
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」

成果報告書

平成 3 1 年 2 月

国立研究開発法人産業技術総合研究所
株式会社デンソー
東京都ビジネスサービス株式会社

委託業務報告書の
無断複製等禁止の標記について

委託業務に係る報告書の無断複製等の禁止の標記については、次によるものとする。

「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）の委託業務として、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社デンソー、東京都ビジネスサービス株式会社が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システム／大規模実証実験／HMI」の平成30年度成果を取りまとめたものです。

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

内容

1. Executive summary (全体要旨)	11
1.1. はじめに	11
2. 委託概要	15
2.1. 委託の目的	15
2.2. 委託の内容	15
2.3. 用語の定義	16
3. 課題 A の調査検討	17
3.1. はじめに	17
3.2. 課題 A の平成 30 年度の計画	18
3.3. 課題 A の平成 30 年度の具体的な目的と方法	19
3.4. A-4 自動運転技術に関する理解度調査（アンケート調査）	19
3.4.1. 目的と調査の実施概要	19
3.4.2. 実施結果ならびに単純集計	20
3.5. 実験 A-5-1	23
3.5.1. 目的	23
3.5.2. 被験者	23
3.5.3. 実験装置	23
3.5.4. タスク	24
3.5.5. 実験計画	24
3.5.6. 実験手順	25
3.5.7. 評価指標と仮説	27
3.5.8. 結果と考察	28
3.5.9. まとめ	29
3.6. 実験 A-5-2	30
3.6.1. 目的	30
3.6.2. 被験者	30
3.6.3. 実験手順	31
3.6.4. 評価指標と仮説	31
3.6.5. 結果と考察	32
3.6.6. まとめ	33
3.7. 実験 A-6	33
3.7.1. 目的	33
3.7.2. 仮説	33
3.7.3. 前半部分	34

3.7.3.1. 実験目的	34
3.7.3.2. 実験装置	34
3.7.3.3. 実験被験者	34
3.7.3.4. タスク	35
3.7.3.5. 実験計画	35
3.7.3.6. 実験手順	35
3.7.3.7. 仮説と評価指標	36
3.7.3.8. 結果と考察	36
3.7.3.9. まとめ	38
3.7.4. 後半部分	39
3.7.4.1. 実験目的	39
3.7.4.2. 実験装置	39
3.7.4.3. 実験被験者	39
3.7.4.4. 実験計画	40
3.7.4.5. 実験手順	40
3.7.4.6. 仮説と評価指標	41
3.7.4.7. 結果と考察	41
3.7.4.8. まとめ	43
3.8. 実験 A-7	43
3.8.1. 目的	43
3.8.2. 実験被験者	43
3.8.3. 実験装置	43
3.8.4. タスク	44
3.8.5. 実験計画	45
3.8.6. 実験手順	47
3.8.7. 仮説と評価指標	50
3.8.8. 適切行動と想定外行動の基準	51
3.8.9. 結果と考察	51
3.8.9.1. レベル 2 に遷移時	51
3.8.9.2. レベル 1(ACC 作動) に遷移時	53
3.8.9.3. レベル 0 に遷移時	56
3.8.10. まとめ	58
3.9. 実験 A-8-1-1	58
3.9.1. 目的	58
3.9.2. 実験被験者	59

3.9.3. 実験装置	59
3.9.4. タスク	60
3.9.5. 実験計画	60
3.9.6. 実験手順	62
3.9.7. 仮説と評価指標	64
3.9.8. 結果と考察	65
3.9.9. まとめ	74
3.10. 実験 A-8-1-2	75
3.10.1. 目的	75
3.10.2. 実験被験者	75
3.10.3. 実験装置	75
3.10.4. タスク	76
3.10.5. 実験計画	76
3.10.6. 実験手順	78
3.10.7. 仮説と評価指標	79
3.10.8. 結果と考察	80
3.10.9. まとめ	82
3.11. 実験 A-8-2	83
3.11.1. 目的	83
3.11.2. 実験被験者	83
3.11.3. 実験装置	83
3.11.4. タスク	84
3.11.5. 実験計画	84
3.11.6. 実験手順	86
3.11.7. 仮説と評価指標	87
3.11.8. 結果と考察	88
3.11.9. まとめ	91
3.12. A-9 学習スタイルに係る調査（アンケート調査）	92
3.12.1. 目的と調査の実施概要	92
3.12.2. 目的と調査の実施概要	93
3.13. 参加者実証実験	98
3.13.1. 目的	98
3.13.2. 被験者	98
3.13.3. タスク	99
3.13.4. 実験計画	99

3.13.5. 実験参加者間での実験条件の相違点	100
3.13.6. 評価指標と仮説	100
3.13.7. 結果と考察	101
3.13.8. まとめ	102
3.14. 課題 A の平成 30 年度のまとめ	102
3.15. 課題 A の平成 30 年度の Recommendation (成果の活用)	103
3.16. 課題 A 参考文献	104
4. 課題 B の調査検討	106
4.1. はじめに	106
4.2. 課題 B の平成 30 年度の計画と全体像での位置付け	109
4.3. 課題 B の平成 30 年度の具体的な目的と方法	111
4.4. Readiness 構成指標のリアルワールドデータ取得	113
4.4.1. 実験 B-1-3	113
4.5. ドライバー状態維持のための HMI 基本要件	118
4.5.1. 実験 B-4-2	119
4.5.2. 実験 B-4-3-1	129
4.5.3. 実験 B-4-3-2	141
4.5.4. 補足 (予備実験)	150
4.6. ドライバーモニタリングシステム(DMS)の実現性検討	155
4.6.1. 眼球指標検出の仕様	155
4.6.2. DMS の検討	155
4.6.3. 試作した DMS の性能	157
4.6.4. DMS と EOG の比較	158
4.6.5. 廉価仕様での性能見込み	161
4.6.6. 今後の課題	165
4.7. Readiness 推定方法の考え方例	165
4.7.1. Readiness レベルの推定方法の考え方	165
4.7.2. 試作した DMS による Readiness レベル推定精度の検討	167
4.8. 課題 B の平成 30 年度のまとめ	168
4.9. 課題 B の平成 30 年度の Recommendation (成果の活用)	169
4.10. 課題 B 参考文献	170
5. 課題 C の調査検討	172
5.1. はじめに	172
5.2. 課題 C の平成 30 年度の計画	173
5.3. 課題 C の平成 30 年度の具体的な目的と方法	174

5.4. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションの要件に関する試験走路実験	176
5.4.1. 実験目的	176
5.4.2. 実験環境および実験車両の構成	176
5.4.3. 外向け HMI のコンテンツ	179
5.4.4. 被験者	182
5.4.5. 実験条件	182
5.4.6. 評価項目	184
5.4.7. 実験手続き	185
5.4.8. 実験結果	187
5.4.9. 考察	195
5.4.10. まとめ	198
5.5. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションの要件に関する試験走路実験	199
5.5.1. 実験目的	199
5.5.2. 実験環境および実験車両の構成	199
5.5.3. 外向け HMI のコンテンツ	202
5.5.4. 被験者	205
5.5.5. 実験条件	205
5.5.6. 評価項目	207
5.5.7. 実験手続き	208
5.5.8. 実験結果	210
5.5.9. 考察	219
5.5.10. まとめ	221
5.6. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）	222
5.6.1. 実験目的	222
5.6.2. 実験概要	222
5.6.3. 実験装置	222
5.6.4. 実験環境	225
5.6.5. VR 映像内実験環境	226
5.6.6. 実験タスク	227
5.6.7. 実験条件	227
5.6.8. 自動運転車の車両挙動	229
5.6.9. 実験試行の流れ	229

5.6.10. 計測項目	230
5.6.11. 実験参加者	231
5.6.12. 実験手続き	231
5.6.13. 実験結果	232
5.6.14. 考察	238
5.6.15. まとめ	240
5.7. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）－外向け HMI 利用に伴う負の影響	240
5.7.1. 実験目的	240
5.7.2. 実験環境	240
5.7.3. 実験の構成	241
5.7.4. VR 映像内実験環境	242
5.7.5. 実験タスク	243
5.7.6. 実験条件	244
5.7.7. 実験試行の流れ	248
5.7.8. 計測項目	250
5.7.9. 実験参加者	251
5.7.10. 実験手続き	251
5.7.11. 実験結果	252
5.7.12. 考察	259
5.7.13. まとめ	260
5.8. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）－外向け HMI 利用に伴う負の影響	261
5.8.1. 目的	261
5.8.2. 実験装置	261
5.8.3. 実験方法	262
5.8.4. 外向け HMI	262
5.8.5. 観測する交通場面	263
5.8.6. 実験条件	267
5.8.7. 実験参加者	267
5.8.8. 体験する交通場面の順序	267
5.8.9. 評価項目	268
5.8.10. 実験手続き	270

5.8.11. 実験結果および考察	271
5.8.11.1. 衝突対象あり十字路	271
5.8.11.2. 衝突対象なし丁字路	276
5.8.12. まとめ	281
5.9. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件の検討（一般道）－自動運転車の表明とドライバーの状態が歩行者の判断や心理に与える影響の検討	282
5.9.1. 実験目的	282
5.9.2. 実験概要	282
5.9.3. 実験方法	282
5.9.4. 検証・評価方法	298
5.9.5. 被験者	302
5.9.6. 実験結果	303
5.9.7. まとめ	318
5.10. 自動運転車と歩行者とのコミュニケーションにおける地域性や歩行者の属性の影響に関する調査方法の提案（HMD実験）－日本・英国間の地域性に関する検討	318
5.10.1. 実験目的	318
5.10.2. 実験概要	318
5.10.3. 実験結果	326
5.10.4. 考察	331
5.10.5. まとめ	332
5.11. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）－検討のための実験環境の比較実験－	332
5.11.1. 実験目的	332
5.11.2. 実験方法	333
5.11.3. 実験結果	339
5.11.4. 考察	349
5.11.5. まとめ	353
5.12. 自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションにおける地域性や交通参加者の属性の影響に関する調査方法の提案（Web調査）－低速域での自動運転車と歩行者のコミュニケーションに関する検討	354
5.12.1. 調査方法	354
5.12.2. 調査対象	367

5.12.3. 調査結果および考察	368
5.12.4. 本調査のまとめ	394
5.13. 課題 C の平成 30 年度のまとめ	394
5.14. 課題 C の平成 30 年度の Recommendation (成果の活用)	395
5.15. 課題 C 参考文献	396
6. ガイドライン化・国際標準に向けた活動	399
7. 大規模実証実験（以下参加者実証実験）における参加者との連携及び安全管理	400
7.1. はじめに	400
7.2. 平成 30 年度の参加者実証実験の計画	400
7.3. 平成 30 年度の参加者実証実験の実施	402
7.3.1. 参加者募集と実施体制	402
7.3.2. 目的・実験シナリオについて	403
7.3.3. 実施概要	405
7.4. 平成 30 年度の参加者実証実験のアンケート結果	406
7.5. 平成 30 年度の参加者実証実験のまとめ	409

1. Executive summary (全体要旨)

1.1. はじめに

(1) 実施項目 A：自動走行システムの機能・状態・動作の理解

(i) 事前知識

- レベル 3 におけるドライバーの知識が自動走行から手動運転への切り替えに及ぼす影響について、切り替えの可能性のみを事前知識として与えるドライバー群と、切り替え表示と場面例も事前知識として与えるドライバー群にてテストコースでの走行実験を行った。その結果、切り替え発生場面の知識を持っていることが運転切り替えをスムーズにすることが確認された。このことは、大規模実証実験でも追認された。
- 運転引継ぎの経験をしておくことが数か月単位で時間が空いたとしても知識の理解の維持に貢献することを、シミュレータ実験で確認した。
- レベル 2 におけるシステムによるハザード見落としを想定し、その場面例を事前知識としてドライバーに与える効果をドライビングシミュレータ実験にて検討した。その結果、場面の事前知識を持っているドライバー群では、事前に教示された場面の事例とは異なる場面に遭遇しても適切な運転パフォーマンスを発揮できる結果が得られ、事前に教示された知識を汎化できる可能性が示された。

(ii) HMI (Human Machine Interface)

- レベル 2 におけるシステムによるハザードの見落としをドライバーへ伝える HMI に関して、システムの検知している情報（検知情報）とシステムによる操作の意図（操作意図）を表示する HMI によって、障害物との衝突頻度は低下することが示された。この効果は、HMI に提示する情報を簡素化しても保たれることも確認された。
- ハザードの見落としが起こりやすくなる状況をシステムが認識している場合、その認識度合いをより瞬時に判別可能な情報表示（例：バーの長さ）が有効であり、実際のハザード見落とし時にもドライバーが適切に対応できることが確認された。
- レベル 3 での制御が可能な自動走行システムのレベルが動的に変化する状況にて、レベル変化の際のドライバーの反応を分析したところ、現在のレベルを正しく認識することを支援するためには、自動走行レベルの変化を音声で伝えること、とくに今何をなすべきかを伝えることが重要であることが確認された。

(2) 実施項目 B：ドライバーの状態の評価と状態維持の HMI

(i) ドライバー状態の評価指標

- 自動走行中のドライバー状態の評価指標として、瞬間的な目の動き（サッカー）の相対頻度が意識のわき見およびわき見の程度によって変化することが示された。また、瞬目回数が意識のわき見状態に感度が高いこと、前方視認割合がわき見状態と関連の強い結果が示された。
- RtI 前のドライバー状態の違いによる RtI 後の運転パフォーマンスの違いを評価したところ、RtI 前の意識のわき見によって、車線変更時点における障害物までの余裕時間が短くなること、RtI 前のわき見によって、車線変更時の最大ステアリング操舵角までの操舵速度が速くなること／ステアリング操舵のばらつきが大きくなることが示された。
- 目の開き度合、まばたき、視線、サッカーを検知可能なドライバーモニタリングシステムを実環境実験の実験車両に実装したところ、同時に計測したドライバーの水平眼電位の信号から得られた瞬目回数や小さなサッカー回数の経過時間に伴う変化はドライバーモニタリングシステムにより推定された値の変化と同様の傾向であることが示された。
- 実運用環境（公道）にて、2016 年度と 2017 年度に得られた成果であるドライバー状態の評価指標を測定可能であることが示された。

(ii) ドライバー状態維持のための HMI

- 自動走行中のドライバー Readiness レベルの低下を防ぐための HMI の有効性の検討については、手動運転挿入 HMI が働く場合、その後の RtI に対する運転動作が遅延する可能性が示された。特にこの傾向は高齢者で顕著だった。また、サッカーや瞬目などの Readiness レベル指標に対しても、HMI の有効性は示されなかった。これは、自動走行と手動運転の切り替えがドライバーにとって負荷となったことが一因と考えられる。
- さらに、自動走行中にドライバーにとって受動的なサブタスクを実施する条件と、受動的なサブタスクの途中で能動的なサブタスクを挿入する条件を比較すると、ドライバーの眠気増大の抑制効果は確認できたが、運転交代後のパフォーマンスの改善効果は確認できなかった。
- 体性感覚刺激をドライバーに与える HMI3 種類の評価については、「維持 HMI」と「回復 HMI」単独では、Readiness レベル指標や RtI 後の運転動作に対する有効な効果は認められなかった。一方、「維持・回復 HMI」は、Readiness レベル低下の防止および RtI に対する運転動作の悪化防止の効果が認められた。このことから、維持と回復のように、Readiness レベルに対して複数の効果を持つことが、Readiness レベルを適切な状態に保つ

HMIとして有効であることが示唆された。

- テストコースにて、「維持・回復 HMI」による自動走行中のドライバーの眠気増大の抑制効果を確認できたが、運転交代後のパフォーマンス向上の効果は見られなかった。
- (3) 実施項目 C：自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションに関わる課題
- (i) 車両挙動と外向け HMI の組合せによる効果検証
- 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、主として減速挙動を活用すること、減速挙動等が十分に活用できない状況では、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・確信させる上で外向け HMI の活用が有効であることなどを明らかにした。
 - 車両挙動や意図を歩行者が予測できない状態（例えば「自動走行中」）を伝達する外向け HMI は、自動運転車の意図に対する歩行者の認識を阻害する可能性を有すること、灯火点滅を伴う外向け HMI を活用するには、標準化ならびに歩行者への教育や学習が必要となることなどを明らかにした。
- (ii) 自動運転を表示することの周囲への影響
- 歩行者とのコミュニケーションにおいては、その道路環境に対する歩行者側の優先・非優先の意識によって確認行動や行動の意思決定が影響される可能性が考えられ、そのような道路環境に対する交通参加者の意識等を考慮した検討が必要となることを示唆する結果となった。
- (iii) 低速走行する自動運転車から外向け HMI を介した意図・状態の伝達
- 低速走行する自動運転車を対象に非優先側ドライバーや歩行者の判断時の確信や安心を高めるにも外向け HMI の活用が有効であること、歩行者を対象とした場合には早いタイミングでの判断を促せること、非優先側ドライバーの判断は自動運転車がほぼ停止に近い状態でのタイミングとなることなどを明らかにした。
- (iv) 外向け HMI を利用した際の負の影響
- 「お先にどうぞ」「自動運転中」など外向け HMI のコンテンツによっては、交通参加者の確認行動が自動運転車に依存してしまい、その結果、交通参加者の確認行動が変容して、他の交通参加者と接触やニアミスなど負の影響を誘発する可能性が確認された。
- (v) 灯火型外向け HMI の利用と教育
-
-

-
-
- 灯火を伴う外向け HMI を活用するには、標準化ならびにドライバーや歩行者への教育や学習が必要となることを明らかにした。また、自動運転車の意図や状態に対応して複数の灯火パターンを学習させるような場合、学習後に交通参加者の判断タイミングを遅延させてしまう可能性が示唆された。

(vi) コミュニケーション評価の方法論

- 自動運転車・歩行者間コミュニケーションを評価するために、交通行動の安全性、対象者の安心、交通の円滑化などの評価指標が有用であることが確認された。
- コミュニケーション評価に対して、分析目的に応じた方法論の適用（Web 調査、HMD 実験、試験走路実験等）を提案し、HMD 実験により、自動運転車・交通参加者間コミュニケーションに対する地域性や属性の影響について分析・評価可能であることを確認した。

(4) 実施項目 D：ガイドライン化・国際標準に向けた活動

- TR21959 Road vehicles : Human Performance and State in the Context of Automated Driving: Part 1-Common Underling Concept（自動運転中のドライバー状態および運転パフォーマンス:共通基盤概念）を日本主導で作成し技術文書として発行した。
- 実施項目 A に関わる事前知識や各種システム情報、および実施項目 B に関わる各種ドライバー状態や各種パフォーマンス指標を反映し、通基盤的な概念を整理し、それに係わる用語を定義した。
- DTR21959 Part 2: Considerations in designing experiments to investigate transition processes のドラフト作成作業を始めた。

(5) 実施項目 E：大規模実証実験における参加者との連携及び安全管理

- 課題 A：実験参加企業 3 社でテストコースでの実験を行い、LV2/LV3 相当では、「運転引継ぎの必要性、RtI 表示の意味、介入が必要な場面例」までが事前知識としては必要であるとの仮説が、概ね検証された。
- 課題 B：実験参加企業 3 社でテストコースでの実験を行い、統制されたドライバー状態での DMS 出力値、ならびに運転引継ぎパフォーマンスとの関係については、課題 B の研究開発(Readiness 指標の導出)にて、検証データとして利活用されている。

2. 委託概要

2.1. 委託の目的

ドライバーのシステムへの理解、ドライバーの **Readiness** 状態と運転行動特性の把握、歩行者・自動運転車以外の車とのインタラクションの検証を行うことにより、以下を実現することを目的とする。

- 実交通環境走行データ収集によるデータベース構築
- データ分析による **Readiness** 指標及び計測方法の自動車工業会 **HMI** ガイドライン化と国際標準 (ISO/TC22/SC39) 提案
- ドライバーモニタリングシステム (DMS) 実験結果の R79 (国連規則 No.79) に記載されている ACSF(Automatically Commanded Steering Function)の改定における基準化 (カテゴリ B2、E) 議論への活用

2.2. 委託の内容

次の 5 項目を実施する。

- 実施項目 A (以下課題 A) : 自動走行システムの機能・状態・動作の理解
- 実施項目 B (以下課題 B) : ドライバーの状態の評価と状態維持の **HMI** (Human Machine Interface)
- 実施項目 C (以下課題 C) : 自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーション
- 実施項目 D : ガイドライン化・国際標準に向けた活動 (担当 : 国立研究開発法人 産業技術総合研究所)
- 実施項目 E (以下参加者実証実験) : 大規模実証実験における参加者との連携及び安全管理 (担当 : 東京都ビジネスサービス株式会社)

課題 A では、ドライビングシミュレータ (DS) 実験、テストコース (TC) 実験、参加者募集による実路実験 (参加者実施実験) を行い、システム機能に関するドライバーの知識項目と表現に関する指針を策定すると共に、システム状態をドライバーに効率よく伝えるための **HMI** 基本要件の策定と妥当性等を明らかにする。ここでは、システム機能に対するドライバーの知識を陽に扱い、事前知識のあり方やそれをドライバーに伝えるための **HMI** (Human Machine Interface) の基本要件について実験的に検討する。

課題 B では、DS 実験、TC 実験、参加者実施実験を通じて、ドライバー **Readiness** の定義の確立、ドライバーの状態と遷移時間の関係性の導出、ドライバー **Readiness** を維持するための **HMI** の基本要件の策定を行うと共に、車載可能なドライバーモニタリングシステム (DMS) を開発する。自動走行中

のドライバー状態を認知・生理・行動の3側面より評価すると共に、その評価指標を車載機として実装する。さらに、ドライバー状態を維持するためのHMIの基本要件の検討及び試作を行う。

課題Cでは、TC実験、参加者実施実験により、自動運転を表示することによる周囲への影響評価、ドライバー間ならびにドライバーと歩行者間の両コミュニケーションのための外向けHMI試作・車両挙動と効果検証、外向けHMIの仕様に対する地域性の有無・交通参加者の属性による認識の違いの調査等を行う。交通参加者間のコミュニケーションの現状調査結果を踏まえて、適切なコミュニケーションを促すためのHMIの基本要件および自動運転車の車両挙動を実験的に検討する。

ガイドライン化・国際標準に向けた活動では、ISO/TC22/SC39/WG8への提案を計画している。現在、同WG対応国内団体である（公社）自動車技術会規格委員会傘下のヒューマンインタフェース分科会において、SIPの成果を元にして提案内容の検討を進めている。

課題A、課題B、課題Cの研究開発における成果物（知見とシステム）を、より実用域に近い環境で検証するために、企業参加による実証実験を実施する。実証実験は公道走行実験とテストコース実験を含む。テストコース実験については、各社が保有する施設等において、各社のレベル3相当の自動運転試作車を用いることにより、より開発に即した実験検証を行う。得られたデータは受託者と参加者間で共有し、各社の開発に役立てるとともに、日本自動車工業会HMIガイドライン、国際標準(ISO TC22/SC39)、国連規則(R79)へのインプットとして活用する。

2.3. 用語の定義

研究課題の枠組みについては、下記の通り用語を統一する。

- 課題A：自動走行システムの機能・状態・動作の理解
- 課題B：ドライバーの状態の評価と状態維持のHMI (Human Machine Interface)
- 課題C：自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーション
- 参加者実証実験：大規模実証実験における参加者との連携及び安全管理

3. 課題 A の調査検討

3.1. はじめに

課題 A では、自動走行システムの機能・状態・動作の理解をユーザー（ドライバー）が適切に行えるための Human Machine Interface (HMI) の在り方を検討するものである。ただし、HMI を適切に理解できるためには、最低限いくつかの予備知識を持つことが必要不可欠であると考えられることから、平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討においては、ユーザーに与える事前知識について検討を行った。

平成 29 年度以降の取り組みにおいては、ユーザーが有すべき最低限の知識を前提として、HMI の基本要件を明らかにするための検討を行った。ただし、ユーザーが有すべき知識を適切に伝えるためには、その伝え方についても検討が必要であることから、平成 30 年度においても引き続き知識の伝達方法についても検討課題に含めた。

課題 A において重点的に取り組むべき課題は、想定される自動運転のレベルによって異なるので、レベル 2、レベル 3 それぞれについて問題を切り分けて並行して検討を進めてきた。その具体的な方法については、次節において詳細に述べる。

その成果は、報告書として既に公開済みである[1][2]ほか、2017 年 7 月及び 2018 年 7 月の成果報告会、2017 年 11 月及び 2018 年 11 月の SIP-Adus Workshop でも発表を行って周知に努めてきた。また、成果の一部は雑誌論文・国際会議でも発表済みである[3][4][5][6][7]。

なお、課題 A においては、以下のことを前提としている点に注意が必要である。すなわち、前提とする事前知識ならびに課題 B の取り組みによって、自動運転中のユーザー（ドライバー）の状態は適切な readiness レベルに保たれているものとする。したがって、たとえばレベル 2 であれば、ドライバーは適切に覚醒し、周辺環境並びにシステム作動状況を監視していることを仮定する。課題 A での問題は、真摯に監視しているドライバーであってもシステムの機能や状態を誤解してしまったり不適切な依存に陥ることがないかどうか、不適切な依存を回避するための HMI はどのようなものであるかを明らかにするという点である。レベル 3 でも、ユーザーがわき見はしていることはあるとしても、眠ってしまったりはしないものとする。

3.2. 課題 A の平成 30 年度の計画

ドライビングシミュレータ（DS）実験、テストコース（TC）実験、参加者募集による実証実験（参加者実証実験）を行い、運転引継ぎに関するドライバーの知識項目と表現に関する基本的指針を策定するとともに、システム状態をドライバーに効率よく伝えるための HMI コンテンツの策定を行う。そのために、システム機能と運転引継ぎに関するドライバーの知識を陽に扱い、事前知識やシステム状態をドライバーに伝えるための HMI（Human Machine Interface）のあり方について検討するとともに、知識習得に対する学習スタイルなどの影響も検討する。平成 30 年度における計画は、図 3-1 に示す通りである。

事業項目	平成 30 年度			
	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期
A. 自動走行システムの機能・状態・動作の理解				
システム状態の最低限の知識項目と RtI 不発に備える知識項目の検討 【概算費用 平成 30 年度 17 百万円】		検証実験	指針策	
システムの機能限界における運転引継ぎの検証 【概算費用 平成 30 年度 73 百万円】	検証実験		指針策	
学習スタイルに係るアンケート調査 【概算費用 平成 30 年度 2 百万円】	本調査		指針策定	

図 3-1 課題 A の平成 30 年度の計画

3.3. 課題 A の平成 30 年度の具体的な目的と方法

- i. システム状態の最低限の知識項目についての検討
実験 A-1-1 に関して、システム状態に関する最低限の知識項目に関する仮説を検証する。(実験 A-5)
- ii. システム状態に関する知識取得日についての詳細検討。
システム状態に関する知識習得について、平成 29 年度の (i) の結果を踏まえ、仮説を構築しその検証を行う。(実験 A-6)
- iii. 自動運転レベルの動的遷移におけるレベル知識維持の検証。
自動運転のレベルが動的に変更しうる環境下でドライバーによるシステムの制御モード(レベル)の認識が、HMI によって適切に維持されるかを検証。(実験 A-7)
- iv. 自動運転レベル遷移時の、自動運転レベルのドライバーの認識を評価する。
システムによるハザード見落としに対するドライバー認識向上のための、認識対象共有 HMI の効果検証(実験 A-8-1)
システムによるハザード見落としに対するドライバー認識向上のための、確信度情報の効果検証(実験 A-8-2)

3.4. A-4 自動運転技術に関する理解度調査(アンケート調査)

3.4.1. 目的と調査の実施概要

自動運転に関わる用語やシステムの機能、能力の限界等に関して、「社会の人々の理解が不足している、または誤解をしていることが多いのではないか」との課題がある。本調査では、ここ数年で急増している「自動運転」に関わる用語について、一般の方(自動車等に関係する方ではない方)の理解や誤解について現状を把握することを目的とする。

調査は、①自動走行システムの目的・機能・限界に関するニュースへの関心の度合、②自動走行システムの目的・機能・限界に関する理解(イメージ)を調べ、設問の設定にあたっては、「原因系：どれくらい積極的に情報を入手しようとしているか」と「結果系：最近の事例をどの程度知っているか」の 2 系列から設問を整理した。

調査の実施方法としては、Web によるアンケート調査を実施した。実施概要は表 3-1 のとおり。

表 3-1 自動運転技術に関する理解度調査の実施概要

実施時期	2018.12.3. - 2018.12.4.	
調査方法	Web 調査：株式会社マクロミルの会員（モニター）調査	
想定回答者数(n)	1,000(下記の属性に偏りが出ないようにスクリーニング) →居住地区：9 区分（北海道／東北／関東／甲信越／北陸／中部／関西／中国・四国／九州・沖縄） →年齢：4 区分（若年（20-35 歳）／壮年（36-45 歳）／中年（46-60 歳）／高齢（61 歳以上））	
設問数	日常の運転について	11 問
	メディアでの報道における自動運転への関心	2 問
	自動運転のレベル 1~3 に関する理解	3 問
	自動運転の用語に関する理解	1 問（44 用語）
	自動運転に関するニュースへの関心	3 問
	自動運転の技術・システム・商品化への理解	3 問
	自動運転の社会的メリット・ユーザーメリットについて	2 問
	自動運転への自由記載	

3.4.2. 実施結果ならびに単純集計

【属性】

回収したアンケート結果数は、n=1,044 であった。属性で見ると、年齢別が各カテゴリで n=261 と均等になっており、性別は概ね同数、地区別では関東（23.8%）、関西（16.1%）、中部（11.9%）となっている。

表 3-2 自動運転技術に関する理解度調査の回答者数

	20-35歳		36-45歳		46-60歳		61歳以上		合計	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
北海道	6	15	9	12	14	7	13	8	42	42
東北	8	13	6	15	11	10	18	3	43	41
関東	16	46	29	33	35	27	47	15	127	121
甲信越	2	19	8	13	10	11	13	8	33	51
中部	5	26	10	21	19	12	24	7	58	66
北陸	4	17	10	11	17	4	15	6	46	38
関西	12	30	13	29	27	15	33	9	85	83
中国・四国	2	19	4	17	7	14	16	5	29	55
九州・沖縄	3	18	5	16	12	9	14	7	34	50
計	58	203	94	167	152	109	193	68	497	547

日常的にニュースを取得する情報源としては、TV(84.9%)、インターネットのニュースサイト(70.0%)と回答した人が圧倒的に多い。

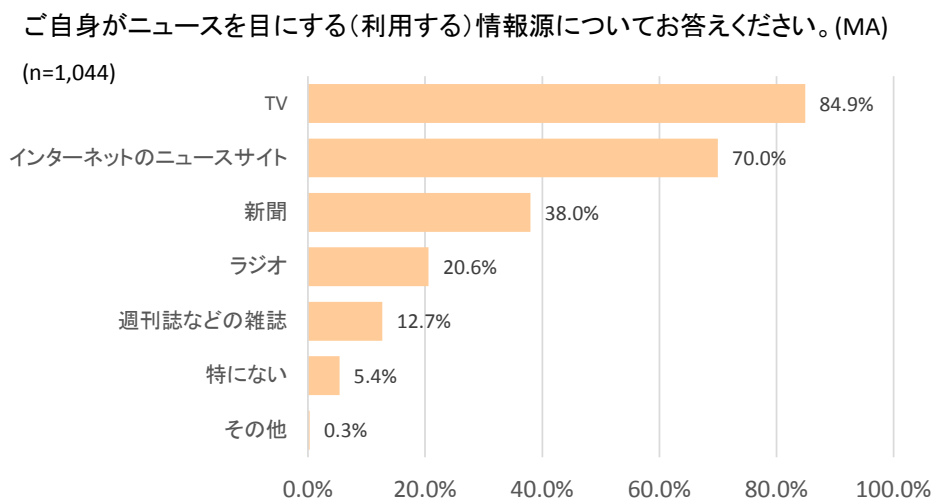


図 3-2 ニュースの情報源

【自動運転への関心】

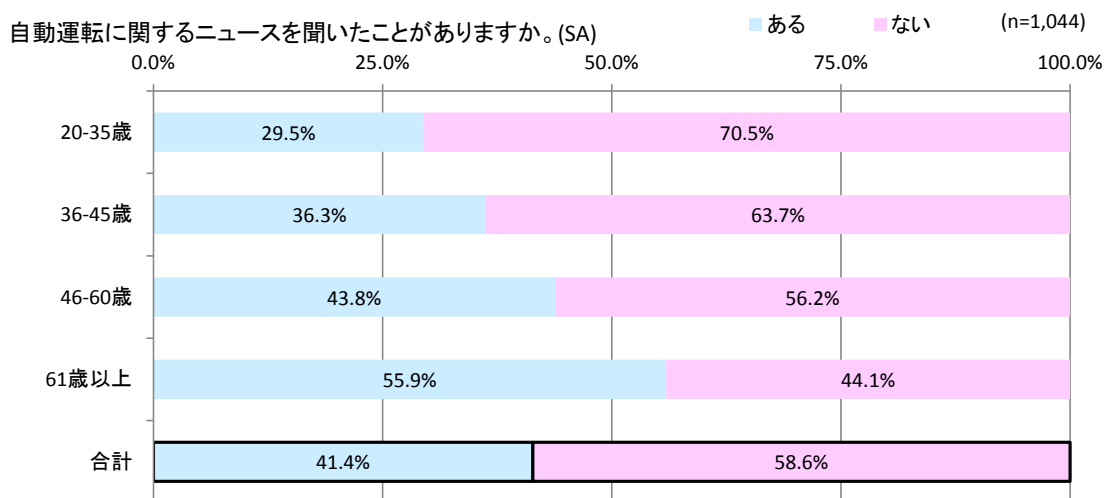


図 3-3 自動運転に関するニュースの接触

自動運転に関するニュース（国内外での事故ならびに新製品など）を聞いたことがあるか、との問いに対しては、聞いたことがあると回答したのは40%程度となっている。年齢別でみると、年齢が上がるほど聞いたことがあると回答した割合が増えており、61歳以上では聞いたことがあると回答した人は半数を超えている。

【自動運転の理解】

次に、自動運転のレベル 1～3 の自動運転作動中におけるドライバーの役割について見てみる。設問では、LV1(レベル 1 (ドライバー責任) 加速・操舵・制動のいずれかをシステムが行う状態)、LV2(レベル 2(ドライバー責任) 加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態)、LV3(レベル 3 (システム責任 (自動走行モード中)) 加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバーが対応する状態)を明示し、「ドライバーが運転中に操作しなければいけないこと」ならびに「システムからの要請」に関する設問とした。

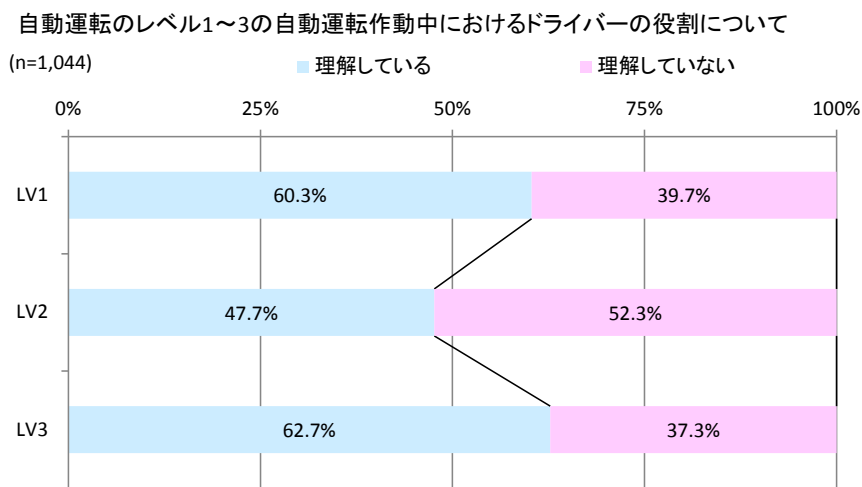


図 3-4 自動運転のレベル 1～3 でのドライバーの役割の理解

自動運転のレベルの理解を見ると、LV1 ならびに LV3 については、「理解している」が 60%を超える結果であった。LV2 では「理解している」が 50%を切る結果となった。

自動運転のレベル 1～3 の自動運転作動中におけるドライバーの役割について

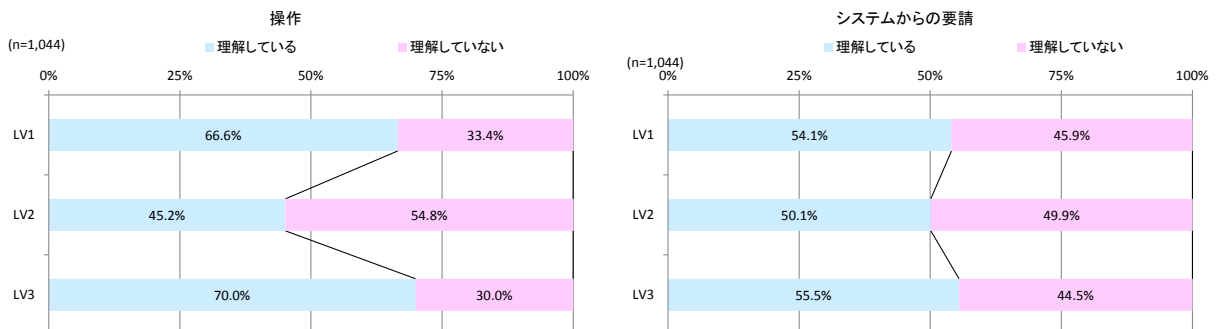


図 3-5 自動運転のレベル 1～3 でのドライバーの役割の理解 (機能別)

自動運転のレベルの理解について、操作系（前方監視ならびにハンドル操作）とシステムからの要請に分けてみると、「操作系」では、LV3 の理解が 70% となった。これは、自動運転については、前方監視やハンドル操作から解放されるイメージで理解していることがうかがえる。他方で、システムからの要請については、どのレベルでも半数程度が理解している結果となっており、こちらは、設問に明示した「ドライバー責任/システム責任」から推測されたことが考えられる。

3.5. 実験 A-5-1

3.5.1. 目的

システム機能に関するドライバーの知識が、自動運転から手動運転への遷移に及ぼす影響を TC 実験によって確認し、最低限必要な知識項目を抽出することを目的とした。本実験は平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討の実験 1（ドライビングシミュレータ実験）の実車検証を行う TC 実験である。

3.5.2. 被験者

被験者は、普通運転免許を有する 20～50 歳代（非高齢者）の 32 名（男女各 16 名）であった。アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことのある被験者はいなかった。各条件（詳細は後述）の被験者の内訳は、表 3-3 の通りである。

なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の承認を得た上で実施した（承認番号：2018R228）。

表 3-3 被験者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
a	8	8	31.1	43.3	37.2
b	8	8	32.1	42.6	37.4

3.5.3. 実験装置

日本自動車研究所の自動運転評価拠点（Jtown）のテストコース（V2X 市街地と多目的市街地）及びレベル 3 相当機能を有する自動運転車両を用いた。

本実験で使用する自動運転システムは、単路に限定したレベル 3 の自動運

転を行うものであった。つまり、車線変更が必要な場面では、ドライバーが制御介入をしなければならない。レベル3を想定することから、ドライバーが制御介入をする必要がある場面においては、必ず引継ぎ要請（Request to Intervene: RtI）を提示した。

3.5.4. タスク

本実験において被験者に課されるタスクは、自動運転システムを利用して自動運転を行い、システムに機能限界が生じたときには対応することであった。また、被験者はシステム作動中にはサブタスクを行うように指示された。走行を開始して自車が定速（30 km/h）に達した後、ブープ音を提示した。被験者は、そのブープ音を聞いたらサブタスクを開始するようにあらかじめ指示された。本研究では、サブタスクとして、SuRT[8]を用いた。SuRTは、ISOで標準化された課題である（図 3-6）。本実験では、SuRTは、難易度「中」を、自己のペースで行うように指示した。



図 3-6 自動運転車両の運転席

3.5.5. 実験計画

本実験では、「事前知識」を被験者間要因とし、以下の2つの条件を設定した。

- 条件 a（FY16 実験 1 条件 2 介入場面の存在のみ） [1]

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 (FY16 実験 1 条件 4 要介入場面例) [1]

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点滅し、同時に音が出ます (音を再生する)。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。」

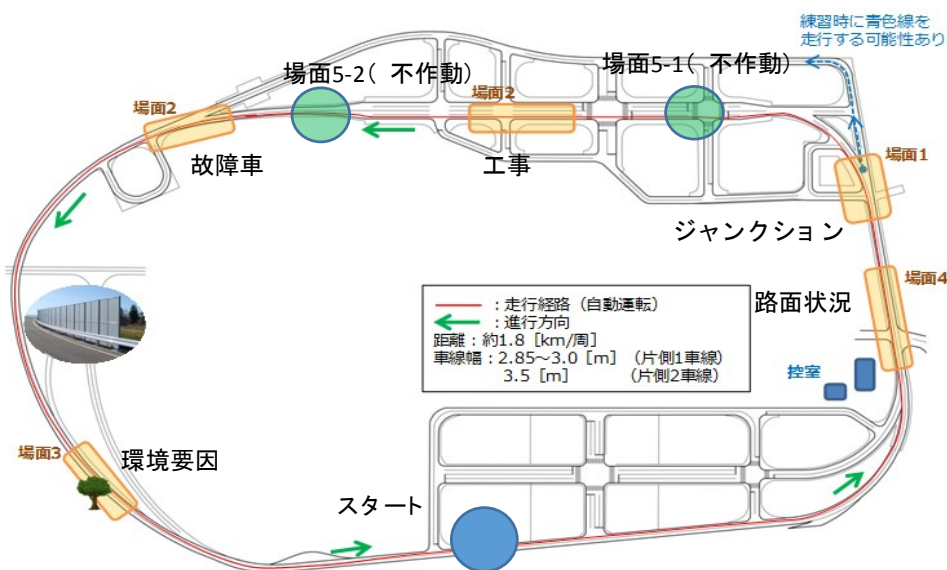
さらに、どのような場面で運転介入が必要となりうるかの例を二つ (工事現場による車線の減少、環境要因によるセンサ不良) 提示した。

3.5.6. 実験手順

まず、被験者に実験の概要を説明し、書面によるインフォームドコンセントを得た。続いて、自動運転システム、走行中に実施してもらうこと (安全運転とサブタスク)、システムから提示される運転介入要請についての説明 (上述したように条件 a と条件 b で異なる) を行った。説明終了後、被験者は走行練習を 2 周行った。1 周目には手動運転の練習を行い、2 周目には手動運転と自動運転の切替の練習を行った。練習走行の終了後、走行実験を開始した。本実験では図 3-7 に示す順序で被験者に RtI イベントを経験させた。各 RtI イベントは図 3-8 に示す。

このように、被験者はテストコースを 9 周走行し、RtI イベントを 10 回経験した。自車は 30 km/h で走行し、各イベントの 6 秒前 (Time-To-Collision (以降、TTC と称す) = 6 秒) に RtI を提示した。一つの走行は、次のように構成された。走行開始時点 (図 3-7 のスタート地点) では、車両は停止していた。ギアをドライブに入れて、ギア付近に設置した自動運転のスイッチ (図 3-6) を押せば自車が動き始め、自動運転システムの制御が開始された。自動運転中、ドライバーは、ペダルから足を離し、ハンドルから手を放すことができた。自車が定速 (30 km/h) に達した後にビープ音が提示されるので、被験者はサブタスクを開始した。その後、RtI が提示されるか、走行を終了するまで (スタート地点に戻るまで)、サブタスクを行うことが想定される。ただし、(特に条件 a の群では) RtI 提示後も被験者がサブタスクを継続する可能性はある。被験者が運転を引き継がなかった場合は、RtI 提示の 10 秒後に、同乗している実験者が被験者に「止めますね」と声をかけ、緊急用補助ブレーキを使用して自車を停止した。被験者が運転を引き継いだ場合は、運

転を引き継いでしばらくした後、同乗している実験者が自車を停止するように被験者に教示した。いずれの場合においても、被験者には止めた理由などのフィードバックを与えなかった。RtI イベントが 2 回発生する周回があるため（2 周目と 7 周目）、すべての走行において、自車の停止後は、走行開始時と同様の手順で、自動運転とサブタスクを開始するように教示した。スタート地点に戻ったら自車を停止させ、実験者は次のイベントの準備を行った。準備完了後、次の走行を開始した。



	イベント 1	イベント 2
1 周目*	工事現場による車線減少	-
2 周目	ジャンクションによる進路変更 1	環境要因によるセンサ不良 1
3 周目	-	-
4 周目	路面状況（白線のかすれ）による車線認識の困難 1	-
5 周目†	自車の一時的な故障 1（不動作 5-1）	-
6 周目*	故障車両による車線減少	-
7 周目	路面状況（白線のかすれ）による車線認識の困難 2	環境要因によるセンサ不良 2
8 周目†	自車の一時的な故障 2（不動作 5-2）	-
9 周目	ジャンクションによる進路変更 2	-

図 3-7 RtI イベントの発生場所と発生順

3 周目では RtI イベントが発生しない（ダミー）。*1 周目と 6 周目、†5 周目と 8 周目を行う順序は被験者間でカウンターバランスをとった。

3.5.7. 評価指標と仮説

本実験では、各 RtI イベントで運転を引き継いだ被験者数を評価指標とした。工事現場イベントと故障車両イベントに関しては、障害物を避けた被験者数も評価指標とした。また、ジャンクションイベントに関しては、進路変更した被験者数も評価指標とした。



A. 工事現場による車線減少



B. ジャンクションによる
進路変更



C. 環境要因によるセンサ不良



D. 路面状況（白線のかすれ）



E. 自車の一時的な故障



F. 故障車両による車線減少

図 3-8 各 RtI イベント

平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討の実験 1（ドライビングシミュレータ実験）の結果に従い、すべての評価指標の被験者数は条件 a に比べて条件 b で多くなることが予想された。

3.5.8. 結果と考察

各 RtI イベントで運転を引き継いだ被験者数を表 3-4 に示す。すべての RtI イベントにおいて、運転を引き継いだ被験者数は条件 a に比べ、条件 b で明らかに多かった ($\chi^2(1) \geq 13.3, p < 0.001$)。条件 b では一人の被験者がすべてのイベントで運転を引き継がなかったが、それ以外の被験者のほぼ全員が運転を引き継いだ。

また、条件 a においては、RtI イベントの経験を重ねても（各イベントの 1 と 2 の間で）運転を引き継いだ被験者数がほぼ変化していないことに注意されたい。つまり、条件 a のインストラクションでは、RtI イベントを経験しても「RtI が発生したら運転を引き継ぐ」という学習にはつながらないと考えられる。この結果は、平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討の実験 1 (ドライビングシミュレータ実験) の結果と異なることに注意されたい。同実験では、故障車両イベントを 2 回経験することによって、学習効果が認められている。本 TC 実験では、運転を引き継がなかった場合でも事故が起こることはなく、また、被験者にフィードバックを与えていない。よって、運転を引き継がなかった場合、運転を引き継ぐべきであったことを認識しなかった被験者が多かったと考えられる。一方で、ドライビングシミュレータ実験での故障車両イベントでは、運転を引き継がなかった場合、自車が故障車両に衝突するため、運転を引き継ぐべきであったことを認識しやすいと考えられる。このように、本研究では運転を引き継がなかった後に運転を引き継ぐべきであったことを認識しなかった被験者が多かったため、学習効果が認められなかったと示唆される。

表 3-4 各 RtI イベントで運転を引き継いだ被験者数 (割合)
(そのうち、当該イベントを先に行った被験者数 : 後に行った被験者数)

イベント	条件 a	条件 b
工事現場	3/16 (0.19) [1:2]	15/16 (0.94) [8:7]
故障車両	2/16 (0.13) [0:2]	13/16 (0.81) [5:8]
ジャンクション 1	2/16 (0.13)	13/16 (0.81)
ジャンクション 2	5/16 (0.31)	15/16 (0.94)
路面状況 1	3/16 (0.19)	14/16 (0.88)
路面状況 2	4/16 (0.25)	15/16 (0.94)
自車の故障 1	4/16 (0.25)	15/16 (0.94)
自車の故障 2	4/16 (0.25)	15/16 (0.94)
環境要因 1	2/16 (0.13)	15/16 (0.94)
環境要因 2	4/16 (0.25)	15/16 (0.94)

工事現場と故障車両イベントで障害物を避けた被験者数と、ジャンクションイベントで進路変更した被験者数を表 3-5 に示す。こちらの評価指標に関しても、工事現場イベントとジャンクションイベントでは、条件 a と条件 b の間で明らかに被験者数が異なった ($\chi^2(1) \geq 13.7, p < 0.001$)。しかしながら、条件 b において、故障車両イベントで障害物を避けた被験者数は、工事現場イベントのそれと比べて少なく、その被験者数は条件間で異ならなかった ($\chi^2(1) = 3.3, p = 0.07$) ことに注意されたい。これには、1) インストラクションの際に、工事現場イベントを運転介入が必要となる例として扱ったこと、2) 工事現場イベントで設置した 2 つの看板は工事現場を模していることをイメージしやすかった (図 3-8 の A) のに対し、故障車両イベントで設置した三角表示板から故障車両の存在をイメージするのが難しかった (図 3-8 の F) ことが関わっていると考えられる。また、故障車両イベントで障害物を避けた被験者はすべて、工事現場イベントを先に経験した被験者である。よって、両イベントで用いた LED 警告灯 (パイロンの代替物) を障害物として認識した場合には、故障車両イベントにおいても障害物 (LED 警告灯) を避けたのではないかと考えられる。このように、条件 b の故障車両イベントにおいて障害物を避けなかった被験者は、三角表示板と LED 警告灯を障害物として認識しなかった可能性が高い。倫理的な配慮から、実験ではパイロンや、ましてや故障車両を使用することはできない。この点は TC 実験における方法論的限界と考えられるだろう。

表 3-5 工事現場と故障車両イベントで障害物を避けた被験者数 (割合)
(そのうち、当該イベントを先に行った被験者数 : 後に行った被験者数) と
ジャンクションで進路変更した被験者数

イベント	条件 a	条件 b
工事現場	2/16 (0.13) [1:1]	12/16 (0.75) [6:6]
故障車両	1/16 (0.06) [0:1]	5/16 (0.31) [0:5]
ジャンクション 1	2/16 (0.13)	13/16 (0.81)
ジャンクション 2	2/16 (0.13)	15/16 (0.94)

3.5.9. まとめ

本実験では、システム機能に関するドライバーの知識が、自動運転から手動運転への遷移に及ぼす影響を検討した。本実験は平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自

動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討の実験 1 (ドライビングシミュレータ実験) の実車検証を行う TC 実験であり、同実験 1 の結果を実車にて再現した。具体的には、運転引継ぎの必要がある場面が存在することを伝えるだけ (条件 a) では、多くの人々が運転を引き継がないこと、RtI イベントの経験が「RtI が発生したら運転を引き継ぐ」という学習にはつながらないことが示された。一方で、介入場面の存在に加え、運転引継ぎが必要な際にどのようなメッセージが提示されるか (HMI) を説明し、どのような場面において運転引継ぎが必要となるかの例を示した場合 (条件 b)、多くの人々が運転を引き継ぐことが示された。よって、自動運転システムの使用にあたり、ユーザーには少なくとも本実験における条件 b の事前知識を与える必要があると考えられる。しかしながら、この条件 b においても全員が運転を引き継いだわけではなく、さらなる検討が必要である。

3.6. 実験 A-5-2

3.6.1. 目的

実験 A-5-1 で明らかとなった事前知識による影響が年齢によって異なるのかどうかを明らかにするため、実験 A-5-2 では高齢者を対象に同様の実験を行った。

なお、実験装置、タスク、実験計画は実験 A-5-1 と同じであるため省略する。

3.6.2. 被験者

被験者は、普通運転免許を有する 65～79 歳 (高齢者) の 24 名 (男女各 12 名) であった。アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことのある被験者はいなかった。各条件の被験者の内訳は、表 3-6 の通りである。

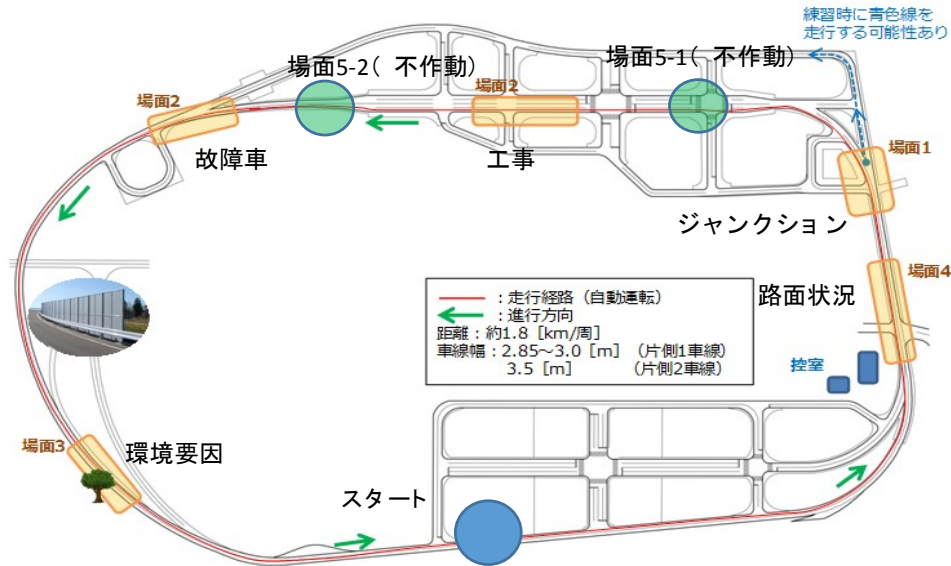
なお、本実験は一般社団法人人間生活工学研究センター・人間生活工学実験倫理審査委員会の承認を得た上で実施した (承認番号: H30-11-1e)。

表 3-6 被験者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
a	6	6	70.2	71.7	70.9
b	6	6	70.2	72.3	71.3

3.6.3. 実験手順

実験手順は実験 A-5-1 と同じであるが、高齢被験者への負担軽減のため、周回数とイベント数を減らした。本実験では、被験者はテストコースを7周し、RtI イベントを9回経験した。RtI イベントの順序を図 3-9 に示す。



	イベント 1	イベント 2
1 周目*	工事現場による車線減少	-
2 周目	ジャンクションによる進路変更 1	環境要因によるセンサ不良 1
3 周目	-	-
4 周目	路面状況（白線のかすれ）による車線認識の困難 1	自車の一時的な故障（不動作 5-2）
5 周目*	故障車両による車線減少	-
6 周目	路面状況（白線のかすれ）による車線認識の困難 2	環境要因によるセンサ不良 2
7 周目	ジャンクションによる進路変更 2	-

図 3-9 RtI イベントの発生場所と発生順

3 周目では RtI イベントが発生しない（ダミー）。*1 周目と 5 周目を行う順序は被験者間でカウンターバランスをとった。

3.6.4. 評価指標と仮説

実験 A-5-1 と同じ評価指標を用いた。実験 A-5-1 と同様に、すべての評価指標の被験者数は条件 a に比べて条件 b で多くなることが予想された。

3.6.5. 結果と考察

各 RtI イベントで運転を引き継いだ被験者数を表 3-7 に示す。すべての RtI イベントにおいて、運転を引き継いだ被験者数は条件 a に比べ、条件 b で多かった ($\chi^2(1) \geq 4.2, p \leq 0.04$)。これは、非高齢者実験 (A-5-1) の結果を再現している。また、条件 a において RtI イベントの経験を重ねても (各イベントの 1 と 2 の間で) 運転を引き継いだ被験者数があまり変化していない (学習効果がない) ことも非高齢者 (A-5-1) のデータと一致している。

表 3-7 各 RtI イベントで運転を引き継いだ被験者数 (割合)

(そのうち、当該イベントを先に行った被験者数 : 後に行った被験者数)

イベント	条件 a	条件 b
工事現場	2/12 (0.17) [1:1]	10/12 (0.83) [4:6]
故障車両	4/12 (0.33) [1:3]	9/12 (0.75) [4:5]
ジャンクション 1	3/12 (0.25)	11/12 (0.92)
ジャンクション 2	5/12 (0.42)	11/12 (0.92)
路面状況 1	2/12 (0.17)	11/12 (0.92)
路面状況 2	3/12 (0.25)	9/12 (0.75)
自車の故障 1	2/12 (0.17)	10/12 (0.83)
環境要因 1	3/12 (0.25)	10/12 (0.83)
環境要因 2	5/12 (0.42)	11/12 (0.92)

工事現場と故障車両イベントで障害物を避けた被験者数と、ジャンクションイベントで進路変更した被験者数を表 3-8 に示す。これらの指標における結果も非高齢者 (実験 A-5-1) のデータを再現するものであった。つまり、工事現場イベントとジャンクションイベントでは、条件 a と条件 b の間で被験者数が異なった ($\chi^2(1) \geq 6.2, p \leq 0.01$)。しかしながら、故障車両イベントで障害物を避けた被験者数は、条件間で異ならなかった ($\chi^2(1) = 1.8, p = 0.2$)。これには、実験 A-5-1 と同様、故障車両イベントで設置した三角表示板から故障車両の存在をイメージするのが難しかったことが関わっていると考えるのが妥当であろう。唯一、非高齢者実験と異なる点は、条件 b の故障車両イベントにおいて、障害物を避けた被験者のうち 3 名がこのイベントを先に経験した者であった点である。推察の域は出ないが、この 3 名の高齢者は非高齢者に比べて障害物 (LED 警告灯) への警戒心が高かったため、故障車両イベントを工事現場イベントよりも先に経験しても、故障車両イベントで障害物を避けることができたのかもしれない。

表 3-8 工事現場と故障車両イベントで障害物を避けた被験者数（割合）
（そのうち、当該イベントを先に行った被験者数：後に行った被験者数）と
ジャンクションで進路変更した被験者数

イベント	条件 a	条件 b
工事現場	0/12 (0.00) [0:0]	6/12 (0.50) [2:4]
故障車両	2/12 (0.17) [0:2]	5/12 (0.42) [3:2]
ジャンクション 1	3/12 (0.25)	10/12 (0.83)
ジャンクション 2	4/12 (0.33)	10/12 (0.83)

3.6.6. まとめ

本実験では、高齢者を対象に、システム機能に関するドライバーの知識が、自動運転から手動運転への遷移に及ぼす影響を検討し、非高齢者実験(A-5-1)を再現する結果を得た。つまり、本実験における事前知識の影響は、年齢にかかわらず認められる頑健なものであると言えるであろう。

3.7. 実験 A-6

3.7.1. 目的

平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討の実験 1 [1]の結果を踏まえ、レベル 3 の自動運転から手動運転へ遷移する際のシステム状態に関する知識習得及び機能失陥経験有無による介入行動への影響を確認するため、仮説を構築し、その検証を行う。

3.7.2. 仮説

前述の実験 1 [1]より、様々な経験をすれば、次第にドライバーがうまく対応できるようになったことが分かった。一方、急に「センサ機能喪失」のような厳しい状況に遭遇した場面では、運転への介入の遅れが見られた。故に、実験 A-6 は運転引継ぎが必要な状況のうち、とくに厳しい状況と考えられる「機能失陥（故障）」を想定し、事前にその経験をしておくことが実際の場面に遭遇したときに有効であり、またその経験が長期間にわたって有効である、という仮説を立てる。

そのため、本実験を、システム状態に関する知識を習得し、「機能失陥」という場面を経験させる前半部分及び長期間（2 カ月ほど）を経てから前半部分で習得した知識と積んだ経験の有効性を検証するための後半部分に分けて実施する。

3.7.3. 前半部分

3.7.3.1. 実験目的

本実験の前半部分は、自動運転から手動運転への遷移に必要なシステム状態に関する知識を検証し、事前に厳しい状況と考えられる「機能失陥(故障)」という場面を経験しておくことを目的とする。

3.7.3.2. 実験装置



図 3-10 実験 A-6 前半実験で使用したドライビングシミュレータ

前半実験では、図 3-10 に示す定置型ドライビングシミュレータを用いた。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 1 面配置し、約 100 度の水平視界を提供している。ハンドルは Logicool 社製ゲームハンドルを使用している。システム情報を伝える HMI はゲームハンドルのすぐ左側に設置された 8 インチのモニターに表示される。

前半実験は、首都高速道路を模擬したコースを使用し、自動走行システムが定速走行を行う場合、速度を 50km/h に設定した。

3.7.3.3. 実験被験者

実験被験者は、普通運転免許を有する 72 名である。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。

実験被験者は、アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことがないことを条件として募集を行った。なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の審査をうけ、承認を得たうえで行った (承認番号: 2016R119)。

3.7.3.4.タスク

本実験において実験被験者に課されるタスクは、自動運転システムを利用して安全に高速道路を走行することである。RtIについてどう対応するかは、条件によって指示される内容が異なる。

また、走行開始後しばらくするとビープ音が提示される。すべての実験被験者は、そのビープ音がサブタスク開始を指示するものであることについてあらかじめ説明されるとともに、ビープ音に従ってサブタスクを実施する練習も行っている。本研究では、サブタスクとして SuRT[8]を行う。SuRTは、ISOで標準化された課題であるが、ここでは強制的にヘッドダウンさせるために、運転席の左側に組み込まれたタッチパッドで SuRT 課題を進めるように指示した(図 3-10)。本実験では、SuRTは、難易度「中」を、自己のペースで行うように指示している。

3.7.3.5.実験計画

本実験では、「事前知識」の1つの要因をとりあげる。これは被験者間要因であり、次の2つの水準を有する。

- 条件 2 (実験 1 [1] 条件 2 引継ぎ要請可能性まで) [1]
- 条件 3 (実験 1 [1] 条件 3 HMIの意味まで) [1]

すべての実験被験者において、自動運転機能未経験者を対象とした。各条件の実験被験者の内訳は、表 3-9 のとおりである。

表 3-9 実験被験者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
2	12	20	35.2	34.8	35.7
3	12	20	33.3	38.8	36.7

3.7.3.6.実験手順

実験の手順は以下のとおりである。まず、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、シミュレータにおける運転操作の説明と練習を行った。つぎに、自動運転システムについての説明と、自動運転システムの設定方法、解除方法を説明し、具体的な操作方法を練習させた。

その後、システムから提示される運転介入要請についての説明を行った。説明終了後、実際に走行実験を行った。この実験では、下記の3走行を経験させた。

-
-
- ・ 走行 A.
 - (A1) 高速道路の合流による引継ぎ要請
 - (A2) 自車線前方に故障車両のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
 - (A3) 高速道路のジャンクションにおける進路変更による引継ぎ要請
 - ・ 走行 B.
 - (B1) 自車線前方に停止車両のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
 - (B2) 自車線前方に警察車両のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
 - (B3) 高速道路のジャンクションにおける進路変更による引継ぎ要請
 - ・ 走行 C.
 - (C1) システムの機能失陥による引継ぎ要請（注 1）
 - (C2) 高速道路のジャンクションにおける進路変更による引継ぎ要請

なお、この実験では、各群の被験者の半分に上記の A→B→C 順番で、残りの半分に B→A→C 順番で経験させた。

（注 1）. 機能失陥の経験の有無が後半実験の一つの要因であるため、条件 2 と 3 の各 32 名の被験者をさらに半分ずつ分け、C1 を経験するグループと経験しないグループとする。

3.7.3.7.仮説と評価指標

本実験では、実験 1 [1]の結果に基づいて、下記の作業仮説として、HMI 知識の理解が

(A-i). 自動走行システムの引継ぎ要請にうまく対処できる

(A-ii). 機能失陥にもうまく対処できる

と考える。故に、本実験では、下記の指標を考察する。

- ・ システム解除まで引継ぎ失敗率
- ・ 引継ぎ要請から介入までの時間
- ・ 引継ぎ後の車線変更時最大操舵角度

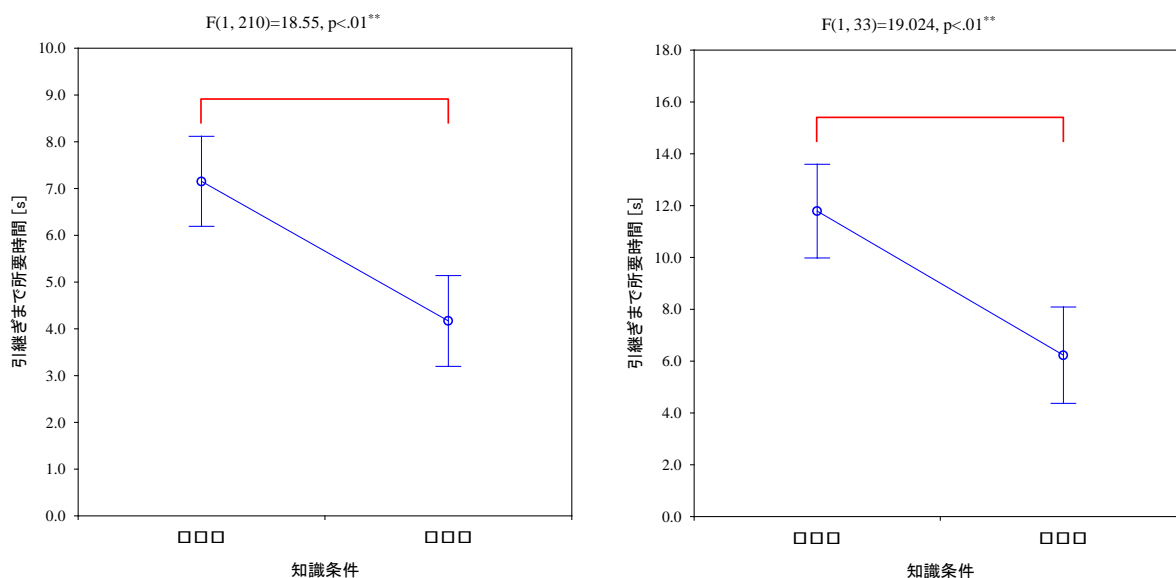
3.7.3.8.結果と考察

表 3-10 は各シナリオにおけるシステム解除までの引継ぎ失敗率を示す。結果から、HMI 知識が教示された条件 3 の被験者はシステムの引継ぎ要請への対処が良い、ということが分かった。特に、機能失陥イベントにおいては、条件 3 の失敗率 0.22 に対して、条件 2 の失敗率が 0.83 であったことから、HMI 知識の教示が手掛り情報なし時の機能失陥に有効に働いたことが分かった。

表 3-10 引継ぎ要請から自動走行システムの解除まで引継ぎ失敗率

シナリオ	条件 2	条件 3
合流 (A1)	0.31	0.11
故障車両 (A2)	0.17	0
ジャンクション (A3)	0.17	0.06
停止車両 (B1)	0.28	0.03
警察車両 (B2)	0.11	0.03
ジャンクション (B3)	0.08	0.03
機能失陥 (C1)	0.83	0.22
ジャンクション (C2)	0.09	0.13

次に、停止車両による車線閉鎖イベント（A2、B1 と B3）における引継ぎ要請から引継ぎまでの所要時間について、「事前知識」という 1 要因の主効果分散分析を行い、その結果を図 3-11 (a)に示す。「事前知識」の主効果が有意 ($F(1, 210)=18.56$ 、 $p<0.01$)であった。つまり、HMI 知識を説明した場合のほうの反応が速かったことが分かった（条件 2=7.16 秒；条件 3=4.17 秒）。



(a) 車線閉鎖イベント（A2、B1 と B3） (b) 機能失陥イベント（C1）

図 3-11 引継ぎ要請から操舵開始までの時間（秒）

さらに、機能失陥イベント（C1）における引継ぎまでの所要時間について、「事前知識」という1要因の主効果分散分析を行い、その結果を図 3-11 (b) に示している。閉鎖イベントと同様、「事前知識」が有意($F(1, 33)=19.02, p<0.01$)であったことが分かった。表 3-10 の結果と合わせて考えると、HMI 知識について説明されたグループの約 8 割の被験者がシステム解除される前に車の運転を引継いだことが分かった（条件 3=6.23 秒）。一方、HMI 知識について説明されないグループの 8 割以上の被験者がシステム解除されてからやっと車の運転に介入したことが分かった（条件 2=11.79 秒）。

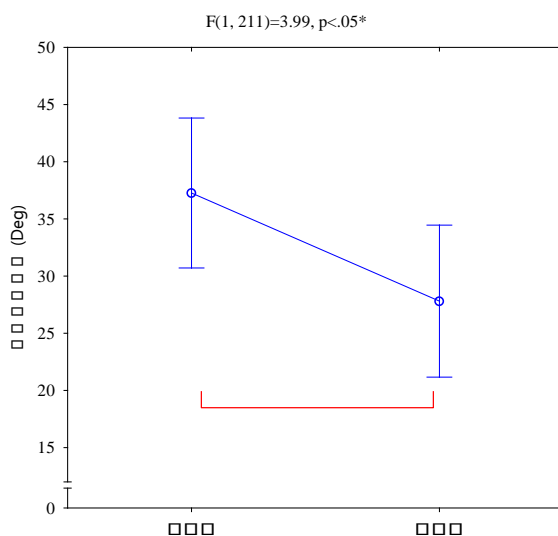


図 3-12 車線閉鎖イベント（A2、B1 と B3）引継ぎ後最大操舵角度（Deg）

引継ぎ後の運転行動を考察するため、車線閉鎖イベント（A2、B1 と B3）において引継ぎ後最大操舵角度について、「事前知識」という1要因の分散分析を行った（図 3-12）。その結果、条件 3 での最大操舵角度が条件 2 より有意に小さいことが分かった($F(1, 211)=3.99, p<0.05$)。これにより、ドライバーに HMI 知識まで教示することが引継ぎ後の運転行動の安全にも重要である、ということが分かった。

3.7.3.9.まとめ

本実験の前半部分では、実験 1 [1]の結果を検証できた。さらに、HMI の知識を教示することにより自動走行システムの引継ぎ要請にうまく対処できるという作業仮説(A-i)が検証された（図 3-11(a)と図 3-12）。本実験結果は、手掛り情報なしの機能失陥にもうまく対処できるという作業仮説(A-ii)を支持した。

3.7.4. 後半部分

3.7.4.1. 実験目的

本実験の後半部分は、ドライバーの引継ぎ要請への介入行動における二つの影響を調べることを目的とする。一つは（ア）トレーニングで積んだ引継ぎの経験が長期間にわたって有効であることを検証し、もう一つは（イ）実験前に習得したシステム状態に関する知識及び機能失陥の経験有無による影響を検証する。

3.7.4.2. 実験装置

後半実験では、図 3-13 に示す定置型ドライビングシミュレータを用いた。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、50 インチのディスプレイを 5 面配置し、約 200 度の水平視界を提供している。ハンドルは、ムーグ社製反力提示装置を利用している。



図 3-13 実験 A-6 後半実験で使ったドライビングシミュレータ

後半実験は、東名高速道路を模擬したコースを使用する。自動走行システムが定速走行を行う場合、速度を 80km/h に設定する。

3.7.4.3. 実験被験者

実験被験者は、前半部分の実験に参加した 72 名（表 3-9）に前半部分の実験に参加しない且つ自動運転機能未経験者の 18 名を加え、合わせて 90 名となる。後半実験のみ参加する被験者の年齢、男女比については、実験計画において詳細を説明する。なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の審査をうけ、承認を得たうえで行った（承認番号：2016R119）。

3.7.4.4.実験計画

本実験では、

(ア) トレーニングで積んだ引継ぎの経験が長期間にわたって有効であることを調べるため、「トレーニング経験」の1つの要因を取りあげる。これは被験者間要因であり、次の3つの水準を有する。

- ・条件 2/経験あり
- ・条件 3/経験あり
- ・条件 4（実験 1 [1] 条件 4 部分的な場面まで）/経験なし

(イ) 実験前に習得したシステム状態に関する知識及び機能失陥の経験有による影響を調べるため、「事前知識」と「機能失陥経験有無」の2つの要因を取りあげる。いずれも被験者間要因である。

- ・「事前知識」要因：条件 2 と条件 3（2 水準）
- ・「機能失陥経験有無」：経験ありと経験なし（2 水準）

すべての実験被験者において、前半実験に参加した被験者を対象とした。各条件の実験被験者の内訳は、表 3-11 のとおりである。

表 3-11 実験被験者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
条件 2/経験あり	12	20	35.2	34.8	35.7
条件 3/経験あり	12	20	33.3	38.8	36.7
条件 4/経験なし	7	11	30.7	38.6	36.0

3.7.4.5.実験手順

実験の手順は以下のとおりである。「条件 4/経験なし」グループだけに、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、シミュレータにおける運転操作の説明と練習を行った。つぎに、自動運転システムについての説明と、自動運転システムの設定方法、解除方法を説明し、具体的な操作方法を練習させた。その後、システムから提示されうる運転介入要請についての説明を行った。説明終了後、実際に走行実験を行った。この実験では、下記の3走行を経験させた。なお、「条件 2/経験あり」と「条件 3/経験あり」の2グループの被験者に改めて引継ぎ要請に関する説明は行わない。

- ・走行 D.
 - (D1) 高速道路の濃霧による引継ぎ要請
 - (D2) 自車線前方に停止車両のため、車線閉鎖による引継ぎ要請

- ・ 走行 E.
 - (E1) 自車線前方に停止車両のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
 - (E2) 高速道路の PA への進路変更による引継ぎ要請
 - ・ 走行 F.
 - (C1) システムの機能失陥による引継ぎ要請
 - (C2) 自車線前方に工事現場のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
- なお、この実験では、各群の被験者の半分は上記の D→E→F 順番で、残りの半分には E→D→F 順番で経験させた。

3.7.4.6. 仮説と評価指標

運転引継ぎが必要な状況のうち、(B-i) 習得した知識・経験が長期間にわたって有効であること、又 (B-ii) 特に厳しい状況と考えられる「機能失陥(故障)」を想定し、事前にその経験をしておくことが実際の場面に遭遇したときに有効であるという仮説を立てる。

故に、本実験では、下記の指標を考察する。

- ・ 引継ぎ要請から介入までの時間
- ・ 引継ぎ後のペダル操作

3.7.4.7. 結果と考察

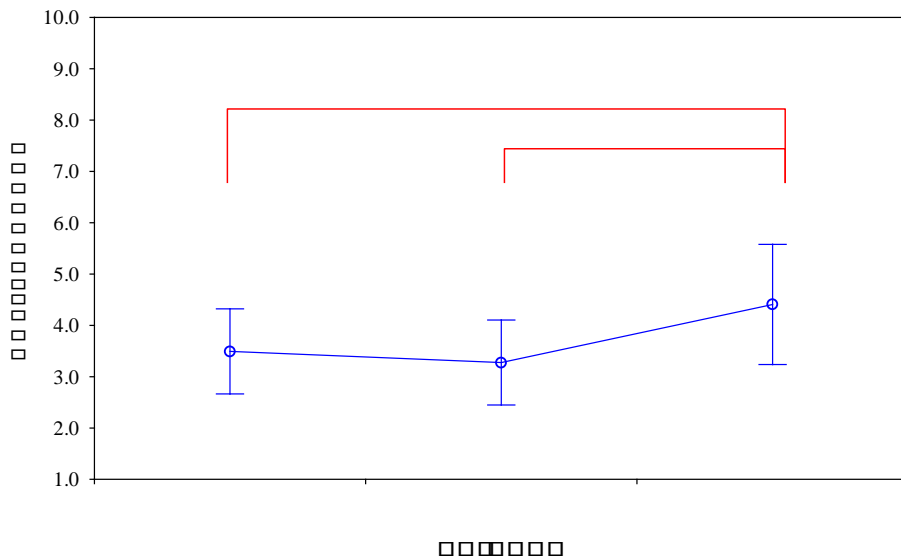
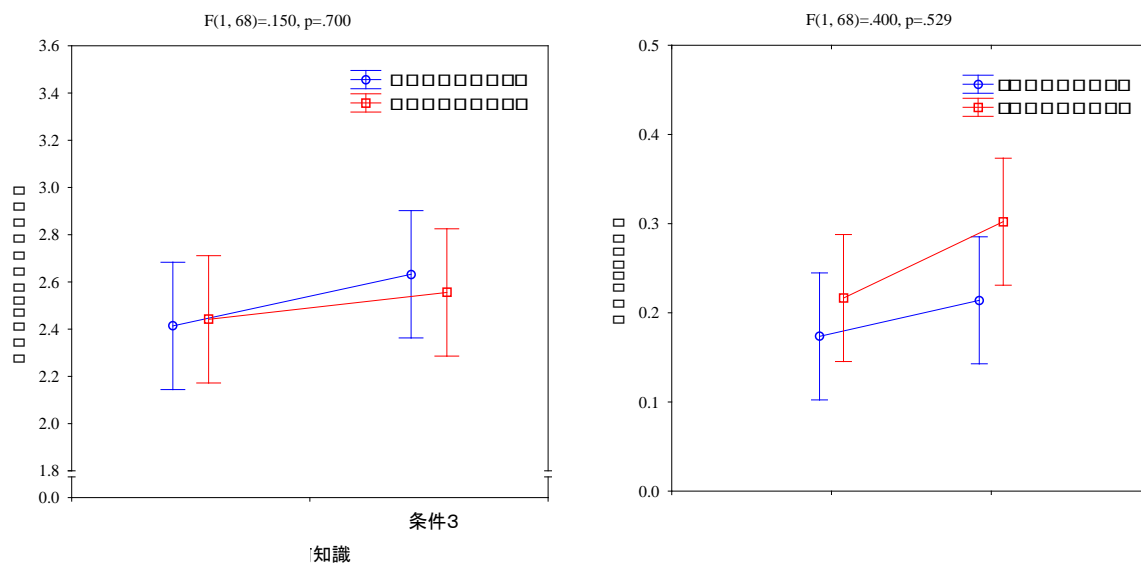


図 3-14 車線閉鎖イベントにおける引継ぎまでの所要時間

車線閉鎖イベントにおける引継ぎまでの所要時間について、「トレーニング経験」という 1 要因の分散分析を行った結果、この主効果は有意($F(2, 87)=5.420$ 、 $p<0.01$)であった。さらに、多種検定 Tukey-test を行い、「条件 4/経験なし」条件より、トレーニング経験ありの 2 条件はいずれも所要時間が有意 ($p<0.05$) に短かったことが分かった。その結果を図 3-14 に示す。これは、習得した知識・経験が長期間にわたって有効であるという仮説 (B-i) を支持した。



(a) 引継ぎまで所要時間 (秒)

(b) 引継ぎ後の最大アクセル開度

図 3-15 機能失陥イベント (F1)

機能失陥イベント (F1) における引継ぎまでの所要時間に「事前知識」と「機能失陥経験」という 2 要因の分散分析を行った結果、交互作用と各要因の主効果はいずれも有意ではなかった (交互作用: $F(1,68)=0.150$, $p=0.700$; 事前知識: $F(1,68)=1.513$, $p=0.223$; 「機能失陥経験」: $F(1,68)=0.033$, $p=0.856$)。その結果を図 3-15 (a) に示す。一方、引継ぎ後アクセルペダルの最大開度にも 2 要因の分散分析を行った結果、交互作用は有意ではなかったが ($F(1,68)=0.400$, $p=0.529$)、「事前知識」と「機能失陥経験」はいずれも有意な傾向が見られた(「事前知識」: $F(1,68)=3.123$, $p=0.082$; 「機能失陥経験」: $F(1,68)=3.377$, $p=0.070$)。その結果を図 3-15 (b) に示す。

以上の結果より、システムが急に機能しなくなるような厳しい状況において、事前に経験することにより、長時間が経ったとしても実際の場面に遭遇したときに有効であったことが確認され、仮説 (B-ii) が支持された結果となった。

3.7.4.8.まとめ

後半実験の結果から、運転引継ぎが必要な状況のうち、システムが急に機能しなくなるような厳しい状況（所謂「機能失陥（故障）」）においては、事前にその経験をしておくことが実際の場面に遭遇したときのドライバーの引継ぎ行動に有効であった。さらに、事前に習得した知識及びトレーニング経験が2ヶ月程度にわたっても有意な効果があった。

これらの結果より、しっかりと机上で知識を与えることが、予想できないような場面において重要であることが確認できた。さらに、与える知識が不十分であってもトレーニングを受ければ、長時間にわたってもその経験が依然有効であったことが分かった。なお、システムが突然機能しなくなる場面では、事前知識の有意な効果は確認されなかったが、有効な傾向がある結果となった。

3.8. 実験 A-7

3.8.1. 目的

自動運転のレベル（モード）が動的に変更しうる環境下でドライバーによるシステムの制御モードの認識が、HMIによって適切に維持されるかを検証する。

3.8.2. 実験被験者

実験被験者は、普通運転免許を有する20歳から66歳までの60名である。年齢、男女比については、実験計画において詳細を説明する。なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の承認を得た上で実施した（承認番号：2017R177）。

3.8.3. 実験装置

本実験では、本田技研工業(株)製モーションベース付きドライビングシミュレータを用いた。図 3-16 にシミュレータの外観を示す。本シミュレータは前方映像のほか、左右サイドミラー用モニター、ルームミラー用モニターを有する。さらに本実験用にドライバー向け HMI 用モニター、9.7 インチのタブレットを配置している。

本実験で使用する自動運転システムは、単路に限定したレベル3の自動運転(ACSFカテゴリ B2) 相当の機能を有する。車線変更が必要な場面では、ドライバーが制御介入をしなければならない。



図 3-16 ドライビングシミュレータ外観



図 3-17 実験風景

なお、本実験ではレベル遷移が起きるが、レベル 0 への遷移を含む全てのレベル遷移の要請を便宜上 RtI と表記することとする。

3.8.4. タスク

本実験において実験被験者に課されるタスクは、自動運転システムを利用して安全に高速道路を走行することである(図 3-17)。RtI についてどう対応するかは、条件によって、指示された内容によって異なる。また、レベル 3 の自動運転が作動している間は、実験被験者はタブレットによるゲーム(テトリス)を行うこととする。

3.8.5. 実験計画

本実験では、次の2つの要因をとりあげる。いずれも被験者間要因である。

1つ目は、「レベル遷移パターン」であり、次の2つの水準を有する。

- ◇ 「単遷移」：レベル3が維持できないときは、必ず手動運転に移る。
- ◇ 「複遷移」：高いレベルの制御が維持できない場合は、その時点で実行可能な最も高いレベルの制御を行う。すべてのレベル遷移が起きる。

水準 レベル遷移先	単遷移	複遷移
レベル2	行わない	行う
レベル1	行わない	行う
レベル0	行う	行う

図 3-18 自動運転レベルの遷移条件

平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討の課題 A-3-2 により、レベル遷移が複雑になればなるほど、ビープ音のみの聴覚 HMI の支援より、ビープ音と自然言語 (対応すべき行動の提示) の聴覚 HMI の支援を好む実験被験者が多い結果が見られた。また、ビープ音と自然言語 (対応すべき行動の提示) の聴覚 HMI 支援によって引継ぎがスムーズに行えた。その主観評価の結果を踏まえて、本実験では自然言語の表現方法によるレベル認識維持を考察するため、2 つ目の要因は、「聴覚 HMI」であり、次の2つの水準を有する。

- ◇ モード提示：ビープ音と自然言語 (システムの制御モードの変化) を提示
- ◇ 行動提示：ビープ音と自然言語 (対応すべき行動) を提示

視覚 HMI はシステムの制御モードの作動状態を表す機能を持ち、いずれの水準でも同様な視覚 HMI を搭載する。(図 3-19、図 3-20、 図 3-21、図 3-22)

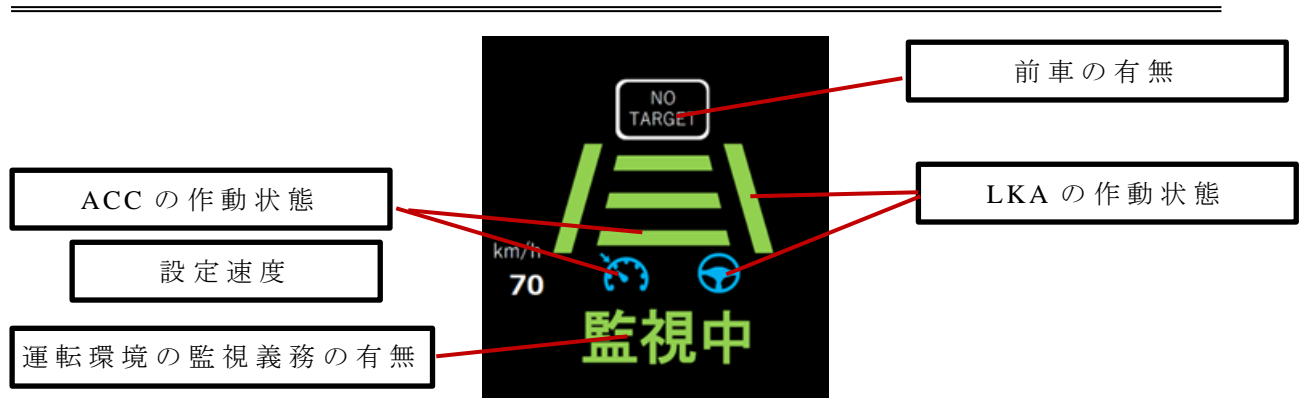


図 3-19 レベル 3 の視覚 HMI と説明



図 3-20 レベル 2(自動運転作動時) の表示



図 3-21 レベル 1(ACC 作動時)表示



図 3-22 レベル 0(手動運転時)の表示

表 3-12 レベル遷移時、聴覚 HMI の提示内容(音声の全長さ[ビープ音含む])

状況	モード提示	行動提示
レベル 2 に遷移の場面	レベル 2 に移ります (2.48 秒)	周囲環境を監視して下さい(2.82 秒)
レベル 1(ACC 解除)に遷移	LKA のみのレベル 1 に移ります(3.21 秒)	ペダル操作をして下さい(2.51 秒)
レベル 1(LKA 解除)に遷移	ACC のみのレベル 1 に移ります(2.90 秒)	ハンドル操作をして下さい(2.93 秒)
レベル 0 に遷移	レベル 0 に移ります (2.40 秒)	手動運転に移って下さい(2.72 秒)
レベル 3 自動運転可能	レベル 3 の自動運転が利用可能です(3.27 秒)	自動運転が利用可能です(2.62 秒)

聴覚 HMI がレベル遷移時、長さ 0.36 秒のビープ音を発したあとに提示内容を発する(表 3-12)。本実験では、レベル 1(ACC 解除)に遷移の場面は含まれない。

各群に対し、15 名をそれぞれランダムに振り分けた。各条件の被験者の内訳は、表 3-13 のとおりである。

表 3-13 被験者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
単遷移+モード提示	8	7	46.7	39.6	42.9
単遷移+行動提示	9	6	46.5	38.3	41.6
複遷移+モード提示	6	9	36.7	43.0	39.2
複遷移+行動提示	7	8	40.1	34.3	37.4

3.8.6. 実験手順

実験の手順は以下のとおりである。まず、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、自動運転システムについての説明をした。その後、レベルに関する説明を行った。具体的に、2018 年 10 月時点の SAE J3016 に基づいて、レベル 0 からレベル 3、ドライバーの役割とシステムの役割について教示した。また、レベル 0 からレベル 3 の状態に置かれる時、ドライバーがその際にすべきこととできることを説明した。

そして、実験参加者に自動運転システムの作動方法、解除方法を説明し、具体的な操作方法を練習させた。

本実験では、レベル 3 自動走行中に、9.7 インチのタブレットでテトリスのゲーム操作というサブタスクを定めたため、自動走行中にテトリスの練習時間も設けた。

最後に、システムから提示される HMI 及び RtI についての説明を行った。説明終了後、実際に走行実験を行った。

本実験では、下記の 3 つの走行を行い、RtI イベントを経験させた。表 3-14、表 3-15、表 3-16 に各走行の内容を示す。なお、被験者は約 15 分間の走行をそれぞれ 1 回ずつ経験した。

単遷移群と複遷移群によって、課されるタスクが異なる場合がある。本実験では、一つの遷移イベントが発生後、一定時間後、さらにもう一つの遷移イベントが発生する場合がある。複遷移群が単遷移群より段階的遷移を経験することになる。

表 3-14 走行 A の内容

手順	イベント	単遷移群	複遷移群
1	走行開始	レベル 0→3	レベル 0→3
2	薄霧(A1)	遷移なし	レベル 3→2
3	白線カスレ(A2)	レベル 3→0	レベル 2→1
4	走行環境改善	レベル 0→3	レベル 1→3
5	しばらく走行	遷移なし	
6	薄霧(A3)	遷移なし	レベル 3→2
7	濃霧(A4)	レベル 3→0	レベル 2→0
8	走行環境改善	レベル 0→3	レベル 0→3
9	しばらく走行	遷移なし	
10	薄霧(A5)	遷移なし	レベル 3→2
11	機能失陥(A6)	レベル 3→0	レベル 2→0

- ◇ (A1)視界不良によるレベル遷移(複遷移群のみ)。
- ◇ (A2)車道の白線の汚れにより、自車の LKAS が利用不能になる。複遷移群は前走車を追従走行するようレベル遷移する。
- ◇ (A3)視界不良によるレベル遷移(複遷移群のみ)。
- ◇ (A4)濃霧による引継ぎ要請。
- ◇ (A5)視界不良によるレベル遷移(複遷移群のみ)。
- ◇ (A6)機能失陥による引継ぎ要請

表 3-15 走行 B の内容

手順	イベント	単遷移群	複遷移群
1	走行開始	レベル 0→3	レベル 0→3
2	工事：車線変更(B1)	レベル 3→0	レベル 3→0
3	走行環境改善	レベル 0→3	レベル 0→3
4	しばらく走行	遷移なし	
5	濃霧(B2)	レベル 3→0	レベル 3→0
6	走行環境改善	レベル 0→3	レベル 0→3
7	しばらく走行	遷移なし	
8	白線カスレ(B3)	レベル 3→0	レベル 3→1
9	工事：車線変更(B4)	遷移なし	レベル 1→0

- ◇ (B1)自車線前方に工事のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
- ◇ (B2)濃霧による引継ぎ要請
- ◇ (B3)車道の白線の汚れにより、自車の LKAS が利用不能になる。複遷移群は前走車を追従走行するようレベル遷移する。
- ◇ (B4)自車線前方に工事のため、車線閉鎖による引継ぎ要請(複遷移群のみ)

表 3-16 走行 C の内容

手順	イベント	単遷移群	複遷移群
1	走行開始	レベル 0→3	レベル 0→3
2	薄霧(C1)	遷移なし	レベル 3→2
3	車線変更(工事)(C2)	レベル 3→0	レベル 2→0
4	走行環境改善	レベル 0→3	レベル 0→3
5	しばらく走行	遷移なし	
6	機能失陥(C3)	レベル 3→0	レベル 3→0
7	走行環境改善	レベル 0→3	レベル 0→3
8	しばらく走行	遷移なし	
9	JCT 選択	レベル 3→0	レベル 3→0

- ◇ (C1)視界不良によるレベル遷移(複遷移群のみ)
- ◇ (C2)自車線前方に工事のため、車線閉鎖による引継ぎ要請
- ◇ (C3)機能失陥による引継ぎ要請。

なお、本実験では、各群の被験者をランダムに A→B→C、A→C→B、B→A→C、B→C→A、C→A→B、C→B→A の 6 つの順番に分け、A からスタートの群(A→B→C、A→C→B)は合わせて最大 5 人とした。B、C からスタートの群も上記と同じように分類した。

1 つの走行における構成は下記のとおりである。

実験担当者が実験開始約 1 分前に「それでは実験を始めます。音声と介入要請の指示に従って走行してください。最初は手動運転でお願いします。」と実験被験者に伝えてから実験を開始した。

最初は手動運転による運転を開始させ、指定した場所(1 分以内)を経過した際、自動運転システムが利用可能であることを音声でドライバーに通知した。ドライバーはシフトレバーをギア D からギア D3 にシフトチェンジすることで自動運転システムの作動が可能になり、レベル 3 の状態になった後、ゲーム(テトリス)を開始させた。

自動運転中に霧の発生、白線(レーン)のカスレなどの原因によって RtI が発生し、同時に、聴覚 HMI が遷移レベルに応じて支援を行い、視覚 HMI がシステムの作動状態を示す。なお、シフトレバーをギア D3 からギア D にすることやブレーキペダル、アクセルペダル、あるいはステアリングを用いてオーバーライドすることで自動運転を解除できる旨を説明した。

3.8.7. 仮説と評価指標

本実験は、動的に変更しうる環境下、HMI の支援によってドライバーが目の前のレベルに対して認識し、レベル相応の行動を取れるかどうかを確認する。遷移場面によって相応の行動の定義が異なるため、評価の際にレベルごとで考察する。

本実験の作業仮説として、聴覚 HMI によって遷移場面に対して適切に対応ができることである。また、システムの制御モードの変化を伝えるより、対応すべき行動を伝えた方が、ドライバーがレベル相応の行動を取り、該当レベルに認識を維持できると考える。

これを検証する為、実験中、実験被験者の頭部、上半身、足を 3 台のビデオカメラで記録し、遷移時の行動と運転引継ぎの状況などを確認する。

故に、本実験では、下記の指標を考察する。

- ◇ 各遷移のモード想定外行動数
- ◇ 各遷移の適切行動数
- ◇ レベル 3→2 の前方注視までの所要時間

「判定方法：RtI 後、ゲームを停止し、前方を注視するまでの所要時間。」

◇ レベル 3→1・レベル 2→1 のステアリングを握るまでの所要時間
「判定方法：RtI 後、ゲームを停止し、ステアリングを握るまでの所要時間。」

◇ レベル 3→0 の介入までの所要時間：判定方法
「判定方法：RtI 後、ドライバーのステアリング操作(トルク 0.1N・M)以上、ブレーキペダルの操作(開度 5%以上)、アクセルペダルの操作(アクセル開度 5%以上)、シフトレバーによる自動運転解除に至った時点の所要時間。」
以上が評価指標となる。

3.8.8. 適切行動と想定外行動の基準

本実験では、ドライバーの行動を確認し、適切行動数と想定外行動数を評価する。故に、判断基準を表 3-17 に定義する。

表 3-17 レベル別の適切な行動の定義

RtI 後	適切な行動
レベル 2	RtI から 7 秒以内、ゲーム操作を中止し、前方を注視、運転環境の監視を開始する。(また、想定外行動がないこと)
レベル 1 (ACC 作動)	RtI から 7 秒以内、ゲーム操作を中止し、ステアリングを握る。(また、想定外行動がないこと)
レベル 0	RtI から 7 秒以内、ゲーム操作を中止し、手動運転に移る。(また、想定外行動がないこと)

想定外行動数は、以下のように定義する。便宜上、タイプ別で表現する。

- ◇ タイプ 1：RtI から 7 秒以内、上記の適切な行動を取らないこと。
- ◇ タイプ 2-1：手動運転に移る指示のない RtI に対して、手動に切り替えた。
- ◇ タイプ 2-2：手動操作まではしないものの、ステアリングを握る、またはペダルをいつでも踏めるように備えるといった、必ずしも必要ではない行為を続ける。

3.8.9. 結果と考察

3.8.9.1. レベル 2 に遷移時

表 3-18 レベル 3→2 の想定外行動数[A1、A3、A5、C1](割合)

HMI の種類	タイプ 1	タイプ 2-1	タイプ 2-2	適切行動数
モード提示	3/60(0.05)	7/60(0.12)	11/60(0.18)	39/60(0.65)
行動提示	0/60(0.00)	1/60(0.02)	10/60(0.17)	49/60(0.82)

◇ タイプ 2-2：ステアリングを握るまたはペダルを備えた

表 3-18 にレベル 3→2 における想定外行動数と適切行動数を示す。レベル 3→2 の場面におけるドライバーの適切行動数に対し、カイ二乗検定を行ったところ、モード提示と行動提示に統計的な差が認められた。 $(\chi^2(1)=4.261, p<.05)$ 。

結果、モード提示より行動提示の方が、ドライバーはレベル相応の適切な行動を取ることが判明した。つまり、ドライバーは目の前のレベルに対する認識を維持することを示唆している。

本実験では、RtI 後のビデオ画像記録を考察した結果、ドライバーの想定外行動が起きる際に、タイプ 1、タイプ 2-1 とタイプ 2-2 に分類した。RtI 後にドライバーがタイプ 2-1 とタイプ 2-2 の想定外行動を取ることは、必ずしもモードの変化に対して誤認識していることではないが、ドライバーがモードの変化に対して誤認識が生じた場合、タイプ 2-1 と 2-2 の行動の発生がありうるため、考慮する価値がある。よって、本実験ではタイプ 2-1 とタイプ 2-2 に注目した。

結果、モード提示のタイプ 1 とタイプ 2-1 の発生数が行動提示より多かった。モード提示群では、RtI 後ゲームを継続し、前方不注視であった者が 3 人、手動運転に切り替えた者は 7 人であった。つまり、タイプ 1 の 3 人がレベル 3→2 の遷移につれて、ドライバーが運転環境の監視のタスクが生じる場面に監視を行わなかった。タイプ 1 の発生は深刻な問題とみなせるであろう。

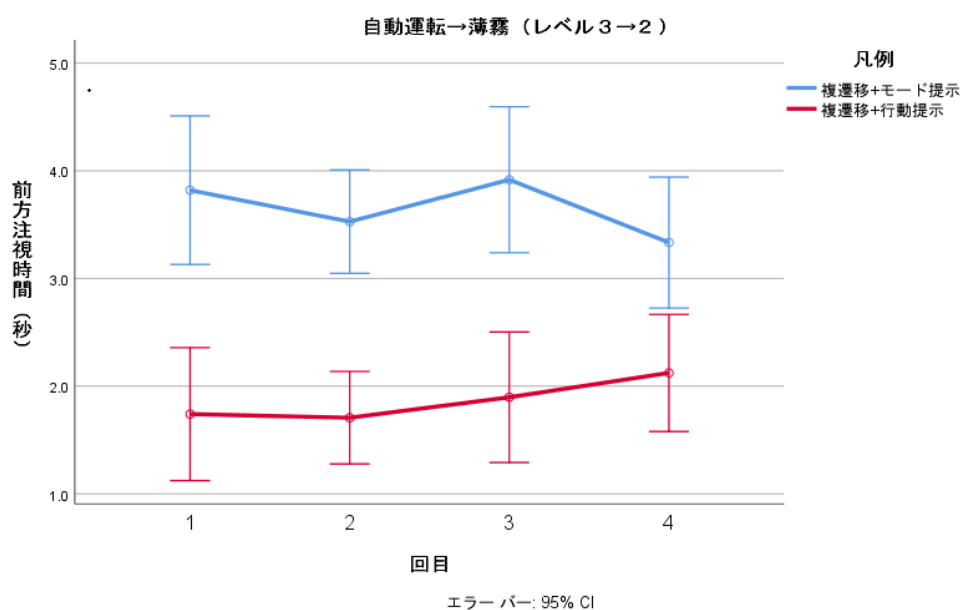


図 3-23 レベル 3→2 前方注視までの所要時間(A1、A3、A5、C1)
(タイプ 1(モード提示)の 3 人を除去)

次に、レベル 3→2(薄霧)に移る場面を合計 4 回にわたって行った。何回も経験することにつれて前方注視までの所要時間がどう変化するか、HMI の効果があるのかを調べるため、反復測定分散分析を行った。

その結果を図 3-23 に示す。結果、「聴覚 HMI」と「経験回数」の交互作用がなく ($F(3,23)=1.912$, n.s.)、「経験回数」の主効果はみられなかった ($F(3,23)=0.766$, n.s.)。

「聴覚 HMI」の主効果は 0.1%水準で有意であり、モード提示と行動提示の間には有意差が認められた ($F(1,25)=35.107$, $p<.001$)。よって、聴覚 HMI としてモード提示より対応すべき行動を提示した方が、前方への注視を促す効果が得られると考えられる。

3.8.9.2. レベル 1(ACC 作動) に遷移時

表 3-19 レベル 3→1(ACC 作動時) 想定外行動数と適切行動数[B3] (割合)

HMI 種類	タイプ 1	タイプ 2-1	タイプ 2-2	適切行動数
モード提示	3/15(0.2)	2/15(0.13)	4/15(0.27)	6/15(0.4)
行動提示	0/15	6/15(0.4)	3/15(0.2)	6/15(0.4)

表 3-19 はレベル 3→1 (白線のカスレ) における想定外行動数と適切行動数を示す。レベル 3→1 の場面におけるドライバーの適切行動数に対し、カイ二乗検定を行ったところ、モード提示と行動提示に統計的な差が見られなかった。よって、この場面においては、モード提示と行動提示の効果に差がなかった。

そして、モード提示群の 3 人にタイプ 1 の想定外行動が確認できた。3 人とも運転環境を監視するが、ステアリングを握らなかった。そのため、行動提示の方が、ステアリングを握ることを促すことができると考えられる。

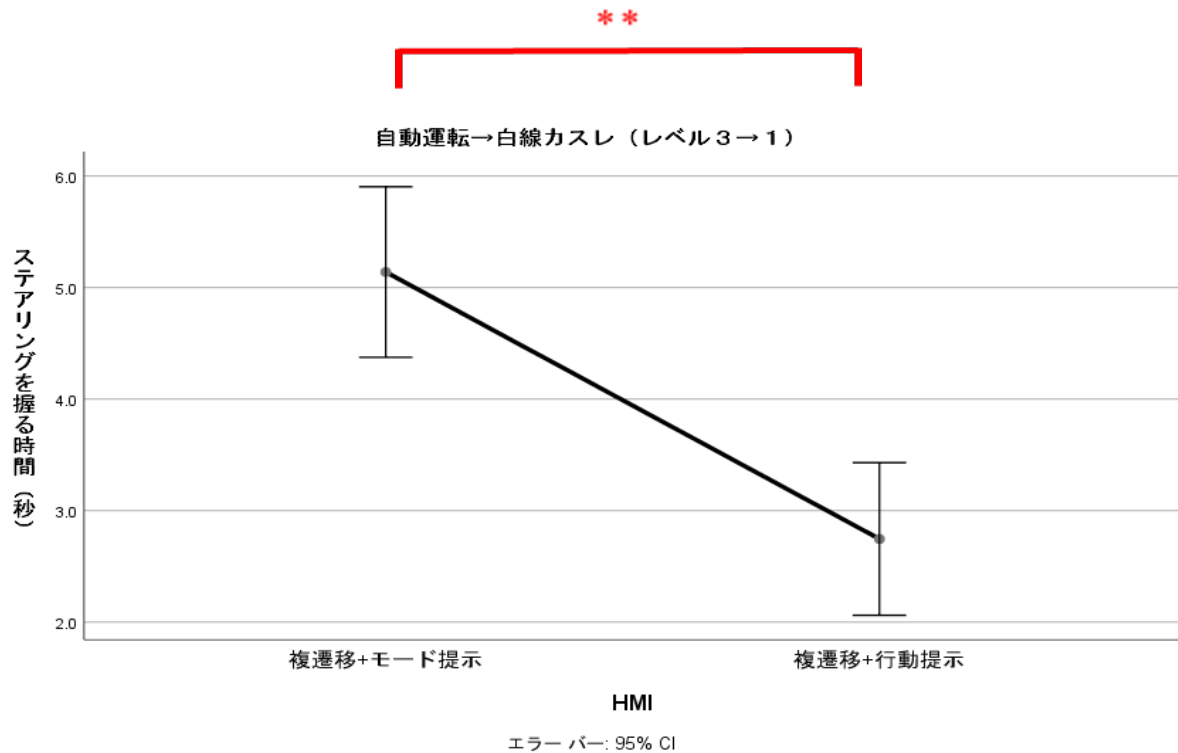


図 3-24 レベル 3→1、ステアリングを握るまでの所要時間(B3)

次に、モード提示と行動提示の間にステアリングを握るまでの所要時間の差があるか Welch's t test を行った結果、有意であった。 $t(12.548)=4.357, p<.01$ 。結果を図 3-24 に示す。行動提示の方がモード提示より、平均 2 秒以上早くステアリングを握ったことが認められる。(タイプ 1(モード提示)の 3 人を除去)

表 3-20 レベル 2→1(ACC 作動時) 想定外行動数と適切行動数[A2] (割合)

HMI 種類	タイプ 1	タイプ 2-1	タイプ 2-2	適切行動数
モード提示 (タイプ 1 と 2-1 : 4 名)	1/11(0.1)	1/11(0.1)	1/11(0.1)	8/11(0.1)
行動提示 (タイプ 2-1 : 1 名)	0/14	3/14(0.21)	2/11(0.18)	9/14(0.64)

(イベントは段階的に連続するが、モード提示 4 人、行動提示 1 人の被験者がレベル 3→2 の場面にタイプ 1 と 2-1 の想定外行動を行ったため、この表からは除外している。これは、レベル 3→2→1 の連続場面中、レベル 3→2 の時点で被験者がレベル 0 に移った場合、レベル 2→1 のシナリオが実行できないためである。)

表 3-20 はレベル 2→1(白線カスレ)における想定外行動数と適切行動数を示す。レベル 2→1 の場面に対し、同様にカイ二乗検定を行った。その結果、この場面において、「聴覚 HMI」の間に差が認められなかった。また、モード提示の 1 人がタイプ 1 に分類された。

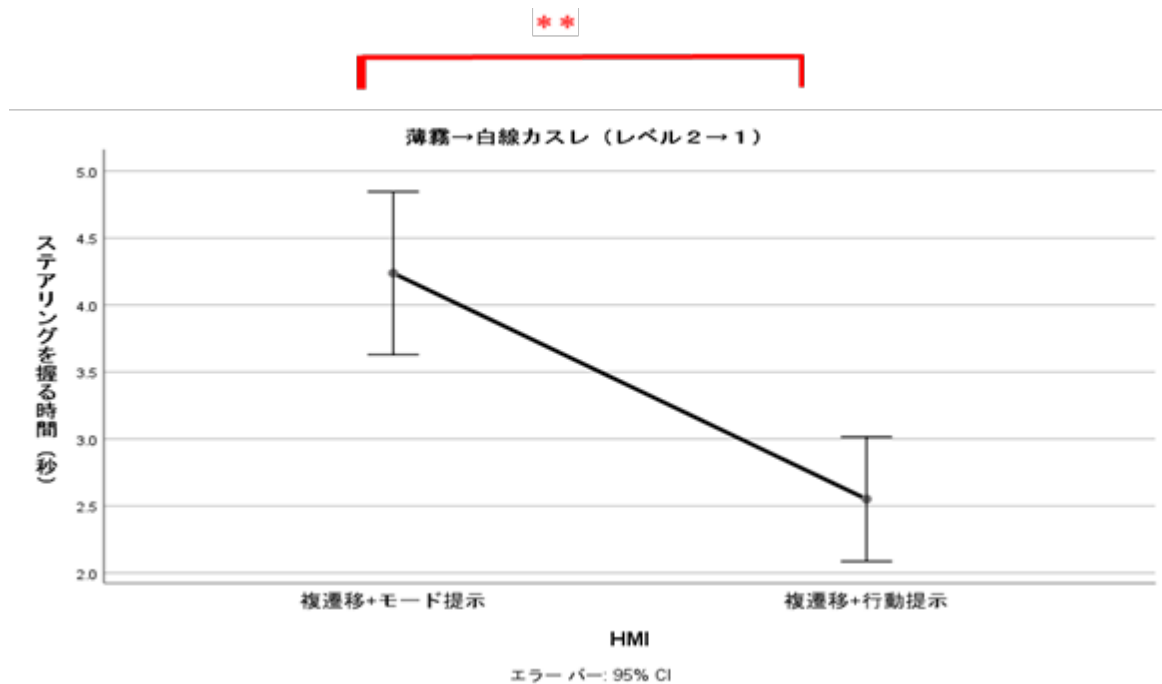


図 3-25 レベル 2→1 ステアリングを握るまでの所要時間(A2)
(レベル 3→2 時点ステアリングを握った人(タイプ 2-2)モード提示 3 人、行動提示 2 人を除去。また、タイプ 1(モード提示)の 1 人を除去)

同様に、レベル 2→1 の場面に遷移後、ステアリングを握るまでの所要時間の差があるか Welch's t test を行った結果、有意であった ($t(7.403)=3.840, p<.01$)。この結果を図 3-25 に示す。レベル 2→1 の場面では、行動提示の方が、遷移後に平均 2 秒以上早くステアリングを握ったことが認められる。レベル 3→1 とレベル 2→1 の結果を含めてレベル 1 に移る場面において、合計 26 の場面のうち 4 場面でタイプ 1 が確認された。行動提示の方ではタイプ 1 の発生が確認されなかった。

3.8.9.3. レベル 0 に遷移時

表 3-21 レベル 1→0 の想定外行動数と適切行動数(B4)

HMI の種類	タイプ 1	適切行動数
モード提示 (タイプ 1 / 2-1 :5 名)	0/10	10/10
行動提示 (タイプ 1 / 2-1 :6 名)	0/9	9/9

表 3-22 レベル 2→0 の想定外行動数と適切行動数(A4,A6,C2)

HMI の種類	タイプ 1	適切行動数
モード提示	0/45	45/45
行動提示 (タイプ 1 / 2-1 :6 名)	0/39	39/39

表 3-23 レベル 3→0 の想定外行動数と適切行動数(B1,B2,C3)

遷移	タイプ 1	適切行動数
単遷移+HMI モード提示 (音声エラー : 2 場面)	2/118	116/118
単遷移+HMI 行動提示	0/120	120/120
複遷移+HMI モード提示	0/45	45/45
複遷移+HMI 行動提示 (音声エラー : 4 場面)	0/41	41/41

表 3-21、表 3-22、表 3-23 はそれぞれのレベル遷移(3→0、2→0、1→0) 場面における想定外行動数と適切行動数を示す。各レベル遷移(3→0、2→0、1→0)時に、適切な行動を取れるかどうかについて関連性を見るためにそれぞれカイ二乗検定を行った結果、いずれも有意ではなかった。

単遷移群のレベル 3→0 の場面では、タイプ 1 の想定外行動が 2 件確認された。

被験者は、レベル 3 自動運転から手動運転に切り替える場面を合計 3 回行った。A4、A6、C2 は単遷移と複遷移の共通場面である。そこで、これら共通場面において、RtI の介入までの所要時間に「聴覚 HMI」、「遷移パターン」の群間で差があるか、そして、経験回数によって介入までの所要時間がどう

変化するかについて 3 要因反復測定分散分析を行った。その結果を図 3-26 と図 3-27 に示す。

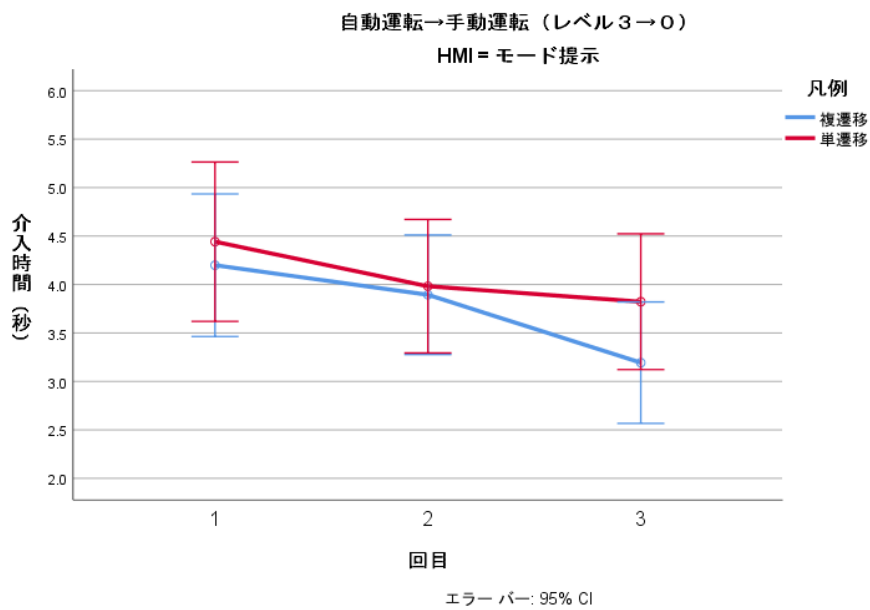


図 3-26 レベル 3→0 モード提示 HMI 支援による介入までの所要時間 (B1,B2,C3) (音声エラーを除去)

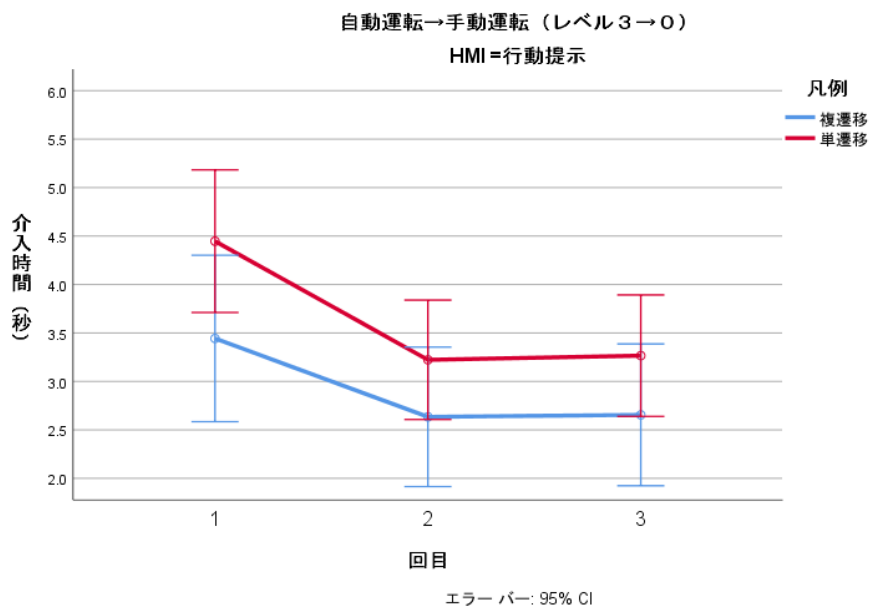


図 3-27 レベル 3→0 行動提示 HMI 支援による介入までの所要時間 (B1,B2,C3) (音声エラーを除去)

「遷移パターン」、「経験回数」、「聴覚 HMI」のいずれの交互作用も有意ではなかった。「遷移パターン」の主効果は有意ではなかった。「経験回数」の主効果は 0.1%水準で有意であった ($F(2,48)=10.710, p<.001$)。

さらに、多重比較 (Bonferroni 法) を行った結果、「1 回目」と「2 回目」の間、「1 回目」と「3 回目」の間には有意差が認められた ($p<0.01$) が、「2 回目」と「3 回目」の間には有意差が認められなかった。つまり、ドライバーが自動運転から手動運転に切り替える場面を経験するほど、より早く介入する傾向が見られた。

「聴覚 HMI」の主効果は 5%水準で有意であり、モード提示と行動提示の間には有意差が認められた ($F(1,49)=5.895, p<.05$)。よって、対応すべき行動を提示した方が、RtI 発生時により早く手動運転に切り替えることができると考えられる。

3.8.10. まとめ

自動運転のレベルが動的に変更する環境下で、ドライバーによるシステムの制御モードの認識を適切に維持するために有効な聴覚 HMI の提示方法を検討した。

その結果、モードの変化を提示するより対応すべき行動を提示した方がモード認識の維持に効果があると確認できた。

レベル 3 自動走行中を想定した場面では、実験被験者にタブレットによるゲーム (テトリス) を行わせた。課題 A-3-2 のテレビ視聴のサブタスクに比べ、本実験のサブタスクは視覚と触覚を同時に用いた作業であるため、ドライバーの作業量が多いと考えられる。課題 A-3-2 の実験では、モード誤認の発生がないのに対し、本実験では、いくつかの遷移場面において、モード誤認、すなわちタイプ 1 の行動が確認された。

3.9. 実験 A-8-1-1

3.9.1. 目的

実験 A-3-1 の結果から、システムによるハザード見落としに対して、検知情報と意図情報を組み合わせた情報を提示する認識対象共有 HMI が有効である可能性が示唆された。しかし提示した情報がドライバーへの負荷となっていた可能性が考えられた。そのため実験 A-8-1 では、システムによるハザードの見落としに対して、検知情報と意図情報を組み合わせた情報を提示する認識対象共有 HMI の有効性の検証と、その HMI の情報内容を簡素化した場合により高い状況認識支援効果を得られるかを検証することを目的とする。

3.9.2. 実験被験者

実験被験者は、普通運転免許を有する 20 歳から 56 歳の 40 名である。各条件の内訳については後述の実験計画において説明する。

実験被験者は、アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことがないことと、実験 A-3-1 への参加経験がないことを条件として募集を行った。

実験は 1 人あたり 2 時間程度行い、すべての被験者からインフォームドコンセントを得た。なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の審査を受け、承認を得たうえで行った（承認番号：2018R229）

3.9.3. 実験装置

本実験では、図 3-28 に示す定置型ドライビングシミュレータを用いた。このシミュレータは、三菱プレシジョン社製 DS3Sim ver.5 である。走行画面を映す 50 インチのディスプレイを 5 面配置し、約 200 度の水平視界を提供している。ステアリングとアクセル・ブレーキペダルは Moog 社製反力提示装置を使用している。認識対象共有 HMI はステアリング左側のディスプレイに表示される。



図 3-28 実験 A-3-1 使用ドライビングシミュレータ

実験に用いるコースは、片側 2 車線の高速道路である。

本実験で使用する自動運転システムは、レベル 2 の自動運転である。車線変更が必要な場面では、ドライバーが制御介入をしなければならない。

レベル 2 を想定することから、自動運転システムが対応できない場面においてはドライバーが制御介入をする必要がある。ドライバーが制御介入をする必要がある場面においては、システムがそれを自覚していれば RtI を発する可能性がある。ただし、システムがハザードを見落としていて RtI を発することができない場合、ドライバーが自身の判断で運転に介入しなければならない。

3.9.4. タスク

本実験において実験被験者に課されるタスクは、自動運転を利用して安全に高速道路を走行することと、自動走行中は HMI と走行画面の両方を監視することである。また、高速道路の出口や分流地点に差し掛かった場合は元の走行車線上を走り続けることを教示した。

本実験はレベル 2 を想定しているため安全運転の責任はドライバーにあるが、自動走行中ドライバーはハンドルから手を離し、アクセルペダルやブレーキペダルから足を離すことを許可している。

3.9.5. 実験計画

本実験では、認識対象共有 HMI という 1 つの要因を取りあげる。これは被験者間要因である。次の 2 つの水準を有する。

- ・ 条件 A：簡素化 HMI
- ・ 条件 B：対照 HMI

各 HMI が表示する情報内容は表 3-24、表 3-25 のとおりである。

表 3-24 検知情報に関わる情報内容

検知情報	A：簡素化 HMI	B：対照 HMI
検知物の認識情報	前方検知物の有無	複数検知物の有無とその距離、位置
走行車線の認識情報	走行車線検知の有無	遠方、隣接車線検知の有無と車線の種類

表 3-25 意図情報に関わる情報内容

意図情報	A：簡素化 HMI	B：対照 HMI
縦方向操作の意図	これからの操作意図	これからの詳細な操作意図とその原因
横方向操作の意図	これからの操作意図	これからの詳細な操作意図とその原因

それぞれの HMI の表示例を図 3-29、図 3-30 に示す。

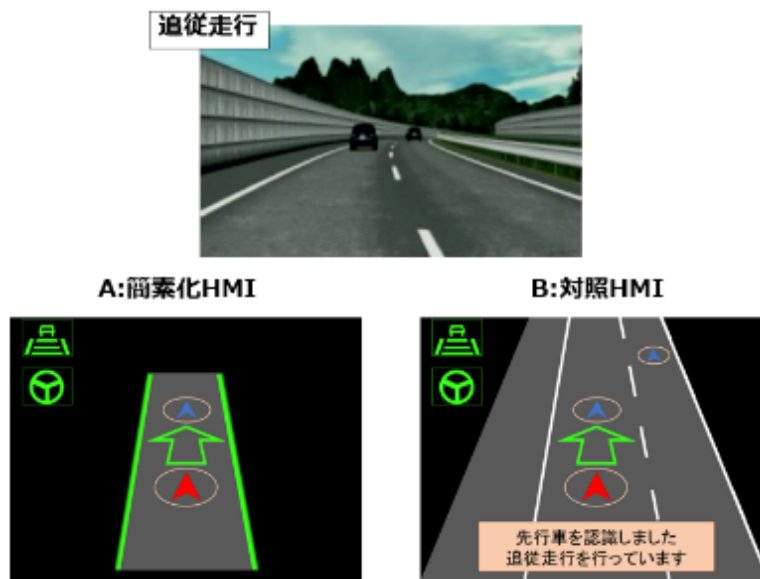


図 3-29 追従走行時の各 HMI の表示



図 3-30 停止車両検知時の各 HMI の表示

各群に対し、20名をそれぞれランダムに振り分けた。各条件の被験者の内訳は、表 3-26 のとおりである。

表 3-26 被験者の内訳

条件	人数			平均年齢	標準偏差
	男性	女性	計		
A	10	10	20	34.5	13.4
B	10	10	20	35.2	12.0

3.9.6. 実験手順

実験の手順は以下のとおりである。まず、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、自動運転システムについての説明と、自動運転システムの使用方法、解除方法を説明し、具体的な操作方法を練習させた。その後、被験者が行うタスクについての説明と、システムから提示される HMI 及び RtI についての説明を行った。また、自動運転システムが作動している最中に RtI が発出されない場合があることとその具体的な場面に関する教示を行った。

説明終了後、実際に走行実験を行った。この実験では、下記の 12 の走行シーンを経験させた。障害物不検知（交通量が少ない場合）と障害物不検知（交通量が多い場合）、高速出口への加速の 3 つをハザード見落とし場面として設定している。各シナリオの詳細を以下に示す。

- (1) 定速走行：システムが定速走行を行う。
- (2) 交通渋滞：軽度の交通渋滞の中、追従走行を行う。
- (3) 障害物検知：システムが走行車線上に停止車両を検知したため RtI が発生。ドライバーは運転を引き継ぐ必要がある。
- (4) 高速出口通過：高速出口地点を通過する。
- (5) 霧発生：濃い霧が発生し、車線認識が困難となったため、RtI が発生。ドライバーは運転を引き継ぐ必要がある。
- (6) 障害物不検知（交通量が少ない場合）：システムが走行車線上の段ボールを見落とす。ドライバーは自身の判断で運転を引き継ぐ必要がある。なお周囲に他車両は存在しない（図 3-31）。

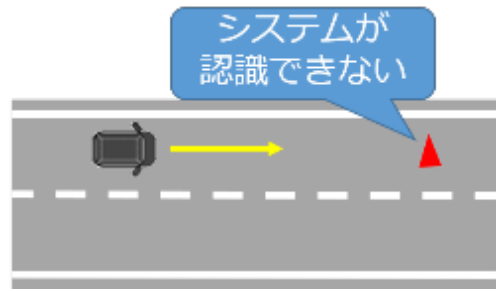


図 3-31 障害物不検知（交通量が少ない場合）

(7) 追従走行：システムが追従走行を行う。

(8) 高速出口への加速：カーブにおいて先行車を追従走行中、高速出口に接近する。このとき、システムが先行車を見失い、追従走行を解除して高速出口へ加速する。ドライバーは自身の判断で運転を引き継ぐ必要がある（図 3-32）。



