	年齢	人数
男性	20-36 歳、平均 25 歳	5
女性	20-49 歳、平均 32.25 歳	4

3.8.1.3. 実験タスク

本実験では、被験者にビデオを視聴してもらい、ビデオの交通場面における被験者の意見を収集した。被験者は、歩行者が振り向いて路肩に移動するまでの流れを視聴した後、さらに移動を求められる際にはどこまで移動するか、及び、その際にはどのような案内が与えられた方が良いかにおいて回答した。ビデオの再生や追加移動までのコマ送り操作等は、実験者が実施した。

3.8.1.4. 実験条件および構成

ビデオ視聴実験で用いた条件は、コミュニケーション方法のない条件（以下、支援なし）、ディスプレイを用いて“すすみます”のテキストメッセージを発信する条件（以下、視覚・eHMI）、自動運転車の走行路を表す青い路面標示が提供された条件（以下、路面標示）の3つである。また、単路部を模擬した交通場面を対象として実験を実施した。

ビデオは、目的地として、青いポータルを用意し、目的地に向かって前方に歩く歩行者の視点で再生された。ビデオを視聴している間に、次の3つのフェーズにおいてインタビューを行った。また、次の3つのフェーズは、全ての実験条件において実施された。

（フェーズ1）歩く途中、歩行者は後方を振り返って近づいてきた自動運転車と対面した。ここで、参加者には、この自動運転車もつ意図が何かに対して回答して頂いた。

（フェーズ2）その後、自動運転車が進行したい意図を含めていることから、歩行者に自動運転車の進路からの回避を依頼したい場面を設定した。そこで、被験者は、歩行者が自動運転車と対面している状態から横に移動するビデオを視聴し、「進路を譲ってほしい」という意図伝達のメッセージとして考えられる案について意見を提供した。

（フェーズ3）次に、歩行者が回避したが、自動運転車はその回避が不十分だと判断し、さらに回避を依頼したい場面を設定した。そこで、どの程度の距離ならさらに回避できるかをコマ送りして確認し、及び、追加の依頼を行う際に望ましい意図伝達のメッセージについて調査した。

3.8.1.5. 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、被験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て、年齢、性別、視力、普段の歩行の特性、運転頻度等について事前にアンケート調査を行った。実験者は、ディスプレイでビデオを再

生した。被験者は、各コミュニケーション方法におけるビデオを視聴し、フェーズ毎にアンケートを実施した。順序として、「支援方法なし」におけるビデオを先に再生した。

3.8.1.6. 評価項目

本実験では、表 3-17 に示される質問内容を用いて被験者の意見を収集した。

表 3-17 実験で用いた質問内容

フェーズ	質問文
1	今、自動運転車がどのような意図を持っていると思いますか？
2	この状況で、車がどのように伝えたら、歩行者は回避しなければならないと思いますか？
3	自動運転車があなたに対してさらに避けてもらいたいと願うとき、自動運転車はあなたにどのように伝えたら良いと思いますか？

3.8.1.7. 実験結果

(1) 自動運転車の意図の理解

フェーズ 1 の質問文から得られた意見を図 3-61 に示す。被験者は、単路部において、後ろから近づいてくる自動運転車と対面した際の歩行者の視線から、停止している自動運転車がどのような意図を持っているかについて回答した。「支援方法なし」条件においては、“進みたい”や“人がいるから止まっている”等、歩行者が走行に邪魔になると認識した意見が得られた。しかし、「視覚・eHMI」と「路面標示」条件では、“わからない”の意見が得られなかった反面、「支援方法なし」では、自動運転車が持つ意図がわからないと答えた人がいた。「視覚・eHMI」では、eHMI が“すすみます”のメッセージを発信したため、被験者 9 名の中 8 名は、自動運転車が進みたがると回答し、残りの 1 名も進むので回避を依頼していることだと回答した。「路面標示」条件においても、“進みたい”の意見が最も多く得られており、標示のおかげで、路面に引かれている線と関わる意見も次に多く得られた。

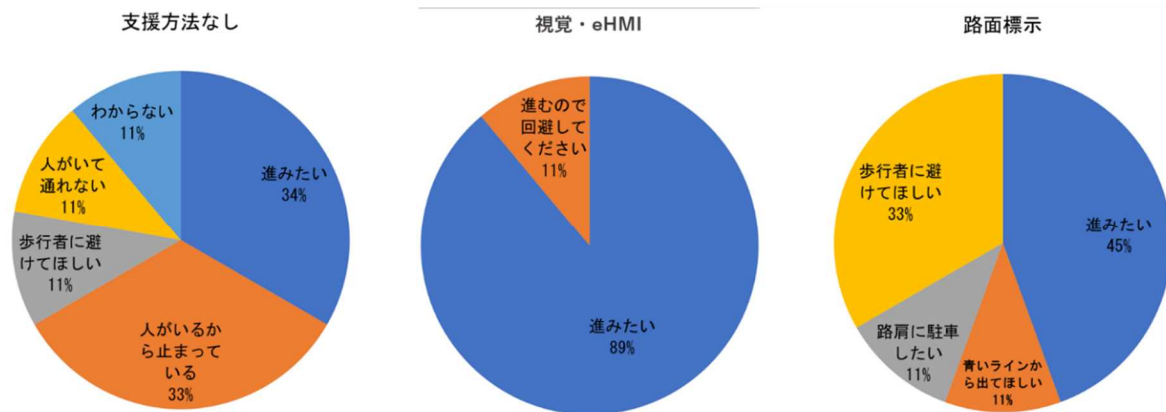


図 3-61 eHMI の有無、種類に基づく横断開始タイミングの分類・割合

(2) 歩行者の回避を促す方法

表 3-15 に示されるフェーズ 2 の質問内容に基づいて、歩行者の回避を促す方法について調査した。質問に対して被験者から得られた結果を表 3-18 に示す。全ての条件において、視覚・eHMI が発信する内容として考えられるメッセージを提案された。全ての条件において、“回避してください（避けてください）” が最も多く提案された。「視覚・eHMI」を経験後も、多くの参加者は、音声でメッセージを発信する条件（以下、聴覚・eHMI）による案内が望ましいと提案した。メッセージとしても、“回避してください” が最も多く提案された。この結果から、歩行者の回避を促すには、“回避してください” のメッセージを視覚と聴覚両方の手段を用いて与えられると考えられる。

表 3-18 フェーズ 2 の実験で得られた意見

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	回避してください（地味に赤）、自動運転中、通ります、避けてください、進みます
	聴覚・eHMI	道を譲ってください、歩道に避けてください、進みます、回避してください、危険です、危ないです
	その他	ランプの点灯、ランプの点滅、ピープ音、クラクション
視覚・eHMI	視覚・eHMI	回避してください、進みます（色の入れ替え）、進めません
	聴覚・eHMI	回避してください、離れてください、危険です、避けてください、進みます
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、ピープ音、クラクション、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、前進できません、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、前進できません、危険です、進みます、避けてください、どの程度離れば良いかにおける案内
	その他	ランプの点滅（青）、音

(3) 歩行者の回避が不十分である場合に回避をさらに促す方法の検討

表 3-15 のフェーズ 3 の質問内容に基づいて、被験者から得られた意見を表 3-19 に示す。歩行者は回避したが、その回避が不十分だった場合に、自動運転車が運行を再開できる距離をあけるため考えられる追加の支援方法を調べた。ここでは、フェーズ 2 の結果と似たような意見が得られた。全ての条件において“回避してください（避けてください）”を入れた案内が多く提案された。代わりに、追加の指示を行うことから、具体的な数値を入れた案内（例： \sim m 離れてください）や繰り返し等の方法も提案された。

表 3-19 フェーズ 3 の実験で得られた意見

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	回避してください（2 回程度繰り返す）、離れください、避けてください（白・黒から赤）、通りますからもう少し避けてください（表示の切り替え）
	聴覚・eHMI	回避してください、もう少し避けてください、 \sim m 以上離れてください、 \sim m 避けてください、端まで避けてください、進みます
	その他	ランプ点滅（赤・黄色）、クラクション、歩行者が安全なところに行くまで警告音を鳴らす
視覚・eHMI	視覚・eHMI	回避してください、進みます（白・黒）、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、 \sim m 以上離れてください、 \sim m 避けてください、もう少し避けてください、もう少し回避してください、進みます
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、警告音、クラクション、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、 \sim m 以上離れてください、 \sim m 離れてください、もう少し避けてください・ご協力お願いします、もう少し回避してください、進みます
	その他	ランプの点滅（赤・黄）、ブープ音（音量高め）、クラクション

3.8.1.8. 考察

本実験では、ビデオ実験を通じて、単路部における円滑な歩車間コミュニケーションを支援する方法を調べた。詳細には、VR 実験上で歩行者目線のビデオを作成し、被験者に視聴させる実験を行った。実験で得られた意見では、後ろから接近した自動運転車と対面した際に、歩行者は、支援方法がなくても自動運転車が“前進したい”の意思を持っていると認識できることがわかった。しかし、「視覚・eHMI」や「路面標示」の条件の結果から、自動運転車の意図を理解するためには、支援方法が提示された方が効果的であることが示唆された。自動運転車が“回避してください”のテキストメッセージを発信する eHMI や聴覚メッセージを発信する eHMI を用いることで、歩行者を路肩に回避させる効果が最も高いと考えられる。さらに、歩行者の回避が不十分である際には、聴覚メッセージの繰り返しや具体的にどこまで避けてほしいかにおける追加案内が効果的だと考えられる。

3.8.2. 「視覚・eHMI」「聴覚・eHMI」「路面標示」を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討

3.8.2.1. 実験目的および概要

本実験では、道の駅周辺の単路部における接近・回避ケースを対象にした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションについて検討した。自動運転車が歩行者の後方から接近する場面を対象に、歩行者の意思決定と行為実行を円滑に促せる支援方法を 3.7.2 節で言及したビデオ視聴実験から得られた結果に基づいて、歩行者に自動運転車の意図を音声で伝達する方法を VR 環境上で実装した。3.7.2 節と同様に、道の駅等での自動運転サービスとして導入されている低速走行の自動運転ゴルフカートを想定して、接近・回避ケースにおけるコミュニケーション方法として、路面標示、テキストメッセージを発信する eHMI、聴覚メッセージを発信する eHMI の 3 つを実装した。過年度の実験において、テキストメッセージを発信する eHMI と路面標示を活用したコミュニケーションについてその効果が得られていることから、本実験では、聴覚メッセージを対象にした支援方法のみを対象にして VR 実験を実施した。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。

3.8.2.2. 実験環境及び装置

本実験は、慶應義塾大学新川崎 K2 タウンキャンパス K 棟 104 号室にて実施した。道の駅等の実証実験の一つである奥永源寺の単路部を VR 環境上で模擬・再現した。その交通場面の例を図 3-62 に示す。車道と歩道の境界が明確でない単路を歩行する被験者の後方から、低速走行する自動運転ゴルフカートが接近してくる場面を設定した。実験では、被験者と自動運転ゴルフカートの間の距離が特定の値未満になったら被験者に警告音を提示して、歩行者に自動運転ゴルフカートの存在を気づかせた。自動運転ゴルフカートは、被験者が回避するまでは停止した状態を維持した。被験者と自動運転車との間の距離が特定の値以上になったら歩行者の存在が自動運転ゴルフカートの通行の妨げにならなくなり、自動運転ゴルフカートの走行が再開した。



図 3-62 VR 環境上で再現した道の駅（奥永源寺）周辺の単路部

3.8.2.3. 実験条件及び実験タスク

被験者は、3.5.1 節で記述した VIVE PRO に視線計測機能が搭載された VIVE PRO EYE を装着して、VR 環境にて再現される交通場面を体験した。ヘッドマウントディスプレイを頭部に装着し、コントローラを手に握り操作して自由に歩行移動することが可能であった。本実験で実装した自動運転ゴルフカートは、“すすみます”と聴覚メッセージを流すことで、歩行者の回避を依頼した。さらに、歩行者の回避が不十分だった場合、“もう少し避けてください”と追加の聴覚メッセージを提示した。本条件は、被験者に聴覚での案内を実施することから「聴覚・eHMI」と記載する。

3.8.2.4. 実験の流れ及び被験者

最初に VR 空間とコントローラの操作に慣れつつ回避の感覚を覚えさせるために後ろから接近してくる自動運転オーナーカーを対象として3回の練習試行を実施した。本実験の対象となるゴルフカート、赤来高原の駐車場、コミュニケーション支援方法に対する経験によって生じる学習効果を抑制するため、練習試行は道の駅芦北でこぼんエリアを再現した交通場面を用意した。また、練習試行では、支援方法は実施されなかった。3つの練習試行を経験してから、本試行を実施した。被験者は、1回目と2回目の本試行では、同じ実験条件を違う道路環境で経験した。3回目から5回目までは、二つの道路環境において「支援方法なし」、「視覚・eHMI」、「路面標示」をランダムに経験した。その後、6回目の試行では、1回目に経験した道路環境において「聴覚・eHMI」条件を体験した。本実験は、単路部でのコミュニケーション支援方法に着目したことから、1回目の試行では、単路での「聴覚・eHMI」条件を経験させた。被験者の

性別と年齢帯は、表 3-20 に示す。

表 3-20 単路部での「聴覚・eHMI」の被験者の年齢構成等の詳細

実験条件	性別	年齢	人数
聴覚・eHMI	男性	20-57 歳、平均 38.75 歳	3
	女性	20-58 歳、平均 40.88 歳	4

3.8.2.5. 評価項目

本実験では、「聴覚・eHMI」による歩行者の回避有無を計測した。また、被験者には、各試行終了後に VR 空間に主観評価アンケートが表示され、各項目について 7 段階のスケールで口頭で回答してもらった。アンケートの内容は、3.8.1 節で述べた実験のアンケートと同様であり、自動運転者の意図の理解における効果、自動運転車への信頼感、自動運転車への不安感、自動運転車への安心感について調べた。

3.8.2.6. 実験結果

道の駅の単路部でのコミュニケーション支援方法を初めて経験した際の心理面を把握するために、1 回目と 6 回目の本試行でのデータを分析した。すなわち、3 回目から 5 回目の本試行のデータは評価の対象として含めてない。表 3-21 は、1・2 回目の本試行後のアンケートで得られた各評価項目の平均と標準偏差（括弧）を示す。

表 3-21 単路部における「聴覚・eHMI」条件でのアンケート評価

試行	理解度	信頼感	不安感	安心感
1 回目	2.29 (1.7)	2.86 (1.57)	2.58 (1.4)	3 (1.53)
6 回目	1.72 (0.95)	3.29 (0.76)	2.72 (0.95)	3.74 (1.38)

不安感の評価では、数値が高いほど、歩行者は自動運転車に対して不安を感じたことを示す。それ以外の評価項目では、評価が高いほど、肯定的であることを意味する。本実験では、回避を行ってない被験者が 1 人（1 回目）確認された。しかし、試行を体験し続けることで、6 回目の走行では、きちんと回避を行った。過去に用いた支援方法である、「視覚・eHMI」や「路面標示」の条件では、回避行動を行ってない被験者も多く見られている。このことから、聴覚メッセージを発信することによって歩行者の回避が促せると考えられる。自動運転車の意図の理解における質問において（理解度）、1 回目より 6 回目の評価が低いことが確認された。また、大きな違いは見られてないが、不安感をより感じる傾向が見られた。一方で、自動運転車に対する信頼感と安心感の評価は高くなった。本実験のアンケートは、1 から 7 までの範囲で評価されていることから、「聴覚・eHMI」条件は、歩行者の心理要因や理解に肯定的に影響されてない可能性が示唆された。

3.8.2.7. 考察

本実験では、道の駅の単路部を想定して、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートと歩行者間のコミュニケーションを支援する方法を検証した。本実験では、“すすみます”のメッセージを歩行者に伝える支援方法を採用し、VR環境上で実装した。過去に調べたテキスト発信や路面標示の支援方法に比べて、回避行動を行った歩行者数が多く見られて、1名以外は、全員回避したことが確認された。聴覚メッセージを発信することで、歩行者の回避を促すことができると期待される。アンケートを用いた主観評価では、自動運転車の意図における理解と不安感に関してポジティブな印象は得られなかったが、コミュニケーションを体験し続けることで歩行者が自動運転車をより信頼できつつ安心だと感じる可能性が示唆された。しかし、本実験で用いたアンケートが過去の実験で用いたアンケートと異なる評価形式を採用したことから、各項目を直接比較することは難しい。今後の実験では、アンケート内容を統一し、他の実験条件と直接比較できる実験設計が考えられる。

3.8.3. ビデオ視聴を通じた自動運転車から交通参加者へのコミュニケーションに支援方法関する検討

3.8.3.1. 実験目的

3.8.1 節で述べた単路のケースと同じく、道の駅を拠点とした自動運転サービスの展開を想定し、2020年度から、駐車場を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションのあり方について取り組んできた。自動運転車の接近と歩行者の適切な回避を促せる支援方法を提案するため、本調査では、後ろから接近する自動運転車と遭遇した際の歩行者の印象と、望ましい支援の手がかりについて調べる。具体的には、歩行者が自動運転車の意図を理解でき、適切かつ十分な回避行動を取るために、自動運転車が伝えるべき内容やそれを伝えるモダリティに関する意見を収集した。

3.8.3.2. 実験装置および被験者

慶應義塾大学理工学部 K2 キャンパス K 棟 104 号室にて実験を実施した。3.5.1. 節で記述した VR 装置を用いて、赤来高原の駐車場を実装し、歩行者の後ろから接近してくる自動運転ゴルフカートに気づいて振り向く場面を録画した。ビデオを視聴させるため、Panasonic 社製の Let' s note でビデオを操作し、Dell 社製 24 インチモニターを用いてビデオを表示した。本実験では、運転免許を有している男子 5 名・女子 4 名が参加した。被験者は、3.7.2 節の単路部におけるコミュニケーション方法の調査の実験にも参加した。

/

3.8.3.3. 実験タスク

本実験のタスクは、3.7.2. 節で記述した実験のタスクと同じであり、被験者にビデオを視聴して頂き、ビデオの交通場面における被験者の意見を収集した。被験者は、歩行者が振り向いて路肩に移動するまでの流れを視聴した後、さらに移動を求められる際にはどこまで移動するか、及び、その際にはどのような案内が与えられた方が良いかにおいて回答した。ビデオの再生や追加移動までのコマ送り操作等は、実験者が実施した。

3.8.3.4. 実験条件および構成

本実験の条件と構成は、3.8.1 節のビデオ視聴実験で実施した内容と同様である。実験条件は、「支援なし」、「視覚・eHMI」、「路面標示」の 3 つを設定し、赤来高原の道の駅の駐車場を模擬した交通場面を対象として実験を実施した。また、3.8.1 節の実験と同じく、青いポータルに向かって前方に歩く歩行者の視点でビデオを再生した。ビデオを視聴している間に、3 つのフェーズ（1・

2・3) においてインタビューを行った(3.8.1.6 参考)。また、3つのフェーズは、全ての実験条件において実施された。

3.8.3.5. 実験手続き及び評価項目

3.8.1.4 節で述べたプロトコルと同じ手続きで実験を実施した。被験者は、各コミュニケーション方法におけるビデオを視聴し、フェーズ毎にアンケートを実施した。順序として、「支援方法なし」におけるビデオを先に再生した。また、表 3-15 用いたアンケートを使って被験者の意見を収集した。

3.8.3.6. 実験結果

(1) 自動運転車の意図の理解

フェーズ 1 の質問文から得られた意見を図 3-63 に示す。被験者は、後ろから近づいてくる自動運転車と対面した際の歩行者の視線から、停止している自動運転車がどのような意図を持っているかについて回答した。「支援方法なし」条件においては、“わからない”や“ただ止まっている”の意見が得られた反面、「視覚・eHMI」と「路面標示」条件では、自動運転車の意図が完全に把握できないような意見はなかった。「視覚・eHMI」では、eHMI が“すすみます”のメッセージを発信したことから、多くの被験者は、自動運転車が進みたがると回答した。「路面標示」条件では、表示のおかげで、路面に引かれている線と関わる意見が得られた。全体的な傾向として、主体が自動運転車である意見(例：進みたい)が得られた。

