

「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

報告書

平成29年3月

「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

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

委託業務成果報告書の
無断複製等禁止の標記について

委託業務に係る成果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、内閣府の平成28年度科学技術イノベーション創造推進委託費による委託業務として、「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（代表 国立研究開発法人産業技術総合研究所）が実施した平成28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」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、内閣府に帰属しており、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、内閣府の承認手続きが必要です。

内容

1. Executive summary (全体要旨).....	1
1.1. はじめに	1
1.2. 自動運転のヒューマンファクター課題.....	5
1.2.1. クルマとドライバーのインタラクションに関わる課題	5
1.2.2. クルマと他の交通参加者のインタラクションに関わる課題	7
1.2.3. クルマと社会のインタラクションに関わる課題	7
1.2.4. SIP タスクフォースで決定した優先課題	8
1.3. 2016 年度に実施した各課題の要旨	9
1.3.1. 課題 A	9
1.3.2. 課題 B	11
1.3.3. 課題 C	12
2. 公募概要	14
2.1. 公募の目的	14
2.2. 公募の内容	15
2.2.1. A：自動走行システムの機能・状態・動作の理解に関わる課題 ..	15
2.2.2. B：ドライバーの状態と自動走行システムの動作に関わる課題 ..	16
2.2.3. C：自動走行システムと他の交通参加者とのインターフェースに 関わる課題	16
2.3. 調査方法	17
2.4. 用語の定義	17
3. 課題 A の調査検討	18
3.1. はじめに	18
3.2. 先行研究調査	19
3.2.1. はじめに	19
3.2.2. 自動車の運転支援と自動運転におけるヒューマンファクタ研究 ..	21
3.2.3. 運転支援システム・自動運転システムへの信頼に関する研究	25
3.2.4. システム設計への反映	27
3.2.5. 残された課題	28
3.3. 課題 A の計画	29
3.3.1. 課題 A の取り組み概要と目標（3 か年全体）	29
3.3.2. 実験計画（提供される知識）	29
3.3.3. 実験計画（考察の観点）	30
3.3.4. 実験計画（実験 1）	31
3.3.5. 実験計画（実験 2）	34

3.4. 本研究の具体的な目的と方法	35
3.5. 一般市民の自動運転システムに対する理解度についてのウェブ調査	38
3.5.1. 予備調査	38
3.5.2. 本調査	40
3.6. 実験 1	44
3.6.1. 目的	44
3.6.2. 実験参加者	44
3.6.3. 実験装置	44
3.6.4. 課題	45
3.6.5. 実験計画	46
3.6.6. 実験手順	48
3.6.7. 仮説と評価指標	50
3.6.8. 結果と考察	51
3.6.9. まとめ	62
3.7. 実験 2α	64
3.7.1. 目的	64
3.7.2. 実験参加者	64
3.7.3. 実験装置	64
3.7.4. 課題	64
3.7.5. 実験計画	64
3.7.6. 実験手順	65
3.7.7. 仮説と評価指標	65
3.7.8. 結果と考察	66
3.7.9. まとめ	66
3.8. 実験 2β	68
3.8.1. 目的	68
3.8.2. 実験参加者	68
3.8.3. 実験装置	68
3.8.4. 課題	68
3.8.5. 実験計画	69
3.8.6. 実験手順	72
3.8.7. 仮説と評価指標	73
3.8.8. 結果と考察	74
3.8.9. まとめ	76
3.9. まとめ	78

3.9.1. 本研究の結論	78
3.9.2. 本研究のリミテーション	79
3.9.3. 今後の課題	79
4. 課題 B-1 の調査検討	81
4.1. 課題 B-1 の計画	81
4.1.1. 課題 B-1 の取り組み概要と目標 (3 か年全体)	81
4.2. 先行研究調査	82
4.2.1. レビューの方針	82
4.2.2. レビューの方法	82
4.2.3. レビューの結果	83
4.2.4. ドライバー状態を評価する方法	87
4.3. 検知技術の先行研究調査	93
4.3.1. はじめに	93
4.3.2. 調査対象とその方法	93
4.3.3. 調査対象とその方法	94
4.3.4. 調査内容	98
4.3.5. 結論	104
4.4. ドライビングシミュレーター実験	106
4.4.1. 被験者数	106
4.4.2. 実験シナリオ	106
4.4.3. ドライバー状態の計測項目と評価指標	110
4.5. 実験結果	119
4.5.1. 先行車追従シナリオ	119
4.5.2. TOR 提示前	123
4.5.3. <TOR 提示後>	148
4.5.4. <順序効果>	163
4.5.5. <相関>	164
4.5.6. TOR 前の状態による TOR 後の運転パフォーマンスの予測	170
4.5.7. <全体考察>	173
5. 課題 B-2 の調査検討	179
5.1. ドライバーモニタリングシステムの試作	179
5.1.1. ドライバー状態を推定できる評価指標検知器の車載化に関する検討結果	179
6. 課題 C の調査検討	184
6.1. 課題 C の計画	184

6.2. 先行研究調査	185
6.2.1. レビューの目的と方針	185
6.2.2. レビューの方法	186
6.2.3. ドライバー間コミュニケーションに関する調査	186
6.2.4. ドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する調査	188
6.2.5. 課題 C の調査方法	190
6.3. 車両同乗による調査で使用する実験車両	191
6.3.1. 実験車両および計測機器	191
6.4. 都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討	193
6.4.1. 定点観測による都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討	193
6.4.2. 車両同乗による都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションの検討	204
6.4.3. 都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションのモデル化に関する検討	208
6.5. 一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討	210
6.5.1. 定点観測による一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討	210
6.5.2. 車両同乗による一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討	217
6.5.3. ドライバー間コミュニケーションに関する観測結果	220
6.5.4. 一般道路を対象とした側方からの進入場面や交差点での右折場面でのドライバー間コミュニケーションのモデル化に関する検討	222
6.6. 一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する検討	224
6.6.1. 定点観測による一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する検討	224
6.6.2. 車両同乗による一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーション調査	227
6.6.3. ドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する観測結果	227
6.7. 車両側からの「進路の譲り」に関する歩行者認識に関する予備調査	230
6.7.1. 実験場所および実験環境	230
6.7.2. 実験参加者	230

6.7.3. 実験条件	231
6.7.4. 実験条件	232
6.7.5. 実験結果	232
6.7.6. 一般道路を対象とした歩行者の横断待ち場面でのドライバー・歩行者間コミュニケーションのモデル化に関する検討.....	235
6.8. Web アンケートを利用したコミュニケーションの地域性等に関する予備調査	236
6.8.1. 調査対象および調査内容	236
6.8.2. 主要な調査結果	236
6.9. 「自動運転」表示による周囲の交通参加者への影響に関する予備調査	239
6.9.1. 実験方法	239
6.9.2. 走行場面	239
6.9.3. 予備調査の結果	240
6.9.4. 予備調査の結果に対する考察	241
6.10. 本研究のまとめ	242
6.11. 付録：Web 調査	243
7. 業務推進のための調査検討	275
7.1. 業務推進のための計画	275
7.1.1. 諮問委員会の設置	275
7.1.2. プロジェクトを推進する会議体の設置	275
7.2. 諮問委員会の設置・実施	277
7.2.1. 諮問委員会 外部専門委員への移植	277
7.2.2. 諮問委員会の実施	277
8. 参考文献	280
8.1. Executive summary (全体要旨)の参考文献	280
8.2. 課題 A の参考文献	280
8.3. 課題 B の参考文献	285
8.4. 課題 C の参考文献	289

1. Executive summary (全体要旨)

1.1. はじめに

全世界を巻き込んだ自動運転技術の開発・商用化競争が激化している。自動運転技術に期待する社会的価値はいくつかあるが、その中でも特に大きな期待が寄せられているのが交通事故削減である。我が国における交通事故死者数は90年代初頭より減少を続けている。これはクルマの安全性能はもとより、法改正やインフラ整備など多方面からの取り組みが実を結んだものである。しかしながら2000年代後半に入って、この減少傾向が鈍化してきた（警察庁交通局，2016，図1-1）。一方交通事故の大半はヒューマンエラーによるものであることがわかっており（交通事故分析センター2011，図1-2）、これを排除し交通事故死者数をより一層削減することが自動運転技術に対する期待である。

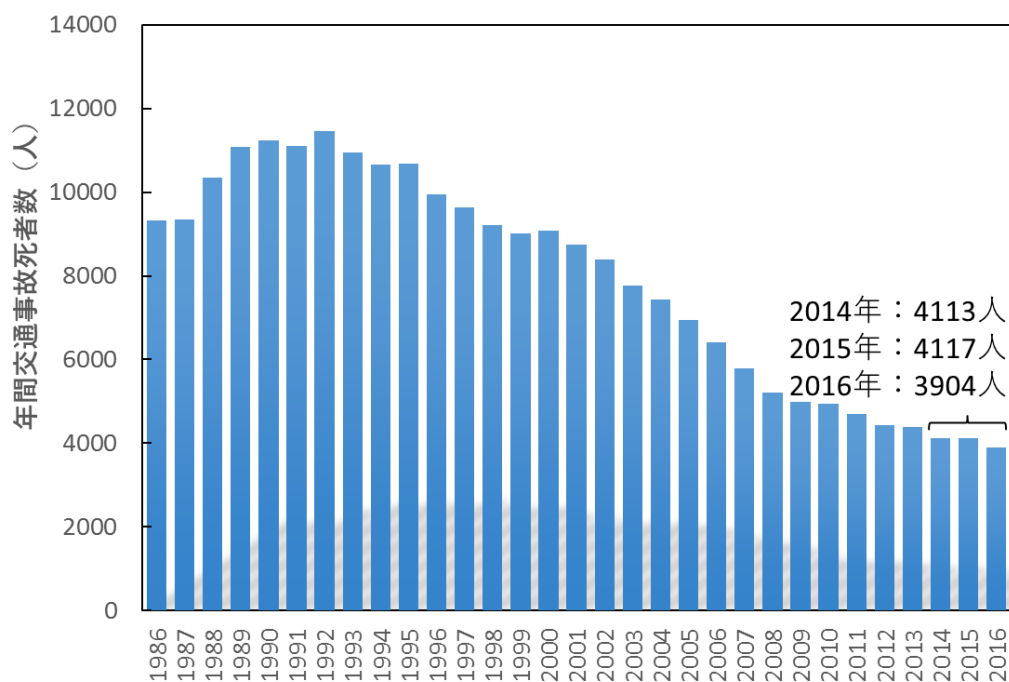


図 1-1 日本の交通事故年間死者数の推移

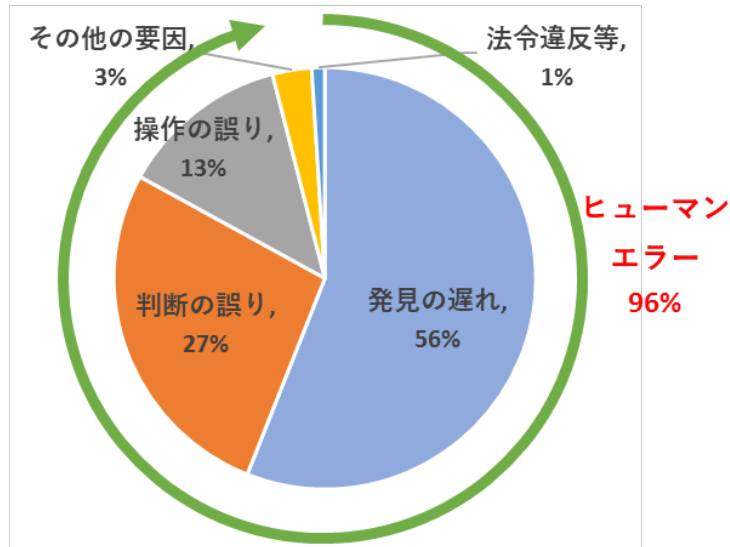


図 1-2 交通事故の人的要因別事故割合

1990年代中ごろからADAS (Advanced Driver Assistant Systems)と呼ばれる運転支援技術が様々な形で市場投入されてきた。広義のADASは、情報による運転支援(情報支援)、車両制御による運転支援(操作支援)、およびドライバーモニタに分類される。それぞれの作動領域を図I-3に概念的に示す。情報支援はドライバーが自力で危険を回避することを情報によって支援するものであり、AFS (Adaptive Front-lighting System)、Night visionシステム、ナビ交通情報など、危険が顕在化していない状況においてドライバーの安全運転に役立つ情報を提供するシステムから、側方死角監視システム、前方衝突警報システム、レーン逸脱警報システムのように、顕在化した危険を情報としてドライバーに知らせるシステムがある。ドライバーモニタは、居眠り、わき見、漫然運転などの理由でドライバーが本来の運転タスクを実行できていないことを検知して、実行を促すように警告を出したり、自動ブレーキなどの他のシステムと連携するものである。操作支援については、ACC (Adaptive Cruise Control)やLKA (Lane Keeping Assist)のように、必ずしも危険が顕在化していない通常運転領域において、部分的自動制御によってドライバーの運転タスクの一部を代行するものと、ABS (Anti-lock Braking System)、VDC (Vehicle Dynamics Control)、自動ブレーキ、レーン逸脱防止システムのように、衝突の直前に人の能力が及ばない操作を部分的自動制御によって支援するものがある。後者の操作支援システムについては、確実に事故を削減することが実証され、あるいはされつつあり、ABSやVDCはすでに多くの車の標準装備となり、また自動ブレーキやレーン逸脱防止システムについても急速に普及が進んでいる。一方前者の操作支援システムについ

ては、設計を誤るとドライバーのシステムへの過信や誤信などによって新たな危険を引き起こす可能性があり、ACCやLKAについては細心の注意をもって設計されてきた。

自動運転のレベル定義はいくつかあるが、現在世界中で広く使われているものはSAE J3016 (SAE International, 2016、表 1-1)であり、SIPにおいてもこれに準じたものに移行しつつある。SAE定義によると、情報支援のADASはレベル0、操作支援のADASはレベル1と再定義されている。

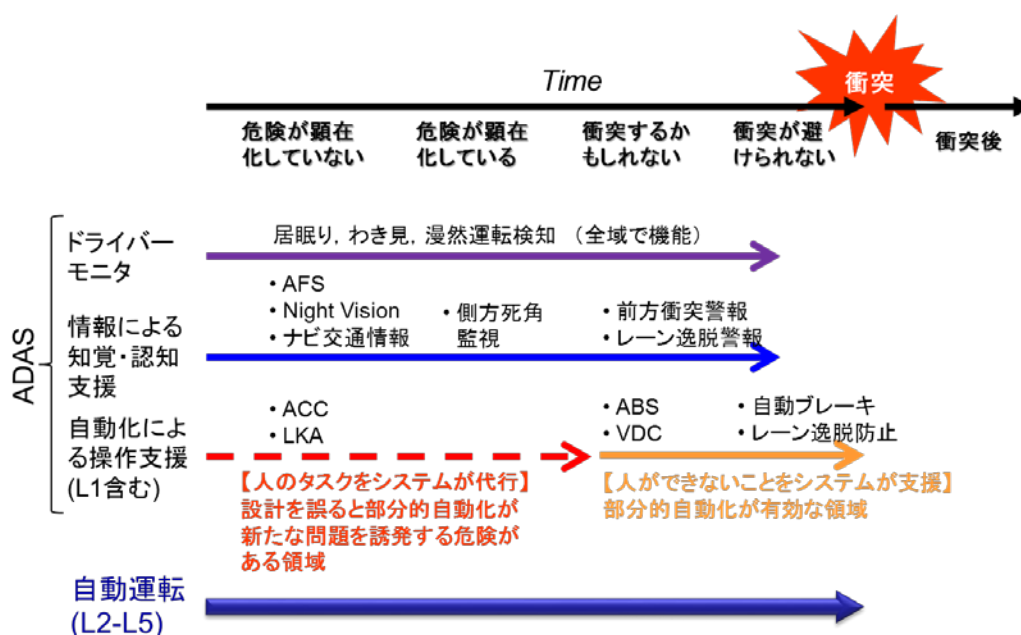


図 1-3 ADAS と自動運転の作動領域 (AFS ; Adaptive Front-lighting System, ACC ; Adaptive Cruise Control, LKA ; Lane Keeping Assist, ABS ; Anti-lock Braking System, VDC ; Vehicle Dynamics Control)

現在、自動車産業界の開発・商用化競争は、レベル2およびレベル3をターゲットとしている。これらの自動運転システムは、ドライバーの運転タスクへの関与の仕方や作動条件に違いがあるが、通常運転領域から衝突直前の領域までのすべての領域において作動するものである。そしてこれらの自動運転システムにおいても、システムが運転タスクを代行する場合において、システムに起因する新たな危険が発生しうる。特に単一の機能に限定されていたADAS(レベル1)と比較して、機能が複雑化したレベル2以上のシステムにおいては、ドライバーの過信や誤信は起こりやすいといえる。またレベル2以上のシステムは、操作タスクを伴わない監視のみのタスクや、一定時間内にシステムから運転を引き継ぐといった、ADASにはない新しいタスクがドライバーに課されることになる。システムに起因する新たな事故を引き起

こさないためには、ドライバーの人としての性能限界を知り、ドライバーがシステムを安全に使えるように支援する HMI の研究開発が必要である。

自動運転におけるヒューマンファクタおよび HMI 課題とは、当初の目的である交通事故の削減を達成するために、システムが引き起こしかねない新たな危険を最小化することであると言える。

表 1-1 SAE J3016(2016)による自動運転のレベル定義 (ADS: Automated Driving System, DDT: Dynamic Driving Task, Strategic な運転タスクを除くすべての Operational と tactical な運転タスク, OEDR: Object and Event Detection and Response, DDT の一部で周囲状況監視タスクとして障害物や危険事象を発見しそれらに対処すること, ODD: Operational Design Domain, 設計上のシステム作動領域/条件)

Level	Name	Narrative definition	DDT		DDT fallback	ODD
			Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	OEDR		
Driver performs part or all of the DDT						
0	No Driving Automation	The performance by the <i>driver</i> of the entire DDT, even when enhanced by <i>active safety systems</i> .	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	n/a
1	Driver Assistance	The <i>sustained</i> and ODD-specific execution by a <i>driving automation system</i> of either the <i>lateral</i> or the <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtask of the DDT (but not both simultaneously) with the expectation that the <i>driver</i> performs the remainder of the DDT.	<i>Driver and System</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	Limited
2	Partial Driving Automation	The <i>sustained</i> and ODD-specific execution by a <i>driving automation system</i> of both the <i>lateral and longitudinal vehicle motion control</i> subtasks of the DDT with the expectation that the <i>driver</i> completes the OEDR subtask and <i>supervises the driving automation system</i> .	System	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	Limited
ADS ("System") performs the entire DDT (while engaged)						
3	Conditional Driving Automation	The <i>sustained</i> and ODD-specific performance by an ADS of the entire DDT with the expectation that the <i>DDT fallback-ready user</i> is <i>receptive to ADS-issued requests to intervene</i> , as well as to <i>DDT performance-relevant system failures</i> in other <i>vehicle systems</i> , and will respond appropriately.	<i>System</i>	System	<i>Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)</i>	Limited
4	High Driving Automation	The <i>sustained</i> and ODD-specific performance by an ADS of the entire DDT and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	<i>System</i>	<i>System</i>	System	Limited
5	Full Driving Automation	The <i>sustained</i> and unconditional (i.e., not ODD-specific) performance by an ADS of the entire DDT and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	<i>System</i>	<i>System</i>	<i>System</i>	Unlimited

1.2. 自動運転のヒューマンファクター課題

SIP HMI タスクフォース（2015）において、自動運転に関わるヒューマンファクタ課題を抽出した。自動運転に関するヒューマンファクタ課題は、人とクルマ（自動運転システム／車両）とのインタラクションにおいて発生する。人はその立場によって、ドライバー、周囲の交通参加者（非自動運転車両のドライバーや歩行者など）、社会という三つの観点、そしてクルマは、自動運転のレベルに分類することができ、それぞれのインタラクションと自動運転レベルからなるフレームワークを用いて課題を抽出した（図 1-4、表 1-2）。なお、課題抽出における自動運転のレベルについては、NHTSA（2013）の定義を用いた（以降 1.2.3 項まで）。

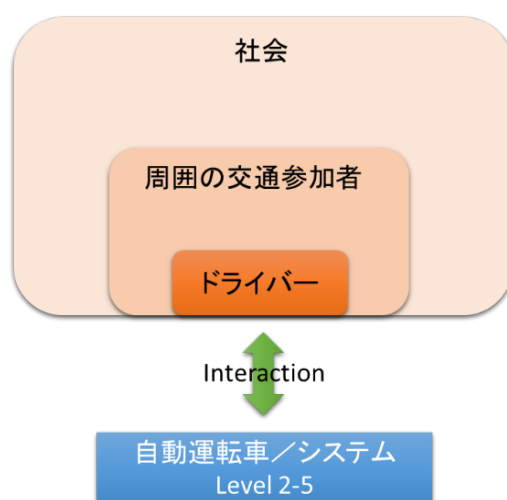


図 1-4 自動運転のヒューマンファクター課題抽出に用いたフレームワーク

1.2.1. クルマとドライバーのインタラクションに関わる課題

クルマとドライバーのインタラクションに関わる課題には、システム理解にかかわる課題とドライバー状態にかかわる課題がある。システム理解に関わる課題は、さらにシステム機能の理解（表 1-2、A-1）、システム状態の理解（表 1-2、A-2）に関わる課題に分類できる。前者は例えば「自動運転は先行車を検出するが、路上落下物は検出しない」などの機能限界の理解が重要である。また後者については、「自動運転作動／解除状態」などの現在の状態理解と、「今から 3 秒後に車線変更」などの将来の車両挙動の理解が含まれる。ドライバーのこれらの理解が不足すると、機能誤解、過信、モードコンフュージョン、オートメーションサブプライズ、ミスユース、アビュースなどの問題が発生し、問題が重大化（交通事故が発生）することも考えられる。これらの課題を解決するためには、システム取扱説明書の充実、車両販売時の顧客へのシステム機能説明の充実、コックピット内の情報表示 HMI（Human

Machine Interface) の工夫などが必要である。またシステム理解には操作の理解 (表 1-2、A-3) も含まれる。複雑な操作 HMI は意図しない誤った使い方を誘発したり (ミスユース)、操作が難しいために機能利用を断念するなどの問題が発生するため、ユーザビリティの高い操作 HMI の設計が必要である。システム挙動の理解 (表 1-2、A-4) は、システムの運転の仕方がドライバーのものとは異なるときに発生する、不快感や恐怖感といった課題であり (カーブの侵入速度など)、ドライバーの感性に合った車両挙動を設計することが重要である。

次にドライバー状態にかかわる課題として、システム利用時のドライバー状態 (表 1-2、B-1)、システムから手動への運転の遷移に関わる課題 (表 1-2、B-2) がある。自動運転のレベル定義においては、自動運転作動中のドライバーの運転タスクへの寄与の仕方が定義されている。レベル 2 においては、自動運転中であってもドライバーは周囲やシステムの監視タスクを分担し、いつでも短時間で全運転タスクを受け取れるように常に準備していなければならないとされている。またレベル 3 においては、限定された条件内でシステムが全運転タスクを実行するものと定義されているが、この場合にもドライバーはシステムからの要請に応じて、全運転タスクを受け取らなければならないことになっている。したがってドライバーが適正な状態を保持しないと、上記の自動運転から手動運転への遷移条件を満たせない。このようなドライバー状態は、単に覚醒度だけでなく、監視タスクへの集中度 (視覚情報処理量)、周囲状況 (Situation Awareness) や運航のコンテキスト理解が関わると考えられるが、その具体的定義は今後の課題である。さらにドライバー状態の監視システム (ドライバーモニタリングシステム) の開発、ドライバーを適正な状態に維持するための HMI 開発、遷移を確実かつ迅速に完了させるための HMI 開発などが課題である。また遷移に必要な時間は、システム設計上重要なパラメータであり、その導出は優先度の高い課題となっている (Merat, et al., 2014)。ドライバーの運転タスクへの関わり方は、システムのユーザー価値に大きく影響する。例えば、レベル 2 システムが、眠気と闘いながら監視作業のみを継続しなければならないシステムだとすると、それはユーザーにとって価値があるのか? ブランドから “走り” の要素を排除 (レベル 4) したときに、ユーザーは何を基準にブランドを選択するのか? そもそも自動運転のレベルは、システム技術的視点で便宜上定義されている。開発のターゲットとする各レベルにおいて、技術の社会的価値に加えて、ユーザー価値を再考して、上記のような懸念に打ち勝つユーザー価値を創出することが重要であると考える (表 1-2、B-3)。

1.2.2.クルマと他の交通参加者のインタラクションに関わる課題

交通法規はいつもすべての人にとって明確とは限らない。例えば優先が不明確な信号機のない交差点、信号の変わり目、車線変更、高速道合流などにおける優先権がこれに相当する (Kitazaki and Myhre, 2015)。法規上の優先権が明確であっても、渋滞などの状況によっては交通効率を考慮し、優先権に反して他の交通参加者に道を譲る場合が多々ある。また交通法規で守られているはずの歩行者であるが、実環境はいつでもそうとは限らず、歩行者は自分の身を守る行動が必要となることがある (信号機の無い横断歩道でのドライバーとのアイコンタクトなど)。

クルマには周囲の交通参加者への(公式な)コミュニケーションのために、ウィンカー、ストップランプ、ハザードランプが装備されている。しかしドライバーは上記に加えて、非公式なコミュニケーション手段を用いて、他の交通参加者に自分の意図を伝えたり、他の交通参加者の意図を読み取っている。これらの非公式なコミュニケーション手段は、車両の位置、スピード、加減速などの車両挙動、ドライバー自身のアイコンタクトやハンドジェスチャーのようなドライバーの身体動作を含む。また車両に装備されたハザードランプやヘッドライトのパッシングを、非公式なコミュニケーション手段として用いる場合もある。ドライバーはこれらの公式、非公式な手段を用いて、他の交通参加者とノンバーバルなコミュニケーションを行い、それが相互に理解されれば、安全で効率的な交通流を協調して構築することができる。自動運転車 (レベル 2~4) において、ドライバーの運転タスクが限定的または停止している場合に、自動運転車が他のドライバーや歩行者と如何にしてコミュニケーションを成立させるかが課題である (表 1-2、C-1、C-2)。ここで非公式なコミュニケーションルールには地域性があるため、それをどのように実装するかということも課題に含まれる。さらに前記の渋滞時の交通法規に反した道の譲り合いや、法定速度制限と交通流速度の不一致のように、交通流円滑化 (安全確保は前提条件) と交通法規の間にコンフリクトが生じる場合の考え方を構築する必要がある (表 1-2、C-3)。

1.2.3.クルマと社会のインタラクションに関わる課題

自動運転車商用化の初期段階においては、多くの交通参加者は自動運転車がどのような運転 (挙動) をするのか分からない。したがって社会に受け入れられるためには、自動運転車を徹底的に法令順守するような、交通効率をやや軽視したクルマに設計する必要があるかもしれない。自動運転車が社

会に普及し、人々のトラストが形成された後に、安全を確保した上で交通効率を向上させるような挙動の設計が可能になると思われる。このように自動運転車を社会が受容し普及させるためには、普及率と社会的トラストに応じた挙動の設計が必要と考えられる（表 1-2、D-1）。これまで述べてきたシステム起因事故や不可抗力的な事故に運悪く巻き込まれてしまった場合の責任所在（製造メーカーか所有者か）の考え方について法律としての議論が始まっているが、運転タスクへのドライバーの関わり方が大きく影響するため、ヒューマンファクタの視点と法律の視点の両方から議論を継続しなければならない（表 1-2、D-2）。最後に、免許制度の課題がある。自動運転車を普通車運転免許で運転できるものとするのか、限定条件とするのか、追加資格とするのか、現段階では決まっていない。自動運転システムの開発に伴って、HMI の複雑さや必要とされる新たな知識や技能に応じて、免許制度改定の必要性を並行して検討していかなければならない（表 1-2、D-3）。

1.2.4. SIP タスクフォースで決定した優先課題

抽出した自動運転に関わるヒューマンファクタ課題の中で、協調領域として優先度の高い課題を抽出し、以下のように新たに課題 A、B、C とした。

- 課題 A（表 1-2、A-1、A-2）
自動走行システムの機能・状態・動作の理解に関わる課題
- 課題 B（表 1-2、B-1、B-2）
ドライバーの状態と自動走行システムの動作に関わる課題
- 課題 C（表 1-3、C-1、C-2）
自動走行システムと他の交通参加者とのコミュニケーションに関わる課題

表 1-2 抽出した自動運転のヒューマンファクター課題

クルマと人のインタラクション		自動運転のレベル (NHTSAの定義)			
		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
クルマ⇄ドライバ	システム理解に関わる課題				
	A-1	システム機能の理解	システムへの過度の依存、システム機能への過信、機能誤解		
	A-2	システム状態の理解	システムの現在状態と将来挙動の理解		
	A-3	システム操作の理解	操作系のユーザビリティ(使い方や操作の意味が分からない)		
	A-4	システム挙動の理解	自分と異なる運転の仕方に対する不安・不快(車線変更による割り込み、カーブでの減速など)		
	ドライバ状態に関わる課題				
	B-1	自動運転システム利用時のドライバ状態	適切なドライバ状態と維持方法		
	B-2	自動運転システムから手動運転への遷移	安全な運転ハンドオーバーの方策		
	B-3	自動運転システムのユーザ価値	眠気との戦いに勝る価値の創出	リラクスの中断に勝る価値の創出	走りの画一化に勝る価値の創出
	クルマ⇄他の交通参加者	C-1	自動運転車と周囲のドライバ間のコミュニケーション	交差点・合流・車線変更時などでのコミュニケーション手段	
C-2		自動運転車と歩行者等とのコミュニケーション	歩行者横断時、商店街・駐車場などでのコミュニケーション手段		
C-3		交通ルール遵守と交通流円滑化のバランス		譲り合い、法定速度と交通流速度の不一致など	
クルマ⇄社会	D-1	自動運転車に対する社会的価値と受容		社会的受容性を高めるための普及率に応じた機能設計	
	D-2	事故・交通違反の責任の所在		自動運転システム利用中の事故・交通違反の責任	
	D-3	運転免許制度		自動運転車の免許制度	

1.3. 2016 年度に実施した各課題の要旨

1.3.1. 課題 A

課題 A の検討内容は、①システム機能に関する知識が、レベル 2、3 自動運転から手動運転への引継ぎ時のドライバー行動に及ぼす影響についての検討、②システム機能に関する動的情報が、レベル 2、3 自動運転から手動運転への引継ぎ時のドライバー行動に及ぼす影響についての検討、③システム機能に関する動的情報を表示するための HMI (Human Machine Interface) の基本要件の導出 (HMI 試作評価を含む) である。上記の検討項目を 2016 年度から 2018 年度の 3 年間で実施する。実験方法はドライビングシミュレーター実験およびテストコース実験とし、得られた結果の検証を重ねる。

2016 年度においては①についてドライビングシミュレーター実験を実施した。運転引継ぎ場面を含むシナリオ走行前の被験者へのシステム機能に関する教示情報の内容と形態 (表現方法) を統制し、運転引継ぎ時の行動を計測した。レベル 3 システム作動中においては、被験者に視覚・操作タスク

(SuRT; Surrogate Reference Task, ISO/TS14198)を実行させた。一方レベル2 システム作動中においては、被験者には副次タスクを与えずに、周囲監視をするように促した。レベル2、3のどちらのシステムの作動中においても、被験者はステアリングホイールから両手を離して運転席に着座することとした。55歳以下の非高齢被験者と65歳以上の高齢被験者を用いた。以下に実験条件と検討内容および結果を示す。

■ レベル3、TOR(Take Over Request, 運転引継ぎ要請)有り

1) 情報の内容に関する検討

ドライバーが迅速に運転引継ぎを実行し完了するために必要な情報の内容は、「運転引継ぎの可能性があること」「運転引継ぎ要請(TOR)を表示するHMIの意味」「具体的な運転引継ぎ場面の説明」。しかし過剰な運転引継ぎ場面の説明は、特に高齢者において、引継ぎ成績を逆に低下させた。情報は与えすぎないように注意しないといけない。

2) 運転引継ぎ場面を経験することの影響の検討

情報の内容が上記条件を満足するとき、若年ドライバーは運転引継ぎ場面を(ドライビングシミュレーター上で)経験することにより、運転引継ぎ成績が向上した。ただ、高齢ドライバーにとっては経験だけではなく、ほかのアプローチを検討しないといけない。

■ レベル2、TOR有り

3) 情報形態に関する検討：システム視点とドライバー視点の比較

ドライバー視点の情報(e.g. あなたが運転を引き継がなければならない場面がある)が提供されたときには、システム視点の情報(e.g. システムが作動を停止する場面がある)が提供された場合よりも、高い運転引継ぎ成績が得られた。

■ レベル2、TOR無し

4) 情報形態に関する検討：機能限界に関する情報と具体的場面に関する情報の比較

運転引継ぎが必要な具体的場面の説明が提供されたときには、機能限界に関する情報が提供された場合よりも、素早い引継ぎ(ステアリング操作タイミング)が得られた。

5) しかしながら、具体的場面の説明が提供された場合においても運転引継ぎ成績は低いものとなった。運転引継ぎ成績を向上するための要件については、今後の検討課題である。

1.3.2. 課題 B

課題 B の検討内容は、①レベル 2、3 自動運転走行時のドライバー状態 (readiness) が、その後の手動運転への運転引継ぎ時のドライバー行動に及ぼす影響の検討と、運転引継ぎ成績を悪化させるドライバー状態を検出可能な生理指標の抽出、②運転引継ぎ時間をドライバー状態量 (readiness) の関数として求めること、③ドライバーが適切な readiness 状態を維持することを支援する HMI の検討と基本要件の導出、および迅速かつ確実な運転引継ぎを支援するための HMI の検討と基本要件の導出である (両 HMI ともに試作評価を含む)。上記の検討項目を 2016 年度から 2018 年度の 3 年間で実施する。実験方法はドライビングシミュレーター実験、テストコース実験、および公道実証実験とし、得られた結果の検証を重ねる。

2016 年度においては①についてドライビングシミュレーター実験を実施した。被験者は運転引継ぎ場面を含むシナリオを、レベル 2、3 自動運転システムで走行した。自動走行中の被験者には、認知タスク (N-back 課題、大小二つの負荷レベル)、視覚・操作タスク (SuRT 課題、大小二つの負荷レベル) を課することにより、副次タスクなしの条件を含めて、5 条件の状態を統制した。覚醒度については統制が困難であるため、単調なシナリオを走行させることにより、被験者による覚醒度のばらつきを促した。被験者は自動走行中において、両手をステアリングから離して運転席に着座することとし、脳波、視覚行動、眼球運動、表情、心拍、血圧等の生理量を計測した。運転引継ぎ場面は認知負荷と視覚・操作負荷実験においては、“先行車追従自動走行→システムが TOR を発信→先行車が車線変更→自車両と同一車線内前方に停止車両が出現”とした。低覚醒度実験については、高速道出口到達前に TOR を発信し運転引継ぎを促すものとした。どちらのシナリオにおいても TOR はイベントの十分な手前で発信するものとした。

以下に得られた結果を示す。

- 1) 自動走行中のドライバー状態は、TOR 発信後の自動走行から手動走行への運転引継ぎ行動に影響を及ぼすことが分かった。また運転引継ぎ行動の変化は、自動走行中のドライバー状態の種類によって以下のように異なるという結果を得た。
 - a) 認知負荷状態：負荷が大きいほど、車線変更中の停止車両への最小距離が減少した。一方ステアリング操作開始のタイミングには影響が見られなかった。認知負荷によりドライバーの知覚、認知、判断プロセスに遅延が生じ、その結果障害物回避成績が低下したものを考えられる。
 - b) 視覚・操作負荷状態：負荷が大きいほど、車線変更後のステアリング操
-
-

作のばらつきが増加し、車両の横位置安定化までの時間が増加した。一方ステアリング操作開始のタイミングには影響が見られなかった。視覚負荷によって周辺状況の理解 (situation awareness) が低下していたため反射的にステアリング操作を行い (開ループ)、その結果ステアリング操作に乱れが生じたものと考えられる。

- c) 低覚醒度状態：覚醒度が低いほど、TOR 発信後のステアリング操作開始までの反応速度が遅延した。
- 2) 運転引継ぎ時および引継ぎ後のドライバー行動を劣化させる自動走行中のドライバー状態を検出可能でかつ車両内計測が可能な生理指標として、眼球サッカード運動の振幅と頻度 (認知負荷と視覚・操作負荷)、瞬目頻度 (認知負荷)、わき見／車両前方視認時間割合 (視覚・操作負荷)、Perclos (ある時間内の閉眼時間の割合：低覚醒度) が抽出された。

1.3.3. 課題 C

課題 C の検討内容は、①現状行われているドライバー間およびドライバーと歩行者間のコミュニケーションを理解すること、②自動運転中表示 (ID 表示) が周囲の交通参加者の行動に及ぼす影響を検討すること、③自動運転車が周囲の交通参加者にメッセージを発信するための外向き HMI と ID 表示の要件を導出すること (試作評価を含む)、④コミュニケーション行動の地域性の影響を検討することである。上記の検討項目を 2016 年度から 2018 年度の 3 年間で実施する。実験方法は公道観察実験、テストコース実験、公道実証実験、ウェブ調査とし、得られた結果の検証を重ねる。

2016 年度においては、①②および④の予備調査を実施した。①については、路上定点観察、被験者運転車両の同乗観察 (車両は周辺環境認識可能な実験車両)、閉鎖コース内での被験者実験を行った。主に高速道路料金所後の合流におけるドライバー間コミュニケーション、一般道の交差点部や単路部におけるドライバー間およびドライバーと歩行者間コミュニケーション行動に関して、路上定点観察により定性的データ、同乗観察により定量的データを取得した。閉鎖コース内実験においては、信号無し単路部における歩行者の横断意思決定に関わる、接近 (実験) 車両のコミュニケーション手段を定量的に計測した。②については実験車両に自動走行中であることの表示を車体に掲示した場合と掲示しない場合で、周囲のドライバーや歩行者の行動の変化を観察した。④については、図で示された様々な状況において、進路を譲る場合と譲られる場合に用いるコミュニケーション手段について web 調査を国内 4 地域 (東京 23 区内、大阪市、札幌市、鳥取・島根県) で行った。以下に得

られた結果を示す。

- 1) ドライバーが他のドライバーや歩行者に道を譲る場合のコミュニケーション手段には、第一に車両挙動が用いられることが分かった。またそのような車両挙動のプロファイルを定量的に求めた。
- 2) パッシングライトを用いることにより車両挙動（減速）だけの場合と比較して、他のドライバーや歩行者は、より遠くでより早くに行動を起こすことが分かった。自動運転車（レベル3以上）の“外向け HMI”の狙いの効果は、パッシングライトと同様で、かつより確実な効果を発揮するものと位置付けることができる。
- 3) 被験者が道を譲る意思を持っているにもかかわらず、車両の減速が不足していたために、相手の車両や歩行者が行動を起こさない場合（ミスコミュニケーション）が何例か観察された。自動運転車の“外向け HMI”の狙いの効果は、このようなミスコミュニケーションの発生を最少化するものと位置付けることができる。
- 4) 自動運転走行中であることを周囲に発信（ID 表示）することにより、周囲の多くの車両が車間距離を増加させるなど、安全マージンを拡大する傾向が見られた。一方、周辺歩行者については、大きな行動の変化は見られなかった。
- 5) 信号なし横断歩道にて横断開始を判断するための接近車両のコミュニケーション手段は、運転免許を保有する歩行者と非保有の歩行者で大きな違いが見られた（web 調査）。運転免許保有の歩行者が主に車両挙動をコミュニケーション手段として判断しているのに対して、運転免許非保有の歩行者は、車両挙動に加えて接近車両のドライバー挙動を用いていることが分かった。“外付け HMI”の狙いの効果は、このような状況において、ドライバー挙動に代わるものと位置付けることができる。
- 6) 今回の調査においては、コミュニケーションに関する明らかな地域性は見られなかったが、今後も調査を継続してゆく必要がある。

2. 公募概要

2.1. 公募の目的

S I P は、総合科学技術・イノベーション会議が府省・分野の枠を超えて自ら予算配分して、基礎研究から出口（実用化・事業化）までを見据え、規制・制度改革を含めた取組を推進するために創設されたプログラムであり、平成26年度の対象課題、各課題のプログラムディレクター、各課題の予算配分については、平成26年度S I Pの実施方針（平成26年5月23日総合科学技術・イノベーション会議決定）において決定された。

対象課題の一つである自動走行システムについては、研究開発計画（http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf）に基づき、

- ① 交通事故低減等 国家目標の達成
- ② 自動走行システムの実現と普及
- ③ 東京オリンピック・パラリンピックを一里塚として飛躍

を目的・出口戦略として関係各省庁と連携して研究開発を推進することとしている。

このうち、内閣府では、

内1： 自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討

内2： 交通事故死者低減の国家目標達成に向けた調査・検討を実施する。

従来から実用化されている運転支援システムでは、安全な運転をすべき主体者はドライバーであり、システムはドライバーを側面から支援するものであったが、上記の研究開発の目的を達成するためには、ドライバーとシステムとの役割を再定義し、人とシステムが協調・一体となって走行の安全を確保することが求められる。そのためには、自動走行システムとドライバーとの関係を適正に保つためのインターフェースの開発が重要な課題となる。

現在の交通環境では、自動車だけでなく二輪車や歩行者など様々な交通参加者が、交通法規は勿論のこと、社会的な規範や暗黙的ルールなどの様々な制約の元で共存をしている。例えば、自動車には制動灯や方向指示器などその動静を伝えるインターフェースが備わっているが、ドライバーはパッシングやハザード、またはアイコンタクトやジェスチャーなど、様々な手段を用いて相互に意志を伝えあうことが日常的に行われている。即ち現在の交通環境においては、これら意思の疎通を図る手段もまた、社会に受容された上で成り立っている。

このような交通環境に鑑み、本施策では社会に受容される自動走行システムを早期に実用化するため、機械の性能や限界はもちろんのこと、人の能力、限界や特性といったいわゆる“ヒューマンファクタ”上の知見を元に、自動走行システムとドライバー、および自動走行システムと他の交通参加者とのインターフェースのあり方を研究し、具体的なHMI装置の開発に資する要件を導出することを目的とする。また、自動車という世界的商品の競争領域において、国際的な協調関係の構築と世界基準の確立に向け、日本が主導的な役割を果たせるよう、学術的あるいは工学的な裏付けを得ることを目的とする。

2.2. 公募の内容

以下のA/B/Cの3つの課題に対して、自動走行レベル2、3、4を対象に研究開発すべき項目と明らかにすべき成果を示す。なお、SIP自動走行システムのHMIに関する研究開発において、本検討は3ヵ年の研究計画の初年度実施項目との位置付けである。

2.2.1. A：自動走行システムの機能・状態・動作の理解に関わる課題

- (1) 自動走行システムが提供する機能に対し、その目的、動作原理、限界に関するドライバーの知識（静的情報）に起因する、システムへの過度の依存、過信、機能誤解といった安全に係るヒューマンファクタ上の影響を明らかにし、ドライバーが最低限知っておかなければならないシステム機能とその適切な情報形態の要件を導出すること。
- (2) 上記の（1）の実施においては、自動車、鉄道車両、航空機等の交通移動体の自動化とヒューマンファクタに関する認知工学的知見をもとに仮説立案し、自動走行システムによる運転を模擬できるドライビングシミュレーターを用いて検証すること。なお、当該ドライビングシミュレーターについては、様々な運転シーンにおける情報提示方法を検証できるよう、巡航、車線変更、合流、交差点等の運転シナリオを再現し、視覚表示、聴覚表示、触覚表示、操舵反力等の情報提示方法を可変に設定可能な機能を有すること。更に、当該ドライビングシミュレーターの映像装置は、車線変更、合流シーンを適切に再現するため、水平180°以上の視野を有すること。

2.2.2.B：ドライバーの状態と自動走行システムの動作に関わる課題

- (1) 自動走行中にシステムから運転を安全に受け取るためのドライバーの準備状態を認知・生理・行動の観点から表す客観的な指標とその計測手法を定め、次いで、同指標を車載装置で計測可能な指標の置き換えと共に、ドライバー・モニタリング・システムとしての基本要件を導出すること。
- (2) 上記の（１）の導出において、レベル２システムにおいてはテイク・オーバー・リクエスト（以下、TORと呼ぶ。）のあり／なしを条件とし、レベル３においてはTORありを条件とすること。
- (3) 上記の（１）の導出において、自動走行開始からTORとドライバーの行動を評価する際には、現実的に起こり得る危険に即したシナリオを設定すること。ドライバー準備状態の指標の目標精度は、自動運転から手動運転への遷移後における運転パフォーマンスの優劣に対応する準備状態の相違を判別可能なものとする。また、高齢者や非高齢者などの異なるドライバー属性の準備状態を表すことができるように考慮すること。
- (4) 上記の（１）の導出において、人の認知活動・生理状態との相関関係のある具体的な事象(脳波、血圧、脈波、眼球・頭部運動等)から得られる複数の指標を統合化して定量的に判断する等、個々の事象の指標に依存しない手法を提案すること。
- (5) 上記の（１）の検討において、ドライビングシミュレーターによる検証を行うこと。こちらの検証においては、国際的な学術領域においても認められうる実験シナリオや実験条件、実験参加者数等を設定すること。

2.2.3.C：自動走行システムと他の交通参加者とのインターフェースに関わる課題

- (1) 実際の交通環境で発生し得る様々な状況における、現状のドライバーと周囲のドライバー、および二輪車や自転車、歩行者を含む他の交通参加者との間に交わされるコミュニケーションに関し、自動運転車が備えるべき意思疎通のためのコミュニケーション・モデルの基本要件を導出すること。
- (2) 上記の（１）の導出にあたり、地域の違いを考慮した多様なコミュニケーションの認知行動モデルとすることに留意し、交差点や分岐・合流部、駐車場や商店街等での定点観測や同乗による観測を実施すること。

- (3)上記の(1)で用いるモデルは、周囲の状況とその認知度、車両・二輪車・歩行者等の対象に対する意思疎通の内容および安全余裕度や意思疎通の達成率等、基本的な認知・行動に関わるモデルであること。

2.3. 調査方法

- ① (1)で示した調査の実施において、以下のⅠ～Ⅲに留意すること。
1. 自動走行が想定するユースケースにおいてドライビングシミュレーターを用いた実験が不可欠となるが、その実施に当たっては、国際的な学術領域においても認められうるよう、設定するシナリオや実験参加者等の属性パターン・参加人数数について、十分に配慮して設計すること。
 2. 本施策の実施を通してドライバー・モデルの構築を検討し、S I P別テーマである「マイクロ・マクロデータ解析とシミュレーション技術」と連携し、自動走行システムによる事故削減効果の予測に対しても貢献すること。
 3. S I P自動走行システムの各WGやTF、関連府省庁、および関連団体として日本自動車工業会、自動車技術会などと密接に連携を図り、国際的な基準づくりと標準化、各種ガイドラインの作成に貢献すること。
- ② (1)で示した調査では、内閣府が収集・提示する関係省庁および公的研究機関の情報、および類似分野の技術動向調査を実施している民間企業、大学などによる既存のレポート、文献などを活用すると共に、S I P自動走行システム推進委員会及びシステム実用化WGの議論を踏まえ、調査を実施すること。
- ③ その他、調査検討の実施にあたっては、内閣府と適宜相談し、その指示に基づいて進めること。

2.4. 用語の定義

以下、3つの課題の表記については次の通りとなる。

表 2-1 各課題の名称とその内容

名称	内容
課題 A	自動走行システムの機能・状態・動作の理解に関わる課題
課題 B - 1	ドライバーの状態と自動走行システムの動作に関わる課題
課題 B - 2	ドライバーモニタリングシステム(DMS)としての基本要件の導出
課題 C	自動走行システムと他の交通参加者とのインターフェースに関わる課題

3. 課題 A の調査検討

3.1. はじめに

自動車の自動運転をドライバーが安全に利用できるようにするためには、自動運転システムの機能やその性能限界をドライバーが適切に理解することが不可欠であると考えられる。しかし、一般のドライバーが何をどこまで理解すべきかについては、国内外を問わず、まだほとんどわかっていないというのが実態である。

本受託研究事業においては、全体としては 3 か年の計画として、下記のことに取り組むことが想定されている。

平成 28 年度： 自動走行システムが提供する機能に対し、その目的、動作原理、限界に関するドライバーの知識（静的情報）に起因する、システムへの過度の依存、過信、機能誤解といった安全に係るヒューマンファクタ上の影響を明らかにし、ドライバーが最低限知っておかなければならないシステム機能とその適切な情報形態の要件を導出する。特にシステム機能に関する知識が、モード遷移に及ぼす安全上の影響を明らかにする。

平成 29 年度： 自動走行システムの動作状態（動的情報）とその状態に応じてドライバーが行うべき操作（正常時、異常時の対応）への不理解に起因する、モード・コンフュージョンやオートメーション・サプライズといったヒューマンファクタ上の影響を明らかにし、これらを抑制するためのシステムの動作状態とその適切な情報形態の要件を導出する。特に、システム異常時のドライバーへの情報提供は、その後のシステムによる対処方法と合わせ、一連の機能として検討する。

さらに、システムの動作状態を的確にドライバーに理解させるための HMI と自動走行システムの動作に関する基本要件を導出する。

平成 29、30 年度

上記に加え、以下二つの課題についてヒューマンファクタ、機能安全、製造者責任などの専門家と継続的議論が可能なよう、基礎的な知見を獲得し、各専門領域間の関係について考察を行う。

- (a) オーバーライド時のコンフリクト
- (b) システムの不正な使用

本報告書では、平成 28 年度に取り組むべきとして設定された、静的情報に関する課題について、検討結果を報告する。

3.2. 先行研究調査

3.2.1. はじめに

自動車の自動運転に関して、自動運転システムに対する信頼・過信・不信の問題とそれに対する解決策として具体的に研究すべき課題を明確化するために、国内外の研究動向を調査した。

認知工学(cognitive systems engineering)やヒューマンファクタ (human factors) の分野では、1980年代頃より自動化に伴う様々な問題が指摘されてきた。早くから自動化が進んできた航空機やプロセス制御系の分野においては、自動化によって人間(作業員)のエラーやその影響は減少されたが、人間の存在が不要になったわけではなく、直接の作業員から監視者に役割が変わったというべきであり、人間は状態を監視しつつ必要に応じて操作に介入する「監視制御系」(Supervisory Control) (Sheridan, 1992)の形態をとるようになった。

自動化に伴う諸問題について、英文のまとまった資料としては Sheridan (1992)、和文としては稲垣(2012)に詳しい。具体的には、自動化の進展によってもたらされた問題として、以下のものを挙げるができる。

- (i)ワークロード(workload)のアンバランス
- (ii)制御ループからの疎外(out-of-the-loop)(Endsley & Kiris, 1995)とそれによる状況認識(Endsley,1995)の失敗
- (iii)モード・コンフュージョン(mode confusion) (Degani, Shafto, & Kirlik, 1999)
- (iv)オートメーション・サプライズ(Sarter & Woods, 1995)
- (v)意図の対立 (conflict of intention)
- (vi)システムへの不信(distrust) (Parasuraman & Riley, 1997)
- (vii)システムへの過信(overtrust) (Parasuraman & Riley,1997)とコンプレクシオン(Parasuraman et al., 1993;Wiener 1981)
- (viii)リスク補償 (risk compensation) (Wilde,1994)、行動変容(behavioral adaptation)
- (ix)スキルの低下 (skill degradation)

これらは必ずしも独立ではないし、原因系のものと結果系のものとが混在しているのも事実である。しかし、これまでのヒューマンファクタ研究の歴史の中で淘汰されずに重要なキーワードとして残っていることを踏まえると、これらの側面はいずれも重要であり、むしろ不用意な構造化を試みるよりも単純に列挙した方がわかりやすいことが経験的に分かっている。

前節で挙げたヒューマンファクタ上の問題において、最も重要なものとし

て、信頼と過信・不信の問題を挙げることができる。信頼(trust)は、自動化システムの利用 (use, reliance) に関して原因でもあり、結果でもある (Parasuraman & Riley,1997)。自動化システムを過大に信頼 (overtrust) すれば、好ましくない結果が発生しやすくなる。一方、システムの動作が(実際には適切に作動しているのに人間の目には) 不適切に見えることがあったりすると、その結果としてシステムは信頼を失い (distrust)、利用してもらえなくなる。

そこで、自動化システムが人間(ユーザ)に適切に信頼してもらえるためにはシステム設計はどうあるべきかという問題は、過去 30 年にわたって自動化システムのヒューマンファクタ問題の重要課題として認識され続けてきた(信頼に関する最近の研究事例としては、Ososky et al.(2014)、Merritt & Ilgen (2008)、Montague and Xu (2012) など多数存在する)。自動化システムに対する信頼、過信、不信に関しては、Parasuraman & Riley (1997) (あるいはこれをレビューした Lee (2008))に詳しい。和文では、伊藤(2016)を挙げることができる。

自動化システムに関する信頼について、先駆的なかつ重要な研究は Lee & Moray (1992)によるものである。Lee & Moray (1992)では、信頼の概念を次の4つの次元 (dimension) に分類することを提案している。

(i)基礎 (Foundation)

(ii)能力 (Performance)

(iii)方法 (Process)

(iv)目的 (Purpose)

適切な信頼とは何か? 信頼の適切さの議論は、システムの信頼性 (reliability) のキャリブレーションの問題としてとらえる立場がある(たとえば、Lee & See,2004)。確かに、システムの能力を著しく上回るような期待(信頼)をすべきではないし、システムが持つ能力程度には期待(信頼)をしてほしいことからすれば、キャリブレーションという考え方をとることは間違いではない。しかし、確率として表現できる信頼度(reliability)の主観的見積もりとしての信頼(trust)の度合いの良否としてキャリブレーションを論ずることは必ずしも適切ではないと思われる。むしろ、方法や目的の次元を考慮に入れて、システムの機能実現のための方法に関する理解(イメージ)が適切であるかどうか、という観点から、信頼の適切さを考察することが必要であると考えられる(Itoh,2012)。

したがって、信頼の考察においては、システムに対するユーザーの理解という観点が重要となる。過信や不信に対する工学的な対策案としては、事前

の説明・教示の方法や、システム状態に関する情報提示のデザインが課題となる。

3.2.2. 自動車の運転支援と自動運転におけるヒューマンファクタ研究

ヒューマンファクタ分野において早くから自動化が進んできた分野（航空、プロセス制御）では、大規模な装置を、よく訓練されたプロのオペレータが操作するということが暗黙の裡に前提とされていた。これに対し、自動車の分野においては、運転免許証を保有していることは前提となるものの、自動化装置に関する教育や訓練はほとんどと言っていいほど前提とはできない。また、これまでに商品化されたシステムは比較的単純な機能のものが多く、複雑なモード・コンフュージョンのような問題はあまり発生してこなかった。自動車の運転支援と自動運転に関するヒューマンファクタ問題の分析について重要な研究を挙げてみよう。