図 3-32 高速出口への加速

(9) 障害物検知：システムが走行車線上に通行止めを検知したため RtI が発生。ドライバーは運転を引き継ぐ必要がある。

(10) 曇り：曇りの中、システムが追従走行を行う。

(11) 障害物不検知（交通量が多い場合）：システムが走行車線上の段ボールを見落とす。ドライバーは自身の判断で運転を引き継ぐ必要がある。なお自車と障害物の TTC が 7 秒に到達するまで先行車が 1 台存在し、後側方に車両が 1 台存在する（図 3-33）。



図 3-33 障害物不検知（交通量が多い場合）

(12) 定速走行：システムが定速走行を行う。

なお、この実験では、各群の被験者の半分が上記の順番で、残り半分が 6 走行目と 11 走行目を逆の順番で経験させた。

4 走行目と 8 走行目の終了後に約 10 分間の休憩を設けた。

一つの走行は次のように構成される。走行開始時点では車両は停止している。自車両が自動的にエンジンをかけ、自動運転システムが制御を開始する。その間ドライバーはハンドルとペダルから手足を離していることが想定される。その後、運転操作への介入が必要だと考えられる場面では、運転操作を引き継ぐことを教示してある。なお、ブレーキあるいはステアリングを操作することによって運転を引き継ぐことができることを伝えてある。

全 12 走行終了後、被験者へのアンケートと聞き取り調査を行った。

3.9.7. 仮説と評価指標

本実験における作業仮説は、認識対象共有 HMI によってハザード見落とし場面に対して適切に対応ができることである。また、簡素化 HMI によってドライバーの認知的負荷を少なくし、ハザード見落とし場面に対してより適切に対応できることである。

本実験における評価指標は以下のとおりである。

- ・ 介入成功数：各ハザード見落とし場面に対する適切な運転介入を行った回数である。運転介入とは、ドライバーがステアリングを 5 度以上操作する、またはブレーキペダルを開度 30% 以上踏み込むことで自動走行を解除することである。適切な運転介入はハザード見落とし場面ごとに異なる。障害物不検知の 2 場面では、ドライバーがステアリングを操作し障害物を回避すること、またはブレーキを操作し停止することを適切な運転介入と定義した。
- ・ 事故発生数：障害物不検知場面における事故の発生件数である。障害物不検知場面では、ドライバーの運転介入が遅かった場合、または運転介入を行わなかった場合に事故が発生するように設定されている。
- ・ TTC: ドライバーが運転介入を行った地点と障害物の距離を自車の走行速度で割った値である。この指標は障害物不検知場面に対して用いられる。
- ・ 運転介入までの時間：計測開始点からドライバーが介入を行うまでの時間である。この指標は高速出口への加速に対して用いられる。計測開

始点は高速出口へと車線が増え始める地点である。

- ・ 操舵角：運転介入度にドライバーがステアリングを操作した際の角度の値である。自車が直進している状態時のステアリング角を 0 度とし、反時計回りを正として計測される。
- ・ アンケートによる主観評価：情報の多さ、有用性、受容性の 3 項目について 7 段階のリッカート尺度を用いて計測された。

3.9.8. 結果と考察

図 3-34 はドライバー 1 人あたりが 3 つのハザード見落とし場面において、何回介入できたかを示す。介入成功数に対して、t 検定を行ったところ、有意差は認められなかった ($t(38) = -1, p = 0.324 > 0.05, ES: d = 1.414, 1-\beta = 0.995$)。

しかし、これらの結果は、両条件とも介入成功数が高く、検出力 $1-\beta$ の値も十分に大きいため、本研究で用いた認識対象共有 HMI は条件 A、B いずれもハザード見落とし場面に対する介入成功数を高めたことを示している。そのため、認識対象共有 HMI によって、ハザード見落とし場面に対して適切に対応ができることが示された。

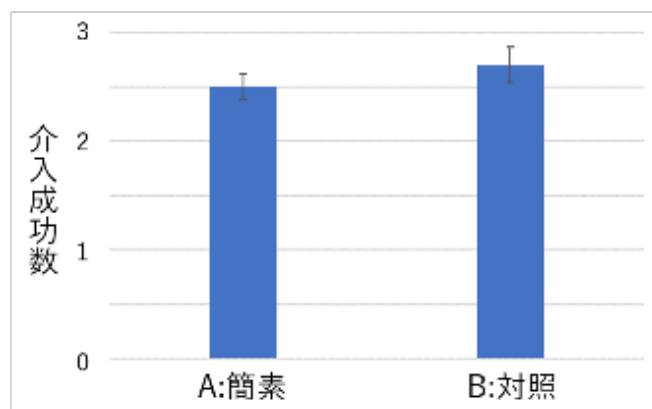


図 3-34 介入成功数

3 つのハザード見落とし場面では、HMI の情報量による介入成功数の差はなく、どちらも有効であるという結果が得られた。しかし、特定のハザード見落とし場面では HMI の情報量が影響することも考えられるため、次にそれぞれのハザード見落とし場面での結果を分析する。

障害物不検知（交通量が少ない場合）場面における各条件の介入成功数と事故発生数を示す（表 3-27）。条件 A と B の介入成功数に統計的な差は認められなかった ($\chi(1) = 1.052, p = 0.30 > 0.05$)。

表 3-27 障害物不検知（交通量が少ない場合）場面の介入成功数と事故発生数

	A：簡素	B：対照
介入成功数	20 / 20	19 / 20
事故発生数	0 / 20	1 / 20

この結果から、交通量が少ない場合の障害物不検知場面に対する介入成功数は HMI の情報を簡素化した場合も差がないことが分かった。しかし、両条件ともに高い介入成功数を得られているため、認識対象共有 HMI は交通量が少ない場合の障害物不検知場面に対して有効であることが示された。

また、条件 B では 1 件の事故が発生している。本シナリオは交通量が少ないため視界が開けており、障害物を確認することは比較的容易であった。そのため、事故が発生した原因として、詳細化された HMI の情報量が多いことがドライバーの負担となっていた可能性と、ドライバーの個人特性が影響していた可能性の 2 つが考えられる。本シナリオで事故が発生したドライバーは、交通量が多い場合の障害物不検知場面においても運転介入を行わず、事故を引き起こしている。そのため、事故発生の原因についての考察は後述する。

図 3-35 は、交通量が少ない場合の障害物不検知場面における各条件の平均 TTC である。介入に失敗した被験者を除くため、条件 A が 20 名分、条件 B が 19 名分のデータである。条件 A と B の平均 TTC に統計的な差は認められなかった ($t(37) = -0.139, p = 0.890 > 0.05$)。

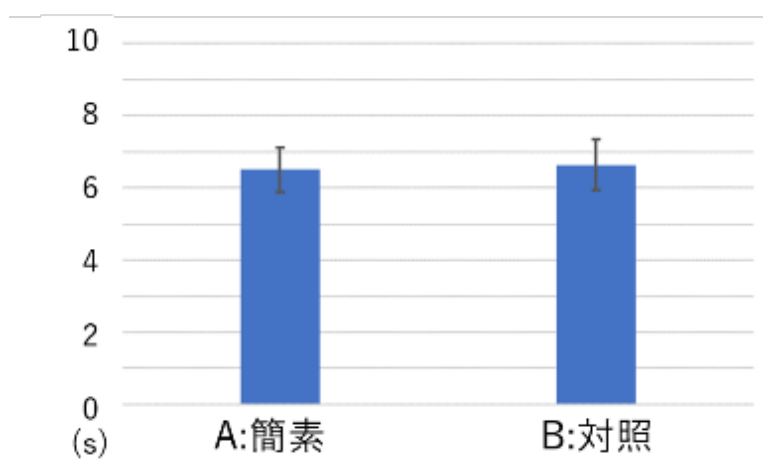


図 3-35 障害物不検知（交通量が少ない場合）場面における平均 TTC

この結果から、HMI の情報を簡素化した場合と対照 HMI に差はないが、どちらの条件も TTC が大きくなったため、十分な余裕をもって運転介入に臨む

ことができたと考えられる。

次に、障害物不検知（交通量が多い場合）場面における各条件の介入成功数と事故発生数を示す（表 3-28）。条件 A と B の介入成功数に統計的な差は認められなかった（ $\chi^2(1) = 0, p = 1 > 0.05$ ）。

表 3-28 障害物不検知（交通量が少ない場合）場面の介入成功数と事故発生数

	A：簡素	B：対照
介入成功数	19 / 20	19 / 20
事故発生数	1 / 20	1 / 20

この結果から、交通量が多い場合の障害物不検知場面に対する介入成功数は HMI の情報を簡素化した場合も差がないことが分かった。しかし、両条件ともに高い介入成功数を得られているため、認識対象共有 HMI は交通量が多い場合の障害物不検知場面に対しても有効であることが示された。

また、条件 A、B ともに 1 件の事故が発生している。ここで交通量が少ない場合の障害物不検知場面を含めて障害物不検知場面で発生した事故の原因の考察を行う。2 つの障害物不検知場面での事故発生件数は、条件 A の交通量が多い場合の 1 件、条件 B の交通量が多い場合と少ない場合で 2 件の計 3 件であった。このうち、条件 B で発生した計 2 件の事故は同一被験者によるものである。

条件 A における事故の原因として、ハザード見落とし場面の体験順による影響が考えられる。条件 A の事故を起こした被験者は障害物不検知（交通量が多い場合）シナリオをハザード見落とし場面の中で一番初めに体験していた。そのため、ハザード見落とし場面についての理解が浅いまま障害物不検知（交通量が多い場合）場面を体験し、対応ができなかったと考えられる。この条件 A の被験者は、その後のハザード見落とし場面に対しては適切な運転介入を行い、事故や危険な場面を回避することができていたため、学習効果が見られた。このことからハザード見落とし場面の体験順による影響が大きいと考えられる。また、本人への聞き取り調査では事故の原因について、「安心しきっていたため障害物の発見が遅れた」という回答が得られている。これらのことから、HMI による支援情報の他にも事前知識やハザード見落とし場面の経験が重要である可能性が考えられる。

条件 B における事故の原因として、2 つの障害物不検知場面において共通して事故を起こしていることから、被験者の個人特性による影響と、対照 HMI の情報がドライバーに負荷を与えたことが考えられる。被験者の個人特性と

しては年齢の影響が考えられる。事故を起こした被験者の年齢が46歳であり、本実験被験者の中では比較的高めであった。そのため、ハザード見落とし場面に対する介入成功数と年齢の相関を調べた（図 3-36）。相関係数を求めたところ $r = 0.14$ であり、相関はないことが分かった。

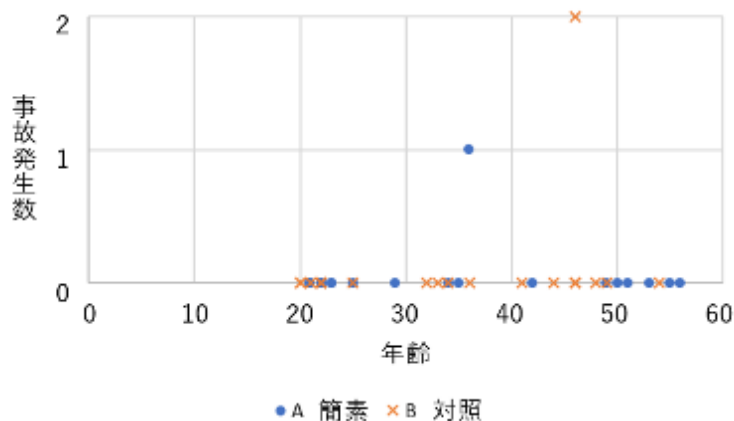


図 3-36 障害物不検知場面における事故数と年齢の相関

この結果から、事故を起こした被験者の年齢が原因だとは言えないことが示された。そのため、対照 HMI の情報がドライバーに負荷を与えたことが事故発生の原因となったことが考えられる。また本人への聞き取り調査では事故の原因について、「システムが RtI 等の警報を発してくれると思った」と回答している。これらのことから、HMI の情報が負荷を与えたことに加えて、システムへの理解が不十分であったことが考えられる。そのため、システムに対する理解を深めるような HMI 設計を考慮していく必要がある。

次に図 3-37 は、障害物不検知（交通量が多い場合）場面における各条件の平均 TTC である。介入に失敗した被験者を除くため、条件 A が 19 名分、条件 B が 19 名分のデータである。条件 A と B の平均 TTC の分析に t 検定を用いたところ、統計的な差は認められなかった ($t(36) = -0.307, p = 0.761 > 0.05$)。そのため、障害物不検知場面における介入時間は情報を簡素化したことによる影響を受けることはないことが分かる。

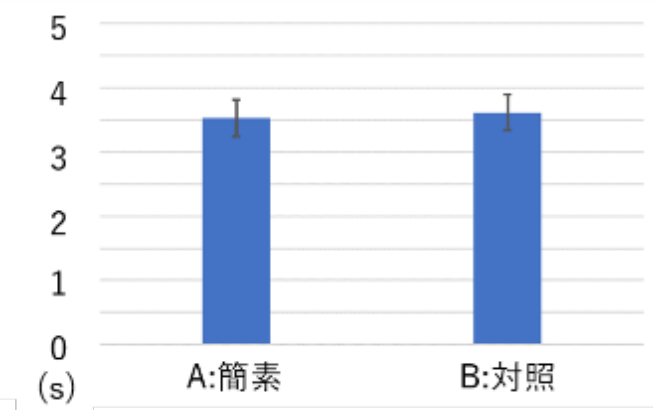


図 3-37 障害物不検知（交通量が多い場合）場面における平均 TTC

しかし、交通量が少ない場合の障害物不検知場面の TTC と比較すると、交通量が多い場合の TTC の方が 3 秒ほど小さくなっている。この原因として、交通量の多さが影響したと考えられる。本シナリオでは、自車と障害物の TTC が 7 秒に到達するまで先行車が 1 台存在し、後側方に車両が 1 台存在したため、ドライバーの周辺監視の負担が大きくなり、前方の障害物の発見が遅れたと考えられる。この発見の遅れにより運転介入が危険な操作になっていないかを調べる必要がある。

障害物を回避する際に急な操舵を行っていたかどうかを判断する指標として、障害物不検知（交通量：多い）場面における各条件の介入成功者の平均介入地点から 15 秒間の操舵角の推移を示す（図 3-38、図 3-39）。図に示されている開始点から赤線までの部分は、障害物を回避して車線変更を完了するまでの操舵である。また、ステアリングの反時計回りを正の操舵角としている。この部分に注目すると条件 A、B とともに、操舵角は緩やかに負の方向へ大きくなっている。すなわち、自車は緩やかに右に車線変更を行ったことを示している。これらの結果から、交通量が多い場合の障害物不検知場面においても安全な運転介入が行われたことが示された。本実験での被験者は、システムがハザードを見落とす可能性についての説明がされ、走行画面と HMI の両方を監視することを求められた。そのため、被験者はシステムに対する事前知識や周辺の交通状況を多く理解していたことが考えられる。したがって、本シナリオの結果では TTC は小さいが、安全な運転介入ができたと考えられる。

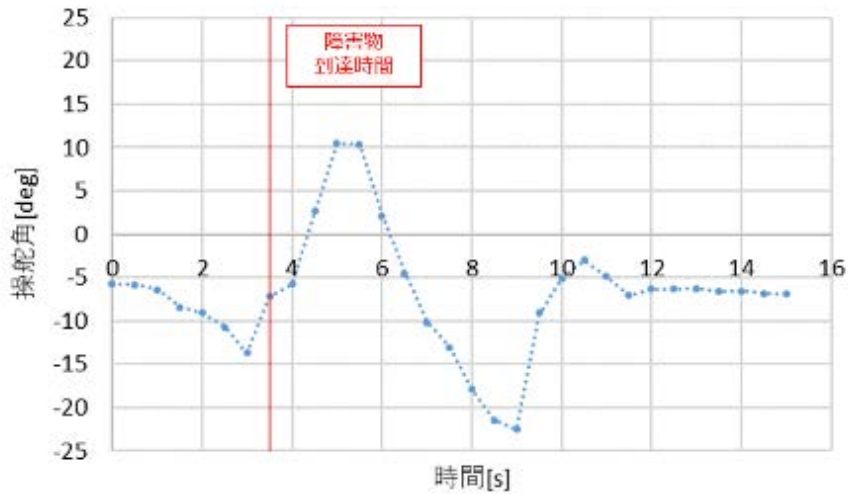


図 3-38 条件 A の操舵角の推移

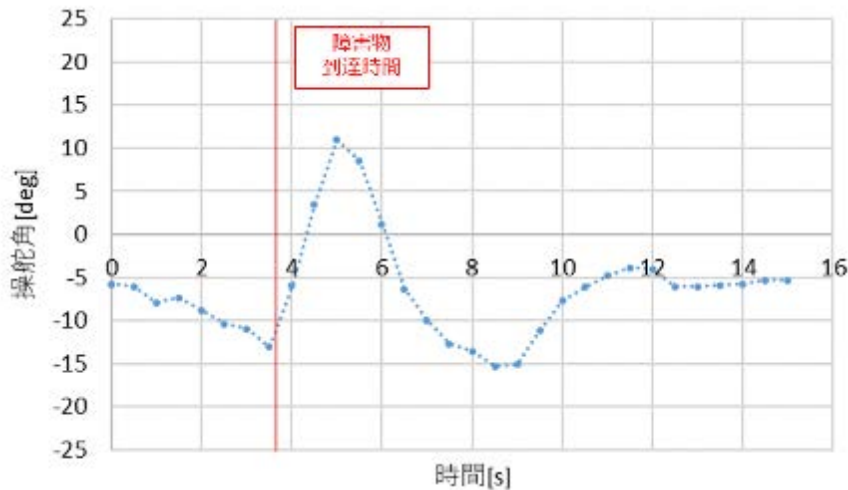


図 3-39 条件 B の操舵角の推移

次に高速出口への加速場面における各条件の介入数と介入成功数を示す(表 3-29)。介入数とは、ステアリングまたはブレーキペダルを操作し運転介入を行った被験者の人数である。本シナリオにおいては、運転介入を行うことで自車両の加速を防ぐことはできたが、高速出口へ向かうことを防ぐことができなかった被験者が見られたため、介入と介入成功を分けて示す。条件 A と B の介入数の分析にカイ二乗検定を用いたところ、統計的な差が認められた ($\chi^2(1) = 9.803, p = 0.002 < 0.05$)。また、条件 A と B の介入成功数にも統計的な差が認められた ($\chi^2(1) = 7.813, p = 0.005 < 0.05$)。

表 3-29 高速出口への加速場面の介入数と事故発生数

	A：簡素	B：対照
介入数	12 / 20	17 / 20
介入成功数	11 / 20	16 / 20

この結果から、対照 HMI を用いた条件 B が介入数と介入成功数を高めたことが分かる。この理由として、一つ目に対照 HMI は隣接車線の情報が表示されているため、システムが走行車線上の先行車を見失ったことをドライバーが確認しやすいことが考えられる。本シナリオは、システムが走行車線前方の先行車が車線変更を行ったと誤検知をした結果、追従走行を解除し高速出口へ加速しながら直進してしまうというシナリオである。このとき対照 HMI は、元々の先行車が隣接車線に移動したように表示する。そのため、実際の走行画面と HMI の表示に差があることからドライバーがシステムの異変に気づき、運転介入を行うことができたと考えられる。また、二つ目に情報が簡素化されていることで表示の変化が少ないため、条件 A では介入数、介入成功数が低くなったことが考えられる。表示の変化が少ないことで、表示の変化に気づきにくいことや監視することに飽きがでてくることで走行実験後の被験者への聞き取り調査の意見から得られている。これらの意見から、簡素化された HMI を使用したドライバーは HMI を見る頻度が少なくなったため、システムの異変に気づきにくかったことが考えられる。

図 3-40 は、高速出口への加速場面における各条件の介入成功者の平均介入時間と適切な介入ができなかった 2 名の介入時間を示したものである。条件 A での介入成功者 11 名分、条件 B での介入成功者 16 名分のデータである。条件 A と B の介入成功者の介入平均時間の分析に t 検定を用いたところ、統計的な差は認められなかった ($t(25) = -0.255, p = 0.801 > 0.05$)。

この結果から、HMI の情報を簡素化した場合と対照 HMI に介入時間の差はないと分かる。適切な介入ができなかった 2 名は、介入成功者と比べると介入時間が大きくなっており、対応が遅れていたことが分かる。この 2 名の聞き取り調査で共通していた意見は、「走行車線を逸れたため、とりあえず操作を行ったがその後に何をすればいいのか分からなかった」というものであった。加速しながら高速出口へ直進するという危険な事態は避けられたが、その後の操作に対する支援についての考慮が必要であると考えられる。

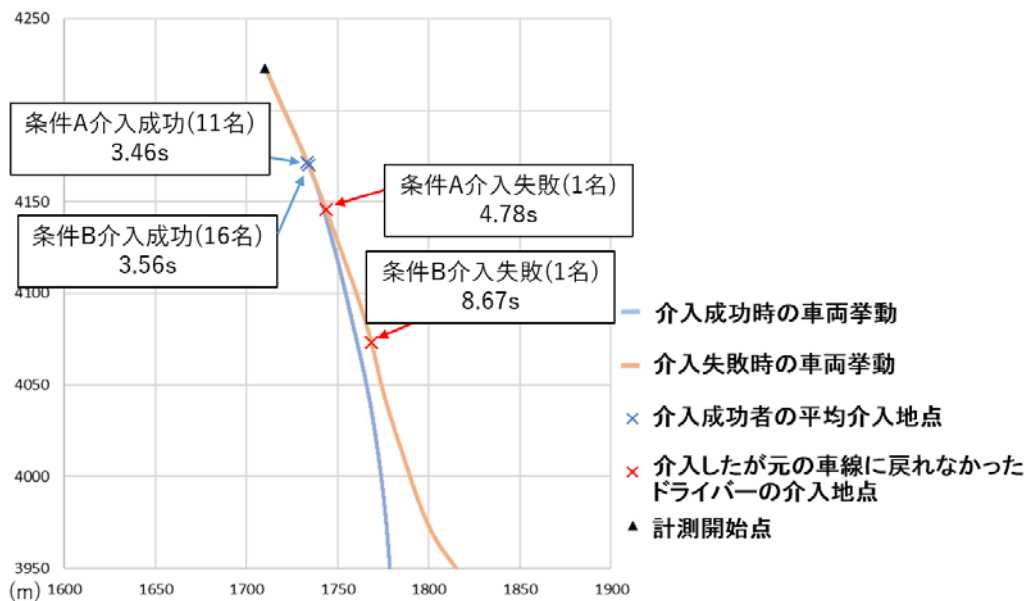


図 3-40 条件 B の操舵角の推移

最後に主観評価アンケートの結果を述べる。

図 3-41 は、各条件における HMI の情報の多さに関するアンケートの結果である。分析に t 検定を用いたところ、統計的な差は認められなかった ($t(38) = -1.731, p = 0.091 > 0.05$)。そのため、条件 A と B では被験者の主観的な判断では HMI の情報の多さに差はないことが分かった。スコアを見ると全体的に条件 B の方が情報を多く感じる傾向にあるが、どちらも「適切」を表す 4 点に近いスコアになっている。そのため、被験者の主観的な判断において、本研究で用いた HMI はどちらも十分な情報を有していたと考えられる。

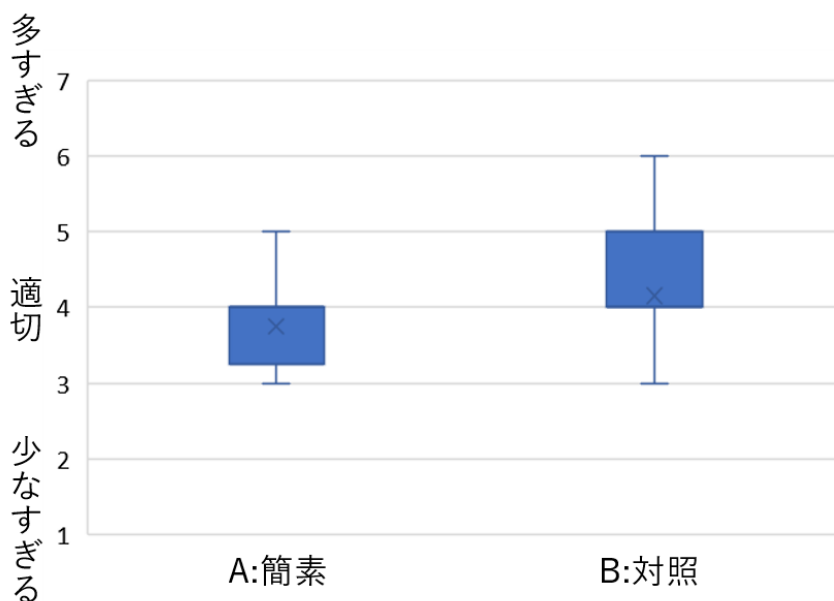


図 3-41 HMI の情報の多さに関するアンケート結果

図 3-42 は、各条件における HMI の有用性に関するアンケートの結果である。分析に t 検定を用いたところ、統計的な差は認められなかった ($t(38) = -1.420, p = 0.164 > 0.05$)。そのため、条件 A と B では被験者の主観的な判断では HMI の有用性に差はないことが分かった。しかし、スコアを見ると両条件ともにある程度有用に感じるという結果が得られている。両条件ともに、ほぼ全ての被験者はハザード見落とし場面に対して、介入成功の体験をしているため、有用に感じられることが多かったと考えられる。条件 A の結果のばらつきが多い理由としては、条件 A では高速出口への加速の場面で介入できなかった被験者が見られたため、これらの被験者が有用性に関して低い評価を行ったことが考えられる。

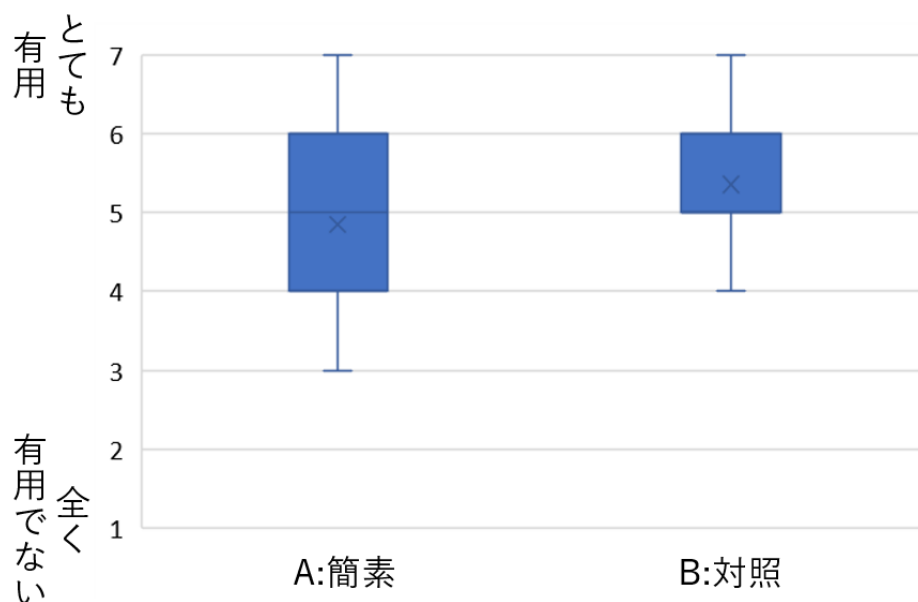


図 3-42

図 3-43 は、各条件における HMI の受容性に関するアンケートの結果である。分析に t 検定を用いたところ、統計的な差は認められなかった ($t(38) = -1.517, p = 0.138 > 0.05$)。そのため、条件 A と B では被験者の主観的な判断では受容性に差はないことが分かった。しかし、スコアを見ると両条件ともに高い結果が得られており、本実験で用いた HMI は被験者に受け入れられたことが分かった。HMI の有用性の結果と同様に条件 A の結果のばらつきが多い理由としては、条件 A では高速出口への加速の場面で介入できなかったドライバーが危険な体験をしたことから、簡素化された HMI を使いたくないと判断したためだと考えられる。

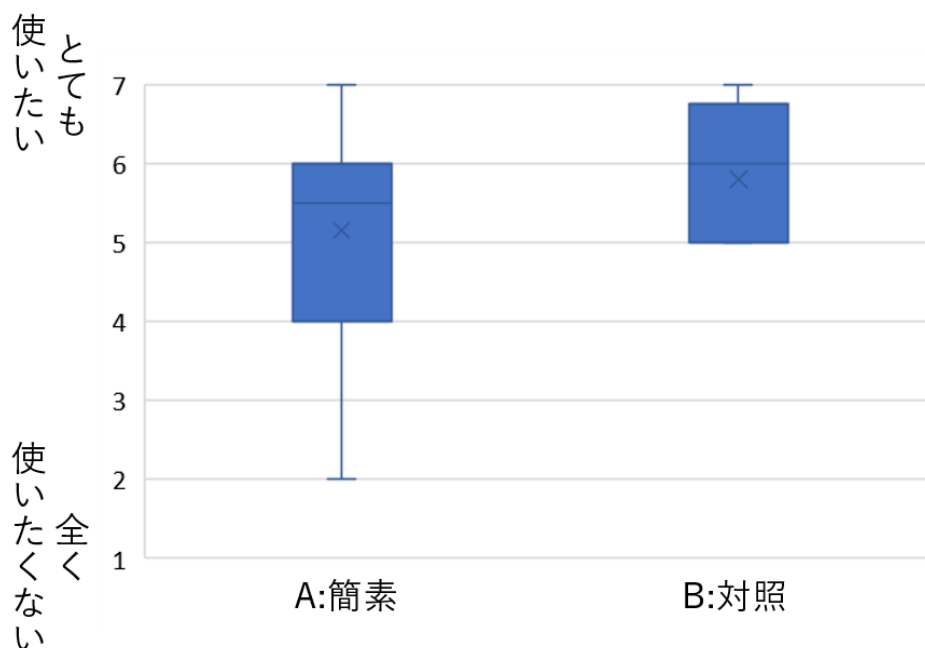


図 3-43 HMI の受容性に関するアンケート結果

3.9.9. まとめ

本研究では、システムのハザードの見落とし場面に対して、認識対象共有 HMI の有効性の検証と、その HMI の情報内容を簡素化した場合により高い状況認識支援効果を得られるかを検証することを目的とした実験を行った。

その結果、ハザード見落とし場面の運転介入に対して、認識対象共有 HMI が有効であることが分かった。これは実験 A-3-1 の結果を補強する結果となった。

また各ハザード見落とし場面での運転介入を分析すると、2 つの障害物不検知場面においては情報を簡素化した HMI の条件 A と対照 HMI の条件 B ともに高い介入成功数と介入時に十分な TTC が得られた。しかし、高速出口への加速の場面では、条件 A よりも条件 B の方が介入成功数を高めることが示された。この結果から、高速出口への加速場面のような、ドライバーがシステムの機能を深く理解している必要がある場面では、交通状況やシステムの意図を詳細に表示する HMI を用いることの有用性が示された。

また、HMI の主観評価アンケートの結果からもどちらの条件の HMI も有用性、受容性ともに高くなる傾向が見られた。

しかし、条件 B では障害物不検知場面において 2 件の事故が確認されていることから、対照 HMI の情報がドライバーに負荷を与え、事故を引き起こした可能性が示唆された。

3.10. 実験 A-8-1-2

3.10.1. 目的

実験 A-3-1 ならびに A-8-1-1 の成果に基づいて、自動運転レベル 2 におけるハザード見落としに備えた HMI に必要な情報のコンテンツ要素の明確化を目的とする。なお本実験は、実験 A-3-1 のサンプル数を増やすための追加実験である。そのため、実験内容は実験 A-3-1 と同様である。

3.10.2. 実験被験者

追加実験において新たに走行データを取得した実験被験者は、普通運転免許を有する 65 歳以上の高齢者 45 名である。なお、実験 A-3-1 では 4 水準であるが、情報を伝えない条件については HMI を見ていないことと同様とみなせるため、追加実験では対象としていない。すなわち、実験 A-3-1 と追加実験と合わせると実験被験者は 90 名となる。各条件の内訳については後述の実験計画において説明する。

実験被験者は、アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことがないことと、実験 A-1-2 への参加経験がないことを条件として募集を行った。

実験は 1 人あたり 2 時間程度行い、すべての被験者からインフォームドコンセントを得た。なお、本実験は筑波大学システム情報研究倫理委員会の審査を受け、承認を得たうえで行った（承認番号：2016R119）

3.10.3. 実験装置

本実験では、図 3-44 に示す定置型ドライビングシミュレータを用いた。このシミュレータは、三菱プレシジョン社製 DS3Sim ver.6 である。前方に 42 インチのディスプレイを 1 面配置し、約 100 度の水平視界を提供している。ハンドルは Logicool 社製ゲームハンドルを使用している。システム情報を伝える HMI はドライビングシミュレータの画面下中央に表示される。



図 3-44 実験 A-8-1 追加実験使用ドライビングシミュレータ

実験に用いるコースは、片道 2 車線の高速道路である。

本実験で使用する自動運転システムは、自動車線変更機能を有するレベル 2 の自動運転である。

レベル 2 を想定することから、自動運転システムが対応できない場面においてはドライバーが制御介入をする必要がある。ドライバーが制御介入をする必要がある場面においては、システムがそれを自覚していれば RtI を発する可能性がある。ただし、システムがハザードを見落としていて RtI を発することができない場合、ドライバーが自身の判断で運転に介入しなければならない。

3.10.4. タスク

本実験において被験者に課されるタスクは、自動運転を利用して安全に高速道路を走行することである。

本実験はレベル 2 を想定しているため安全運転の責任はドライバーにあるが、自動走行中ドライバーはハンドルから手を離し、アクセルペダルやブレーキペダルから足を離すことを許可している。

3.10.5. 実験計画

本実験では、システム状態を伝える HMI という 1 つの要因を取りあげる。これは被験者間要因である。次の 3 つの水準を有する。

・ 条件 A : 検知情報 HMI

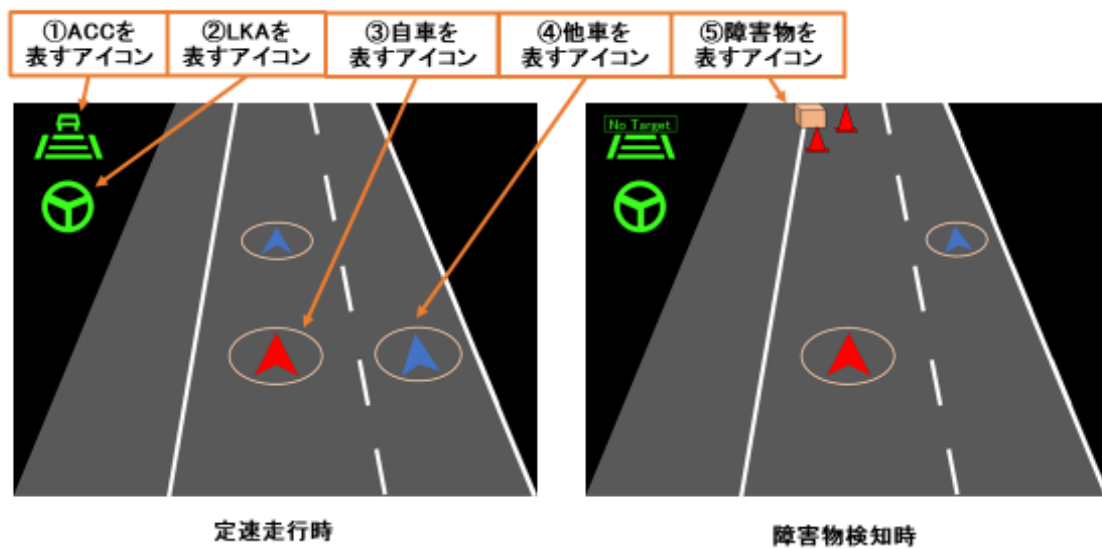


図 3-45 検知情報 HMI の表示例

・ 条件 B : 意図情報 HMI

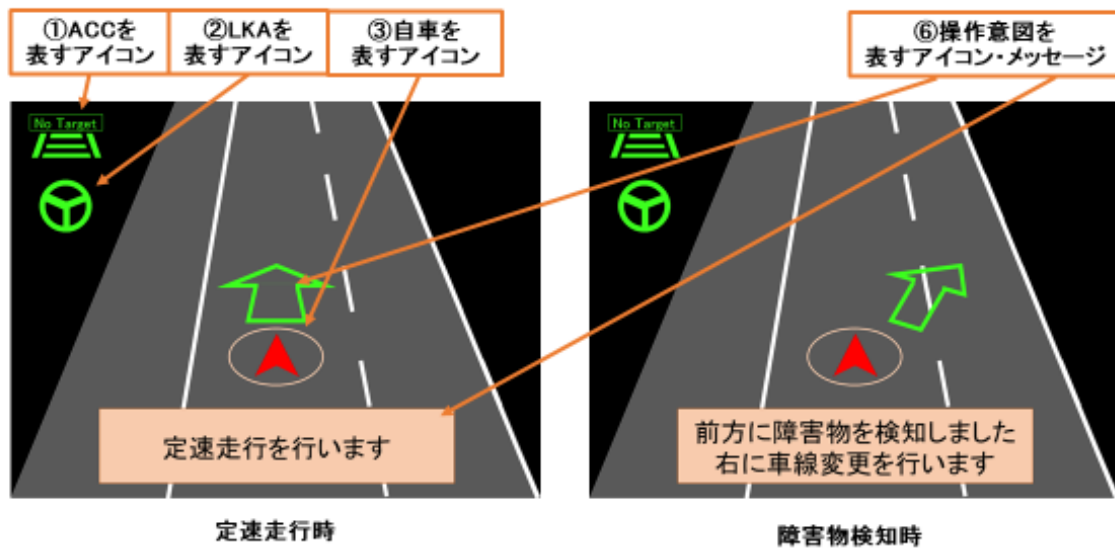


図 3-46 「操作意図」 HMI の表示例

・ 条件 C：検知情報＋操作意図 HMI

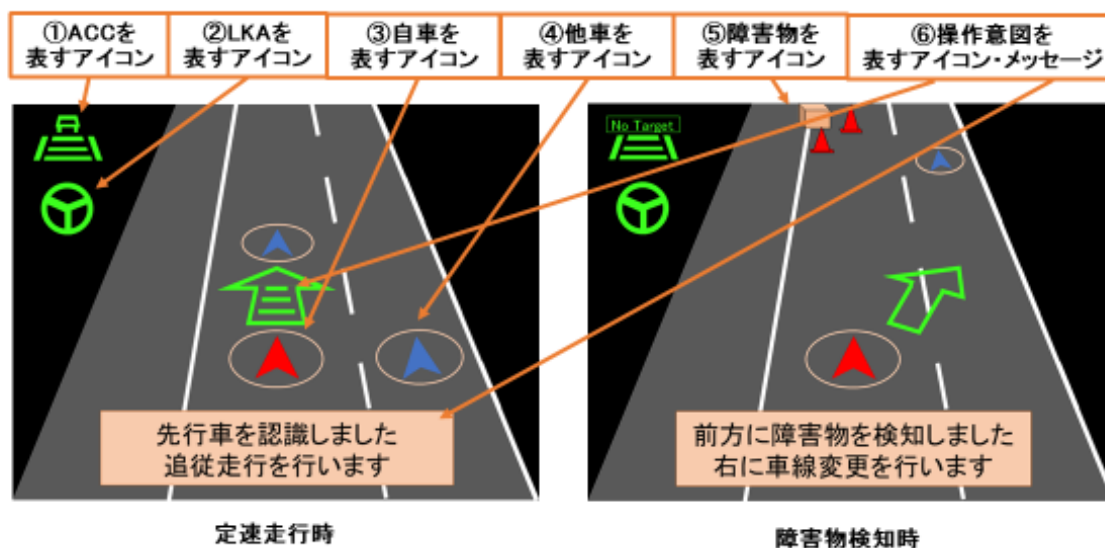


図 3-47 検知情報＋操作意図 HMI の表示例

各群に対し、15名をそれぞれランダムに振り分けた。各条件の被験者の内訳は、表 3-30 のとおりである。

表 3-30 被験者の内訳

条件	人数			平均年齢	標準偏差
	男性	女性	計		
A	24	6	30	71.3	3.3
B	21	9	30	71.9	4.1
C	20	10	30	69.9	3.2

3.10.6. 実験手順

実験の手順は以下のとおりである。まず、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、自動運転システムについての説明と、自動運転システムの使用方法、解除方法を説明し、具体的な操作方法を練習させた。その後、システムから提示される HMI 及び RtI についての説明を行った。また、自動運転システムが作動している最中に RtI が発出されない場合があることとその具体的な場面に関する教示を行った。

説明終了後、実際に走行実験を行った。この実験では、表 3-31 の 11 つのシナリオを経験させた。なお、赤字はハザード見落とし場面である。4 走行目と 8 走行目の終了後に約 10 分間の休憩を設けた。

表 3-31 実験 A-8-1 追加実験使用シナリオ

N O.	シナリオ名	内容
1	定速走行	時速80km/hの自動定速走行を続ける
2	障害物回避1	走行車線の通行止めを自動車線変更により回避し自動走行を続ける
3	合流部でのRtl発生	合流地点に到達し、Rtlを発する
4	障害物不検知1	走行車線上のパイロンを検知できず何も介入しないとそのまま衝突する
5	天候：曇り	曇りの中、自動追従走行を続ける
6	急な割り込み	右車線の車両が急に自車前方に割り込んでくる (介入しなくても事故は発生しない)
7	追従走行	軽い渋滞により時速75km/hの自動追従走行を続ける
8	システムの誤認識	システムが走行車線上の鉄板を障害物と勘違いし車線変更する 何も介入しないと追越し車線上を走行してくる車両に追突にされる
9	霧発生によるRtl	濃い霧が発生し、システムがRtlを発する
10	障害物回避2	走行車線上の停止車両を自動車線変更により回避し自動走行を続ける
11	障害物不検知2	走行車線上の段ボールを検知できず何も介入しないとそのまま衝突する

なお、この実験では、各群の被験者すべてが上記の順番で経験した。

一つの走行は次のように構成される。走行開始時点では車両は停止している。自車両が自動的にエンジンをかけ、自動運転システムが制御を開始する。その間ドライバーはハンドルとペダルから手足を離していることが想定される。その後、運転操作への介入が必要だと考えられる場面では、運転操作を引き継ぐことを教示してある。なお、ブレーキ、アクセル、あるいはハンドルを操作することによって運転を引き継ぐことができることを伝えてある。

全 11 走行終了後、被験者への聞き取り調査とトレイルメイキングテストを行った。

3.10.7. 仮説と評価指標

本実験では、作業仮説として、ハザード見落とし場面に対して、検知情報+意図情報 HMI を用いることでドライバーの運転介入を促し、事故を抑制することである。

本実験における評価指標は以下のとおりである。

- ・ 介入数：各ハザード見落とし場面に対する運転介入を行った回数である。運転介入とは、ドライバーがステアリングを 5 度以上操作する、またはブレーキペダルを開度 30% 以上踏み込むことで自動走行を解除することである。
- ・ 事故数：ハザード見落とし場面における事故の発生件数である。ドライバーの運転介入が遅かった場合、または運転介入を行わなかった場合に事故が発生するように設定されている。また、運転介入後の手動運転時の事故も含む。

3.10.8. 結果と考察

本実験では、HMI の情報内容による影響を調査するために走行終了後の聞き取り調査にて「走行中に主にどこを見ていましたか」という質問から被験者を、HMI を見ていた群と HMI を見ていなかった群に分けた。

図 3-48 はハザード不検出場面に対する介入数である。HMI を見ていたドライバー群と HMI を見ていなかったドライバー群のそれぞれの条件間に対して一元配置分散分析を行った。その結果、HMI を見ていたドライバー群では条件間の主効果が認められた ($F(2, 36) = 3.359, p = 0.046 < 0.05$)。HMI を見ていなかったドライバー群では主効果は認められなかった ($F(2, 48) = 2.431, p = 0.099 > 0.05$)。

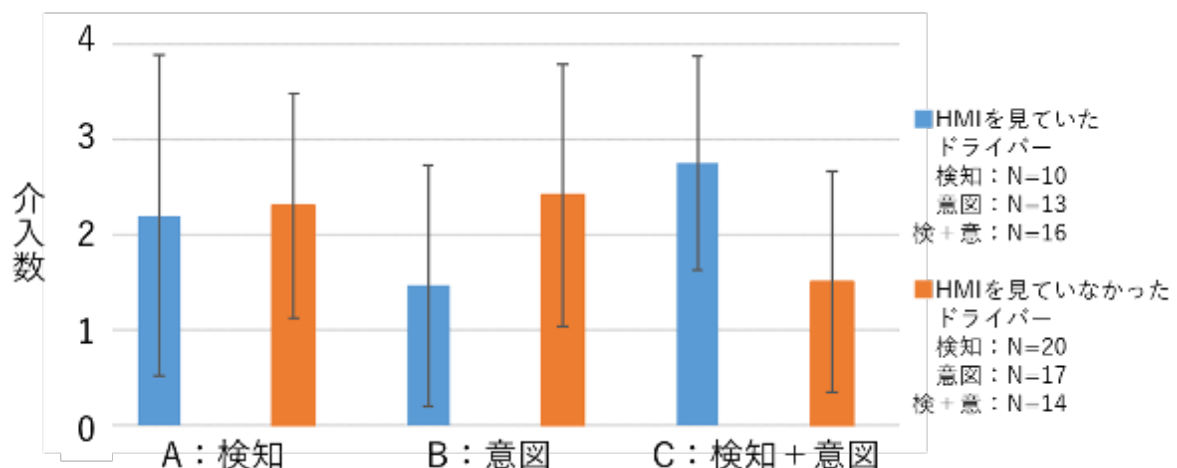


図 3-48 ハザード見落とし場面に対する介入数

主効果が認められた HMI を見ていたドライバー群の介入数に対して、Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った (表 3-32)。diff は比較した条件間の平均値の差を表す。lwr、upr はそれぞれ下方信頼区間と上方信頼区間を表す。その結果、条件 B と C に有意差が認められた。

表 3-32 HMI を見ていたドライバー群の介入数の多重比較検定の結果

	diff	lwr	upr	p
B-A	-0.738	-2.107	0.631	0.394 > 0.05
C-A	0.550	-0.762	1.862	0.566 > 0.05
C-B	1.288	0.073	2.504	0.036 < 0.05

これらの結果から、条件 C の検知情報 + 意図情報 HMI は条件 B の意図情報 HMI よりも介入数を高めることが分かる。また、条件 C の介入数が高条件と比べて高い値を示しているため、検知情報と意図情報を提示する HMI によってドライバーの運転介入を促すことができていることが考えられる。検知情報のみを提示する条件 A と意図情報のみを提示する条件 B が条件 C に比べて介入数が低くなった原因として、条件 A と B はそれぞれ検知情報のみ、意図情報のみ、というドライバーにとって中途半端な情報であり、適切なメンタルモデル構成を妨げたことが考えられる。また、条件 A、B において、HMI を見ていたドライバー群よりも HMI を見ていなかったドライバー群の方が高い介入数を示したことについても、HMI の中途半端な情報により誤ったメンタルモデルを構成した可能性があること、HMI を見ていたドライバーよりも、HMI に頼らず走行状況を監視していたこと、HMI を見ていなかったドライバー群の方がより介入を行うことができたことが関わっていると考えられる。

次に、図 3-49 はハザード見落とし場面における事故数である。HMI を見ていたドライバー群と HMI を見ていなかったドライバー群のそれぞれの条件間に対して一元配置分散分析を行った。その結果、HMI を見ていたドライバー群では条件間の主効果が認められた ($F(2, 36) = 3.574, p = 0.038 < 0.05$)。HMI を見ていなかったドライバー群では主効果は認められなかった ($F(2, 48) = 0.724, p = 0.490 > 0.05$)。

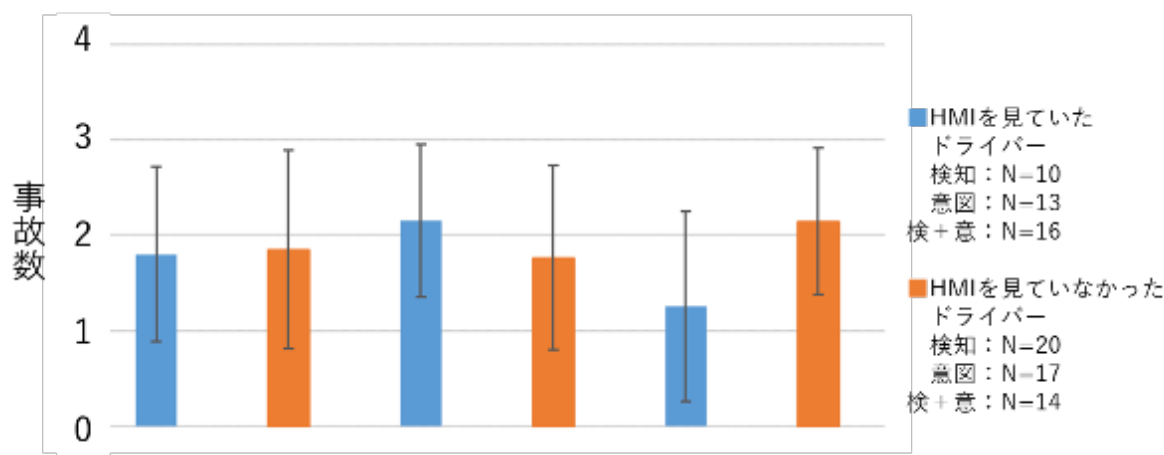


図 3-49 ハザード見落とし場面における事故発生数

主効果が認められた HMI を見ていたドライバー群の事故数に対して、Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った (表 3-33)。diff は比較した条件間の平均値の差を表す。lwr、upr はそれぞれ下方信頼区間と上方信頼区間を表す。その結果、条件 B と C に有意差が認められた。

表 3-33 HMI を見ていたドライバー群の事故数の多重比較検定の結果

	diff	lwr	upr	p
B-A	0.354	-0.590	1.297	0.633 > 0.05
C-A	-0.550	-1.453	0.354	0.309 > 0.05
C-B	-0.904	-1.741	-0.067	0.032 < 0.05

これらの結果から、条件 C は条件 B よりも事故発生数を低くすることが分かる。また、条件 C の事故数が他条件と比べて低い値を示しているため、検知情報と意図情報を提示する HMI によって運転介入を促す他に、介入後のドライバーの事故を防ぐことができていると考えられる。

3.10.9. まとめ

本実験では、自動運転レベル 2 のハザード見落とし場面においてシステム状態を伝える HMI の有用性とそのコンテンツを明らかにする実験を行った。

その結果、ハザード見落とし場面では、検知情報と操作意図を組み合わせた情報を与えることで、ドライバーの介入数を高め、事故の発生件数を少なくすることが確認された。

また、ドライバーに検知情報のみや意図情報のみを提示する条件では、検知情報と意図情報を組み合わせて提示する条件と比較すると、介入数が低く

なり、事故数が高くなった。このことから、システム状態に関する情報を一部提示する場合、ドライバーが誤ったメンタルモデルを構成する可能性があり、ハザード見落とし場面に対して適切な対応が取れない可能性が示唆された。

3.11. 実験 A-8-2

3.11.1. 目的

FY17の実験 A-2-2においてはレベル2のシステムが通報を発出する場面对して「システムが今どの程度安全を確信して制御しているか」についての確信度情報を提示する効果を検証したが、ハザードを見落とす場面での効果については明らかではない。そのため、本実験ではその場面对して、確信度情報を提示する効果と与え方を評価する。また、確信度への過信による事故と介入の遅れがあるかを調べる

3.11.2. 実験被験者

実験被験者は、普通運転免許を有する21～63歳の被験者計60名である。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。

実験被験者は、アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことのないことを条件として募集を行った。

なお、本実験は筑波大学システム情報系研究倫理委員会の審査を受け、承認を得た上で行った（承認番号2018R230）

3.11.3. 実験装置

本実験では、図 3-50に示す定置型ドライビングシミュレータをもちいた。このシミュレータは、三菱プレシジョン社製 DS3Sim ver.5である。前方に、50インチのディスプレイを5面配置し、約200度の水平視界を提供している。ハンドルは、ムーグ社製反力提示装置を利用している。



図 3-50 実験 A-8-2 使用ドライビングシミュレータ

本実験に用いるコースは、片側 2 車線の高速道路である。

本実験で使用する自動運転システムは、レベル 2 の自動運転である。車線変更が必要な場面では、ドライバーが制御介入をしなければならない。

レベル 2 を想定することから、自動運転システムが対応できない場面においてはドライバーが制御介入をする必要がある。ドライバーが制御介入をする必要がある場面においては、システムがそれを自覚していれば通報できる場合がある。ただし、システムがハザードを見落している場合、ドライバーが自身の判断で運転に介入しなければならない。

3.11.4. タスク

本実験において実験被験者に課されるタスクは、自動運転システムを利用して安全に高速道路を走行することである。

走行開始後、自動運転による走行が始まったら、ドライバーは周囲の状況とシステムの制御の様子を監視する義務がある。

3.11.5. 実験計画

本実験では、「システムの確信度を提示する HMI」の 1 つの要因を取り上げる。被験者間要因である。次の 3 つの水準を有する。

- 条件 A：システムの確信度情報を提示する。また、確信度情報を理解するための関連情報を提示する。(図 3-51)
- 条件 B：システムの確信度情報を提示するが、関連情報を提示しない。(図 3-52)
- 条件 C：システムの確信度情報を提示しない。作動状態のみ提示する。(図 3-53)

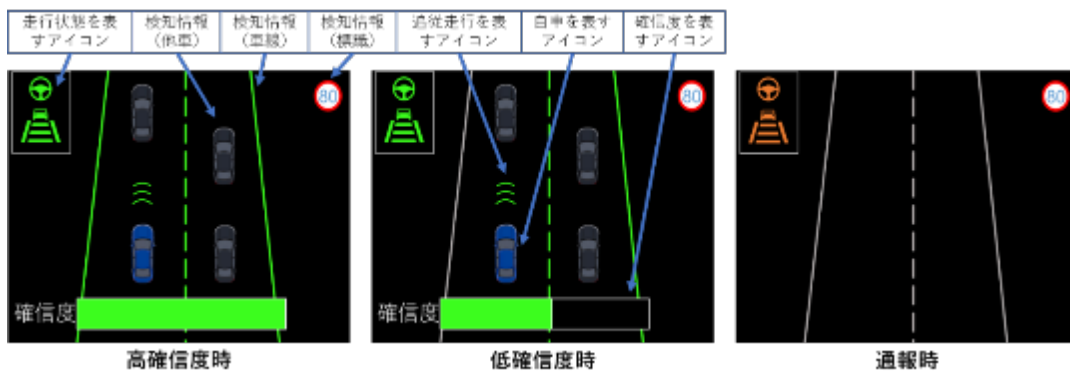


図 3-51 条件 A による HMI



図 3-52 条件 B による HMI

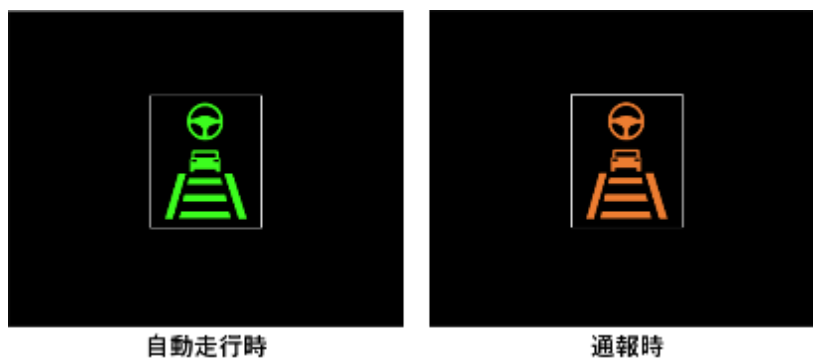


図 3-53 条件 C による HMI

本実験では、確信度の表示は高・低の二種類がある。高確信度の場合、システムは周囲が安全であると判断している。低確信度の場合、システムの制御は可能だが、安全を保障できない。今危険を生じる可能性があることを示している。

各群に対し、20名をそれぞれランダムに振り分けた。各条件の被験者の内訳は、表 3-34 のとおりである。

表 3-34 被験者の内訳

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
A	10	10	44	38.3	41.2
B	10	10	42	42.4	42.2
C	10	10	40.7	47.1	43.9

3.11.6. 実験手順

実験の手順は以下のとおりである。まず、実験の概要を説明し、インフォームドコンセントを得た。続いて、自動運転システムについての説明と、自動運転システムの設定方法、解除方法を説明し、具体的な操作方法を練習させた。その後、システムから提示される HMI 及び運転介入要請についての説明を行った。また、自動運転システムが作動している最中に運転介入要請が発出されない場合があることと、その具体的な場面に関する教示を行った。

説明終了後、実際に走行実験を行った。この実験では、下記の 12 シーンを経験させた。4 走行目と 8 走行目の終了後に約 10 分間の休憩を設けた。なお、この実験では、各群の被験者の半分が下記の順番で、残りの半分が逆の順番（12 走行除く）で経験させた。

- (1) 合流 1（高）：システムが視界の良い環境で走行し、確信度表示が高である。最後に、合流部への到達により通報を発する。
- (2) 障害物不検出 2（低）：システムが薄暮の環境で走行し、確信度表示が低である。最後に、システムが走行車線上のパイロンを検知できず、何も介入しないとそのまま衝突する。
- (3) 定速走行 1（低）：システムが薄暮の環境で走行し、確信度表示が低である。介入は不要である。
- (4) 他車割込み 1（低）：システムが視界の良い環境で走行するが、交通量が多いため確信度表示が低である。最後に、右車線の車が路上にいる障害物を避けるため自車線へ割り込み、システムが反応できず、何も介入しないとそのまま衝突する。
- (5) レーンクローズ 2（高→低）：システムが視界の良い環境で走行し、確信度表示が高である。途中センサーが故障するため、表示が低になる。最後に、工事現場への到達により通報を発する。
- (6) 定速走行 2（高→低）：システムが視界の良い環境で走行し、確信度表示が高である。途中交通量が多くなるため、表示が低になる。介入は

不要である。

- (7) 障害物不検出 3 (高→低) : システムが曇りの環境で走行し、確信度表示が高である。途中視程 300m の薄霧が発生し、表示が低になる。最後に、システムが走行車線の段ボールを検知できず、何もしないとそのまま衝突する。
- (8) レーンクローズ 1 (低) : システムが視界の良い環境で走行するが、交通量が多いため確信度表示が低である。最後に、停止車両を遭遇するため、通報を発する。
- (9) 合流部 2 (低) : システムが薄暮の環境で走行し、確信度表示が低である。最後に、合流部への到達により通報を発する。
- (10) 他車割込み 2 (高→低) : システムが視界の良い環境で走行し、確信度表示が高である。途中センサーが故障するため、表示が低になる。最後に、右車線の車が路上にいる障害物を避けるため自車線へ割り込み、システムが反応できず、何も介入しないとそのまま衝突する。
- (11) 濃霧 (高→低) : システムが曇りの環境で走行し、確信度表示が高である。途中視程 300m の薄霧が発生し、表示が低になる。最後に、霧が視程 50m まで濃くなり、通報を発する。
- (12) 障害物不検出 1 (高) : システムが視界の良い環境で走行し、確信度表示が高である。最後に、システムが走行車線上のパイロンを検知できず、何も介入しないとそのまま衝突する。

1 つの走行は、次のように構成される。試行開始時点では、車両は停止している。自車両が自動的にエンジンをかけ、自動運転システムの制御を開始する。その間ドライバーはハンドルとペダルから手足を離していることが想定される。その後、運転操作への介入が必要だと考えられる場面では、運転操作を引き継ぐことを教示してある。なお、ブレーキ、アクセル、あるいはハンドルを操作することによって運転を引き継ぐことができることを伝えてある。

全走行終了後には、約 15 分間のヒアリングとアンケート調査を行った。

3.11.7. 仮説と評価指標

本実験では、作業仮説として、システムのハザード見落としに対して、確信度情報がある場合、ドライバーの運転パフォーマンスが良く、情報の有用性が確認できる。提示方法について、関連情報を提示する方では受容性が高い。高確信度での不検出が発生する場合、確信度情報ではドライバーの過信を招く、運転パフォーマンスに負の効果を与える恐れがある。

本実験における評価指標は以下のとおりである。

- ・ 事故発生数
- ・ イベント介入数
- ・ 運転介入までの時間
- ・ アンケートによる主観評価（1から7まで）

3.11.8. 結果と考察

実験中条件 A 被験者の 1 名は指示に従わないため除外し、残り 59 名被験者のデータを集計・分析した。表 3-35 はハザード見落としイベント全体における介入数・事故発生数を示す。全体的には、3 条件ともに大体の被験者が安全に介入成功したことが言える。その原因としては、システムがハザードを見落とし得ることを実験前に教示したことが考えられる。事前介入については、条件 B は最も多かった原因としては、被験者が低確信度の表示に不安を感じたと考えられる。また、聞き取り調査により被験者が確信度変化の理由を理解できないことが判明した。被験者が確信度情報への理解が不十分だと考えられる。

表 3-35 ハザード見落としイベント全体の結果

	ハザード見落としイベント全体		
	事前介入数	イベントに対する介入数	事故数
条件 A	5/76	70/71	3/71
条件 B	9/80	69/71	2/71
条件 C	5/80	74/75	5/75

次に、図 3-54 は障害物不検出 2 と 3 のイベントにおける運転介入時間を示す。障害物不検出 2 のイベントにおいては、条件間に有意傾向があった ($F(2,52)=2.77, p=0.072$)。多重比較を行った結果、条件 A と条件 B の間に有意傾向が認められた ($p=0.086$)。障害物不検出 3 のイベントにおいては、条件の違いによる主効果が認められた ($F(2,48)=3.78, p=0.03$)。多重比較を行った結果、条件 A と条件 C の間に有意差が認められた ($p=0.023$)。確信度情報及び関連情報を提示する群の方では介入時間が早いことが分かった。

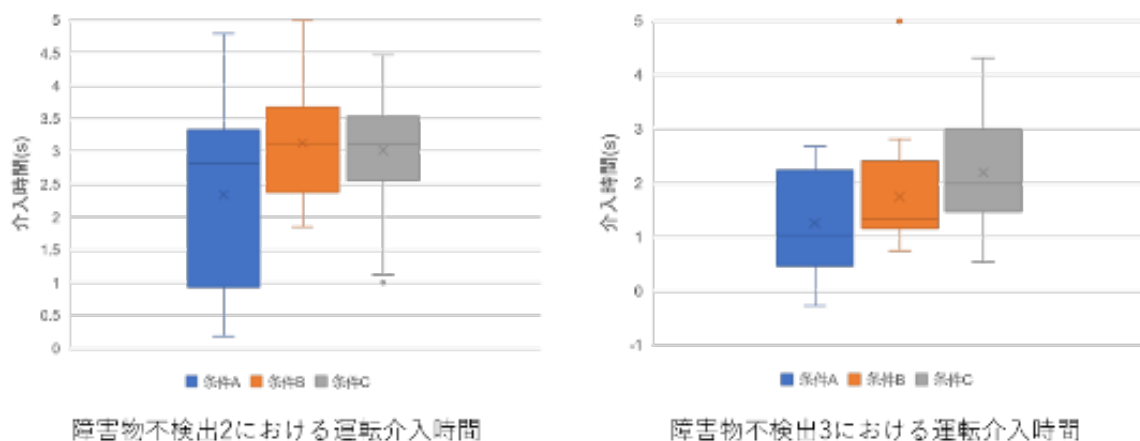


図 3-54 障害物不検出における運転介入時間

図 3-55 は他車割込み 1 と 2 のイベントにおける運転介入時間を示す。他車割込み 1 のイベントにおいては、条件の違いによる主効果がない ($F(2,53)=0.829, p=0.442$)。他車割込み 2 のイベントにおいては、条件の違いによる主効果がない ($F(2,52)=0.091, p=0.913$)。3 条件ともに、介入時間が早いという結果になった。

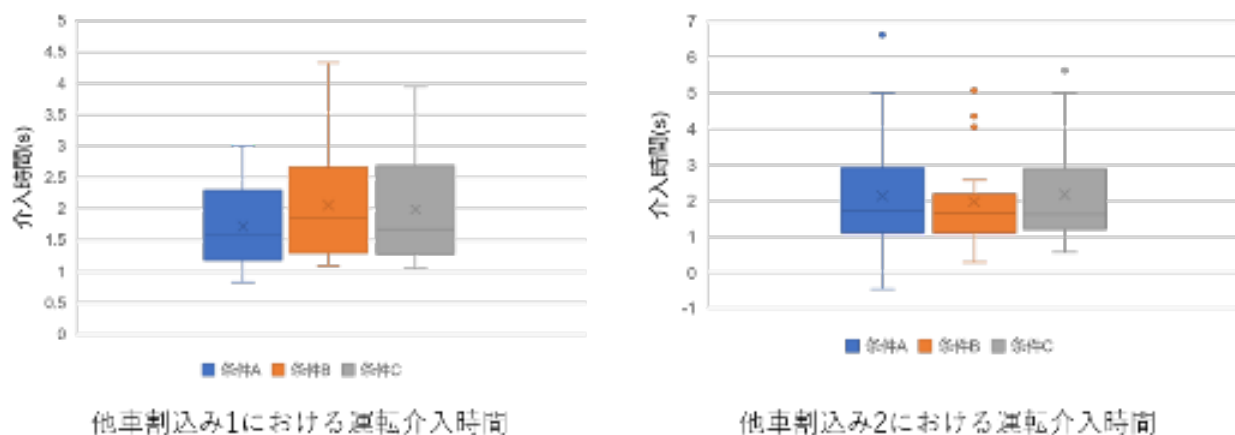


図 3-55 他車割込みにおける運転介入時間

高確信度での不検出イベントにおいては、3 条件ともに介入に成功し、事故は起こらなかった。条件 C のみ 1 件事前介入が発生した。また、運転介入時間 (図 3-56) においては、条件の違いによる主効果は認められていない ($F(2,55)=1.420, p=0.250$)。対照群と比べて、条件 A・B ともに平均介入時間の遅れが見られなかった。全体的には確信度の提示による事故と介入の遅れがないことが言える。

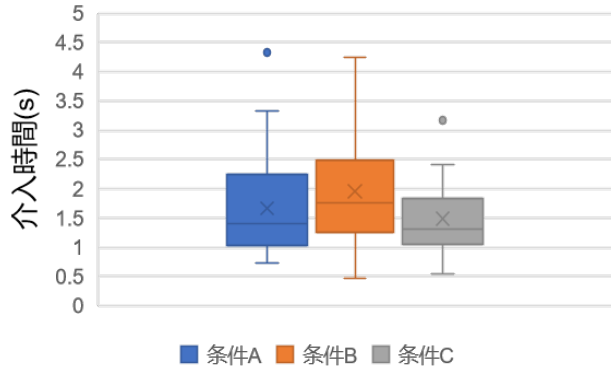


図 3-56 障害物不検出 1 における運転介入時間

しかし、条件 A・B のそれぞれの群で 20 名中 3 名の被験者は障害物の発見が遅くなり、介入も遅れたという結果が得られた。実験後の聞き取り調査により、条件 A の被験者では、「今までの走行を通じて、システムが信頼できると思って、安心した」ということが原因として考えられる。一方、条件 B の被験者では「気が抜けて眠くなった或いは脇見が発生した」という原因が推測される。このことから、これらの被験者（6 名）はシステムに過剰に依存したのではないかとと思われる。また、イベント付近 20 秒間の被験者の操舵トルクを図 3-57 に示している。これらの 6 名の被験者は介入がかなり遅れて、操舵操作も乱れたような振る舞いが見られた。以上の結果から、条件 A・B のいずれもシステムに過剰に依存することが、高確信度での不検出が発生した場合、介入時間が遅れたことの原因ではないかと考えられる。



図 3-57 障害物不検出 1 における操舵トルクの平均値

次に、図 3-58 で HMI の有効性・受容性、ハザード見落としの理解度についての主観評価結果を示す。HMI の有効性については、条件の違いによる主効果がない ($X^2=4.242, p=0.120$)。しかし、確信度と関連情報を両方提示する群のほうが有効性の評価が高かったことから、確信度関連情報は効果的であったことが確認できた。HMI の受容性については、条件の違いによる主効果が認められた ($X^2= 9.692, p= 0.008$)。多重比較を行った結果、条件 B と条件 C の間に有意差があった ($p=0.011$)。確信度情報において、関連情報を提示する群の方では受容性が高いが、全体では対照群の方が高かったことが分かった。聞き取り調査によると、条件 C で提示する HMI はシンプルであり、わかりやすく、受け入れやすかったことが判明した。ハザード見落としの理解度については、条件の違いによる主効果がない ($X^2=0.248, p=0.883$)。しかし、対照群と比べて、確信度情報を提示する群の方では理解度を得た。確信度情報の提示はハザード見落としの理解を促すと考えられる。

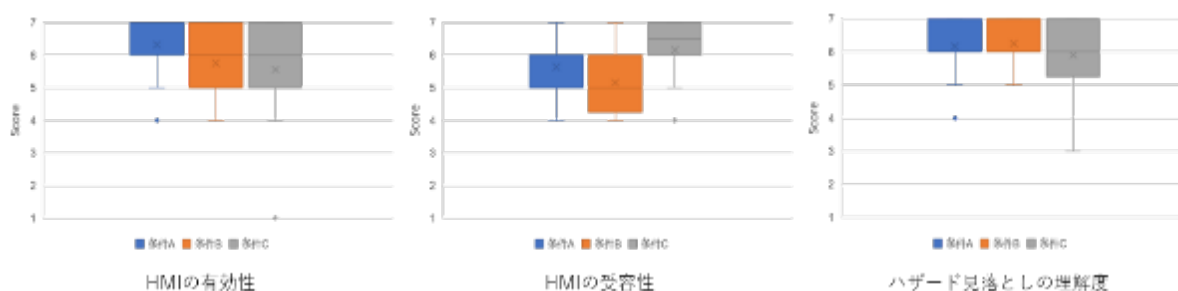


図 3-58 主観評価の結果

3.11.9. まとめ

本実験では、確信度を提示する HMI の効果について実験を行った。その結果、確信度情報では、ハザード見落としの理解を促し、イベントに対する運転介入時間が早くなり、確信度の提示によるポジティブな効果が確認された。提示方法について、関連情報を提示しないのと比べ、提示する方が比較的良好。一方、一部の被験者が情報を過信し、高確信度での不検出イベントにおいて介入が遅れた。確信度の提示による潜在的な負の影響も確認された。

3.12.A-9 学習スタイルに係る調査（アンケート調査）

3.12.1. 目的と調査の実施概要

自動運転の機能の教示について、個人差を考慮した教示の方法等が必要であるか否かについて、Webによるアンケート調査から検証する。調査の目的としては、「①学習スタイルによって、自動走行システム（RtIの発生と運転引継ぎ）に関する教示方法とドライバーの理解に差はあるか?」、「②学習スタイルによって、自動走行システム（RtIの発生と運転引継ぎ）の理解度が高まる教示方法（コンテンツ別）はあるのか?」の2つの仮説を検証することである。

調査の実施方法としては、Webによるアンケート調査を実施した。実施概要は表 3-36 のとおり。

表 3-36 自動運転の機能の教示と学習スタイルに関する調査の実施概要

実施時期	2019.2.9. - 2019.2.12.	
調査方法	Web 調査：株式会社マクロミルの会員（モニター）調査	
想定回答者数(n)	3,000 名(下記の属性に偏りが出ないようにスクリーニング) →居住地区：9 区分（北海道／東北／関東／甲信越／北陸／中部／関西／中国・四国／九州・沖縄） →年齢：4 区分（若年（20-35 歳）／壮年（36-45 歳）／中年（46-60 歳）／高齢（61 歳以上））	
設問数	自動運転に関する Pre テスト	4 問
	学習スタイルについて	44 問
	キャリアレジリエンスについて	40 問
	自動運転の用語に関する理解	1 問（44 用語）
	自動運転に関する教示	チラシ（PDF）教示/動画教示/クイズ形式教示
	日常での運転について	5 問
	自動運転に関する Post テスト	4 問
	教示方法の嗜好について	1 問

個人差については、調査方法が確立している「学習スタイル」（Felder-Silverman model 日本語版[9]）ならびに「キャリアレジリエンス」を採用した。教示方法については、回答者を3つに分け、自動運転の機能について①チラシ(PDF)での教示、②動画での教示、③クイズ形式での教示という3つの異なる教示方法を別々の回答者に提示し、自動運転の機能に関する

理解度を測定した。自動運転の機能に関する教示内容は、「自動運転の仕組みについて」、「運転引き継ぎについて」、「運転引き継ぎが必要な場面について」の3項目とし、同じ内容で3つの教示コンテンツを作成した。

3.12.2. 目的と調査の実施概要

【属性】

回収したアンケート結果数は、n=3,240であった。属性で見ると、年齢別が各カテゴリでn=270と均等になっており、教示コンテンツ別についても、各教示コンテンツでn=1,080と均等となっている。性別別でみると、男性が47.2%(n=1,530)、女性が52.8%(n=1,710)であった。

表 3-37 自動運転の機能の教示と学習スタイルに関する調査の回答者数

	総回答者数			内 クイズ教示			内 チラシ教示			内 動画教示		
	男性	女性	計	男性	女性	計	男性	女性	計	男性	女性	計
20-35歳	153 10.0%	657 38.4%	810	52 10.2%	218 38.3%	270	51 10.0%	219 38.4%	270	50 9.8%	220 38.5%	270
36-45歳	285 18.6%	525 30.7%	810	88 17.2%	182 32.0%	270	95 18.6%	175 30.7%	270	102 20.0%	168 29.4%	270
46-60歳	477 31.2%	333 19.5%	810	164 32.1%	106 18.6%	270	152 29.8%	118 20.7%	270	161 31.6%	109 19.1%	270
61歳以上	615 40.2%	195 11.4%	810	207 40.5%	63 11.1%	270	212 41.6%	58 10.2%	270	196 38.5%	74 13.0%	270
総計	1,530	1,710	3,240	511	569	1,080	510	570	1,080	509	571	1,080

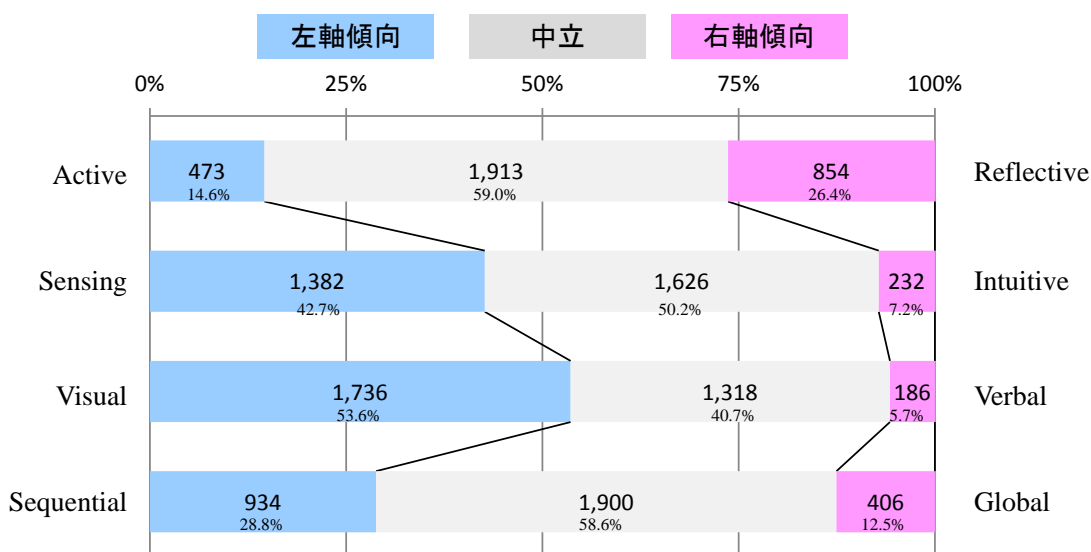


図 3-59 回答者の学習スタイル別の傾向

学習スタイルは、「Active/Reflective」、「Sensing/Intuitive」、「Visual/Verbal」、「Sequential/Global」の4つの軸で個人の特性を分類するものである。本調査から特徴的な軸をみると、「Sensing/Intuitive」については、「Sensing:42.7%(n=1,382)」、「Intuitive:7.2%(n=232)」とSensingの割合が高い結果となっている。「Visual/Verbal」については、「Visual:53.6%(n=1,736)」、「Verbal:5.7%(n=186)」とVisualの割合が高い結果となっている。

また、学習スタイルの傾向を3つの教示コンテンツ群で比較すると、教示コンテンツ間で回答者の偏りはみられなかった。このことから、教示コンテンツと学習スタイルの関係を検証するための調査としては妥当性があるといえる。

表 3-38 回答者の学習スタイル別/教示コンテンツ別の傾向

Active/Reflective														
		強い		やや強い		バランスが取れている				やや強い		強い		
チャレンジ	Active	5	18	49	82	106	170	213	172	127	85	33	20	Reflective
		0.5%	1.7%	4.5%	7.6%	9.8%	15.7%	19.7%	15.9%	11.8%	7.9%	3.1%	1.9%	
動画	Active	10	20	47	76	131	154	188	170	139	91	38	16	Reflective
		0.9%	1.9%	4.4%	7.0%	12.1%	14.3%	17.4%	15.7%	12.9%	8.4%	3.5%	1.5%	
クイズ	Active	12	23	50	81	112	143	193	161	162	81	44	18	Reflective
		1.1%	2.1%	4.6%	7.5%	10.4%	13.2%	17.9%	14.9%	15.0%	7.5%	4.1%	1.7%	

Sensing/Intuitive														
		強い		やや強い		バランスが取れている				やや強い		強い		
チャレンジ	Sensing	34	103	135	171	205	162	117	66	47	17	16	7	Intuitive
		3.1%	9.5%	12.5%	15.8%	19.0%	15.0%	10.8%	6.1%	4.4%	1.6%	1.5%	0.6%	
動画	Sensing	36	98	168	176	184	145	121	78	34	19	15	6	Intuitive
		3.3%	9.1%	15.6%	16.3%	17.0%	13.4%	11.2%	7.2%	3.1%	1.8%	1.4%	0.6%	
クイズ	Sensing	44	100	162	155	191	162	114	81	43	16	9	3	Intuitive
		4.1%	9.3%	15.0%	14.4%	17.7%	15.0%	10.6%	7.5%	4.0%	1.5%	0.8%	0.3%	

Visual/Verbal														
		強い		やや強い		バランスが取れている				やや強い		強い		
チャレンジ	Visual	54	150	190	177	186	128	72	58	31	12	13	9	Verbal
		5.0%	14.9%	17.6%	16.4%	17.2%	11.9%	6.7%	5.4%	2.9%	1.1%	1.2%	0.8%	
動画	Visual	52	129	183	210	158	136	99	53	27	17	10	6	Verbal
		4.8%	11.9%	16.9%	19.4%	14.6%	12.6%	9.2%	4.9%	2.5%	1.6%	0.9%	0.6%	
クイズ	Visual	80	136	175	200	151	131	80	66	34	16	6	5	Verbal
		7.4%	12.6%	16.2%	18.5%	14.0%	12.1%	7.4%	6.1%	3.1%	1.5%	0.6%	0.5%	

Sequential/Global														
		強い		やや強い		バランスが取れている				やや強い		強い		
チャレンジ	Sequential	32	44	94	142	157	187	170	112	84	35	12	11	Global
		3.0%	4.1%	8.7%	13.1%	14.5%	17.3%	15.7%	10.4%	7.8%	3.2%	1.1%	1.0%	
動画	Sequential	23	41	87	149	173	195	171	98	72	47	13	11	Global
		2.1%	3.8%	8.1%	13.8%	16.0%	18.1%	15.8%	9.1%	6.7%	4.4%	1.2%	1.0%	
クイズ	Sequential	24	50	99	149	183	175	160	119	62	40	9	10	Global
		2.2%	4.6%	9.2%	13.8%	16.9%	16.2%	14.8%	11.0%	5.7%	3.7%	0.8%	0.9%	

	総計 n=3,240	クイズ教示 n=1,080	チラン教示 n=1,080	動画教示 n=1,080
チャレンジ	65.8%	65.8%	65.9%	65.6%
ソーシャルスキル	59.6%	59.8%	59.9%	59.2%
新奇・多様性	67.3%	66.9%	67.4%	67.6%
未来志向	62.5%	62.5%	62.7%	62.2%
理解・主張力	63.4%	63.4%	63.3%	63.5%
援助志向	70.1%	69.8%	70.2%	70.4%
Heutagogy追加項目(8)2	62.0%	61.6%	61.9%	62.7%

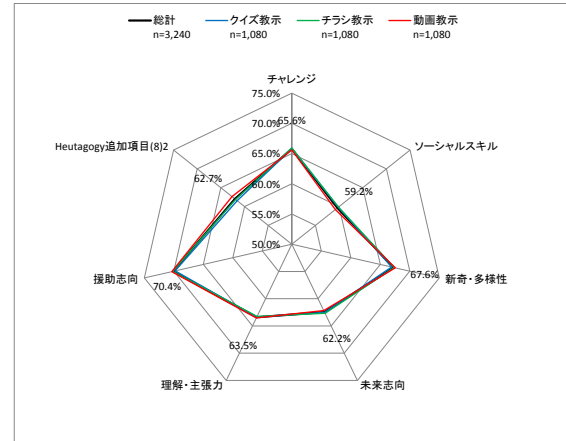
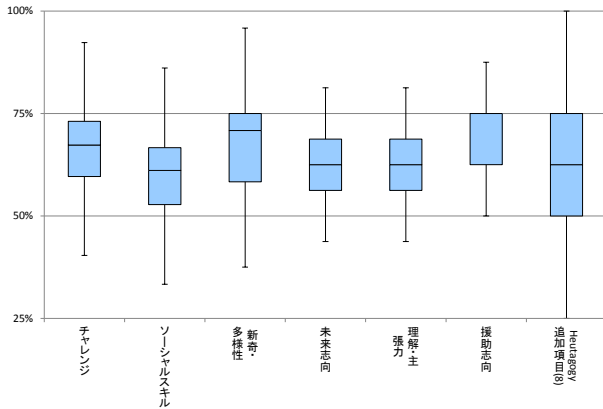


図 3-60 キャリアレジリエンスの傾向 教示コンテンツ別の差

【教示コンテンツの効果について（Pre テスト→コンテンツ別教示→Post テスト）】

システムが運転を担う自動運転車における自動運転中に、「ドライバーはどのような状態である必要があるか」について、教示前後で同じ質問を実施した。

表 3-39 回答者の学習スタイル別/教示コンテンツ別の傾向

システムが運転を担う自動運転車における自動運転中に、「ドライバーはどのような状態である必要があるか」について(SA)

1. ドライバーは、常に前方を監視しハンドルを握ってなければならない
2. ドライバーは、運転席に座ってなくてもよい
3. **ドライバーは、運転引継ぎの案内があるまでは運転以外のことをしていてもよく、運転引継ぎの案内が出た後は自ら手動で運転しなければならない**
4. ドライバーは、運転引継ぎの案内があるまでは運転以外のことをしていてもよく、運転引継ぎの案内が出た後は車を停止させなければいけない

プレテスト(Pre)	1	2	3	4	総計
チラシ教示	659	29	326	66	1,080
動画教示	655	33	324	68	1,080
クイズ教示	644	23	343	70	1,080
総計	1,958	85	993	204	3,240

	1	2	3	4
チラシ教示	61.0%	2.7%	30.2%	6.1%
動画教示	60.6%	3.1%	30.0%	6.3%
クイズ教示	59.6%	2.1%	31.8%	6.5%
総計	60.4%	2.6%	30.6%	6.3%

ポストテスト(Post)	1	2	3	4	総計
チラシ教示	466	31	518	65	1,080
動画教示	237	26	759	58	1,080
クイズ教示	302	40	660	78	1,080
総計	1,005	97	1,937	201	3,240

	1	2	3	4
チラシ教示	43.1%	2.9%	48.0%	6.0%
動画教示	21.9%	2.4%	70.3%	5.4%
クイズ教示	28.0%	3.7%	61.1%	7.2%
総計	31.0%	3.0%	59.8%	6.2%

(Post)-(Pre)	1	2	3	4
チラシ教示	-193	2	192	-1
動画教示	-418	-7	435	-10
クイズ教示	-342	17	317	8
総計	-953	12	944	-3

	1	2	3	4
チラシ教示	-17.9%	0.2%	17.8%	-0.1%
動画教示	-38.7%	-0.6%	40.3%	-0.9%
クイズ教示	-31.7%	1.6%	29.4%	0.7%
総計	-29.4%	0.4%	29.1%	-0.1%

全体で見ると、教示前後での正解者数は 993→1,937 へ増加し、正解率は 30.6%⇒59.8%へと 29.1%増加した。教示コンテンツ別で見ると、いずれのコンテンツでも正解率は上昇しており、動画教示での正解者数の増加が最も高い。(正解率の上昇：チラシ 17.8%、動画 40.3%、クイズ 29.4%)

表 3-40 回答者の学習スタイル別/教示コンテンツ別の傾向

システムが運転を担う自動運転車における自動運転中に、「ドライバーはどのような状態である必要があるか」について(SA)

Preテスト/Postテストでの回答変化：正解は「3」

合計	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4	総計
正解者数	926	42	913	77	1,958
Pre: 30.6%(993)	13	27	3	6	85
↓ ↓	46	20	38	38	993
Post: 59.8%(1,937)	20	8	80	80	204
総計	1,005	97	1,937	201	3,240

	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4
Pre/1	28.6%	1.3%	29.2%	2.4%
Pre/2	0.4%	0.8%	1.2%	0.2%
Pre/3	1.4%	0.6%	27.4%	1.2%
Pre/4	0.6%	0.2%	1.0%	2.5%

正解にたどり着いた割合 **32.3%**

チラシ教示	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4	総計
正解者数	440	8	19	19	659
Pre: 30.2%(326)	6	15	1	29	29
↓ ↓	15	7	29	14	326
Post: 48.0%(518)	5	1	2	31	66
総計	466	31	518	65	1,080

	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4
Pre/1	40.7%	0.7%	17.9%	1.8%
Pre/2	0.6%	1.4%	0.6%	0.1%
Pre/3	1.4%	0.6%	28.6%	1.3%
Pre/4	0.5%	0.1%	2.7%	2.9%

正解にたどり着いた割合 **21.1%**

動画教示	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4	総計
正解者数	209	15	405	26	655
Pre: 30.0%(324)	3	5	22	3	33
↓ ↓	15	5	294	10	324
Post: 70.3%(759)	10	1	38	19	68
総計	237	26	759	58	1,080

	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4
Pre/1	19.4%	1.4%	37.5%	2.4%
Pre/2	0.3%	0.5%	7.0%	0.3%
Pre/3	1.4%	0.5%	27.2%	0.9%
Pre/4	0.9%	0.1%	3.0%	1.8%

正解にたどり着いた割合 **43.1%**

クイズ教示	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4	総計
正解者数	277	19	316	32	644
Pre: 31.8%(343)	4	7	10	2	23
↓ ↓	16	8	305	14	343
Post: 61.1%(660)	5	6	29	30	70
総計	302	40	660	78	1,080

	Post/1	Post/2	Post/3	Post/4
Pre/1	25.6%	1.8%	29.3%	3.0%
Pre/2	0.4%	0.6%	0.9%	0.2%
Pre/3	1.5%	0.7%	28.2%	1.3%
Pre/4	0.5%	0.6%	2.7%	2.8%

正解にたどり着いた割合 **32.9%**

Pre テスト/Post テストでの回答の変化をみると、合計では、教示後に正解にたどり着いた方は 32.3%であった（教示後に不正解となった方は 3.2%）。教示コンテンツ別でみると、動画での教示後正解 43.1%（同不正解 2.8%）、クイズでの教示後正解 32.9%（同不正解 3.5%）、チラシでの教示後正解 21.1%（同不正解 3.2%）との結果であり、動画での教示効果が高い結果であった。

【教示コンテンツと学習スタイルの関係について】

表 3-41 教示後に正解となった回答者の学習スタイル

システムが運転を担う自動運転車における自動運転中に、「ドライバーはどのような状態である必要があるか」について(SA)

● 正解にたどり着いた1,048名の教示コンテンツ別/学習スタイル別分布

ACT/REF	ACT	中立	REF	総計
チラシ教示	34	145	49	228
動画教示	68	280	117	465
クイズ教示	59	204	92	355
総計	161	629	258	1,048

ACT/REF	ACT	中立	REF
チラシ教示	3.2%	13.8%	4.7%
動画教示	6.5%	26.7%	11.2%
クイズ教示	5.6%	19.5%	8.8%
総計	15.4%	60.0%	24.6%

SEN/INT	SEN	中立	INT	総計
チラシ教示	95	125	8	228
動画教示	214	228	23	465
クイズ教示	168	170	17	355
総計	477	523	48	1,048

SEN/INT	SEN	中立	INT
チラシ教示	9.1%	11.9%	0.8%
動画教示	20.4%	21.8%	2.2%
クイズ教示	16.0%	16.2%	1.6%
総計	45.5%	49.9%	4.6%

VIS/VRB	VIS	中立	VRB	総計
チラシ教示	118	94	16	228
動画教示	258	188	19	465
クイズ教示	196	142	17	355
総計	572	424	52	1,048

VIS/VRB	VIS	中立	VRB
チラシ教示	11.3%	9.0%	1.5%
動画教示	24.6%	17.9%	1.8%
クイズ教示	18.7%	13.5%	1.6%
総計	54.6%	40.5%	5.0%

SEQ/GLO	SEQ	中立	GLO	総計
チラシ教示	57	151	20	228
動画教示	128	289	48	465
クイズ教示	105	207	43	355
総計	290	647	111	1,048

SEQ/GLO	SEQ	中立	GLO
チラシ教示	5.4%	14.4%	1.9%
動画教示	12.2%	27.6%	4.6%
クイズ教示	10.0%	19.8%	4.1%
総計	27.7%	61.7%	10.6%

「システムが運転を担う自動運転車における自動運転中に、「ドライバーはどのような状態である必要があるか」について、教示後に正解にたどり着いた 1,048 名の回答者の教示コンテンツならびに学習スタイルの分布について検証する。

学習スタイルからみると、「Visual/Verbal」軸における VIS 傾向の方には、どの教示コンテンツも有効であった。「Sequential/Global」軸では、SEQ 傾向の方が GLO 傾向に比べ正解にたどり着く割合が高く、効果的なコンテンツとしては、動画（12.2%）、クイズ(10.0%)が高い結果となった。

教示コンテンツからみると、チラシ教示が効果的であったのは SEQ 傾向(11.3%)であった。動画教示が効果的であったのは、VIS 傾向(24.6%)、SEN 傾向(20.4%)、SEQ 傾向(12.2%)、Ref 傾向(11.2%)であった。クイズ教示が効

果的であったのは、VIS 傾向(16.0%)、SEN 傾向(16.0%)、SEQ 傾向(10.0%)であった。

【教示コンテンツの嗜好について】

自動運転の機能を説明する方法として、あなたが理解しやすいと思う説明方法(順位設問)

思考順位を数値化し平均で比較

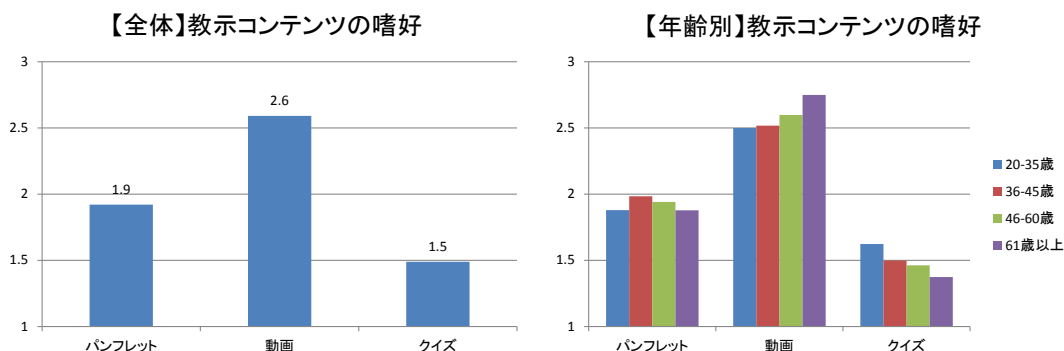


図 3-61 教示コンテンツの嗜好

教示コンテンツの嗜好をみると、動画での教示(2.6)が最も高く、次いでパンフレット(1.9)、クイズ(1.5)と続いている。

年齢別にその傾向をみると、年齢が上がるほど動画教示が好まれており、クイズ教示については年齢が低いほど好まれている結果となった。

3.13.参加者実証実験

3.13.1. 目的

本参加者実証実験の目的は実験 A-5 と同じである。つまり、システム機能に関するドライバーの知識が、自動運転から手動運転への遷移に及ぼす影響を TC 実験によって確認し、最低限必要な知識項目を抽出することを目的とした。実験 A-5 の工事現場による車線減少のイベントを用いて、各実験参加者(3社)が TC 実験を実施した。

3.13.2. 被験者

被験者は、アダプティブ・クルーズ・コントロールシステムなどの運転支援システムを利用したことのない、普通運転免許を有する者であった。各条件における被験者の内訳は、表 3-42 の通りである。ここでは、障害物を避けたかどうかを判別できた被験者のみを含めている(詳細は後述)。

表 3-42 被験者の内訳

参加者	条件	人数		平均年齢		
		男性	女性	男性	女性	全体
A 社	a	6	4	44.5	44.5	44.5
	b	9	3	53.4	34.5	48.7
B 社	a	4	5	44.5	54.5	50.1
	b	5	4	48.5	37.0	43.4
C 社	a	7	6	51.6	44.5	48.3
	b	6	8	49.5	43.3	45.9

平均年齢は、20代を24.5歳、30代を34.5歳、40代を44.5歳、50代を54.5歳、60歳以上を64.5歳として計算した。

3.13.3. タスク

本実験におけるタスクは実験 A-5 と同じである。つまり、自動運転システムを利用して自動運転を行い、システムに機能限界が生じたときには対応することであった。また、実験 A-5 と同様に、システム作動中には被験者にサブタスク（SuRT）を行わせた。

3.13.4. 実験計画

実験 A-5 と同様に、「事前知識」を被験者間要因とし、条件 a と条件 b を設定した。本実験では、条件 b において、どのような場面で運転介入が必要となりうるかの例を3つ（ジャンクションでの合流、工事現場による車線の減少、雨や霧などの天候不良）提示した（実験 A-5 では2つ）。また、C 社の実験では、条件 a においても、運転介入が必要な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）についての説明を加えた。本参加者実証実験では、被験者は工事現場による車線の減少イベントを一回だけ経験した。

3.13.5. 実験参加者間での実験条件の相違点

実験参加者間での主な実験条件の相違点を表 3-43 に示す。

表 3-43 実験参加者間での実験条件の相違点

	A 社	B 社	C 社	実験 A-5
先行車	あり	なし	あり	なし
障害物	LED 警告灯	「車線減少」の看板と LED 警告灯をゴムマットに設置	LED 警告灯をゴムマットに設置	看板 2 つと LED 警告灯 (図 3-8 の A)
自動運転レベル	レベル 3	レベル 2	レベル 3	レベル 3
ハンズオン/オフ	ハンズオフ	ハンズオン	ハンズオフ	ハンズオフ
RtI 発生時の HMI (音声)	警告音 (実験 A-5 と同じ)	「運転交代」のアナウンス	「運転交代」のアナウンス	警告音
条件 a における HMI の説明	なし	なし	あり	なし
HMI (音声) の事前提示	あり	あり	なし	あり
SuRT	連続	1 回/10 秒	1 回/10 秒	連続
システム解除	ハンドル、アクセル、ブレーキの操作によって解除	RtI と同時にシステムが解除される	RtI と同時にシステムが解除される	ハンドル、アクセル、ブレーキの操作によって解除

3.13.6. 評価指標と仮説

本実験では、すべての実験に共通で使用できる障害物を避けた被験者数を評価指標とした。

実験 A-5 と同様に、障害物を避けた被験者数は条件 a に比べて条件 b で多くなることが予想された。

3.13.7. 結果と考察

各条件における、障害物を避けた被験者数を表 3-44 に示す。

表 3-44 障害物を避けた被験者数（割合）

参加者	条件 a	条件 b
A 社	1/10 (0.10)	8/12 (0.70)
B 社	1/9 (0.11)	6/9 (0.67)
C 社	2/13 (0.15)	5/14 (0.36)

実験 A-5 と同様、A 社と B 社では、障害物を避けた被験者数は条件 a に比べ、条件 b で明らかに多かった ($\chi^2(1) \geq 5.8, p \leq 0.02$)。実験 A-5 の実験条件と A 社の実験条件の間には相違点は少ないが、これらの実験条件と B 社の実験条件との間には相違点が多い（表 3-43）。よって、条件 a と条件 b 間での障害物を避けた被験者数の差は、多少の実験条件の違いでは左右されない頑健なものであると言えるであろう。

しかしながら、C 社においては、障害物を避けた被験者数は条件 a と条件 b の間で異ならなかった ($\chi^2(1) = 1.5, p = 0.2$)。これには、表 3-43 に示した実験条件の相違点において、C 社のみが異なる実験条件が関わっていると考えるのが妥当である。C 社のみが異なる実験条件は二点ある。一点目は、条件 a においても HMI の説明を加えたことである。しかしながら、この点が結果に影響を与えるとすれば、条件 a において障害物を避けた被験者数が増えるはずである。条件 a において障害物を避けた被験者数は C 社で多いわけではないため（表 3-44）、この点が C 社と他社の研究結果の違いに影響を与えている可能性は小さい。二点目は、教示の際に RtI 発生時の音声事前に聞かせなかったこと（HMI（音声）の事前提示なし）である。C 社の実験後のインタビューでは、条件 b においても「『運転交代』という音声は聞こえたがどうしてよいかわからなかった」など、HMI を理解していなかったことを示す回答が多かった。自動運転中はサブタスク（SuRT）を行わせているため、聴覚 HMI を理解できない場合は、被験者は視覚 HMI（オレンジ色の点滅）にも気づかないはずである。HMI を理解できない、もしくは HMI に気付かない場合、運転を引き継ぐことはなく、障害物を避けることもないと考えられる。このように、C 社の実験結果が他社の実験結果と異なるのは、聴覚 HMI を事前に聞かせなかったこと（HMI を理解していなかったこと）が原因であると考えられる。

また、A社とB社の条件bにおいても、障害物を避けた被験者は約70%であったことにも注意が必要である。つまり、条件bの事前知識を与えても、約30%の被験者が障害物を避けることができなかった。実験A-5と同じように、LED警告灯を障害物として認識しなかったことが、この主な原因になっていると考えられるが、30%という数値は決して低い数値ではない。ユーザーに与えるべき事前知識の内容をさらに吟味する必要があると言えるのかもしれない。

3.13.8. まとめ

A社とB社の結果は、実験A-5の結果を再現するものであった。本参加者実証実験の結果から、条件aと条件bの間での障害物を避けた被験者数の違いは、表3-43に示したような多少の実験条件の違いには影響を受けない頑健なものであると考えられる。一方で、C社の結果から、事前にHMIを理解させること（聴覚HMIを聞かせること）は、運転の引継ぎ、障害物の回避に影響を与える重要な要因であると考えられる。よって、自動運転システムの使用にあたり、ユーザーには事前にHMIを理解させることは重要であると言えるであろう。

3.14. 課題Aの平成30年度のまとめ

・事前知識

レベル3におけるドライバーの知識が自動走行から手動運転への切り替えに及ぼす影響について、切り替えの可能性のみを事前知識として与えるドライバー群と、切り替え表示と場面例も事前知識として与えるドライバー群にてテストコースでの走行実験を行った。その結果、切り替え発生場面の知識を持っていることが運転切り替えをスムーズにすることが確認された。このことは、大規模実証実験でも追認された。また、運転引継ぎの経験をしておくことが、数か月単位で時間が空いたとしても知識の理解の維持に貢献することを、シミュレータ実験で確認した。

レベル2におけるシステムによるハザード見落としを想定し、その場面例を事前知識としてドライバーに与える効果をドライビングシミュレータ実験にて検討した。その結果、場面の事前知識を持っているドライバー群では、事前に教示された場面の事例とは異なる場面に遭遇しても適切な運転パフォーマンスを発揮できる結果が得られ、事前に教示された知識を汎化できる可能性が示された。

・ HMI (Human Machine Interface)

レベル 2 におけるシステムによるハザードの見落としをドライバーへ伝える HMI に関して、システムの検知している情報（検知情報）とシステムによる操作の意図（操作意図）を表示する HMI によって、障害物との衝突頻度は低下することが示された。この効果は、HMI に提示する情報を簡素化しても保たれることも確認された。

また、ハザードの見落としが起こりやすくなる状況をシステムが認識している場合、その認識度合いをより瞬時に判別可能な情報表示（例：バーの長さ）が有効であり、実際のハザード見落とし時にもドライバーが適切に対応できることが確認された。

レベル 3 での制御が可能な自動走行システムのレベルが動的に変化する状況にて、レベル変化の際のドライバーの反応を分析したところ、現在のレベルを正しく認識することを支援するためには、自動走行レベルの変化を音声で伝えること、とくに今何をなすべきかを伝えること、例えば、レベル 3 から 2 に遷移した際、ドライバーに「周囲環境を監視して下さい」という音声メッセージを伝えること、が重要であることが確認された。

さらに、自動走行システムの使用はドライバーの自車位置の把握に影響を及ぼし、RtI 提示後に適切な進路の選択ができない可能性が示唆され、進むべき道の選択を支援する HMI の重要性が示された。

3.15. 課題 A の平成 30 年度の Recommendation（成果の活用）

高速道路など自動車専用道での自動運転を想定した場合、必要な場面で、適切にドライバー（ユーザー）が運転引継ぎ・介入をできるようにするために、知識の提供と HMI の設計において以下に留意する。

- 1) レベル 3 の自動運転システムを使用するにあたって、ユーザーには、運転引継ぎが必要な場合があること、RtI 発出の際に提示されるメッセージをあらかじめ知らせておくことが望ましい。とくに、RtI 発出時の音声を伝えておくことが重要である。
- 2) 自動運転のレベルが動的に遷移しうるシステムの場合、レベル遷移の際にユーザー（ドライバー）がなすべきことを明確に伝えることが望ましい。システムのレベル（モード）自体を伝えても、ユーザーが何をしなければならぬかがわかりづらいためである。
- 3) レベル 2 のシステム使用時の、システムによるハザード見落としをドライバーが認識しやすくするために、システムが認識しているハザードと操作の意図を提示することが望ましい。この際、HMI における表

示範囲は自車線に限定したとしてもその効果は維持される。

- 4) システムによる制御が継続できなくなりそうなことをシステムがあらかじめ自覚できている場合で、制御を継続できると確信する度合(システムの確信度)を定量的に示せる場合、その確信度を提示することによってシステムによるハザード見落としへのドライバーの対処が容易になる可能性がある。

3.16. 課題 A 参考文献

[1]

代表 国立研究開発法人産業技術総合研究所 理事長 中鉢 良治

「自動走行システムの実現に向けたHMI等のヒューマンファクタに関する調査検討」受託コンソーシアム / 「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」

[2]

平成29年度「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」報告書

[3]

Umeno, R., Itoh, M., & Kitazaki, S. (2018). Influence of automated driving on driver's own localization: a driving simulator study, *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, Vol. 1 Issue: 3, pp.99-106,

<https://doi.org/10.1108/JICV-08-2018-0006>.

[4]

Zhou, H., Itoh, M., & Kitazaki, S. (2018). Does descriptions of system limitations impact driver's intervening behaviours in partial driving automation? (*Cognition, Technology & Work*) (accepted)

[5]

Itoh, M., Zhou, H., & Kitazaki, S. (2018). What May Happen or What You Should Do? Effects of Knowledge Representation Regarding Necessity of Intervention on Driver Performance under Level 2 Automated Driving. In *ICPS'18: Proceedings of the 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems*, pp. 621-626. Saint Petersburg, Russia.

[6]

Liu, T., Zhou, H., Itoh, M., & Kitazaki, S. (2018). The impact of Explanation on Possibility of Hazard Detection Failure on Driver Intervention under Partial

Driving Automation. In IV2018: Proceedings of the 29th IEEE intelligent Vehicles Symposium (IV2018), pp. 150-155. June, 2018, Chang Shu, China.

[7]

Zhou, H., Itoh, M., & Kitazaki, S. (2018). How Does Knowledge about System Limitations Contribute to Interventions into Partial Automation Among Elderly Drivers? How Does Knowledge about System Limitations Contribute to Interventions into Partial Automation Among Elderly Drivers? Proceedings of The 2018 IEEE international Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018), pp. 851-820. October, 2018, Miyazaki, Japan.

[8]

Stefan Mattes, Ander Hallén: Surrogate distraction measurement techniques: The lane change test, in Diver distraction Theory, Effects, and Mitigation, M. Regan, J. Lee, K. Young, Eds. Boca Raton, FL USA: CRC Press, pp. 107-122, 2008.

[9]

小塩真司・阿部晋吾・カトローニピノ(2012).日本語版 Ten Item Personality Inventory (TIPI-J)作成の試み,パーソナリティ研究, 21, 40-52.