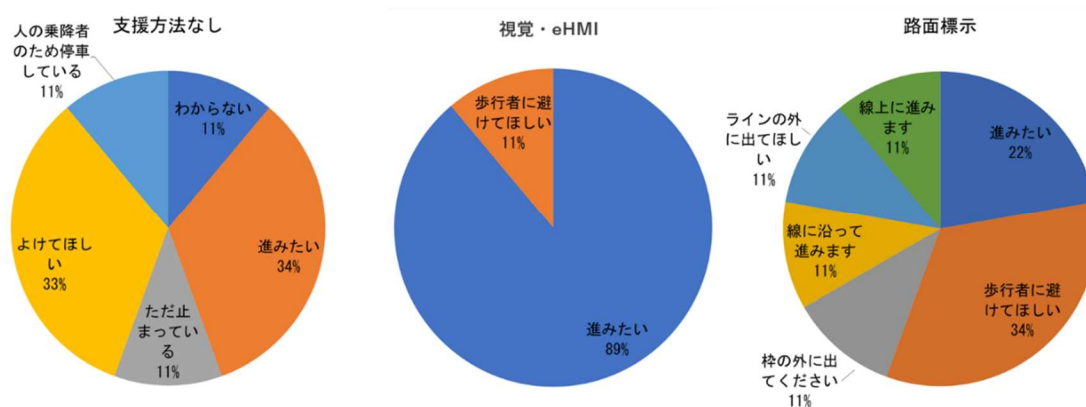


図 3-63 各 eHMI における横断開始タイミング別割合

(2) 歩行者の回避を促す方法

表 3-15 フェーズ 2 の質問文を用いて、歩行者の回避を促す方法について調べた。得られた結果を表 3-22 に示す。「支援なし」の条件では、視覚・eHMI が発信するメッセージにおいて多様な意見が提案された。全ての条件におい

て、“道を譲ってください”と“回避してください（避けてください）”が最も多く提案された。さらに、多くの被験者から、聴覚による案内が求められた。この結果から、視覚と聴覚両方の刺激を用いた案内が、歩行者の適切な回避を促せる可能性が示唆された。

表 3-22 フェーズ 2 の意見まとめ

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	道を譲ってください、危険です、回避してください、自動運転中、通ります、避けてください
	聴覚・eHMI	道を譲ってください、歩道に避けてください、進みます
	その他	ランプの点灯、ランプの点滅、クラクション
視覚・eHMI	視覚・eHMI	すすみます（色の入れ替え）
	聴覚・eHMI	離れてください、危険です、危険ですので避けてください、もう少し避けてください、すすみます、避けてください
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、ビープ音、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、前進できません、すすみます（点滅）
	聴覚・eHMI	回避してください、回避してくださいすすみます、危険です、前進できません、危険ですので避けてください、すすみます、歩道まで避けてください
	その他	ランプの点滅（青）

(3)回避が不十分である際のさらなる回避を促す方法

歩行者の回避が不十分だった際、自動運転車が運行を再開できる距離をあけるため考えられる追加の案内方法を調べた。表 3-23 は、表 3-15 フェーズ 3 の質問文を用いて被験者から得られた意見を表す。フェーズ 2 の結果と同様に、全ての条件において“回避してください”や“避けてください”を入れた案内が多く提案された。十分な回避を促すためには、“もう少し”や“少し”を文頭に付けた案内が望ましいと考えられる。

表 3-23 フェーズ3の意見まとめ

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	回避してください、自動運転中、通りますからもう少し避けてください（表示の切り替え）
	聴覚・eHMI	回避してください、すすみます、避けてください、~m以上離れてください、もう少し距離が必要です、もう少し避けてください
	その他	ランプ点滅（赤・黄色）、クラクション、ピープ音、目に見えるラインでどこまで離れた方が良いかを示す方法
視覚・eHMI	視覚・eHMI	回避してください、すすみます（白・黒）
	聴覚・eHMI	回避してください、~m以上離れてください、もう少し避けてください、少し回避してください
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、ピープ音、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、離れてください（赤・黄）、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、~m以上離れてください、もう少し避けてください、少し回避してください、すすみます
	その他	ランプの点滅（赤・黄）、ピープ音（音量高め）

3.8.3.7. 考察

本実験では、道の駅を拠点とした駐車場で起こりうる歩行者と自動運転車間のコミュニケーションを支援する方法を提案するため、歩行者の視点から自動運転車とインタラクションする場面をシミュレーションし、そのビデオを視聴させる実験を実施した。ビデオ視聴後得られた意見をまとめた結果、後ろから接近した自動運転車と対面した際に、テキストメッセージを発信する方法と路面に走行ルートを表す方法も歩行者が自動運転車の意図を理解させるには効果的である可能性が示された。また、歩行者を路肩に回避させるには、聴覚による案内とテキストを提示する eHMI についても効果が期待される。二つのモダリティについて最も多く意見が得られたのは、“回避してください”であ

った。さらに、回避が不十分である際には、“もう少し”等の副詞を足した案内によって、自動運転車の運行を再開できる程度に歩行者の回避が促せると考えられる。このことから、自動運転車がこれから取りたい行動を示すより、歩行者が取るべき行動について案内した方が歩行者の適切な回避を促せると期待できる。

3.8.4. 「視覚・eHMI」「聴覚・eHMI」「路面標示」を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討

3.8.4.1. 実験目的および概要

3.8.1 節に続いて、道の駅の駐車場を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションについて取り組んだ。本実験では、駐車場において、自動運転車が歩行者の後ろから接近した場合、歩行者の意思決定と行為実行を円滑に促せる支援方法について調べる。3.8.1 節の結果では、自動運転車から歩行者に聴覚メッセージを発信することで、円滑かつ安心なコミュニケーションが取れる可能性が示唆された。このことから、3.7.3 節と同じく、道の駅に導入されている低速走行自動運転ゴルフカートを想定して、路面標示、視覚・eHMI、聴覚・eHMI の 3 つのコミュニケーション支援方法を検討する。過去の実験でテキストを発信する eHMI と路面標示の結果が得られていることから、本実験では、VR 機器を用いて聴覚メッセージを発信する支援方法のみを実装した。

3.8.4.2. 実験環境及び装置

本実験は、慶應義塾大学理工学部 K2 キャンパス K 棟 104 号室で実施した。図 3-64 は、VR 機器を用いて道の駅の赤来高原の駐車場を VR 環境上で模擬した画面を示す。詳細には、駐車場内を歩行する被験者の後ろから、低速で走行する自動運転ゴルフカートが接近してくるよう設定した。3.8.1 節で述べた内容と同じく、被験者との距離が一定未満になったら、自動運転ゴルフカートはクラクションを鳴らして、被験者に後続してくるゴルフカートの存在を気づかせた。ゴルフカートは、被験者が回避するため停止したまま待機した。回避が終わったら、ゴルフカートは走行を再開した。



図 3-64 VR 環境上で実装した赤来高原の駐車場

3.8.4.3. 実験条件、実験タスク

この VR 実験は、3.8.1 節で記述した単路での実験と一部を共有していることから、実験条件とタスクの情報は同様である。自動運転カートは、“道をあけてください”と聴覚メッセージを流すことで、歩行者の回避を依頼した。さらに、歩行者の回避が不十分だった場合、“もう少し避けてください”と追加の聴覚メッセージを流した。

3.8.4.4. 実験の流れと被験者

最初に VR 空間とコントローラの操作に慣れつつ回避の感覚を覚えさせるために後ろから接近してくる自動運転オーナーカーを対象として2回の練習試行を実施した。本実験の対象となるゴルフカート、赤来高原の駐車場、コミュニケーション支援方法に対する経験によって生じる学習効果を抑制するため、練習試行は道の駅芦北でこぼんエリアを再現した交通場面を用意した。また、練習試行では、支援方法は実施されなかった。3つの練習試行を経験してから、本試行を実施した。被験者は、1回目と2回目の本試行では、同じ実験条件を違う道路環境で経験した。3回目から5回目までは、二つの道路環境において「支援方法なし」、「視覚・eHMI」、「路面標示」をランダムに経験した。その後、6回目の試行では、1回目に経験した道路環境において「聴覚・eHMI」条件を体験した。本実験は、駐車場でのコミュニケーション支援方法に着目したことから、1回目の試行では、駐車場での「聴覚・eHMI」条件を経験させた。被験者の性別と年齢帯は、表 3-24 に示す。

表 3-24 「聴覚・eHMI」条件の被験者の年齢構成等の詳細

実験条件	性別	年齢	人数
聴覚・eHMI	男性	20-57 歳、平均 38.75 歳	8
	女性	20-58 歳、平均 40.88 歳	9

3.8.4.5. 評価項目

本実験では、「聴覚・eHMI」による歩行者の回避有無を計測した。また、被験者には、各試行終了後に VR 空間に主観評価アンケートが表示され、各項目について 7 段階のスケールで口頭で回答してもらった。アンケートの内容は、3.8.1 節で述べた実験のアンケートと同様であり、自動運転者の意図の理解における効果、自動運転車への信頼感、自動運転車への不安感、自動運転車への安心感について調べた。

3.8.4.6. 実験結果

道の駅の駐車場でのコミュニケーション支援方法を初めて経験した際の心理面を把握するために、3.8.1 節と同じく、1 回目と 6 回目の本試行でのデータを分析した。すなわち、3 回目から 5 回目の本試行のデータは評価の対象として含めてない。表 3-25 は、1・2 回目の本試行後のアンケートで得られた各評価項目の平均と標準偏差（括弧）を示す。

表 3-25 駐車場エリアにおける「聴覚・eHMI」条件でのアンケート評価

試行	理解度	信頼感	不安感	安心感
1 回目	1.5 (0.53)	3 (1.07)	3.38 (1.51)	4.25 (0.46)
6 回目	1.63 (0.74)	3.75 (0.88)	2.25 (0.89)	4.25 (0.46)

不安感の評価では、数値が高いほど、歩行者は自動運転車に対して不安を感じたことを示す。それ以外の評価項目では、評価が高いほど、肯定的であることを意味する。本実験では、回避を行ってない被験者が見られなかった。過去の実験で用いた支援方法（視覚・eHMI、路面標示）では回避行動を行ってない被験者も確認されたことから、聴覚メッセージを発信することによる歩行者の回避の効果があると考えられる。各アンケート評価項目の平均と標準偏差を確認した結果、安心感以外は、1 回目と 6 回目の試行後の評価の違いが見られた。1 回目の試行と比べて、6 回目の試行後の評価では、自動運転車の意図を理解するためにより効果的（理解度）であったと回答した。しかし、被験者は、本項目に対する評価がそもそも低いことから（1 から 7 まで評価）、メッセージ内

容等の修正が考えられる。信頼感の評価も同じく、6回目の評価が高くなったのにも関わらず、評価が4未満であることから、「聴覚・eHMI」はあまり信頼されてないことがわかる。不安感については、1回目と比べて6回目の試行後に多少評価が肯定的に変わったことがわかる。歩行者の安心感は、最初から評価が中立であり、最後の評価と違いが見られなかった。

3.8.4.7. 考察

本実験では、駐車場において、歩行者の後ろから接近してくる自動運転車とのコミュニケーションを支援する方法をVR環境で実装し、歩行者に聴覚メッセージを発信することで歩行者の回避行動を促せる効果が示唆された。本実験の結果では、歩行者のポジティブな印象を引き出すには効果が限られているが、自動運転車とのコミュニケーションを体験し続けることによって、「聴覚・eHMI」条件における評価がよりポジティブになる傾向が確認された。このことから、道の駅を拠点とした駐車場エリアにおいて、持続的な歩車間コミュニケーションに聴覚の案内を与えることで効果が確認される可能性が示唆された。一方で、3.7.2.7で述べた通りに、本実験では、過去の実験で用いたアンケートと異なる評価項目を用いたことから、直接比較が難しい。今後の実験では、アンケート内容を統一し、他の実験条件と直接比較できる実験設計が考えられる。

3.8.5. 視覚と聴覚の eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討

3.8.5.1. 実施目的

道の駅を拠点とした自動運転サービスの展開を想定し、2020年度から、単路を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションのあり方について取り組んできた（3.7.2節・3.7.3節参照）。これまでの実験は、直進している歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートと歩行者の間のコミュニケーションを支援する方法を探求してきた。具体的には、自動運転ゴルフカートにおける知識を有していない歩行者が自動運転カートを初めて見た場合、歩行者が自動運転カートの意図を正しく理解させるためのコミュニケーションの手がかりについて調べた。

過去の実験から、路面標示も歩行者の回避を促す効果のあるコミュニケーション支援方法であることが観測された。しかし、自動運転車両そのものの挙動に対する理解を促すには乏しい、及び、歩行者のポジティブな印象を導けなかった。このことから、本実験では、歩行者の視覚と聴覚に刺激を与える eHMI を実装し、二つの実施方法と eHMI が発信するメッセージの内容が自動運転カートに対する歩行者の認識に与える影響を調査する。

3.8.5.2. 実験装置

3.5.1.2節に記述した内容と同様の VR 仕様を用いて、慶應義塾大学矢上キャンパス 14 棟 B203 号室、及び 24 棟 609 号室にて実験を実施した。

3.8.5.3. 実験タスクおよび条件

図 3-65 に VR 上の実験環境を示す（3.5.1.2 節で用いた実験装置と同様）。実験環境と実験におけるタスクは、2021 年度に実施した iv の実験と同一である。2021 年度に実施した実験では、路面標示・路面投影・テキストメッセージを発信する eHMI をコミュニケーション支援方法として用いた。本実験では、無人の自動運転ゴルフカートを実装し、テキストメッセージを発信する視覚・eHMI と聴覚メッセージを発信する聴覚・eHMI を設定した。さらに、歩行者の移動を促すため、“すすみます”と“道を開けてください”の二つのメッセージを設定した。図 3-66 は、本実験の条件を示す。本実験では、eHMI のみをコミュニケーション支援方法として考慮していることから、支援方法を提示していない条件は、「eHMI なし」条件と表記する。



図 3-65 VR 環境上で実装した道の駅の奥永源寺の単路



図 3-66 コミュニケーション支援方法

3.8.5.4. 実験被験者（以下、被験者）

被験者の性別や年齢は表 3-26 被験者の年齢構成等の詳細に、実験条件の構成は表 3-27 実験因子に基づく 5 つの被験者群に示される通りである。

表 3-26 被験者の年齢構成等の詳細

性別	年齢	人数
男性	21-59 歳、平均 40.2 歳	20
女性	20-57 歳、平均 41.08 歳	25

表 3-27 実験因子に基づく 5 つの被験者群

コミュニケーション支援方法	人数
eHMI なし	9
視覚・eHMI “すすみます”	7
視覚・eHMI “道を開けてください”	11
聴覚・eHMI “すすみます”	9
聴覚・eHMI “道を開けてください”	9

3.8.5.5. 実験の流れ

最初に VR 空間とコントローラの操作に慣れつつ回避の感覚を覚えさせるために後ろから接近してくる自動運転オーナーカーを対象として3回の練習試行を実施した。本実験の対象となるゴルフカート、奥永源寺の単路、コミュニケーション支援方法に対する経験によって生じる学習効果を抑制するため、練習試行は道の駅芦北で、こぼんエリアを再現した交通場面を用意した。また、練習試行では、支援方法は実施されなかった。3つの練習試行を経験してから、表 3-28 実験の流れのように実験を実施した。被験者には、本試行1で体験させて条件を最後の本試行6で再度体験させた。本試行2から5までは、本試行1で体験した条件ではない他の実験条件をランダムイズして体験させた。

表 3-28 実験の流れ

順番	内容	所要時間
1	フェイスシート・同意書作成	10分
2	練習1	3分
3	練習2	3分
4	練習3	3分
5	本試行1	5分
6	本試行2	5分
7	本試行3	5分
8	本試行4	5分
9	本試行5	5分
10	本試行6（本試行1と同じ条件）	5分

3.8.5.6. 評価項目

被験者には、年齢、性別、視力、普段の歩行の特性、運転頻度等について事前にアンケート調査を行った。各試行終了後に VR 空間に主観評価アンケートが表示され、被験者に回答させた。本試行を伴う回答にするために理由も合わせて回答させた。

後ろから近づいてくる自動運転カートに対し、歩行者が早く回避してくれるコミュニケーション支援方法を調べることから、アンケート調査では、自動運転カートに対する被験者の信頼感と不安感について調査した。

3.8.5.7. 実験結果

後方から接近してくる自動運転ゴルフカートに歩行者が気づいて、その後、歩行者が行った行動を分類した。その結果を図 3-67 に示す。コミュニケーション支援方法を初めて経験した際の心理面を把握することから、本試行 2 から 5 までのデータは評価の対象として含めていない。

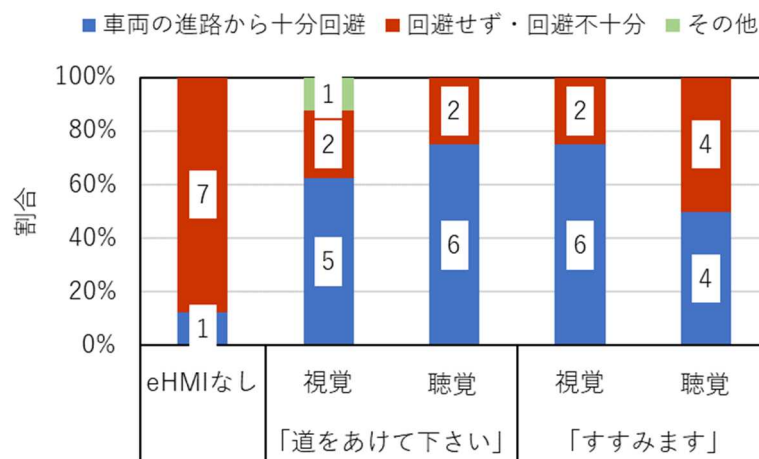


図 3-67 後ろから近づいてきた自動運転カートに対する歩行者の行動

本実験では、その他の歩行者以外の参加者は、後ろに止まっている自動運転車両に振り向いてから行動を行ったことが確認された。ここで、多くの被験者が自動運転ゴルフカートが電磁誘導線上から外れて自動運転できないことを知らないことが考えられる。詳細には、回避を行ってない・回避を行って不十分だったケースは、「eHMI なし」の条件で最も多く見られた。気づいて振り向くと自動運転ゴルフカートが停止状態であるため、何を訴えているのかわからなかった可能性がある。

メッセージとしては、“すすみます” だけでは回避行動を取るまでに至らないことが観測され、“道をあけて下さい” のような具体的な指示が、歩行者にわかりやすく伝わっている可能性がある。聴覚と視覚の二つのモダリティを用いたが、「聴覚・eHMI」回避を促した反面、聞き漏らすと要求をすぐ認識できない懸念がある。しかし、迅速な回避行動を促せる可能性がある。また、テキストを発信する視覚・eHMI は、常に表示されているが、経験がなく、メッセージをすぐに認識できない可能性がある。しかし、自動運転車がメッセージを提示することで、後でも確認できることがメリットとして考えられる。

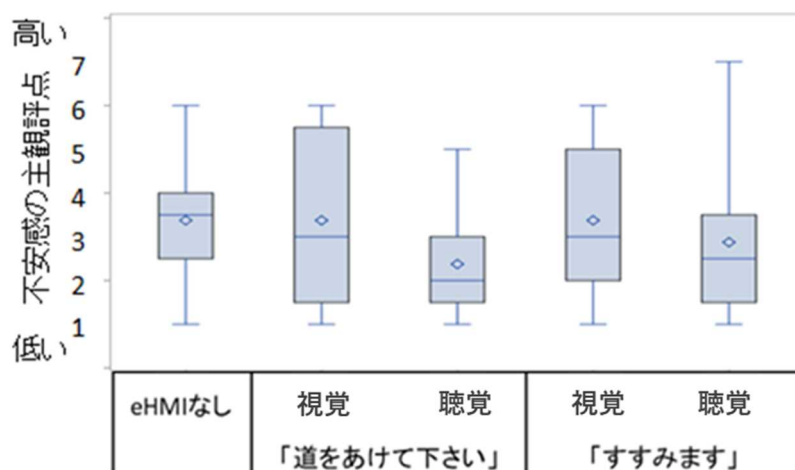


図 3-68 自動運転カートに対する参加者の不安感

1回目の試行直後において被験者が自動運転ゴルフカートに対して抱いた不安感の程度を図 3-68 に示す。数値が大きいほど、歩行者は不安を感じたことを意味する。「聴覚・eHMI」の条件では、初見での個人差が小さく、不安感も低いことが確認された。しかし、実験後に、行動を強制されていると感じたと報告があったことから、文言に留意する必要がある。続いて、「視覚・eHMI」では、「聴覚・eHMI」と比べてより不安を感じると評価された。この結果は、初見のデータを用いたことから、今まで経験したことのないモダリティに対する不安が反映されている可能性が高い。聴覚での案内は、普段の生活にもよく用いられているが、自動車がパネルを介してメッセージを発信することは、あまりされてない。そのため、「聴覚・eHMI」より不安感が高く評価された可能性がある。

3.8.5.8. 考察

本 VR 実験では、狭路でのコミュニケーション場面において、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートと歩行者の間の適切なコミュニケーション支援方法を検討した。4つのコミュニケーション支援方法を実装した結果、歩行者の初見に最もポジティブな印象を与える方法は、自動運転カートが“道を開けてください”を発信した場合であった。“道を開けてください”は、歩行者の回避を促すために設定されたメッセージである。一方で、“すすみます”は、自動運転車両の意図に対する歩行者の適切な理解を促すには限界があることが確認された。実施方法としては、聴覚メッセージを用いた方法は馴染みはあるが、行動を強制されている印象を与える可能性があり、視覚刺激を用いた方法は不慣れで不安を感じさせるが、時間をかけて自動運転車に対する意図を考えられることが期待される。このことから、“道をあけて下さい”のメッ