誤解を恐れずに極端な言い方をすれば、自動運転が正常に（ドライバーの期待通りに）作動している間は、ヒューマンファクタ上の問題は生じない。問題は、自動運転システムに何らかの異常が発生したりして、ドライバーが運転に介入したり、運転を引き継がなければならない場面が生じた際に、ドライバーが適切な対応を取れるかどうかである。この問題については、すでに 1990 年代から問題が指摘されていた（Hancock & Parasuraman, 1992; Desmond, Hancock, & Monette, 1998; de Waard, van der Hulst, Hoedemaeker, & Brookhuis, 1999; Stanton, & Young, 1998）。最近でも、自動運転に関するヒューマンファクタ研究における重要項目は、従来の自動化におけるヒューマンファクタ研究のそれとほとんど変わらないことを指摘する研究者は多い（たとえば Saffarian et al., 2012）。

なお、自動車の自動運転のヒューマンファクタ研究に関しては、いくつかの良質なサーベイ文献がある。たとえば、Reeves (2014)などを参照のこと。

3.2.2.1. ワークロード(workload)のアンバランス

自動運転はワークロードを減少させるという報告はいくつかある（Carsten et al., 2012; de Waard, et al., 1999）。これらは、概ねもともとワークロードが低い場面での効果である。そうでないと、システムが作動できない。一方で、道路が混雑していたり、難しい場面になると、システムはドライバーに TOR を出さざるを得ない。旧来、ヒューマンファクタの分野で指摘されてきたようなワークロードのアンバランスの問題は、依然として自動車分野でもそのまま課題となっている。

たとえば、Young and Stanton (2007)は、ACC 使用時とくらべ、自動操舵を利用する場合、運転に関する注意のリソースが著しく減少することを指摘している。このことが、今日問題となっている” out-of-the-loop” の根幹にあるということができる。

また、Jamson Merat, Carsten, & Lai (2013)は、自動運転中にドライバーの覚醒度が低下することを示している。同様の傾向は、他の研究でも確認されている。たとえば、大谷ら(2016)は、レベル 2 の自動運転が作動中、ドライバーは眠気を感じる傾向があることを指摘している。本間ら(2016)も、レベル 3 の自動運転が作動中、ドライバーが眠気を感じる傾向があることを指摘している。

3.2.2.2. 状況認識の失敗 — Out-of-the-Loop 問題 —

Seppelt & Victor (2016)は、自動車の自動運転においていわゆる Out-of-the-loop 問題が重要な問題であることを指摘している。たとえば、Merat & Jamson (2009)は、自動運転中に両手・両足が操作デバイスから離れている場合、状況認識が著しく悪化することを指摘している。

また、Gold, Dambock, Lorenz, & Bengler (2013)は、レベル 3 の自動運転中に Take Over Request (TOR)が発出する場合、状況認識を回復させて運転に復帰できるためには少なくとも 5-7 秒の時間余裕を持たせる必要があることを指摘している。これは、自動車の運転という「制御ループ」から逸脱している場合、状況認識の欠落が顕著となることを意味している。

Gold, Lorenz, Damböck, & Bengler (2013)は、自動運転中に手を離している場合とハンドルを握っている場合とで、介入操作(2度以上の操舵か、10%以上のペダル踏込)を始めるまでの時間を比較し、ハンドルを握っている場合の方が 0.3 秒早いことを示しているが、この差は統計的に有意ではなかった。また、Naujoks, Purucker, Neukum, Wolter, & Steiger (2015)も、ハンドルから手を離している場合とそうでない場合とで、TOR 発出時の対応に大きな差異は見られなかったことを指摘している。Petermeijer, Abbink, & de Winter (2015)は、たとえハンドルを握っているとしても、システムによる制御に委ねている場合は、ドライバー介入が必要な場合の対応が遅れることを指摘している。これらのことは、ハンドルを握っているかどうかということよりも、運転という行為に意識的に積極的にコミットしているかどうかことが重要であることを示唆するものといえる。

大谷ら(2016)は、自動運転によって覚醒度が低下することを指摘するとともに、TOR に気付かないケースが少なからずみられる(視覚情報のみでは

64%のドライバーが、聴覚情報のみでも36%のドライバーが気づかなかった)ことを指摘している。

3.2.2.3.モード・コンフュージョン(mode confusion) (Degani, Shafto, & Kirlik, 1999)

自動車の運転支援システムにおいては、複雑なモードを持つものは少なかった、モード・コンフュージョンが問題となることはほとんどなかった。ほとんど唯一と言っていいモード誤認の問題として、高速域ACCと低速域ACCの誤認の問題があげられる(Itoh et al., 2005)。高速域ACCと低速域ACCとでは、先行車ロス時の対応が異なる(高速域:制御継続・加速、低速域:制御解除)ため、どちらのモードで現在走行中かを正しく認識していないと、取るべき対応を誤る可能性があった。なお、Larsson(2012)は、ACCの使用に慣れた人がACCのない自動車を運転中にシステムによるブレーキがかからないことに当惑したユーザーがいることを報告している。これは、広い意味でのモードエラーとは言える。また、ACCの搭載された自動車を走行していて、現在ACCがオンなのかオフなのかが分からなくなったことがある人がインタビュー対象者のうち31%存在したことも報告している。これも一種のモード・コンフュージョンではある。筆者(伊藤)も、ACCの搭載された車両の試乗において同様の経験をしたことがある。旧来、ACCは高級車にのみ搭載可能なオプションであった。一部の高級車では、ACCオフ時でも車両はスムーズに滑るように走行を継続することがある。この場合、ACCがオンなのかオフなのかがわかりづらい。

今後自動運転の動作ロジックが複雑になっていくことを踏まえると、モード・コンフュージョンの問題についても注意していく必要がある(Merat & Lee, 2012)。

3.2.2.4.オートメーション・サプライズ(Sarter & Woods, 1995)

Larsson(2012)は、ACC使用時に、ブレーキランプがちゃんと点灯しているのか、自車の振る舞いが他車からみておかしいものでないかということに不安を覚えるユーザーがいることを報告している。

Itoh & Inagaki(2014)は、車線変更時に、ドライバーが認識している危険車両とシステムが認識している危険車両との間に齟齬が生じる場合、オートメーション・サプライズが発生することを指摘している。また、Itoh(2009)は、ACCを対象として、システムが認識できていない他車両があるときに、ドライバーが「システムは当然その車両を認識しているだろう」と誤解する

ことによってオートメーション・サプライズが発生することを指摘している。

3.2.2.5.意図の対立 (conflict of intention)

「自動運転」という文脈では、意図の対立を論じた論文はほとんどない。ただし、緊急時の衝突回避を例にとれば、歩行者回避の問題において、ドライバーとシステムとの間で意図の対立が発生する可能性があることを指摘した研究もある (Itoh et al., 2013)。

3.2.2.6.リスク補償 (risk compensation) (Wilde、 1994)、行動変容

Brandenburg & Skottke (2014)、Skottke et al. (2014)は、自動走行を経験した後でマニュアル走行を行った場合、前車への車間が狭まったり、車両のふらつきが大きくなる傾向があることを指摘している。これは、自動走行を経験することによって、リスクの知覚が歪むか、あるいはそれにもなつて行動変容がおこることを意味している可能性がある。また、スキルの低下とも関係する可能性がある。

3.2.2.7.スキルの低下 (skill degradation)

自動車の自動運転という文脈では、ドライバーのスキルの低下を論じた論文はまだ見当たらないが、2.1.6 で示したように、スキルの低下を示唆する結果はある。

3.2.2.8.加齢の問題

自動車の運転においては、加齢による運転能力の低下の問題が重要となる。これは、職業としてのオペレーションを行う航空や原子力などのヒューマンマシンシステムと比べると、著しくことなる点である。自動車の自動走行システムを利用するにあたり、高齢者が適切な対応を取れるかどうかは重要な検討課題である。

Körber, Gold, Lechner, & Bengler (2016)は、60歳以上のドライバーと28歳以下のドライバーとを比較し、TOR発出時の対応を分析している。その結果、TORへの反応自体は高齢者と若年者とで大きな違いは見られないことを指摘している (ただし、運転操作を引き取った後の操作の安定性という点においては、高齢者は若干成績が悪かった)。なお、この実験では、認知機能の検査は厳密には行っておらず、目立った障がないことの確認にとどまっている。運転免許を保持できるレベルではあっても、認知機能の衰えは十分にありうることから、認知機能のレベルと自動運転時の対処行動の成績との

関係を調べる必要がある。

3.2.3. 運転支援システム・自動運転システムへの信頼に関する研究

(1) 信頼

Abe et al. (2015)は、自転車を追い越す際の自動運転システムの運転操作とドライバーの信頼の関係を調べた。その結果、自動運転システムがそのドライバーの運転操作に似せて動作すると、信頼されやすい傾向があることを指摘している。また、ブレーキ操作のタイミングや間隔の取り方については、そのドライバーが行うよりも少し安全側に行うことがより信頼に結びつきやすいことも指摘している。これは、信頼の **process** の側面に着目した研究といえるだろう。

Beggiato & Krems (2013)は、ACC に対する事前の説明の仕方と使用経験の蓄積による信頼の変化を分析し、システムの失敗は、ドライバーがあらかじめその理由を理解できていれば、信頼が失われにくいことを指摘している。また、Beggiato et al. (2015)は、ACC 継続して使用中での信頼感の醸成のプロセスを分析し、その結果、使用経験が増すにつれて徐々に信頼感があがっていくことを示している。

(2) 不信

特定のシステムを対象として、(不適切なまでの) 不信を論じた論文はほとんど見られない。一方、将来の自動運転システムの利用に関しては、自動運転をあまり利用したくないという人が多いことを指摘する研究がある (Kyriakidis et al., 2015; Payre et al., 2014)。

(3) システムに対する過信とコンプレーションシー (complacency)

Strand et al. (2014)は、semi-automated (ACC) と highly-automated (Traffic Jam Assist, ACC+自動操舵) とを比較し、システムの異常 (ここでは、ACC のブレーキが部分的もしくは完全に効かなくなる) 時のドライバーの対応を分析している。その結果、highly-automated の方が、システム異常時のドライバーの対応が遅れがちであるとの結果を得ている。このことは、運転操作に対する関与の度合いが低まるほど、警戒心の低下 (コンプレーションシー) が起こりやすいことを表している。ただし、これを「過信」の問題と位置付けるかどうかは、慎重に考えなければならない。

Payre et al. (2015)は、自動運転システムを使用するまえのトレーニングに着目し、ごく簡単に使い方だけを学ぶ場合と、運転の引継ぎを含み詳細な訓練をした場合とを比較している。その結果、簡単な訓練の条件下では、信頼感が高いほど TOR 発出時の反応が遅いのになら、詳細な訓練を行った条

件下では、信頼感が高くても反応時間は遅れない傾向があることを指摘している。この結果は、過信ないし過度な依存の抑制に訓練が有用であることを示唆するものといえる。しかし、ではどの程度の訓練が実際に必要かについては、まだ明らかになっていない。

(4) システムに対する理解

Flemisch et al. (2008) は、自動運転中にシステムが突然シャットダウンするイベントを発生させ、ドライバーの対応を調べた。その結果、ほとんどのドライバーは運転を適切に継続できず、カーブで道路を逸脱することが多かったことが報告されている。このことは、ドライバーが介入・引継ぎをしなければならない場面において、何が起きているのか、なぜそれが必要であるのかをドライバーが理解できることの重要性を示唆するものである。

Larsson (2012) は、ACC を使用しているドライバー 130 名中 36 名が、システムの限界を認識できていないと感じていることを報告している。しかし、長く使うほどにシステムの限界を理解するようになる傾向があることを指摘している。

Larsson et al. (2014) は、ACC 使用中に自車前方に他車が割り込んでくるタイミングで ACC が加速を始めるというイベントを対象として、過去の ACC 使用経験の効果調べた。その結果、過去に ACC を使用したことがある群の方が、ブレーキ操作への反応が早くなる傾向があることを指摘している。この結果は、システムの限界をただ机上の知識として知るだけでなく、実際に経験することによって理解が深まることを意味している。

Merat et al. (2014) は、自動運転が解除される状況が予測しやすい場合、ドライバーはその事態を予期し、前方を注視するなどの予備的な行動をよりとるようになることをシミュレータ実験によって示している。このことは、システムに対するドライバーの理解の重要性を示唆するものといえる。

Beggiato et al. (2015) は、ACC 継続して使用中での信頼感の醸成のプロセスを分析し、ACC 使用中に経験しなかったシステム機能限界については、記憶が失われていくことを指摘している。

(5) Abuse 問題

Carsten et al. (2012) は、システムが横方向の制御を行っているときに、ドライバーが運転以外のタスクにより関与しがちとなることを指摘している。

Jamson Merat, Carsten, & Lai (2013) は、システム仕様時のドライバーの意識が運転以外のことに奪われやすいこと、とくに交通量が少ない時にそのような効果が顕著かどうかを分析している。

De Winter et al. (2014) は、ACC と自動運転に関する研究のメタアナリ

シスを行い、その結果、自動運転中はドライバーが本来はシステムの監視をすべきであるにもかかわらず、運転以外のことに注意を向けようとする傾向があることを指摘している。

Wu & Boyle (2015)は、システムにとって危険と思われる状況でも ACC を使おうとする人がいることを指摘している。

Naujoks et al. (2016)は、実路での ACC と LKA を利用した走行実験の結果として、システム作動中はドライバーが運転以外のタスクに注意を向けがちになることを指摘している。

3.2.4. システム設計への反映

Donmez et al. (2006)は、ドライバーディストラクションを解消させるための方策として、ディストラクションの不利益を警告する「アドバイス」と、ディストラクション状態に陥らなくする「ロック」の戦略の評価を行っている。

Seppelt & Lee (2007)は、ACC を対象に、システムの機能限界を視覚化したエコロジカルインタフェース設計を提案している。しかし、このデザインは直感的にはわかりづらいものであり、この成果はあまり広まっていはいない。

Hajek, Gaponova, Fleischer, & Krems (2013)は、ドライバーのワークロードに応じて作動を切り替える ACC を提案している。

Gold, Dambok, Lorenz, & Bengler (2013)は、自動運転中に操舵で回避しなければならない TOR 場面において、TOR5 秒の場合と 7 秒の場合を比べ、5 秒の場合はドライバーの反応は素早いですが運転パフォーマンスとしては好ましくないことを指摘している。すなわち、緊急回避が必要な場面では、TOR5 秒では不十分というべきであろう。

Larsson, Johansson, Söderman, & Thompson (2015)は、自動運転システムの HMI デザインを検討した結果、よりシンプルなデザインの方がシステムのセットや TOR 時の対応がスムーズな可能性があることを指摘している。

Louw, Kountouriotis, Carsten, & Merat (2015)は、HMI のデザインを検討し、システムにとって状況が不確実な状態を示すことを提案している。

Blanco et al. (2016)は、レベル 2 の自動運転における TOR のデザインを検討し、音声に加え触覚情報を用いることの重要性を指摘している。

Banks & Stanton (2016)は、自動運転中の車線変更の意思決定をドライバーの承認のもとで行うシステムデザインを提案し、その有効性を示している。このことは、運転中にドライバーを制御ループにとどめること(この場合は、戦術的レベル(Michon, 1985))の重要性を支持するものである。

3.2.5. 残された課題

自動運転システムをドライバーが適切に信頼・利用できるようにするためには、ヒューマンマシンインタフェース(human-machine interface: HMI)、ヒューマンマシンインタラクション(human-machine interaction: HMI)を適切に設計することや、事前の適切な啓もう・訓練が必要なのは自明である。しかし、システムの機能やその限界、システムの状態に関する情報をどう伝え、システムに対する理解・信頼がどう影響され、ドライバーの行動にどのような効果をもたらすのかということについては、知見の体系化はまだ不十分である。今回の調査でも、重要な文献をそれぞれの項目に割り振って整理を試みたが、それぞれの文献間の相互関係はまだ明確に浮かび上がってはいない。

いずれにしても、システムの機能や限界に対してドライバーがあらかじめ知っておくべきことは何か？ という問いに対する答えを示した文献はない。また、システム作動中にドライバーが知るべきこと(システムの現在の状態と機能限界との関係など)は何か、という問いについても同様である。これらの問いは工学的・実学的に重要であるにもかかわらず、具体的な考察はほとんどなされていないと言ってよい。

現在受託している研究の A 課題は、まさにこれらの問いに対する回答を導き出すための取り組みである。

なお、その取り組みにあたって、高齢者の視点は重要である。今回の文献レビューから明らかになったように、高齢ドライバーを対象とした自動運転の HMI 研究はほとんどない。認知機能の衰えは十分にありうることから、認知機能のレベルと自動運転時の対処行動の成績との関係を調べる必要がある。

3.3. 課題 A の計画

3.3.1. 課題 A の取り組み概要と目標（3 か年全体）

課題 A の 3 か年での取り組みは、次の通りである。

（平成 28 年度）

- 自動走行システムが提供する機能に対し、その目的、動作原理、限界に関するドライバーの知識（静的情報）に起因する、システムへの過度の依存、過信、機能誤解といった安全に係るヒューマンファクタ上の影響を明らかにする。特にシステム機能に関する知識が、モード遷移に及ぼす安全上の影響を明らかにする。
- また、ユーザーが最低限知っておかなければならないシステム機能の知識とその適切な情報形態の要件を導出する。

（平成 29 年度）

- 自動走行システムの動作状態（動的情報）とその状態に応じてドライバーが行うべき操作（正常時、異常時の対応）への不理解に起因する、モード・コンフュージョンやオートメーション・サプライズといったヒューマンファクタ上の影響を明らかにし、これらを抑制するためのシステムの動作状態とその適切な情報形態の要件を導出する。特に、システム異常時のドライバーへの情報提供は、その後のシステムによる対処方法と合わせ、一連の機能として検討する。
- さらに、システムの動作状態を的確にドライバーに理解させるための HMI と自動走行システムの動作に関する基本要件を導出する。

（平成 29、30 年度）

- オーバーライド時のコンフリクト
- システムの不正な使用
- HMI の試作、テストコース等での実証

3.3.2. 実験計画（提供される知識）

システム機能に関する知識が、モード遷移に及ぼす安全上の影響を明らかにするにあたり、提供される知識（5 項目）について、その有無に応じて 5 つの実験グループを構成する。

	介入・引継必要性	TOR表示	遷移条件	TOR不発可能性 (レベル2のみ)	監視義務 (レベル2のみ)
1	×	×	×	×	×
2	○	×	×	×	×
3	○	○	×	×	×
4	○	○	△ (部分的)	×/○	TOR不発×⇒× TOR不発×⇒×/○
5	○	○	○	○	○

レベル3実験で検討
レベル2実験で検討

図 3-1

< 提供される知識（5項目） >

- ・ 介入・引継ぎ必要性：
 - 自動運転中に、ドライバーが制御に介入・引継が必要な場面が起こりうることを知っている
- ・ TOR表示：
 - （キャビン内で提示される様々な情報のうち）ある特定の情報提示がTORを意味するものであることを知っている
- ・ 遷移条件：
 - 制御介入・引継ぎをしなければならない条件を知っている（部分的（△）か、すべてか）
- ・ TOR不発可能性（レベル2限定）
 - TORが出ないケースがありうることを知っている
- ・ 監視義務（レベル2限定）
 - 監視義務があることを知っている

3.3.3. 実験計画（考察の観点）

3.3.3.1. 実験1：レベル3

- ・ 遷移条件までを伝えることが必要であることはほぼ自明だが、そのことを実験によって確認する
 - 逆に、与える知識が多すぎると覚えきれない懸念もある
- ・ （机上の）知識として知っていればいいのか、(DS)体験が必要かを検討する
 - シナリオに織り込む

3.3.3.2. 実験 2 : レベル 2

- ・ 遷移条件・TOR 不発可能性・監視義務の説明の方法について
 - ・ システムの機能・原理の説明か、介入が必要な場面の説明か？
 - 機能に関する説明
例：「システムは自動車線変更はしません」
 - 場面に関する説明
例：「前方の車線が規制されていたら介入が必要です」
 - ・ 主語は？
 - システムの機能の説明
 - ドライバーがなすべきことの説明
- ※この部分を、産総研 B 課題に織り込んで実施

3.3.4. 実験計画（実験 1）

- 独立変数：介入・引継ぎ必要性、TOR 表示、遷移条件についての知識の程度（被験者間要因）
- 実験参加者：各条件について若年層 10 人、高齢者層 10 人
- 自動運転中のドライバー状態は以下とする。
 - レベル 3：低覚醒状態が回避できている状態でサブタスクを実行（SuRT）
- 引継ぎを要する以下のイベントを含むいくつかのシナリオを用いる。
 - 現実のシステムとしては、レベル 3 では、計画的機能終了のみが対象となる可能性は高いが、様々な可能性を視野に入れて、この実験では下記のすべてを対象とする

レベル3	TOR	原因
機能喪失	有り	故障による機能停止
機能限界	有り	カーブでの車線のかすれ等
機能終了	有り	ICで機能終了

図 3-2

- 作業仮説
 - 引継ぎ可能性、TOR 表示、遷移条件の部分的知識がないとうまくいかない例が多い
 - ただし、一度経験すれば、同じ事象に対してはうまく対処できる（体験の必要性）
 - 部分的に知っていれば、別の事象に対して知識を汎化できる（すべて
-
-

の遷移条件を知っていなければならないわけではない)

- 評価指標
 - 遷移にかかる時間、運転パフォーマンス

3.3.4.1.実験計画（実験1のイベントと、仮説の具体化）


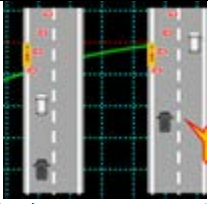


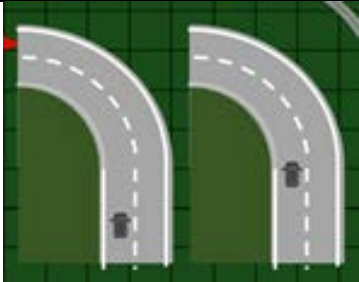
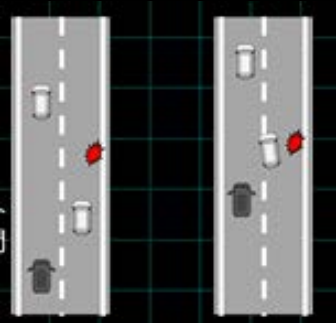
ジャンクション到着（最初のイベント）	工事によるレーンクローズ	
	 <p>先行車有・TOR理由がわかりにくい</p>	 <p>先行車無・TOR理由わかりやすい</p>
霧での車線区分線認識不可	車線区分線のかすれ	「不安」
 <p>機能喪失（故障）も含める（8） カメラの汚れによる車線区分線の不認識</p>		

図 3-3

※図の隣の数値は、経験順 これら以外に、ダミー3走行

- ・ 最初のイベント（JCT）経験の際、条件 1、2 は成績悪い（必要性・TOR 認識の必要性）
- ・ 2 回目のイベント（レーンクローズ、先行車有）では、条件 1-3 は成績悪い（遷移条件の必要性）
- ・ 同一種（レーンクローズ、先行車有）では、1 回目よりも 2 回目の方がよい（「経験」の重要性）
- ・ 霧を経験した後のかすれ（あるいはその逆）に対しては、成績悪くない（知識の汎用可能性）
- ・ 「不安」は、条件 5 以外は成績悪い（知識の汎用可能性の限界）

3.3.4.2.実験計画（課題 B 実験での課題 A の織り込み）

- ・ 独立変数：
 - 介入・引継ぎ必要性についての主語（システム主語の説明 a1、ドライバー主語の説明 a2）（被験者間要因）

-
-
- TOR 表示説明なし(b1)、TOR 表示(b2)についての知識の程度（被験者間要因）
 - 遷移条件の知識については、本実験では1種類のみなので、検討対象に含めない
 - 実験参加者： 各条件の組み合わせ（a1+b1、 a1+b2、 a2+b1、 a2+b2）ごとに18名
 - 自動運転中のドライバー状態は以下とする
 - レベル2：サブタスクなし
 - 引継ぎを要するイベント
 - 故障による機能喪失
 - 作業仮説
 - 引継ぎ可能性についての説明に関しては、ドライバー主語で説明する方がTORに適切に対応できる
 - TOR表示の説明をしないと、運転引継ぎがうまくいかない例が多い
 - 評価指標
 - 自動走行中に前方を見る頻度、時間
 - 遷移にかかる時間、運転パフォーマンス

3.3.4.3. 実験計画（課題 B 実験での被験者への説明案）

- a1+b1
 - この自動運転システムでは、作動中にシステムが機能不全となる場合があります
 - a1+b2
 - この自動運転システムでは、作動中にシステムが機能不全となる場合があります
 - そのとき、このアイコンがこのように変化し、このような音が鳴ります（アイコンの絵を見せる、音を聞かせる）
 - a2+b1
 - この自動運転システムでは、システム作動中に、あなたが運転を引き継がなければならなくなる場合があります
 - a2+b2
 - この自動運転システムでは、システム作動中に、あなたが運転を引き継がなければならなくなる場合があります
 - そのとき、このアイコンがこのように変化し、このような音が鳴ります（アイコンの絵を見せる、音を聞かせる）
-
-

3.3.5. 実験計画（実験2）

- ・ 独立変数
 - TOR 不発可能性、遷移条件の知識レベル、監視義務についての知識の程度
 - 伝える知識の表現形態（機能・場面）
- ・ 自動運転はレベル2
 - セカンダリータスク SuRT を ISO の規定通り行う
- ・ 実験参加者：
 - 各条件について若年層 10 人、高齢者層 10 人程度とする（実際問題として、実施できる被験者数は 100 名が限界なのでその範囲内で条件内の人数を確保する）
- ・ 引継ぎを要する以下のイベントを含むいくつかのシナリオを用いる。

レベル2	TOR	原因
機能喪失	有り・なし	故障による機能停止
機能限界	有り・なし	カーブでの車線のかすれ等
機能終了	有り	ICで機能終了

図 3-4

3.4. 本研究の具体的な目的と方法

文献調査で明らかになったように、自動走行システムの目的や機能に対してユーザ（ドライバー）が何をどこまで理解しておく必要があるかはほとんどわかっていない。そもそも、現状において、一般のユーザが自動運転というものをどう理解しているかも不明である。

そこで、本研究では、次のことを目的とする。

(1) 一般の人々が自動運転に対してどのような理解をしているのかを明らかにする

(2) ドライバーにあらかじめ伝えるべき情報を明らかにする

目的(1)を達成するために、アンケート調査を実施する。

目的(2)を達成するために、「ユーザに教示する、システムに関する知識情報」を統制して、与えられた知識の程度やその表現によって、ユーザが対応すべき場面におけるユーザの行動がどのように影響を受けるかについて実験を通じて調べる。この実験は、危険な場を伴うことから、ドライビングシミュレーターを用いる。

実験を行うにあたって、ドライバーに提供できる知識は、次のように整理できると考えられる。

- 介入・引継ぎ必要性：
 - 自動運転中に、ドライバーが制御に介入・引継ぎが必要な場面が起りうること自体
- TOR (TakeOver Request)表示：
 - (キャビン内で提示される様々な情報のうち) ある特定の情報提示が TOR を意味するものであること
- 遷移条件：
 - 制御介入・引継ぎをしなければならない条件 (部分的 (△) か、すべてか)
- TOR 不発可能性 (レベル 2 限定)
 - TOR が出ないケースがありうること
- 監視義務 (レベル 2 限定)
 - ドライバーに監視義務があること

ドライバーが持ちうる知識の組み合わせと、その例を図 3-5 に示す。

引継ぎ可能性	TORの意味	遷移条件	知識の例
×	×	×	「このシステムは高速道路で自動運転を行います」
○	×	×	「制御に介入しなければならない場合があります」
○	○	×	「***という表示がでたら、システムがあなたに制御の引継ぎを要請していますので、あなたが運転してください」
○	○	△ (部分的)	「例えば、車線区分線が見えないときには制御が継続できなくなります。その場合はあなたが運転を行ってください」(レベル2) 「例えば、目的のICに来たらシステムは制御を終了しますので、以降の運転はあなたが行ってください」(レベル3)
○	○	○	介入を必要とする場面・要件をすべて知らせる

図 3-5 ドライバーが持ちうる知識レベルとその例

本研究での課題は、図 3-5 のレベル分けにおいて、どの段階までの知識が必要であるかを明らかにすることである。

また、遷移条件については、多数のケースがありうることから、すべてを理解するのは困難であると考えられる。そこで、限られた知識から、いかにして汎化を行えるかを明らかにする必要がある。

さらには、与えられた知識から具体的な行動に反映できるためには、ユーザー視点からの説明とすべきか、客観的視点からの説明とすべきかも考察する必要がある。

以上について、特に高齢者を想定した場合、知識の説明の仕方について特に配慮すべきことがあるかどうか、検討を行う必要がある。

以上の問題意識に基づき、本研究では、次の 3 つの実験を行う。

実験 1：自動運転レベル 3 を想定：若年層、高齢層

- ・ 引継ぎ必要性、TOR 表示意味、遷移条件の情報の必要性を検討する。これらが必要なことはほぼ自明であると思われるが、データで確認することに意義がある。
- ・ 体験の効果を検討する。(机上の) 知識があれば対応できるか、(DS) 体験が必要かを明らかにする。

実験 2：自動運転レベル 2 を想定

実験 2 α：若年層 (B 課題産総研実験に織り込んで実施)

- ・ 介入・引継ぎの必要性についての説明の主語の影響を調べる。システムの立場で説明した場合と、ドライバーの立場で説明した場合との比較を行う。
- ・ TOR 表示意味の理解の必要性を確認する。

実験 2 β：若年層、高齢層

-
-
- ・ 遷移条件についての知識の汎化可能性を調べる。機能で説明（想像しづらい、汎化しやすい）する場合と、場面で説明する場合とを比較する。
 - ・ 監視義務についての説明の主語を調べる。システムの立場で説明（例：TOR 出ない）する場合と、ドライバーの立場（監視義務がある）で説明する場合とを比較する。

3.5. 一般市民の自動運転システムに対する理解度についてのウェブ調査

一般市民の、現状における自動運転システムに対する理解度を調べるためのアンケート調査を行った。質問文の検討を行うための予備調査と、質問文を調整したうえでの本調査とを行った。なお、本調査は、筑波大学システム情報系研究倫理委員会の承認を得て行っている。

3.5.1. 予備調査

予備調査では、付録 A.1 に示す調査票を策定した。回答者は、全体で N=166（後日修正）人であり、図 3-6 に示す年齢分布となっている。自動車に対する興味は図 3-7 に示す通りであり、特に関心の高い人が回答者だとは限らないことがわかる。

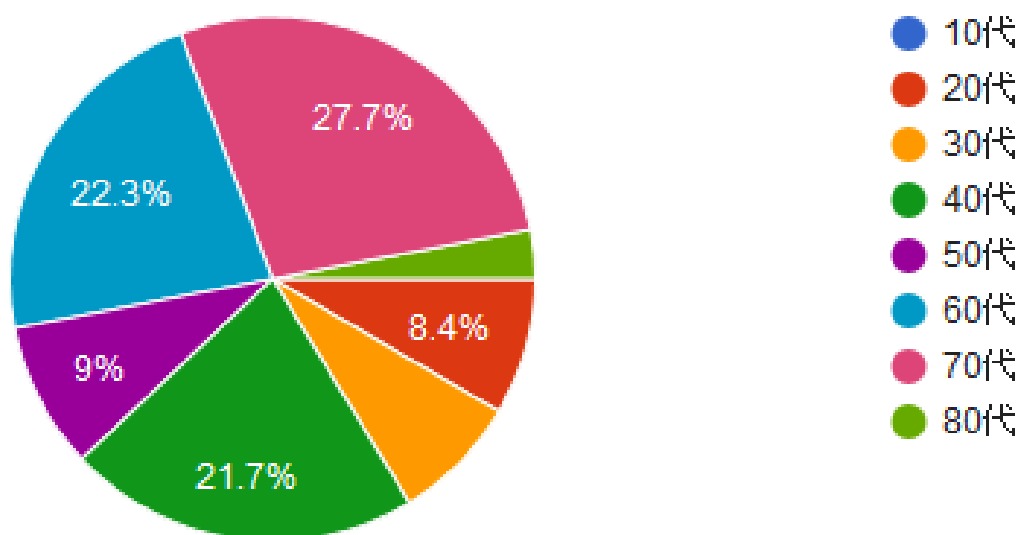


図 3-6 予備調査の年齢分布

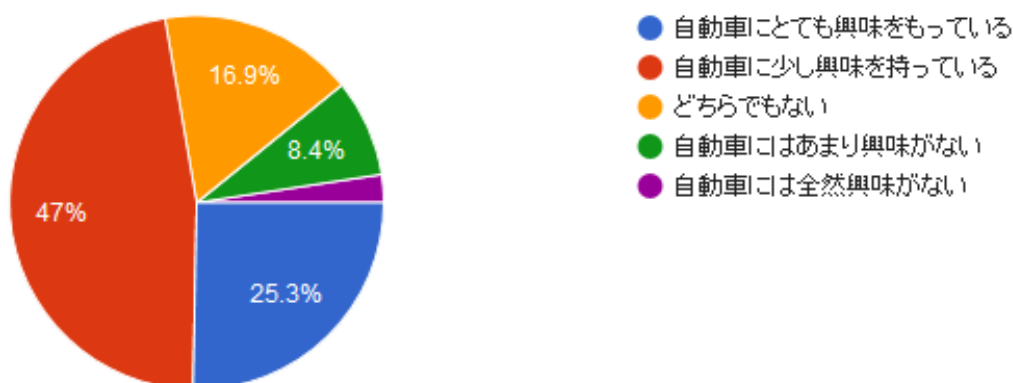


図 3-7 自動車に対する興味

この予備調査では、「自動運転のレベル」という言葉についての理解は、次に図 3-8 に示すとおりであった。すなわち、約 8 割の人は、自動運転のレベ

ルという言葉を知らないか、聞いたことはあっても意味が分からないと回答している。

その言葉自体、見た(聞いた)ことがない	90	54.2%
その言葉は見た(聞いた)ことがあるが、意味の説明は見た(聞いた)ことがないし、わからない	42	25.3%
その言葉は見た(聞いた)ことがあり、意味の説明は見た(聞いた)ことがないが、大体意味はわかる	15	9%
その言葉を見た(聞いた)ことがあり、意味の説明も見た(聞いた)ことがあるが、よくわからない	7	4.2%
その言葉を見た(聞いた)ことがあり、意味の説明も見た(聞いた)ことがある。意味も大体わかっている	11	6.6%
その言葉を見た(聞いた)ことがあり、意味の説明も見た(聞いた)ことがある。意味もよくわかっている	1	0.6%

図 3-8

さらに、「自動運転のレベル」の意味が分かるという人々についても、たとえばレベル2の自動運転に関する理解は次のようになっている。

常に走行の状況を監視しなければならない	14	41.2%
常にハンドルを握っていないといけない	11	32.4%
システムからの要請の有無にかかわらず、必要ならばいつでも運転操作を自分で行わなければならない	26	76.5%
システムからの要請があれば、いつでも運転操作を自分で行わなければならない	25	73.5%
システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない	5	14.7%
ハンドルかペダルのどちらかを操作しなければならない	14	41.2%
運転席に座っていないといけない	24	70.6%
お酒は飲んではいけない	27	79.4%
眠ってはならない	27	79.4%

レベル2ではドライバーには監視の義務があるが、そのことを正しく理解しているのは40%にとどまる。

レベル3の自動運転に関する理解は、次のようになっている。

常に走行の状況を監視しなければならない	14	41.2%
常にハンドルを握っていないといけない	6	17.6%
システムからの要請の有無にかかわらず、必要ならばいつでも運転操作を自分で行わなければならない	18	52.9%
システムからの要請があれば、いつでも運転操作を自分で行わなければならない	24	70.6%
システムからの要請がない限りは、走行の状況を監視する必要はない	7	20.6%
ハンドルかペダルのどちらかを操作しなければならない	8	23.5%
運転席に座っていないといけない	24	70.6%
お酒は飲んではいけない	26	76.5%
眠ってはならない	24	70.6%

「システムからの要請があれば、いつでも運転操作を自分で行わなければならない」ことについては、正しく理解できているのは70%にとどまる。

以上のことから、自動運転システムの性能の限界がどのようなところで発生するのかといったことや、その時にドライバーが何を期待されているのかということについての理解は、現状では不十分であると言わざるを得ない。

そこで、このような状況であることを前提として、ではドライバーにどこまであらかじめ理解させておくべきかを検討する必要があるといえる。

なお、予備調査は、人数も限定的であった。そこで、調査対象を拡大し、調査地域も拡大して、日本全国における自動運転への理解をあらためて行った。次節では、その調査内容と結果を報告する。

3.5.2. 本調査

自動運転に関する人々の現状の理解について、大規模調査を行った。

調査対象は、以下に示す基準でバランスをとるように選定した。回答者の属性の詳細については、付録 A.2 を参照のこと。

- 運転免許証の保有（保有（または過去に保有していた））
- 居住地（9地区：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（3区分：（若年（20－35歳）／壮年（36－45歳）／中年（46-60歳）／高齢（61歳以上））

実際の属性と人数は以下の表 3-1、表 3-2 に示すとおりである。

表 3-1 本調査回答者の性別

SEX	性別 単一回答	N	%
1	男性	1073	51.5
2	女性	1011	48.5
	全体	2084	100.0

表 3-2 本調査回答者の年齢

AGEID	年齢 単一回答	N	%
1	12才未満	0	0.0
2	12才～19才	0	0.0
3	20才～24才	51	2.4
4	25才～29才	153	7.3
5	30才～34才	256	12.3
6	35才～39才	239	11.5
7	40才～44才	282	13.5
8	45才～49才	233	11.2
9	50才～54才	178	8.5
10	55才～59才	145	7.0
11	60才以上	547	26.2
	全体	2084	100.0

表 3-3 本調査回答者の居住地

AREA	地域 単一回答	N	%
1	北海道	168	8.1
2	東北地方	168	8.1
3	関東地方	496	23.8
4	中部地方	584	28.0
5	近畿地方	332	15.9
6	中国地方	112	5.4
7	四国地方	56	2.7
8	九州地方	168	8.1
	全体	2084	100.0

また、回答者の自動車に対する興味はつぎの表 3-4 のようになっている。
予備調査と比べて、むしろ自動車に興味を持たない人が多いといえる。

表 3-4 本調査回答者の自動車への関心

Q5	ご自身の自動車に対する関心度合いについてお答えください。 単一回答	N	%
1	自動車にとっても興味をもっている	304	14.6
2	自動車に少し興味を持っている	689	33.1
3	どちらでもない	477	22.9
4	自動車にはあまり興味がない	384	18.4
5	自動車には全然興味がない	230	11.0
	全体	2084	100.0

本調査において、自動運転のレベルという言葉の理解については、回答は表 3-5 のとおりとなった。予備調査同様、その言葉自体を知らない人が大半を占め、言葉として知っていても中身を理解できていないと感じている人が多い。正しく理解していると自認している人はわずか 5 % に過ぎない。

表 3-5 本調査回答者の自動運転のレベルについての理解

自動運転の機能に関する用語について、あてはまるものをそれぞれお選びください。	全体	1	2	3	4	5
		正しく理解している	言葉から想像がつく	説明を見たが、理解していない	説明を見たことがなく、理解していない	聞いたことがない
自動運転のレベル	2084 100.0	105 5.0	651 31.2	179 8.6	211 10.1	938 45.0

実際、自動運転のレベルについての理解は、次の表 3-6 の通りとなっており、自動運転のレベルに関する理解は不十分だと言わざるを得ない。たとえば、レベル 2 において、走行の状況をドライバーが監視しなければならないと認識している人は全体の 50% に満たない。

表 3-6 本調査回答者の自動運転のレベルの内容についての理解

自動運転のレベル 1~3(※注)の自動 運転作動中における ドライバーの役割 について、 当てはまると思うもの をすべて選んでく ださい。 縦方向に回答してく ださい。各項目で矢 印(↓)方向にそれ ぞれ選択してくださ い。 (※注)「戦略的イノ ベーション創造プロ グラム(SIP)自動走 行システム研究開 発計画」, 2016.10.20., 内閣 府より	全体	常に 走行の 状況を 監視し なければ ならない	常に ハンド ルを握 ってい なければ ならない	シス テム から の要 請の 有無 にか かわ らず、 必要 なら ばい つも 運 転操 作を 自分 で行 なけ れば なら ない	シス テム から の要 請が あ れば、 い つも 運 転操 作を 自分 で行 なけ れば なら ない	シス テム から の要 請が ない 限り は、 走 行の 状 況を 監視 する 必要 は な い	ハン ド ル か ペ ダル のど ちら かを 操 作し な け れ ば な ら ない	運 転 座 っ て い な け れ ば な ら ない	お 酒 飲 ん で は な ら ない	眠 っ て は な ら ない	上 記 に あ て は ま る も の は な い
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	2084 100.0	1305 62.6	1179 56.6	1127 54.1	967 46.4	408 19.6	927 44.5	1228 58.9	1321 63.4	1295 62.1	400 19.2
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	2084 100.0	919 44.1	821 39.4	869 41.7	849 40.7	327 15.7	681 32.7	951 45.6	1030 49.4	1010 48.5	529 25.4
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	2084 100.0	743 35.7	456 21.9	584 28.0	786 37.7	545 26.2	340 16.3	875 42.0	1001 48.0	959 46.0	568 27.3

以上の結果を踏まえると、予備調査で認められた傾向がほぼそのまま本調査でも認められたといえる。したがって、自動運転システムの機能やその限界について、啓蒙を適切に行わないと、誤った期待をドライバーが抱いてしまいかねない。

3.6. 実験 1

3.6.1. 目的

レベル 3 の自動運転を想定して実験を行う。自動運転の機能や性能の限界とそこでの対応に関して、ドライバーがあらかじめ知っておくべき内容を明らかにすることを目的とする。

また、その情報の内容や伝え方について、年齢を考慮に入れる必要があるか否かを明らかにすることも目的とする。

3.6.2. 実験参加者

実験参加者は、普通運転免許を有する 100 名である。年齢、男女比については、3.6.5 節実験計画において詳細を説明する。

実験参加者は、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無いことを条件として募集を行った。

実験参加者の運転経験や頻度などの詳細については、付録 A.4 の結果データ集を参照されたい。

3.6.3. 実験装置

本実験では、図 3-9 に示す定置型ドライビングシミュレーターをもちいた。このシミュレーターは、三菱プレシジョン社製 DS3Sim ver5 である。図 3-9 からわかるとおり、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。

実験に用いるコースは、片側 2 車線の高速道路である。



図 3-9 ドライビングシミュレータ

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。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、必ず事前に引継ぎ要請（TakeOver Request: TOR）を発出する。

なお、現状のSAEのJ3016では、運転引継ぎ要請はRequest to interveneという表現をするが、本報告書では、研究公募時の仕様とあわせてTORと表記することとする。

3.6.4. 課題

本実験において実験参加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。TORについてどう対応するかは、条件によって支持された内容が異なる。

また、走行開始後、しばらくするとビープ音が提示される。そのビープ音を聞いたら、実験参加者は、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は、すべての実験参加者に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 (Mattes and Hallén, 2009)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、SuRT 課題が組み込まれたタッチパッドを両手で持ち、作業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。

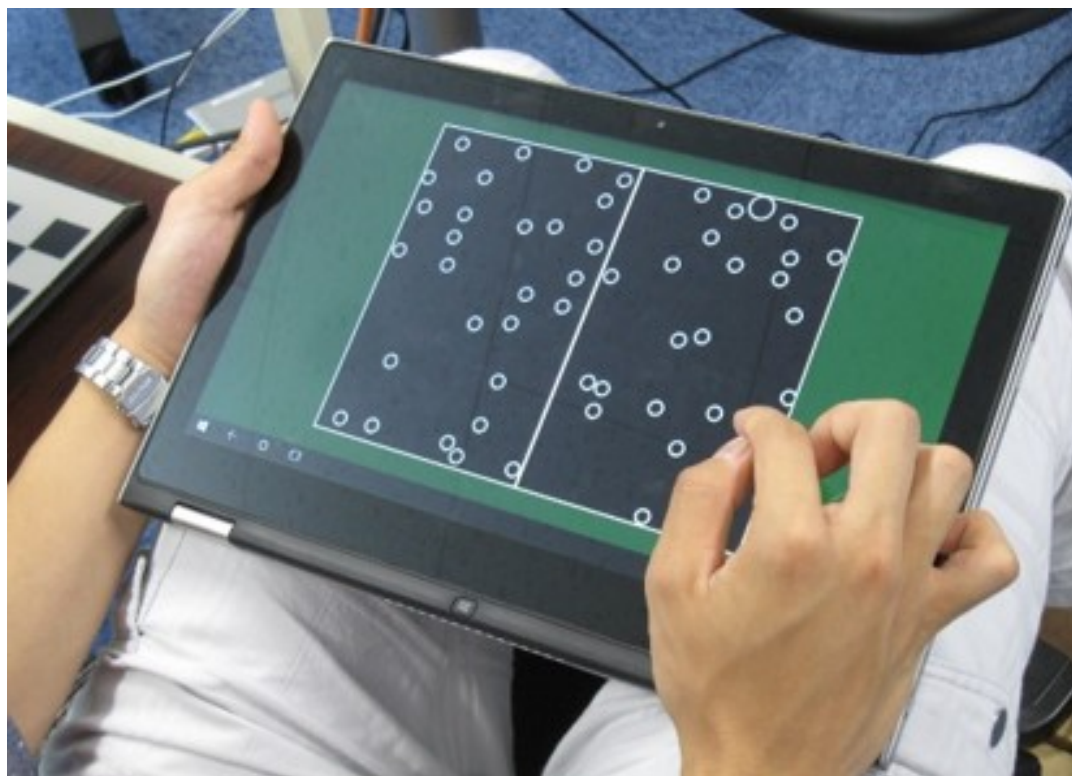


図 3-10 SuRT 実施の様子

3.6.5. 実験計画

本実験では、つぎの 2 つの要因を取りあげる。いずれも被験者間要因である。

要因 X： 自動から手動への権限移譲に関する知識（5 水準）

要因 Y： 年齢（2 水準）

要因 X は、次の 5 つの水準を有する。具体的な教示内容については、付録 A 3 を参照のこと。

- 条件 1：自動運転システムが利用できることだけを伝える。手動運転への遷移に関しては、ドライバーの介入が必要な場面があること、介入が必要な場面でどのような情報が提示されるか、どのような状況において介入が必要になるかについて、一切情報を伝えない。
- 条件 2：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る。具体的な文言は以下の通りである。
 - 「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 3 : 条件 2 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について説明する。具体的な文言は以下のとおりである。
 - 「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(再生ボタンをクリック)が出ます。この時、あなたは直ちに車の制御をシステムから引き継いで、自分で運転を行う必要があります」
 - 条件 4 : 条件 3 に加え、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、車線減少、悪天候について提示する。
 - 条件 5 : 条件 4 に加え、本実験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をすべて提示する。全部で 5 つの場面を説明する。すなわち、ジャンクション到達、車線減少、悪天候、車線が見えない、他車両の割り込み、である。

以上を整理すると、つぎの図 3-11 のとおりとなる。

	引継 必要性	TOR 表示	遷移 条件
1	×	×	×
2	○	×	×
3	○	○	×
4	○	○	△(部分的)
5	○	○	○

図 3-11 実験 1 における知識条件

年齢は、若年層(YG) (50歳以下)、高齢層(AG) (60歳以上) の2条件とした。知識条件の各群に対し、若年10名、高齢10名をそれぞれランダムに振り分けた。各条件の実験参加者の内訳は、表 3-7 のとおりである。

表 3-7 実験参加者の内訳

条件	年齢層	男性人数	女性人数	全体年齢	男性年齢	女性年齢
G1	YG	5	5	30.7	26.8	34.6
	AG	7	3	71.5	73.0	68.0
G2	YG	4	6	37.9	31.5	42.2
	AG	8	2	70.9	71.8	67.5
G3	YG	4	6	34.6	30.5	37.3
	AG	8	2	71.2	72.4	66.5
G4	YG	4	6	36.1	38.8	34.3
	AG	7	3	71.1	71.6	70.0
G5	YG	4	6	35.7	28.8	40.3
	AG	7	3	71.6	71.4	72.0

3.6.6. 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、シミュレーターにおける運転操作の説明と練習を行った(図 3-12)。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した。



図 3-12 実験参加者への説明の様子

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、以下の順番で、TOR イベントを経験させた。

- (1) ジャンクション到達による制御終了
- (2) 自車線前方に故障車両があり、車線変更が必要なため引継ぎ要請。ただし、ここでは自車前方にトラックが走行しており、TOR 発出時点においては故障車を直接目視することはできない
- (3) 引継ぎ要請が必要な場面は発生しない（ダミー）
- (4) 濃い霧のため、車線認識が困難となったため引継ぎ要請
- (5) 自車線前方に故障車両があり、車線変更が必要なため引継ぎ要請。ただし、個々では先行車はなく、TOR 発出時点においては故障車を直接目視することができる
- (6) 引継ぎ要請が必要な場面は発生しない（ダミー）
- (7) 引継ぎ要請が必要な場面は発生しない（ダミー）
- (8) レーンマークのかすれにより、車線認識が困難となったため引継ぎ要請
- (9) 自車線前方に故障車両があり、車線変更が必要なため引継ぎ要請。ただし、ここでは自車前方にトラックが走行しており、TOR 発出時点においては故障車を直接目視することはできない（イベント(2)と同一）
- (10) 他車両が車線をまたいで来、十分な安全余裕の確保が困難となったため（不安）引継ぎ要請
- (11) センサ機能喪失（外界監視用カメラのレンズ汚れによる車線認識の失敗を想定）による引継ぎ要請

なお、条件 4 では、自車線閉鎖（シナリオ(2)など）と悪天候（シナリオ(4)）とについて、運転引継ぎが必要である旨の説明を行っている。

一つの走行は、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。アクセルペダルを一旦強く踏むと、自動運転システムの制御が開始される。その後しばらく、ドライバーは、手足をハンドル・ペダルから離し、システムの制御の様子を観察する。30秒ほど経過したのち、ブープ音が提示されるので、サブタスクを開始する。その後 TOR が発出されるか、走行終了に到達するまで、サブタスクを行うことが想定される。ただし、条件 1、2 の群では、TOR が出てもそれを TOR とドライバーが認識できるとは限らないので、TOR 発出後もサブタスクを継続することはありうる。条件 3、4、5 では、TOR が出たら運転引継ぎしなければならないことは伝えてあるので、これらの条件の実験参加者には、TOR が発出されたら、タッチパッドを脇の台に静かに置き、しかる後に運転操作を行うことを教示してある。TOR 発出後、10 秒後に制御が継続され、さらに 5 秒後には当該試行を終了する。

3.6.7. 仮説と評価指標

本実験では、作業仮説として、

- 引継ぎ可能性、TOR 表示、遷移条件の部分的知識がないとうまくいかない例が多い
- ただし、一度経験すれば、同じ事象に対してはうまく対処できる
- 部分的に知っていれば、別の事象に対して知識を汎化できる

と考える。このことをより具体的に確認するための仮説として、以下を設定した。

- a. 最初のイベント経験の際、条件 1、2 では成績悪い（必要性・TOR 認識の必要性）
- b. 2 回目のイベント（レーンクローズ、先行車有）では、条件 1-3 は成績悪い（遷移条件の必要性）
- c. 同一種（レーンクローズ、先行車有）では、1 回目よりも 2 回目の方がよい（「経験」の重要性）
- d. 霧を経験した後のかすれに対しては、成績悪くない（知識の汎用可能性）
- e. 「不安」イベントでは、条件 5 以外は成績悪い（知識の汎用可能性の限界）

なお、本実験では、運転成績を、おもにシステムによる制御が終了する（TOR 発出から 10 秒後）前にハンドルを握ることができたかどうかで主と

して評価する。TOR 発出から 10 秒間の間は、制御トルクを線形に縮小させていくようになっているので、TOR 発出直後はシステムによる制御トルクは比較的大きい。このため、ドライバーが迅速に対応すればするほど、ドライバーの制御トルクとシステムの制御トルクとがコンフリクトする可能性が高いため、運転操作の安定性を評価する指標、すなわち

- ・ Steering Reversal Ratio (SRR)
- ・ Standard Deviation of Lateral Position (SDLP)
- ・ 速度の標準偏差

については、参考程度にとどめる。本報告書本文では、TOR 発出後 10 秒以内に運転操作を開始できたかどうかと、運転操作を開始するまでの時間について報告する。それ以外の運転操作の評価結果については、付録を参照のこと。

なお、本実験では、各条件に割り当てられた実験参加者が均質であることを確認するために、認知機能検査を行った。本実験で行った検査は以下のとおりである。

- MMSE
- TMT Part A/Part B
- UFOV
- 産総研式認知機能検査（問 5 まで）

3.6.8. 結果と考察

まず、仮説 a、「最初のイベント経験の際、条件 1、2 では成績悪い（必要性・TOR 認識の必要性）」を検証する。そのために、イベント(1)での対応を分析する。図 3-13 に、イベント(1)（ジャンクション到達）における、TOR 発出後制御解除前に運転操作を行えた人の割合を示す。統計的には、条件 1 (G1)の若年層(YG)(一人のみ反応可)と、条件 3 の若年層もしくは条件 5 の高齢層（七名が反応可）との間でようやく統計的な有意差を見出すことができる（フィッシャーの正確確率検定、 $p=0.02$ ）にとどまるが、全体的な傾向としては、与える知識が多いほど、TOR への対応ができやすくなると考えてよいであろう。また、個々の群のサンプルサイズが小さいため条件 4、5 の間の差異は認められないが、条件 5 では特に高齢者において TOR への対応ができない人が目立つことも指摘しておきたい。

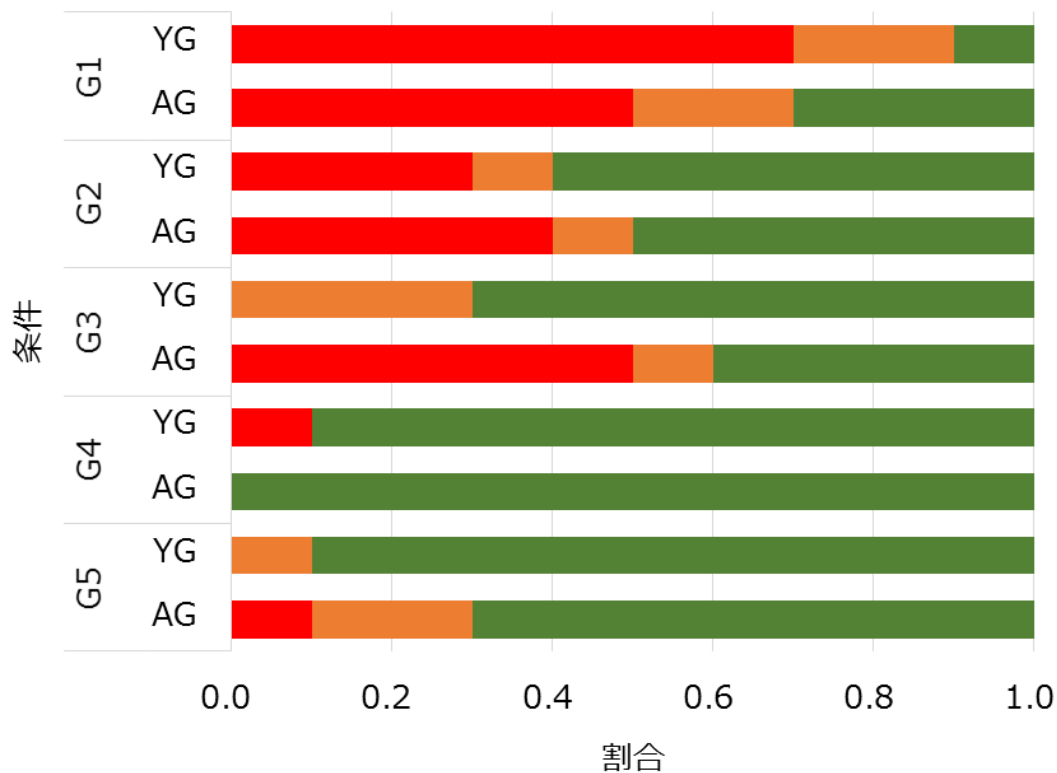


図 3-13 ジャンクション到達イベントにおけるドライバーの反応の人数割合

※TOR 発出後 15 秒以内に運転操作を開始できた人(実験終了前に運転操作を行った)、赤は試行終了まで何もできなかった人を表す)