[10]

Richard M. Felder, Barbara A. Soloman, LEARNING STYLES AND STRATEGIES

4. 課題 B の調査検討

4.1. はじめに

(課題 B の全体像と Readiness 指標のシステム適用イメージ)

課題 B の目標は、自動走行中のドライバーの Readiness レベル（自動走行から手動運転へ切り替わる際のドライバーの準備の度合い）を評価し、自動走行から手動運転へ切り替え可能なドライバー状態を推定するシステム開発のため、ドライバー状態の評価指標を確立することである。また、得られた評価指標の中から車載可能なシステムで検知できる指標を選定し、その指標を測定できるドライバーモニタリングシステムのプロトタイプを作成し、その実現可能性を明らかにすることも目標とする。平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討において、ドライビングシミュレータ実験を実施し、Readiness レベルを推定するためのドライバー状態の評価指標を明らかにした。また、車載可能なドライバーモニタリングシステムのプロトタイプを作成した。平成 29 年度は、テストコースにて、平成 28 年度に得られたドライバー状態評価指標の妥当性とドライバーモニタリングシステムによるドライバー状態測定可能性を検討した。平成 30 年度は、公道での走行実験を行い、この 2 年間で得られたドライバー状態評価指標の実運用場面の測定可能性を検討した（図 4-1 の(1)）。

自動走行から手動運転への切り替え前後におけるドライバー状態を模式的に表現すると図 4-1 のように表せる。自動走行の Level によってドライバー状態の程度は異なると考えられ、それぞれの自動走行レベルから手動運転というより高いドライバー状態へ推移する。ここで、自動走行中に適切なドライバー状態を維持する必要がある、ドライバー状態を維持するための HMI（Human Machine Interface）の基本要件を明確化することがもう一つの目標である。平成 29 年度は、ドライビングシミュレータ環境にドライバー状態維持 HMI のコンセプトを具現化したデバイスを実装し、状態維持 HMI の有効性を明らかにすることで、HMI の基本要件に資するデータを取得した。ここでは、ドライバー状態の内、覚醒度の維持に着目した。平成 30 年度は、ドライビングシミュレータで検討した状態維持 HMI を実験車両に実装し、テストコース実験を行って、自動走行中のドライバーの覚醒度維持に対する効果を検証した。さらに、自動走行中にドライバーの自発的な行為による覚醒度維持に対する効果をドライビングシミュレータ実験にて検討した（図 4-1 の(2)）。

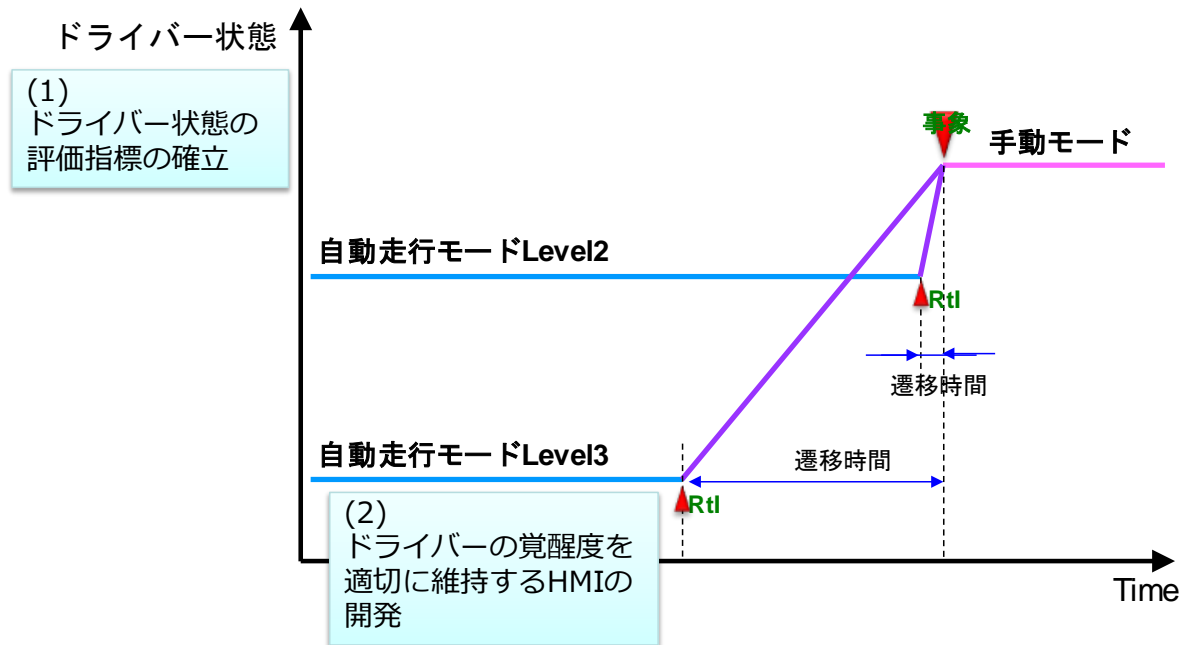


図 4-1 自動走行から手動運転の切り替え前後におけるドライバー状態の時間的推移に伴う変化とヒューマンファクタ課題

本プロジェクトにて研究している Readiness 指標のシステム適用イメージの一例を

図 4-2 に示す。Readiness 指標の種類として、姿勢・開眼/閉眼・視線・注意（前方と周辺）の 4 種類を想定し、それぞれのレベルをドライバー状態の評価指標から推定する。本プロジェクトでは、姿勢は対象外としているが、開眼/閉眼・視線・注意に関しては、平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討実験結果よりの評価指標を選定した。

- 開眼/閉眼の評価指標・・・閉眼割合(PERCLOS: Percent of Eyelid Closure)
- 視線の評価指標・・・小さい(5～8度程度)のサッカードの頻度や前方または車載機に対する視認割合
- 注意の評価指標・・・小さい(5～8度程度)のサッカードの頻度や瞬き回数

これらの評価指標の値から、開眼/閉眼・視線・注意の状態レベルを推定する。Readiness の判定では、姿勢の判定（適切なドライビングポジションからかけ離れている場合には NG）、覚醒度の判定（眠ってしまった場合には NG）、そして、わき見または意識のわき見の判定を行う。ここでの判定にあ

たつて、それぞれの状態レベルの閾値については、自動走行中の状態と手動運転切り替え後の運転パフォーマンスとの関連性より設定することとなる。すなわち、手動運転切り替え後に適切な運転パフォーマンスが得られない状態は、閾値より下回っていると解釈される。

Readiness 判定において NG となった場合には、状態を維持するためのシステムに介入が行われる。状態維持の手段として、

- ・ 注意喚起や警告の提示
- ・ 手動運転への切り替え（例：一定時間経過後に、強制的に手動運転となる）
- ・ システムとのインタラクション（例：一定時間経過後に、このまま自動運転を継続するかどうかの問い合わせがあり、自動運転を続けるかどうかをドライバーが選択する）
- ・ Around View for OEDR(Object and Event Detection and Response)（ドライバーによる周囲の状況認識を支援するために、自車の周囲の車両の位置情報等を伝える）

等が挙げられる。レベル3の自動運転を使っている場合には、姿勢や覚醒が適切ではなく、適切な状態に戻らないほど悪い場合には、緊急停車も考えられる。

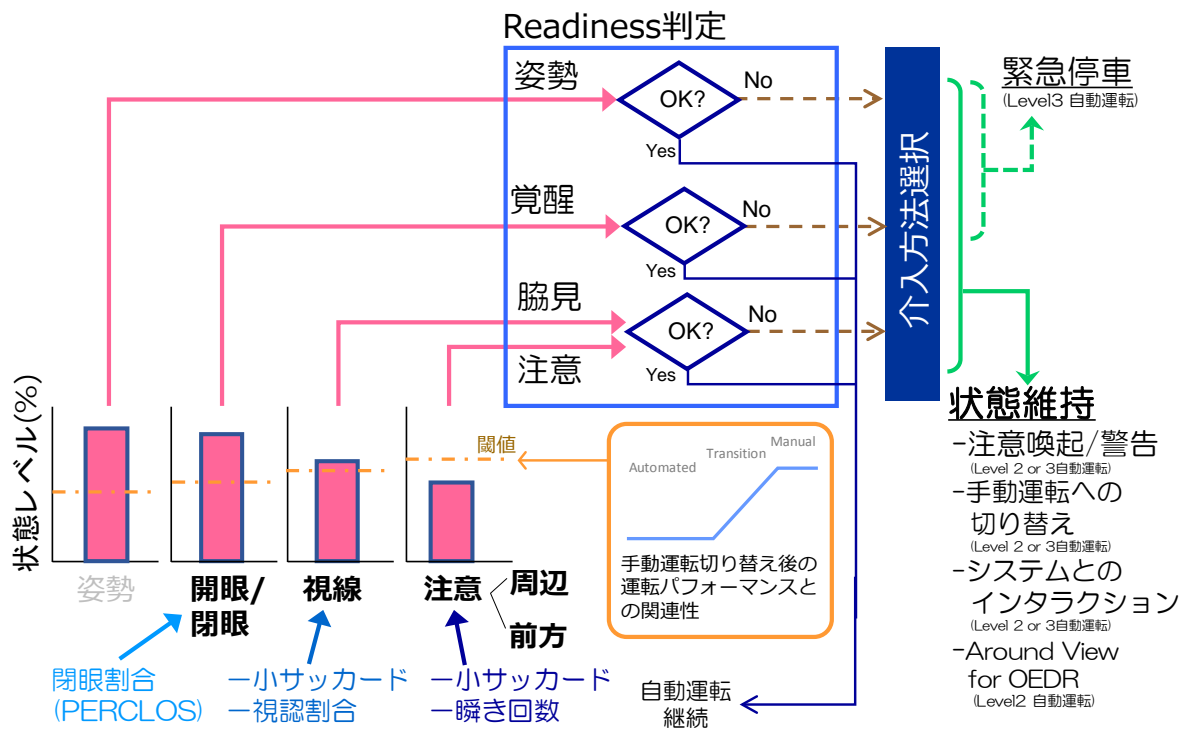


図 4-2 Readiness 指標のシステム適用イメージ

4.2. 課題 B の平成 30 年度の計画と全体像での位置付け

平成 30 年度は次の 3 つの研究課題を取り組む。

- (1) 自動走行中のドライバー状態の評価指標の検討
- (2) ドライバー状態維持のための HMI 基本要件の策定：覚醒度維持 HMI の効果検討
- (3) ドライバーモニタリングシステム(DMS)の実現性検討

これら 3 つの研究課題を

図 4-2 に落とし込むと図 4-3 のように位置づけられる。

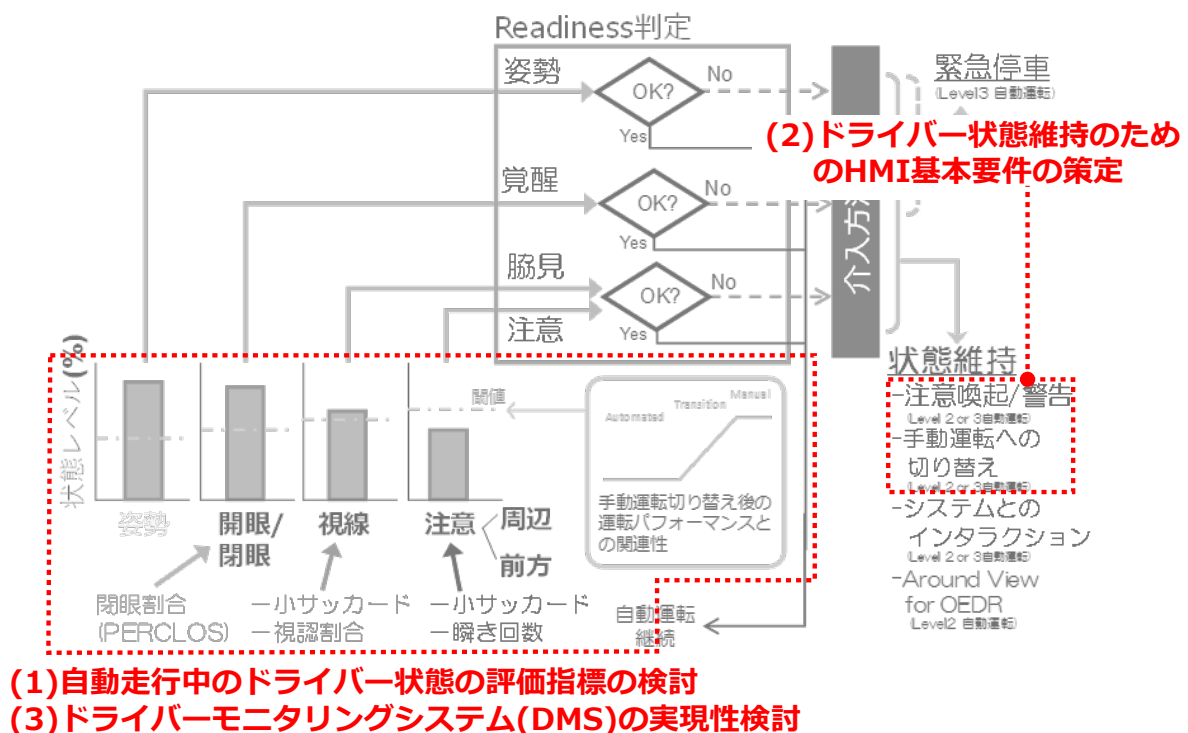


図 4-3 課題 B 全体像に対する今年度課題の位置付け

(1)と(3)は、ドライバー状態の評価指標を実装したドライバーモニタリングシステムのプロトタイプを作成し、公道実験を行って、実運用場面にてドライバー状態の評価指標を収集可能かどうか検討する。また、これまで得られたデータを活用して、運転引継ぎ（RtI 提示）後の運転パフォーマンスと RtI 前のドライバー状態との関係性から、ドライバー Readiness レベルの推定方法を検討するものである。

(2)は、ドライバー状態を維持するための HMI の基本要件の検討で、ドライバーの覚醒度を維持するための注意喚起の考え方、および、自動運転中にドライバーの自発的な行為を行うことによる覚醒度維持への効果を明らかにする。

平成 30 年度における計画は、図 4-4 に示す通りである。ここで、(1)はドライバーの Readiness の定義、(2)はドライバー Readiness を維持するための HMI の基本要件の策定とドライバー状態維持のための HMI 効果の DS 検証実験、(3)は DMS の開発に相当する。本報告書では、(1)を 4.4 に、(2)を 4.5 に、(3)を 4.6 に記載する。また、Readiness 推定方法の考え方を 4.7 に記載する。

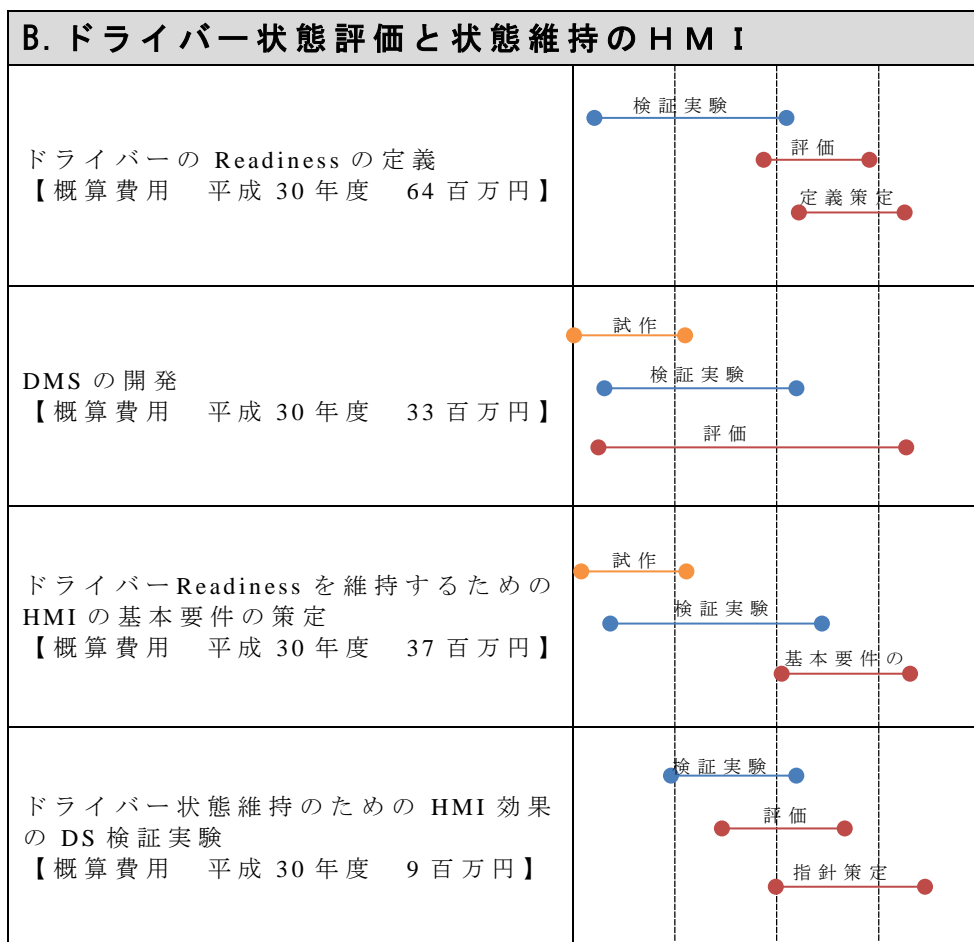


図 4-4 課題 B の平成 30 年度の計画

4.3. 課題 B の平成 30 年度の具体的な目的と方法

実験 B-1-3：ドライバーReadiness 状態評価の実証実験（公道）

受託者の用意する自動運転機能を有する実験車両 2 台を用いて、東名自動車道ならびに新東名自動車道に渡る長距離の実路走行実験を実施する。ここでは、DMS と同期して車両情報やドライバー操作データを記録できるようにした、市販車をベースに改良した実験車両を用いる。1 日あたり実験参加者 4 名にて走行を行い、実験参加者一人当たり合計 3 日間（同一車種に乗車、1 日目は練習走行、2 日目と 3 日目は計測走行：自動運転機能を使用して運転）、合計実験参加者数 40 名（20～50 歳代）、合計実験日数 40 日間という規模にて、多様な道路交通環境におけるドライバーReadiness 指標のデータを収集し、ドライバーモニタリングシステムの適用範囲を明確にする。実験に当たっては、実験車両に同乗するスタッフによる状況監視、および、実験車両の後方を併走車が走行する等の公道における走行実験の安全対策を施す。

データ分析では、平成 29 年度に実施した大規模実証実験 B-i にて収集したデータを手動運転時のベースラインデータとし、手動運転時に比べて自動運転時のドライバーReadiness 状態指標の変化を比較する。さらに、自動運転から手動運転へ役割が変わった後の運転行動を分析し、リアルワールドにおける自動運転時のドライバー状態と手動運転後の運転パフォーマンスとの関係性を検討する。

DMS の実現性検討

平成 30 年度は、眼球指標の計測、および Readiness 推定を実現させるアルゴリズムを作り、平成 29 年度に試作したプロトタイプにより、課題 B の公道での実証実験（実験 B-1-3）にて、多様な道路交通環境における DMS の適用範囲を明確にする。さらに、参加者実施実験を行い、参加者の用意するレベル 3 相当機能を有する試作車に搭載し、テストコース実験にて多様なドライバーでの検知可能性を検証する。

実験 B-4-2：ドライバー状態維持のための HMI 効果の実環境検証実験（テストコース）

平成 30 年度は、ドライビングシミュレータ実験で確認された HMI 要件の実車への適用性を検証するため、テストコースで実車を用いて同様の実験を行う。

ドライビングシミュレータ実験で検討した状態維持と状態回復の HMI（平成 29 年度で試作完了）を組み合わせることの Readiness 状態の維持に対する効果をテストコースにて検証する。実車両で安全に実験を行うために、試作した状態維持 HMI の車両への搭載方法を検討し、産業技術総合研究所所有の車両に状態維持と状態回復 HMI を搭載する。搭載には、被験者の安全を考慮した上で、運転席のシートの乗せ替えや、空調配管の取り回し、カメラの設置、これらを制御する PC などを搭載し、一般ドライバー 36 名に対して走行実験を実施する。また、車両準備完了後に産業技術総合研究所のテストコースにてプレ評価を実施し、走行中に搭載機材が外れないかなどの安全面、狙った効果が得られるかを確認することで、試験を計画通りスムーズに遂行できる様に準備を行う。状態維持と状態回復の HMI を自動走行中のドライバーに不定期に呈示して、Readiness 指標への影響を計測する。

実験 B-4-3：ドライバー状態維持のための HMI 効果の DS 検証実験（ドライビングシミュレータ）

平成 29 年度に検討した触覚以外の感覚モダリティによる Readiness 状態の維持可能な HMI 要件について、ドライビングシミュレータ実験にて検討する。

自動走行中に視覚・聴覚によるサブタスクを実施し、Readiness 状態の維持に対して効果の見られるサブタスクの実施方法（＝ドライバーの視覚・聴覚サブタスクとの関わり方）を検討する。ここでは、自動運転中に実施しうるより現実的なサブタスクを想定し、サブタスクに対して受動的に関わる場合と、積極的に関わる場合とで、覚醒度維持への効果を比較検討する。ドライビングシミュレータにて、自動運転のみ(タスクなし)条件、受動的な非運転タスクの条件と、受動的条件＋途中で積極的な非運転タスクを混ぜる条件を設定し、自動走行中のドライバーの眼電位等の生理データを収集する。視覚・聴覚サブタスクとの関わり方の違いによって、Readiness 指標への影響を計測する。

4.4. Readiness 構成指標のリアルワールドデータ取得

4.4.1. 実験 B-1-3

目的

公道という実運用の環境で、約 3 時間という長時間のデータ取得を行い、環境の変化や多様なドライバー状態の Readiness 構成指標のデータを収集する。

実験には DMS を用いてドライバー状態データを取得し、リアルワールドでのデータ測定可能性を検証する。

実験車両

レベル 2 相当の自動運転機能を有している市販の車両を使用した(図 4-5)。車種は、テスラのモデル S とベンツの E ステーションワゴンであった。自動運転中は図 4-6 に示すような表示を行い、RtI はこれまでのテストコース実験と同様のデザインを用いた。



図 4-5 公道実験に使用した実験車両



図 4-6 自動運転中の表示アイコン

走行ルート

横須賀 IC を起終点とし、横浜町田 IC、御殿場 JCT、新清水 JCT を通るルートにて実験を行った。清水 PA を折り返し地点とし、往路と復路は異なる実験参加者が運転した。実験では、実験車両に実験協力者 2 名（往路と復路で運転交代）、計測員 1 名が乗車した。また、実験車両の後方を伴走車が走行した。テスラ S とベンツ E は、10 分程度の間隔を空けて走行した。

実験参加者

合計 42 名のドライバーが実験に参加した。年齢は 21~55 歳（平均：33.5 歳）で、女性 18 名、男性 24 名であった。実験参加者の募集に当たっての条件は以下の通りであった。

- － 普段定期的に運転している方（目安：週 1 日以上）
- － 高速道路を月 1 回以上の頻度で走行経験のある方
- － モータースポーツ教習、A ライセンス・B ライセンスの訓練など、運転技能向上を目的とした講習を受けたことが無い方
- － 運転中に眼鏡を装着していない方（ソフトコンタクトレンズは可）

実験方法

一人の実験参加者の実験期間は 3 日間であった。初日は練習走行で、実験車両を手動運転で走行すると共に、自動運転機能の ON/OFF の仕方や制御方法を体験した。2 日目と 3 日目が計測走行であった。自動運転使用中は、実験参加者はステアリングを握った状態（ハンズ ON）であった。自動運転中は、「常に周囲の交通状況を把握し、事故の無いように自動運転の監視をすること」と実験参加者に教示した。

計測項目

本実験では、DMS によるドライバーの視線、まばたき、目の開き具合、サッカード（瞬間的な目の動き）が主な計測項目であった。加えて、CAN による車両情報データ、GPS による位置データ、車両周囲のビデオ映像を記録した。

走行中、15 分間隔で計測員からドライバーに眠気、疲労、考え事の有無をヒアリングした。

眠気		疲労		考え事
1	非常にはっきり目覚めている	1	疲れを全く感じない	あり (運転以外のことを考えていた)
2		2		
3	目覚めている	3		なし (運転に集中していた)
4		4	どちらでもない	
5	どちらでもない	5		
6		6		
7	眠い	7	非常に疲れた	
8				
9	とても眠い (眠気と戦っている)			

図 4-7 走行中のヒアリング項目

また、23分毎に、ナビ操作を行うように計測員から実験参加者へ指示した。ナビ操作は、地図の縮尺切替と地図の向き変えであった。さらに、同乗した計測員により、周囲環境（天候、渋滞、割り込み、合流車両、車線変更 etc.）を観察し、環境の変化を記録した。

実験結果・考察

ナビ操作を開始してから3分間のDMSによる計測データを分析した。図4-8に、ナビ操作開始後1分間におけるナビへの視認時間の合計（総視認時間）の結果を示す。ベンツの方がテスラよりも有意に総視認時間が長かった。図4-9に示すように、テスラはタッチパネルで地図の縮尺切替（指のピッチ）と地図の向き変え（アイコン押し）をするのに対し、ベンツはコントローラを使って縮尺切替（ダイヤルの回し）や向き変え（ナビ画面のカーソルを移動させて選択）を行う。操作デバイスの違いから、ベンツの方がナビ操作における負荷が高いと想定され、そのためにベンツの方がナビへの視認時間は長くなると予想される。本実験ではそのような予想と同じ結果を示しており、DMSによる視線の検知が適切であったことが示唆される。

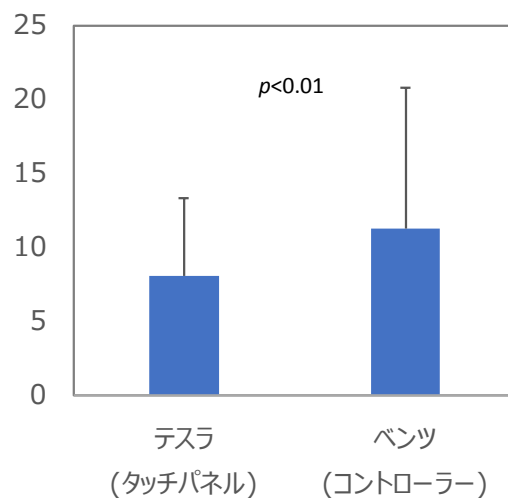


図 4-8 ディスプレイへの総視認時間(sec)



図 4-9 各実験車両のナビ画面と操作デバイス（左：テスラ 右：ベンツ）

ヒアリングによる眠気の主観評価とヒアリングの前の DMS によるまばたき持続時間（ヒアリング前 2 分間）と Perclos（ヒアリング前 1 分間）の結果を分析した。図 4-10 に眠気の主観評価値（KSS）毎のまばたき持続時間と Perclos の平均値 + 標準偏差を示す。ここでは、2017 年度の参加者実証実験にて行った手動運転時の同様の集計結果も合わせて示す。

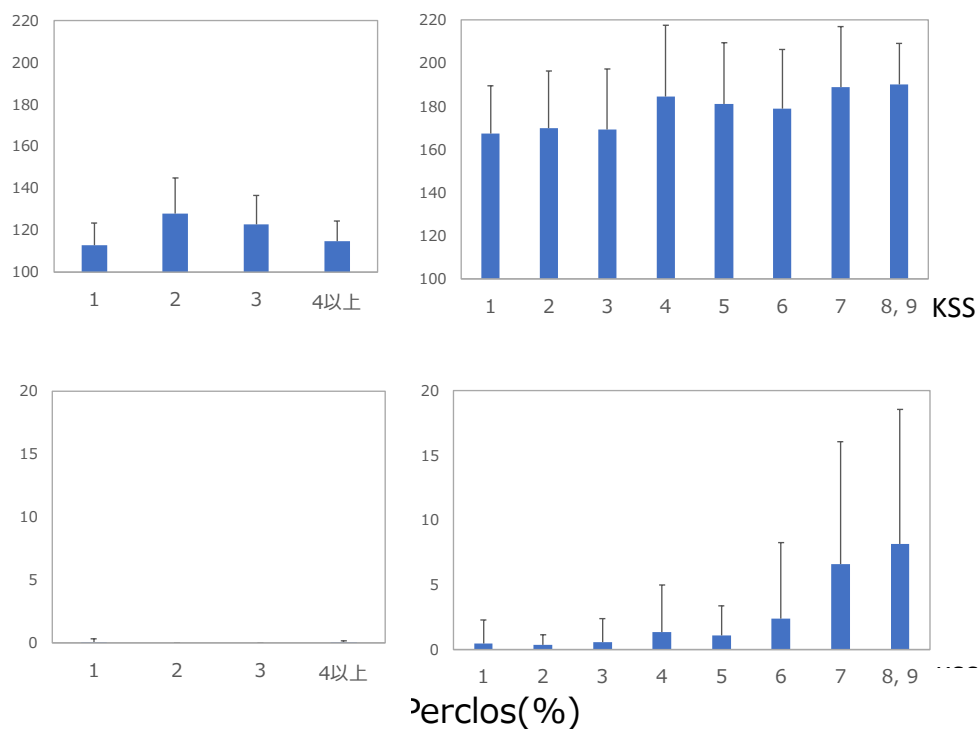


図 4-10 主観による覚醒度の低下とまばたき持続時間と Perclos

主観による眠気の増大に伴い、まばたき持続時間、Perclos 共に値が増加する傾向が見られ、DMS により、まばたきと目の開き具合の検知はできていた可能性を示唆している。まばたき持続時間は、KSS の 3 から 4 の変化で持続時間の増加が見られ、Perclos は、KSS の 6 以上で値が大きく増加しており、それぞれの指標で検知される眠気の深さが異なる可能性を示唆している。手動運転に比べると、自動運転中の方が、眠気が高い傾向であることが、まばたき持続時間、Perclos の結果から想定される。

ヒアリングによる考え事の有無によるまばたき回数とサッカードの発生回数を自動運転と手動運転で比較した（図 4-11）。ここでは、ヒアリングの前 2 分間のまばたき回数とサッカードの発生回数を抽出した。まばたき回数とサッカード大の発生回数は、考え事の有無の両方において、自動運転中の方が手動運転に比べて多い結果であった。手動運転に比べて、自動運転車に乗っている時の方が、広く周囲に視線を向けているため大きな範囲のサッカード回数が多いことが示されており（Takeda, et al.,2016）、本実験結果も同様であったといえる。そのため、DMS によりサッカードの検知もできていた可能性が示唆される結果と考えられる。

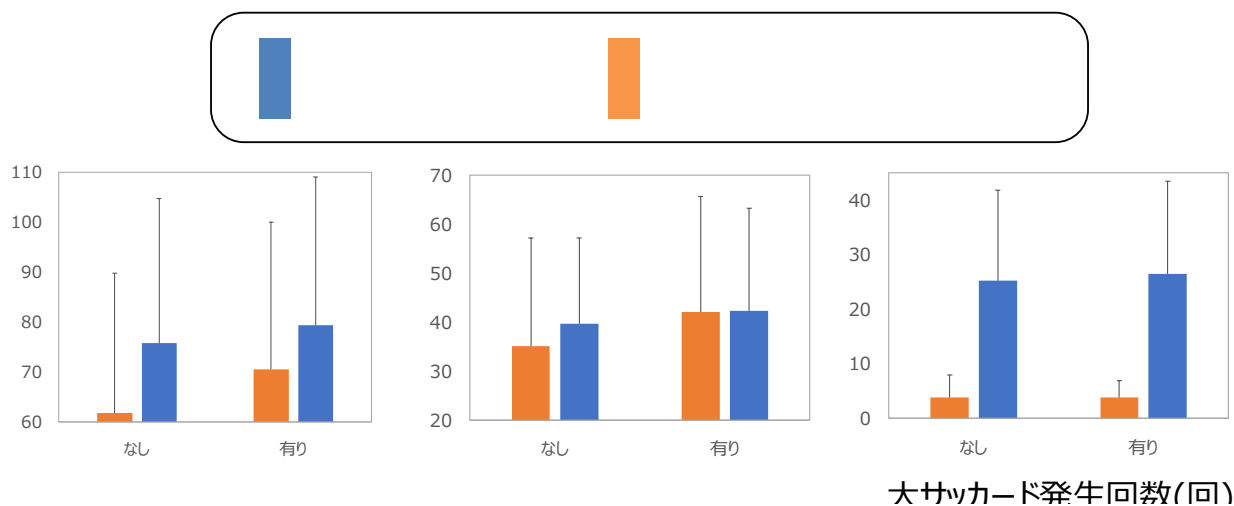


図 4-11 考え事の有無によるまばたき回数とサッカード発生回数

以上の結果より、わき見、覚醒度低下、意識のわき見の評価指標である視認時間、まばたき持続時間、まばたき回数、Perclos、サッカードの発生回数を、公道という実運用場面で検出可能であることが示された。

4.5. ドライバー状態維持のための HMI 基本要件

緊急時など特定の場を除き、ドライバーが主体的に運転タスクに関与する必要のない SAE 自動走行レベル 3 では、走行時間の延伸に伴いドライバーの覚醒状態が低下しやすくなる (e.g., Wu et al., 2019)。一方、自動走行レベル 3 では、ドライバーはシステムからの RtI に対応できるよう Readiness レベルを維持しなければならない。しかし、覚醒状態が低下すると Readiness レベルも低下する (Schmidt et al., 2016)。そのため、自動走行中であっても、適切な Readiness レベルを維持したり、低下した Readiness レベルを回復させたりするための HMI が望まれる。本研究課題では、このような HMI の研究開発に資するデータ提供を目的とした実験を実施した。

本年は 2 種類の HMI の効果について、ドライビングシミュレータ実験と実車による試走路走行実験で評価した。一つ目の HMI は、自動走行中に 10 分間の能動的な認知・身体課題が挿入される HMI であった。これを検証するためのドライビングシミュレータ実験を実施した (実験 B-4-3-1)。二つ目の HMI は、自動走行中にドライバーに冷風と振動による体性感覚刺激を与える HMI であった。これを検証するための試走路走行実験を実施した (実験 B-4-2)。どちらの実験でも、自動走行から予告なしに RtI が発生した場合における、2016 年度の研究から導出された Readiness レベルを反映する生理指標と運転行動成績を計測した。これらの指標について、HMI が導入された自動走行と導入されなかった自動走行で比較することで、Readiness レベルの維持・回復に対する HMI の有効性を検証した。

また、Readiness レベルの回復を目的とした HMI を効果的に機能させるためには、Readiness レベルが低下するタイミングで HMI も駆動することが望ましい。ただし、HMI 駆動タイミングの決定を DMS だけに依存する場合は、計測・推定誤差などによって誤動作が発生する恐れがある。もし Readiness レベルが十分な状態で HMI の駆動が繰り返されると、慣れなどによって HMI の効果が低下してしまう可能性も否定できない。これを防止する方法の一つとして、Readiness レベルが維持されやすい自動走行時間を特定することで、その時間内の Readiness レベル推定精度を調整することが考えられる。そのためには、自動走行時間の増加に伴い覚醒状態がどのように低下するか、さらに覚醒状態の低下に伴い Readiness レベルがどのように低下するか、という、自動走行時間－覚醒状態－Readiness レベルの三つの要因の関係性を明らかにする必要がある。そこで、そのための基礎的データの獲得を目的としたドライビングシミュレータ実験を実施した (実験 B-4-3-2)。

4.5.1. 実験 B-4-2

Readiness レベルの維持・回復を図る HMI について、ドライバーの体性感覚を刺激する HMI の効果を検討した。平成 29 年度は、産業技術総合研究所自動車ヒューマンファクター研究センターが所有する定置型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン製）を使用して約 30 分間の自動走行実験を行い、自動走行中に冷風と振動を与える走行条件と与えなかった走行条件を比較した。約 30 分間の走行終了時に予告なく RtI が発生して停止車両が出現する走行シナリオを用い、RtI に対する運転行動成績、Readiness レベルを反映する生理指標、ならびに眠気の主観報告から、体性感覚刺激による HMI の効果を評価した。実験の結果、ドライバーの Readiness レベルを維持することを目的として、自動走行中に冷風と比較的弱い振動をドライバーに与える「維持 HMI」と、Readiness レベルが低下した場合に RtI に対応できる状態に Readiness レベルを回復させることを目的として、RtI 発生 60 秒前に比較的強い振動を与える「回復 HMI」の両方が駆動した場合に、覚醒水準の低下が抑制されて RtI に対する反応時間の遅延が生じないという HMI の効果が認められた。一方、「維持 HMI」と「回復 HMI」のどちらか一方だけでは、運転行動や覚醒水準への有効性は認められなかった。そこで本年は、Readiness レベルを適正な水準に維持・回復する「維持+回復 HMI」の効果を実環境で確認することを目的として、実車を用いた試走路走行実験を実施した。

被験者

36 名（男性 18 名、女性 18 名）が実験に参加した。平均年齢は 45.4 歳、最高年齢は 75 歳、最少年齢は 21 歳だった。18～24 歳、25～34 歳、35～44 歳、45～54 歳、55～64 歳、65 歳以上の各年齢群にそれぞれ男女 3 名ずつが含まれた。

実験日時・場所

2018 年 9 月 6 日から 10 月 16 日まで、産業技術総合研究所北サイト(茨城県つくば市寺具 1497-1)の試走路を用いた走行実験を行った。

実験シナリオ

走行の開始前に、被験者には「(1) 自動走行システムがどのようなものであるのか（どこを自動で制御してくれるのか）、(2) 自動走行は周辺を監視する必要はないこと（自動走行システムレベル 3 を想定）、(3) 自動走行システムが切れた後は時速 60 キロメートルで追い越し時以外は左車線を手動運転

すること（RtIの情報提示内容についても教示）、（4）自動走行中は両手とも太ももの上にのせ、両足ともフロアにつけておくこと」等を教示した。

被験者はレクサス LS の運転席に乗車した。運転行動データを CAN-BOX により収集した。本実験走行中は、30m 前方の先行車（日産セレナ）の追従走行で、テストコース（1周 3,200m）を左回りに時速 60 キロメートルで走行した。

各被験者は 5 回の走行を行った。すべての走行を同一日に実施した。1 回目の走行は練習走行で、手動運転で 1 周した（走行時間約 3 分）。2 回目から 5 回目の走行は実験走行だった。2 回目の走行は統制走行 1 で、自動走行で 1 周した（走行時間約 3 分）。3 回目と 4 回目の走行は実験走行で、自動走行で 10 周した（走行時間約 30 分）。3 回目と 4 回目の一方が HMI あり条件、他方が HMI なし条件で、順番は被験者ごとにカウンターバランスを当てた。5 回目の走行は統制走行 2 で、自動走行で 1 周した（走行時間約 3 分）。自動走行で走行した 2~5 回目の走行では、走行の最後に予告なく RtI を呈示して手動運転に切り替えた。このとき、「運転交代」というアナウンスを呈示すると同時に、インパネ中央のアイコンが図 4-18 右に変化して 1Hz で点滅した。また、RtI 発生と同時に 100m 前方（Time-To-Collision（以降、TTC と称す）= 6 秒）の左車線に停止車両を模したパイロンが出現した。被験者は右車線に車線変更してパイロンを回避しなければならなかった。パイロン回避後にスタート地点に戻ると実験走行が終了した。

HMI

HMI あり条件では、平成 29 年度の実験で用いた「維持 HMI」と「回復 HMI」の両方を呈示する「維持+回復 HMI」を採用した。すなわち、「維持 HMI」として、走行開始 180 秒後から走行終了まで、冷風と振動を被験者に与えた。走行開始 180 秒までは冷風および振動は与えなかった。180 秒から 1020 秒までは比較的弱い強度の冷風および振動刺激を与え、それ以降は中程度の強度の冷風および振動刺激を与えた。さらに「回復 HMI」として、RtI 発生 60 秒前（走行開始 1795 秒後）に比較的強い振動を与えた。振動はドライバーシートから与えた。冷風はダッシュボードおよびドライバーシートからドライバーに直接吹き付けた。なお、平成 29 年度の実験では、HMI の強度変化と一致した眼球運動や瞬目の変化が認められた。そのため、眼球運動や瞬目データを Readiness レベルや眠気と関連付ける解釈が困難となった。これは、被験者の顔付近に冷風が吹き付けられたことが原因と考えられた。そこで本実験では、眼球運動や瞬目に冷風が影響しないように風向を調整した。

ドライバー状態の計測項目と評価指標

【眠気の主観評価】

各走行の開始直前と終了直後に日本語版カロリンスカ眠気尺度による主観的な眠気評価を実施した。

【運転行動データ】

平成 29 年度のドライビングシミュレータ実験と同じく、以下の指標を算出した。(1) RtI 発生からステアリングを右に 1.5°以上操作するのに要した時間 (ステアリング反応時間)、(2) 車線変更から 5 秒間のステアリング操作のばらつき (標準偏差)。

【瞬目】

Readiness レベルに関連する指標として、実験走行中の 2 分毎の平均瞬目持続時間と平均回数を算出した。脳波計 (BrainProducts 社製 BrainAmp) を用いて、右目眼窩上下に装着した 2 つの電極を双極導出して眼電位を求めた。眼電位から瞬目に関するデータを取得した。眼電図を 1,000Hz のサンプリング周波数で計測し、0.05Hz の低域遮断フィルタ及び 30Hz の高域遮断フィルタを適用した。自作瞬目判定プログラムを使用して、瞬目の基準となる眼電位の変化を特定した。

【据置型顔/視線移動検知仕様評価器】

平成 29 年度のドライビングシミュレータ実験と同じく、据置型顔/視線移動検知仕様評価器を用いて、被験者の眼球運動を記録した。HMI なし条件におけるステアリング反応時間を Readiness レベルとの指標として、DMS の Readiness レベル推定精度の検討を行った (詳細は 4.5.「ドライバーモニタリングシステム(DMS)の実現性検討」を参照)

実験結果

【車内温度】

HMI あり条件と HMI なし条件の車内温度の 2 分ごとの変化について、データ取得に失敗した 4 名のデータを除外した 32 名の平均値を図 4-12 に示す。データは車内天井中央付近の温度センサーから取得した。自動走行開始時の平均車内温度は 27.7 度だった。走行開始約 30 分後に発生した RtI 直前の平均車内温度は、HMI あり条件 22.9 度、HMI なし条件 28.0 度だった。

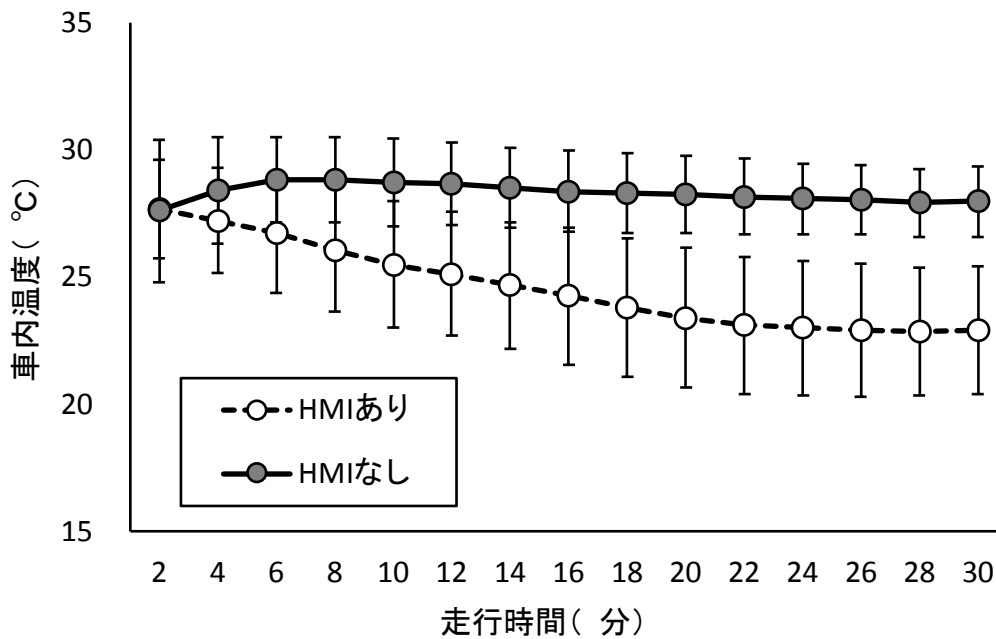


図 4-12 自動走行中の車内温度。エラーバーは標準偏差。

【眠気の主観評価】

実験走行の各実験条件における日本語版カロリンスカ眠気尺度について、36名の平均値を

図 4-13 に示す。値は実験走行終了直後と実験走行開始直前の評価値の差分であり、実験走行による主観的眠気の増加量に相当する。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(3, 105) = 14.00, p < .001$)。テューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、HMI なし条件がその他の条件よりも眠気増加量が大きいことが示唆された。以上より、3 分間の HMI のない自動走行と比べて、30 分間の自動走行中に HMI が駆動しない場合は主観的な眠気が増加したが、HMI が駆動すると主観的眠気をほとんど増加させなかったといえる。

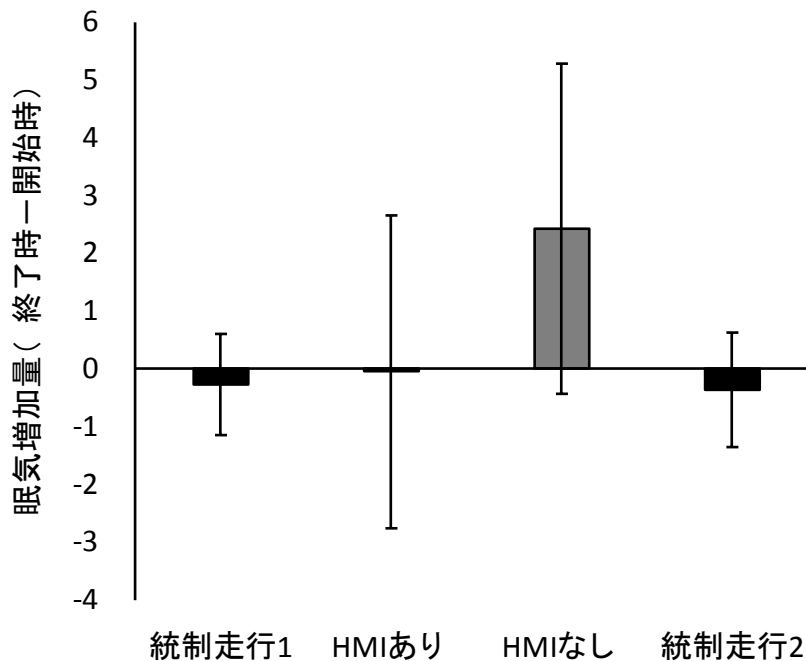


図 4-13 日本語版カロリンスカ式眠気尺度による主観的眠気の増加量 (走行終了時と走行開始時の差分)。エラーバーは標準偏差。

【運転行動データ】

1. RtI 発生からのステアリング反応時間

実験走行の各実験条件における、RtI 発生からステアリングを 3° 以上右に回転させるのに要した平均時間について、36 名の平均値を図 4-14 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(3, 105) = 5.48, p < .002$)。チューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、統制走行 1 は HMI なしと統制走行 2 よりも反応時間が長いことが示唆された。このことから、初回の RtI は 4 回目の RtI よりも反応時間が遅延したといえる。また、HMI ありは統制走行 2 よりも反応時間が長いことも示唆された。一方、HMI なしは統制走行 2 と反応時間の差は認められなかった。このことから、HMI の駆動条件によっては、RtI への反応時間を遅延させた可能性があるといえる。

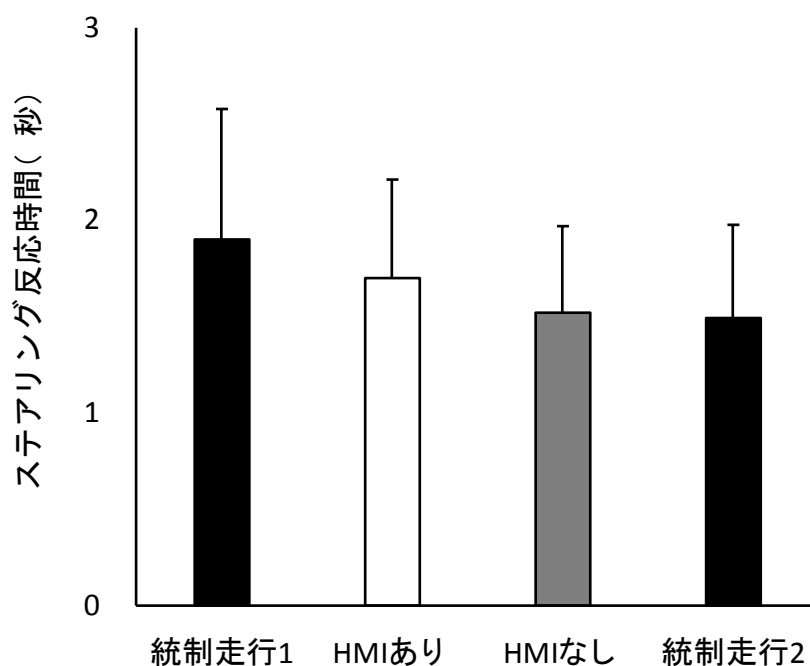


図 4-14 RtI からステアリングを右に 1.5° 以上操作するまでの時間。
エラーバーは標準偏差。

2. 車線変更時のステアリング操作のばらつき

実験走行の各実験条件における、車線変更時（自車中心が車線境界線を越えた時点）から 5 秒間のステアリング操作のばらつき（標準偏差の 1 秒間の平均）について、36 名の平均値を

図 4-15 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(3, 105) = 6.75, p < .001$)。チューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、統制走行 1 は HMI なしと統制走行 2 よりもステアリング操作のばらつきが大きいことが示唆された。このことから、初回の RtI は 4 回目の RtI よりも車線変更時のステアリング操作が不安定になったといえる。また、HMI ありは統制走行 2 よりもステアリング操作のばらつきが大きいことも示唆された。一方、HMI なしは統制走行 2 とステアリング操作のばらつきの差は認められなかった。このことから、HMI の駆動条件によっては、RtI 後にパイロン回避のための車線変更をおこなうと、ステアリング操作を不安定にさせた可能性があるといえる。

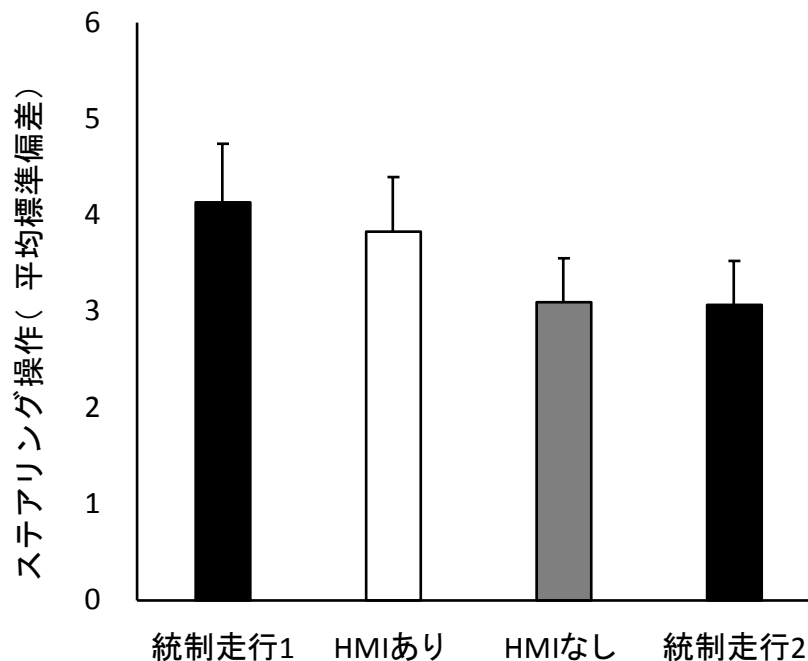


図 4-15 車線変更時のステアリング操作のばらつき。エラーバーは標準偏差。

【瞬目】

1. 瞬目持続時間

実験走行中の 2 分ごとの平均瞬目持続時間について、25 名の平均値を図 4-16 に示す。統制条件 1、2 は走行時間が約 3 分と短いため、分析から除外した。また、走行全部もしくは一部で計測に失敗した 11 名のデータを分析から除外した。対応のある 2 要因分散分析の結果、走行条件要因の主効果は有意に認められなかった ($F(1, 24) = 3.91, p > .05$)。一方、走行時間要因の主効果が有意に認められた ($F(14, 336) = 5.72, p < .001$)。また、走行時間要因と走行条件要因の交互作用が有意に認められた ($F(14, 336) = 2.13, p < .02$)。テューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、HMI なし条件では、走行開始 2 分条件よりも 16 分～30 分条件の瞬目持続時間が長いことが示唆された。また、走行開始 4 分条件と 6 分条件よりも 18 分、20 分、28 分条件の瞬目持続時間が長いことが示唆された。一方、HMI あり条件では、走行開始 2 分条件と 26 分条件の間のみ瞬目持続時間の有意差が認められた。以上のことから、HMI なし条件では自動走行開始 16 分以降に瞬目持続時間が延長したが、HMI あり条件ではそのような効果が抑制されやすかったといえる。

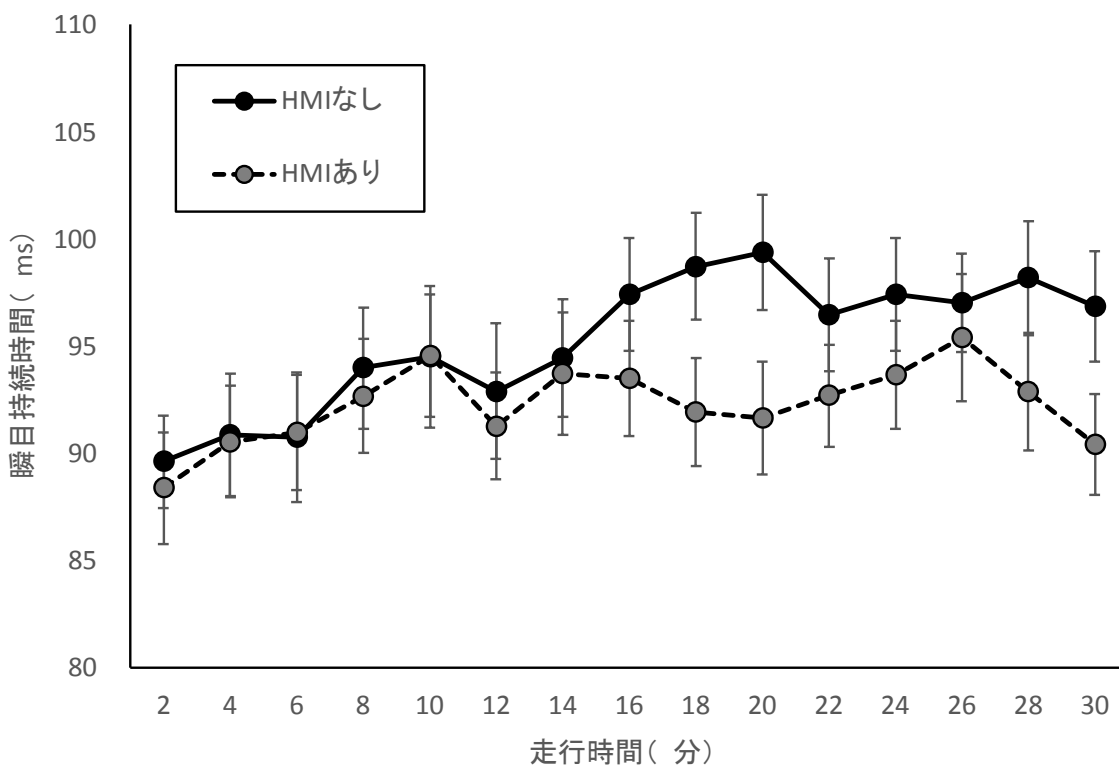


図 4-16 実験走行中の 2 分毎の平均瞬目持続時間。エラーバーは標準誤差。

2. 瞬目回数

実験走行中の2分ごとの平均瞬目回数について、30名の平均値を図4-17に示す。統制条件1、2は走行時間が約3分と短いため、分析から除外した。また、走行全部もしくは一部で計測に失敗した6名のデータを分析から除外した。対応のある2要因分散分析の結果、走行条件要因の主効果は有意に認められなかった ($F(1, 29) = 3.41, p > .07$)。一方、走行時間要因の主効果が有意に認められた ($F(14, 406) = 2.00, p < .02$)。また、走行時間要因と走行条件要因の交互作用が有意に認められた ($F(14, 406) = 5.01, p < .001$)。チューキーのHSD ($\alpha = 0.05$)による多重比較の結果、HMIなし条件では、走行開始2分条件よりも20分~30分、走行開始4分よりも22分、24分、28分、30分、走行開始8分よりも28分の各条件で瞬目回数が少ないことが示唆された。一方、HMIあり条件では、いずれの走行時間条件間にも瞬目回数の有意差は認められなかった。以上のことから、HMIなし条件では自動走行開始20分以降に瞬目回数が減少したが、HMIあり条件ではそのような効果が抑制されやすかったといえる。

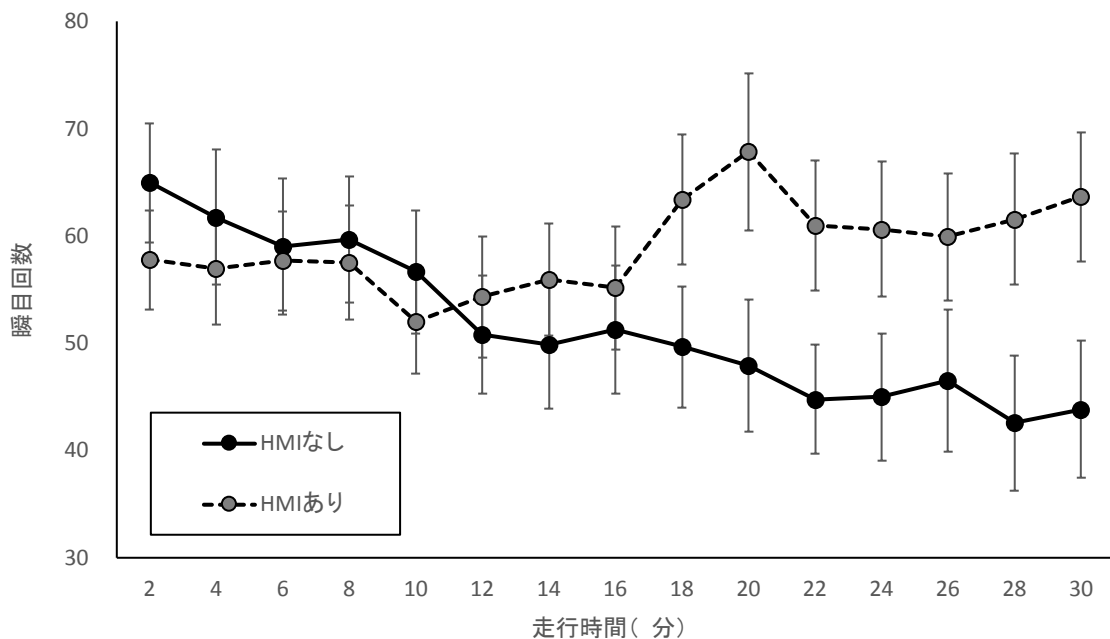


図 4-17 実験走行中の2分毎の平均瞬目回数。エラーバーは標準誤差。

考察

自動走行中のドライバーの **Readiness** レベルを維持・回復するため、自動走行中に冷風や振動によってドライバーの体性感覚を刺激する **HMI** の効果を検討した。ドライビングシミュレータを使用した平成 29 年度の実験では、ドライバーの **Readiness** レベルを **RtI** に対応できる状態に維持するために自動走行中に継続的に刺激を与える「維持 **HMI**」と、**Readiness** レベルが低下した場合に **RtI** に対応できる状態に **Readiness** レベルを回復させる「回復 **HMI**」の両方の **HMI** が与えられた場合に、覚醒水準の低下が抑制される効果と **RtI** に対する反応時間の遅延が防止される効果が認められた。そこで本年は、平成 29 年度に効果が認められた **HMI** と同様の「維持+回復 **HMI**」を実車に搭載して、実環境における **HMI** の効果を検証した。

実験の結果、30 分の自動走行の主観的眠気について、走行前と比べて走行後の増加を抑制する **HMI** の効果が認められた。また、眠気の客観的指標である瞬目持続時間および瞬目回数についても(Caffier et al., 2003; Ingre et al., 2006; Takeda et al., 2016; Tucker & Johns, 2005)、**HMI** なし条件では走行開始 16~20 分後から眠気の増大を示唆する変化が認められたが、**HMI** あり条件ではそのような変化は認められなかった。これらの結果は、ドライビングシミュレータを用いた平成 29 年度の実験とも一致している。以上のことから、ドライバーに冷風と振動を与える「維持+回復 **HMI**」は、自動走行中の眠気増加の抑制に有効であることが示された。

なお、ドライビングシミュレータを用いた平成 29 年度の実験では、**HMI** の強度変化と一致した瞬目回数の増加が認められた。これは冷風が被験者の顔付近に吹き付けられることによるアーティファクトと考えられた。本年度の実験では、同様のアーティファクトが生じないように風向を調整した。その結果、瞬目回数に対する **HMI** の影響は統計的には認められなかった。

RtI 後の運転行動成績について、**HMI** あり条件でステアリング反応時間が遅延してとステアリング操作のばらつきが大きくなる効果が認められた。すなわち、「維持+回復 **HMI**」を駆動させると、**RtI** 後の運転パフォーマンスが悪化する可能性が示唆された。一方、ドライビングシミュレータを用いた平成 29 年度の実験では、「維持+回復 **HMI**」によるステアリング反応時間やステアリング操作のばらつきのパフォーマンス低下は認められず、**Readiness** レベルに対する「維持+回復 **HMI**」の有効性が示された。この実車実験とドライビングシミュレータ実験の結果の不一致をもたらした原因の一つとして、実験環境の違いによる体感温度差が考えられる。ドライビングシミュレータ実験は、密閉環境である実車と比べて広い部屋 (44m²) で実施した。また、

ドライビングシミュレータ実験は冬期（11月10日～2月1日）に実施したため被験者は比較的厚着だったが、実車実験は秋期（9月6日～10月16日）に実施したため薄着の被験者が多かった。これらの環境要因によって、実車実験では、冷風が被験者に直接吹き付けられる HMI の駆動によって被験者の体感温度が低くなり、姿勢の変化、筋緊張、身体運動の緩慢化などが生じ、それによって RtI に対する運転行動パフォーマンスが低下した可能性がある。もしこの仮説が正しいとすれば、自動走行中の Readiness レベルの維持・回復を目的とした HMI として冷風を採用する場合は、過度な冷却などによってドライバーの運転行動能力の低下をもたらさないように気をつけなければならない。

まとめると、自動走行中に比較的弱い振動と冷風を継続的に呈示し、かつ RtI 発生 の 60 秒前に強い冷風と振動を呈示すると、自動走行中の眠気増大の抑制に有効であることが示された。ただし、HMI の駆動条件によっては、RtI に対する反応時間やステアリングの安定性が低下する可能性も示された。これは、冷風による体感温度の低下によるものと考えられる。したがって、HMI として冷風を利用する際には、運転行動を妨げないように、温度、風量、呈示時間や呈示部位などに留意する必要がある。

4.5.2. 実験 B-4-3-1

Readiness レベルの維持・回復を図る HMI について、産業技術総合研究所自動車ヒューマンファクター研究センターが所有するドライビングシミュレータを使用した実験で検討した。平成 29 年度は、自動走行中の短時間の手動運転挿入の効果を検討した。そのために、約 30 分間の自動走行実験を行い、自動走行中に約 10 分間の手動運転が挿入された走行条件と挿入されなかった走行条件を比較した。約 30 分間の走行終了時に予告なく RtI が発生する走行シナリオを用い、走行後の主観的眠気を覚醒度の指標とした。また、走行中の生理データと RtI 後の運転行動成績を Readiness レベルの指標とした。実験の結果、Readiness レベルの維持・回復に対する手動運転挿入によるポジティブな効果は認められなかった。さらに、自動走行の途中で手動運転が挿入されると、高齢者ほど Readiness レベルが低下することが示された。これは、自動走行と手動運転の切り替わりによって、心的負荷や精神的な疲労、あるいは自動運転と手動運転を複数回切り替えることによるモードコンフュージョンが特に高齢者に強く生じたことが原因と考えられた。

そこで本年度は、運転切り替えによるモードコンフュージョンが生じず、比較的心的負荷が低いと想定でき、かつ自動走行中の Readiness 維持・回復

への効果が期待できる能動的な認知・身体課題(Neubauer et al., 2014)として、ビデオゲームを HMI に採用した。平成 29 年度と同様に、30 分間の自動走行の途中 10 分間に HMI を挿入した。また、レベル 3 の自動走行中にドライバーが運転以外のタスクを一切行わないことは想定しにくいため、ビデオゲーム前後 10 分間のアニメ視聴を被験者に課した。自動走行中の覚醒度および Readiness レベルを、走行後の主観的眠気、走行中の生理データ、RtI 後の運転行動成績を指標として計測した。これらの指標について、自動走行途中でビデオゲームを行わず 30 分間アニメ視聴だけを課した条件と、統制条件として 30 分間の自動走行中は何も課さない条件と比較した。

被験者

36 名（男性 18 名、女性 18 名）が実験に参加した。平均年齢は 44.3 歳、最高年齢は 74 歳、最少年齢は 19 歳だった。18～24 歳、25～34 歳、35～44 歳、45～54 歳、55～64 歳、65 歳以上の各年齢群にそれぞれ男女 3 名ずつが含まれた。

実験日時・場所

2018 年 7 月 2 日から 8 月 27 日まで、産業技術総合研究所つくば中央第 6(茨城県つくば市東 1-1-1)の 6 軸モーション型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン製）を用いて実験を実施した。

実験条件

3 つの実験条件を設定した。1 つ目は HMI あり条件だった。これは約 30 分間の自動走行中、最初の 10 分間にアニメを視聴し、次の 10 分間にアニメの視聴を中断して Readiness 維持・回復 HMI としてビデオゲームを実施し、その後の 10 分間に再びアニメを視聴する条件だった。2 つ目は HMI なし（アニメあり）条件だった。これは、約 30 分間の自動走行中にアニメを視聴する条件だった。3 つ目は HMI なし（アニメなし）条件だった。これは、約 30 分間の自動走行中は被験者には特に何も求めない条件だった。いずれの条件でも、走行の最後に RtI を提示して、被験者は手動運転で停止車両を回避しなければならなかった。3 つの条件は異なる日に実施した。実施順序は被験者間でカウンターバランスを当てた。

ビデオゲームとアニメ

ビデオゲームとして、一般的によく知られており、高齢者にも操作やルールの理解が容易な「テトリス」を選択した(Goldstein et al., 1997)。また、アニメとして、一般的によく知られており若年者も興味を持つと考えられる「トムとジェリー」(Metro-Goldwyn-Mayer Inc.)を選択した(Takeda & Kimura, 2014)。HMIあり条件とHMIなし(アニメあり)条件では異なる内容のアニメを提示した。実験に先立ち、どの年齢層でもテトリスの操作やルールの理解が容易なことと、テトリスおよびトムとジェリーに対する興味の度合いがおおよそ同程度であることを予備調査で確認した。予備調査には24名(18~24歳、25~34歳、35~44歳、45~54歳、55~64歳、65歳以上の各年齢群にそれぞれ男女1名ずつ)が参加した。

実験シナリオ

実験開始前に、HMIあり条件とHMIなし(アニメあり)条件では、自動走行中はアニメを視聴するように教示した。HMIあり条件の場合は、途中でアニメが中断されたらビデオゲームを実施するように教示し、ビデオゲームのルールや操作方法の説明と練習を行った。

走行の開始前に、被験者には「(1)自動走行システムがどのようなものであるのか(どこを自動で制御してくれるのか)、(2)自動走行中は周辺を監視する必要はないこと(自動走行システムレベル3を想定)、(3)自動走行システムが切れた後は時速60キロメートルで追い越し時以外は左車線を手動運転すること(RtIの情報提示内容についても教示)」等を教示した。

1周5100mの周回コースである片側2車線の自動車専用道路にて、左車線を時速60キロメートルで自動走行した。時速30キロメートルと90キロメートルで走行する他車両50台(うち反対車線25台)も同時に走行した。自車両は先行車両の追い越し時に右車線に移動し、追い越し後は左車線に戻った。

最初に「自動運転を開始しました」というアナウンスがスピーカーを呈示し、自車両の自動走行を開始した。同時にインパネ中央に図4-18左のアイコンを呈示した。また、Head up displayを模した標示として正面スクリーンに「START」という赤い文字列を5秒間呈示した。



自動運転中



手動運転中

図 4-18 走行モードを示すインストルメンタルパネル上のアイコン

1日あたり2回の練習走行と1回の実験走行を実施した。1回目の練習走行は480秒間の手動運転だった。被験者には時速60キロメートルで左車線を走行するように求めた。練習走行開始460秒後に左車線に停止車両が出現した。そのため、被験者は右車線に車線変更して停止車両を回避しなければならなかった。2回目の実験走行は200秒間の自動走行だった。走行終了20秒前(1回目：走行開始180秒後)に予告なくRtIが発生して手動運転に切り替わった。このとき、「運転交代」というアナウンスを呈示すると同時に、インパネ中央のアイコンが図4-18右に変化して1Hzで点滅した。また、RtI発生と同時に100m前方(TTC=6秒)の左車線に停止車両が出現した。練習走行と同様に、被験者は右車線に車線変更して停止車両を回避しなければならなかった。RtI発生20秒後に実験走行が終了した。

実験走行は1875秒間の自動走行だった。2回目の練習走行と同じく、走行終了20秒前(走行開始1855秒後)に予告なくRtIが発生し、被験者は手動運転による停止車両を回避しなければならなかった。実験走行は「HMIあり条件」「HMIなし(アニメあり)条件」「HMIなし(アニメなし)条件」のいずれかの実験条件を異なる日に実施した。HMIあり条件およびHMIなし(アニメあり)条件では、センターコンソールに備え付けた10インチモニターに、走行開始と同時にアニメを再生した。アニメの音量は被験者が十分聞こえる値に設定した。HMIあり条件では、2回目の実験走行中にビデオゲームの遂行を求めた。走行開始610秒後に「課題を始めてください」というアナウンスを呈示した。同時に、インパネ中央のアイコンが図4-18右に変化して1Hz

で点滅した。また、センターコンソールのアニメを一時停止して、アニメの代わりにビデオゲームを表示した。被験者は助手席に置いてあったゲームコントローラーを手にとってビデオゲームを開始した。ビデオゲームの効果音の音量は被験者が十分聞こえる値に設定した。ビデオゲーム開始から 620 秒後（走行開始 1230 秒後）に「課題をやめてください」というアナウンスを呈示し、インパネ中央に図 4-18 左のアイコンを呈示した。同時に、センターコンソールのビデオゲームを消して、その代わりにアニメを再開した。被験者はビデオコントローラーを助手席に置いて、アニメの視聴を再開した。HMI なし（アニメなし）条件では、特別な教示は与えなかった。

ドライバー状態の計測項目と評価指標

【眠気の主観評価】

走行開始直前および終了直後に日本語版カロリンスカ眠気尺度(Kaida et al., 2006)による主観的な眠気評価を実施した。

【運転行動データ】

産業技術総合研究所ドライビングシミュレータにて、手動運転中の運転行動データを計測した。実車と同様にステアリング、アクセルペダル、ブレーキペダルの操作データとして、自車の位置座標や速度、他車との位置関係などの車両データと共に、サンプリングレート 120Hz でホスト計算機にて記録した。

RtI に対する運転行動成績を評価するため以下の指標を算出した。(1) RtI 発生からステアリングを右に 1°以上操作するのに要した時間（ステアリング反応時間）、(2) 車線変更時（自車中心が車線境界線を越えた時点）の停止車両までの TTC、(3) 車線変更から 1 秒間のステアリング操作のばらつき（標準偏差の平均）。

【瞬目】

脳波計（BrainProducts 社製 BrainAmp）を用いて、右目眼窩上下に装着した 2 つの電極を双極導出して眼電位を求めた。眼電位から瞬目に関するデータを取得した。眼電図を 1,000Hz のサンプリング周波数で計測し、0.05Hz の低域遮断フィルタ及び 30Hz の高域遮断フィルタを適用した。自作瞬目判定プログラムを使用して、瞬目の基準となる眼電位の変化を特定した。平成 29 年度の研究と同様、覚醒度を反映すると考えられている瞬目持続時間(Caffier et al., 2003; Ingre et al., 2006; Takeda et al., 2016; Tucker & Johns, 2005; Wu et

al., 2019)について、RtI が発生する前の 2 分間の平均瞬目持続時間を客観的な眠気指標として計測した。

実験結果

【眠気の主観評価】

実験走行の各実験条件における日本語版カロリンスカ眠気尺度について、36 名の平均値を

図 4-19 に示す。値は実験走行終了直後と実験走行開始直前の評価値の差分であり、実験走行による主観的眠気の増加量に相当する。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(2, 70) = 4.93$, $p < .01$)。チューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、HMI あり条件が他の 2 条件より眠気増加量が有意に低かったことが示された。HMI なし (アニメなし) 条件と HMI なし (アニメあり) 条件の間には有意差は認められなかった。以上より、30 分の自動走行中のアニメ視聴の有無によって主観的眠気は同程度に増加したが、アニメ視聴の途中 10 分間にビデオゲームを行うと、主観的眠気の増加が比較的抑制されるといえる。

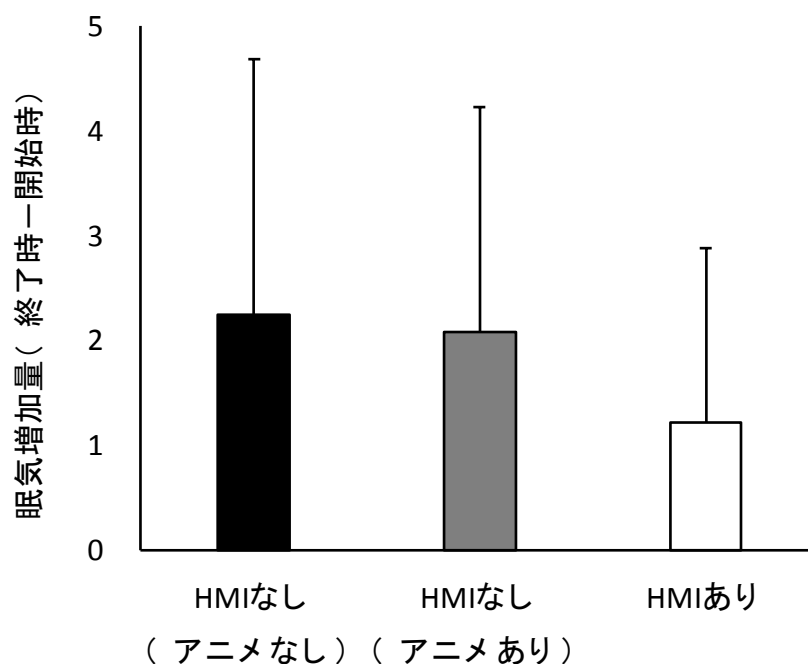


図 4-19 日本語版カロリンスカ式眠気尺度による主観的眠気の増加量 (走行終了時と走行開始時の差分)。エラーバーは標準偏差。

【運転行動データ】

1. RtI 発生からのステアリング反応時間

実験走行の各実験条件における、RtI 発生からステアリングを 1° 以上右に回転させるのに要した平均時間について、36名の平均値を

図 4-20 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果は認められなかった ($F(2, 70) = 1.47, p > .23$)。以上より、自動走行中にアニメを視聴したり、アニメ視聴の途中でビデオゲームを行ったりしても、30分後の RtI に対するステアリング反応時間に影響を与えない。

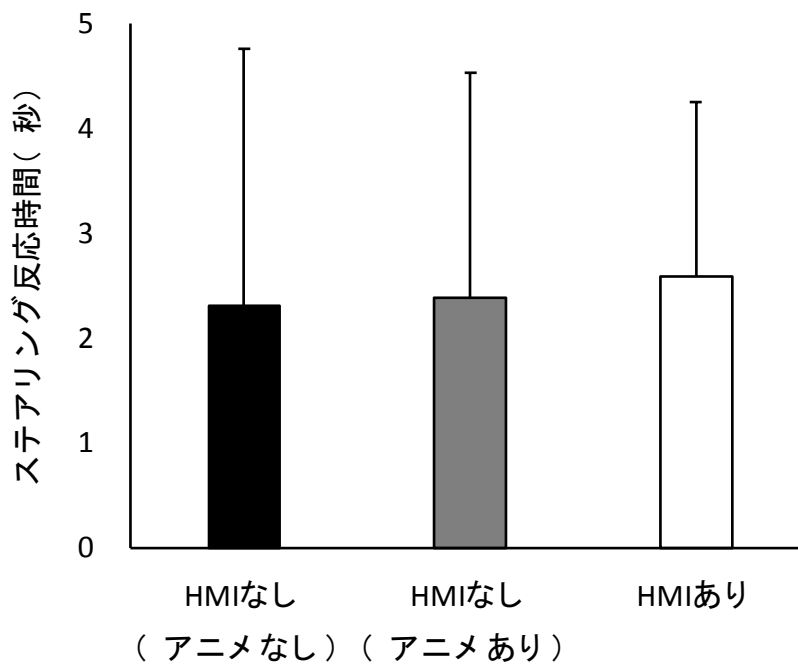


図 4-20 RtI からステアリングを右に 1° 以上操作するまでの時間。
エラーバーは標準偏差。

2. 車線変更時の停止車両までの TTC

実験走行の各実験条件における、車線変更時（自車中心が車線境界線を越えた時点）の停止車両までの TTC について、36名の平均値を

図 4-21 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果は認められなかった ($F(2, 70) = 0.57, p > .56$)。以上より、自動走行中にアニメを視聴したり、アニメ視聴の途中でビデオゲームを行ったりしても、停止車両に対する TTC、すなわち車線変更の完了時間に影響を与えない。

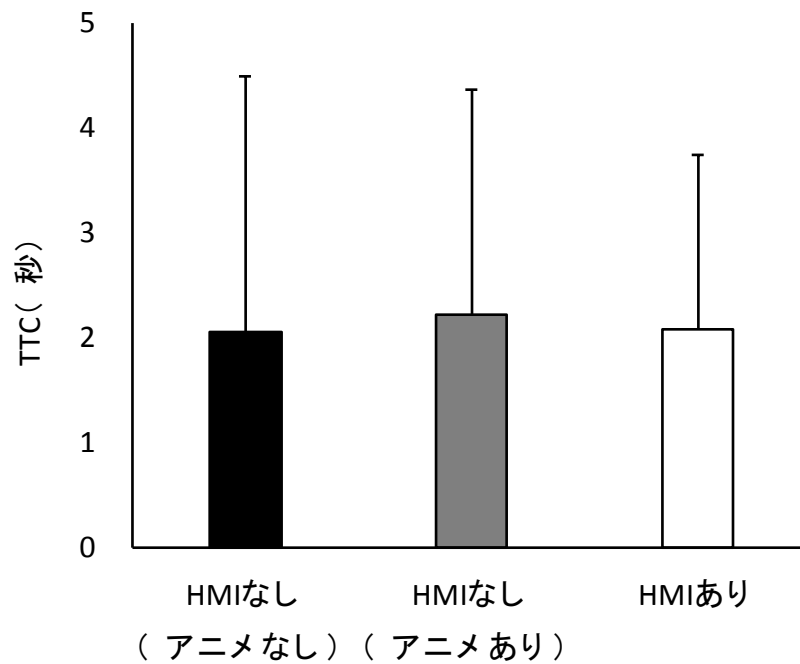


図 4-21 車線変更時の停止車両までの TTC。エラーバーは標準偏差。

3. 車線変更時のステアリング操作のばらつき

実験走行の各実験条件における、車線変更時（自車中心が車線境界線を越えた時点）から1秒間のステアリング操作のばらつき（標準偏差の1秒間の平均）について、36名の平均値を

図 4-22 に示す。対応のある1要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果は認められなかった（ $F(2, 70) = 2.20, p > .11$ ）。以上より、自動走行中にアニメを視聴したり、アニメ視聴の途中にビデオゲームを行ったりしても、RtI後の車線変更時のステアリング操作の安定性に影響を与えない。

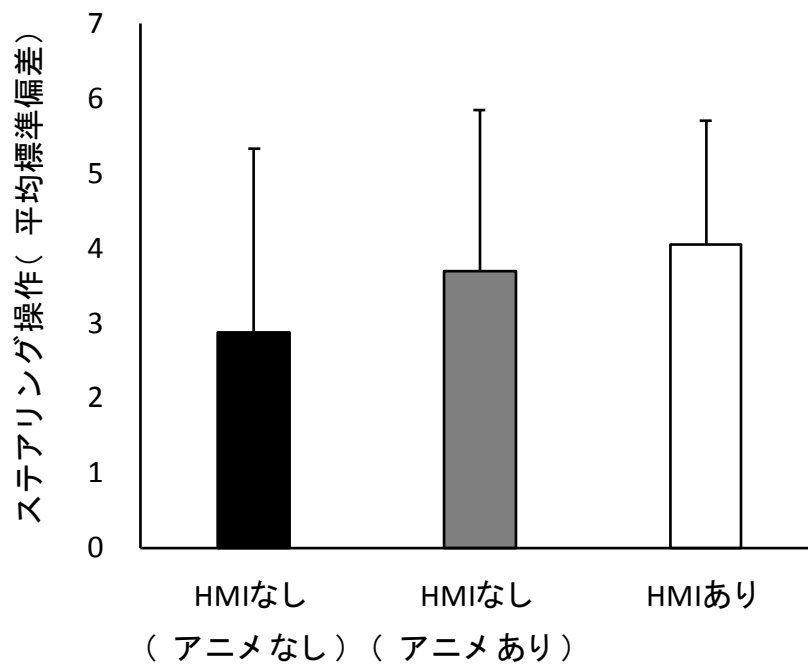


図 4-22 車線変更時のステアリング操作のばらつき。エラーバーは標準偏差。

【瞬目】

1. 瞬目持続時間

RtI 直前 2 分間の平均瞬目持続時間について、32 名の平均値を

図 4-23 に示す。4 名のデータは計測に失敗したため分析から除外した。対応のある 1 要因分散分析の結果、走行条件要因の有意な主効果が認められた ($F(2, 62) = 5.15, p < .009$)。テューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、HMI あり条件は、HMI なし (アニメなし) 条件および HMI なし (アニメあり) 条件よりも瞬目持続時間が短いことが示唆された。以上のことから、自動走行 30 分後の瞬目持続時間について、自動走行中のアニメ視聴の有無によって大きな違いが生じるとはいえないが、アニメ視聴途中でビデオゲームを行うと瞬目持続時間が短くなるといえる。

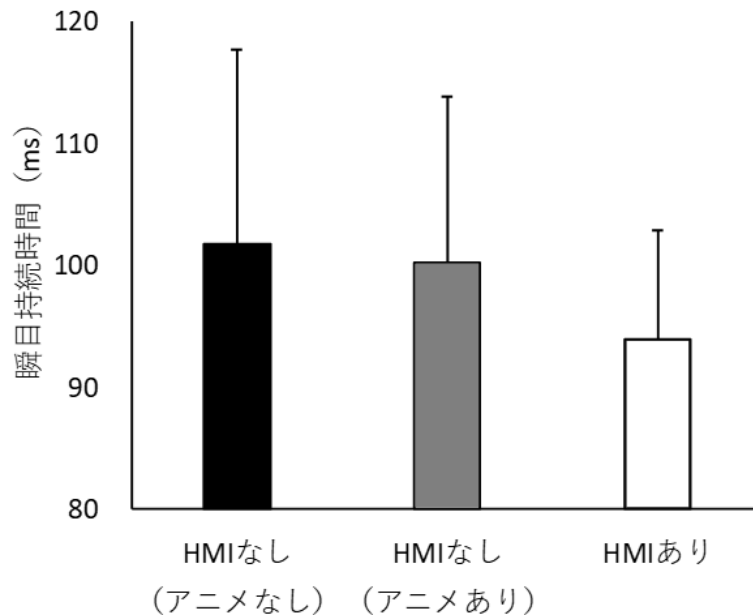


図 4-23 RtI 直前 2 分間の平均瞬目持続時間。エラーバーは標準偏差。

2. 瞬目回数

RtI 直前 2 分間の平均瞬目回数について、32 名の平均値を

図 4-24 に示す。4 名のデータは計測に失敗したため分析から除外した。対応のある 1 要因分散分析の結果、走行条件要因の主効果は有意に認められなかった ($F(1, 62) = 2.68, p > .07$)。以上のことから、自動走行 30 分後の瞬目回数について、自動走行中のアニメ視聴の有無やアニメ視聴途中でのビデオゲームの実施によって大きな違いが生じるとはいえない。

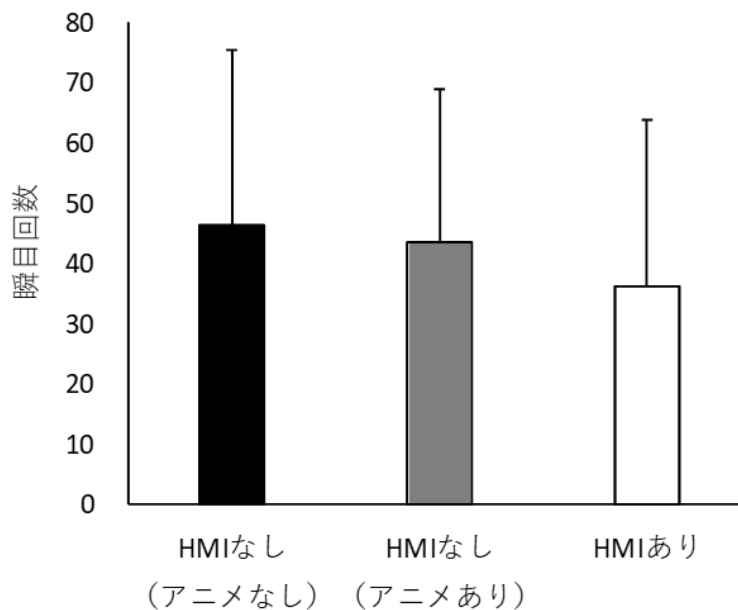


図 4-24 実験走行中の 2 分毎の平均瞬目回数。エラーバーは標準偏差。

考察

自動走行中のドライバーの **Readiness** レベルを維持・回復するため、自動走行中に能動的な認知・身体活動であるビデオゲームを実施する HMI の効果を検討した。実験の結果、主観的眠気について、30 分間の自動走行の途中 10 分間にビデオゲームを課した HMI あり条件は、アニメ視聴だけを課した HMI なし (アニメあり) 条件および何も課さなかった HMI なし (アニメなし) 条件と比べて、自動走行後の主観的眠気の増加が抑制されることが示された。同様に、眠気の客観的指標である瞬目持続時間についても (Caffier et al., 2003; Ingre et al., 2006; Takeda et al., 2016; Tucker & Johns, 2005)、HMI あり条件は他の条件よりも自動走行終了時の瞬目持続時間が短かったため、ビデオゲームの実施が眠気増大を抑制したといえる。以上のことから、自動走行中に 10 分間ビデオゲームを実施すると、10 分間の自動走行後の眠気を抑制

する可能性が示された。

一方、RtI に対する運転行動パフォーマンスについては、ビデオゲームの効果は認められなかった。すなわち、RtI 直後のステアリング反応時間、車線変更時の停止車両までの TTC、車線変更後のステアリング安定性のいずれについても、HMI あり条件と HMI なし（アニメあり）および HMI なし（アニメなし）条件との間に統計的な違いは認められなかった。したがって、RtI 発生 10 分前のビデオゲームの実施によって眠気の増大が抑制されたとしても、それが直ちに RtI に対する素早くスムーズな運転対応につながるとはいえない。すなわち、Readiness レベルの維持や回復に貢献するとはいえない。したがって、自動走行中のビデオゲームの実施が真に Readiness レベルの維持や回復をもたらすかどうかは、追加の分析や実験を実施して検討を重ねる必要がある。

なお、本実験で分析したいずれの指標についても、アニメ視聴の有無による効果は認められなかった。HMI なし（アニメあり）条件は、アニメ視聴時に RtI が発生したため、その際には脇見もしくは意識の脇見をしていた可能性が高い。しかし、RtI に対する行動パフォーマンスは、HMI なし（アニメあり）条件と HMI なし（アニメなし）条件の間に統計的な違いは認められなかった。したがって、自動走行中のアニメ視聴が Readiness レベルに悪影響を与えることは示唆されなかった。また、主観的眠気および客観的な眠気指標についても両条件間で有意差は認められなかった。したがって、自動走行中のアニメ視聴が眠気を増加もしくは低下させることも示唆されなかった。ただし、本実験では、自動走行時間は 30 分間と限定されていた。また、事前に RtI が発生する自動走行を体験していた。さらに、安全性が保証されているシミュレータ実験であった。これらの要因が、アニメ視聴による RtI への運転行動や眠気に影響した可能性は否定できない。Readiness レベルや眠気に対する自動走行中のアニメ視聴の影響の詳細を明らかにするためには、今後さらなる研究が必要である。

4.5.3. 実験 B-4-3-2

自動走行中は走行時間に応じて眠気が増大し、ひいては RtI に対する Readiness レベルが低下すると考えられる。今年度までの研究でも、自動走行時間が 15 分を超えると眠気が増大し、30 分を超えると RtI 発生時の運転行動成績が低下することを示唆する結果が得られている。ただし、自動走行時間を細かく変化させた実験は未実施のため、どれくらい自動走行すれば眠気が増加するのか、また、どれくらい眠気が増加すれば Readiness レベルが低下するのかについて、詳細は不明であった。この、自動走行時間－眠気－Readiness レベルの三者の関係性を明らかにすることは、ドライバーに刺激を与えることで Readiness レベルを維持・覚醒するための HMI の実装に際して、HMI の駆動タイミングや刺激強度の決定の参考になると考えられる。そこで、自動走行時間が眠気や Readiness レベルに与える影響を検討した。自動走行時間を 2 分、4 分、8 分、16 分の 4 段階に変化させ、自動走行中の表情による眠気判定、RtI 発生時の主観的眠気、および RtI に対する運転行動成績を走行時間ごとに比較するドライビングシミュレータ実験を実施した。

被験者

40 名（男性 20 名、女性 20 名）が実験に参加した。平均年齢は 39.1 歳、最高年齢は 56 歳、最少年齢は 21 歳だった。18～29 歳、30～39 歳、40～49 歳、50～59 歳の各年齢群にそれぞれ男女 5 名ずつが含まれた。

実験日時・場所

2018 年 9 月 5 日から 12 月 19 日まで、産業技術総合研究所つくば中央第 6 (茨城県つくば市東 1-1-1) の定置型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン製）を用いて実験を実施した。

実験条件

1 回約 30 分間の実験走行中、4 回の RtI が発生した。RtI が発生するまでの自動走行時間を実験要因とし、2 分、4 分、8 分、16 分の条件を設定した。4 つの走行時間条件の順序はカウンターバランスを当てた。各走行時間条件の走行時間が経過すると、予告なしに RtI が発生して手動運転に切り替わった。被験者は、左車線に出現した停止車両（TTC6 秒）を回避するために右車線に車線変更することが求められた。また、停止車両の回避後は左車線に戻ることが求められた。RtI 発生 20 秒後に自動走行を再開した。1 日あたり 30 分の実験走行を 3 回実施した。被験者は全部で 3 日間、実験に参加した。した

がって、各被験者につき各走行時間条件を 9 回実施した。

実験シナリオ

走行の開始前に、被験者には「(1) 自動走行システムがどのようなものであるのか(どこを自動で制御してくれるのか)、(2) 自動走行は周辺を監視する必要はないこと(自動走行システムレベル 3 を想定)、(3) 自動走行システムが切れた後は時速 60 キロメートルで追い越し時以外は左車線を手動運転すること(RtI の情報提示内容についても教示)、(4) 自動走行中は両手とも太ももの上へのせ、両足ともフロアにつけておくこと」等を教示した

1 日あたり約 1 分間の練習走行を 1 回、約 30 分間の実験走行を 3 回実施した。いずれの走行でも、最初に「自動運転を開始しました」というアナウンスをスピーカーで呈示し、自車両の自動走行を開始した。同時にインパネ中央に図 4-18 左のアイコンを呈示した。また、Head up display を模した標示として正面スクリーンに「START」という赤い文字列を 5 秒間呈示した。走行開始後、片側 2 車線の直線の自動車専用道路にて、左車線を時速 60 キロメートルで自動走行した。自車の他に、自車の 33.3m 前方の左車線を走行する先行車、自車の 33.3m 後方の左車線を走行する後方車、自車の 33.3m 後方の右車線を走行する後方車の 3 台の車両も同時に走行した。練習走行では走行開始 40 秒後に RtI が予告なく発生して手動運転に切り替わった。実験走行では実験条件に応じて 4 回の RtI が発生した。このとき、「運転交代」というアナウンスを呈示すると同時に、インパネ中央のアイコンが図 4-18 右に変化して 1Hz で点滅した。同時に、先行車両が右に車線変更し、自車の 100m 前方(TTC=6 秒)に停止車両が出現した。被験者は右車線に車線変更して停止車両を回避しなければならなかった。また、停止車両回避後、左車線に戻らなければならなかった。実験走行 1~3 回目では、RtI 発生 20 秒後に「自動運転を開始しました」というアナウンスを呈示し、自動走行を再開した。実験走行 4 回目および練習走行では、RtI 後は自動走行を再開せずに実験走行を終了した。被験者は 3 日間の実験に参加した。実験日は 2 日以上の間隔を開けた。

ドライバー状態の計測項目と評価指標

【眠気の主観評価】

実験走行開始直前および各実験条件の RtI 発生 25 秒後に、日本語版カロリンスカ眠気尺度(Kaida et al., 2006)による主観的な眠気評価を実施した。

【眠気の客観評価】

実験走行中1分ごとに、被験者の表情に基づいた6段階の眠気評価を実施した(北島ら, 1997; 本間, 2016; 本間ら, 2016)。評価基準は以下の通りであった。

- 0: 全体的に動きが敏捷であり、視線移動も速く、キョロキョロする。
- 1: 一点を見詰め続けるなど、視線移動が少なく遅い。口に締まりがない。
- 2: 目の開度が小さくなり、瞬き頻発。あくびの出現。座り直し有り、
- 3: 目はかろうじて開けていられる程で、1秒以上の瞬目が頻繁に生じる。
- 4: 眉などの目の周辺に抵抗する意識は残るも2秒~3秒以上の閉眼が立て続けに生じる。
- 5: 抵抗する意識がなく、眠る。

表情はインパネ上部に設置したビデオカメラで撮影した。2名の実験者が独立して評価した値の平均値をデータとした。

【運転行動データ】

産業技術総合研究所ドライビングシミュレータにて、手動運転中の運転行動データを計測した。実車と同様にステアリング、アクセルペダル、ブレーキペダルの操作データとして、自車の位置座標や速度、他車との位置関係などの車両データと共に、サンプリングレート120HzでHOST計算機にて記録した。

RtI に対する運転行動成績を評価するため以下の指標を算出した。(1) RtI 発生からステアリングを右に1°以上操作するのに要した時間(ステアリング反応時間)、(2) 車線変更時(自車中心が車線境界線を越えた時点)の停止車両までのTTC、(3) 車線変更から1秒間のステアリング操作のばらつき(標準偏差の平均)。

実験結果

【眠気の主観評価】

実験走行の各実験条件における日本語版カロリンスカ眠気尺度について、40名の平均値を図4-25に示す。値は各実験条件のRtI発生25秒後と実験走行開始直前の評価値の差分であり、実験条件で決められた時間の自動走行における主観的眠気の増加量に相当する。対応のある1要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(3, 117) = 42.41, p < .001$)。テューキーのHSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、すべての条件間で眠気増加量に差があることが示唆された。以上より、RtIまでの自動走行時間が長くなるほど、主観的な眠気が強くなったといえる。

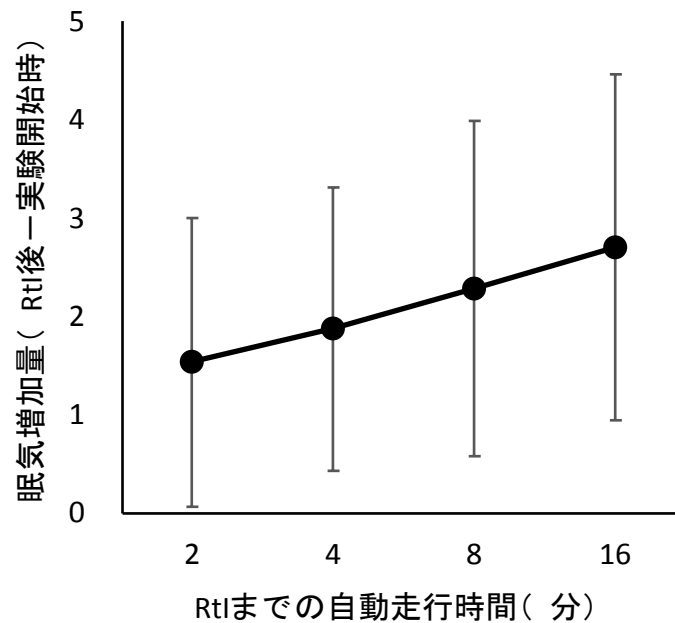


図 4-25 日本語版カロリンスカ式眠気尺度による主観的眠気の増加量 (RtI発生25秒後と走行開始時の差分)。エラーバーは標準偏差。

【眠気の客観評価】

実験走行の各実験条件における RtI 直前 1 分以内の表情による眠気評価について、40 名の平均値を図 4-26 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(3, 117) = 78.57, p < .001$)。テューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、すべての条件間で眠気評価値に差があることが示唆された。以上より、RtI までの自動走行時間が長くなるほど、眠気の強い表情になったといえる。

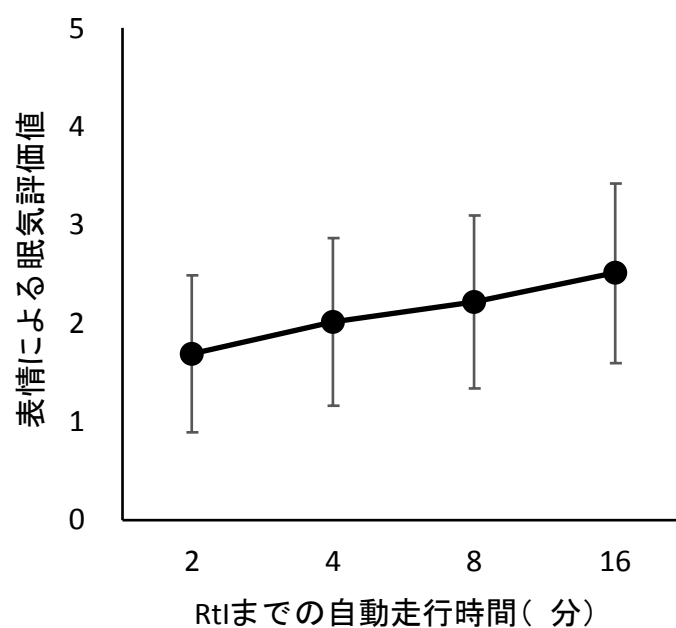


図 4-26 RtI 直前 1 分以内の表情による眠気評価値。エラーバーは標準偏差。

【運転行動データ】

1. RtI 発生からのステアリング反応時間

実験走行の各実験条件における、RtI 発生からステアリングを 1° 以上右に回転させるのに要した平均時間について、40 名の平均値を図 4-27 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果が認められた ($F(3, 117) = 3.39, p < .03$)。しかし、チューキーの HSD ($\alpha = 0.05$) による多重比較の結果、すべての条件間でステアリング反応時間に差があることは示唆されなかった。以上より、RtI までの自動走行時間が長くなっても、RtI に対するステアリング反応時間に影響を与えたとはいえない。

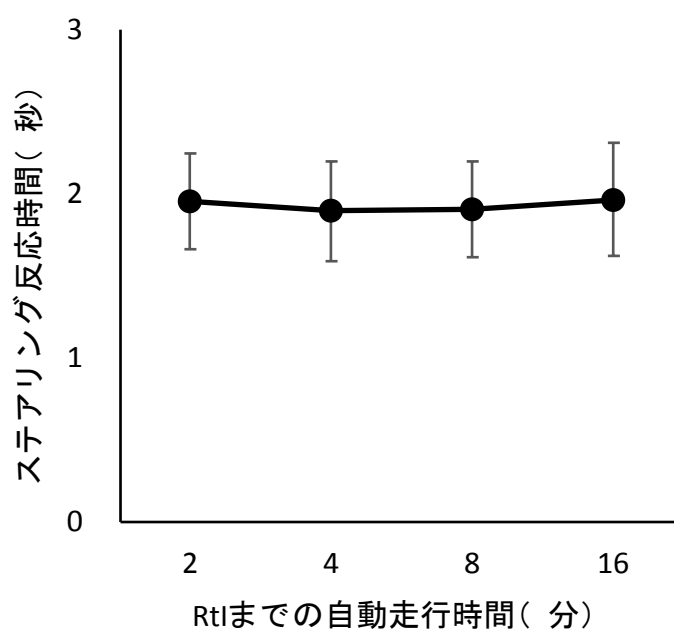


図 4-27 RtI からステアリングを右に 1° 以上操作するまでの時間。
エラーバーは標準偏差。

2. 車線変更時の停止車両までの TTC

実験走行の各実験条件における、車線変更時（自車中心が車線境界線を越えた時点）の停止車両までの TTC について、40 名の平均値を図 4-28 に示す。対応のある 1 要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果は認められなかった（ $F(3, 117) = 1.08, p > .36$ ）。以上より、 RtI までの自動走行時間が長くなっても、停止車両に対する TTC、すなわち車線変更の完了時間に影響を与えたとはいえない。

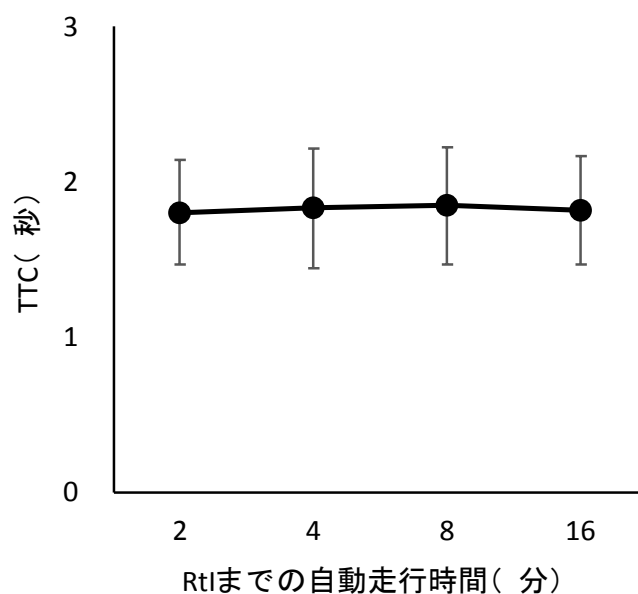


図 4-28 車線変更時の停止車両までの TTC。エラーバーは標準偏差。

3. 車線変更時のステアリング操作のばらつき

実験走行の各実験条件における、車線変更時（自車中心が車線境界線を越えた時点）から1秒間のステアリング操作のばらつき（標準偏差の1秒間の平均）について、40名の平均値を図4-29に示す。対応のある1要因分散分析の結果、実験条件要因の有意な主効果は認められなかった($F(3, 117) = 1.05$, $p > .37$)。以上より、RtIまでの自動走行時間が長くなっても、RtI後の車線変更時のステアリング操作の安定性に影響を与えない。

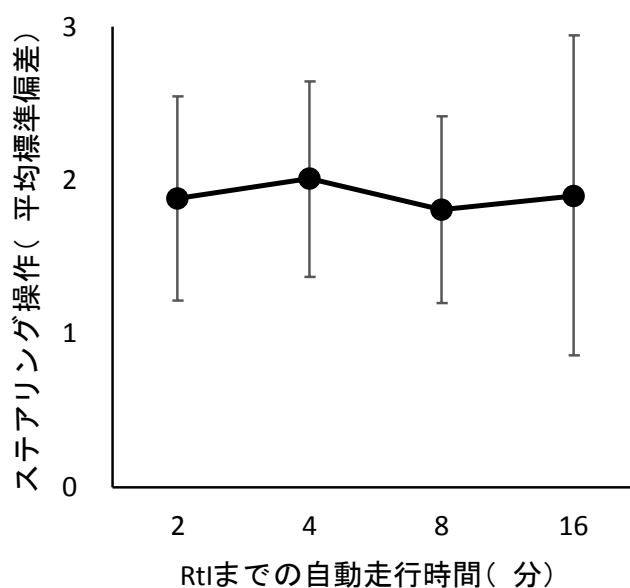


図 4-29 車線変更時のステアリング操作のばらつき。エラーバーは標準偏差。

考察

自動走行時間－眠気－Readiness レベルの三者の関係性を明らかにすることを目的としたドライビングシミュレータ実験を行った。実験の結果、自動走行時間が2分、4分、8分、16分と長くなるにつれて、主観的および客観的な眠気が増加することが認められた。一方、RtIに対する運転行動については、自動走行時間による影響は認められなかった。したがって、自動走行時間が16分以内であれば、走行時間に応じて眠気は増加するが、Readiness レベルの低下をもたらすとは限らないことが明らかとなった。ただし、平成29年度のReadinessレベル維持・回復を目的とした冷風・振動HMIの効果を検証したドライビングシミュレータ実験では、30分間の自動走行(HMIなし)の方が、3分間の自動走行(HMIなし)よりも、主観的・客観的眠気が増加したと同時にRtIに対するステアリング反応時間が遅延した。このことから、自動走行時間が16分から30分まで延長した場合に、Readinessレベルの低下

が生じやすくなる可能性が考えられる。

本実験では、主観的および客観的な眠気の増加と RtI に対する運転行動成績の悪化、すなわち Readiness レベルの低下は一致しなかった。この傾向は、実験 1 と実験 2 でも認められた。実験 1 では、HMI なし（アニメなし）条件と HMI なし（アニメあり）条件は、HMI あり条件よりも主観的な眠気の増加量が多く、客観的な眠気指標である瞬目持続時間も長かったが、RtI 後のステアリング反応時間、停止車両までの TTC、ステアリング安定性のいずれの指標でも条件間の差が認められなかった。同様に、実験 2 でも、HMI なし条件は統制走行 2 よりも主観的な眠気の増加量が大きかったが、RtI に対する運転行動指標では差が認められなかった。さらに、平成 29 年度の手動運転挿入 HMI の効果を検証したドライビングシミュレータ実験でも、30 分間の自動走行（HMI なし）後の方が 3 分間の自動走行（HMI なし）後よりも主観的・客観的な眠気が増加したが、各運転行動指標は同程度だった。ただし、このことから直ちに眠気と Readiness レベルは関係ないと結論づけることはできない。眠気の増加が Readiness レベルの低下と対応していることを示唆した実験もある。先に述べたように、平成 29 年度に実施したドライビングシミュレータ実験では、30 分間の自動走行によって RtI に対する反応時間の遅延傾向が認められたため、眠気増大と Readiness 低下の関係性が示された。したがって、眠気と Readiness レベルは単純な関係ではなく、眠気が Readiness レベルに影響するかどうかは、眠気の強さ、自動走行の環境、ドライバーの特性、RtI に対する運転行動の複雑さなど、様々な要因が関与していると考えられる。

まとめると、自動走行時間が 2 分から 16 分と長くなるにつれて、ドライバーの眠気が増加することが示された。一方、16 分以内の自動走行であれば、眠気の増加が Readiness レベルの低下に直結するとは限らない可能性も示された。ただし、別の実験からは、約 30 分間の自動走行で Readiness レベルが低下することも報告されている。したがって、自動走行時間が 16 分以上継続する場合は、ドライバーの Readiness レベルの低下に特に留意する必要があると考えられる。

4.5.4. 補足（予備実験）

補足情報として、単純化された実験室環境における基盤的研究の結果を報告する。これらの実験は、シミュレータ/テストコース実験を実施する際の実験パラメータの決定、操作要因の探索、基礎的知見の確認のための予備実験として開始された。しかし、プロジェクト終了後の社会実装に向けた研究開発に用いる基盤データとしても重要であると考えられたため、シミュレータ/テストコース実験が開始された後もデータの蓄積を継続し、一部の成果を報告することとした。

実験では疲労・眠気状態と単純運転行動の対応関係を明らかにするため、実験室環境におけるペダル踏み課題を実施した。個人内で疲労および眠気状態にばらつきのあるデータを収集するため、実験は2ブロックに分割し、その間の120分は他の心理物理実験を実施した。またペダル踏み課題中の眼球関連指標を高精度アイトラッカーで検出し、疲労・眠気状態およびペダル踏み反応時間と眼球関連指標の対応関係も検討された。

【方法】

実験参加者

健常な色覚と視力（矯正視力含む）を有する38名（男性25名、女性13名、平均21.76歳；20–26歳）が実験に参加した。実験は産業技術総合研究所人間工学実験委員会の承認を経て行われ、全ての参加者は倫理的配慮事項についての説明を受けた後、これに同意し、同意書に署名した。

装置と刺激

実験はパーソナルコンピュータ（Apple, MacBookPro13,3）上で動作するMatlab（Mathworks）及びPsychtoolbox-3（Brainard, 1997; Kleiner, Brainard, Pelli, Ingling, & Broussard, 2007; Pelli, 1997）で制御され、実験参加者の反応はステアリング型ゲームコントローラ（Logitech, Driving Force G29）のペダルボックスを介して取得された。

視覚刺激は液晶モニター（Asus, ROG SWIFT PG258Q）に提示された。画面はディスプレイ色較正装置（X-rite, Color Munki Photo）により白色をD65光源相当（ $x = 0.31271$, $y = 0.32902$; CIE1931色空間上での値）かつ最大輝度100cd/m²に較正された。実験参加者の頭部は顎台で固定され、観察距離57cmが保たれた。視覚刺激として、長さが視角1度、幅が視角6分の線分からなる十字図形が用いられた。線分部の輝度は40.19cd/m²、刺激が提示された画面背景の輝度は21.40cd/m²であった。実験は暗室で行われ、外乱光の影響は

統制された。

眼球関連指標の計測には、非接触型アイトラッカー (SR Research, EyeLink 1000 Plus) が用いられ、その動作はパーソナルコンピュータ (Dell, OPTIPLEX XE2) で制御された。実験制御用コンピュータとは Ethernet 接続され、Eyelink toolbox (Cornelissen, Peters, & Palmer, 2002) を用いて刺激の提示・消失及び反応取得タイミングと同期した眼球関連指標が記録された。データ取得頻度は毎秒 2000 回で、画面上での注視位置座標と瞳孔径が記録された。実験前にキャリブレーションが行われ、実験参加者ごとに計測パラメータが設定された。アイトラッカーから取得されたデータは計測終了後にオフラインで解析された。

主観的疲労の評定には、自覚症しらべ (Kubo et al., 2008) が用いられた。主観的眠気の評定には日本語版カロリンスカ眠気尺度 (Åkerstedt & Gillberg, 1990; Kaida et al., 2006) が用いられた。

手続き

実験課題としてペダル踏み課題を実施した。実験参加者は画面上に提示された視覚刺激 (十字) が消失するまで注視し続け、消失を確認したらできるだけ早く足元のペダルを踏み込むよう求められた。注視点が画面に提示されてからペダル踏みシグナル (刺激消失) が生じるまでの間隔は、試行毎に 20-40 秒の範囲でランダムに決定された。反応前の足位置を統制するため、実験参加者は右足をペダル上に載せた状態でペダル踏みシグナルを待つように求められた。また、もし見切り反応 (シグナルが提示される前にペダルを踏んでしまうこと) が検出された場合には、その瞬間からシグナル提示までの間隔を再度決定し直した上で、課題が再開された。

実験は、各ブロック 30 試行の計 2 ブロックで構成された。ブロック間は約 120 分の間隔が空けられ、実験参加者はその間に別の心理物理計測実験に参加した。各ブロックの開始前には、質問紙尺度により主観的眠気状態と疲労状態が計測された。

【結果】

主観的疲労・眠気状態

各参加者における自覚症しらべ 25 項目の合計得点を主観的疲労得点として算出した。各ブロック実施前の平均主観的疲労得点を図 4-30A に示す。対応のある t 検定より、後半ブロック開始前の方が、前半ブロック開始前に比べて、主観的疲労が高かったことが示された、 $t(37) = -17.447, p < .001, 95\%$

CI for mean difference [-22.591 -12.304], Cohen's $d = -1.115$ 。

各ブロック実施前の平均主観的眠気得点を図 4-30B に示す。対応のある t 検定より、後半ブロック開始前の方が、前半ブロック開始前に比べて、主観的疲労が高い傾向があったことが示された、 $t(37) = -1.951$, $p = .059$, 95% CI for mean difference [-1.610 0.031], Cohen's $d = -0.316$ 。

ペダル踏み反応

2000 ミリ秒より遅い反応をペダル信号の見落としとして別に集計し、反応時間の分析対象からは除外した。

各ブロックでの平均ペダル反応時間を図 4-30C に示す。対応のある t 検定より、ブロック間でペダル反応時間の差はみられなかった、 $t(38) = -0.039$, $p = .969$, 95% CI for mean difference [-29.99 28.88], Cohen's $d = -0.006$ 。

各ブロックでの平均見落とし率を図 4-30D に示す。対応のある t 検定より、ブロック間で見落とし反応の差はみられなかった、 $t(38) = 0.090$, $p = .929$, 95% CI for mean difference [-0.038 0.041], Cohen's $d = 0.015$ 。

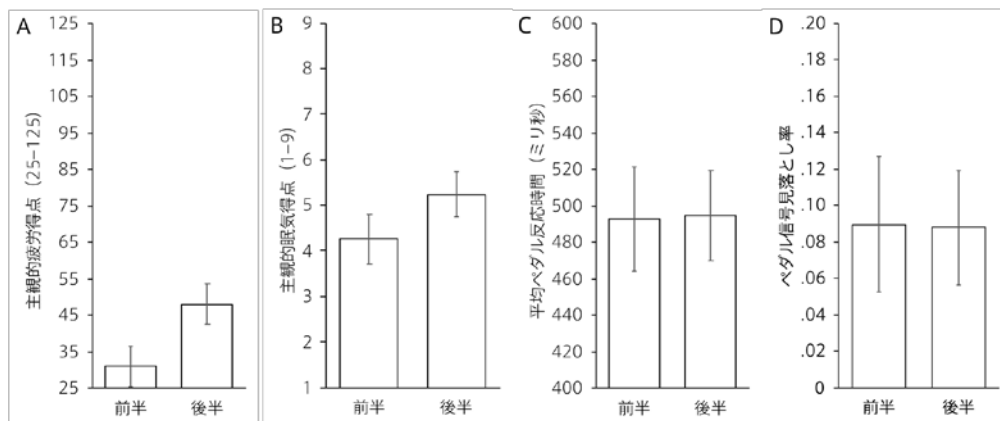


図 4-30 各ブロックにおける (A) 主観的疲労得点、(B) 主観的眠気得点、(C) ペダル反応時間および (D) ペダル信号見落とし率。エラーバーは 95% 信頼区間。

眼球関連指標

注視位置が視角 ± 5 度以上移動した区間を課題非関連なサッカードと判定し、その 1 分あたりの頻度を算出した。対応のある t 検定より、課題非関連サッカード頻度はブロック間で違いは見られなかった、 $t(38) = -1.032$, $p = .066$, 95% CI for mean difference = [-1.321 0.045], Cohen's $d = -0.311$ 。瞳孔が 3 フレーム以上検出されなかった区間を瞬目と判定し、その頻度と持続時間を算出した。対応のある t 検定より、瞬目頻度はブロック間で違いは見られなかった、 $t(38) = 0.270$, $p = .789$, 95% CI for mean difference = [-3.028

3.957], Cohen's $d = 0.044$ 。瞬目持続時間も同様にブロック間で違いは見られなかった, $t(38) = -0.820, p = .418, 95\% CI \text{ for mean difference} = [-233.079, 98.908]$, Cohen's $d = -0.135$ 。瞳孔径も同様の分析の結果、ブロック間で違いは見られなかった, $t(38) = 0.772, p = .445, 95\% CI \text{ for mean difference} = [-95.531, 212.878]$, Cohen's $d = 0.127$ 。各ブロックにおける眼球関連指標の平均値を図 4-31 に示す。

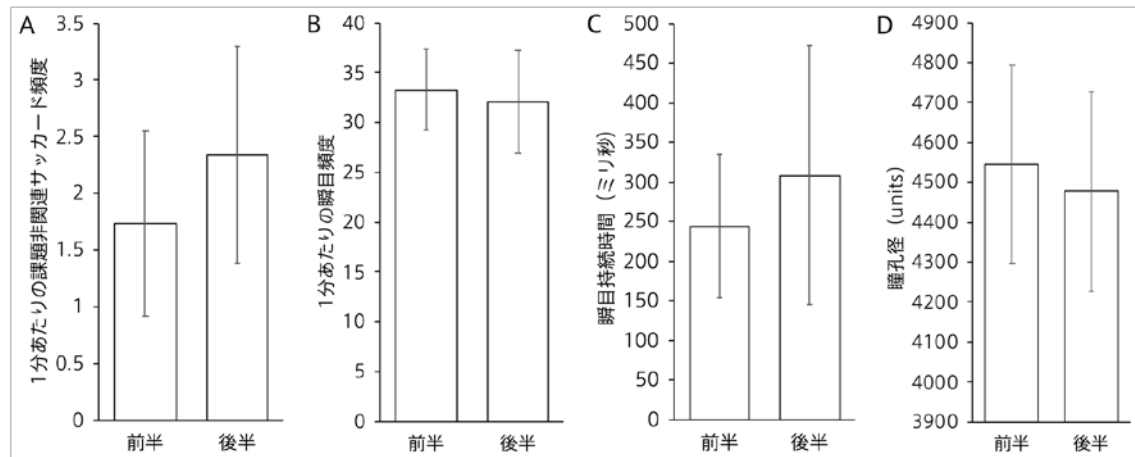


図 4-31 各ブロックにおける眼球関連指標。

(A) 瞳孔径、(B) 課題非関連サッカーカード頻度、(C) 瞬目頻度、(D) 瞬目持続時間、(E) 閉眼率、(F) 逸視率。エラーバーは 95% 信頼区間。

ペダル踏み反応と眼球関連指標の関連

まず各個人内でペダル踏み反応時間および眼球関連指標を標準得点化し、眼球関連指標の欠損があった試行を除く全参加者全試行データ ($N = 2199/2280$) を用いてペダル踏み反応と眼球関連指標の相関係数を算出した。結果より、サッカーカード頻度はペダル反応時間との間に正の相関が認められた, $r = .066, p = .005, 95\% CI = [.020, .111]$ 。瞬目頻度はペダル反応時間との間に正の相関が認められた, $r = .145, p < .001, 95\% CI = [.100, .189]$ 。瞬目持続時間はペダル反応時間との間に正の相関が認められた, $r = .129, p < .001, 95\% CI = [.084, .173]$ 。瞳孔径はペダル反応時間との間に有意な相関は認められなかった, $r = -.032, p = .169, 95\% CI = [-.077, .014]$ 。

表 4-1 ペダル反応時間と眼球関連指標の相関

	相関係数 r	有意確率	95% 信頼区間	
			下限	上限
サッカー頻度	.066	.005	.020	.111
瞬目頻度	.145	<.001	.100	.189
瞬目持続時間	.129	<.001	.084	.173
瞳孔径	-.032	.169	-.077	.014

【考察】

本研究の目的は、主観的疲労・眠気と眼球関連指標および運転行動の関係を明らかにすることであった。そこで、実験室における単純ペダル踏み反応課題遂行中の眼球関連指標を計測し、ペダル踏み反応時間との対応を検討した。ペダル反応時間と眼球関連指標を、参加者ごとに全試行の計測値を標準化し、これらの相関関係を分析した結果、課題非関連サッカー頻度、瞬目頻度、瞬目持続時間とペダル反応時間の間に有意な正の相関が見られた。この結果は、疲労状態を眼球関連指標から計測できる可能性を示唆する結果であり、本プロジェクトの眼球関連指標を用いた **Readiness** 評価の有用性を示すものであった。一方で、ペダル反応時間は疲労・眠気状態と必ずしも対応しないことも示された。まず前半ブロックと後半ブロックで反応時間に差は見られなかった。これらの結果より、眠気・疲労状態は運転行動と単純に対応するわけではないことが示唆される。さらに、眼球関連指標とペダル反応時間の相関関係は有意ではあったものの、その係数は極めて低いものであった。本プロジェクトでは眼球関連指標の有用性の徹底的検証という立場を取り、その可能性を探求してきたが、今後これを発展させ社会実装を目指す場合には、運転行動データや他の生体反応などを複合的に利用し、**Readiness** 推定精度を向上させることも有益であると考えられる。

4.6. ドライバーモニタリングシステム(DMS)の実現性検討

4.6.1. 眼球指標検出の仕様

2017年までの報告において、Readinessについて以下の仮説が立てられた。

- ・“覚醒”“脇見”“意識の脇見”により定義できる
- ・心拍数、体温、体重移動等の指標の中で、眼球指標が有効である
- ・“覚醒”は“PERCLOS”、“意識の脇見”は“サッカード”と“瞬き回数”、“脇見”は“視線”と“サッカード”とそれぞれ相関がある

これらから、必要な眼球指標を検出し Readiness を推定する DMS の実現性について検討を進めた。

DMS にて検出する眼球指標と検出仕様について表 4-2 の様に設定し、この仕様をベースに検討を進めた。

表 4-2 眼球指標の検出仕様

眼球指標	検出仕様
瞬き回数 (直近 2 分間)	瞬き：開瞼度 20%以下、持続時間 70～500ms、間隔 500ms 以上 開瞼度：目の開き度合(%)=上瞼・下瞼間距離 / 虹彩の直径
PERCLOS (直近 1 分間)	直近 1 分間の目瞑りの時間の割合 目瞑り：開瞼度 20%以下、持続時間 500ms 以上
視線 (直近 1 分間)	視線持続時間：フロントガラス、サブディスプレイにおける 1 回あたりの視線持続時間(秒) 視線割合：フロントガラス、サブディスプレイの目視時間比率(%)
サッカード小大 回数 (直近 2 分間)	サッカード(小)：速度 60～300 度 / 秒、振幅 5～8 度 サッカード(大)：速度 60～300 度 / 秒、振幅 16～32 度

4.6.2. DMS の検討

DMS の検討においては、まずは Readiness の仮説検証に必要な性能を確保し、その後普及させやすい廉価仕様での性能評価を行った。

本活動で試作した DMS は、Readiness の仮説検証に必要な眼球指標に加え、仮説補填の可能性のある他の複数の眼球指標をも検知可能とした。この DMS では眼球指標検出及び Readiness 推論の仕様変更容易化のため、「ドライバー顔画像撮影用カメラ(以降、DMS カメラ)」と「顔画像より眼球指標を抽出するアルゴリズム(以降 DMS アプリ)」とに分離した。尚、DMS カメラの制御

及び撮影画像の保存は DMS PC にて行った。

試作した DMS カメラを図 4-32 に示す。DMS カメラは赤外波長の感度を有し、FHD(1920×1080)、撮影速度(120fps)の仕様とした。

外殻はアルミ筐体で構成され、樹脂製のフロントパネル内側にカメラ及び撮影画像の明るさを調整する近赤外光 LED を搭載している。



図 4-32 DMS カメラ外觀

DMSカメラは図 4-33に示す搭載要件を、「眼球指標の検知範囲内である」「走行の支障となる死角を作りにくい」「車両改造が小規模で対応可能」を考慮して設定した。

以上の DMS カメラを公道実験及びテストコース実験で搭載し、性能評価と改善を進めた。

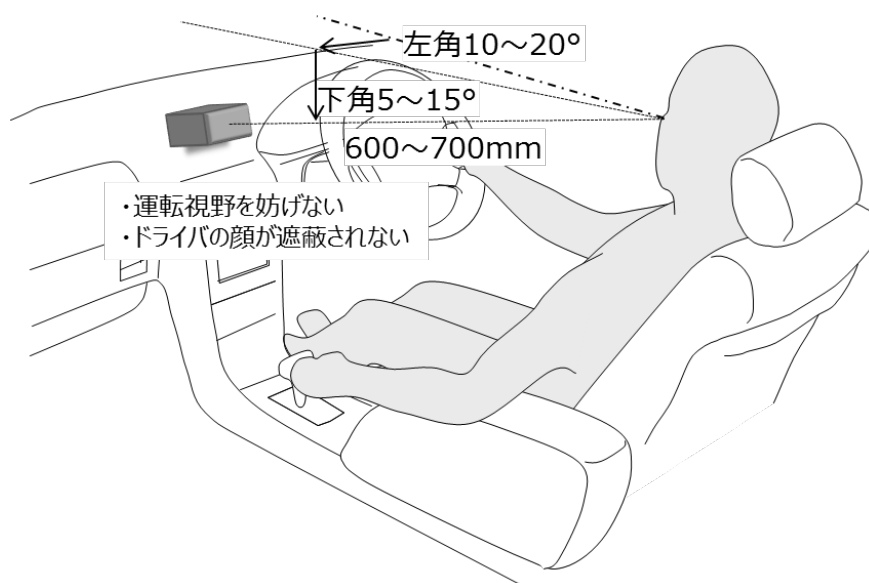


図 4-33 搭載要件

4.6.3. 試作した DMS の性能

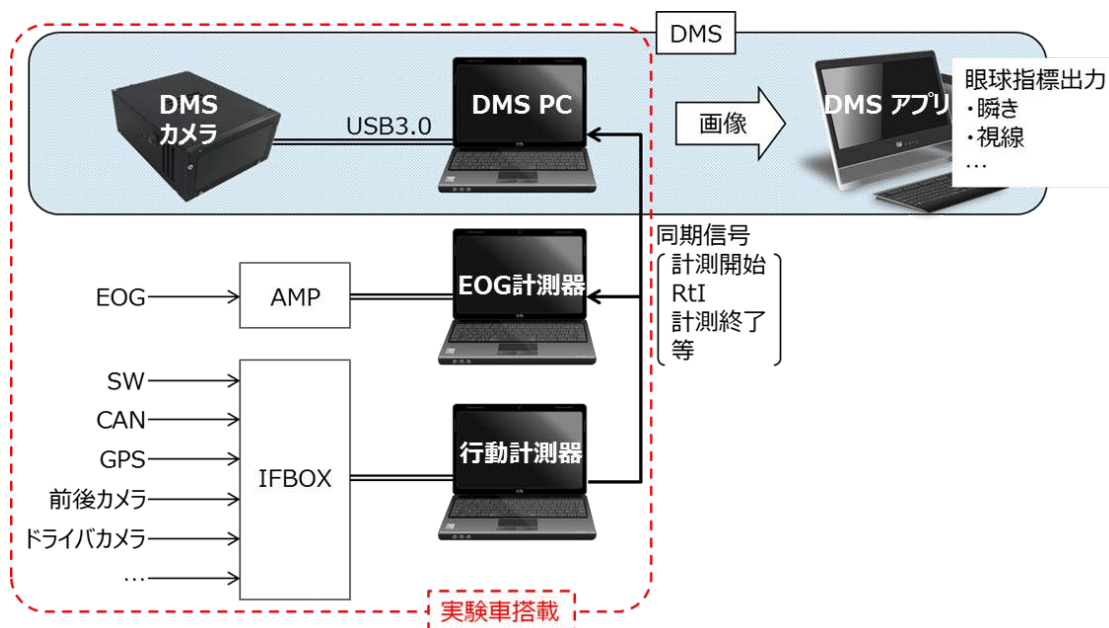


図 4-34 実験装置俯瞰

実験に使用した計測システムは、図 4-34 のように DMS、行動計測器、EOG 計測器で構成される。

DMS カメラによるドライバー顔画像撮像は、実験開始時、RtI、アンケート実施タイミング、実験終了時にて、行動計測器から出力されるトリガ信号に基づきパフォーマンスと EOG と同期させた。これにより RtI 直前数分間等のドライバー顔画像から眼球指標を検出した。

上記活動により SIP 期間中に達成した DMS の眼球指標の検出性能を表 4-3 に示す。

表 4-3 検出性能

検出眼球指標	性能
瞬き回数	瞬き発生タイミング検出性能で評価 F 値：0.85
PERCLOS	平均誤差：0.62%
視線割合	フロントガラス、サブディスプレイ目視検出性能で評価 フロントガラス F 値：0.90 サブディスプレイ F 値：0.92
サッカード	サッカード振幅毎の発生タイミング検出性能で評価 大(16-32°) F 値：0.77 中(8-16°) F 値：0.71 小(5-8°) F 値：0.55

本表に示す様に、視線、瞬き、中以上のサッカードの検出性能は F 値で 0.7 を超えている。また、PERCLOS の検出値の平均誤差は 0.6% 程度となっている。

ここで、性能評価はより技術的に明確化するため以下のように行った。

- ・直近 2 分間の瞬き及びサッカード回数は、瞬きやサッカード自体の発生の検出性能で評価
- ・直近 1 分間の視線時間・割合は、フロントガラス及びサブディスプレイの的中率で評価

尚、瞬き検出性能評価には、2017 年度テストコース実験(n=20:5 人×4 条件)、2018 年度テストコース実験(n=23:12 人×2 条件、但し搭載異常を除く)、2018 年度公道実験(n=4:4 人)のデータを用い、性能は未検出と誤検出の調和平均 F 値で記述した。ここに示す条件とは、2017 年度テストコース実験では、ドライバーにかせるサブタスクであり、自動運転+タスク無、自動運転+SuRT、自動運転+Nback、手動運転である。2018 年度テストコース実験では、1 実験内の切り出し区間であり、実験開始後 1-3 分、TOR 直前 2 分間である。

PERCLOS 検出性能評価には、無作為に選定した 2017 年度テストコース実験(n=6)、2018 年度テストコース実験(n=13)、2018 年度公道実験(n=4)のデータを用い、1 分毎の眼を閉じている時間の割合であるため誤差の平均値で記述した。

視線検出性能評価には、2018 年度テストコース実験(n=34:全員)、2018 年度公道実験(n=40:全員)のデータを用い、F 値で記述した。

サッカード検出性能評価には、2017 年度テストコース実験(n=69:全員×4 条件)、2018 年度テストコース実験(n=9:9 人分)、2018 年度公道実験(n=4:4 人)のデータを用い、F 値で記述した。

4.6.4. DMS と EOG の比較

一連の DMS の性能の評価は、同時計測した EOG と比較検証することで行った。EOG を同時計測していない場合にはドライバー顔画像に基づく正解データと比較検証することで行った。

DMS と EOG とを比較した例として、図 4-35 から図 4-38 に瞬き回数とサッカード回数の計測値のデータを示す。本計測値は、2017 年度テストコースでの SuRT 実験データである。

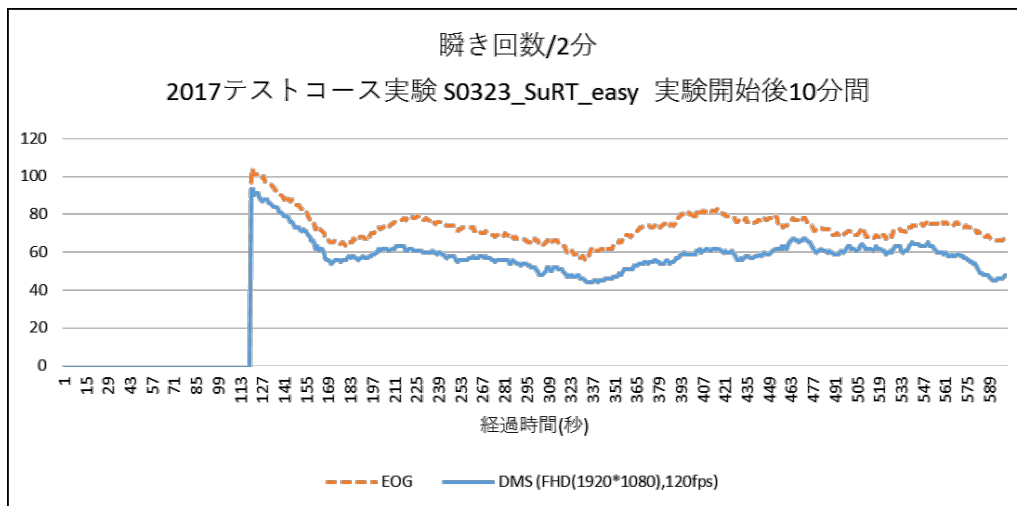


図 4-35 瞬き回数の比較

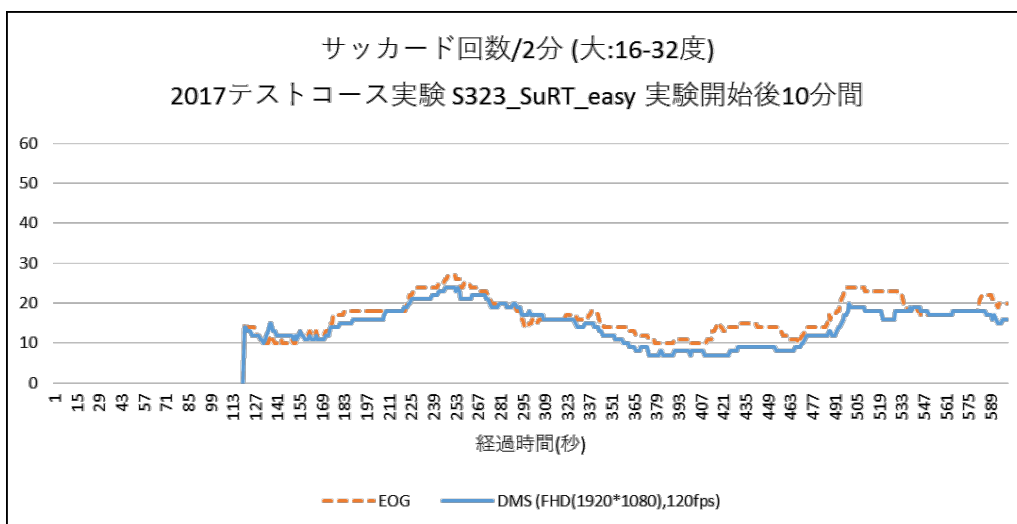


図 4-36 サッカード(大)の発生回数の比較

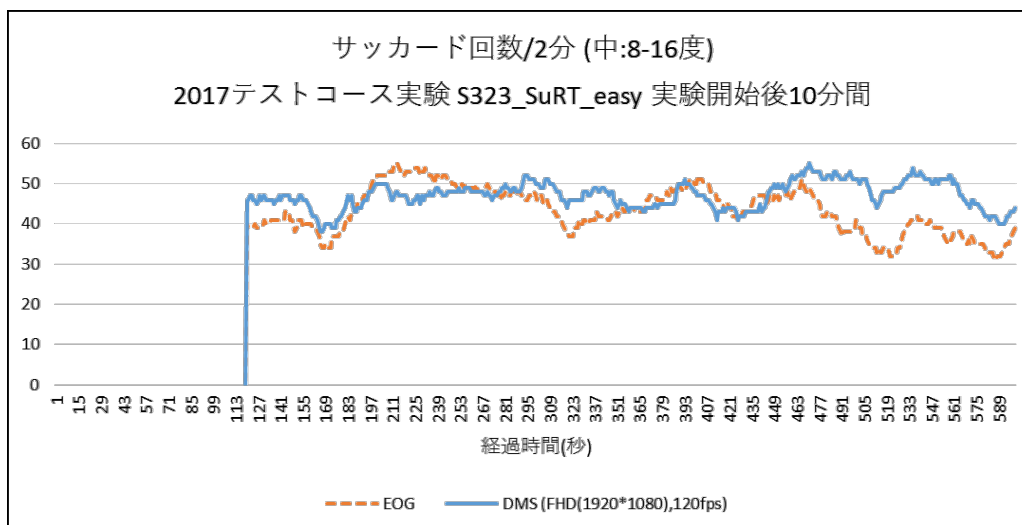


図 4-37 サッカード(中)の発生回数の比較

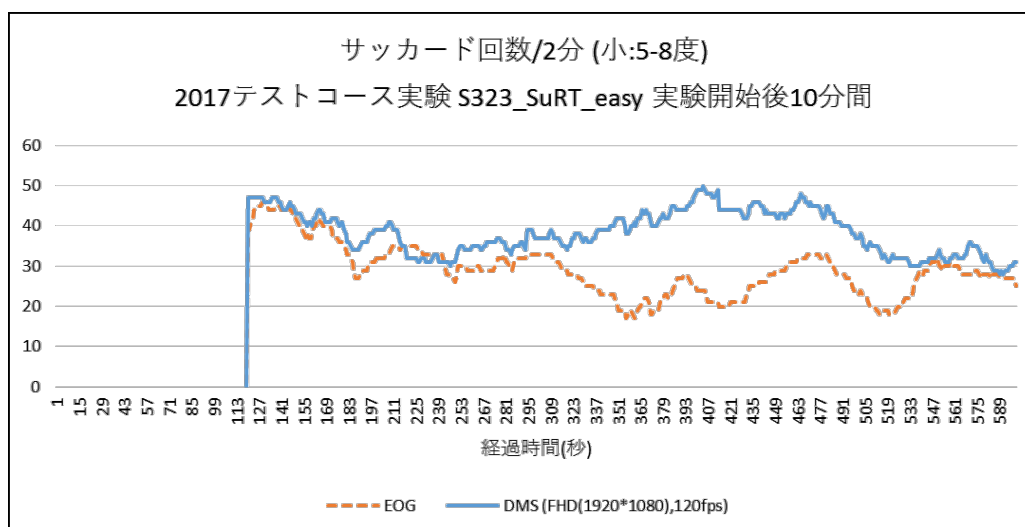


図 4-38 サッカード(小)の発生回数の比較

これらの比較データが示す様に、サッカード(小)を除けば DMS 出力値は EOG と検出傾向が一致しており、基本性能を確保できたと考えられる。

但し、サッカード(小)の検出値は、295 秒時点から EOG と傾向が異なっている。これは顔向きや目の細さに起因していることを確認している。

尚、今回の実験において表 4-4 に示す要因が検出性能に影響を与えていることを確認した。

表 4-4 性能に影響を与える要因

検出性能低下要因	影響
外乱光	白トビ、影、眼鏡反射等による顔器官点ズレ
遮蔽	ステアリング、手、眼鏡、前髪、睫毛による顔器官点ズレ
個人差	眼の開け方(完全に閉じない等)、眼の細さ、顔の向け方による検出異常
搭載位置オフセット	正面からの上下左右での検出性能偏り
体の動き	サッカード検出等に関する器官点座標ズレ