セージを用いた支援方法が、初見でも、他の条件に比べても歩行者にポジティブな印象を与えられる可能性が示唆された。

3.8.6. 本節のまとめ

道の駅等を拠点とした自動運転サービスで想定されるコミュニケーション場面である単路部での歩車間コミュニケーションを支援する方法が必要とされている。本節では、前方に向けて歩いている歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの接近・回避のコミュニケーションユースケースに着目し、円滑なコミュニケーション支援方法を提案、及び、検証した。VR環境で奥永源寺の単路部をシミュレーションして得られた結果を下記にまとめる。

- ビデオ視聴実験の結果、歩行者が自分の後ろに止まっている自動運転車両と遭遇した際、支援方法（視覚・eHMI、路面標示）の提示が自動運転車両の意図における歩行者の把握を導けると考えられる。また、歩行者の回避を促すための方法として、歩行者に向けて聴覚・視覚メッセージを発信する支援方法が最も多く提案され、その中でも“回避してください”のメッセージが多く提案された。歩行者が回避したが、それが十分ではない場合、“もっと”や具体的な数値を入れた聴覚での案内が必要だと提案された。
- 自動運転車両が“すすみます”の聴覚メッセージを発信する支援方法を模倣し、VR実験を行った結果、聴覚メッセージの発信は、過去の実験で用いてテキストメッセージの発信や路面標示の支援方法より歩行者の回避を促すために効果があると考えられる。また、自動運転車両とのコミュニケーションを続けることが、自動運転車両に対する歩行者の心理状態の変化にポジティブな影響する可能性がある。
- 聴覚と視覚の二つのモダリティと、自動運転車の行為を表すメッセージと歩行者に行為を促すメッセージの二つの類をVR実験で実装した結果、聴覚・eHMIは、歩行者の迅速な回避を促すことと、視覚・eHMIは、時間をかけて自動運転車両の意図を考えられるメリットがあると期待される。また、“道をあけてください”等、行動を指示するメッセージの方が、初見においても、自動運転車両に対する歩行者のポジティブな印象適切な回避を促せるメッセージであると考えられる。

3.9. vii.自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案

3.9.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーションに関する検討

3.9.1.1.実験目的

3.5.1 節では、自動運転車が周囲を十分に検知できない状況に至った場合にテキストメッセージを消灯することで歩行者の注意を喚起し、負の影響を改善する方法とその効果について言及した。テキストを消灯することの効果は、“とまります”を発信する eHMI のみ限定されており、また、歩行者の一時的な注意喚起を促進することを確認できたが、その効果は十分とは言えず、自動運転車両がなぜテキストを消灯したのかを理解させるまでには至っていない。そこで本実験では、自動運転車の機能と限界における情報を事前知識として歩行者に与え、事前教育による負の影響の改善に関わる事前検討を実施した。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。

3.9.1.2.実験装置および実験方法

実験装置ならびに実験方法は、基本、3.5.1 節と同様であった。慶應義塾大学矢上キャンパス 14 棟 B203 号室もしくは 24 棟 609 号室において、3.5.1.2 節に記述した VR 機材、VR 環境を利用して実験を実施した。

3.9.1.3.事前教育

負の影響を改善するために、被験者に自動運転車の機能と限界における知識を与える事前教育を実施した。本実験では、被験者に無信号横断歩道での横断を体験させることから、事前教育では、本実験で体験する自動運転車が eHMI を介してテキストメッセージを発信することと発信メッセージの例、自動運転車のセンシング機能の機能限界と故障が発生することを事例と合わせて説明した。本実験で用いた事前教育の資料を図 3-69 に示す。事前教育にて与える知識を被験者が十分に理解できているかを確認するために、自動運転車の機能と限界に関わるクイズ（テスト）を実施した。

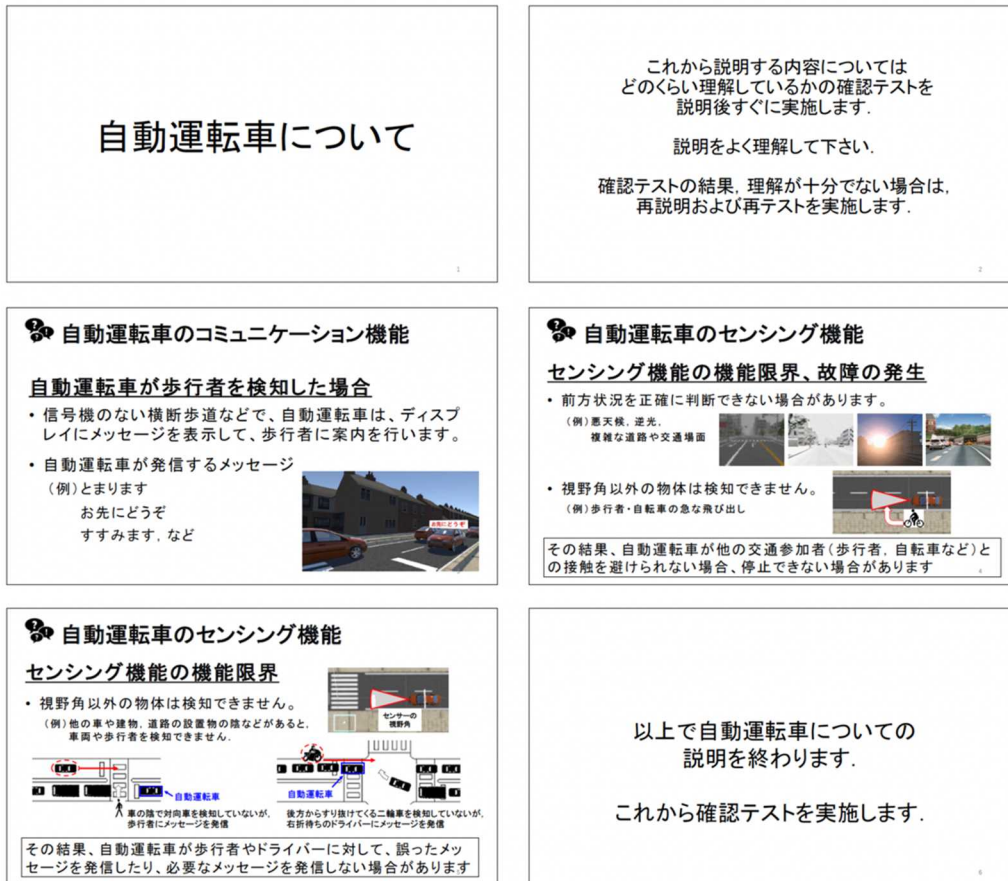


図 3-69 事前知識を与えるための資料

3.9.1.4. 被験者

被験者は運転免許を保有する非高齢者 33 名であり、表 3-29 に示されるように、実験条件に基づく被験者グループの間で年齢、性別などがおおむね均一となるように設定した。

表 3-29 各条件の被験者の年齢構成等の詳細

テキストメッセージ	性別	年齢	人数
事前知識 + お先にどうぞ	男性	20-57 歳、平均 38.75 歳	8
	女性	20-58 歳、平均 40.88 歳	9
事前知識 + とまります	男性	27-59 歳、平均 42.88 歳	8
	女性	20-58 歳、平均 38.5 歳	8

3.9.1.5. 実験の流れ

事前教育の資料を用いて自動運転車の機能と限界について被験者に事前知識を与えた後、それらに関する被験者の理解を確認するために自動運転車の機能と限界に関わるテストを実施した。理解が不十分であると判断される場合には、再度テストを実施して自動運転車の機能と限界に関わる事前知識を理解させるとともに確認した。実験の手続きは、3.5.1 節の構成と同一であった。

3.9.1.6. 実験結果

本実験では、3.5.1.11節と同様に、交通場面②での被験者の判断や行動の特徴を分析する。事前知識による負の影響の改善効果を確認するために、2020年度の実験結果ならびに3.5.1節の実験結果を再掲している。被験者が横断を開始した後に見通しの悪い箇所を含めて左右確認を行ったかどうかの行動を分析した。その結果を図3-70に示す。3.4.1節の実験では、テキスト消灯が“とまります”を発信する視覚・eHMIのみに歩行者の左右確認を促した反面、本実験では、“お先にどうぞ”を発信する視覚・eHMIとのコミュニケーション時と同様な効果が観測された。また、「事前教育・とまります」（図中では「教育・とまります」）については、「テキスト消灯型・とまります」と同様に、歩行者の左右確認を促せる効果があると考えられる。

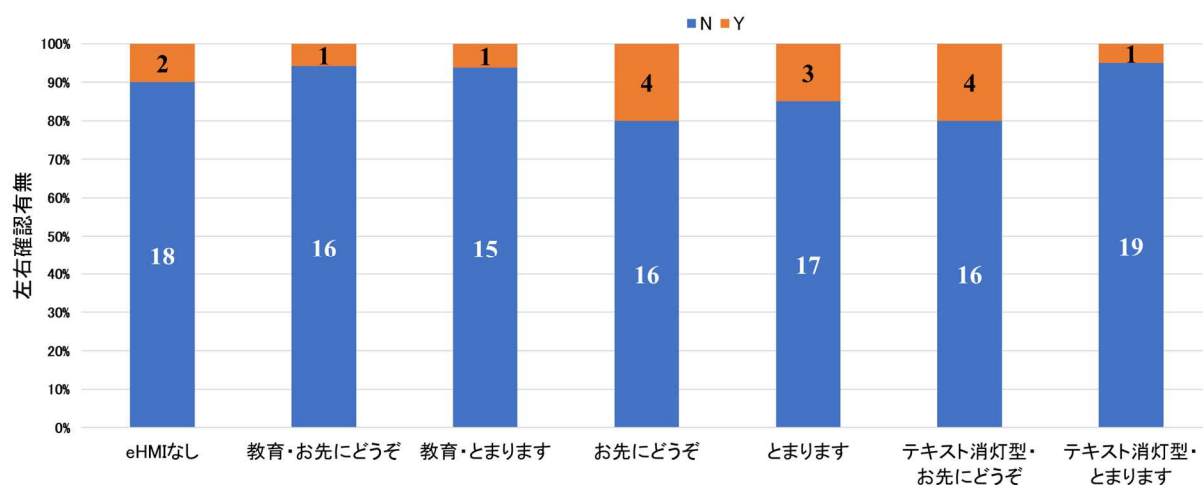


図 3-70 横断時の左右確認有無

横断途中で被験者が見通しの悪い箇所を確認するために一旦停止したかどうかを分析した。その結果を図3-71に示す。左右確認行動の結果と同様に、“お先にどうぞ”のメッセージを発信するeHMIにおいて、「テキスト消灯型」より一旦停止した参加者の数が多いことが確認された。しかしながら、“とまります”のメッセージを発信する場合は、「テキスト消灯型」より一旦停止を行わない被験者は若干増加した。

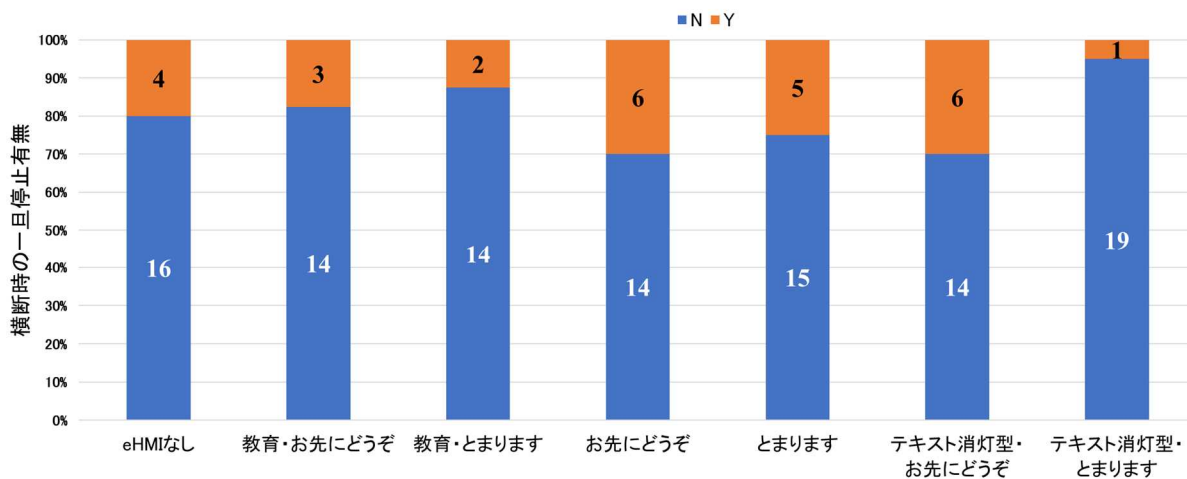


図 3-71 横断時の一旦停止有無

被験者の横断時の対向車線の手動運転車との間にニアミスもしくは接触が発生したかを分析した。その結果を図 3-72 に示す。「事前教育・お先にどうぞ」条件ではニアミスもしくは接触が 2 件発生したが、「テキスト消灯型・お先にどうぞ」での 8 件よりもニアミスや接触の発生件数が少ない結果となった。同様に「教育・とまります」条件においてもニアミスもしくは接触の発生件数は 2 件であった。これらの結果から、事前知識を歩行者に与えることで、横断中における見通しの悪い箇所に対して歩行者に注意を向けさせる効果があることが確認された。

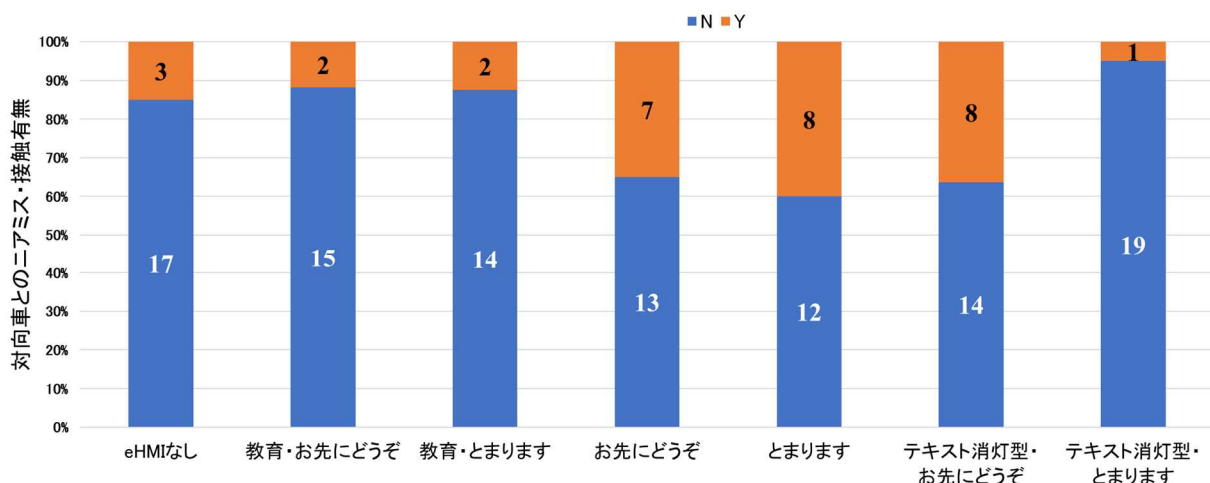


図 3-72 横断時の対向車とのニアミス・接触有無

3.9.1.7. 考察

本実験では、無信号横断歩道において、eHMIを介した自動運転車と歩行者の間のコミュニケーションに取り組み、自動運転車の機能に対する知識の有無が歩行者の横断行動に与える影響について調べた。事前知識を与える資料を作成、過去の実験と同じVR実験環境を実装して被験者実験を実施した結果、事前知識を与えることで、負の影響が改善できる可能性が示唆された。具体的には、eHMIのメッセージを消灯する改善方法を実装した際には、“とまります”を発信するeHMIにしか改善効果が見られなかった。一方で、事前教育を受けた歩行者には、メッセージの種類と関係なく、周囲を確認しつつ対向車との接触を防げる傾向が見られた。このことから、自動運転車の機能とその限界を知ることによって、自動運転車とのコミュニケーションを積み重ねることによる負の影響が改善できる可能性が示された。今後の課題として、歩行者において最も役に立った情報の精査や心理要因の精査が考えられる。

3.9.1.8. 本節のまとめ

eHMI を介した自動運転車両とのコミュニケーションを続けることで、負の影響が発生されることが観測された。3.5.1 節では、eHMI のテキストを消灯する支援方法を取り組み、その効果を分析した。本節では、その結果に基づき、歩行者に事前教育を実施し、教育による効果を調べた。VR 実験を実施する前に、自動運転車両の機能と限界について説明を行い、説明した内容に基づいてクイズを実施した。テキスト消灯型支援方法は、とまります” のメッセージを伝達する自動運転車両だけに効果が確認されたが、事前教育を行った結果、メッセージの種類に関わらず負の影響が改善できる効果が見られた。このことから、歩行者に自動運転車両ができることとできないことにおける知識を理解してもらうことで、負の影響が改善できることが期待される。

3.10.viii.論文投稿・掲載を含む研究成果の公表

3.10.1. 各研究項目について、NEDO 研究にて得られた成果を社会に還元する目的で、論文投稿に取り組み、論文発表、国際会議等を含む学会等への成果発表を行った（表 3-30 参照）。

表 3-30 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2021/6/14- 6/16	Proceedings of the International Ergonomics Association (IEA2021), Vancouver (Online), pp.718-725, 2021/06	Negative Effect of External Human Machine Interfaces in Automated Vehicles on Pedestrian Crossing Behaviour: A Virtual Reality Experiment	Keio University Jieun Lee Tatsuru Daimon National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Satoshi Kitazaki
2021/6/14- 16	Proceedings of the International Ergonomics Association (IEA2021), Vancouver (Online)	Interaction between low-speed automated vehicles and other road users in field operational test in Japan	Keio University Masahiro Taima Tatsuru Daimon
2021/6/26- 28	Education and New Developments (END2021)	Verification of Affordance Effect of Automated vehicle HMI in the VR Environment	Polytechnic University Maki Arame Junko Handa Kumamoto University Yoshiko Goda Keio University Tatsuru Daimon
2021/7/20- 21	シンポジウム「モバイル'21」	狭路での歩行者横断時における自動運転サービスカーからの意図伝達方法の検討	慶應義塾大学 十代田 淳 Jieun Lee 大門 樹

2021/7/1	Automated Road Transportation Symposium(ARTS2021) TRB (Transportation Research Board) Virtual Event (Online)	Communication between low-speed automated driving shuttle and risky behavior of other vehicles	Keio University Tatsuru Daimon
2021/10/27	Proceedings of the 65th Annual Meeting of HFES	Stopping Position Matters: Drawing A Better Communication between Pedestrian and Driverless Automated Vehicles on Narrow Roads	Keio University Jun Soshiroda Jieun Lee Tatsuru Daimon National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Satoshi Kitazaki
2021/12/1	Journal of Traffic and Logistics Engineering, Vol.9, No.2, pp.42-47, 2021/11	Pedestrian Carelessness toward Traffic Environment Due to External Human-Machine Interfaces of Automated Vehicles	Keio University Masahiro Taima Tatsuru Daimon National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Satoshi Kitazaki
2021/12/10	第19回ITSシンポジウム2021	L4自動運転車のeHMIと課題	慶應義塾大学 大門 樹
2021/12/1	Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour	Unsafe and inefficient communication between automated buses and road users on public roads in Japan	Keio University Masahiro Taima Tatsuru Daimon

2021/12/1	Safety	Differences in pedestrian's behavior at crosswalk between communicating with conventional vehicle and automated vehicle in real traffic environment	Keio University Masahiro Taima Tatsuru Daimon
2022/2/22	JEITA 電子ディスプレイの人間工学シンポジウム2022	自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーション	慶應義塾大学 大門 樹
2022/3/28	日本学術会議小委員会 自動運転の社会実装と次世代モビリティによる社会デザイン検討委員会 自動運転企画分科会 自動運転と共創する未来社会検討小委員会 (第25期・第7回)	自動運転車と歩行者のコミュニケーション	慶應義塾大学 大門 樹

3.11. 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
 1. 自動運転車は、アイコンタクトやジェスチャーがないことによって、交差点や道路上、駐車場で交通参加者とのお見合いする場面で、交通参加者が自動運転車の意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしている。
 2. 自動運転車は、低速であることや加減速が柔軟でないことから、交差点や道路上、駐車場で交通参加者とのお見合いする場面で、交通参加者が自動運転車の車両挙動から意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしている。
 3. 自動運転車が軌道上のみしか走れないことを交通参加者が理解していないことによって、歩行者や自転車に自動運転車が後方から追いつく場面で、歩行者や自転車が十分に自動運転車の走行範囲から離れることができず、交通の不安全や非効率を引き起こしている。
 4. 自動運転車が低速かつ道路左側に寄っていることから、後続の車両（自動車や自動二輪車）が追い越しを促されているように誤解したり、低速な走行によって焦ることで、後続の車両の追い越しを誘発し、見通しの悪い道路で対向車が接近している場合、追い越す車両と対向車が接触するような交通の不安全を引き起こしている。