また、全体では、若年層が 50 名中 31 名が対応可、高齢層が 50 名中 29 名が対応可という結果となっており、若年・高齢層間の差異はここでは認められないというべきである。この意味で、若年・高齢を一緒にして、条件 1-条件 5 の比較の形で考えてみると、条件 1 と条件 2 の間には有意な差を見出すことができる(フィッシャーの正確確率検定、 $p < 0.05$)。条件 2 ないし 3 (20 名中 11 名が対応可) と条件 4 (20 名中 19 名が対応可) との間も、有意差を認めることができる($p < 0.01$)。

以上のことから、仮説 a「最初のイベント経験の際、条件 1、2 では成績悪い(必要性・TOR 認識の必要性)」が支持されたといえ、ドライバーに伝えるべき事前情報としては、運転介入・引継ぎの必要性、並びに TOR 表示についての知識が必要である。しかし、TOR 表示までをも提供情報に含めた条件 3 でも適切に対応できない人が散見されることから、条件 4 のように、遷移条件の情報も事前に伝えることが必要であると考えられる。

つぎに、仮説 b「2 回目のイベント(レーンクローズ、先行車有)では、条件 1-3 は成績悪い(遷移条件の必要性)」を検証するために、イベント(2)での対応を分析する。図 3-14 に、このイベントにおける TOR 発出後制御解

除前に運転操作を行えた人の割合を示す。イベント(1)の場合と比べると、一般的には対応できている人がやや多いようにも思われるが、顕著に少ないわけでもない。とくに、高齢者では条件4を除くと対応できない人が多い。その理由として考えられることは、このイベントでは TOR が出される理由についての手がかり情報が先行車に隠れて見えないことが挙げられる。このため、本当に運転操作を引き継がなければならないのか、すぐには理解できないものと考えられる。

また、制御解除前に運転操作を開始できた人についても、図 3-14 にしめすように、条件3までは特に高齢者において運転操作を開始するまでの時間は長い傾向がある。

イベント(2)に関するここまでの分析に基づき、仮説 b 「2 回目のイベント（レーンクローズ、先行車有）では、条件 1-3 は成績悪い（遷移条件の必要性）」は支持されたといえる。

このことから、事前に、少なくとも一部については、遷移条件をあらかじめドライバーに伝えておくべきであるということが出来る。

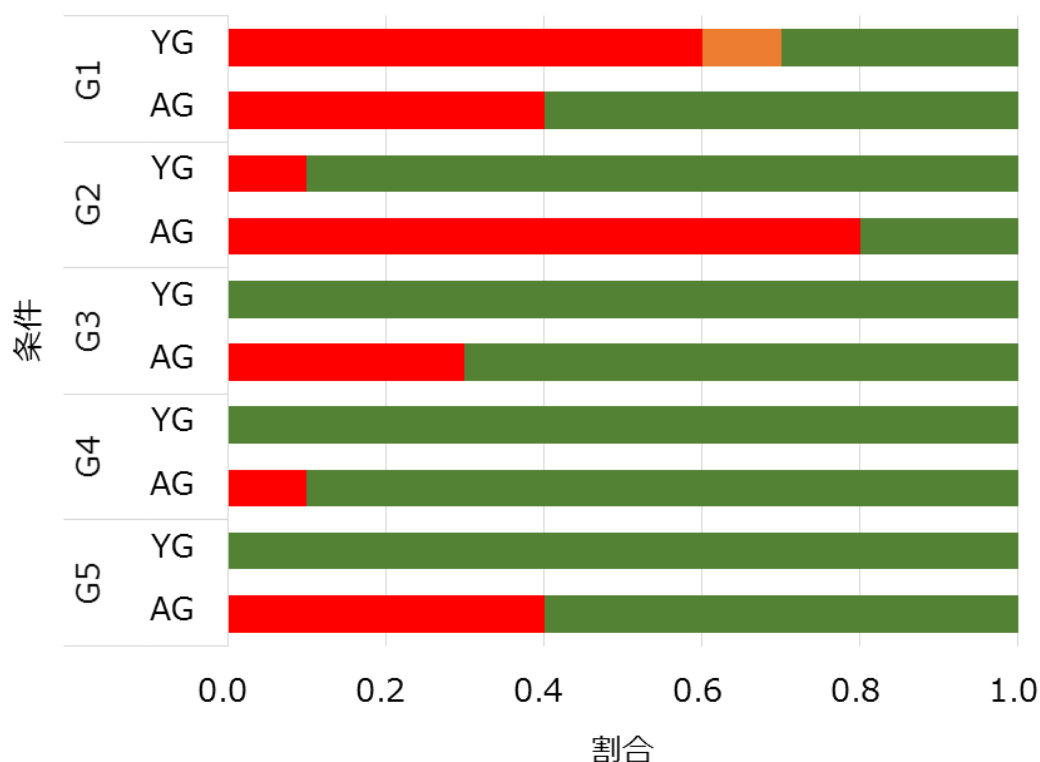
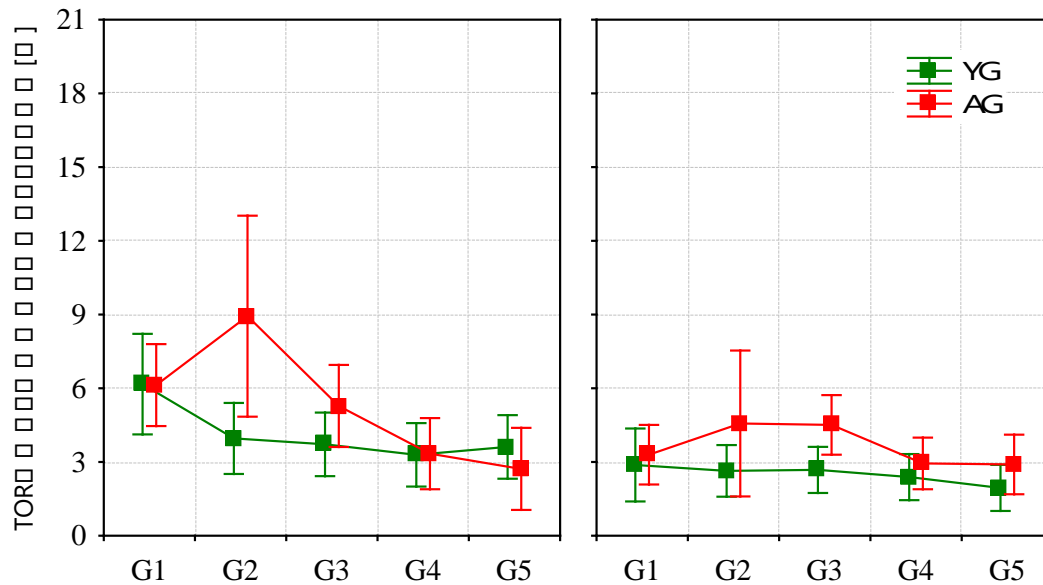


図 3-14 車線減少イベント（先行車有）1 回目におけるドライバーの反応の人

※茶色は TOR 発出後 15 秒以内に運転操作を開始できた人（実験終了前に運転操作を行った）、赤は試行終了まで何もできなかった人を表す）



(2) : 故障車両(先行車あり) (9) : 工事車両 (先行車あり)

レーンクローズイベント

図 3-15 イベント(2)とイベント(9)で TOR 発出後制御解除までに運転操作を開始できた人のうち、運転操作を開始するまでの時間の平均と標準偏差 (赤：高齢群、緑：若年群)

つぎに、仮説 c 「同一種 (レーンクローズ、先行車有) では、1 回目よりも 2 回目の方がよい (「経験」の重要性)」を検証するために、イベント(2)、(9)での運転引継の成功の度合いを調べる。図 3-15 は、TOR 発出後、運転操作を開始できた人の人数の割合を緑色のバーであらわしたものである。あきらかに、イベント(9)では運転を引き継げた人が全体として多い。とくに、遷移条件の情報を伝えている条件 5 において、2 回目は対応できない人が 1 回目と比べて減っている。母比率の差の検定結果、有意な差が見られた ($t=2.96$ 、 $p<0.01$)。また、運転を引き継げた人についても、運転操作を開始できるまで (ハンドルを握るまで) の時間は、1 回目 (シナリオ(2)) と、2 回目 (シナリオ(9)) との間で異なり、シナリオ(9)ではどの条件群でも概ね短くなっている (図 3-16)。以上のことから、仮説 c は支持されたといえる。

このことから、ドライバーに伝えるべき事前情報は、単に机上の知識として伝えるのみならず、経験を通じて知識を定着させることが重要であると考えられる。TOR 場面の経験は、実車でさせるのは倫理上無理であるが、ドライビングシミュレーターを用いれば可能であろう。

ただし、厳密に言えば、イベント(2)と(9)の間には、レーンクローズ以外の TOR 場面を経験していることから、これらの経験がドライバーの反応をよいものにしたことも考えなければならない。この点については、本研究では他のイベント経験の要因を除去できる実験デザインになっていないことか

ら、次年度以降の検証実験において詳細な検証をしていく必要がある。

また、一度経験をさせたとしても、その経験による効果は時間の経過とともに薄らいでいくと思われるので、時間の経過に伴う忘却への影響も今後調べていく必要がある。さらに、より根源的には、シミュレーターの経験が実車で真に有用であるかについても、引き続き検討を進める必要がある。

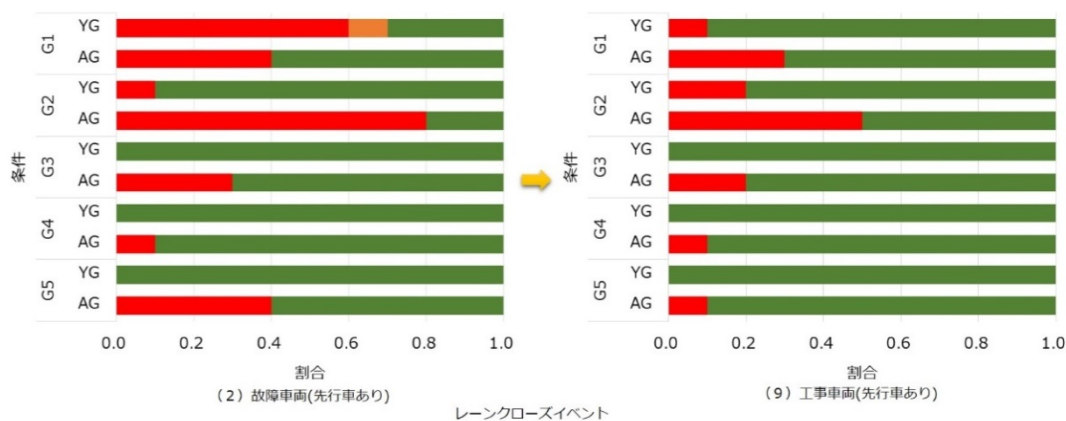


図 3-16 イベント(2)と(9)との間での、TOR 発出後制御解除までに運転操作を開始できた人の変化

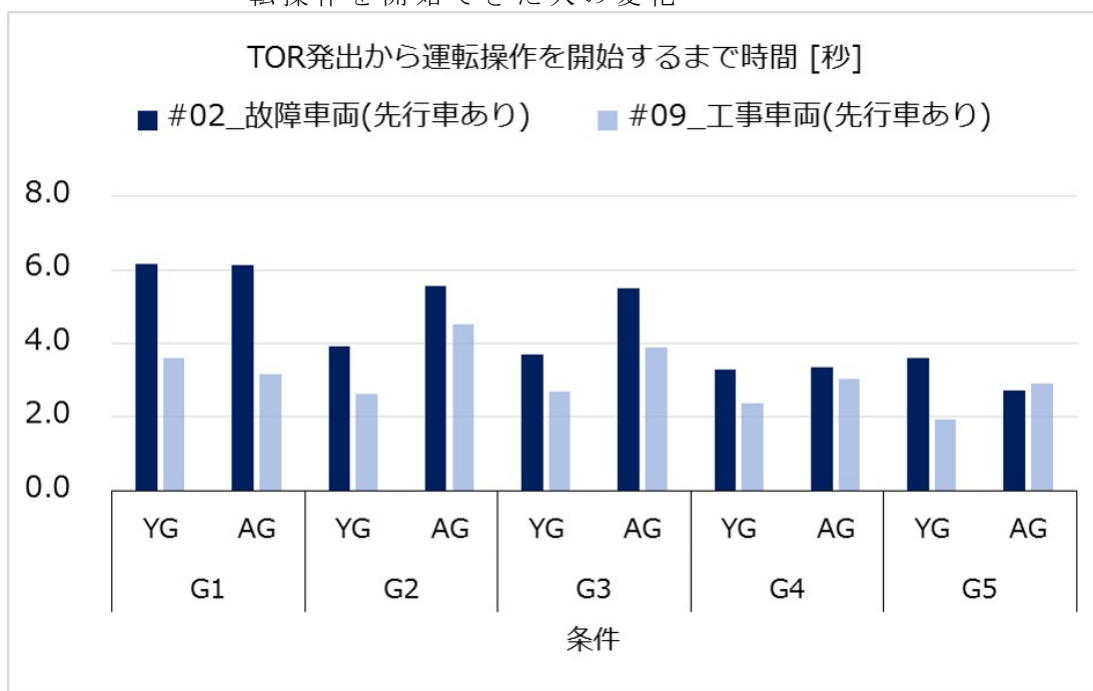


図 3-17 イベント(2)と(9)との間での、TOR 発出後制御解除までに運転操作を開始できた人のうち、運転操作を開始するまでの時間の平均 (赤：高齢群、緑：若年群)

なお、経験をさせることは有用であるのは間違いないと思われるが、経験だけさせておけばそれでよいわけではないことも指摘しておく。図 3-17 は、イベント経験順で、引継ぎ成功率がどう推移するかを表した図である。経験を積んでいくにしたがって運転介入ができやすくなるとするならば、この図は右上がりの様相を示すはずである。若年層の群では、事前知識が少ない、条件 1、2 において、経験を積むとともに引継ぎ成功率が全体として徐々に

上がっていく様子が見えてくる。一方、高齢者の群では、条件 1、2 では引継ぎ成功率が低くとどまりやすい。このことから、与える知識が不十分であっても様々に経験すれば次第にドライバーがうまく対応できるようになる、とは必ずしも言えないことになる。特に、高齢者の場合は、机上の知識をしっかりと与えることが重要といえる。ただし、高齢層の条件 5 では、ほぼ一貫して条件 4 よりも悪い結果となっていることから、事前情報の与えすぎは消化不良を起こしかねないことに留意が必要である。

条件 4 と条件 5 とでは、本当に条件 5 の方が悪い条件であると考えられるべきかどうかについては、本研究のみからでは結論付けることはできない。引き続き詳細な分析を行って、どの程度情報が多すぎると悪影響が生じるかを明らかにする必要がある。

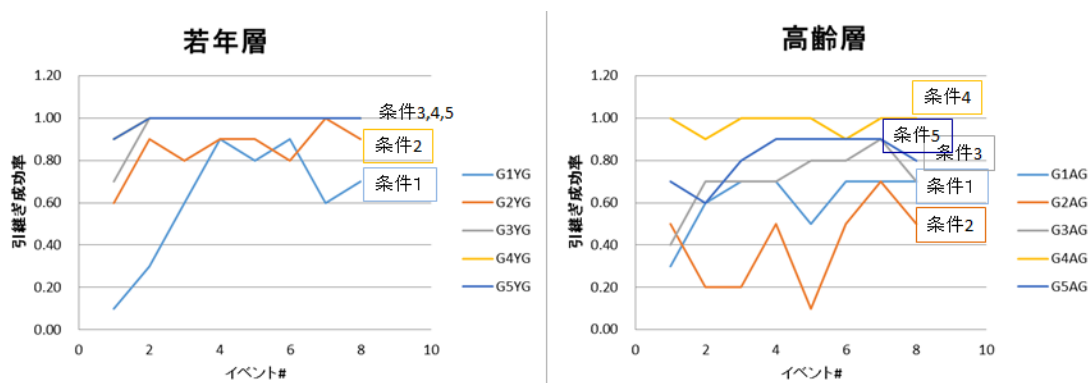


図 3-18 引継ぎ成功率（制御解除前に運転操作を開始できた人数の割合）の時間的推移。横軸は、イベント番号であり、実験において参加者が経験する順番に、左から並んでいる。

つぎに、仮説 d 「霧を経験した後のかすれに対しては、成績悪くない（知識の汎用可能性）」を検証するために、イベント(4)（濃霧）とイベント(8)（レーンかすれ）における引継ぎ成功者の分析を行う。条件 4 の群では、悪天候では運転引継ぎが必要である旨を説明してある。車線かすれについては、運転引継ぎが必要な場面であるとしては事前説明をしていないものの、条件 4 の群では全員が運転引継ぎを適切に行えている。これらの結果から、与えられた知識（「悪天候では運転引継ぎが必要である」）ことから、車線かすれの場面でも運転引継ぎが必要となるのが適切に類推できたのではないかと考えることができる。

ただし、ここではあくまでも推測にとどまるので、今後厳密な検証が必要となる（実験 2β では、レベル 2 の条件下においてこの推測についての検証を行っている）。なお、条件 3 でも、若年層なら全員が適切に引き継いでいる。このことを踏まえると、TOR が発出された際に、前方を見て直ちに状況がいつもと違うことから、どうして制御が継続できないのかわからないとしても、とにかく状況がいつもと違うので制御が継続できなくなったということだけ

は理解できるということも考えられる。

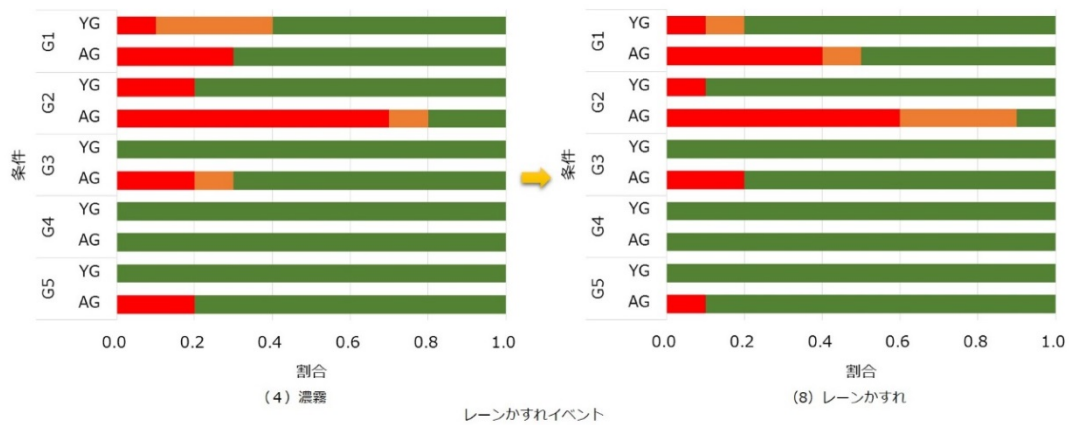


図 3-19 イベント(4) (濃霧)とイベント(8) (レーンかすれ)における引継ぎ成功率 (制御解除前に運転操作を開始できた人数の割合)

最後に、仮説 e 「「不安」イベントでは、条件 5 以外は成績悪い (知識の汎用可能性の限界)」の検証を行うために、イベント(10)の引継ぎ成功率を分析する。図 3-20 はその結果である。この結果は、条件 4 でも全員が適切に運転を引き継げており、仮説を支持しない結果となっている。

#10_急接近

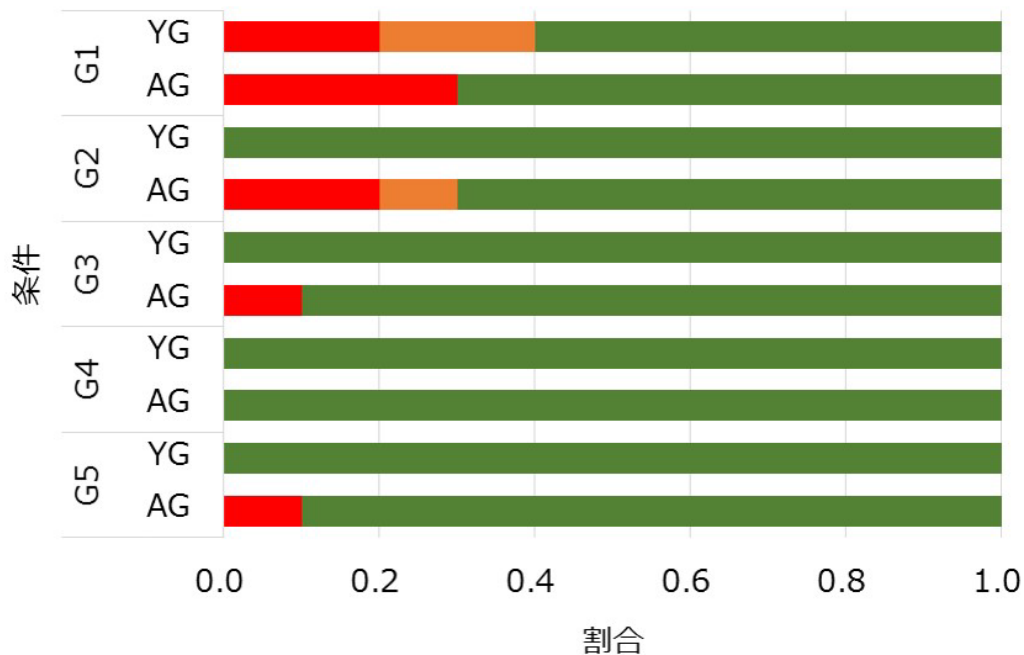


図 3-20 イベント(10) (不安)における引継ぎ成功率

この結果から、必要なときには TOR が必ず出されるという前提の下では、必ずしもすべての引継ぎ場面をあらかじめ知っておく必要はないといえることができる。

本実験では、参加者へ与える知識の要因は被験者間要因であることから、ここまでの実験結果は参加者の能力の偏りによるものである可能性を排除で

きていない。本研究では、実験参加者がそれぞれの条件に均等に割り当てられたことを、認知機能検査によって確認した。

図 3-21～3-25 は、それぞれの検査結果を表す。エラーバーは、標準偏差を表す。それぞれの検査結果について知識条件と年齢の 2 要因分散分析を行ったところ、いずれも、年齢の主効果は有意であったものの、知識条件の主効果は有意ではなかった。MMSE のみ、交互作用が有意であった ($F(4, 90)=8.13$ 、 $p<0.05$) が、高齢者内、若年層内では条件間での差異は認められなかった。したがって、多少のばらつきはあるものの、各条件にはほぼ均質の参加者が割り当てられていると考えてよく、運転行動の結果における差異は与えた知識の影響であると考えられる。

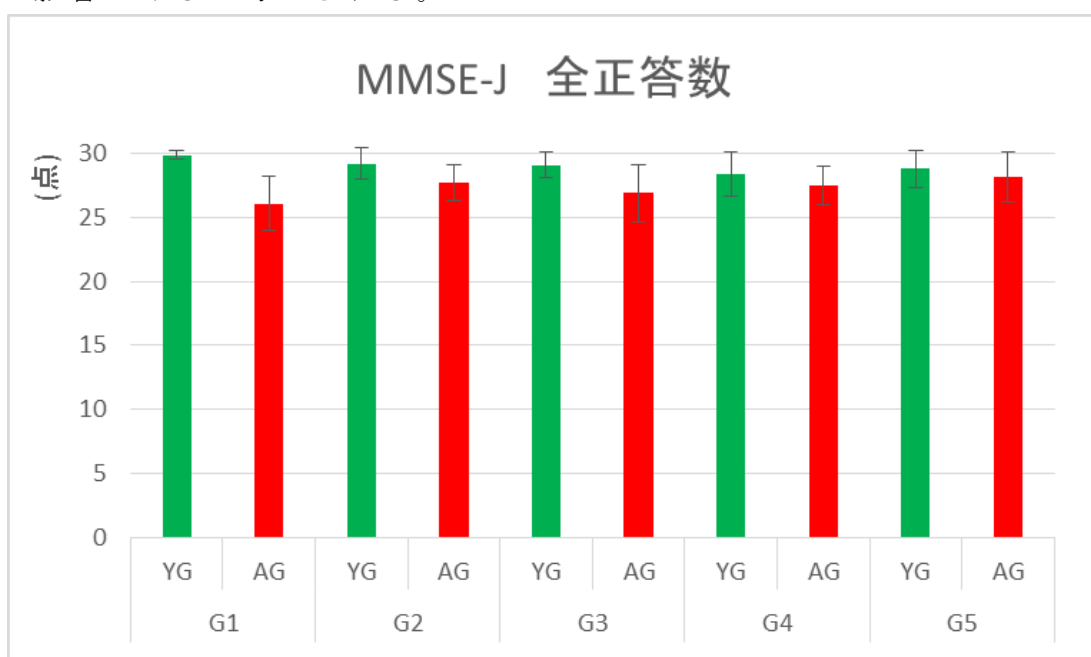


図 3-21 MMSE の検査結果

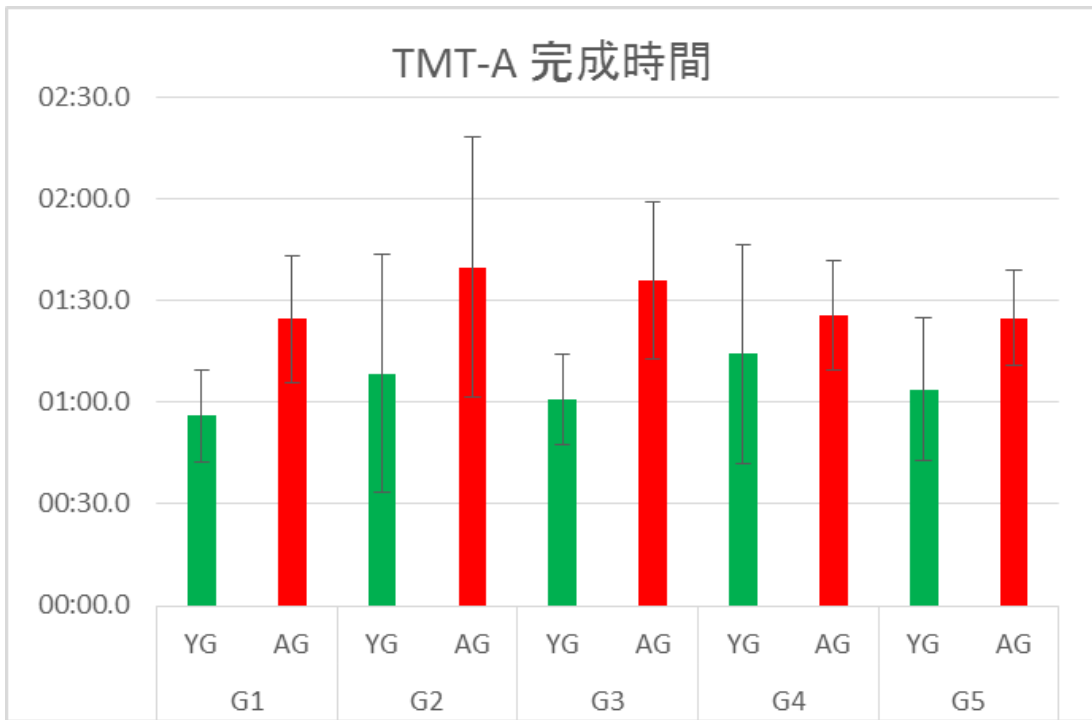


図 3-22 TMT Part A の検査結果

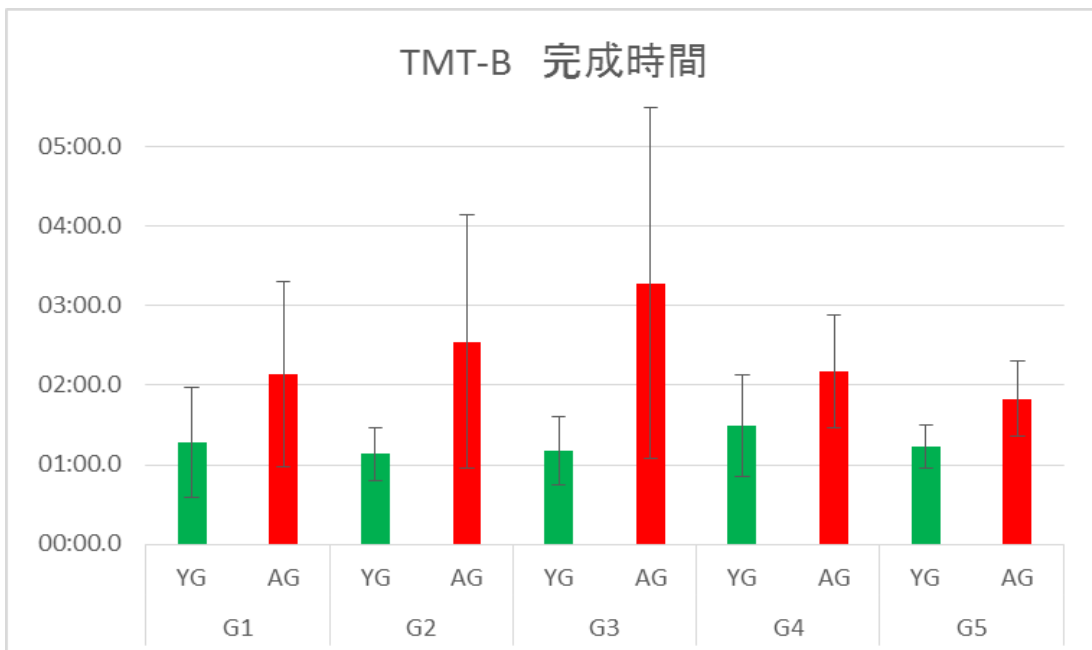


図 3-23 TMT Part B の検査結果

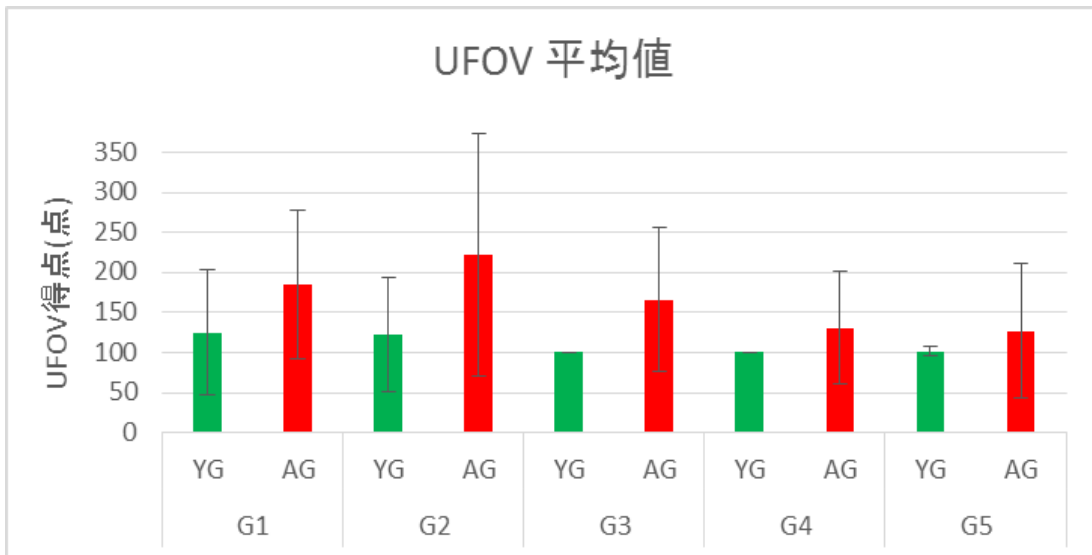


図 3-24 UFOV の検査結果

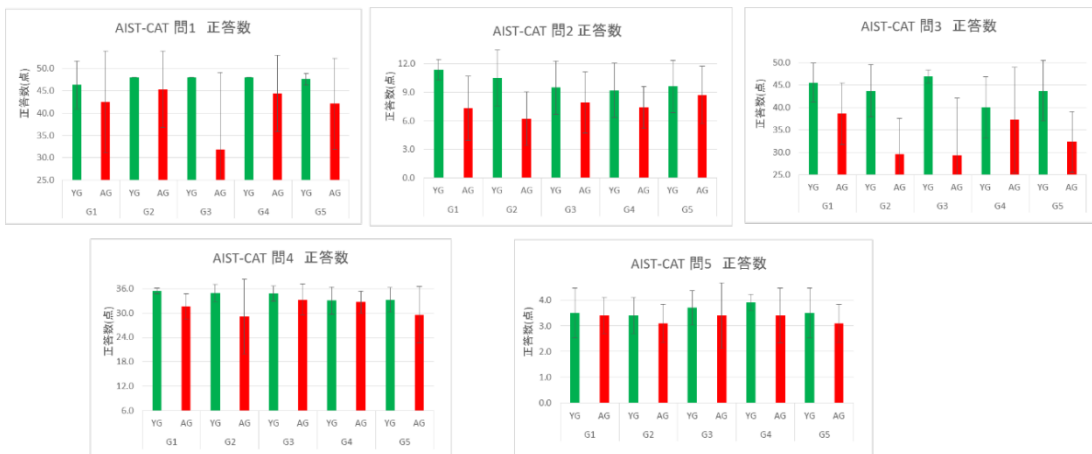


図 3-25 産総研式認知機能検査の検査結果

ただし、認知機能検査の評価値と、運転行動との間には相関がありそうである。即ち、認知機能の衰えによって、TOR 発出時の対応が遅くなったり、対応ができないケースが多くなると考えられる。このことをデータで示そう。すべてのデータで論ずるのは議論が煩雑となることから、ここでは産総研式認知機能検査に限定しよう。表 3-8 に示す通り、産総研式認知機能検査(AIST-CAT)は、他の認知機能検査といずれも有意な相関が認められるので、AIST-CAT と運転行動との関係を調べておけば十分である。

表 3-8 認知機能検査間の相関

	MMSE-J	UFOV	TMT-A	TMT-B	AIST-CAT
MMSE-J	1	-0.155	-0.306	-0.324	0.418
UFOV		1	0.478	0.369	-0.451
TMT-A			1	0.565	-0.649
TMT-B				1	-0.654
AIST-CAT					1

表 3-8 は、運転行動の結果と認知機能検査結果との関係の一例として、産総研式認知機能検査と、イベント(1)における TOR 発出後のハンドル握りはじめまでの時間の関係を示したものである。若年層（緑色のマーク）では、全体的に認知機能検査の値が高く、ハンドル握りはじめまでの時間との間に相関は認められない。他方、高齢層（赤のマーク）では、認知機能検査結果の評点が低い人は、ハンドルを握り始めるまでの時間が長いケースが多いといえる。したがって、認知機能の衰えの著しいドライバーは、迅速な対応を行うのは困難であるといえ、その衰えに応じて引継ぎのための余裕時間を長めに設定できるとよいと考えられる。

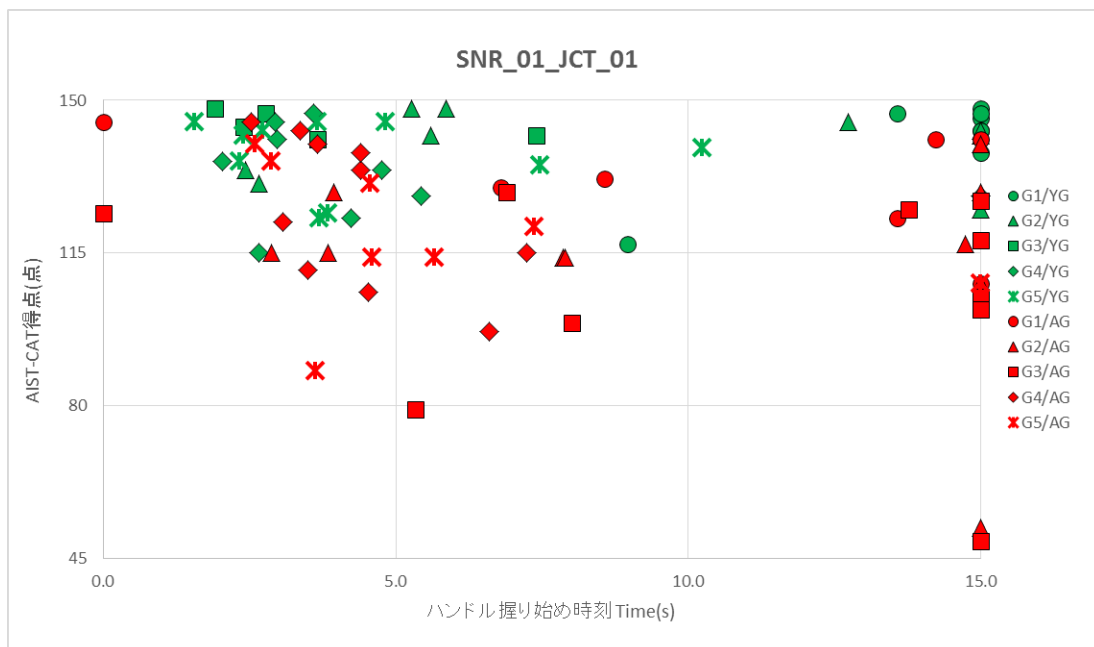


図 3-26 イベント(1)における引継ぎの早さと産総研式認知機能検査結果との関係

※（図の右端 15 秒のところにあるものは、試行終了に伴う打ち切りデータである）

ドライバーに与えた事前知識は、自動運転中のドライバーの視行動にどの

ような影響を与えただろうか。このことを調べるために、TOR 発出前の 1 分間に、実験参加者がどの程度前方を見ていたかを分析した。分析の方法は次のとおりである。すなわち、1 秒毎に、当該ドライバーが前方を見ていたかどうかをビデオ画像から特定する。各群 10 名の実験参加者中前を見ていた人数の割合を算出し、その時系列を視覚化したのが図 3-27 である。この図をみると、時刻によって多少の変動はあるものの、若年・高齢ともに、条件 1-5 のいずれにおいても、概ね 1-2 割の人が前を見ていた（特定の個人でいえば 5-10 秒に 1 回の割合で前方を見ていた）と考えられる。すなわち、前方を見てばかりの群はなかったと言ってよい。このことから、本実験における TOR への反応は、純粹に「TOR の音を聞いたのちに、前方を確認して、しかるべき運転操作を開始した」と考えられる。図 3-27 はイベント(1)に限定した議論であるが、今後、全イベントについて同様の分析を行い、自動運転中のドライバーの視行動を確認することが必要である。



図 3-27 イベント(1)における、TOR 発出前 1 分間のドライバーの前方注視割合

※（1 秒毎に、10 名中何名が前方を視認していたかの割合を算出した。）

3.6.9. まとめ

本章では、レベル 3 の自動運転システムを対象として、システムの目的や機能とその限界に関する知識が TOR 発出時の行動に与える影響を調べ、ド

ライバーに事前に伝えるべき情報についての考察を行った。

実験データの分析と考察の結果、以下の結論を得た。

- 自動運転システムの使用にあたり、ユーザーに少なくとも以下のことを事前に伝える必要がある
 - 運転引継ぎの必要がある場面が存在すること
 - 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)
 - 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
 - ただし、すべての場면을説明すればよいとも限らないこともうかがわれた。ユーザーは知識を汎化できる可能性が高い。
- 以上の情報については、口頭 and/or 書面で伝えるだけでは、十分ではない。少なくとも一部の場면을、体験させることが必要である
 - 体験は、シミュレーターでよいと考えられる
- 一方、体験をさせるだけでは、高齢者にはシステムの機能の限界に関する理解は促進されないので、上記に記した情報を言葉として伝えることが重要である

また、残された課題として、以下のことを明らかにする必要がある。

- 事前の情報の与えすぎは悪影響を与えるか (すべての TOR 場面を知識として与えてはならないか)。どの程度の量に抑えれば問題はないか
- シミュレーターで経験させるべきはどのような場面であるか
- TOR 場면을体験させることはどの程度効果が持続するか

3.7. 実験 2 α

この実験は、課題 B の実験における練習走行を活用して行ったので、実験方法の詳細については、本報告書課題 B 部分の説明を参照のこと。

3.7.1. 目的

レベル 2 の自動運転を想定して実験を行う。ドライバーが運転介入しなければならない場面があることについて、その説明をだれの観点から述べるべきかを明らかにすることを目的とする。

また、提示する情報の意味することについてどこまで知っていなければならないかを明らかにすることも目的とする。

3.7.2. 実験参加者

実験参加者は、普通運転免許を有する 81 名である。年齢、男女比については、3.7.5 節実験計画において詳細を説明する。

実験参加者の運転経験や頻度などの詳細については、課題 B の結果データ集を参照されたい。

3.7.3. 実験装置

本実験では、産総研の動揺装置付きドライビングシミュレーターをもちいた。このシミュレーターは、三菱プレジジョン社製 DS3Sim ver5 であり、課題 A のシミュレーターと同一のソフトウェアを用いている。

3.7.4. 課題

本実験において実験参加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。TOR についてどう対応するかは、条件によって支持された内容が異なる。

本実験では、課題 B における自動運転システムの練習走行の場面を活用している。ドライバーは、サブタスクをせずに、自動運転システムの挙動を観察することが求められている。

本実験では、自動運転中に、システムの故障により突然自動運転が継続できなくなり、TOR が発出される。したがって、TOR がなぜ出されたのかについて、周囲の環境には手がかり情報がないことになる。

3.7.5. 実験計画

本実験では、つぎの 2 つの要因をとりあげる。いずれも被験者間要因であ

る。

要因 X : 説明の主語 (2 水準)

要因 Y : TOR 表示 (2 水準)

要因 X は、次の 2 つの水準を有する。

- 条件 x1 : 自動運転システムの観点から説明する。具体的には、「この自動運転システムでは、作動中にシステムが機能不全となる場合があります」と説明する。
- 条件 x2 : ドライバーの観点から説明する。具体的には、「この自動運転システムでは、システム作動中に、あなたが運転を引き継がなければならなくなる場合があります」と説明する。

要因 Y は、次の 2 つの水準を有する。

- 条件 y1 : TOR 表示について何も言及しない。
- 条件 y2 : TOR について、どのような音と視覚情報が提示されるかを説明する。具体的に、音を聞かせ、提示されるアイコンを見せる。

各条件における実験参加者は以下のとおりである。途中リタイヤした参加者があるため、各群の人数はバランスしていない。

x1+y1 の条件 23 名 (平均年齢 41.5 歳、SD=13.6)

x1+y2 の条件 21 名 (平均年齢 35.7 歳、SD=13.3)

x2+y1 の条件 17 名 (平均年齢 38.3 歳、SD=11.1)

x2+y2 の条件 20 名 (平均年齢 37.0 歳、SD=14.9)

3.7.6. 実験手順

実験の手順についての詳細は、課題 B の報告書を参照のこと。本実験は、練習走行でのドライバーの対応行動に着目している。

3.7.7. 仮説と評価指標

本実験では、作業仮説として、

- 引継ぎ可能性についての説明に関しては、ドライバー主語で説明する方が TOR に適切に対応できる (何をすべきかが明確にドライバーに伝えられているため)
- TOR 表示の説明をしないと、運転引継ぎがうまくいかない (環境に手掛かり情報がないため)

と考える。

なお、本実験では、TOR の発出と共に自動制御は解除される。そこで、どれだけ迅速に運転操作に復帰できたかが問題となる。課題 A では、ハンドル

の握りははじめにおもに着目して分析を行っていることから、実験 2 α においても、ハンドルを握り始めるまでの時間で評価を行う。ただし、この実験では、操舵角の情報から、ハンドルが動き始めた時刻を抽出しているため、厳密には、TOR が発出されてからハンドルが動き始めるまでの時間が評価指標となる。

3.7.8. 結果と考察

図 3-28 は、TOR が発出されてからハンドルが動き始めるまでの時間である。エラーバーは 95% 信頼区間を表す。要因 X、Y についての 2 要因分散分析を行った結果、要因 X（主語）の主効果が有意であり（ $F(1,77)=13.1$ 、 $p<0.01$ ）、要因 Y（TOR 表示）の主効果も有意であった（ $F(1,77)=10.1$ 、 $p<0.01$ ）。交互作用は有意ではなかった。

この結果から、TOR への対応に関しては、システムを主語にした説明ではなく、対応するドライバーを主語にした説明をなすべきであるといえる。また、TOR 表示の意味を説明する必要もあることが確認された。

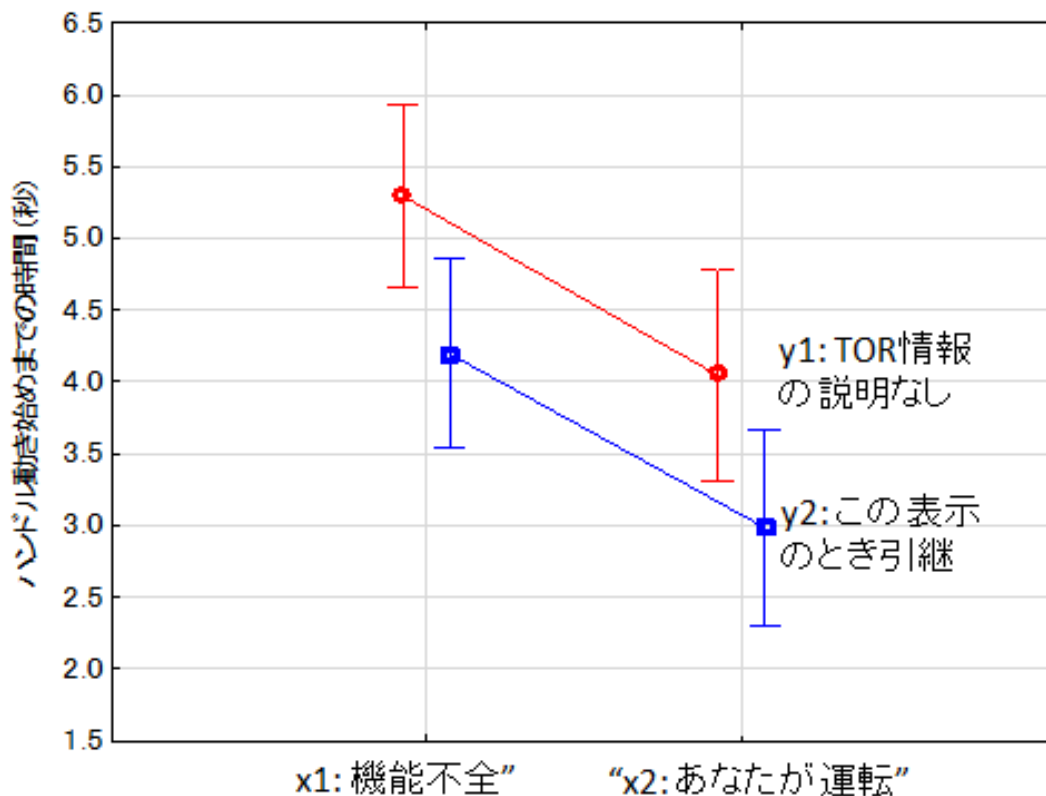


図 3-28 TOR が発出されてからハンドルが動き始めるまでの時間

3.7.9. まとめ

本実験では、TOR が発出される場合の説明として、誰の立場で説明をすべきかを調べる実験を行った。その結果、「システムが機能不全となることがあ

ります」というようなシステムを主語にした説明では、実際に **TOR** が出されたときに対応が遅れる傾向が確認された。このことは、システム主語の説明では、ドライバーが何をしなければならないのかが分かりづらいからであると考えられる。

したがって、「(**TOR** がだされたときには) あなたが運転を引き継がなければならない」ということを明確にドライバーに伝える必要があるといえる。

3.8. 実験 2 β

3.8.1. 目的

レベル 2 の自動運転を想定して実験を行う。運転介入が必要な場合があること。TOR 表示の意味。運転介入が必要な遷移条件についての（少なくとも一部の）知識をドライバーに与えることを前提として。遷移条件に関する知識はいかにして汎化可能かを明らかにすることを目的とする。また。監視義務についての説明は誰の立場で説明されるべきかを明らかにすることも目的とする。

3.8.2. 実験参加者

実験参加者は。普通運転免許を有する 96 名である。年齢。男女比については。3.8.5 節実験計画において詳細を説明する。

実験参加者は、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無いこと。ならびに課題 A の実験 1、課題 B の実験(課題 A の実験 2 α)に参加していないを条件として募集を行った。

実験参加者の運転経験や頻度などの詳細については、付録 A.6 の結果データ集を参照されたい。

3.8.3. 実験装置

本実験では、実験 1 と同じ定置型ドライビングシミュレーターをもちいた。実験に用いるコースは、片側 2 車線もしくは 3 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、単路に限定したレベル 2 の自動運転を行う。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。

本実験では自動運転レベル 2 を想定するが、TOR を出せる場合もある。ただし、TOR が出ずにドライバーが自身の判断で運転に介入しないと危険な状況が発生するシーンも含まれる。

3.8.4. 課題

本実験において実験参加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。TOR が発出されないこともあるので、ドライバーは自身の判断で必要に応じて運転操作に介入する必要がある。

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。

3.8.5. 実験計画

本実験では、つぎの3つの要因を取りあげる。いずれも被験者間要因である。

要因 X： 監視の必要性についての説明（2水準）

要因 Y： 遷移条件知識の形態（2水準）

要因 Z： 年齢（2水準）

要因 X は。次の2つの水準を有する。具体的な教示内容については。付録 A.5 を参照のこと。

- x1: TOR 不発可能性を伝える
- x2: 監視義務を伝える

x1 条件の参加者には、次の情報を伝えた。

安全運転のために

- 自動走行システムが制御を継続できなくなっても、あなたへの運転引継ぎ要請が出ない場合もあります。
- (運転)制御引継ぎ要請が出なくても、そのままでは安全が確保できないと判断した場合は、自身で運転を引き継いでください

図 3-29

x2 条件の参加者には、次の情報を伝えた。

安全運転のために

- 自動走行システムが制御を行っている場合でも、あなたはシステムの作動状態を監視する義務があります。
- 自動走行システム制御中でも、そのままでは安全が確保できないと判断できる場合は、自身で運転を引き継いでください。

図 3-30

要因 Y は、次の2つの水準を有する。

-
-
- y1: システムの機能の観点から自動運転の限界を説明する
例: レーンが見えないと制御できない)
 - y2: 具体的に遭遇しうる場面の観点から自動運転の限界を説明する
例: 悪天候では制御できない

本実験では、運転操作に介入すべきシーンを次のようなカテゴリとして分類した。

- レーン維持に関するもの
 - レーンを認識できないシーン(TOR あり or TOR too late):
 - 霧、レーンかすれ、豪雨 (or 雪)、逆光、急カーブ
- 車線変更に関するもの
 - 車線減少が明らかなシーン (TOR あり or too late):
 - 合流、進路変更が必要
- 前方障害物回避にかんするもの
 - 停止物体を認識できないシーン (TOR なし)
 - 路上のパイロン、停止車両
- 他車認識
 - 割り込み、先行車逸脱⇒加速

この分類を踏まえ、y1、y2 の各条件において参加者に提供する知識を設計した。

y1 条件の参加者には、システムの機能の観点から、次の情報を伝えた。

運転の引継ぎが必要な場面が発生しうる理由

- このシステムは、車線変更を自動では行いません。
- このシステムは、車線を認識できていないときは制御を行えません。
- このシステムは、路上にとまっている物体を認識できないことがあります。
- このシステムは、近くを走っている他車でも、場合によっては認識できないことがあります。

図 3-31

y2 条件の参加者には、遭遇する場面の観点から、各カテゴリから一つずつ

知識を得るように、次の情報をつたえた。

運転の引継ぎが必要な場面の具体例

- 高速道路のジャンクション(合流部)に到達した場合
- 強い雨が降っている場合
- 走行中の車線上にパイロンなどが置かれている場合
- 他車が直前に割り込んでくる場合

図 3-32

年齢は、若年層(YG) (55歳以下)、高齢層(AG) (65歳以上) の2条件とした。知識条件の各群(G1: x_1+y_1 、G2: x_1+y_2 、G3: x_2+y_1 、G4: x_2+y_2)に対し、若年12名、高齢12名をそれぞれランダムに振り分けた。各条件の実験参加者の内訳は、表3-9のとおりである。

表 3-9 実験参加者の内訳

条件	年齢層	順番	男性人数	女性人数	全体年齢	男性年齢	女性年齢
G1	YG	A	2	4	41.2	47.5	38.0
		B	2	4	45.7	37.5	49.8
	AG	A	4	0	70.3	71.5	68.0
		B	3	2	70.0	69.8	70.5
G2	YG	A	4	2	42.8	37.5	53.5
		B	4	2	42.0	41.3	43.5
	AG	A	3	3	70.8	70.3	71.3
		B	4	2	70.2	70.5	69.5
G3	YG	A	3	3	41.8	38.0	45.7
		B	4	0	42.8	40.8	47.0
	AG	A	3	2	71.7	71.5	72.0
		B	4	2	70.0	70.0	70.0
G4	YG	A	2	4	41.3	47.5	38.3
		B	4	2	42.2	40.8	45.0
	AG	A	3	0	70.2	69.7	70.7
		B	4	2	70.0	69.3	71.5

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、シミュレーター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した。

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、以下の順番で、TOR イベントを経験させた、シナリオのならばには、タイプ A とタイプ B の二つを用意した（図 3-33）。