4.6.5. 廉価仕様での性能見込み

高分解能(FHD)、高速撮影(120fps)の高性能カメラは、一部課題を残すものの Readiness 推定に使用できると考えられる。

しかし、Readiness 関連技術を市場に浸透させるためには、DMS を廉価な仕様(低分解能や低撮影速度)で実現することが望ましい。

そこで、取得済みのドライバー顔画像を用い、解像度(FHD、HD、VGA)、撮影速度(120fps、60fps、30fps)の組み合わせによる性能比較を行った。

本シミュレーションには、2017年度と2018年度の走行実験のうち EOG またはドライバー顔画像による正解データを作成したデータを使用した。

それぞれ瞬き、PERCLOS、視線、サッカードの性能評価は前述と同様のものを使用した。

図 4-39 に、瞬きが発生したタイミングの検出性能を示す。

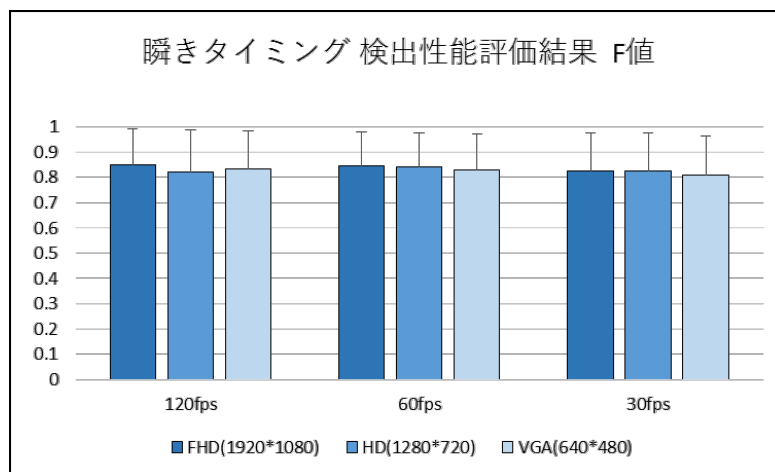


図 4-39 瞬き検知性能比較

本シミュレーション結果から、瞬きの検出性能は変化が小さく低解像度化や低撮影速度化の影響は小さいと考えられる。

図 4-40 に、PERCLOS 検出性能を示す。

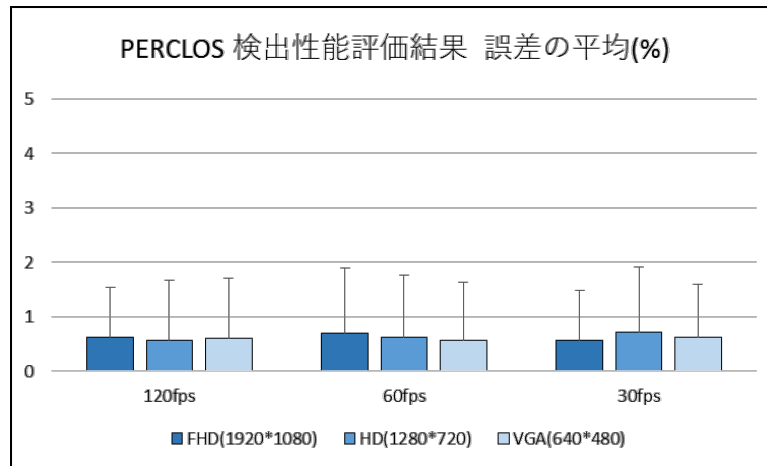


図 4-40 RECLOS 検出性能の誤差比較

本シミュレーション結果から、低解像度化や低撮影速度化の影響は小さいと考えられる。

図 4-41、図 4-42 にそれぞれ、フロントガラスまたはサブディスプレイを目視対象とした視線検出性能を示す。

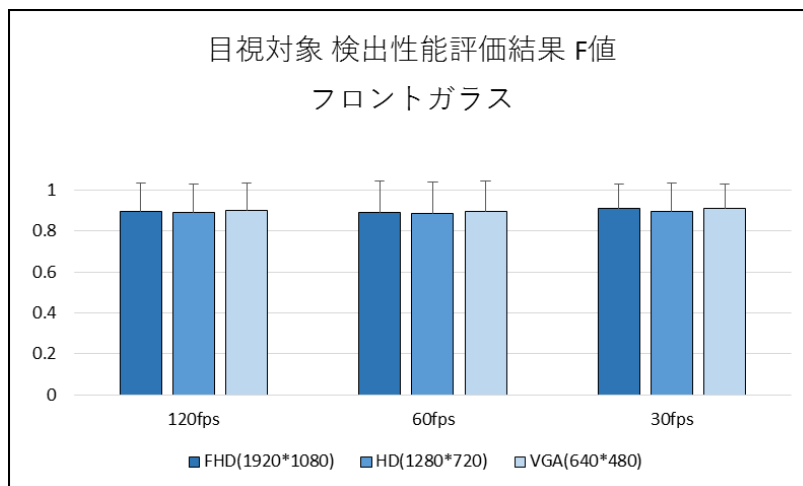


図 4-41 フロントガラス目視検出性能比較

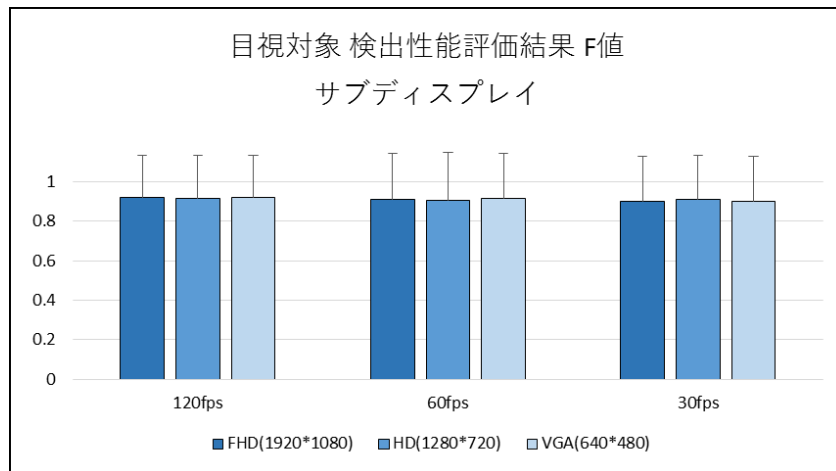


図 4-42 サブディスプレイ目視検出性能比較

本シミュレーション結果から、視線検出性能については低解像度化及び低撮影速度化の影響は小さいと考えられる。

図 4-43、図 4-44、図 4-45 にそれぞれ、サッカード(大)、サッカード(中)、サッカード(小)が発生したタイミングの検出性能を示す。

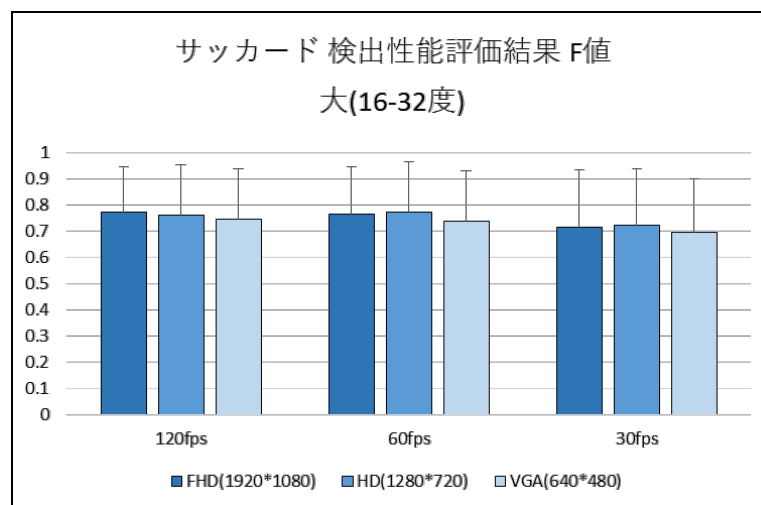


図 4-43 サッカード(大)検出性能比較

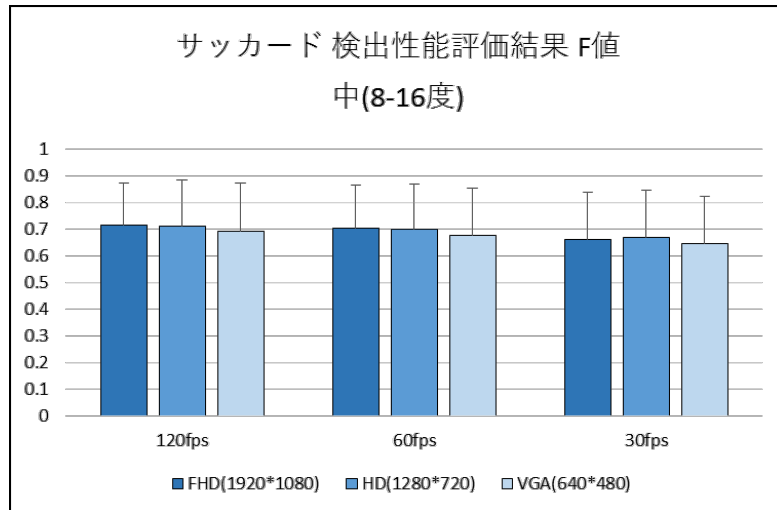


図 4-44 サッカード(中)検出性能比較

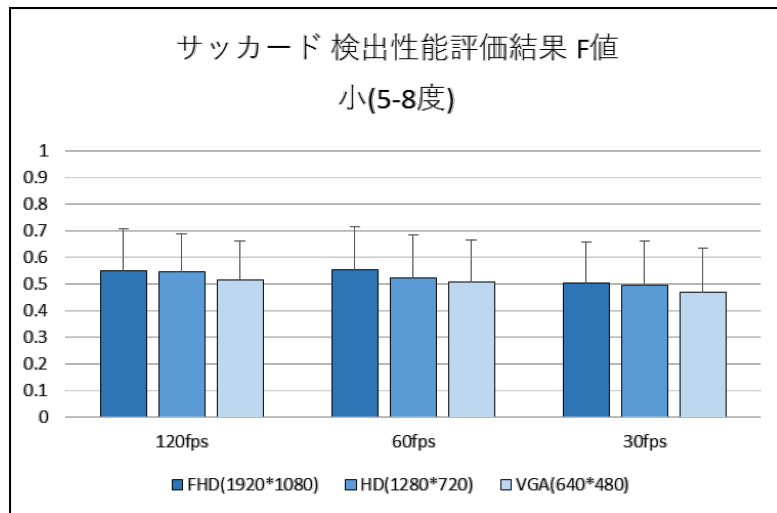


図 4-45 サッカード(小)検出性能比較

本シミュレーション結果から、サッカード検出性能は低解像度化及び低撮影速度化の影響により低下しており、解像度より撮影速度の影響が大きいと考えられる。

つまり、低解像度化や低撮影速度化の、瞬き、PERCLOS、目視対象の検出性能への影響は軽微であるが、サッカードの検出性能への影響は無視できないと考えられる。

但し、現時点において、VGA、30fps での最適化ができていないことに注意する必要がある。

4.6.6. 今後の課題

市販化においては、使用する眼球指標によっては直ぐにでも実現可能である。しかし、検出性能は車両の安全システムの思想やコンセプトを考慮した最適な目標設定 及び 前述の表 4-4 の課題対策及び低解像度、低撮影速度での最適化を進める必要があると考えられる。

4.7. Readiness 推定方法の考え方例

4.7.1. Readiness レベルの推定方法の考え方

これまで収集した実験データを活用して、Readiness 推定方法の考え方の一例を示す。これまでのデータより、自動運転中のドライバー状態と運転交代後の運転行動は図 4-46 のようにまとめられる。

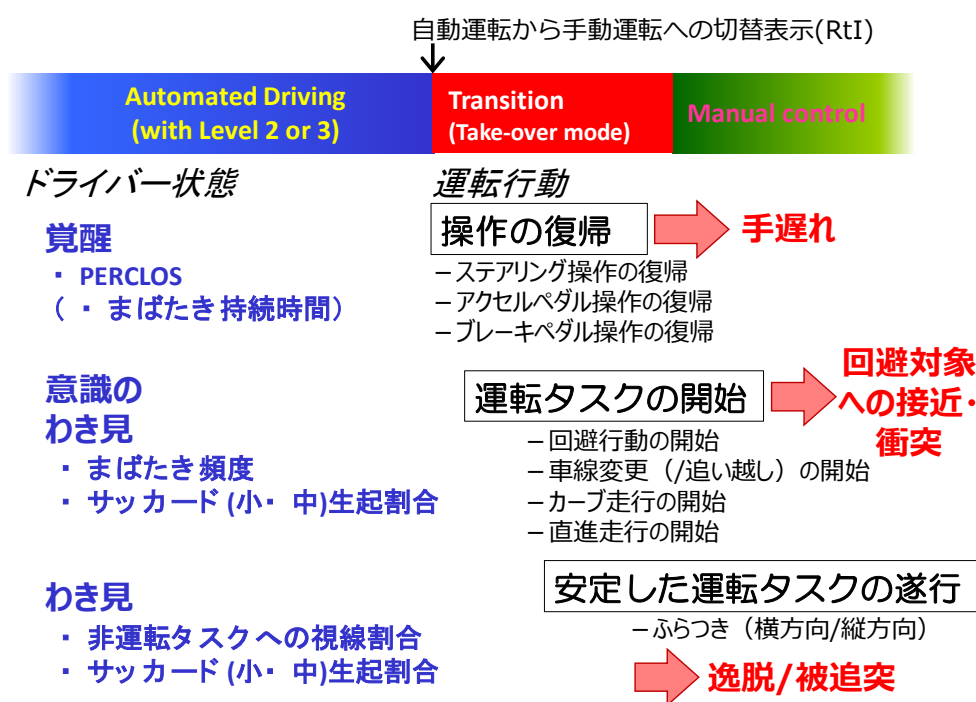


図 4-46 自動運転中のドライバー状態と RtI 後の運転行動

意識のわき見を例にとると、これまでのドライビングシミュレータ実験にて収集した実験データから、自動運転中のドライバーのまばたき回数およびサッカード小の発生割合と運転交代後の停止車両との余裕時間に関係性が見られ、運転交代後の停止車両との余裕時間に対する自動運転中のまばたき回数とサッカード小の発生割合による影響度合いは、停止車両との余裕時間を目的変数とし、まばたき回数とサッカード小の発生割合を説明変数とした重回帰式により推定することが可能である。この重回帰式を用いることにより、

サッカー小の発生割合とまばたき回数から、停止車両との余裕時間を図4-47に示す両者の関係図より推定することが可能と考えられる。

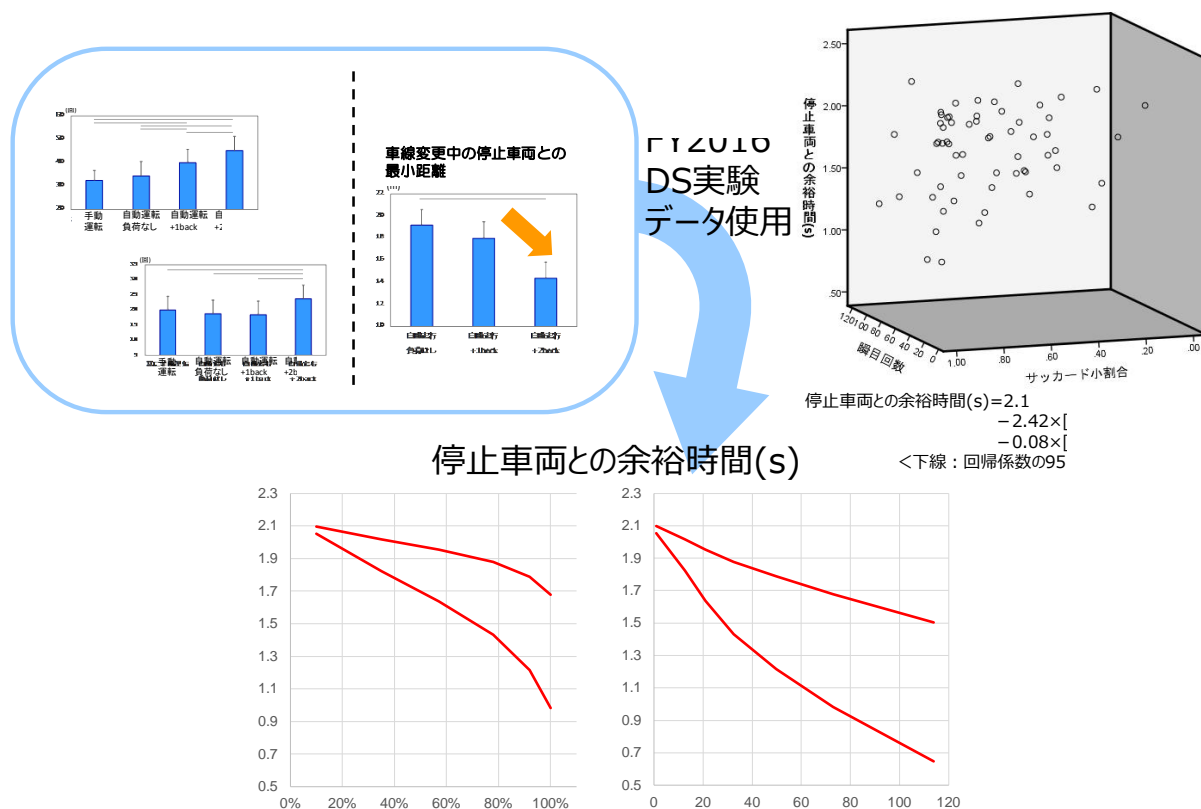


図 4-47 意識のわき見におけるドライバーReadiness 推定方法の一例

同様の方法にて、覚醒度の低下については、“Perclos”と“手動運転切り替え後、車線変更を開始するまでの時間”、わき見については、“サッカー小の発生割合とディスプレイへの視線割合”と“回避後のステアリング操作のばらつき”の関係図を作成することができる。これらの関係図を用いることによって、自動走行中のPerclos、サッカー小の発生割合、まばたき頻度、ディスプレイへの視線割合をモニタリングし、関係図から運転交代後の運転パフォーマンスにおける影響度合いを推定することができ、推定結果に応じて、運転交代前に警告を提示したり、場合によっては緊急停止したり、という介入方法を選択・実行できると考えられる（図4-48）。

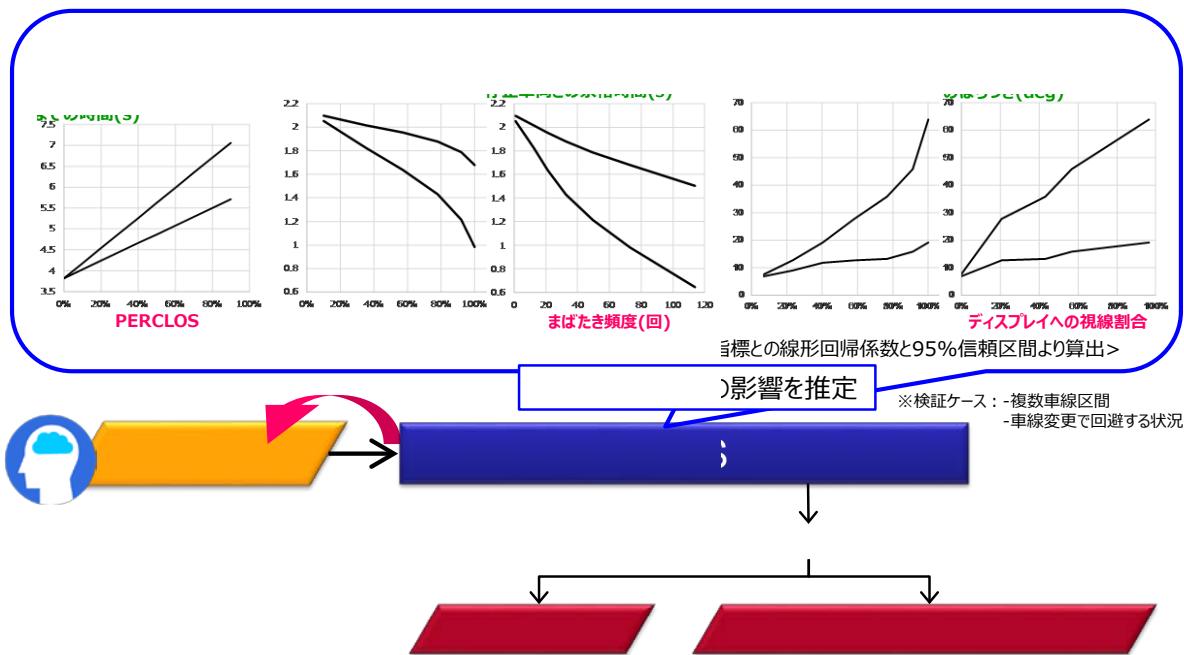


図 4-48 Readiness 指標の推定に基づく使い方の一例

4.7.2. 試作した DMS による Readiness レベル推定精度の検討

試作 DMS（詳細は 4.5. 「ドライバーモニタリングシステム(DMS)の実現性検討」を参照）で計測した眼球運動データに基づき、Readiness レベルの推定精度を評価した。周辺状況の確認や監視頻度を反映していると考えられる「大サッカード回数（19～26°）」、意識の脇見の頻度や程度を反映していると考えられる「中サッカード回数（12～19°）」、脇見の頻度を反映していると考えられる「フロントガラス視認率（%）」の各眼球運動指標について、RtI 直前 2 分間のデータを利用した。また、30 分間の自動走行後に発生する RtI へのステアリング反応時間を Readiness レベルの指標とした。

被験者 36 名全員のデータを分析に用いた。RtI に対する平均ステアリング反応時間は 1.52 秒だった(図 4-14：HMI なし条件)。RtI 直前 2 分間の大サッカード回数と中サッカード回数の平均はそれぞれ 3.5 回と 12.4 回だった。またフロントガラス視認率の平均は 73.4% だった。これらの眼球運動データに基づいた、ステアリング反応時間の予測式は以下の通りだった。

$$\begin{aligned} \text{ステアリング反応時間の予測値 (秒)} = & (-0.0752 \times \text{大サッカード回数}) + \\ & (0.0188 \times \text{中サッカード回数}) + (-0.0025 \times \text{フロントガラス視認率 (\%)}) \\ & + 1.7350 \end{aligned}$$

各被験者のステアリング反応時間の実測値と予測値のプロットを図 4-49 に示す。ステアリング反応時間の予測値と実測値の相関係数は 0.47、説明率は 0.22 であり、Readiness レベルに対して比較的高い推定精度が得られたと考えられる。なお、本分析に用いたデータには、睡眠などで閉眼している状態のデータやカメラ設置等で映像が正しく撮影できていないデータ等も一部含まれている。これらの不適切なデータを除いた場合、Readiness レベルの推定精度がさらに向上する可能性がある。

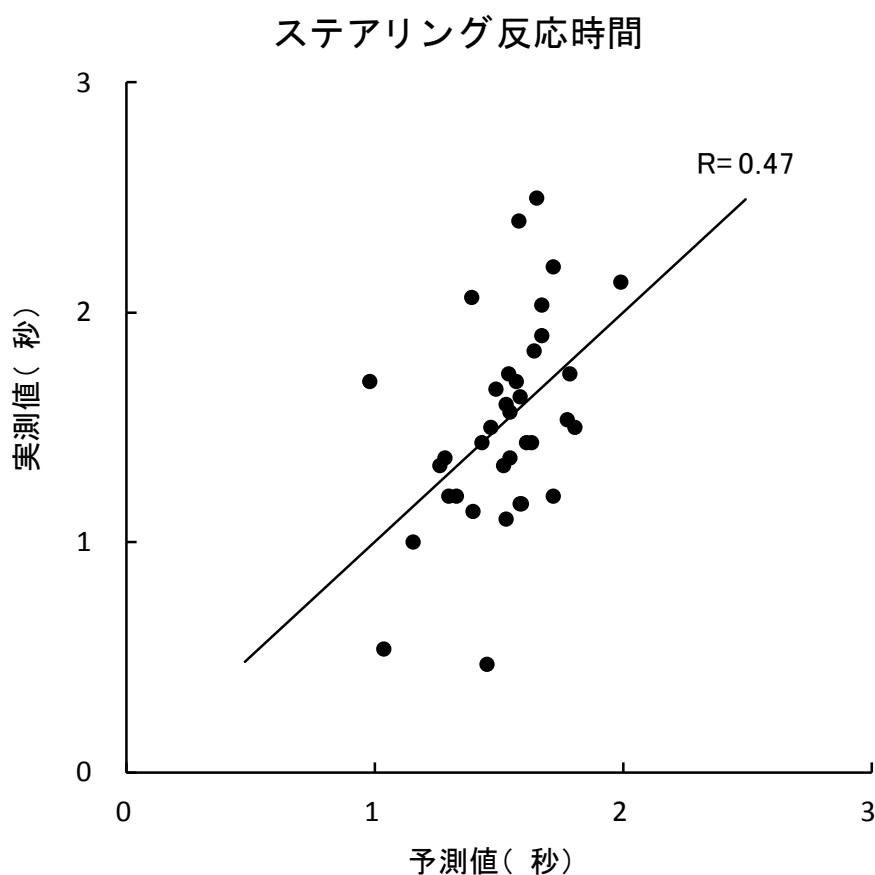


図 4-49 ステアリング反応時間の実測値と予測値

4.8. 課題 B の平成 30 年度のまとめ

自動走行システム使用中におけるドライバーの状態（意識のわき見：前を見ているけど運転以外のことを考えている状態、わき見：車内を見ている状態、覚醒度低下：眠くなっている状態）の評価方法、ならびに、自動走行中にドライバーの覚醒度を低下させない Human Machine Interface (HMI) の基本要件の検討を行った。

(1)ドライバー状態の評価方法

公道（主に東名自動車道路と新東名自動車道路）にて、自動運転機能を有する市販の車両をベースに、走行映像や車速、車間距離、ハンドル・ペダルの操作量等の各種運転データを収集できる計測装置を搭載した実験車両を用いて走行実験を行った。実験には一般のドライバーが参加した。平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討と平成 29 年度の実験にて、自動走行中の 3 種類のドライバー状態を評価可能な指標を明らかにした。これらの指標を使ったドライバーモニタリングシステム（DMS）のプロトタイプを開発し、公道での走行実験にて DMS によるドライバー状態の測定を行い、リアルワールドで自動運転中のドライバー状態を評価可能であることを明らかにした。

(2)ドライバーの覚醒度を低下させない HMI の基本要件

自動走行中に“持続的な刺激”と手動運転への切り替え前に“瞬間的な刺激”を提示する HMI を開発し、テストコースにて、自動走行中のドライバーの覚醒度維持に対する効果を検討した。さらに、運転や自動走行中の非運転課題に積極的に関与する HMI を検討し、ドライビングシミュレータ実験にてその効果を検討した。

ドライバー本人に対するアンケートの回答や(1)で解明した評価指標の結果より、覚醒度を維持することに効果のある HMI 要件と効果の見られない HMI 要件を明らかにした。

4.9. 課題 B の平成 30 年度の Recommendation（成果の活用）

○ドライバー状態として、“意識のわき見”、わき見”、“覚醒度の低下”をそれぞれモニタリングすることが望ましい

○自動運転中のドライバー覚醒度を低下させないために、持続的な刺激と瞬間的な刺激の両方の提示が望ましい

4.10. 課題 B 参考文献

- Caffier, P. P., Erdmann, U., & Ullsperger, P. (2003). Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure. *European Journal of Applied Physiology*, *89*, 319-325.
- Goldstein, J., Cajko, L., Oosterbroek, M., Michielsen, M., Van Houten, O., & Salverda, F. (1997). Video Games and the elderly. *Social Behavior and Personality: an international journal*, *25*, 345-352.
- Ingre, M., Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: Examining individual differences. *Journal of Sleep Research*, *15*, 47-53.
- Kaida, K., Takahashi, M., Akerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., et al. (2006). Validation of the karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology*, *117*, 1574-1581.
- Neubauer, C., Matthews, G., & Saxby, D. (2014). Fatigue in the Automated Vehicle: Do Games and Conversation Distract or Energize the Driver? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *58*, 2053-2057.
- Schmidt, J., Braunagel, C., Stolzmann, W., & Karrer-Gauß, K. (2016, 19-22 June 2016). *Driver drowsiness and behavior detection in prolonged conditionally automated drives*. Paper presented at the 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV).
- Takeda, Y., & Kimura, M. (2014). The auditory N1 amplitude for task-irrelevant probes reflects visual interest. *International Journal of Psychophysiology*, *94*, 35-41.
- Takeda, Y., Sato, T., Kimura, K., Komine, H., Akamatsu, M., & Sato, J. (2016). Electrophysiological evaluation of attention in drivers and passengers: Toward an understanding of drivers' attentional state in autonomous vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *42, Part 1*, 140-150.
- Tucker, A. J., & Johns, M. W. (2005). The duration of eyelid movements during blinks: Changes with drowsiness. *Sleep*, *28*.
- Wu, Y., Kihara, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., & Kitazaki, S. (2019). Effects of scheduled manual driving on drowsiness and response to take over request: A simulator study towards understanding drivers in automated driving. *Accident Analysis and Prevention*, *124*, 202-209.
-
-

-
-
- 北島洋樹, 沼田仲穂, 山本恵一, & 五井美搏. (1997). 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究 : 第 1 報, 眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について. *日本機械学会論文集 C 編*, 63, 3059-3066.
- 本間亮平. (2016). ドライバ特性に基づく運転支援システムの評価と支援方策. Unpublished 早稲田大学審査位論文, 早稲田大学.
- 本間亮平, 若杉貴志, & 小高賢二. (2016). 高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討－自動運転時の覚醒度低下や運転以外の作業と権限委譲時のドライバ対応行動－. *自動車技術会論文集*, 47, 537-542.
- Åkerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. *International Journal of Neuroscience*, 52, 29–37.
- Brainard, D. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10, 443–446.
- Cornelissen, F. W., Peters, E. M., & Palmer, J. (2002). The Eyelink Toolbox: Eye tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34, 613–617.
- Kleiner, M. B., Brainard, D. H., Pelli, D. G., Ingling, A., & Broussard, C. (2007). What's new in Psychtoolbox-3. *Perception*, 36, 1–16.
- Kubo, T., Tachi, N., Takeyama, H., Ebara, T., Inoue, T., Takanishi, T., et al. (2008). Characteristic patterns of fatigue feelings on four simulated consecutive night shifts by “Jikaku-sho shirabe.” *Journal of Occupational Health*, 50, 133–144.
- Pelli, D.G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics : transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437–442.
-
-

5. 課題 C の調査検討

5.1. はじめに

課題 C では、自動走行中の自動運転車と周囲の歩行者やドライバーなど他の交通参加者との間の適切なコミュニケーションを図るために必要となる自動運転車側からの意図や状態の伝達方法、ならびに適切なコミュニケーションを実現するための設計要件や推奨事項などを検討するものである。平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討においては、定点観測調査や車両同乗調査、Web 調査を通じて、進路譲り等が行われている交通場を対象として、現状において車両ドライバー間ならびに車両ドライバー・歩行者間で行われているコミュニケーションの特徴や譲り意図の認識に関する手掛かり等について分析し、さらにこれらを通じて抽出された結果に基づいて、接近する車両の速度や減速度などの車両挙動を実験因子に設定し、車両挙動からの譲り意図の有無に対する歩行者の判断や認識に関する特徴を抽出した。さらに平成 29 年度からは、歩行者や非優先側ドライバーに対して自動運転車の意図や状態を伝達するための外向け HMI を実際に試作・実装して、自動運転車からの意図や状態の表明に対する歩行者や非優先側ドライバーの認識や判断、行動等の意思決定のタイミング、心理面への影響などを試験走路実験や Web 調査を分析した。その結果、自動運転車から他の交通参加者へのコミュニケーション、特に譲り意図の伝達においては、自動運転車の減速挙動が重要な要素となること、車両挙動に加えて外向け HMI の実装は他の交通参加者側の安全性や安心感の向上、周囲交通の円滑化に寄与することが確認された。また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を分析・評価する上で、安全、安心、円滑の 3 つの要素が評価軸となることが抽出された。その一方で、外向け HMI を介して表示される自動運転車の意図や状態の種類によって、他の交通参加者の判断にばらつきが生じ、誤った判断を誘発してしまう可能性や、歩行者の周囲確認の行動が変容する可能性などが示唆された。平成 30 年度の取り組みにおいては、システム実用化ワーキングならびに自動車製造業者との意見交換に基づいて、自動運転車の車両挙動が他の交通参加者側の認識や判断の手掛かりとなりづらい、一般道での低速走行時を対象とした。低速走行時の自動運転車から他の交通参加者への意図や状態を伝達するためのコミュニケーションに関する要件、外向け HMI を実装して伝達する際の設計要件や推奨項目、留意点などを抽出するために、試験走路実験、一般道実験、シミュレータ実験(仮想現実(VR)技術に基づいた、ヘッドマウントディスプレイ(HMD))

実験、ドライビングシミュレータ（DS）実験を実施した。また外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態の伝達に対する交通参加者の認識について、実験参加者の属性や地域性の影響などについても検討した。さらに外向け HMI を介した自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションを分析・評価するための方法論についても検討した。

5.2. 課題 C の平成 30 年度の計画

試験走路実験、一般道実験、バーチャルリアリティ（VR）実験、ドライビングシミュレータ（DS）実験、Web 調査を通じて、低速走行する自動運転車と周囲の交通参加者とのコミュニケーションに関する基本的知見を抽出するとともに、自動運転車から意図や状態を他の交通参加者に伝達するためのコミュニケーションとして外向け HMI を実装する際の基本要件や推奨項目、留意事項等を導出する。また外向け HMI を利用して自動運転車が他の交通参加者とのコミュニケーションを図る際の負の影響についても検討する。平成 30 年度における計画は、図 5-1 に示す通りである。

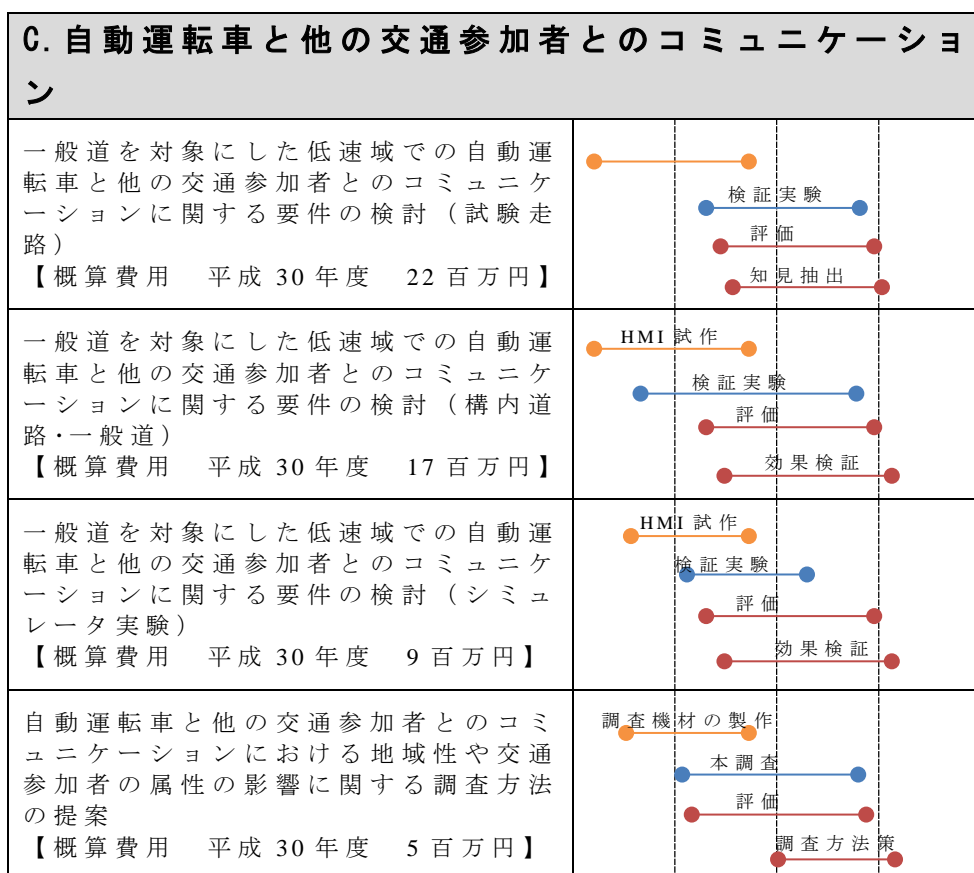


図 5-1 課題 C の平成 30 年度の計画

5.3. 課題 C の平成 30 年度の具体的な目的と方法

- i) 一般道を対象にした低速域での自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションに関する要件の検討（試験走路実験）

一般道において低速域で走行する自動運転車と他の交通参加者（歩行者や非優先側車両ドライバー）との間で、車両挙動が手掛かりとなりづらい交通場面でのコミュニケーションを対象として、自動運転車からの意図や状態の伝達に対する横断待ちの歩行者や発進待ちの手動運転車ドライバーの認識や意思決定、確認行動、心理面に与える影響などを計測し、低速域における自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションに関する要件を抽出する。試験走路等を利用して、低速域で走行する自動運転車が横断歩道脇で横断待ちの歩行者、単路部もしくは交差点部で進行待ちの非優先側車両のドライバーに接近する場面を再現する。自動運転車の意図や状態を文字メッセージあるいは灯火色・灯火パターンで表示可能な外向け HMI を実装し、他の交通参加者への進路譲りや自動運転車の走行の意図や状態等を想定した文字メッセージや灯火パターン等を設定する。横断歩道脇で横断待ちの歩行者役の被験者、非優先側車両のドライバー役となる被験者には、低速で接近してくる自動運転車の車両挙動や外向け HMI の表示内容等に基づいて、自動運転車からの進路譲りの認識やその後の意思決定、運転行動等について判断させる。被験者の安全を考慮して、横断行動や発進行動などを被験者には行わせない。

- ii) 一般道を対象にした低速域での自動運転車と他の交通参加者（歩行者・非優先側ドライバー）とのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）

一般道において低速域で走行する自動運転車と他の交通参加者（歩行者や非優先側車両ドライバー）との間で、車両挙動が手掛かりとなりづらい交通場面のうち、自動運転車の周囲に複数の交通参加者が存在する交通場面での自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションを対象として、1 対多のコミュニケーション状況や負の効果などを考慮した上で、自動運転車からの意図や状態の伝達に対する横断待ちの歩行者や発進待ちの手動運転車ドライバーの認識や意思決定、確認行動、心理面に与える影響などを計測する。仮想環境下での実験であることから、被験者には仮想空間内において確認行動や横断行動、発進行動などを実際に行わせる。低速域における自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションに関する要件ならびにコミュニケーションによる負の効果などが生じる際の諸条件を抽出する。

HMD を利用した仮想環境あるいはドライビングシミュレータの実験環境

を利用して、低速域で走行する自動運転車が横断歩道脇で横断待ちの歩行者、交差点で進行待ちの非優先側車両のドライバーに接近する場面を再現する。自動運転車の意図や状態を文字メッセージあるいは灯火色・灯火パターンで表示可能な外向け HMI を実装し、他の交通参加者への進路譲りや自動運転車の走行の意図や状態等を想定した文字メッセージや灯火パターン等を設定する。横断歩道脇で横断待ちの歩行者役の被験者、非優先側車両のドライバー役となる被験者には、低速で接近してくる自動運転車の車両挙動や外向け HMI の表示内容等に基づいて、自動運転車からの進路譲りの認識やその後の意思決定、運転行動等について判断させ、HMD の仮想環境において横断行動やドライビングシミュレータの実験環境において車両発進等を実環境と同様な行動を行わせる。

iii) 一般道を対象にした低速域での自動運転車と他の交通参加者（歩行者・非優先側ドライバー）とのコミュニケーションに関する要件の検討

自動運転車もしくは自動走行であることを表示する実験車両を構内道路あるいは一般道路にて低速状態で走行させて、横断待ちの歩行者に遭遇する状況を観測し、自動運転車であることを表示する低速走行の車両に対する歩行者行動の特徴や心理面への影響を計測・評価する。

一般道路を対象に走行経路あるいは観測地点を設定し、実験車両が低速域で走行する場面を対象として、低速走行状態の実験車両が横断歩道脇で横断待ちの歩行者に接近する場面における実験車両と他の交通参加者とのコミュニケーションを観測する。

iv) 自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションにおける地域性や交通参加者の属性の影響に関する調査方法の提案（HMD 実験・Web 調査）

H29 年度の Web 調査に基づき、英国 Leeds 大学にて同様な Web 調査を実施し、H29 年度で実施した車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションを通じた交通参加者の認識について調査するとともに、Web 調査を利用した地域性や属性を考慮した調査方法の妥当性を確認し、調査方法として提案する。同様に H29 年度の実験に基づいて HMD を利用した仮想環境での実験を調査方法として考案し、車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションを通じた交通参加者の認識について慶應大学と英国 Leeds 大学で比較

調査する。調査結果に基づいて、自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションの地域性や属性の影響を抽出するための HMD による仮想環境を利用した調査方法を提案する。また上記と並行して、低速域での自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションの地域性や属性の影響を Web 調査にて抽出する。

5.4. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションの要件に関する試験走路実験

5.4.1. 実験目的

一般道において車両挙動が手掛かりとなりづらい低速域で走行する自動運転車と歩行者の間のコミュニケーション場を対象として、外向け HMI を利用した自動運転車からの意図や状態の伝達に対する横断待ちの歩行者の認識や意思決定、確認行動、心理面に与える影響などを計測し、低速域における自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件や推奨事項、留意点などを抽出する。

5.4.2. 実験環境および実験車両の構成

本実験では、国立研究開発法人産業技術総合研究所つくば北サイトの巡回実験場に片側一車線の単路を作成し、無信号横断歩道交差点環境を構築した(図 5-2 参照)。実験では、単路部にて無信号横断歩道に接近・進入する自動運転車と横断歩道脇で横断待ちしている歩行者とのコミュニケーション場を図 5-3 に示されるように再現した。

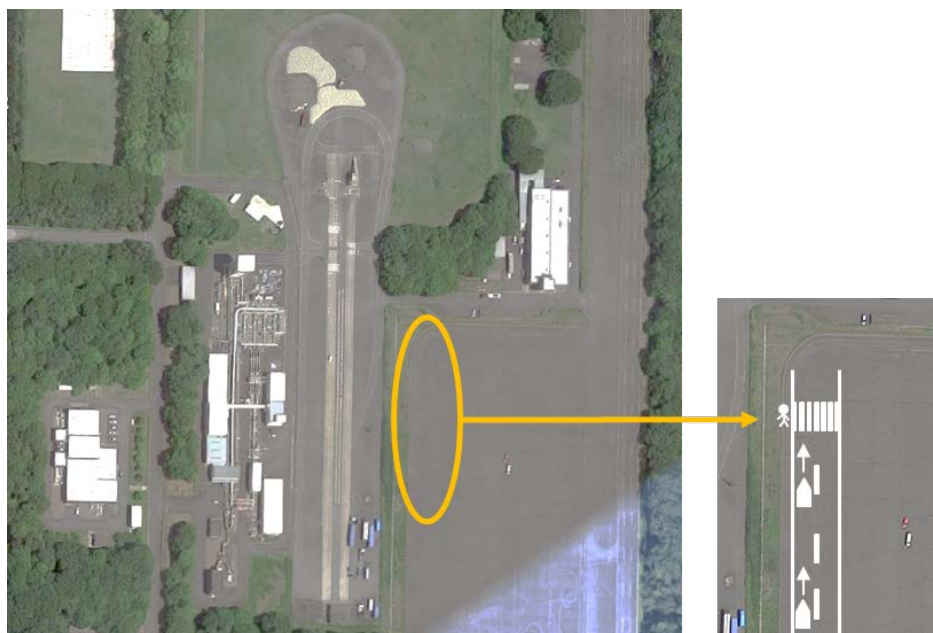


図 5-2 実験で使用了した巡回実験場の無信号横断歩道環境(Google マップより)



図 5-3 無信号横断歩道手前から自動運転車の進入方向を臨んだ実験環境

歩行者役となる被験者が図 5-4 に示されるような反応用スイッチを把持してスイッチ部を押下すると、その信号はリアルタイムで自動運転車役の実験車両に送信され、その押下タイミングが自動運転車役の実験車両側で記録された。自動運転車の接近・進入時に歩行者役となる被験者が誤って横断歩道を横断してしまうことへの安全対策として、実験中の被験者には安全ベルトを装着させ、安全ベルトを路肩ポール部に接続した。図 5-5 に示されるように、無信号横断歩道への自動運転車の接近・進入の状況や歩行者役の被験者の様子を映像データとして記録するために、無信号横断歩道の下流側に映像記録用ビデオカメラを設置した。

自動運転車役の直進車両として、速度や減速などの車両挙動を制御可能な仕組みと外向け HMI を実装した実験車両（図 5-6 参照）を製作し、本実験で利用した。また自動運転車の前方車両として一般車両（図 5-7 参照）を設置した。前方車には計測装置や記録装置などは特に搭載されなかった。



図 5-4 被験者が把持する反応用スイッチと安全ベルト



図 5-5 無信号横断歩道付近に設置した映像記録用カメラ



図 5-6 自動運転車役の実験車両と装備された外向け HMI
(赤枠：テキスト表示型、黄枠：灯火型)



図 5-7 自動運転車の前方車両役の実験車両

5.4.3. 外向け HMI のコンテンツ

(1) テキスト表示型外向け HMI

本実験では、テキスト表示型外向け HMI のコンテンツを表示させるために、図 5-8 に示される LED ディスプレイを実験車両のルーフ上に設置した。LED ディスプレイはルーフキャリアに固定され、そのディスプレイ上に表示されるコンテンツはその表示タイミングを含めて車内から制御可能であった。

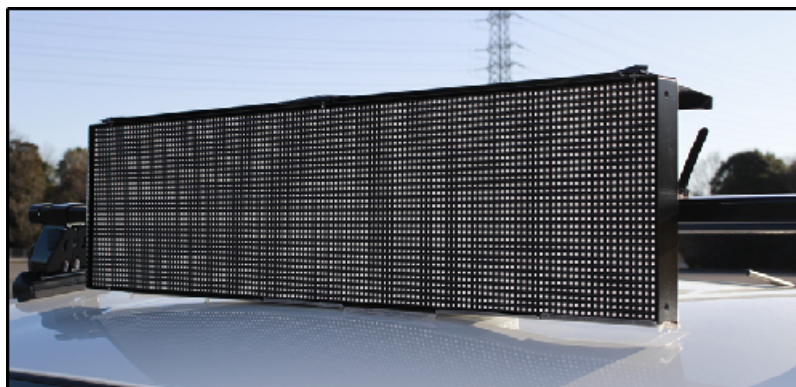


図 5-8 テキスト表示型外向け HMI の外観

(2) テキスト表示型外向け HMI のコンテンツ

テキスト表示型外向け HMI に設定したコンテンツを図 5-9 に示す。自動運転車から歩行者に伝達する意図や状態として、本実験では、自動運転車の意図や動作、状態に関するコンテンツを作成した。自動運転車から歩行者に進路を譲る意図を伝達するコンテンツとして「お先にどうぞ」を、自動運転車の動作を伝達するコンテンツとして「とまります」を、自動運転車の状態を伝達するコンテンツとして「自動運転中」を、また自動運転車がそのまま進行する意図を伝達するコンテンツとして「すすみます」をそれぞれ設定した。

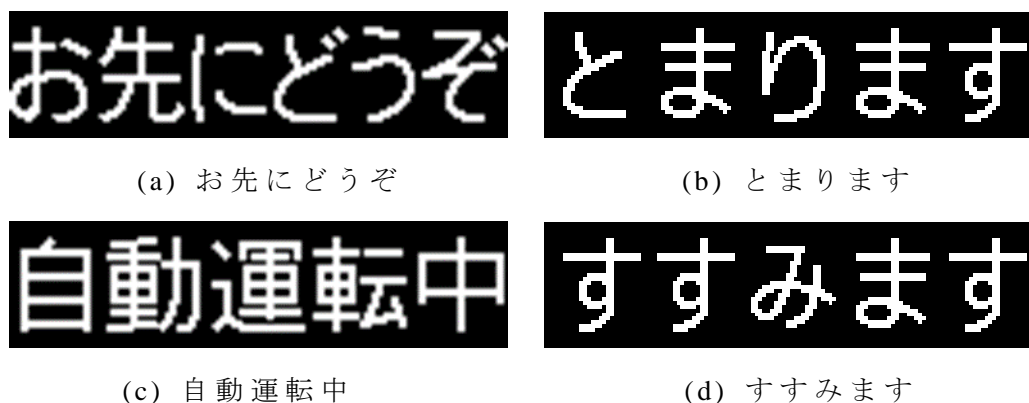


図 5-9 テキスト表示型外向け HMI のコンテンツ

(3)灯火型外向け HMI

図 5-10 および図 5-11 に示されるように、フロントガラス上部(車室内側)に LED アレイを設置して灯火型外向け HMI とした。テキスト型外向け HMI と同様に、灯火型外向け HMI はその LED アレイの点灯パターンやその点灯タイミングは車内からコンテンツの表示タイミングが制御可能であった。



図 5-10 灯火型外向き HMI の外観



図 5-11 LED アレイの設置位置

(4)灯火型外向け HMI のコンテンツ

灯火型外向け HMI に設定したコンテンツの概要を図 5-12 に示す。本実験では、灯火型外向け HMI のコンテンツとして時間経過とともに変化するコンテンツを 4 種類、時間の経過とともに変化しないコンテンツを 1 種類それぞれ設定した。

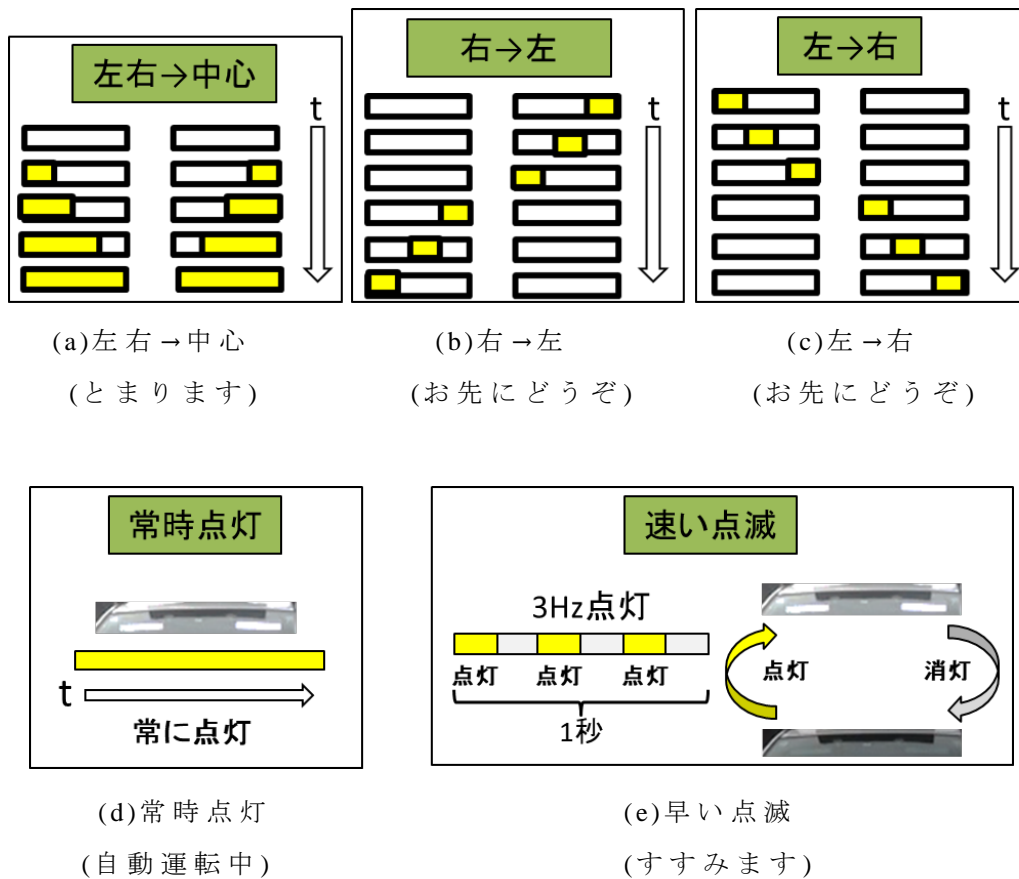


図 5-12 灯火型外向け HMI の各コンテンツの仕様

「左右→中心」はフロントガラス両端から中心に向かって LED が次々に点灯し、最終的にすべての LED が点灯するコンテンツであった。すべての LED が点灯した後は LED がすべての消灯し、再度フロントガラス両端から中心に向かって次々に LED が点灯するよう設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「とまります」に相当する停止動作の意味を設定した。

「右→左」は LED アレイの一部がブロック化されて点灯し、歩行者役の実験参加者から見てフロントガラス右側から左側に移動するコンテンツとして設定した。LED のブロック点灯が左端に到達後は、再度右端から左端にブロック点灯が移動するコンテンツとして設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「お先にどうぞ」に相当する譲りの意図の意味を設定した。「左→右」は「右→左」が逆方向に点灯するものとして設定した。

「早い点滅」は LED アレイの全領域が 3Hz で点灯・消灯を繰り返すコンテンツとして設定した。LED アレイの点灯と消灯の Duty 比は 50% に設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では

「すすみます」という進行動作の意味を設定した。

「常時点灯」は LED アレイの全領域の LED を常時点灯させておくコンテンツとして設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「自動運転中」に相当する状態の意味を設定した。

5.4.4. 被験者

実験に参加した被験者の属性等を表 5-1 示す。被験者は、運転免許を保有する非高齢者 18 名（21～48 歳、平均年齢 33.8 歳、標準偏差 9.5 歳）、運転免許を保有しない非高齢者 17 名（19～26 歳、平均年齢 21.5 歳、標準偏差 1.9 歳）、高齢者 17 名（65～75 歳、平均年齢 69.1 歳、標準偏差 3.7 歳）、学童 15 名（8～12 歳、平均年齢 9.9 歳、標準偏差 1.1 歳）の計 67 名であった。いずれの被験者も歩行や安全確認する上で十分な視力を有している者であった。

表 5-1 被験者の構成

	性別	人数	平均年齢	年齢範囲	標準偏差
高齢者 運転免許保有	男性	8 名	69.5	66-75	3.66
	女性	9 名	68.7	65-75	3.91
非高齢者 運転免許保有	男性	7 名	31.6	21-46	11.76
	女性	11 名	35.3	22-48	7.94
非高齢者 運転免許非保有	男性	9 名	21.9	20-26	2.26
	女性	8 名	21.1	19-23	1.36
学童	男性	8 名	9.9	8-11	0.99
	女性	7 名	9.9	8-12	1.35

5.4.5. 実験条件

平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討と平成 29 年度における課題 C の成果に基づいて、車両挙動と外向け HMI の組合せで構成される実験条件を設定した。

無信号横断歩道への自動運転車の接近・進入に対して無信号横断歩道での横断が可能どうかを歩行者役の被験者が判断する実験において表 5-2 に示される実験条件を設定した。自動運転車が無信号横断歩道に進入する際の車両挙動については減速挙動の有無に基づく 2 因子を設定し、また図 5-13 に示すように実験内容に応じて 4 つのブロックを設定した。

ブロックの 1 つ目には車両挙動と外向け HMI なしの組合せに関する条件、

ブロックの 2 つ目には車両挙動と灯火型外向け HMI の組合せに関する条件 (コンテンツの意味に関する事前教示を実施しない)、ブロックの 3 つ目には車両挙動とテキスト表示型外向け HMI の組合せに関する条件、ブロックの 4 つ目には車両挙動と灯火型外向け HMI (コンテンツの意味に関する事前教示を実施する) の組合せに関する条件をそれぞれ設定した。

自動運転車役の実験車両の車両挙動に関しては、図 5-14 に示すように、実験条件の種類に関わりなく、実験車両の発進後、歩行者の立ち位置から約 17m 手前の地点 (以後、17m 地点) まで 15km/h の速度一定で走行するよう設定した。17m 地点を通過後は、その後も 15km/h の速度一定で無信号横断歩道に接近・進入する条件 (通過挙動)、17m 地点から徐々に減速して歩行者の立ち位置から約 4.5m 手前付近で停止する条件 (停止挙動) の 2 種類を設定した。

外向け HMI のコンテンツに関しては、車両挙動の設定に関わりなく、基本的に 17m 地点付近で各コンテンツを表示させた。ただし「常時点灯」の条件では自動運転車役の実験車両の発進と同時に LED アレイを点灯させ、走行終了まで常時点灯させた。またテキスト表示型外向け HMI の「すすみます」のコンテンツや灯火型外向け HMI の「速い点滅」については、実験の実施過程において、被験者が外向け HMI のコンテンツを十分確認せずに何か表示されたら短絡的に反応するといった行動を回避することを目的として設定した。また「左→右」の条件は 2 つ目のブロックの実験のみに設定し、4 つ目のブロックの実験には設定しなかった。

自動運転車役の実験車両とその前方車両との車間距離は、15km/h の速度一定になるタイミングから自動運転車が減速を開始するまで約 15m の車間距離を確保した。

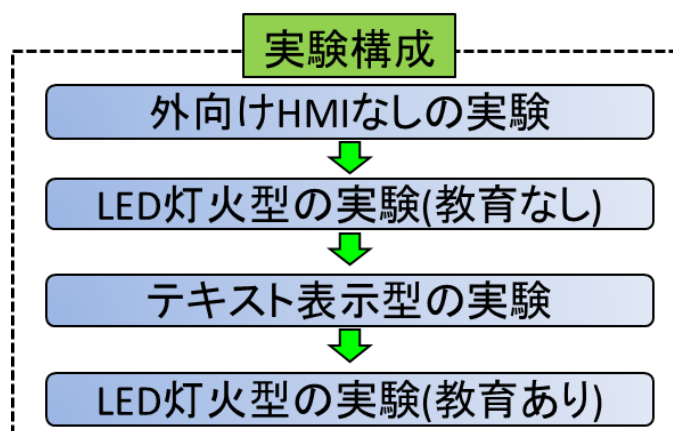


図 5-13 実験の概要(実験の順序)

表 5-2 実験条件の構成

実験内容	車両挙動	LED灯火型	テキスト型
練習条件	停止挙動		
	通過挙動		
外向けHMIなし条件 (自動運転車)	停止挙動		
	通過挙動		
LED灯火型 (教示なし)	通過挙動	速い点滅	
	停止挙動	常時点灯	
	停止挙動	左右→中心	
	停止挙動	右→左(歩行者から見て)	
	停止挙動	左→右(歩行者から見て)	
テキスト表示型	通過挙動		すすみます
	停止挙動		自動運転中(常時点灯)
	停止挙動		とまります
	停止挙動		お先にどうぞ
LED灯火型 (教示あり)	通過挙動	速い点滅「すすみます」	
	停止挙動	常時点灯「自動運転中」	
	停止挙動	左右→中心「とまります」	
	停止挙動	右→左(歩行者から見て)「お先にどうぞ」	

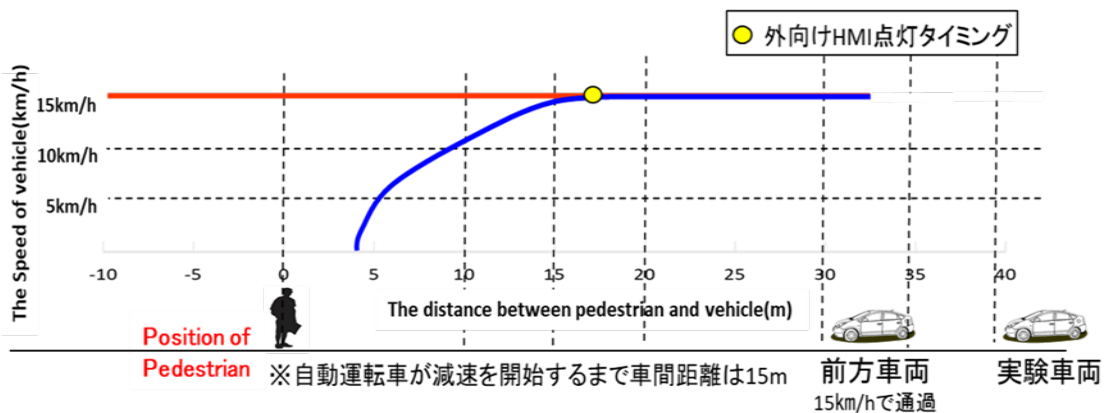


図 5-14 車両挙動と外向け HMI の点灯タイミング

5.4.6. 評価項目

各実験条件において、以下の項目を計測し評価した。

(1)横断可能かどうかの判断

各実験条件下において横断可能かどうかの判断ならびに横断可能と判断した際の判断タイミングを計測した。横断可能の判断有無ならびに横断可能と判断した際の判断タイミングは、被験者に把持させた反応スイッチの押下の

有無に基づいて抽出した。また横断可能と判断した被験者を対象に、各実験条件の終了直後に、横断可能と判断した際に被験者が感じた判断に関する安全・安心の程度を回答させた。安全・安心の程度は「わずかに安全に横断可能と思った」「やや安全に横断可能と思った」「安全に横断可能と思った」「非常に安全に横断可能と思った」のいずれかを回答させた。

(2)横断可能と判断した際の自動運転車の状況

各実験条件下において横断可能と判断したタイミングに基づいて、そのタイミングでの歩行者の立ち位置から自動運転車までの距離、その時の自動運転車の速度等を抽出した。

5.4.7. 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した。最初に被験者には、実験目的・実験内容について説明を行い、その後、実験におけるリスク・研究同意しないことや研究同意の撤回による不利益がないこと、個人情報保護や研究結果の公表、研究終了後のデータおよび試料等の取り扱い方針、映像データ取り扱いの同意書、本研究の費用、問い合わせ先に関して説明を行なったうえで実験に参加することへの同意書を得た。実験参加への同意を得た後、被験者の属性や運転経験等のフェースシートを記載させ、視力についてはその場で簡単な視力検査を実施した。視力検査の終了後、実験を実施する試験走路内の無信号横断歩道環境に案内した。無信号横断歩道の脇には、被験者以外に実験者1名が同伴した。実験者は、被験者が誤って無信号横断歩道を横断しないよう、安全ベルトを被験者に装着するとともに、被験者に関わる安全監視と実験中の被験者の様子の記録を担当した。また各実験終了直後に交差点内に停止した状態で被験者への質問紙調査を担当した。実験開始前に無信号横断歩道の脇で被験者には以下の教示を行った。

- 無信号横断歩道において右方向から接近・進入する車両の前方車両は、ドライバーが運転操作を行っている手動運転車であること
- 無信号横断歩道において右方向から接近・進入する前方車両の後続車両は自動運転車であること
- 無信号横断歩道の脇で横断待ちをしている場面を想定し、横断可能かどうかの判断を行い、安全に横断できると判断した場合に手元の反応スイッチをすぐに押下すること

- 無信号横断歩道に接近・進入する自動運転車の状況や周囲の交通状況に基づいて、日常と同様な手続きで横断可能かどうかの判断を行うこと
- 自動運転車は道路交通法を遵守し、可能な限り歩行者に対して進路を譲るように設計されているが、現在の技術水準では、周囲の交通状況や道路環境によっては歩行者に進路を譲れないことがあること

被験者への教示後、試験走路の無信号横断歩道の脇における特定の区間を対象にした運転走行の練習を実施し、その間、自動運転車の接近・進入に対する各状況に対する判断や反応スイッチ操作の練習を実施した。判断の練習や反応スイッチ操作の練習が十分と判断されてから、各実験条件の実験を実施した。最初に車両挙動と HMI なしの組合せに基づく実験条件を実施し、その後、車両挙動とテキスト表示型外向け HMI の組合せや車両挙動と灯火型外向け HMI の組合せに基づく実験条件をランダムに実施した。

各実験条件における基本的な手続きとして、まず被験者には無信号横断歩道の脇に立たせて、周囲の状況に視線を向けないよう被験者の足下に視線を向けるように指示した。その後、前方車両と自動運転車が無信号横断歩道に向かって走行を開始し、自動運転車役の前方車両役の車両が無信号横断歩道から約 10m 手前の地点に到達した際に、実験被験者に顔を上げさせて自動運転車の状況を確認させ、横断可能かどうかを判断するよう指示した（図 5-15 参照）。



図 5-15 前方車両および自動運転車の接近・進入の状況

被験者には、右方向からの車両の接近・進入に対して横断開始が可能であると判断した際に反応スイッチを押下させた。自動運転車の無信号横断歩道通過後、被験者を路肩脇の椅子に座らせて実験者による質問紙調査を実施した。質問紙調査の終了後、無信号横断歩道の脇に被験者を再び立たせて、再度、自動運転車を無信号横断歩道に接近・進入させた。すべての実験条件に対する判断と実験条件直後の質問紙調査が終了した後、試験走路から実験同意書等の説明を実施した詰所に移動して実験終了後の質問等を実施した。

5.4.8. 実験結果

実験データの分析にあたり、自動運転車が横断歩道を減速なく通過する通過挙動の条件下で計測された実験データについては解析対象外とし、自動運転車が横断歩道に接近・減速して最終的には停止する停止挙動の条件下で計測された実験データのみを分析対象とした。また実験データを分析したところ、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入に対して被験者が横断可能と判断した結果のうち、「外向け HMI なし」（図中では「HMI なし」、以後、図表中はこの表記で記載）の条件において、前方車両と自動運転車との車間距離として設定した 15m より長くなった被験者が高齢者で 2 名、学童で 3 名存在した。前方車両と自動運転車との車間距離は、実験の設定上、15m に設定したため、前方車両が歩行者の立ち位置を通過する前に判断している実験データとなり、被験者が本実験で設定した実験手続きに従っていない可能性や外向け HMI のコンテンツに対して十分視認・確認していない状況で判断している可能性が考えられたことから、以降の分析では、上記に該当する高齢者 2 名、学童 3 名の実験データについては除外して分析することとした。

(1)横断可能かどうかの判断結果

横断可能かどうかの判断結果を図 5-16 に示す。非高齢者の運転免許所有者/非所有者、高齢者の運転免許所有者、学童からなる 4 つの被験者の属性ごとに分類されている。

自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入に対する被験者の判断結果は、どの実験条件においてもほぼすべての被験者で横断可能と判断する結果となった。唯一、事前教示なし（教育なし）での灯火型外向け HMI「左→右」の条件において非高齢者の運転免許非所有者 1 名が横断できないと判断した事象が観測された。この被験者の内省報告によると、灯火型外向け HMI での LED アレイのブロックの移動方向が横断しようとする進行方向とは異なる方向であったため、横断できないと判断したものであった。

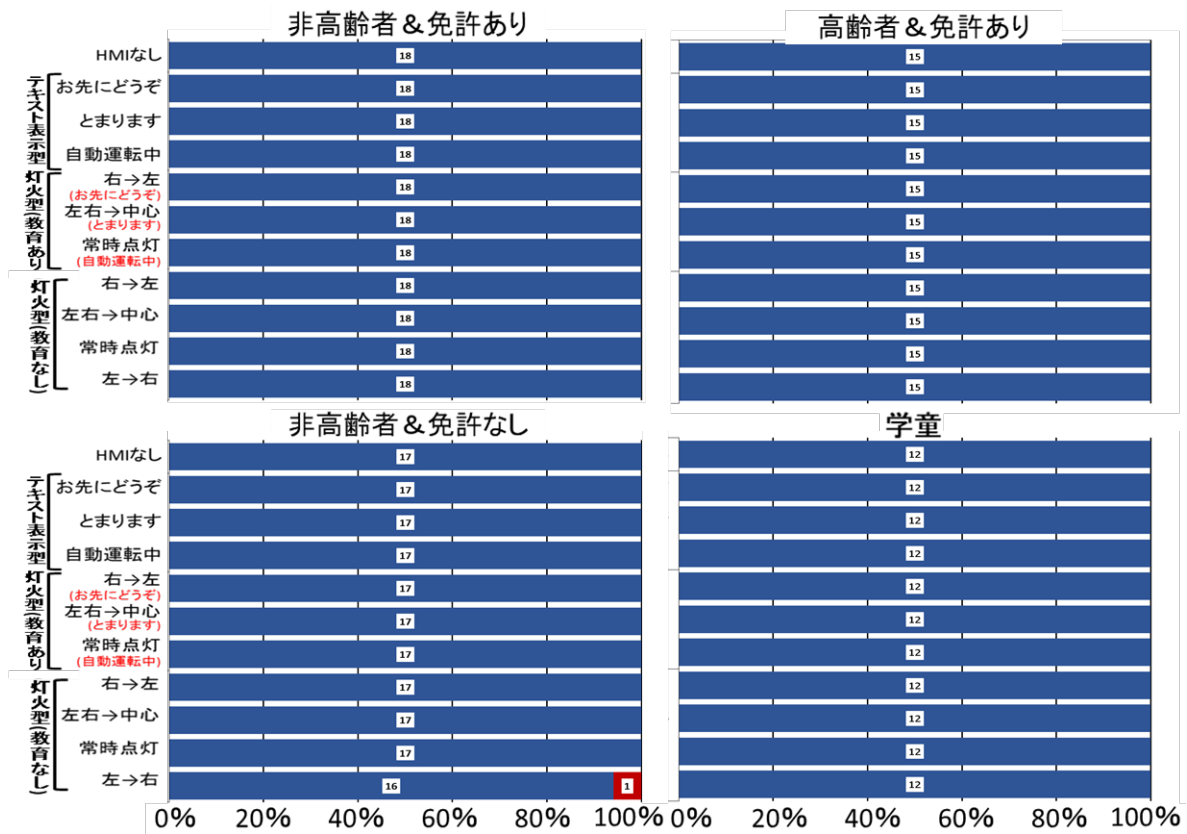


図 5-16 横断可能かどうかの判断結果

(2)横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離

(i)テキスト表示型外向け HMI に対する結果比較

外向け HMI なし、テキスト表示型外向け HMI の各条件を対象に自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入に対して被験者が横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離を比較した。その箱ひげ図を図 5-17 に示す。

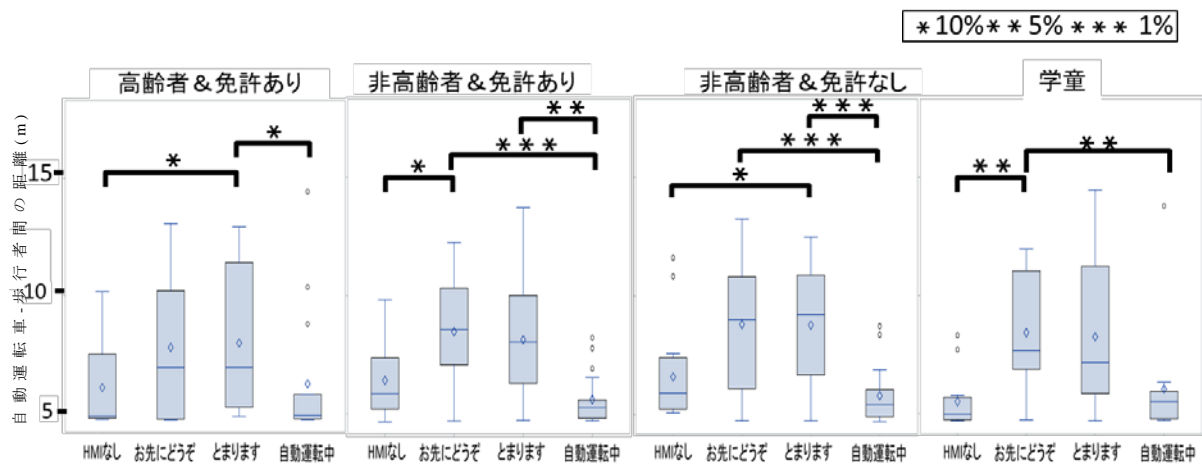


図 5-17 横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離

(テキスト表示型外向け HMI による意図や状態の伝達)

非高齢者の運転免許所有者/非所有者、高齢者の運転免許所有者、学童のいずれの被験者においても、譲り意図の「お先にどうぞ」や停止意図の「とまります」を伝達することで、「外向け HMI なし」の条件よりも横断可能と判断する時点での歩行者と自動運転車の距離が長くなる傾向がみられ、早い段階で横断可能と判断している傾向がうかがえた。しかしながら、高齢者については「お先にどうぞ」「とまります」の条件下でも横断判断が早い段階で行われなかった被験者が他の属性よりもやや多くみられ、自動運転車が停止するか停止に近い状態まで待つ被験者がやや多く存在する傾向がうかがえた。

一方、非高齢者の運転免許所有者/非所有者、高齢者の運転免許所有、学童のいずれの被験者においても、「自動運転中」の条件では歩行者の横断判断が遅くなる傾向がみられた。本実験に関する限り、自動運転車が「自動運転中」の状態であることを表示すると、他の条件、つまり他の外向け HMI のコンテンツを表示した場合と比較して、歩行者に横断判断を遅らせる結果となった。この結果は H30 年度に実施した試験走路実験の結果と同様であった。

各属性において、Dwass,Steel,Critchlow-Fligner (DSCF)の多重比較分析を実施した結果、非高齢者の免許所有者では「お先にどうぞ」と「自動運転中」の条件間、「とまります」と「自動運転中」の条件間、「外向け HMI なし」と「お先にどうぞ」の条件間でそれぞれ有意差や有意傾向を示す結果が見られた。非高齢者の免許非所有者では、免許所有者の場合と同様に、「お先にどうぞ」と「自動運転中」の条件間、「とまります」と「自動運転中」の条件間で有意差がみられ、「外向け HMI なし」と「とまります」の条件間で有意傾向を示す結果がみられた。高齢者（免許所有者）では「とまります」と「自動運転中」の条件間で有意傾向を示す結果がみられ、学童では「お先にどうぞ」と「自動運転中」の条件間、「外向け HMI なし」と「お先にどうぞ」ので有意差がみられ、「と高齢者においては「とまります」と「自動走行中」の間で有意差や有意傾向を示す結果が見られた。

以上をまとめると、共通的に、外向け HMI を利用して自動運転車の意図や動作、状態を伝達する場合は、「お先にどうぞ」や「とまります」などの譲りや停止の意図を伝達する場合に、どの属性の被験者でもおおむね早いタイミングで横断可能と判断できる傾向が示され、その一方で「自動運転中」など自動運転車の運行状態を伝達することは現時点では早い段階での判断を促すことが困難であり、外向け HMI を実装しない場合と同様か、あるいはそれよりも遅いタイミングで判断されてしまう傾向が示された。

(ii)事前教示の有無による灯火型外向け HMI の結果比較

外向け HMI なし、灯火の意味を被験者に事前教示した場合と事前教示しなかった場合の灯火型外向け HMI の各条件において、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入に対して被験者が横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離の結果を図 5-18 に示す。

灯火の意味を事前教示しなかった場合と事前教示した場合を同じコンテンツ間で比較すると、おおむね被験者属性に関わりなく、灯火の意味を事前教示して教育した場合の方が横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離が長く、より早いタイミングで横断可能と判断する傾向がみられた。このことは、事前に学習することにより、テキスト表示型外向け HMI のような言語による明確な意図や状態を伝達するといった方法だけでなく、灯火の意味を歩行者に対して事前に教育しておくことで、灯火型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態の伝達が可能となるものと考えられる。しかしながら、灯火型外向け HMI の「常時点灯」では、事前教示の有無による違いはほとんどなく、横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者の距離は短い傾向がみられた。

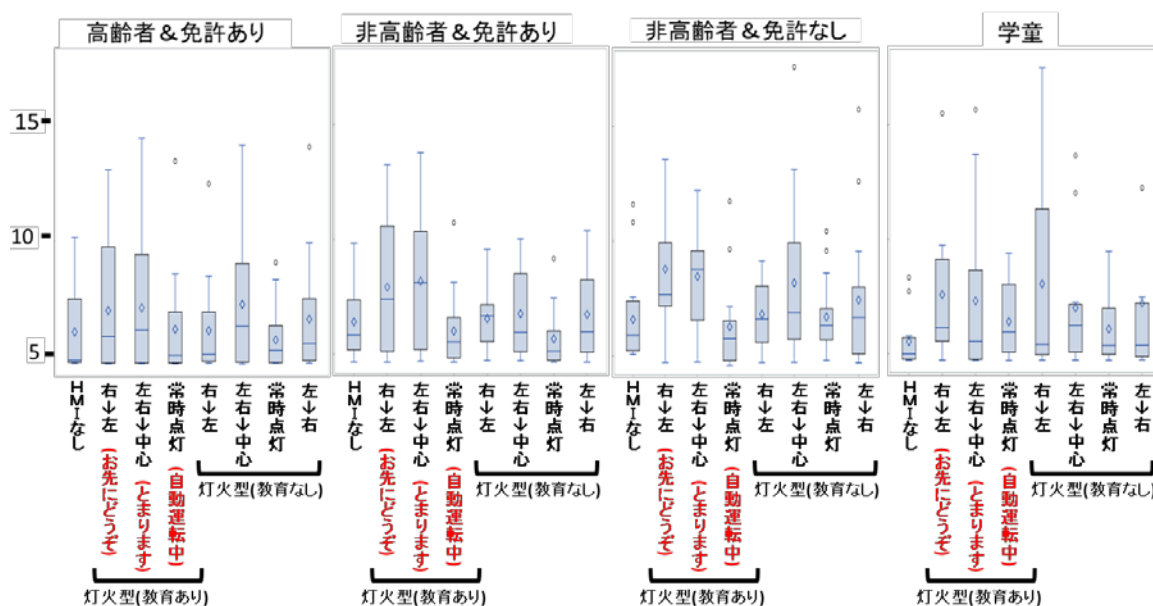


図 5-18 横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離
(灯火型外向け HMI による意図や状態の伝達)

(iii)事前教示ありの灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI の結果比較

外向け HMI なし、灯火の意味を被験者に事前教示した灯火型外向け HMI の各条件において、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入に対して被験者が横断できると判断した際の自動運転車と歩行者との距離の結果を図 5-19 に示す。比較のため、テキスト表示型外向け HMI の各条件の結果も示す。

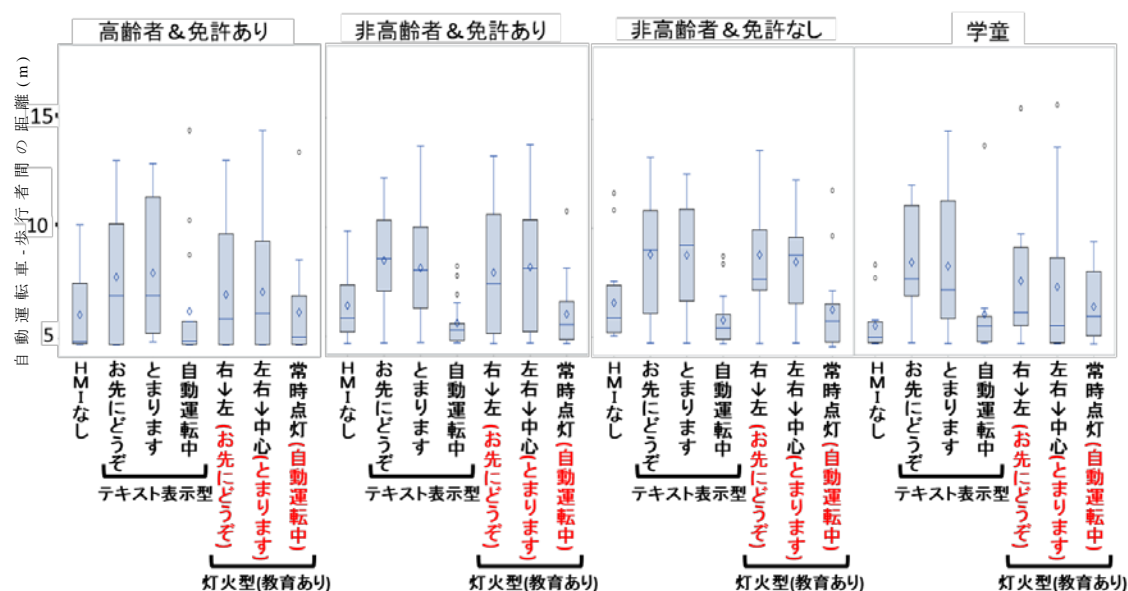


図 5-19 横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離
(灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI による意図や状態の伝達)

灯火の意味を事前教示した場合であっても、非高齢者の運転免許所有者/非所有者、高齢者（運転免許所有）、学童の被験者属性に関わりなく、「お先にどうぞ」「とまります」の意図や動作の伝達に関しては、灯火型外向け HMI は横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離はテキスト表示型 HMI の場合と比較して短く、横断可能と判断するタイミングが遅くなる傾向がみられた。その一方で、「自動運転中」の状態の伝達に関しては、灯火型外向け HMIの方がテキスト表示型 HMI よりも横断可能と判断するタイミングがやや早いかほぼ同様となる傾向がみられた。特に非高齢者の運転免許所有者では「お先にどうぞ」「とまります」で横断判断時の自動運転車と歩行者の間の距離にばらつきがみられ、自動運転車が 5~7m 程度まで接近し速度が低くなってから横断可能と判断しているのに対して、非高齢者の運転免許非所有者は「お先にどうぞ」「とまります」で横断判断時の自動運転車と歩行者の間の距離が全体的に高く、7~9m 程度で横断可能と判断する傾向がみられた。

(3)横断可能と判断した際の安心感に関する結果

(i)テキスト表示型外向け HMI に関する安心感の比較

テキスト表示型外向け HMI を対象に、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入の状況から、無信号横断歩道での横断が可能であると判断した被験者を対象に、横断可能と判断した際の安心感の程度についてまとめた結果を図 5-20 に示す。横断可能と判断した際の安心感については、「非常に安全に横断可能」、「安全に横断可能」、「やや安全に横断可能」「わずかに安全に横断可能」の 4 段階で分類したが、「やや安全に横断可能」「わずかに安全に横断可能」を「それ以外」としてまとめ、計 3 段階で分類した。

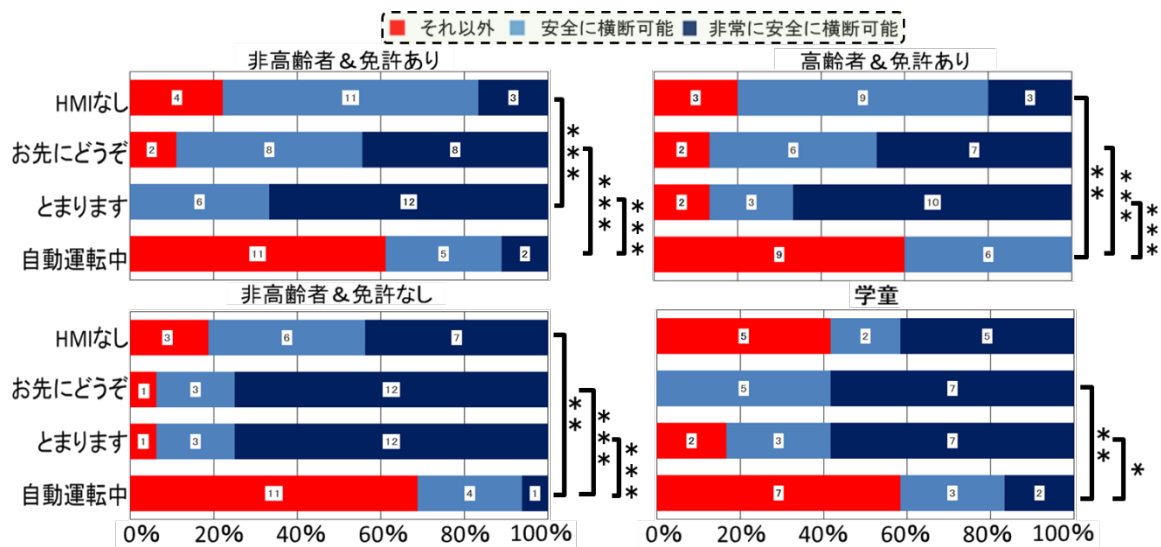


図 5-20 横断可能と判断した際の安心感の程度に関する結果
(テキスト表示型外向け HMI による意図や状態の伝達)

非高齢者、高齢者に関わりなく、「とまります」の意図伝達は免許保有者に対して、横断可能と判断した際の安心感を高める傾向があり、「お先にどうぞ」の意図伝達と比較して、安心感がより高い傾向がみられた。一方、非高齢者（運転免許保有者）や学童に対しては、「お先にどうぞ」「とまります」の意図伝達は横断可能と判断した際の安心感が高められる傾向はあるものの、「お先にどうぞ」と「とまります」の間で安心感の傾向に違いはなく、ほぼ同程度であった。しかしながら学童に関してはすべての被験者が「お先にどうぞ」の意図伝達に対して「非常に安全に横断可能」か「安全に横断可能」のいずれかと判断しており、他の意図や状態の伝達と比較して、より安心感を高める傾向がみられた。

一方、「自動運転中」の状態の伝達に関しては、非高齢者の運転免許所有者

/非所有者、高齢者（運転免許所有者）、学童の被験者属性に関わりなく、「外向け HMI なし」を含めた他の条件と比較して、横断可能と判断した際の安心感を高められない傾向がうかがえた。

(ii)事前教示の有無による灯火型外向け HMI の安心感の比較

灯火型外向け HMI を対象に、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入の状況から、無信号横断歩道での横断が可能であると判断した被験者を対象に、横断可能と判断した際の安心感の程度についてまとめた結果を図 5-21 に示す。ここでは、灯火の意味に関する事前教示の有無（教育あり/なし）の条件の違いに基づいて、横断可能と判断した際の安心感の変化や特徴について比較する。

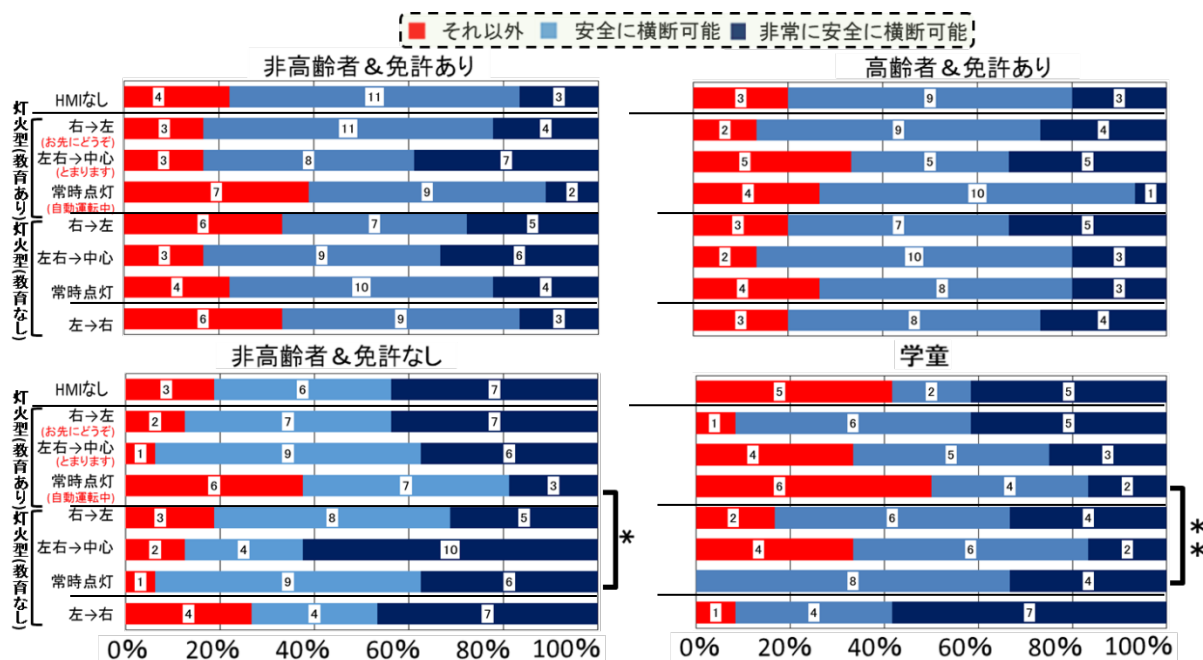


図 5-21 横断可能と判断した際の安心感の程度に関する結果
(事前教示の有無に基づく灯火型外向け HMI による意図状態の伝達)

全体的に灯火型外向け HMI の各コンテンツに対して、事前教示による教育ありと事前教示を行わない教育なしによる被験者の安心感への効果や影響は、被験者属性によって異なる傾向がみられ、事前に教育を行うことによってコンテンツを利用した際の横断判断時の安心感が向上するものもあれば、事前に教育を行うことによって安心感が減少するものもみられた。特定の傾向がみられたものとしては、いずれの被験者属性においても、事前教示による教育を行った後で、灯火型外向け HMI で常時点灯(自動運転中)を提示すると、教育を行わなかった状況と比較して、横断判断時の安心感が減少し、それら

は「外向け HMI なし」の場合と比較して安心感が低下する傾向が共通的にうかがえた。

事前教示による教育を行った後で、灯火型外向け HMI を実装した際に横断可能と判断した際に安心感が向上したコンテンツとしては、非高齢者の運転免許非所有者、学童に対する「右→左」（お先にどうぞ）、非高齢者の運転免許所有者、高齢者（免許保有者）、学童に対する「左右→中央」（とまります）であった。これらの安心感に関しては「外向け HMI なし」の条件下での安心感と同等なものほかに、安心感が低いものもみられ、前述の「常時点灯」（自動運転中）はもちろんであるが、学童における「左右→中央」（とまります）は「外向け HMI なし」の場合よりも安心感が低い結果となった。

(iii)事前教示ありの灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI の安心感の比較

事前教示による教育を行った後の灯火型外向け HMI とテキスト型外向け HMI を対象に、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入の状況から、無信号横断歩道での横断が可能であると判断した被験者を対象に、横断可能と判断した際の安心感の程度についてまとめた結果を図 5-22 に示す。ここでは、灯火の意味に関する事前教示後の灯火型外向け HMI とテキスト型外向け HMI の比較に基づいて、横断可能と判断した際の安心感の変化や特徴について比較する。

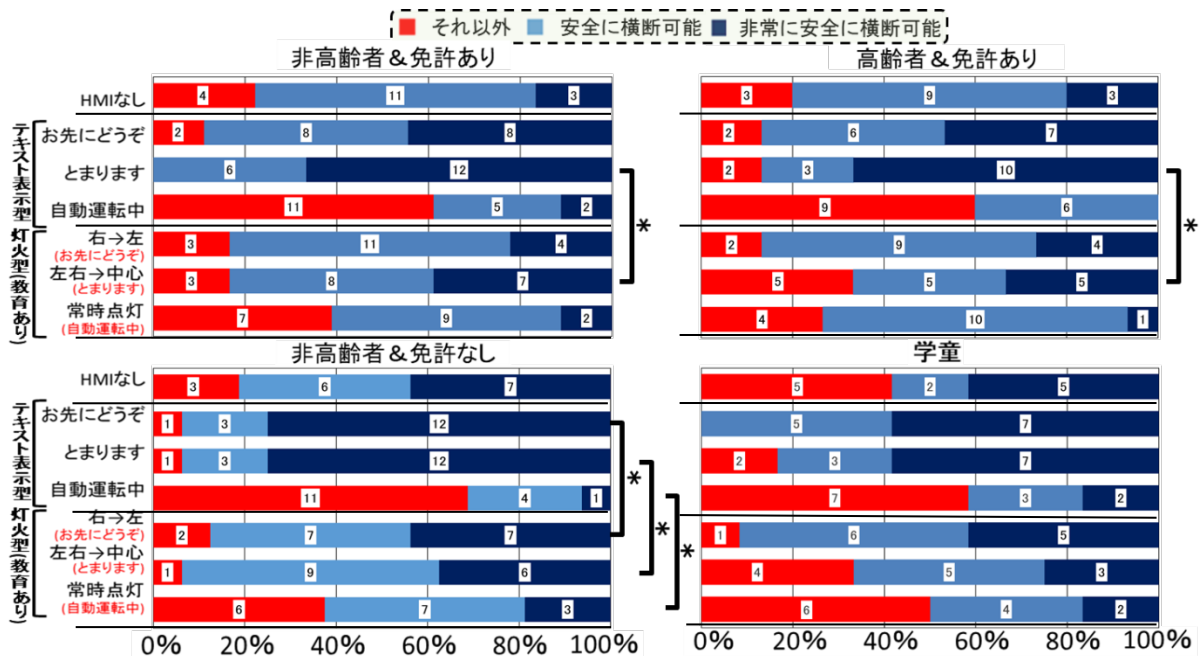


図 5-22 横断可能と判断した際の安心感の程度に関する結果 (教育後の灯火型外向け HMI とテキスト表示型外向け HMI の比較)

同じコンテンツを対象に、灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI を比較すると、被験者属性に関わりなく、テキスト表示型外向け HMI の方が灯火型外向け HMI よりも横断可能と判断した際の安心感がいずれも高い傾向がみられ、前述の通りであるが、事前教示による教育を行った後で灯火型外向け HMI を利用した場合でも、本実験での手続き・制約に関する限りでは、横断可能と判断した際の安心感はせいぜい「外向け HMI なし」と同程度であり、テキスト表示型 HMI と同程度の安心感には至っていない状況であることがうかがえた。

5.4.9. 考察

本実験では、無信号横断歩道に接近・進入する自動運転車と無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者の間でのコミュニケーションを対象として、歩行者に対して自動運転車の意図や状態を伝達する際に、自動運転車の車両挙動や外向け HMI の利用が歩行者の認識や意思決定、心理面に与える影響等を、自動運転車の車両挙動とともに計測した。これらの結果に基づいて、自動運転車の車両挙動や外向け HMI の特徴と歩行者の認識、意思決定がどのように関係しているのかを考察する。

(1)横断可能との判断に対する外向け HMI の効果

横断可能かどうかの判断について、外向け HMI の有無ならびにテキスト表示型および灯火型外向け HMI の各条件の結果に基づいて検討する。

外向け HMI の有無に関わりなく、被験者全員がおおむね横断可能との判断に至ったが、灯火型外向け HMI(教育なし)を介して「左→右」の状態を伝達した場合、非高齢者の運転免許非保有者が横断可能でないと判断する結果となった。本実験において減速挙動による最終速度は 0km/h であることから、基本的には減速挙動のみでも自動運転車から進路を譲られたと被験者が判断する可能性が高いが、それにも関わらず、灯火型外向け HMI(教育なし)を介して「左→右」の状態を伝達したことで横断可能でないと判断されたことは、灯火型外向け HMI のコンテンツの点灯パターンから、点灯パターンがもつ意味を与えられなくても歩行者が何かしら独自の解釈を行おうとする可能性が示唆され、その解釈が被験者において安全に横断できるという判断に連携せず、結果的に横断可能であると認識に至らなかった可能性が考えられる。

(2)横断可能と判断した際の距離に対する外向け HMI の効果

無信号横断歩道で横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者の距離につ

いて、外向け HMI の有無ならびにテキスト表示型および灯火型外向け HMI の各条件の結果に基づいて検討する。

テキスト表示型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態に関する伝達の一部は、非高齢者、高齢者、学童に関わりなく、横断待ちの歩行者に対して、早い段階での横断判断を促し、交通の円滑化につながる効果をもたらした。被験者の属性に関わりなく、共通して「お先にどうぞ」や「とまります」において早い段階での横断判断を促したことから、自動運転車からの譲りや停止の意図が伝達されることで、早い段階での横断判断を促す効果があるものと考えられる。一方、「自動運転中」において横断判断時の距離は、被験者の属性に関わりなく、共通して「自動運転中」の状態を伝達されることで、横断判断時の自動運転車と歩行者の距離が短くなり、横断判断のタイミングが遅くなると考えられる。

灯火型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態に関する伝達の一部は、非高齢者、高齢者、学童に関わりなく、横断待ちの歩行者に対して、早い段階での横断判断を促し、交通の円滑化につながる効果をもたらした。被験者の属性に関わりなく、共通して「お先にどうぞ」や「とまります」において早い段階での横断判断を促したことから、自動運転車からの譲りや停止の意図が伝達されることで、早い段階での横断判断を促す効果があるものと考えられる。一方、「自動運転中」において横断判断時の距離は、非高齢者、高齢者について、「自動運転中」の状態を伝達されることで、横断判断時の自動運転車と歩行者の距離が短くなり、横断判断のタイミング遅くなると考えられる。学童については、横断判断時の自動運転車と歩行者の距離が長くなり、横断判断のタイミングが早くなっている。灯火型外向け HMI(教育なし)の条件で「常時点灯」の安心感が高かったことが影響していると考えられる。

また、高齢者については「お先にどうぞ」「とまります」で横断判断が早くならない被験者が多数みられることから、車両が停車状態に近づくまで待つ被験者が存在することがわかる。このことから、高齢者は横断判断に関して車両挙動、特に停止するかどうかに重きを置いている可能性が示唆される。

(3)横断可能と判断した際の安心感に対する外向け HMI の効果

無信号横断歩道で横断可能と判断した際の安心感の程度について、外向け HMI の有無ならびにテキスト表示型および灯火型外向け HMI の各条件の結果に基づいて検討する。

テキスト表示型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態に関する伝達の一部は、非高齢者、高齢者、学童に関わりなく、横断待ちの歩行者に対

して、横断可能と判断した際の安心感をおおむね高める効果をもたらした。被験者の属性に関わりなく、共通して「お先にどうぞ」や「とまります」において横断可能と判断した際の安心感が高められたことから、自動運転車からの譲りや停止の意図が伝達されることで、横断可能と判断する際の安心感を高められる効果があるものと考えられる。一方、「自動運転中」において横断可能と判断した際の安心感は、被験者の属性に関わりなく、共通して「自動運転中」の状態を伝達されることで、横断可能と判断する際の安心感が低下するものと考えられる。

灯火型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態に関する伝達の一部は、非高齢者、高齢者、学童に関わりなく、横断待ちの歩行者に対して、横断可能と判断した際の安心感をおおむね高める効果をもたらした。非高齢者について、共通して「お先にどうぞ」や「とまります」において横断可能と判断した際の安心感が高められたことから、自動運転車からの譲りや停止の意図が伝達されることで、横断可能と判断する際の安心感を高められる効果があるものと考えられる。一方、「自動運転中」において横断可能と判断した際の安心感は、被験者の属性に関わりなく、共通して「自動運転中」の状態を伝達されることで、横断可能と判断する際の安心感が低下するものと考えられる。ただ、高齢者、学童について、共通して「お先にどうぞ」において横断可能と判断した際の安心感が高められたことから、自動運転車からの譲りの意図が伝達されることで、横断可能と判断する際の安心感を高められる効果があるものと考えられるが、「とまります」において横断可能と判断した際の安心感が低下したことから、停止の意図が伝達されることで、横断可能と判断する際の安心感を低下すると考えられる。

(4) テキスト表示型外向け HMI と灯火型外向け HMI(教育あり)の比較

非高齢者の運転免許所有/非所有、高齢者の運転免許所有、学童のいずれの被験者属性において、灯火型外向け HMI(教育あり)と比較してテキスト表示型 HMIの方が、「お先にどうぞ」「とまります」では横断判断時の自動運転車と歩行者の距離が長く、また「自動運転中」においては判断距離が短くなっていることがわかる。ただし、灯火型外向け HMI(教育あり)が横断判断距離に与える効果はテキスト表示型 HMIと比べて小さく、テキスト表示型の外向け HMIの方が直接的にコンテンツの内容が伝わるからだと考えられる。

意味を教育することで横断判断時の安心感の程度にテキスト表示型と同じ傾向がみられるが、安心感の程度の変化が小さい。これもテキスト表示型の外向け HMIの方が直接的にコンテンツの内容が伝わるからだと考えられる。

(5)灯火型外向け HMI のコンテンツの内容に関する教育の有無の比較

灯火型外向け HMI のコンテンツの内容に関する教育の有無の比較について、灯火型外向け HMI の各条件の横断判断時の安心感の結果に基づいて検討する。

被験者の属性に関わりなく、灯火型外向け HMI のコンテンツである「右→左」「常時点灯」の内容を教育することで、横断判断時の主観評価に違いがみられた。一方で、被験者の属性に関わりなく、灯火型外向け HMI のコンテンツである「右→左」の内容を教育しても、横断判断時の安心感に変化があまり見られなかった。このことから灯火型外向け HMI のコンテンツとそれに与えるコンテンツの内容によっては横断判断時の安心感に効果がないことが考えられる。

5.4.10. まとめ

コミュニケーションが発生する典型的な道路環境・交通状況として、無信号横断歩道に接近・進入する自動運転車が無信号交差点の脇で横断待ちしている歩行者に進路を譲ろうとする場面を設定し、外向け HMI の表示や特定の車両挙動を伴う車両に対する被験者の認識や意思決定、心理面に与える影響、運転行動、車両挙動を計測・評価した。試験走路での実験から、以下の結果が得られた。

- 自動運転車の減速挙動を十分に再現できない状況では、外向け HMI を介して自動運転車の意図を横断待ちの歩行者に伝達することで、歩行者の早い段階での横断判断を促し、横断判断時の安心感を向上させることが可能である。
- 自動運転車の減速挙動を十分に再現できない状況では、外向け HMI を介して自動運転車の状態「自動運転中」を横断待ちの歩行者に伝達することで、歩行者の横断判断タイミング遅らせ、横断判断時の安心感を低下させる。
- 自動運転車の減速挙動を十分に再現できない状況では、灯火型外向け HMI のコンテンツの内容に関して歩行者に教育することで、テキスト表示型外向け HMI と同じ効果(横断判断のタイミング、横断判断時の安心感)を得ることはできるが、その効果の程度には差があり、テキスト表示型外向け HMI の効果の方が高い可能性がある。また、歩行者の属性と灯火型外向け HMI のコンテンツの内容の組合せによっては、効果(横断判断のタイミング、横断判断時の安心感)が得られない可能性がある。

5.5. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションの要件に関する試験走路実験

5.5.1. 実験目的

一般道において車両挙動が手掛かりとなりづらい低速域で走行する自動運転車と非優先側ドライバーの間のコミュニケーション場면을対象として、外向け HMI を利用した自動運転車からの意図や状態の伝達に対する進行待ちで停車中のドライバーの認識や意思決定、確認行動、心理面に与える影響などを計測し、低速域における自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションに関する要件や推奨事項、留意点などを抽出する。

5.5.2. 実験環境および実験車両の構成

本実験では、慶應義塾大学新川崎（K2）タウンキャンパスの構内道路ならびに駐車場の一部を閉鎖して T 字交差点と接続する道路環境を確保した（図 5-23 参照）。実験では、T 字交差点に接続する優先側道路や駐車施設出口と接続する単路を進行し接近する自動運転車と T 字交差点の非優先側道路や駐車施設出口側で進行待ちしている非優先側ドライバーとのコミュニケーション場면을図 5-24 に示されるように再現した。

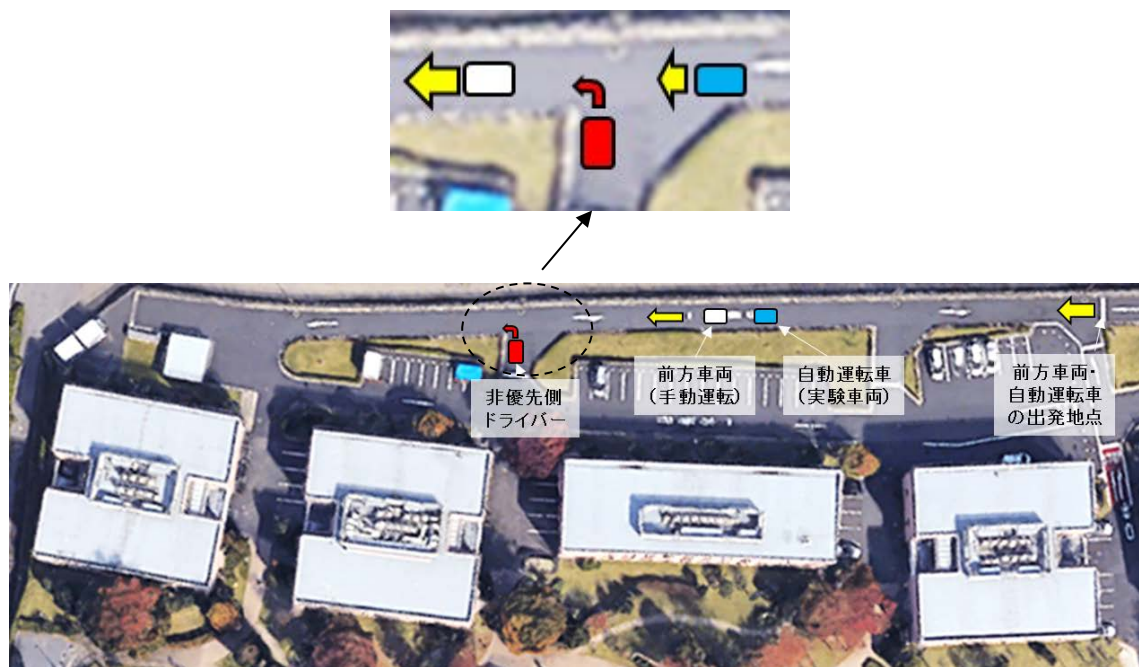


図 5-23 実験で使った構内道路・駐車場の T 字交差点と道路環境（Google マップより）



図 5-24 T字交差点に接続する優先道路側から自動運転車の
進行方向を臨んだ実験環境

非優先側ドライバーとなる被験者が図 5-25 に示されるような反応用スイッチを車室内でスイッチ部を押下すると、その信号はリアルタイムで自動運転車役の実験車両に送信され、その押下タイミングが自動運転車役の実験車両側で記録された。自動運転車の接近・進入時に非優先側ドライバー役となる被験者が誤って T 字交差点に進入してしまうことへの安全対策として、実験中に被験者が乗車する非優先側車両は、常にメインイグニッションをオンにした状態であったが、パーキングブレーキを掛けた状態でかつパーキングポジションに設定した状況で実施した。T 字交差点への自動運転車の接近・進入の状況や非優先側ドライバー役の被験者の状況や非優先側車両の様子を映像データとして記録するために、自動運転車に映像記録用ドライブレコーダを設置した。

自動運転車役の優先側直進車両として、速度や減速などの車両挙動を制御可能な仕組みと外向け HMI を実装した実験車両（図 5-26 参照）を製作し、本実験で利用した。また自動運転車の前方車両として一般車両（図 5-27 参照）を、非優先側ドライバー役となる被験者が乗車する実験車両として一般車両（図 5-28 参照）を利用した。前方車両には計測装置や記録装置などは特に搭載されなかったが、被験者が乗車する実験車両には反応用スイッチが設置された。



図 5-25 被験者が手元で把持する反应用スイッチと非優先側ドライバーの運転席から優先側道路を臨んだ状況



図 5-26 自動運転車役の実験車両と装備された外向け HMI (赤枠：テキスト表示型、黄枠：灯火型)



図 5-27 自動運転車の前方車両役の実験車両



図 5-28 非優先側ドライバー役となる被験者が乗車する実験車両

5.5.3. 外向け HMI のコンテンツ

(1) テキスト表示型外向け HMI

本実験では、テキスト表示型外向け HMI のコンテンツを表示させるために、図 5-29 に示される LED ディスプレイを実験車両のルーフ上に設置した。LED ディスプレイはルーフキャリアに固定され、そのディスプレイ上に表示されるコンテンツはその表示タイミングを含めて車内から制御可能であった。



図 5-29 テキスト表示型外向け HMI の外観

(2) テキスト表示型外向け HMI のコンテンツ

テキスト表示型外向け HMI に設定したコンテンツを図 5-30 に示す。自動運転車から歩行者に伝達する意図や状態として、本実験では、自動運転車の意図や動作、状態に関するコンテンツを作成した。自動運転車から歩行者に進路を譲る意図を伝達するコンテンツとして「お先にどうぞ」を、自動運転車の動作を伝達するコンテンツとして「とまります」を、自動運転車の状態を伝達するコンテンツとして「自動運転中」を、また自動運転車がそのまま進行する意図を伝達するコンテンツとして「すすみます」をそれぞれ設定した。

お先にどうぞ

(a) お先にどうぞ

とまります

(b) とまります

自動運転中

(c) 自動運転中

すすみます

(d) すすみます

図 5-30 テキスト表示型外向け HMI のコンテンツ

(3) 灯火型外向け HMI

図 5-31 および図 5-32 に示されるように、フロントガラス上部(車室内側)に LED アレイを設置して灯火型外向け HMI とした。テキスト型外向け HMI と同様に、灯火型外向け HMI はその LED アレイの点灯パターンやその点灯タイミングは車内からコンテンツの表示タイミングが制御可能であった。



図 5-31 灯火型外向き HMI の外観



図 5-32 LED アレイの設置位置

(4) 灯火型外向け HMI のコンテンツ

灯火型外向け HMI に設定したコンテンツの概要を

図 5-33 に示す。本実験では、灯火型外向け HMI のコンテンツとして時間経過とともに変化するコンテンツを 4 種類、時間の経過とともに変化しないコンテンツを 1 種類それぞれ設定した。

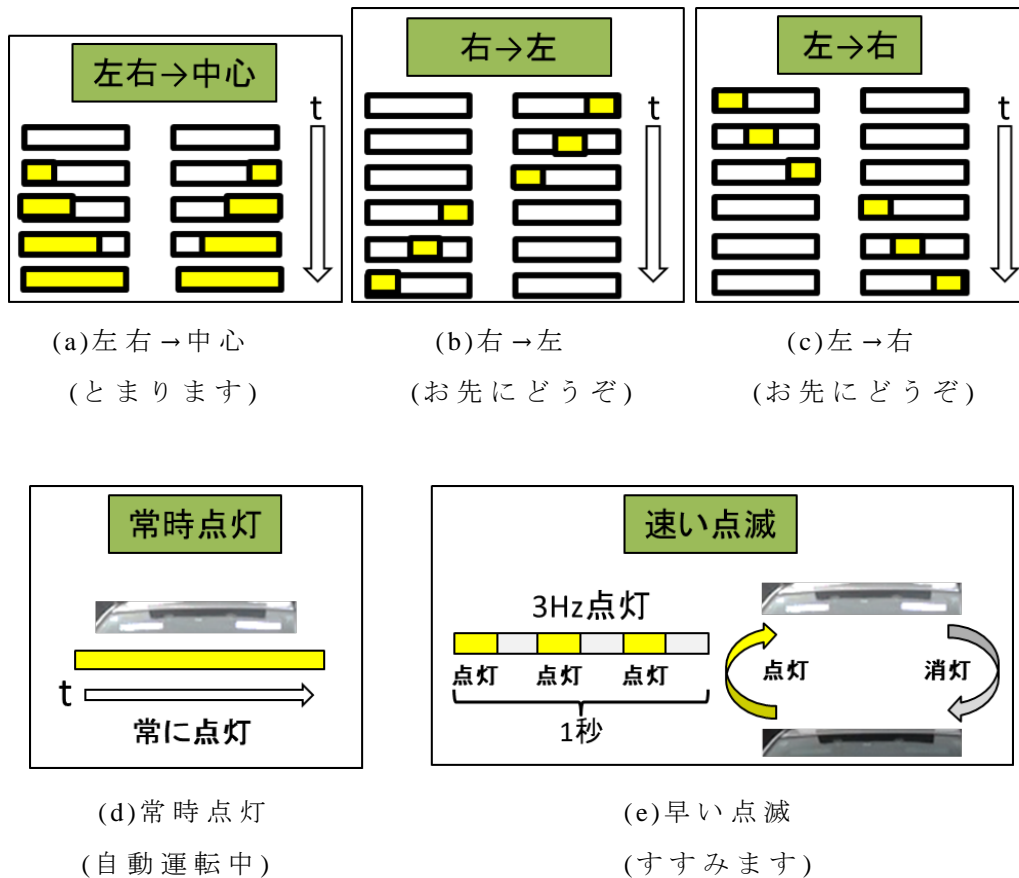


図 5-33 灯火型外向け HMI の各コンテンツの仕様

「左右→中心」はフロントガラス両端から中心に向かって LED が次々に点灯し、最終的にすべての LED が点灯するコンテンツであった。すべての LED が点灯した後は LED がすべての消灯し、再度フロントガラス両端から中心に向かって次々に LED が点灯するよう設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「とまります」に相当する停止動作の意味を設定した。

「右→左」は LED アレイの一部がブロック化されて点灯し、歩行者役の実験参加者から見てフロントガラス右側から左側に移動するコンテンツとして設定した。LED のブロック点灯が左端に到達後は、再度右端から左端にブロ

ック点灯が移動するコンテンツとして設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「お先にどうぞ」に相当する譲りの意図の意味を設定した。「左→右」は「右→左」が逆方向に点灯するものとして設定した。

「早い点滅」は LED アレイの全領域が 3Hz で点灯・消灯を繰り返すコンテンツとして設定した。LED アレイの点灯と消灯の Duty 比は 50% に設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「すすみます」という進行動作の意味を設定した。

「常時点灯」は LED アレイの全領域の LED を常時点灯させておくコンテンツとして設定した。灯火型外向け HMI に対してコンテンツの意味を事前教示する実験条件では「自動運転中」に相当する状態の意味を設定した。

5.5.4. 被験者

実験に参加した被験者は、運転免許を保有する非高齢者 17 名（21～50 歳、平均年齢 38.5 歳、標準偏差 8.3 歳、男性 8 名、女性 9 名）、運転免許を保有する高齢者 20 名（65～76 歳、平均年齢 71.7 歳、標準偏差 3.1 歳）の計 37 名であった。いずれの被験者も両眼で 0.7 以上の視力を有している者であった。

5.5.5. 実験条件

平成 28 年度の内閣府委託事業「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」自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討と平成 29 年度における課題 C の成果に基づいて、車両挙動と外向け HMI の組合せで構成される実験条件を設定した。

T 字交差点への自動運転車の接近・進入に対して無信号横断歩道での横断が可能どうかを歩行者役の被験者が判断する実験において表 5-3 に示される実験条件を設定した。自動運転車が T 字交差点に進入する際の車両挙動については減速挙動の有無に基づく 2 因子を設定し、また図 5-34 に示すように実験内容に応じて 4 つのブロックを設定した。

ブロックの 1 つ目には車両挙動と外向け HMI なしの組合せに関する条件、ブロックの 2 つ目には車両挙動と灯火型外向け HMI の組合せに関する条件(コンテンツの意味に関する事前教示を実施しない)、ブロックの 3 つ目には車両挙動とテキスト表示型外向け HMI の組合せに関する条件、ブロックの 4 つ目には車両挙動と灯火型外向け HMI(コンテンツの意味に関する事前教示を実施する)の組合せに関する条件をそれぞれ設定した。

自動運転車役の実験車両の車両挙動に関しては、図 5-35 に示すように、

実験条件の種類に関わりなく、実験車両の発進後、非優先車両の停止位置から約 25m 手前の地点（以後、25m 地点）まで 15km/h の速度一定で走行するよう設定した。25m 地点を通過後は、その後も 15km/h の速度一定で無信号横断歩道に接近・進入する条件（通過挙動）、25m 地点から徐々に減速して非優先車両の停止位置から約 12m 手前付近で停止する条件（停止挙動）の 2 種類を設定した。

外向け HMI のコンテンツに関しては、車両挙動の設定に関わりなく、基本的に 17m 地点付近で各コンテンツを表示させた。ただし「常時点灯」の条件では自動運転車役の実験車両の発進と同時に LED アレイを点灯させ、走行終了まで常時点灯させた。またテキスト表示型外向け HMI の「すすみます」のコンテンツや灯火型外向け HMI の「速い点滅」については、実験の実施過程において、被験者が外向け HMI のコンテンツを十分確認せずに何か表示されたら短絡的に反応するといった行動を回避することを目的として設定した。また「左→右」の条件は 2 つ目のブロックの実験のみに設定し、4 つ目のブロックの実験には設定しなかった。

自動運転車役の実験車両とその前方車両との車間距離は、15km/h の速度一定になるタイミングから自動運転車が減速を開始するまで約 25m の車間距離を確保した。

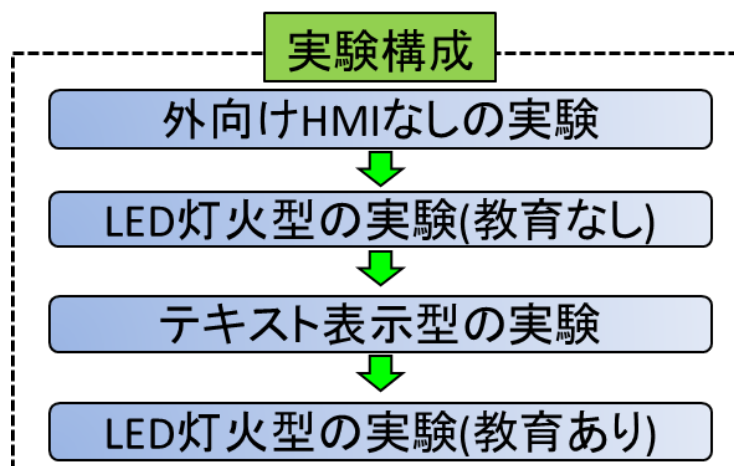


図 5-34 実験の概要(実験の順序)

表 5-3 実験条件の構成

試行番号	外向けHMIの状態	車両挙動	
教示なし	1	外向けHMIなし	停止挙動
	2	外向けHMIなし	通過挙動
	3	灯火型外向けHMI 速い点滅	通過挙動
	4	灯火型外向けHMI 常時点灯	停止挙動
	5	灯火型外向けHMI 左右→中心	停止挙動
	6	灯火型外向けHMI 右→左(被験者から見て)	停止挙動
	7	灯火型外向けHMI 左→右(被験者から見て)	停止挙動
	8	テキスト表示型外向けHMI すすみませす	通過挙動
	9	テキスト表示型外向けHMI 自動運転中	停止挙動
	10	テキスト表示型外向けHMI とまります	停止挙動
	11	テキスト表示型外向けHMI お先にどうぞ	停止挙動
教示あり	12	灯火型外向けHMI 速い点滅	通過挙動
	13	灯火型外向けHMI 常時点灯	停止挙動
	14	灯火型外向けHMI 左右→中心	停止挙動
	15	灯火型外向けHMI 右→左(被験者から見て)	停止挙動

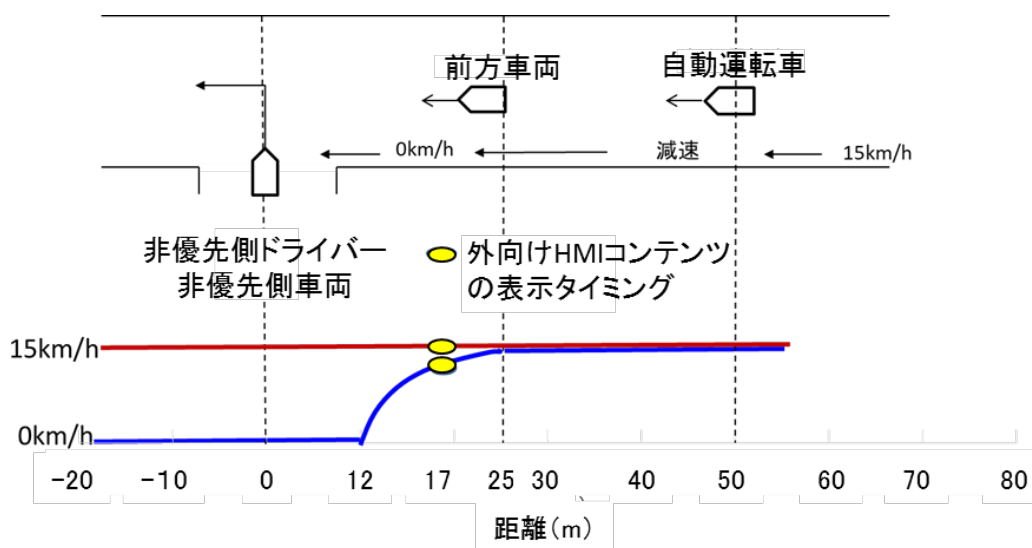


図 5-35 車両挙動と外向け HMI の点灯タイミング

5.5.6. 評価項目

各実験条件において、以下の項目を計測し評価した。

(1) 進行可能かどうかの判断

各実験条件下において非優先側から優先側へ進行（合流）可能かどうかの

判断ならびに進行可能と判断した際の判断タイミングを計測した。進行可能の判断有無ならびに進行可能と判断した際の判断タイミングは、車室内で被験者に把持させた反応スイッチの押下の有無に基づいて抽出した。また進行可能と判断した被験者を対象に、各実験条件の終了直後に、進行可能と判断した際に被験者が感じた判断に関する確信の程度を回答させた。確信の程度は「わずかに確信を持った」「やや確信を持った」「確信を持った」「非常に確信を持った」のいずれかを回答させた。

(2)進行可能と判断した際の自動運転車の状況

各実験条件下において進行可能と判断したタイミングに基づいて、そのタイミングでの非優先側車両の停止位置から自動運転車までの距離、その時の自動運転車の速度等を抽出した。

5.5.7. 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した。最初に被験者には、実験目的・実験内容について説明を行い、その後、実験におけるリスク・研究同意しないことや研究同意の撤回による不利益がないこと、個人情報保護や研究結果の公表、研究終了後のデータおよび試料等の取り扱い方針、映像データ取り扱いの同意書、本研究の費用、問い合わせ先に関して説明を行なったうえで実験に参加することへの同意書を得た。実験参加への同意を得た後、被験者の属性や運転経験等のフェースシートを記載させ、視力については必要に応じてその場で簡単な視力検査を実施した。その後、実験を実施する試験走路内のT字交差点に案内した。被験者が乗車する非優先側車両の実験車両には、被験者以外に実験者1名が同伴した。実験者は、被験者が誤ってT字交差点に進行・合流しないよう、実験車両のパーキングブレーキとパーキングポジションに設定するとともに、被験者に関わる安全監視と実験中の被験者の様子の記録を担当した。また各実験終了直後にT字交差点付近に停止した状態で被験者への質問紙調査を担当した。実験開始前にT字交差点付近の実験車両内で被験者には以下の教示を行った。

- T字交差点において右方向から接近・進入する車両の前方車両は、ドライバーが運転操作を行っている手動運転車であること
- T字交差点において右方向から接近・進入する前方車両の後続車両は自動運転車であること

- T字交差点にて優先側道路への進行待ちをしている場面あるいは駐車施設出口から優先側道路への進行待ちをしている場面を想定し、進行可能かどうかの判断を行い、安全に進行できると判断した場合に手元の反応スイッチをすぐに押下すること
- T字交差点に接近・進入する自動運転車の状況や周囲の交通状況に基づいて、日常と同様な手続きで進行（合流）可能かどうかの判断を行うこと
- 自動運転車は道路交通法を遵守し、必要に応じて非優先側ドライバーに対して進路を譲るようにも設計されているが、現在の技術水準では、周囲の交通状況や道路環境によっては非優先側ドライバーに進路を譲れないことがあること

被験者への教示後、試験走路の T 字交差点における特定の区間を対象にした運転走行の練習を実施し、その間、自動運転車の接近・進入に対する各状況に対する判断や反応スイッチ操作の練習を実施した。判断の練習や反応スイッチ操作の練習が十分と判断されてから、各実験条件の実験を実施した。最初に車両挙動と HMI なしの組合せに基づく実験条件を実施し、その後、車両挙動とテキスト表示型外向け HMI の組合せや車両挙動と灯火型外向け HMI の組合せに基づく実験条件を実施した。

各実験条件における基本的な手続きとして、まず被験者には T 字交差点の手前で停止している実験車両の運転席に着座した状況で、まずは周囲の状況に視線を向けないよう指示した。その後、前方車両と自動運転車が T 字交差点に向かって走行を開始し、自動運転車役の前方車両役の車両が T 字交差点から約 25m 手前の地点で実験被験者に自動運転車の状況を確認させ、進行可能かどうかを判断するよう指示した（図 5-36 参照）。



図 5-36 前方車両および自動運転車の接近・進入の状況

被験者には、右方向からの車両の接近・進入に対して進行開始が可能であると判断した際に反応スイッチを押下させた。自動運転車の T 字交差部の通過後、被験者を非優先側車両の実験車両に乗車させた状態で実験者による質問紙調査を実施した。質問紙調査の終了後、被験者には再び準備させて、再度、自動運転車を T 字交差部に接近・進入させた。すべての実験条件に対する判断と実験条件直後の質問紙調査が終了した後、実験終了後の質問等を実施した。

5.5.8. 実験結果

実験データの分析にあたり、自動運転車が横断歩道を減速なく通過する通過挙動の条件下で計測された実験データについては解析対象外とし、自動運転車が横断歩道に接近・減速して最終的には停止する停止挙動の条件下で計測された実験データのみを分析対象とした。また実験実施時において天候が不順となり外向け HMI の運用が不可能となって実験中止となった場合や、実験機材や計測機器の不調により実験装置が適切に稼働しなかった場合や実験データに欠損が生じた場合など、非高齢者で 4 名、高齢者で 1 名がそれぞれ該当した。以降の分析では、上記に該当する非高齢者 4 名、高齢者 1 名の実験データについては除外して分析することとした。

(1) 進行可能かどうかの判断結果

進行可能かどうかの判断結果を図 5-37 に示す。非高齢者と高齢者の 2 つの被験者の属性ごとに分類されている。

自動運転車の T 字交差部への接近・進入に対する被験者の判断結果は、どの実験条件においてもほぼすべての被験者で進行可能と判断する結果となった。高齢者において、テキスト表示型外向け HMI の「お先にどうぞ」「自動走行中」の条件、事前教示あり（教育あり）での灯火型外向け HMI の「左→右」「左右→中央」「常時点灯」の条件、事前教示なし（教育なし）での灯火型外向け HMI の「常時点灯」の条件において、高齢者 2 名が進行不可能と判断した事象がそれぞれ観測された。これら 2 名の高齢者について、進行不可能と判断した理由について実験終了後に得られたコメントを整理する。