- 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. テキストメッセージを発信する eHMI を搭載した自動運転車からのコミュニケーションを繰り返し経験することにより、横断の際の周囲状況に対する歩行者の確認行動が低下する可能性がある。このような「負の影響」への対応案として、周囲の交通状況から負の影響が生じる可能性がある場合に eHMI による意図を表すメッセージ発信を消灯する手続きを実施したところ、左右確認や横断途中での停止などを促せる可能性が示唆されたが、自動運転車が“とまります”を発信する場合に限って効果が確認された。そのため、メッセージの種類によらない改善効果を見出せるための改善手法の検討が必要である。

- 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 eHMI の実装

1. 自動運転の実験車両 2 台（公道走行可）については、導入した実験車両 2 台ともに、新川崎 K2 タウンキャンパスの構内道路・駐車エリアに敷設した電磁誘導線を用いて自動運転の実現を可能とした
 2. 試験走路環境において、横断のユースケース、接近・回避のユースケースを再現可能とし。2022 年度早期に試験走路実験を実施する予定である
- 単路部や交差点を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための外向け HMI 等に関する検討と提案

< 接近・回避のユースケース >

1. 道の駅の単路部を想定し、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの円滑なコミュニケーションのあり方について取り組んだ結果、支援の有無と関係なく、“回避して下さい”の聴覚メッセージや eHMI を介したメッセージの発信が望ましいと報告された。その中でも、聴覚メッセージを用いた案内が最も多く回答されており、歩行者のさらなる回避を求めるためには、具体的な数値を入れた案内が望ましいと考えられる。
 2. 自動運転車から歩行者に“すすみます”聴覚メッセージを与えるコミュニケーション支援方法を VR 実験で検証した結果、視覚メッセージを用いた eHMI や路面標示より歩行者の回避を促すに効果的であることが観測された。また、自動運転車両と持続的なコミュニケーションをとることで、自動運転車に対する信頼感も向上できることが確認された。
 3. 歩行者は、自動運転車から自分の行動と関わる具体的なメッセージにおいてポジティブな印象を与えられる可能性が示唆された。“道を開けてください”の方が、“すすみます”より歩行者の不安感の軽減に効果的であることが確認された。さらに、聴覚と視覚を用いた eHMI の長所を確認でき、今後、これらを踏まえたコミュニケーションのデザインの検討が必要である。
- 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションに関する負の効果等への対応・対策の提案

< 接近・回避のユースケース >

1. 道の駅の駐車場エリアを想定し、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの円滑なコミュニケーションのあり方について調べた。

ビデオ視聴実験の結果では、単路部での結果とほぼ同じ結果が見られており、“回避して下さい”を聴覚メッセージが歩行者の回避を促すために効果的である期待される。また、歩行者の回避が不十分だった際に、十分な回避を求めるためには、具体的な数値を入れた情報の発信が期待される。

2. 単路部を想定した VR 実験の結果と同様な結果が得られており、“すすみます”の聴覚メッセージを流す場合、視覚メッセージを用いた eHMI や路面標示より歩行者の回避を促すに効果的であることが観測された。また、自動運転車両と持続的なコミュニケーションをとることで、自動運転車に対する歩行者の理解と信頼感も向上、および、不安感を軽減できることが確認された。

- 低速走行の自動運転車からの eHMI を利用したコミュニケーションによって発生する負の影響を改善する教育方法の検討

1. 過去の実験から、自動運転車における事前説明の必要性が提案されたことから、本実験では、説明資料を用いて事前教育を行い、負の影響における改善効果を調べた。その結果、周りの交通環境における歩行者の注意喚起、注意深い行動、また、対向車とのニアミスや衝突を防げる効果が確認された。さらに、メッセージの類によらない負の影響の改善効果が観測された。今後の研究では、歩行者の心理状態の変化の定量的な分析が必要だと考えられる。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 日本自動車工業会(2020) 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver1.0. http://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework.pdf
- [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/fns6a1000000c11t-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.
- [10] 国土交通省(2018) 中山間地域における長期の自動運転実証実験を開始～自動運転に対応した道路空間の基準等の策定に向けて～.
<https://www.mlit.go.jp/common/001259382.pdf>.
- [11] 国土交通省(2019) 中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス道の駅「奥永源寺溪流の里」を拠点とした自動運転サービスの長期

実証実験を行います。～ 11月15日より実験を開始～。

<https://www.kkr.mlit.go.jp/road/sesaku/jidouunten/019a8v000000a24a-att/a1573103073475.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. システム主導(RtIの提示あり)による自動から手動への遷移

実験 1：計画的遷移時の問題の再確認と解決方策（RtM プロトコル）の最適条件の検討

SAE の定義でレベル 3 や 4 に分類されるような比較的高度な自動運転システム (SAE International, 2014, 2021) は、自ら走行環境を認識し反応し (Object and Event Detection and Response; OEDR)、動的な運転操作 (Dynamic Driving Task; DDT) を担う。したがってその利用時にドライバーは運転に関わる活動から解放され、運転に関連しない活動 (Non-Drive Related Activity; NDRA) をその車内で行うことができる。ただし、ドライバーは以下の 2 つのタイミングにおいて、再び運転操作に関わる必要がある (United Nations Economic Commission for Europe, 2021)。一つはシステムの不調や走行環境の悪化により自動運転の継続ができなくなった場合 (unplanned transition) である。この場合のシステムからドライバーへの運転引継に関わる諸問題についてはこれまで多くの先行研究があり、SIP-adus でも第 1 期において、その危険性の把握と安全をサポートする Human-Machine Interface (HMI) の可能性について検討された。これに対し、もう一つのタイミングは、その自動運転システムの利用可能区域を離れる場合 (計画的遷移; planned transition) で、例えば高速道路上のみで利用可能なシステムとして設計されている場合、高速道路出口で一般道と接続するタイミングなどがこれに相当する。この計画的遷移ではシステムの不調などの差し迫った危険がないため、その安全性についてこれまであまり重要視されてこなかったが、システムの利用時にはトラブル等がなくとも必ず直面することになる、最も頻発する遷移であり、そこでのリスクの所在の確認と安全性の向上は重要な研究課題であると考えられる。

課題 B では昨年までの実験により、運転引継の直前まで NDRA を継続すると引継後の運転パフォーマンスに悪影響を与える可能性があることを示した。さらに、運転引継の少し前にそろそろ運転引継がある旨を告知しても、NDRA を継続していた場合にはその悪影響は回避できないことも示した。そして、その悪影響を回避するには、告知のタイミングで NDRA をやめ周辺道路環境を監視するよう要請する、RtM (Request-to-Monitor) プロトコルを実施することが有効であることを示した。

残された課題は、RtM プロトコルの適切な開始タイミングを示すことであった。昨年までの

実験では運転引継の約 1 分前に RtM プロトコルを開始していたが、あまりに早すぎるプロトコルの開始は、ドライバーに負担を強いることになり、自動運転システムのサービス価値を下げってしまう可能性が指摘できた。一方であまりに遅すぎるプロトコルの開始は、必要な周辺監視ができず、十分な効果が得られないと考えられた。

そこで本年度の実験 1 では、RtM プロトコルの開始タイミングを実験的に操作し、適切な開始タイミングを探索した。昨年度までの知見より、周辺監視時の視行動は監視開始後 20 秒程度から安定し始めることから、運転引継の 20 秒前から RtM プロトコルを開始することで十分な効果を得られると予想された。

方法

実験参加者

参加者は 30 名（女性 15 名、男性 15 名、年齢範囲 20–59 歳）であった。参加者の募集にあたっては、20 代、30 代、40 代、50 代の参加者数および男女比がおおよそ均等になるように調整した。全員が、視力が正常か正常程度に矯正されていること、乗り物酔いの経験がほとんどないこと、現役の職業ドライバーでないこと、過去 3 ヶ月間に週 1 日以上車を運転していることを確認した。各参加者は計 6 条件の課題を 1 日 1 条件ずつ 6 日かけて実施した。日程が合わず 5 条件しか実施できなかった 1 名分を除く、29 名分をデータ分析対象とした。

実験装置

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（三菱プレジジョン社製）を使用して行われた。これは制御用ソフトウェア（三菱プレジジョン社製 D3Sim）、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（SHARP 社製 PN-HB751）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（Panasonic 社製 TH-70LF50J）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（ADTECHNO 社製 LCD7620）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 NDRA には、パズルゲームを用い、タブレット PC（Microsoft 社製 Surface Pro）上で実行された。実験参加者の視認行動計測にはダ

ッシュボードおよび左右サイドミラーに取り付けたカメラにより撮影した映像を用いた。

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。まず片側 3 車線の自動車専用道の中央車線を時速約 65 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 を使用してパズルゲーム (NDRA) をプレイした。なお、NDRA 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)。自動走行開始から一定時間後 (70-160 秒; シナリオ毎に異なる) に ODD 遷移に伴う運転引継が発生させ、一定時間内 (12-21 秒; シナリオ毎に異なる) 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。運転引継地点から一定距離 (200-400 m; シナリオ毎に異なる) 進んだ地点から黄色のセンターラインを設置し、参加者にはできる限りこの地点に到達するより前に車線変更を完了するよう求めた。走行シナリオは周辺車両の位置、自動運転開始から運転引継が発生するまでの間隔、車線変更可能区間の長さが異なる 10 種類を用い、各シナリオ走行中の視認行動を毎秒 30 回の頻度で計測した。

実験条件

運転引継発生 5 秒、10 秒、20 秒、55 秒前に NDRA をやめて周辺道路環境の監視を求める監視 5 秒、監視 10 秒、監視 20 秒、監視 55 秒条件と、NDRA を実施している状態から運転引継を求める監視 0 秒条件、実験シナリオを終始手動で運転するマニュアル運転条件の計 6 条件を設定した。監視を求める際は「まもなく運転交代」と音声アナウンスを提示した。運転引継を求める際は電子音を提示した。どちらも実験前にその意味を教示し、練習において理解できていることを確認した。マニュアル運転条件ではシナリオ開始直後に運転引継を求めた。ただし実際にはシミュレータはハンドルおよびペダルの入力を受け付けておらず、他の条件と同様に自動で走行した。すべての条件で同じ 10 種類のシナリオを用いたが、同じであることに参加者が気づかないよう車両の色や車種を条件毎に変更した。

結果

運転パフォーマンス

運転引継反応時間

運転引継要請が発報されないマニュアル運転条件を除く 5 条件において、運転引継要請から何らかの運転操作が入力されるまでの時間を運転引継反応時間として算出した。監視 0 秒条件では他全ての条件よりも運転引継反応時間が長かった。

車線変更課題失敗率

失敗は、衝突（車線変更課題開始後に自車が他車等何らかの物体に衝突する）、違反（車線変更可能区間を通り過ぎた後に車線変更を完了する）、通過（車線変更を実施せずにそのまま直進する）のいずれかに該当する場合と定義した。結果、失敗率はマニュアル運転条件で監視 0 秒、5 秒、10 秒、20 秒条件よりそれぞれ低かった。また監視 55 秒条件で監視 0 秒条件より低かった。各条件における平均運転引継反応時間と車線変更失敗率を図 4-4-1 に示す。

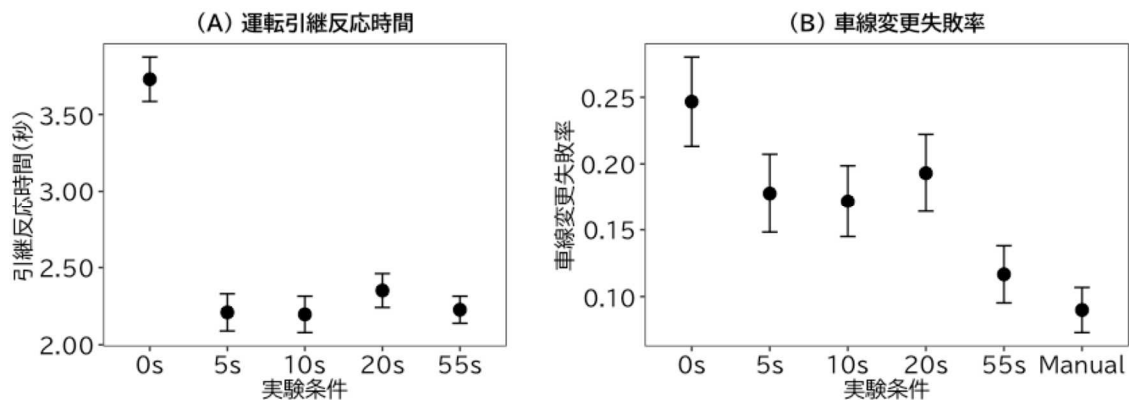


図 4-4-1 (A) 運転引継反応時間と (B) 車線変更失敗率 (エラーバーは標準誤差)

周辺監視要請時の視認行動

注視率

周辺監視要請のない監視 0 秒条件を除く 4 条件において、前方もしくはミラー（左右サイドミラー、ルームミラーのいずれか）を注視していた時間割合を 5 秒毎に算出した。またマニュアル運転条件については、監視 55 秒条件と同じ区間を走行中の視認行動を分析対象とした。なお注視は、200 ミリ秒以上持続して同じ対象の範囲内に留まる視線と定義した。各条件における監視開始から 50 秒経過時までの注視率を図 4-4-2 に示す。

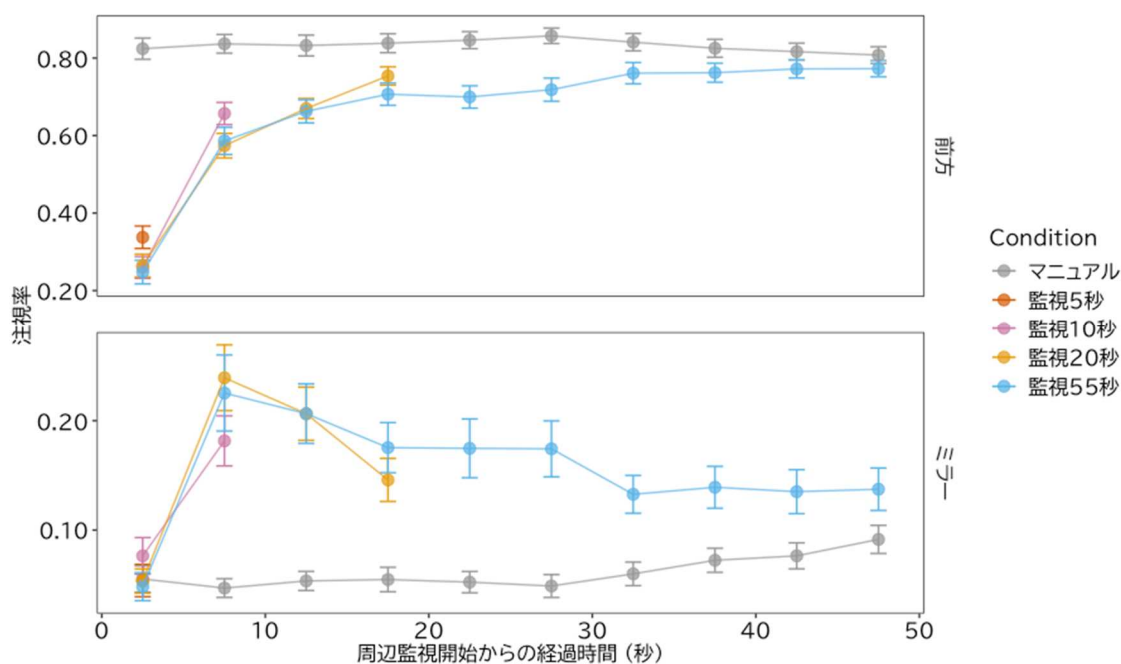


図 4- 4-3 周辺監視開始から 50 秒経過時までの前方およびミラーの注視率の 5 秒毎の推移（エラーバーは標準誤差）

前方注視率

周辺監視開始から 5 秒経過するまでの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。また監視 5 秒条件で監視 10 秒、20 秒、55 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。また監視 10 秒条件では監視 20 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎の前方注視率はマニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ高かった。

ミラー注視率

周辺監視開始から 5 秒経過するまでのミラー注視率は、すべての条件間に違いは認められなかった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までのミラー注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までのミラー注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までのミラー注視率は、マニュアル運転条

件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎のミラー注視率は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ低かった。

注視頻度

周辺監視要請のない監視 0 秒条件を除く 4 条件において、前方もしくはミラー（左右サイドミラー、ルームミラーのいずれか）への平均注視頻度を 5 秒毎に算出した。またマニュアル運転条件については、監視 55 秒条件と同じ区間を走行中の視認行動を分析対象とした。各条件における監視開始から 50 秒経過時までの平均注視頻度を図 4-4-4 に示す。

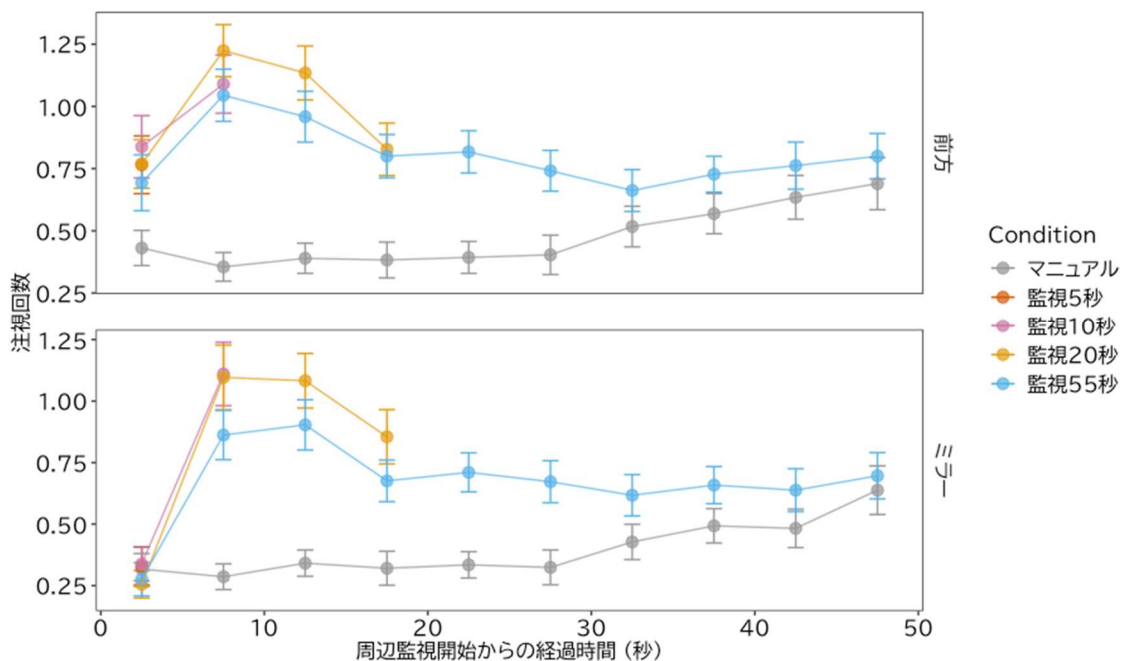


図 4-4-5 周辺監視開始から 50 秒経過時までの前方およびミラーの注視頻度の 5 秒毎の推移（エラーバーは標準誤差）

前方注視頻度

周辺監視開始から 5 秒経過するまでの前方注視頻度は、マニュアル運転条件で監視 5 秒、10 秒、20 秒、55 秒条件に比べて低かった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までの前方注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までの前方注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高い傾向にあった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までの前方注視

頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎の前方注視頻度は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ低かった。

ミラー注視頻度

周辺監視開始から 5 秒経過するまでのミラー注視頻度は、すべての条件間に違いは見られなかった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までのミラー注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。また監視 10 秒および 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高い傾向にあった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までのミラー注視頻度は、マニュアル運転条件の前方注視率はその他の条件に比べて低かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高い傾向にあった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までのミラー注視頻度は、マニュアル運転条件の前方注視率はその他の条件に比べて低かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎のミラー注視率は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ低かった。

注視 1 回あたりの注視持続時間

周辺監視要請のない監視 0 秒条件を除く 4 条件において、前方もしくはミラー（左右サイドミラー、ルームミラーのいずれか）への注視 1 回あたりの平均注視持続時間を 5 秒毎に算出した。またマニュアル運転条件については、監視 55 秒条件と同じ区間を走行中の視認行動を分析対象とした。各条件における監視開始から 50 秒経過時までの注視 1 回あたりの平均注視持続時間を図 4-4-6 に示す。