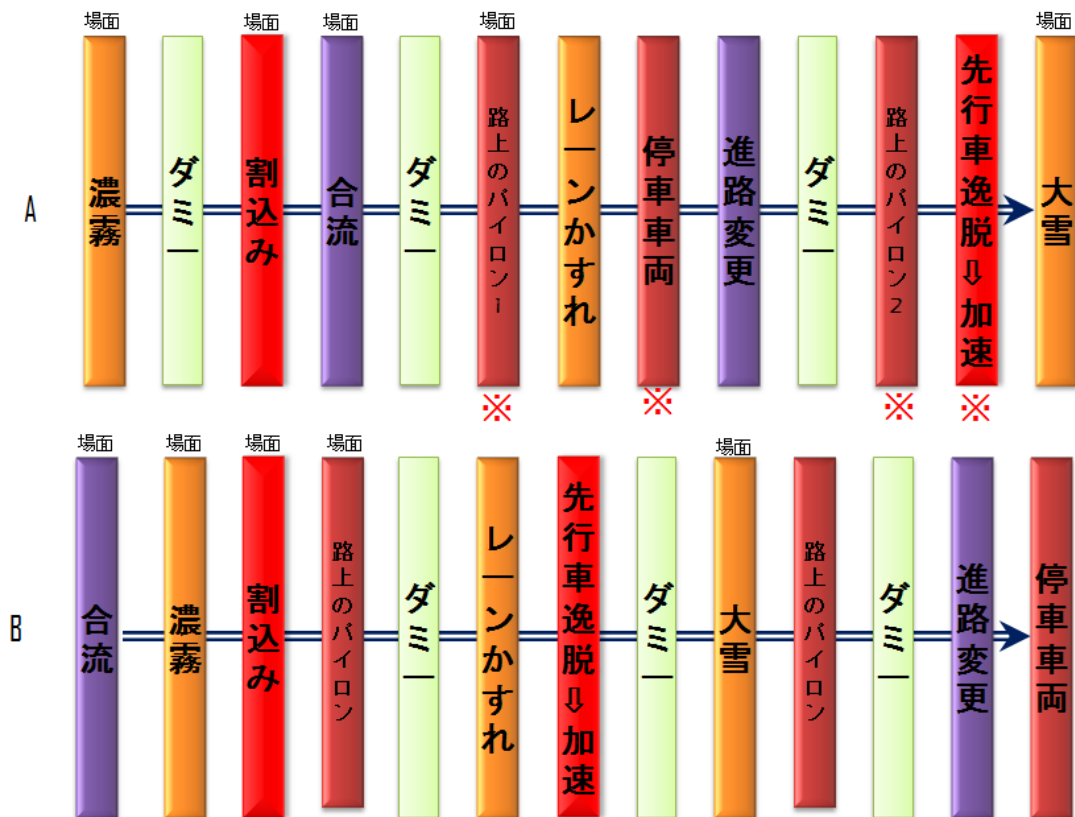


図 3-33 イベント経験順 (※ 路上のパイロン、停止車両イベントについては、システムがこれらの障害物を検知できないため、TOR は出されない。これらの障害物は自車線上におかれているため、ドライバーが自身で運転介入を判断し、実行する必要がある。また、先行車逸脱⇒加速 の場面でも、当該先行車を見失うため、TOR が適切なタイミングで発出されることなく衝突の危険が生ずる)

一つの走行は、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。アクセルペダルを一旦強く踏むと、自動運転システムの制御が開始される。その後、ドライバーは、手足をハンドル・ペダルから離し、システムの制御の様子を観察する。その後 TOR が発出されるか、運転介入が必要な場面に遭遇するか、何事もなく走行終了に到達するまで、自動運転で走行を続ける。

本実験では、TOR が発出された場合、5 秒後に制御が解除される。

3.8.7. 仮説と評価指標

本実験では、作業仮説として、

- 監視義務を言うだけでは、TOR 不発事象 (あるいは too late) への対応が不十分となる、TOR 不発可能性を伝えれば、TOR 不発事象への対応ができる

-
-
- 機能についての説明を理解できれば、知識を活用して TOR 不発事象を含め、運転引継ぎが必要な場面にうまく対応できる（若年層なら対応可。高齢層なら対応不可）
 - 場面についての説明では、教えられた場面への対応はできるが、教えられた場面以外の類似の事例に対してはうまく対応できない

と考える。

なお、本実験では、運転成績を、おもにシステムによる制御が終了する（TOR 発出から 5 秒後）前にハンドルを握ることができたかどうかで主として評価する。TOR 発出から 5 秒間は、制御トルクを線形に縮小させていくようになっているので、TOR 発出直後はシステムによる制御トルクは比較的大きい。このため、ドライバーが迅速に対応すればするほど、ドライバーの制御トルクとシステムの制御トルクとがコンフリクトする可能性が高いため、運転操作の安定性を評価する指標、すなわち

- Steering Reversal Ratio (SRR)
- Standard Deviation of Lateral Position (SDLP)
- 速度の標準偏差

については、参考程度にとどめる（特に、本実験では、装置の不具合が途中で発生し、約半分の実験参加者はムーフのステアリングではなく、ゲーム用の簡易ステアリングを用いている。このため、操作性がまったく異なることから、運転操作の滑らかさを分析することには意味がなくなった）。本報告書本文では、TOR 発出後 5 秒以内に運転操作を開始できたかどうかと、運転操作を開始するまでの時間について報告する。それ以外の運転操作の評価結果については、付録 A.6 を参照のこと。

なお、本実験では、各条件に割り当てられた実験参加者が均質であることを確認するために、認知機能検査を行った。本実験で行った検査は以下のとおりである。

- MMSE
- TMT Part A/Part B
- UFOV
- 産総研式認知機能検査（問 5 まで）

3.8.8. 結果と考察

レーンを認識できないシーンにおける、運転介入の成功者の割合を図 3-34 に示す。濃い霧、車線かすれ、激しい雪の 3 つのシーンが該当するが、すべての参加者は、この 3 つの中では濃い霧シーンを最初に経験し、車線かすれ

が 2 番目、激しい雪は 3 番目である。

全体的には、G2 (x1+y2 条件) において、運転引継ぎがうまくいっているケースが多いように思われる。

同様の傾向は、TOR が出されない場面群 (図 3-35) でも認められる。全体として、G2 において運転介入がうまくいっているように思われる。

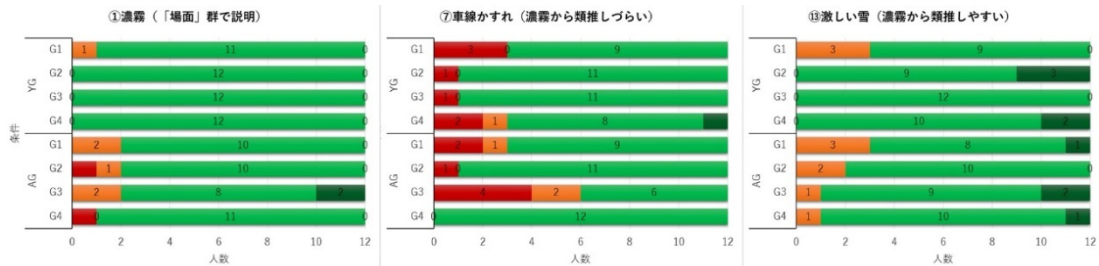


図 3-34 レーンが見えないことによる制御継続不可場面 (TOR あり) での、運転介入成功率

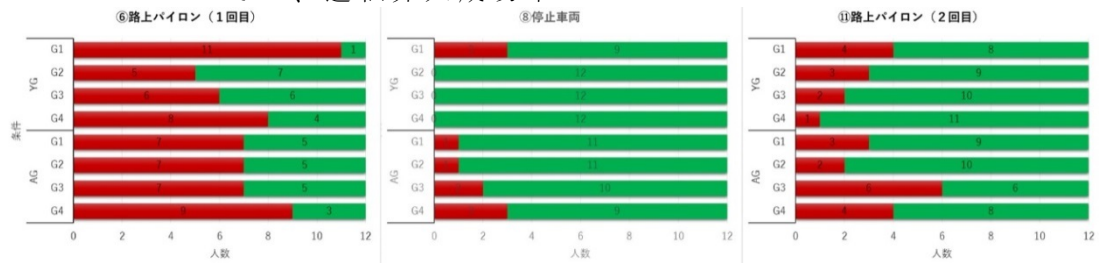


図 3-35 障害物を認識できないことによる制御継続不可場面 (TOR なし) での、運転介入成功率

なお、TOR が発出されない事例において、停止車両はまだしも、路上のパイロンに対しては運転介入できないドライバーが多い。停止車両は、目前に停まっている車があることが認められるので、前方を見ていさえすれば、怖くて避けなくなる (同様の傾向は、Itoh (2012)でも観察されている)。他方、小さなパイロンでは回避の必要性の認識が著しく遅れる。手動運転で同様のシーンを経験させたところ、ほぼ問題なく回避できるということを確認できていることから、パイロンを認識できないわけではない。なぜ自動運転中にはパイロンを回避することがドライバーにはうまくできないのかについて、今後詳細な分析が必要である。

なお、本実験の結果では、若年層の方が運転成績が良いというような傾向は必ずしも見られない。これは、危機回避という点において、高齢者層の方が危険を察知する能力が高いと考えられ、危険な事態が発生する前に未然の対応をとることができるものと考えられる。

ドライバがは TOR 発信後ハンドルを握るまでの全イベント平均時間に要因 x と y の 2 要因対応ありの分散分析 (図 3-36) を行った。その結果、要因 x と y の交互作用がなかった ($F(1, 39) = 0.62, p = 0.44$) が、遷移条件知識の形態 (要因 y) には有意な主効果 ($F(1, 39) = 18.22, p < 0.01$) があつた。チューキーの HSD 検定の結果、条件 1v.s.2、条件 3v.s.4、条件 2v.s.3 及び

条件 1v.s.4 には差が顕著に見られた。

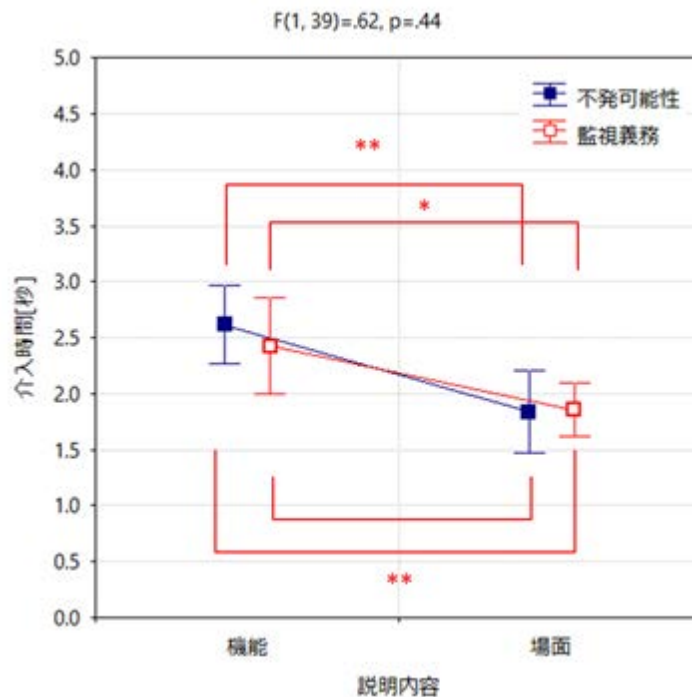


図 3-36 TOR 発信後ハンドルを握るまでの時間（全イベント平均）

上記の結果から遷移条件知識を具体的な場面で説明するのは、機能で説明より速く運転介入できたことが分かった。

3.8.9.まとめ

本実験では、遷移条件知識を機能で説明するか場面で説明するかの間には差異は明確であったことが分かった。中でも比較的条件 2（TOR 不発可能性を説明し、運転介入が必要な場面を具体的に説明する）において、運転介入がうまくいくケースが多いように思われた。

このことから、TOR が発出されない場合があることを明示的に教えること、運転介入が必要な場面を具体的に教えることが効果的であることが示唆された。監視義務があることを伝えるよりも TOR が出されない場合があることを教える方がよいかもしれないというこの結果は、実験 2α の結論、すなわち、「機能不全となりうることを伝えるよりも、ドライバーが運転を引き継ぐ必要があることを伝える方がよい」ということと矛盾するように思われる。しかし、これらは必ずしも互いに矛盾するものではない。

本実験（2β）の結果が示唆することは、自動運転中に監視をし続けるという平常時の対応において、その理由を明確に伝えることが望ましいということである。これに対し、実験 2α の結果は、手動運転への遷移が必要なその瞬間においてなすべきことを、「あなたが運転操作を引き継ぐ必要がある」

という形で明確に伝える必要があることを主張している。すなわち、平常時の心構えについての説明と、緊急時の対応についての説明とでは、説明の力点が異なりうるということである。

本実験では、経験するシナリオの順番を、2種類に固定をした。これは、あるシナリオの経験がほかのシナリオでの対応にどう影響を及ぼすかを明らかにするために、あえて設定したものである。しかし、今回の結果はこうしたシナリオの並び順であるがゆえに得られたものであるとの懸念を排除できないことから、シナリオ経験順をさらに入れ替えるなどして、実験を継続し、より普遍性のある知見として確立する必要がある。

なお、本実験で確認されたように、TORが出されない事象に対しては、ドライバーは全く対応できないというケースも珍しくない。類似の状況は、ACCシステムが停止車両に対してつっこんでいくというシーンでも観察されている（Itoh、2012）が、本実験では、ドライバーが対応できないケースが多く観察されている。こうした状況においてドライバーが適切に介入できるためには、システムの側からは明示的に情報を動的に伝えることができないので、ドライバーがリスクを自分で察知し、迅速に対応しなければならない。そのような対応をドライバーがうまくできるためには、ドライバーにどのような啓蒙・教育・訓練が必要であるかを明らかにする必要がある。この点については、引き続き研究を進めていかなければならない。

3.9. まとめ

3.9.1. 本研究の結論

本研究の結果として、現状では自動運転、特に自動運転のレベルとその意味については、日本社会全体において不十分であることがウェブ調査から明らかになった。したがって、自動運転の普及に際しては、ユーザーに対して、自動運転の機能やその性能の限界についての知識を適切に提供していくことが必要である。

レベル 3 の自動運転を想定した実験では、運転引継ぎが必要となる場合があること、どのような情報が HMI から提示されたときに運転を引き継ぐ必要があるか、運転を引き継がなければならない場面の例についての知識が必要であることが示唆された。このことについては、レベル 2 の自動運転システムに対しても適用できる知見であると考えられる。

他方、机上の知識だけでは、実際の引継ぎ場面に遭遇した際に適切に対応できない可能性が高いことも示唆されたことから、運転引継ぎを経験することも重要であると考えられる。運転引継ぎの経験は、シミュレーターを用いた仮想的な経験でもよいと考えられるが、それで十分かどうかは今後の課題として検討が必要である。以上については、高齢者のみならず、若年者に対しても重要である。なお、この実験では、運転引継ぎを必要とする場面については、必ずしもすべての状況をあらかじめ説明しておく必要はなさそうであることが伺われた。実際問題として、あらゆる引継ぎ場면을列挙することはそもそも困難であるし、列挙できたとしてもそれらをすべてユーザーが理解できることを期待するのはナンセンスであるといえよう。では、事前に提供する情報はどの程度までにとどめるべきかについては、今後さらなる検討が必要である。

レベル 2 の実験 2 α では、自動運転システムの機能の限界に際してドライバーが運転介入をしなければならないケースを想定し、運転介入の必要な場面の存在について、システムの立場から説明するか、ドライバーの立場から説明するかの検討を行った。その結果、ドライバーの立場で、具体的に行うべきことを明確に伝えることが必要であることがわかった。

レベル 2 の実験 2 β では、自動運転中の監視義務に関して、TOR が出されないケースの可能性を伝えるか、あるいは監視しなければならないこと自体を伝えるかのどちらが望ましいかを検討した。また、ドライバーが運転介入しなければならない条件について、システムの機能の観点から説明するのと、具体的な場面で説明するのとではどちらが望ましいかも検討対象とした。その結果、具体的な場面での説明の場合にはより速く安全に介入できた。さら

に TOR が出されない可能性の説明を行った条件では、TOR が出されないケースに比較的うまく対応できたことから、一般のドライバーには、TOR が出されない可能性を伝えるとともに、具体的な場面で説明することが望ましいことが示唆された。

実験 2 α では、ドライバーの立場から具体的に行う必要のある行動を伝えるべきだという結論が得られ、2 β では監視という行動を指示するよりはむしろ TOR が出ないかもしれないというシステムの機能に関する説明が望ましいそうであるということは、一見すると矛盾することであるかのように思える。しかし、これらは矛盾するものではない。実験 2 β では通常自動運転が制御しているときの心構えに関して、監視の必要性の根拠となる情報としての「TOR が出ないかもしれないこと」を伝えるのが望ましいということを主張している。これに対し、実験 2 α では、実際に運転介入しなければいけない場面に直面した時には、ドライバーが具体的に行うべきことがわかっている方が良いということを主張している。

実験 2 β では、運転介入の必要がある場面は膨大な数になるだろうことを踏まえ、少ない知識で多くの場面に適用可能なアプローチとして、システムの機能に着目した知識の提示を提案した。しかし、結果としては、システムの機能に着目した説明の場合、与えられた知識が抽象的に過ぎてしまい、かえってわかりづらいことがうかがわれた。それよりは、代表的な、具体的な場面を印象に残るように説明することが必要であるように思われる。

3.9.2. 本研究のリミテーション

- 提供した知識はどの程度の期間有効か？
- 欧米の研究では、システムの限界についての知識は使わないでいると失われていくことを指摘したものがある（忘れたころにやってくる、というのが危ない）
- 「伝える」ことは確実に行えるが、「理解した」ことを確認することは困難。実験自体が、理解を確認することに相当する。

3.9.3. 今後の課題

今回の研究においては、定置型の簡易ドライビングシミュレーターを用いたので、実際の運転状況とはかい離している。したがって、今回得られた結果が、実車、実路においてまったく同様に再現されるかは不明である。今後、実車を用いたテストコース実験、実路での実証実験へとつなげていく必要がある。ただし、実験参加者の安全確保が最優先される必要があることから、

実路はもちろん、テストコースでも実車で運転引継ぎ・介入が必要な場面を作りこんだ実験を行うのは困難が多い。意味のある実験を実車で行うための工夫をいかに作りこめるかが課題となる。

また、参加者に与えた知識について、正しく理解したかどうかを事前に確認したうえで実験を行えたわけではなかった。事前に確認してしまうと、それによって参加者の運転態度にバイアスがかかることが予想されることから、あえて確認を行わなかった。その結果、実験者が一方的に説明したものの、説明を聞き流している人がいた可能性は否定できない。

なお、上のまとめでは、実験の結果から得られた知見を実世界に適用する際、ドライバーに与えた知識が長い年月を経ても失われないことを暗黙の裡に仮定している。しかし、実際には、説明した内容はどんどん記憶から失われていくであろうし、あるいは、理解がどこかの時点で歪んだものになる可能性もある。先行研究では、システムの限界についての知識は使わないでいると失われていくことを指摘したものもある。与えた知識がどの程度有効であり続けるかについての検討も、今後必要となってくるであろう。

本研究の実験 2β では、経験させたイベントの順番をあえて固定したことなどもあり、本実験で得られた結果の汎化可能性については、慎重に検討する必要がある。

また、自動運転システムが障害物を見逃すイベントにおいては、多くのドライバーが適切な運転介入を行えなかった。このようなイベントに関しては、システムの側から直接的な情報提供や支援を行うことはできないので、ドライバーの知識や危機管理能力に依存せざるを得ない。本研究では、運転介入が必要な緊急場面においてドライバーが適切に対処できるための具体的な対策については検討することができなかった。しかし、そのような場面においてドライバーが適切な対処を行えるような取り組みこそが、レベル 2 の自動運転の実現・普及に重要であることから、今後継続的に検討を行う必要がある。

4. 課題 B-1 の調査検討

4.1. 課題 B-1 の計画

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、自動走行モード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。

自動走行モード使用中でのドライバーの視線、頭部運動、脳波、心拍、血圧等の認知・生理・行動データを計測する。自動運転中のドライバー状態として、注意状態の低下や覚醒度の低下を想定し、周囲を見ているが状況を認識できていない状態と周囲を見てもいない（脇見をしている）状態を対象とし、それぞれの状態の中で実験的に段階を変える条件を設定する。

ドライビングシミュレーターの高速度道路環境に、自動走行→自動走行の停止→先行車の車線変更→先行車の車線変更の先に停止車両ありという自動走行から手動への切り替え後に事故の可能性がある交通状況を設定し、一般ドライバーによる走行実験を行う。“自動走行の停止”では、テイク・オーバー・リクエスト(TOR)を提示する。若年ドライバーを主体とした合計約 80 名の被験者のデータを計測する。

TOR の発生前において、実験的に設定した条件間で差の見られるドライバー状態の評価指標を検討する。さらに、手動運転への切り替え後の運転成績と関連性の高い評価指標を抽出する。検討により得られた指標から、実車両の車載装置にて計測可能な指標を探索する。最終的には、本実験で得られた評価指標を算出可能なプロトタイプデバイスを試作し実験車両へ搭載する。

4.1.1. 課題 B-1 の取り組み概要と目標（3 か年全体）

- 自動走行システムにおいて、自動モード中のドライバー状態の違いを示す評価指標を明らかにする。検討に当たっては、実験条件別に自動走行モード中の状態評価結果を比較すると共に、手動運転への切り替え後の運転成績との関連性を分析し、切り替え後の運転行動と相関の見られるドライバー状態の評価指標を確立する。
- 上記指標の中から、車載装置で測定可能な指標を選定し、選定された指標によるドライバー状態評価装置のプロトタイプを開発する。

4.2. 先行研究調査

4.2.1. レビューの方針

自動運転によって生じるドライバー状態の変化と自動運転中のドライバー状態を評価する方法に関する先行研究をレビューする。最初に手動運転と比較して自動運転使用中のドライバーに生じる状態を概観する。特に自動運転が運転自体の作業負荷量（ワークロード）、脇見(visual distraction)、意識の脇見(cognitive distraction)、覚醒度に及ぼす影響、及びこれらの要因が複合して影響を及ぼす situation awareness に関してレビューを行う。次にドライビングシミュレーター実験や実路での実験により運転中（手動運転と自動運転を含む）のワークロード、脇見、意識の脇見、覚醒低下、situation awareness を評価した先行研究を調査し、その評価方法をまとめ、未解決の問題を抽出する。上記を通じて自動運転中のドライバー状態の評価に関する問題を整理し、研究課題を明らかにする。

4.2.2. レビューの方法

ドライバー(driver)、人の状態(※1)、自動運転(※2)をキーワードとして pubmed, web of science 及び google scholar を用いて文献検索を実施した。人間工学、心理学、生理学、行動科学、神経科学、医学を研究分野とする文献を検索対象とした。また抽出した文献に引用されている参考文献も適宜、調査対象とした。

※1 : 人の状態にかかわる用語 :

"human condition","body condition","health condition","mental condition",
,"physiological","psychological","emotion","feeling","drowsiness","sleepiness",
,"drowsy","sleepy","asleep","doze","fatigue","tiredness","exhaustion","a
bsentminded","vacancy","faint","unconscious","conscious","distraction","p
oorconcentration","bored","boring","depress","nervous","disgust","hate",
unpleasant","frustrate","irritat","impatience","upset","distress","fear","af
raid","angry","anger","sadness","stress","mental stress","mental pressure"
,"concentration","arouse","arousal","awake","alert","astonish","excite","de
lighted","joy","enjoy","happy","happiness","love","pleasant","amuse","plea
sed","pleasure","relax","calm","sleepiness","attention","awareness","fatigu
e","stress","perception","vigilance","memory","decision-making","attentive
","attentional","awake","driver state","workload","behavior","gaze"
,"saccade","blink","heartbeat","heart rate","ECG","electrocardiogram"
,"electrocardiography","cardiogra","pulse rate","pulse","blood pressure"

,"vital signs","heart rate variability","HRV","eyelid","pupil"
,"eye movement","behavioral","take-over","takeover"

※2：自動運転にかかわる用語：

"driverless car","self-driving car","autonomous car","Automated car"
,"driverless vehicle","self-driving vehicle","autonomous vehicle"
,"Automated vehicle","driverless driving","autonomous driving"
,"autonomous vehicle","Automated driving","unmanned vehicle"
,"unmanned car","unmanned driving","advanced driver assistance"
,"Lane Keeping Assist","Adaptive Cruise Control"
,"highly-automated vehicle","highly automated","autopilot"

4.2.3. レビューの結果

4.2.3.1. 自動運転に伴うドライバーのワークロード

ACC(Adaptive Cruise Control)やHAD(Highly Automated Driving)のシステムを備えた自動車を運転中のドライバーは車両の制御が不要になるため、ワークロードが低下すると予測される。ACCやHADによってドライバーのワークロードが手動運転と比較してどれくらい低下するのかを主観指標を対象として検討した meta-analysis では(de Winter, Happee, Martens, & Stanton, 2014)、手動運転における主観的なワークロードが42.9%であるのに対し(100%の方がワークロードが大きい)、ACCでは38.9%、HADでは23.7%に減少する。HADにおける主観的なワークロードの低下は、meta-analysisに含んだ15の研究すべてで観察されている(de Winter, et al., 2014)。また、self-paceの副次課題を手動運転中、ACC使用中、HAD使用中に負荷した研究では、手動運転による副次課題の実施数を100%とすると、ACCでは111%、HADでは252%の達成率となった。これらの結果は手動運転よりもACCやHADの方が、運転そのものに対するワークロードが低下していること、自動運転機能が高次になるほどワークロードが低下することを示している(de Winter, et al., 2014)。

またACCやHADの技術を備えた自動運転技術使用時のドライバーは手動運転中のドライバーと比較して心拍数が減少することがドライビングシミュレーターによる研究で示されている(Carsten, Lai, Barnard, Jamson, & Merat, 2012; de Waard, van der Hulst, Hoedemaeker, & Brookhuis, 1999)。ワークロードが低下すると心拍数が低下することから(Backs & Seljos, 1994)、自動運転中はドライバーのワークロードが低下していることを示唆している(de Winter, et al., 2014)。一方、心拍数には個人差などの影響を受

けやすく、自動運転と手動運転間に差を認めないとする研究もある(de Winter, et al., 2014)。運転作業のワークロード低下は運転外作業の増加を引き起こしうる。ドライバーの自発的な行動を観察した研究では、自動運転使用中のドライバーは運転とは関係がない行動(DVDを鑑賞する、睡眠をとるなど)を手動運転時と比較して取りやすくなり、その傾向は特にACCよりもHADの方が顕著である(Carsten, et al., 2012; de Winter, et al., 2014; Malta, et al., 2012)。

次に自動運転中のドライバーのワークロード低下によって生じやすくなる脇見、意識の脇見、覚醒低下についてレビューする。

4.2.3.2.自動運転中の脇見

自動運転(HAD)中のドライバーが道路中央を見る割合は手動運転中と比較して低下することがシミュレーターを用いた研究で示されている(Carsten, et al., 2012)。中心視野(半径6度の円上)の視認時間は手動運転中では73%、ACC使用中は68%、HAD使用中は56%となる(Carsten, et al., 2012)。また、テストコースを用いた実験では、HAD使用中の方がACC使用中と比較して前方を見ている時間が33%減少する(Llaneras, Salinger, & Green, 2013)。HADを備えている自動運転使用中のドライバー状態を助手席に乗車している状態と仮定して手動運転と助手席乗車中の目の動き、目の動きに伴う脳波、まばたきの状態を比較した実路での研究が実施されている(Takeda, et al., 2016)。この研究では、運転手の方が助手席に座っている被験者と比較して、小さい目の動き(眼電図によって計測した目の動きの振幅が $25-100\mu V$ の眼球運動)が多く発生するとともに、助手席に座っている被験者の方が大きい目の動きが多く発生する(同 $100-400\mu V$)ことが示されている。この結果は、HAD使用中のドライバーは、自身で運転する場合と比較して、運転に必要な情報を得るために視線を多く移動していることを示している(Takeda, et al., 2016)。これらの知見は、自動運転機能が高度になるほど、前方注意の割合が減少することを示している。

4.2.3.3.自動運転中の意識の脇見

上述したTakeda et al. (2016)による研究では、目が対象物をとらえた直後に発生する脳波(eye-fixation related brain potentialのP1成分)の振幅を指標として意識の脇見を検討している。この成分は視覚情報が視覚野に入力した時に生じる視覚情報処理を反映した成分といわれている(Yagi, 1981, 1982)。この成分の振幅は助手席に座っている時の方が運転している時より

も振幅が小さいことから、視線移動後の視覚情報に対する注意量が低いこと、つまり意識の脇見が生じていることを示している。

自動運転がマインドワンダリングに及ぼす影響を検討した研究は少ない。シミュレーターを用いた研究(Korber, Cingel, Zimmermann, & Bengler, 2015)では 42.5 分間の自動運転中の開始 5 分よりも終了 5 分前の方が「考え事をしてきた」(課題非関連試行及び課題関連思考を含む)と答える頻度が多くなる。ただし、実験終了後にそれぞれの時点の思考を想起させて回答を求めていること、手動運転との比較が行われていないことから、自動運転がマインドワンダリングに及ぼす影響についてはさらに検討が必要である。

4.2.3.4.自動運転中の覚醒度の低下

PERCLOS(Percent of Eyelid Closure)は単位時間当たりの閉眼時間の割合であり(Dinges, Mallis, Maislin, & Powell, 1998; Wierwille, Ellsworth, Wreggit, Fairbanks, & Kim, 1994)、覚醒度の低下に伴って値が大きくなる。ドライビングシミュレーターを用いた研究では、手動運転中と比較して自動運転(HAD)乗車中は PERCLOS の値が大きくなることが示されている。また、まばたきの持続時間は覚醒度の低下に伴って延長する(Caffier, Erdmann, & Ullsperger, 2003) (Ingre, Akerstedt, Peters, Anund, & Kecklund, 2006)。Takeda et al. (2016)による研究はこの指標を用いて手動運転中と自動運転を模擬した助手席に座っている時の覚醒度を比較した。その結果、助手席に座っている時はまばたきの持続時間が延長することを示した。これらの知見は自動運転中は手動運転中と比較して覚醒度が低下することを示している。

4.2.3.5.自動運転に伴うドライバーの Situation Awareness

物体検出(視野上での視覚刺激に対するボタン押し反応や視線移動)を用いて Situation Awareness を評価した研究では、自動運転中は手動運転中と比較して situation awareness が向上するという知見と低下するという知見が混在している(de Winter, et al., 2014)。ACC や HAD を使用中のドライバーに環境を監視するように指示した場合、situation awareness は手動運転中と比較して向上する(Davis & Animashaun, 2008; Funke, Matthews, Warm, & Emo, 2007; Ma & Kaber, 2005)。これは運転に用いられる認知処理資源の配分が低下し、運転作業におけるワークロードが減少したことから、環境に対してより注意を向けられるようになったため反応時間が早くなったと考えられる。一方、運転以外の副次課題を自動運転(HAD)中に負荷した場合は、道路の脇に突然出現する物体の検出が手動運転と比較して悪くなる

(Barnard & Lai, 2010)。また、Cha (2003)の研究では、予想に反して、自動運転(HAD)中の方が手動運転中と比較して、反応時間が延長していた。自動運転中は多くの被験者が強い眠気を訴えていたため、眠気によって反応が遅くなったと考察されている(Cha, 2003; de Winter, et al., 2014)。自動運転中に運転とは関係がない行動が生じやすくなることから、自動運転中はドライバーの *situation awareness* を低下させる可能性がある。運転とは関係がない課題(脇見、睡眠など)からの復帰を促し監視業務を実施するように促すことで自動運転中でも物体検出の維持は可能と考えられる。

Critical event に対する反応を用いて自動運転中の *situation awareness* を評価した研究では、HAD 運転中のドライバーは *critical event* に対するパフォーマンス(反応時間や回避率)が ACC や手動運転と比較して悪くなるという研究(Damböck, Weißgerber, Kienle, & Bengler, 2013; Flemisch, et al., 2008; Merat & Jamson, 2009; Radlmayr, Gold, Lorenz, Farid, & Bengler, 2014; Strand, Nilsson, Karlsson, & Nilsson, 2014)と、変わらないという研究(Gold, Damböck, Lorenz, & Bengler, 2013; Lank, Haberstroh, & Wille, 2011; Merat, Jamson, Lai, & Carsten, 2012)が混在している(de Winter, et al., 2014)。HAD 運転中のドライバーが手動運転中と同様のドライビングポジションを取っていない場合、回避行動を起こすまでのステップが増えるため(ハンドルをもつ、ペダルに足をのせる、視線を道路上に移動する等)、*critical event* を回避するための準備に時間がかかると予想される(Damböck, et al., 2013; Zeeb, Buchner, & Schrauf, 2015)。一方、自動運転では運転自体にかかるワークロードが低下するため物体検出が早くなるという要因(Funke, et al., 2007; Ma & Kaber, 2005)や、十分に前もって TOR を呈示することで運転準備を完了できるという要因(Gold, et al., 2013)などにより、自動運転中の *critical event* に対する反応遅延を補える場合もある。

4.2.3.6.自動運転中のドライバー状態に関するまとめ

自動運転中はワークロードが低下するため、脇見、意識の脇見、覚醒低下が発生しやすくなる。そのため自動運転中のドライバーが道路上を見ていない場合や TOR に対する準備ができていない場合、*critical event* に対するドライバーの反応が悪化する。一方、自動運転中のワークロードの低下により周辺情報を監視するための認知処理資源は手動運転中と比べて大きい。これらの知見は、自動運転中の脇見、意識の脇見、覚醒低下をモニターし監視作業をうながすとともに、*critical event* に対する運動準備を行うために十分に前もって TOR を呈示することで手動運転時と同等のパフォーマンスで

critical event を回避できる可能性を示している。ドライバー状態をモニターし、維持する方法や TOR の至適呈示タイミングを検討する必要がある。

4.2.4. ドライバー状態を評価する方法

ドライビングシミュレーターや実路での実験により運転中（手動運転及び自動運転）の運転作業のワークロード、脇見、意識の脇見、覚醒低下、*situation awareness* を生理学的手法を用いて評価した先行研究を調査し、その評価方法をまとめ、自動運転中のドライバー上状態評価における未解決の問題を抽出する。

4.2.4.1. Workload（作業負荷）の評価

前述したとおり、自動運転に伴うワークロードの低下に伴って心拍数が低下する (Carsten, Lai, Barnard, Jamson, & Merat, 2012; de Waard, van der Hulst, Hoedemaeker, & Brookhuis, 1999)。また、HAD は皮膚コンダクタンス水準の低下 (Cha, 2003)、瞬目数の増加 (Cha, 2003)、単位時間当たりの閉眼割合の増加 (Jamson, Merat, Carsten, & Lai, 2013) を引き起こす。これらの指標は覚醒度や副次課題に伴うワークロードとも関係している。一方、心拍数は個人差が大きいため、自動運転に伴うワークロード低下に伴った変化を示さないとする研究もある (de Winter, et al., 2014)。

4.2.4.2. Visual Distraction（脇見）の評価

まばたき：反応課題を実施中に視覚探索課題を用いて副次的に視覚的なディストラクションを負荷するとまばたきの頻度が減少することが示されている (Recarte, Perez, Conchillo, & Nunes, 2008)。視覚探索を実施している時は、まばたきを抑えることで、視覚情報をより多く取り込めるようにしていると考えられている (Recarte, et al., 2008)。また、ドライビングシミュレーターでの Lane changing task 中に SuRT を用いて視覚的負荷を課すと持続時間が短い (<100ms) まばたきが増える (Benedetto, Pedrotti, Minin, Baccino, & Re, 2011)。この現象も、まばたきが短くなることで視覚情報の取り込みを増やす効果があると考察されている。自動運転中に視覚課題を用いた副次課題を負荷した際、まばたき頻度や持続時間が手動運転の時に観察される現象と同様の傾向を示すのかどうかはまだ分かっていない。

眼球運動・視線行動：高速道路での実路を走行中、高速道路での走行を模擬したシミュレーターでの運転課題中及び市街地での走行を模擬したシミュレーター課題中に、ステアリングの横に設置したタッチスクリーンに視覚課

題を呈示し、タッチスクリーンに対する視線行動を評価した研究によると、視覚課題の難易度が難しくなるほど、1回あたりの脇見の持続時間と脇見の合計時間が長くなり、道路上を見ている時間が減ることが示されている (Victor, Harbluk, & Engström, 2005)。自動運転中に中央モニター上で文章入力やインターネット検索を負荷した研究では、一回あたりの中央モニターの視認時間が長い被験者ほど、障害物の回避に失敗していた (Zeeb, Buchner, & Schrauf, 2015)。

瞳孔：瞳孔径は mental effort の増大に伴って大きくなることが知られている (Beatty & Lucero-Wagoner, 2000)。ドライビングシミュレーターでの Lane changing task 中に SuRT を用いて視覚的な作業負荷を行うと瞳孔の大きさが課題を負荷していない状態と比較して大きくなる (Benedetto, et al., 2011)。瞳孔のサイズは運転課題中の mental effort を反映する可能性が示唆される。

4.2.4.3. Cognitive Distraction (意識の脇見) の評価

まばたき：視覚課題を実施中に視覚とは関係がない認知課題(リスニング、会話、計算)を負荷するとまばたきの頻度が増えることが示されている (Recarte, et al., 2008)。また、課題と関係する思考をしている時と比較すると、マインドワンダリングをしている時には、まばたきの頻度が増加する (Smilek, Carriere, & Cheyne, 2010)。これらの結果は認知課題実施中やマインドワンダリング中は、まばたきが外界からの視覚刺激を減らすことで、認知課題や内的思考に注意が向きやすい状態を作り出していると考えられている (Recarte, et al., 2008; Smilek, et al., 2010)。

シミュレーター課題を実施中に音声によって提示された数字を順次加算していく課題を実施すると、加算課題を負荷しない条件と比較して、瞬目頻度が増加する (Tsai, Viirre, Strychacz, Chase, & Jung, 2007)。一方、瞬きの持続時間については、認知課題を負荷しても変化しない (Tsai, et al., 2007)。電話による会話を模擬したサブタスクを手動運転中及び自動運転中に負荷すると、瞬目発生数が増える (Merat, et al., 2012)。

眼球運動・視線行動：運転中に音声による副課題を呈示すると視線が道路中央に集中 (gaze concentration) することが分かっている。高速道路での実路を走行中、高速道路での走行を模擬したシミュレーターでの運転課題中及び市街地での走行を模擬したシミュレーター課題中に、音声を用いた作業記憶課題を負荷した研究によると、約 70% 以上は道路中央に視線を向けているものの、音声課題を負荷していない場合と比較すると課題を負荷した場合の方

が視線行動の大きさのばらつきが小さくなる (Victor, et al., 2005)。

高速道路での実路中に計測した研究によると、聴覚を用いてドライバーに認知的負荷を与えることで、視線移動距離のばらつき (spatial gaze variability) が減少すること、スピードメーターやバックミラーの視認が減少することが示されている (Recarte & Nunes, 2003)。この結果は認知的負荷によって gaze concentration が生じていることを示している。

市街地での実路走行中に N-back 課題 (0back, 1back, 2back 課題を実施) を用いて認知的な負荷を課すと、課題を負荷した一部の条件 (0back と 2back) では水平方向の眼球運動の標準偏差が前後に計測した課題を負荷しないベースラインと比較して小さくなることが示されている (Reimer, 2009)。この研究でも認知的な負荷が gaze concentration を引き起こすことを示している。またマインドワンダリング中は目の停留回数が増加する (Smilek, et al., 2010)。

自動運転中に Cognitive Distraction を負荷した場合、gaze concentration が生じるのかどうかはまだ充分検討されていない。

瞳孔：高速道路での実路走行中に瞳孔を計測した研究によると、聴覚を用いてドライバーに認知的負荷を与えることで、瞳孔のサイズが大きくなることが示されている (Recarte & Nunes, 2003)。心理的負荷 (mental effort) に伴う瞳孔サイズの増大は運転中の心的負荷を反映した変化を示す。

4.2.4.4. 覚醒低下の評価

眼瞼活動：眼瞼活動 (瞬目や開閉眼など) に関する様々な指標が覚醒低下と対応して変化する。健常者では、覚醒低下に伴って、瞬目数の増加 (Crevits, Simons, & Wildenbeest, 2003) もしくは減少 (Atienza, Cantero, Stickgold, & Hobson, 2004)、閉瞼・開瞼所要時間の延長 (Caffier, et al., 2003; Tucker & Johns, 2005)、閉瞼・開瞼の速度低下 (Johns & Tucker, 2005)、閉眼持続時間の増加 (Tucker & Johns, 2005) が生じる。ACC (Adaptive Cruise Control) 及び LKS (Lane-Keeping System) を備えた高度運転支援 (Highly Automated Driving: HAD) を使用中のドライバーは手動運転中のドライバーと比較して、瞬目数の増加 (Cha, 2003)、閉眼時間割合の増加 (Jamson, et al., 2013) を示す。これらの知見は HAD ではドライバーの覚醒度低下を示唆している。

PERCLOS (Percent of Eyelid Closure) は覚醒低下に伴う反応遅延や微小睡眠を弁別する精度が高い (Abe, et al., 2011; Chua, et al., 2012; Dinges, et al., 1998)。また、PERCLOS が覚醒低下に伴う注意力低下を検出する精度は緩徐眼球運動や各種瞬目指標、瞳孔径よりも PERCLOS の方が、精度が高いことが分かっている (Abe, et al., 2011; Chua, et al., 2012; Dinges, et al.,

1998)。PERCLOS は注意低下を検出する精度が高いが、問題点も有している。PERCLOS を用いて眠気を測定する場合、1 分以上を測定することが推奨されている (Dinges, et al., 1998)。ヴィジランスは 1 分よりも短い間隔で変化するので、PERCLOS では時々刻々と変化するヴィジランスを検出できない。また居眠りが生じる程の重度の覚醒低下しか検出できない(阿部, 2014)。

実際の道路での走行を対象とした注意力測定研究が職業トラックドライバーを対象として行われている (Dinges, Maislin, Brewster, Krueger, & Carroll, 2005)。この研究では、PERCLOS や車線変動、Psychomotor Vigilance Test(PVT)などの指標を用いて、そのフィードバックの効果を検討している。この装置からのフィードバックがある条件では、夜間運転時の運転パフォーマンスが向上した (Dinges, et al., 2005)。

開眼度、平均瞬目時間、継続閉眼時間の分布、PERCLOS、瞬目回数などの複数の指標から顔表情による眠気評定（第三者が動画像をともに覚醒度を主観判定）との相関が高い値を計測できる装置（ドライバーステータスマニター）も開発されている(大見, 2014)。この装置は、ドライバーの瞼を認識し、開眼度情報を計測する(大見, 2014)。今後の発展が期待される。

瞳孔径：覚醒水準の低下に伴って縮瞳と 0.8Hz 以下の瞳孔低周波ゆらぎが生じる (Wilhelm, Wilhelm, Ludtke, Streicher, & Adler, 1998)。この特徴を利用して、縮瞳と瞳孔ゆらぎを眠気計測法に応用する試みがなされている(西山、谷田、楠見、平田、2008)。瞳孔径計測と自覚的眠気の聴取を同時に行うと、瞳孔ゆらぎが観察される時に眠気が自覚されることが示されている(西山 他、2008)。瞳孔ゆらぎは覚醒低下に伴う副交感神経系の活動亢進による縮瞳と意識的・無意識的に生じる覚醒維持のための努力に伴う交感神経系活動の亢進による散瞳が交互に繰り返されることで生じると考えられている(西山 他、2008; 和久井・平田、2014)。ただし、瞳孔は光や眠気以外の心的要因による影響を強く受けるため、実車での眠気計測として実用化するためには克服すべき課題が多い。

眼球運動：サッカード特性や頻度が覚醒度の指標となることが知られている。サッカードの速度と持続時間はそれぞれ振幅と main sequence と呼ばれる関係を有し (Di Stasi, Catena, Canas, Macknik, & Martinez-Conde, 2013)、サッカードの振幅が大きくなるほど、サッカードの速度は速くなり、持続時間は長くなる。覚醒度が低下するほどサッカードの速度と振幅から求めた main sequence の傾きは値が小さくなる (Di Stasi, Catena, et al., 2013)。手動運転中の運転時間の増加に伴ってマイクロサッカードの速度と振幅の main sequence の傾きの値が小さくなることが報告されている (Di Stasi,

McCamy, et al., 2013)。また、マイクロサッカーの持続時間と振幅から求めた main sequence の傾きは運転時間の増加に伴って値が大きくなる(Di Stasi, McCamy, et al., 2013)。この結果は運転時間に伴う疲労が Omnipause neuron(OPN; サッカーの速度に関与)の活動性を低下させることで生じたと考察されている(Di Stasi, McCamy, et al., 2013)。疲労がマイクロサッカーの速度を低下するのであれば、自動運転中の運転時間増加に伴う疲労がマイクロサッカーの相対速度を低下させるとともに相対的な持続時間が延長する可能性があるが、この仮説についてはこれまで検討されていない。

緩徐眼球運動 (Slow eye movement: SEM)は睡眠から覚醒への移行期に出現し始める。模擬運転 (Driving Simulator: DS) 課題実施中に先行車のブレーキランプが点灯したらすぐにブレーキ踏下することを課した実験では、SEM が出現している時は、出現していない時よりも反応時間が延長するとともに、事故率が増大することが示されている(Shin, Sakai, & Uchiyama, 2010)。また、SEM が出現したら警告を鳴らす方法により DS 実験中の反応時間と事故率が減少することも示されている(Shin, et al., 2010)。ただし、覚醒低下に伴う SEM と高覚醒時にも出現する前庭動眼反射や円滑性追跡眼球運動を区別する必要がある。

4.2.4.5. Situation Awareness (周辺認識) の評価

まばたき：外界に対する注意が必要となる状況では瞬目の発生が抑制される(Recarte, et al., 2008)。運転環境が難しくなると、瞬目頻度が減少することが示されている。実車を用いた手動運転での研究では、急カーブになるほど、瞬目の頻度が減少することが示されている(Heger, 1998)。シミュレーター実験での手動運転中では、障害物回避を予告された条件では予告がなく自由に走行している条件よりも瞬目頻度が低下することが示されている(Merat, et al., 2012)。

周辺認識を必要とするシミュレーター課題の難易度が上昇するとまばたきの持続時間が短くなり、まばたき間隔がながくなる。フライトシミュレーター実験では、着地のシミュレーションを実施している時は、通常飛行時や着地後よりもまばたきの持続時間が短くなり、まばたき間隔が長くなることが示されている(Veltman & Gaillard, 1996)。また航空管制を模擬したシミュレーター実験では、飛行場での飛行機の数の増加や管制作業の負荷の増加に伴ってまばたきの持続時間が短くなる(Ahlstrom & Frideman-Berg, 2006)。

瞳孔径：上述したフライトシミュレーター実験では、飛行機の数の増加や管制作業の負荷の増加に伴って瞳孔径の直径が大きくなることも示されている

(Ahlstrom & Frideman-Berg, 2006)。

4.2.4.6. ドライバー状態評価法のまとめ

車載可能な装置でドライバーを評価する方法に関するレビューを行った。目やまぶたの動きなどの車載可能な指標は **Workload**、**Visual Distraction**、**Cognitive Distraction**、覚醒度などの複数の要因によって影響を受ける。同一の実験手法により **Visual Distraction**、**Cognitive Distraction**、覚醒度が自動運転中のドライバー状態に及ぼす影響を車載可能な指標を用いて検討した研究はこれまで報告されていない。それぞれの要因がどのようにドライバー状態に影響を及ぼすのかを紐解くことで、これらの指標を複合的に用いたドライバー状態推定法の作成に貢献できる。

4.3. 検知技術の先行研究調査

4.3.1. はじめに

安全・安心運転を保証するためにドライバーの状態検知技術が益々重要になってきている。しかし、状態検知技術ではドライバーの身体や精神状況や運転環境など様々な条件を考慮する必要があるため、効果的な検知技術を構築する難しさがある。一方では、入力情報となる脳波、心拍などの生体信号情報や表情・しぐさなどの動作情報を如何に有効に活用するか課題も多い。

本調査ではドライバー状態を推定できる評価指標として、幅広く Russell の円環図の状態を検出する技術についての調査を行った。調査範囲を自動車分野に限定せず医療、心理学など幅広い範囲を対象に検索を行った。これは、人の状態検知技術の今後の新しい技術開発に有効な情報を見つけることを目的としており、車載以外の技術の応用ができるかという観点も含めて関連文献の文献調査を行った。

4.3.2. 調査対象とその方法

4.3.2.1. 調査目的及び調査内容

ドライバー状態を推定できる可能性のある評価指標とそれを検出する技術について 2000 年以降の動向について調査を行う。その中から将来、実車搭載に向けた可能性のある技術を抽出し、技術開発の方向性を知っておくことで、実車搭載に備えておく。

4.3.2.2. 検出対象人の状態の調査範囲

- 生体計測
- 顔向き、視線、
- 表情（感情状態）
- 姿勢（作業を含む）
- 体調

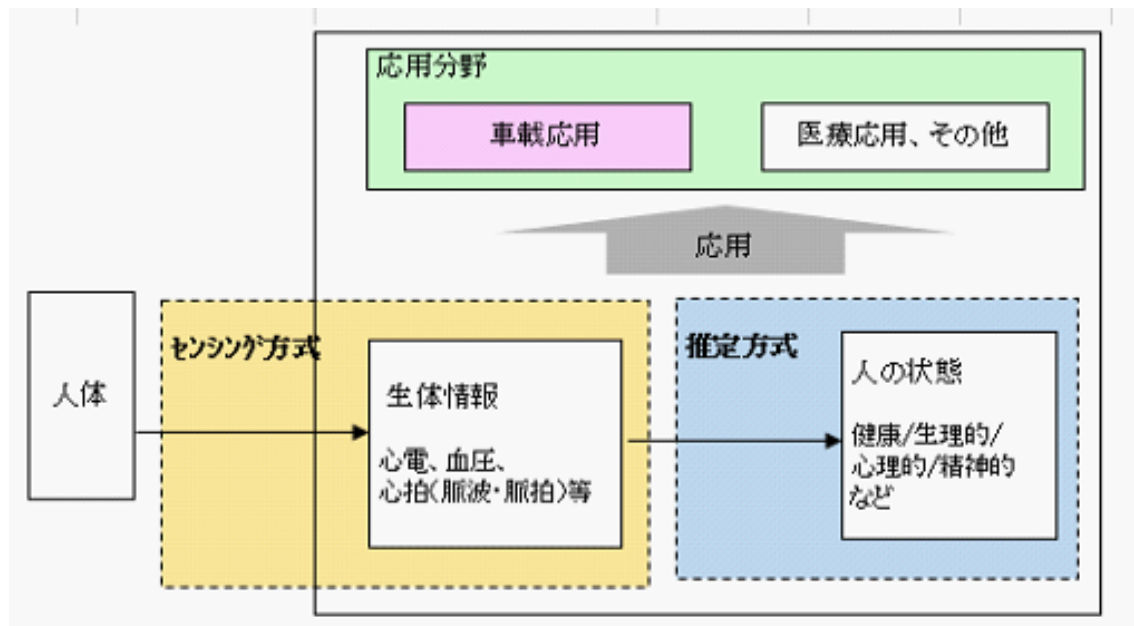


図 4-1 調査範囲

4.3.2.3.検出情報

- vital sign(心拍、血圧、呼吸、体温、脳波)
- 筋活（眼球運動、顔の表情、瞬き）
- 行動（しぐさ、発話）

4.3.2.4.検知方法について

車両に搭載可能性のある検知技術として下記の条件を下の範囲で調査を行う。非拘束等でウェアラブルセンサーも含むと判断する。

<実車搭載の可能性条件>

- 非侵襲（non-invasive/non-intrusive）
- 非接触（non-contact）
- 非拘束（non-restraint/unconstrained）

（ドライバを対象にした文献は該当と判定する）

4.3.3.調査対象とその方法

本調査の目的である人の状態検知技術に該当する文献の収集はインターネットから参照可能な英文文献を対象に行った。具体的な検索方法は文献内容の意味解析（自動処理）とマイニング手法を用いた網羅的な検索手法を使用した。具体的な文献抽出フローを図 4-2 に示す。

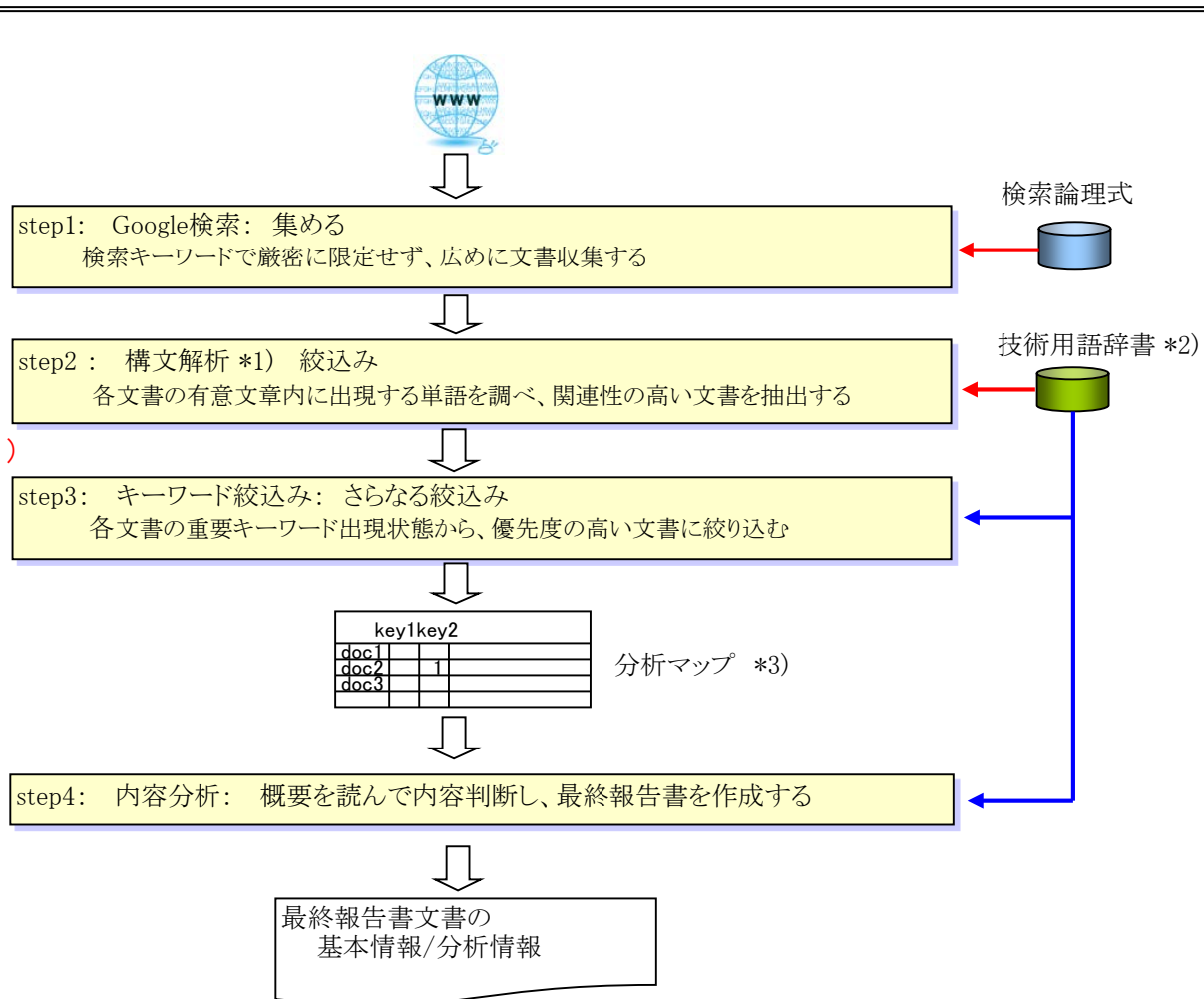


図 4-2 技術文書抽出フロー

4.3.3.1. 【解説】本技術文書抽出における英文構文解析手法

英文構文解析のエンジンを使用し、これが出力する文書内の出現単語・熟語を表形式に表現した分析マップの作成を行う。この分析マップを利用して、Google 検索で抽出した文書群の中から、今回の技術テーマに関して関連性の高い文書の絞込みを行う。