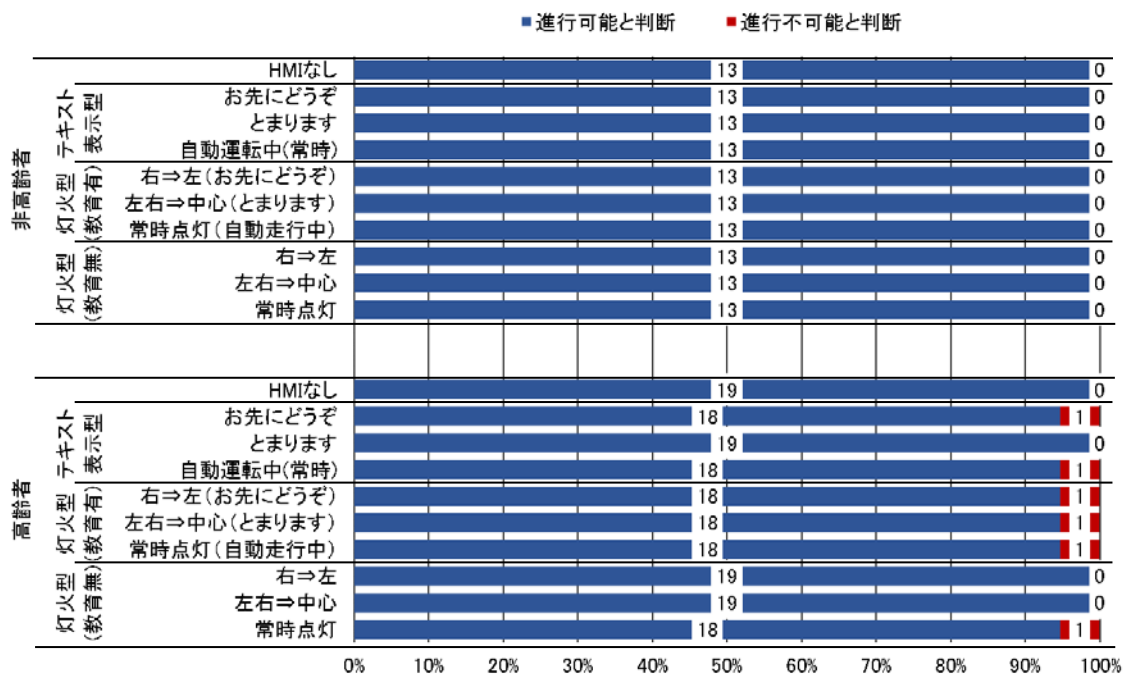


図 5-37 進行可能かどうかの判断結果

一方の高齢者は、テキスト表示型外向け HMI の「お先にどうぞ」「自動走行中」、灯火型外向け HMI の常時点灯（教育なし）、灯火型外向け HMI の常時点灯「自動運転中」（教育あり）で進行不可能と判断した。実験終了後のコメントによると、この高齢者は自動運転車に対して元々不信を抱いていたため、自動運転車からの意図や状態の伝達を基本的には信用することができず、また自動運転車に見慣れない表示が実装されているため、怪しく感じたり、危険に感じたりといった印象を持ったとの解釈であった。具体的には、テキスト表示型外向け HMI で「お先にどうぞ」「自動走行中」などの意図や状態が表示されても自動運転車に信用することができないとの解釈で、「お先にどうぞ」と表示されても本当に譲ろうとしているのか疑問があり、また「自動走行中」と表示されてもその表示が譲ろうとしている意図の現れであるという解釈に至るほど信用できないという解釈であった。それに対して、テキスト表示型外向け HMI で「とまります」との意図を表示した場合には、「とまります」と表示された後に実際に減速し最終的に停止したので「とまります」という表示と車両挙動としての停止が一致したため、進行可能と判断したとのコメントであった。同様に灯火型外向け HMI の常時点灯（教育なし）については、その光り方が危険であると感じ、さらに何か意味があるのかもしれないと感じたため、発進することができず、停止することしかできないとの解釈であった。また灯火型外向け HMI の常時点灯（教育あり、自動運転中）

については、事前に学習したとしても常時点灯の状態は譲ってくれたように感じられず、また自動運転車が譲るという行為を行うことはあり得ないと当該被験者が考えており、自動運転車が譲ってくれたように思えないとのコメントであった。

もう一方の高齢者については、灯火型外向け HMI の「右→左」(教育あり)と「左右→中央」(教育あり)で進行不可能と判断した。実験終了後のコメントによると、この高齢者はこれらの灯火型外向け HMI での光り方が特別な光り方をしていると感じたため、緊急自動車の一つと捉えてしまったので、こちらが譲るべきだと認識したとの解釈であった。このような教育ありの条件に対して、教育なしの条件では、自動運転車という特殊な車両という認識であったが、車両が停止したため、譲ってくれているとの解釈に至ったとのコメントであった。

(2) 進行可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離

(i) テキスト表示型外向け HMI に対する結果

外向け HMI なし、テキスト表示型外向け HMI の各条件を対象に自動運転車の T 字交差点への接近・進入に対して被験者が進行(合流)可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離を比較した。その箱ひげ図を図 5-38 に示す。自動運転車と非優先車両間の距離に関して、12m 付近はおおよそ停止位置を示している。

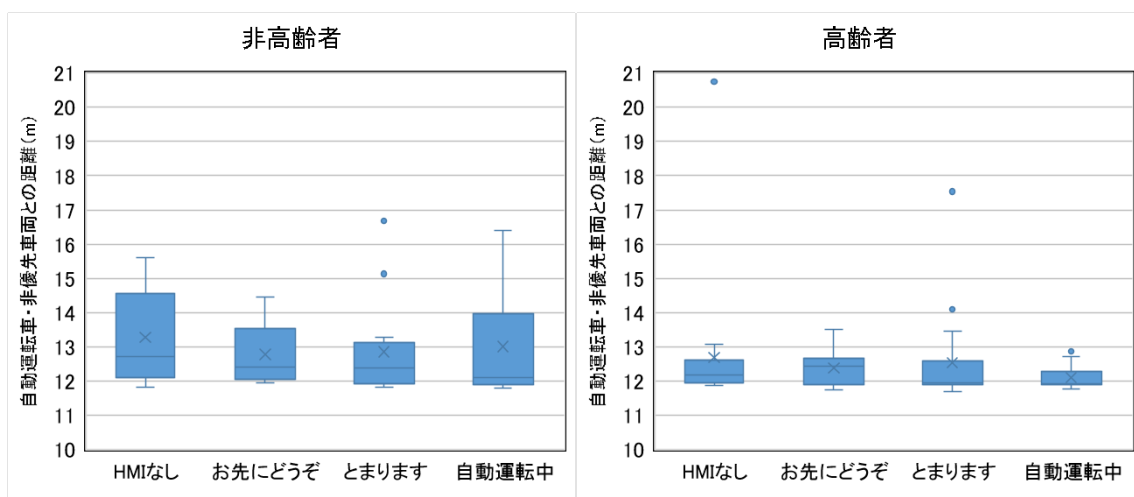


図 5-38 進行可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離
(テキスト表示型外向け HMI による意図や状態の伝達)

非高齢者では、テキスト表示型外向け HMI にて「お先にどうぞ」「とまります」などの意図を非優先側ドライバーに伝達した場合に、「外向け HMI なし」の条件の場合とほぼ同様な距離か、やや短い距離で進行（合流）可能と判断する傾向がみられた。また「外向け HMI なし」と「自動運転中」の条件では、ほぼ同様なバラツキがみられた。中央値は「自動運転中」の条件の方がやや短い傾向がみられたが、これらについて有意差はみられなかった。テキスト表示型外向け HMI にて「お先にどうぞ」「とまります」が表示された場合、テキスト表示型外向け HMI の表示を確認して、その後、自動運転車がどのような車両挙動をとるのかを確認するといったコメントが被験者から多く聞かれたが、「自動運転中」という表示に対しては早めに進行（合流）可能と判断する被験者と、停止に近い状態に至ってから判断する被験者におおよそ分かれる傾向がみられた。

一方、高齢者では、テキスト表示型外向け HMI のいずれの条件でも「外向け HMI なし」とほぼ同様な距離で判断する傾向がみられ、基本的に自動運転車が停止するか停止に近い状態まで待つ被験者が多く存在する傾向がうかがえた。

(ii)事前教示の有無による灯火型外向け HMI の結果比較

外向け HMI なし、灯火の意味を被験者に事前教示した場合と事前教示しなかった場合の灯火型外向け HMI の各条件において、自動運転車の無信号横断歩道への接近・進入に対して被験者が進行（合流）可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離の結果を図 5-39 に示す。

灯火の意味を事前教示しなかった場合と事前教示した場合を同じコンテンツ間で比較すると、被験者属性間でやや異なる傾向がみられた。非高齢者では、灯火型外向け HMI における「右→左」「左右→中央」について灯火の意味を事前教示して教育した場合は事前教示せず教育しなかった場合と比較して横断可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離がやや長く、より早いタイミングで横断可能と判断する傾向がみられた。しかしながら「常時点灯」については事前教示して教育した場合はやや遅いタイミングで横断可能と判断する傾向にあった。特に「右→左」については事前教示して教育することによって、「外向け HMI なし」と同等なタイミングか、それよりも早いタイミングで進行（合流）可能と判断する傾向が示唆された。

このことは、事前に学習することにより、テキスト表示型外向け HMI のような言語による明確な意図や状態を伝達するといった方法だけでなく、灯火の意味を歩行者に対して事前に教育しておくことで、灯火型外向け HMI を介

した自動運転車の意図や状態の伝達が可能となるものと考えられる。しかしながら、灯火型外向け HMI の「常時点灯」では、事前教示の有無による違いはほとんどなく、横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者の距離は短い傾向がみられ、灯火型外向け HMI のコンテンツとそれに対応させる自動運転車の意図や状態によっては、事前の教育によって必ずしも早いタイミングでの進行（合流）可能との判断を促進させるとは限らない可能性を示唆する結果となった。

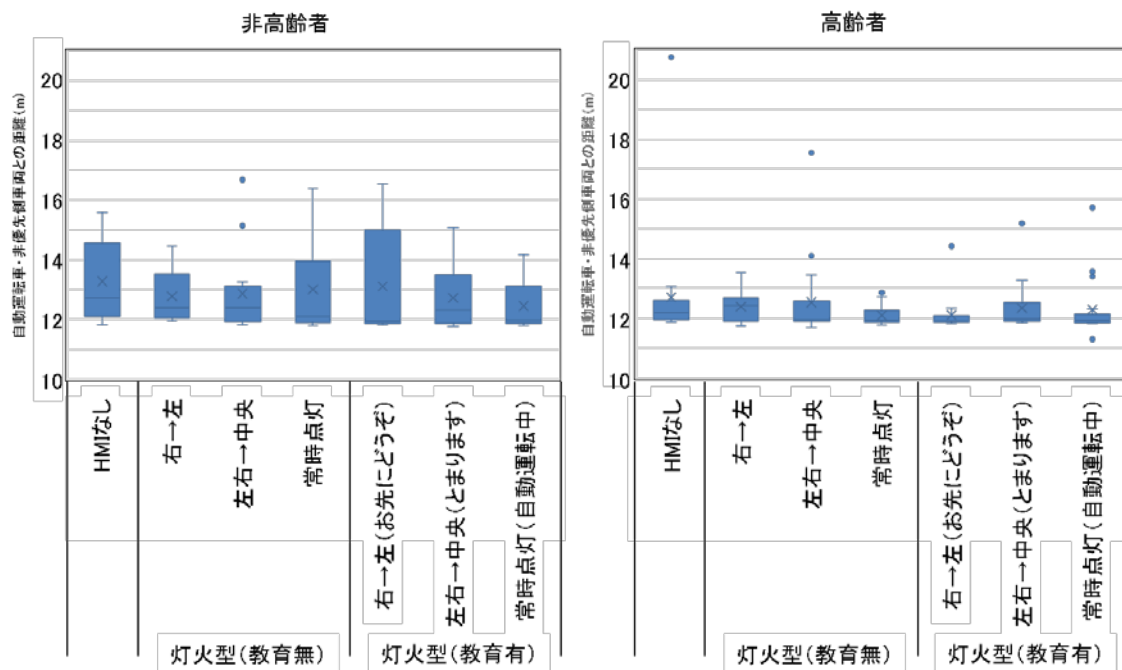


図 5-39 進行可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離
(灯火型外向け HMI による意図や状態の伝達)

(iii)事前教示ありの灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI の結果比較

外向け HMI なし、灯火の意味を被験者に事前教示した灯火型外向け HMI の各条件において、自動運転車の T 字交差部への接近・進入に対して被験者が進行（合流）可能と判断した際の自動運転車と非優先車両との距離の結果を図 5-40 に示す。比較のため、テキスト表示型外向け HMI の各条件の結果も示す。

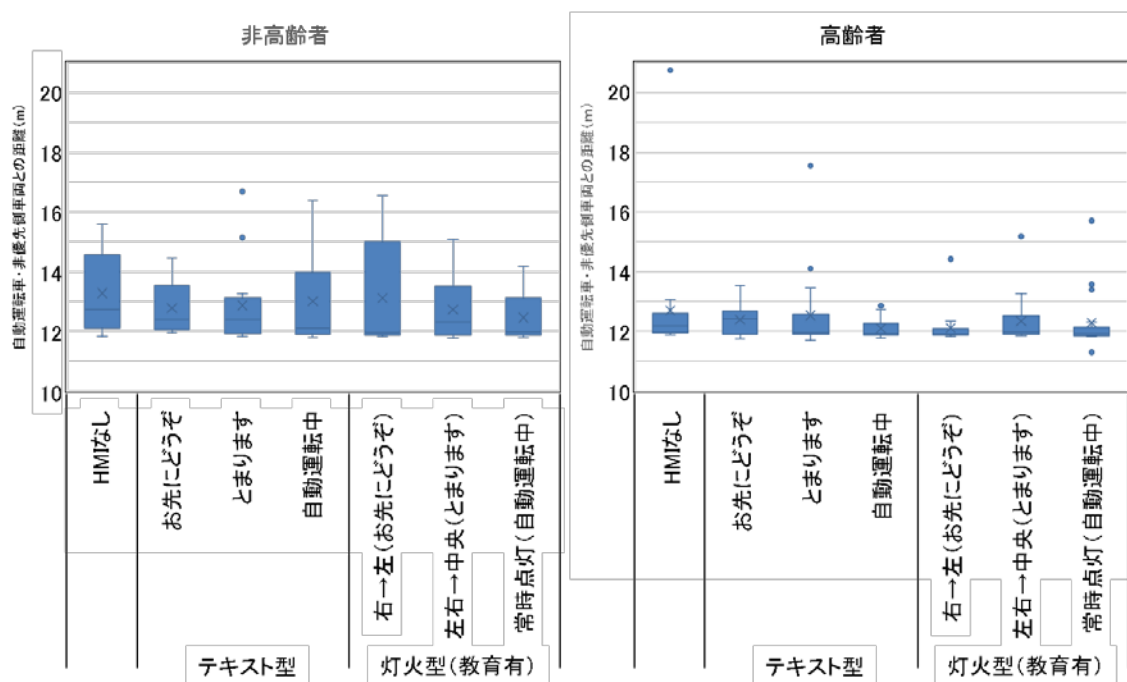


図 5-40 進行可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両との距離

(灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI による意図や状態の伝達)

灯火の意味を事前教示した場合、非高齢者では「お先にどうぞ」「とまります」の意図や動作の伝達に関しては、灯火型外向け HMI は横断可能と判断した際の自動運転車と歩行者との距離はテキスト表示型 HMI の場合と比較して長い被験者が存在し、一部の被験者で横断可能と判断するタイミングが早くなる傾向がみられた。その一方で、「自動運転中」の状態の伝達に関しては、灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI で横断可能と判断するタイミングはほぼ同様となる傾向がみられた。

一方、高齢者では、非高齢者と比較して、全体的に進行（合流）判断時の自動運転車と非優先側車両の間の距離はほぼ同様であり、自動運転車が 12m 付近まで接近し速度が低くなってから進行可能と判断する傾向がみられた。

(3) 進行可能と判断した際の確信に関する結果

(i) テキスト表示型外向け HMI に関する確信の比較

テキスト表示型外向け HMI を対象に、自動運転車の T 字交差部への接近・進入の状況から、T 字交差部に進行（合流）可能であると判断した被験者を対象に、進行可能と判断した際の確信の程度についてまとめた結果を図 5-41 に示す。進行可能と判断した際の確信については、「非常に確信した」、「確信した」、「やや確信した」「わずかに確信した」の 4 段階で分類した。

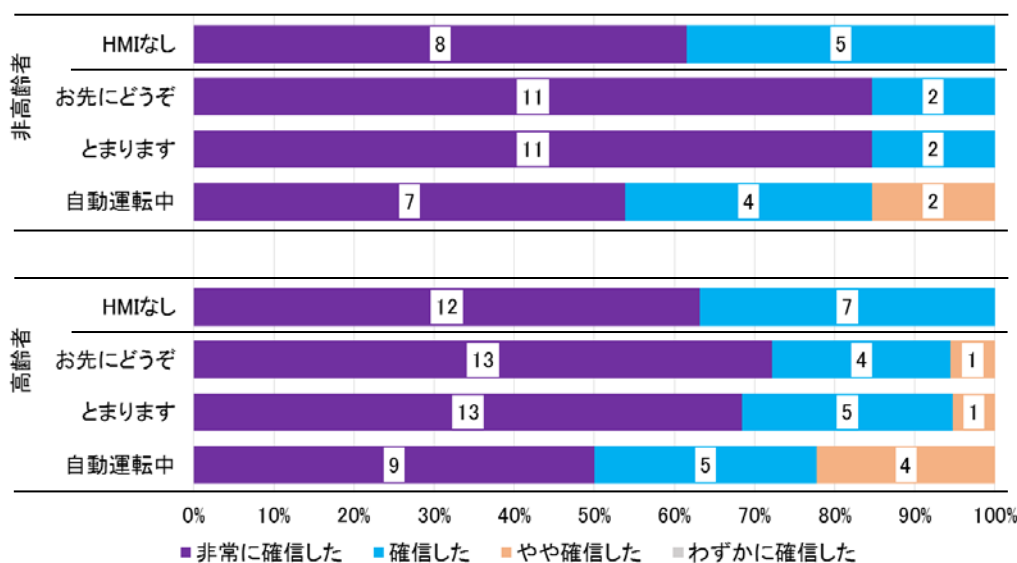


図 5-41 進行可能と判断した際の確信の程度に関する結果
(テキスト表示型外向け HMI による意図や状態の伝達)

非高齢者では、「お先にどうぞ」「とまります」の意図伝達は、「外向け HMI なし」の場合と比較して、進行（合流）可能と判断した際の確信が高い傾向がみられた一方で、「自動運転中」の状態伝達は、「外向け HMI なし」の場合よりも進行可能と判断した際の確信がやや低い傾向がみられた。

高齢者では、「お先にどうぞ」「とまります」の意図伝達は、「外向け HMI なし」の場合と比較して、進行（合流）可能と判断した際の確信はやや高いかほぼ同様な傾向がみられ、非高齢者ほど顕著な違いはみられなかった。しかしながら、「自動運転中」の状態伝達は、「外向け HMI なし」の場合よりも進行可能と判断した際の確信は低く、非高齢者、高齢者ともに「自動運転中」の状態伝達は共通して「外向け HMI なし」の場合よりも確信が低い状態で判断している結果となった。

(ii)事前教示の有無による灯火型外向け HMI に関する確信の比較

灯火型外向け HMI を対象に、自動運転車の T 字交差点部への接近・進入の状況から、T 字交差点部に進行（合流）可能であると判断した被験者を対象に、進行可能と判断した際の確信の程度についてまとめた結果を図 5-42 に示す。ここでは、灯火の意味に関する事前教示の有無（教育あり/なし）の条件の違いに基づいて、進行可能と判断した際の確信の変化や特徴について比較する。

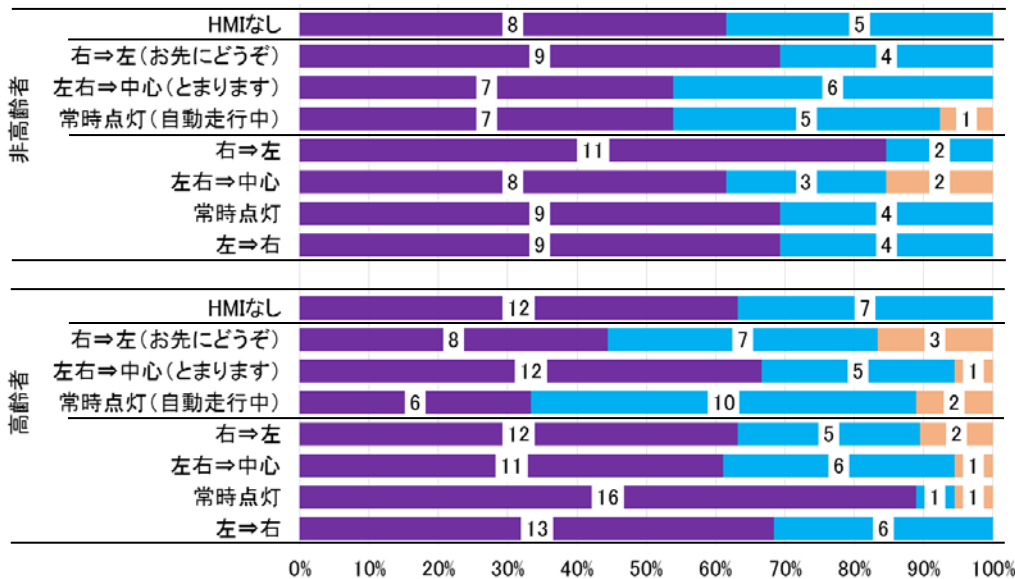


図 5-42 進行可能と判断した際の確信の程度に関する結果
(事前教示の有無に基づく灯火型外向け HMI による意図状態の伝達)

全体的に灯火型外向け HMI の各コンテンツに対して、事前教示による教育ありと事前教示を行わない教育なしによる被験者の確信への効果や影響は、被験者属性に関わりなく、事前に教育を行うことによってコンテンツを利用した際の進行（合流）判断時の確信が向上するものもあれば、事前に教育を行うことによって確信が減少するものもみられた。特定の傾向がみられたものとしては、いずれの被験者属性においても、事前教示による教育を行った後で、灯火型外向け HMI で常時点灯（自動運転中）を提示すると、教育を行わなかった状況と比較して、進行判断時の確信が減少し、それらは「外向け HMI なし」の場合と比較して、非高齢者では若干の確信低下に留まったものの、高齢者では大きく確信が低下した。

(iii)事前教示ありの灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI に関する確信の比較

事前教示による教育を行った後の灯火型外向け HMI とテキスト型外向け HMI を対象に、自動運転車の T 字交差点への接近・進入の状況から、T 字交差点に進行（合流）可能であると判断した被験者を対象に、横断可能と判断した際の確信の程度についてまとめた結果を図 5-43 に示す。ここでは、灯火の意味に関する事前教示後の灯火型外向け HMI とテキスト型外向け HMI の比較に基づいて、進行可能と判断した際の確信の変化や特徴について比較する。

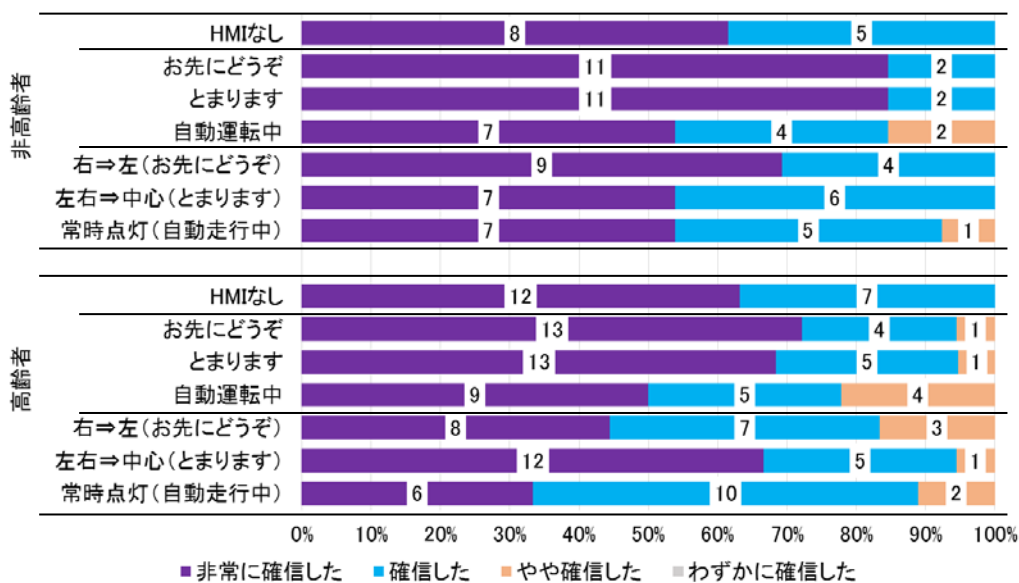


図 5-43 横断可能と判断した際の確信の程度に関する結果
(教育後の灯火型外向け HMI とテキスト表示型外向け HMI の比較)

同じコンテンツを対象に、灯火型外向け HMI とテキスト表示型 HMI を比較すると、被験者属性に関わりなく、テキスト表示型外向け HMI の方が灯火型外向け HMI よりも進行可能と判断した際の確信がいずれも高い傾向がみられ、前述の通りであるが、事前教示による教育を行った後で灯火型外向け HMI を利用した場合でも、本実験での手続き・制約に関する限りでは、一部の条件を除き、進行可能と判断した際の確信はせいぜい「外向け HMI なし」と同程度であり、テキスト表示型 HMI と同程度の確信には至っていない状況であることがうかがえた。

5.5.9. 考察

本実験では、T字交差点に接近・進入する自動運転車とT字交差点手前で進行待ちの非優先側ドライバーの間でのコミュニケーションを対象として、非優先側ドライバーに対して自動運転車の意図や状態を伝達する際に、自動運転車の車両挙動や外向けHMIの利用が非優先側ドライバーの認識や意思決定、心理面に与える影響等を、自動運転車の車両挙動とともに計測した。これらの結果に基づいて、自動運転車の車両挙動や外向けHMIの特徴と非優先側ドライバーの認識、意思決定がどのように関係しているのかを考察する。

(1) 進行可能との判断に対する外向けHMIの効果

進行可能かどうかの判断について、外向けHMIの有無ならびにテキスト表示型および灯火型外向けHMIの各条件の結果に基づいて検討する。

外向けHMIの有無に関わりなく、被験者全員がおおむね進行可能との判断に至ったが、灯火型外向けHMI(教育なし)にて「左→右」や「左右→中央」の状態を伝達した場合に進行(合流)可能と判断していたにもかかわらず、灯火パターンの意味を事前教示して教育した後では、灯火型外向けHMI(教育あり)の「左→右」や「左右→中央」において高齢者1名が進行(合流)可能でないと判断する結果となった。本実験において減速による最終的な到達速度は0km/hであることから、基本的には減速挙動のみでも自動運転車から進路を譲られたと被験者が判断する可能性が高いが、それにも関わらず、灯火型外向けHMI(教育あり)の「左→右」や「左右→中央」を伝達した場合に進行が可能でないと判断されたことは、灯火型外向けHMIの灯火パターンから自然に想起された自動運転車の意図や状態と、灯火パターンに対して学習した自動運転車の意図や状態との不一致、特に当該被験者においては、自動運転車に対する不信に起因しており、自動運転車の運転挙動等について適切かつ十分な教育を行うことができれば改善される可能性がある。別な被験者では、灯火パターンに対して危険感を感じたり、灯火パターンから他の属性を有する車両(本実験では緊急自動車)への関連付けが行われたりした。灯火型外向けHMIの場合、十分学習していないと、言語等による意図や状態の明確な伝達ができないことから既存の属性を有する車両を連想してしまうような灯火パターンなどは回避する必要があるものと考えられる。

(2) 進行可能と判断した際の距離に対する外向けHMIの効果

T字交差点に進行可能と判断した際の自動運転車と非優先側車両の距離について、外向けHMIの有無ならびにテキスト表示型および灯火型外向けHMI

の各条件の結果に基づいて検討する。

テキスト表示型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態に関する伝達は、非高齢者と高齢者で異なるタイミングでの進行（合流）判断を促す結果となった。非高齢者では、「外向け HMI なし」「自動運転中」と比較して、「お先にどうぞ」「とまります」などの意図の伝達ではやや遅いタイミングでの進行判断を促した。テキスト表示型外向け HMI を装備した場合、基本的にテキスト表示を判読する必要があるが、低速走行している自動運転車の車両状態から自動運転車が本当に減速して停車するのかが判断しづらいといったことなどがあり、減速して停止に近い状態に至ってから自動運転車からの譲りや停止の意図を確認した可能性も考えられる。一方「自動運転中」での進行判断時の距離は、「外向け HMI なし」とほぼ同様な距離で進行判断が行われていたが、これに基づく「自動運転中」に対して被験者が特段自動運転車の意図等を想像せず、自動運転車との距離のみで判断した可能性も考えられる。

(3) 進行可能と判断した際の確信に対する外向け HMI の効果

T 字交差部にて進行可能と判断した際の確信の程度について、外向け HMI の有無ならびにテキスト表示型および灯火型外向け HMI の各条件の結果に基づいて検討する。

テキスト表示型外向け HMI を介した自動運転車の意図や状態に関する伝達の一部は、非高齢者、高齢者に関わりなく、進行待ちの非優先側ドライバーに対して、進行可能と判断した際の確信をおおむね高める効果をもたらした。被験者の属性に関わりなく、共通して「お先にどうぞ」や「とまります」において進行可能と判断した際の確信が高められたことから、自動運転車からの譲りや停止の意図が伝達されることで、進行可能と判断する際の確信が高められる効果があるものと考えられる。一方、「自動運転中」において横断可能と判断した際の確信は、被験者の属性に関わりなく、共通して「外向け HMI なし」の場合よりも進行可能と判断する際の確信が低下するものと考えられる。

(4) テキスト表示型外向け HMI と灯火型外向け HMI(教育あり)の比較

非高齢者において、灯火型外向け HMI(教育あり)の方がテキスト表示型 HMI の方が、「お先にどうぞ」「とまります」よりも進行判断時の自動運転車と非優先側車両の距離がやや長い結果となったが、灯火型外向け HMI(教育あり)が横断判断距離に与える効果はテキスト表示型 HMI と比べると、低速走

行する自動運転車に対してはやや大きく、単にテキスト表示型の外向け HMIの方が直接的にコンテンツの内容が伝わるということよりも、灯火により遠くからでも判断できるなどの要因が寄与している可能性が考えられる。

灯火パターンの意味を事前教示することで、進行判断時の確信の程度がテキスト表示型と同様かそれ以上に高められる可能性があるものと考えられる。しかしながら高齢者についてはそのような傾向はみられず、外向け HMIの有無に関わりなく、基本的に自動運転車が減速して停止に近い状況に至っている必要があるものと考えられる。

(5)灯火型外向け HMI のコンテンツの内容に関する教育の有無の比較

灯火型外向け HMI のコンテンツの内容に関する教育の有無の比較について、灯火型外向け HMI の各条件の横断判断時の確信の結果に基づき検討する。

被験者の属性に関わりなく、灯火型外向け HMI のコンテンツである「右→左」「左右→中央」「常時点灯」の内容を教育することで、進行判断時の確信に違いがみられ、灯火型外向け HMI のコンテンツに対する自動運転車の意図や状態を教育すると確信の程度が低下する傾向がみられた。これは灯火パターンが自動運転車のどのような意図や状態を表しているのかが、事前学習したとは言え、十分に把握できていない可能性があり、その結果、不十分な自動運転車の意図や状態を想像してしまうことに起因している可能性が考えられる。

5.5.10. まとめ

コミュニケーションが発生する典型的な道路環境・交通状況として、T 字交差点に接近・進入する自動運転車が非優先側道路の接続部で進行（合流）待ちしている非優先側ドライバーに進路を譲ろうとする場面を設定し、外向け HMI の表示や特定の車両挙動を伴う車両に対する被験者の認識や意思決定、心理面に与える影響、運転行動、車両挙動を計測・評価した。試験走路での実験から、以下の結果が得られた。

- 自動運転車の減速挙動を十分に再現できない状況では、外向け HMI を介して自動運転車の意図を進行待ちの非優先側ドライバーに伝達することで、進行判断時の確信を高めることが可能となるが、判断タイミングについては、必ずしも早いタイミングを促せるとは限らず、特に高齢者では減速してほぼ停止に近い状態でないと進行可能と判断されない傾向がみられた。

-
-
- 低速走行の自動運転車では減速挙動を十分に再現できないことか、外向け HMI を介して自動運転車の状態「自動運転中」を進行待ちの非優先側ドライバーに伝達しても、非優先側ドライバーの進行判断時の確信を高めることができないことが示唆される。
 - 自動運転車の減速挙動を十分に再現できない状況では、灯火型外向け HMI のコンテンツの内容に関して非優先側ドライバーに教育すると、非高齢者ではテキスト表示型外向け HMI と同様か早いタイミングでの進行判断を促せる可能性が考えられるが、高齢者では減速してほぼ停止に至った状態で判断されるため、非高齢者と同様な効果が得られにくい可能性が示唆される。

5.6. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）

－VR 実験による評価・検討のための実験環境の比較実験－

5.6.1. 実験目的

本実験では、自動運転車の外向け HMI による意図や状態の伝達に対する歩行者の認識に関して、VR 環境と実道環境間の差異を主観評価、認識タイミングの観点から検討する。また、実道環境における実験の代替手段として、VR-HMD を用いた実験方法の有用性について検討する。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。

5.6.2. 実験概要

本実験では、平成 29 年度に実施した試験走路における実験と同様な環境を VR 環境上で再現して同じ条件にて実施した。

5.6.3. 実験装置

(1)VR-HMD

本研究に用いた VR 向け HMD を図 5-44 に示す。VR-HMD として、HTC Vive（HTC 製）を使用し、3 つ目の実験である負の影響に関する実験のみ、HTC Vive pro（HTC Vive の新型 HMD）を使用した。HTC Vive は既存の HMD と異なり、3D 空間において、周囲を歩き回ることやワイヤレスコントローラ（以降、コントローラと称す）を使用することで手の動きの表現が可能であり、没入感の高さが特徴である。本研究にて使用した VR-HMD はリフレッシュレートが 90Hz、解像度が 1080px×1200px(Vive pro HMD では 1440px×1600px) の有機 EL ディスプレイを両目用で 2 枚備えており、視野角は 110 度であつ

た。また、ディスプレイは 438ppi(Vive pro HMD では 616ppi)であり、大きさは対角 3.6 インチ(Vive pro HMD では 3.5 インチ)であった。VR-HMD は加速度計、レーザーポジションセンサーなどを含め、32 個のセンサを装備していた[6]。



(a)HTC Vive

(b) Vive pro

図 5-44 VR-HMD の外観

(2)ワイヤレスコントローラ

本研究において使用したコントローラを図 5-45 に示す。コントローラは VR 空間にて使用可能であり、トリガー、トラックパッド、グリップボタンを備えていた。VR-HMD におけるワイアレスドングルの機能により、VR-HMD とコントローラ間のペアリングが可能であった。



図 5-45 ワイヤレスコントローラ

(3)ベースステーション

本研究において使用したベースステーションを図 5-46 に示す。ベースステーションの Lighthouse (トラッキングシステム) により、赤外線を利用したレーザーを照射することで VR-HMD やコントローラのモーションを 360 度

で追跡し、精密な動作や位置を取得していた。ベースステーションによるスキャン方法は、赤外線 LED(ブリンカー)によるフラッシュが点灯した後に、上下方向のスキャンと左右方向のスキャンが独立して行われていた。VR-HMD やコントローラのセンサー (Watchman) がこれらのブリンカー信号とレーザー信号をそれぞれ受信し、2 つの信号の時間間隔から距離や角度を計算していた。また、ベースステーションの水平照射角度、垂直照射角度ともに 120 度であり、VR-HMD に装備してあるセンサにより最小 1.5×2(m)、最大 3×4(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 5-46 HTC 製ベースステーション 1.0

(4)開発用ソフトウェア

本研究では、以下のソフトウェアを使用し、実験環境を開発した。

(i) 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あった。1 つ目と 2 つ目の実験にて使用した Unity のバージョンは 2017.4.1f1 であり、3 つ目の実験では 2018.2.1f1 を使用した。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。

(ii)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。

5.6.4. 実験環境

慶應義塾大学理工学部 24 棟 609 号室にて実験を実施し、機材の配置を図 5-47 に示す。VR-HMD をトラッキングするベースステーションの配置は対角線上に設置することが一般的であるが[1]、実験参加者がタスクを行う上で右方向を向く必要があり、トラッキングの精度を高めるために、VR-HMD のセンサーがレーザーをより受信しやすいよう右側に 2 つ設置した。ベースステーションは三脚を用いて床から 2.0m の高さになるよう設置し、2 つのベースステーションの間隔は 3.40m であった。実験参加者の位置と向きについて図 5-48 に示す。実験参加者の右側に 2 つのベースステーションが位置するような方向を向いてもらい、2 つのベースステーション間の中心に立ってもらった。

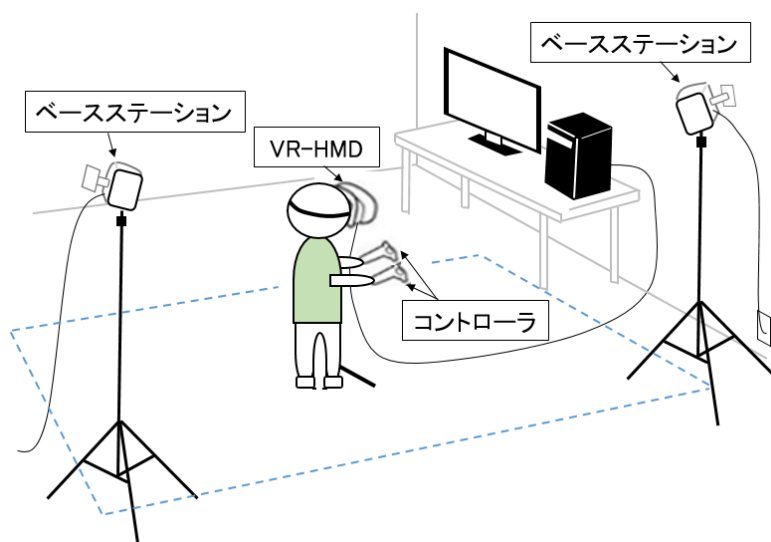


図 5-47 実験機材の配置

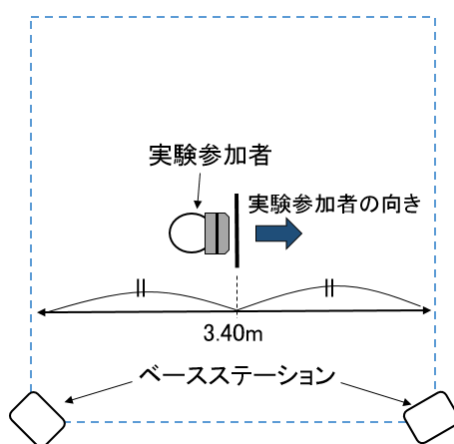


図 5-48 実験参加者の位置と向き

5.6.5. VR 映像内実験環境

実験参加者が実験タスクを行う VR 空間の実験環境を図 5-49 に示す。実験参加者は、長さ 5.7m の無信号横断歩道の手前かつ中央に立っており、実験参加者から自動運転車の最前端までの距離は 40m であった。自動運転車はトヨタプリウス（型式：DAA-ZVW51）の大きさに基づいて作成し、車両の最前端から最後端までの長さである全長は 4.5m、全幅は 1.7m であった。実験参加者から見た VR-HMD のディスプレイ上の映像を図 5-50 に示す。

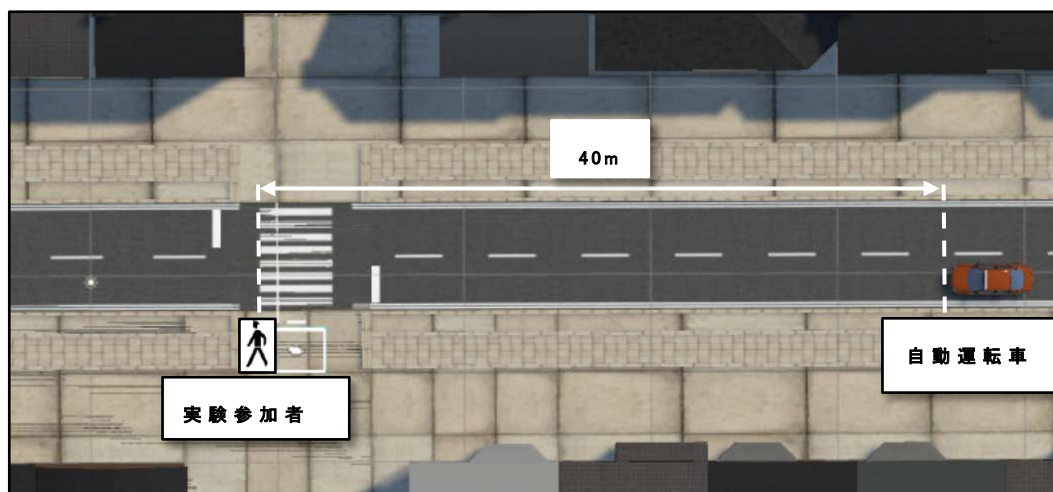


図 5-49 VR 環境内の配置



図 5-50 実験開始時における正面の映像



図 5-51 実験参加者から見た実験環境（実験参加者の右側の映像）

5.6.6. 実験タスク

本実験では、接近してくる自動運転車から進路譲りの意図を少しでも感じた時、手元のコントローラのトリガーを引くタスクを実験参加者に課した。図 5-52 にタスクの流れを示す。各試行の開始時に、実験参加者には横断歩道の方（実験開始時の正面）を向くように指示し、準備ができたタイミングで右側に位置する自動運転車を視認させた。実験参加者が自動運転車を視認したタイミングで自動運転車は横断歩道へ接近し始め、自動運転車の挙動や外向け HMI による意図伝達をもとに譲りに関して判断させた。実験参加者には、各試行において実際に動かないように指示した。実験参加者の譲り認識後にアンケート画面に移し、2 つの質問に口頭で回答させた。アンケート終了後、トリガーを引くことで次の条件の試行が開始し、同様な流れで 15 試行実施した。

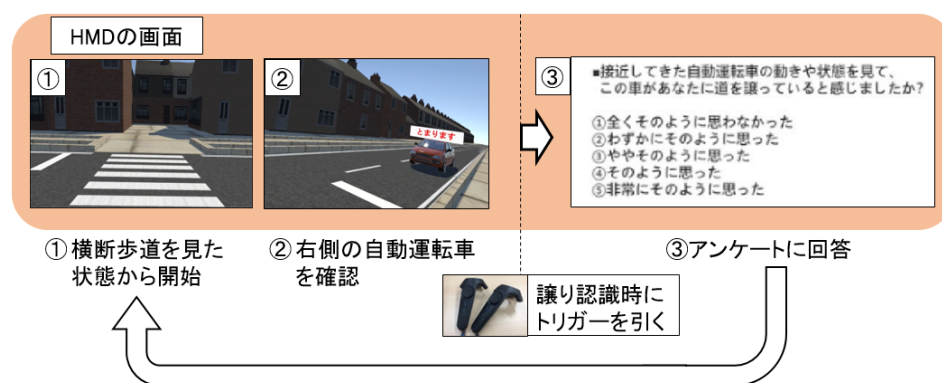


図 5-52 タスクの流れ

5.6.7. 実験条件

外向け HMI、自動運転車の車両挙動を条件として実験デザインを行った。各条件の詳細を以下に示す。

(i) 外向け HMI

外向け HMI を用いた自動運転車による意思表示の様子と外向け HMI なしの条件における自動運転車の様子を図 5-53 に示す。本実験では、自動運転車の外向け HMI を伴う意図伝達による歩行者の認識への影響と伝達する意図内容に対する歩行者の認識の差異を検討することが目的であるため、自動運転車の意図をより明確に伝える手段として、テキストメッセージを使用した。テキストメッセージは”お先にどうぞ”、”とまります”、”自動走行中”の3種類であった。”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挙動を伝えるためのテキストメッセージであり、”自動走行中”は実験車両が

自動運転車であるという状態を伝えるためのテキストメッセージとして活用した。また、本実験では譲りを認識したタイミングを測定するが、外向け HMI による意図伝達が全て譲り表明であると、実験参加者は外向け HMI を視認したタイミングで譲られたと判断する可能性があるため、ダミー条件として自動運転車が進路を譲らない意図を示す”すすみます (図 5-54)”のテキストメッセージを実験条件に含めている。外向け HMI が”すすみます”の条件についても、実験参加者には同様に譲りの判断とアンケートへの回答をさせたが、解析した結果から除いている。



(a)お先にどうぞ



(b)とまります



(c)自動走行中



(d)外向け HMI なし

図 5-53 実験条件となる外向け HMI のコンテンツ



図 5-54 ダミー条件における外向け HMI (すすみます)

5.6.8. 自動運転車の車両挙動

自動運転車の車両挙動を図 5-55 に示す。車両挙動は試験走路における実験をもとに設定した。外向け HMI を伴う意図伝達をする条件では、自動運転車と実験参加者間の距離が 25m の地点に自動運転車が到達した時点で、外向け HMI による意思表示を開始した。車両挙動は 3 種類あり、距離 40m 地点から自動運転車は 25km/h で動き始め、距離 30m 地点から減速を開始する挙動 2 種類と距離 40m 地点から 15km/h 一定速度で接近する挙動であった。減速挙動として、距離 30m 地点から 15m 地点までの間で 25km/h から 15km/h まで減速した後、15km/h の一定速度で通過する挙動を減速小と定義し、25km/h から 10km/h まで減速する挙動を減速大と定義した。また、15km/h で接近し、減速もしくは加速しない挙動を一定速度と定義した。

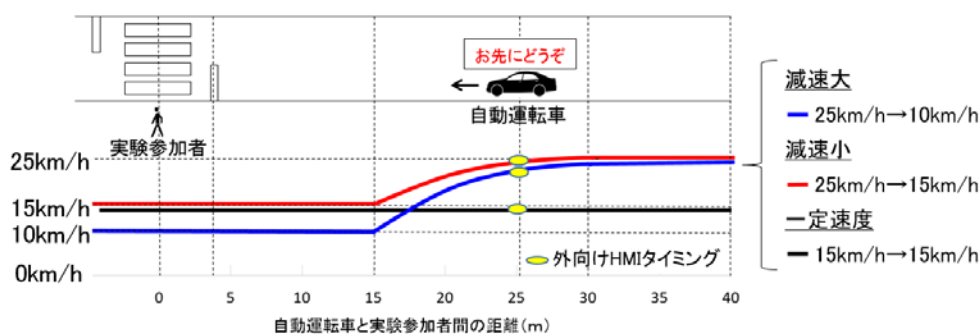


図 5-55 自動運転車の車両挙動

5.6.9. 実験試行の流れ

表 5-4 に実験試行の流れとして、外向け HMI と車両挙動の組合せの条件を示す。自動運転車と実験参加者間の距離が 25m 地点から外向け HMI による意思表示をしていたが、自動走行中については自動運転車の開始地点 (40m) から自動走行している状態であることを表明していた。試行番号 1 から 15 まで順に実験を実施した。

表 5-4 実験試行の流れ

試行番号	車両挙動	外向けHMI タイミング(m)	外向けHMIの種類
1	減速大		HMIなし
2	減速小		HMIなし
3	一定速度		HMIなし
4	減速大	25	すすみます
5	減速小	40	自動走行中
6	一定速度	25	とまります
7	減速大	25	お先にどうぞ
8	一定速度	40	自動走行中
9	減速小	25	とまります
10	減速小	25	お先にどうぞ
11	一定速度	25	すすみます
12	減速大	25	とまります
13	減速大	40	自動走行中
14	一定速度	25	お先にどうぞ
15	減速小		HMIなし

5.6.10. 計測項目

実験参加者には、年齢、性別、運転頻度、VR-HMDの経験等について事前にアンケート調査を行った。

(i) 譲られたかどうかの判断

自動運転車の最前端が横断歩道前の停止線を通る前に、実験参加者が自動運転車から譲られたと判断し、反応ボタンとして使用したコントローラのトリガーを引いた場合、譲りを認識したとみなした。

(ii) 譲りの認識度

1 試行終了するごとに画面が切り替わり、図 5-56 に示すような主観評価アンケート用の画面が表示され、実験参加者には口頭で番号を回答させた。自動運転車から進路を譲られたと判断し、トリガーを引いた時にどの程度譲りを感じたか 5 段階で評価させた。この回答した評価を譲りの認識度と定義する。

■接近してきた自動運転車の動きや状態を見て、
この車があなたに道を譲っていると感じましたか？

- ①全くそのように思わなかった
- ②わずかにそのように思った
- ③ややそのように思った
- ④そのように思った
- ⑤非常にそのように思った

図 5-56 譲りの認識度に関するアンケート画面

(iii)譲り認識時の距離

実験参加者が譲りを認識したタイミングにおける実験参加者と自動運転車間の距離を譲り認識時の距離と定義する。譲り認識時の距離は、自動運転車の最前端から歩行者までの距離を測定した。

5.6.11. 実験参加者

実験参加者は 20 名（平均：26.9 歳、標準偏差：6.19 歳、20～38 歳）であり、男性 13 名（平均：25.7、標準偏差：5.94）、女性 7 名（平均：29.1、標準偏差：6.47）であった。全実験参加者は両眼視力 0.8 以上で運転免許を保有していた。また、男性 7 名、女性 2 名が VR を過去に経験した者であった。一方、試験走路における実験参加者は 14 名（平均：36.9 歳、標準偏差：9.77 歳、20～53 歳）であり、全実験参加者は運転免許を保有していた。実験環境間の比較を行う上で、年齢による差異を減らすため、試験走路における実験参加者について、40 歳以下の実験参加者 10 名（平均 32.3 歳、標準偏差：6.98 歳、20～39 歳）を対象に比較を行った。

5.6.12. 実験手続き

実験開始前に実験参加者に対して実験内容の説明を行い、実験参加への同意を得た。また、普段の歩行の特性や VR 経験に関するアンケートに回答するように指示した。その後、実験参加者の両眼視力と歩行速度を測定した。

次に、実験参加者をベースステーションから検知しやすい指定の位置に立たせた後、VR-HMD を装着させ、コントローラを持たせた。この時に実験中の安全確保のため、実験中は実際に歩かないよう指示した。

VR-HMD 装着後、練習用の試行を数回実施し、VR 環境での判断、コントローラの操作やアンケートの回答方法に関して実験参加者の習熟を確認後に本実験として測定を開始した。練習試行開始前に実験参加者には、右側に位置する車両は自動運転車であり、車両の挙動や状態を見て、少しでも譲

られたと判断した時に手元のコントローラのトリガーを引くように教示した。また、実験途中にシミュレータ酔いを感じたときにはすぐに申し出るように伝え、実験実施者は酔いを感じていないか実験参加者に適宜確認した。

外向け HMI の種類と車両挙動の異なる全 15 条件の組合せについて、実験参加者に譲りに関する判断をさせた。ダミー条件として、外向け HMI がすみすみの条件を 2 試行含めた。各試行の終了後に主観評価に関するアンケート画面を表示して回答させた。

5.6.13. 実験結果

(1)解析方法

VR 環境と試験走路間で比較を行う実験では、自動運転車が実験参加者の前を通過する前に反応ボタン（VR 実験では Vive コントローラのトリガーを使用）を押すかどうかによって譲られたかどうかを分類し、さらに譲られたと判断した実験参加者の主観評価アンケートに基づく譲りの認識度と譲り認識時の自動運転車と歩行者間の距離（以降、譲り認識時の距離と称す）についてそれぞれ分析を行った。譲られたかどうかの判断に関して Fisher の正確確率検定を実施し、譲りの認識度と譲り認識時の距離については各 HMI 条件における VR 環境下の結果と試験走路の結果を比較するために Mann-Whitney の U 検定をそれぞれ実施した。なお、一部の検定において、検定の多重性を考慮しボンフェローニ(Bonferroni)補正に基づく検定を実施した。

本実験では VR 環境下の実験に、平成 29 年度に実施した試験走路における実験データを加えて検討を行った。実験の条件について実験環境間で違いはなかったが、右側から接近する自動運転車を実験参加者が視認開始するタイミングについて違いがあり、VR 環境では実験参加者のタイミングで右側を視認していたが、試験走路では実験実施者の合図をもとに実験参加者は右側を視認した。ただし、どちらの実験環境においても自動運転車と実験参加者間の距離が 40m 地点から視認開始するように設定した。

(2)実験結果

(i)譲られたかどうかの判断

図 5-57 に減速大(25km/h→10km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態の伝達に対して、歩行者が譲りを認識した割合の結果を示す。

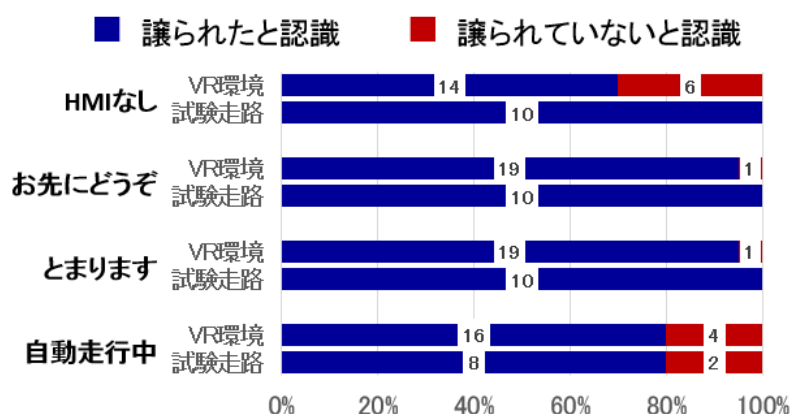
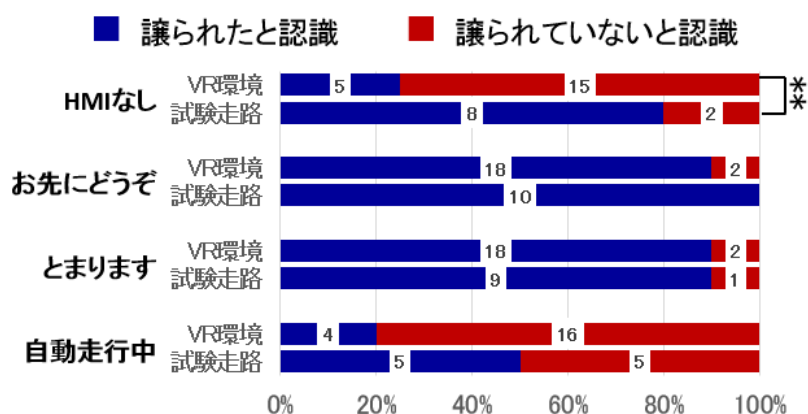


図 5-57 減速大の条件における譲られたかどうかの判断

図 5-58 に減速小(25km/h→15km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態の伝達に対して、歩行者が譲りを認識した割合の結果を示す。



** 有意確率 1%

図 5-58 減速小の条件における譲られたかどうかの判断

図 5-59 に一定速度(15km/h→15km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態の伝達に対して、歩行者が譲りを認識した割合の結果を示す。

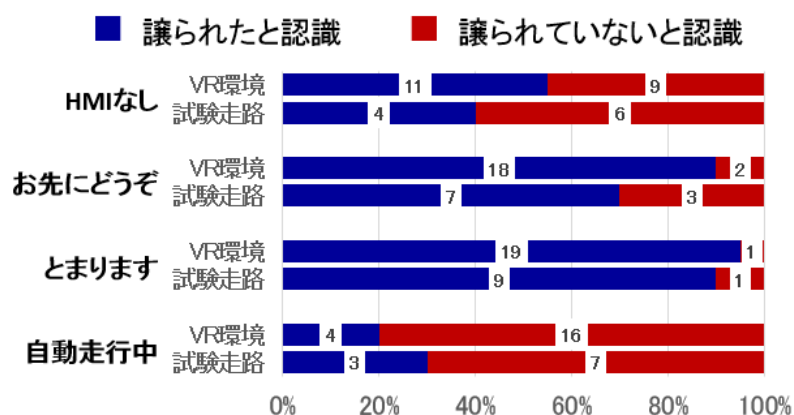


図 5-59 一定速度の条件における譲られたかどうかの判断

減速大と一定速度の条件において、実験環境間による大きな違いは見られなかった。一方、減速小の”HMIなし”について、試験走路間で Fisher の正確確率検定を実施したところ、p 値は 0.006887 であり有意となった。また、減速挙動に着目して試験走路における減速大と減速小の各 HMI 条件を比較すると有意差は見られなかったが、VR 環境下では”HMIなし”で p 値が 0.01039 であり、”自動走行中”で p 値が 0.00036 であり有意となった。そのため、VR 環境下において自動運転車の減速が小さく、意図を伝達する外向け HMI を伴わない場合、譲りの認識割合が低下することが見て取れる。

(ii)譲りの認識度

譲られたと認識した実験参加者の主観評価をより詳細に分析するため、譲られたと判断した実験参加者の譲りの認識度について検討する。図 5-60 には、減速大(25km/h→10km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態の伝達に対する歩行者の譲りの認識度の結果を示す。

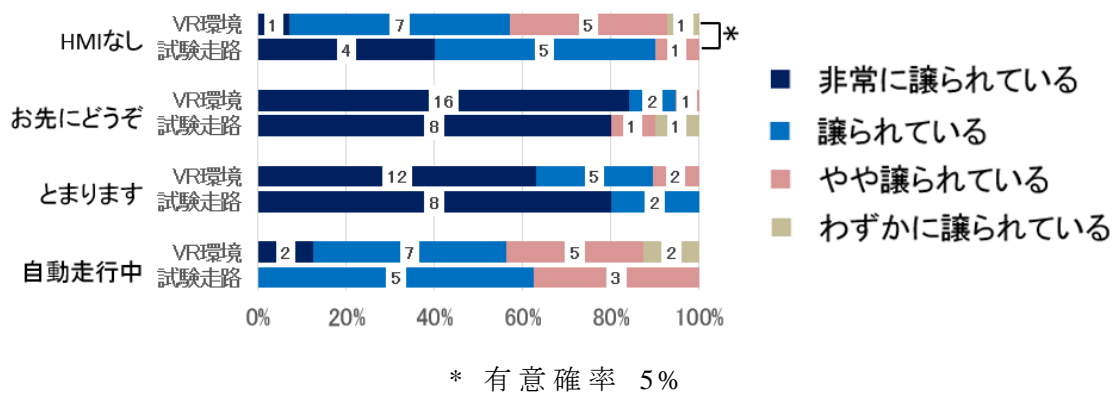


図 5-60 減速大の条件における譲りの認識度

図 5-61 には、減速小(25km/h→15km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態の伝達に対する歩行者の譲りの認識度の結果を示す。

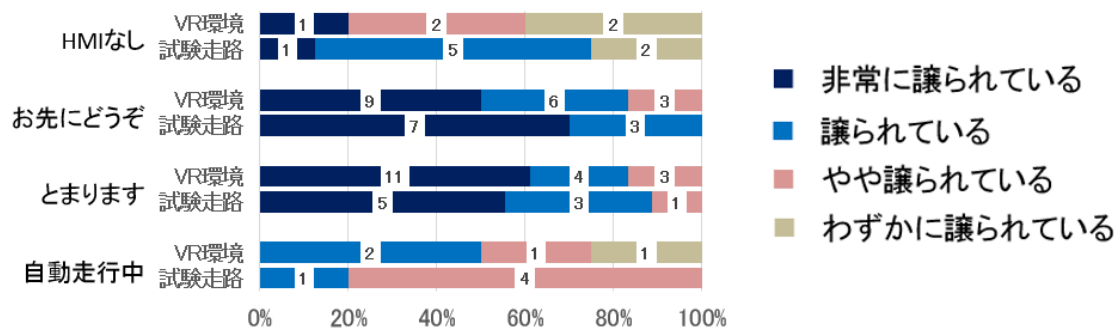


図 5-61 減速小の条件における譲りの認識度

図 5-62 には、一定速度(15km/h→15km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態の伝達に対する歩行者の譲りの認識度の結果を示す。

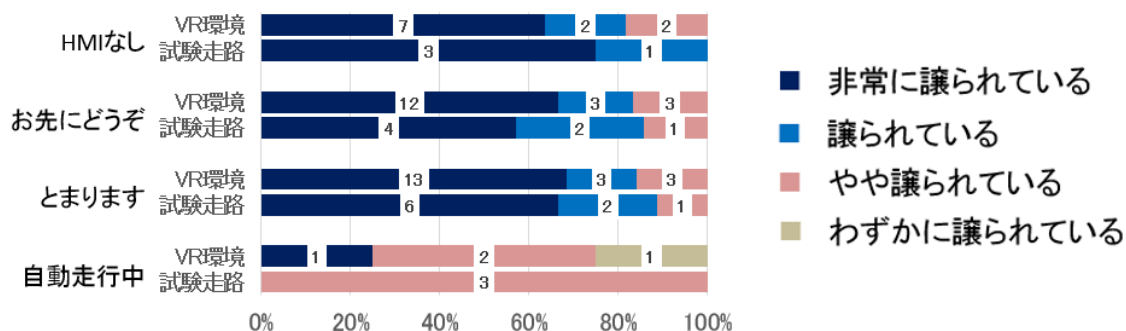


図 5-62 一定速度の条件における譲りの認識度

減速小と一定速度の条件において、実験環境間による大きな違いは見られなかった。一方、減速大の”HMIなし”について、試験走路間で Mann-Whitney の U 検定を実施したところ、 $U=105$ 、 p 値は 0.02861 であり有意となった。減速大のその他の条件（外向け HMI を伴う条件）では、実験環境間による譲りの認識度の違いは見られなかった。

(iii) 譲り認識時の距離

譲られたと認識した実験参加者の客観的なデータを分析するため、譲り認識時の距離について実験環境間で比較する。図 5-63 には、減速大(25km/h→10km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態を、歩行者が譲りとして認識した時の距離について箱ひげ図で結果を示す。

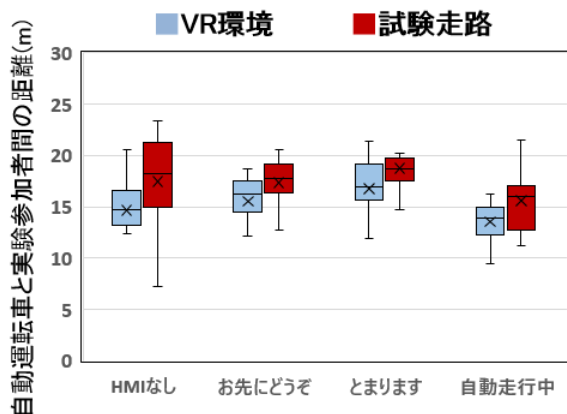


図 5-63 減速大の条件における譲り判断時の距離

図 5-64 には、減速小(25km/h→15km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態を、歩行者が譲りとして認識した時の距離について箱ひげ図で結果を示す。

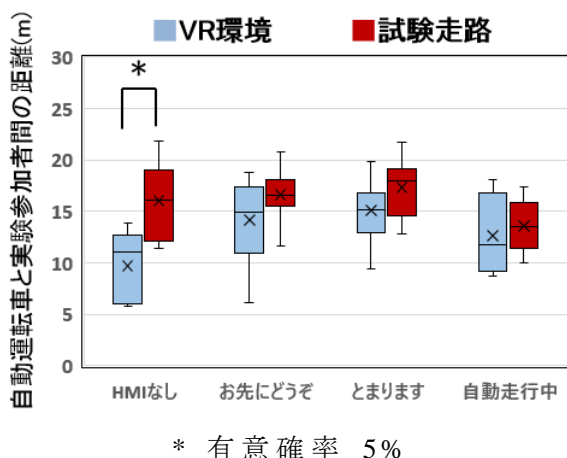


図 5-64 減速小の条件における譲り判断時の距離

図 5-65 には、一定速度(15km/h→15km/h)の車両挙動と外向け HMI の組合せによる自動運転車の意図や状態を、歩行者が譲りとして認識した時の距離について箱ひげ図で結果を示す。

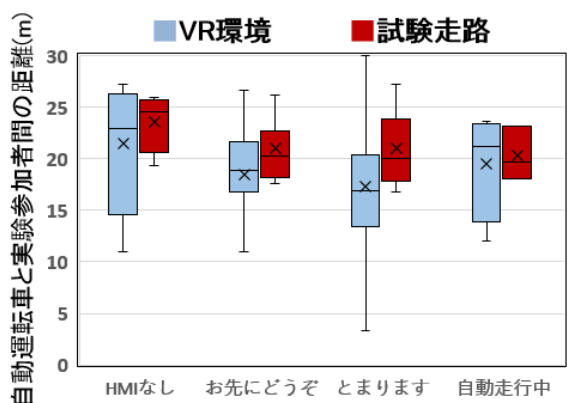


図 5-65 一定速度の条件における譲り判断時の距離

減速大と一定速度の条件において、実験環境間による大きな違いは見られなかった。一方、減速小の”HMIなし”について、試験走路間で Mann-Whitney の U 検定を実施したところ、 $U=4$ 、 p 値は 0.01865 であり有意となった。減速小のその他の条件（外向け HMI を伴う条件）では、実験環境間による譲りの認識時の距離に違いは見られなかった。

5.6.14. 考察

(1) 譲り認識時の主観評価に関する検討

各実験試行のアンケートをもとに、各条件で歩行者が譲りを認識する上での主な手掛かりを表 5-5 に示す。自動運転車から譲られているか判断する上で、歩行者は自動運転車が外向け HMI を伴わない場合、車両の速度変化を手掛かりとして判断しており、外向け HMI を伴う場合、自動運転車の意図や状態の情報が加えて判断していた。表 5-5 をもとに、主観評価として譲りの認識について、VR 環境と試験走路間の結果の差異を検討する。

図 5-58 の減速小に関する結果より、“HMI なし” の譲られたと認識する割合が VR 環境で低下しており有意差が確認された。図 5-57 と図 5-59 の結果より、大きな減速挙動と速度変化のない一定速度では譲り認識割合に差がなかったため、試験走路では認識できていた小さな減速挙動を HMD の画面上では十分に認識できなかつた可能性が考えられる。また、減速挙動に着目して図 5-57 と図 5-58 を比較すると、試験走路では速度変化の大きさによって譲りを認識する割合に大きな違いはなかったが、VR 環境下では“HMI なし” と“自動走行中”について、減速小にて減速大より譲りを認識する割合が低下する傾向が見られた。“自動走行中”は自動走行している状態を伝達しているが、図 5-57、図 5-58、図 5-59 の結果から“HMI なし”と比べて、譲りの認識割合が同様もしくはやや低下しており、自動運転車の状態を伝達することにより譲りの認識が向上しない可能性があることから、“自動走行中”の条件における歩行者の判断手掛かりは、車両挙動による影響が大きいことがうかがえる。そのため、VR 環境の条件で減速大と減速小を比較した時、“HMI なし”と“自動走行中”について減速小の譲り認識割合が低下したことから、VR 環境では車両速度の小さな変化を認識しづらい可能性がうかがえる。

減速大に関して、譲りの認識割合は実験環境間で同様であったが、“HMI なし”における譲りの確信度は VR 環境で低下していた。Liu らの研究[2]によると、シミュレータ環境では画面の奥行を認識しづらいことで、速度変化を正しく認識しづらいことが報告されており、減速挙動を主な手掛かりとする場合、十分に譲りを認識できず評価が低下していた可能性がうかがえる。

以上を踏まえると、譲り認識に関する主観評価を VR-HMD を用いて検討する上で、速度変化を伴わない条件では、試験走路とほぼ同様な結果が得られる可能性がある。ただし、十分な減速を伴う条件の場合、譲りを認識する割合や譲りの認識度について HMI の条件間の関係性は試験走路とほぼ同様であるが、先行研究でも述べられているように、画面上では減速挙動を認識し

づらい傾向から、譲りの判断において減速挙動を主な手掛かりとする条件では、評価がやや低下する可能性があり実験時に考慮する必要性が考えられる。

表 5-5 歩行者の譲り判断時における主な手掛かり

	減速大 (25km/h→10km/h)	減速小 (25km/h→15km/h)
HMIなし	減速挙動(大)	減速挙動(小)
お先にどうぞ	減速挙動(大) +HMI(譲り意図)	減速挙動(小) +HMI(譲り意図)
とまります	減速挙動(大) +HMI(停止意図)	減速挙動(小) +HMI(停止意図)
自動走行中	減速挙動(大) +HMI(状態)	減速挙動(小) +HMI(状態)

(2)譲り認識時の客観的な評価に関する検討

譲り認識に関する客観的なデータとして、譲り認識時の距離を計測した。図 5-63～図 5-65 の結果より、減速小の”HMIなし”についてのみVR環境において譲りの認識タイミングが遅くなり有意差が確認されたが、その他の条件について大きな差異は見られなかった。VR-HMDの距離認識に関する先行研究によると[3][4][5]、実道環境において認識する距離よりも、VR環境ではより近い距離として認識していることが報告されている。しかしながら、譲り認識時の距離に大きな差異がないことから、譲りを認識する上で距離の要因が大きく影響しないことが考えられる。つまり、距離が十分に確保されているかどうかをもとに譲りを判断するより、車両の速度変化や外向けHMIによるメッセージを手掛かりとするため、譲り判断時の距離に大きな違いが見られなかったと考えられる。減速小の”HMIなし”については、前節で述べたようにVR環境において譲りの認識割合が減少していた。そのため、譲りを認識するまで試験走路環境より多くの時間がかかっており、より近い距離での判断となっていたことが考えられる。以上を踏まえると、譲りの認識時の距離をVR-HMDで評価する上で、距離以外の手掛かりをもとに判断していることが考えられ、譲られたかどうかの判断で試験走路と同様な傾向を示している場合、その時の距離も同様に検討できる可能性が示唆された。

5.6.15. まとめ

VR-HMD を用いることで分析できる項目を検討するため、VR 環境と試験走路環境において、自動運転車による外向け HMI を伴う意図や状態の伝達に対する歩行者の認識に関して検討を行った。その結果、譲り認識に関して、VR 環境と試験走路間でほぼ同様な傾向を示したが、速度変化を認識しづらい可能性があり速度変化のみを手掛かりとした判断では譲りの認識が低下する傾向が見られた。また、譲りを認識したタイミングを距離によって評価する時、実験環境間で同様な傾向が見られた。そのため、VR-HMD を用いて譲りの認識を評価する上で、速度変化をやや認識しづらいものの試験走路と比較して大きな差異は見られなかった。

- 外向け HMI に対する歩行者認識に関する主観評価や判断距離について、VR 環境と実道環境間で同様な傾向を示し、VR-HMD を用いた評価手法の有用性を明らかにした

5.7. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）－外向け HMI 利用に伴う負の影響

5.7.1. 実験目的

本実験では、外向け HMI 利用に伴う意図伝達による歩行者への負の影響に関して、横断時の視認行動や主観評価の観点から検討する。

5.7.2. 実験環境

慶應義塾大学理工学部 24 棟 609 号室にて実験を実施し、機材の配置は第 3 章の図 5-66 と同様であった。本実験についても実験参加者がタスクを行う上で右方向を向く必要があるため、VR-HMD のセンサーがレーザーをより受信しやすいようベースステーションを右側に 2 つ設置した。ベースステーションは三脚を用いて床から 2.0m の高さになるよう設置し、2 つのベースステーションの間隔は 3.40m であった。実験参加者の位置と向きについて図 5-66 に示す。実験参加者の右側に 2 つのベースステーションが位置するような方向を向いてもらい、2 つのベースステーション間の中心に立ってもらった。

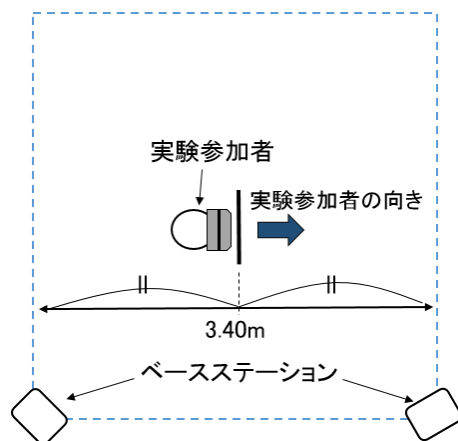


図 5-66 実験参加者の位置と向き

5.7.3. 実験の構成

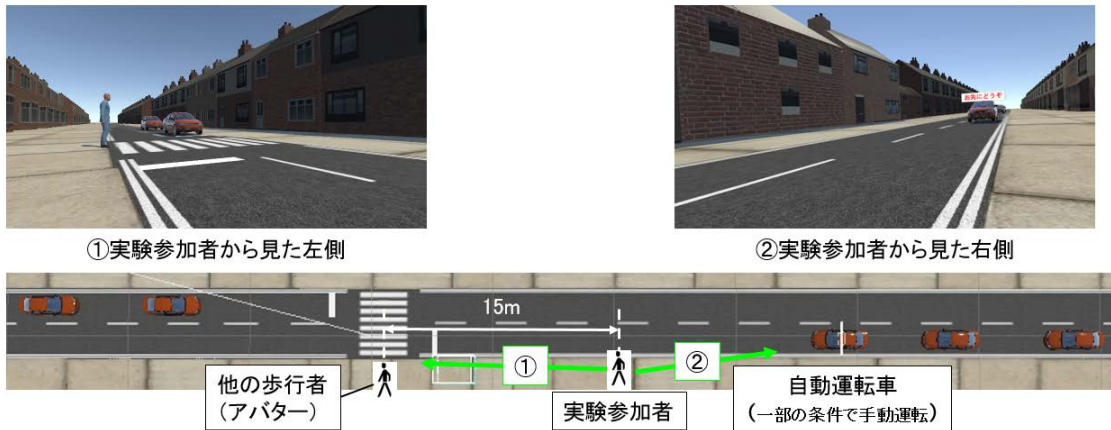
本実験では、実験参加者に4種類の場面において横断判断をしてもらった。実験の構成を図 5-67 に示す。横断歩道以外の地点に立つ歩行者への外向けHMIを伴う意図伝達の影響を検討するため、横断歩道以外の地点で横断判断する場面(①)と横断歩道前にて横断判断する場面(②)を比較する。2つの場面が終了した後に、場面①や場面②より車両が低速で走行している場面において、実験参加者に横断判断をしてもらった(③)。最後に、渋滞状況により、対向車の様子が十分に確認できない場면을対象に横断判断をしてもらった(④)。

実験の構成	試行数
① 横断歩道以外の地点で譲り認識・横断	10
② ①と同様な条件において、横断歩道手前で譲り認識・横断(①と比較)	10
-休憩-	
③ 車両が低速で走行している環境における譲り認識・横断	6
④ 渋滞環境における譲り認識・横断	10

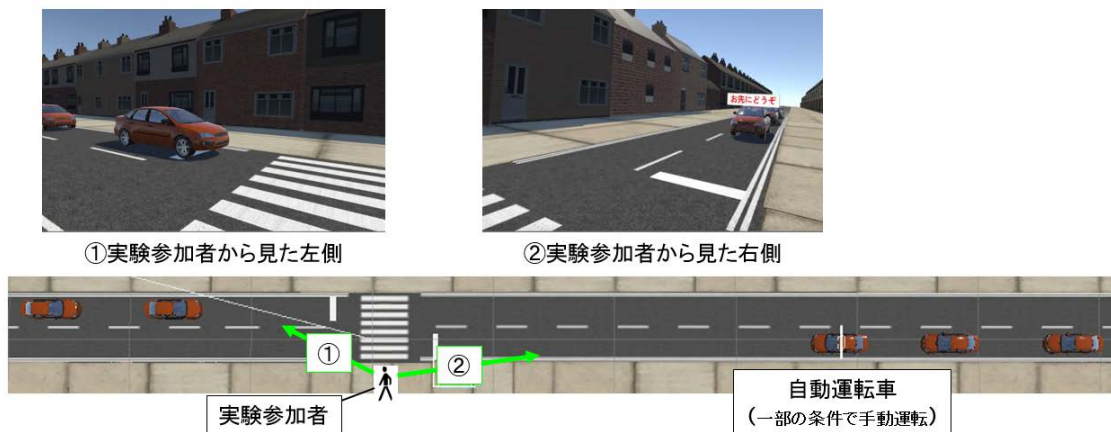
図 5-67 実験の構成

5.7.4. VR 映像内実験環境

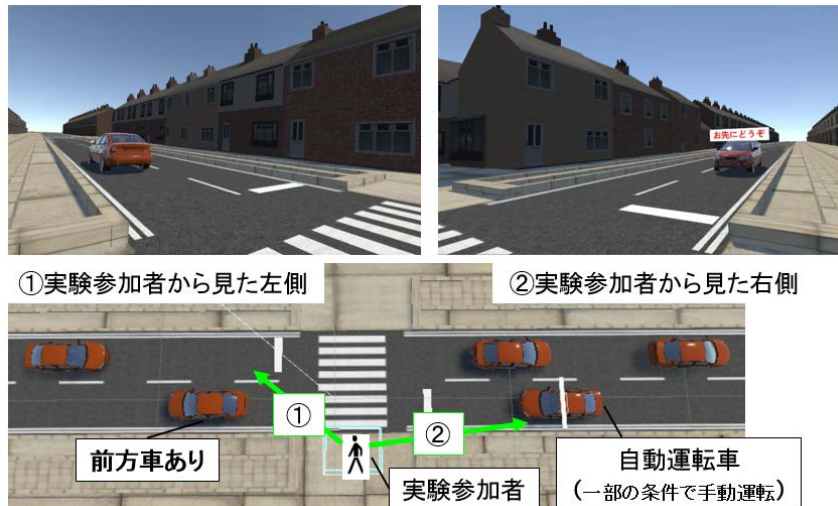
実験参加者が実験タスクを行う VR 空間の実験環境を図 5-68 に示す。道路幅（無信号横断歩道の長さ）は 5.7m であり、車両の全長は 4.5m、全幅は 1.7m であった。本実験では全ての場面において右側から接近する車両に加えて、対向車も横断歩道に接近するため、実験参加者は横断判断時に左右を確認した。



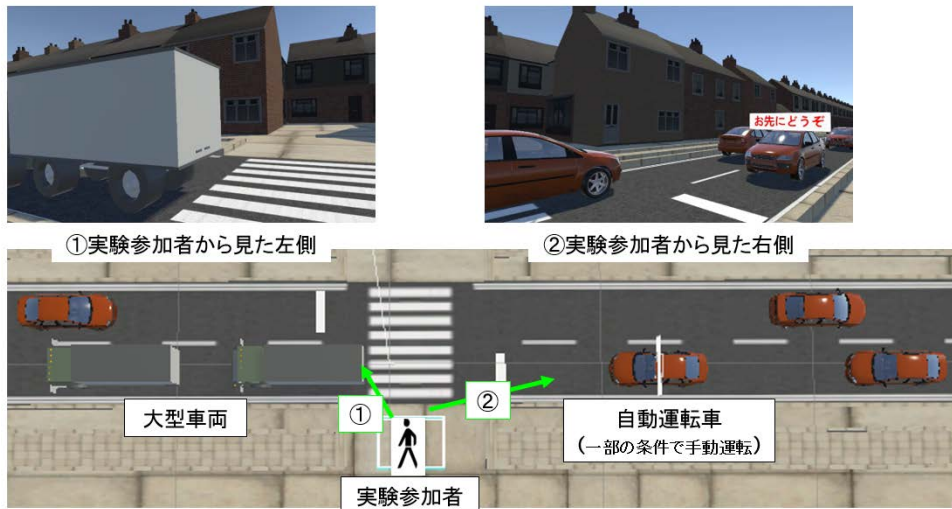
場面①の実験環境



場面②の実験環境



場面③の実験環境



場面④の実験環境

図 5-68 VR 上の実験環境

5.7.5. 実験タスク

本実験では、接近してくる自動運転車（一部の条件で手動運転車）からの進路譲りや対向車や前方車などの他車両の状態を見て、横断できると判断した時に、手元のコントローラを操作して横断するタスクを実験参加者に課した。5.6 節の実験と異なり、横断中における左右の確認行動についても調査するため、実験参加者には手元のコントローラを使用して、前後方向の移動を行いつつ車道を渡るように指示した。画面の動く速度（歩行速度）は、事前に測定した実験参加者の歩行速度を設定し、図 5-69 に示すように、前進・後退するための操作を行わせた。図 5-70 にタスクの流れを示す。各試行の

開始時に、実験参加者には前方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右側に位置する車両を視認させた。まず、実験参加者が右側の車両を視認したタイミングで車両は横断歩道へ接近し始め、後に左側の対向車を視認したタイミングで対向車両も同様に横断歩道へ接近し始め、左右の車両を確認しながら横断させた。実験参加者には、コントローラによる操作のみ行い、各試行において実際に動かないように指示した。実験参加者が車道を横断すると、アンケート画面に遷移し、質問に口頭で回答させた。アンケートの回答終了後、次の条件の試行が開始し、同様の流れで場面①から場面④まで合計 36 試行実施した。



図 5-69 実験参加者のコントローラ操作

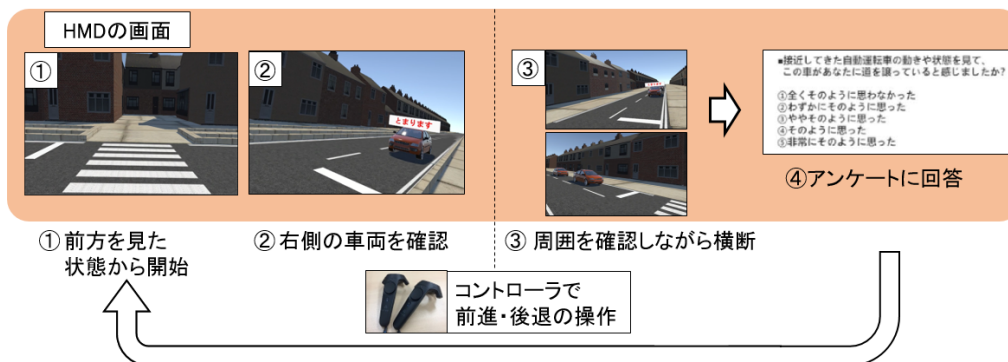


図 5-70 タスクの流れ

5.7.6. 実験条件

自動運転車の外向け HMI の種類、評価対象となる車両の状態、評価対象となる車両の車両挙動を条件として実験デザインを行った。各条件の詳細を以下に示す。

(i)自動運転車の外向け HMI

外向け HMI を用いた自動運転車による意思表示の様子と外向け HMI なしの条件における自動運転車の様子を図 5-71 に示す。本実験では、5.6 節の実験と同様に、自動運転車の意図をより明確に伝える手段として、”お先にどうぞ”、”とまります”、”自動走行中” の 3 種類のテキストメッセージを使用した。また、ダミー条件として自動運転車が進路を譲らない意図を示す”すすみます”のテキストメッセージを実験条件に含めている。外向け HMI が”すすみます”の条件についても、実験参加者には同様にアンケートへの回答をさせたが、解析結果から除いている。



お先にどうぞ



とまります



自動走行中



外向け HMI なし



すすみます (ダミー条件)

図 5-71 外向け HMI の条件

(ii)評価対象となる車両の状態

主観評価の対象となる車両について、自動運転車に加えて、ドライバーが運転している手動運転車の条件が含まれる。手動運転車の様子を図 5-72 に示す。自動運転車の条件では、車両にドライバー（VR 上のアバター）が乗車していないが、手動運転車に関してはドライバーが乗車しており、停止線で停止し歩行者の方を向く動作をする。外向け HMI を伴う意図伝達は自動運転車の条件を対象としているため、手動運転車では外向け HMI を伴う意図伝達は行わなかった。

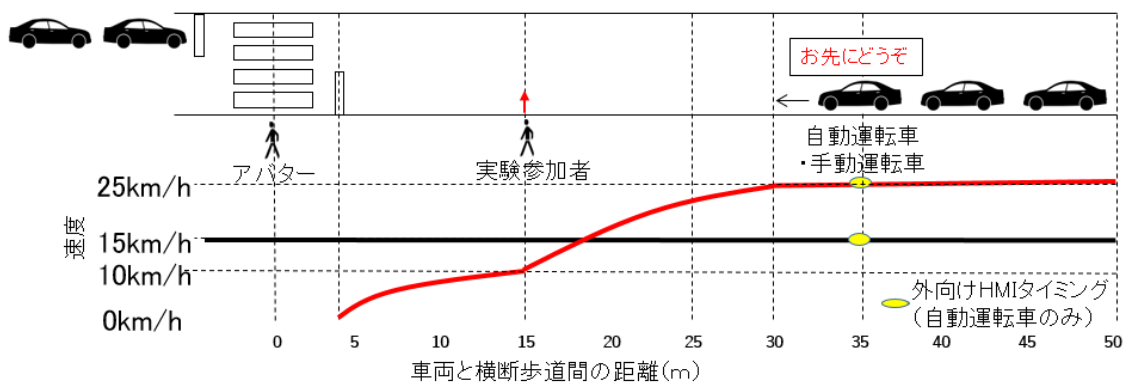


図 5-72 手動運転車

(iii)評価対象の車両の挙動と他車両の挙動

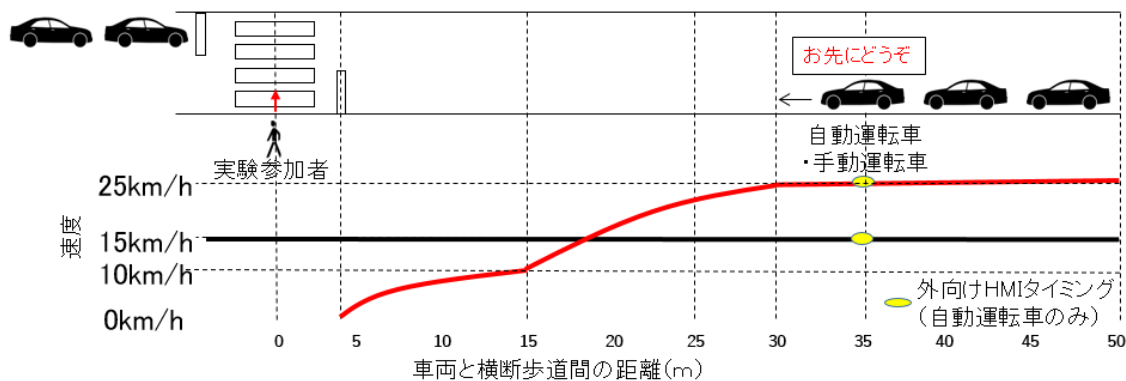
場面①から場面④の各場面における車両挙動を図 5-73～図 5-76 に示す。まず、場面①・②に関して、外向け HMI を伴う意図伝達をする条件では、評価対象の車両（図 5-73、図 5-74 の自動運転車・手動運転車）と横断歩道間の距離が 35m の地点に車両が到達した時点で、外向け HMI による意思表示を開始した。”自動走行中”は車両が走行し始めた時から表示していた。車両挙動は 2 種類あり、距離 50m 地点から 25km/h で動き始め、距離 30m 地点から減速を開始する挙動と、距離 50m 地点から 15km/h 一定速度で通過する挙動であった。評価対象の車両には後続車が 2 台あり、評価対象車両である前方車と同様な挙動であった。先頭の対向車は横断歩道から 16m 離れた地点に位置し、実験参加者が最初に右側の車両を視認したタイミングで 15km/h の速度で走行し始め、横断歩道から 7m 地点から減速し、対向車線の停止線手前で停止した。また、ダミー条件では停止せず、15km/h 一定で通過した。後続の対向車は先頭の車両と同様な挙動で走行した。次に、場面③（図 5-75）では、評価対象の車両は横断歩道から 30m の地点から走行開始し、17m 地点から減速を開始し、停止線手前で停止した。自動運転車の場合、17m 地点で減速開始と同時に外向け HMI を用いた意図伝達を開始した（”自動走行中”

は常時)。また、15m 前方に前方車が走行しており、前方車も同様な車両挙動であった。ダミー条件では停止せず、15km/h 一定で通過した。対向車は最終試行とダミー条件以外は 30km/h から減速し、停止線手前にて停止する挙動であった。最終試行とダミー条件では、停止せず 30km/h から 15km/h まで減速した後、15km/h 一定で通過した。最後に場面④（図 5-76）では、評価対象の車両は横断歩道から 15m の地点から走行開始し、15km/h から減速して停止線手前にて停止する挙動であった。外向け HMI による意図伝達は横断歩道から 10m 手前から開始し、”自動走行中”のみ常時点灯していた。2 台の後続車も同様な車両挙動であった。実験開始と同時に大型車両が前方を通過し、図 5-76 に示したように渋滞状況に伴って横断歩道付近で停止した。そのため、実験参加者が横断歩道手前で、対向車を十分に確認できない環境であり、実験参加者は横断歩道の途中で対向車を確認する必要がある。対向車は最終試行もしくはダミー条件において通過し、その他の試行では停止もしくは対向車が無い条件として実験実施した。



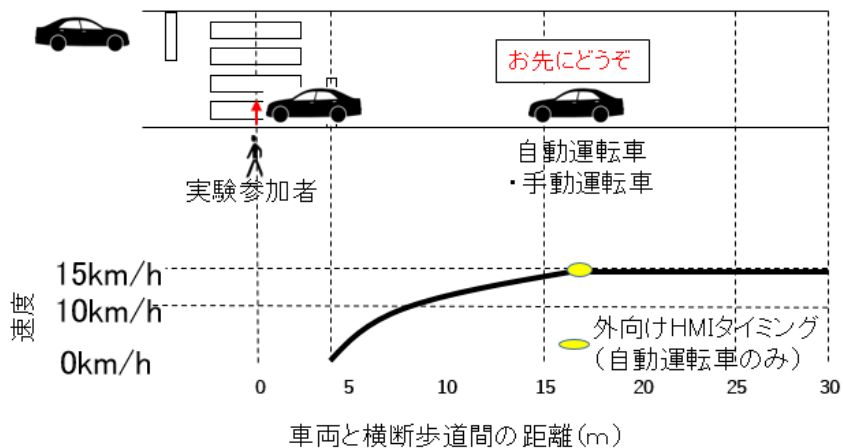
場面①における車両挙動

図 5-73 自動運転車（一部条件にて手動運転）の車両挙動



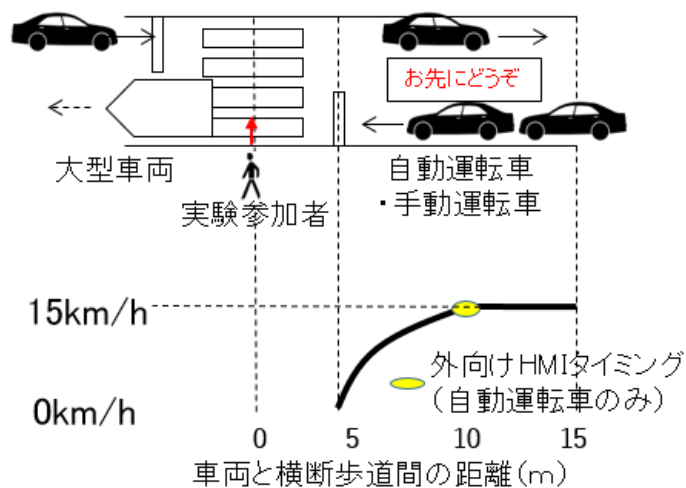
場面②における車両挙動

図 5-74 自動運転車（一部条件にて手動運転）の車両挙動



場面③における車両挙動

図 5-75 自動運転車（一部条件にて手動運転）の車両挙動



場面④における車両挙動

図 5-76 自動運転車（一部条件にて手動運転）の車両挙動

5.7.7. 実験試行の流れ

表 5-6 に実験試行の流れとして、自動運転車における外向け HMI と車両挙動の組合せの条件を示す。手動運転の条件では、外向け HMI がなく、ドライバーが乗車しており、車両挙動は自動運転車の条件と同様であった。本実験では、場面③、場面④の最終試行において、外向け HMI による意図伝達による実験参加者の対向車への意識や視認行動の変容を調査するため、自動運転車に関する 3 種類の外向け HMI と HMI なし条件に加えて、手動運転車の条件による合計 5 種類の条件から、各実験参加者に対して 1 種類を割り当てた。

そのため、全場面に関して手動運転車に対して横断判断する実験参加者、場面③の最終試行において自動運転車の”HMIなし”・”お先にどうぞ”・”とまります”・”自動走行中”のいずれかに対して横断判断する実験参加者に分類された。実験参加者は場面①から順に横断判断を行い、全ての場面で合計36試行実施した。

表 5-6 実験試行の流れ

【場面①、②共通/自動運転車に関する条件】

試行番号	車両挙動	外向けHMI	外向けHMI タイミング	対向車
1	減速→停止	HMIなし		停止
2	一定速度	HMIなし		停止
3	一定速度	すすみます	35m	通過
4	減速→停止	とまります	35m	停止
5	一定速度	自動走行中	常時	停止
6	減速→停止	お先にどうぞ	35m	停止
7	一定速度	すすみます	35m	通過
8	減速→停止	自動走行中	常時	停止
9	一定速度	お先にどうぞ	35m	停止
10	一定速度	HMIなし		停止

【場面③/自動運転車に関する条件】

試行番号	車両挙動	外向けHMI	対向車
1	減速→停止	①	停止
2	一定速度	すすみます	通過
3	減速→停止	②	停止
4	減速→停止	③	停止
5	減速→停止	④	停止
6	減速→停止	①	通過

	①	②	③	④
シナリオ1	HMIなし	自動走行中	お先にどうぞ	とまります
シナリオ2	お先にどうぞ	自動走行中	HMIなし	とまります
シナリオ3	とまります	自動走行中	お先にどうぞ	HMIなし
シナリオ4	自動走行中	HMIなし	お先にどうぞ	とまります

【場面④/自動運転車に関する条件】

試行番号	外向けHMI	外向けHMI タイミング	対向車	備考
1	HMIなし		停止	全実験参加者 共通
2	自動走行中	常時	停止	
3	お先にどうぞ	10m	なし	
4	すすみます	10m	通過	
5	とまります	10m	停止	
6	自動走行中	常時	なし	
7	お先にどうぞ	10m	停止	
8	とまります	10m	停止	
9	HMIなし		停止	
10	お先にどうぞ	10m	通過	場面③にてシナリオ1
	とまります	10m		場面③にてシナリオ2
	自動走行中	常時		場面③にてシナリオ3
	HMIなし			場面③にてシナリオ4

5.7.8. 計測項目

実験参加者には、年齢、性別、運転頻度、VR-HMDの経験等について事前にアンケート調査を行った。

(i)譲られたかどうかの判断

自動運転車の最前端が歩行者の手前を通過する前に、実験参加者が自動運転車（もしくは手動運転車）から譲られたと判断し、反応ボタンとして使用したコントローラのトリガーを引いた場合、譲りを認識したとみなした

(ii)譲りの認識度

1 試行終了するごとに画面が切り替わり、主観評価アンケート用の画面が表示され、実験参加者には口頭で番号を回答させた。評価対象の車両が実験参加者の前を通過する前にどの程度譲りを感じたか5段階で評価させた。この回答した評価を譲りの認識度と定義する。

(iii)横断できるかどうかの判断

評価対象の車両が実験参加者の前を通過する前に、譲り意図を認識し横断開始した場合、横断したとみなした。

(iv)横断開始時の確信度

(ii)と同様に横断後に主観評価アンケートにおいて、評価対象車両からの譲り意図を認識し横断を開始した時に、どの程度安全に横断できると感じたか5段階で評価させた。この回答した評価を横断開始時の確信度と定義する。

(v)左右の視認時間

評価対象車両を視認していた時間と対向車を視認していた時間をそれぞれ測定した。

5.7.9. 実験参加者

実験参加者は外向け HMI を伴う条件について、男性 20 名、女性 20 名の合計 40 名（平均：23.00 歳、標準偏差：4.61 歳、19～39 歳）であった。また、手動運転車に関する条件については、10 名の内 1 名がシミュレータ酔いしたため、男性 9 名（平均：22.11 歳、標準偏差：1.05、20～24 歳）を対象とした。全実験参加者は両眼視力 0.8 以上で運転免許を保有していた。

5.7.10. 実験手続き

実験開始前に実験参加者に対して実験内容の説明を行い、実験参加への同意を得た。また、普段の歩行の特性や VR 経験に関するアンケートに回答するよう指示した。その後、実験参加者の両眼視力と歩行速度を測定した。

次に、実験参加者をベースステーションから検知しやすい指定の位置に立たせた後、VR-HMD を装着させ、コントローラを持たせた。この時に実験中の安全確保のため、実験中は実際に歩かないよう指示した。

VR-HMD 装着後、練習用の試行を数回実施し、VR 環境での判断、コントローラの操作やアンケートの回答方法に関して実験参加者の習熟を確認後、本実験として測定を開始した。練習試行開始前に実験参加者には、右側に位置する車両は自動運転車（もしくは手動運転車）であり、車両の挙動や状態を見て、譲りを認識後に横断できると判断した時に手元のコントローラを操作するように教示した。また、実験途中にシミュレータ酔いを感じたときにはすぐに申し出るように伝え、実験実施者は酔いを感じていないか実験実験参加者に適宜確認した。実験場面は合計 4 場面あり、場面①から順に試行を行い、各場面が終了するごとに休憩をとった。

5.7.11. 実験結果

(1)分析方法

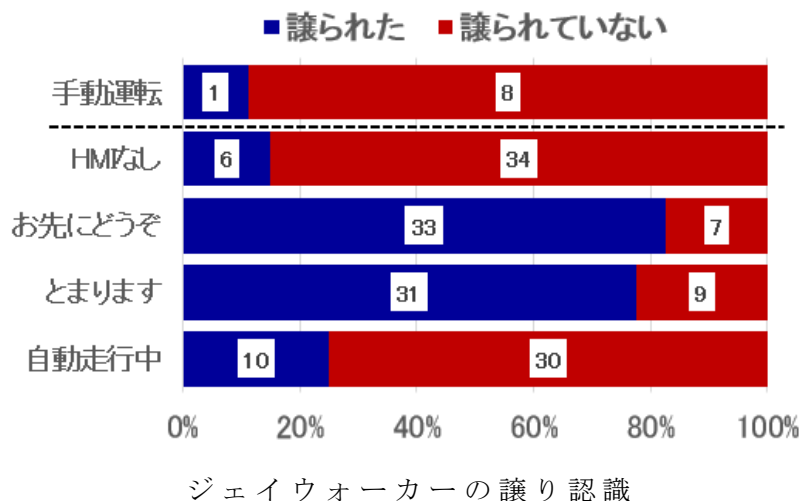
場面ごとに分析を行い、場面①と場面②では横断歩道手前と横断歩道以外の地点から横断する歩行者の認識や行動の差異を検討するため、譲りの認識割合と実際に横断した割合をもとに分析した。場面③については、対向車が停止せずそのまま通過する最終試行を対象に、横断判断時の確信度と対向車への視認時間をもとに、外向け HMI を伴う意図や状態の伝達による低速域での歩行者の認識や行動の変化に関して分析を行った。場面④も場面③と同様に最終試行のみを対象に、自動運転車もしくは手動運転車による譲りへの認識やその時の対向車への視認行動について分析した。

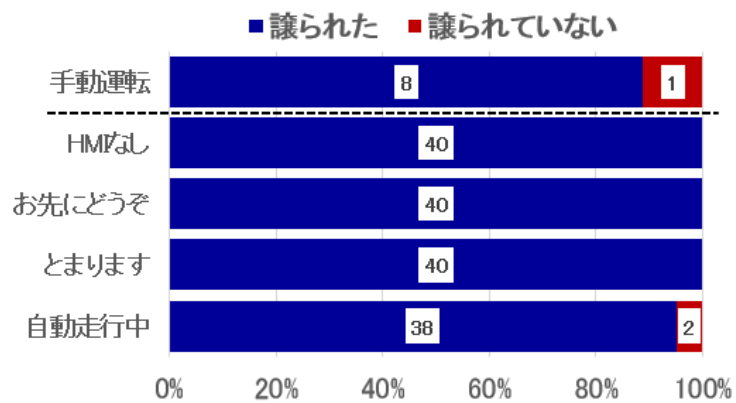
(2)実験結果

(i)横断判断以外の地点に立つ歩行者の認識〈場面①、場面②〉

場面①と場面②を比較することで、横断歩道以外の地点でこれから横断しようとする歩行者（以降、ジェイウォーカーと表記）の認識について検討する。

図 5-77 に減速した後に横断歩道手前で停止する挙動における譲られたかどうかの判断として、ジェイウォーカーと横断歩道手前の歩行者の譲り認識を示す。

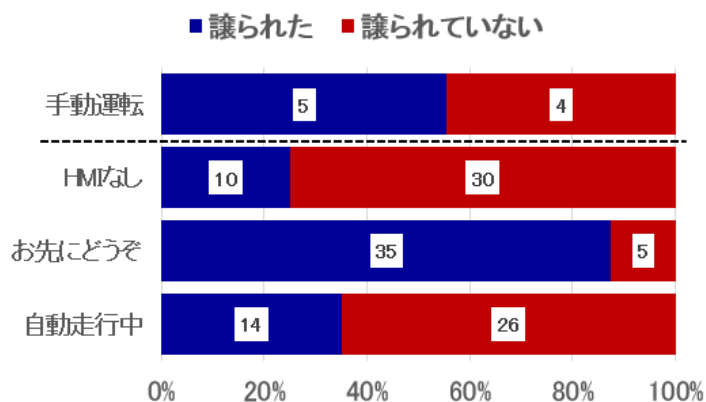




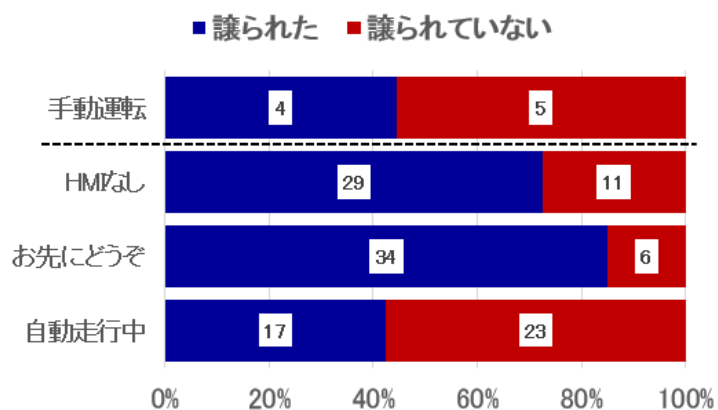
横断歩道手前の歩行者の譲り認識

図 5-77 減速挙動における譲られたかどうかの判断

図 5-78 に一定速度の通過挙動における譲られたかどうかの判断として、ジェイウォーカーと横断歩道手前の歩行者の譲り認識を示す。



ジェイウォーカーの譲り認識



横断歩道手前の歩行者の譲り認識

図 5-78 一定速度の通過挙動における譲られたかどうかの判断

図 5-77 によると減速挙動において、横断歩道手前にて横断しようとする歩行者はどの条件についてもほとんど譲られたと判断していた。一方、ジェイウォーカーに関して、横断歩道手前の歩行者へ向けた譲りや停止の意図に対して、自分自身に譲っていると判断した割合が横断歩道手前と比べて大きく差がなかった。また、“手動運転”や”HMIなし”、“自動走行中”では、譲られているとほとんど感じない傾向が見て取れた。

図 5-78 によると、15km/h の一定速度で通過する挙動については、横断歩道手前の歩行者とジェイウォーカーの間で譲りの認識に大きな差はなく、Fisher の正確確率検定を実施したところ“HMIなし”のみ、p 値は 0.0000422 であり有意となった。

図 5-79 に減速した後に横断歩道手前で停止する挙動における横断できるかどうかの判断として、ジェイウォーカーと横断歩道手前の歩行者の横断判断を示す。それぞれ譲られたと判断した実験参加者を対象とする。

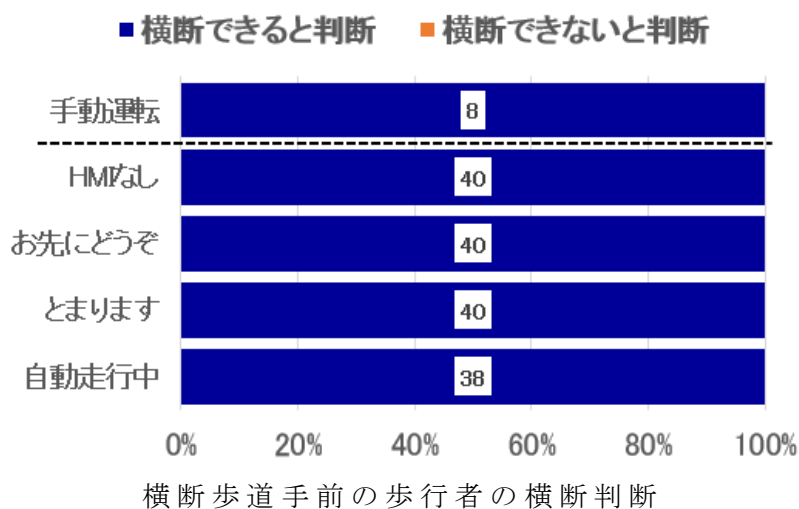
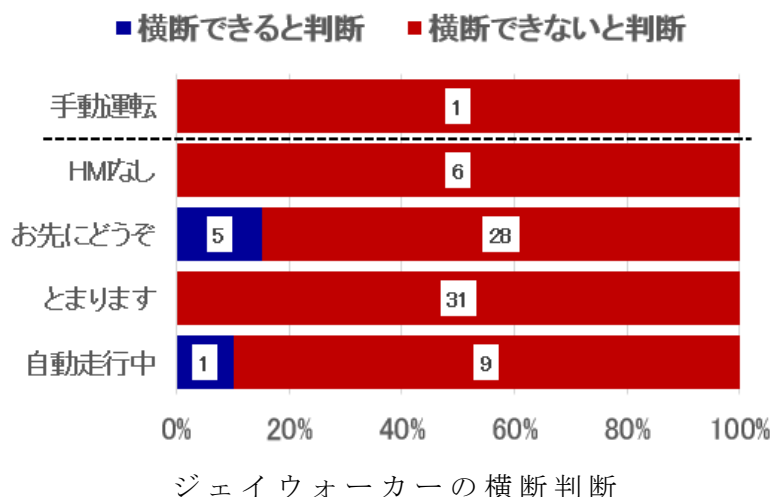


図 5-79 減速挙動における横断できるかどうかの判断

図 5-79 に一定速度の通過挙動における横断できるかどうかの判断として、ジェイウォーカーと横断歩道手前の歩行者の横断判断を示す。それぞれ譲られたと判断した実験参加者を対象とする。

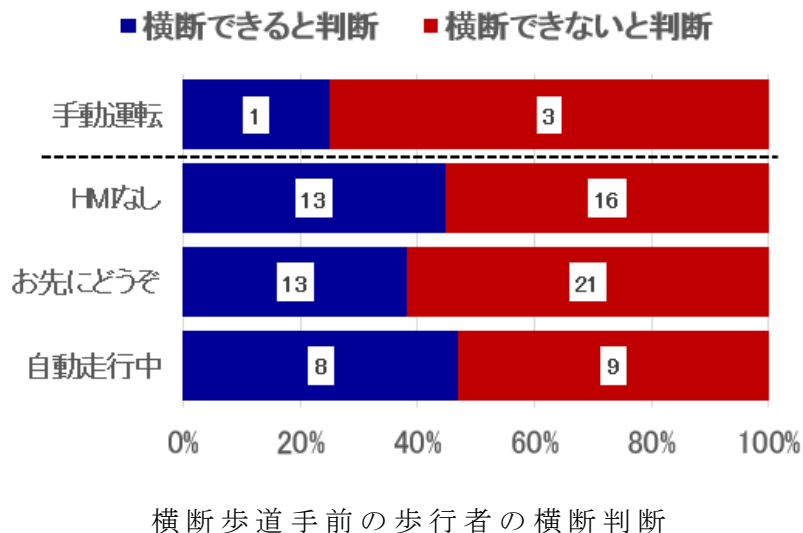
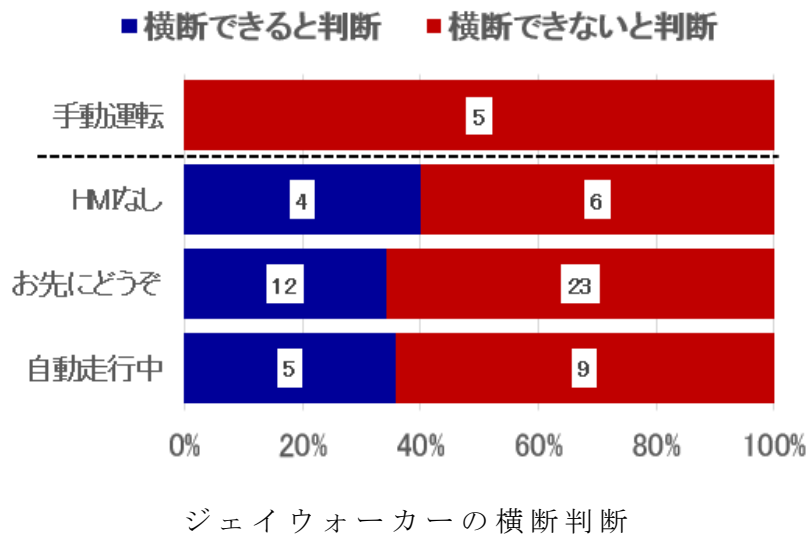


図 5-80 一定速度の通過挙動における横断できるかどうかの判断

図 5-79 によると、車両が減速した後に停止する挙動に関して、横断歩道前に立つ歩行者は全ての条件に対して横断できると判断しているが、ジェイウォーカーは譲りを認識しているものの実際に横断することはほとんど観測されなかったことが見て取れる。一方、一定速度の車両挙動で横断歩道を通過する挙動については、横断歩道前の歩行者とジェイウォーカー間で横断判断する割合に大きな差が見られなかった。

(ii)低速域の車両の意図や状態の伝達に対する歩行者の認識や行動〈場面③〉

最終試行において、ダミー条件以外停止していた対向車は停止せずそのまま通過しており、その時の横断の確信度と対向車への視認時間を抽出した。全ての条件において、対向車と衝突する場面は観測されなかった。

図 5-81 に周囲の車両が低速域の状況における歩行者の横断の確信度の結果を示す。

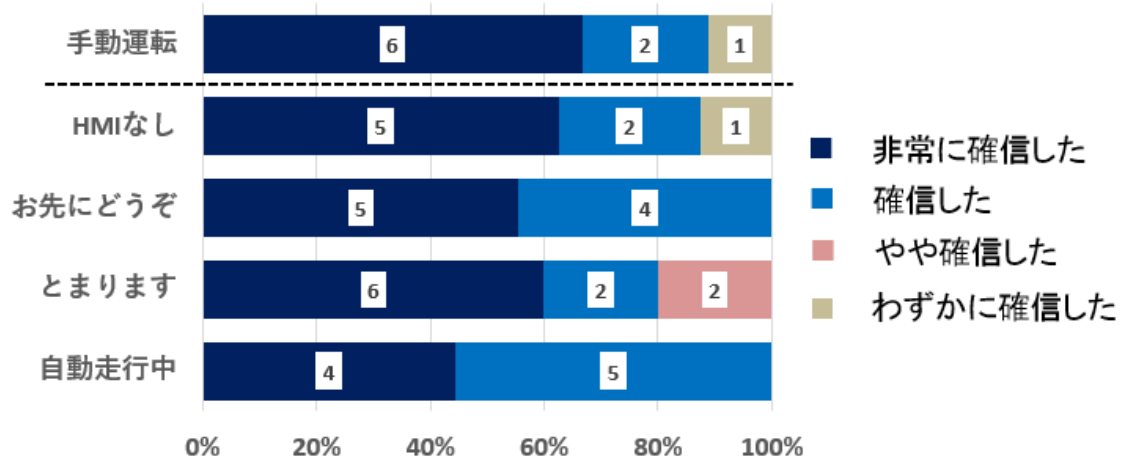


図 5-81 歩行者の横断確信度

図 5-82 に横断判断時の車両と実験参加者間の距離に関する結果を示す。

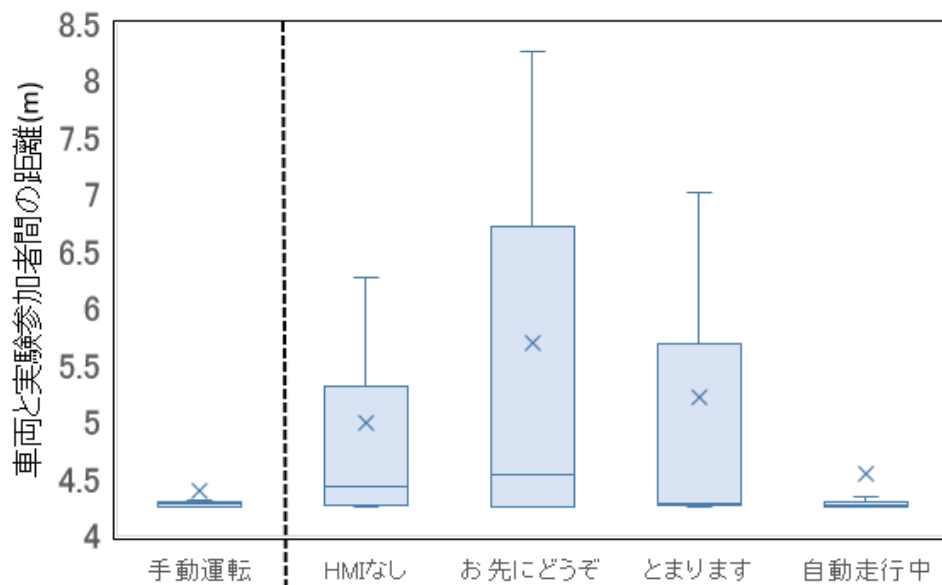


図 5-82 横断判断時の距離

図 5-83 に歩行者の対向車への視認時間を、試行が開始してから対向車が通過するまでに視認していた合計時間として算出し、箱ひげ図で表した結果を示す。

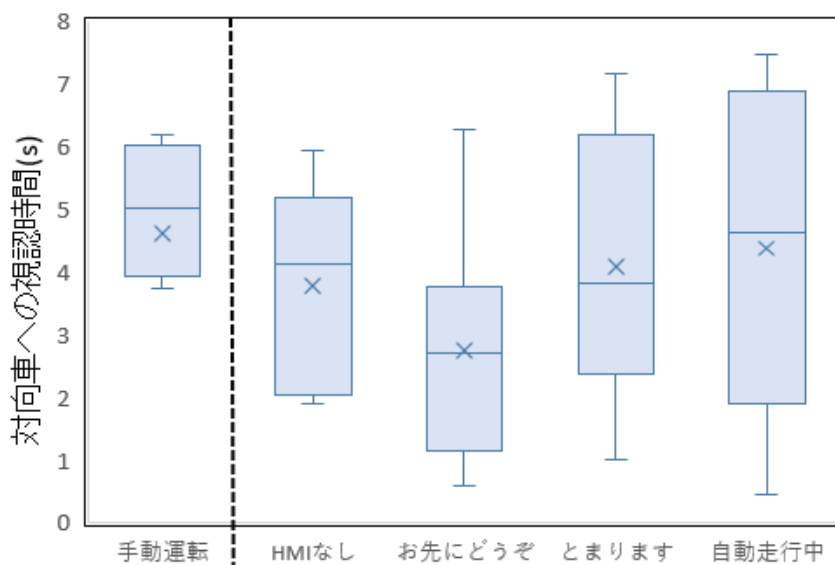


図 5-83 歩行者の対向車への視認時間

図 5-82 より歩行者が横断判断した時の確信度は、HMI 条件間において大きな差異は見られなかった。また、図 5-83 より停止線手前（4.25m 地点）にて、ほとんどの実験参加者が横断していることが見て取れる。一方、歩行者の対向車への視認時間に着目すると、中央値によって比較した時に“お先にどうぞ”においてやや短い時間であったように見られるが、Steel-Dwass 法による検定を実施したところ、全ての条件間において有意差は見られなかった。そのため、低速域状況において、外向け HMI を伴う意図や状態の伝達による視認時間の変化は見られなかった。

(iii) 渋滞状況における車両の意図や状態の伝達に対する歩行者の認識や行動
 〈場面④〉

渋滞状況により大型車両が停車していることから、横断歩道手前において対向車を視認できない状況を対象としている。そのため、歩行者が横断歩道をおよそ 1 車線分横断し、対向車両を視認できる状況における対向車への視認時間の合計を歩行者の対向車への視認時間として算出している。

図 5-84 に対向車とのコンフリクトの有無と車両の意図とは異なる解釈をした場合に関する結果を示す。

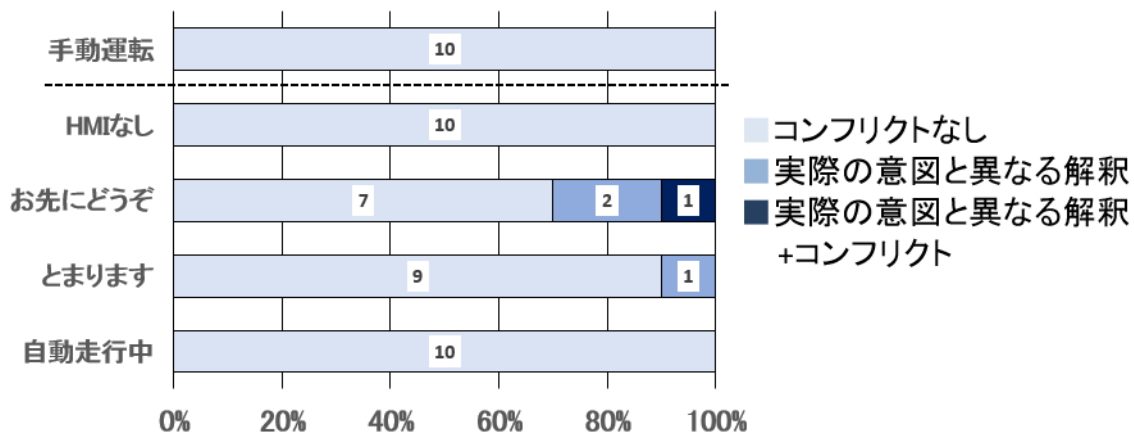
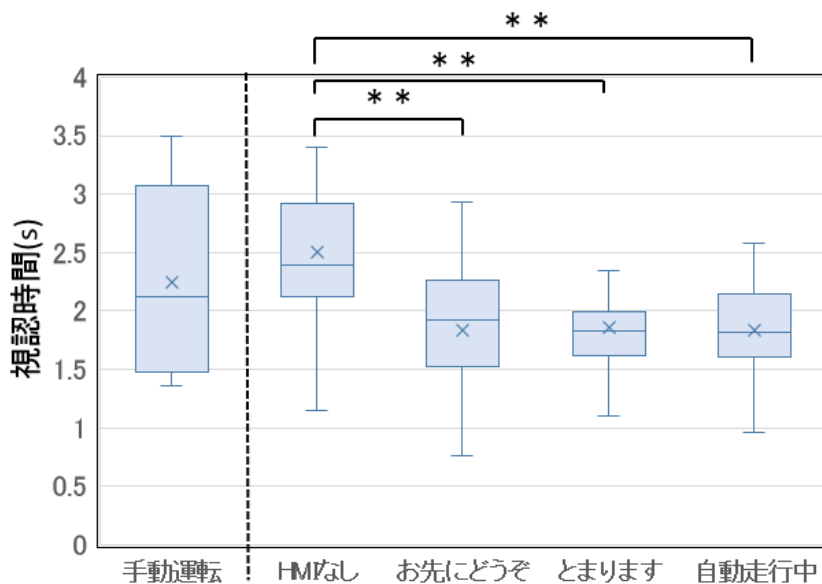


図 5-84 コンフリクトの有無に関する結果

図 5-85 には横断時における対向車への視認時間についての結果を示す。



** 有意確率 1%

図 5-85 横断時の対向車への視認時間

図 5-84 より、譲りの意図を伝達することによって、1件コンフリクトが観測された。最終アンケートにおいて、“お先にどうぞ”の表示を対向車も見ていることで、対向車も停止すると思い、対向車を確認しなかった”と回答しており、譲り意図を過信していたことが見て取れる。また、譲り意図で2件、停止意図で1件、歩行者は対向車への確認をしているものの、実際の意図とは異なる解釈をしていた。最終アンケートより、コンフリクトの事例と同様、譲りや意図に対して対向車が確認して停止するように判断したと回答

しており、譲りや停止意図を伝達することで他の車両の挙動を予測する事例が観測された。

図 5-85 より、Steel-Dwass 法による検定を実施したところ、“HMI なし”と“お先にどうぞ”間で p 値は 0.008538、“HMI なし”と“とまります”間で p 値は 0.004056、“HMI なし”と“自動走行中”間で p 値は 0.002673 であり、有意差が見られた。譲りや停止の意図、自動運転車の状態を伝達することで、対向車への視認時間が低下する傾向が見て取れる。

5.7.12. 考察

(1) 車両の意図や状態の伝達に対するジェイウォーカーの認識

図 5-77、図 5-78 の結果より、減速した後に停止する挙動において、譲りや停止の意図を伝達することで歩行者の地点によらず譲り認識に大きな差がなかった。そのため、譲りや停止の意図を横断歩道手前の歩行者に伝達することで、横断歩道以外の歩行者についても譲りを認識する可能性が示唆された。一方、一定速度で通過する挙動については、“HMI なし”において、ジェイウォーカーの譲り認識は下がっており、車両挙動によって横断歩道手前の歩行者へ譲りを伝達することで、ジェイウォーカーが自身に向けた譲りと認識しづらいことが考えられる。しかしながら、手動運転時や譲り意図、自動運転車の状態を伝達することで、歩行者の立つ地点によって譲りの認識に大きな差異は見られなかったことから、一定速度の車両挙動では車両挙動以外の情報を横断歩道の手前に立つ歩行者へ伝達した時に、ジェイウォーカーについても同様の譲りを認識する可能性が示唆された。

図 5-79、図 5-80 に着目すると、減速挙動についてはジェイウォーカーが譲られたと認識した場合においても、ほとんどの実験参加者は横断する判断には至らなかった。そのため、減速挙動に加えて譲りや停止の意図を伝達することによって、譲りを認識するものの、アンケートの回答を踏まえると車両との距離や速度が横断歩道手前にいる場合と異なるため、ジェイウォーカーの横断が増加するとは言えないことが考えられる。また、一定速度で通過する挙動に着目すると、横断判断する割合は横断歩道手前の歩行者とジェイウォーカーで差がないが、“HMI なし”とその他の条件間で差がないため、譲りや状態を伝達することによる横断判断に及ぼす影響が小さいことが考えられる。