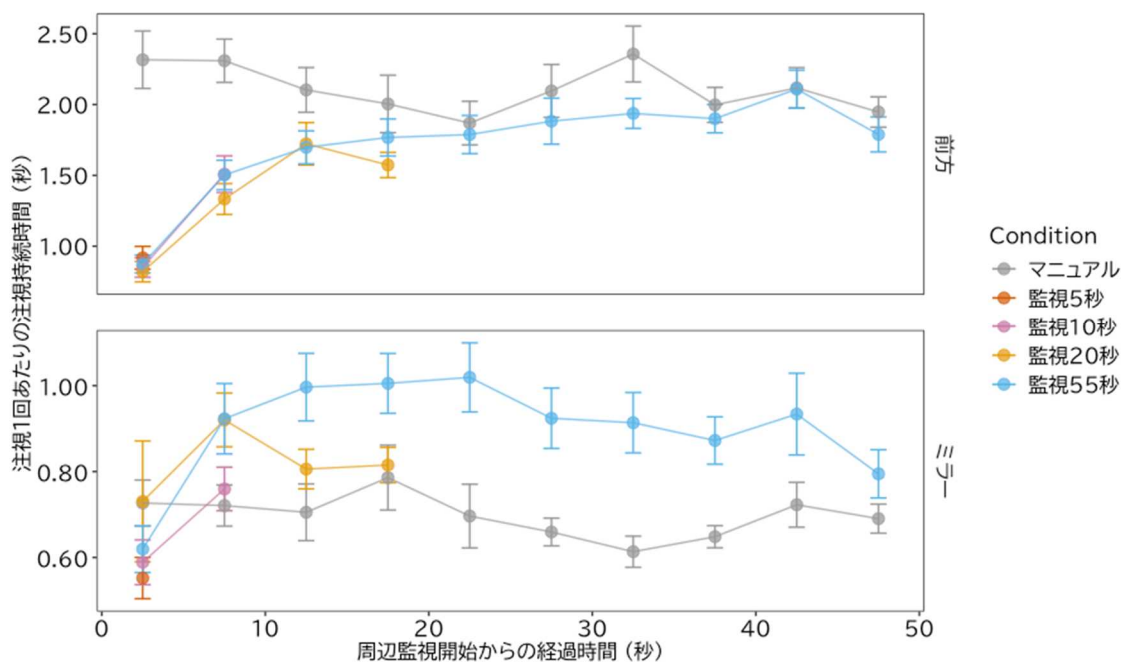


図 4- 4-7 周辺監視開始から 50 秒経過時までの前方およびミラーへの注視 1 回あたりの注視持続時間の 5 秒毎の推移（エラーバーは標準誤差）

前方注視持続時間

周辺監視開始から 5 秒経過するまでの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 5 秒、10 秒、20 秒条件に比べて長かった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて長かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 20 秒条件に比べて長かった。周辺監視開始 30 秒経過時から 35 秒経過時までの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件よりも監視 55 秒条件の方が長かった。

ミラー注視持続時間

周辺監視開始から 5 秒経過するまでのミラー注視持続時間は、すべての条件間に違いはみられなかった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までのミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 20 秒、55 秒条件に比べて短かった。また監視 10 秒条件で監視 55 秒条件よりも短かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までのミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件に比べて短かった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までのミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件に比べて短かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 55 秒経過時までの 5 秒毎のミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 55 秒

条件よりそれぞれ長かった。

考察

本実験の目的は、RtM プロトコル(自動運転システムからドライバーへの運転引継の際に、事前に NDRA をやめ周辺監視を求める)による引継後の運転パフォーマンス向上効果の再確認と、必要最低限の監視時間の長さを検討することであった。昨年度までの成果より、視行動データから周辺監視開始後 20 秒程度でドライバーが周辺道路環境への理解状態を構築でき、引継後の運転パフォーマンスが向上すると予測された。実験の結果、監視なしで突然運転引継を行う条件に比べて監視時間を 55 秒に設定した条件では運転引継後の車線変更課題における失敗率が低く、昨年まで研究で確認されていた周辺監視時間を設けることの効果が再確認された。しかし、監視時間を 20 秒以下に設定した条件ではこの効果は認められなかった。

周辺監視中の視行動の結果は、この時間設定による監視効果の有無を分けた要因を示唆していた。まず監視開始からの視行動はすべての条件で同じように推移したが、引継直前の 5 秒間では他の条件と乖離する傾向が見られた。具体的に、引継直前の 5 秒間では、前方注視率は高く、ミラー注視率は低くなった。これは運転引継に備えて、広く道路環境全体を把握する視行動を中断し、前方への注意を強化したためと考えられる。また監視時間が 20 秒以下の条件では視行動が慌ただしくなる(注視頻度は高く、注視持続時間は短くなる)傾向が見られた。これは監視時間が短いことを意識したドライバーが周辺環境理解を短時間で終えようとした焦り行動を反映するものと考えられる。これらの要因により、ドライバーが不十分な周辺理解状態で引継を迎えたことが、監視時間が 20 秒以下の条件で監視 0 秒条件に比べて運転パフォーマンスがはっきりと改善しなかった理由であると考えられる。

また本実験では、マニュアル運転条件を設定した。これにより、他の条件において自動運転で走行し監視のみを行う場合との視行動の違いを検討することができた。その結果、マニュアル運転条件での視行動は監視 55 秒条件の監視開始後 20 秒経過以降と近い水準であったが、マニュアル運転条件のほうがより中心指向、すなわち前方注視の比重がやや高く、ミラー注視の比重がやや低いことが示された。

結論

RtM プロトコル(計画的遷移の約 1 分前に NDRA をやめ周囲を監視する)の効果が再確認された。ただし、監視時間を 1 分より短くすると明確な効果は認められなくなった。そして、引継直前の 5 秒間は前をよく見る必要があり周囲広く見る余裕がなくなること、監

視時間が短い(20 秒)ことが事前に分かっていると焦ったような慌ただしい視行動になり十分な監視ができないことがそれぞれ示された。これらを考慮すると、計画的遷移における引継前の監視時間は、余裕を持って監視ができる長さ(現時点では1分程度がよいと考えられる)に設定すべきであることが示唆された。

実験 2 : RtM プロトコルの実施における問題の確認と解決手法の検討

これまでの実験結果から、運転引継の前に NDRA をやめて周辺道路環境を監視する引継準備時間を設けることで、引継後の運転パフォーマンスを改善できることが示された。しかし、これはドライバーが RtM に従って適切に準備行動を実行することが前提の効果であり、ドライバーの不適切な応答があった場合、どのような影響が生じるかは明らかではない。不適切な応答としては、例えば、ドライバーが NDRA に熱中しており、RtM の要請通り NDRA をやめない、あるいは一度やめた NDRA を再開してしまうことが挙げられる。効果的な RtM プロトコルの運用のためには、実験 1 で示されたように、発報から運転引継までに十分な時間的ゆとりをもたせる必要がある。この時間的ゆとりが、ドライバーが RtM の要請を軽んじる要因となる可能性が危惧される。そこで本実験では、ドライバーの RtM プロトコルへの応答が不十分な場合に、その効果が維持されるか否かと、よりよく効果を維持するための要請手法について検討した。

まず実験 1 と同じ RtM プロトコルにおいて、ドライバーがこれに十分に応答しない際に効果が維持されるかどうかを検討した(実験 2a)。ドライバーの不十分な応答を引き出す操作として、NDRA として用いたパズルゲームのスコアの高さに応じて追加の謝金を設定し、NDRA を続けることを動機づけた(ただし実際にはスコアの高低によらずすべての参加者に追加の謝金を満額支払った)。

つぎに、ドライバーの RtM への応答が不十分な際によりよく効果を維持するための方策として、まず、RtM 要請のメッセージをより明確にすることの効果を検討した。実験 2b ではこれまで「まもなく」と表現していた運転引継までの時間を「約 1 分後に」へ変更した。この変更は 2 つの相反する影響を及ぼす可能性が考えられた。まず、1 分という時間をドライバーが短く捉えた場合、少しでも早く運転引継の準備を始めようという動機が誘発されると考えられた。一方で、1 分を長いと捉えたドライバーは、もう少し時間が経過してから運転引継の準備を始めても間に合うだろうと要請を軽視し、その場合は NDRA を継続しようという動機が誘発されると考えられた。

さらに実験 2c では、複数回に分けた RtM メッセージの提示と運転引継 5 秒前からのカウントダウン提示を行った。これは、昨年度までの実験において示された、車外 HMI 効

果（運転引継地点を示す道路標識を設置することで RtM プロトコルの効果が向上する）に注目した方策であった。カウントダウン提示は車外 HMI（道路標識）がもたらした、運転引継のタイミングを明確にする効果を車内 HMI で実現したものであり、これによりドライバーの RtM への応答が不十分でも効果を維持することが期待された。

実験 2d では、RtM プロトコルにおいてドライバーにハンズオン（ハンドルを把持するが操作は不要）を求めた。これにより NDRA をやめる動機が高まる効果と、引継時にスムーズに運転操作を始められる効果を期待した。

実験 2e では、ドライバーが RtM に対して不十分な応答をした際に、警告を発することの効果を検討した。具体的には、RtM 発報後に 5 秒以上前方走行映像から視線を外したドライバーに対し、その瞬間にビープ音で警告した。

実験 2f では、ドライバーが RtM に対して不十分な応答をした際に、警告に加えて、車両の緊急停車を予告した。具体的には、実験開始前にビープ音が鳴った後に車両が停止する映像を見せ、ビープ音の警告があってもまだ NDRA を継続するようであれば車両が停止すると教示した。警告の提示は実験 2e と同様の方法で行った。

方法

実験参加者

参加者は 120 名（女性 60 名、男性 60 名、年齢範囲 20–59 歳）であった。参加者の募集にあたっては、20 代、30 代、40 代、50 代の参加者数および男女比がおおよそ均等になるように調整した。全員が、視力が正常か正常程度に矯正されていること、乗り物酔いの経験がほとんどないこと、現役の職業ドライバーでないこと、過去 3 ヶ月間に週 1 日以上車を運転していることを確認した。参加者は 20 名ずつ 6 つのグループに分けられ、実験 2a、2b、2c、2d、2e、2f にそれぞれ振り分けられた。

実験装置

簡易型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン社製）を用いた。70 インチ型液晶ディスプレイ（パナソニック社製 TH-70LF50J）にドライビング風景と、バックミラーとサイドミラーを介して見える後方視界を投影した。運転データ（ハンドル角度など）は 60Hz で記録した。自動運転中は、自動運転システムが前後、左右の運転制御を行った。自動運転中に実施したドライバーの NDRA にはパズルゲームを用い、タブレット PC（Microsoft 社製 Surface Pro）上で実行された。実験参加者の視認行動計測にはダッシュボードおよび左右サイドミラーに取り付けたビデオカメラにより撮影した映像を用いた。

手続き

本実験で用いた実験シナリオは、実験 1 で用いたシナリオと同じであった。最初にシミュレータの運転練習を行い、その後、RtM なし走行（10 シナリオ）を実施した。ベースライン走行の手続きは実験 1 の監視 0 秒条件と全く同じであった。その後、参加者は所属するグループに応じて 6 つの実験条件のうち 1 つを RtM あり走行（10 シナリオ）として実施した。シナリオの実施順は参加者毎にランダム化した。

実験条件

実験 2a

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と全く同じであった。

実験 2b

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する際は「60 秒後に運転交代」と音声アナウンスを提示した。

実験 2c

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する際は「60 秒後に運転交代」と音声アナウンスを提示した。さらに運転引継の 30 秒前に「30 秒後に運転交代」と音声アナウンスを提示した。そして運転引継の 5 秒前から毎秒「5・4・3・2・1」と音声アナウンスでカウントダウンを提示した。

実験 2d

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する音声アナウンスと同時にハンドルを握るようをドライバーに求めた。ただし運転操作の開始は運転引継要請の提示まで待つように求めた。

実験 2e

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する音声アナウンスの提示後に、5 秒以上継続して前方走行映像から視線を逸らしていた場合に、ブープ音を提示した。実験前には、監視を要請された後にゲームを続けていた場合は警告される場合があることを教示した。

実験 2f

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。

監視を要請する音声アナウンスの提示後に、5 秒以上継続して前方走行映像から視線を逸らしていた場合に、ビープ音を提示した。またビープ音を提示してからさらに 5 秒以上継続して前方走行映像から視線を逸らしていた場合には車両の走行を停止した。実験前には、監視を要請された後にゲームを続けていた場合は警告される場合があること、警告をしてもさらに続けた場合は車両が停止することを、車両が停止する際のビデオを視聴しながら教示した。

結果

車線変更失敗率は実験 1 と同様の方法で算出した。各実験条件におけるベースライン走行と実験走行の失敗率を比較したところ、実験 2c、2d、2e、2f で RtM なしの時よりも RtM ありの時の方が失敗率は低かった。結果を図 4-4-8 に示す。

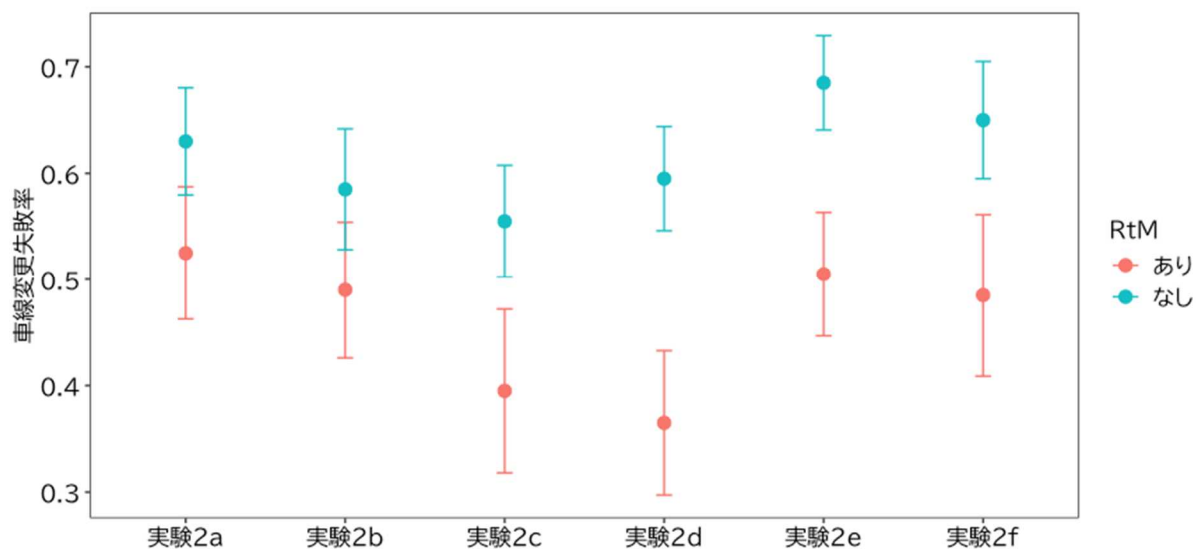


図 4-4-9 実験 2 における各実験条件での車線変更失敗率(エラーバーは標準誤差)

考察

本研究の目的は、ドライバーの RtM プロトコルへの応答が不十分な場合に、その効果が維持されるかどうかの検討と、よりよく効果を維持するための要請手法を検討することであった。まず、実験 1 と同様の要請方法を用いた実験 2a では RtM プロトコルの効果は十分ではなかった。このことから、実験 1 で得られた RtM プロトコルの効果はドライバーが適切に応答した場合に限られることが示唆された。次に、運転引継までの時間を明確にした実験 2b、カウントダウン提示により運転引継タイミングを明確にした実験 2c では、実験 2c でのみ RtM プロトコルの効果が維持された。実験 2c のカウントダウン提示の効果は、昨年度までの実験で示されていた車外 HMI(道路標識)が車載 HMI としても実現可

能であることを示すものと考えられる。ドライバーにより強く運転引継への準備を促す方策を検討した実験 2d、2e、2f では RtM プロトコルの効果がそれぞれ維持された。

なお、実験 2 の車線変更失敗率は実験 1 に比べて全体的に高かった。これは使用するシミュレータの違いに依存するものと考えられる。実験 2 で使用した簡易型シミュレータはハンドルが小径で操作が難しく、またセンタリングが甘いため手を離した際に車両が直進しない場合があった。したがって、ドライバーは運転引継時にまず車両を安定させることに注力する必要があった。これにより車線変更課題への取り組みが遅れ、その結果として失敗率が高くなったと考えられる。ただし本実験の分析は参加者内要因の相対的比較であるため、失敗率の絶対値の高さが得られた結論に影響することはないと考えられる。

結論

RtM プロトコルの効果はドライバーがその要請に適切に応答することを前提するが、カウントダウン、ハンズオン、警告といった工夫を施すことで、ドライバーの応答が多少不適切であっても、効果を維持できる可能性が示された。

4.2. ドライバー主導による自動から手動への遷移

背景：ドライバー主導による自動から手動への遷移は、主にレベル 2 走行において発生する。現在高速道路に限られる L2 走行を、ハザードの多い一般道に展開させるためには、今以上にドライバーによる迅速な反応を達成することが求められる。そのためには、ドライバーが適切なシステム理解に基づいて、適切な応答ができることを示す必要がある。

今年度の目的：本研究ではレベル 2 運転支援を一般道で安全に適用することを可能とするために、特に信号交差点付近において、レベル 2 運転支援走行時のドライバーの注意レベル向上および、リスクに対する適切な対応を支援する HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行うことで、ドライバー主導の適切な運転介入を支援する HMI 要件を調査する。

実験 1：信号交差点を含む一般道におけるレベル 2 運転支援時の交通信号変化時の要因となる提示情報の調査

信号認識による制御を行うことを前提としていない運転支援の時、ACC で追従制御を行っている時に信号交差点接近の際に信号が黄色に変わると、ドライバー主導の運転介入を行って車を停止させることが求められる。本実験では、レベル 2 運転支援による自動走行中の車両による安全な信号交差点の通行を支

援するための HMI 要件の調査を目的とする。地図情報を基にした静的環境情報を提示するものと、静的環境情報に加えインフラ情報を基にした動的環境情報を提示するもの、2種類の HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。

静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する(図1)。動的環境情報として交通信号の先読み情報などを提示する(図2)。交通信号先読み情報は自車が信号交差点に到達する際の前方信号の灯色を予測したものである。本研究で提案する HMI は、各提示情報をドライビングシミュレータ(図3)のダッシュボードに固定されたヘッドアップディスプレイ(HUD)に表示し(図4)、表示時に音で通知を行う。また、Smart Eye Pro システム(Smart Eye 社製)の4つの赤外線カメラで構成される視線計測システム(図5)をダッシュボード上に設置して、視線の計測を行った。



図1. 静的 HMI

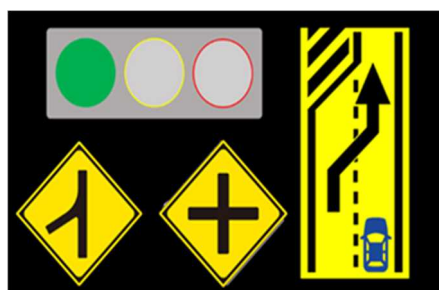


図2. 動的 HMI



図3. ドライビングシミュレータ

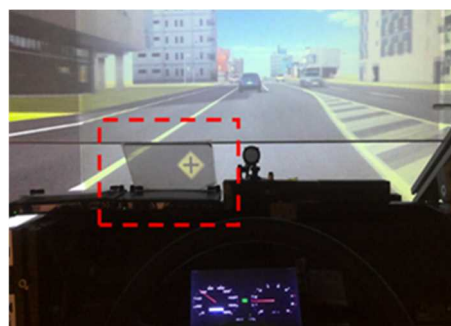


図4. HUDによる表示

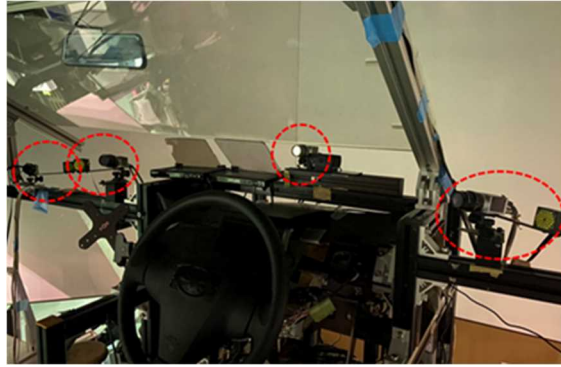


図 5 . Smart Eye Pro システム

レベル 2 運転中は、ドライバーは加減速やステアリング操作といった動的運転タスクを行う必要は一切なかったが、顕在リスクに直面した場合には運転介入を行い、手動で危機回避を行わなければならなかった。システム側から運転介入を行う要請は一切行われず、ドライバーは自ら危険事象や異変を検知し、ドライバー主導で危機回避を行う必要があった。

本実験で用いた道路環境は日本の国道を模擬しており、片側 2 車線、交差点付近では右折レーンが加わり 3 車線となっていた。全長 16km、信号交差点が 31 個、分合流が 2 個ずつと設定された。顕在リスクの発生する信号交差点に自車両および先行車両の接近時に信号が黄信号に変わる。先行車両は停止することなく信号交差点を通過するが、自車は運転介入せず自動走行を行った場合、停止線付近で赤信号となる（図 4- 4-10）。