① 構文解析エンジン

構文解析は英文の名詞句を中心に正確な単語切り出しの精度を高めるために重要な機能である。一般の文字列解析では精度の高い単語・熟語の用語抽出（同義語や語尾変化処理も含む）は困難である。本調査ではこの構文解析エンジンを使用した分析を実施した。

② 技術用語辞書

関連性の高い文書を判断するために、予め期待する技術用語（単語、熟語）を登録しておくデータファイルを指す。

本処理では Google で抽出した文書をこの辞書を利用して関連性の高い文

書を絞り込む。

③ 分析マップ

技術用語辞書に登録された文字列（単語・熟語群）が存在すればフラグを立てるマトリックステーブルを意味する。

4.3.3.2. 検索方法

検索範囲は 2000 年以降の関連分野の文献に着目し、その中で 2009 年までは自動車分野を中心に検索を行った（検索式 A1）。2010 年以降については今後の車載可能性となる新しい技術に注目するために、自動車分野以外に医療、心理学など幅広い範囲を対象に検索を行った（検索式 A2）。

- (1) 検索条件 A1: 車載向けの検出対象に着目した検知技術の検索。検索期間は 2010 年までに掲載された文献を対象
- (2) 検索条件 A2: 車載に限定しないで検出対象と人の状態関連用語で検索。検索期間は 2016 年までに掲載された文献を対象
- (3) 特許、Wikipedia、YouTube、-Amazon 関連のサイトは検索の対象外とした。

検索に用いたキーワードを表 4-1 に示す。ここで、第 1 検索キーの中は OR 条件、第 1 検索から第 5 検索キーは AND 条件で検索を行った。

表 4-1 検索式

	第1検索キー	第2検索キー	第3検索キー	第4検索キー	第5検索キー
A1	2000~2010				
	heartbeat	心拍	health	condition	driver
	heart rate	心拍数	psychological		abstract
	electrocardiogram	心電図	physiological		conclusion
	electrocardiography	心電図	mental		
	pulse rate	脈拍数			
	blood pressure	血圧			
	第1検索キー	第2検索キー	第3検索キー		
A2	2010~2016				
	Heart rate	心拍数	health	condition	detection OR monitor
	Electroencephalogram	脳波	psychological		
	Cerebral blood flow	脳血流	physiological		
	blood pressure	血圧	mental		
	Electrocardiography	心電			
	Pulse rate	脈拍数			
	Respiratory rate	呼吸数			
	Skin temperature	皮膚温			
	2000~2016				
	eye movement	眼球運動	unobtrusive	condition	detection OR monitor
	facial expression	顔表情	non-invasive		
	human pose	挙動(しぐさ)	non-intrusive		
	voice	声(発話)	non-contact		
	drowsiness	眠気	non-restraint		
	fatigue	疲れ			
	arousal	目覚めた			
	inattentive	不注意な			
	distraction	注意散漫			
	frustrated	イライラ			
angry	怒って				
fear	恐怖				
distress	苦痛				
mental stress	ストレス				
pleasure	楽しみ				
relaxed	くつろいだ				

4.3.3.3.検索結果

4.3.2 項の範囲で検索した結果から最終的には表 4-2 の人の状態分類に該当した文献は 201 件であった。インターネットで抽出した本テーマに関する分析候補文献 2400 件について、「非侵襲性、非接触性、非拘束」のキーワードを入れることにより医療分野等自動車以外の人々の状態検知技術が進んでいる分野から車載可能な技術を効果的に絞り込むことができた。

この該当文献の 2010 年以降の件数の推移を図 4-3 に示す。また、表 4-2 の人の状態分類ごとの総文献数を図 4-4 の人の状態該当文献数に示す。

表 4-2 人の状態分類

分類	人の状態
a1	眠気
a2	疲労
a3	ストレス
a4	注意散漫
a5	切迫感
a6	緊張感
a7	身体状態
a8	感情状態

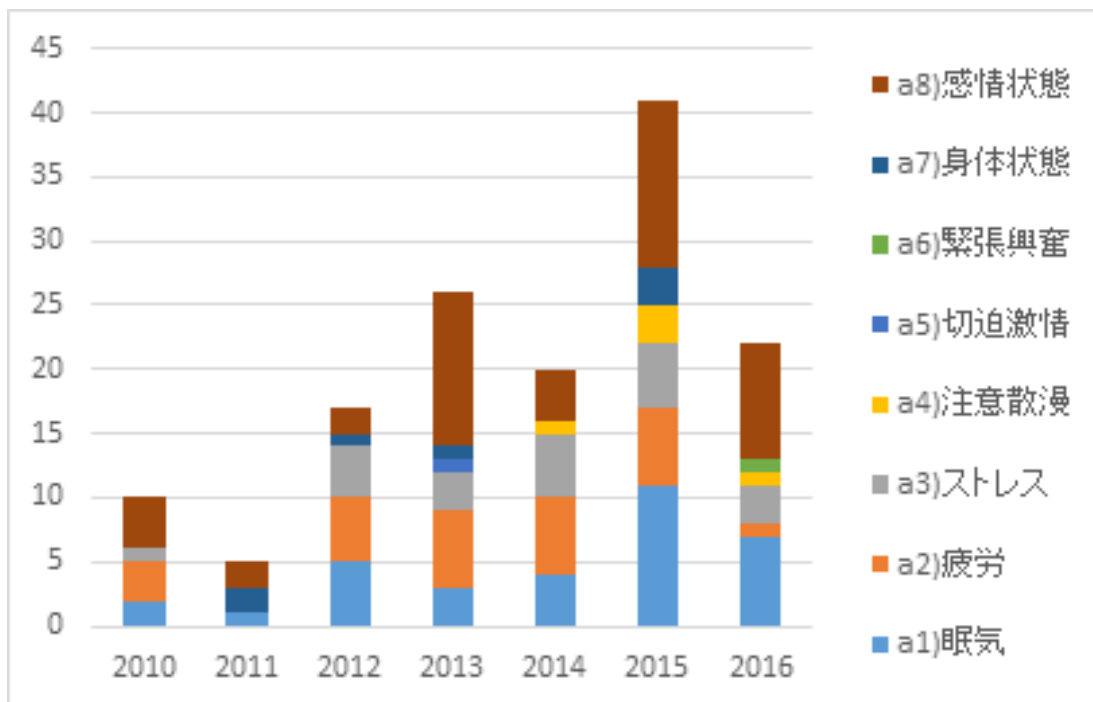


図 4-3 人の状態検知技術文献数推移

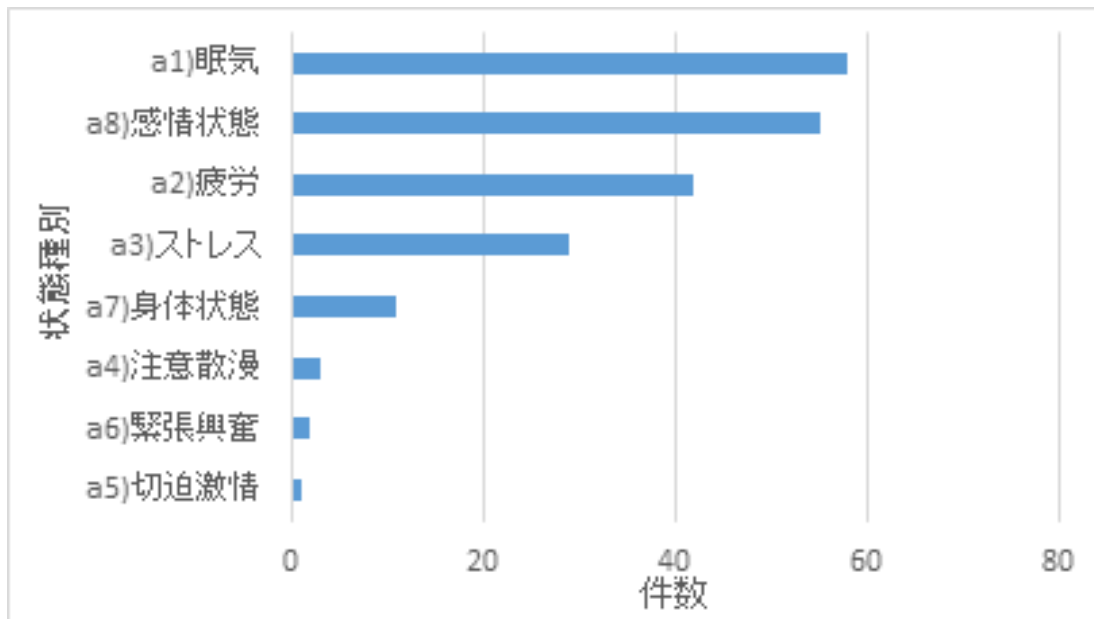


図 4-4 人の状態該当文献数

4.3.4. 調査内容

4.3.4.1. 全般

まず、図 4-3 と図 4-4 から人の状態の該当文献数の傾向を見ると、a1) 眠気、a8) 感情状態、a2) 疲労、a3) ストレスに関する文献数が多いのが分かる。これらと比較すると、a4) 注意散漫、a5) 切迫、a6) 緊張感が少ない。a8) 感情状態に着目すると、近年は該当文献数が増加傾向にあることがわかった。

次に、図 4-5 に、該当文献の内容から人の検出対象に着目し、件数の多い項目順に並べた。b3) 心電、脈拍、血圧、心拍が一番多く、b7-2) 眼球運等 (EOG)、顔筋電 (EMG) が次に多いことがわかった。これらの項目が多い順に 11 項目抽出して表 4-2 のような神経系、活動系等のくくり別に b1) から b9) の分類とした。

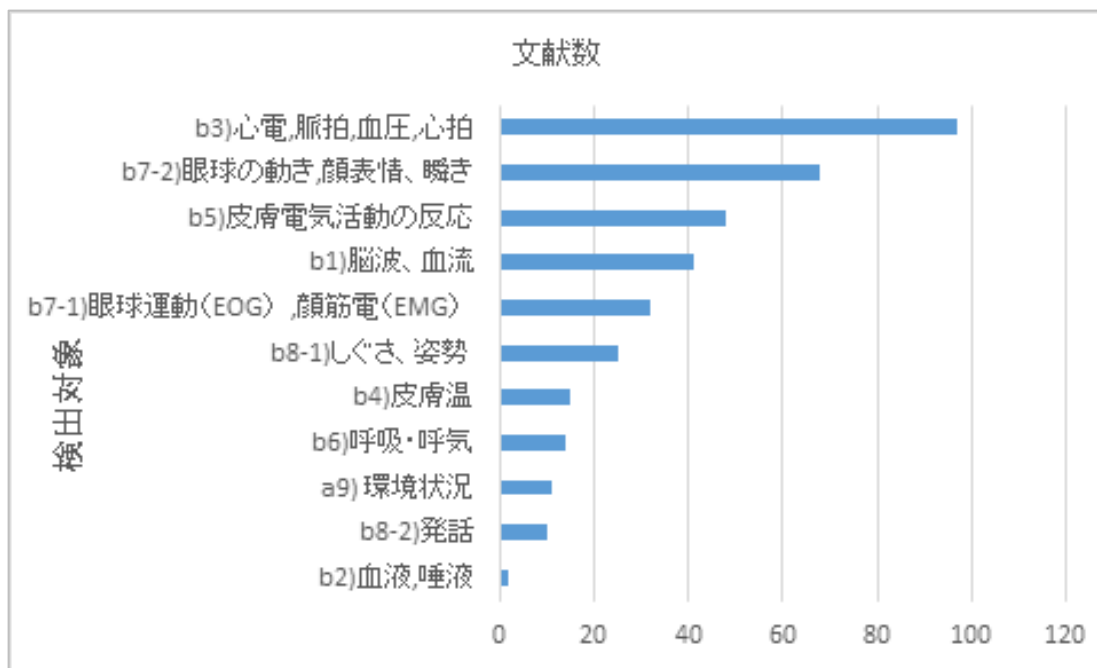


図 4-5 検出対象利用件数

表 4-3 検出対象の種類

分類	検知対象
中枢神経	b1)脳波,血流
内分泌	b2)血液,唾液
自律神経	b3)心電,脈拍,血圧,心拍
	b4)皮膚温
	b5)皮膚電気活動の反応
	b6)呼吸・呼気
筋活動	b7-1)眼球運動(EOG),顔筋電(EMG)
	b7-2)眼球の動き,顔表情,瞬き
行動/動き	b8-1)しぐさ,姿勢
	b8-2)発話
環境	b9)環境状況

表 4-4 人の状態に関係する検出対象文献数一覧（注記：
欄内の数値は該当文献数）

検出対象 人の状態	b1)脳波、血流	b2)血液、唾液	b3)心電図、脈拍、血圧、心拍	b4)皮膚温	b5)皮膚電気活動の反応	b6)呼吸・呼吸	b7-1)眼球運動(EOG)、顔筋電(EMG)	b7-2)眼球の動き、顔表情、瞬き	b8-1)しぐさ、姿勢	b8-2)発話	a9)環境状況
a1)眠気	17		22	2	6	4	3	18	10	1	5
a2)疲労	4		15	1	1	2	6	17	2	1	3
a3)ストレス	5	2	15	4	11	2	3	6	5		2
a4)注意散漫	1		1					1			1
a5)切迫感					1						
a6)緊張感			1						1		
a7)身体状態	1		7	2			2		2		
a8)感情状態	13		36	6	29	6	18	26	5	8	

次に、表 4-2 の人の状態とそれに使われる表 4-3 の検出対象の対応関係を表 4-4 に示す。交差する枠内の数字は今回の対象文献の中での文献数を示す。この表 4-3 の人の状態に関係する検出対象文献数一覧から人の状態検知に用いる検出対象の利用傾向が分かる。人の状態の a1)眠気では b1)脳波、b3)心電図、脈拍・血圧・心拍、b7-2)眼球の動き・顔表情・瞬き、b8-1)しぐさ、姿勢が検出対象の上位を占めている。この傾向は人の状態の a2)疲労と a3)ストレスでも同様であるが、a3)ストレス検知では b5)皮膚電気活動の反応に関する文献も目立つ。該当文献数が少ないが、a4)注意散漫では b1)脳波、b3)心臓血管、血流、b7-2)目と頭部の追跡、また、a5)切迫感では b5)皮膚電気活動の反応、a6)緊張感検知では b3)心拍や b8-1)姿勢・動作が用いられている。次に、a7)身体状態ではヘルスケアや心理学分野の文献も多く a1)脳波、a3)心電図・心拍・血圧を用いたモニタリングの容易な技術が目立つ。更に、a8)感情状態に用いられる検出対象では b1)脳波、b3)脈拍、b4)心電図・心拍、b5)皮膚電気活動の反応、b7-1)眼球運動(EOG)・顔筋電(EMG)に加えてカメラ(ビデオ)や熱画像を用いた b7-2)眼球の動き・顔表情・瞬きが上位を占めている。

4.3.4.2.検出技術の分析

本調査で抽出した該当文献について、2010 年以降の文献を中心に、今後

の人の状態検知技術の方向性について検討を行った。これについては表 4-4 の人の状態に関する検出対象文献数一覧に記載した件数に着目する。人の状態が関係する検出対象の件数が多い文献群に注目すると、それぞれの検知技術について今後の方向性と課題が見えてくる。そこで、眠気、疲労、ストレス及び感情状態検知では件数が 10 件以上を示す検出対象の分析を行った。件数の少ない検出対象やその他の人の状態については注目文献があればその内容の確認を行った。

人の状態検知技術について、得られた結果と文献例を次に示す。文中の番号が表 4-5 の文献番号に対応している。

(1) 眠気の検出技術

- ・ シートに静電容量式近接センサを用いて、人の姿勢変化を検出する。姿勢の画像ベースのデータ処理により眠気やストレスとして検出する[1]。
- ・ PPG (Photoplethysmography) センサと車線検出器と組み合わせて人の心拍から眠気を検知する [2]。
- ・ ステアリングホイール上のバイオセンサから人の心拍を検出し、それとドライバーの目の閉鎖率と CAN からの運転情報を用いて眠気を検出する [3]。
- ・ 人の瞬きから眠気を検出する方法で、非侵襲やスマート・携帯型を目指した手法。近接センサ、マルチセンシング、3D ビジョン方式等を用いる [4]。
- ・ 人の瞬きに注目して、ウェアラブル MEMS センサデバイスと通常のカメラを利用した眠気を検出する。特徴はリアルタイム性と眠気検出アルゴリズム [5]。

また、眠気を推定する技術としては以下がある。

- ・ カメラと赤外線 LED を用いて、頭部姿勢や目の瞬きや運転車の顔の追跡等を検出し、隠れマルコフモデルと用いてリアルタイムで眠気を推定する [6]。
- ・ CCD カメラを用いたヨーイングや頭の動き情報を追加したコンピュータビジョンベースの眠気を推定。推定には機械学習及びパターン認識技術を利用する [7]。

(2) 疲労の検出技術

- ・ 赤外線カメラを用いて瞬き、眼球運動を計測し、脈拍計測を追加して人の疲労、眠気を検出する。リアルタイムに検出できる。眼球運動の画像から心拍変動を計測する車載の可能性が高い注目すべき技術も出てきて

いる [8]。

- ・ 2台のカメラを用いて顔の表情、頭部の傾き、目の状態、唇検出を行い、それと車線逸脱を組み合わせてドライバーの疲労状態を検知する[9]。

(3) ストレスの検出技術

- ・ コンピュータ利用者のストレス検出を行う手法で、感圧キーボードと圧力を容量検出するマウスを用いて圧力変化からストレスを検出する[10]。
- ・ 熱画像等を用いて人の熱情報と時空間特性を利用して動的な熱パターンを捕捉するアルゴリズムにより、非侵襲技術でストレスを検出する[11]。
- ・ 複数の生体情報（血液量変化、心拍変動等）とアンケート、反応時間テストを組み合わせたストレスの定量化を行っている[12]。

(4) 感情状態の検出技術

- ・ 3Dカメラによるドライバー姿勢検出と環境情報を利用した感情全般の検出。ドライバーの視角情報のみに基づく検知システムの開発を目指す[13]。
- ・ 単一赤外線サーマルカメラを使用して顔の特徴や肌の色を検出して感情を検知する[14]。
- ・ 感情コンピュータ分野における会話から、携帯型プラットフォームを用いて感情認識を行う[15]。

また、感情を推定する技術としては以下がある。

- ・ リアルタイムに感情反応計測するため、心拍計測の分析を通して感情状態を特徴付けることができる感情推定アルゴリズム[16]。
- ・ 生理、動作状態を検出したデータを携帯型システムに集約し、覚醒状態と感情価数を用いて複雑な感情を推定する [17]。
- ・ マルチモーダルで感情検出精度を高めるために、ビデオを用いた表情特徴と心拍数を組み合わせた遠隔融合方式による感情推定の精度向上を行う[18]。
- ・ 発話は顔の表情や目の動きと組み合わせて会話的な要素として感情を推定する。Blue eyes 技術という気分や感情を推定する技術を用いる[19]。
- ・ 顔の表情から感情状態推定精度を高めるモデルを検証する[20]。

(5) その他の状態検出技術

<身体状態検出>

- ・ ヘルスケア分野における人の活動を監視し、姿勢の特徴を抽出し異常な状態を検知する 3D センサに基づく非侵襲的な監視プラットフォームを提供している[21]。

<注意散漫検出>

- EEG とジャイロスコープデータの組み合わせたフレームワークで注意散漫を検知する [22]。
- プロドライバーを対象にしているが、応答時間の短縮を狙った Brain EEG 検出フレームワーク技術がある [23]。

表 4-5 人の状態検知技術の文献例

文献番号	著者	タイトル	所属	国	公開年	URL
1	Andreas Braun	Application and validation of capacitive proximity sensing systems in smart environments	Technische Universität Darmstadt	Germany	2014	http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4175/1/diss_braun_final.pdf
2	V.R. Balaji	VEHICLE DRIVER DROWSINESS DETECTION USING PPG SENSOR	KCT Coimbatore India	India	2015	http://rspublication.com/ijeted/2015/nov15/18.pdf
3	Pallavi M Tekade, S. Gawali	Investigation and New Method of Non-intrusive Detection of Driver Drowsiness	Department of Information Technology	India	2012	http://www.ijet.com/vol%201/Issue%205/IJET1412201205_41.pdf
4	Sadia Patka	A System to Detect Drowsiness of a Driver while Driving a Vehicle	Anjuman College of Engineering and Technology	India	2016	http://www.ijntcc.org/download/conferences/ICSTSD_2016/ICSTSD_2016_Track/1464424820_28-05-2016.pdf
5	QuanZhe Li	Hybrid Driver Fatigue Detection System Based on Data Fusion with	Yonsei University	Korea	2014	http://iaser.org/Vol-1/Session%203/02%20-%2001EEEECS374.pdf
6		Tracking a Driver's Face against Extreme Head Poses and Inference of Drowsiness Using a Hidden Markov Model	Sejong University	Korea	2016	https://www.researchgate.net/profile/Yong-Guk_Kim/publication/302776345_Tracking_a_Driver's_Face_against_Extreme_Head_Poses_and_Inference_of_Drowsiness_Using_a_Hidden_Markov_Model/links/5735717e08ae298602df111d.pdf?origin=publication_list
7	Danilo Burbano, Jose Luis Carrera	Human Activity Recognition in a Car with Embedded Devices	University of Bern, University of Neuchâtel and University of Fribourg.	Switzerland	2015	http://lajc.epn.edu.ec/index.php/LAJC/article/download/88/50
8		Hardware Implementation of Driver Safety System	ACET	India	2014	http://iosrjournals.org/iosr-jce/papers/ICAET-2014/volume-4/14.pdf?id=7557
9	Mehedi Hasan	Driver Fatigue Recognition using Skin Color Modeling	Khulna University of Engineering & Technology	Bangladesh	2014	http://research.ijcaonline.org/volume97/number16/pxc3897632.pdf
10	Javier Hernandez	Under Pressure: Sensing Stress of Computer Users	MIT Media Lab	USA	2014	http://affect.media.mit.edu/pdfs/14.Hernandez_et_al-CHI.pdf
11	Nandita Sharma, Roland Goecke	Modeling Stress Using Thermal Facial Patterns: A Spatio-Temporal Approach	Australian National University, University of Canberra	Australia	2013	http://staff.estem-uc.edu.au/roland/files/2009/05/Sharma_Dhall_Gedeon_Goecke_ACII2013_ModelingStressUsingThermalFacialPatterns_ASpatio-TemporalApproach.pdf
12	Apoorvagiri	Quantization of mental stress using various physiological markers	RV College of Engineering	India	2015	https://peerj.com/preprints/777.pdf
13	Cuong Tran	Towards a Vision-based System Exploring 3D Driver Posture Dynamics for Driver Assistance: Issues and Possibilities	University of California	USA	2010	http://cvrr.ucsd.edu/publications/2010/TV10_CTran.pdf

文献 番号	著者	タイトル	所属	国	公開 年	URL
14	Abhiram Kolli	Non-intrusive Car Driver's Emotion Recognition Using Thermal Camera	University of Klagenfurt	Austria	2011	http://vi.uni-kl.ac.at/publications/papers/2011kolli.pdf
15	Kiran K. Rachuri	EmotionSense: A Mobile Phones based Adaptive Platform for Experimental Social Psychology Research	University of Cambridge	UK	2010	https://www.cl.cam.ac.uk/~cm542/papers/Ubicomp10.pdf
16	Gaetano Valenza	Revealing Real-Time Emotional Responses: a Personalized Assessment based on Heartbeat Dynamics	Harvard Medical School, University of Pisa, University of Essex	USA, Italy, UK	2016	https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/12406974/4028901.pdf?sequence=1
17	Jennifer Healey	Out of the Lab and into the Fray: Towards Modeling Emotion in Everyday Life	Intel Labs	USA	2010	http://nebula.wsimg.com/20dea673e3e4dd94abfb6b6a1e4130bc?AccessKeyId=CCB8638087DC5C22AB62&disposition=0&alloworigin=1
18	Hamed Monkaresi	Using Remote Heart Rate Measurement for Affect Detection	The University of Sydney	Australia	2014	https://pdfs.semanticscholar.org/abcb/c9da40aaf6ea8b3d161e3f634a2ecf9b0599.pdf
19	Swati	BLUE EYES TECHNOLOGY	JAT PG College	India	2015	http://www.ijarse.com/images/fullpdf/267.pdf
20	Oleg Starostenko	Unobtrusive emotion sensing and interpretation in smart environment	Universidad de las Americas Puebla	Mexico	2015	http://content.iopress.com/download/journal-of-ambient-intelligence-and-smart-environments/ais298?id=journal-of-ambient-intelligence-and-smart-environments%2Fais298
21	Alessandr o Leone	Context-Aware AAL Services through a 3D Sensor-Based Platform	Italian National Research Council (CNR)	Italy	2013	http://downloads.hindawi.com/journals/js/2013/792978.pdf
22	Mahsa Salehi	Car Racing Driver Distraction Detection Using Brain EEG	The University of Melbourne	Australia	2015	http://large-scale-sports-analytics.org/Large-Scale-Sports-Analytics/Submissions2015_files/paperID08-Salehi-Camera%20Ready-KDD%20Sports.pdf
23	Shahina Begum	Mental State Monitoring System for the Professional Drivers Based on Heart Rate Variability Analysis and Case-based Reasoning	Mälardalen University	Sweden	2012	https://fedcsis.org/proceedings/2012/pliks/407.pdf

4.3.5. 結論

本調査では、人の状態の該当文献数の傾向を見ると、眠気、感情状態、疲労、ストレスに関する文献が多いことがわかる。最近の傾向としては単一情報を利用する方式よりも複数の情報を組み合わせた、いわゆるフュージョン方式で検知する有効性も認識されている。ドライバーの様々な運転状況を想定して、車の制御情報や運転環境情報も取り入れた検知技術も増えていることがわかった。フュージョン方式で検出することにより高精度の検知データ抽出が可能になる。

具体的には生理信号情報と人の動作情報を組み合わせたフュージョン方式が最近の傾向である。特に、感情状態検出では検知精度を高めるために、心拍変動、脈波等の検知方式の追求、複数の生理信号のマルチモーダル方式、画像検出を用いた顔の表情や瞬き、しぐさや姿勢の検知技術が多く用いられている。さらに、検出アルゴリズム、推定アルゴリズムの研究も増えており、機械学習を用いた認識も多く研究開発していることがわかった。

今後の車載向けの検知技術の方向として、検出対象では脳波・脈拍、心拍

変動などを用いた検知と眼球運動、瞬き、顔表情等の画像技術などを組み合わせた非拘束型でダイナミックな高精度検知技術が求められると予想される。

また、車載向けとしては以下の課題もある。

①装置の簡易化

ウェアラブルな検出を提案している HCI（ヒューマン・コンピュータ・インタフェース）の作業負荷や医療関係のモニタリングで件数が増えており、これに使われている計測装置の簡易化技術が車載の参考となる。簡易化技術として MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術を用いたセンサデバイスの小型化、回路との集積化技術等があり、さらに通信技術を用いることによりセンサデバイス側での処理負荷を軽くする対策をとっている。このような小型化技術、通信技術は車載向けにも必要で参考にしたい技術である。

②リアルタイム検知

車載適用する場合、運転中のリアルタイムな検出対象情報の変化を収集する技術が課題と予想される。調査した文献中ではセンサ情報取得のために FPGA の利用や、入力信号の簡略化、アルゴリズムの高速化、通信速度の高速化の技術が提案されている。今後はマルチモーダルな検出や推定アルゴも複雑になると予想される中で、センサからの信号の取り込みや、処理負荷や通信等の統合的な技術によりリアルタイム検知を実現していく必要があると考えられる。

4.4. ドライビングシミュレーター実験

ドライビングシミュレーターによる走行実験を行い、自動走行システム使用中におけるドライバー状態を認知・生理・行動の観点より計測する。自動走行から手動運転へ切り替えるシナリオを設定し、手動運転へ切替え前のドライバー状態を測定する。ここでは、自動走行のみの条件に加えて、難易度の異なるサブタスクを負荷する条件を設定し、サブタスクの難易度によるドライバー状態の変化を検知可能な評価指標を検討する。一人のドライバーは、Cognitive なサブタスクまたは Visual-manual なサブタスクのどちらかを行う。また、自動走行から手動運転へ切替え後の運転成績を評価し、運転成績と相関の見られる自動走行中でのドライバーの認知・生理・行動の指標を明らかにする。

4.4.1. 被験者数

合計 81 名（女性 43 名、男性 38 名）のドライバーが実験に参加した。平均年齢は 37.3 歳で、最少年齢 20 歳～最高年齢 74 歳の年齢構成であった。この内、シミュレーター酔い等で実験途中でリタイヤしたドライバーを除き、64 名（女性 34 名、男性 30 名）名のデータを分析した。

サブタスク条件では、N-back 条件を実施したドライバーは 31 名（女性 21 名、男性 10 名）で、SuRT 条件を実施したドライバーは 33 名（女性 13 名、男性 20 名）であった。

4.4.2. 実験シナリオ

前方注意状態を評価対象とした実験シナリオとして、先行車追従シナリオを設定し、覚醒度を評価対象とした実験シナリオとして、高速道路出口シナリオを設定する。以下に各シナリオの具体的な他車挙動等を示す。

(1) 先行車追従シナリオ(自動走行のレベル 2 相当)

片側 2 車線の高速道路にて、左車線を先行車に追従しながら自動走行した。途中、以下に示す 3 つのイベントを発生させ、自動走行モードから手動運転へ切り替えた。手動運転によるイベントの回避後、再び自動走行モードとし、次のイベントを繰り返し体験した。

- イベント A: 自動走行停止 → TOR → 先行車が車線変更 → 停止車両が出現
 - イベント B: 自動走行停止 → TOR → 先行車・隣接車とも加速
 - イベント C: 自動走行停止 → TOR → 先行車ブレーキランプ点灯（僅かに減速）
- イベント A の流れを図 4-6 に示す。

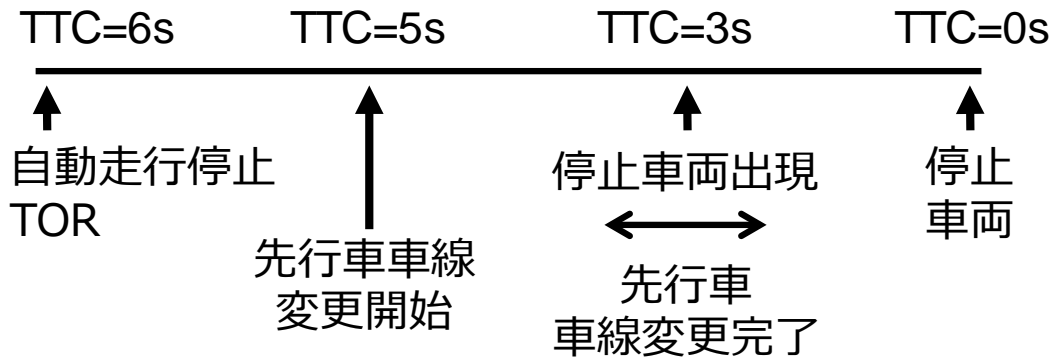


図 4-6 イベント A での TOR 発生から危険事象の発生シナリオ

実験参加者には、

- ・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）
- ・自動運転で走行中も実世界での運転と同じように、安全を確保するようにすること
- ・自動運転システムが切れた後は自分で手動運転すること（TOR の情報提示内容についても教示）
- ・自動運転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
- ・サブタスクを実施する走行では、開始の指示にしたがって、サブタスクを行うこと等を教示した

先行車追従シナリオでは、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業務をおこなうよう教示した。また、同時に行う課題については、正答率と反応時間を計測するため、できる限り早く正解できるように教示した。

先行車追従シナリオに用いた高速道路のコースを図 4-7 に示した。1 周 23.254km、直線区間 44.7%、カーブ区間 55.3%であった。



図 4-7 先行車追従シナリオに用いたコース

(2) 高速道路出口シナリオ(自動走行のレベル 3)

片側 2 車線の高速道路にて、左車線を自車単独にて自動走行した。20 分程度走行後、高速道路の出口を模擬した分岐区間の前で、自動走行を停止させ (TOR 発生)、手動運転により分岐側に入るよう実験参加者に教示した。自動走行のレベル 3 使用時に高速道路出口で降りるために手動運転へ切り替える状況を模したシナリオである。分岐に至るまでにドライバーの覚醒度変化が想定され、TOR 発生時点での覚醒度を顔表情等から判定した。

実験参加者には、高速道路を走った後、インターの分岐で高速道路から降りるように教示した。監視の必要がないことと、自動運転システムが高速道路出口の分岐に対応していないことを教示した。インターの分岐が出現する前に運転交代のアナウンスが呈示されたら自動運転システムが OFF になるため、参加者自身で運転して分岐から高速道路を降りるように教示した。覚醒度セッションでは緩やかなカーブをふくむコースを 20 分間走行した。図 4-8 に示した開始点から折り返し地点までは約 5 分間のコースであり、この区間を 4 回走行した。4 回走行後は高速道路出口に向けて走行し、インターの分岐が出現する前に運転交代のアナウンスを呈示した。

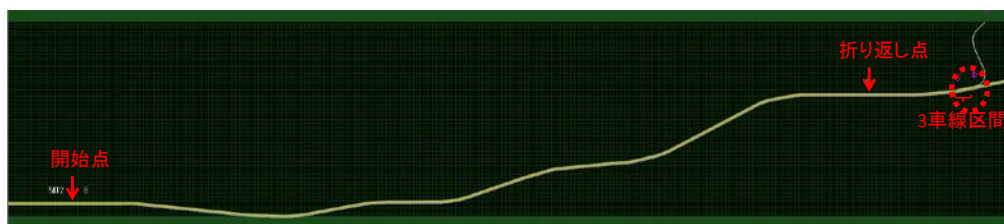


図 4-8 覚醒度シナリオに用いた高速道路のコース

4.4.2.1. Take-over request (TOR)

先行車追従シナリオ、高速道路出口シナリオとも、課題 A の実験に使用されているアイコンを instrument panel に提示した (図 4-9)。自動運転中は左側のアイコンを呈示した。手動運転中は右側のアイコンを 1 秒ごとに 0.5 秒間呈示した。Take-over request と同時に右側のアイコンを呈示するとともに、「運転交代」というアナウンスをスピーカーから流した。



自動運転中



手動運転中

図 4-9 Take-over request の表示

4.4.2.2. サブタスク

N バックタスク (N-back 課題)

聴覚を通じて連続的に提示される一連の文字や数字などの記憶に関する課題で、N 個前の数字または文字が再度読み上げられた場合に反応(ボタン押しや口頭での回答)する(図 4-10)。0 から 9 までの数字をランダムな順序で 3 秒ごとにスピーカーを用いて呈示した。低難易度条件では、1 バック課題を(同じ数字が連続して聞こえたら、「はい」と答える)、高難易度条件では 2 バック課題(同じ数字が 1 つ飛ばしで聞こえたら、「はい」と答える)を行った。

Nバックタスクの例(2バック)



図 4-10 Nバックタスク (N-back 課題)

4.4.2.3. Surrogate Reference Task (SuRT 課題)

PC 画面上に提示された複数の丸印(ディストラクタ)の中で大きさの異なる丸印(ターゲット)を探索し、発見できた場合はキーボード操作またはタッチパネルにより反応することを求める(図 4-11)。ターゲットとディストラクタの大きさの類似度やパネルの大きさを操作することで難易度を操作する。走行課題中に図 4-11 のようなタッチパネルディスプレイ上で課題を行った。10 秒に一度、新しい試行を呈示した。

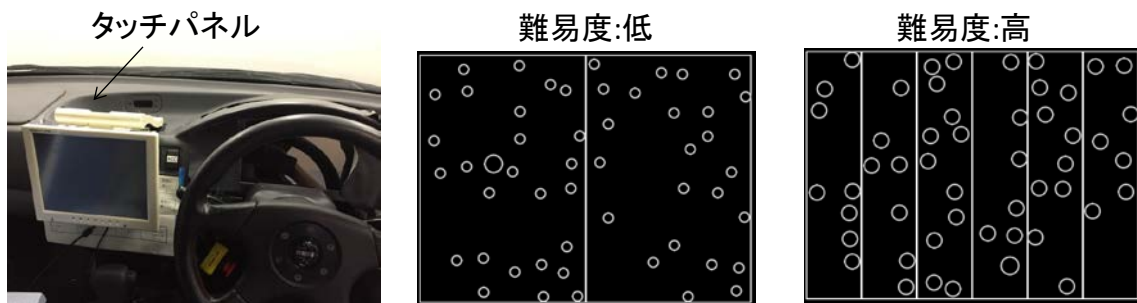


図 4-11 Surrogate Reference Task (SuRT 課題)

4.4.3. ドライバー状態の計測項目と評価指標

4.4.3.1. 脳波

【脳波・眼電位の計測】

本研究では脳波および眼電位の計測を行った。これらの生体電気信号は BrainProducts 社製 BrainAmp システムによって増幅された。脳波は国際 10-20 法に則って、AFz を接地電極として頭皮上 23 チャンネル(Fp1、Fp2、F7、F3、Fz、F4、F8、FCz、T3、C3、Cz、C4、T4、CPz、T5、P3、Pz、P4、T6、POz、O1、Oz、および O2)から導出された。また記録時のリファ

レンズは左耳朶として、右耳朶からの信号も記録した。眼電位は右眼の上下（垂直方向）および左右眼裂外（水平方向）から導出された。全ての電極インピーダンスは 10 K Ω 以下であった。脳波および眼電位の信号は 1000 Hz でサンプリングされ、デジタル信号として記録された。

4.4.3.2.脳波：課題非関連プローブ法

【聴覚プローブ】

各条件において注意資源がどのように配分されているかを調べるため、聴覚プローブに対する事象関連電位を計測した。各課題の遂行中にスピーカーから聴覚プローブ刺激が与えられた。聴覚プローブの刺激系列は 500 Hz、600 Hz、700 Hz、800 Hz、900 Hz、1000 Hz、1100 Hz、1200 Hz、1300 Hz、1400 Hz、1500 Hz、および 1600 Hz の 12 種類の純音で構成されていた。各聴覚プローブの提示時間 50 ms であり、刺激感間隔は 400 ms、500 ms、600 ms、700 ms、または 800 ms（平均 600 ms）であった。これらの聴覚プローブはランダムな順番および間隔で、課題遂行中は常に提示されていた。

【聴覚プローブに対する事象関連電位の解析】

計測された脳波信号は左耳朶と右耳朶の平均電位によって再リファレンスされた後、0.1~30 Hz のバンドパスフィルタによってノイズの除去が行われた。聴覚プローブに対する事象関連電位を算出するため、聴覚プローブのオンセットを基準時点として、-100~400 ms 区間のデータを抽出した。抽出されたデータは各実験参加者の実験参加日ごとに独立成分分析が行われ、瞬目および眼球運動に由来するノイズ成分が除去された。ノイズの除去後に FCz チャンネルにおいて ± 80 μ V 以上の変動が含まれていた区間は加算平均処理から除外した。加算平均された FCz の波形において聴覚プローブのオンセットを基準に 80~110 ms 区間の平均電位を N1 振幅、170~220 ms 区間の平均電位を P2 振幅と定義し、P2 振幅-N1 振幅値を聴覚プローブに対する応答の大きさとした。

4.4.3.3.脳波：眼球停留関連電位

【眼電位によるサッカディック眼球運動の解析】

水平眼電位の信号に基づいてサッカディック眼球運動の終了時点の特定を行った。サッカディック眼球運動の振幅はその終了時点の -150~100 ms 区間の平均電位をベースラインとして、終了後 0~50 ms 区間の平均電位の絶対値によって定義された。本研究では眼電位の大きさとサッカドの移動距離（下記、アイカメラによる眼球運動計測）との間の関係について正確なキャ

リブレーションは行っていないが、振幅 100 μV が視角 5~10 度のサッカー
ドに相当していると考えられる。

【眼球停留関連電位の解析】

視覚情報処理に対する注意資源の配分量を検討するため、眼球停留関連電位の解析を行った。聴覚プローブに対する事象関連電位の解析と同様に、再リファレンスとバンドパスフィルタを施した後、サッカディック眼球運動の終了時点を目安として、-100~400 ms 区間のデータを抽出した。抽出されたデータは各実験参加者の実験参加日ごとに独立成分分析が行われ、瞬目および眼球運動に由来するノイズ成分が除去された。ノイズの除去後に Oz チャンネルにおいて $\pm 80 \mu\text{V}$ 以上の変動が含まれていた区間は加算平均処理から除外した。加算平均された Oz の波形においてサッカディック眼球運動の終了時点を目安として -25~25 ms 区間の平均電位を N0 振幅、80~130 ms 区間の平均電位を P1 振幅と定義し、P1 振幅-N0 振幅値を眼球停留関連電位の応答の大きさとした。

4.4.3.4. 目の動き

【眼球運動の計測】

アイカメラ（ナックイメージテクノロジー製、アイマークレコーダー、EMR-9）を用いて目の眼球回転角度（XY 平面上）を記録した。サンプリング周波数を 240.21Hz とした。X 軸及び Y 軸方向の眼球の回転角度 (X_i 、 Y_i) に対して、高域遮断フィルタ (60Hz) をかけたあと、XY 平面上での眼球回転角度のベクトルの大きさに対して、次式を用いてある時間 i における速度 V_i ($^\circ/\text{秒}$) を求めた。T はサンプリング間隔 (=1/240.21 秒) であり、 m は差分ポイント数 (=1) である。

$$V_i = \frac{\sqrt{(X_{i+m} - X_{i-m})^2 + (Y_{i+m} - Y_{i-m})^2}}{2mT}$$

【サッカードの抽出】

左目を対象として眼球運動を抽出した。以下の全ての条件を満たす眼球運動をサッカードとした。

- X 軸上での眼球回転角度のベクトルの大きさが 0.1 度以上
- Y 軸上での眼球回転角度のベクトルの大きさが 0.1 度以上
- XY 軸平面上での眼球回転角度の大きさが 0.1 度以上
- 眼球運動発生に伴う速度波形の変化点から終了に伴う変化点までの時間が 10ms 以上

ここで、前者をある時点の速度がピーク速度 $25^\circ/\text{秒}$ 以下かつ、ひとつ前

の時点の速度と同じか遅い点かつ、ピーク速度に最も近い点とする。また、後者がある時点の速度が眼球運動の最大ピーク速度以下かつ、ひとつ後の時点の速度と同じか遅い点かつ、最大ピーク速度に最も近い点とする。

- 最大ピーク速度が 25° /秒以上かつ 1000° /秒未満
- 眼球運動の発生に伴う速度波形の変化点から終了に伴う速度波形の変化点まで、速度が両変化点の速度よりも遅くなっていない

このうち、X 軸及び Y 軸平面上での眼球回転角度のベクトルの大きさが 1 度以下のサッカードをマイクロサッカードとした。

【データ解析方法】

アイカメラに記録された画像から、TOR 前 60 秒間の視線が向いている場所を評価した。視線が向いている場所は、100 ms 毎 (10 Hz) に「フロントガラス」「バックミラー」「右サイドミラー」「左サイドミラー」「計器類 (インパネ)」「サブ課題ディスプレイ (SuRT画面)」「その他」「計測不可」に分けられた (図 4-12)。なお、500 ms 以上の閉眼は計測不可に分類された。場所毎に 60 秒間中の割合 (%)、および 1 回あたりの持続時間であらわされた。



図 4-12 視線場所の分類

4.4.3.5.まぶたの動き

【瞬目の計測】

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することで眼電位を求めた。眼電位からまばたき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。

【瞬目の開始・終了点の抽出】

まばたきの閉瞼相開始点、閉瞼相終了点、開瞼相開始点、開瞼相終了点を次のように定義した。

閉瞼相開始点：眼電位の変化量（ある測定点に対して ± 5 測定点 $[\pm 25\text{ms}]$ 間の眼電位振幅の差）が閾値 $(+20\ \mu\text{V}/50\text{ms})$ と等しいか大きくなった時点

閉瞼相終了点：閾値 $(+20\ \mu\text{V}/50\text{ms})$ よりも等しいか小さくなった時点

開瞼相開始点：閾値 $(-20\ \mu\text{V}/50\text{ms})$ と等しいか小さくなった時点

開瞼相終了点：閾値 $(-20\ \mu\text{V}/50\text{ms})$ と等しいか大きくなった時点

また、次のすべての基準を満たす眼電位の変化を瞬目（まばたき）とした。

- 閉瞼相開始点、閉瞼相終了点、開瞼相開始点、開瞼相終了点が、この順序でなっている
- 閉瞼相終了点から開瞼相開始点の間の変化量の絶対値が閾値（ $20\ \mu\text{V}/50\text{ms}$ ）よりも大きくなっていない
- 閾値 $(+20\ \mu\text{V}/50\text{ms})$ を下回る変化が閉瞼相開始点から閉瞼相終了点の間に起こっていない。
- 閾値 $(-20\ \mu\text{V}/50\text{ms})$ を上回る変化が開瞼相開始点から開瞼相終了点までの間に起こっていない。
- 閉瞼相の振幅 \geq 開瞼相の振幅 $\div 2$
- 開瞼相の振幅 \geq 閉瞼相の振幅 $\div 2$
- 閉瞼相の開始点から開瞼相の終了点までの時間：50ms 以上 500ms 未満
- 閉瞼相の振幅： $80\ \mu\text{V}$ 以上
- 開瞼相の振幅： $80\ \mu\text{V}$ 以上

4.4.3.6. 目の開き（開瞼度）

【目の開き度合いの計測】

開瞼度のデータを取得するために、アイカメラ（ナックイメージテクノロジー製、アイマークレコーダー、EMR-9）を用いて目の画像を 30Hz で記録した。左目を対象として解析を行った。100ms ごとに上瞼から下瞼へ垂直におろした線の長さが最大となるピクセル値を測定した。同じ記録上で虹彩の直径のピクセル値を測定した。上瞼から下瞼までの距離を虹彩の直径で除した値を開瞼度とした。ただし、目が閉じはじめてから開くまでの持続時間が 500ms 未満の区間については開瞼度を求めずに瞬目区間とした。

【1分あたりの閉眼割合の算出】

本研究では二通りの方法で 1 分あたりの閉眼割合 (PERCLOS: Percent of Eyelid Closure) を求めた。

(1): 瞳孔径ベース

アイカメラ（ナックイメージテクノロジー製、アイマークレコーダー、EMR-9）の記録上で、瞳孔径が測定不能になった状態を閉眼として、1分あたりの閉眼が占める割合を求めた(Abe, et al., 2011)。

(2): 開瞼度ベース

開瞼度が 20%未満でかつ目が閉じはじめてから開くまでの持続時間が 500ms 以上の区間を閉眼として、1分あたりの閉眼が占める割合を求めた(Dinges, Mallis, Maislin, & Powell, 1998; Wierwille & Ellsworth, 1994)。

4.4.3.7.頭の動き

【コンパス】

デジタルコンパスを用い、頭部の回転角度を算出した。使用したデジタルコンパスは 75 Hz で計測された後デジタルアナログ変換によりアナログ信号として出力され、1000 Hz で記録された。

【データの取得方法】

コンパスは、被験者の正中中心部から約 10 mm 右に装着された。実験開始前、対象者は、正面のディスプレイに提示される十字を 5 秒以上正視した。

【データの解析方法】

1000 Hz で記録されたデータを 100 Hz でリサンプリングし、その後の解析に用いた。頭部回転角度は、XY 軸（ヨー）方向のスカラー値を基に算出した。その際、実験開始前におこなった。十字を正視しているときの角度を基準（0 度）として角度を算出した。なお、1 秒以上信号が安定して計測できている時間帯の値を基準として採用した。

4.4.3.8.心拍

【取得指標および使用装置】

テレメータ方式心電図計測装置（BSM2401、日本光電（株））を用いて心電図を記録し、記録した心電図から心拍数を算出した。

【心拍データの取得方法】

心電図は胸部 3 誘導（胸部 3 カ所に電極を貼付）にて心電図を計測し、計測した心電図の信号は A/D コンバーターを介してサンプリングレート 1000kHz でコンピュータに記録した。

【データの解析方法】

コンピュータに記録した心電図 1 心拍毎の R 波と R 波の間隔から心拍数を算出した。1 心拍毎の心拍数は 1 秒間隔で平均して経時的、連続的な値を出

した。

4.4.3.9. 血圧

【取得指標および使用装置】

容積補償法式の連続血圧計計測装置（Finometer Pro model1、FMS社）を用いて、beat-to-beatで連続的に動脈血圧を記録した。

【血圧データの取得方法】

指先に巻いたカフから血圧波形を計測し、計測した血圧信号はA/Dコンバーターを介してサンプリングレート1000kHzでコンピュータに記録した。

【データの解析方法】

コンピュータに記録した血圧波形から1心拍毎の平均血圧を算出した。1心拍毎の平均血圧は1秒間隔で平均して経時的、連続的な値を出した。

4.4.3.10. 運転行動

【運転行動データの計測】

産総研ドライビングシミュレーターにて、運転行動データは手動運転でも自動走行中でも同様に計測された。手動運転の場合、ドライバーは、実車と同様にステアリング、アクセルペダル、ブレーキペダルを操作する。自動走行であれば、これらの操作はシステムが自動で制御する。これらの操作データは、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。

【運転行動データの解析方法】

TOR後の運転パフォーマンスは能動的操作までの時間（Take-over time; TOT）を評価指標として算出した（図4-13を参考）。能動的操作は、先行研究（Radlmayr et al., 2014; Zeeb, K et al., 2015）を参考して、2°のステア操作または10%以上のペダル操作（ストローク）として定義した。そこで、以下の指標を算出した：(1) TOR後の能動的操作までにかかった時間（TOT）、(2) 操作・車線位置のばらつき（TORからイベント終了までのばらつき、TOTから車線変更までのばらつき、車線変更から5秒間のばらつき）、(3) 車線変更までにかかった時間、(4) ステアの能動的操作と車線変更のタイミング。

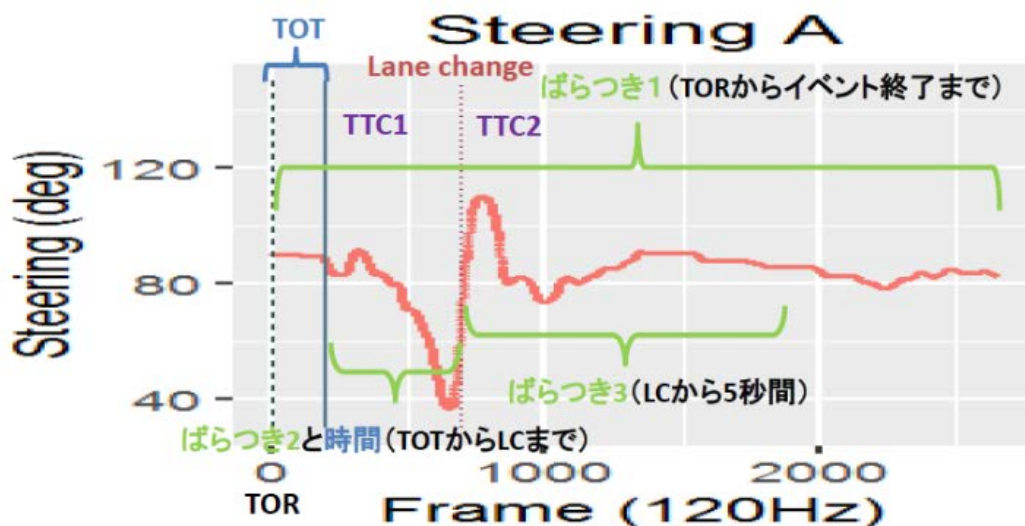


図 4-13 運転パフォーマンスの評価指標 1

上記の解析に加え、操舵の peak(山)と valley(谷)から、操舵角の差分と安定するまでの時間を求めた (図 4-14 を参考)。そこで、以下の指標を算出した：(1)能動的操作を行ったタイミングの操舵角とレーンチェンジまでの最大 valley との差分、(2)レーンチェンジまでの最大 valley と、その後ステア安定までの最大 peak との差分、(3)能動的操作から操舵が安定する (peak と valley が時空間的に最も隣接する)までの時間、(4)能動的操作からレーンチェンジまでの間の peak と valley の数、(5)能動的操作時・レーンチェンジ時の車速 (m/s)。

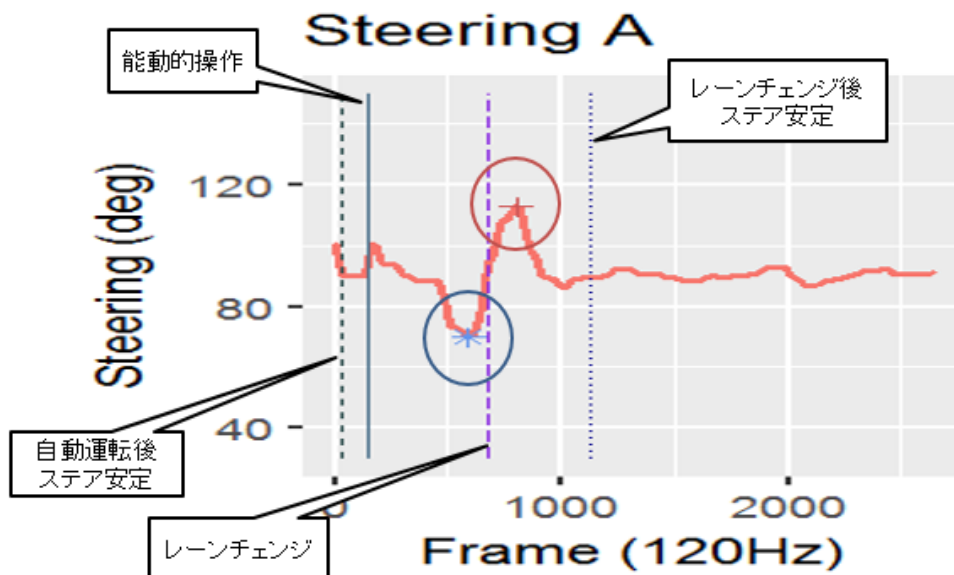


図 4-14 運転パフォーマンスの評価指標 2

4.4.3.11.サブタスク成績

N-back 課題では正答率、SuRT 課題では正答率と反応時間を求めた。N-back 課題では、正解の数字が呈示された際（N1 条件では同じ数字が連続で呈示された際、N2 条件では同じ数字が一つ飛ばして呈示された際）被験者がどれ位の頻度で正しく答えたかを正答率として求めた。SuRT 課題では、タッチパネルで被験者がどれ位の頻度でターゲットを見つけてタッチしたかを正答率として求めた。更に、タッチするまでの時間を反応時間として求めた。

4.4.3.12.主観評価

【質問紙】

100 mm 視覚的主観尺度を用いて停止車両の回避イベントの難易度、サブ課題（N-back 課題、SuRT 課題）の難易度、疲労感を評価し、カロリンスカ眠気尺度を用いて眠気を評価した。