(2) 低速走行する車両による意図や状態の伝達に対する歩行者の認識や行動

図 5-81 より歩行者の横断時の確信度に大きな差異はなく、低速で車両が

走行している状況では安心して横断していることが見て取れる、低速域状況では車両が横断歩道の近くを低速で走行していることから、自動運転車による意図を伝達した場合に、やや早い段階での横断が観測されたが、ほとんどの条件において停止する直前もしくは停止するまで横断しないことが考えられる。そのため、図 5-83 より対向車への視認行動についても、対向車が安全であるか十分に確認してから横断する傾向があり、車両が意図や状態を伝達することによる視認時間に差はなく、外向け HMI を利用することによる視認の減少などの影響は見られなかった。

(3) 渋滞状況における車両の意図や状態の伝達に対する歩行者の認識や行動

図 5-84 より、譲りや停止の意図を伝達することにより、コンフリクトや対向車の挙動を予測する事例が観測されており、外向け HMI に対して依存していることが考えられる。また、図 5-85 から、“HMI なし” と比較した時に譲りや停止の意図を伝達することで、対向車への視認時間が減少していた。そのため、2 つの結果を踏まえると、渋滞状況において譲りや停止の意図を伝達することにより、対向車の安全側への行動を予測する可能性があり、視認時間が減少し、対向車と衝突する可能性に配慮する必要性が考えられる。

5.7.13. まとめ

VR-HMD を用いて、負の影響に関する状況を対象として歩行者の横断判断を実施し、外向け HMI による意図伝達に対する歩行者の認識や行動について検討を行った。

その結果、横断歩道前の歩行者に対する意図伝達により、ジェイウォーカーについても譲りを認識するが、横断する歩行者の割合が増加することは見られなかった。また、低速域で走行する車両による意図伝達に対して、対向車への視認行動が低下する傾向は見られなかった。渋滞状況において外向け HMI を利用した譲りや停止の意図を伝達することにより、歩行者は対向車との安全が確保されていると判断し、対向車への視認時間が低下することが明らかになった。特に譲りの意図を伝達することによって、対向車と接触する場面が観測されており、対向車や周囲の車両が接近する状況において譲りの意図を伝達することは推奨できないことが考えられる。

- 外向け HMI 利用に伴う負の影響に関して、渋滞状況において譲りや停止の意図を伝達することにより、対向車への視認時間が低下することが明らかとなった

5.8. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）－外向けHMI利用に伴う負の影響

5.8.1. 目的

日常において考えられる自動運転車対その他の交通参加者の場面で外向けHMIを導入することにより、各々のコンテンツで実験参加者がどのように認知、判断、行動を行うのか、また負の影響が生じるのかをドライビングシミュレータを用いて検討する。

5.8.2. 実験装置

本実験では、慶應義塾大学の施設であるドライビングシミュレータを使用した。実際の環境としては被験者が実際に乗る実車両が150インチスクリーン8面に360°囲われており、実車両のステアリングやアクセルペダル、ブレーキペダルを使用するとスクリーンに映し出された仮想上の道路を擬似的に、また視覚的に走行できる形となっている。また、実車両の下部には6軸のモーション装置が搭載されており、実際の走行時の車両の揺れを再現することで被験者の本来の運転行動により近いデータを収集することができる。運転席では実車両と同様に座席位置の調節ができ、走行時に速度を確かめるためのインストルメントパネルも搭載されている。



図 5-86 シミュレータ実験で使用したドライビングシミュレータの外観

5.8.3. 実験方法

ドライビングシミュレータ上に表示される市街地道路を再現した実験環境にて、HMIによる負の影響（ヒヤリハット、衝突事故）が現れると予測できるような交通場面を出発地から目的地までの長い道のりの中の一部に設定したシナリオを作成した。ここで長い道のりにしたのは複数のシナリオがある中で短い道のりを何度か繰り返して走行するよりもゲーム感覚ではない自然な運転行動を再現できるためである。続いて、作成したシナリオにしたがって、目的の交通場面において接近してくる自動運転車に搭載された外向けHMIを見た実験参加者がどのタイミングでどのような行動をとるのか観測し、データに取りまとめた。また、データを取りまとめる際にそれぞれのシナリオごとにHMIなしをコントロール条件として3種類のHMI（お先にどうぞ、止まります、自動走行中）を被験者間計画で比較した。

5.8.4. 外向け HMI

今回、外向け HMI として使用するのはメッセージを表示できる液晶ディスプレイである。実際には長方形のディスプレイに黄色の文字が表示されるようになっており、実験ではそれぞれの交通場面で自動運転車が特定の位置に到達すると外向け HMI に文字が映し出され一般車両のドライバー役である被験者は実際の表示内容を確認することができる。また表示内容に関しては以下のようにになっている。

- ・お先にどうぞ (図 5-87)

ある交通参加者に対して道を譲る意図を表明する役割を果たす。



図 5-87 テキストメッセージ お先にどうぞ

・とまります (図 5-88)

自動運転車がこれから行う行動 (止まるという行為) を具体的に伝える役割を果たす



図 5-88 テキストメッセージ とまります

・自動走行中 (図 5-89)

自らのシステムの状態を伝える役割を果たす



図 5-89 テキストメッセージ 自動走行中

以上の HMI を観察した被験者がその HMI をどのように解釈し行動するのか、また事故やヒヤリハットといった負の影響が生じるのかをデータとして取りまとめる。

5.8.5. 観測する交通場面

外向き HMI による負の影響 (ヒヤリハット、衝突事故) が現れると予測できるような交通場面を設定するにあたって、ただ予想するのではなく実際に発生している交通事故を道路形状別に分類して整理する必要がある。以下の図 5-90 は平成 27 年度の道路形状別死亡事故発生件数についてとりまとめたものであるが、この図から見てわかるように主な交通事故は一般単路と交差点で発生している [16]。さらに細かく分類すると交差点 (48.9%) では主に交差点内が 35.6%、単路 (47.8%) では主に一般単路が 30.6% を占めている。特に交差点内は 35.6% で最も着目すべき道路形状なのだが交差点はさらに丁字路と十字路の 2 つのタイプに分類することができる。そこで今回は一般単路にある横断歩道と交差点、丁字路の 3 つに着目して交通場面を設定した。

(i) 信号十字路口

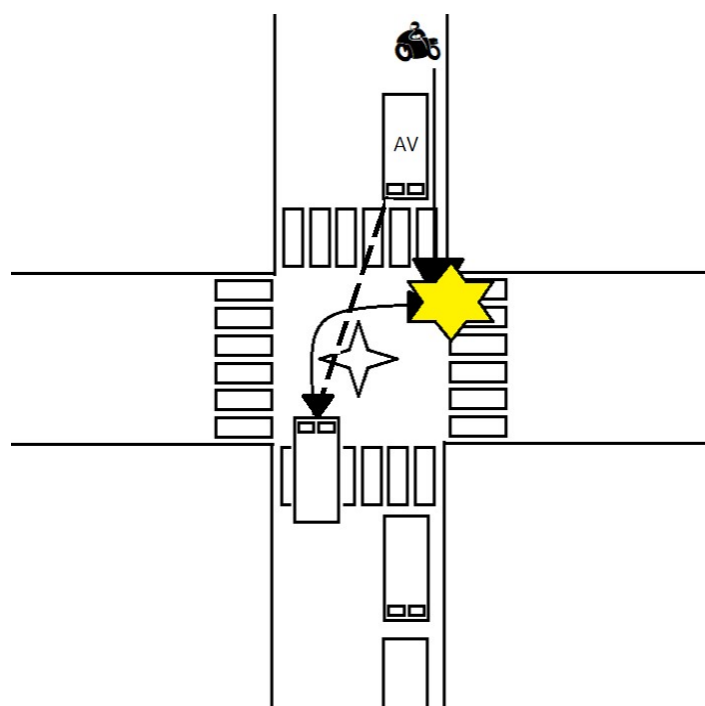


図 5-90 信号交差点のシナリオ

まず初めに信号十字路のシナリオであるが図 5-90 を見て分かるように、一つずつ整理すると被験者は右折する場面にいる。そして被験者の走る車線の対向車線は渋滞中で、自動運転車は交差点内に進入できないために外向け HMI を使用して被験者車両に右折しても良いと譲りの意図を表明する。そこで、自動運転車の側方から二輪車が減速せずに信号十字路口に進入するのだが、被験者は右折途中まで二輪車の動きは見えない。このシナリオでは被験者車両が交差点内に進入して外向け HMI を観察してから右折し終わるまでの間の被験者の認知、判断、行動を調べた。特に自分に向けられた HMI を視認し被験者がその HMI をどのように解釈し行動するかに着目して検討を行った。

(ii) 丁字路もしくは路側施設

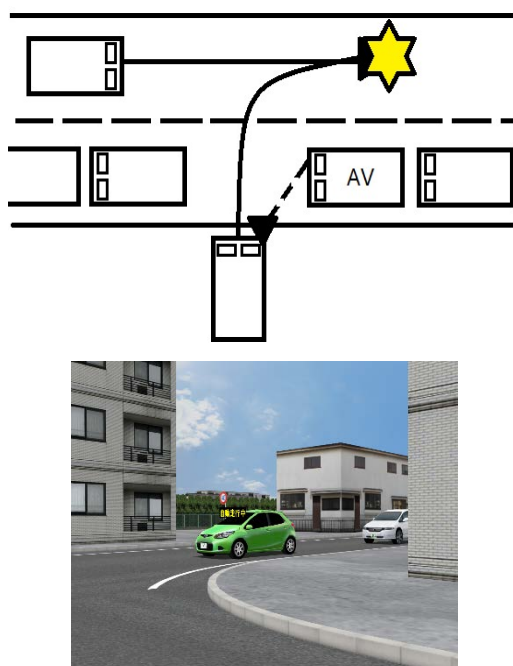


図 5-91 丁字路もしくは路側施設のシナリオ

続いて無信号丁字路もしくは路側施設のシナリオであるが、このシナリオは図 5-91 から交差点と同じく被験者は右折する場面にいる。そして被験者から見て手前の車線は渋滞中で、自動運転車は外向け HMI を使用して被験者車両に右折しても良いと譲りの意図を表明する。そこで、奥車線の左から一般車両が減速せずに走行してくるのだが、被験者は右折途中まで手前の車線の渋滞列が死角となって走行してくる一般車両が見えない。今回は被験者車両が外向け HMI を観察して丁字路内に進入してから右折し終わるまでの間の被験者の認知、判断、行動を調べた。特に十字路と同じく自分に向けられた HMI を視認し被験者がその HMI をどのように解釈し行動するかに着目して検討を行った。ここで路側施設について述べているのは、路側施設から右折するのと丁字路で右折するのは性質上、相違がないからである。ただし、路側施設を採用するとシナリオの冒頭からこの場면을体験するため、自然な運転行動ではなくなる可能性が生じる。したがって今回は丁字路を使って実験を行った。

(iii)横断歩道

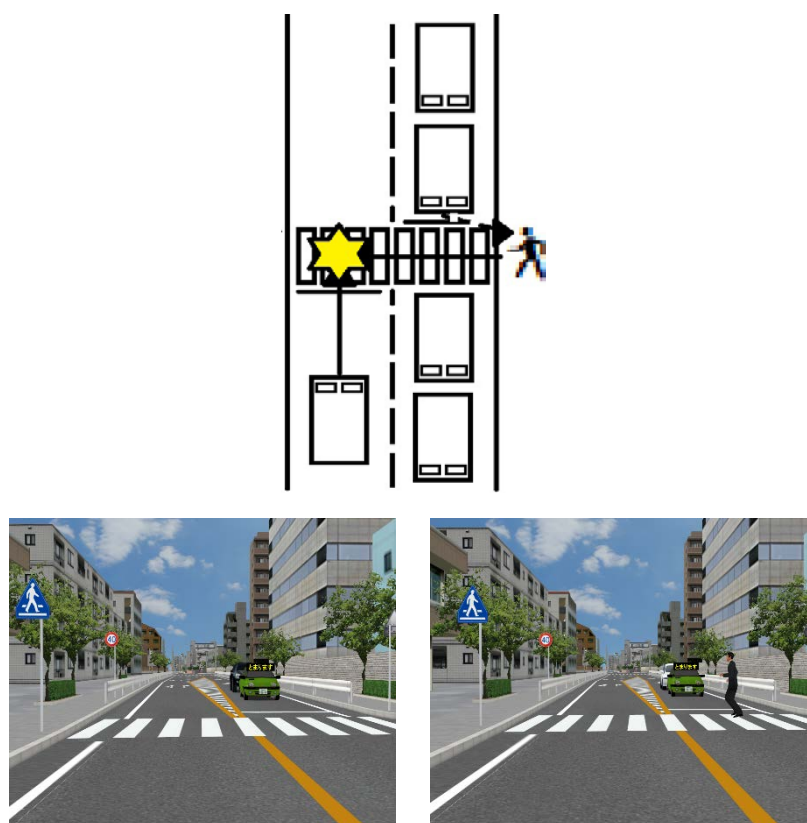


図 5-92 横断歩道のシナリオ

最後に横断歩道のシナリオであるが、このシナリオは十字路、丁字路とは違い被験者は直進する場面にいる。そして被験者の走る車線の対向車線は渋滞中で、自動運転車は左から渡ろうとしている歩行者に対して外向け HMI を使用して渡っても良いと譲りの意図を表明する。そこで、奥車線の左から一般車両が減速せずに走行してくるのだが、被験者は右折途中まで手前の車線の渋滞列が死角となって走行してくる一般車両が見えない。今回は被験者車両が丁字路内に進入して右折し終わるまでの間の被験者の認知、判断、行動を調べた。特に十字路、丁字路とは違って他の交通参加者（歩行者）に向けられた HMI を見て被験者がその HMI をどう解釈し行動するかを検討した。

5.8.6. 実験条件

表 5-7 各実験条件

	条件
グループ a	HMI なし
グループ b	お先にどうぞ
グループ c	とまります
グループ d	自動走行中

今回は HMI なしをコントロール条件として被検者間計画の実験を行うので被験者をそれぞれのグループに割り当て、担当した HMI で各交通場면을体験させた。グループ a が「HMI なし」、グループ b が「お先にどうぞ」、グループ c が「とまります」、グループ d が「自動走行中」となっている。

5.8.7. 実験参加者

本実験の実験参加者を表 5-7 に記載した 4 つのグループに分類し実験を行った。また、実験参加者の属性に関しては被験者間計画なので年齢や性別による差が生じないように 30 歳~50 歳の男性を集め、実験を行った。また、30~50 歳の中でもグループ間で年齢のムラができないように 30~34 歳、35~39 歳、40~44 歳、45~50 歳の男性が均一に各々のグループに配分されるように工夫した。

5.8.8. 体験する交通場面の順序

体験する交通場面の順序を決定するにあたり、特にドライビングシミュレータに対する慣れとヒヤリハット後の運転行動の変化を特に注意した。大まかな構成としてはまず初めに練習走行を行った。続いて、衝突対象がいないそれぞれの交通場면을体験させた後に衝突対象がいる交差点と横断歩道を走行した。この場合の衝突対象とは十字路だと二輪車、丁字路だと奥車線右から接近してくる一般車両、横断歩道だと歩行者のことを指す。今回ヒヤリハットがある丁字路は、自分に向けられた HMI を視認し被験者がその HMI をどのように解釈し行動するかという点で十字路とかぶるため省略した。表 5-8 に体験する交通場面の順序を示す。

表 5-8 体験する交通場面の順序

1	練習走行
2	衝突対象なし交差点
3	衝突対象なし丁字路
4	衝突対象なし横断歩道
5	衝突対象あり交差点（走行後質問紙調査）
6	ダミーコース（本実験で取り扱う目的の交通場面が存在しないコース）
7	衝突対象あり横断歩道（走行後質問紙調査）

番号5と番号7の間にダミーコースを挟んだのは二輪車（衝突対象）がいる交差点でヒヤリハットを体験した後にもたらされる運転行動の変化を少しでも緩和するためである。また、番号5と番号7の後ではアンケートで被験者がどのように認知、判断、行動をしたのかを抽出した。

5.8.9. 評価項目

続いて評価項目に関してだが、構成としては主に2つに分けており1つが外向け HMI 観察後の被験者の行動に対する評価でもう1つが外向け HMI の意図に対する解釈に関する評価である。

はじめの外向け HMI 観察後の被験者の行動に対する評価についてはまず加減速が挙げられる。十字路と丁字路については右折時における被験者車両の加減速の程度と加減速を行ったタイミングを自動運転車や二輪車（衝突対象あり十字路のみ）の動きと照らし合わせて観察した。また、横断歩道については横断歩道通過時における被験者車両の加減速の程度（一時停止の有無など）と加減速を行ったタイミングを自動運転車や歩行者（衝突対象あり横断歩道のみ）の動きと照らし合わせて観察した。そして衝突対象がいるシナリオでは衝突の有無も評価項目として挙げられる。

2つ目の外向け HMI の意図に対する解釈に関する評価に関しては主に衝突対象がいるシナリオを走行後に質問紙調査を行い、その走行に対する被験者の解釈を抽出した。質問紙調査の内容としては以下の図 5-93～図 5-96 に示した通りになっている。

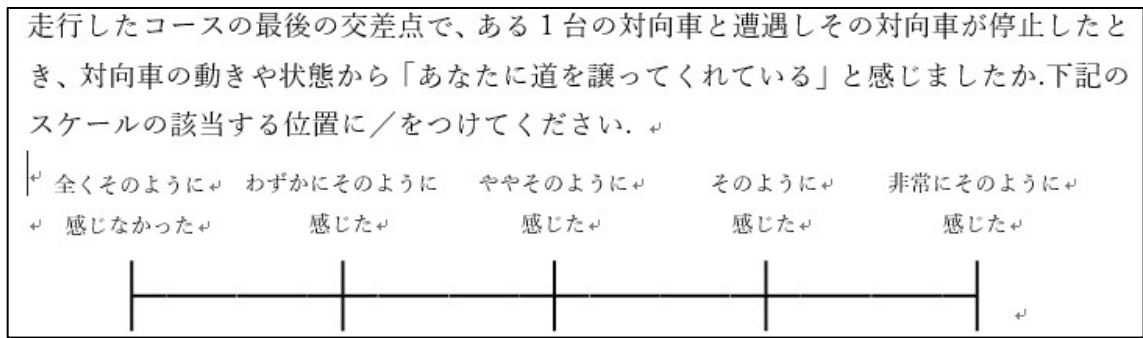


図 5-93 衝突対象あり交差点走行後の1つ目の質問

衝突対象あり交差点ではまず被験者の認知、判断、行動を時系列ごとに整理した。そして初めに車両間コミュニケーションで重要なファクターである「譲り」について確認するため図 5-93 のように、対向車の動きや状態によって譲られたと感じたかどうかを聞いた。またこのときの譲ってくれていると感じたかどうかに対して HMI による負の影響との関連性を導き出す手口として回答結果に対する理由も自由回答形式で抽出した。その後、「譲り」意図を受けたあとに被験者が行う過程としては「右折ができる」という判断であると考えられるが次の質問としては図 5-94 のように右折できると判断した時の確信度を抽出した。

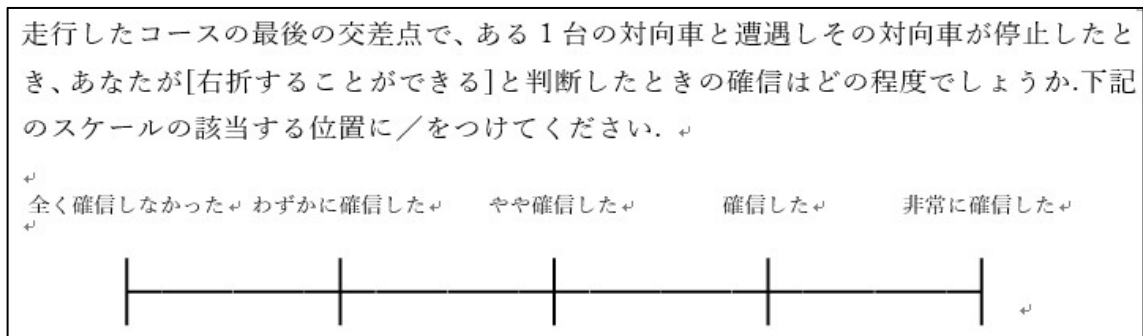


図 5-94 衝突対象あり交差点走行後の2つ目の質問

こちらの質問も同じく外向け HMI による負の影響との関連性、裏づけとなる考えがあったのかどうかを探るために自由回答形式で理由を聞いた。

最後に右折開始後における考えとして二輪車が出現するという意識の有無に関して以下の図 5-95 のような形で聞いた。こちらと同じく外向け HMI によって本来の意識とは違うものとなってしまったのかを調べるために自由回答形式で理由を聞いた。

走行したコースの最後の交差点で、ある 1 台の対向車と遭遇しその対向車が停止したとき、あなたが右折を開始したときに対向車影からバイクが出現するかもしれないと思いましたか。下記のスケールの該当する位置に / をつけてください。

全くそのように
思わなかった
 わずかにそのように
思った
 ややそのように
思った
 そのように
思った
 非常にそのように
思った

図 5-95 衝突対象あり交差点走行後の 3 つ目の質問

5.8.10. 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した。はじめに実験参加者には、実験目的・実験内容について説明を行い、その後はドライビングシミュレータを使った実験によってもたらされるリスク、研究協力に同意しないことや研究協力の同意の撤回による不利益がないこと、個人情報保護や研究結果の公表、研究終了後のデータおよび試料等の取り扱い方針、映像データ取り扱いの同意、対象者への謝礼、問い合わせ先に関する説明を一通り行った上で同意書に署名をもらった。同意を得た後、被験者データを記入してもらい、実際に使うドライビングシミュレータまで案内した。被験者にはまず車両に乗り座席の調節やシートベルトの着用をしてもらった後、実験の内容についての簡易的な説明（データに影響の出ない程度の説明）を行い、以下に示す教示を行った。

- ・おおよそ法定速度 $\pm 10\text{km}$ の間で走行する。また、走行時の速度メーターを見る頻度は普段どおりにする。
- ・特定の場面（会社に遅刻しそうなど）を想定せずに、普段通りの感覚で運転する。
- ・発進の合図（「走行を開始してください」）があるまで走行を開始しない。
- ・音声指示がない限りむやみに車線変更しない。
- ・コースを走行中に遭遇する自動運転車には自動走行システムが搭載されているが取り付けられているセンサは 100 パーセントの精度で作動する訳ではない（周りの交通参加者を認識できない可能性がある）ものを想定する。
- ・自動運転車には図 5-96 のような情報板が搭載されておりこの情報板に黄色の文字が投影されるようになっている。



図 5-96 情報板

以上の教示が終了した後、外向け HMI の負の影響の実験を表 5-8 で記載した体験する交通場面の順序通りに実施した。

5.8.11. 実験結果および考察

5.8.11.1. 衝突対象あり十字路

(i) HMI なし

まず衝突対象あり十字路の、コントロール条件である HMI なしでは右折時における被験者車両の加減速の程度と加減速を行ったタイミングを自動運転車や二輪車の動きと照らし合わせて注目したときに図 5-97 のような結果となった。

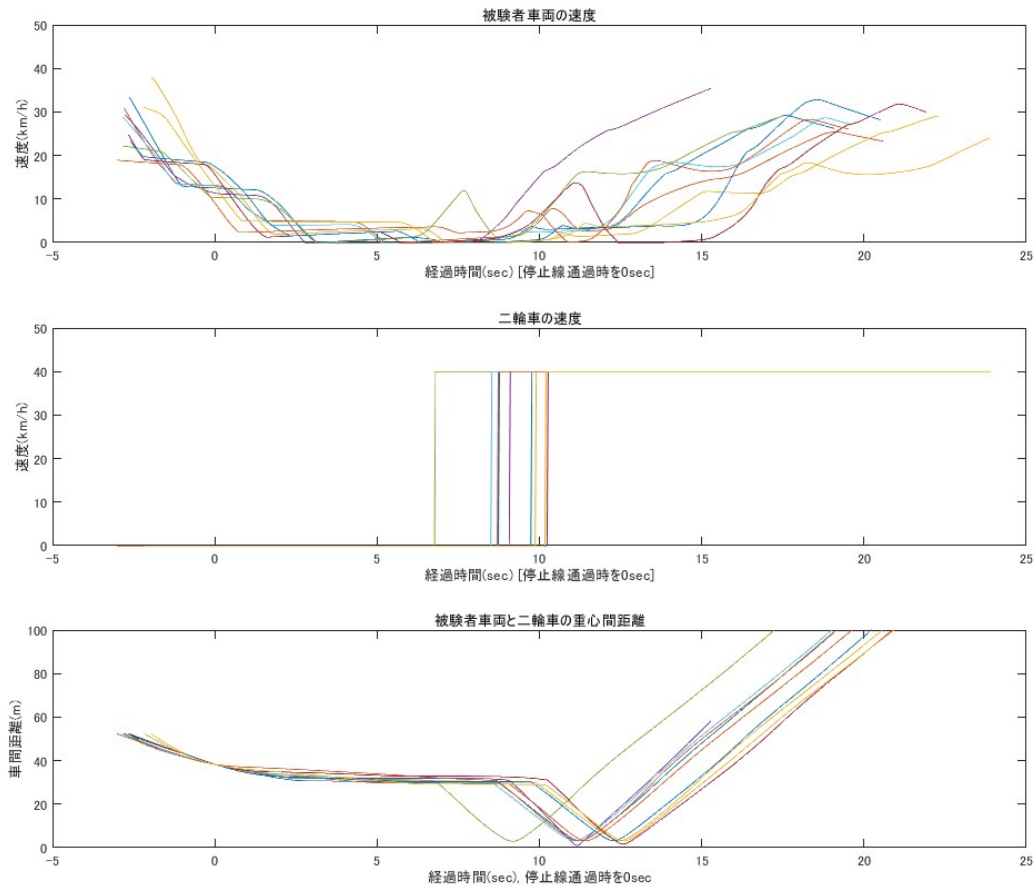


図 5-97 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(HMI なし)

図 5-97 を見て状況を整理すると、経過時間が 0 のときが、被験者車両が停止線を通過するタイミングなのだが、そこから減速していずれの車両もほぼ速度が 0 に近い状態、あるいは 0 となっている。これは対向車線が渋滞中なので被験者車両が交差点中央部手前で右折をしようと待機している状況である。続いての行動を追うと、被験者車両がある 1 台の対向車（自動運転車）の状態や動きを見て右折できると判断した後、右折をするために速度を上げているのだが図 5-97 の上のグラフを見て分かるようにほとんどの被験者車両の速度が大なり小なり山を形成していることがわかる。これは速度を少し上げた後、衝突対象である二輪車を視認し、速度を落としたということなのだが、この山が大きいほど図 5-97 の下のグラフと照らし合わせたときに二輪車との最接近距離が近いことが示唆される。また、紫のグラフを形成した被験者車両に関しては右折時に山を形成せずに速度を上げてしまっているが、これは二輪車の存在に気づかなかつたためである。現に図 5-97 の下のグラフを見ると最接近距離が 0 であることから衝突していることがわかる。コントロール条件の HMI なしでは 8 名中 1 名が事故を起こす結果となった。

(ii)お先にどうぞ (衝突対象あり十字路)

続いて衝突対象あり十字路の「お先にどうぞ」では図 5-98 のような結果となった。

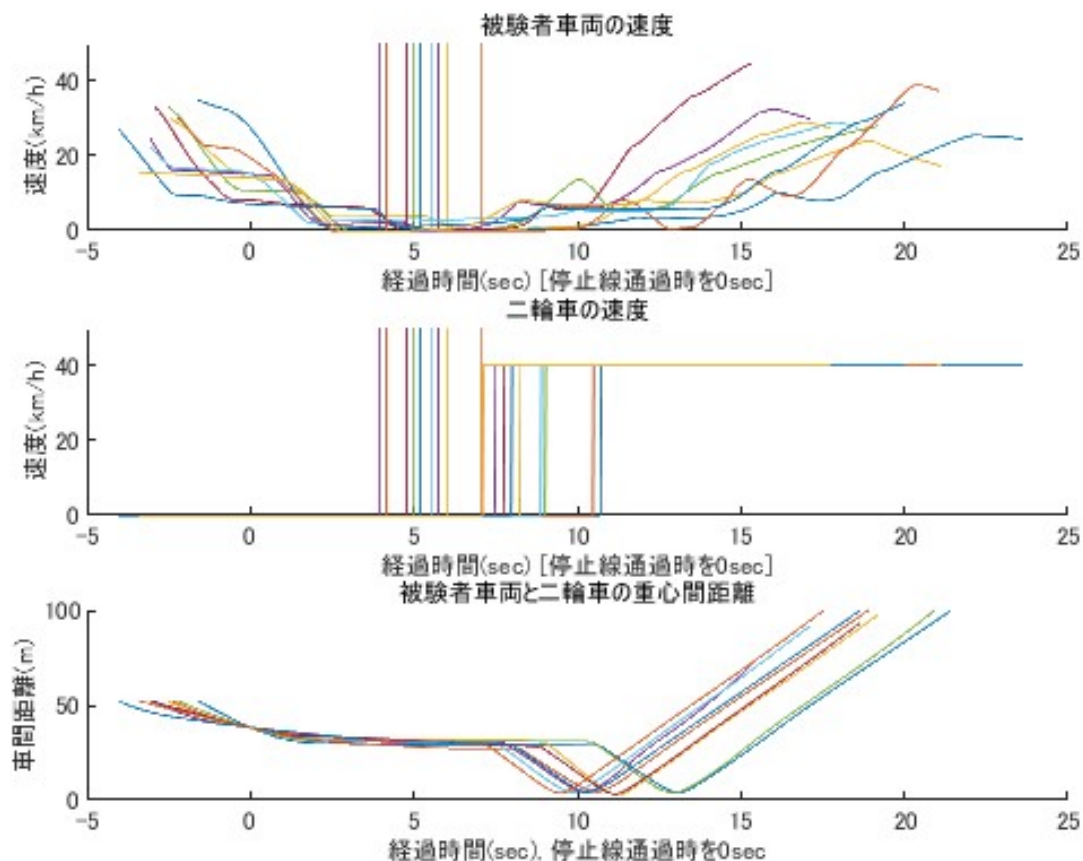


図 5-98 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(お先にどうぞ)

今回「お先にどうぞ」の外向け HMI では 1 名の被験者が衝突事故を起こしてしまった。緑のグラフがその衝突事故を起こした被験者車両のグラフであるが状況的に他のグラフと照らし合わせて見たところ加速時のグラフの傾きが他と比べて急であることから勢いよく加速した結果、二輪車を観察した後の減速が追いつかず衝突してしまったと思われる。また、HMI なしのと比べて被験者が二輪車の存在を確認して減速し始めるときの被験者車両の速度が全体的に 10km/h 前後と大きい傾向にあり、「お先にどうぞ」と意図されたときの右折時の慎重さがなくなる可能性が示唆される。

(iii)止まります (衝突対象あり十字路)

次に衝突対象あり十字路の「とまります」では以下のような結果となった。

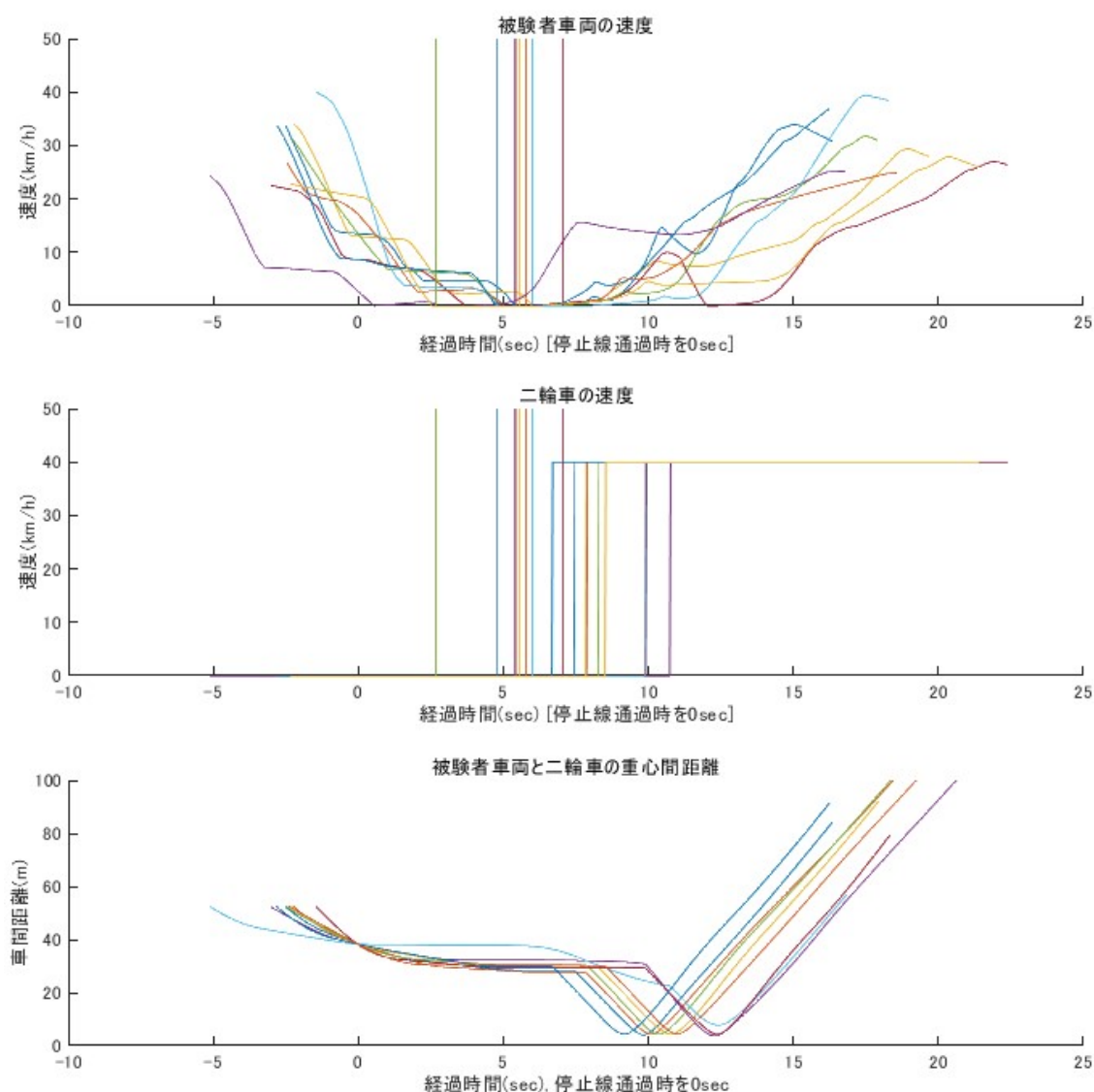


図 5-99 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、
被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(とまります)

「とまります」の外向け HMI では衝突事故は 1 度も起こらなかった。全体的に図 5-99 の上のグラフの被験者車両が右折し始めるときのグラフの傾きが小さいことからいずれの被験者車両も慎重に加速していることが分かる。また、被験者車両と二輪車の最接近距離も HMI なしやお先にどうぞの時と比べて長いことから加速し始めて二輪車が通過するのをしっかりと確認して待機できるようなスペースを持たせた状況が分かる。これはある 1 人の被験者の回答によると、「とまります」は自動運転車がこれから実行する行動(止まる

という行為)を具体的に伝える役割を果たすために周りの交通参加者の存在はまた別で考えなければならないという意識が働くからで、例えば「とまります」ではなく「お先にどうぞ」になった場合は自動運転車が道を譲る意図を表明するために「お先にどうぞ」を観察した被験者は早く右折しなければならないという考えや、自動運転車側がお先にどうぞと譲りの意図を出すからには周りの安全はすでに確認済みなのではないかという拡大解釈に行き着く可能性が考えられる。

(iv)自動走行中(衝突対象あり十字路)

最後に衝突対象あり十字路の「自動走行中」では図 5-100 のような結果となった。

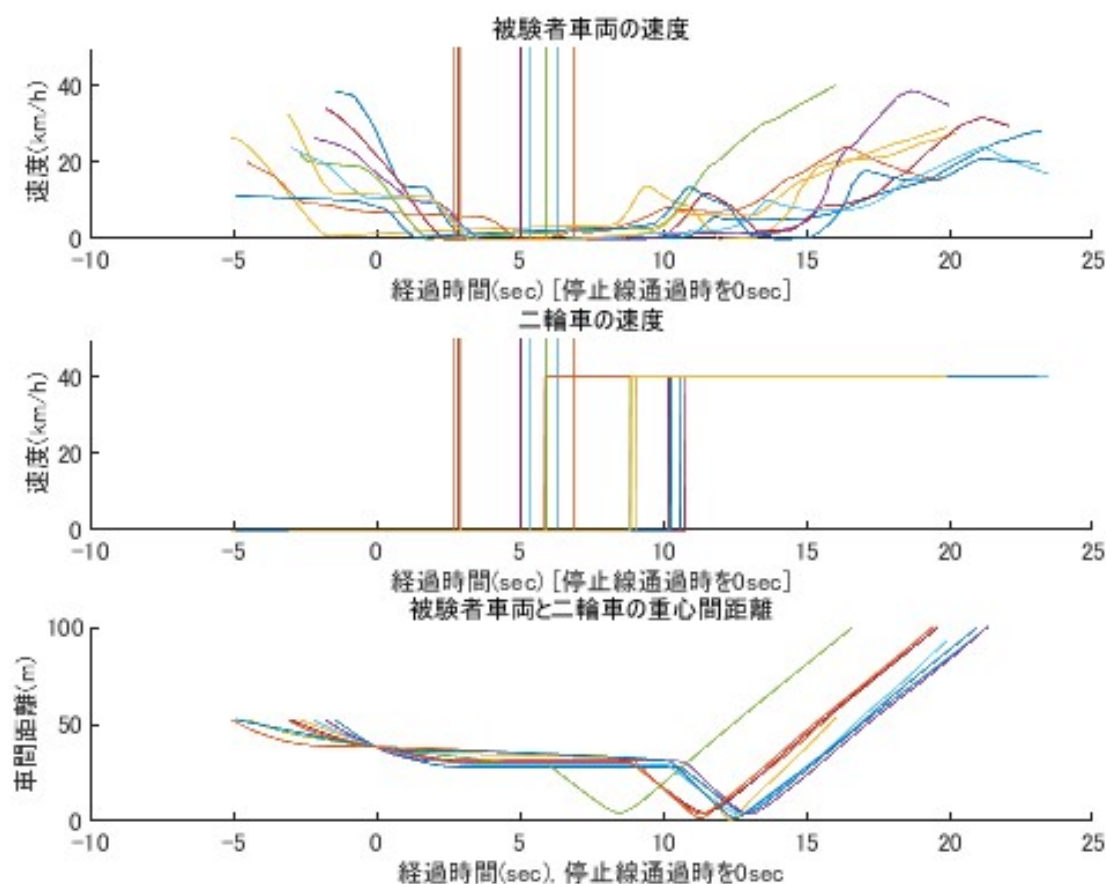


図 5-100 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(自動走行中)

「自動走行中」の外向け HMI の場合では 3 名の被験者が衝突事故を起こしてしまった。また、「お先にどうぞ」の時と同じく被験者が二輪車の存在を確認して減速し始めるときの被験者車両の速度が全体的に 10km/h 前後と大き

い傾向にあり、さらに衝突事故を起こした被験者車両を除いたとしても、他の外向け HMI の時と比べ被験者車両と二輪車の最接近距離は全体的に短くなった。考えられる理由としては、「自動走行中」と表示されていることから対向車が自動運転車とはっきりと分かっている状態で減速してきて最終的には停止線手前で完全に停止したのでこちらは譲られたと思い安心して渡ってもよいと考えてしまうためだと思われる。教示の段階で自動運転車には自動走行システムが搭載されているが取り付けられているセンサーは 100 パーセントの精度で作動する訳ではないものを想定していただくというのは伝えたが、それでも自動運転車は安心であるという根強い考えがあることが示唆され実際のアンケートでもそのような回答を複数いただいた。さらに、衝突対象あり交差点のシナリオは本番走行 1 回目のコースから数えて、4 走行目ということもあり、「自動走行中」と表示された自動運転車は減速して止まって自分に道を譲ってくれるという考えが刷り込まれてしまったという可能性も考えられる。また「お先にどうぞ」と同じく、譲られたという意識が働いたということであるので早く右折しなければならないという考えや譲りの意図を出すからには周りの安全はすでに確認済みなのではないかという拡大解釈に行き着く可能性が考えられる。

5.8.11.2.衝突対象なし丁字路

(i) HMI なし

続いて衝突対象なし丁字路の、コントロール条件である HMI なしでは右折時における被験者車両の加減速の程度と加減速を行ったタイミングを自動運転車の動きと照らし合わせて注目したときに図 5-101 のような結果となった。

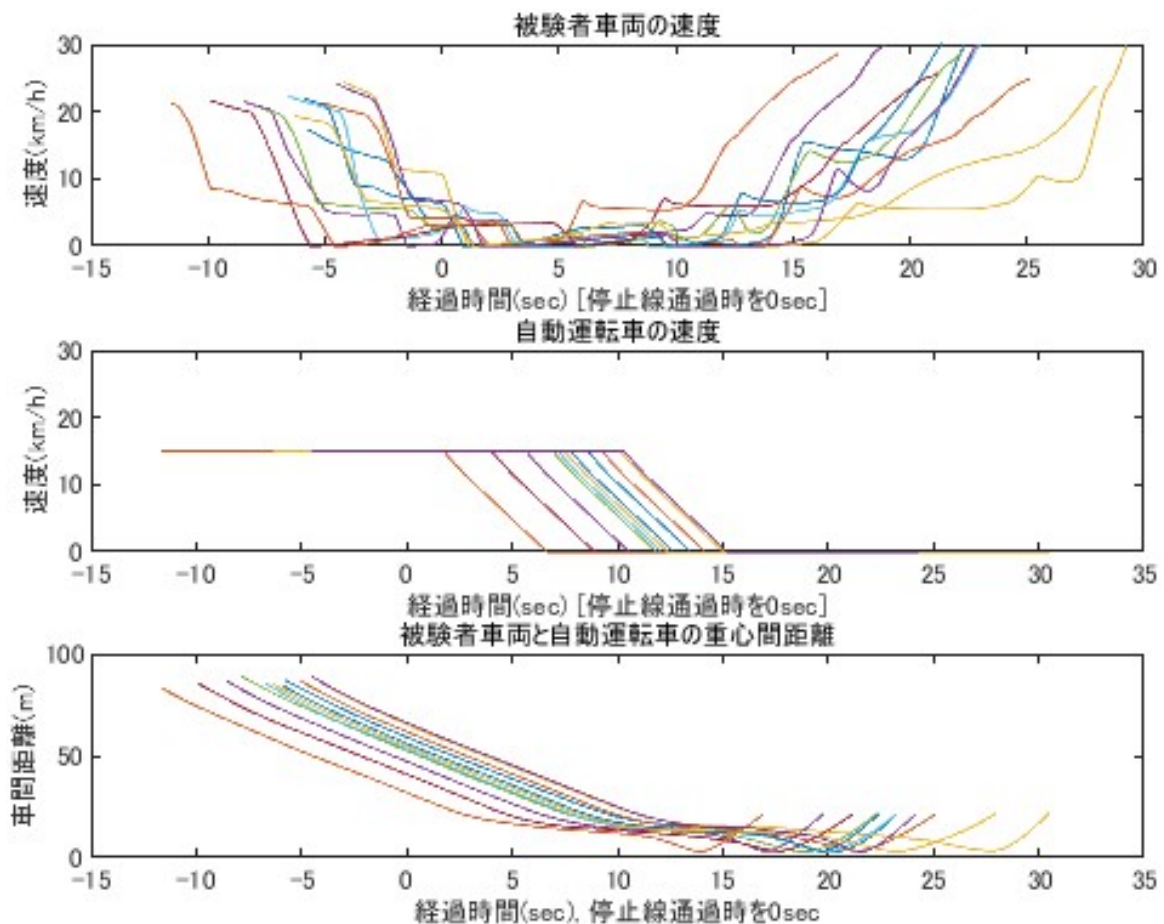


図 5-101 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(お先にどうぞ)

図 5-101 を見ると、経過時間が 0 のときが、被験者車両が丁字路の交差部分に差し掛かるタイミングなのだが、そこから減速していずれの車両もほぼ速度が 0 に近い状態、あるいは 0 となっている。これは手前車線が渋滞中なので被験者車両が丁字路の交差部分手前で右折をしようと待機している状況である。続いての行動を追うと、被験者車両が右手で停止したある 1 台の車両（自動運転車）の状態や動きを見て右折できると判断した後、右折をするために速度を上げているのだが図 5-101 の上と中央のグラフを照らし合わせて分かるようにほとんどの被験者車両が右手の車両(自動運転車)が完全に停止した後に右折しようと加速している。これは冒頭部分で述べたように譲りという行為は車両挙動のみだと分かりづらい可能性がありさらに手前の車線が渋滞中だとしても優先側であることに変わりはないのでその分渡っているのか疑心暗鬼になっている可能性がある。さらに加速したとしても 11 台中 8 台の被験者車両の速度の最高点が 10km/h を下回っており、右折時の慎重さが伺える。

(ii) お先にどうぞ

次に衝突対象なし丁字路の「お先にどうぞ」では図 5-102 のような結果となった。

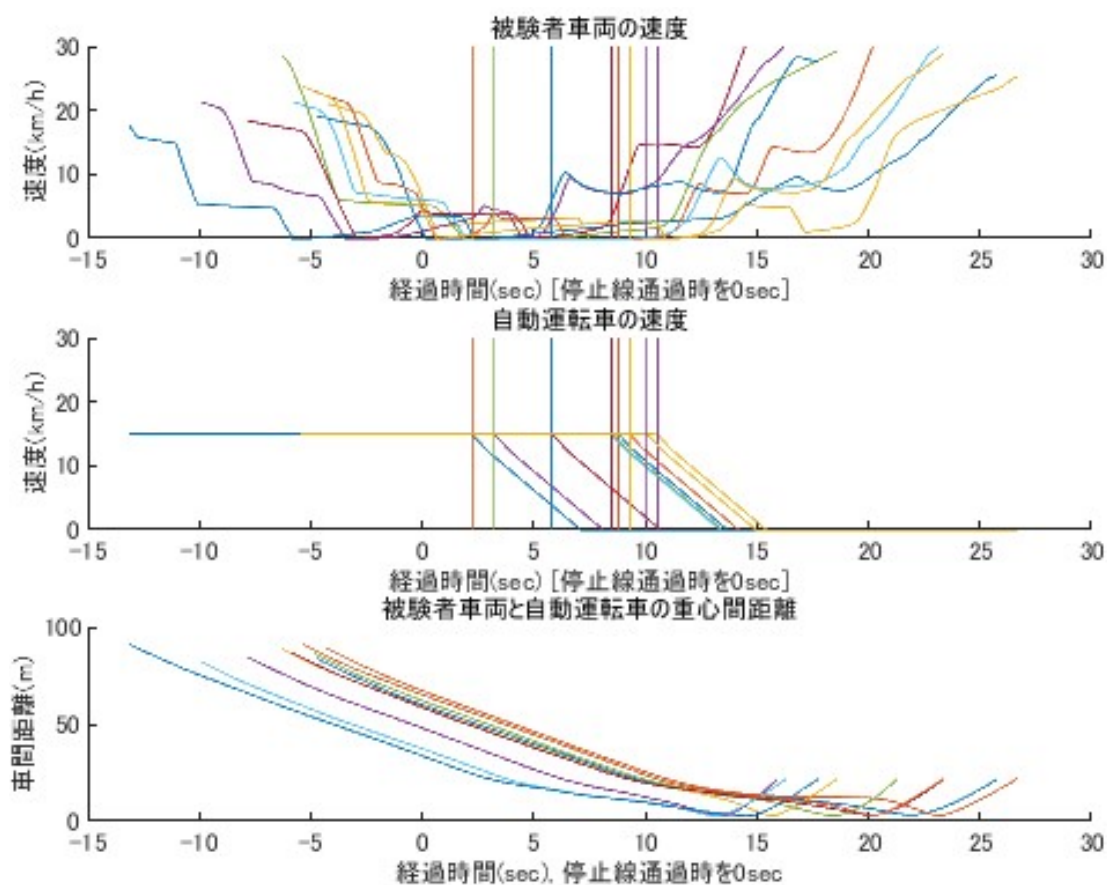


図 5-102 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(とまります)

図 5-102 の上と中央のグラフを照らし合わせて見ると、「お先にどうぞ」の外向け HMI ではある 1 台の車両(自動運転車)が完全に停止する前にほとんどの被験者車両が右折しようとして加速している。HMI なしの時と比べて、減速してから完全に停止するという車両挙動に加え「お先にどうぞ」という譲りの意図を表明しているので渡る判断が早まっている可能性が示唆される。これは十字路の時と同様に「お先にどうぞ」を観察した被験者は早く右折しなければならないという考えや、自動運転車側が「お先にどうぞ」と譲りの意図を出すからには周りの安全はすでに確認済みなのではないかという拡大解釈に行き着くためだと考えられる。また右折しようとして加速したときの最高速度が 10km/h を超えている被験者車両が多く十字路の時と同様に「お先にどうぞ」と意図されたときの右折時の慎重さがなくなっていることも根拠として挙げられる。

(iii) とまります

次に衝突対象なし丁字路の「とまります」では図 96 のような結果となった。

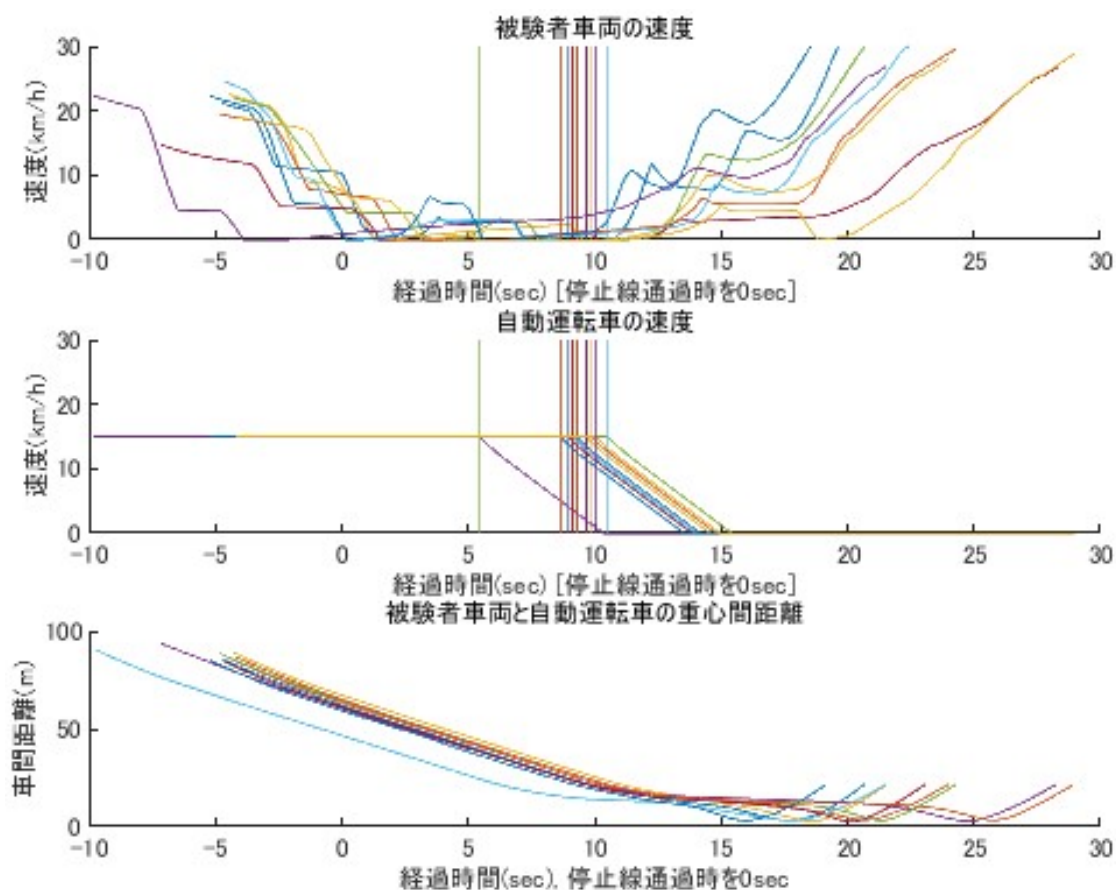


図 5-103 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(とまります)

図 5-103 より、「とまります」の外向け HMI では「お先にどうぞ」と同様にある 1 台の車両(自動運転車)が完全に停止する前にほとんどの被験者車両が右折しようと加速している。しかしながら右折時は「お先にどうぞ」のときよりも最高速度が 10km/h を超えている被験者車両が少なく、右折時の慎重さが伺えた。特に十字路の場合とシチュエーションとしては類似しているので理由としても奥車線左側からの車両を警戒したことが考えられる。

(iv) 自動走行中

最後に衝突対象なし丁字路の「自動走行中」では図 5-104 のような結果となった。

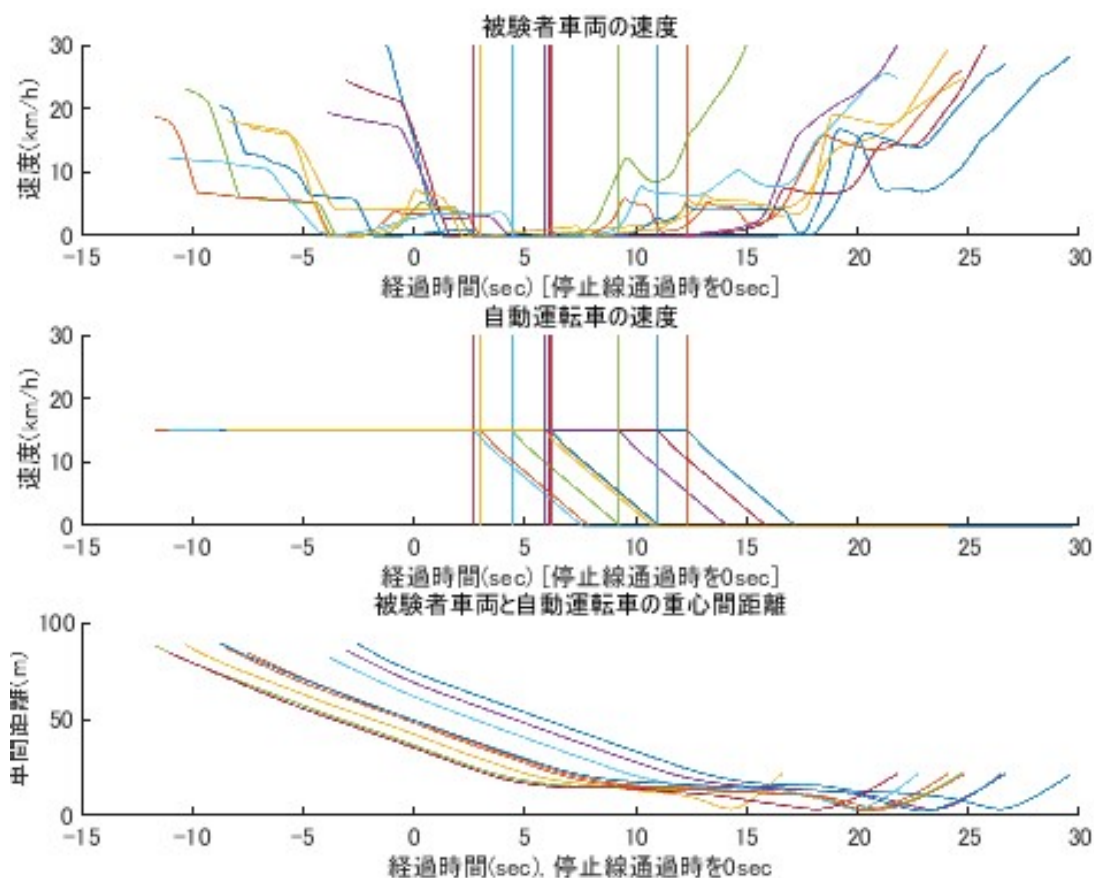


図 5-104 被験者車両ならびに二輪車の速度と経過時間の関係、被験者車両と二輪車の重心間距離と経過時間の関係(自動走行中)

図 5-104 より、「自動走行中」の外向け HMI の場合でも、ある 1 台の車両(自動運転車)が完全に停止する前にほとんどの被験者車両が右折しようと加速している。しかしながら右折時は「お先にどうぞ」のときよりも最高速度が 10km/h を超えている被験者車両が少なく、右折時の慎重さが伺えた。特に十字路の場合とシチュエーションとしては類似しているが「自動走行中」が表示された場合でも奥車線左側からの車両を警戒したことが考えられる。これは衝突対象なしの丁字路のシナリオは本番走行 1 回目のコースから数えて、2 走行目ということもあり「自動走行中」に対する被験者の習熟が足りなかったために慎重になっていた可能性が示唆される。

5.8.12. まとめ

ドライビングシミュレータを利用して、交差点部や横断歩道部などを対象に、外向け HMI を装備した車両から非優先側ドライバーへのコミュニケーション等を観測し、非優先側ドライバーの認識や判断、運転行動への影響等を検討した。本実験を通じて以下の結果が得られた。

- 本実験に関する限り、交差点右折時において、外向け HMI を介して「お先にどうぞ」と譲りの意図を伝達すると、進路を譲られた非優先側ドライバーは対向車線方向や周囲への確認を自動運転車に依存させてしまい、その結果、路肩を走行する二輪車への確認を十分に行わなくなる傾向がある、外向け HMI を介して譲りの意図を伝達すると、交差点右折時での二輪車との右直接接触を誘発する可能性が示唆される。
- 自動運転車から「自動走行中」と運行状態を非優先側ドライバーに伝達した場合、自動運転車の動作や振る舞いが十分把握できていないことから慎重な行動を取るドライバーが比較的多く存在したが、その一方で「お先にどうぞ」と同様に、交差点右折時での二輪車との右直接接触を誘発する可能性が示唆される。
- 自動運転車から「とまります」と停止の意図を伝達すると、進路を譲られた優先側ドライバーは対向車線方向や周囲への確認を自動運転車に依存させてしまう傾向がみられたが、二輪車との接触には至らず、「お先にどうぞ」と比較して、周囲確認の依存をやや低められる可能性が考えられる。

5.9. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件の検討（一般道）－自動運転車の表明とドライバーの状態が歩行者の判断や心理に与える影響の検討

5.9.1. 実験目的

自動運転車の表明・ドライバーのアイコンタクト等の有無を伴う接近車両に対する歩行者の認識や横断判断、心理面への影響について検討する

5.9.2. 実験概要

平成 30 年 11 月 28 日（水）～平成 30 年 11 月 29 日（木）に実施した。実験場所は、警視庁湾岸警察署周辺道路（東京都江東区青梅 2-8 付近）であった。実験に使用した車両は、自動運転走行を模したプリウス（左ハンドル）および一般車両を模したプリウス（右ハンドル）の 2 台を使用した。



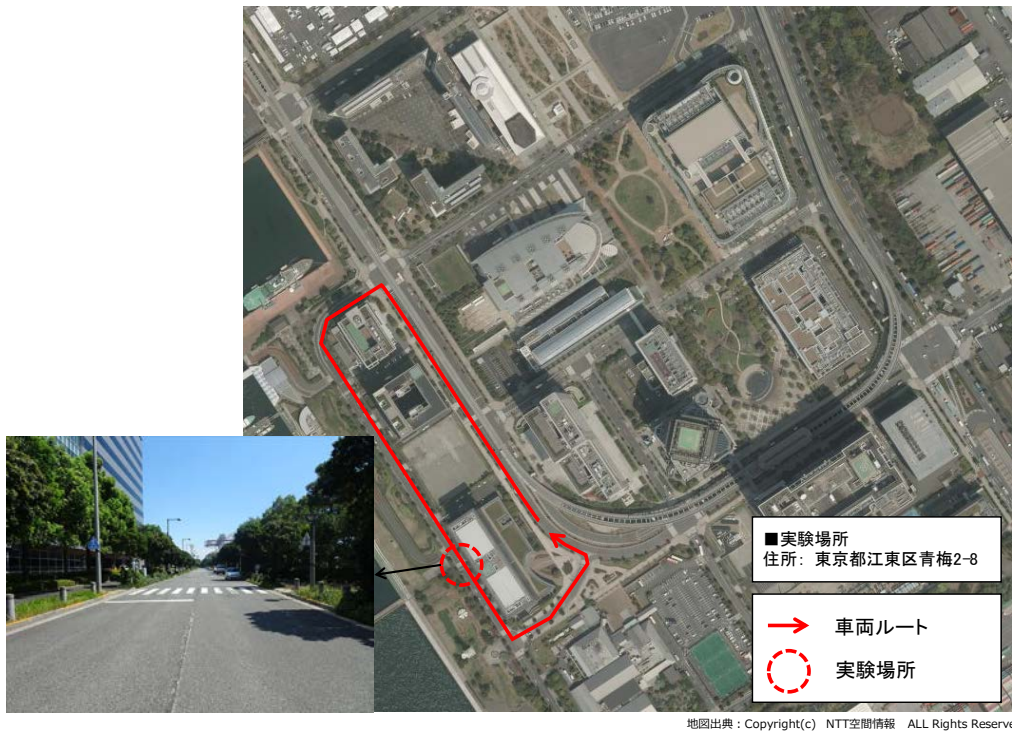
図 5-105 使用車両（プリウス）

実験の仮説に関して、現在、自動運転車がどんな挙動をするのか認知されていない。そのため、自動運転車両が接近してきた場合に「不安」が生じ、車両の行動や運転に関与しないドライバーの状態等を見極めようとする事で横断判断に遅れや意思決定に伴う不安が生じると予想される。「自動運転車両の交通法規遵守」に関する社会的認知が様々である現状において、自動運転車と他の交通参加者との安全、安心、円滑に基づいた社会受容性の観点から自動運転車における車両挙動や HMI の役割が明確になり、交通参加者の安全性の向上だけでなく、安心感、円滑化の向上も図られる。

5.9.3. 実験方法

(1) 実験ルート

実験車両は図 5-106 に示すルートを周回走行する。



地図出典: Copyright(c) NTT空間情報 ALL Rights Reserved

図 5-106 実験走行ルート及び実験場所

(2) 実験パターン

実験のパターンは表 5-9、図 5-108 に示す 4 パターンの実験を行う。実験前に被験者には、自動運転車についての基礎情報は伝えておく。実験の手順・詳細については後述する。

表 5-9 実験パターン一覧

	実験パターン	使用車両※1	右座席運転者有無	運転関与の有無	先行車両の有無	備考
Case1	手動運転	B	有	有	有(B)	
Case2	自動運転型 1	A	有※2	有	有(B)	
Case3	自動運転型 2	A	有※2	無※3	有(B)	
Case4	自動運転型 3	A	無	無	有(B)	図 5-107 参照

※1: 使用車両: A:左ハンドルプリウス (1 台準備)、B:普通のプリウス (2 台準備)

※2: 左ハンドルを隠し、右ハンドルがあるように右座席に疑似インパネを施す。(図 5-107 参照) 左座席の運転手は、疑似座席により外から運転者が見えないようにする。

※3: 右座席に座る運転者役はよそ見をして運転をしていない風を装う。

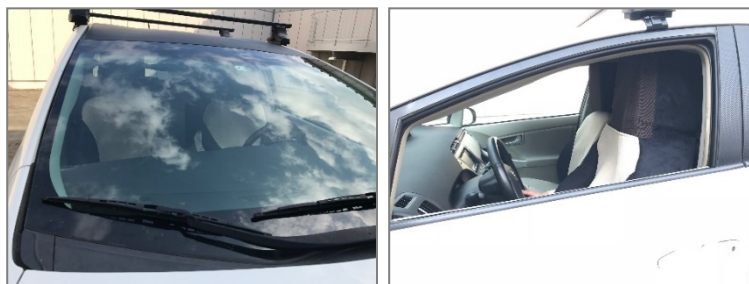


図 5-107 実験使用車両の様子

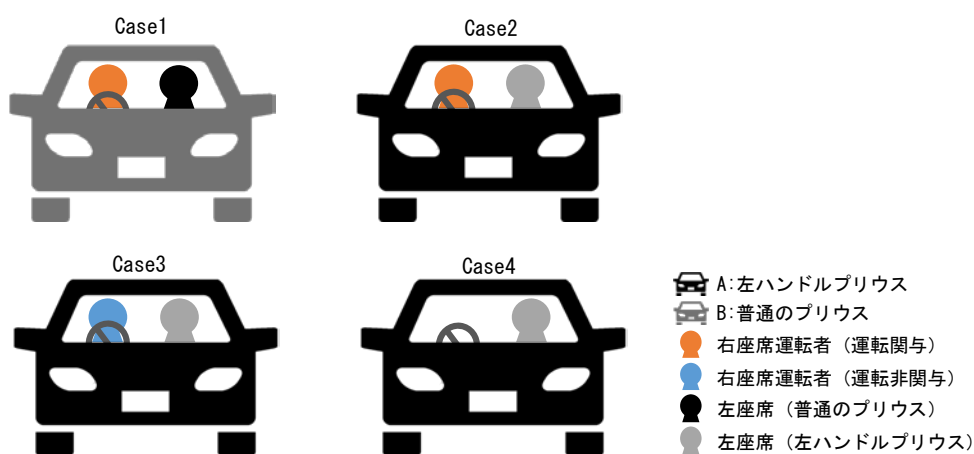


図 5-108 実験パターン

(3)実験のポイント

(i)車両

本実験は自動運転車両を使わない。被験者に「自動運転車両が走っている」と認識してもらい、ドライバーが運転に関与しない、積極的にコミュニケーションをとろうとしない（ドライバーが被験者を見ていない）と思ってもらうために、実験に以下の工夫を施す。

(実施工夫)

- ・ 車両の外側に「自動走行システム実験中」標示を設置する。
- ・ ドライバーシートが溶け込むようなシート状の着ぐるみを着て実験車両（左ハンドル）に着座して周囲の交通状況確認に専念、安全に配慮して運転する。
- ・ 左ハンドルの助手席（右側）に模擬ドライバーを座らせる。
- ・ Case2 は運転を装い Case3 は歩行者を積極的に見ていない風を装う。
- ・ 左ハンドルのハンドルは覆い等で隠蔽し、右ハンドルの運転席にはハンドルをつけ、ドライバーが乗車していないと思わせる。



図 5-109 車両の工夫

※着ぐるみのイメージ：ドライバーの視野・明るさをサングラスと同程度に確保、もしくは眼球部を覆わない加工とするため、頭部分の覆いにはフィルムを使用した。また、胴体部分はサイド部にスリットが入り、緊急時には両腕を着ぐるみから即座に出すことが可能（前掛けのようなイメージ）である。そのため、着ぐるみを着た状態で3点式シートベルトを着用可能（緊急時には両腕を即座に出すことが可能）である。

※実験は、警察庁及び警視庁に事前に着ぐるみの実物を確認いただいた上で実施した。



図 5-110 警察による着ぐるみ確認の様子

(ii)ビューポールの設置

車両と歩行者の接近状況や距離、歩行者横断時の挙動・行動変容等を確認するために、高所カメラ（ビューポール）を使用する。ビューポールの概要を図 5-111 に示す。



図 5-111 ビューポールの概要

横断歩道下流側の照明柱3箇所、高所カメラ（ビューポール）を設置し、横断の様子（横断歩道を歩行する歩行者の挙動（歩行軌跡・歩行速度）を撮影する。

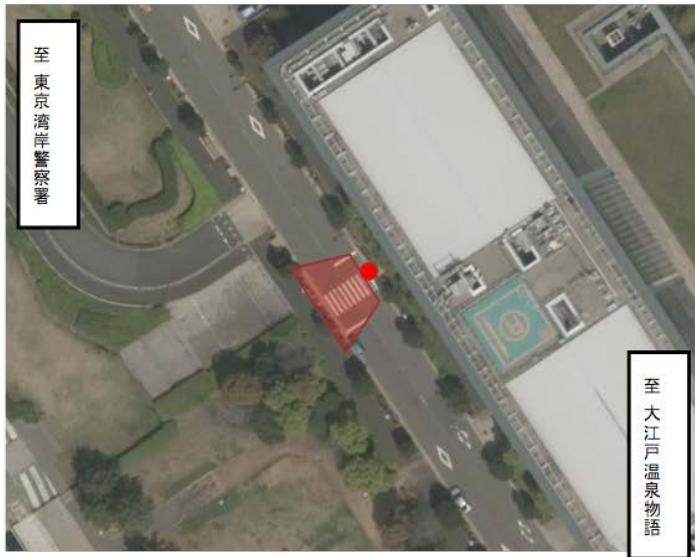
ビューポール設置箇所及び撮影アングルを図 5-112～図 5-115 に示す。なお、照明柱に設置するにあたり、管理者である東京港管理事務所に道路使用許可を得た。



図 5-112 ビューポール設置箇所

地図出典：Copyright(c) NTT 空間情報 ALL Rights Reserved

撮影位置



[\(Google マップより\)](#)

VP 設置箇所 (照明柱 : 21-45)

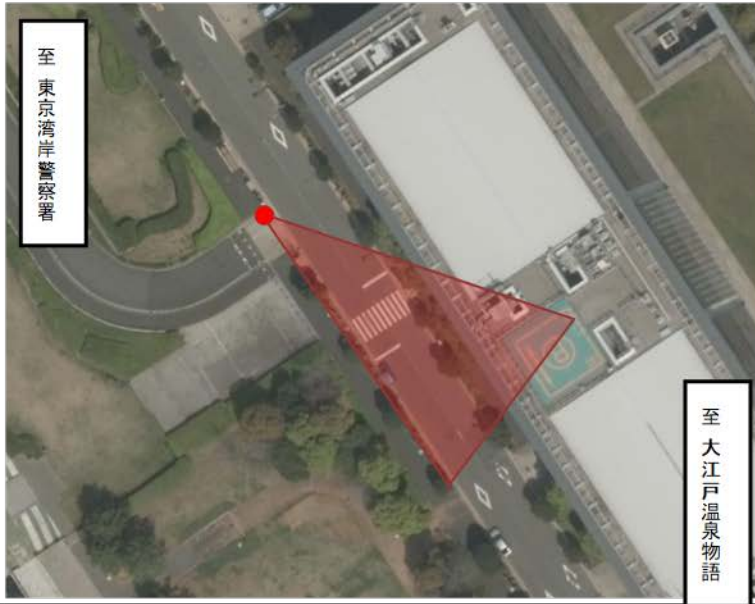


撮影画角



図 5-113 ビューポール 1 (横断歩道部)

撮影位置



[\(Google マップより\)](#)

VP 設置箇所 (照明柱 : 11H-73)

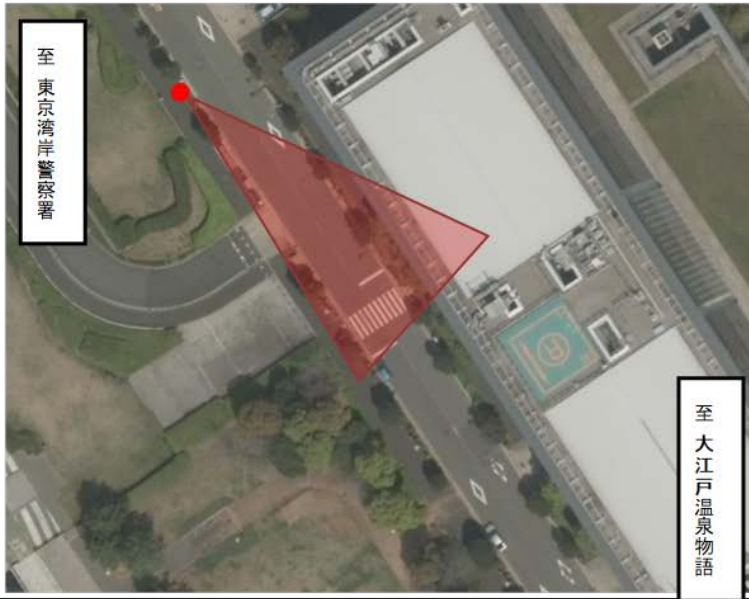


撮影画角



図 5-114 ビューポール 2 (近景)

撮影位置



[\(Google マップより\)](#)

VP 設置箇所 (照明柱 : 11H-74)



撮影画角



図 5-115 ビューポール 3 (遠景)

(iii)歩行者モニターと車両の動き

下記を実験の条件として、実験を行う。

- ・ 予め、「自動運転車両は横断歩道に人がいても停車しない場合がある」と教示しておく。
- ・ 先頭車両と後続車両「自動運転型車両」の間隔は 30m 程度を目安とする。
- ・ 1 人の被験者の体験は 1 横断のみとする。
- ・ 車両の周回は信号停車も含めて約 3 分で可能。

実験の手順を、以下に示す。

表 5-10 実験手順

	車両側（スタッフにて対応）	歩行者側（モニター）
-05.～ -03.00	※各ターンの最初のみ大通り側で停車。	会議室 1（タイムズ 24 ビル、SOHO ビル）にて説明・準備。 ※8 時～10 時のみタイムズ 24 ビルの会議室をスタート、戻り。 ※それ以降は SOHO ビルにて実施。
-01.00		SOHO ビル 1 階吹き抜けで待機。 （スタッフ 1、2 による誘導）
00.00	湾岸署前信号交差点を通過したら、地点管理スタッフより実験車両通過及び後続車両の有無・台数について発砲。	スタート地点へ移動。 （スタッフ 3、4、5 による誘導）
+00.30	スタート地点（横断歩道手前約 60m）で停車した後発砲。 ※一般車両がいる場合は、このときにやり過ごす。	
+02.00	スタート地点からスタート。	横断歩道手前 20m で誘導スタッフが発砲（図 5-116 参照）。
	先頭車両は標識付近（横断歩道から約 30m 手前）にすることを目安とする。 15~20km/h の速度で横断歩道に進入する。	横断歩道位置手前 10m で、誘導スタッフは歩行者に「横断歩道先のスタッフを指してください」の合図を出し、スタート（図 5-116 参照）。
	先頭車両は歩行者が横断歩道に差し掛かるタイミングで横断歩道を通過。 後方車両は、横断歩道手前 30m に到達する。	横断歩道の方向に向きを変える。

	後方車両は、速度 15~20km/h から徐々に減速し必ず停止線の位置で停止。	歩行者：判断して横断。 ※個々の挙動を各ケース見る。
+03.00	車両は周回し、またスタート位置に戻る。	横断後、SOHOビル会議室に戻る間、戻った後にかけるアンケート調査を聞き取りにより実施（スタッフ3、4、5）。
+05.00	（次の歩行者モニターが準備でき次第、出発）	歩行者が渡り終わったら、次の歩行者は会議室を出て移動（スタッフ1、2による誘導）。
~ +20.00		会議室2に戻った横断済利用者は、反対車線歩道を通りスタッフ3、4、5によるアンケート聞き取り調査を行って、終了。

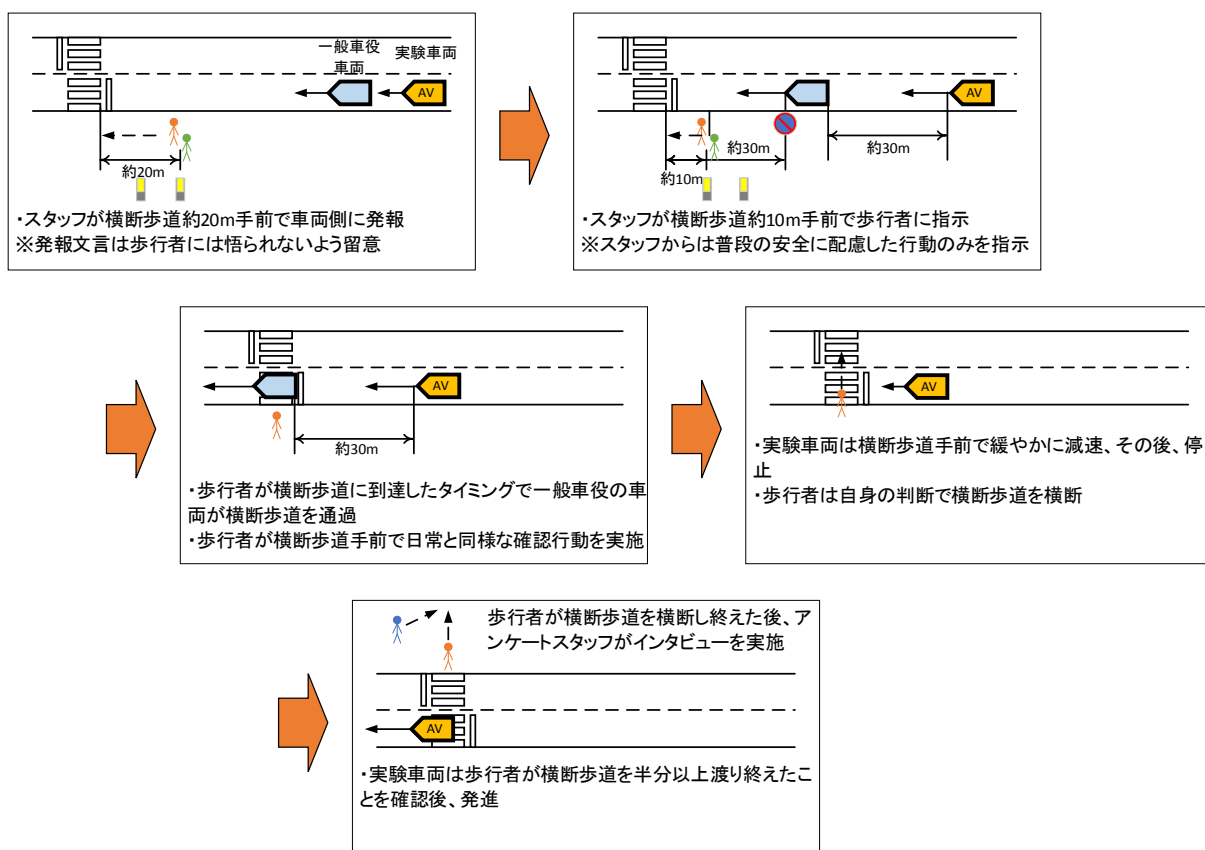


図 5-116 歩行者と車両の動き



図 5-117 スタッフ発報・案内位置の目安



図 5-118 先頭車両待機位置の目安

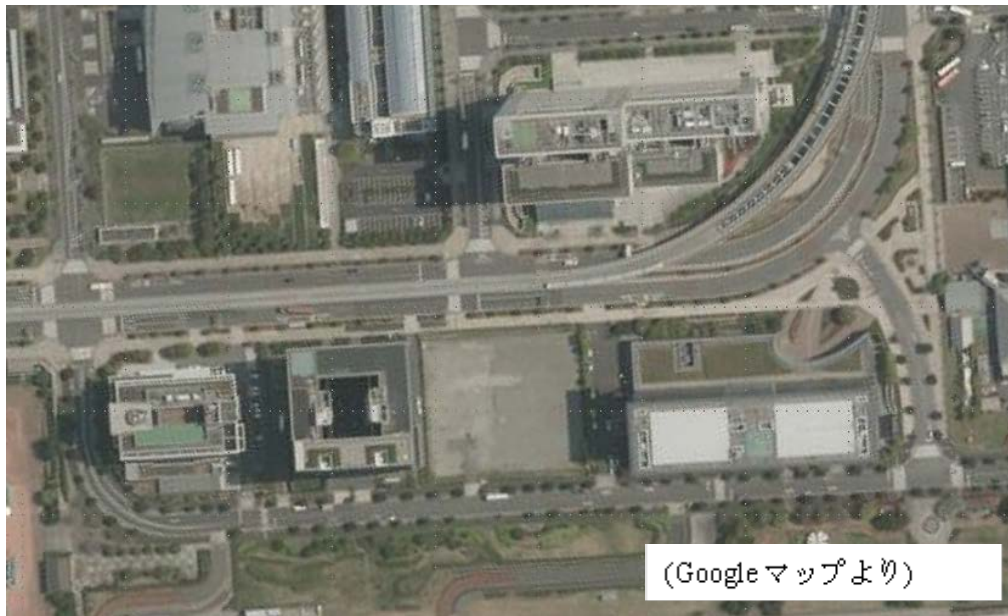


図 5-119 実験ルート・配置・施設見取り図ほか

(4)タイムスケジュール

実験は表 5-11 及び表 5-12 に示すスケジュールで稼働する。(準備スケジュールは除く)

表 5-11 タイムスケジュール (11/28)

11/28(水)							
会議室	時間	1班	2班	3班	4班	5班	6班
	7:30	運営準備					
	7:50	スタッフオリエンテーション					
	8:10	スタンバイ					
タイム24 ビル 8:00- 10:00	8:20	受付					
	8:30	誘導					
	8:30~9:50	14人×5分 (10分余裕)					
	9:50		受付				
the SOHO 9:00- 18:00	9:50~11:10		14人×5分 (10分余裕)				
	11:10			受付			
	11:10~12:30			10人×5分 (30分余裕)			
	12:30				受付		
	12:30~13:50				14人×5分 (10分余裕)		
	13:50					受付	
	13:50~15:10				14人×5分 (10分余裕)		
	15:10					受付	
	15:10~16:30					10人×5分 (30分余裕)	
					目標	76人	

ケース1 実施
3ユニットで38人

ケース2 実施
3ユニットで38人

ケース1 ~ケース4 を2日で回す方法
⇒最低確保サンプル数として
38サンプル×4 ケース分を取得

表 5-12 タイムスケジュール (11/29)

11/29(木)						2日間: モニタ 152人	
会議室	時間	1班	2班	3班	4班		
	7:30	運営準備					
	7:50	スタッフオリエン					
	8:10	スタンバイ					
タイム24	8:20	受付					
	8:30	誘導					
ビル	8:00-10:00	8:30~9:50 14人×5分 (10分余裕)					
			9:50 受付				
the SOHO	9:00-18:00		9:50~11:10 14人×5分 (10分余裕)				
				11:10 受付			
	11:10			11:10~12:30 10人×5分 (30分余裕)			
	12:30				12:30 受付		
				12:30~13:50 14人×5分 (10分余裕)			
	13:50				13:50 受付		
					13:50~15:10 14人×5分 (10分余裕)		
	15:10						
					15:10 受付		
	16:30						
						目標 76人	

ケース3 実施
3ユニットで38人

ケース4 実施
3ユニットで38人

(5)スタッフ配置

現地対応スタッフは以下の配置に基づく。

表 5-13 スタッフ配置

		待機位置	
1	ディレクター (D)	会議室	業務統括
2	サブディレクター (SD)	歩行者モニター導線	安全管理・キュー出し
4 5	誘導アンケートスタッフ①	AM はタイム 24 ビル～theSOHO ビルまでを往復。PM はスタッフ②と合流	(スタッフ 1、2)
6 7 8	誘導アンケートスタッフ②	歩行者の対応を行う。	(スタッフ 3、4、5)
9	アンケートスタッフ③	会議室で受付け	(スタッフ 6)
10 11 12 13	ドライバースタッフ	プリウス(左ハンドル) プリウス(左ハンドル) プリウス(右ハンドル) プリウス(右ハンドル)	(ドライバー 1-4)
社	全体統括	全体を動く	社員 1
社	歩行者統括	横断歩道付近	社員 2
社	車両統括 ドライブサポート	the SOHO 付近	社員 3
社	アンケート統括	会議室	社員 4
社	地点管理スタッフ	湾岸署前信号付近	信号現示の確認・ キュー出し

(6)必要什器、備品

以下の通り、什器・備品を準備する。道路使用許可/占用許可に関わる備品は「許」に記載する。

表 5-14 備品一覧

	什器・備品	使用・設置場所	
許	ビューポール	横断歩道下流側照明柱	占用許可
	歩行者用ゼッケン		
	筆記具・アンケート用紙		
	カメラ		
	ストップウォッチ		

※自動運転型車両に関わる備品は省略

5.9.4. 検証・評価方法

検証・評価方法について以下に示す。

(1)アンケート調査票

実験終了直後にスタッフが聞き取り形式でアンケート調査を実施した。アンケート調査では、各被験者に対して以下の項目について質問を実施した。

- ①対象とする横断歩道における周囲状況の確認の有無（はい/いいえ）
- ②周囲状況を確認した場合の確認対象（他の歩行者、接近車両、その他に関して確認した内容の自由記述）
- ③接近車両の存在の有無（はい/いいえ）
- ④接近車両からの進路譲りの有無（はい/いいえ）
- ⑤接近車両から進路を譲られた際の譲りに関する認識程度（5件法：全く譲ってくれていないように思った～とても譲ってくれているように思った）
- ⑥接近車両から進路を譲られたと判断した際の手掛かり（自由記述）
- ⑦接近車両から進路を譲られたと判断した際の横断判断（横断可能/横断不可能）
- ⑧横断歩道を横断可能と判断した際の確信の程度（5件法：全く確信しなかった～非常に確信した）ならびに不安の程度（7件法：非常に不安だった～どちらでもない～非常に安心だった）
- ⑨横断歩道を横断できないと判断した際の確信の程度（5件法：全く確信

しなかった～非常に確信した) ならびに不安の程度 (5 件法: 非常に不安だった～どちらでもない～非常に安心だった)

- ⑩横断歩道を横断できる/横断できないと判断した際に不安/安心を感じた理由 (自由記述)
- ⑪進路を譲ってくれた車両あるいは車両のドライバーに関する気づき (車両についての自由記述、ドライバーについての自由記述)
- ⑫歩行中に気づいたこと、感じたこと、その他 (自由記述)

自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに関する要件をより深く検討するために、上記の項目に基づいて被験者との間で意見交換・議論等も合わせて実施した。

(2)歩行者－車両間の計測

歩行者と車両の挙動の確認は、自動運転型車両は車両に搭載したレーダー等の計測機器を用いることとするが、実験対象箇所を俯瞰したビューポールカメラによる撮像も行い、歩車間の距離や挙動の確認分析を行うこととする。

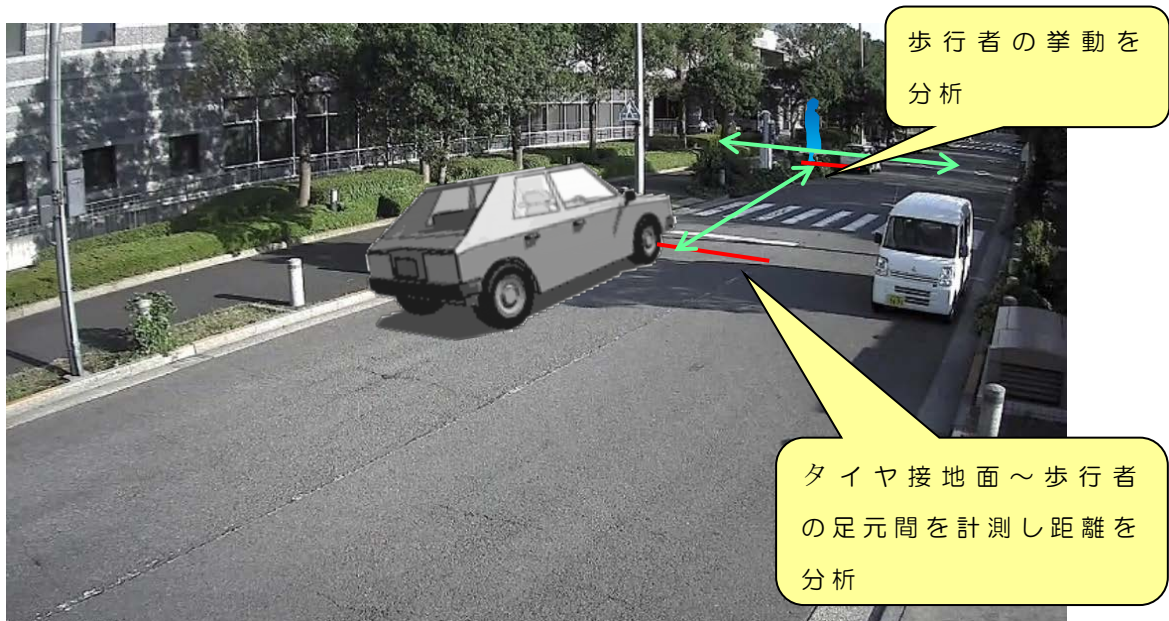


図 5-120 ビューポール設置位置からの見取り図

横断歩道下流側 3 箇所に設置したビューポールより撮影した映像から歩行者の軌跡と車両の停止位置を計測した。

(i) 映像の射影変換

計測では、撮影した映像上に基準点を設定し、射影変換することで、歩行者及び車両の座標値を算出する。射影変換のイメージを図 5-121 に示す。

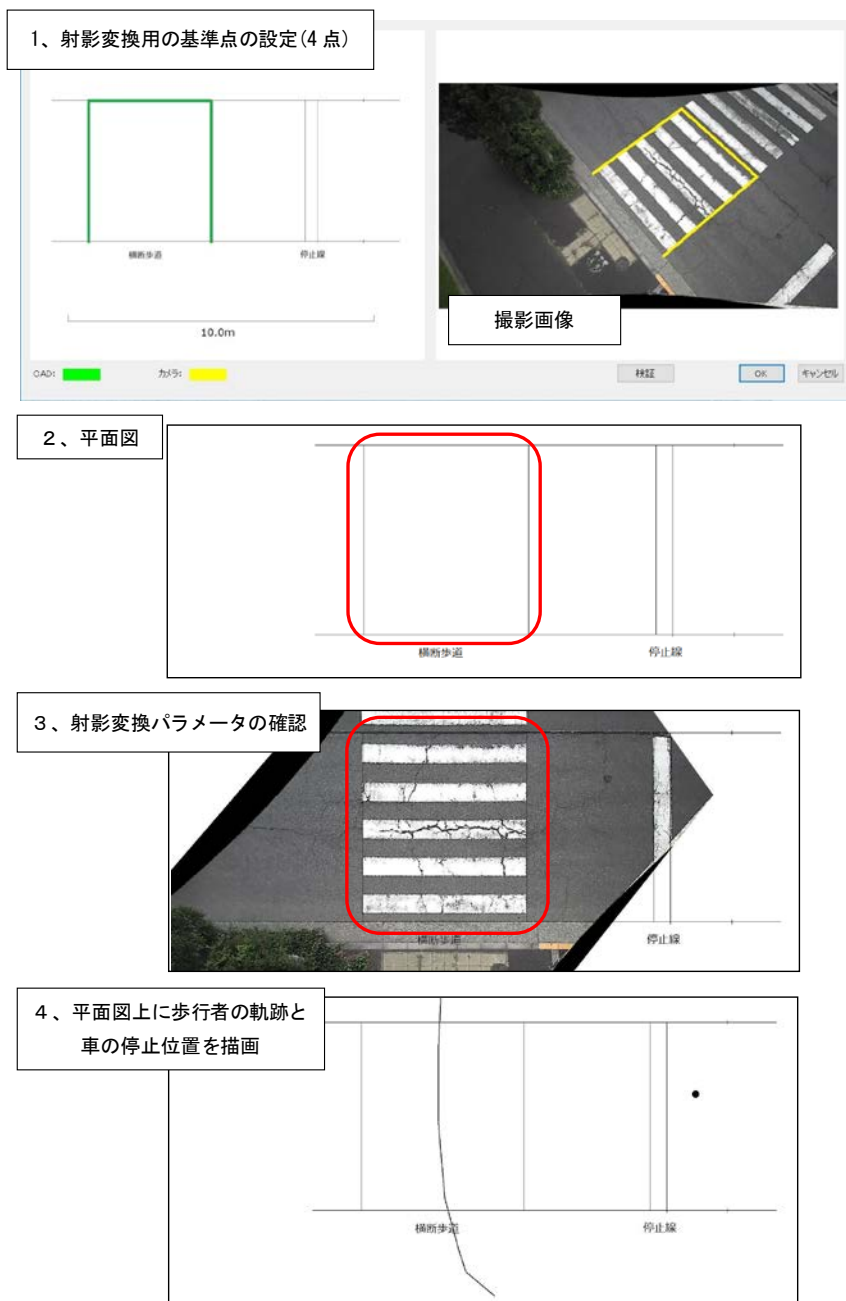


図 5-121 射影変換のイメージ

(ii)位置の判読条件

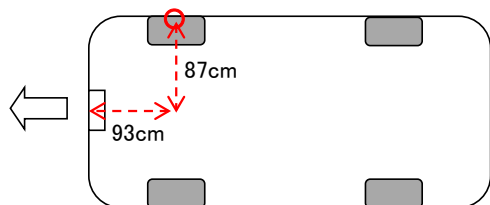
歩行者の位置及び車両の停止位置は、以下に示す条件で判読を実施した。

【判読条件】

- ・ 判読時間：2018年12月28日(水)、29日(木) 8:30~16:30
- ・ 判読地点：東京都江東区青梅(湾岸署付近)
- ・ 判読対象：横断歩行者と実験車両(2台目)
- ・ 判読位置：
 - 歩行者は右足接地のタイミングで軌跡を計測(図5-122参照)
 - 車両は停止位置で右前輪の接地面を判読した後、射影変換後の座標値からナンバープレート位置を算出(図5-123参照)



図 5-122 歩行者の計測位置



右前輪の計測位置とナンバープレートの離隔関係

図 5-123 車両の計測位置

5.9.5. 被験者

各実験ケースに参加した被験者の性別、年齢、運転免許の保有状況を表 5-15、表 5-16、表 5-17 にそれぞれに示す。

表 5-15 各実験ケースにおける被験者の性別

	Case1	Case2	Case3	Case4
男性	19	18	19	19
女性	19	20	19	19
計	38	38	38	38

表 5-16 各実

験ケースにお

ける被験者の年代

	Case1	Case2	Case3	Case4
20代	16	21	15	16
30代	5	1	7	4
40代	4	3	0	0
50代	2	2	5	4
60代	6	2	4	9
70代	4	9	7	5
80代	1	0	0	0
計	38	38	38	38

表 5-17 各実験ケースにおける被験者の運転免許保有の有無

	Case1	Case2	Case3	Case4
免許保有	27	26	30	23
免許非保有	10	9	7	14
返納	1	3	1	1
計	38	38	38	38

5.9.6. 実験結果

(1) アンケート結果

アンケート結果を集計した。各質問項目に沿って示す。

(Q0)「歩行を開始した後、横断歩道手前に到達した際、周囲の状況を確認しましたか？（少しでも確認された場合は「はい」と回答してください）」に関する結果を図 5-124 に示す。いずれのケースにおいてもほぼ全員が横断歩道手前で周囲確認を行っている状況であったことが確認された。

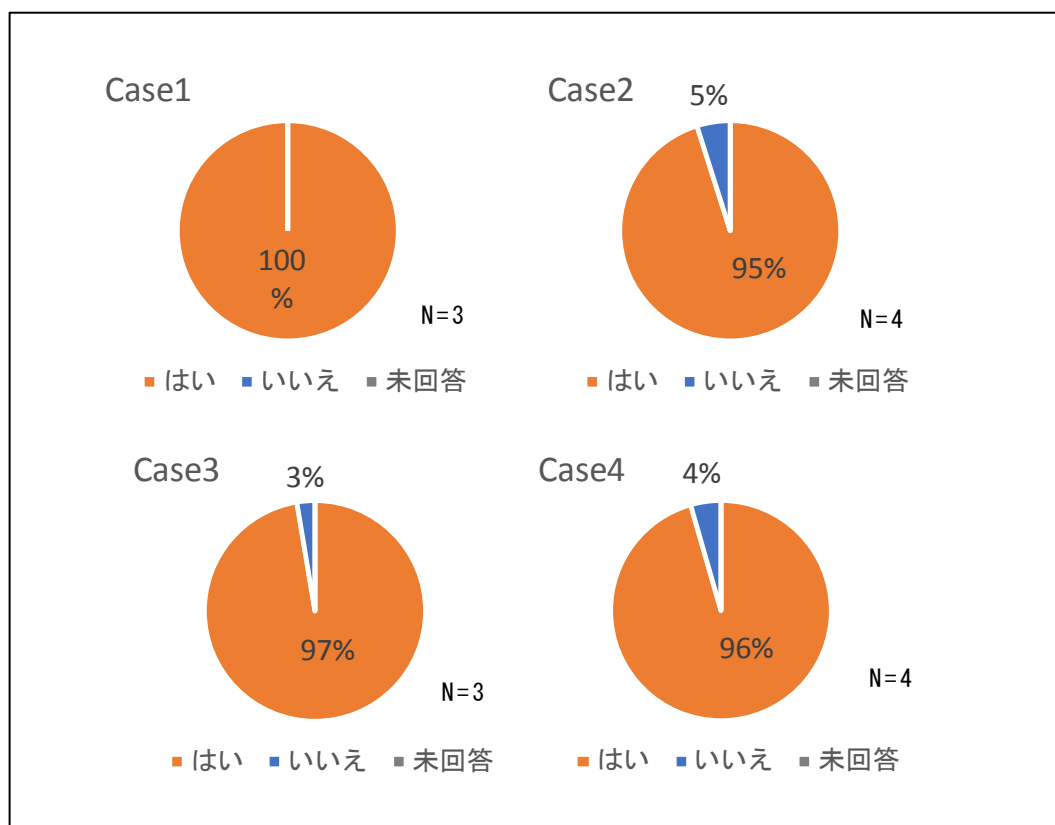


図 5-124 横断歩道手前に到達した際の周囲状況の確認の結果

一方、「いいえ」と回答した被験者の理由は、以下の通りであった。

- ・ アテンドスタッフと一緒に歩くことに集中していたのと地面の凸凹に注意していたから。
- ・ 車は基本的に止まるので大丈夫だと思ったから。
- ・ 歩道を歩いていたので安全だと思い、横断歩道までは周囲を特には気にしていなかった。

(Q1)「周囲のどのような状況を確認しましたか？該当する項目にチェックを入れて具体的な内容等を記載してください（確認したが、いなかった場合も記載してください）」に関する結果を図 5-125 に、歩行者の存在を確認した場合の結果を図 5-125 に、右からの接近車両の存在を確認した場合の結果を図 5-126 に、左からの接近車両の存在を確認した場合の結果を図 5-127 にそれぞれ示す。いずれのケースにおいても、他の歩行者の存在よりも接近車両の有無について確認した被験者が多く、接近車両の有無について、横断時に自分に近い右側車線からの接近車両を確認する傾向がみられた。ほぼ全員が横断歩道手前で周囲確認を行っている状況であったことが確認された。

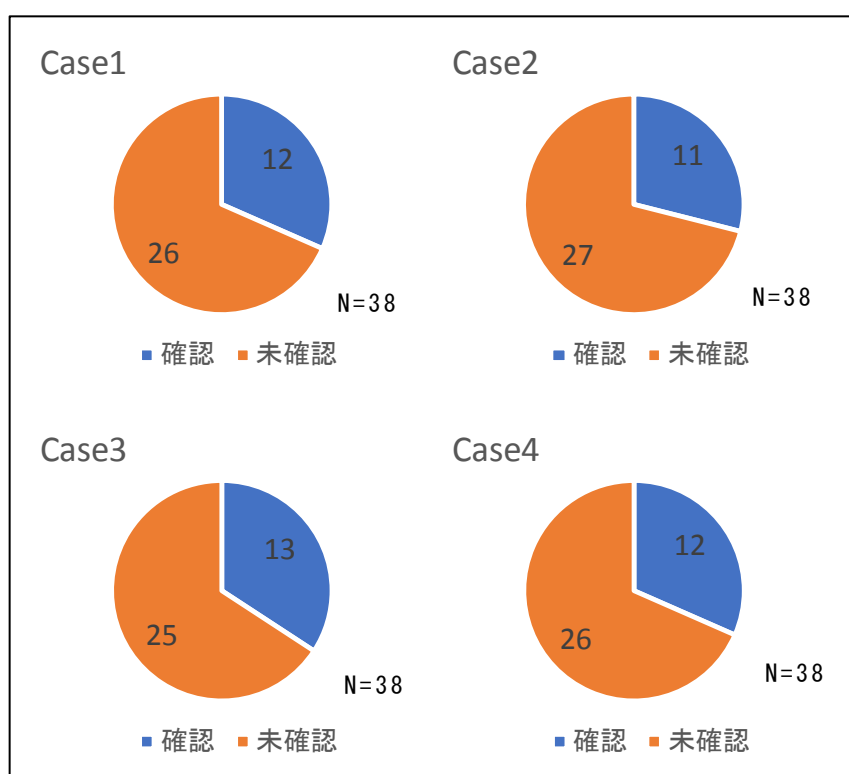


図 5-125 横断歩道手前に到達した際の周囲の歩行者確認の結果

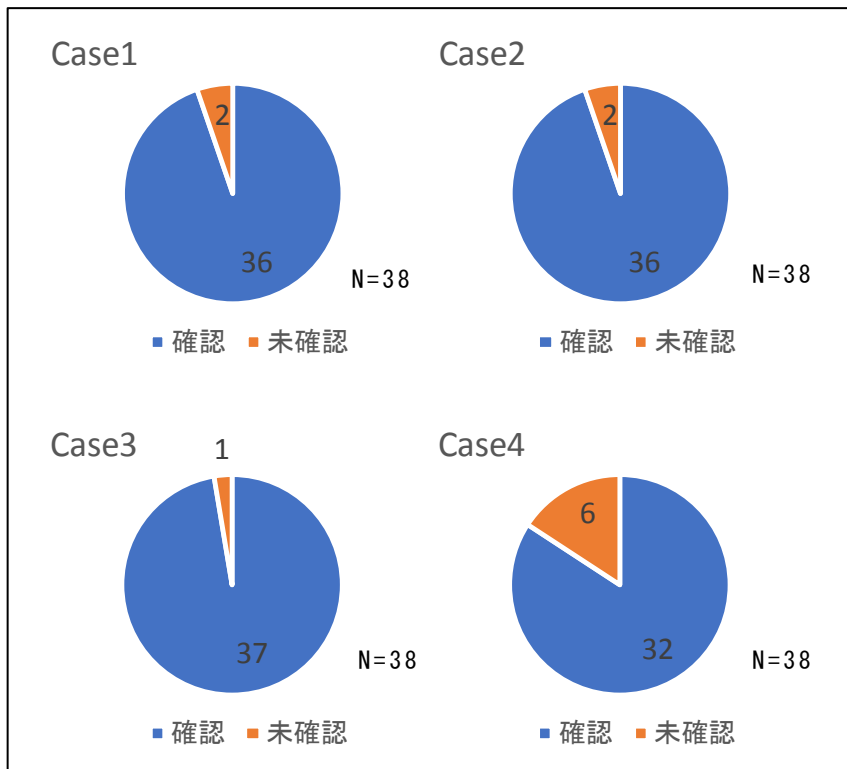


図 5-126 横断歩道手前に到達した際の右からの接近車両確認の結果

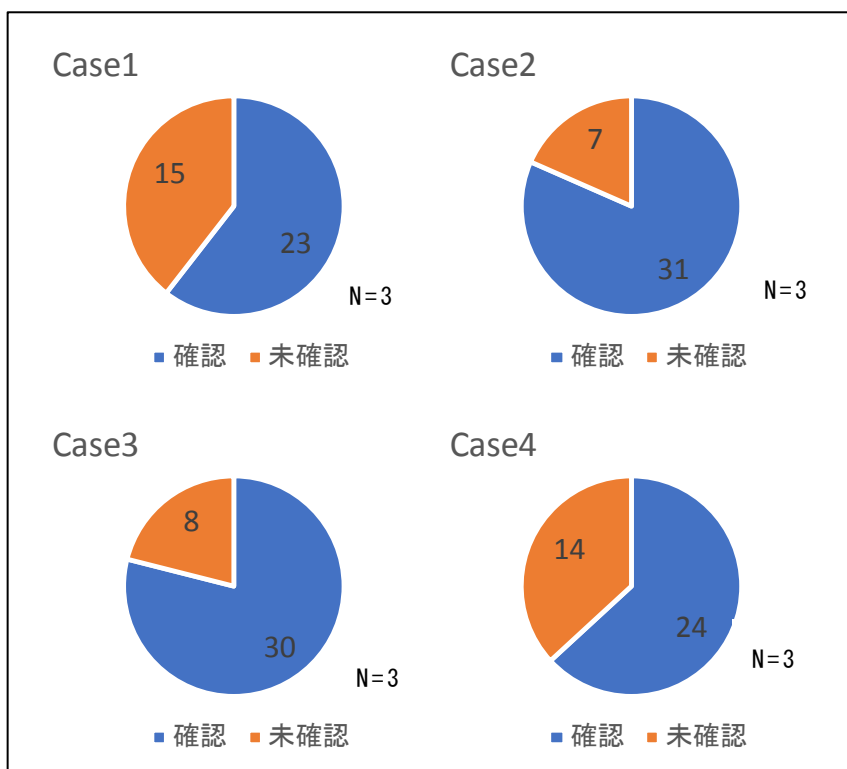


図 5-127 横断歩道手前に到達した際の左からの接近車両確認の結果

(Q2)「横断しようとして横断待ちした際、右方向から接近してきた車両は存在しましたか？」に関する結果を図 5-128 に示す。Case2 と Case4 では、実験当日に被験者を 3 名、7 名と増員したため、回答数がそれぞれ 41 名、45 名となっている。どのケースでも被験者のほぼ全員が横断歩道を横断しようとした際に、右方向から車両が接近してくる状況に遭遇したことが確認された。

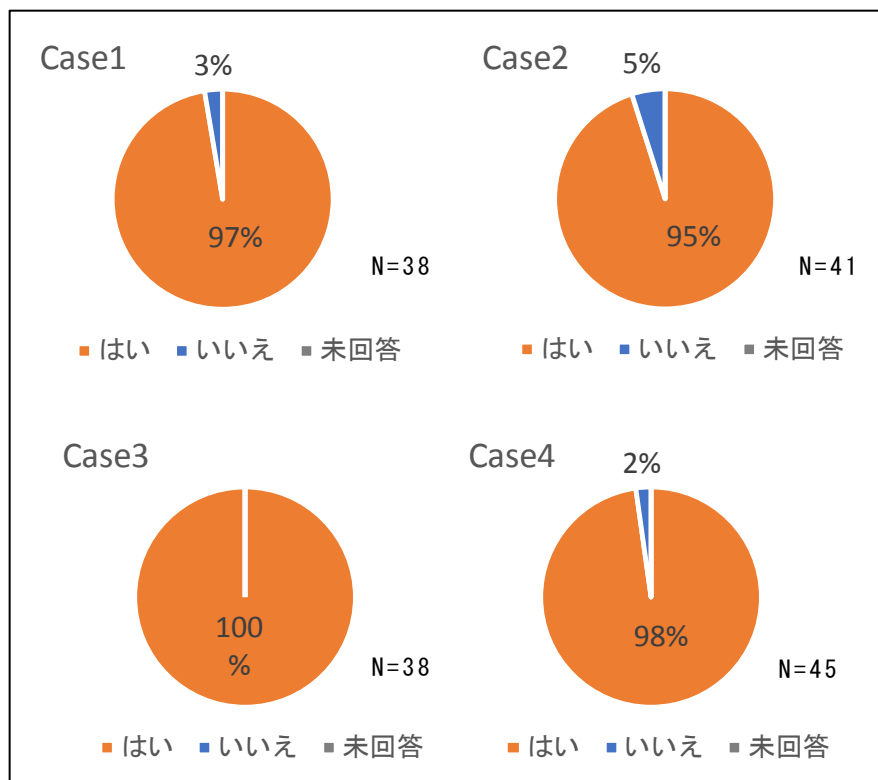


図 5-128 横断待ちした際に右方向からの車両の存在に関する結果

(Q3)「右方向から接近してきた車両のうち、あなたに進路をゆずってくれた車両はありましたか？」に関する結果を図 5-129 に示す。どのケースでも被験者のほぼ全員が横断歩道を横断しようとした際に、右方向からの車両から進路を譲られたと認識していたことが確認された。

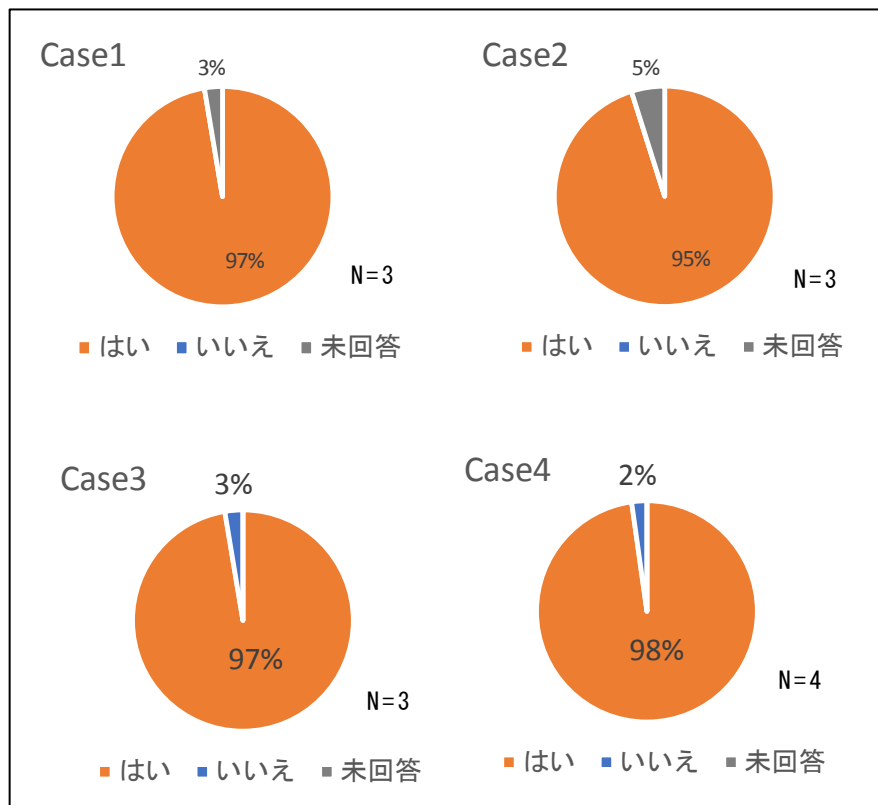


図 5-129 横断待ちした際に右方向からの車両から進路を譲られたとの認識した結果

(Q4)「進路をゆずってくれた車両を見て、あなたはどの程度その車両がゆずってくれているように思いましたか？ あなたが感じたゆずりの程度をスケール上で該当すると思われるところに“/”で示してください」に関する結果を図 5-130 に示す。スケールの左端点を 0 点、右端点を 150 として換算し、被験者の回答位置の左端点からの距離を計測・集計した。どのケースでも被験者のほぼ全員が横断歩道を横断しようとした際に、右方向からの車両から進路を譲られたと認識していたことが確認された。Case1 の被験者は、他のケースの被験者と比較して「譲ってくれた」と感じている被験者数が多い傾向がみられた。

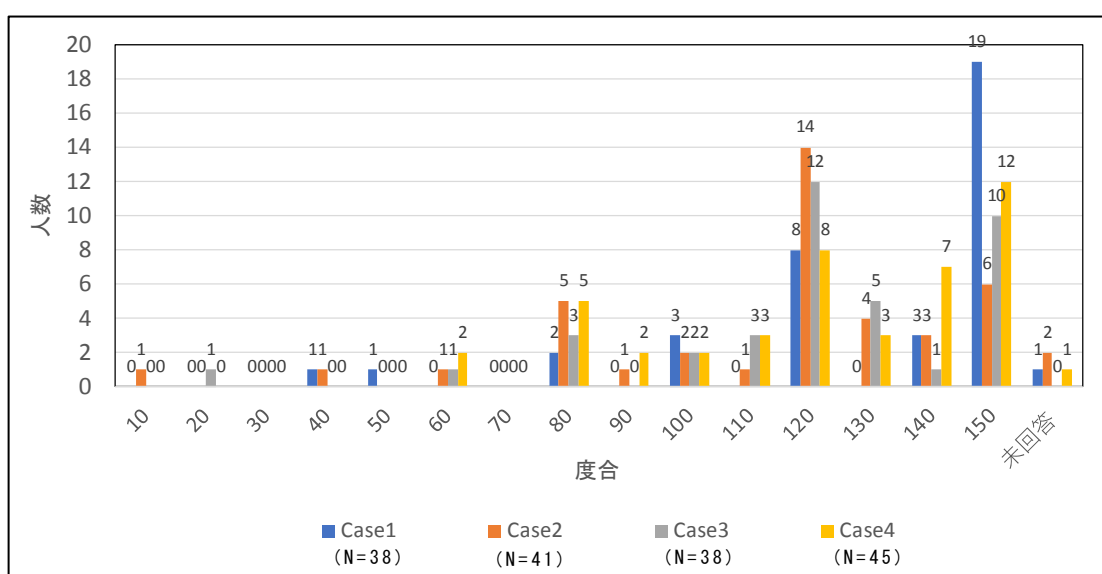


図 5-130 横断待ちした際に右方向からの車両から進路を譲られたとの認識した結果

(Q5.Q6)「車両が[進路をゆずってくれた/ゆずってくれなかった]という判断や感覚(感じ)は、何を見て、何に注意して、どのように判断しました？」「進路をゆずってくれたと判断された車両に対して、横断歩道を横断できると判断しましたか？」「[横断できる/横断できない]という判断や感覚(感じ)は、何を見て、何に注意して、どのように判断しました？」に関する結果を図 5-131、図 5-132 にそれぞれ示す。また何に注意して判断しているかの結果を表 5-18、表 5-19 にそれぞれ示す。ドライバーから歩行者に対してコミュニケーションを図った Case1 および Case2 では、ドライバーの合図やアイコンタクトから「ゆずってくれた」「横断できる」という判断や感覚の根拠として挙げている被験者が多い結果となった。いずれのケースについても「ゆずってくれた」「横断できる」という判断や感覚の根拠として、車両が停

止したかどうかを挙げている被験者が多かった。どのケースでも被験者のほぼ全員が横断歩道を横断しようとした際に、右方向からの車両から進路を譲られたと認識していたことが確認された。

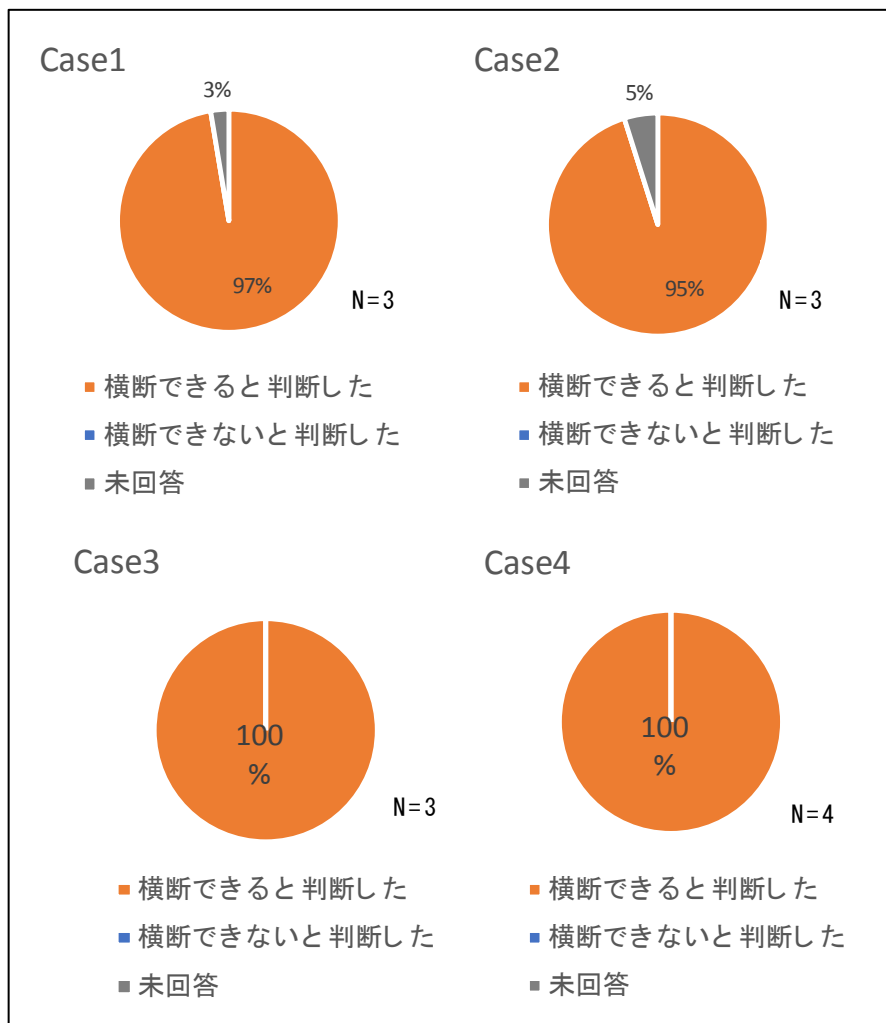


図 5-131 車両から進路を譲られた際に横断可能/横断不可能との認識した結果

表 5-18 横断可能と判断した際の手掛かりの分類

項目		キーワード	Case1	Case2	Case3	Case4
車両	減速	速度、スピード、減速、	8	5	12	14
	停止	停止、止まって	22	17	17	14
ドライバー	合図	ジェスチャー、合図、手で	26	21	1	1
	アイコンタクト	アイコンタクト、表情	16	3	3	1

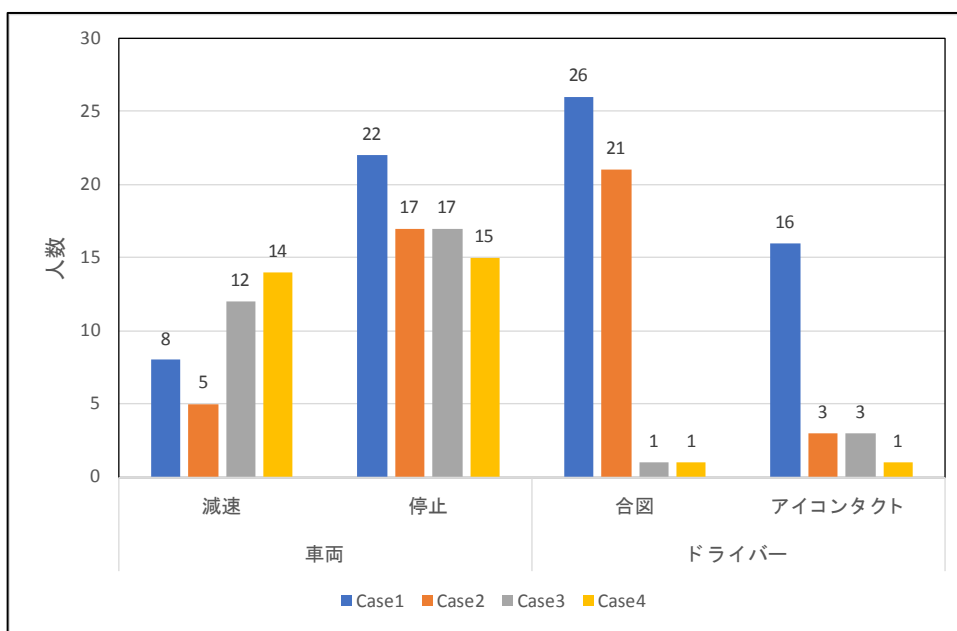


図 5-132 横断可能と判断した際の手掛かりに関する頻度の結果

表 5-19 横断可能と判断した際の手掛かりに関するコメントの結果

項目		回答例
車両	減速	<ul style="list-style-type: none"> ・ スピードが落ちた事を確認し譲ってくれると思った (Case4)
	停止	<ul style="list-style-type: none"> ・ 停止したことを確認したから (Case4) ・ 車両がはっきり停止したかどうか。停止したまましばらく動く気配がなかったから。 (Case3)
ドライバー	合図	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドライバーの方がアクションでどうぞと示してくれた。 (Case1) ・ 車が減速してドライバーの方が会釈してくださり、手で“どうぞ～！”としてくださったように見えたので。 (Case2)
	アイコンタクト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 相手 (ドライバー) とのアイコンタクト、渡ってよいという気持の共有を感じて。 (Case2) ・ ドライバーの目線がやや下にあったため。どちらともいえない判断だった。 (Case3)

(Q7)「横断歩道を横断できると判断した際、どの程度確信しましたか？ また不安/安心はありましたか？」に関する結果を図 5-133、図 5-134 にそれぞれ示す。スケールの左端点を 0 点、右端点を 150 として換算し、被験者の回答位置の左端点からの距離を計測・集計した。・横断できるとの判断について「非常に確信した」「非常に安心した」と回答している被験者は、Case1、次いで Case4 に多い結果となった。横断できるとの判断について不安を感じている被験者の数は、Case2、3、4 と順に数が増えている傾向もみられた。

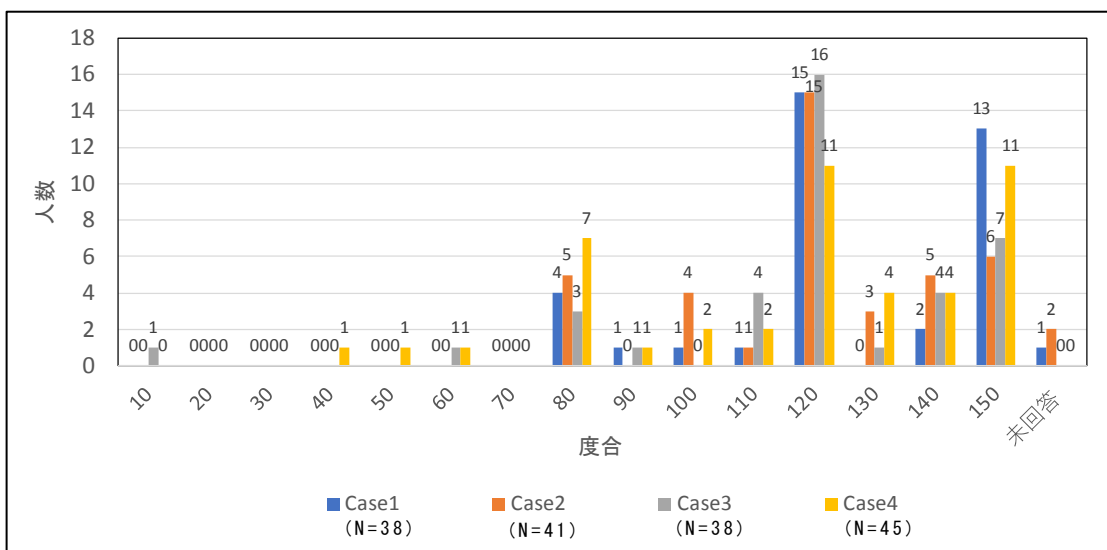


図 5-133 横断可能と判断した際の確信に関する結果

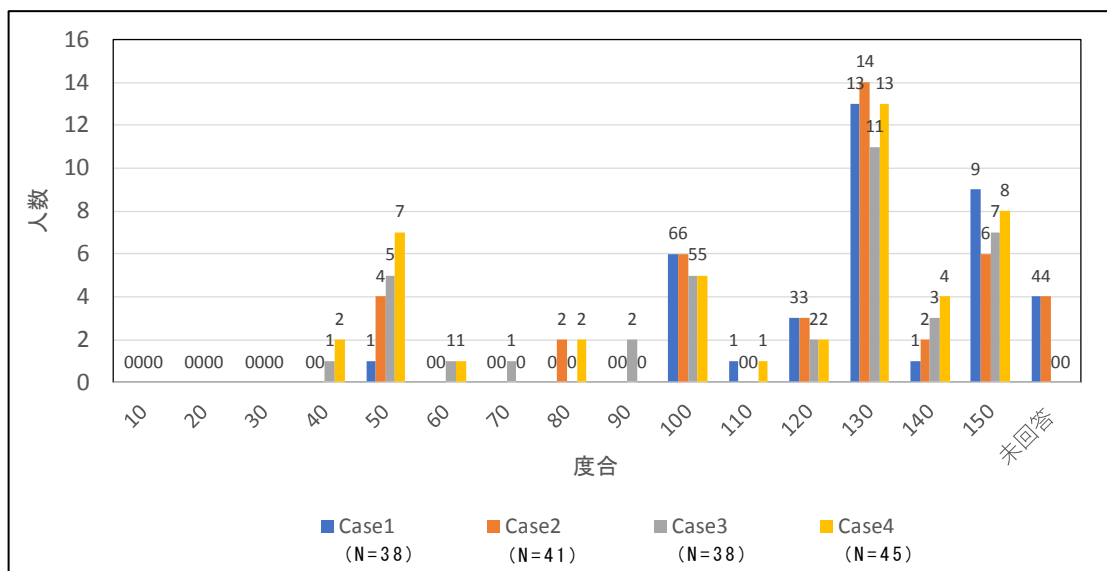


図 5-134 横断可能と判断した際の不安/安心に関する結果

(Q9)「横断歩道を[横断できる／横断できない]と判断した際、[不安／安心]を感じたのはどのような理由でしょうか？」に関する結果を図 5-135、表 5-20 にそれぞれ示す。また被験者からのコメント例を表 5-21 に示す。Case1、Case2、Case3、Case4 となるにつれて、横断歩道を横断する際の不安/安心の根拠がドライバーから車両に移り変わっている傾向がみられた。また Case1 を除くと、接近する車両のドライバーとのコミュニケーションよりも、接近する車両の速度で判断する被験者が多い傾向がみられた。さらに車両の速度に関しては、いずれのケースでも完全に停止したかどうか不安/安心を感じる大きな要素となる傾向がみられ、この傾向は特に Case4 で顕著であった。