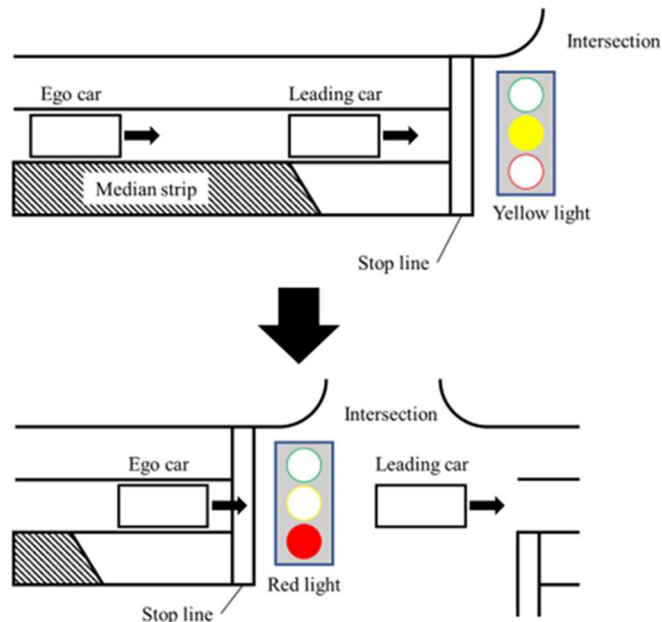


図 4- 4-11 顕在リスク

16 人の実験協力者に対して 4 つの条件（手動運転、レベル 2 + HMI 非使用、レベル 2 + 静的 HMI、レベル 2 + 動的 HMI）においてドライビングシミュレータ実験を行い、有効性の評価を行った。視線計測の結果、静的 HMI および動的 HMI を用いて運転支援による走行を行った場合、交差点付近において HMI の視認による正面注視率の低下が確認された。リスク発生後の対応について、動的 HMI を使用した場合に、緩やかな減速および、余裕を持った停止（図 4-4-12）が行われることが示されており、これは先読み情報により前もって赤信号になることをドライバーが知ることにより、準備行動をとることができた可能性が考えられる。

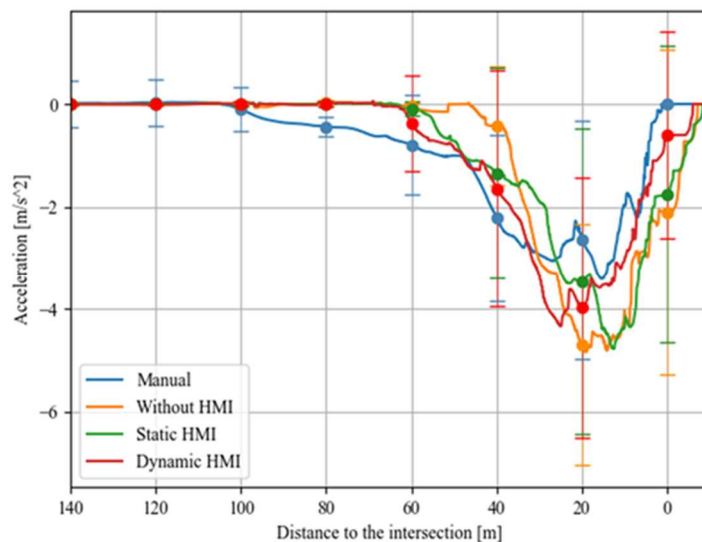


図 4-4-13 交差点までの距離に対する加速度の変化

(2) 実験 2 : 信号交差点を含む一般道におけるレベル 2 運転支援時の交差点における他車両との事故防止の要因となる提示情報の調査

本実験では、レベル 2 運転支援による走行中の適切な運転介入による信号交差点付近の車-車間事故の防止を実現するための HMI の要件の調査を目的とする。危険な場所を明示することを目的として、地図情報をもとにした静的環境情報を提示するものと、運転支援システムの仕組みの確認を目的として、車載センサー情報を基にした物体認識情報を提示するもの、2 種類の HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。

実験 1 の図 1 に示すように、静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する。物体認識情報として運転支援システムにより認識された自車両前方の物体を提示する（図 4-4-14）。各提示情報をドライビングシミュレータのダッシュボードに固定された 2 つのヘッドアップディスプレイにそれぞれ表示する。

自車は、60km/h で第 2 車線を直進する先行車両を運転支援システムにより追従する。顕在リスクでは、信号交差点付近の第 1 車線に左折車両および前方左折車両の左折待ちをするバイクが現れ、バイクが自車の前方に割り込み、運転介入をしなければバイクに追突する（図 4-4-15）。15 人の実験協力者に対して 5 つの条件（手動運転、レベル 2 + HMI 非使用、レベル 2 + 静的 HMI、レベル 2 + センサー HMI、レベル 2 + HMI 併用）においてシミュレータ実験を行い、有効性の評価を行った。



図 4-4-16 センサー HMI

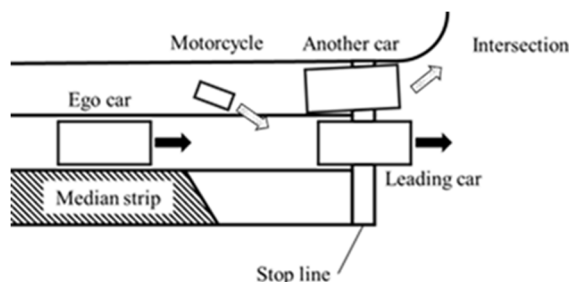


図 4-4-17 顕在リスク

視線計測の結果、センサー HMI は、HMI の視認により前方正面からドライバーの視線逸らす効果が見られる。複雑な情報を連続的に提示しているため、視認に時間をかける必要があり、HMI の視認中に突発的なリスクの発生した場合、反応を鈍らせる可能性が考えられる。顕在リスクシーンにおいてバイクが車線変更を終了した時点からの自車の速度変化および THW（Time Headway：前方車両の現在位置に自車が到達するまでの時間）の時間変化をそれぞれ図 4-4-10、図 4-4-11 に示す。センサー HMI と静的 HMI の併用条件では、手動運転における反応に比較的近い速度および THW の維持を示しており、運転権限の移行が円滑に行われたことが考えられる。

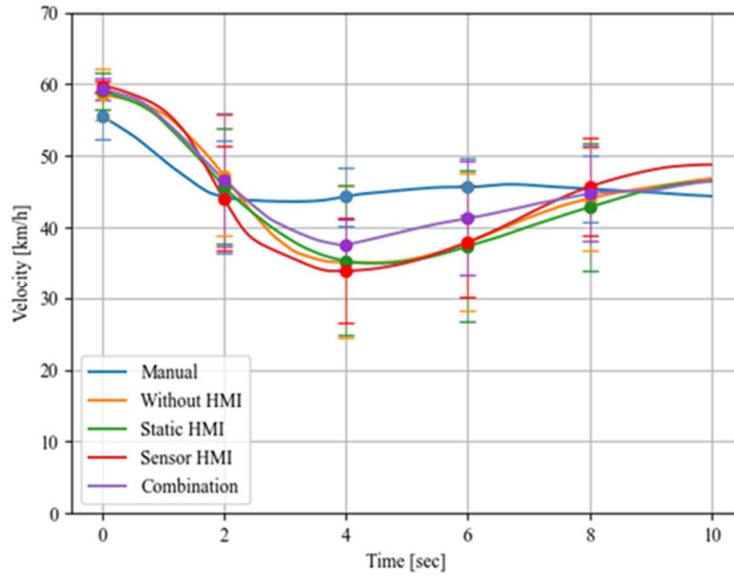


図 4- 4-18 バイク車線変更終了後の自転車速度の時間変化

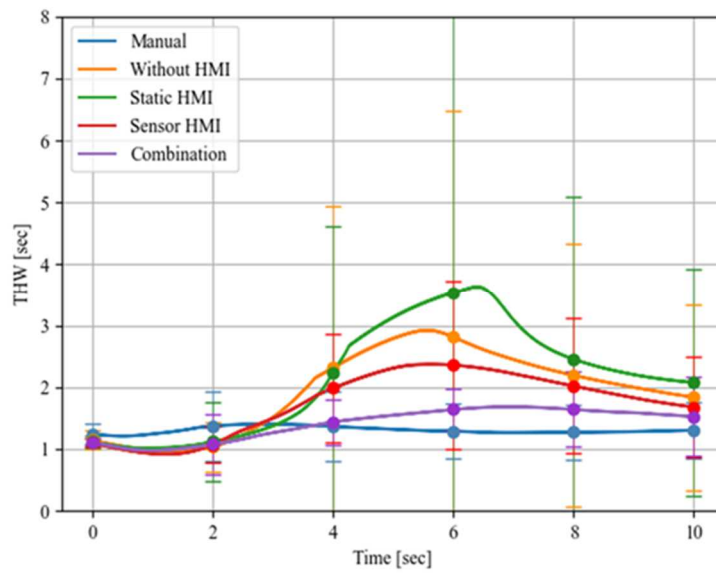


図 4- 4-19 バイク車線変更終了後の自転車の THW の時間変化

参考文献

- SAE International. (2014). Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems (J3016_201401). On-Road Automated Driving (ORAD) committee. https://doi.org/10.4271/J3016_201401
- SAE International. (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016_202104). On-Road Automated Driving (ORAD) committee. https://doi.org/10.4271/J3016_202104
- United Nations Economic Commission for Europe. (2021). Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems (UN Regulation No. 157—Automated Lane Keeping Systems). <https://unece.org/transport/documents/2021/03/standards/un-regulation-no-157-automated-lane-keeping-systems-alks>

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. 一般知識に関する安全運転教育手法及び検証実験 Civ（再実験）

5.1.1. 目的

2019 年度に実施した自動運転システムに関する一般知識の教育コンテンツの検証実験が新型コロナウイルスの流行により中断されたことを受け、前年度の知見を踏まえ、一般知識の教育手法を検討・提案し、ドライビングシミュレーション（DS）実験によるその効果を評価することを目的とした。また、教育の時間的な効果を評価する必要があると考えられることから、講習（図 5-1(a)）と DS 検証実験（図 5-1(b)）に分け、間に 1 ヶ月程度空ける実験を計画した。



(a) 教習



(b) DS 検証

図 5-1 実験 Civ の実験風景

5.1.2. 実験参加者

普通運転免許を有する 40 名で、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。本実験は教育手法の検討を行うため、自動運転に関する教育や経験を受けていない方に限定した。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：2019R333-2）。

5.1.3. 実験装置

本実験では、定置型 DS を用いる。このシミュレータは、三菱プレジジョン社製 DS3Sim ver.6 である。前方に 42 インチのディスプレイを 5 面配置し、約 225 度の水平視界を提供している（図 5-1(b)）。

本実験で 2 種類のレベル 3 の自動運転(ACSF カテゴリ B2)に相当する自動運転機能を使用した。一つは単路における単路自動走行機能であり、もう一つは車線変更支援機能付きの自動走行機能である。

5.1.4. 教育手法

本実験では、自動運転に関する一般知識の教育コンテンツに「引継ぎの体験」と「特定システムの説明」を盛り込んだ。初日の一般知識の講習は、表 5-1 に示した 4 種類の教育コンテンツに分類された。

表 5-1 教育コンテンツの内訳

教育コンテンツ		特定システムの説明	
		あり	なし
引継ぎの体験	あり	体験有・説明有	体験有・説明無
	なし	体験無・説明有	体験無・説明無

5.1.5. 自動運転機能

自動運転に関する一般知識の講習が複数の自動運転機能の利用への影響を調べるため、本実験にて下記の 2 種類の自動運転機能を対象とした。

- 車線変更支援機能付きの自動走行システム（レベル 2 相当）
- 車線変更支援機能無しの自動走行システム（レベル 2 と 3 相当）

5.1.6. 実験計画

本実験では教育コンテンツにて「引継ぎの体験」と「特定システムの説明」という 2 つの被験者間要因、また自動運転機能という 1 つの被験者内要因の混合モデルの実験デザインとした。故に、すべての実験参加者が 4 グループに分けられ、各グループの実験参加者の内訳は表 5-2 の通りである。

表 5-2 実験参加者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	女性	男性	女性	男性	全体
体験有・説明有	4	6	28.3	39.7	35.1
体験有・説明無	6	3	33.3	22.0	29.6
体験無・説明有	5	3	45.2	22.0	36.5
体験無・説明無	4	6	34.8	27.5	30.4

5.1.7. 実験手順

すべての実験参加者は初日の一般知識の講習、2 日目及び 3 日目の DS 検証実験

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30日以上、2日目と3日目の間に2週間以上を空けた。詳細な実験の流れは表5-3に示すとおりである。

5.1.8. 仮説と評価指標

本研究にて一般知識の教育コンテンツの効果について、2つ仮説を立てた：

- (1) 一般知識の講習に特定システムの説明を加えることは、具体的な自動運転機能(複数)を利用する際に運転の引継ぎ時の安全性また自動運転機能の理解により効果的である；
- (2) 一般知識の講習に引継ぎの体験により、運転の引継ぎ時の安全性また自動運転機能の理解により効果的である。

そのため、下記の評価指標を考察した。

- ・ 引継ぎの安全性を評価するのに引継ぎ時の事故率及び引継ぎに所要時間
- ・ 自動運転機能への理解を評価するのに車線変更支援機能付きが発動した時のドライバーの対応行動及びアンケートの回答

表 5-3 実験の流れ

実験日	実施内容
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
	自動運転に関する一般知識の講習
	自動運転に対する態度に関するアンケート
	2日目使用する自動運転システム（車線変更支援機能無し※）の教示
	自動運転に対する態度に関するアンケート
2日目	2日目の実験説明
	自動運転に対する態度に関するアンケート
	DSにおける運転操作の説明と練習
	実験中実施することの説明（安全運転と副次タスク）
	下記のシナリオにおいてデータ収集
	1. PAエリア入りによる引継ぎ（PA）
	2. 事故現場による引継ぎ（事故現場）
	3. 大雨で視界の悪化による引継ぎ（大雨）
自動運転に対する態度に関するアンケート	
3日目使用する自動運転システム（車線変更支援機能付き※）の教示	
3日目	2日目の実験説明
	自動運転に対する態度に関するアンケート
	DSにおける運転操作の説明と練習
	実験中実施することの説明（安全運転と副次タスク）
	下記のシナリオにおいてデータ収集
	1. PAエリア入りによる引継ぎ（PA）
	2. 事故現場による車線変更支援機能の発動
	3. 大雨で視界の悪化による引継ぎ（大雨）
4. 遅い先行車による車線変更支援機能の発動	
自動運転機能に関するアンケート	

※なお、この実験では、2グループは上記の流れで、残りの2グループは2日目の車線変更支援機能付けと3日目の車線変更支援機能無しで実施した。また、各群の実験参加者の半分に表に示したシナリオ順で、残りの半分に逆順で経験させた。また、事故現場による引継ぎ要請は車線変更支援機能無しの自動運転の条件のみ発生した。

5.1.9. 結果と考察

(i) 引継ぎの安全性

- 引継ぎ成功率

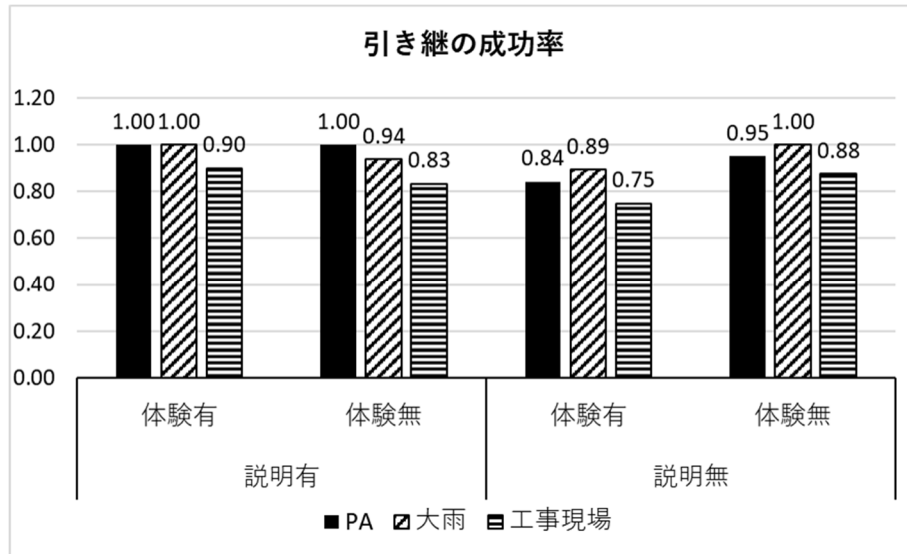


図 5-2 引き継ぎの成功率

引継ぎ要請メッセージが出された際にドライバーの引継ぎの成功率を図 5-2 に示した。その結果から体験有・説明有の条件の成功率はいずれのシーンにおいて一番高かった。さらに衝突リスクが高い工事現場のシーンにおいても体験有・説明有の条件にてより高い成功率（0.90）が得られ、特定システムの説明が運転安全に効果的であったことを示唆した。

- 引継ぎまでの所要時間

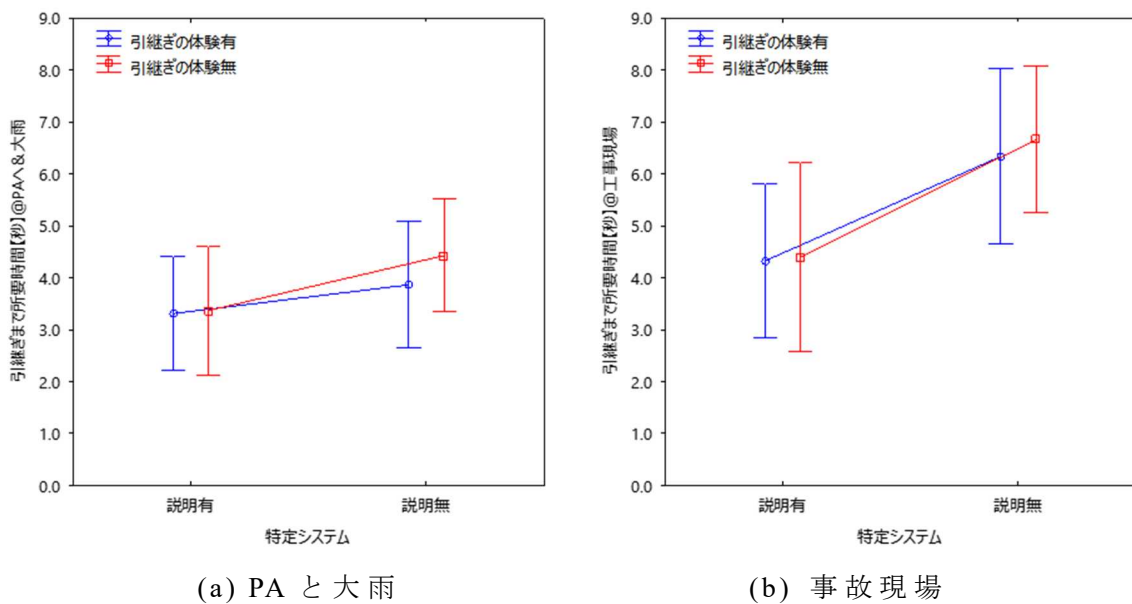


図 5-3 引継ぎまで所要時間

図 5-3 に示したのが PA と大雨のシーン(a)及び事故現場のシーン(b)における引継ぎまで所要時間である。まず、PA と大雨のシーンにての引継ぎ所要時間に対して引継ぎ体験と特定システムの説明という 2 要因の分散分析を行ったところ、2 要因の交互作用 ($F(1,138) = 0.18, p = 0.67, \text{partial } \eta^2 = 0.001$) と主効果 (特定システムの説明 : $F(1,138) = 1.88, p = 0.17, \text{partial } \eta^2 = 0.013$; 引継ぎ体験 : $F(1,138) = 0.28, p = 0.60, \text{partial } \eta^2 = 0.002$) はいずれも有意でなかった。

また、比較的衝突リスクの高い事故現場における引継ぎ所要時間に対しても同じ 2 要因の分散分析を行った。その結果、2 要因の交互作用 ($F(1,28) = 0.03, p = 0.87, \text{partial } \eta^2 = 0.001$) と引継ぎ体験の主効果 ($F(1,28) = 0.30, p = 0.80, \text{partial } \eta^2 = 0.002$) は見られなかったが、特定システム説明の主効果 ($F(1,28) = 7.44, p = 0.011^*, \text{partial } \eta^2 = 0.210$) は有意であった。