【データの取得方法】

被験者は、各運転セッション終了直後、質問紙に記載された質問に答えた。

4.5. 実験結果

グラフ中の表記にて、

m または Manual: 手動運転

a-0 または NoTask: 自動走行のみ

n1: N-back 課題の低難易度条件 (1 バックタスク)

n2: N-back 課題の高難易度条件 (2 バックタスク)

s1: SuRT 課題の低難易度条件

s2: SuRT 課題の高難易度条件

を示す。

4.5.1. 先行車追従シナリオ

4.5.1.1. 主観評価

【統計解析】

各試行間の差を評価するため、実験日 (1 日目、2 日目)、実験日におけるトライアル順番 (1、2、...n 試行目) を共変量とした混合効果モデルを用いた。危険率は、Bonferonni 法で修正した。結果は、平均±標準偏差で示した。

【結果】

停止車両に対する回避の難易度については、サブタスクの種類や実験条件によらずおおよそ“どちらでもない”という主観評価の結果であった (図 4-15)。サブ課題の難易度については、難しい条件 (N-back 課題では n2、SuRT 課題では s2) の方がより難しいという主観評価であった (図 4-16)。N-back 課題及び SuRT 課題とも、サブタスクの難易度設定どおりに課題実施困難度が高くなるほど主観的な課題の困難度が高くなることを確認できた。疲労感、カロリンスカ眠気尺度による眠気の主観評価は、グラフの値が小さいほど覚醒度が高いことを示しているが、SuRT 課題ではサブタスクを実施しているほど、また、サブタスクが難しいほど覚醒度が高い (眠くない) という主観評価であった (図 4-18)。

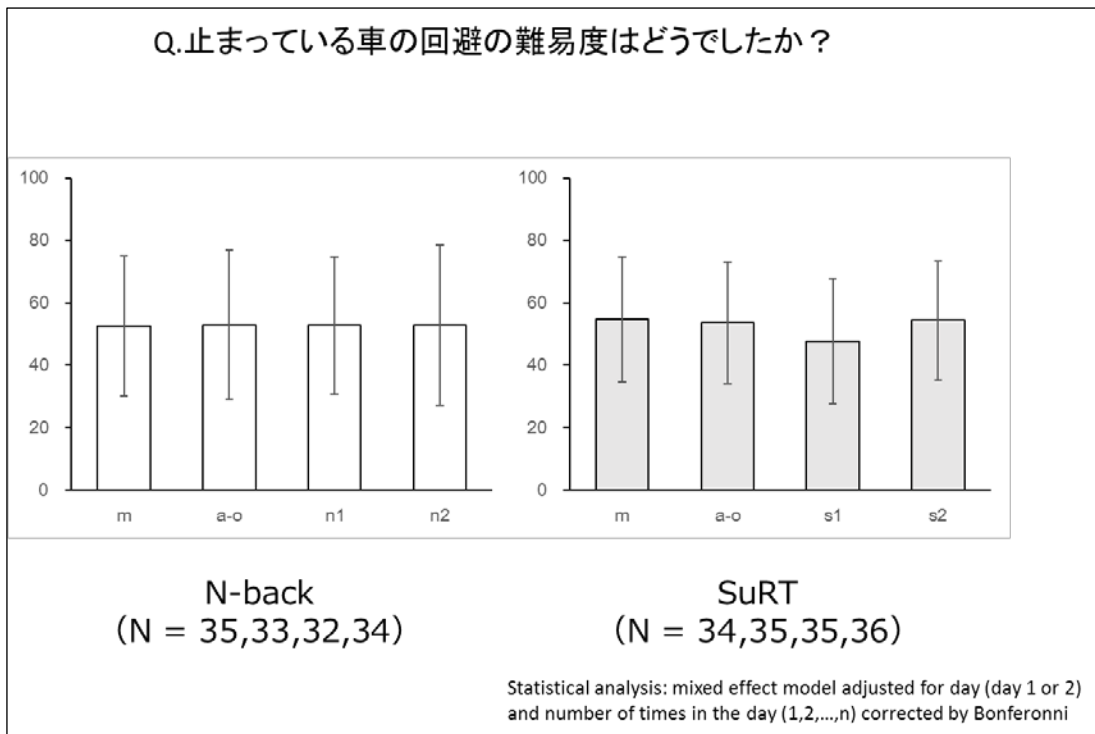


図 4-15 各条件後における 100 mm VAS の結果（車の回避難易度）

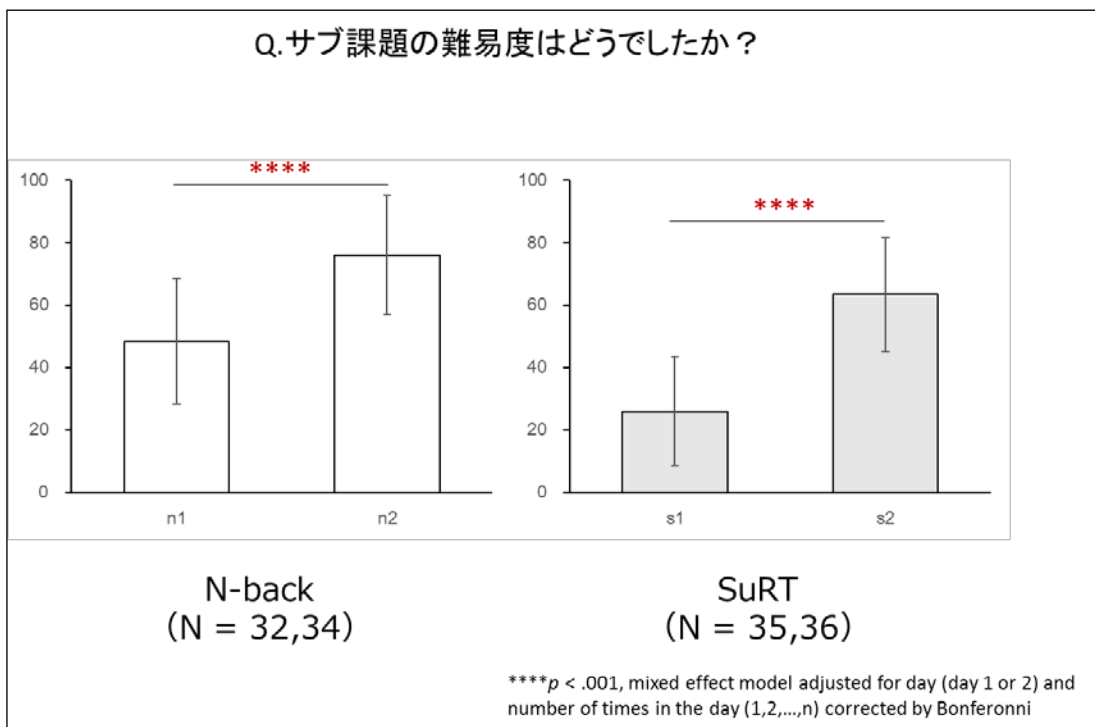


図 4-16 各条件後における 100 mm VAS の結果（サブタスクの難易度）

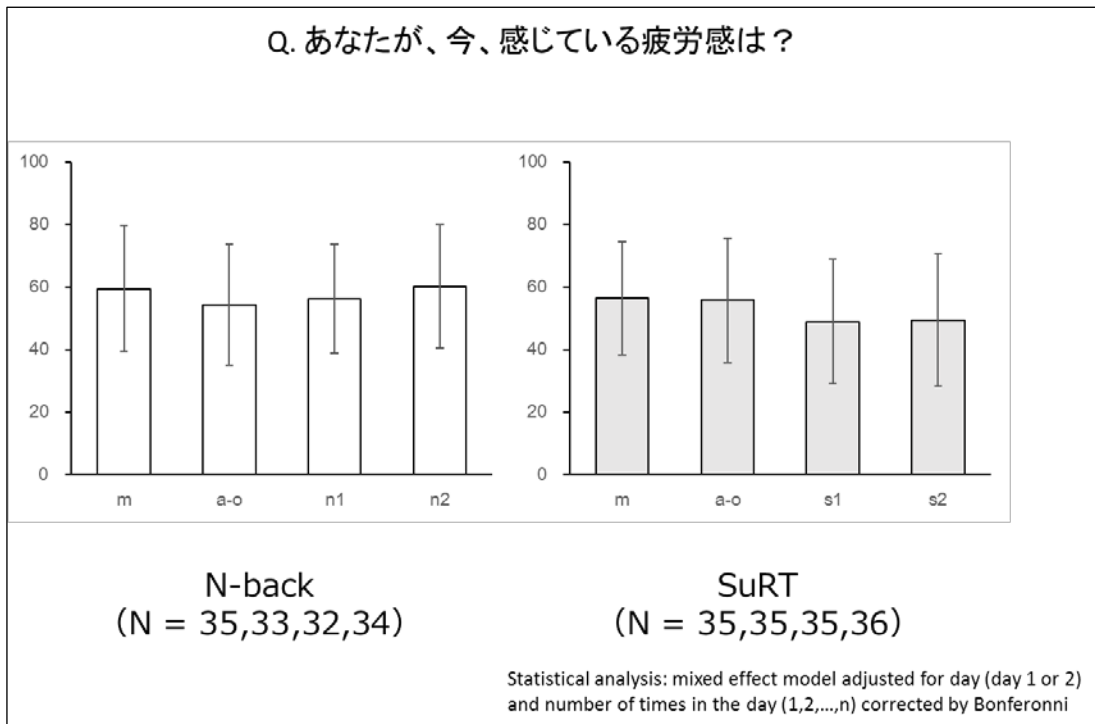


図 4-17 各条件後における 100 mm VAS の結果（疲労感）

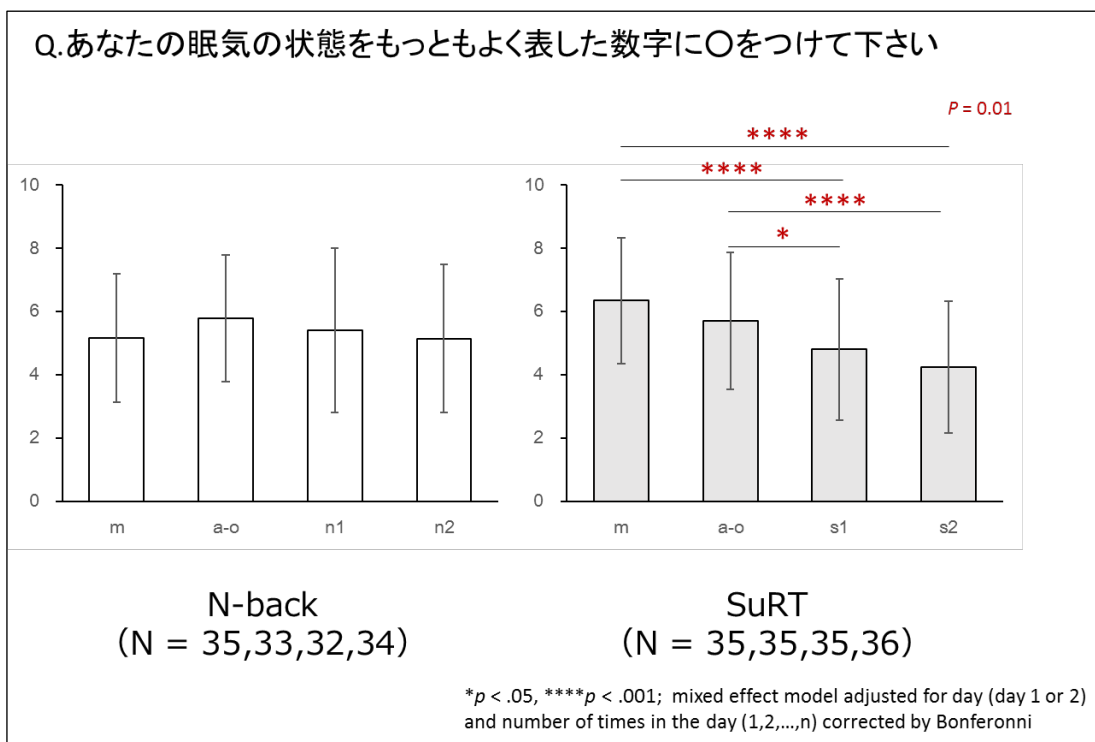


図 4-18 各条件後におけるカロリンスカ眠気尺度の結果

4.5.1.2. サブタスク成績

【統計解析】

統計処理は課題ごと（N-back 課題、SuRT 課題）に行った。正答率と反応時間において条件（N-back 課題：N1、N2；SuRT 課題：m、a-o、S1、S2）を要因とする Mixed effect model を行った。

【正答率の結果】

N-back 課題と SuRT 課題での正答率を図 4-19 に示す。N-back 課題では N2 条件に比べ N1 条件で正答率が有意 ($p < 0.001$) に高く（図 4-19(A)）、SuRT 課題でも S2 条件に比べ S1 条件で正答率が有意 ($p < 0.001$) に高かった（図 4-19(B)）。

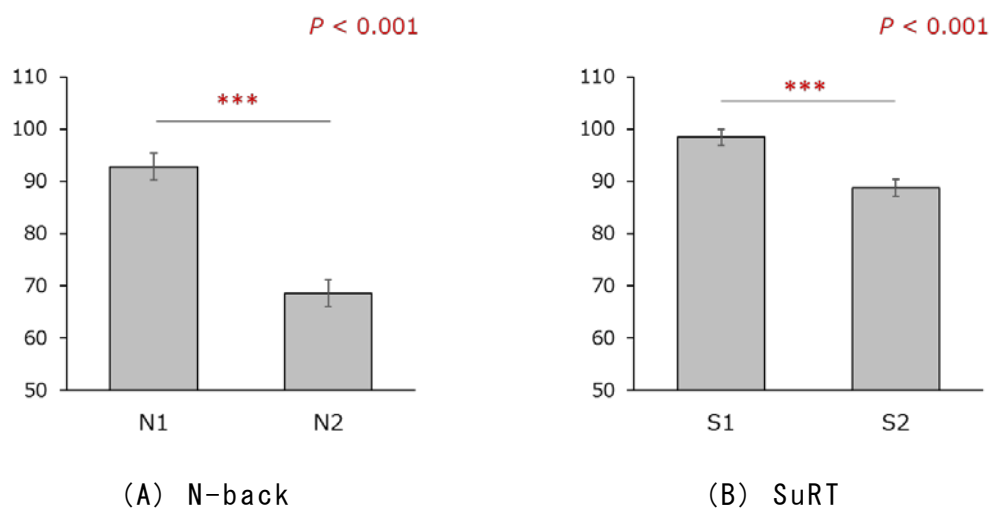


図 4-19 正答率 (Mean ± S.E.)

【反応時間の結果】

SuRT 課題での反応時間を図 3-18 に示す。反応時間は S1 条件に比べ S2 条件で有意 ($p < 0.001$) に長かった。

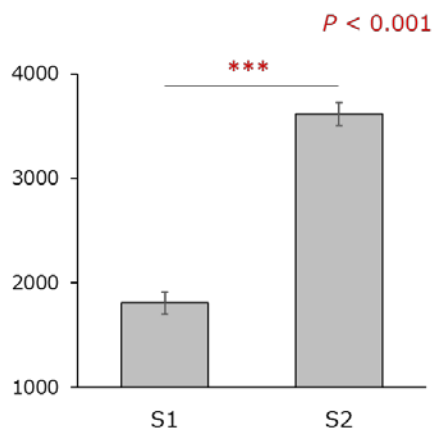


図 4-20 反応時間 (Mean ± S.E.)

以上から、N-back 課題及び SuRT 課題とも、サブタスクの難易度設定どおりに参加者の課題実施困難度が高くなっていることを行動指標から確認できた。

4.5.2. TOR 提示前

4.5.2.1. 脳波

【測定指標】

脳波（EEG）から解析した指標は(1)瞬目持続時間【“まぶたの動き”欄に記載】、(2)サッカード(40-100 μ V)の生起回数【“目の動き”欄に記載】、(3)サッカード(200-400 μ V)の生起回数【“目の動き”欄に記載】、(4)P2-N1 振幅、(5)EFRP elicited by small saccades、(6)EFRP elicited by large saccades であった。これらの指標は、全イベント（A、B、C）の全 trial のデータから解析した。

【統計解析】

統計処理は課題ごと（N-back 課題、SuRT 課題）に行った。

EEG から解析した指標においては、条件（N-back 課題：m、a-o、N1、N2; SuRT 課題：m、a-o、S1、S2）を要因とする Mixed effect model を行った。条件の主効果が有意 ($p < 0.05$) な場合、Bonferroni 補正による多重比較を行った。

【結果】

EEG から解析した指標における統計解析（Mixed effect model）の結果を表 4-6 に示す。

表 4-6 EEG 指標の統計結果まとめ（p 値）

指標	N-back	SuRT
瞬目持続時間	< 0.001	< 0.001
サッカード(40-100 μ V)の生起回数	0.001	< 0.001
サッカード(200-400 μ V)の生起回数	< 0.001	< 0.001
P2-N1 振幅	< 0.001	< 0.001
EFRP small	0.005	0.072
EFRP large	0.211	0.152

Note. Mixed effect model

【P2-N1 振幅の結果：課題非関連プローブ法】

N-back 課題と SuRT 課題の両方で、P2-N1 振幅における条件の主効果が有意であった（表 4-6 を参考）。多重比較の結果、N-back 課題（図 4-21(A)）と SuRT 課題（図 4-21(B)）で、P2-N1 振幅は m 条件に比べ、a-o、N1(S1)、N2(S2)条件で有意に大きかった (all $p < 0.05$)。また、N-back 課題（図 4-21(A)）で、P2-N1 振幅は N2 条件に比べ a-o 条件で有意に大きかった ($p < 0.05$)。SuRT 課題（図 4-21(B)）では、P2-N1 振幅は a-o 条件に比べ S1 と S2 条件で有意に大きかった (all $p < 0.05$)。

手動運転条件と比較して自動運転課題なし条件では、P2-N1 振幅が増大していた。自動運転に伴う運転作業負荷（ワークロード）の低下によって、外界の音刺激に対する注意処理資配分量が増えたと考えられる。

N-back 群では、高難易度条件において P2-N1 振幅が低下していた。N-back 課題に集中することで外界の音刺激に対する注意配分量が減少したため生じたと考えられる。

一方、SuRT 群では、SuRT を負荷した条件の方が課題を負荷しない自動運転条件よりも振幅が増大していた。この結果は、SuRT を負荷した条件では外界の音刺激に対する注意処理資配分量が増えたと考察できる。ただし、SuRT 負荷条件では、SuRT を task-pace で実施したため、被験者が反応を終了すると SuRT の刺激が呈示されていない期間が生じた。SuRT 課題を実施することで生じた P2-N1 振幅の増加は、課題の負荷による覚醒度の増大が課題が呈示されていない時間帯での音刺激の認知処理資源容量を増大させたために生じた可能性が考えられる。

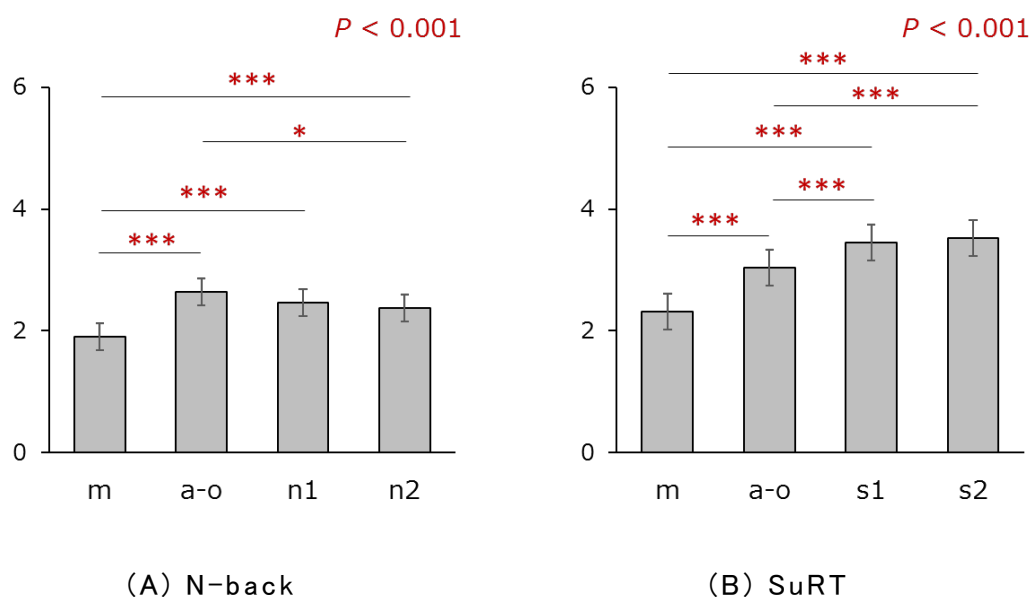


図 4-21 P2-N1 振幅 (Mean ± S.E.)

【EFRP elicited by small saccades の結果 : サッカー(40-100 μ V)での眼球停留関連電位】

EFRP elicited by small saccades における条件の主効果は、N-back 課題のみで有意であった (表 4-6 を参考)。多重比較の結果、N-back 課題 (図 4-22(A)) で、EFRP elicited by small saccades は N2 条件に比べ、m、a-o 条件で有意に大きかった (all $p < 0.05$)。SuRT 課題での EFRP elicited by small saccades の数値は図 4-22(B)に示されている。N-back 群では、サッカーが視覚情報に停留したあと、視覚情報を視覚野に取り込んでも、視覚情

報処理活動が認知課題を負荷していない時と比較して低下していることが示唆される。

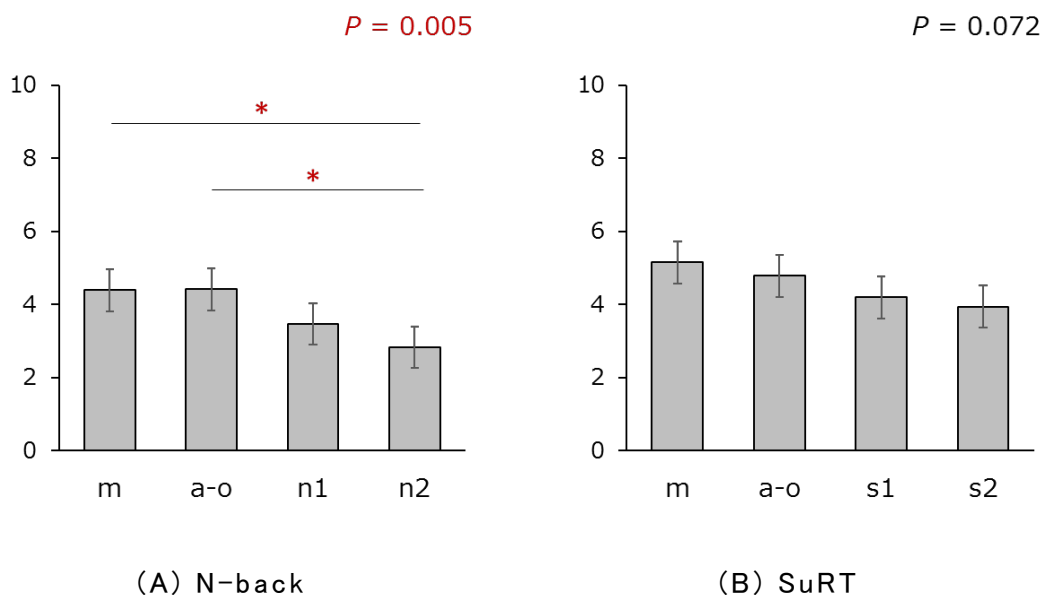


図 4-22 EFRP elicited by small saccades (Mean \pm S.E.)

【EFRP elicited by large saccades の結果 : サッカー(200-400 μ V)での眼球停留関連電位】

EFRP elicited by large saccades における条件の主効果は、N-back 課題と SuRT 課題のいずれでも有意ではなかった (表 4-6 を参考)。N-back 課題と SuRT 課題での EFRP elicited by large saccades の平均は図 4-23(A)と図 4-23(B)に示されている。

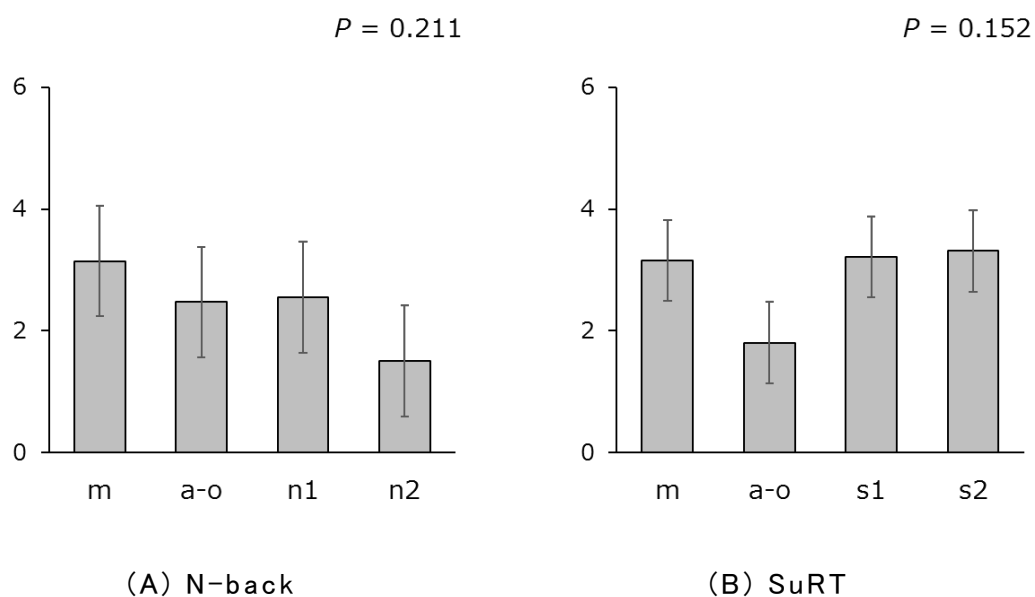


図 4-23 EFRP elicited by large saccades (Mean \pm S.E.)

4.5.2.2.目の動き

【統計解析】

サッカーボールの振幅、サッカーボールのばらつき、サッカーボールの速度、サッカーボールの回数、マイクロサッカーボールの回数、マイクロサッカーボールの割合、瞳孔径、まばたき頻度、まばたき持続時間、瞬目閉眼相 AVR(Amplitude-Velocity-Ratio)、瞬目開眼相 AVR(Amplitude-Velocity-Ratio)、1分あたりの閉眼割合については N-back 課題及び SuRT 課題を実施したすべての被験者を対象として統計処理を行った。群 (N-back 群、SuRT 群)、条件 (手動運転、自動運転課題なし、自動運転低難易度課題、自動運転高難易度課題)、TOR 順序 (1 回目～8 回目) 及びそれらの交互作用を要因とする線形混合モデルを用いて統計検討を行った。年齢及び性別を共変量として投入した。TOR 順序を反復測定とした。共分散構造については、Compound Symmetry を選択した。群×条件の交互作用が有意 ($p < 0.05$) であった場合、群ごとに条件の効果を比較した。また、手動運転条件及び自動運転課題なし条件ごとに群間比較を行った。多重比較補正では、Tukey-Kramer 法を用いた。

【サッカーボールの振幅の結果】

条件 (manual, notask, easy, difficult) の効果が有意であり ($F_{3,1202} = 97.45$, $p < .0001$)、自動運転課題なし条件の方が手動運転条件よりも有意にサッカーボールの振幅が増大していた ($t_{1198} = 4.79$, $p < .0001$)。課題 (N-Back/SuRT) × 条件 (manual, notask, easy, difficult) の効果が有意であった ($F_{3, 1202} = 64.68$, $p < .0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった (N-back: $F_{3, 1202} = 4.29$, $p = 0.0051$; SuRT: $F_{3, 1201} = 142.60$, $p < .0001$ 、図 4-24)。手動運転条件 (manual) と自動運転課題なし条件 (notask) ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

N-back 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもサッカーボールの振幅が増大していた。この要因として、マイクロサッカーボールの減少と中心視野周辺で生じる比較的小さい眼球運動の増加の二つが考えられる。

認知負荷が高くなると 2 度以下のサッカーボールの平均振幅が大きくなることが知られている (Siegenthaler, et al., 2014)。自動運転中でも認知負荷が高くなるとマイクロサッカーボール数が減少するため (マイクロサッカーボール回数、マイクロサッカーボール割合の結果参照)、相対的に高難易度条件ではサッカーボールの振幅が大きくなったと考えられる。

また、前方に視線を向けていながら運転と関係する情報から視線をそらすことで作業記憶課題に注意を向けやすい状態を作っていた可能性も考えらえ

る。後述するように、マイクロサッカードよりも大きい眼球運動（眼電位振幅が $40\text{-}100\mu\text{V}$ の眼球運動）が増加するとともに、N-back 条件では前方に視線を向ける時間が長くなる（フロントガラスへの視線方向に関する結果）。マイクロサッカードよりも大きく、かつ中心視野周辺上で生じる比較的小さい眼球運動の増加が、N-back 課題の高難易度条件では発生しやすくなり、相対的にサッカード振幅が大きくなった可能性が考えられる。

SuRT 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもサッカード振幅が大きく、高難易度条件及び低難易度条件の方が課題なし条件よりもサッカード振幅が大きかった。SuRT 課題を実施するためには中央モニター（車載ディスプレイ）上に視線を移動し、モニター上の視覚刺激を探索しないといけない。また難しい課題になるほど視覚探索を行うためのサッカード回数が増える（サッカード回数参照）。そのため、相対的にサッカード振幅が大きくなったと考えられる。

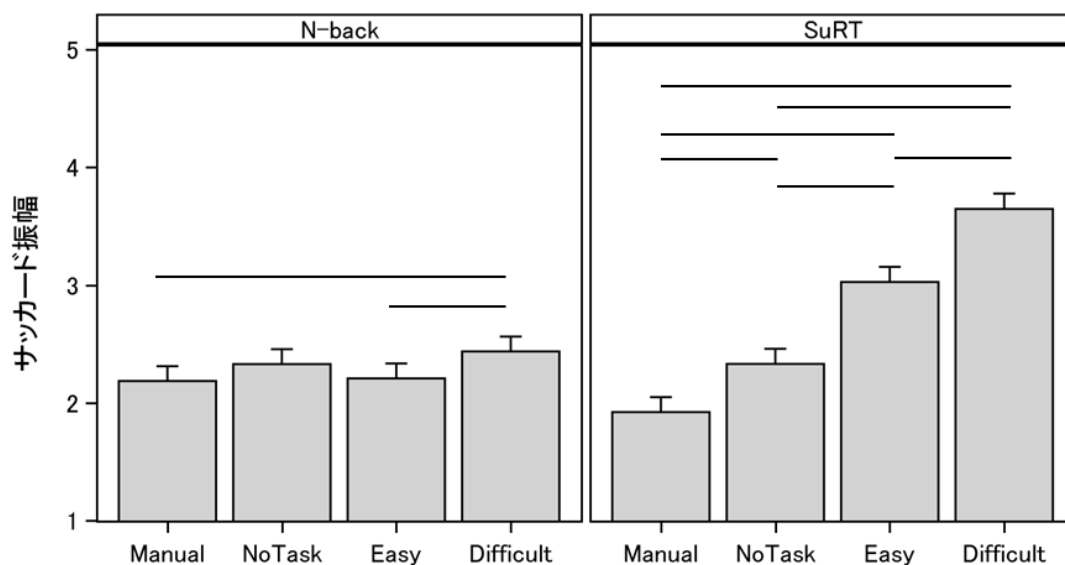


図 4-24 サッカード振幅

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差 ($p < 0.05$) を示した比較を横棒に示した。

【サッカード振幅のばらつきの結果】

サッカード振幅の標準偏差を求めた。条件 (manual, notask, easy, difficult) の効果が有意であり ($F_{3,1210} = 26.69, p < .0001$)、自動運転課題なし条件の方が手動運転条件よりも有意にサッカード振幅のばらつきが増大していた ($t_{1198} = 2.92, p = 0.0189$)。課題 (N-Back/SuRT) × 条件 (manual, notask, easy, difficult) の効果が有意であった ($F_{3, 1210} = 42.10, p < .0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、SuRT 課題条件のみ条件の効果が有意であった (N-back: $F_{3,1210} = 1.19, p = 0.3122$; SuRT: $F_{3,1210} = 61.41, p < .0001$ 、図

4-25)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(NoTask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

SuRT 課題では、課題を実施している条件の方が、課題を実施していない条件よりもサッカード振幅のばらつきが大きかった。課題に伴う視線移動及び課題実施に伴う視覚探索によってサッカード振幅のばらつきが大きくなったと考えられる。

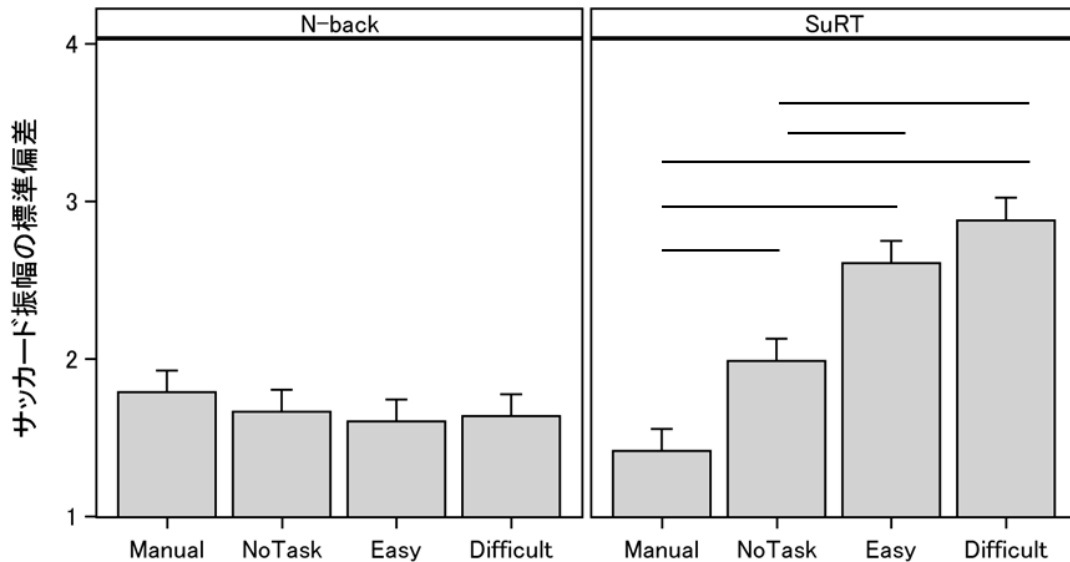


図 4-25 サッカード振幅の標準偏差

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p < 0.05$)を示した比較を横棒に示した。

【サッカード速度の結果】

条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であった($F_{3,1198} = 70.81, p < .0001$)。自動運転課題なし条件と手動運転条件との間には差を認めなかった($t_{1195} = 2.26, p = 0.1079$)。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であった($F_{3, 1198} = 30.54, p < .0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった(N-back: $F_{3,1198} = 7.44, p < .0001$; SuRT: $F_{3,1197} = 85.29, p < .0001$ 、図 4-26)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

Nback 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもサッカード速度が速くなっていた。上述のとおり、サッカード振幅が高難易度条件では大きくなっていた。振幅と速度は main sequence と呼ばれる関係を有している(Di Stasi, McCamy, et al., 2013)。高難易度条件ではサッカード振幅が大きくな

ったために速度が速くなったと考えられる。

SuRT 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもサッカード速度が速く、高難易度条件及び低難易度条件の方が課題なし条件よりもサッカード速度が速かった。上述した通り、SuRT 課題を実施するためには中央モニター上に視線を移動し、モニター上の視覚刺激を探索しないといけない。また難しい課題になるほど視覚探索を行うためのサッカード回数が増える（サッカード回数参照）。そのため、相対的にサッカード振幅が大きくなり、振幅の増大に伴い、サッカード速度が速くなったと考えられる。

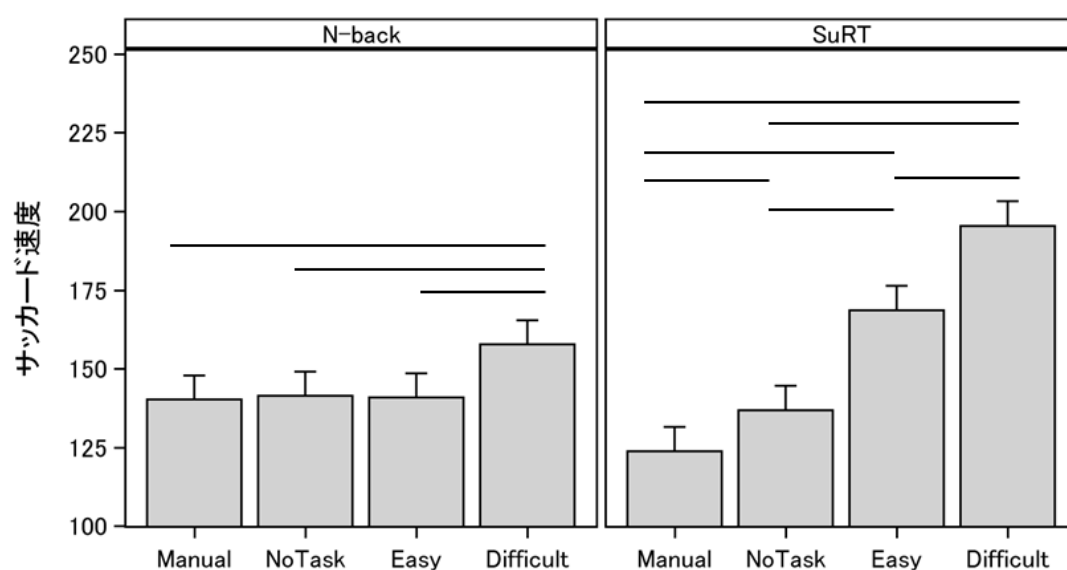


図 4-26 サッカード速度

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p < 0.05$)を示した比較を横棒に示した。

【サッカード(40-100 μ V)の生起回数の結果】

N-back 課題と SuRT 課題の両方で、サッカード(40-100 μ V)の生起回数における条件の主効果が有意であった(表 4-6 を参考)。多重比較の結果、N-back 課題(図 4-27(A))と SuRT 課題(図 4-27(B))で、サッカード(40-100 μ V)の生起回数は m、a-o、N1(S1)条件に比べ、N2(S2)条件で有意に多かった(all $p < 0.05$)。また、SuRT 課題で、サッカード(40-100 μ V)の生起回数は m、a-o 条件に比べ S1 条件で有意に多かった(all $p < 0.05$)。

眼電位にはマイクロサッカードがほとんど含まれないため(Yuval-Greenberg, Tomer, Keren, Nelken, & Deouell, 2008)、振幅が 40-100 μ V の眼球運動はマイクロサッカードよりも大きい眼球運動を評価している。後述するように N-back 条件では前方に視線を向ける時間が長くなる。眼電位振幅が 40-100 μ V の眼球運動が増えた要因として、前方に視線を向けていながら運転と関係する情報から視線をそらすことで作業記憶課題に

注意を向けやすい状態を作っている可能性が推測される。N-back 課題の高難易度条件では、サッカード(40-100 μ V)の生起後に発生する視覚野の脳活動(Eye-fixation related potential)の振幅が小さくなっていったことから、この条件におけるサッカード(40-100 μ V)生起回数の増加は視覚情報を取り込む活動以外が主要因で発生した可能性が考えられる。

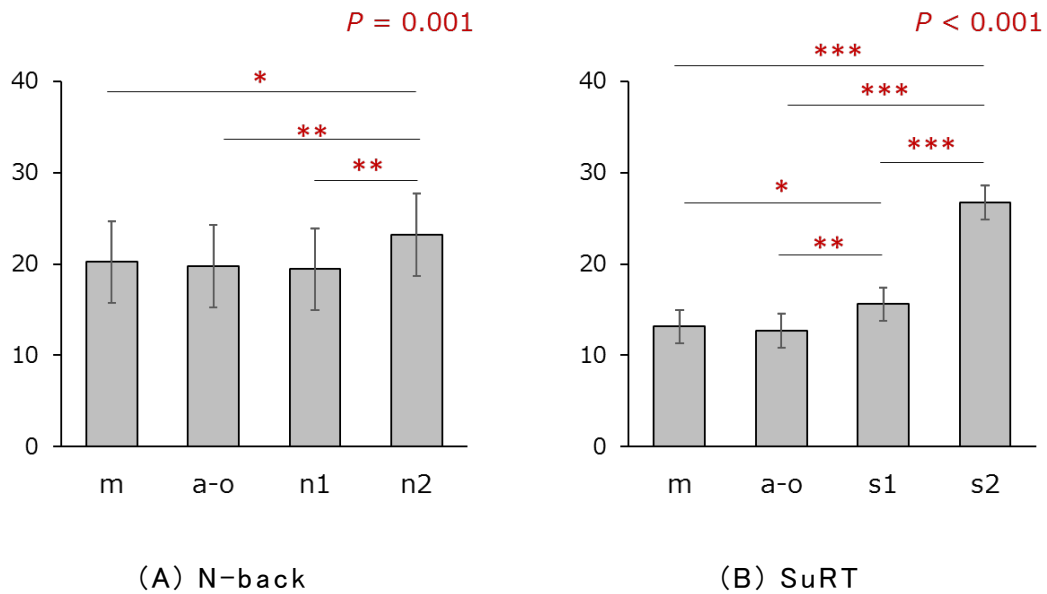


図 4-27 サッカード(40-100 μ V)の生起回数 (Mean \pm S.E.)

【サッカード(200-400 μ V)の生起回数の結果】

N-back 課題と SuRT 課題の両方で、サッカード(200-400 μ V)の生起回数における条件の主効果が有意であった(表 4-6 を参考)。多重比較の結果、N-back 課題(図 4-28(A))と SuRT 課題(図 4-28(B))で、サッカード(200-400 μ V)の生起回数は m 条件に比べ、a-o、N1(S1)、N2(S2)条件で有意に多かった(all $p < 0.05$)。また、SuRT 課題で、サッカード(200-400 μ V)の生起回数は a-o 条件に比べ S1、S2 条件で有意に多かった(all $p < 0.05$)。また、サッカード(200-400 μ V)の生起回数は S1 条件に比べ S2 条件で有意に多かった。

手動運転と比較して自動運転条件では N-back 課題と SuRT 課題ともに大きいサッカード(200-400 μ V)の発生回数が増えていた。運転そのものの負担の低下によって、運転に必要な情報を得るために視線を多く移動した可能性が考えられる。SuRT 課題を負荷した条件では課題の困難度が高くなるほど、大きいサッカードの生起回数が増えた。SuRT 課題を実施するためには中央モニター上に視線を移動し、モニター上の視覚刺激を探索しない。SuRT を負荷した条件における大きいサッカードの生起回数の増加は、SuRT

課題の実施に伴う活動と考えられる。

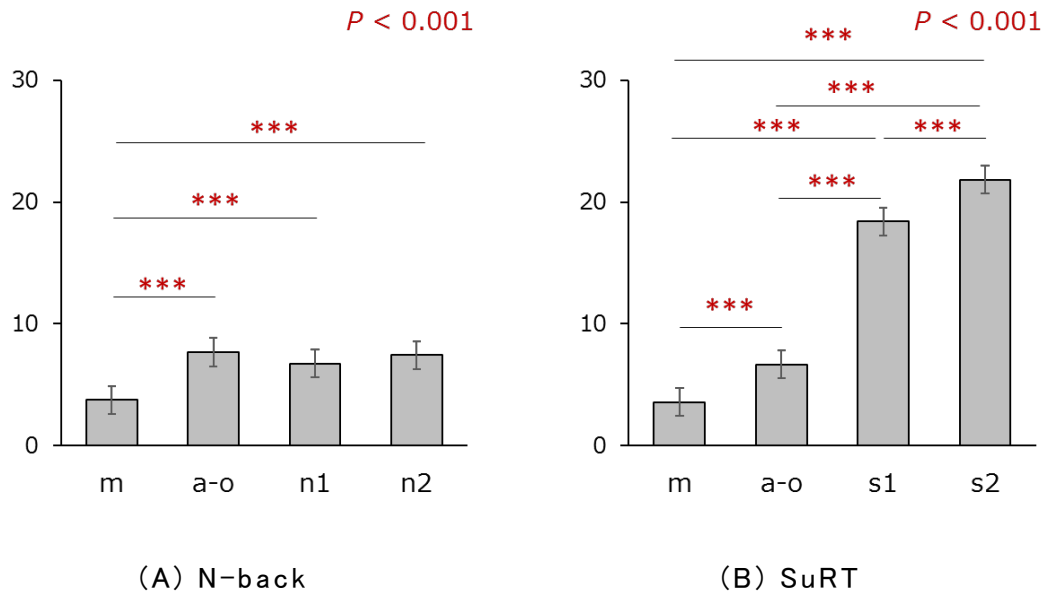


図 4-28 サッカーダ(200-400 μ V)の生起回数 (Mean \pm S.E.)

【サッカーダ回数の結果】

条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であり($F_{3,1208} = 18.13$, $p < .0001$)、自動運転課題なし条件の方が手動運転条件よりも有意にサッカーダ回数が減少していた($t_{1207} = 6.63$, $p < .0001$)。課題(N-Back/SuRT) \times 条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であった($F_{3,1198} = 30.54$, $p < .0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった(N-back: $F_{3,1198} = 7.44$, $p < .0001$; SuRT: $F_{3,1197} = 85.29$, $p < .0001$ 、図 4-29)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

N-back 課題、SuRT 課題とも自動運転課題なし条件では、手動運転中よりもサッカーダの回数が減少していた。手動運転中は車両をコントロールする必要があるため、道路環境をモニターする必要があるが、自動運転中は道路環境の監視に対する作業負荷量が低減するため(de Winter, Happee, Martens, & Stanton, 2014)、眼球運動が減少したと考えられる。

N-back 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもサッカーダ回数が減少していた。N-back 課題の難易度が高くなると N-back 課題への注意の配分が高まり、外的環境を監視する行動が低下したものと考えられる。

SuRT 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもサッカーダ回数が増加していた。SuRT は視覚情報を用いた課題であり、課題を実施するため

には中央モニター上に視線を移動し、モニター上の視覚刺激を探索しないと
いけないためサッカード回数が増えたと考えられる。

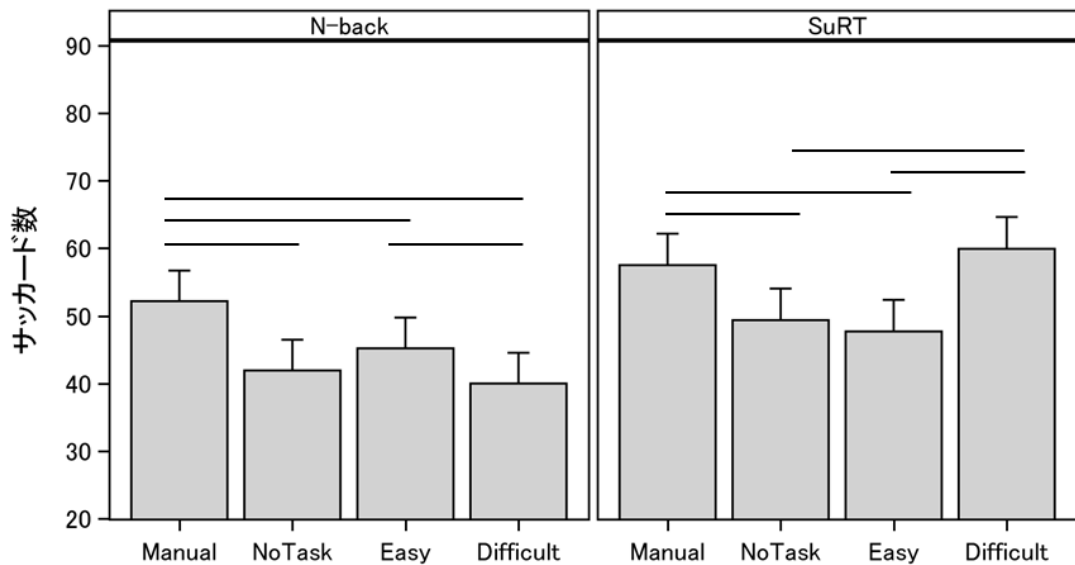


図 4-29 サッカード回数

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p < 0.05$)を示した比較を横棒に示した。

【マイクロサッカードの結果】

条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であり($F_{3,1213} = 34.76$, $p < .0001$)、自動運転課題なし条件の方が手動運転条件よりも有意にマイクロサッカード回数が減少していた($t_{1211} = 3.68$, $p = 0.0002$)。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であった($F_{3,1208} = 14.23$, $p < .0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった(N-back: $F_{3,1209} = 15.88$, $p < .0001$; SuRT: $F_{3,1207} = 16.08$, $p < .0001$ 、図 4-30)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。N-back 課題、SuRT 課題とも手動運転中のマイクロサッカード数が最も多かった。手動運転中はひとつの視覚情報(例：先行車)を固視し、その視覚情報を取り込むための活動が生じていたと考えられる。

N-back 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもマイクロサッカード回数が減少していた。計算課題の難易度が高くなるとマイクロサッカードの回数が減少することが実験室実験で示されている(Siegenthaler, et al., 2014)。認知課題の難易度が高くなると外界からの視覚情報の取り込みを抑えて、内的思考に注意を向ける活動を反映して、マイクロサッカードが減少したと考えられている。本研究の自動運転中でも同様に認知課題の難易度が

難しくなると、外界の視覚情報の取り込みが抑えられ、認知課題に対する注意が増大した結果、マイクロサッカードが減少したと考えられる。

SuRT 課題では自動運転中の課題を負荷しない条件よりも課題を負荷した条件(高難易度条件、低難易度条件)の方がマイクロサッカード回数が減少していた。SuRT はひとつの視覚刺激に視線を固視するよりも目を頻回に動かし(サッカード回数の結果を参照)、視覚情報を積極的に取り込む活動が増える。固視時間が減少したため、マイクロサッカードの発生も減少したと考えられる。

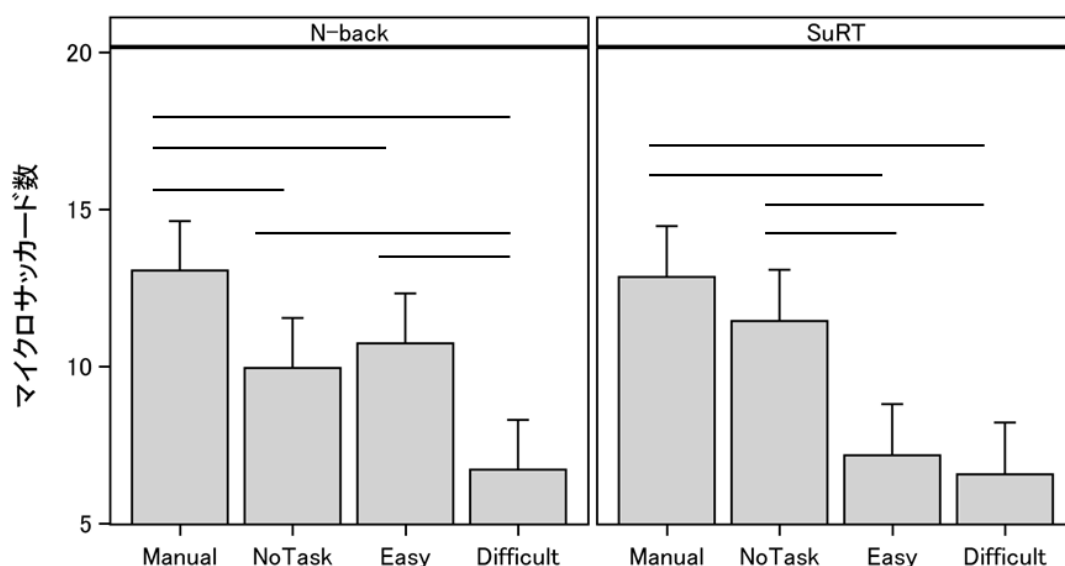


図 4-30 マイクロサッカード回数

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p < 0.05$)を示した比較を横棒に示した。

【マイクロサッカード割合(マイクロサッカード数/サッカード数×100%)の結果】

マイクロサッカードの頻度が閉眼の発生によって影響を受けている可能性を検討するために、全サッカードに占めるマイクロサッカードの割合を求めた。

条件(manual、notask、easy、difficult)の効果が有意であった($F_{3,1199} = 30.79, p < .0001$)。自動運転課題なし条件と手動運転条件とには差を認めなかった($t_{1196} = 0.08, p = 0.9998$)。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual、notask、easy、difficult)の効果が有意であった($F_{3,1199} = 3.35, p = 0.0184$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった(N-back: $F_{3,1199} = 10.62, p < .0001$; SuRT: $F_{3,1198} = 22.28, p < .0001$ 、図 4-31)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

N-back 課題では高難易度条件の方が低難易度条件よりもマイクロサッカード割合が減少していた。本結果もマイクロサッカードの回数の結果と同様、自動運転中では認知課題の難易度が難しくなると、外界の視覚情報の取り込みが抑えられ、認知課題に対する注意が増大した結果、マイクロサッカード割合が減少したと考えられる。

SuRT 課題では自動運転中の課題を負荷しない条件よりも課題を負荷した条件(高難易度条件、低難易度条件)の方がマイクロサッカード割合が減少していた。この傾向はマイクロサッカード回数でも認められた。SuRT を実施するために、目を頻回に動かし(サッカード回数の結果を参照)、視覚情報を積極的に取り込む活動が増えることで、固視時間が減少したため、マイクロサッカードの発生割合も減少したと考えられる。

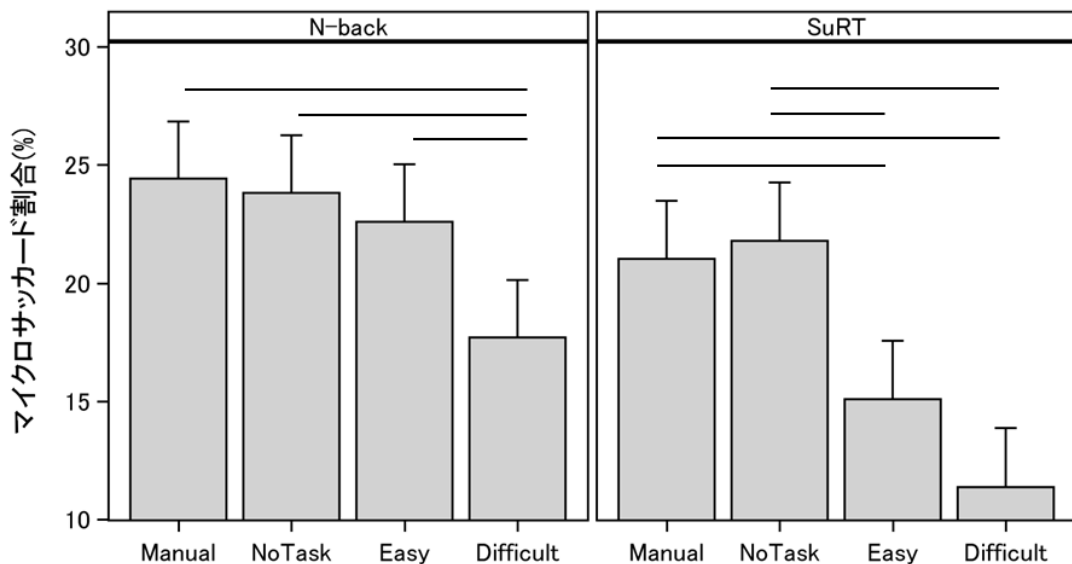


図 4-31 マイクロサッカード割合

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p<0.05$)を示した比較を横棒に示した。

4.5.2.3.視線配置

【統計解析方法】

アイカメラに記録された画像から、TOR 前 60 秒間の視線が向いている場所を解析し、時間当たりの視線割合と注視点の持続時間を算出した。N-back 群、SuRT 群における各条件間の差は、混合効果モデルを用いて評価された。多重比較における危険率は、Bonferonni 法で修正された。