表 5-20 横断歩道を横断可能/不可能と判断した際の不安/安心の理由

項目		キーワード	Case1	Case2	Case3	Case4
車両	減速	速度、スピード、減速、	2	5	12	9
	停止	停止、止まって	13	17	17	23
ドライバー	合図	ジェスチャー、合図、手で	14	13	1	0
	アイコンタクト	アイコンタクト、表情	7	2	3	1

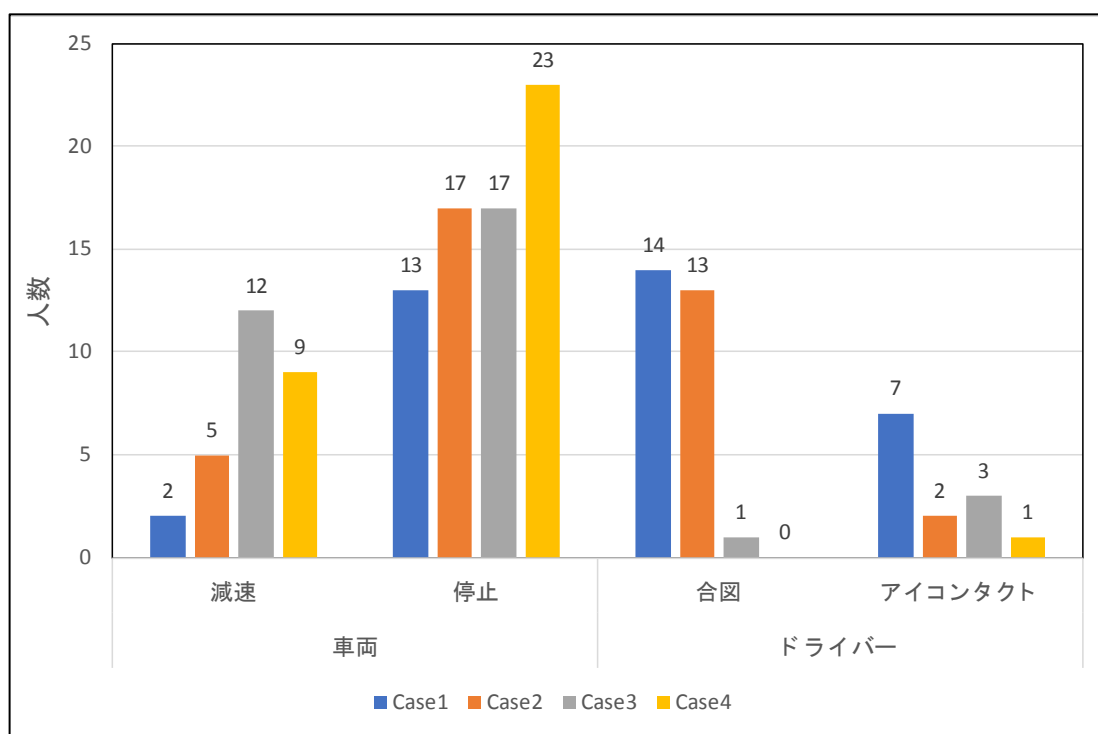


図 5-135 横断歩道を横断可能/不可能と判断した際の不安/安心に関する頻度

表 5-21 横断歩道を横断可能/不可能と判断した際の不安/安心のコメント例

項目		回答例
車両	減速	・スピードが落ちていて停車している時間も長かったので横断できる安心感を感じました (Case4)
	停止	・安心を感じたのは確実に止まったから (Case2) ・車は止まっていたが、急に発進しないかどうか不安はありました。(Case3) ・自動運転車のため完全に停止するのか、それとも停止したが自分が横断中に近寄ってこないかは不安に感じた (Case4)
ドライバー	合図	・ドライバーがどうぞという合図をジャスチャーで行ったので安心して横断した。(Case1) ・運転者の表情が見えた。運転者が手を上げて「どうぞ」の動作をしてくれた。(Case1)
	アイコンタクト	・目が合わなかった。ドライバーが下を向いていたため横断しようとしてから不安になった。(Case3)
その他		・今回は人が乗車していたが、自動運転の際、本当に止まるのか。(Case2) ・自動運転の為、横断しても大丈夫か不安でした。ゆずってくれているのか判断しにくかったです。(Case3)

(Q10)「進路をゆずってくれた車両あるいは車両のドライバーについて、何か気づいたことはありましたか？」の回答について、車両に関する結果を表 5-22、図 5-136 に、ドライバーに関する結果を表 5-24、図 5-137 に、それぞれ示す。また被験者からのコメント例を

表 5-23、表 5-25 それぞれに示す。車両については、「自動走行」の表示をしなかった Case1 を除いたすべてのケースで、3 分の 1 前後の被験者が「自動走行」の表示に気づいている結果となった。いずれのケースも、車両の速度に言及した被験者数が相対的に多い結果となった。ドライバーについては、ドライバーからの積極的なコミュニケーションを行った Case1、Case2 では、ドライバーのジェスチャーやアイコンタクトに気づいた被験者が多い結果であったが、一方で Case3、Case4 では、ドライバーの存在自体について意識しなかったという回答が多く見受けられた。

表 5-22 進路を譲られた際の車両に対する気づき等の結果

項目	キーワード	Case1	Case2	Case3	Case4
速度	速度、ゆっくり、減速、徐行、停車、止まった	8	3	11	7
音	音、静か	3	2	2	6
色	白、シルバー	6	4	1	1
自動運転の表示	黄色、ボンネット、ステッカー、自動運転、自動走行	0	16	12	10
車上の機材	上、センサー	0	5	0	2

※Case1 では、自動運転の表示、車上の機材なし。

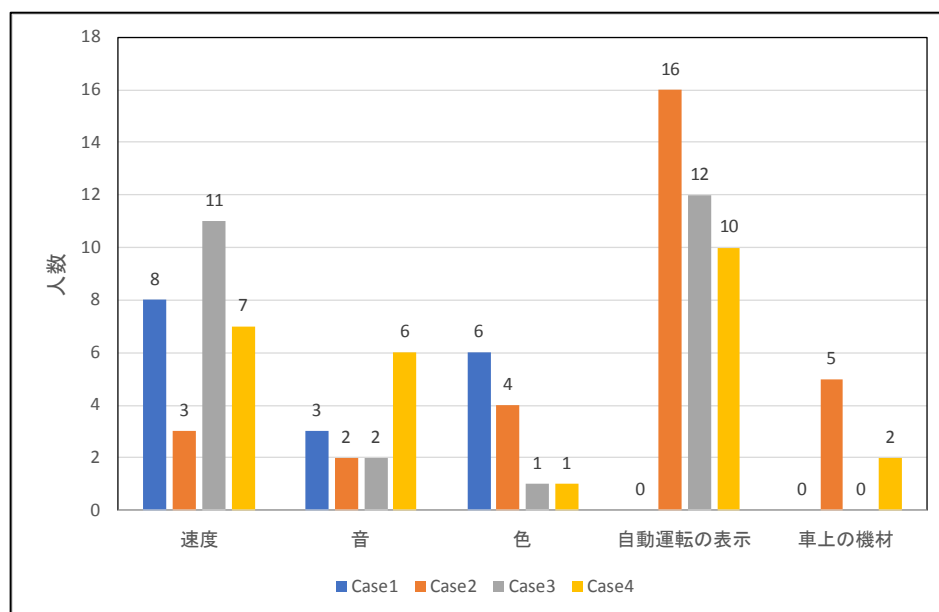


図 5-136 進路を譲られた際の車両に対する気づき等の頻度の結果

表 5-23 進路を譲られた際の車両に対する気づき等のコメント例

項目	回答例
速度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 横断歩道手前で速度が落ちた(Case1) ・ 自動運転車と書いてあったのでゆっくりになり止まるんだろうと感じた。(Case3) ・ 止まるのかただの減速しているだけなのか判断が付き辛いです。(Case4)
音	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近づいてくる音が静かだった。(Case1) ・ 車両の音が静かだった様に感じました(Case4)
色	<ul style="list-style-type: none"> ・ 普通の白い車だと思いました。(Case2)
自動運転の表示	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試験中と書かれたプレートが車両のボンネットに貼られていた。(Case2) ・ ボンネット部分に自動運転のステッカーが貼ってあった(Case4)
車上の機材	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車の上に何か機材があるのが見えました。(Case2) ・ 天井にカメラかセンサーが付いていた(Case4)

表 5-24 進路を譲られた際のドライバーに対する気づき等の結果

項目	キーワード	Case1	Case2	Case3	Case4
性別	男	3	9	1	0
合図	アイコンタクト、合図、目、ジェスチャー、手	16	14	1	0
無人	無人、いなかった	0	0	1	7
気づかなかつた	見ていなかった、気づかなかつた	2	0	6	2

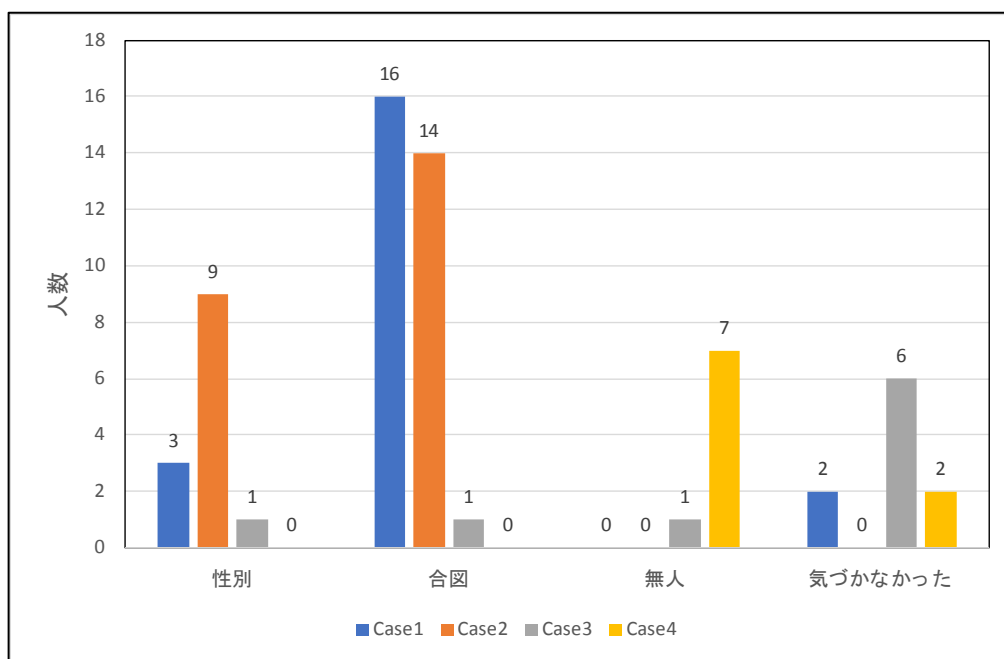


図 5-137 進路を譲られた際のドライバーに対する気づき等の頻度の結果

表 5-25 進路を譲られた際のドライバーに対する気づき等のコメント例

項目	回答例
性別	<ul style="list-style-type: none"> 30代～40代くらいの男性でした。(Case1) 男性が運転していた(Case2)
合図	<ul style="list-style-type: none"> アイコンタクト、ジェスチャーをして頂いたので渡りやすかったです。(Case1) 合図して下さったので、わかりやすかったです(横断して良いか、悪いか)。(Case2)
無人	<ul style="list-style-type: none"> 運転席に人がいなかった(Case4) 誰も乗っていなかった(Case4)
気づかなかった	<ul style="list-style-type: none"> あまり注意深く見ていなかったため、多分いなかったということしか覚えていない(Case4)

(Q11)「歩行中に、気づいたこと、感じたこと、その他などありましたら、下記に記載してください」に関する被験者からのコメント例を表 5-26に示す。ドライバーとのコミュニケーションの有無は、横断時の安心感に影響を与えていることを示唆する回答が多く存在した。また自動運転車と有人運転者の挙動の違い、あるいは歩行者がいる際の自動運転車の挙動など経験したことがないことからくる不安の声が多数あり、そのため自動運転車であることがわかるようシールやランプなどで周知すべきとの声が複数あった。

表 5-26 歩行中の気づき等のコメントの結果

● **自動運転に対する安心/不安感について**

- ・ じわ〜っと近づいてきたので少し怖いと思いました。停止線がなかったので、横断歩道ぎりぎりまで近づいてくるのは嫌な感じがした。もっと 5m くらい先でピタッと止まるか、ゆずる意思がはっきりわかれば安心して渡れると思った。(有人運転車との挙動の違いによる不安)
- ・ 自分が車を運転する時、歩行者の人と目を合わせて横断するよう手で合図をしてから横断が確定するので、今回は運転手の人とのアイコンタクトができなかったため、横断に不安を感じてしまったと思います。(運転者とのコミュニケーション欠如による不安)
- ・ かなり早い段階でスピードをおとしてはいたが停止線でしっかりとまるかどうかという不安はあった。ぎりぎりまで停止線で止まって尚且つドライバーが手で指し示してくれたので横断歩道を渡って良いということを認識した。(運転者とのコミュニケーションによる安心感)
- ・ 自動運転車であることに気がついたが、安心感をもっていた。技術を信頼している。(自動運転技術に対する信頼)
- ・ 自動運転の車が実際に走っていたらまだその状況に慣れていないため、今回のように横断の際、ゆずってくれているのが判断しにくいなど不安になりそうです。(自動運転社会への慣れの欠如による不安)

● **自動運転車であることの周知方法について**

- ・ 自動運転のシールが貼られていたら、歩行者も気を引き締めて安全確認できる。
- ・ 停車してくれるのかしてくれないか意思を判断できる材料（ランプなど）があれば、安心して横断歩道を渡れます。

5.9.7. まとめ

本実験では、一般道を対象にして、自動運転車であることを表明すること、手動運転車や自動運転車のドライバーのアイコンタクト等の有無、自動運転車のドライバーが前方を監視せずに運転以外の作業に従事していること、自動運転車におけるドライバーの不在などの特徴を有した車両が無信号横断歩道に接近することに対する歩行者の認識や横断判断、心理面への影響について検討した。本実験を通じて以下の結果が得られた。

- 手動運転車では、歩行者は車両挙動（停止・減速）のほか、ドライバーのアイコンタクト・身振りを手掛かりに横断可否を判断しており、これらを手掛かりに判断時の安心や確信が向上することが確認された。
- 自動運転表明車では、ドライバーの状態に関わりなく、車両挙動（停止・減速）を手掛かりに横断可否の判断する傾向が確認された。しかしながら、自動運転を表明した車両が無信号横断歩道に接近した場合、横断時の不安感がやや増加する傾向がみられた。
- 自動運転車にドライバーが不在の実験条件に関して、フロントガラスの反射等の影響もあるが、ドライバーの状態に気づかない歩行者が多く存在しており、ドライバーの存在がどのような条件の時に、歩行者からその存在が気にされ、横断判断時のコミュニケーションに支障を来すのかを引き続き検討する必要がある。

5.10. 自動運転車と歩行者とのコミュニケーションにおける地域性や歩行者の属性の影響に関する調査方法の提案（HMD 実験）—日本・英国間の地域性に関する検討

5.10.1. 実験目的

本実験では、外向け HMI による意図伝達に対する歩行者の認識に関して、日本と英国の歩行者間の差異を主観評価、認識タイミングの観点から検討する。評価項目は、5.6 節にて VR 環境において評価できると考察した項目を対象とした。また、本実験は英国 University of Leeds、Institute for Transport Studies (ITS)との共同実験であった。

5.10.2. 実験概要

(1) 実験環境

本実験において、日本の実験参加者は慶應義塾大学理工学部 24 棟 612 号室、英国の実験参加者は University of Leeds の実験棟の実験スペースにて実験実

施した。機材の配置は、5.6節における実験と同様であった（図 5-47）。本実験も同様に実験参加者がタスクを行う上で右方向を向く必要があり、VR-HMD のトラッキング精度を高めるために、実験参加者の右側に 2 つのベースステーションを設置した。日英どちらの実験についても、ベースステーションは三脚を用いて床から 2.0m の高さになるよう設置し、2 つのベースステーションの間隔は 3.60m であった。日英それぞれ実験風景を図 5-138 に示し、実験参加者の位置と向きについて図 5-139 に示す。実験参加者の右側に 2 つのベースステーションが位置するような方向を向いてもらい、2 つのベースステーション間の中心に立ってもらった。



(a)日本における実験状況



(b)英国における実験状況

図 5-138 実験風景

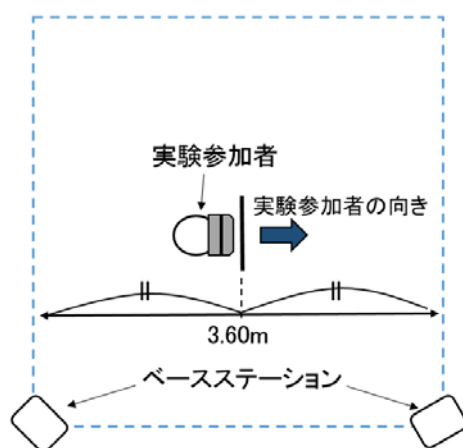


図 5-139 実験参加者の位置と向き

(2)VR 映像内実験環境

実験参加者が実験タスクを行う VR 空間の実験環境は 5.6 節の図 5-48 と同様であった。実験参加者は、長さ 5.7m の横断歩道の手前かつ中央に立っており、実験参加者から自動運転車の最前端までの距離は 40m であった。自動運転車の最前端から最後端までの長さである全長は 4.5m、全幅は 1.7m であった。また、実験参加者から見た VR-HMD のディスプレイ上の映像は 5.6 節の図 5-51 と同様であった。

(3)実験タスク

本実験では、接近してくる自動運転車の動きや状態を見て、譲りを感じた後に横断できると判断した時に、手元のコントローラのトリガーを引くタスクを実験参加者に課した。図 5-140 にタスクの流れを示す。各試行の開始時に、実験参加者には横断歩道の方を向くように指示し、準備ができたタイミングで右側に位置する自動運転車を視認させた。実験参加者が自動運転車を視認したタイミングで自動運転車は横断歩道へ接近し始め、自動運転車の挙動や外向け HMI による意図伝達をもとに横断判断させた。実験参加者には、各試行において実際に動かないように指示した。ただし、横断判断をしてコントローラのトリガーを引いた後、実際に横断しているような状況を作ること、より没入感を高めるために、実験参加者が見る映像を前進させた。トリガーを引いた後は横断歩道を渡るまでコントローラの手操作はできず、同じ速度で前進させた。映像が動く速度は先行研究をもとに 1.22m/s で移動するように設定した。歩行速度として、全カテゴリーであれば 1.07m/s に設定することが推奨されており [9][10]、他の研究では 65 歳以上の歩行速度は 0.91m/s、65 歳未満は 1.22m/s を推奨しており [11]、本実験では 65 歳未満を対象とした実験デザインであったため 1.22m/s で移動するように設定した。また、横断中に自動運転車の挙動を確認することによって、横断判断後の視認行動が実験参加者の主観評価に影響を及ぼすことを避けるために、横断判断時にトリガーを引いた後は左右の確認をしないように指示した。横断歩道を横断した後、アンケート画面に推移し、実験参加者には 2 つの質問に対して口頭で回答させた。アンケートの回答終了後、次の条件の試行が開始し、同様の流れで合計 26 試行実施した。



図 5-140 タスクの流れ

(4) 実験条件

5.6 節の実験と同様に、外向け HMI、自動運転車の車両挙動を条件として実験デザインを行った。各条件の詳細を以下に示す。

(4-1) 外向け HMI

外向け HMI を用いた自動運転車による意思表示の様子と外向け HMI なしの条件における自動運転車の様子を図 5-141 に示す。本実験では 5.6 節における実験と同様に、自動運転車の意図をより明確に伝える手段としてテキストメッセージを使用した。本実験では、“お先にどうぞ”、“とまります”の 2 種類であり、英国の実験参加者にはそれぞれ “After you”、“I’ll stop” とテキストメッセージを対応させた。また、本実験では横断判断したタイミングを測定するが、外向け HMI による意図伝達が全て譲り表明であると、実験参加者は外向け HMI を視認したタイミングで横断できると判断する可能性があるため、ダミー条件として“すすみます (図 5-142)”を実験条件に含めている (英国の実験参加者の場合、“I’ll go”)。外向け HMI が“すすみます”の条件についても、実験参加者には同様に横断判断に関するアンケートへの回答をさせたが、解析した結果から除いている。



(a) お先にどうぞ (日本)



(b) After you (英国)



(c)とまります (日本)



(d)I'll stop (英国)



(e)外向け HMI なし (日英共通)

図 5-141 外向け HMI の条件



(a)すすみます (日本)



(b)I'll go (英国)

図 5-142 ダミー条件における外向け HMI

(4-2) 自動運転車の車両挙動

自動運転車の車両挙動を図 5-143 に示す。外向け HMI を伴う意図伝達をする条件では、自動運転車と実験参加者間の距離が 25m の地点に自動運転車が到達した時点で、外向け HMI による意思表示を開始した。車両挙動は 3 種類あり、距離 40m 地点から自動運転車は 25km/h で動き始め、距離 30m 地点から減速開始し、15m 地点から一定の速度で実験参加者の前を通過する挙動 2 種類と、減速した後に停止する挙動であった。減速挙動として、距離 30m 地点から 15m 地点までの間で 25km/h から 15km/h まで減速した後、15km/h の一定速度で通過する挙動を減速小と定義し、25km/h から 10km/h まで減速する挙動を減速大と定義した。また、距離 15m 地点まで減速小と同じ挙動をし、その後停止線の前にて停止する挙動を停止挙動と定義した。

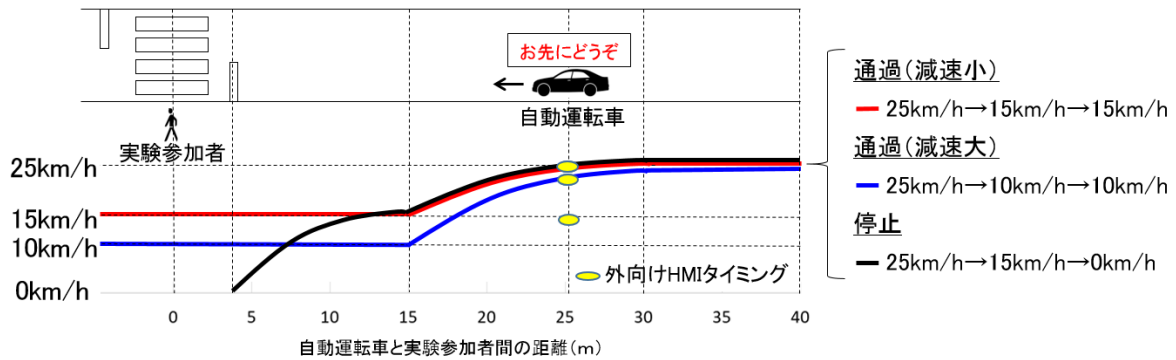


図 5-143 自動運転車の車両挙動

(5)実験試行の流れ

表 5-27 に実験試行の流れとして、外向け HMI と車両挙動の組合せの条件を示す。本実験の構成は、University of Leeds の調査内容に関する条件を 16 試行実施した後に、外向け HMI を伴う自動運転車に対する横断判断に関する試行を 10 試行実施した。10 種類の試行条件は、統制条件である外向け HMI なしの条件を最初に行い、ダミー条件である“すすみます”の条件を実施した後に、試行番号 5~10 まで実験参加者毎にランダム化して実験を実施した。

表 5-27 実験試行の流れ

試行番号	車両挙動	外向けHMIの種類
1	通過(減速大)	HMIなし
2	通過(減速小)	HMIなし
3	停止	HMIなし
4	通過(減速大)	すすみます / I'll go
5	停止	お先にどうぞ / After you
6	停止	とまります / I'll stop
7	通過(減速大)	お先にどうぞ / After you
8	通過(減速大)	とまります / I'll stop
9	通過(減速小)	お先にどうぞ / After you
10	通過(減速小)	とまります / I'll stop

(6)計測項目

実験参加者には、年齢、性別、運転頻度、VR-HMD の経験等について事前にアンケート調査を行った。(5.6 節における実験と同様)。

(6-1) 横断判断時の距離

実験参加者が横断判断したタイミングにおける実験参加者と自動運転車間の距離を横断判断時の距離と定義する。横断判断時の距離は、自動運転車の最前端から歩行者までの距離を測定した。

(6-2) 横断判断時の確信度

1 試行終了するごとに画面が切り替わり、主観評価アンケートの画面が表示され、実験参加者には口頭で番号を回答させた。自動運転車からの譲り意図を認識し横断できると判断した時に、どの程度安全に横断できると感じたか5段階で評価させた。この回答した評価を横断判断時の確信度と定義する。

(6-3) 横断判断前の譲り認識度

横断判断した後に表示されるアンケート画面にて、横断判断前に自動運転車からどの程度譲られているように感じたか5段階で評価させた。

(6-4) 横断判断時の確信度

横断判断時の確信度と横断判断前の譲り認識度に関するアンケートを図5-144に示す。日本の実験参加者と英国の実験参加者間の質問と回答項目を極力対応させるため、英国の回答項目はリッカート尺度を用いて、5段階で評価させた。

【横断判断前の譲り認識度】	
(1) 接近してきた車両を見てあなたに道を譲っているように感じましたか？	(1) The vehicle yielded to me.
⑤ 非常にそのように思った	⑤ Strongly agree
④ そのように思った	④ Agree
③ ややそのように思った	③ Somewhat agree
② わずかにそのように思った	② Disagree
① 全くそのように思わなかった	① Strongly disagree

【横断判断時の確信度】	
(2) 横断できると判断した時に安心して横断できると思いましたか？	(2) It was safe to cross at the moment I decided to do so.
⑤ 非常に確信した	⑤ Strongly agree
④ 確信した	④ Agree
③ やや確信した	③ Somewhat agree
② わずかに確信した	② Disagree
① 全く確信しなかった	① Strongly disagree

図 5-144 日英比較における実験試行後のアンケート

(7)実験参加者

日本の実験参加者は男性 11 名（平均：21.6 歳、標準偏差：1.80 歳）、女性 9 名（平均：23.6 歳、標準偏差：4.36 歳）であった。全実験参加者は両眼視力 1.0 以上で運転免許を保有していた。また、男性 2 名、女性 2 名が VR を過去に経験した者であった。一方、英国の実験参加者は男性 11 名（平均：29.7 歳、標準偏差：11.45 歳）、女性 9 名（平均：25.67 歳、標準偏差：7.23 歳）であった。全実験参加者の内 2 名運転免許非保有者が含まれ、18 名が運転免許保有者であった。運転免許保有者は、男性 10 名（平均：30.7 歳、標準偏差：11.58 歳）、女性 8 名（平均：25.25 歳、標準偏差：7.61 歳）であり、両眼視力 1.0 以上であった。また、男性 8 名、女性 2 名が VR を過去に経験した者であった。

免許を保有する全体の実験参加者として、日本の実験参加者は 20 名（平均：22.5 歳、標準偏差：3.27 歳、19～33 歳）であり、英国の実験参加者は 18 名（平均：27.9 歳、標準偏差：9.76 歳、20～60 歳）であった。日英間を比較する上で、年齢による差異を減らすため、英国の実験参加者について、40 歳以下の実験参加者 16 名（平均 25.4 歳、標準偏差：5.29 歳、20～40 歳）を対象に比較を行った。また、日本の実験参加者の歩行速度は、平均 1.28m/s、標準偏差 0.18m/s であり、英国の実験参加者の歩行速度は平均 1.35m/s、標準偏差 0.21m/s であった。

(8)実験手続き

実験開始前に実験参加者に対して実験内容の説明を行い、実験参加への同意を得た。日本と英国間で教示内容や実験実施手順に差異が生じないようにするため、英国での実験では日本での実験に対応させた実験手順書を作成し、実験者は実験手順書に従って実験を実施した。また、普段の歩行の特性や VR 経験に関するアンケートに回答するよう指示した。その後、実験参加者の両眼視力と歩行速度を測定した。

次に、実験参加者をベースステーションから検知しやすい指定の位置に立たせた後、VR-HMD を装着させ、コントローラを持たせた。この時に実験中の安全確保のため、実験中は実際に歩かないよう指示した。

VR-HMD 装着後、練習用の試行を数回実施し、VR 環境での判断、コントローラの操作やアンケートの回答方法に関して実験参加者の習熟を確認後に本実験として測定を開始した。練習試行開始前に実験参加者には、右側に位置する車両は自動運転車であり、車両の挙動や状態を見て、横断できると判断した時に手元のコントローラのトリガーを引くように教示した。また、

実験途中にシミュレータ酔いを感じたときにはすぐに申し出るように伝え、実験実施者は酔いを感じていないか実験参加者に適宜確認した。

University of Leeds の検討内容に関する実験試行を 16 試行実施した後に、外向け HMI の種類と車両挙動の異なる全 10 条件の組合せについて、実験参加者に横断判断をさせた。ダミー条件として、外向け HMI がすすみますの条件を 1 試行含めた。各試行の終了後に主観評価に関するアンケート画面を表示して回答させた。

5.10.3. 実験結果

(1)解析方法

自動運転車の外向け HMI を伴う意図伝達に対する歩行者の認識に関して、日英間で比較検討する。官民 ITS 構想・ロードマップ 2018[12]において、“自動運転システムは安全かつ円滑な運転を可能にする”と述べられており、自動運転車の意図伝達を評価する上で、交通の安全や円滑化、もしくは歩行者の安心感を基準とする。そのため、安全に関する評価として横断時の Safety Margin を指標として使用した。先行研究[13]に基づく Safety Margin の定義は、歩行者が横断判断した時の車両の Time-To-Collision（以降、TTC と称す）から歩行者が 1 車線横断する時に必要な時間を引き、残った秒数を表す。図 5-145 に示したように、TTC は車両が横断歩道に到達するまでの残り時間を表す。ただし、図 5-146 に示したように、本実験における TTC は、横断判断時の速度のまま横断歩道に接近した場合の横断歩道到達までの残り時間として算出した。1 車線分の横断時間は 1 車線分の長さ 2.85m を、実験前に測定した歩行速度の平均値（日本 1.28m/s、英国 1.35m/s）で割ることによって算出した。つまり、実験参加者の横断判断後に自動運転車が同じ速度で横断歩道に接近すると仮定し、歩行者が横断し終えてから自動運転車が到達するまでの余裕時間となり、この時間が十分に確保されているほど安全な横断となる。そのため、0 秒付近やマイナスの値であると衝突の危険性が考えられる。横断判断時の距離や速度の関係から Safety Margin を算出することで安全の評価を行い、横断判断時の距離については交通の円滑化の観点から分析を行った。横断判断時の距離については、日英それぞれの HMI 条件間の結果を比較するために Steel-Dwass 法による分析を実施した。また、主観評価アンケートに基づく横断判断時の確信度や横断判断前の譲り認識について、各 HMI 条件に対して日英間で比較するため、Mann-Whitney の U 検定をそれぞれ実施した。

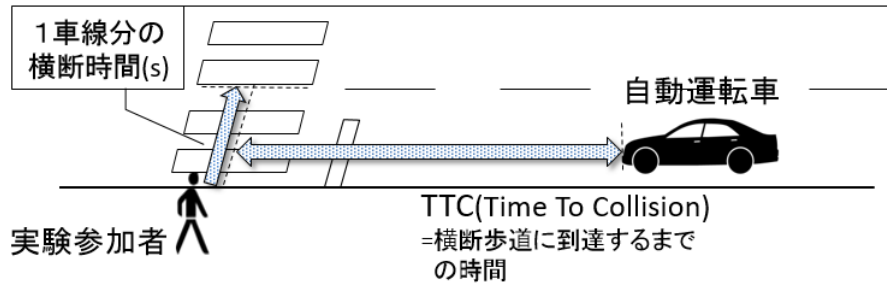


図 5-145 Safety Margin の定義に基づく概要図

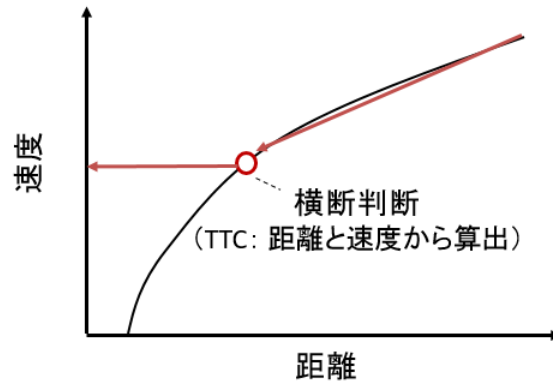


図 5-146 本実験における TTC の算出方法

(2)実験結果

横断に関する日英間の差異の評価を行うため、停止挙動（25km/h→0km/h）について分析を行った。外向け HMI による意図伝達は、自動運転車と実験参加者間の距離が 25m 地点にて開始したが、25m より手前の地点で横断判断する場合は観測されており、HMI の条件間での比較が困難となるため分析から除いている。そのため、日本の実験参加者 11 名と英国の実験参加者 5 名のデータをもとに分析を実施した。

(2-1) 横断判断時の Safety Margin

図 5-147 に日本の実験参加者における Safety Margin の結果を示す。

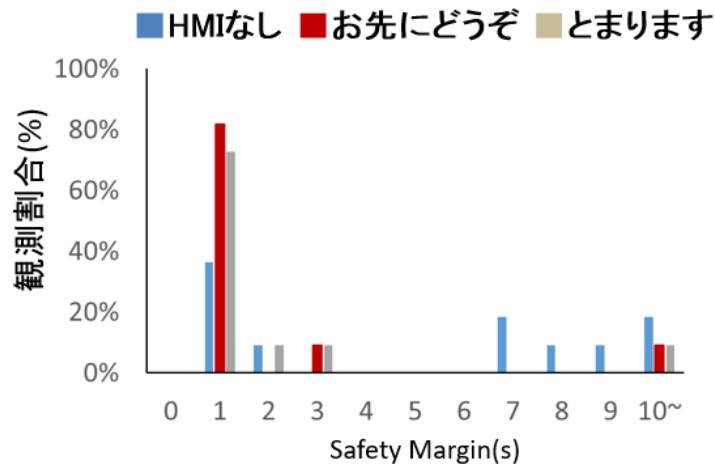


図 5-147 日本の実験参加者における Safety Margin

図 5-148 に英国の実験参加者における Safety Margin の結果を示す。

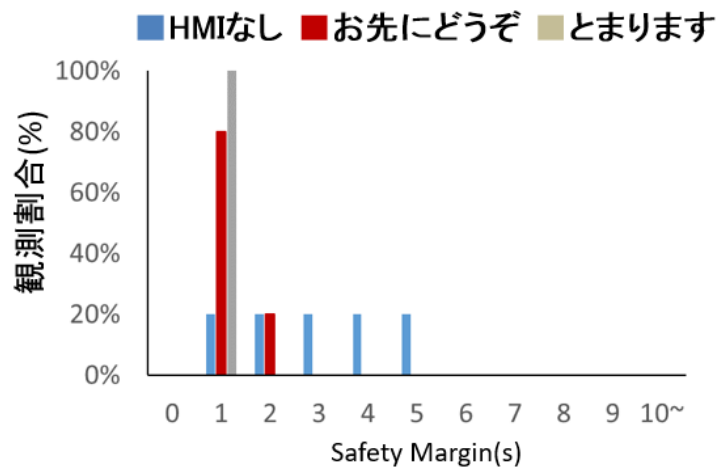
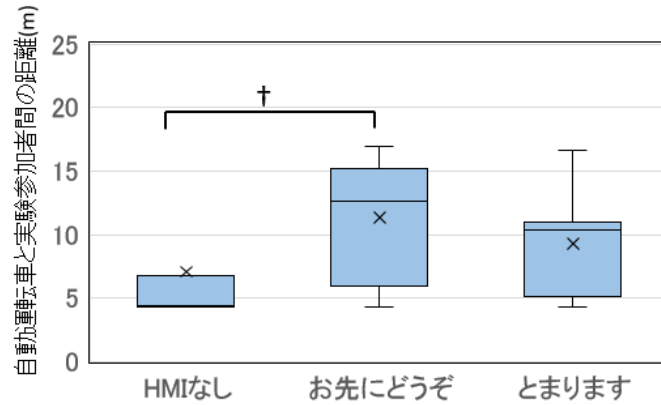


図 5-148 英国の実験参加者における Safety Margin

日本、英国の実験参加者ともに、全ての HMI の条件について Safety Margin が 1 秒以上であった。Kadali らの研究[14]から、歩行者の安全な横断には 1 秒以上必要だと報告されており、全ての条件において安全に横断していたことが示唆される。また、Safety Margin が 4 秒以上の大きな値が含まれており、主に” HMI なし” において十分な余裕時間を残して横断していたことが見て取れた。

(2-2) 横断判断時の距離

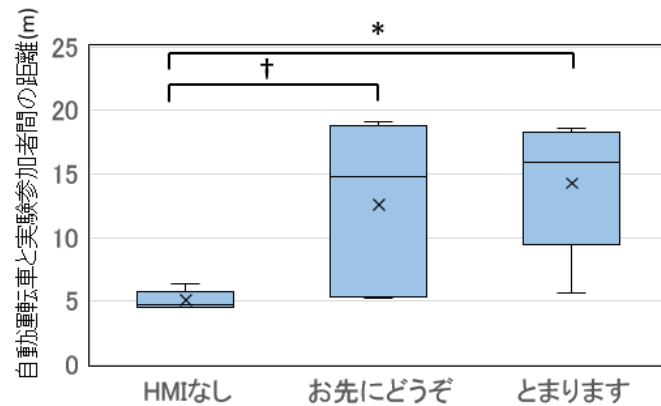
図 5-149 に日本の実験参加者の横断判断時の距離について箱ひげ図による結果を示す。



† 有意確率 10%, * 有意確率 5%

図 5-149 日本の実験参加者における横断判断時の距離

図 5-150 に英国の実験参加者の横断判断時の距離について箱ひげ図による結果を示す。



† 有意確率 10%, * 有意確率 5%

図 5-150 英国の実験参加者における横断判断時の距離

日本、英国どちらの実験参加者についても”HMIなし”において停止線直前(4.5m地点)にて横断判断をしていることが見てとれる。譲りの意図を伝達することで、日英ともに”HMIなし”より横断判断タイミングが早まっており、Steel-Dwass法により日本の”HMIなし”と”お先にどうぞ”間でp値が0.08201、英国の”HMIなし”と”お先にどうぞ”間でp値が0.07229であり有意傾向であった。また、英国の実験参加者について停止の意図を伝

達することで、“HMI なし”より横断判断タイミングが早まっており、Steel-Dwass 法から p 値は 0.0430 であり有意差が見て取れた。

(2-3) 横断判断時の確信度

図 5-151 に日英それぞれの横断判断時における確信度の結果を示す。

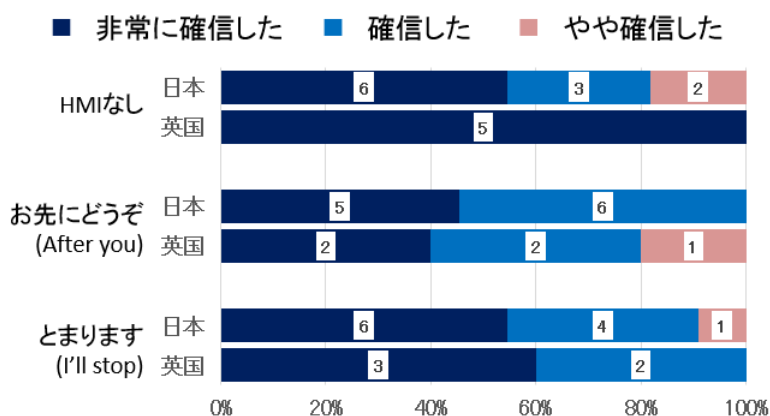


図 5-151 横断判断時の確信度

日英ともに全ての条件で、全く確信しないやわずかに確信したと回答した実験参加者は見られなかった。また、各 HMI の条件について Mann-Whitney の U 検定により、日英間で比較した時に有意差は見られず、各国における HMI 間の比較を Steel-Dwass 法により実施したが有意差は見られなかった。そのため、全ての条件において横断判断時の確信度に大きな差異がないことが見て取れる。

(2-4) 横断判断前の譲り認識度

図 5-152 に日英それぞれの横断判断前の譲りの認識度の結果を示す。

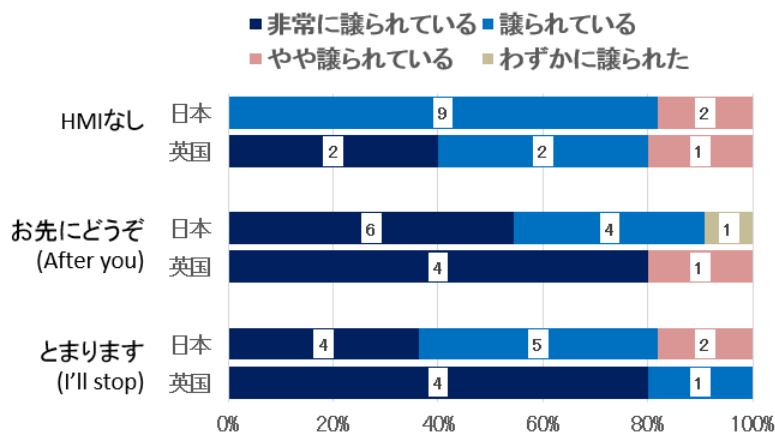


図 5-152 横断判断前の譲り認識度

各 HMI の条件について Mann-Whitney の U 検定により、日英間で比較した時に有意差は見られず、各国における HMI 間の比較を Steel-Dwass 法により実施したが有意差は見られなかった。そのため、全ての条件において横断判断前の譲り認識度に大きな差異がないことが見て取れる。

5.10.4. 考察

自動運転車が外向け HMI を伴う意図伝達に対して、安全に関する評価をするために Safety Margin を TTC と横断時間から算出した。図 5-147、図 5-148 より、全ての条件について 1 秒以上確保されており、安全な横断における基準は満たしていると考えられる [14]。譲りや停止の意図を伝達した場合、Safety Margin が 1 秒から 2 秒の間に 70% 以上含まれているが、4 秒以上の余裕時間における横断をしている場面が見られており、主に“HMI なし”において衝突までの十分な時間を確保して横断していた。TTC の大きさが大きく影響しており、図 5-153 に横断判断時の距離と TTC の関係を示す。停止挙動の時、左図のような速度変化をしており、横断判断時の距離と TTC の関係を右図に表している、自動運転車と実験参加者間の距離が 8.635m 地点まで TTC は減少し続け、TTC は 3.263 秒まで減少した後、停止に伴い速度が 0km/h に近づくことによって TTC の値は大きくなっている。図 5-149 と図 5-150 によると、“HMI なし”における横断判断時の距離の平均は、日本で 7.0835m、英国で 5.0611m であり、停止線手前付近にて横断判断していたことで Safety Margin が大きな値をとっていたことが考えられる。一方、譲りの意図によって日英ともにより早いタイミングでの横断をしており、停止意図では英国の実験参加者においてより早いタイミングで横断をしていた。そのため、交通の円滑化の観点を含めると、“HMI なし”では停止直前で横断しており十分な安全が確保されているが、譲り意図を外向け HMI により伝達することで、安全な横断の基準を満たしつつ、“HMI なし”条件より早いタイミングでの横断を促す可能性がある。停止の意図を伝達する場合、英国の歩行者に対しては横断判断タイミングを早める傾向があるが、日本の歩行者については有意差が見られず、日英間における差異が確認された。

図 5-151 と図 5-152 をもとに、横断判断時の安心感や横断判断前の譲り認識の観点から評価を行うと、日英間の比較と HMI 間での比較についても大きな差異はなかった。そのため、外向け HMI を伴うことによって横断判断タイミングは早まっているものの、横断判断時の確信度は低下していないことから、安心、円滑を確保しながら横断時の安心感を維持できていることが考えられる。ただし、分析の限界として、実験参加者数にやや差があることで、

有意差が見られなかった可能性がある。

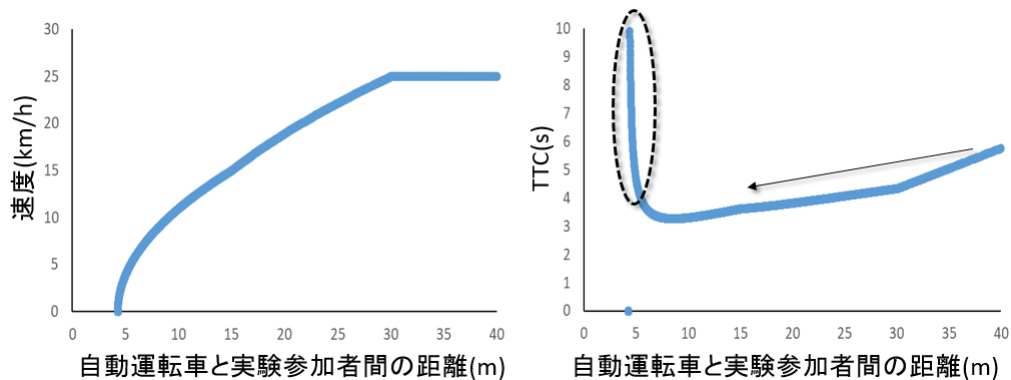


図 5-153 横断判断時の距離と TTC の関係

5.10.5. まとめ

外向け HMI を伴う自動運転車の意図伝達に対する歩行者の認識の地域差について、日本と英国の実験参加者を対象に VR-HMD を用いて検討を行った。その結果、外向け HMI を伴う譲り意図を伝達することで、日英の歩行者について安全を確保した上で早いタイミングでの横断を促す可能性が示唆された。また、停止の意図を伝達することで英国の歩行者は安全を確保した上でより早いタイミングで横断する傾向が見て取れた。そのため、日英ともに譲りの意図で安全や安心感を確保しつつ、早いタイミングでの横断を促すが、停止の意図に対する認識に日英で差異がある可能性が考えられる。

- 外向け HMI に対する歩行者認識の地域性に関して、譲りの意図を伝達することにより日英どちらの歩行者においても早いタイミングでの横断を促す傾向が示された。また、停止の意図により英国の歩行者のみ早いタイミングでの横断を促す傾向があり、日英間の認識の違いが示された。

5.11. 一般道を対象にした低速域での自動運転車と非優先側ドライバーとのコミュニケーションに関する要件の検討（シミュレータ実験）－検討のための実験環境の比較実験－

5.11.1. 実験目的

本実験では、一般道路における自動運転車と周囲のドライバーがコミュニケーションをとるための手段として考えられている外向け HMI に対するドライバーの譲りの認識・発進（右折）判断時の心理面への影響を実験環境に

よる評価手法の検討とドライバーの地域性による違いを検討する。

5.11.2. 実験方法

(1) 実験装置

(i) ヘッドセット

本研究で用いた VR-HMD (HTC corporation 製) の外観を図 5-154 に示す。HMD の仕様は解像度が片目辺り 1080×1200 ピクセル (合計 2160×1200 ピクセル)、視野角は 110° となっており、接眼部には瞳孔間距離およびレンズ距離の調節機能を備えたものとなっていた。



図 5-154 VIVE ヘッドセット

(ii) コントローラ

本研究で用いたコントローラを図 5-155 に示す。実験参加者には両手に持ってもらい、ドライバーの意思決定時にコントローラの裏側にあるトリガーを引いてもらった。



図 5-155 VIVE コントローラ

(iii) 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 5-156 に示す。2つのベースステーションを対角線上に並べることによって、赤外線レーザーを照射し、その間にあるヘッドマウントディスプレイやコントローラの位置を検出した。



図 5-156 VIVE ベースステーション

(2)実験環境

本実験では、試験走路実験で使用した片側一車線の交差点に模した道路環境を VR 上で再現した。実験では図 5-157 に示すように、交差点部にて直進して進入する自動運転車と交差点内で右折待ちしているドライバーとのコミュニケーション場面を再現した。また、実際の実験環境を図 5-158 に示す。実験参加者には椅子に座ってもらい、右折判断時の意思決定を行ってもらった。実験参加者が視認する映像は図 5-159 に示すようになっており、自動車の運転席に座っているような環境を再現した。



図 5-157 VR 実験に用いた交差点上面図



図 5-158 実験装着時の実験参加者と実験環境



図 5-159 実験参加者の HMD 上に示す映像

(3) 外向け HMI 表示コンテンツ

本実験で外向け HMI に設定したコンテンツを図 5-160 に示す。自動運転車から右折待ちのドライバーに伝達する意図として、自動運転車自身の状態や意図、または相手ドライバーに向けた意図に関するコンテンツを設定した。それぞれのコンテンツについて説明すると、「お先にどうぞ」は自動運転車から相手ドライバーに進路を譲る意図を伝達するもの、「とまります」は自動運転車自身が停止するという意図を伝達するもの、「自動走行中」は自動運転車自身の状態を伝達するもの、「すすみます」は自動運転車がそのまま進行する意図を伝達するものとした。英国での実験はそれぞれの外向け HMI のコンテンツにおいて、日本と英国で意図の食い違いが起こらないように共同研究者である英国人と相談し、英語の HMI コンテンツは設定した。「お先にどうぞ」を「After you」、「とまります」を「I'll stop」、「すすみます」を「I'll go」とした。日本実験において使用した外向け HMI コンテンツを図 5-160、英国実験において設定した外向け HMI のコンテンツ表示を図 5-161 に示す。



図 5-160 外向け HMI コンテンツ（日本での実験）



図 5-161 外向け HMI コンテンツ（英国での実験）

(4)実験条件

車両挙動と外向け HMI の組み合わせを表 5-28 に示す。本実験は英国にあるリーズ大学と提携して行ったため、前半にリーズ大学のシナリオ（外向け HMI 使用なし）を設定し、後半に表 5-28 で示したシナリオを設定した。車両挙動は 3 種類用意した。この車両挙動は平成 29 年度に実施した試験走路実験を基にそれを再現するような形で、50m 地点において 30 km/h の速度一定で交差点に進入する条件（速度一定）、30 km/h から 50m 地点から徐々に減速し、25m 地点で 10 km/h となり、そのままの速度で交差点に進入する条件（30 km/h⇒10 km/h）、30 km/h から 50m 地点から徐々に減速し、25m 地点で 10 km/h となり、20m 地点で 0 km/h となり、停止線前で停止する条件（30km/h⇒0km/h）を設定した。速度と距離の関係を可視化したものを図 5-162 に示す。外向け HMI コンテンツの「すすみます」に関しては外向け HMI のコンテンツが表示されたら、被験者が反射的に反応してしまうことを防ぐために設定した。

表 5-28 速度シナリオ

シナリオ	初速(km/h)	速度1(km/h)	終速(km/h)	初期位置(m)	減速開始位置(m)	距離1(m)	減速終了位置(m)	HMIタイミング(m)	HMI内容
1	30	20	10	70	50	35	25	0	なし
2	30	20	10	70	50	35	25	35	すすみます
3	30	20	10	70	50	35	25	35	お先にどうぞ
4	30	20	10	70	50	35	25	35	とまります
5	30	20	0	70	50	35	20	0	なし
6	30	20	0	70	50	35	20	21	お先にどうぞ
7	30	20	0	70	50	35	20	21	とまります
8	30	30	30	70	50	35	20	0	なし
9	30	20	0	70	50	35	20	35	お先にどうぞ
10	30	20	0	70	50	35	20	35	とまります

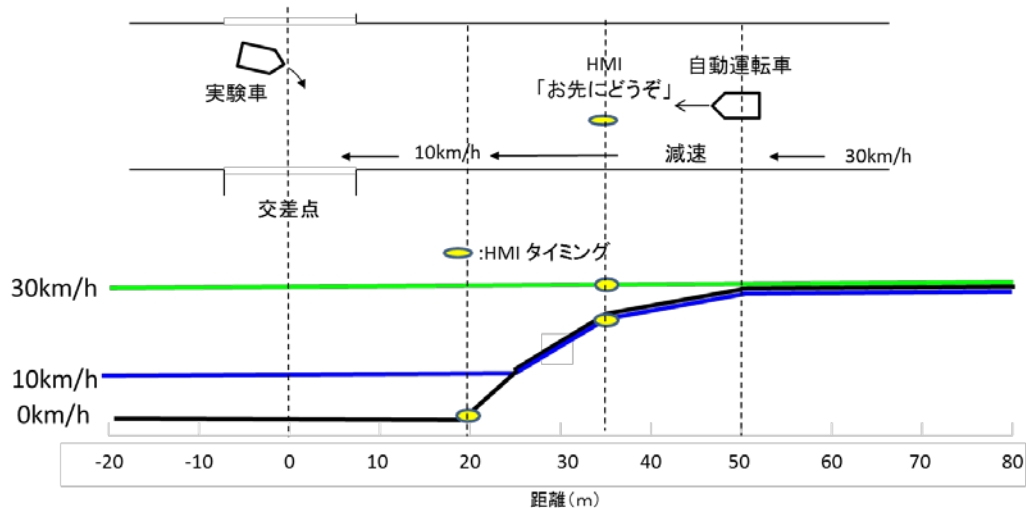


図 5-162 速度プロファイル

(5)計測項目

(i)進路を譲られたかどうかの主観評価

進路を譲られたかどうかの主観評価をとった。各条件直後に「まったく譲られていない」「わずかに譲られている」「やや譲られている」「譲られている」「非常に譲られている」のいずれか該当するものを回答してもらった。

(ii) 右折可能かどうかの判断

各実験条件において、自動運転車の挙動や状態から、右折できると実験参加者が感じたかを反応ボタンの押下によって記録した（右折できると感じたときに押す）。また、その際の主観評価もとっており、各条件直後に「まったく確信していない」「わずかに確信した」「やや確信した」「確信した」「非常に確信した」のいずれか該当するものを回答してもらった。

(iii) 右折判断時の自動運転車の状態と他車両との関係

実験参加者が右折できると判断した際に、そのタイミングとその時の自動運転車の速度、自動運転車と被験者車両までの距離等を計測した。

(6)実験参加者

(i) 日本で行った実験

実験参加者は正常な視力（両目視力 0.7 以上）や聴力、日常的に運転をする 19 歳から 42 歳までのドライバー 20 名（平均年齢 22.4 歳、標準偏差 3.57 歳）を対象に実験を行った。男女比率は男性 11 名、女性 9 名であった。

(ii) 英国で行った実験

実験参加者は正常な視力（両目視力 0.7 以上）や聴力、日常的に運転をする 19 歳から 34 歳までのドライバー 18 名（平均年齢 27.2 歳、標準偏差 5.85 歳）を対象に実験を行った。男女比率は男性 8 名、女性 10 名であった。

(7) 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した。初めに実験参加者に、実験目的や実験内容について説明を行い、そのあと、実験に参加することについての同意を得た。次に、実験参加者の属性や運転経験等の回答をフェースシートにしてもらい、視力はその場で簡単な視力検査を行い測定した。視力検査終了後、ヘッドマウントディスプレイを装着してもらった。

実験参加者に対して実験開始前に以下の教示を行った。

- ▶ 対向車線から交差点に対して接近・進入してくる車両が自動運転車である。
- ▶ 交差点で右折待ちをしている場面を想定し、接近してくる自動運転車の挙動や状態を確認して、自身が右折できるかどうかの判断を行い、右折できると判断したら反応ボタンを押す。

この教示を行った後、練習走行を行い、自動運転車の接近に対する状況判断や反応ボタンの練習を実施した。実験参加者が十分に理解した後、本走行を行った。まず初めに統制条件として車両挙動のみの条件を行った後、HMI と車両挙動が組み合わさったものを被験者ごとにランダムにして行った。全実験終了後、ヘッドマウントディスプレイを取り外し、実験参加者に最終質問紙調査を行った。ここでは、各 HMI コンテンツに対する感じ方や何を基に意思決定を行っているのか等を回答してもらった。

(8) 解析対象

本実験では、30km/h⇒30km/h、30km/h⇒10km/h、30km/h⇒0km/h といった 3 種類の車両挙動と「お先にどうぞ」「とまります」「すすみます」といった 3 種類の外向け HMI を用いて実験を行ったが、30km/h⇒30km/h に関しては実験参加者が同様な車両挙動が続くことによって自動運転車が必ず譲ると認識することを防ぐために条件内に加えたため、除外した。また、30km/h⇒0km/h の条件では停止の直前に外向け HMI にコンテンツを表示するためほとんどの実験参加者が車両挙動のみで判断を行った。「すすみます」の条件については外向け HMI の表示によって実験参加者が反射的に判断することを防ぐた

めに加えたため除外した。よって本実験では 30km/h⇒10km/h の車両挙動の条件において比較する。

5.11.3. 実験結果

(1)実験環境の比較

ここでの解析対象は日本で行った VR 実験と日本で行った試験走路実験の2つとした。なお、表 5-29 に今回の解析対象となる実験参加者を示す。平均年齢に少し差はあるが、年齢層を絞ると試験走路実験における解析対象が少なくなるため、以下のとおりとした。

表 5-29 解析対象とした実験参加者

	男性	女性	合計	平均年齢	標準偏差
VR実験(日本)	11名	9名	20名	22.4歳	3.57
試験走路実験	8名	5名	13名	31.3歳	7.01

(i)右折可能かどうかの判断結果

図 5-163 に右折判断時のボタン押下の状況を示す。試験走路と VR のどちらの実験環境においても外向け HMI を用いることによって、右折可能と判断している実験参加者数の増加は見られた。試験走路環境において「HMIなし」の条件が右折可能と判断した人の割合が 15%であるのに対して、VR 環境では 30%となっている。また「とまります」の条件においては試験走路環境では約 40%、VR 環境では 60%となっている。「お先にどうぞ」の条件においては試験走路環境では約 45%、VR 環境では約 70%となっている。

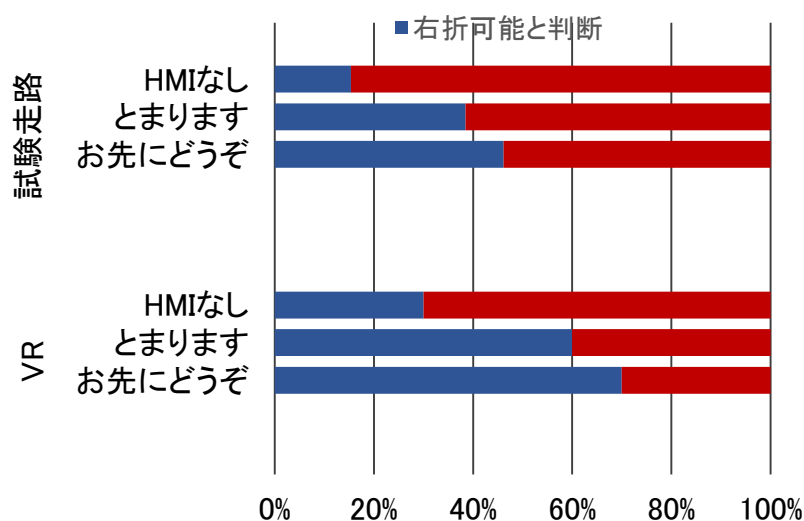


図 5-163 右折判断時のボタン押下

(ii) 外向け HMI の比較（右折判断時の距離）

外向け HMI の効果の比較をするため、外向け HMI の表示コンテンツを確認せずに右折判断を行った人に対してはここでの解析対象からは外した。35m 地点で外向け HMI のコンテンツは表示されるがそれより前に判断した人、もしくは各条件終了後のアンケートにおいて外向け HMI コンテンツの表示を見る前に判断を行っていたと答えた実験参加者のデータを解析対象外とした。

図 5-164 に右折判断(ボタン押下)時の被験者車両と自動運転車との距離、図 5-165 に箱ひげ図作成時に使用した人数の棒グラフを示す。

試験走路のデータに注目すると外向け HMI を使用した場合と使用しなかった場合の右折判断した距離に大きな違いは見られなかった。外向け HMI の使用有無に関わらず、25m~30m 付近で右折の判断を行っていた。これらの結果に対して Kruskal-Wallis 検定を行ったところ、有意差は見られなかった。

VR 環境のデータに注目すると、外向け HMI を使用した際に右折判断距離が遠くなっていることが分かった。中央値を見ると、「HMI なし」で約 25m 付近、「とまります」「お先にどうぞ」で 30m 付近といった結果になった。これらの結果に対して Kruskal-Wallis 検定を行ったところ、有意差は見られなかった。

また、2つの実験環境における外向け HMI 使用時の右折判断距離に注目してみると試験走路よりも VR 環境のほうが早いタイミングで判断する傾向が見られた。「とまります」「お先にどうぞ」の 2つの条件に対してそれぞれ Mann-Whitney の U 検定を行ったところ「お先にどうぞ」における VR 環境と試験走路環境において 5%水準で有意差が確認されたが「とまります」では有意差は見られなかった。

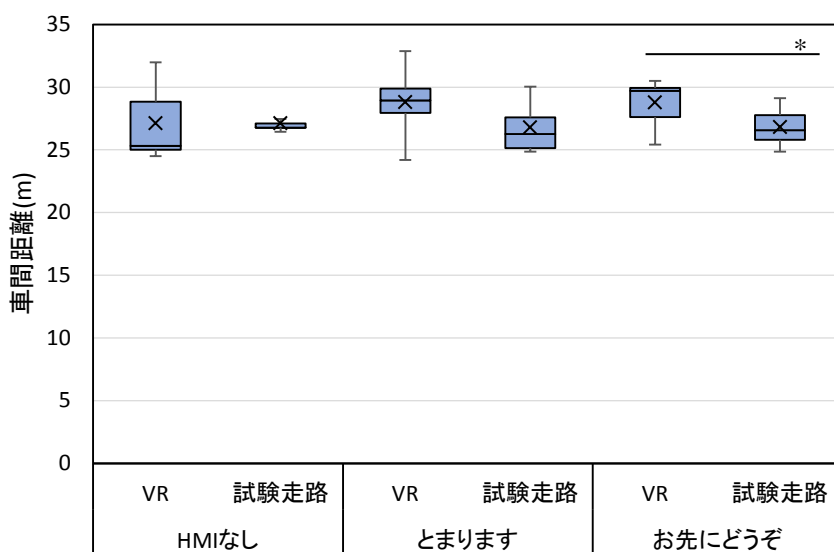


図 5-164 右折判断時の被験者車両と自動運転車両との距離における箱ひげ図

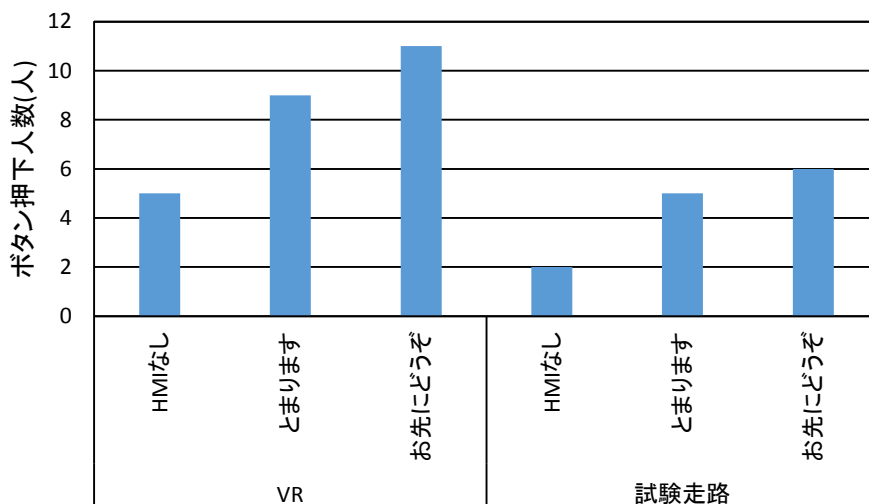


図 5-165 右折判断した人数

(iii)譲りの認識度（主観評価）

右折判断をした実験参加者における譲りの認識度の結果を図 5-166に示す。外向け HMI によって「とまります」「お先にどうぞ」のコンテンツを表示したのに対しては試験走路、VR 環境ともに半数以上が非常に譲られたと回答していることが確認された。また、「HMI なし」の条件においては試験走路では「非常に譲られている」と回答した人が 0 名、VR 環境では 1 名となっていることが確認された。外向け HMI を用いることによって譲りの認識度は大幅に向上していることが確認された。

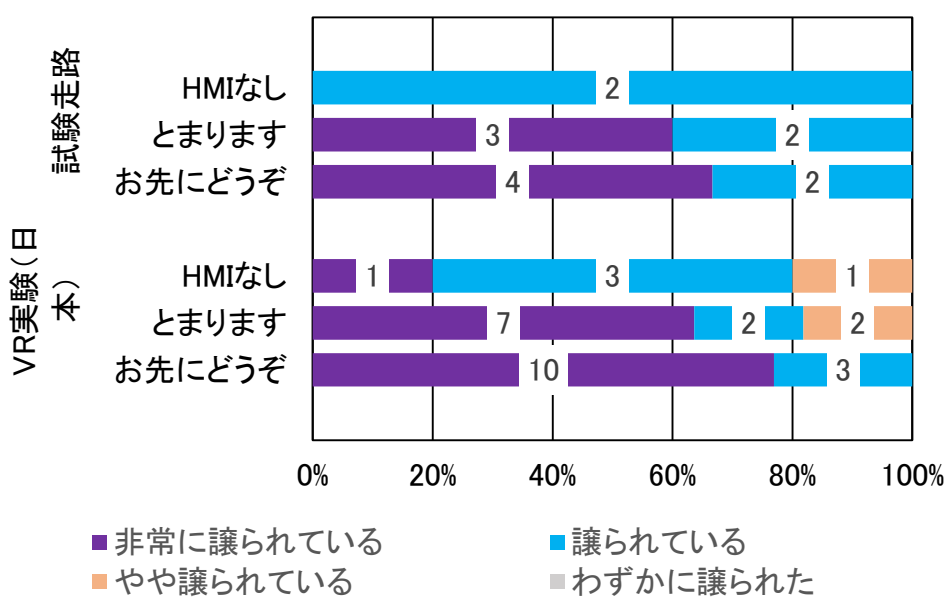


図 5-166 右折判断した人の譲りの認識度

(iv)右折判断時の確信度

右折判断をした実験参加者における右折判断時の確信度を図 5-167に示す。それぞれの実験環境下で「HMIなし」の条件を見てみると試験走路ではやや確信したという回答は1つもあがってないが、VR環境下では半数以上の3人がやや確信したと回答している。次に外向けHMI使用時に注目してみると、「お先にどうぞ」のほうが「とまります」よりも非常に確信したと回答している人が多いという傾向においては実験環境に関わらず同様であることが確認できた。

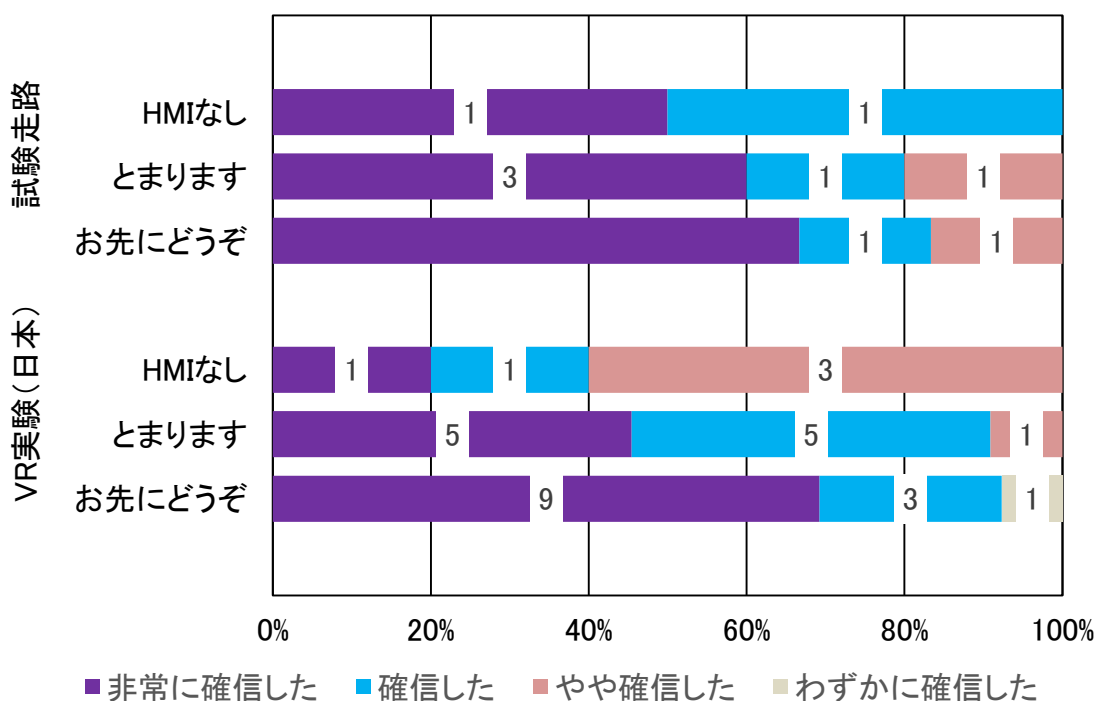


図 5-167 右折判断した人の右折時の確信度

(2)日本・英国の地域性の比較

ここでの解析対象は日本で行った VR 実験と英国で行った VR 実験とした。解析対象とした実験参加者の情報を表 5-30 に示す。

表 5-30 解析対象とした実験参加者

	男性	女性	合計	平均年齢	標準偏差
VR実験(日本)	11名	9名	20名	22.4歳	3.57
VR実験(英国)	8名	10名	18名	27.2歳	5.85

(i)右折可能かどうかの判断

図 5-168 に右折判断時のボタン押下の状況を示す。試験走路と VR のどちらの実験環境においても外向け HMI を用いることによって、右折可能と判断している実験参加者数の増加は見られた。また、日本人は「お先にどうぞ」で右折判断する割合が一番多くなるのに対して、英国人では「とまります」で右折判断する割合が一番多くなった。また、HMI なしでは日本では右折判断の割合は 30% 程度だったが、英国では約 50% であった。

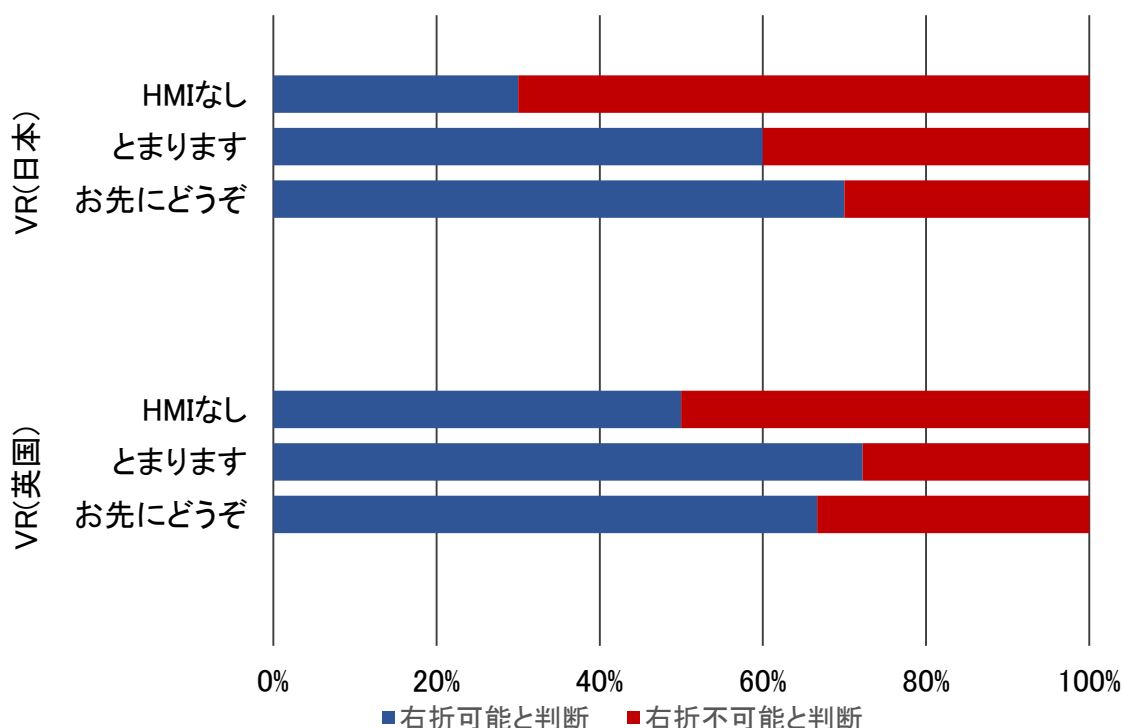


図 5-168 右折判断時のボタン押下

(ii)外向け HMI の比較（右折判断時の距離）

各条件における右折判断時の被験者車両と自動運転車との距離の箱ひげ図を図 5-169 に示す。ここでは、自身が右折できると判断した全てのデータを対象にした。まず、英国人のデータに注目してみるとデータにかなりばらつきがあることが確認できる。英国人の各条件において Kruskal-Wallis 検定を行ったところ、有意差は見られなかった。

「HMI なし」におけるデータに関して言えば 25%タイル値と 75%タイル値のデータの差が約 20m ある。対して日本人の「HMI なし」におけるデータは 25%タイル値と 75%タイル値のデータの差は 10m 以下である。中央値や平均値を見ても両者に約 10m の差があることが確認された。この 2 つの結果に対して Mann-Whitney の U 検定を行ったところ 5%水準で有意差は確認できなかったが、有意傾向は確認できた ($p=0.0804$)。同様に「とまります」「お先にどうぞ」の結果に対して Mann-Whitney の U 検定を行ったところ、「とまります」では、有意差は確認できず ($p=0.1064$)、「お先にどうぞ」では、有意傾向は確認できた ($p=0.09186$)。

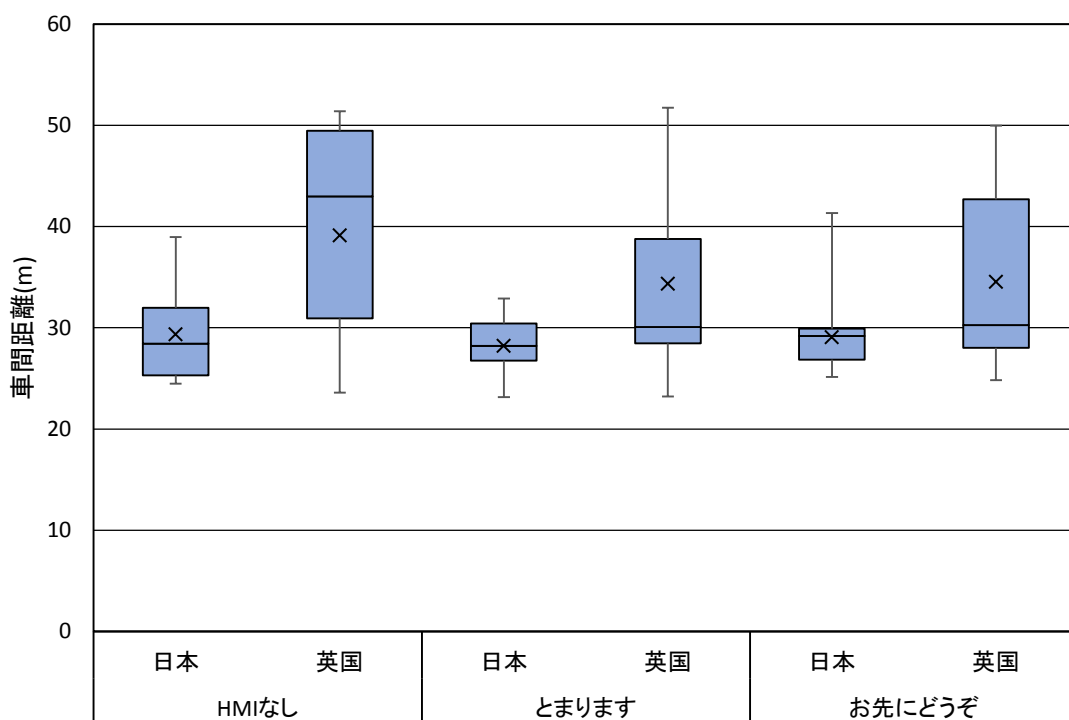


図 5-169 右折判断時の被験者車両と自動運転車両との距離における箱ひげ図

「HMI なし」「お先にどうぞ」の 2 条件において日本と英国間で有意傾向が見られたため、各条件の右折判断時の距離の相対度数分布を図 5-170、図 5-171、図 5-172 に示す。日本と英国間で分布に違いがあることが確認できた。日本の相対分布を見てみるとどの条件においても 25m～30m 区間が一番右折判断を行っていることが確認できる。英国の分布を見るとかなりばらつきがあり、特に HMI なしでは 40m 以上で右折判断をしている割合が多かったことが確認できた。

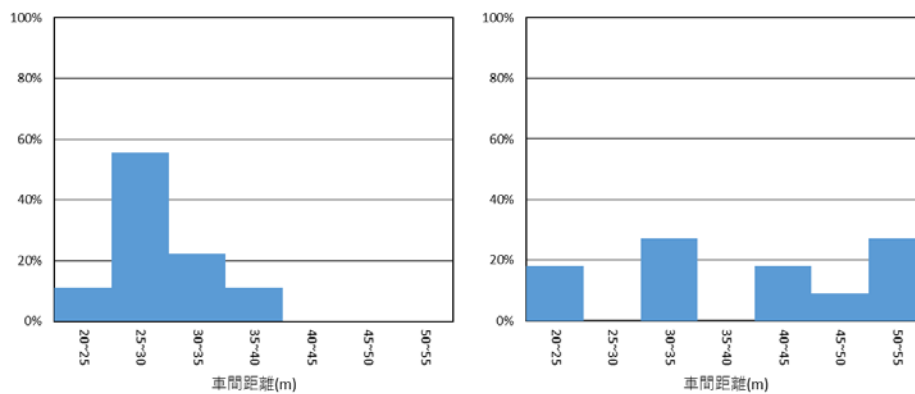


図 5-170 「HMI なし」における右折判断時の距離分布（左：日本 右：英国）

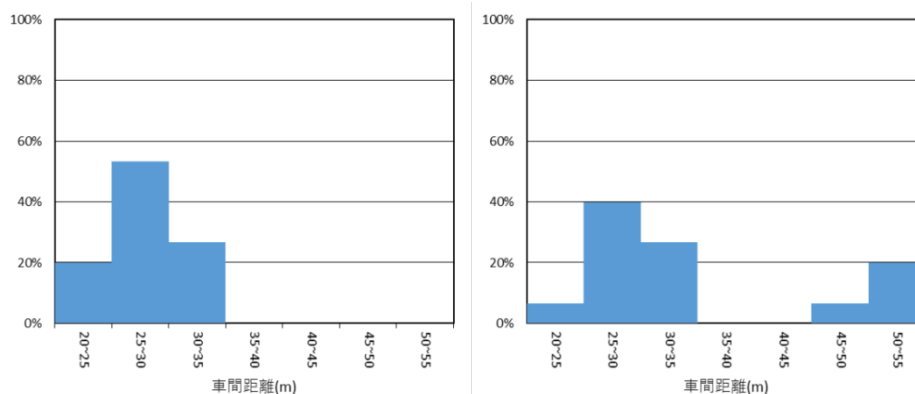


図 5-171 「とまります」における右折判断時の距離分布（左：日本 右：英国）

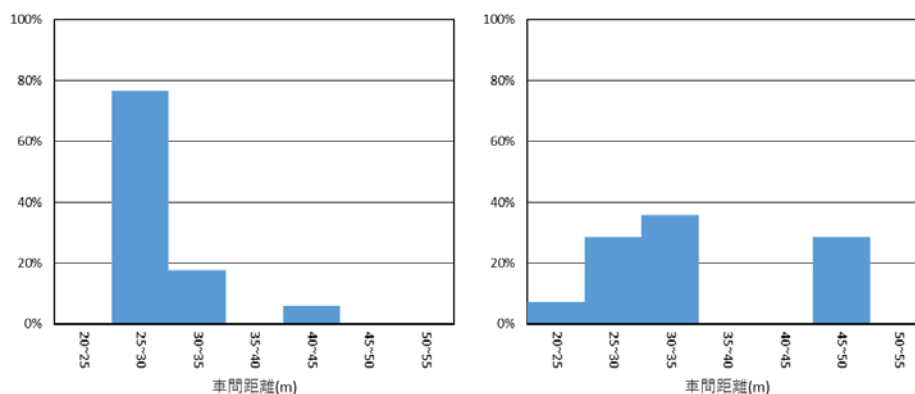


図 5-172 「お先にどうぞ」における右折判断時の距離分布（左：日本 右：英国）

今回外向け HMI を使用した場合 35m 地点でコンテンツが表示されるように設定しているが、上図を見ると 35m より遠い地点で判断した実験参加者がいることが分かる。右折判断時の HMI の効果の比較を行う際には、35m 地点より遠くで判断した実験参加者は除外して解析を行った。また、各条件終了後のアンケートにおいて外向け HMI コンテンツの表示を見る前に判断を行っていたと答えた実験参加者のデータも解析対象外とした。

その結果を箱ひげ図にまとめたものを図 5-173 に示す。35m 以下で判断している実験参加者に対しては日本人と英国人とで大きな差は確認できなかった。どちらも中央値に注目してみると外向け HMI を使用することにより少し判断距離が遠くになっていることが分かる。この結果に対しての統計検定は「HMI なし」の群の標本数が極端に少なかったことから、統計検定を行うことはできなかった。日本とイギリス間における「とまります」「お先にどうぞ」の条件において Mann-Whitney の U 検定を行ったところ、どちらにも有意差は見られなかった。

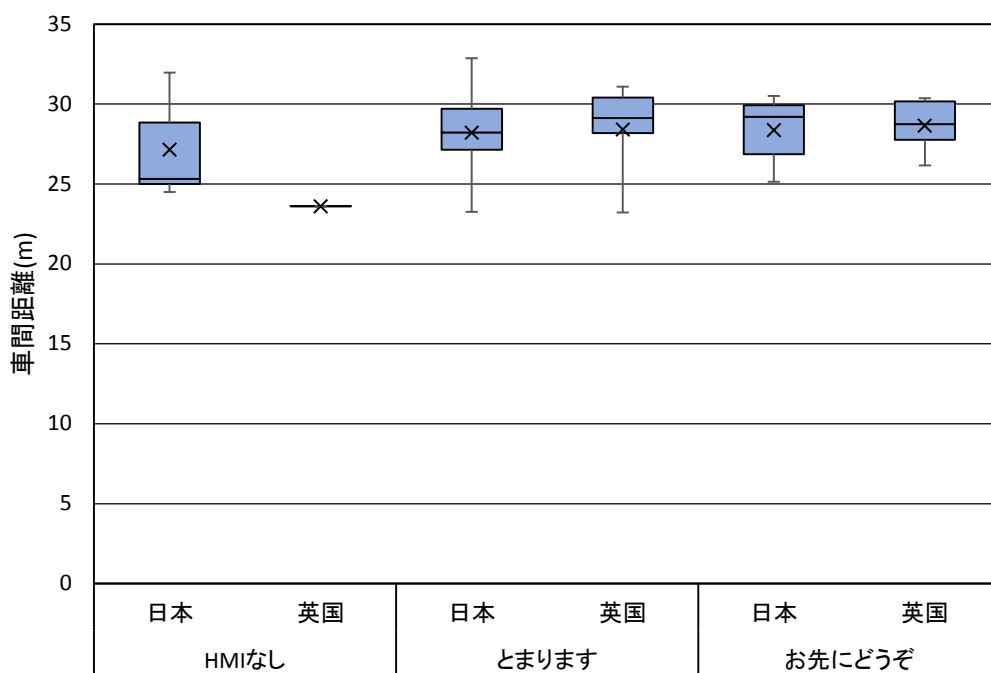


図 5-173 右折判断時右折判断時の被験者車両と自動運転車両との距離における箱ひげ図

(iii)譲りの認識度（主観評価）

右折判断をした実験参加者における譲りの認識度の結果を図 5-174 に示す。外向け HMI によって「とまります」「お先にどうぞ」のコンテンツを表示したのに対しては日本における VR 環境、英国における VR 環境ともに半数以上が非常に譲られたと回答していることが確認された。また、外向け HMI を用いることによって譲りの認識度は大幅に向上していることが確認された。

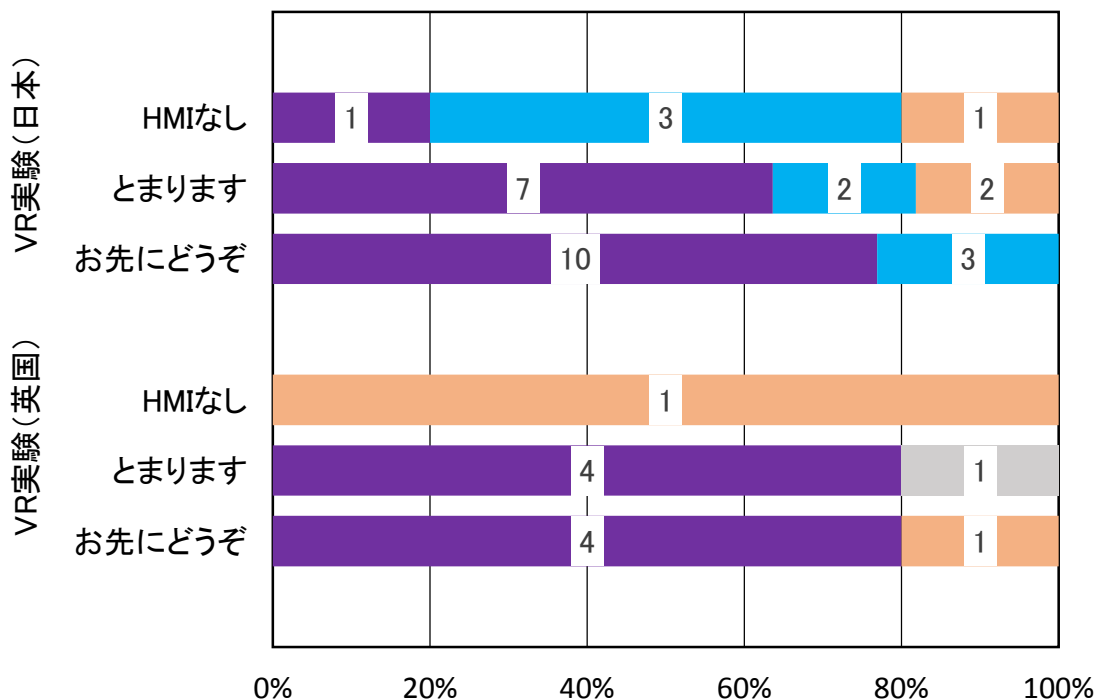


図 5-174 右折判断した人の譲りの認識度

(iv)右折判断時の確信度（主観評価）

それぞれの実験環境下で「HMIなし」の条件を見てみると試験走路ではやや確信したという回答は1つもあがってないが、VR環境下では半数以上の3人がやや確信したと回答している。次に外向けHMI使用時に注目してみると、「お先にどうぞ」のほうが「とまります」よりも非常に確信したと回答している人が多いという傾向においては実験環境に関わらず同様であることが確認できた。

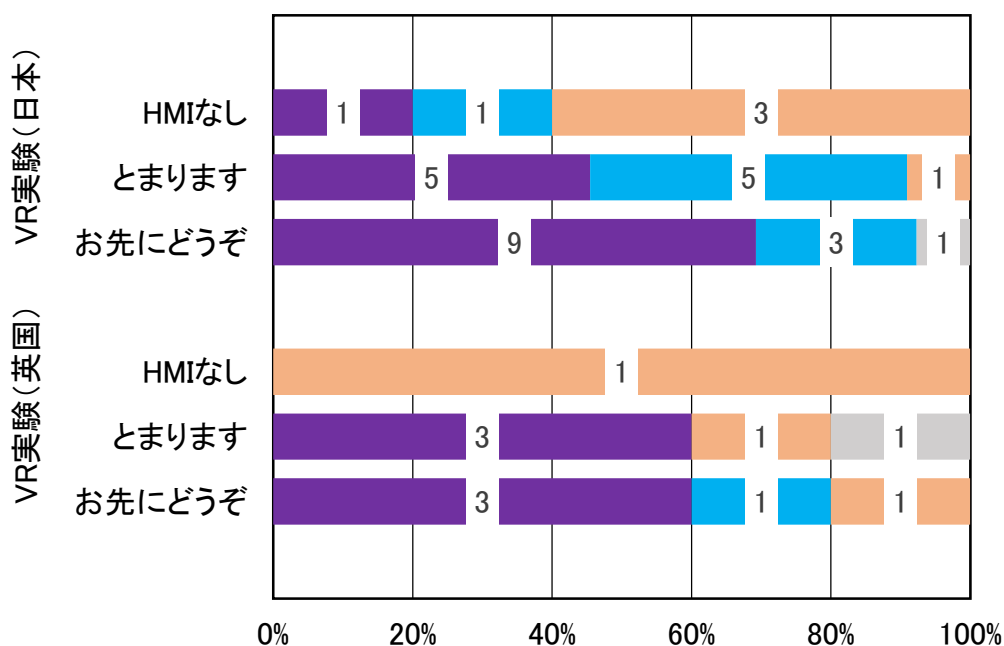


図 5-175 右折判断した人の右折時の確信度

5.11.4. 考察

(1) 実験環境比較

試験走路環境では、外向け HMI の有無に関わらず右折判断の距離は変わらなかったのに対して、VR 環境は外向け HMI を用いることによって「HMI」なしと比較して早いタイミングで右折判断を行うということが示された。また、「お先にどうぞ」の条件に関しては実験環境によって有意差が確認され、VR 環境で「お先にどうぞ」のメッセージを出す事によってより早いタイミングで、右折判断を行う傾向が見られた。この結果に対して 2 つの可能性が考えられる。

まず 1 つは外向け HMI コンテンツの大きさ、設置場所が各環境間で統一できていないことが挙げられる。試験走路環境では、外向け HMI は雨天時に機材が濡れてしまうと故障してしまう可能性があったため助手席のダッシュボード上に設置していた。これにより快晴時と曇天時でフロントガラスの影響やフロントガラスの反射の影響により外向け HMI の見やすさに実験参加者ごとに予期せぬ違いが出ていた可能性が考えられる。実際に録画していた映像の違いを図 5-176 に示す。実験参加者の顔や対向車のフロントガラスを見てみると分かるように天気や日の差し具合で見え方に違いがあることが確認できる。それに対して VR 環境では外向け HMI をルーフ上に取り付けていたこと、天候を統一できることから天候による影響はほぼ 0 に近かったといえるだろう。また、外向け HMI の大きさに関して言えば表面積は VR 環境のほうがはるかに大きかった。これによって外向け HMI の見易さに影響を与えていることが考えられる。試験走路実験における実験終了後に取った最終アンケートや条件ごとに行うアンケートでは、何が表示されているのかが少し分かりづらく判読時間に時間がかかってしまったといった回答や外向け HMI の表示コンテンツを見ることに集中していたといった回答も見られた。ここから、試験走路環境では我々が想定したタイミングで実験参加者に十分に意図が伝わりきらなかった可能性が考えられる。

2 つ目は、VR 環境で実験を行うことにより外向け HMI による表示コンテンツの効果が強く出てしまうという可能性が挙げられる。右折判断した割合を二つの実験環境間で比較してみると VR 環境で右折判断をした人のほうが多いという結果になっている。先行研究によると現実環境よりもリスクをとって行動してしまう傾向があることを示されている [15]。ここから VR 環境では多少の危険があっても表示コンテンツの内容を信頼して行動してしまう可能性が示唆された。

次に主観評価の結果を見てみると 2 つの実験環境下で同様な傾向が示され

ていることがわかる。ここから実験環境に関わらず外向け HMI によってドライバーに対して心理的な影響は同様に与えているということが考えられる。



図 5-176 天候による実験参加者と自動運転車の見え方の違い（左：晴れ 右：曇り）

(2) 評価手法の検討

ここまでで得られた結果・考察から VR と試験走路の利点・欠点をまとめる。

● VR 環境

-利点-

- ・ 実験環境が全て統一できる（天候や設備など）
- ・ リスクの高い実験を行える（実際に接触するような場面）

-欠点-

- ・ 現実よりも危険な行動に出ってしまう可能性がある
- ・ 現実にくらべて車両挙動が伝わりにくい（車の沈み込みや聴覚からの情報がない）

● 試験走路環境

-利点-

- ・ 実道環境と実車を利用することにより、臨場感の向上が見込まれ、車両との接触や衝突の可能性を考慮した被験者の認識・判断が期待される
- ・ 実車を利用することにより、減速時の車両の沈み込みなどを適切に再現できる

-欠点-

- ・ 実際に接触や衝突に至る事故の危険性がのある交通場面でのを対象にすること実験ができない
- ・ 実験装置の製作や導入のほか、場面変更や条件変更のコストが高く、これらに関わるフレキシビリティが必ずしも高くない

VR 環境での実験は、コンテンツの比較を行うような基礎実験では有効であると考えられる。主観評価では試験走路と同様な傾向が示されており、表示コンテンツによる判断距離の違いも試験走路での結果よりも顕著に示されている。コストの面を考えると、試験走路実験で様々な種類の外向け HMI や表示コンテンツを増加させることは限界がある。よって試験走路実験の位置づけとしては、VR 環境の実験で得られた結果に対して、それが現実環境でも同様な効果を示すかというような検証実験として用いるのが有効であると考えられる。また、VR 環境でしかできない実験も存在する。今回の実験では譲られていると感じるか、右折判断できるかといったところに焦点を当てているが、外向け HMI を備え付けることによって事故が起きる可能性は考えていない。そのような負の効果を調査するときに VR 環境は大きく役に立つ可能性が高い。試験走路では事故を引き起こす可能性はできるだけ排除しなければいけないので、接触しても実験参加者の危険のない VR 環境は非常に有効だろう。

(3)地域性の比較

右折判断時の距離では、日本人に比べて英国人の標準偏差が大きくなっている傾向が見られた。これは英国人の右折判断の基準の違いによるものであると考えられる。実際に日本と英国の相対度数分布を見比べてみると。日本が 30m 付近に固まっているのに対して、英国は大きく分けて 30m 付近で判断する層と 50m 付近で判断する層になっていることが確認できる。50m 付近で判断している層が何を基に判断しているかを確認するために最終アンケートで「右折判断時に何を基に判断したか？」という項目の回答を図 5-177 と図 5-178 にまとめた。図に記した Time to collision（以後 TTC と称す）とは車同士が衝突するまでの時間を表しており、車間距離と右折するときにかかる時間を基に右折判断をしていると回答した人は TTC としてまとめた。TTC の割合を見てみると、英国での実験では TTC の割合が 2 倍近くになっており、これが遠くで判断する実験参加者がいるひとつの要因であることが考えられる。しかし、30m 付近で右折判断を行う英国の実験参加者に関しては日本の実験参加者と同様な傾向があるため、一概に日本と英国で違いがあるとは言えない。

次に HMI の表示コンテンツによる差を確認する。判断距離や右折時の主観評価では大きな差はなかった。2 つの表示コンテンツに違いがないのか確認するためにアンケート用紙を確認した。最終アンケートにおいてどの外向け

HMI コンテンツがもっとも譲られていると感じたかという質問を行った。その結果を図 5-179、図 5-180 に示す。日本の実験参加者の 8 割以上が「お先にどうぞ」の表示コンテンツのほうが譲られたと感じるのに対して、英国の実験参加者では「とまります」の表示コンテンツに譲りの意図を感じると回答した割合が一番多かった。日本人は譲る意図を伝達されることで自身の行動を決める傾向があり、英国人は行動の内容を伝達することにより自身の行動を決める傾向があることが確認できた。英国人の中に比較的遠い距離で判断する層がいるのは、自動運転車に意図を伝えられる前に相手の動き、状態が確認できれば意思決定を行えることが要因だと考えられる。

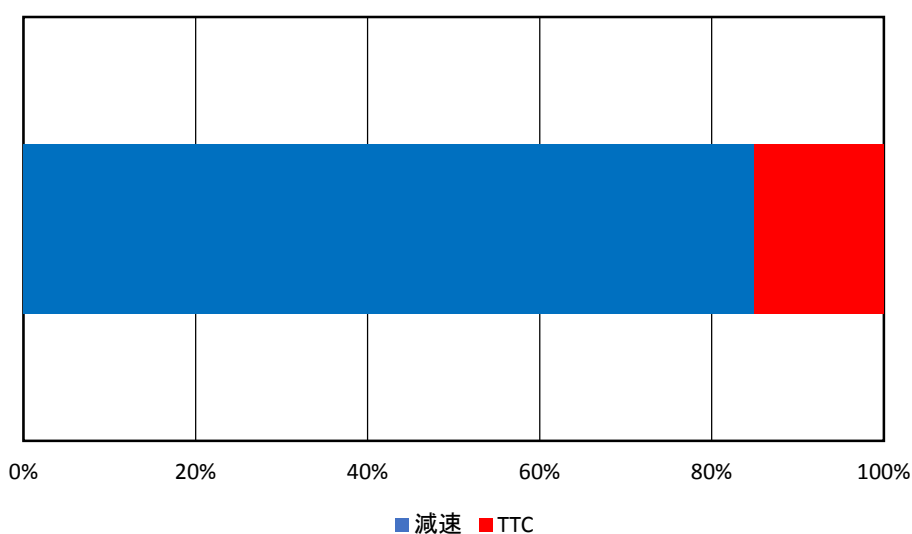


図 5-177 右折判断基準（日本）

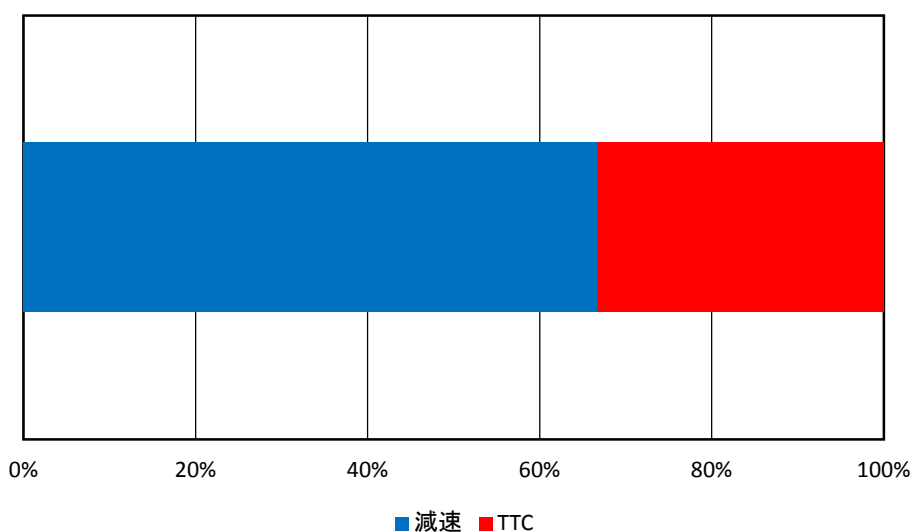


図 5-178 右折判断基準（英国）

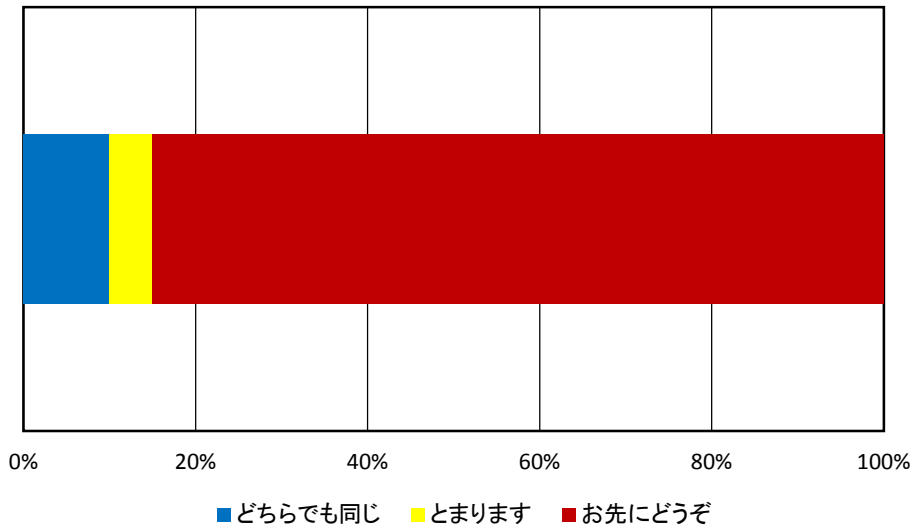


図 5-179 VR 実験（日本）における譲りの意図を感じた外向け HMI コンテンツ

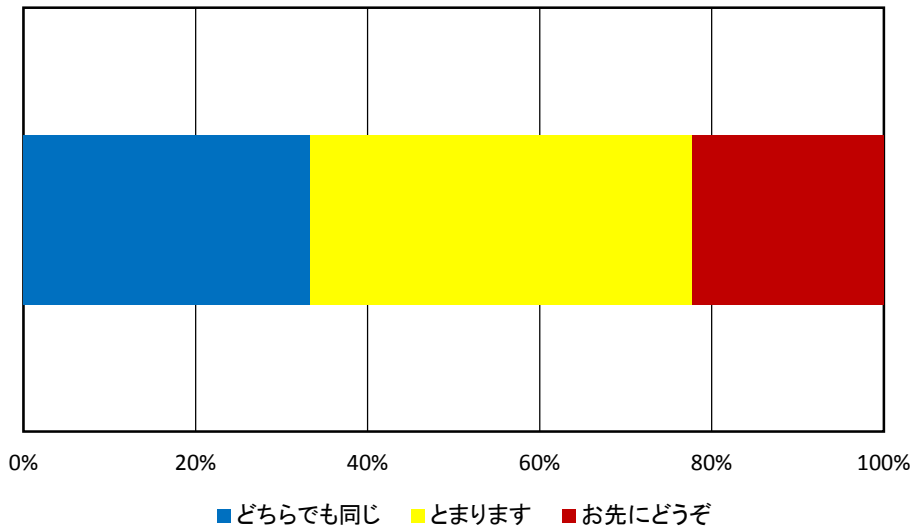


図 5-180 VR 実験（英国）における譲りの意図を感じた外向け HMI コンテンツ

5.11.5. まとめ

VR 実験を通じて以下の結果が得られた。

- VR 実験では試験走路実験と比較して右折判断する割合が高くなる傾向が示唆された。また、主観評価において 2 つの環境間で同様な傾向を示す可能性が示唆された。
- 一部の英国ドライバーは日本のドライバーと比較してより早い段階で右折判断を行う可能性が示唆された。

5.12. 自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションにおける地域性や交通参加者の属性の影響に関する調査方法の提案（Web 調査）－低速域での自動運転車と歩行者のコミュニケーションに関する検討

試験走路での低速走行する自動運転車の実験を通じて抽出された外向け HMI の仕様に対する歩行者の認識や心理面への影響、自動運転車のドライバーの視線状態が歩行者の心理面への影響などに関する地域性や属性による違いや特徴などについて調査する。

5.12.1. 調査方法

試験走路で実施した実験条件のうち、低速走行する自動運転車の車両挙動と外向け HMI の典型的な組合せによる意図の伝達方法について、歩行者を対象とした Web 調査を実施した。Web 調査では、自動運転車が無信号横断歩道に接近してくる状況の動画映像を提示して回答するものとした。調査対象とする動画映像は、灯火型外向け HMI ではこれらに対応する「右→左」「点滅（3Hz）」「左右→中央」の 3 種類、テキスト表示型外向け HMI の「お先にどうぞ」「とまります」「自動運転中」の 3 種類、また比較のため「外向け HMI なし」をそれぞれ対象とした。これらの外向け HMI に関して、灯火型外向け HMI については、灯火パターンに対する解釈を中心に、テキスト表示型 HMI については譲られているかどうかの判断を調査した。また共通的に、横断歩道を横断することを過程した際の安全・安心・確信などの心理面への影響を検討した。また各条件においては、自動運転車の運転席に着座するドライバーが前方監視している状況とタブレット端末を操作してわき見（ディストラクション）している状況も合わせて検討した。質問の順序は、表 5-30 に示されるように、最初に自動運転の仕組みや自動運転中のドライバーの役割、運転引き継ぎについて回答者に説明し、その後、①外向け HMI のない、車両挙動のみによる自動運転車からの意図や状態の伝達に関する質問、次に②灯火型外向け HMI を利用した自動運転車からの意図や状態の伝達に関する質問、最後に③テキスト表示型外向け HMI を利用した自動運転車からの意図や状態の伝達に関する質問の順序で実施した。具体的には、まず実験①-1 と実験①-2 を実施するが、どちらの条件を先に回答するかは被験者間でランダムに設定する、次に実験②-1 と実験②-2 を実施するが、ここでの実験条件には灯火パターンが 3 種類、ドライバーの視線状態が 2 種類存在するため、組み合わせると合計 6 パターンとなる。ここでは完全に順序をランダムに設定せず、灯火パターンごとに回答順序を被験者間でランダムに設定し、さらに灯火パ

ターンごとにドライバーの視線状態である前方監視とわき見の回答順序も被験者間でランダムに設定する。最後に実験③-1と実験③-2を実施するが、ここでの実験条件にはテキストパターンが3種類、ドライバーの視線状態が2種類存在するため、組み合わせると合計6パターンとなり、前述と同様に、テキストパターンごとに回答順序を被験者間でランダムに設定し、さらに灯火パターンごとにドライバーの視線状態である前方監視とわき見の回答順序も被験者間でランダムに設定する。

表 5-31 実験条件の各因子と実験順序

	回答順序	外向け HMI の種類	外向け HMI のコンテンツ	ドライバーの視線状態
実験①-1	被験者間ランダム	外向け HMI なし	-	前方監視
実験①-2				わき見
実験②-1	灯火パターンと各パターン内の対で被験者間ランダム	灯火型 外向け HMI	右→左	前方監視
実験②-2			点滅 (3Hz)	
			左右→中央	
			右→左	わき見
点滅 (3Hz)				
左右→中央				
実験③-1	灯火パターンごとに被験者間ランダム	テキスト表示型 外向け HMI	お先にどうぞ	前方監視
実験③-2			とまります	
			自動運転中	
			お先にどうぞ	わき見
とまります				
自動運転中				

実際の事前説明ならびに質問内容については下記の通りである。

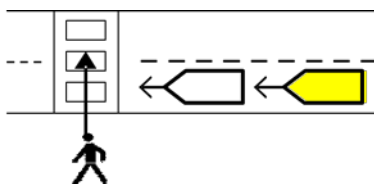
事前提供知識 1：自動運転の仕組みについて

- センサーで「周囲の自動車」・「道路の白線」・あるいは「走行の障害となる人・物」などを検知して自動運転しています。
- 自動運転車のドライバーは自動雨天中に運転以外のことが出来ます。
- 自動運転車は、白線を検知して車線中央を走行維持します。
- 自動運転車は、先行車を検知して適切な車間距離を維持し、また周囲の状況を検知して道路環境に対応した速度で走行します。

事前提供知識 2：自動運転中のドライバーの役割、運転引き継ぎについて

- 自動運転中は、基本的に無信号の横断歩道で歩行者の横断を妨げないように設計されています。
- ただし、自動運転中であっても、交通状況や天候・道路の状態などにより、自動運転が使用出来なくなる場合があります。この場合、無信号の横断歩道に歩行者がいても通過してしまう場合があります。
- 自動運転が使用できなくなった場合、自動運転車のドライバーはすぐに自分自身で運転を行う必要があります。

質問①-1：あなた(人)が無信号の横断歩道を図中の矢印の向きに横断しようと立ち止まっています。近づいてくる自動運転車(下図で黄色の車)の様子から、あなたはどのように感じますか。次の選択肢から、1つを選択してください。



- ・あなたは、信号のない横断歩道にて、道路を渡ろうとしています。
- ・2台目（[映像中の] 白い車）の自動車は自動運転車で運転手は前方を見えています。



(回答者が確認する動画)

【質問】動画を見た上で、あなたがこの無信号の横断歩道を横断する場合についてお聞きします。下にある文章に、あなたはどのくらい当てはまりますか？下記の選択肢から、当てはまる程度をもっともよく表わすものを1つ選択してください。どれが良いとか悪いとか正解はありませんので、正直に教えてください。また、あまり深く考えこまずに直感で教えてください。

	全く当てはまらない	少し当てはまる	かなり当てはまる	非常に当てはまる
安全に横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
安心して横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
スムーズに横断開始を判断できると思う	1	2	3	4
自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれていると思う	1	2	3	4
横断歩道の周囲状況を自分自身でよく確認する必要があると思う	1	2	3	4

【質問】動画を見た上で、あなたがこの無信号の横断歩道を横断する場合についてお聞きします。下にある文章に、あなたはどのくらい当てはまりますか？下記の選択肢から、当てはまる程度をもっともよく表わすものを1つ選択してください。どれが良いとか悪いとか正解はありませんので、正直に教えてください。また、あまり深く考えこまずに直感で教えてください。

	全く当てはまらない	少し当てはまる	かなり当てはまる	非常に当てはまる
安全に横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
安心して横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
スムーズに横断開始を判断できると思う	1	2	3	4
自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれていると思う	1	2	3	4
横断歩道の周囲状況を自分自身でよく確認する必要があると思う	1	2	3	4

【質問】動画を見た上で、あなたがこの無信号の横断歩道を横断する場合についてお聞きします。下にある文章に、あなたはどのくらい当てはまりますか？下記の選択肢から、当てはまる程度をもっともよく表わすものを1つ選択してください。どれが良いとか悪いとか正解はありませんので、正直に答えてください。また、あまり深く考えこまずに直感で答えてください。

	全く当てはまらない	少し当てはまる	かなり当てはまる	非常に当てはまる
安全に横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
安心して横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
スムーズに横断開始を判断できると思う	1	2	3	4
自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれていると思う	1	2	3	4
横断歩道の周囲状況を自分自身でよく確認する必要があると思う	1	2	3	4

【質問】動画を見た上で、あなたがこの無信号の横断歩道を横断する場合についてお聞きします。下にある文章に、あなたはどのくらい当てはまりますか？下記の選択肢から、当てはまる程度をもっともよく表わすものを1つ選択してください。どれが良いとか悪いとか正解はありませんので、正直に教えてください。また、あまり深く考えこまずに直感で教えてください。

	全く当てはまらない	少し当てはまる	かなり当てはまる	非常に当てはまる
安全に横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
安心して横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
スムーズに横断開始を判断できると思う	1	2	3	4
自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれていると思う	1	2	3	4
横断歩道の周囲状況を自分自身でよく確認する必要があると思う	1	2	3	4

【質問】動画を見た上で、あなたがこの無信号の横断歩道を横断する場合についてお聞きします。下にある文章に、あなたはどのくらい当てはまりますか？下記の選択肢から、当てはまる程度をもっともよく表わすものを1つ選択してください。どれが良いとか悪いとか正解はありませんので、正直に答えてください。また、あまり深く考えこまずに直感で答えてください。

	全く当てはまらない	少し当てはまる	かなり当てはまる	非常に当てはまる
安全に横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
安心して横断歩道を横断できると思う	1	2	3	4
スムーズに横断開始を判断できると思う	1	2	3	4
自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれていると思う	1	2	3	4
横断歩道の周囲状況を自分自身でよく確認する必要があると思う	1	2	3	4

質問①-1と質問①-2、質問②-1と質問②-2、質問③-1と質問③-2は、それぞれ対となっており、基本的に質問①、質問②、質問③の順序で回答していくが、各質問中のドライバーの視線状態（前方監視もしくははわき見）の対の回答順序については被験者間でランダムとした

5.12.2. 調査対象

調査対象地域として、札幌市、東京23区、大阪市、四国四県（県庁所在地を除く）の4つの地域に在住の運転免許を保有する方々/保有しない方々を対象として調査を実施した。回答者は指定のWebサイトにアクセスし、提示される動画映像に基づいて質問に回答する手続きであった。

5.12.3. 調査結果および考察

Web 調査を実施した結果、Web 調査に回答した調査対象者の地域や性別、運転免許保有状況、年齢についてまとめた結果を表 5-32 に示す。札幌市、東京 23 区、大阪市、四国四県の各地域から回答した男性はそれぞれ 174 名、192 名、173 名、149 名、各地域から回答した女性はそれぞれ 174 名、184 名、174 名、160 名で、4 地域の合計 1380 名の回答が得られた。

表 5-32 解析対象とした実験参加者

地域	性別	運転免許 非保有 /保有	年齢								合計
			10 代	20 代	30 代	40 代	50 代	60 代	70 代	80 歳 ~	
札幌市	男性	非保有	9	13	15	16	18	11	8	0	90
		保有	0	18	12	18	17	13	6	0	84
	女性	非保有	7	15	16	13	17	14	7	1	90
		保有	0	20	15	15	15	16	2	1	84
東京 23 区	男性	非保有	7	22	16	25	17	8	11	2	108
		保有	1	17	19	13	16	11	7	0	84
	女性	非保有	4	19	14	18	18	14	11	2	100
		保有	0	19	13	17	17	15	3	0	84
大阪市	男性	非保有	9	12	15	13	17	12	10	1	89
		保有	4	12	18	17	13	15	4	1	84
	女性	非保有	5	19	11	19	14	17	5	0	90
		保有	1	19	17	13	14	18	2	0	84
四国 四県 県庁所在地在住者を 除く	男性	非保有	6	7	7	13	13	13	5	1	65
		保有	2	15	16	16	17	12	6	0	84
	女性	非保有	11	10	16	17	8	10	4	0	76
		保有	0	19	14	18	14	14	5	0	84
合計	男性	非保有	31	54	53	67	65	44	34	4	352
		保有	7	62	65	64	63	51	23	1	336
	女性	非保有	27	63	57	67	57	55	27	3	356
		保有	1	77	59	63	60	63	12	1	336
合計			66	256	234	261	245	213	96	9	1380

無信号横断歩道の脇で横断待ちしている歩行者の視点に立って、無信号横断歩道に接近・進入する自動運転車の動きや灯火型外向け HMI の灯火パターンから、自動運転車がどのような意図を伝達しようとしているように感じられるかを調査した。その結果を図 5-181 から図 5-204 にそれぞれ示す。ここでは、65 歳未満を非高齢者、65 歳以上を高齢者として分類している。4 地域の非高齢者は札幌市で 290 名、東京 23 区で 312 名、大阪市で 289 名、四国四県で 261 名、高齢者は札幌市で 58 名、東京 23 区で 64 名、大阪市で 58 名、四国四県で 48 名であった。

これらの結果について、まず灯火型外向け HMI に対する回答者の結果について言及する。全体的な傾向をみると、自動運転車のドライバーが前方監視しているか、タブレット操作等でわき見しているかによってやや解釈が異なる傾向がみられ、ドライバーがわき見の状態にあると、進路の譲りや停止に意図などのように感じられない傾向がみられた。またこれらの影響は、横断判断時の安全にも影響を及ぼす結果となった。

テキスト表示型外向け HMI に対する回答者の結果については、「お先にどうぞ」「とまります」などの譲りや停止の意図を表明すると、ドライバーの視線状態にもやや影響されるが、基本的には譲りや停止の意図の表面によって譲られたと判断する割合が高い結果となった。その一方で、外向け HMI による意図の表明があった場合、高齢者ほど自分自身で周囲確認を行う必要がないと考える割合が増加し、外向け HMI に自らの確認行動を依存させてしまう可能性が示唆される結果となった。

非高齢(免許あり)

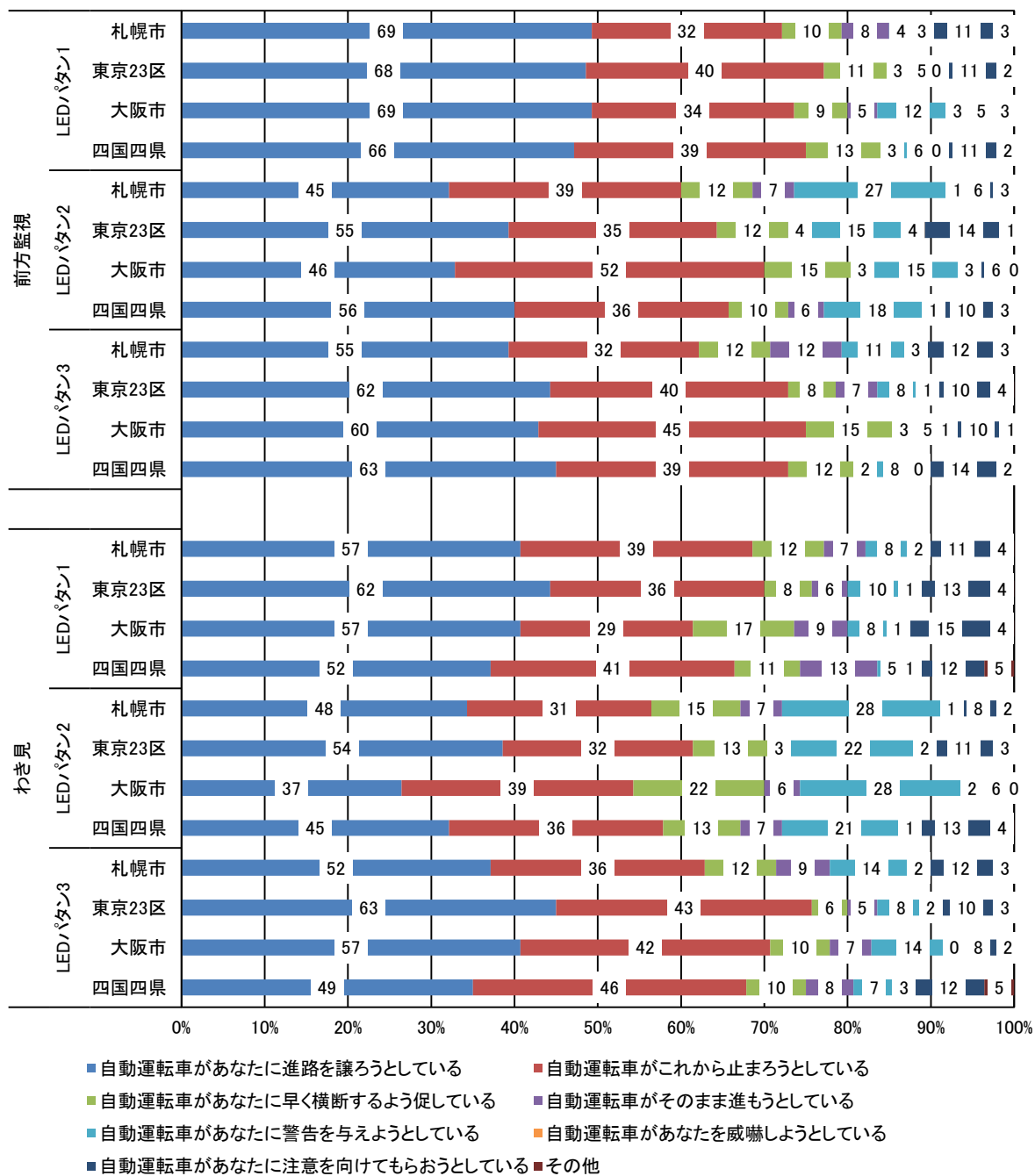


図 5-181 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (非高齢者・運転免許所有)

非高齢(免許なし)

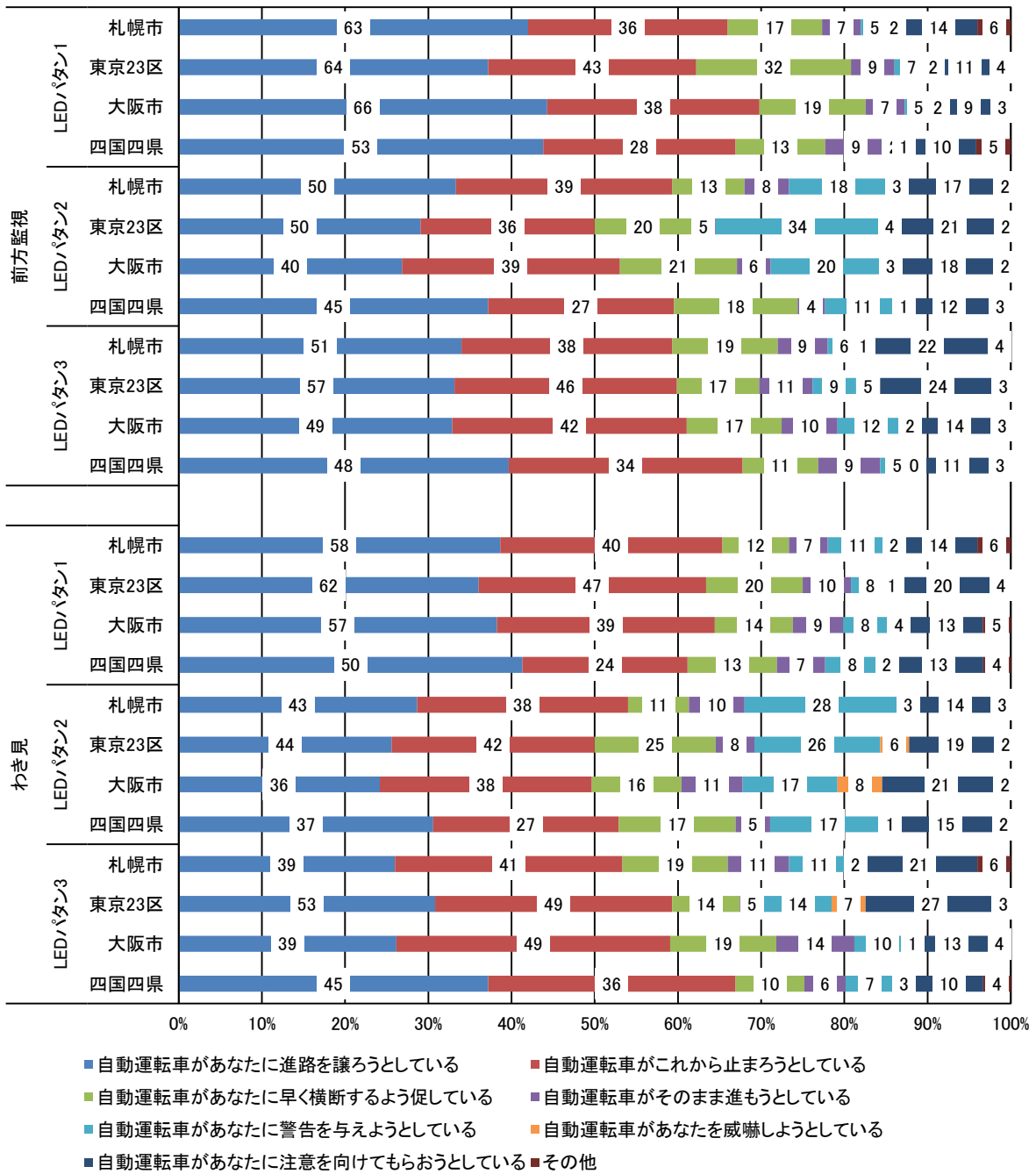


図 5-182 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (非高齢者・運転免許非所有)