故に、一般知識に特定システムの説明を入れることにより自動運転から引継ぎの安全性に効果的であると示唆されたが、引継ぎ体験は同じような効果が見られなかった。

(ii) 自動運転機能の理解

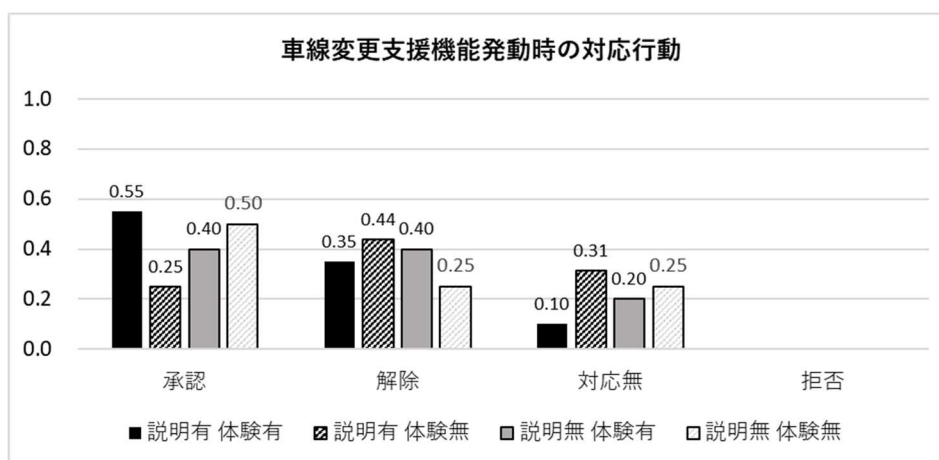


図 5-4 車線変更支援機能が発動時、ドライバーの対応行動

事故現場及び遅い先行車という状況に遭遇した際に車線変更支援機能が発動されたときのドライバーの対応行動は「承認し、自動車線変更が実施される」、「ハンドル操作に介入による自動運転を解除し、手で車線変更を実施する」、「対応行動せず」及び「拒否ボタンで支援要請を断る」という 4 種類に区分できる。図 5-4 に車線変更支援機能が発動された時、ドライバーの対応行動の割合を表示した。「説明有・体験有」の条件は「承認」の割合が最も高かった(0.55)、「対応無」の割合は最も低かった(0.10)。

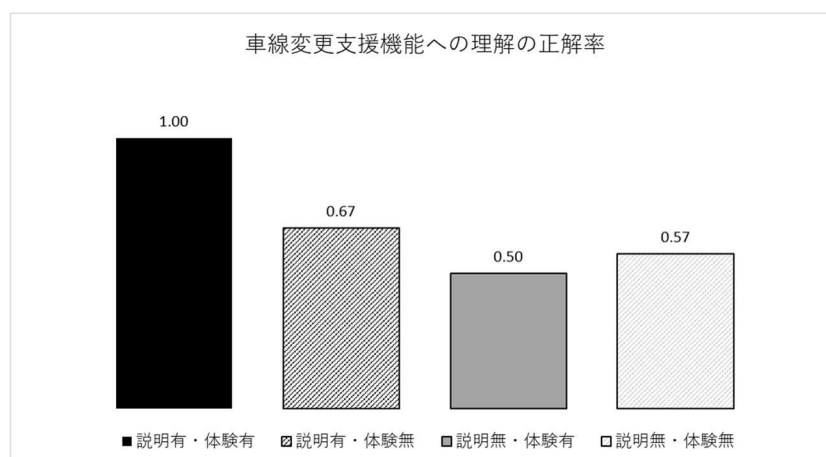


図 5-5 車線変更支援機能への理解

更に、全ての実験参加者が2種類の自動運転機能を経験した後、両機能の相違に関するアンケートに回答した結果は図 5-5 に示された。「説明有・体験有」の条件は最も車線変更支援機能を理解した結果となった。

5.1.10. まとめ

本実験では自動運転に関する一般知識の教育コンテンツに着目し、講習時の特定システムの説明及び引継ぎ体験の効果をDS検証実験により考察し、その結果、特定システムの説明は引継ぎ時の安全性又自動運転機能への理解に効果的であることが示された。この結果は仮説(1)を支持した。一方、引継ぎ体験による効果は認められなかったことは仮説(2)を支持しなかった。なお、特定システムを説明した上の引継ぎを体験することは引継ぎ時の安全性と機能理解により有効であった。

5.2. ウェブ実験のフィジビリティスタディ 実験 Cvii

5.2.1. 実験の目的

2020年度において、ウェブベースのリモート実験の実行可能性を確認できたが、2020年度では実験者が電話を通じて参加者に詳細に説明、指示を与えていた。今年度は、ウェブベースのリモート実験を実験者の介入なく実施できるようにウェブシステムの作りこみを行った。本実験では、実験者の介入なくドライビング実験を実施できることを検証するとともに、実験結果がこれまでの実験と同様の傾向を示すことを検証するものである。

5.2.2. 研究対象者

実験参加者は総計 20 名である。20 歳以上、69 歳以下の一般運転免許を所持する男女を対象とし、PC を利用したことがあるドライバーに限定した。自宅にてインターネットにアクセスできる環境を持ち、ブラウザと Microsoft Teams または電話の操作を理解している人を募集した。実験参加者の年齢は、20 歳から 59 歳、平均年齢 35 歳 (SD : 12.7) である。

5.2.3. 実験装置

実験参加者は、図 5-6 に示す実験用ウェブサイトを通して、自動運転の知識に関するコンテンツを学習した。

DS 被験者 - 実験後アンケート 4

実験参加者へ

当てはまる回答を選択して、次へのボタンを押してください。

①実験時、走行中にシステムから運転の引継ぎ要請が出されたとき、うまく対応できなかった場面がありましたか。

- 1.なぜ引き継ぎ要請が出されたか分からなかった
- 2.システムがやってくれと思った
- 3.対応しようと思ったが、間に合わなかった
- 4.運転操作がうまくできなかった
- 5.機械（キーボード）トラブル等でハンドル操作がおかしくなっていた
- 6.標識を見ていなくて、進んだ方向があっていたか、自信がない
- 7.引き継ぎ要請の合図が分かりづらかった
- 8.その他
- 9.なし

Q1. 当てはまる回答を、下の空欄に入力してください。例えば、1,2,3が当てはまる場合は、1,2,3を入力してください。

下記の質問に最も当てはまると思う評価を選んでください。

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Q2. 自動運転の機能について知識がある	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q3. 本実験の操作（車、画面の操作）に不安がある	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q4. 自動運転は信頼できる	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q5. 自動運転は交通安全へ大きく貢献すると思う	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q6. 自動運転は運転の快適性へ大きく貢献する	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

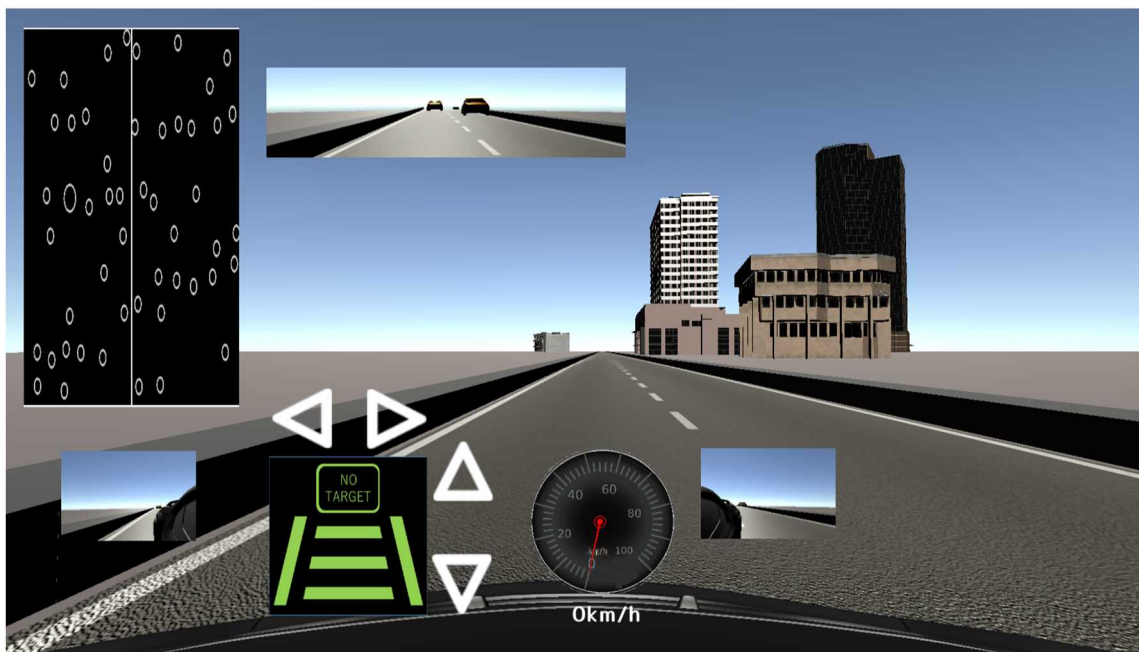


図 5-6

ブラウザのアンケート部分の画面と簡易ドライビングシミュレーション画面

5.2.4. 実験計画

本実験は、FY2020Cvii の事前知識について、以下の 2 条件で比較を行う。

条件 A：具体場面説明なし

自動運転実行中に、運転介入が必要な場面が発生しうることのみを伝えた。具体的な文言は以下の通りであった。「通常走行中、状況によっては、自動走行システムが動作をしなくなる場合があります。その時は、自分で運転を行う（車の制御を引き継ぐ）必要があります。」

条件 B：具体場面説明あり

条件 A に加え、その場面が発生した場合に、どのような情報がシステムから提示されるか（HMI）について説明した。具体的な文言は以下の通りであった。

「交通状況や天候、道路の状態などにより、自動走行システムを使用できなくなる場合があります。そのような時は速度メーター横の表示がオレンジ色で表示し、同時に音が出ます。この時、あなたは直ちに車の制御をシステムから引き継いで、自分で運転を行う必要があります。」さらに、どのような場面で運転介入が必要となりうるかの例を 2 つ（工事現場による車線の減少、環境要因によるセンサー不良）提示した。

5.2.5. 実験タスクと教示

実験におけるタスクと教示は、FY2020 に実施した vii の実験と同一である。実験参加者には、「車両の縦方向の制御と横方向の制御が協調して作動する自動走行システムで自動運転を行い、システム機能限界が生じた時には対応すること」という同じタスクを与え、ウェブサイトを通して走行中に行われるドライバーの運転行動を計測する。実験においては各実験参加者が 4 試行を行う。なお、1 試行は約 5 分である。

5.2.6. 実験手順

1 人の実験は総計 1 時間 30 分である。本実験は実験準備部分と実験実施部分の 2 つがある。実験参加者の実験準備部分に要する時間は 30 分である。また、1 人の実験参加者の実験実施部分に要する時間は、60 分以内である。

実験参加者は指定した実験期間の前に、実験用 ID とパスワード、実験ウェブサイトの URL など、メールの案内を受け取る。実験期間中に、案内メールの通りに、ステップバイステップ方式で、実験を行える。

スケジュールは表 5-4 に示す。

表 5-4 実験のスケジュール

ステップ	内容	時間
1	実験参加希望者に対して、案内メールの発送。	10分
2	実験期間中、実験参加者は自宅のPCやノートパソコンを準備した上、実験サイトURLにアクセス。	10分
3	実験サイトから、実験概要、注意事項の案内を受け、インフォームドコンセントを得る。同意の参加者のみ、本実験ページに移る。	10分
4	実験前アンケート	10分
5	自動運転の学習コンテンツの閲覧	10分
6	練習走行（計4回）	10分
7	走行（計4回）	20分
8	実験後アンケート	10分

5.2.7. 実験の結果

実験に参加表明した20名のうち、2名は実施せず、ほかの2名のデータがインターネット通信の問題により、途中でサーバー側がデータを受信できなかったため、分析対象にできるデータは、シナリオ1：停止車によりRtI発生の18名分（グループA 9名、グループB 9名）、シナリオ2：GPS受信遮断によりRtI発生の16名分（グループA 7名、グループB 9名）となった。

一部のシミュレーション時、データを受信できなかったグループAの2人は、最後の実験後アンケート調査まで進んだため、アンケート部分は18名のデータを記録した。

実験者の口頭等での誘導なしに20名中、16名（8割）の参加者がシミュレーション実験とアンケート部分、全実験を完了できたことは、おおむね成功であったとあってよい。

RtIに対して反応できた参加者の割合を、表5-5と表5-6に示す。停止車によるRtI発生の場面において、具体場面の説明ありの場合は引き継いだ人数は78%であった。ちなみに、過去の実験結果（FY2020：引き継いだ人数は88%であった。）これに対し、具体場面説明なし群では、引き継いだ数はFY2020：引き継いだ人数12名／25名（48%）に対し、今回は、5名／9名（56%）である。また、介入しなかった人は2人いる。これらのことから、お

おむね妥当な結果になっているといえる。

他方、高層ビルにより GPS の受信が遮断され、RtI 発生する場面では、具体場面説明あり群では 4 人が介入しなかったのに対し、具体場面説明なし群では介入しなかったのは 2 人であった。

これらのことから、リモートでの実験においては、具体的場面の説明の効果が弱まることが示唆される。ただし、具体的な場面の説明がない群でも運転介入を始めた人数は過去のオンサイト実験と比べてもそんなレベルではある。したがって、リモートでの教育においても、運転交代に関する教育を有意義に行うことは可能であるといえる。

表 5-5 停止車場面 RtI に対する反応を行えた人数と割合 (18 名)

	引き継いだ 人数	10 秒後介入	事前介入	対応しなかつ た
具体的場面説明なし (7 名)	5 名 (56%)	0 名 (0%)	2 名 (22%)	2 名 (22%)
具体的場面説明あり (9 名)	7 名 (78%)	0 名 (0%)	2 名 (22%)	0 名 (0%)

表 5-6 GPS 場面 RtI に対する反応を行えた人数と割合 (16 名)

	介入	10 秒後介入	事前介入	対応しなかつ た
具体的場面説明なし (7 名)	4 名 (57%)	0 名 (0%)	1 名 (14%)	2 名 (29%)
具体的場面説明あり (9 名)	4 名 (44%)	1 名 (11%)	1 名 (11%)	3 名 (33%)

アンケート結果

実験後アンケートは、リモート実験の参加に関する質問を行った。リモート実験の参加意欲を調査するため、「またこのようなリモート方式の実験に参加したいと思う。」を質問した。大部分の参加者は、リモート実験に再度参加したいという結果となった。

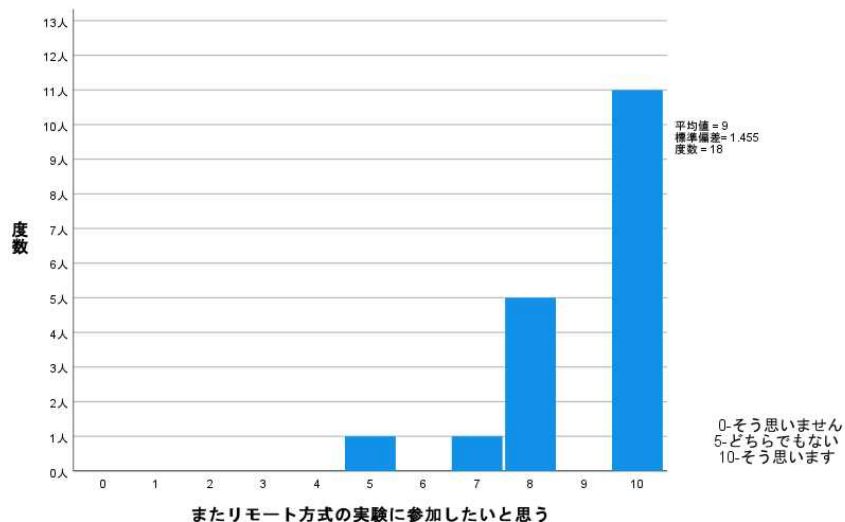


図 5-7 実験後アンケート結果

5.2.8. まとめ

この実験は学習と DS 体験ができるように設計したリモート実験プログラムである。Unity などのツールを利用することで、研究室やオンサイトの実験をブラウザ上の簡易 DS に再現することができると確認できた。実験を行った結果、リモートでの教育において、ブラウザ上に自動運転に関する学習コンテンツやシミュレーション体験を提供することで、運転交代に関する教育を有意義に行うことは可能であるといえる。

そして、参加者は PC 上のリモート実験と教育の受容度が高いと見られた。適切な案内を提供することで、参加者が自宅 PC でのリモート実験、学習を行うことができると考えられる。

PC の基本操作ができる大部分の参加者は実験の最後まで完成できたとみられた。ただし、PC の性能によって、実験を進めることができない参加者がいたため、参加者の実験環境の確保や提供、例えば良い性能を持つノート PC の郵送による貸出、メールや電話による問い合わせの方法の用意などが実験の完成率を高めることができるだろう。

5.3. 一般ユーザーが習得知識に関する Web 調査

5.3.1. 目的

本研究で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 アンケート調査を行い、一般ユーザーが自動運転への関心度、保有知識及び求める知識等の現状を把握する調査により、下記のことを明らかにすることを目的とする。

1. 一般ユーザーが自動運転への態度と保有知識の関係

2. 一般ユーザーが自動運転への態度と求める知識の関係
3. 一般ユーザーが保有知識と求める知識の関係
4. ディーラーから受けた自動運転に関する説明と一般ユーザーが求める知識の相違

5.3.2. 設問と回答者属性

全 25 個の設問を表 5-7 にまとめた。設問 Q10 と Q23 に下記の自動運転知識に関するコンテンツについて回答させた。

- (1) 自動運転の 定義
- (2) 自動運転の 分類
- (3) 自動運転の 機能
- (4) ユーザーの役割と 責任
- (5) ユーザーの介入・運転の 引継ぎ
- (6) 引継ぎが必要な際に提示される (RtI)
- (7) 具体的な介入事例や 場面
- (8) 緊急時の安全確保 (MRM)
- (9) 自動運転に関する 法規
- (10) 具体的な自動運転 技術
- (11) 具体的な自動運転機能の 使い方

Web 調査の実施は 2021 年 11 月中旬、総計 1072 名（男女比例が 1:1）の回答者が参加した。回答者の属性を図 5-8 に表している。

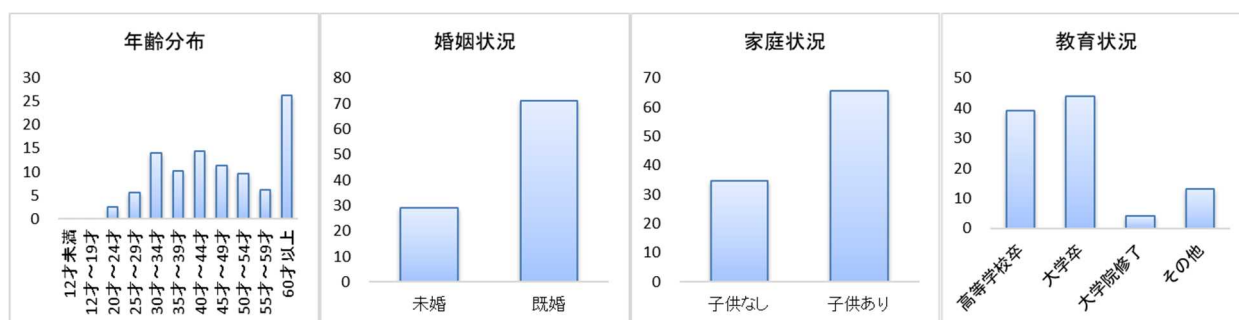


図 5-8 回答者の属性（割合）

表 5-7 Web 調査の設問

設問	
Q1	あなたの最終学歴をお答えください。
Q2	ご自身の日常での運転頻度についてお答えください。
Q3	ご自身の日常生活で最も多く自動車を利用するシーンについてお答えください。
Q4	ご自身の月間走行距離についてお答えください。
Q5	自動運転に興味を持っていますか
Q6	自動運転技術の知識を知りたいですか
Q7	自動運転技術を装備する車を購入する意欲があります（ありました）か
Q8	自動運転技術を装備する車の購入について、あなたの状況に近いものをお選びください
Q9	自動運転に関する知識を習得する方法について、あなたが習得したいと思うものをお選びください
Q10	自動運転に関する知識について、現在あなたがお持ちの知識であてはまるものをそれぞれお選びください
Q11	ご検討の段階で、ディーラーでスタッフにより自動運転に関する説明を受けたことがありますか。
Q12	検討の段階で、ディーラーでスタッフから自動運転に関して以下の事を説明されましたか
Q13	検討の段階で、ディーラーでスタッフにより自動運転に関して説明を受けた際、自動運転機能の体験はできましたか
Q14	ご商談の際、ディーラーでスタッフにより自動運転に関する説明を受けたことがありますか。
Q15	商談の段階で、ディーラーでスタッフから自動運転に関して以下の事を説明されましたか。
Q16	商談の段階で、ディーラーでスタッフにより自動運転に関して説明を受けた際、自動運転機能の体験はできましたか。
Q17	ご契約の際、ディーラーでスタッフにより自動運転に関する説明を受けたことがありますか。
Q18	契約の段階で、ディーラーでスタッフから自動運転に関して以下の事を説明されましたか。
Q19	契約の段階で、ディーラーでスタッフにより自動運転に関して説明を受けた際、自動運転機能の体験はできましたか。
Q20	納車の際、ディーラーでスタッフにより自動運転に関する説明を受けたことがありますか
Q21	納車の段階で、ディーラーでスタッフから自動運転に関して以下の事を説明されましたか。
Q22	納車の段階で、ディーラーでスタッフにより自動運転に関して説明を受けた際、自動運転機能の体験はできましたか。
Q23	自動運転に関する知識について、どの程度知りたいかあてはまるものをそれぞれお選びください。
Q24	自動運転に関する知識について、もっと知りたいものがあれば、どの程度知りたいかあてはまるものをそれぞれお選びください。
Q25	あなたは今後、具体的な自動運転機能の体験をしたいと思いませんか