【結果】

フロントガラス：

N-back 群においては、フロントガラスの方向に視線を向けている時間の割

合は、「a-o」条件の方が他の条件と比べて有意に低い割合を示した（図 4-32）。また、「a-o」条件は、他の条件と比べばらつきも多く見られた。一方で、1回あたりの持続時間は「n2」条件が有意に長かった（図 4-33）。

SuRT 群においては、フロントガラスの方向に視線を向けている時間の割合は、「m」条件、「a-o」条件に比べ、サブタスク実施条件で有意に低い割合を示し、サブタスクの難易度が上がるほど低くなった（図 4-32）。1回あたりの持続時間も、60秒あたりの割合と同様の傾向であった（図 4-33）。

フロントガラス

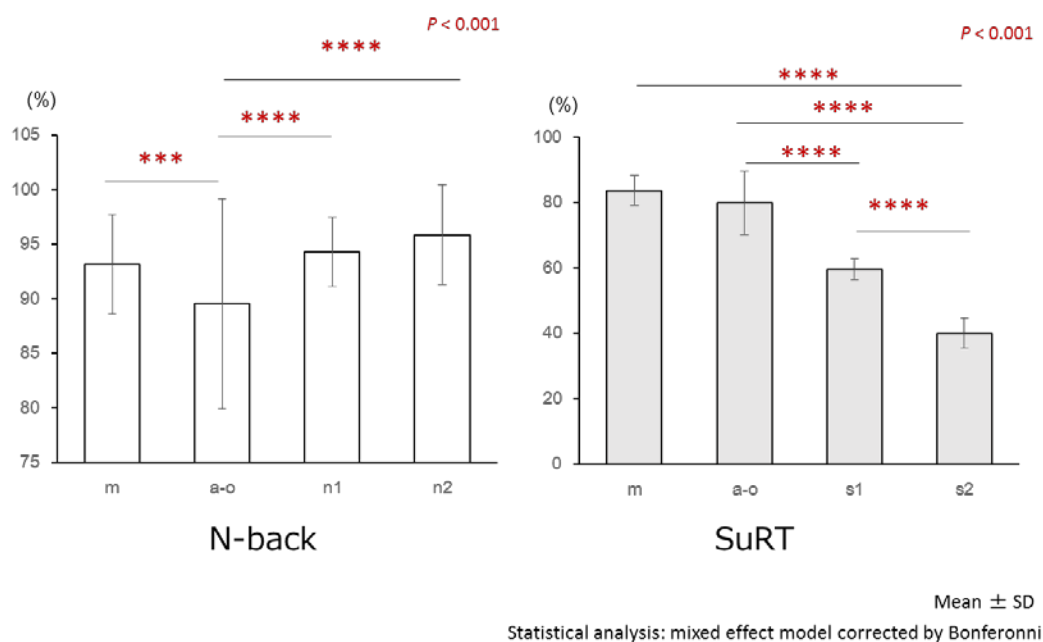


図 4-32 60 秒間の視線割合（フロントガラス）

フロントガラス

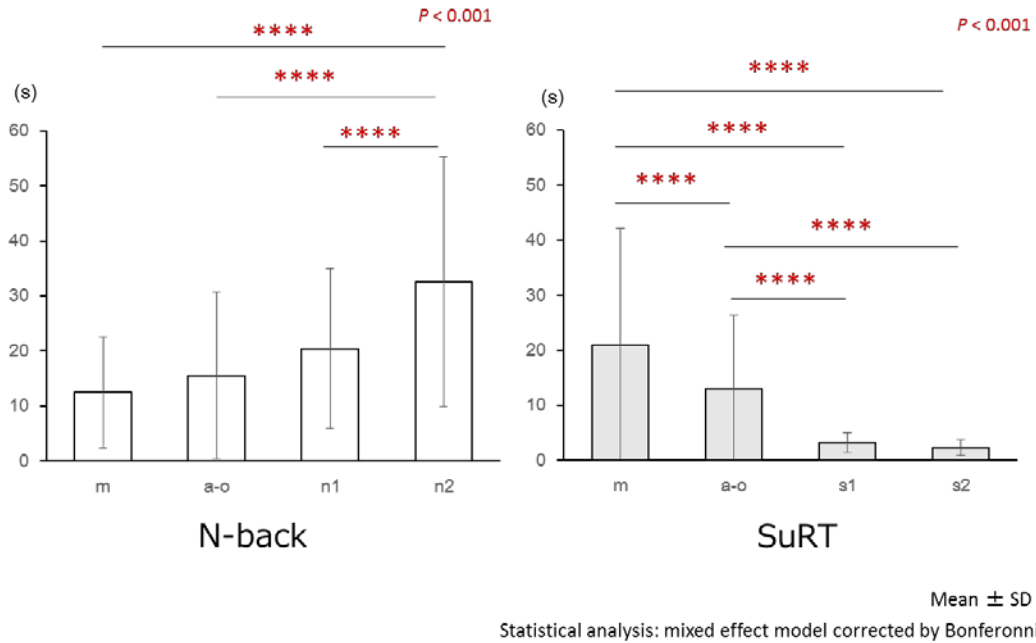


図 4-33 各視線の場所における 1 回あたりの持続時間（フロントガラス）

サブ課題ディスプレイ:

N-Back 課題では、サブ課題ディスプレイを見ている時間はほとんどなかった。一方 SuRT 群では、課題を負荷した条件ではサブ課題ディスプレイに対して視線を向ける時間割合が多くなり、難易度が高くなるほど、単位時間の割合が大きくなった（図 4-34）。課題を負荷した条件では課題を負荷していない条件と比較して、サブ課題ディスプレイに視線を向ける 1 回あたりの持続時間が長くなった（図 4-35）。

サブ課題ディスプレイ

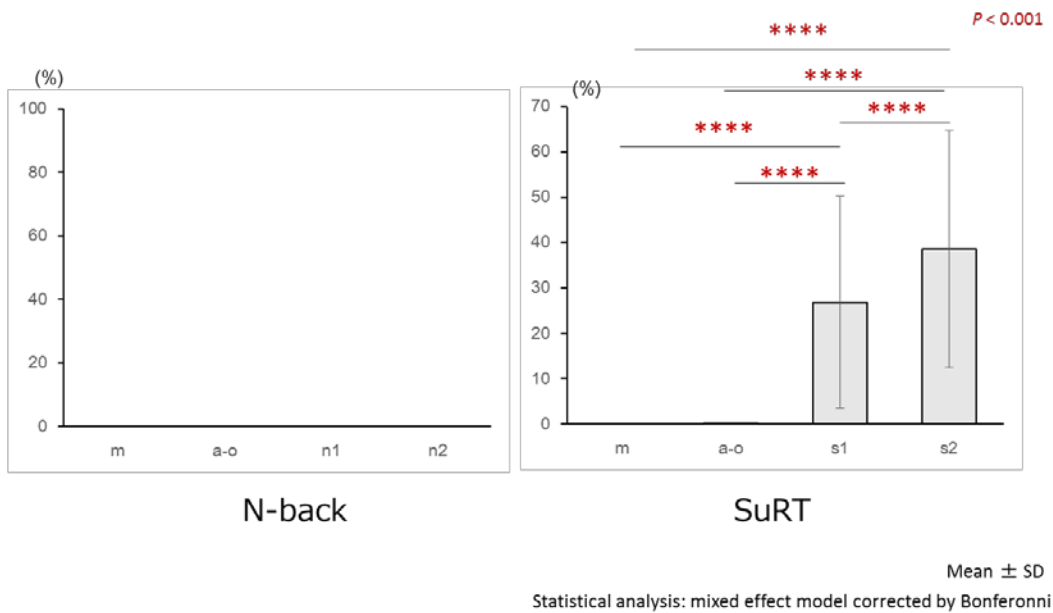


図 4-34 60 秒間の視線割合（サブ課題ディスプレイ）

サブ課題ディスプレイ

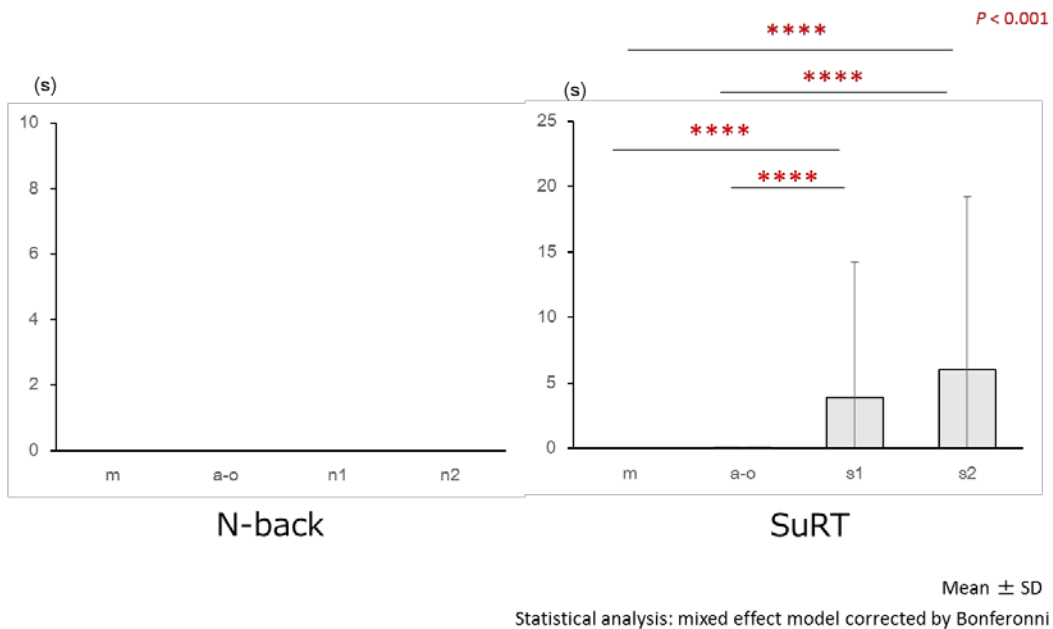


図 4-35 各視線の場所における 1 回あたりの持続時間（サブ課題ディスプレイ）

【考察・示唆されること】

SuRT 群では、予定通りの条件設定を作り出せていた。興味深いことに、N-back 群の「n2」条件において、1 回あたりの持続時間が有意に長かったこ

とから、(少なくとも聴覚によるワーキングメモリーの) 認知負荷が高まることで、視線移動の頻度が低下することが伺える。Cognitive Distraction の負荷は、Gaze Concentration を引き起こし、バックミラーやスピードメーターへの視認が減少することが知られている(Recarte & Nunes, 2003 ; Tsai, et al., 2007 ; Reimer, 2009)。従来の知見と同様に自動運転中であっても認知負荷によって Gaze Concentration が生じた結果として、本研究の現象が観察されたと考えられる。

4.5.2.4. 瞳孔

【瞳孔径の結果】

条件(manual、notask、easy、difficult)の効果が有意であった($F_{3,1536} = 49.28, p < .0001$)。自動運転課題なし条件の方が手動運転条件よりも値が小さくなっていた ($t_{1535} = 11.51, p < .0001$)。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual、notask、easy、difficult)の効果が有意であった($F_{3,1536} = 7.90, p < .0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった (N-back: $F_{3,1535} = 24.87, p < .0001$; SuRT: $F_{3,1536} = 33.02, p < .0001$ 、図 4-36)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。N-back 課題、SuRT 課題とも手動運転中の瞳孔径は自動運転中よりも大きかった。瞳孔径は交感神経系活動の支配を受けている。自動運転に伴うワークロードの低下により手動運転時よりも自動運転時の方が交感神経系の活動が低くなったと考えられる。

N-back 課題では自動運転時に課題を負荷していない条件よりも課題を負荷している条件の方が値が大きかった。課題を負荷することにより交感神経系活動が亢進したと推測される。副次課題を負荷すると覚醒度の低下が抑えられるが手動運転時の覚醒度にまでは低減しないことを示している。一方、SuRT 課題では課題負荷の効果を認めなかった。課題を負荷することによる交感神経系活動の亢進の効果と SuRT 課題中は液晶画面を見ているため、光の影響により瞳孔径が収縮したという効果とにより、自動運転中の課題負荷なしの時と同等の値を示した可能性が考えられる。瞳孔径は外光の影響を受けるため、実環境での評価指標として用いるためには更なる検討が必要である。

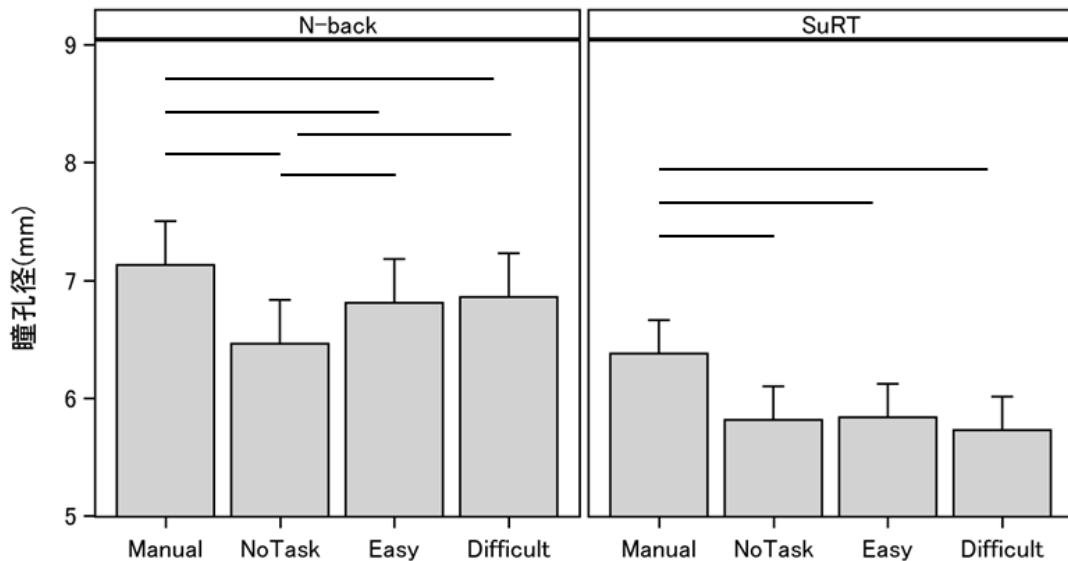


図 4-36 瞳孔径

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p<0.05$)を示した比較を横棒に示した。

4.5.2.5.まぶたの動き

【まばたき頻度の結果】

条件(manual、notask、easy、difficult)の効果が有意であった($F_{3,1508}=28.38, p<.0001$)。自動運転課題なし条件と手動運転条件との間に差を認めなかった($t_{1509}=0.56, p=0.9442$)。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual、notask、easy、difficult)の効果が有意であった($F_{3,1508}=21.30, p<.0001$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった(N-back: $F_{3,1507}=47.48, p<.0001$; SuRT: $F_{3,1508}=2.91, p=0.0335$ 、図 4-37)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

N-back 課題では自動運転中の課題なし条件よりも低難易度条件の方が、また低難易度条件よりも高難易度条件の方がまばたき回数が増加していた。視覚課題を実施中に視覚とは関係がない認知課題(リスニング、会話、計算)を負荷している時やマインドワンダリング中はまばたきの頻度が増える(Recarte, Perez, Conchillo, & Nunes, 2008; Smilek, Carriere, & Cheyne, 2010)。手動運転のシミュレーター課題中でも加算課題実施中は瞬目頻度が増加する(Tsai, Viirre, Strychacz, Chase, & Jung, 2007)(Smilek, et al., 2010)。これらの結果は認知課題実施中やマインドワンダリング中は、まばたきが外界からの視覚刺激を減らすことで、認知課題や内的思考に注意が向

きやすい状態を作り出していると考えられている (Recarte, et al., 2008; Smilek, et al., 2010)。本研究では、自動運転中に認知負荷が高くなるほどまばたき頻度が増えることが分かった。自動運転中であっても認知負荷がまばたき頻度に及ぼす影響が生じることが分かった。

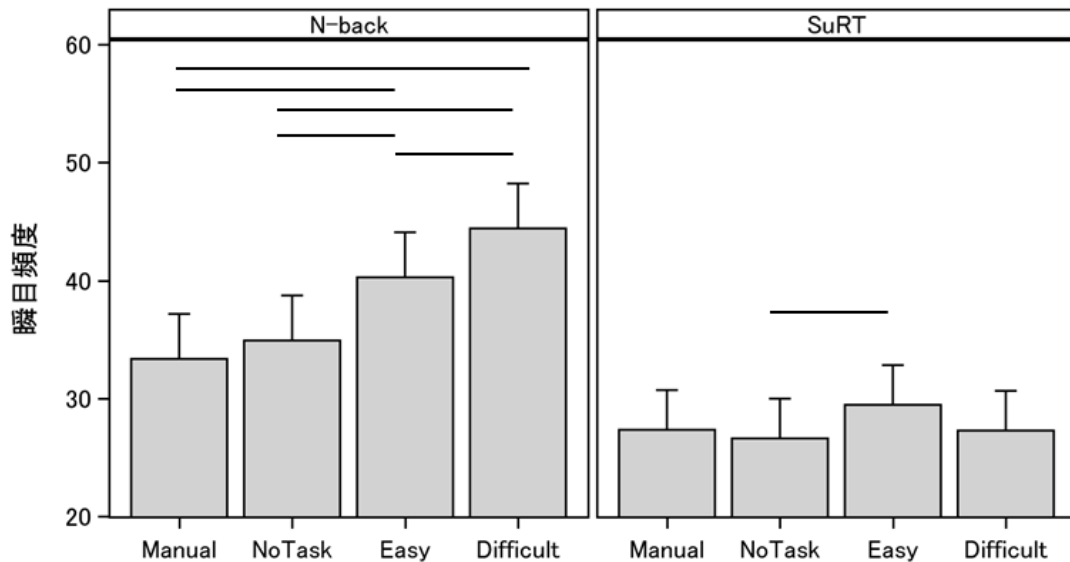


図 4-37 まばたき頻度

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差 ($p < 0.05$) を示した比較を横棒に示した。

【瞬目持続時間の結果】

N-back 課題と SuRT 課題の両方で、瞬目持続時間における条件の主効果が有意であった (表 4-6 を参考)。多重比較の結果、N-back 課題 (図 4-38(A)) では、瞬目持続時間は m 条件に比べ、a-o、N1、N2 条件で有意に長かった (all $p < 0.05$)。SuRT 課題 (図 4-38(B)) では、瞬目持続時間は m、S1、S2 条件に比べ、a-o 条件で有意に長かった (all $p < 0.05$)。また、瞬目持続時間は S2 条件に比べ S1 条件で有意 ($p < 0.05$) に長かった。

手動運転時よりも自動運転時(課題なし)の方がまばたきの持続時間が長かった。瞬目の持続時間は覚醒度の低下に伴って延長する (Caffier, Erdmann, & Ullsperger, 2003; Ingre, Akerstedt, Peters, Anund, & Kecklund, 2006)。本研究の結果は、自動運転中の方が手動運転時よりも覚醒度が低いことを反映していると考えられる。

SuRT 課題では、自動運転時は高難易度の課題を実施している時の方が、低難易度の課題を実施している時よりも持続時間が短かく、低難易度条件の方が自動運転課題なし条件よりも持続時間が短かった。視覚探索を実施している時は、まばたきを抑えることで、視覚情報をより多く取り込めるように

する現象が生じる(Recarte, et al., 2008)。ドライビングシミュレーターでの Lane changing task 中に SuRT を用いて視覚的負荷を課すと持続時間が短い (<100ms)まばたきが増えることも知られている(Benedetto, Pedrotti, Minin, Baccino, & Re, 2011)。まばたきの持続時間減少は、SuRT の課題を遂行するために、視覚情報をより多く取り込むための活動を反映していると考えられる。

課題を負荷したことによる覚醒度の増大がまばたき持続時間の減少に関与した可能性も考えられるが、SuRT 群で生じた難易度の増加に伴うまばたき持続時間の短縮は、覚醒度よりはむしろ視覚情報の取り込みと関係した現象と解釈する方が妥当と考えられる。N-back 課題では、高難易度の課題を負荷することで、瞳孔径が大きくなり、心拍数も早くなっており、その効果は SuRT 条件よりも顕著であった。もし、SuRT 群に生じたまばたき持続時間の減少が覚醒度の増大を反映しているのであれば、N-back 群でも同様の現象が観察されるはずである。しかし、N-back 課題ではまばたき持続時間に自動運転条件間の差を認めていない。自動運転中の Visual Distraction がまばたき持続時間の短縮に及ぼす効果は本研究で初めて明らかになった。

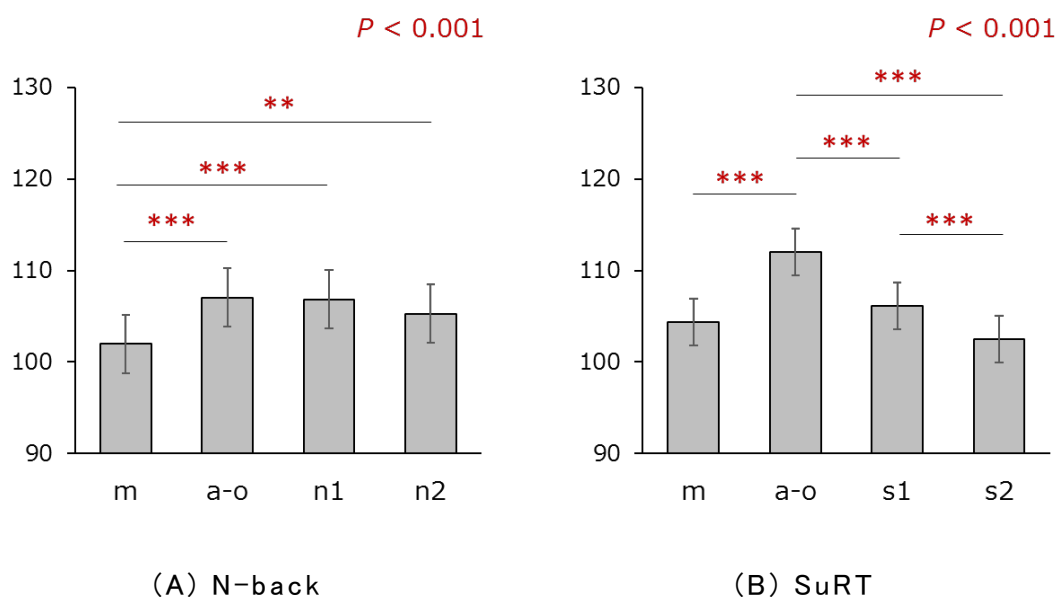


図 4-38 瞬目持続時間 (Mean ± S.E.)

【瞬目閉瞼相 AVR(Amplitude-Velocity-Ratio)の結果】

閉瞼相 AVR(Amplitude-Velocity-Ratio)は瞬目閉瞼相の振幅を速度で除した値である(Johns & Tucker, 2005)。閉瞼時相対速度の逆数は覚醒度の指標として用いられており、覚醒度が低下するほど値が大きくなる(Ftouni, et al., 2015)。

条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であり($F_{3, 1478}=48.90$, $p<.0001$)、自動運転課題なし条件の方が手動運転条件よりも有意に増大していた($t_{1480}=10.46$, $p<.0001$)。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual, notask, easy, difficult)の効果が有意であった($F_{3, 1478} = 6.63$, $p = 0.0002$)。課題ごとに条件の効果を検討したところ、N-back 課題、SuRT 課題とも条件の効果が有意であった(N-back: $F_{3,1477}= 13.49$, $p<.0001$; SuRT: $F_{3, 1479}= 42.46$, $p<.0001$ 、図 4-39)。手動運転条件(manual)と自動運転課題なし条件(notask)ごとに N-back 課題群と SuRT 課題群の値を比較したところ、両条件とも有意差を認めなかった。

N-back 課題、SuRT 課題とも手動運転中の閉瞼時 AVR の値は手動運転中よりも課題を負荷していない自動運転中の方が大きかった。この結果は手動運転中の方が自動運転中よりも覚醒度が高いことを示している。また、自動運転中であっても課題が難しい場合は、課題を負荷していない時よりも値が小さくなった。この結果は、課題を負荷した場合は、課題を負荷していない時よりも覚醒度が高くなることを示している。

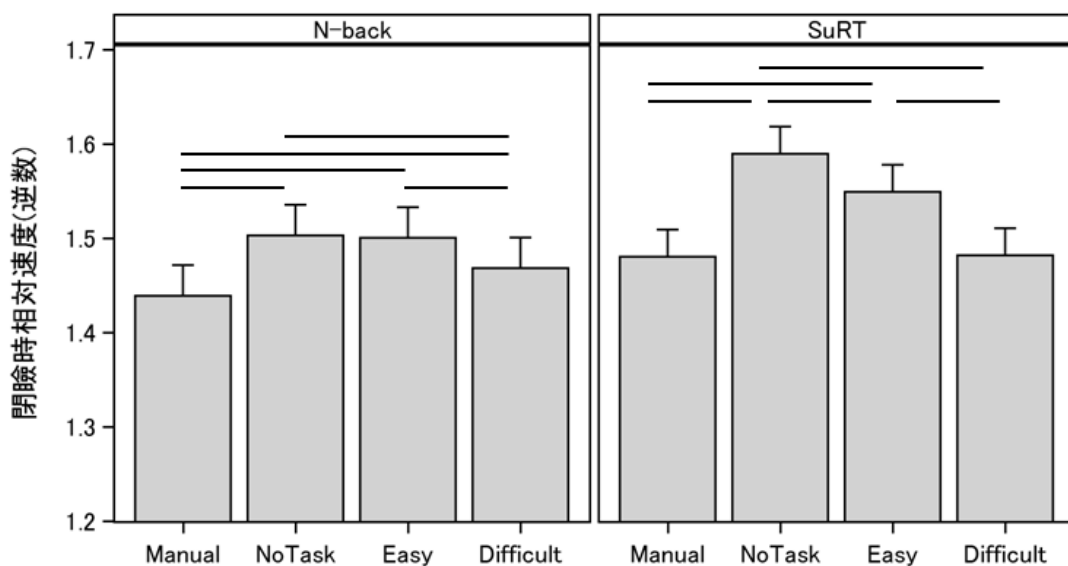


図 4-39 瞬目閉瞼相の相対速度（逆数）

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p<0.05$)を示した比較を横棒に示した。

【瞬目開瞼相 AVR(Amplitude-Velocity-Ratio)の結果】

開瞼相 AVR(Amplitude-Velocity-Ratio)は瞬目開瞼相の振幅を速度で除した値である(Johns & Tucker, 2005)。開瞼時相対速度の逆数は覚醒度の指標として用いられており、覚醒度が低下するほど値が大きくなる(Ftouni, et al.,

2015)。

課題(N-Back/SuRT)×条件(manual、notask、easy、difficult)の効果は有意ではなかった($F_3, 1480 = 1.82, p = 0.1415$)。条件(manual、notask、easy、difficult)の主効果が有意であった($F1, 1480 = 11.75, p < .0001$)。

手動運転時よりも自動運転時(課題なし)の方が開瞼相 AVR の値が大きく($t_{1481}=5.27, p<.0001$)、自動運転時は高難易度の課題を実施している時の方が、課題を実施していない時よりも値が小さかった($t_{1481}=2.85, p=0.0228$ 、図 4-40)。本結果は、自動運転中の方が手動運転時よりも覚醒度が低く、副次課題を負荷すると覚醒度が高くなることを示している。

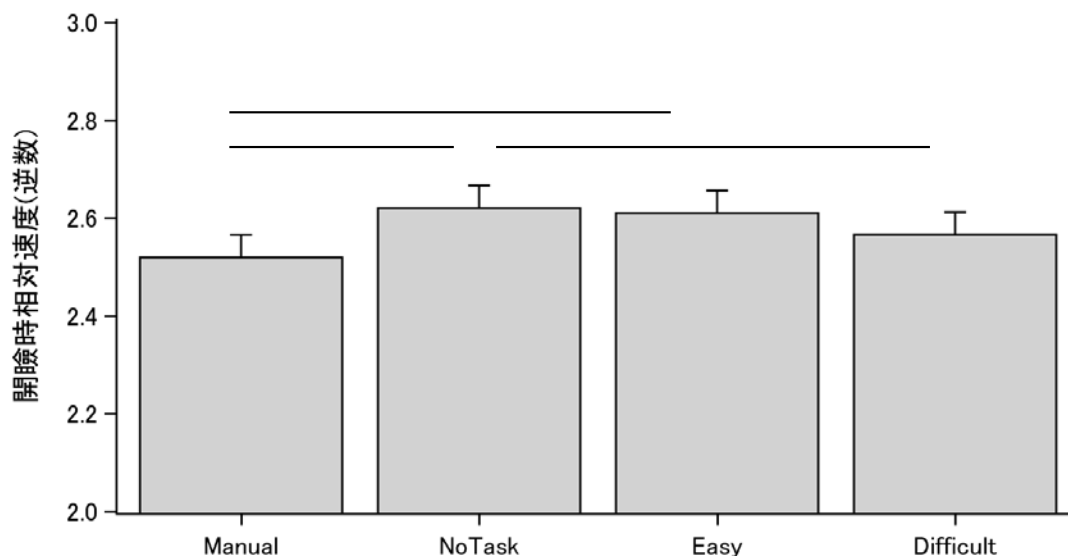


図 4-40 瞬目開瞼相の相対速度 (逆数)

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p<0.05$)を示した比較を横棒に示した。

【1 分あたりの閉眼割合の結果】

左目の瞳孔データをもとに、1 分あたりの閉眼割合を求めた。課題(N-Back/SuRT)×条件(manual、notask、easy、difficult)の効果は有意ではなかった($F_3, 1538 = 0.35, p = 0.7872$)。条件(manual、notask、easy、difficult)の主効果が有意であった($F1, 1537 = 30.42, p < .0001$)。自動運転課題なし条件よりも手動運転条件の方が値が小さかった($t_{1537}=9.22, p<.0001$ 、図 4-41)手動運転時よりも自動運転時(課題なし、低難易度、高難易度)の方が閉眼割合の値が大きく、自動運転時は課題を負荷している時よりも課題を負荷していない時の方が値が大きかった。1 分あたりの閉眼割合は覚醒度の低下に伴って値が大きくなる(Abe, et al., 2011)。本研究の結果は、自動運転中の方が手動運転時よりも覚醒度が低く、副次課題を負荷すると覚醒度の低下が抑えられるが手動運転時の覚醒度にまでは低減しないことを示している。

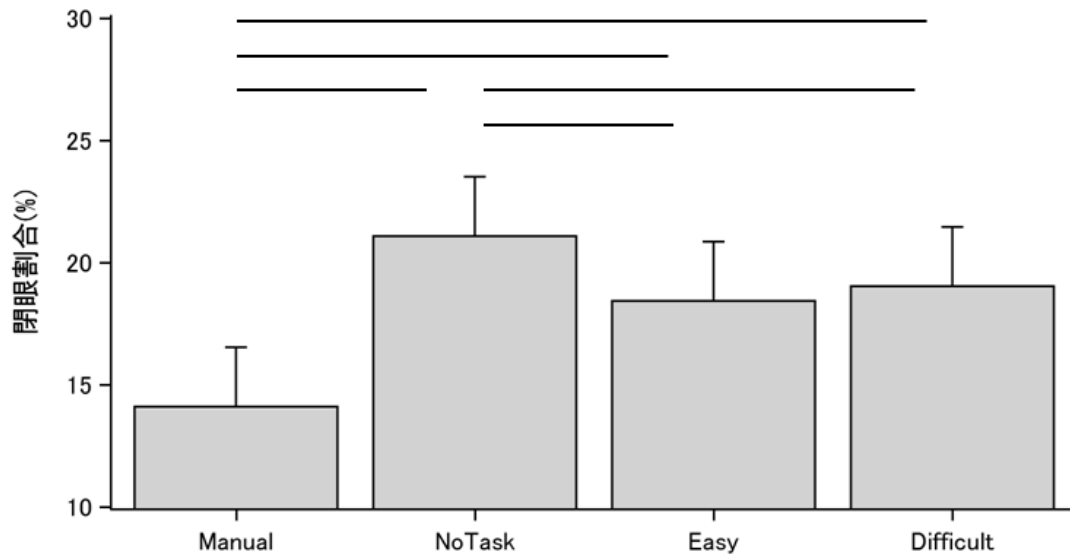


図 4-41 1分あたりの閉眼割合：条件の効果

※最小 2 乗平均±標準誤差；下位検定で有意差($p<0.05$)を示した比較を横棒に示した。

4.5.2.6.頭の動き

【統計解析】

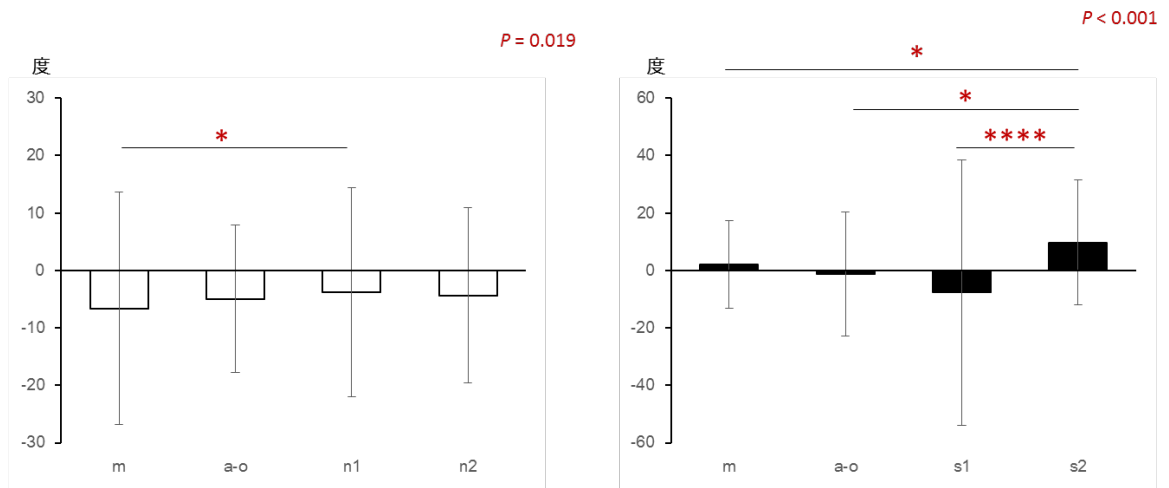
TOR 前 60 秒間の頭部回転角度を算出した。60 秒間のデータが、 -95° から 95° の範囲に 90%以上ある場合のみ、解析に用いた。また、もし個人の 1 つの条件内で、90%以上のイベントが半数以上（4 回以上）ない場合、その条件全体を取り除いてその後の解析に用いた。N-back 群、SuRT 群における各条件間の差は、混合効果モデルを用いて評価された。多重比較における危険率は、Bonferonni 法で修正された。

【結果】

平均値(図 4-42): N-back 群では、全条件で平均値がマイナスを示しており、m 条件と n1 条件に有意な差があった。SuRT 群では、s1 条件が最もマイナス側に、s2 条件が最もプラス側に回転していた。また、s1 条件に個人差が多くみられた。

標準偏差(図 4-43): N-back 群では、a-o 条件と n1 条件に有意な差があり、また a-o 条件の個人差が多く見られた。SuRT 群では、m 条件で最も狭い範囲、s2 条件で最も広い範囲に回転していた。

分布(図 4-44): N-back 群では、n1 条件を除き、ほぼ同様の分布であった。SuRT 群では、s2 条件で正面から反時計回りの方向への回転が多く見られた。



N-back

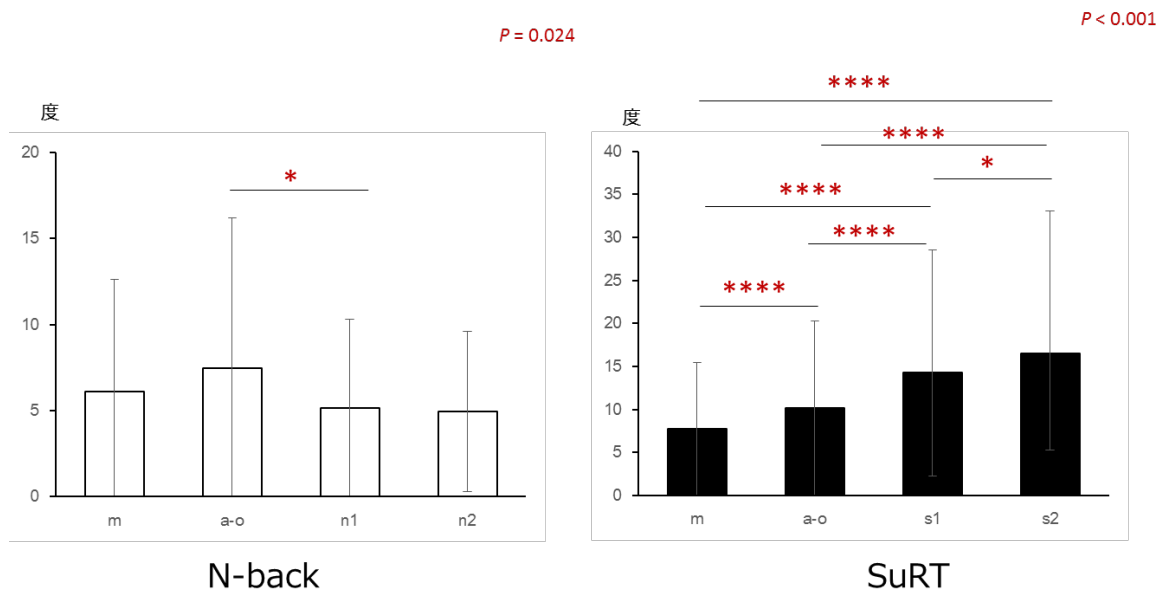
SuRT

※0度を正面として、プラスの角度は反時計回り(左側)、マイナスの角度は時計回り(右側)

Mean ± SD

Statistical analysis: mixed effect model corrected by Bonferonni

図 4-42 各条件における頭部回転角度の平均



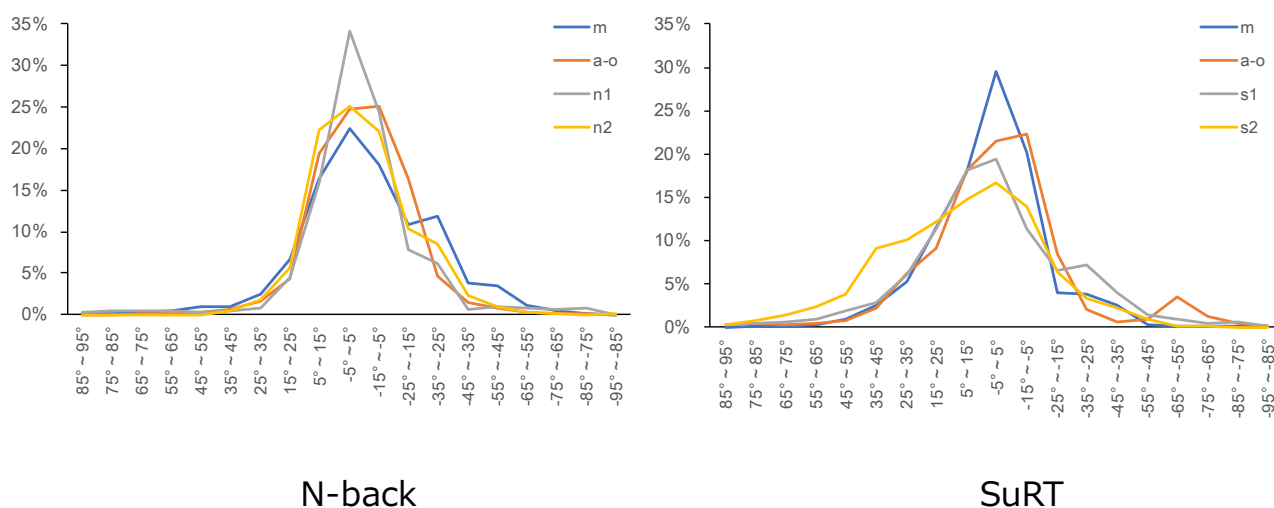
N-back

SuRT

Mean ± SD

Statistical analysis: mixed effect model corrected by Bonferonni

図 4-43 各条件における頭部回転角度の標準偏差



※0度を正面として、プラスの角度は反時計回り（左側）、
 マイナスの角度は時計回り（右側）で表す

図 4-44 頭部回転角度の分布

【考察】

SuRT のモニターは被験者の左側に設置されているため、頭部の向きの平均値が左側に傾いていたと考えられる。また、SuRT 課題の負荷に伴い頭部位置の標準偏差が大きくなった。SuRT 負荷に伴って頭部も頻回に動いているため、この結果が得られたと考えられる。

また、N-back 群では N-back を負荷した方が課題を負荷していない時よりも頭部位置の標準偏差が小さく抑えられた。上述したとおり、本研究では認知課題の負荷によって Gaze Concentration が生じていた。頭部運動についても前方に対する頭部運動の Concentration が生じたと考えられる。ただし、コンパスのデータはノイズが多く、特に SuRT 条件において想定し得ない大きな回転角度が見られることが多かった。今回は、前方 190 度以内に 90%以上のデータがある場合のみ、その後の解析に用いたが、もう少し厳しくする必要があるかもしれない。このノイズの影響は、1 条件の平均値がマイナスとなり、個人差も大きかったことにも影響していたかもしれない。

4.5.2.7.心拍

【統計解析】

統計処理は課題ごと（N-back 課題、SuRT 課題）に行った。心拍数において、条件（N-back 課題：m、a-o、N1、N2；SuRT 課題：m、a-o、S1、S2）を要因とする Mixed effect model を行った。条件の主効果が有意 ($p < 0.05$) な場合、Bonferroni 補正による多重比較を行った。

【結果】

心拍数の平均を図 4-45 に示す。N-back 課題（図 4-45(A)）と SuRT 課題（図 4-45 (B)）の両方で、心拍数における条件の主効果が有意であった（all $p < 0.001$ ）。多重比較の結果、心拍数は N-back 課題と SuRT 課題の両方で a-o 条件で他の条件に比べ有意に低いことが分かった（all $p < 0.05$ ）。その他、N-back 課題では心拍数が N2 条件、m 条件、N1 条件、a-o 条件の順で心拍数が高かった。

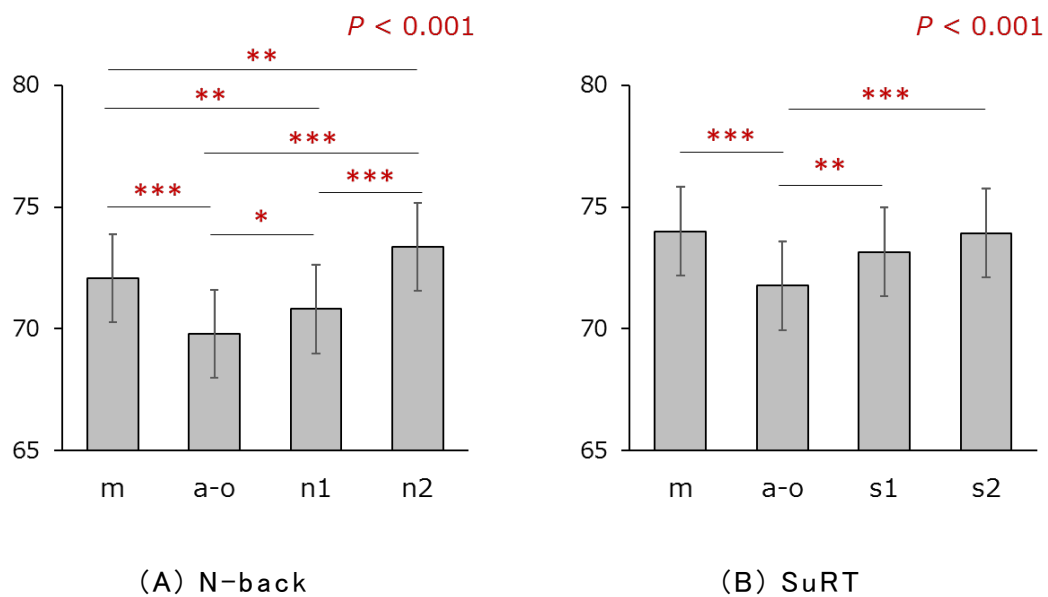


図 4-45 心拍数 (Mean ± S.E.)

【考察】

自動運転課題なし条件では、手動運転条件と比較して、心拍数が減少していた。ACC や HAD の技術を備えた自動運転技術使用時のドライバーは手動運転中のドライバーと比較して心拍数が減少することがドライビングシミュレーターによる研究で示されている (Carsten, Lai, Barnard, Jamson, & Merat, 2012; de Waard, van der Hulst, Hoedemaeker, & Brookhuis, 1999)。一方、心拍数には個人差などの影響を受けやすく、自動運転と手動運転間に差を認めないとする研究もある (de Winter, et al., 2014)。本研究では、N-back 群および SuRT 群の両群において心拍数の減少が認められており、本研究の結果は自動運転が心拍数の減少を引き起こすことを証明した。この結果は自動運転に伴うワークロードの低下を反映していると考えられる。

また、先行研究においても、Mental workload の増加と共に心拍数のわずかな上昇が認められている (Backs and Seljos Int J Psychophysiol. 1994)。N-back 課題および SuRT 課題の負荷が心拍数の増加を引き起こしたと考え

らえる。このことから、手動運転で運転操作による負荷とサブタスクによる負荷を心拍数の指標のみでは切り分けられないと示唆される。すなわち、自分で運転操作をするという負担とサブタスクを行うという負担が同じように心拍数にあらわれることが示された。

4.5.2.8. 血圧

【統計解析】

統計処理は課題ごと（N-back 課題、SuRT 課題）に行った。血圧において、条件（N-back 課題：m、a-o、N1、N2；SuRT 課題：m、a-o、S1、S2）を要因とする Mixed effect model を行った。条件の主効果が有意 ($p < 0.05$) な場合、Bonferroni 補正による多重比較を行った。

【結果】

血圧の平均を図 4-46 に示す。N-back 課題（図 4-46(A)）と SuRT 課題（図 4-46 (B)）の両方で、血圧における条件の主効果が有意であった（all $p < 0.001$ ）。多重比較の結果、N-back 課題では m、N1、N2 条件に比べ a-o 条件で血圧が有意に低かった（all $p < 0.05$ ）。SuRT 課題では、血圧は S1 と S2 条件に比べ m 条件で血圧が有意に低かった（all $p < 0.05$ ）。

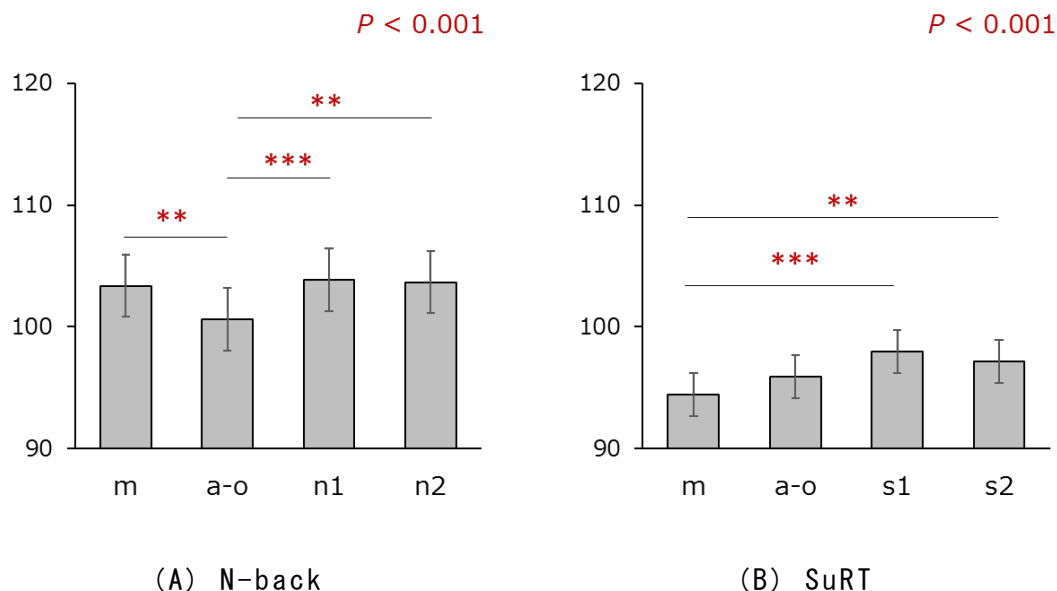


図 4-46 血圧 (Mean ± S.E.)

4.5.3. <TOR 提示後>

4.5.3.1. 運転行動

【統計処理】

統計処理は課題ごと（N-back 課題、SuRT 課題）に行われた。解析対象は、

各条件で最初にイベント A が発生した際の運転パフォーマンスのデータとした。運転パフォーマンス指標において、m 条件を除外した三つの条件 (N-back 課題 : a-o、N1、N2; SuRT 課題 : a-o、S1、S2) を要因とする Mixed effect model を行った。条件の主効果が有意 ($p < 0.05$) な場合、Bonferroni 補正による多重比較を行った。なお、手動運転条件 (m 条件) は、自動走行条件での TOR 発生がないため、先行車の車線変更開始がイベントの発生開始時点となる。そのため、手動運転条件と自動走行条件で停止車両に対して、ドライバーへ注意を喚起するタイミングが異なり、両条件を単純に比較することはできない。そのため、ここでは手動運転での運転パフォーマンスは参考データとして扱う。上記の Mixed effect model から m 条件と外しているのはそのためである。

【結果】

運転パフォーマンス指標における統計解析 (Mixed effect model) の結果を表 4-7 に示す。

表 4-7 運転パフォーマンス指標の統計結果まとめ (p 値)

指標	N-back	SuRT
TOR 後の能動的なアクセル操作のストローク (%)	0.630	0.763
能動的操作からイベント終了までのアクセルストロークの変動係数	0.619	0.876
能動的操作からイベント終了までのアクセルストロークの標準偏差	0.462	0.708
TOR から能動的なアクセル操作までに要した時間	0.565	0.729
TOR 後の能動的なブレーキ操作のストローク (%)	0.200	0.485
能動的操作からイベント終了までのブレーキストロークの変動係数	0.242	0.645
能動的操作からイベント終了までのブレーキストロークの標準偏差	0.822	0.351
TOR から能動的なブレーキ操作までに要した時間	0.074	0.956
レーンチェンジから 5 秒後までの道路基準線からの横偏差の平均	0.064	0.695
レーンチェンジから 5 秒後までの道路基準線からの横偏差の変動係数	0.215	0.691
レーンチェンジから 5 秒後までの道路基準線からの横偏差の標準偏差	0.934	0.698
能動的操作から操舵が安定する (peak と valley が時空間的に最も隣接する)までの時間	0.148	0.944
能動的操作を行ったタイミングの操舵角とレーンチェンジまでの最大 valley との差分	0.634	0.328
レーンチェンジまでの最大 valley とその後ステア安定までの最大 peak との差分	0.816	0.647
TOR 後レーンチェンジまでにかかった時間	0.025	0.322
レーンチェンジから 5 秒後までの車線中央からのオフセット距離の平均	0.398	0.378
レーンチェンジから 5 秒後までの車線中央からのオフセット距離の変動係数	0.792	0.663
レーンチェンジから 5 秒後までの車線中央からのオフセット距離の標準偏差	0.398	0.377
能動的操作からレーンチェンジまでの間の peak と valley の数	0.093	0.462

指標	N-back	SuRT
能動的 操作時・レーンチェンジ時の車速 (m/s)	0.166	0.974
能動的 操作時・レーンチェンジ時の車速 (m/s)	0.403	0.569
TOR 後の能動的なステア操作の角度 (差の絶対値、°)	0.587	0.225
能動的 操作からイベント終了までのステア操作の変動係数	0.533	0.997
能動的 操作からレーンチェンジまでのステア操作の変動係数	0.862	0.923
レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の変動係数	0.687	0.253
能動的 操作からイベント終了までのステア操作の標準偏差	0.652	0.963
能動的 操作からレーンチェンジまでのステア操作の標準偏差	0.889	0.788
レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の標準偏差	0.771	0.126
TOR から能動的なステア操作までに要した時間	0.272	0.646
能動的 操作からレーンチェンジまでに要した時間	0.055	0.797
ステアの能動的 操作を行ったタイミングの TTC (渋滞末尾)	0.310	0.573
レーンチェンジを行ったタイミングの TTC (渋滞末尾)	0.008	0.080

Note. Mixed effect model

この内、条件の効果が有意 ($p < 0.05$) 若しくは有意傾向 ($p < 0.1$) であった指標を図 4-47~4-52 に示す。

TOR から能動的なブレーキ操作までに要した時間を図 4-47 に示す。N-back 課題で条件の主効果が有意傾向であったが ($p = 0.074$)、多重比較の結果、条件間の差に有意若しくは有意傾向はなかった (all $p > 0.1$)。

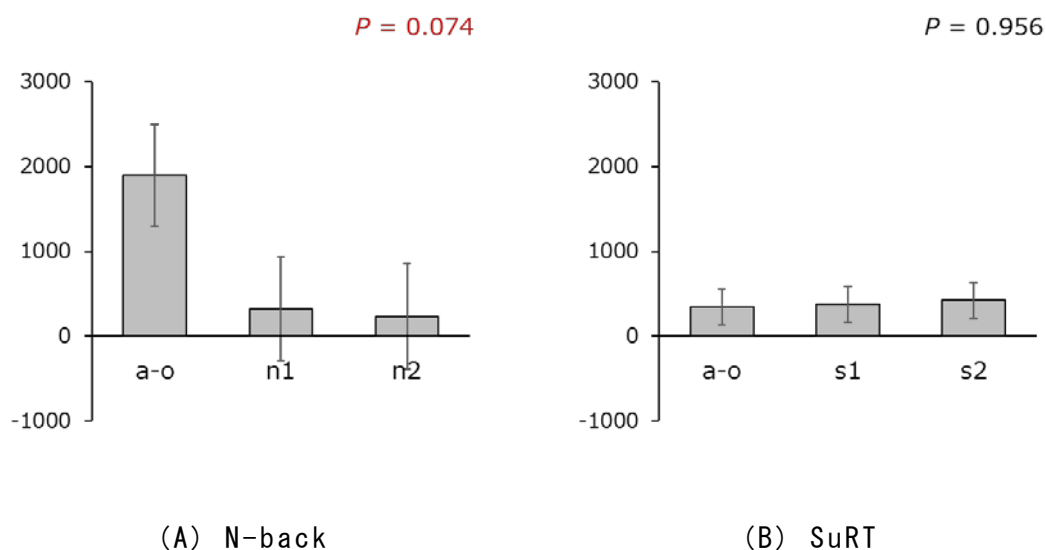


図 4-47 TOR から能動的なブレーキ操作までに要した時間 (Mean ± S.E.)