高齢者（免許あり）

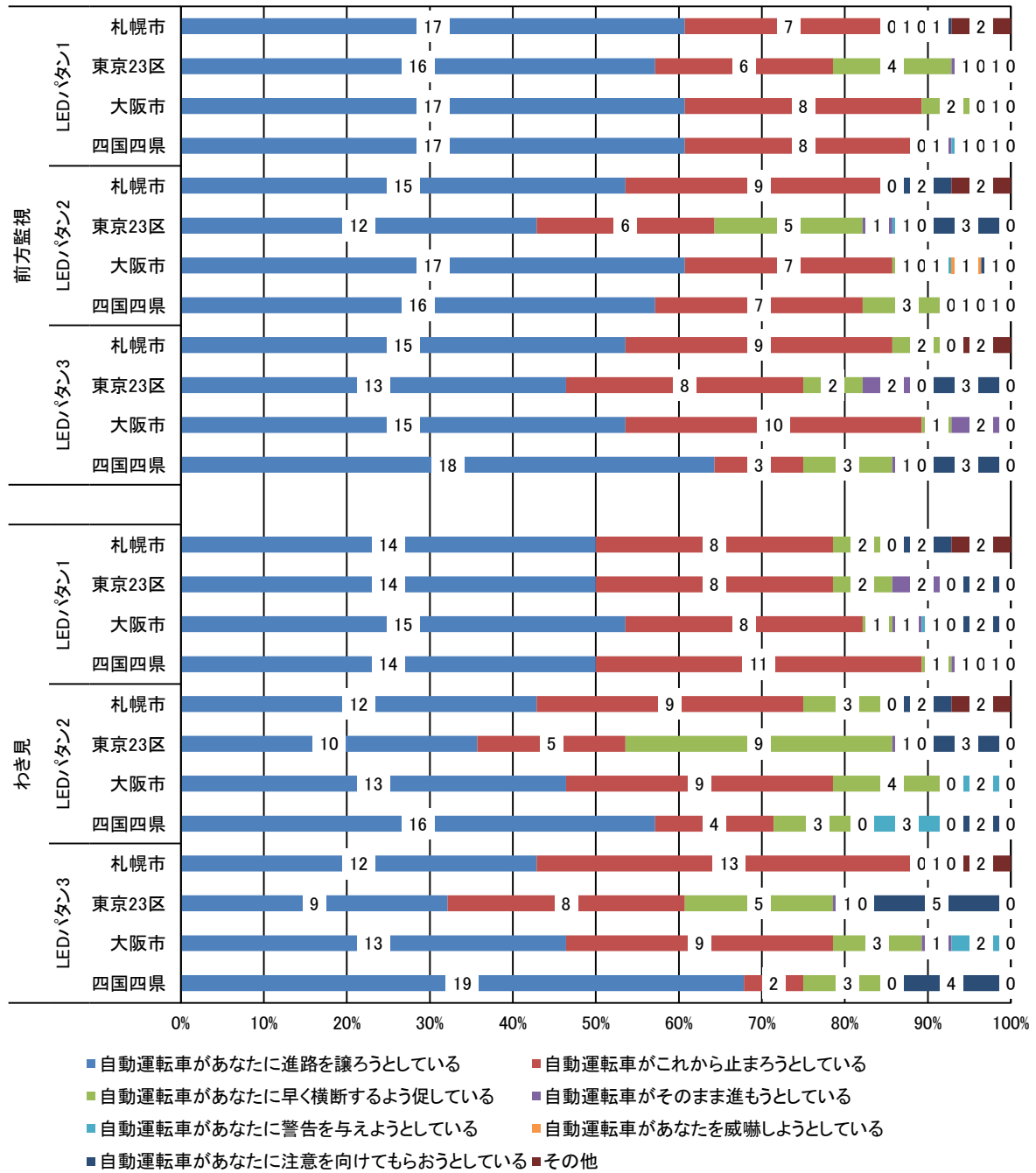


図 5-183 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識（高齢者・運転免許所有）

高齢者(免許なし)

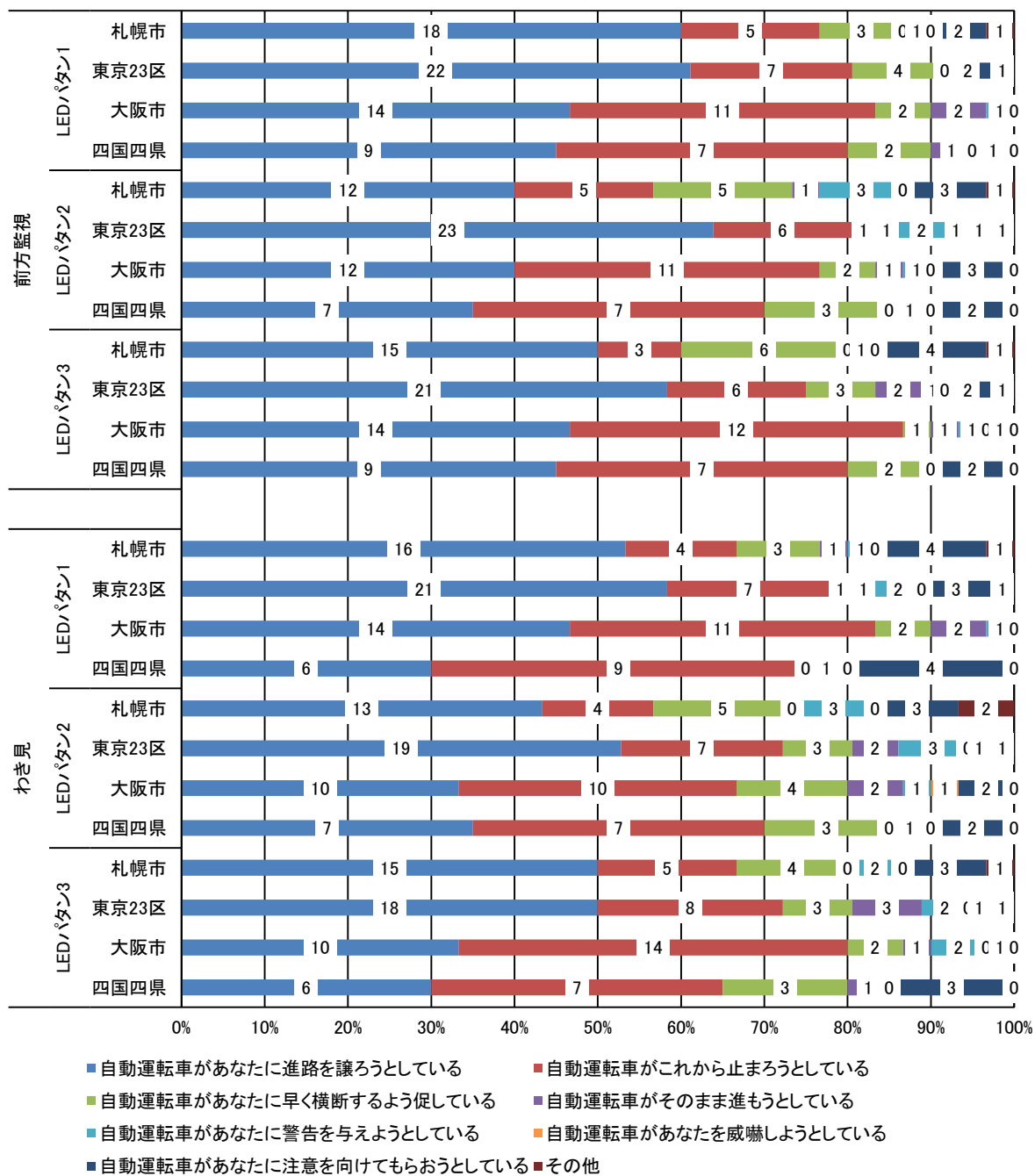


図 5-184 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (高齢者・運転非免許所有)

非高齢(免許あり)・安全に横断歩道を横断できと思う

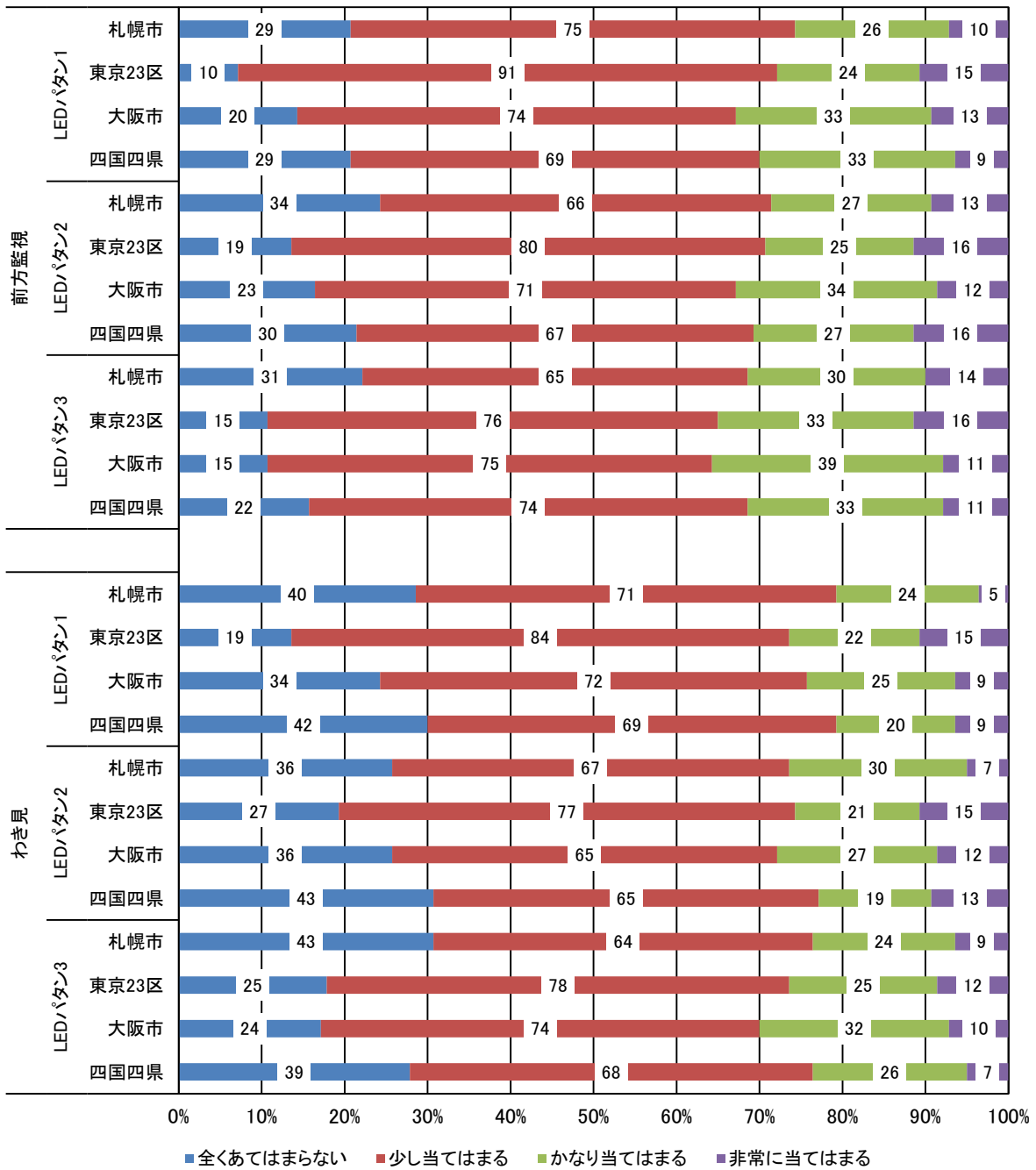


図 5-185 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (非高齢者・運転免許所有)

非高齢(免許なし)・安全に横断歩道を横断できると思う

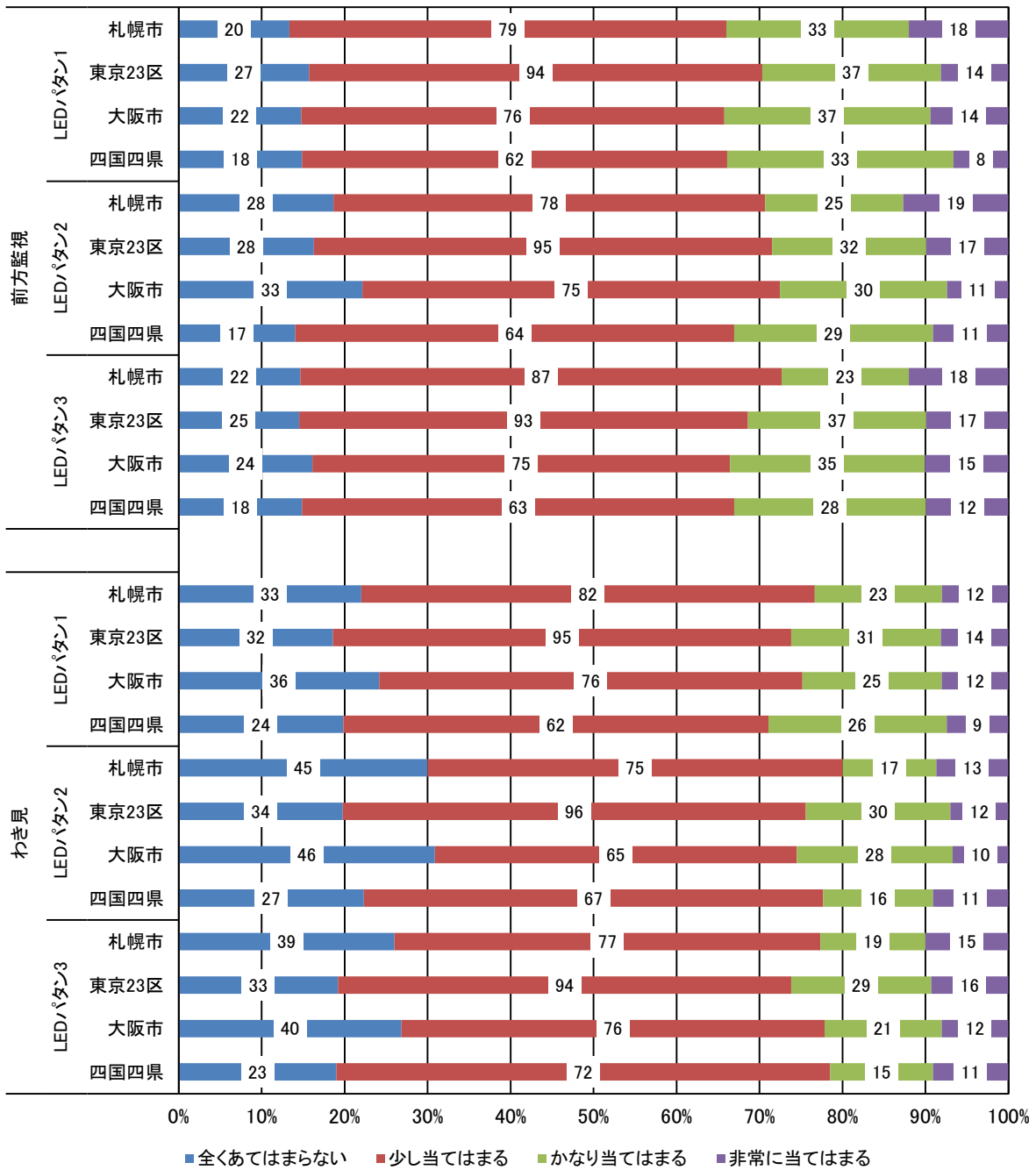


図 5-186 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (非高齢者・運転非免許所有)

高齢者(免許あり)・安全に横断歩道を横断できると思う

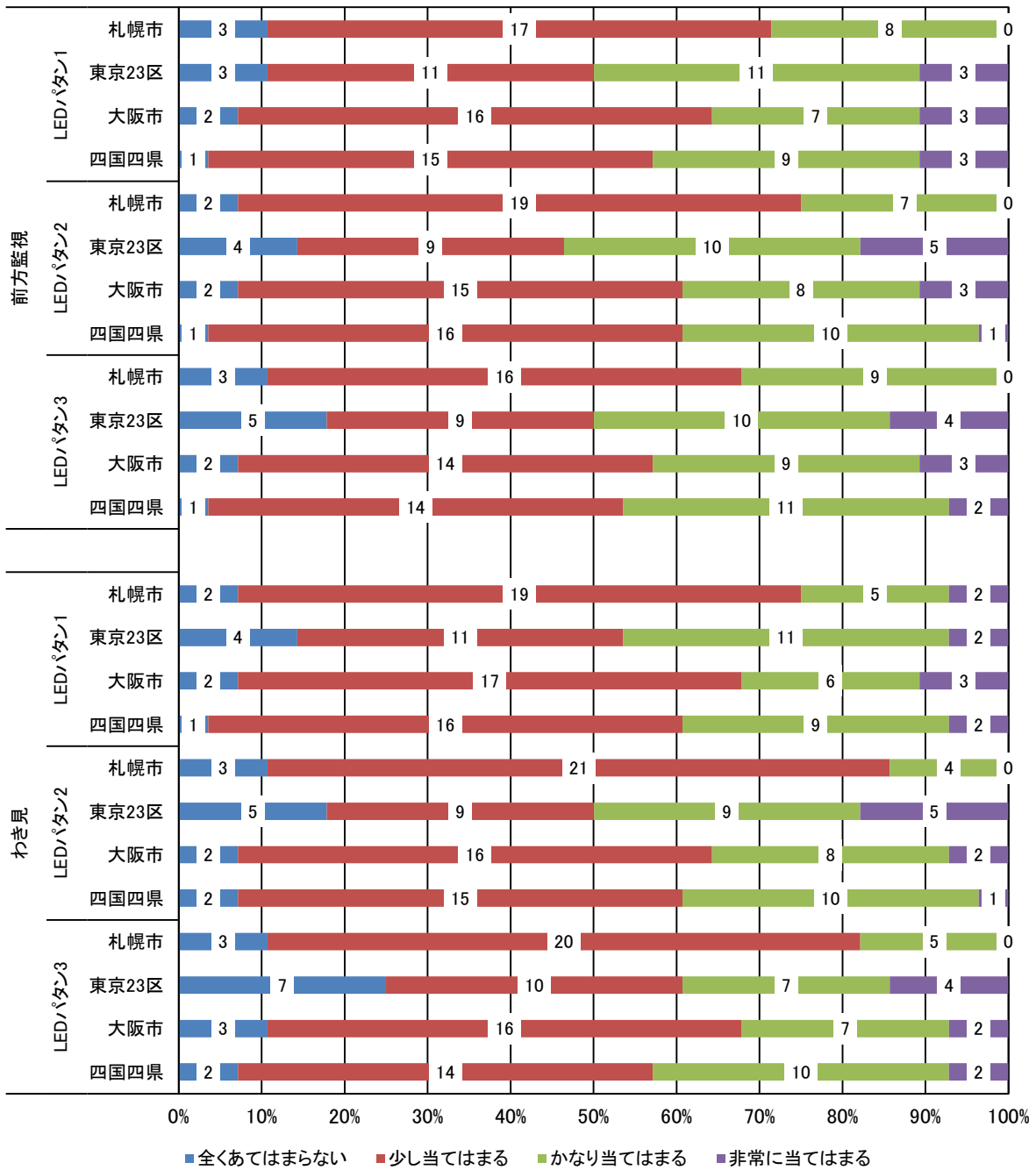


図 5-187 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (高齢者・運転免許所有)

高齢者(免許なし)・安全に横断歩道を横断できると思う

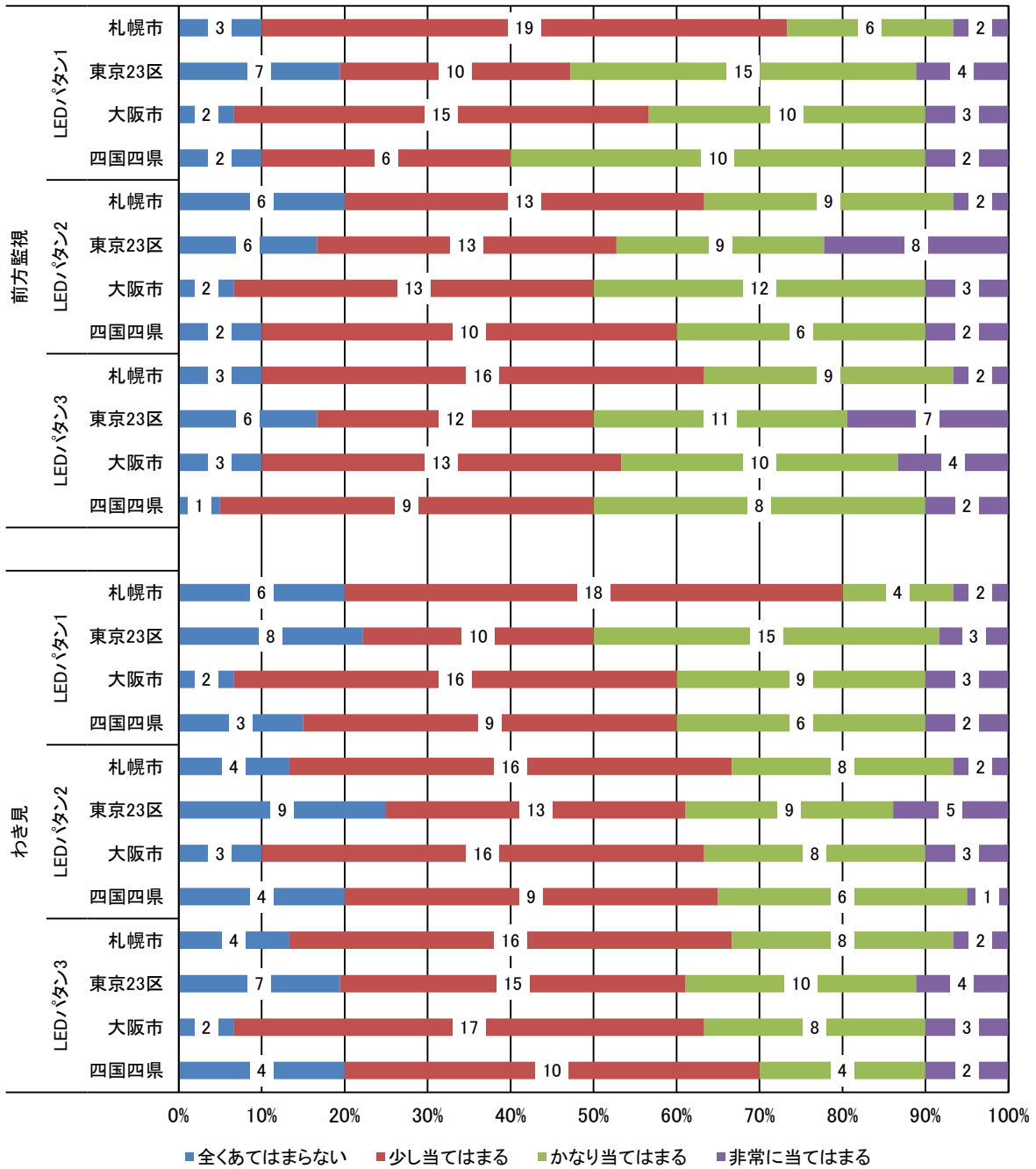


図 5-188 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (高齢者・運転免許非所有)

非高齢(免許あり)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

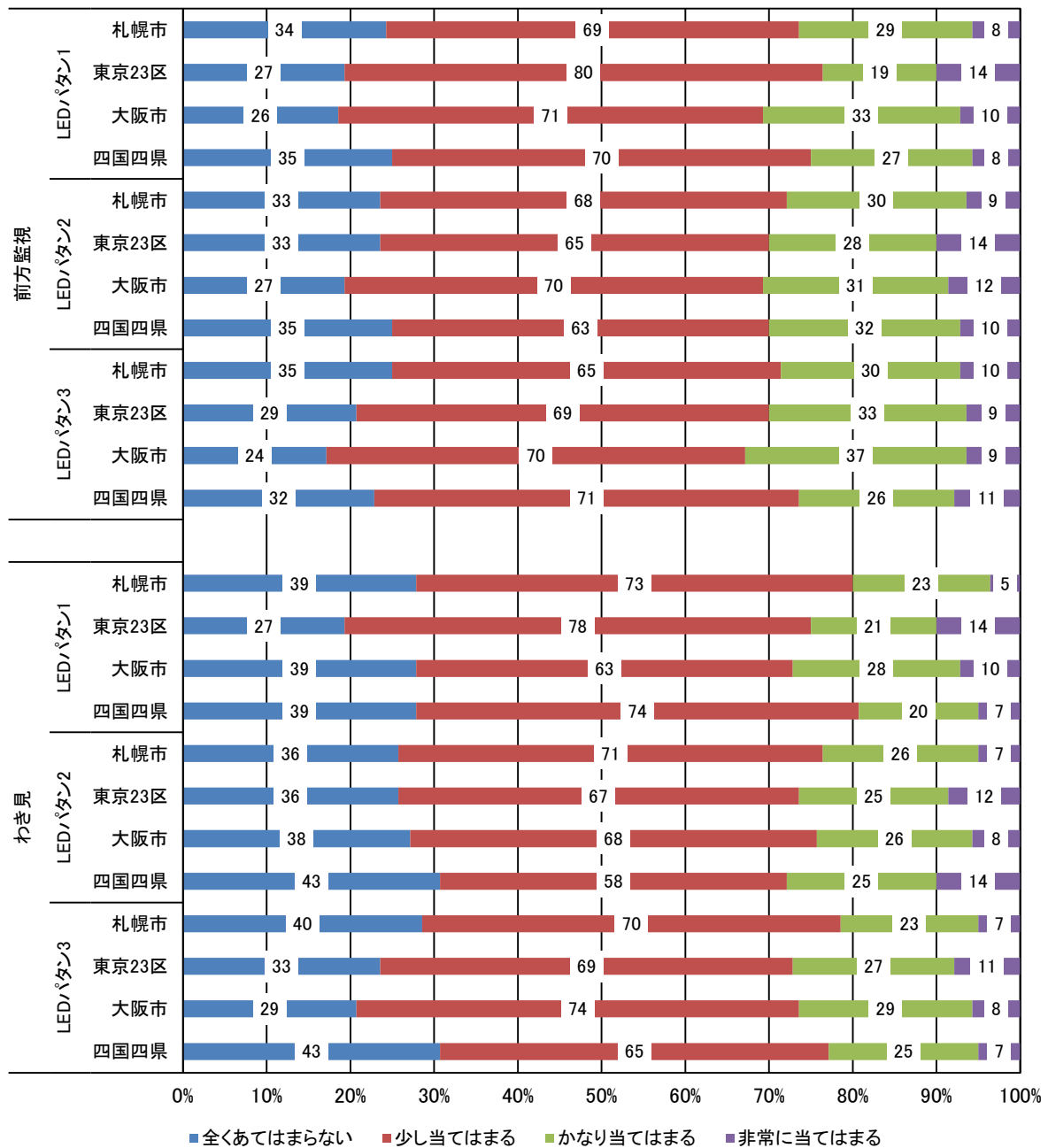


図 5-189 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (非高齢者・運転免許所有)

非高齢(免許なし)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

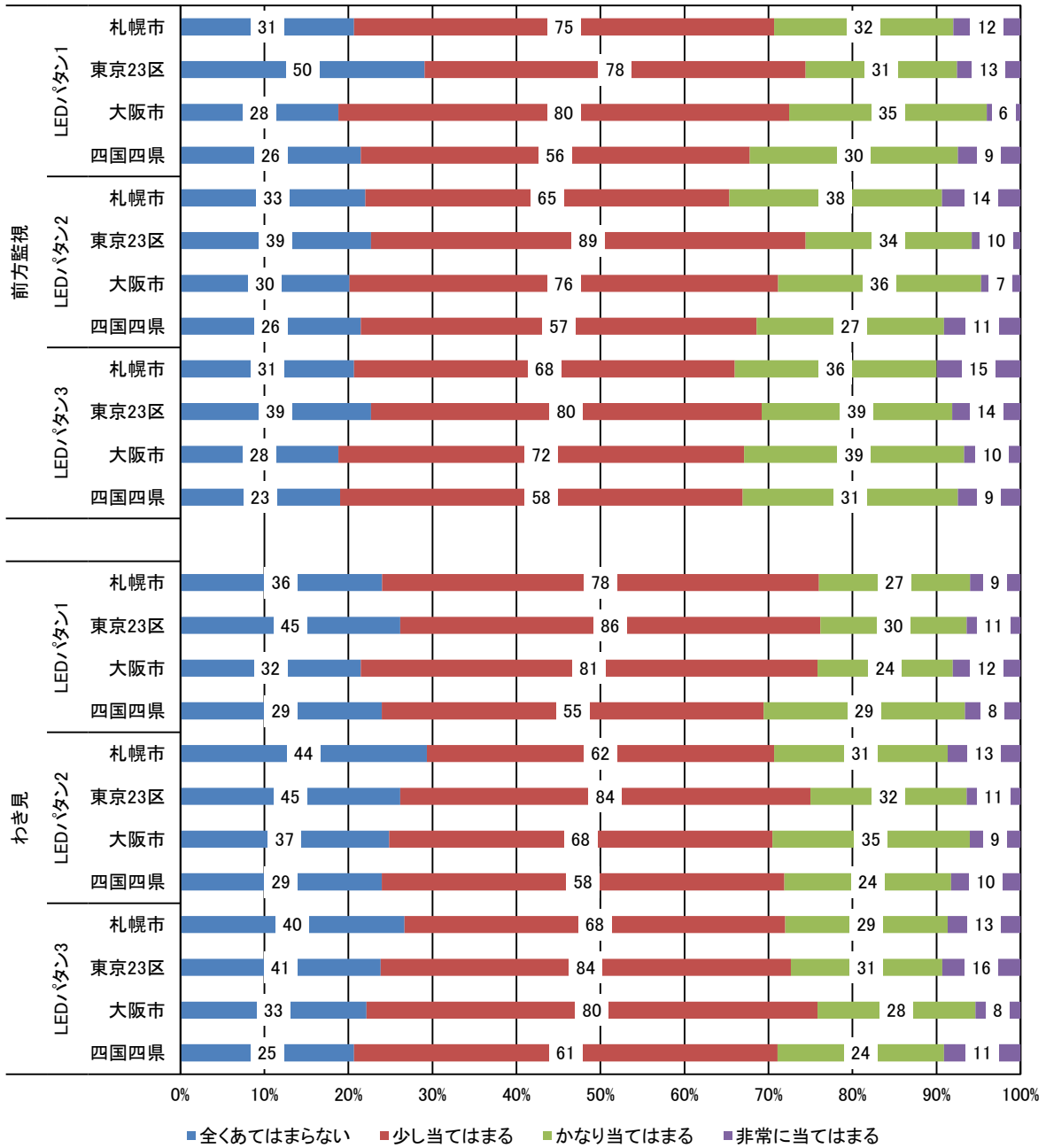


図 5-190 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (非高齢者・運転免許非所有)

高齢者(免許あり)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況判断してくれていると思う

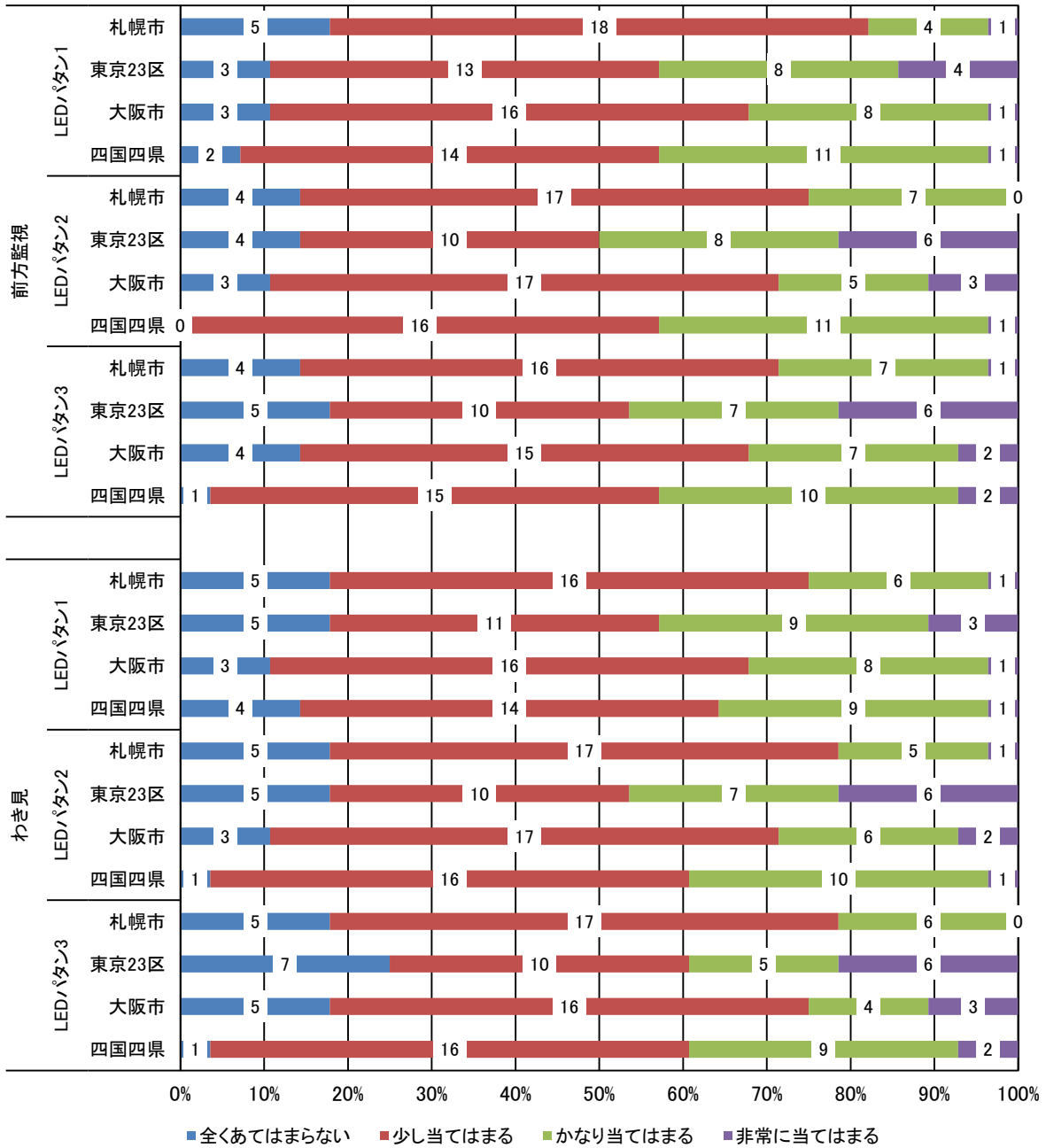


図 5-191 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (高齢者・運転免許所有)

高齢者(免許なし)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

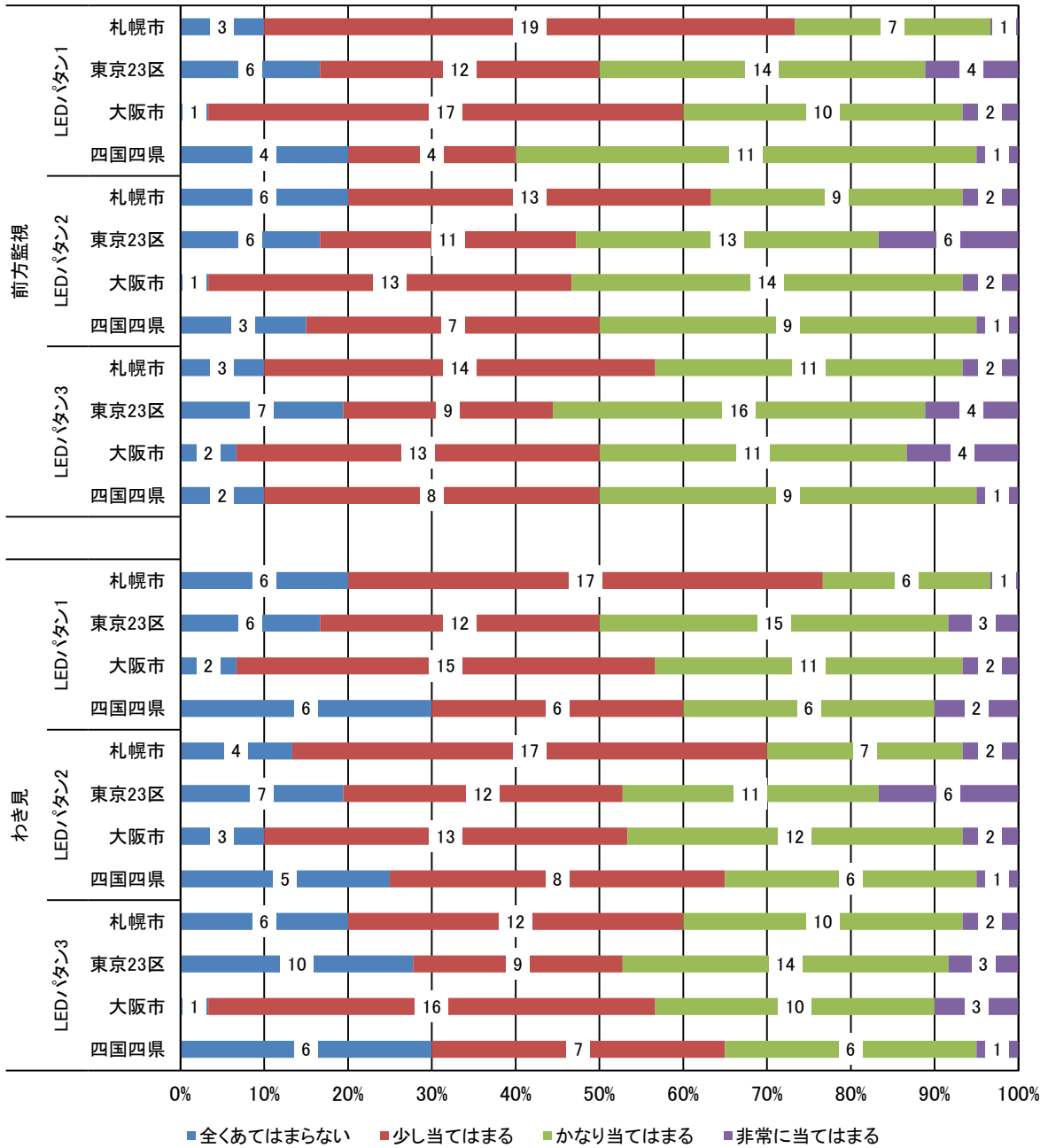


図 5-192 灯火型外向け HMI に対する歩行者の認識 (高齢者・運転免許非所有)

非高齢(免許あり)

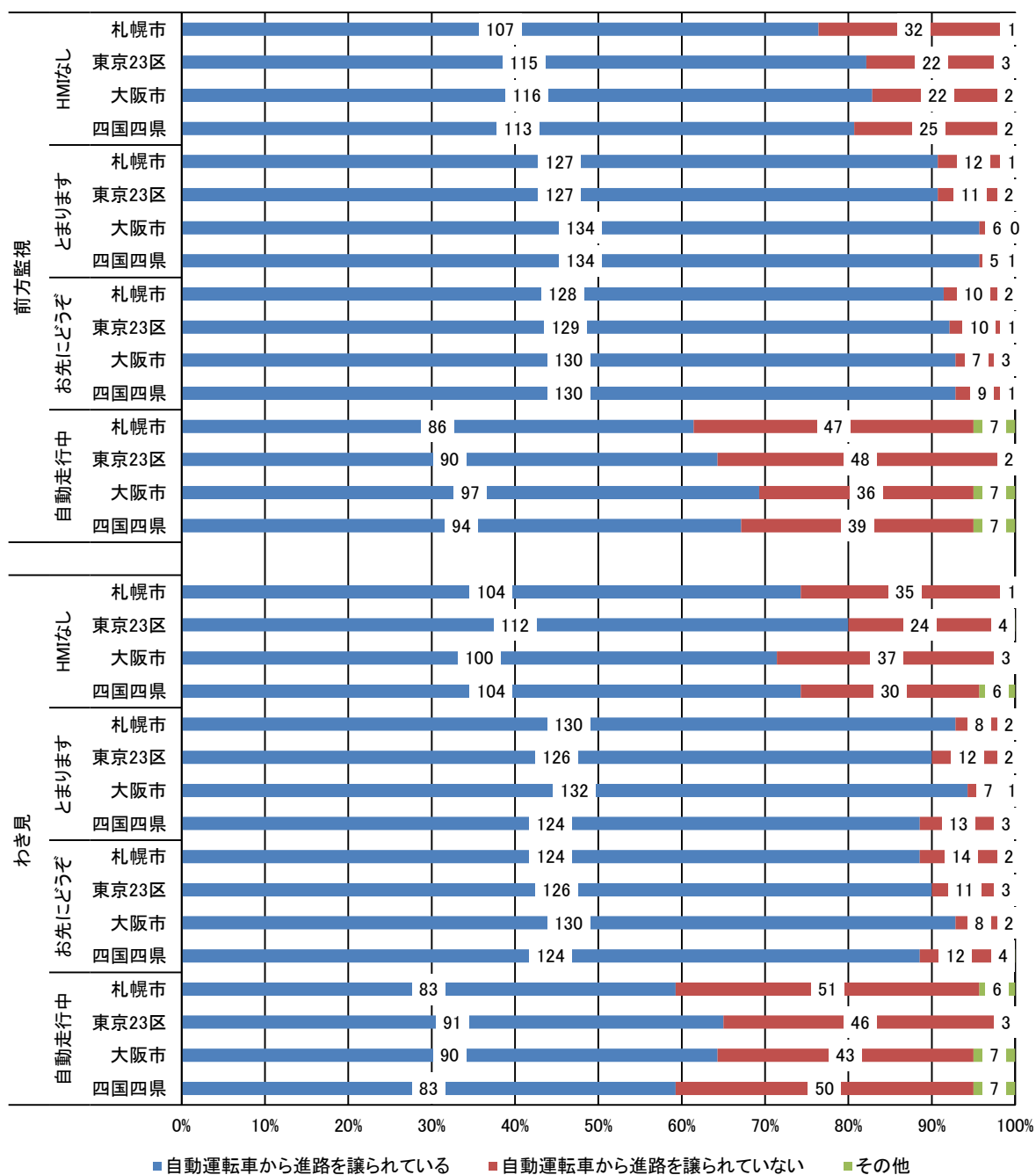


図 5-193 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(非高齢者・運転免許所有)

非高齢(免許なし)

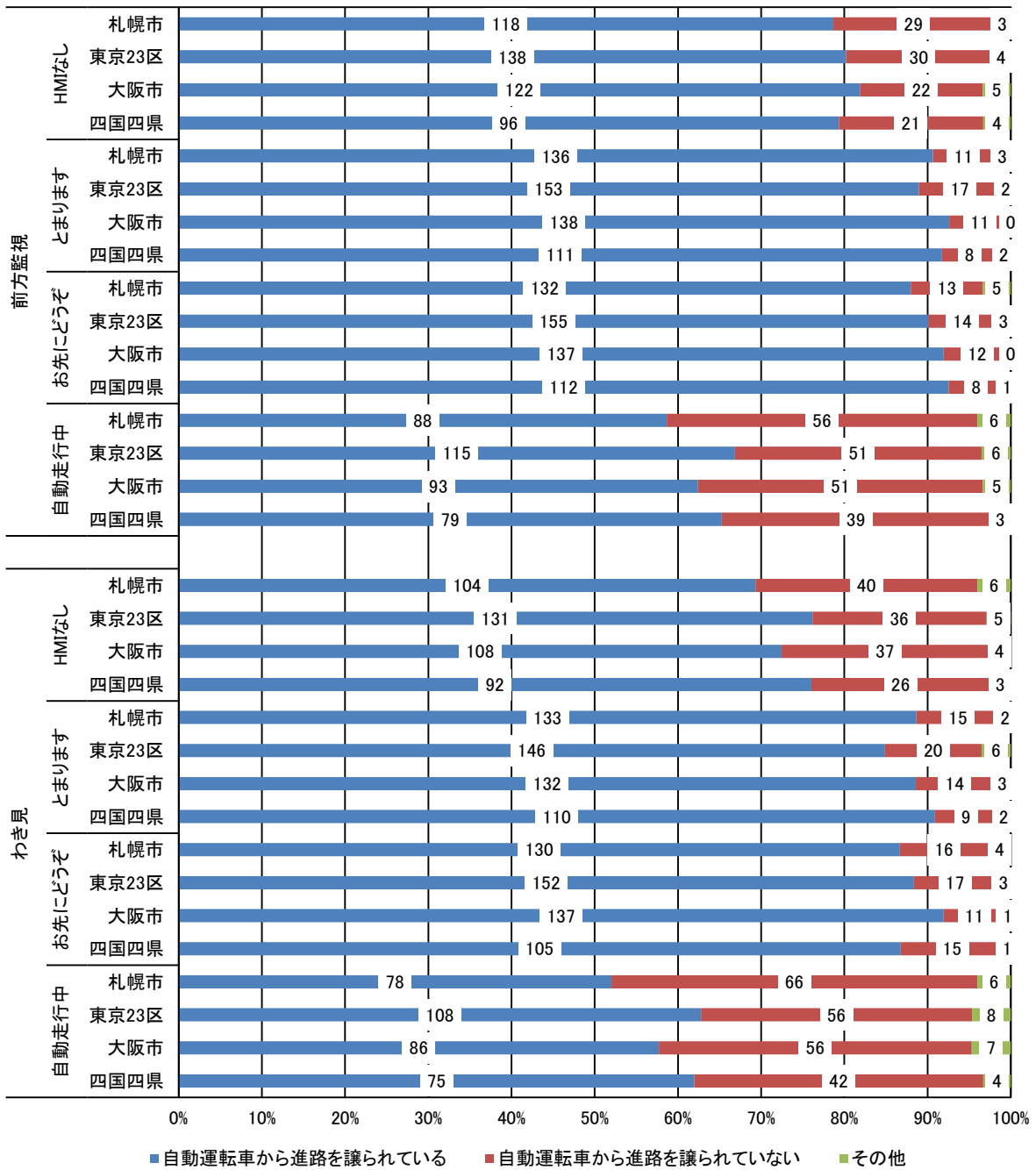


図 5-194 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(非高齢者・運転免許非所有)

高齢者（免許あり）

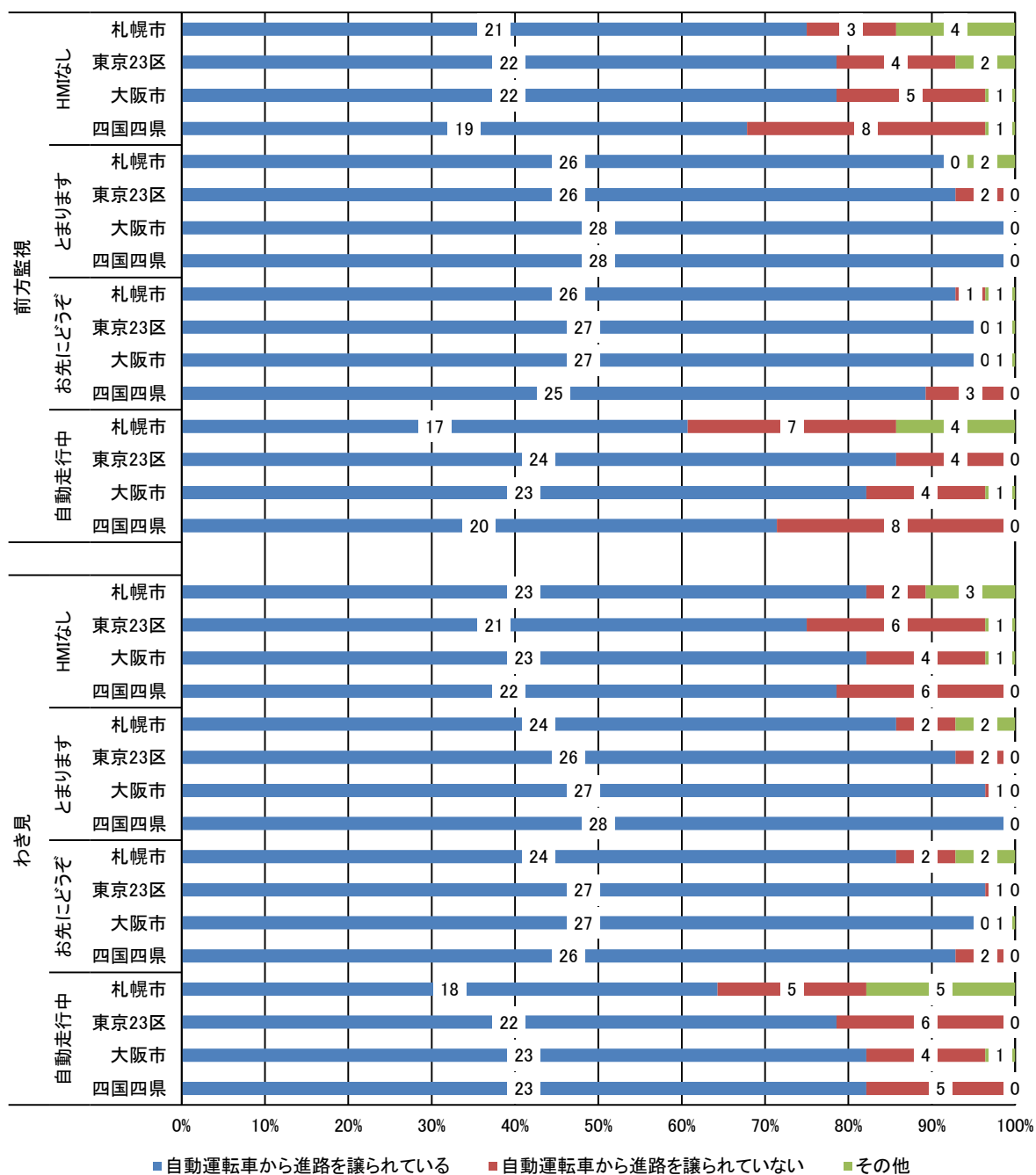


図 5-195 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(高齢者・運転免許所有)

高齢者(免許なし)

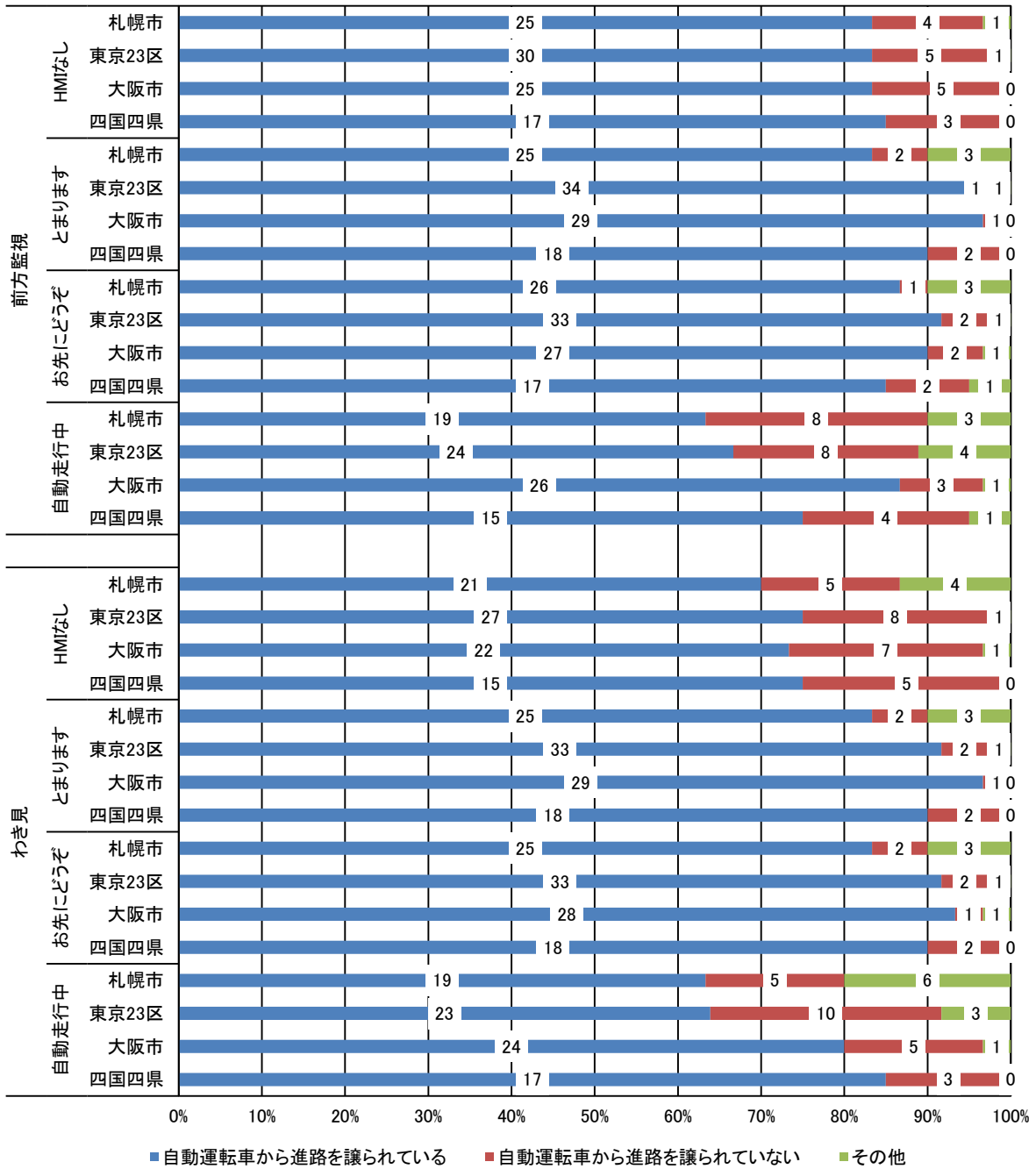


図 5-196 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(高齢者・運転免許非所有)

非高齢(免許あり)・安全に横断歩道を横断できると思う

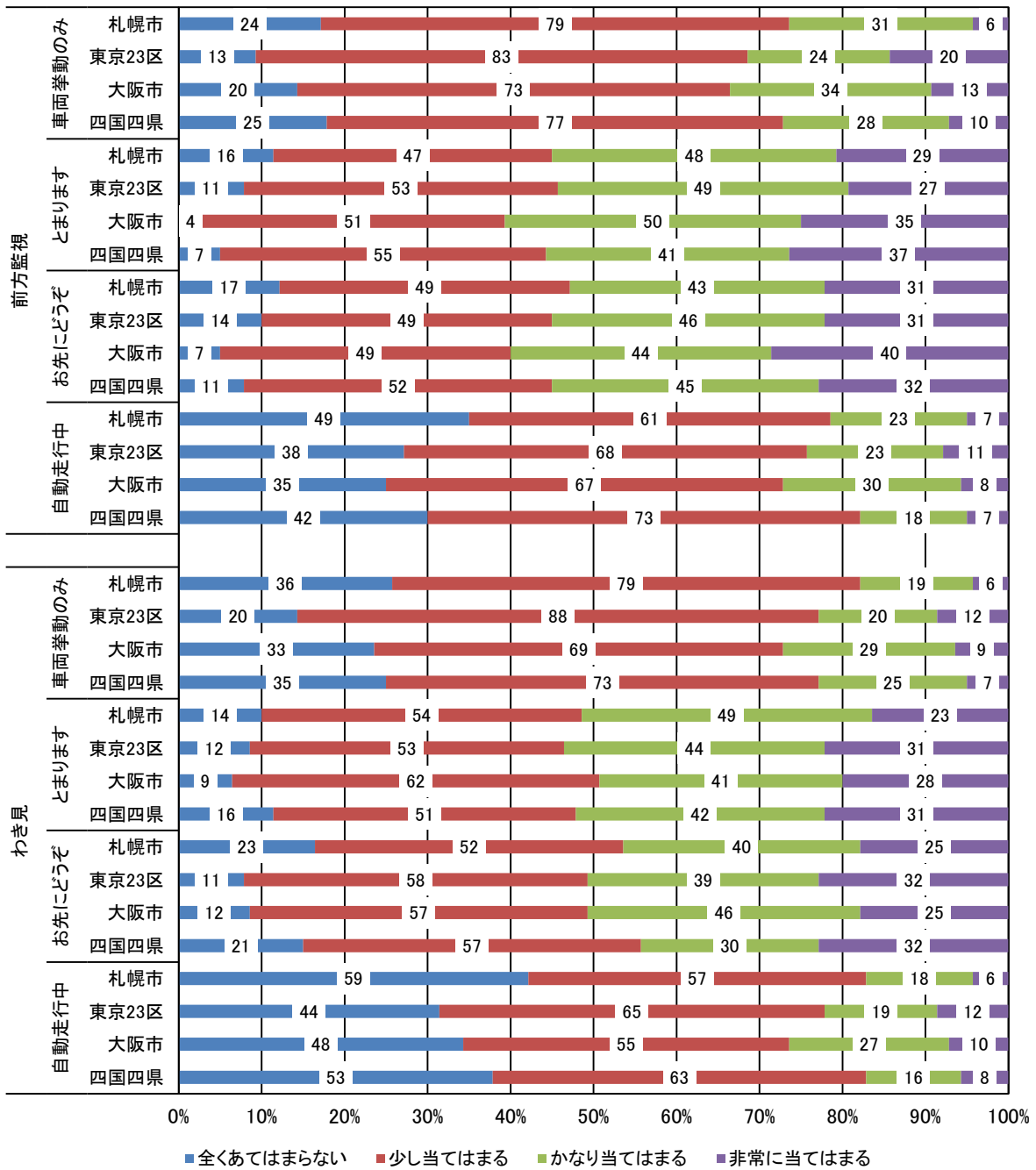


図 5-197 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(非高齢者・運転免許所有)

非高齢(免許なし)・安全に横断歩道を横断できると思う

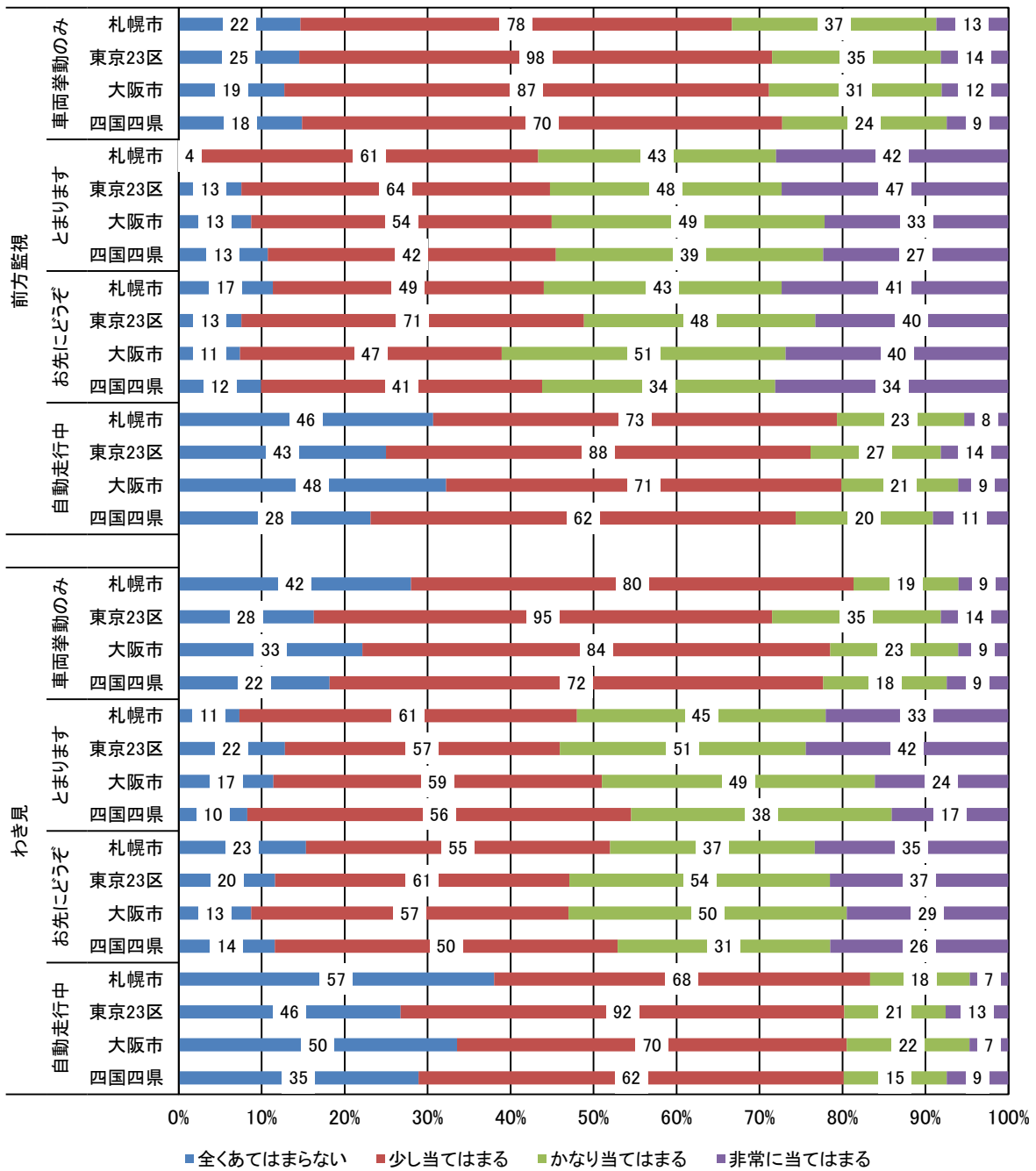


図 5-198 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(非高齢者・運転免許非所有)

高齢者(免許あり)・安全に横断歩道を横断できると思う

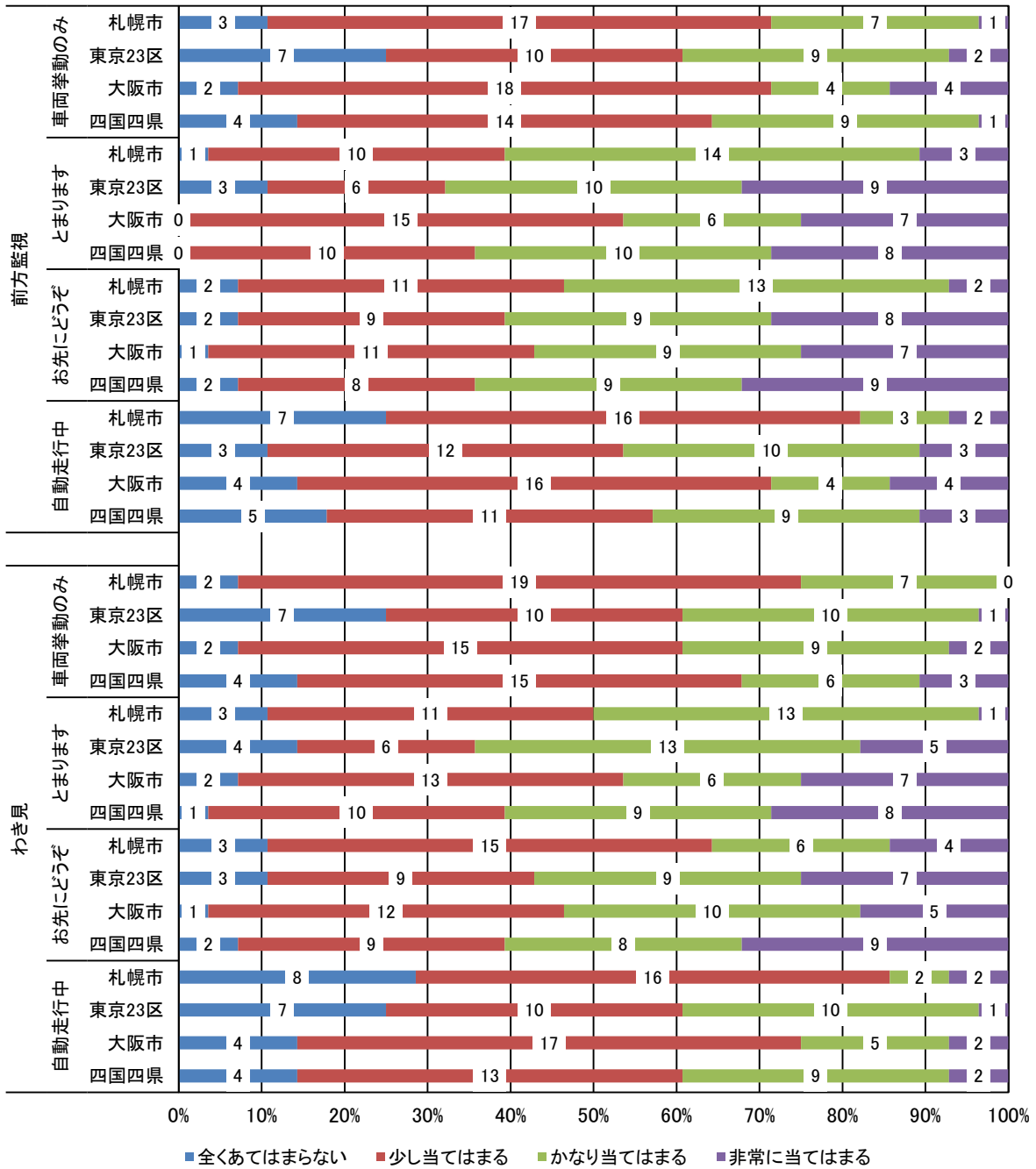


図 5-199 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(高齢者・運転免許所有)

高齢者(免許なし)・安全に横断歩道を横断できると思う

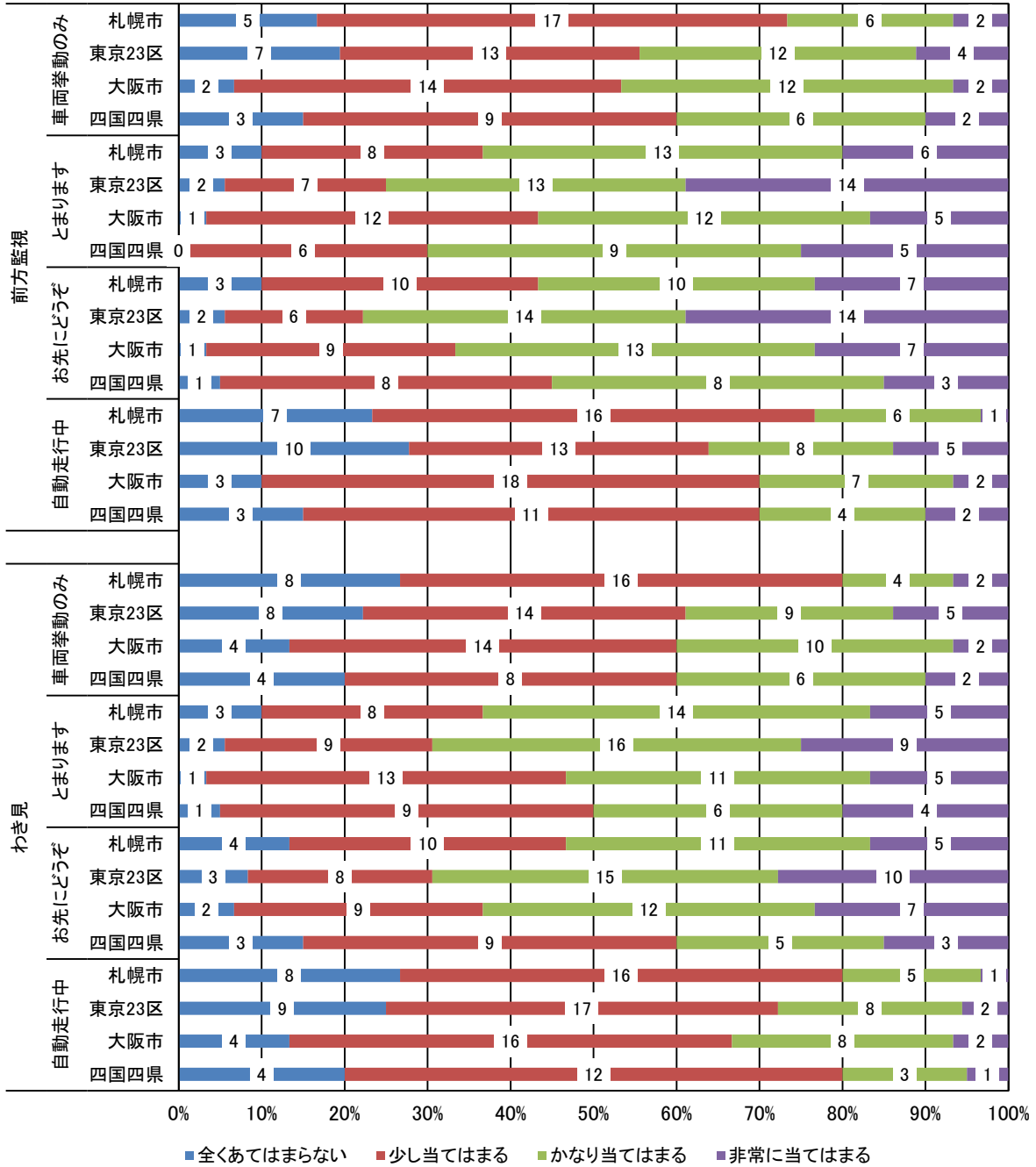


図 5-200 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(高齢者・運転免許非所有)

非高齢(免許あり)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

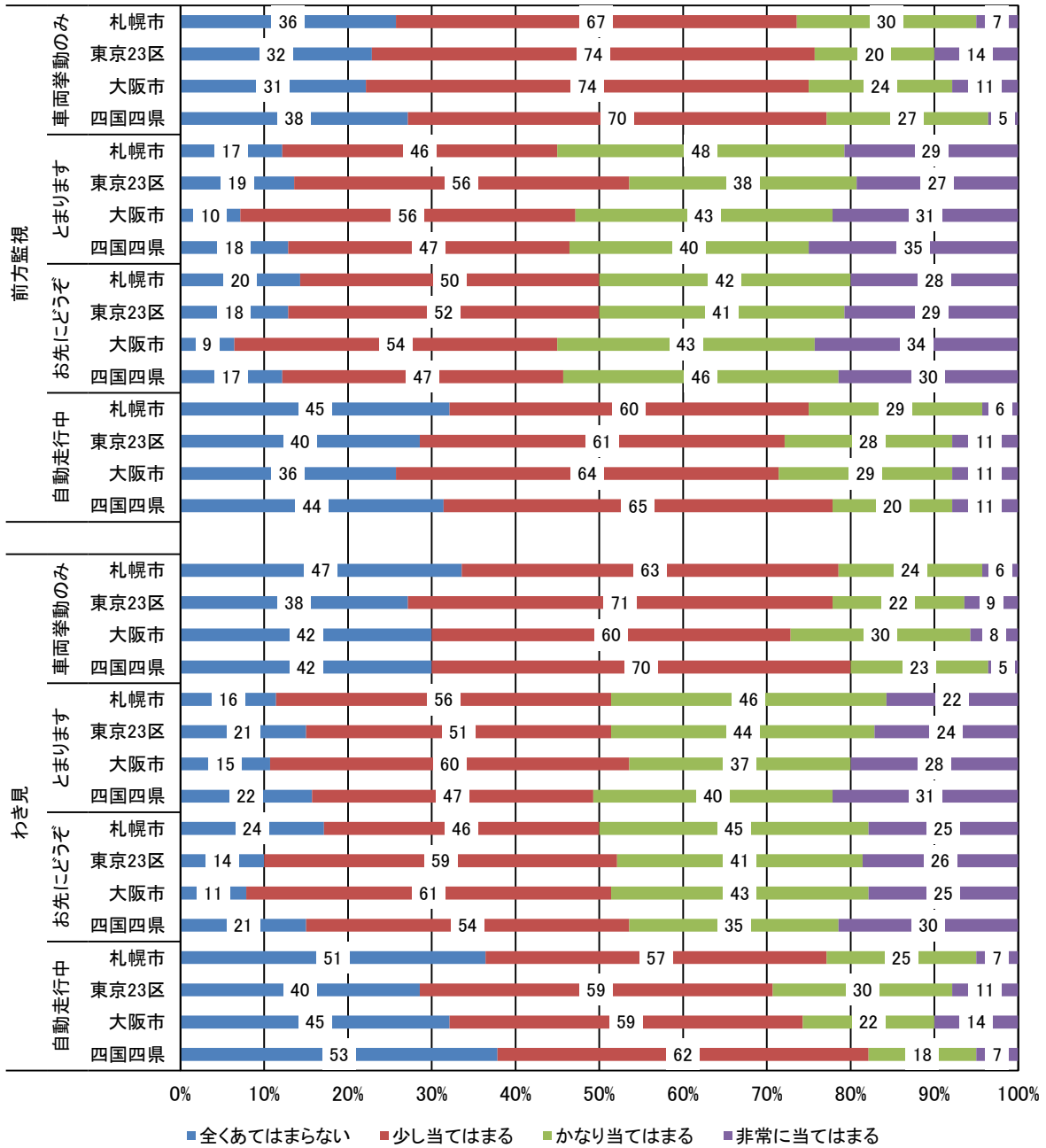


図 5-201 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(非高齢者・運転免許所有)

非高齢(免許なし)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

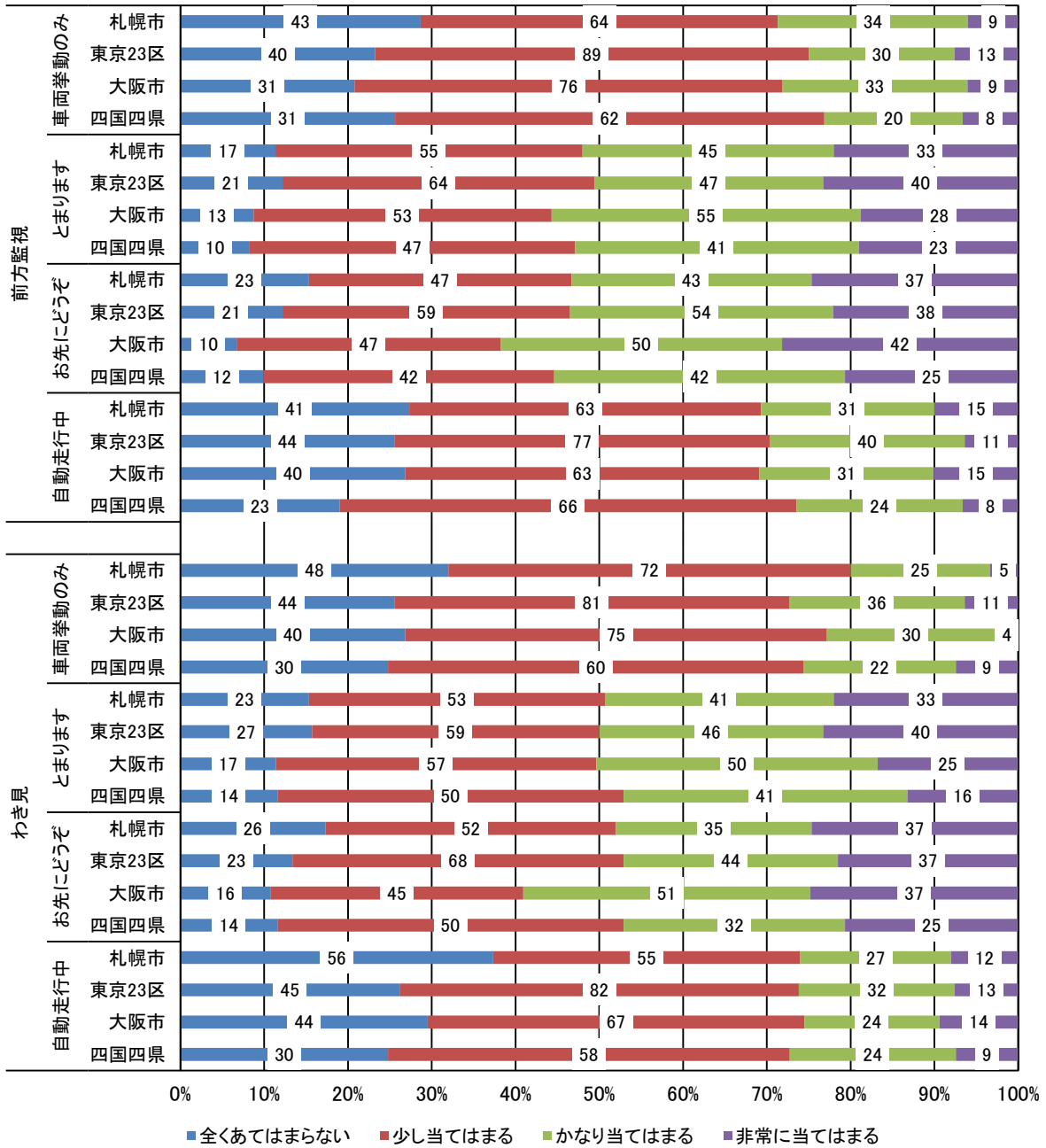


図 5-202 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(非高齢者・運転免許非所有)

高齢者(免許あり)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

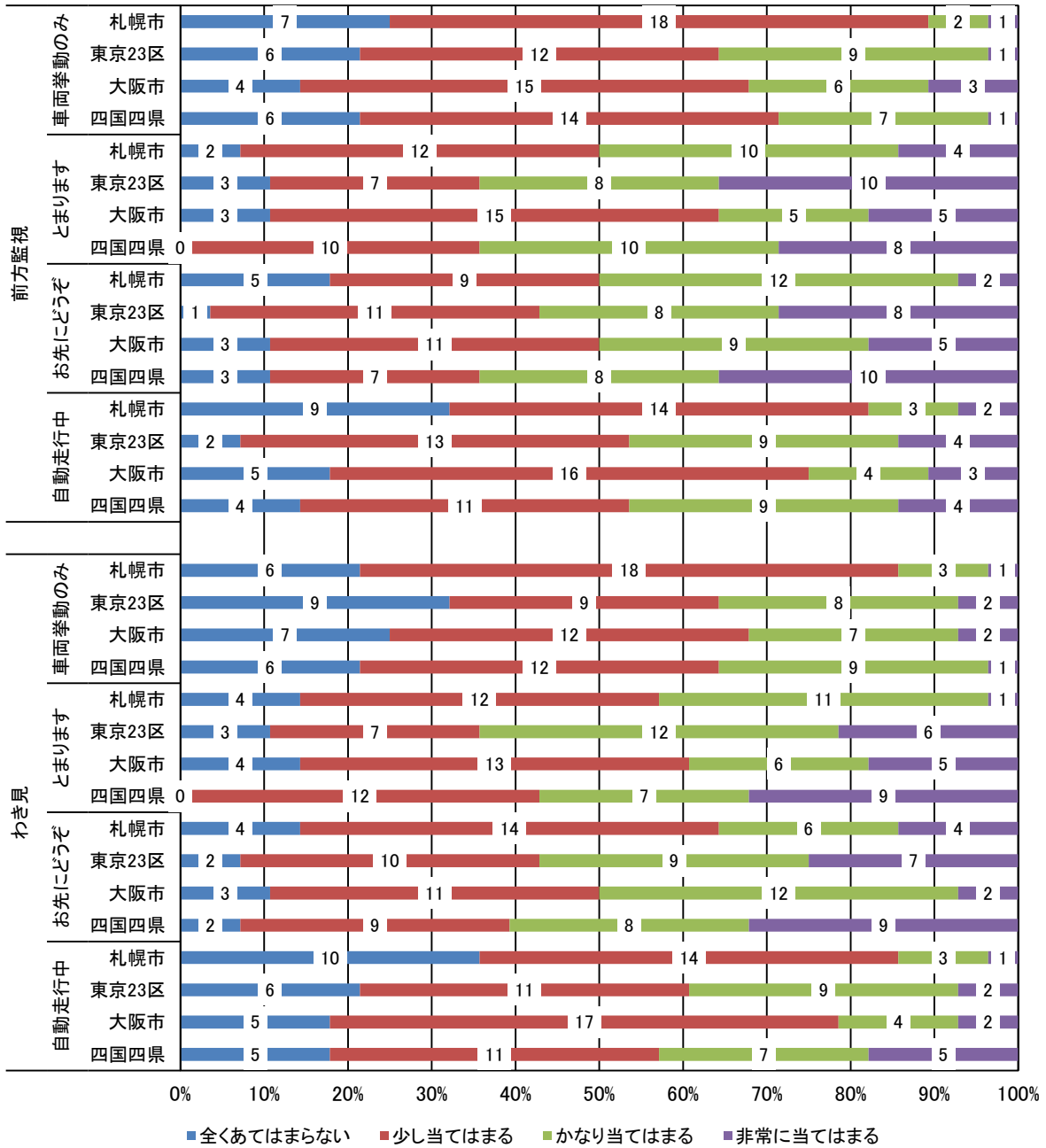


図 5-203 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(高齢者・運転免許所有)

高齢者(免許なし)・自分の代わりに自動運転車が周囲状況を判断してくれている
と思う

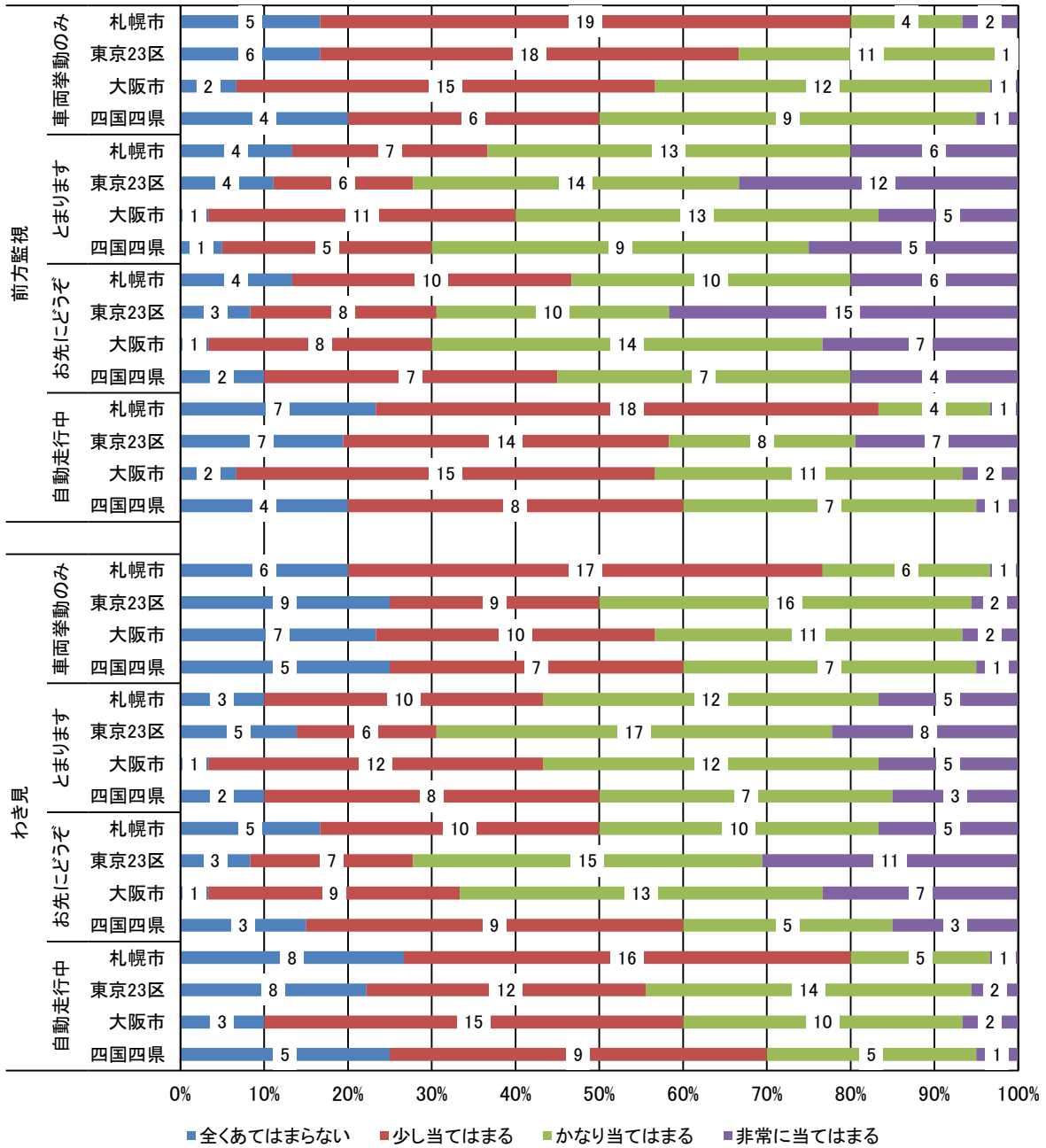


図 5-204 テキスト表示型外向け HMI に対する歩行者の認識
(高齢者・運転免許非所有)

5.12.4. 本調査のまとめ

本調査では、低速走行する自動運転車から外向け HMI を利用して意図や状態の伝達、ならびに、自動運転車のドライバーの状態（前方監視、わき見）が、自動運転車への歩行者の認識や判断に及ぼす影響について、地域性や歩行者の属性に基づいて検討するための Web 調査を実施した。Web 調査を通じて以下の結果が得られた。

- 外向け HMI による譲りや停止の意図伝達は歩行者に横断時の安心を高められる傾向があることが確認された。
- 特定の灯火パターンに対する解釈が地域や属性で一部異なる傾向がみられ、地域性や属性の考慮した上で灯火パターンを設計する必要があることが示唆された。
- テキスト型による特定の意図伝達は、高齢者に対して周囲確認を自動運転車に依存させてしまう傾向あることが確認され、外向け HMI に対して過度に依存させないコンテンツや運用が必要である。

5.13. 課題 C の平成 30 年度のまとめ

実験 C-5-1 では、一般道を低速走行する自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションを対象として、自動運転車を想定した実験車両にテキスト表示型外向け HMI ならびに灯火型外向け HMI を装備して試験走路実験を実施し、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設計の要件や推奨項目、留意事項等について検討した。その結果、自動運転車に外向け HMI を実装することで、低速走行時においても歩行者に対して早いタイミングでの横断判断を促せ、判断時の確信や安心を高められる可能性が示唆された。一方、低速走行時を対象にした場合、非優先側ドライバーに対しては早いタイミングでの進行判断を必ずしも促せるとは限らない結果となったが、判断時の確信や安心を高められる可能性は歩行者の場合と同様に示唆された。

実験 C-5-2 では、一般道を低速走行する自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションを対象として、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を利用した実験を行い、外向け HMI を利用して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際の負の影響について検討した。その結果、歩行者や非優先ドライバーの違いに関わりなく、外向け HMI のコンテンツに依存して他の交通参加者の周囲への確認行動が変容し、特に「お先にどうぞ」など譲りの意図を伝達した際に、確認行動が不十分となり、他

の交通参加者とのニアミスや接触などを誘発する可能性が示唆された。

実験 C-5-3 では、一般道を低速走行する自動運転車と歩行者とのコミュニケーションを対象として、自動運転を表明する実験車両を一般道にて低速走行させて、自動運転の表明と自動運転車のドライバーの前方監視状態が横断歩道を横断しようとする歩行者の心理面に与える影響を検討した。その結果、歩行者は減速挙動のほかにドライバーのアイコンタクトや身振りなどを手掛かりに進路を譲られているかどうかを判断しており、減速挙動が十分であっても、ドライバーから視線が向けられていない状況やドライバーが運転操作に関係のない作業に集中している状況に対しては、横断に関する判断の確信が低下し、不安が増加することが確認され、自動運転車の意図や運行の状態を表明するためのコミュニケーション手段が必要であることが確認された。

実験 C-6 では、自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションに対する地域性や属性の影響について、ヘッドマウントディスプレイを利用した実験を行い、外向け HMI を利用した自動運転車からの意図や状態の伝達に関する日英間での比較を実施した。その結果、英国の歩行者や非優先側ドライバーは日本と比較して、早いタイミングでの横断判断や進行判断を行う傾向が示唆された。本実験を通じて、HMD を利用した実験方法を利用することで自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションに関する心理面や判断面での分析・評価がある程度実施できる可能性が示唆された。また日本国内を対象とした地域性や属性の違いが外向け HMI を利用した自動運転車と歩行者とのコミュニケーションに与える影響について動画像を利用した Web 調査を実施した。Web 調査の結果、地域性と属性の組合せによって灯火型外向け HMI の一部の灯火パターンに対する解釈が異なる傾向がみられ、またテキスト表示型外向け HMI の「自動運転中」に対する解釈に地域性と属性による交互作用が存在する可能性が示唆される結果となった。

5.14. 課題 C の平成 30 年度の Recommendation (成果の活用)

低速走行する自動運転車と他の交通参加との間で適切なコミュニケーションを図るために、コミュニケーション手法の設計に関して以下に留意する。

- 低速走行する自動運転車からの譲り意図をドライバーや歩行者に認識させるには、減速挙動等が十分に活用できないことから、外向け HMI を利用した譲り意図や停止意図の表明が有用であり、外向け HMI を活用する

ことで歩行者は早いタイミングでの横断判断を行え、行動判断を確信させることが可能となる。

- 低速走行の状態であっても、外向け HMI を利用して「自動運転中」などの自動運転車の運行状態を他の交通参加者に伝達しても、車両挙動や意図伝達をドライバーや歩行者が予想できず、自動運転車の意図に対するドライバーや歩行者の認識を阻害する。
- 灯火を伴う外向け HMI を活用するには、灯火の意味に関する事前学習や教育が必要であるが、伝達する意図や状態の種類が多いと、ドライバーや歩行者が十分に対応することができず、伝達する意図や状態の種類については精査が必要となる。

自動運転車・歩行者間コミュニケーションを評価するために、交通行動の安全性、対象者の安心、交通の円滑化などの評価指標を自動車技術会のヒューマンインタフェース分科会より ISO/TC22/SC39 に提案・推奨する予定である。

5.15. 課題 C 参考文献

- [1] VIVE, “ベースステーションを設置する際のヒント”,
https://www.vive.com/jp/support/vive/category_howto/tips-for-setting-up-the-base-stations.html, (参照: 2018/12/14)
- [2] Liu, Y., & Tung, Y., “Risk analysis of pedestrians’ road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed”, *Safety Science*, Vol.63, pp.77–82, 2014
- [3] Messing, R., & Durgin, F. H., “Distance Perception and the Visual Horizon in Head-Mounted Displays”, *ACM Transactions on Applied Perception*, Vol.2(3), pp.234–250, 2005
- [4] Siegel, Z. D., Kelly, J. W., & Cherep, L. A., “Rescaling of Perceived Space Transfers Across Virtual Environments”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.43(10), pp.1805–1814, 2017

-
-
- [5] Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., Thompson, W. B., Nash, N., & McCardell, M., “Egocentric distance perception in the Oculus Rift (DK2)”, Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception, pp.47–50, 2015
- [6] BBC NEWS, “HTC reveals virtual reality headset with Valve at MWC”, <https://www.bbc.com/news/technology-31664948>, (参照：2018/12/13)
- [7] Mogura VR, “VR デバイス「HTC Vive」徹底解説”, <https://www.moguravr.com/htc-vive-kaisetsu>, (参照：2018/12/13)
- [8] Steam, “htc vive developer edition”, http://media.steampowered.com/apps/steamvr/vr_setup.pdf, (参照：2018/12/15)
- [9] Deb, S., Carruth, D. W., Sween, R., Strawderman, L., & Garrison, T. M., “Efficacy of virtual reality in pedestrian safety research”, Applied Ergonomics, Vol.65, pp.449–460, 2017
- [10] Fitzpatrick, K., Brewer, M., Turner, S., “Another look at pedestrian walking speed”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol.1982(1), pp.21-29, 2006
- [11] Knoblauch, R., Pietrucha, M., Nitzburg, M., “Field studies of pedestrian walking speed and start-up time”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol.1538(1), pp.27-38, 1996
- [12] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, “官民 ITS 構想・ロードマップ 2018”, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryoku9.pdf>, (参照：2018/12/28)
- [13] Oxley, J.A., Ihsen, E., Fildes, B.N., Charlton, J.L., Day, R.H., “Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians”, Accid. Anal. Prev., Vol.37(5), pp.962–971, 2005
-
-

[14] Kadali, B. R., & Vedagiri, P., "Proactive pedestrian safety evaluation at unprotected mid-block crosswalk locations under mixed traffic conditions", *Safety Science*, Vol.89, pp.94–105, 2016

[15] L. J. M. R. Gordon Simpson, "An investigation of road crossing in a virtual environment", *Accid. Anal. Prev.*, Vol.35(5), pp.787-796, 2003.

[16] 内閣府, "平成 28 年交通安全白書(全文)",
http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h28kou_haku/zenbun/index.html, (参照:
2019/02/06)

6. ガイドライン化・国際標準に向けた活動

TR21959 Road vehicles : Human Performance and State in the Context of Automated Driving: Part 1-Common Underling Concept (自動運転中のドライバー状態および運転パフォーマンス:共通基盤概念) を日本主導で作成し技術文書として、2018年11月に発行した。この文書においては、本研究開発の成果として、実施項目Aに関わる事前知識や各種システム情報、および実施項目Bに関わる各種ドライバー状態や各種パフォーマンス指標を反映し、共通基盤的な概念を整理し、それに係わる用語を定義した。上記文書に加えて、DTR21959 Part 2: Considerations in designing experiments to investigate transition processes の作成作業を始めた。Part 2には実施項目AとBに関わる成果を、RtIの各条件を実験的に取り組む際に考慮すべき要点として反映していく。特に、項目Bで行なった実験手順を標準文書に盛り込む。2018年11月のISO会議からドラフト案を審議し、日本主導で2019年末の発行を目指す。

7. 大規模実証実験（以下参加者実証実験）における参加者との連携及び安全管理

7.1. はじめに

本研究開発における成果物（知見とシステム）を、より実用域に近い環境で検証するために、企業参加による実証実験を実施する。実証実験は公道走行実験とテストコース実験を含む。テストコース実験については、各社が保有する施設等において、各社のレベル3相当の自動運転試作車を用いることにより、より開発に即した実験検証を行った。得られたデータは受託者と参加者間で共有し、各社の開発に役立てるとともに、日本自動車工業会 HMI ガイドライン、国際標準（ISO TC22/SC39）、国連規則（R79）へのインプットとして活用する。

7.2. 平成30年度の実証実験の計画

課題 A、B、C それぞれの実証実験については、各課題で指定された仕様の車両を参加者が準備し、公道（大規模実証実験規定高速道コース）、テストコース（参加各社保有施設または供用施設）または私有地等の閉鎖フィールドの何れかで実験を行う。データの計測装置と収録装置等の汎用装置は、受託者が参加者に貸与する。また一部の課題で受託者が参加者に試作システムを貸与する。

表 7-1 平成 30 年度の参加者実証実験計画における実験項目一覧

実験番号	実験項目	実験目的	方法	評価項目
A-i	システム機能に関するドライバーの知識項目と表現の指針検討(テストコース)	参加者の想定するドライバー知識項目を取り上げ、平成 29 年度の成果となる指針に基づいた知識の与え方を参加者にて作成し、検証する。	参加者の SAE レベル 3 相当機能を有する実車(レベル 2or3)でテストコース実験を行い、指針に基づいた知識の与え方の効果を検証する。	RtI 発出もしくは運転介入が必要になってからの運転操作開始までの時間と運転操作のスムーズさ、安全性を評価する。
A-ii	システム状態伝達の HMI 基本要件と妥当性評価(テストコース)	平成 29 年度の成果となるシステム状態表示の HMI 試作を用いて、仮設を設定し、その検証を行う。	参加者の用意する実車(レベル 2or3)によりテストコース実験を行い、試作をしたシステム状態表示 HMI が運転行動にもたらす影響を調べる。	RtI 発出もしくは運転介入が必要になってからの運転操作開始までの時間と運転操作のスムーズさ、安全性を評価する。
A-iii	システム状態の動的情報に関する指針検討(テストコース)	平成 29 年度の実験を通じて明確化されたコンテンツ要素に着目し、その要素を含む HMI の試作を参加者にて行い、主にテストコース実験にて効果の検証を行う。	参加者が試作した HMI を、自動運転を模擬できる車両(レベル 2or3)に搭載し、テストコース実験を行い、その HMI がドライバーの運転行動にもたらす影響を調べる。	RtI 発出もしくは運転介入が必要になってからの運転操作開始までの時間と運転操作のスムーズさ、安全性を評価する。
B-ii	ドライバーモニタリングシステム(DMS)の開発(テストコース)	統制されたドライバー状態と DMS 出力値、および運転引継ぎパフォーマンスの関係；H28 年度 DS 実験の実車版。	DMS を貸与して実車(レベル 2or3)に搭載し、テストコース走行実験を行う。	統制された各種ドライバー状態における Readiness 計測値と運転引継ぎパフォーマンスの評価。
B-iv	Readiness を維持するための HMI 基本要件の策定(テストコース)	DMS 出力値における Readiness を維持するための HMI の効果	DMS、Readiness を維持するための HMI を貸与して実車(レベル 2or3)に搭載し、テストコース走行実験を行う。	各種 HMI による Readiness の変化を計測し効果を評価する。
C-iv	外向け HMI を用いたコミュニケーションの地域性調査(クローズドエリアもしくは試験走路)	外向け HMI および自動運転車であることを周囲に表明する外向け HMI を車両に実装し、実証実験を通じてその影響を検証する。	車-車コミュニケーション実験(無信号交差点にて自動運転車からの発信情報を被験者がどのようにして受信しているかを閉鎖フィールド内で観察)。一般車両。 車-歩行者コミュニケーション実験(無信号横断歩道にて自動運転車からの発信情報を被験者がどのようにして受信しているかを閉鎖フィールド内観察)。一般車両。	車-車コミュニケーション実験(譲られている/譲られていないの評価) 車-車コミュニケーション実験(横断可能/横断不可能の評価)

7.3. 平成 30 年度の参加者実証実験の実施

7.3.1. 参加者募集と実施体制

参加者実証実験を実施するために、参加者の募集段階にて各課題数回の説明会ならびに受託者実験の見学会を開催した。それらを踏まえ、参加企業は実験の参加項目を選択し、実験方法を検討しながら、下記 2 つの実験を実施することとなった。

- 課題 A：システム機能に関するドライバーの知識項目と表現の指針検討
- 課題 B：ドライバーの状態の評価、DMS の車載搭載検討

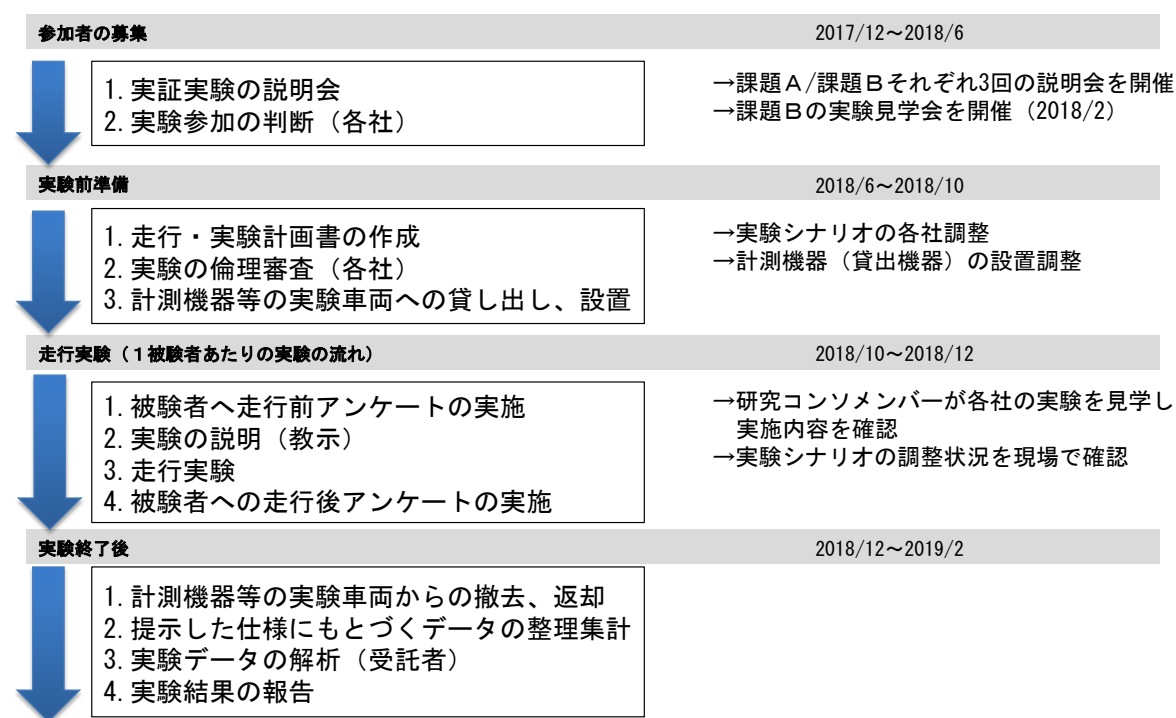


図 7-1 平成 30 年度参加者実証実験の進め方

	実験課題	被験者数	1 被験者あたり 走行時間	被験者 10 名の合計走行時間 (7 時間の TC 利用日数)
課題 A 単独	1 A (事前知識)	条件 2: 5 名以上 条件 4: 5 名以上	30 分	5 時間 (1.5 日)
	2-1 B①意識のわき見	10 名以上	60 分	10 時間 (2 日)
	2-2 B②わき見	10 名以上	60 分	10 時間 (2 日)
課題 B 単独	2-3 B③覚醒度低下	10 名以上	60 分	10 時間 (2 日)
課題 A / B 合同	3-1 A (事前知識) + B①意識のわき見	10 名以上	90 分	15 時間 (2.5 日)
	3-2 A (事前知識) と B②わき見	10 名以上	90 分	15 時間 (2.5 日)
	3-3 A (事前知識) と B③覚醒度低下	10 名以上	90 分	15 時間 (2.5 日)

図 7-2 平成 30 年度参加者実証実験の実施スキーム

実験前準備におけるの実験の実施調整においては、参加する企業の負担（実験日数、被験者の確保など）を軽減することを目的に、課題 A、課題 B の実験を単独で行う方法、合同で行う方法の選択肢を提示した。課題 A 実験では、事前知識の検証を行い、1 被験者あたりの走行時間を 30 分程度とした。課題 B 実験では、ドライバー条件として「意識のわき見」、「わき見」、「覚醒度低下」の 3 つについてそれぞれ 60 分程度の走行時間で検証することとした。

参加者実証実験の安全管理体制（受託ならびに関係者の連絡体制）は、下図の通りとして実施し、参加企業、受託者（研究コンソーシアム：東京都ビジネスサービス(株)）、委託元（NEDO ロボット・AI 部）が緊密に連携する体制にて実施した。

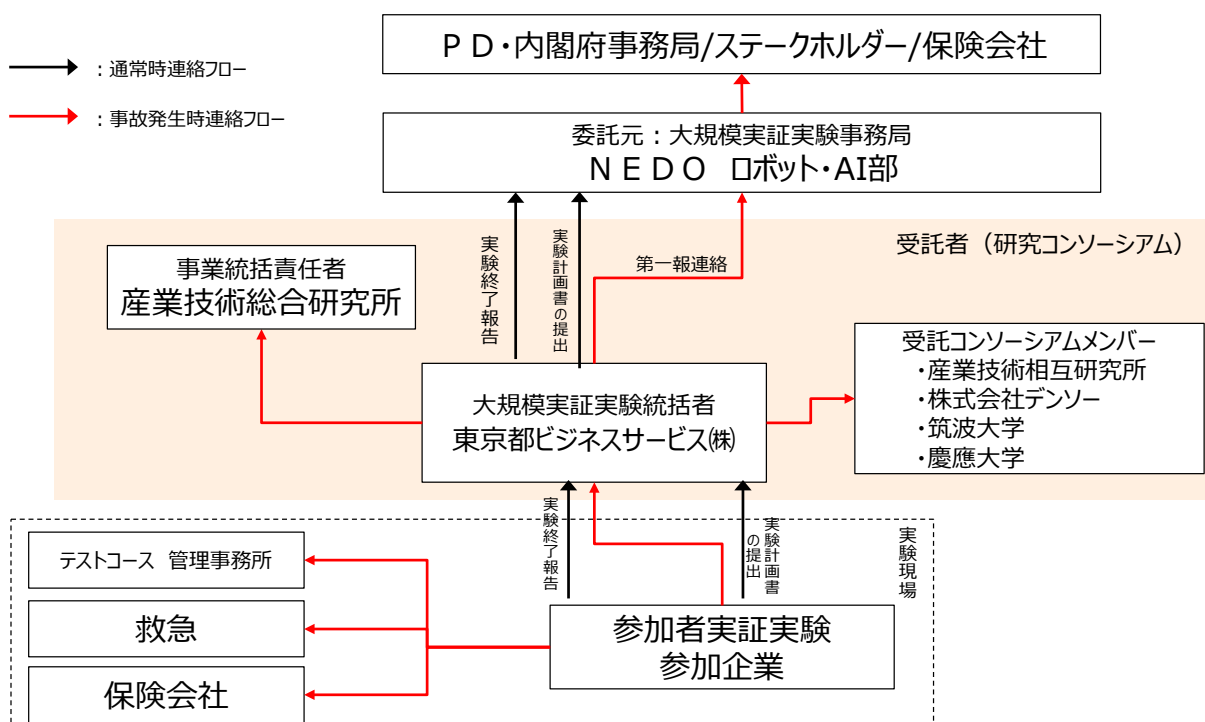


図 7-3 平成 30 年度参加者実証実験の安全管理体制

7.3.2. 目的・実験シナリオについて

【課題 A】

目的は、LV2/LV3 相当の車両にて、ドライバーへのシステム機能に関する教示情報・教示方法と運転引継ぎパフォーマンス（ドライバー挙動と車両挙動）の関係を検証することである。具体的には「運転引継ぎの必要性、RtI 表示の意味、介入が必要な場面例」までを知識として事前に持つことが、適

切な引継ぎのために有用との仮説を検証する。(平成 29 年度までの DS 実験での成果に基づく)

実験シナリオについては、被験者を事前知識の程度の異なる 2 群に分け、低速度域 (時速 30-50km/h 程度) でサブタスク (SuRT) を実施し、同じイベント (前方障害物の回避) で RtI を発生させる (TTC : 6 秒) ものとした。

表 7-2 平成 30 年度の参加者実証実験計画における実験項目一覧

	情報量が少ない群 (条件 2)	情報量が多い群 (条件 4)
共通する教示	<ul style="list-style-type: none"> 実験内容の説明 自動運転についての説明 自動走行システムの使い方 走行中実施してもらうこと 	
RtI の教示	<ul style="list-style-type: none"> 運転引継ぎについて 	<ul style="list-style-type: none"> 運転引継ぎについて 運転引継ぎを要請した時の表示 運転引継ぎが必要な場面

【課題 B】

目的は、LV2/LV3 相当の車両にて、統制されたドライバー状態と DMS 出力値、及び運転引継ぎパフォーマンス (ドライバー挙動と車両挙動) の関係を検証することである。統制されたドライバー状態は、「意識のわき見」、「わき見」、「覚醒度低下」の 3 つを検証する。

実験シナリオについては、統制条件別に下記のシナリオを設定した。

表 7-3 課題 B 参加者実証実験の実験シナリオ

統制条件	走行セッション	計測イベント
意識のわき見 (Nback(2 バック))	手動走行、自動走行のみ、自動走行+サブタスクの 3 セッションを実施	先行車がいる状態で自動走行 (低速度) かつサブタスクを実施し※、前方障害物の回避イベントとして RtI を発生させる (TTC : 6 秒)
わき見 (SuRT(difficult))		
覚醒度低下	手動走行、自動走行のみの 2 セッションを実施	

※覚醒度低下では、サブタスクは実施せず走行開始後 25 分（または同乗者が被験者を観察し、覚醒度が低下していると判断した）時点で RtI を発生させる

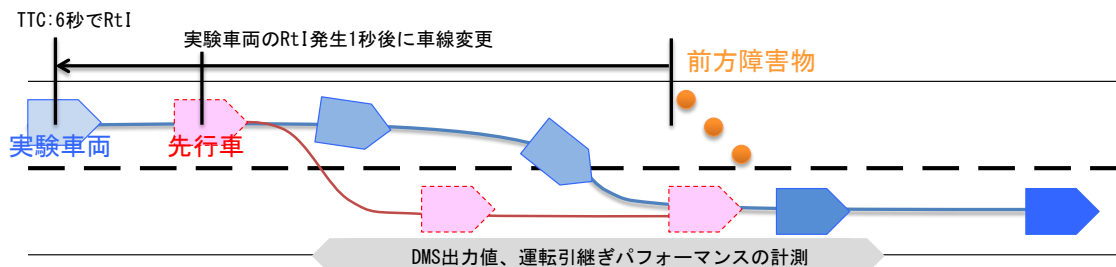


図 7-4 課題 B 参加者実証実験の RtI イベント発生の模式図

7.3.3. 実施概要

表 7-4 平成 30 年度の参加者実証実験の実施概要

※被験者数の () は計画

実験参加者	実験参加項目と被験者数					合計	実験期間・場所	実験車両等
	A課題	B課題			計			
		意識のわき見 (Nback)	わき見 (SuRT)	覚醒度低下				
A社	34人 (20人)	18人 (10人)		16人 (10人)	34人 (20人)	AB合同 68人 (40人)	【実験期間】 2018/11/5-12/11 【実験場所】 自動車安全運転センター 安全 運転中央研修所 (茨城県)	LV3相当 (ハンズ OFF)
B社	20人 (20人)	10人 (10人)	9人 (10人)		19人 (20人)	AB合同 39人 (40人)	【実験期間】 2018/11/21-11/26 【実験場所】 JARI 城里 外周路 (茨城県)	LV2相当 (ハンズ ON)
C社	24人 (20人)		13人 (10人)	12人 (10人)	25人 (20人)	A/B単独 49人 (40人)	【実験期間】 2018/10/1~11/14 【実験場所】 自社TC (静岡県)	LV3相当 (ハンズ OFF)
合計	78人 (60人)	28人 (20人)	22人 (20人)	28人 (20人)	78人 (60人)	156人 (120人)		

平成 30 年度の参加者実証実験は、2018/10～2018/12 にかけて 3 社で実施した。参加した累計被験者数は 156 人となり、課題別でみると A 課題 78 人、B 課題 78 人となった。実験の実施場所としては、2 社が受託者にて準備したテストコース、1 社が自社のテストコースで実験を行った。実験車両について

は、2社がLV3相当のハンズOFF、1社がLV2相当のハンズONにて実験を行った。

7.4. 平成30年度の参加者実証実験のアンケート結果

<参加者（被験者）の属性>

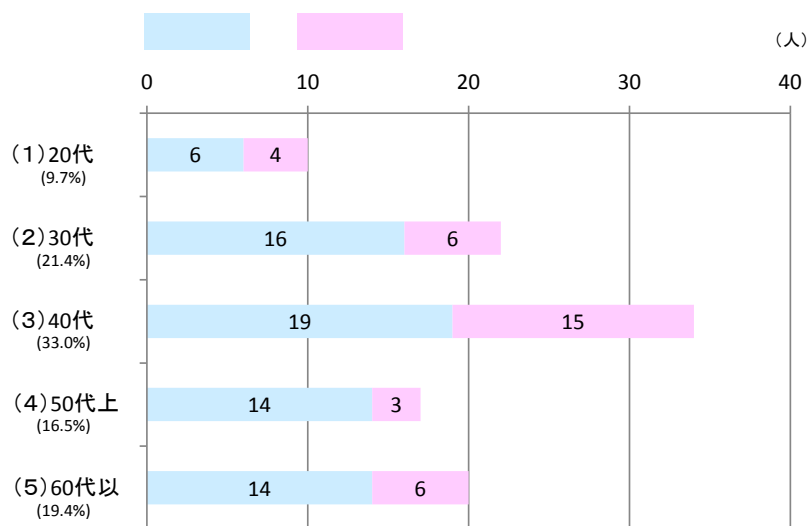


図 7-5 被験者属性（年齢）

参加者実証実験に参加した3社の被験者（n=103）の年代/性別の属性は、図7-5の通りとなっている。40代が34名（33.0%）と最も多く、次いで30代が24名（21.4%）となっている。

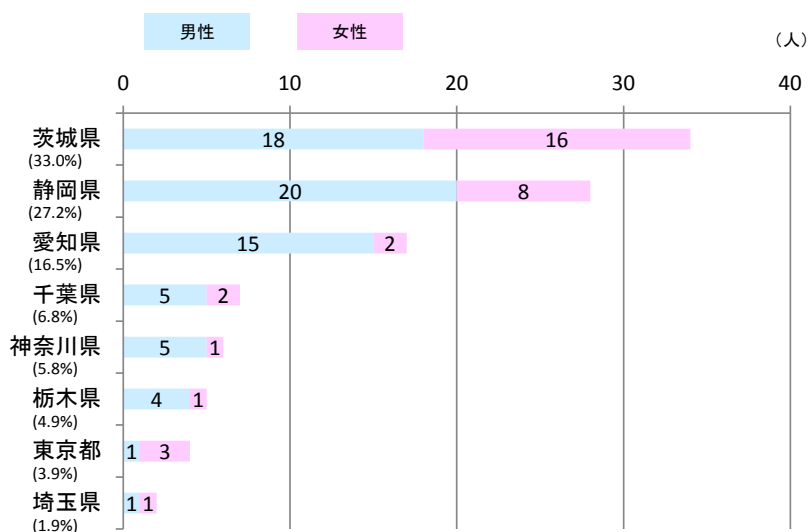


図 7-6 被験者属性（居住地）

被験者（n=103）の居住地/性別の属性は、図 7-6 の通りとなっている。茨城県が 34 名（33.0%）と最も多く、次いで静岡県 28 名（27.2%）となっている。

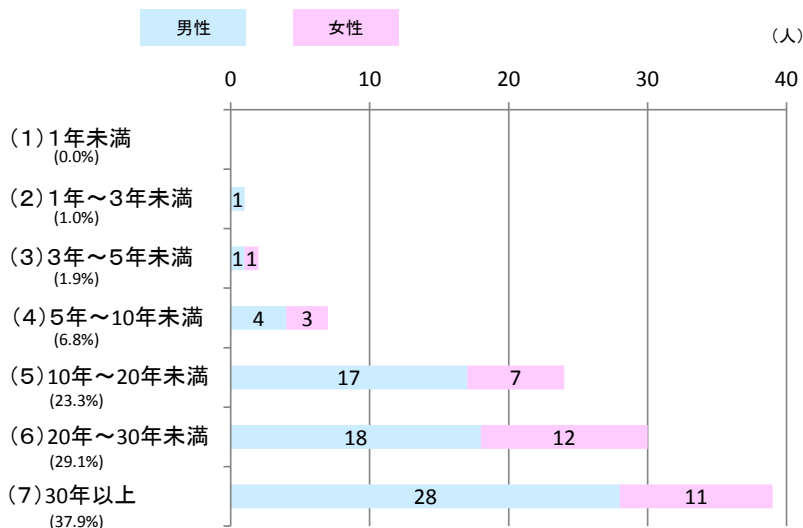


図 7-7 被験者属性（運転免許保有年数）

被験者（n=103）の運転免許保有年数別の属性は、図 7-7 の通りとなっている。30 年以上が 39 名（37.9%）と最も多く、次いで 20 年～30 年未満 30 名（29.1%）となっている。運転免許保有年数では、20 年以上保有している長期間保有被験者が 70% 弱の構成となっていた。

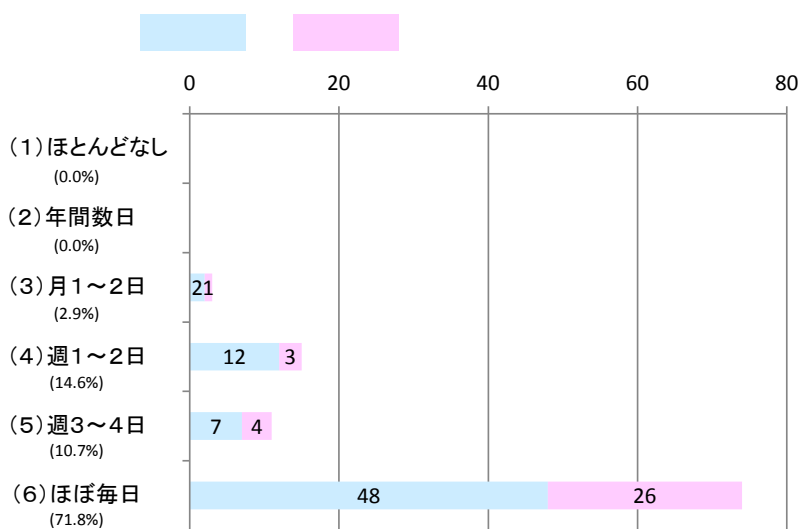


図 7-8 被験者属性（運転頻度）

被験者（n=103）の運転頻度の属性は、図 7-8 の通りとなっている。ほぼ毎日と回答した人が 74 名（71.8%）と最も多く、次いで週 1～2 日 15 名（14.6%）となっている。運転頻度でみると、週に 1 日異常運転している被験者が大多数（95% を超える）の構成となっていた。

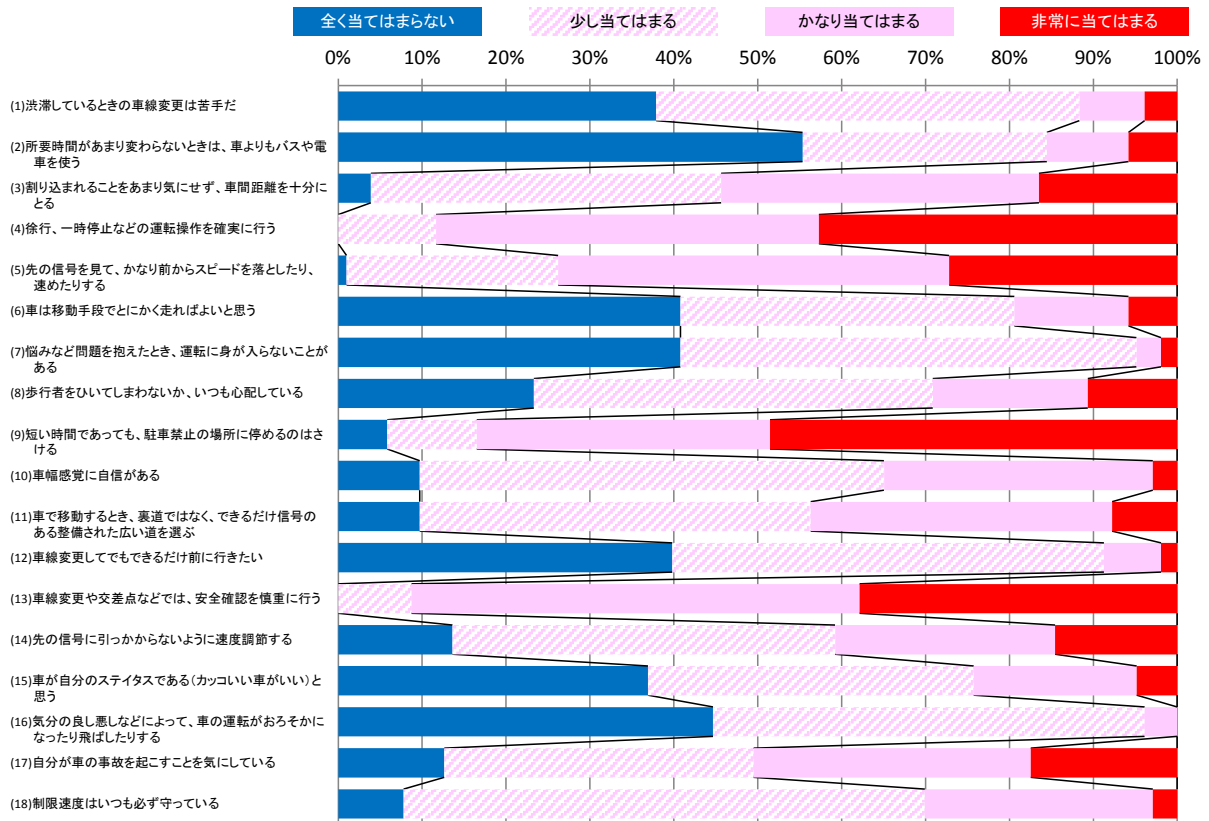


図 7-9 被験者属性（運転行動）

被験者（n=103）の運転行動のアンケート結果は、図 7-9 の通りとなっている。

全く当てはまらない回答が多かったのは、下記であった。

- ・ 「所要時間があまり変わらないときは、車よりもバスや電車を使う」
57 名（55.3%）

他方で、かなり当てはまる/非常に当てはまるの合計が 7 割を超えているのは、下記であった。

- ・ 「車線変更や交差点などでは、安全確認を慎重に行う」94 名（91.3%）
- ・ 「徐行、一時停止などの運転操作を確実にを行う」91 名（88.3%）
- ・ 「短い時間であっても、駐車禁止の場所に停めるのはさける」86 名（83.5%）

-
-
- ・ 「先の信号を見て、かなり前からスピードを落としたり、速めたりする」76名（73.8%）

7.5. 平成 30 年度の参加者実証実験のまとめ

課題 A の参加者実証実験からは、LV2/LV3 相当では、「運転引継ぎの必要性、RtI 表示の意味、介入が必要な場面例」までが事前知識としては必要であるとの仮説が、3 社の結果から概ね検証された。（条件 2 に比べ、条件 4 での障害物回避の割合が高くなっている）

課題 B の参加者実証実験からは、統制されたドライバー状態での DMS 出力値、ならびに運転引継ぎパフォーマンスとの関係について検討され、受託者研究の Readiness 校正指標の解析データとして活用されている。また、DMS の実現性検討については、コンソ実験結果と合わせ算出方法を検討した。その結果は P161 を参照のこと。