5.3.3. 調査結果と考察

図 5-9 は設問 Q5-Q8 の回答結果である。その結果は、一般消費者が自動運転車への興味、自動運転技術に対する関心度、又自動運転を装備する車の購買意欲等の割合を示している。

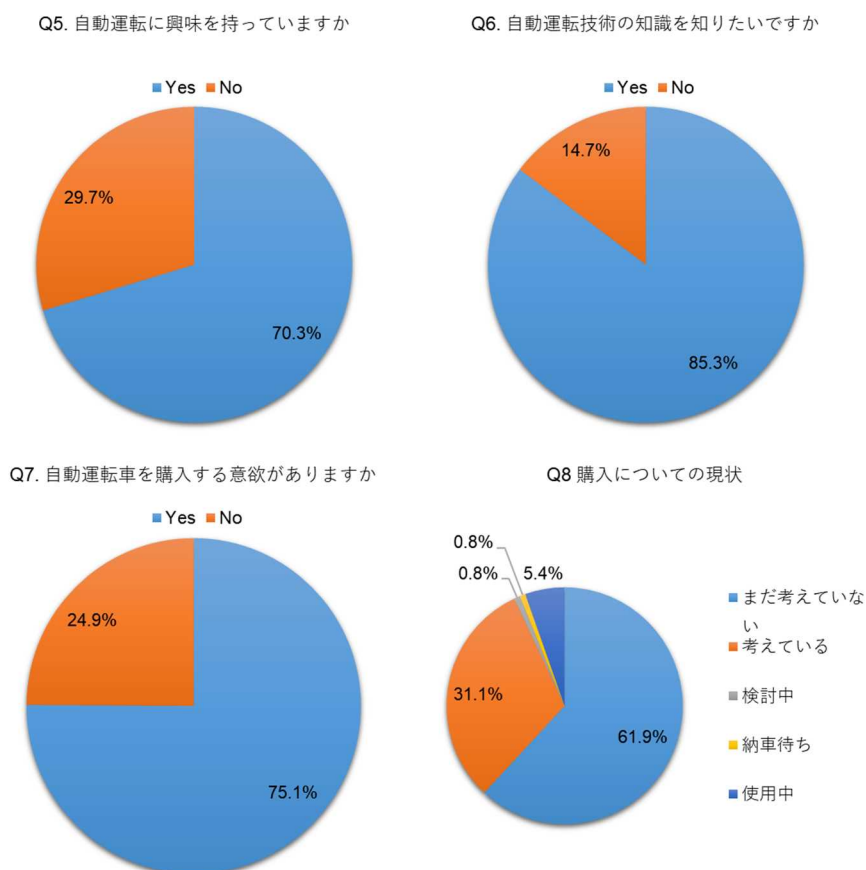
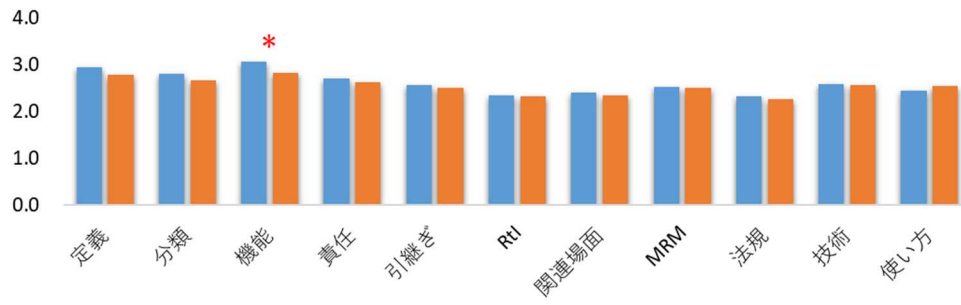


図 5-9 自動運転車の購入意欲に関する回答

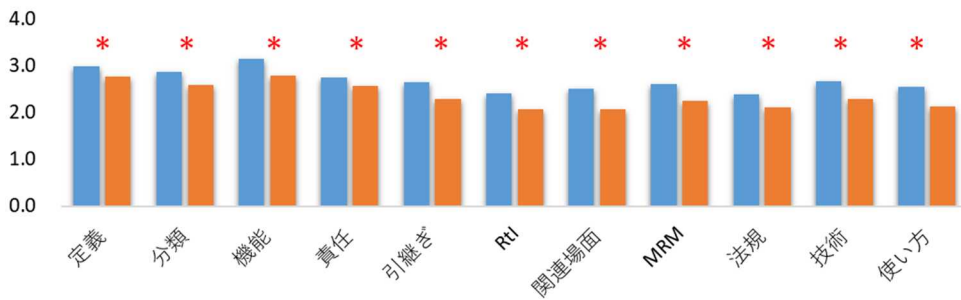
(1). 一般ユーザーが自動運転への態度と保有知識の関係

図 5-10 に自動運転技術に関する興味の有無・購入意図の有無、購入の検討の有無による保有知識の程度（最も理解したのが 1 であり、最も理解していないのが 1 である）を示した。知識の各コンテンツに対して t 検定を行った結果、自動運転車の購入意欲の有無（Q7）、購入検討の有無（Q8-1）及び購入の有無のいずれも有意な差が見られた。これは一般ユーザーの保有知識は自動運転車を保有する態度に影響したことを示唆する。

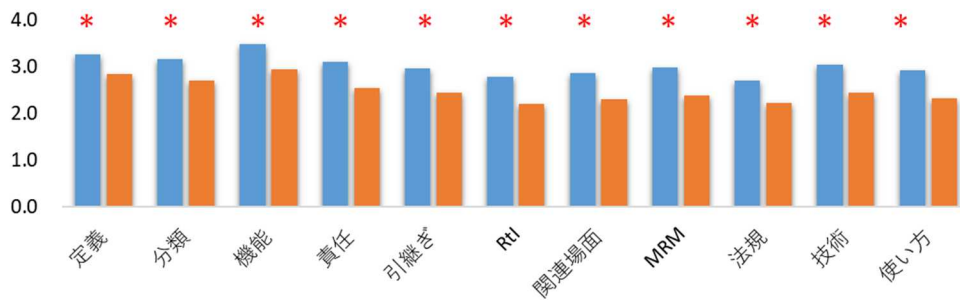
Q6. 自動運転技術の知識を知りたいですか



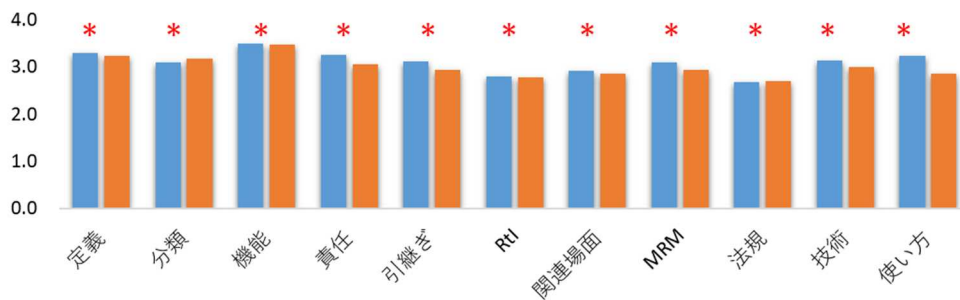
Q7. 自動運転車を購入する意欲がありますか



Q8-1. 自動運転車のご購入を検討しています・しましたか



Q8-2. 自動運転車を購入(しようと)しています・しましたか



■ Yes ■ No

図 5-10 自動運転へ態度によるユーザーが保有した知識の程度

(2). 一般ユーザーが自動運転への態度と求める知識の関係

図 5-11 は自動運転への興味の有無・関連技術への興味の有無・購入意図の有無、購入の検討の有無による保有知識の程度を示した結果である。知識の各コンテンツに対して t 検定を行った結果、自動運転 (Q5) 関連技術 (Q6) への興味の有無、購入意欲の有無 (Q7) 及び購入検討の有無 (Q8-1) によりほとんどのコンテンツにおいて有意な差が見られたが、購入の有無においては「ドライバー役割と責任」のみ有意な差があった。これは一般ユーザーが求める知識が自動運転車への態度と関係性を示唆した結果となった。

(3). 一般ユーザーが保有知識と求める知識の関係

図 5-12 に示したのは Q5-8 回答から技術への興味、購入意欲、購入検討及び購入決定に分けたときの、各カテゴリーの有無の間に各教育コンテンツにおける保有知識と求める知識の平均値の差分である。一般ユーザーの自動運転車を購入する意欲が強くなることにより、保有知識と求める知識が逆な傾向が見られた。

(4). ディーラーから受けた自動運転に関する説明と一般ユーザーが求める知識の相違

図 5-13 に各教育コンテンツにおいてディーラーから受けた説明の程度を示した。図 5-11 の Q8-2 から商談段階にて一般ユーザーが最も求めると思われる「ドライバーの役割と責任」に対して、ディーラーの説明が一番少なかったことは両者の相違を示唆した。

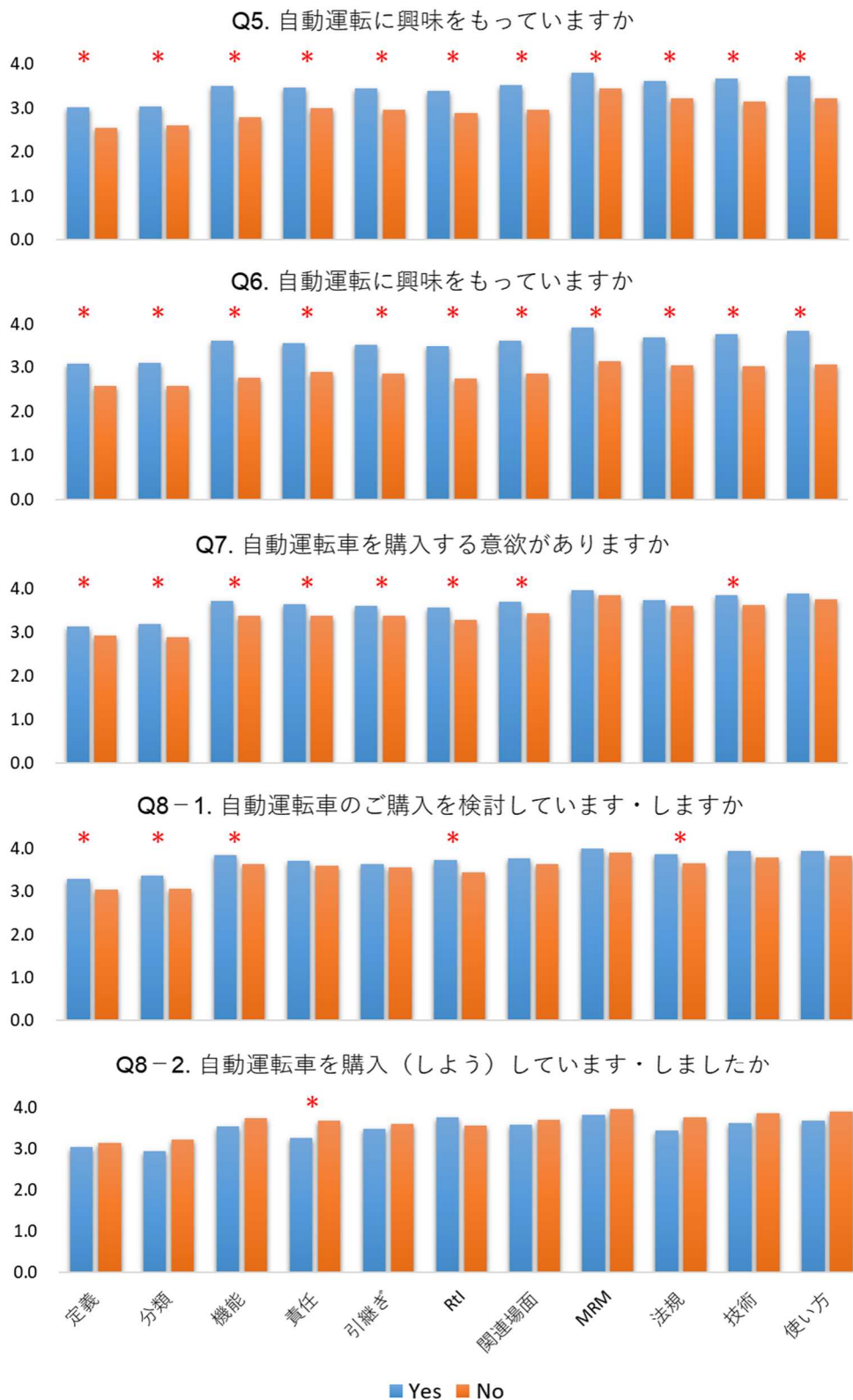


図 5-11 自動運転へ態度によるユーザーが求める知識の程度

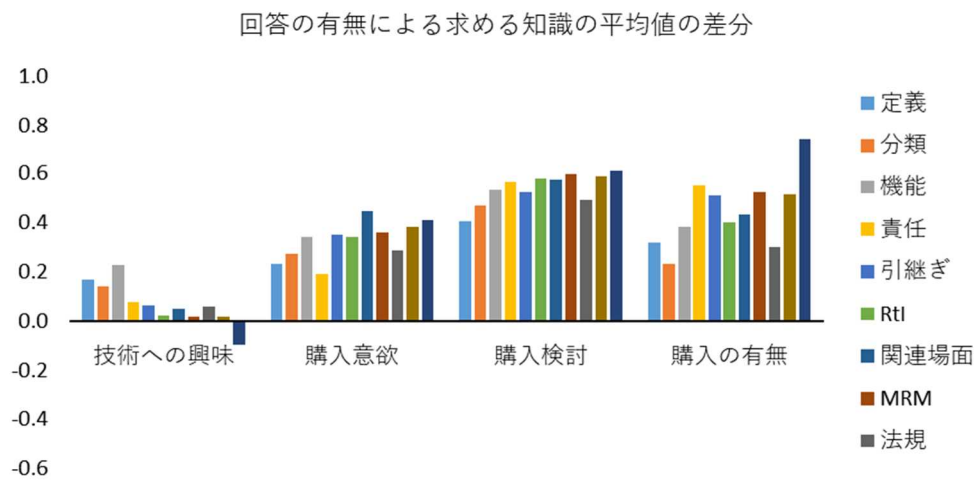
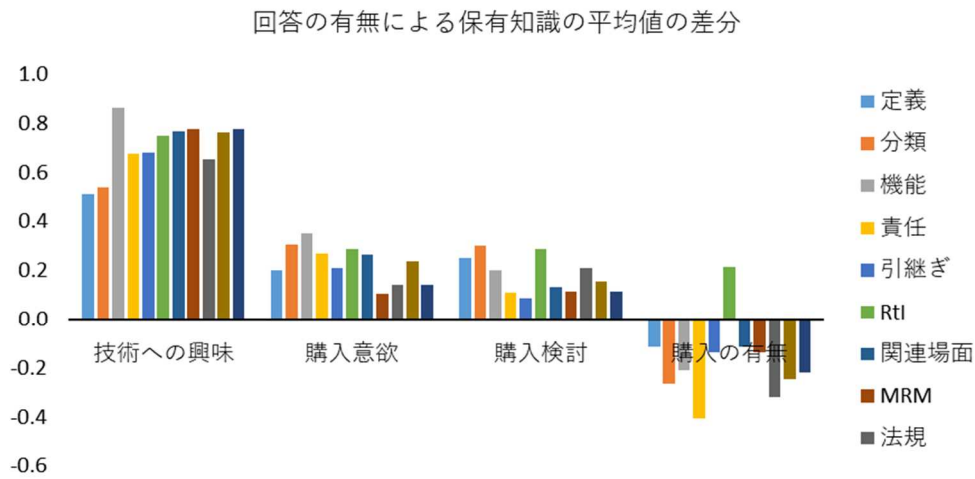


図 5-12 各教育コンテンツにおける保有知識と求める知識の平均値の差分

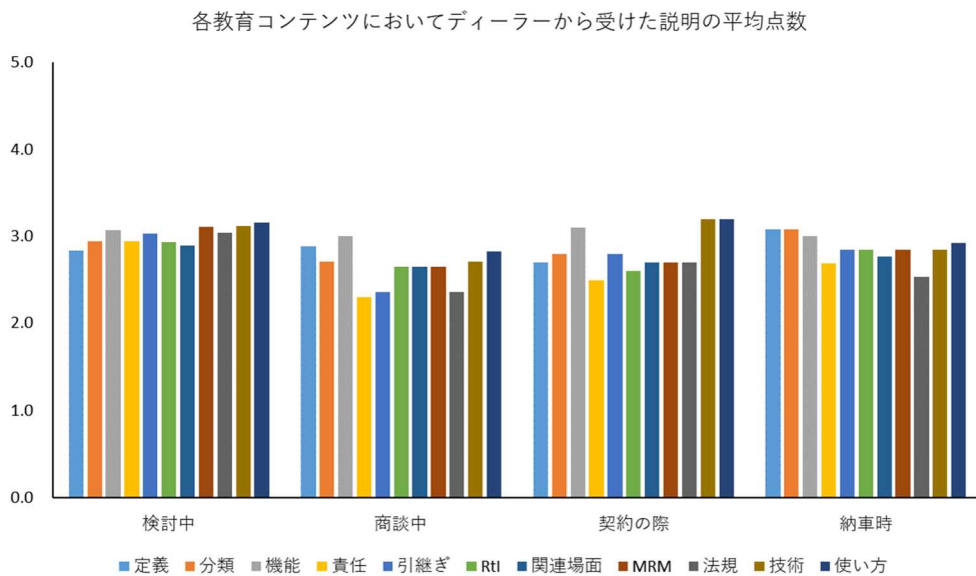


図 5-13 デイラーから受けた自動運転に関する説明

5.3.4. まとめ

本調査により、一般ユーザーが自動運転を所有する意欲は高くなり、保有した知識の差がより大きくなった一方、求める知識の差は逆となった結果が見られた。さらに、調査の結果からディーラーから受けた自動運転に関する説明と一般ユーザーが求める知識の相違も示唆された。

これらの結果は今後ディーラーにおける自動運転に関する教示に役立つと考えられる。

5.4. 特定のシステムに関する知識の伝達の検討と検証

5.4.1. 目的

本実験では安全運転教育において自動運転に関する一般的な知識を前提として、特定のシステムについて提供すべき知識の項目を整理、その有効性を DS 実験によるその効果を評価することを目的とした。また、講習の時間的な効果を評価する必要があると考えられることから、知識の講習と DS 検証実験に分け、間に1ヶ月程度開ける実験を計画した。なお、DS 検証実験は令和4年度4月から実施する予定であるため、本報告書では教示部分のみ報告する。

5.4.2. 実験参加者

普通運転免許を有する48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。本実験は教育手法の検討を行うため、自動運転に関する教育を受けた方に限定した。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：2019R333-3、2020R452-2)。

5.4.3. リモート実験によるシステム説明（教示部分）

本実験では、特定のシステムに関する知識の伝達(教示)については、図5-14に示した筑波大学による開発したリモート実験用ツールを用いて、システムの説明を行った。特定の自動運転システムが車線変更機能付きのSAEレベル3に相当する自動運転機能を使用した。



(a) リモート実験のログイン画面

これから次回使用する自動運転システムについての説明を行います。

(b) リモート実験の資料説明画面



(c) 引継ぎ体験画面

図 5-14 リモート実験用ツール

5.4.4. 実験計画

FY20-21 の先行研究から本実験に説明資料の教示方法（説明者ベース v.s. ユーザーベース）と引継ぎ体験の有無という 2 要因（被験者間）、 2×2 条件の実験をデザインした。故に、すべての実験参加者は 4 グループに分けられ、各グループの実験参加者の内訳は表 5-8 通りである。

表 5-8 実験参加者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	女性	男性	女性	男性	全体
説明者・体験有	8	4	46.9	46.0	46.6
説明者・体験無	8	4	46.4	44.3	45.7
ユーザー・体験有	7	5	43.7	49.8	46.2
ユーザー・体験無	8	4	46.8	45.8	46.4

なお、DS 検証実験は令和 4 年度 4 月から実施する予定であるため、本報告書に教示部分のみ報告した。

参考文献