レーンチェンジから 5 秒後までの道路基準線からの横偏差の平均を図 3-46 に示す。N-back 課題で条件の主効果が有意傾向であった ($p = 0.064$)。多重比較の結果、N-back 課題でレーンチェンジから 5 秒後までの道路基準線からの横偏差の平均は a-o 条件に比べ N2 条件で有意傾向 ($p = 0.063$) で大きかった。

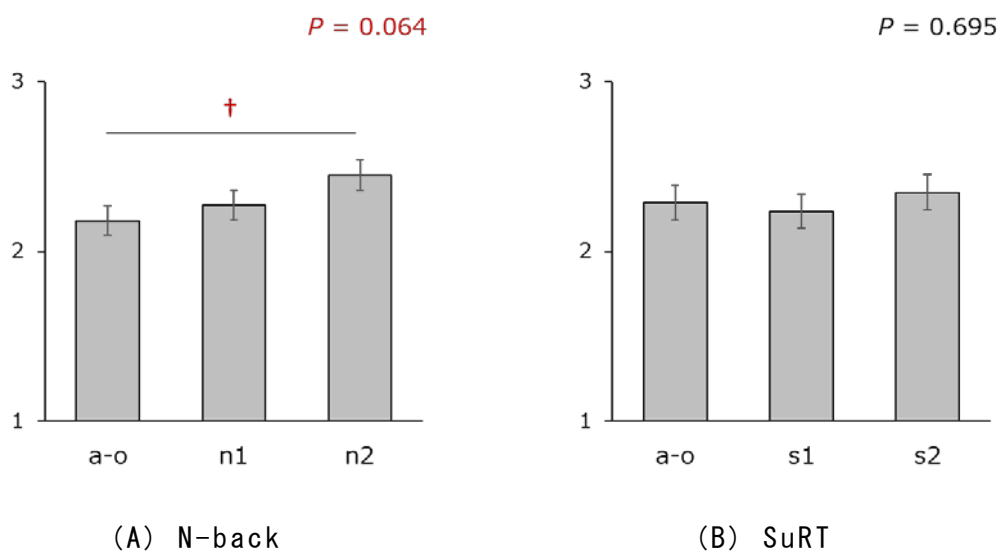


図 4-48 レーンチェンジから 5 秒後までの道路基準線からの横偏差の平均 (Mean \pm S.E.)

TOR 後レーンチェンジまでにかかった時間を図 4-49 に示す。N-back 課題で条件の主効果が有意であった ($p = 0.025$)。多重比較の結果、N-back 課題で TOR 後レーンチェンジまでにかかった時間は a-o 条件と N1 条件に比べ N2 条件で有意又は有意傾向で長かった (a-o vs. N2: $p = 0.032$; N1 vs. N2: $p = 0.098$)。

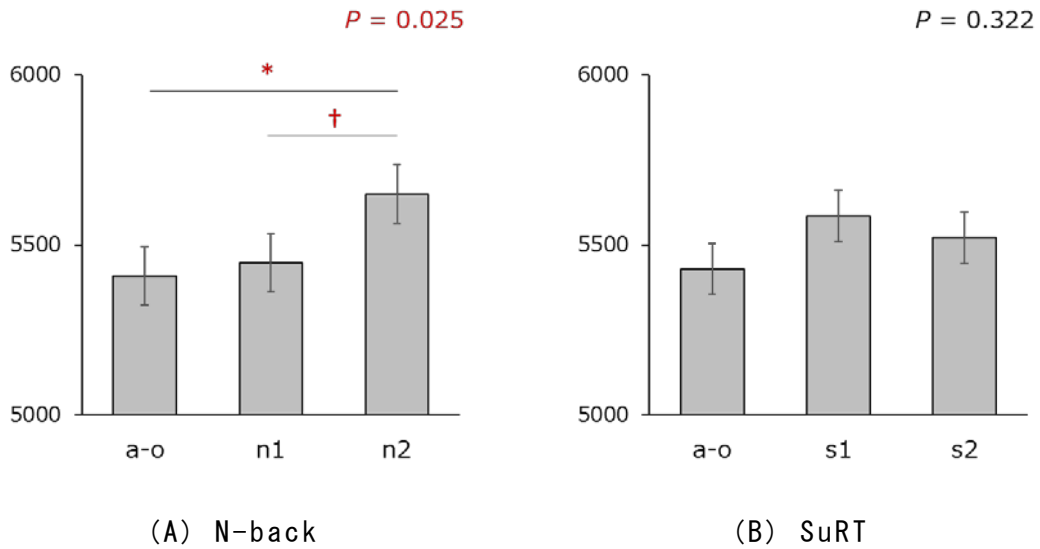


図 4-49 TOR 後レーンチェンジまでにかかった時間 (Mean ± S.E.)

能動的操作からレーンチェンジまでの間の peak と valley の数を図 4-50 に示す。N-back 課題で条件の主効果が有意傾向であったが ($p = 0.093$)、多重比較の結果、条件間の差に有意若しくは有意傾向はなかった (all $p > 0.1$)。

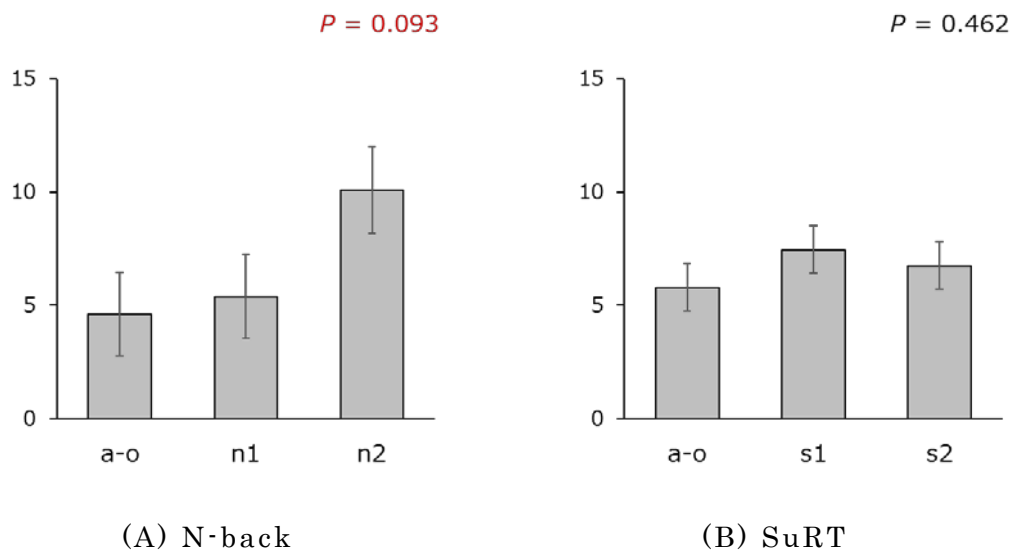


図 4-50 能動的操作からレーンチェンジまでの間の peak と valley の数 (Mean ± S.E.)

能動的操作からレーンチェンジまでに要した時間を図 4-51 に示す。N-back 課題で条件の主効果が有意傾向であった ($p = 0.055$)。多重比較の結果、N-back 課題で能動的操作からレーンチェンジまでに要した時間は a-o 条件に比べ N2 条件で有意傾向 ($p = 0.054$) で長かった。

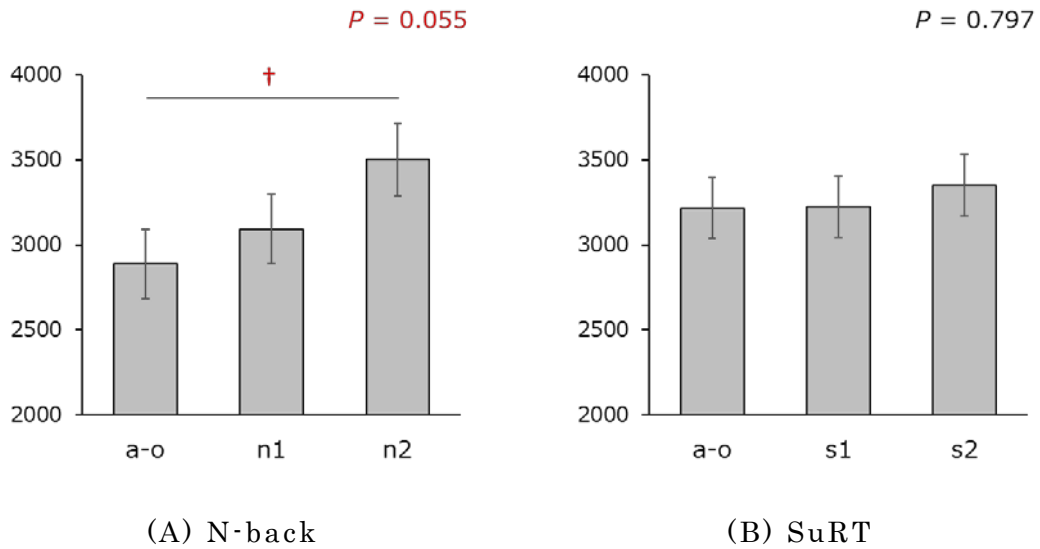


図 4-51 能動的操作からレーンチェンジまでに要した時間 (Mean±S.E.)
レーンチェンジを行ったタイミングの TTC (渋滞末尾) を図 4-52 に示す。
N-back 課題と SuRT 課題の両方で条件の主効果が有意若しくは有意傾向であった (N-back: $p = 0.008$; $p = \text{SuRT: } 0.080$)。多重比較の結果、N-back 課題ではレーンチェンジを行ったタイミングの TTC (渋滞末尾) は N2 条件に比べ a-o 条件で有意 ($p = 0.006$) に大きかった。SuRT 課題では、レーンチェンジを行ったタイミングの TTC (渋滞末尾) は S1 条件に比べ a-o 条件で有意傾向 ($p = 0.076$) で大きかった。

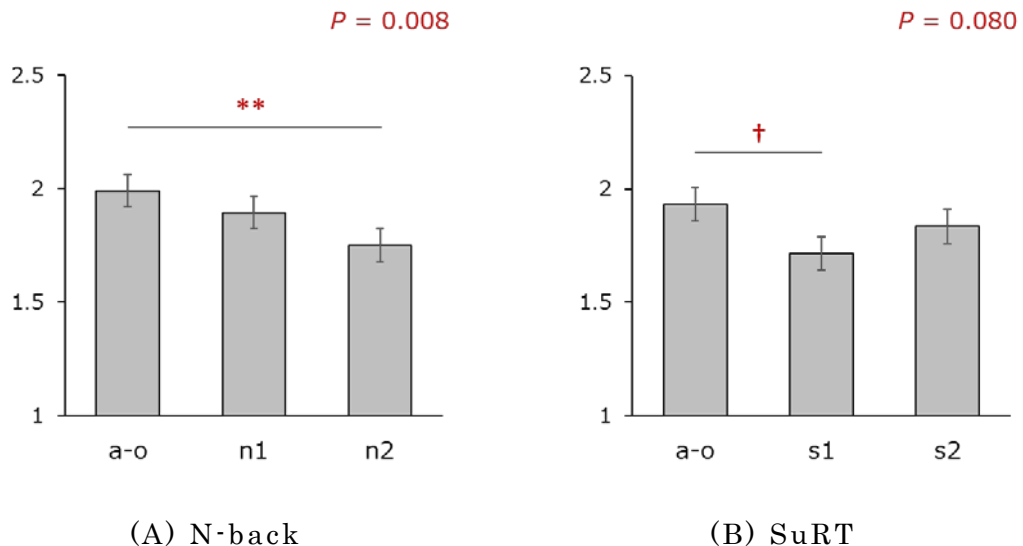


図 4-52 レーンチェンジを行ったタイミングの TTC(渋滞末尾)(Mean±S.E.)
追加解析として、N1 条件と S1 条件との比較、N2 条件と S2 条件との比較を行った (independent t-test)。その内、違いが有意 ($p < 0.05$) 若しくは有意傾向 ($p < 0.1$) であった指標を図 4-53~4-57 に示す。

能動的操作から操舵が安定する（peak と valley が時空間的に最も隣接する）までの時間（図 4-53）は N2 条件に比べ S2 条件で有意（ $p = 0.037$ ）に長かった。

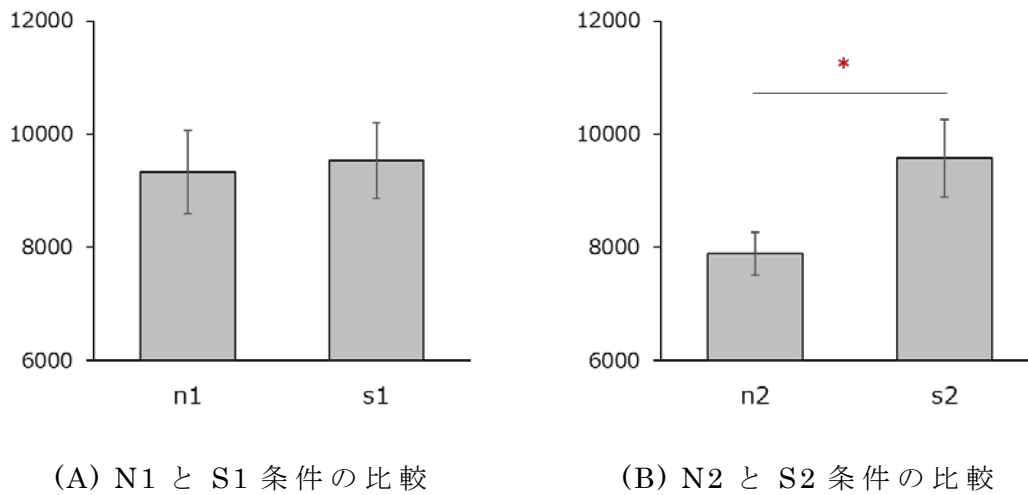


図 4-53 能動的操作から操舵が安定する（peak と valley が時空間的に最も隣接する）までの時間（Mean ± S.E.）

レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の変動係数（図 4-54）は N2 条件に比べ S2 条件で有意傾向（ $p = 0.031$ ）で長かった。

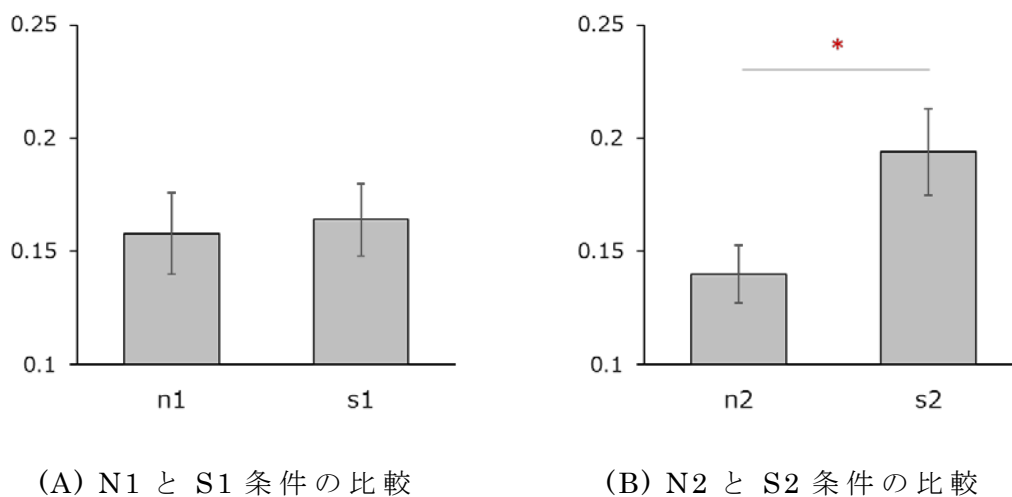
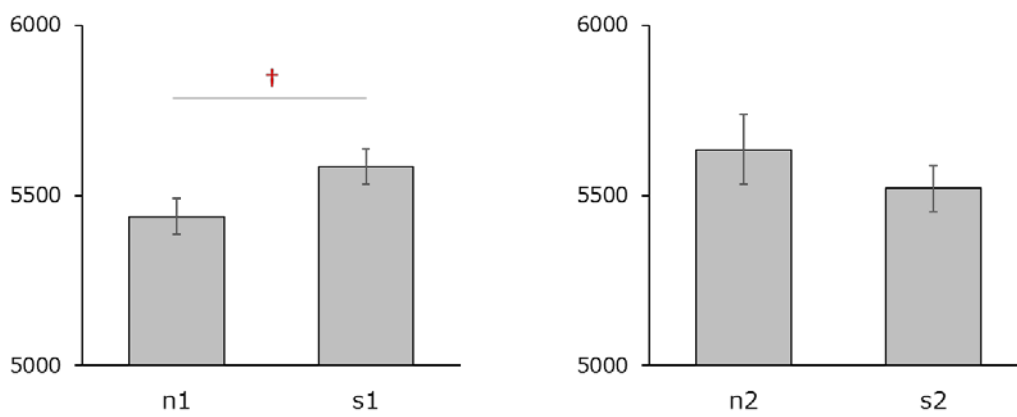


図 4-54 レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の変動係数（Mean ± S.E.）

TOR 後レーンチェンジまでにかかった時間（図 4-55）は N1 条件に比べ S1 条件で有意傾向（ $p = 0.055$ ）で長かった。

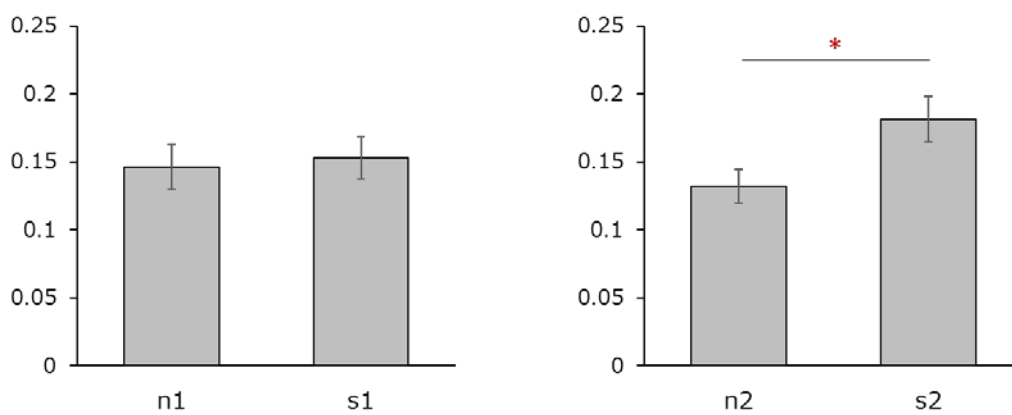


(A) N1 と S1 条件の比較

(B) N2 と S2 条件の比較

図 4-55 TOR 後レーンチェンジまでにかかった時間 (Mean ± S.E.)

レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の標準偏差 (図 4-56) は N2 条件に比べ S2 条件で有意 ($p = 0.027$) に大きかった。



(A) N1 と S1 条件の比較

(B) N2 と S2 条件の比較

図 4-56 レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の標準偏差 (Mean ± S.E.)

レーンチェンジを行ったタイミングの TTC (渋滞末尾) (図 4-57) は S1 条件に比べ N1 条件で有意 ($p = 0.024$) に大きかった。

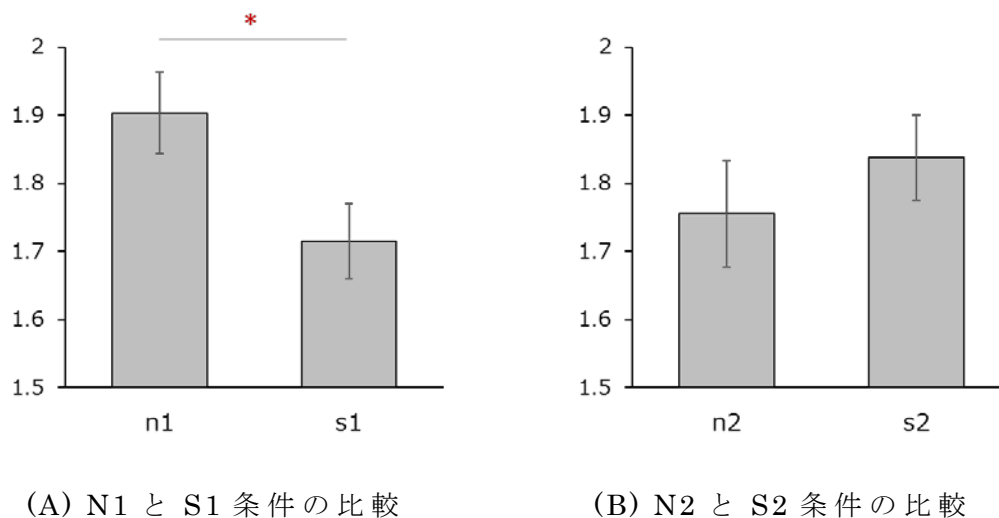


図 4-57 レーンチェンジを行ったタイミングの TTC(渋滞末尾)(Mean±S.E.)

【TOR 後の運転行動の考察】

認知タスクによる負荷状態

N-back 課題では、2-back の方が 1-back に比べて、TOR から車線変更までの時間が有意に長くなり、車線変更時での停止車両との距離が有意に短くなった。車線変更開始時点での停止車両との距離は、1-back と 2-back でほぼ同じであったことから、2-back ではステアリング操作の開始後、すぐに車線変更するのではなく、徐々に右レーンに入っていったと考えられる。

Nback タスクでは、前方を見ているが手による操作はしておらず、意識は Nback タスクの数字聞き取りに集中していた。2back というより意識をサブタスクの方に向けている状態では、TOR や前方停止車両を知覚しても、そのあとの認知・行動計画・判断・実行プロセスが遅く、結果としてより高いリスク領域に陥ったと考えられる。今回の実験においては、TOR は TTC=6 秒前という比較的余裕のあるタイミングで発生したが、TOR が短く回避までに時間的余裕のない状況においては、自動走行中の認知負荷状態による遷移中および遷移後の行動劣化が衝突回避失敗につながる恐れがあると考えられる。

視覚・操作タスクによる負荷状態

有意差は見られなかったものの、SuRT では、難しい課題の方が易しい課題に比べて、車線変更後から 5 秒間のステアリング操作がよりばらつく傾向が見られた。また、車線変更の開始（ステアリング操作の開始）から車線変更をしてステアリング操作が安定する（操舵角 1 度以内に収まる）までの時間は、難しい課題の方が易しい課題に比べて長い傾向であった。TOR の車線変更におけるステアリング操作の結果から、SuRT の難しい課題では、車線変更完了時に右方向から左方向へステアリングを戻す操作が他の条件に比べ

て最も大きい結果であった。SuRT の難しい課題では、車線変更の際、より車両のヘディング角を右に向けて右レーンに入っていく、そこから左方向への戻しがより大きかったと推定される。そのため、車線変更後にステアリング操作がより不安定に（よりばらつきが大きく）なったと考えられる。

SuRT タスクでは手による操作をサブタスクで行っていたこともあり、TOR が出てからすぐに車線を変えるためのステアリング操作を行えたといえる。しかし、TOR 発生前に度々わき見をしており、さらに TOR はわき見中に発生した。そのため、被験者の状況認知は低下していたものと考えられる。被験者は TOR に対して反射的に反応して操舵をしたが、不完全な状況認知に基づいた行動の実行であったと考えられる。前方状況をあまり認識できていない状態であったために、TOR 後の前方の道路線形によらず右レーンへ移れるように真横への移動を意識したステアリング操作となってしまう、結果として車線変更後にステアリング操作が不安定になったと思われる。このような状況が、カーブなど遷移後により精度の高いステアリング操作を必要とされる場面で発生した場合には、ステアリング操作のばらつきが車線の逸脱による並走車や対向車との接触などの状況を発生しうると考えられる。

N-back 課題と SuRT 課題での車線変更の仕方の違いを図 3-56~3-58 にまとめた。

ドライバー状態によって、遷移から遷移後の運転パフォーマンスの劣化は、2 種類ある可能性が示された。認知負荷状態にあるときには、知覚後の認知・判断・実行の処理速度の低下を招き、わき見を伴う視覚・操作の負荷時には、TOR に対する反射的で不正確な操作行動を招く恐れがある。遷移にかかる時間を計測する場合に、ステアリングの把持や初期操作のタイミングによって遷移終了と定義することは不適切であると言える。また SAE J3016 等で定義される *receptivity* の定義に対しては、単に TOR に反応できる状態という解釈ではその後の回避行動のパフォーマンスを保証することができないために注意を要する。

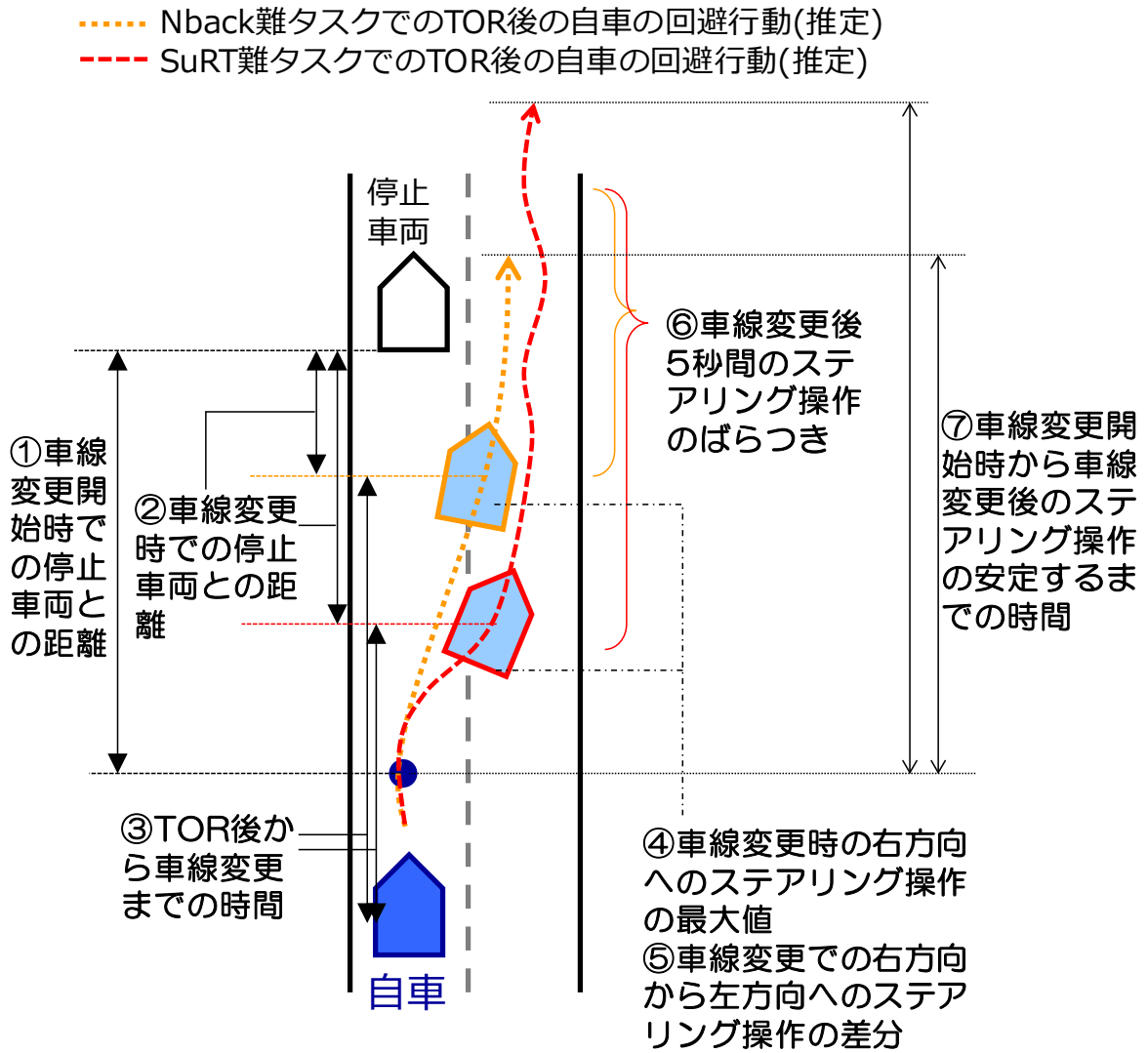


図 4-58 サブタスクの違いによる停止車両回避行動の違い

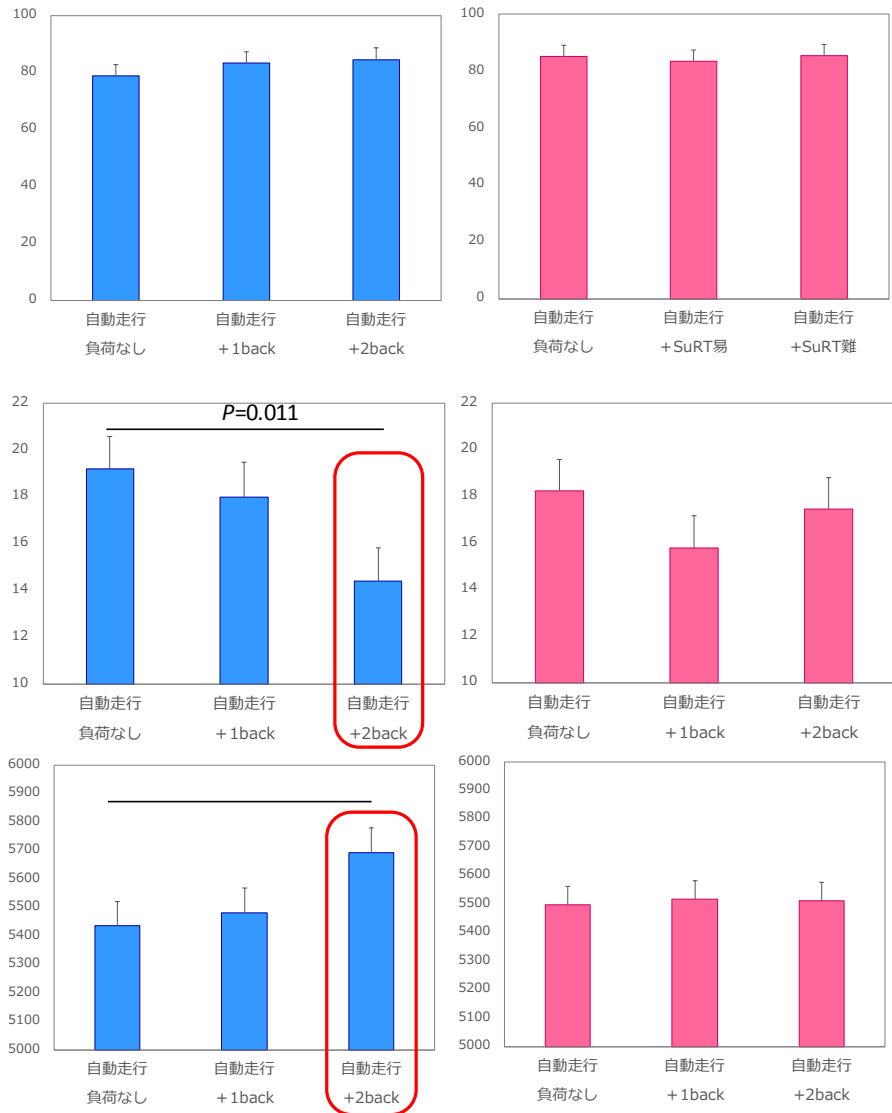


図 4-59 サブタスクの違いによる停止車両回避時の運転行動の違い 1

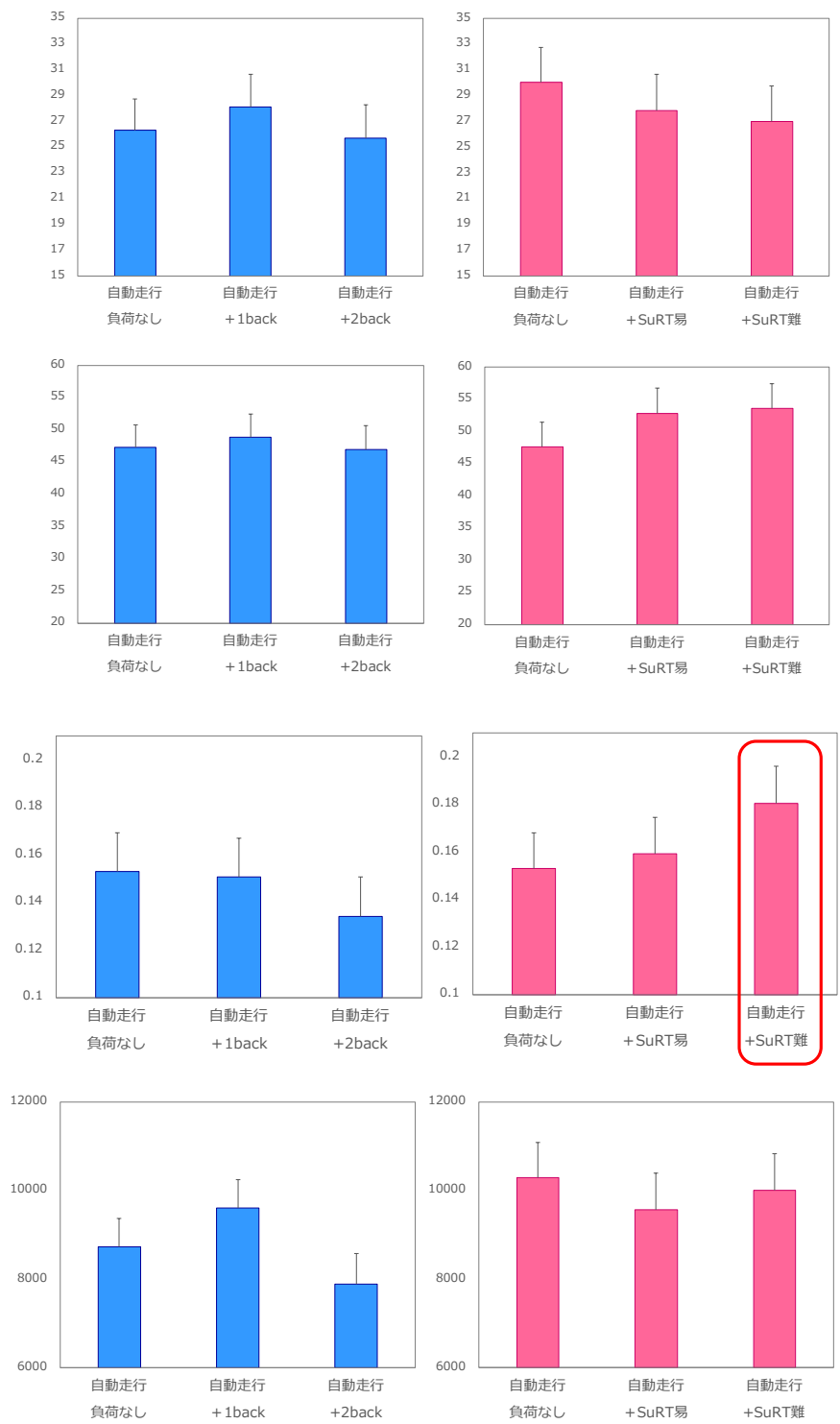


図 4-60 サブタスクの違いによる停止車両回避時の運転行動の違い 2

【画像表示装置ガイドラインとの関係】

SuRT 課題での車載ディスプレイに対する平均視認時間は、易しい条件で

1回あたり 3.9 秒、難しい条件では 1回あたり 6.0 秒であった。TOR 前の 60 秒間で、車載ディスプレイに対する視認時間の合計は、易しい条件で 16.1 秒、難しい条件では 23.2 秒であり、前方から視線を外した時間の合計は、易しい条件で 24.2 秒、難しい条件では 35.9 秒であった。ドライビングシミュレーターによる手動運転での先行研究として、SuRT を実施した事例 (Hsieh, Seaman, & Young, 2015) では、易しい・難しいとも 1回あたりの平均視認時間は約 1.0 秒、前方から視線を外した時間の合計は、120 秒間で易しい条件では約 70 秒、難しい条件では約 75 秒というデータが示されている。

画像表示装置ガイドラインでは、手動運転中の車載ナビの操作に当たって、オクルージョン法による 1回あたりの視認時間は 1.5 秒、総視認時間は 7.5 秒と示されている。本実験では、易しい条件では 1回でタスクを完了し、難しい条件では 1回または 2回 (2回の場合でも総操作時間は 10 秒以内) でタスクを完了していた。従って、総視認時間という観点では、易しい条件、難しい条件ともに 7.5 秒以内でほぼタスクを完了したとみることができたと考えられる。

本実験結果と、上記の先行研究や画像表示装置ガイドラインとを比較すると、被験者に周囲の状況監視を義務づけていた (level2 相当) にもかかわらず、自動走行中での 1回の注視時間は、画像表示装置ガイドラインで規定されるオクルージョン法における 1回の視認時間 (1.5 秒間) に対して、非常に長い結果であった。画像表示装置ガイドラインは、ドライバーの不安感などの実験データをベースに決められており、自動走行においては、状況監視を義務付けられていても、長い時間わき見をする状況が観察された。

以上をまとめると、①自動走行中の視覚・操作タスク実行時の 1回あたりのわき見時間は、たとえドライバーが状況監視義務を理解していたとしても、手動運転のとき (1.5 秒という規定や 1 秒という実験結果) よりもはるかに長いもの (3.9 秒と 6.0 秒) となった。②仮にシステムが手動運転よりも長い 1回あたりのわき見時間を保証するように設計された場合、タスク終了までの相視認時間が 7.5 秒以内にあっても、TOR に対する遷移中および遷移後の運転パフォーマンスがタスクなしの場合と比較して劣化し、それに伴って衝突等のリスクが増加することが起こりうる。

4.5.4. <順序効果>

課題経過時間に伴う覚醒度の低下を反映する指標を検討するために、TORの順序効果を検討した。表 4-8 に統計検定の結果を示した。

表 4-8 TOR の順序効果

	固定効果の Type 3 検定			
	分子の自由度	分母の自由度	F 値	p
サッカー振幅	7	1186	2.26	0.0279
サッカー振幅のばらつき(標準偏差)	7	1188	0.86	0.5357
サッカー回数	7	1200	0.97	0.4518
マイクロサッカー回数	7	1201	2.57	0.0125
マイクロサッカー割合	7	1187	2.00	0.0526
瞳孔径	7	1534	9.05	<.0001
まばたき頻度	7	1504	2.38	0.0201
まばたき持続時間	7	1472	13.84	<.0001
瞬目閉眼相AVR	7	1472	20.39	<.0001
瞬目開眼相AVR	7	1472	6.40	<.0001
1分あたりの閉眼割合	7	1534	3.69	0.0006

TOR の順序効果が有意であった指標を図 4-61 に示した。これらの指標のうち、閉眼時相対速度、開眼時相対速度、瞬目持続時間、閉眼割合は TOR の実施回数が増えるごとに値が大きくなり、瞳孔径と瞬目頻度は TOR の実施回数が増えるほど値が小さくなった。これらの指標はセッション中の時間経過に伴う覚醒度の低下を反映していると考えられる。

一方、サッカー振幅及びマイクロサッカー数は順序の効果が明瞭ではなかった。これらの指標は覚醒度の低下を反映しているとは考えにくい。順序効果が得られた原因については今回のデータからは説明をつけることが困難である。

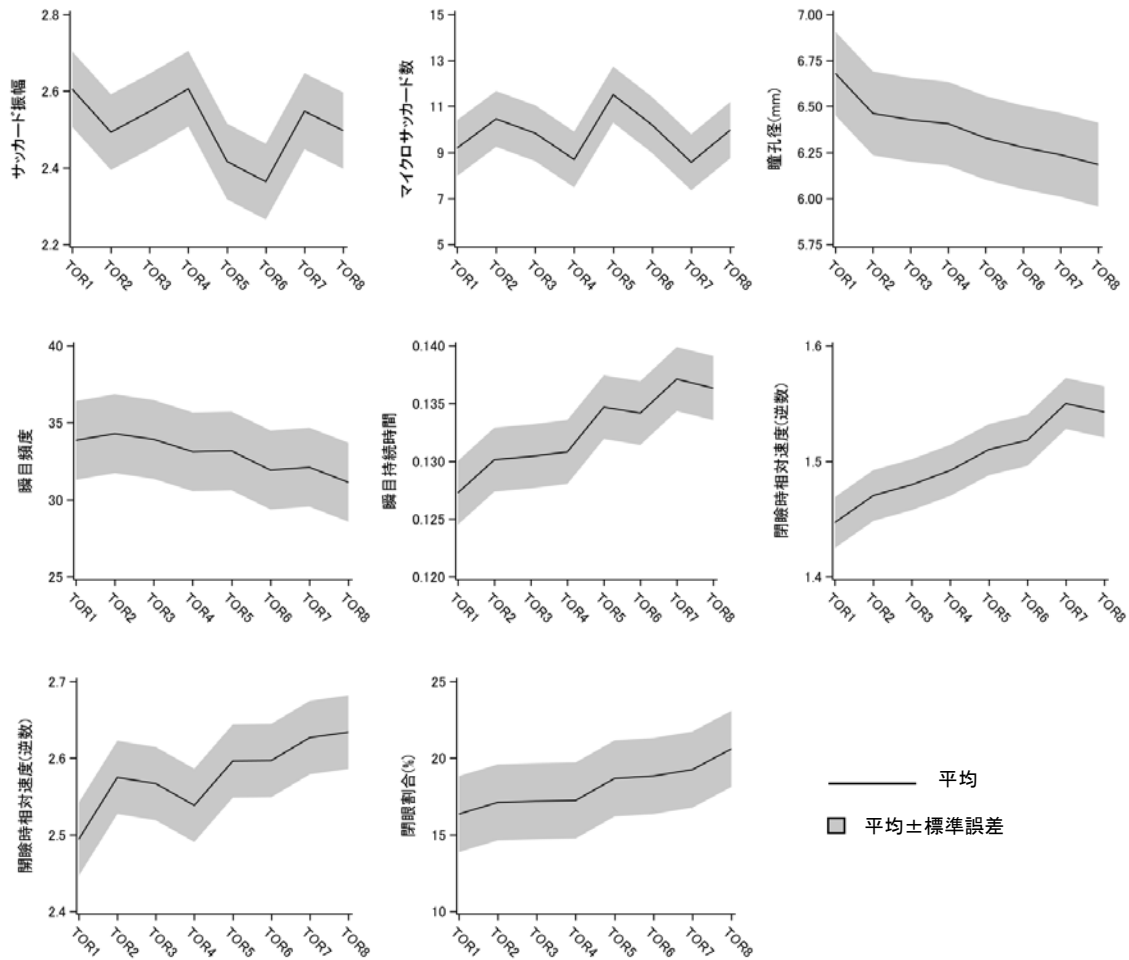


図 4-61 TOR の順序効果

※最小 2 乗平均 ± 標準誤差

4.5.5. < 相 関 >

TOR 前の状態と TOR 後のパフォーマンスとの関連性を検討するために、Pearson の積率相関係数を求めた。課題の進行に伴う順序効果を考慮して、イベント A の 1 回目の試行のみを対象として解析した。N-back 課題では小さいサッカード(40-100 μ V)の生起回数が増えるほど、ステア操作までに要した時間がわずかに短くなった。

表 4-9 N-back 課題でのドライバー状態と運転パフォーマンスとの
関連性

	strcv3	strtime	TTC2
瞬目持続時間	0.062	0.131	0.029
サッカード(40-100 μ V)の生起回数	0.110	-0.275*	0.094
サッカード(200-400 μ V)の生起回数	0.115	-0.151	-0.015
P2-N1振幅	0.242	-0.003	-0.149

Pearson correlation (相関係数r)

STRCV3: レーンチェンジから5秒後までのステア操作の変動係数;

STRTIME: TORから能動的なステア操作までに要した時間;

TTC2: レーンチェンジを行ったタイミングのTTC (渋滞末尾)

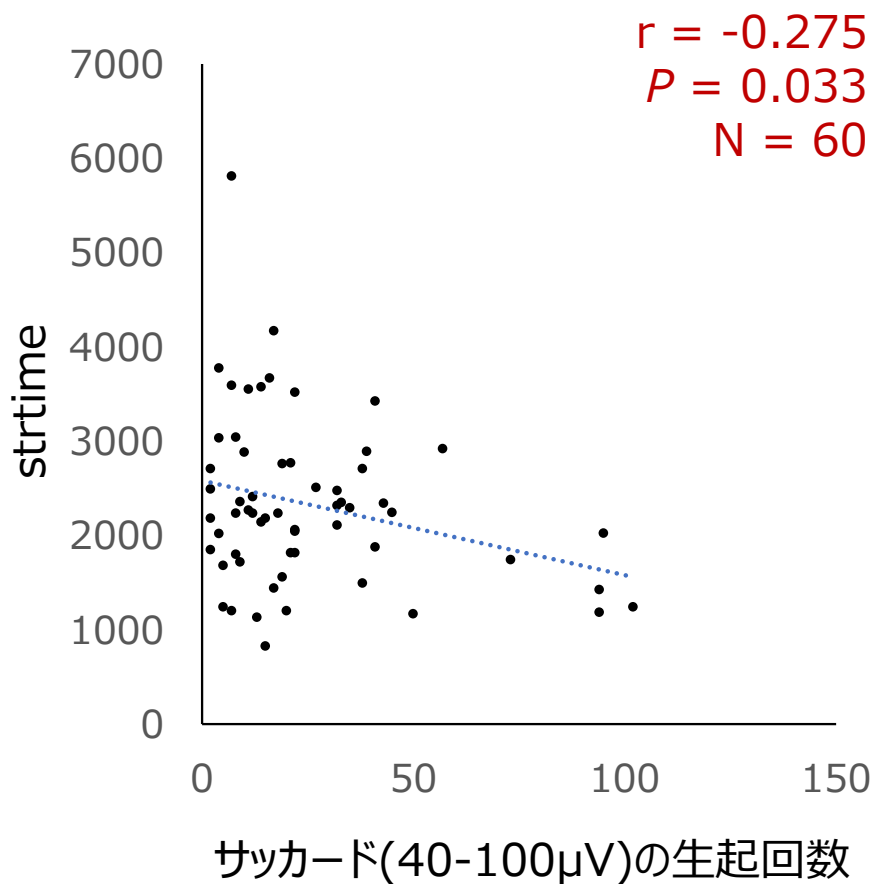


図 4-62 N-back 課題でのサッカード(40-100 μ V)生起回数とステア
操作までに要した時間との関連性

※STRTIME: TOR から能動的なステア操作までに要した時間

SuRT 課題では小さいサッカード(40-100 μ V)の生起回数が増えるほど、また P2-N1 振幅が大きくなるほど、レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の変動係数が大きくなった。

表 4-10 SuRT 課題でのドライバー状態と運転パフォーマンスとの関連性

	strcv3	strtime	TTC2
瞬目持続時間	0.010	-0.018	-0.043
サッカード(40-100 μ V)の生起回数	0.312*	0.053	-0.014
サッカード(200-400 μ V)の生起回数	0.215	0.084	-0.156
P2-N1振幅	0.281*	0.067	0.064

Pearson correlation (相関係数r)

STRCV3: レーンチェンジから5秒後までのステア操作の変動係数;

STRTIME: TORから能動的なステア操作までに要した時間;

TTC2: レーンチェンジを行ったタイミングのTTC (渋滞末尾)

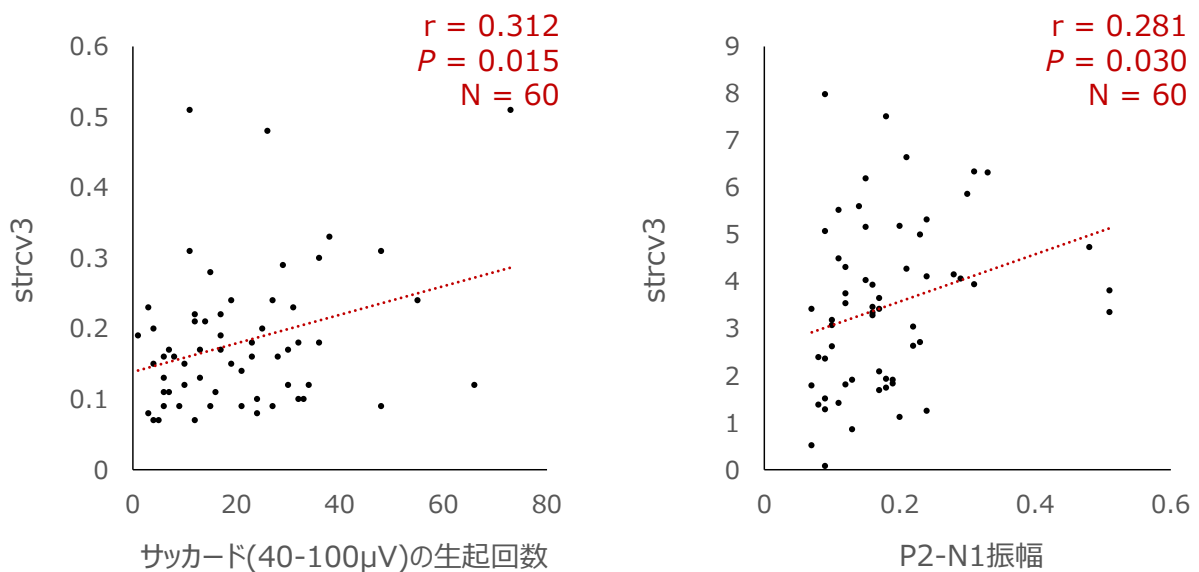


図 4-63 SuRT 課題でのサッカード(40-100 μ V)生起回数とステア操作までに要した時間との関連性

※STRCV3: レーンチェンジから 5 秒後までのステア操作の変動係数

TOR 前の目やまぶたの動きに関するパラメーターが TOR 後のパフォーマンスを予測するのかどうかを検討するために、年齢、性別、TOR 順序でコントロールした偏相関係数を求めた。瞬目頻度が多くなるほど、ステアリングのばらつきが大きくなった。瞬目持続時間が長くなるほど、ステアリングのばらつきが大きく、またレーンチェンジ時点での停止車両末尾までの時間が短くなった。閉眼相の相対速度（逆数）が大きくなるとアクセル操作のばらつきが大きくなった。サッカード頻度やサッカード振幅の標準偏差の値が大きくなると、能動的な操作からレーンチェンジまでの時間が早くなった。また、サッカード振幅の標準偏差が大きくなると、レーンチェンジ時点での停止車

両末尾までの時間が長くなった。マイクロサッカード割合が多くなると、車両のばらつきが大きくなった。PERCLOS の値が大きくなると、能動的操作からレーンチェンジまでの時間が長くなり、レーンチェンジ時点での停止車両末尾までの時間が短くなった。一方、レーンチェンジから 5 秒後までの車両のばらつきは小さかった。瞳孔径が大きくなるとアクセル操作のばらつきが大きくなった。また、レーンチェンジから 5 秒後までの車両のばらつきが小さくなった。

表 4-11 目やまぶたの動きに関するパラメーターと運転パフォーマンスとの関連性

	ACCCV	ACCSO	ACCTIME	STRCV	STRSD	STRTIME	STRTIME2	STRCV2	STRSD2	STRCV3	STRSD3	OFFSETCV	OFFSETSD	TTC1	TTC2
瞬目頻度	-0.01	-0.06	-0.04	0.04	0.05	-0.07	0.02	0.12*	0.11*	0.16*	0.14*	-0.05	-0.01	0.07	-0.05
瞬目持続時間	-0.01	0.01	0.07	0.02	0.02	0.08	0.05	0.07	0.08	0.12*	0.14*	-0.07	-0.07	-0.06	-0.18*
閉眼相の相対速度(逆数)	0.05	0.11*	0.04	0.07	0.06	0.04	0.07	0	0.01	0.08	0.1	-0.06	-0.054	-0.03	-0.03
サッカード頻度	-0.04	0	-0.02	0.04	0.04	0.06	-0.11*	0.02	-0.01	0.05	0.06	0.08	0.03	-0.05	0.07
マイクロサッカード割合	0.02	-0.03	0.04	-0.07	-0.08	0.03	-0.04	-0.07	-0.07	-0.05	-0.07	-0.11*	0.01	-0.04	-0.03
サッカード振幅	-0.01	0.01	-0.05	0	0	0	-0.04	0.02	0	-0.03	-0.02	0.07	-0.01	0.01	0.09
サッカード振幅の標準偏差	-0.01	-0.01	0	-0.06	-0.07	0.04	-0.10*	0.01	-0.02	-0.06	-0.05	0.05	0.02	-0.03	0.11*
1分あたりの閉眼割合	-0.05	-0.06	0.08	0.02	0.02	-0.09	0.20*	0.02	0.02	0.04	0.05	-0.17*	-0.11*	0.09	-0.18*
瞳孔径	0.02	0.05	0.17*	-0.03	-0.05	-0.01	0.06	-0.01	-0.01	0.01	0	-0.21*	-0.08	0.01	0.04

年齢、性別、TORの順序でコントロールした偏相関係数を求めた。ACCCV: 能動的操作からイベント終了までのアクセルストロークの変動係数; ACCSO: 能動的操作からイベント終了までのアクセルストロークの標準偏差; ACCTIME: TORから能動的なアクセル操作までに要した時間; STRCV: 能動的操作からイベント終了までのステア操作の変動係数; STRSD: 能動的操作からイベント終了までのステア操作の標準偏差; STRTIME: TORから能動的なステア操作までに要した時間; STRTIME2: 能動的操作からレーンチェンジまでに要した時間; STRCV2: 能動的操作からレーンチェンジまでのステア操作の変動係数; STRSD2: 能動的操作からレーンチェンジまでのステア操作の標準偏差; STRCV3: レーンチェンジから5秒後までのステア操作の変動係数; STRSD3: レーンチェンジから5秒後までのステア操作の標準偏差; OFFSETCV: レーンチェンジから5秒後までの車線中央からのオフセット距離の変動係数; OFFSETSD: レーンチェンジから5秒後までの車線中央からのオフセット距離の標準偏差; TTC1: ステアの能動的操作を行ったタイミングのTTC(渋滞末尾); TTC2: レーンチェンジを行ったタイミングのTTC(渋滞末尾)

4.5.5.1.<予測式>

目やまぶたの動きから、重回帰式を用いて、SuRT群、N-back群ごとに運転パフォーマンスを予測する式を検討した。ステップワイズ法を用いて、上記の変数および性別、年齢、TORの順序を独立変数に投入した。SuRT群において、レーンチェンジ時点での停止車両末尾までの時間を予測する式のR²乗値が最も大きかった (R²=0.47, F_{9,173}=17.07, p <.0001)。

レーンチェンジ時点での停止車両末尾までの時間(秒)

$$\begin{aligned}
 &= 1.02 + 0.11 \times \text{性別} + 0.01 \times \text{年齢} - 0.04 \times \text{TOR 順序} - 0.008 \\
 &\times \text{瞬目回数} - 2.43 \times \text{瞬目持続時間} - 0.002 \times \text{サッカード回数} - 0.07 \\
 &\times \text{サッカード振幅} + 0.03 \times \text{サッカード振幅の標準偏差} - 0.009 \\
 &\times \text{閉眼割合} + 0.06 \times \text{瞳孔径}
 \end{aligned}$$

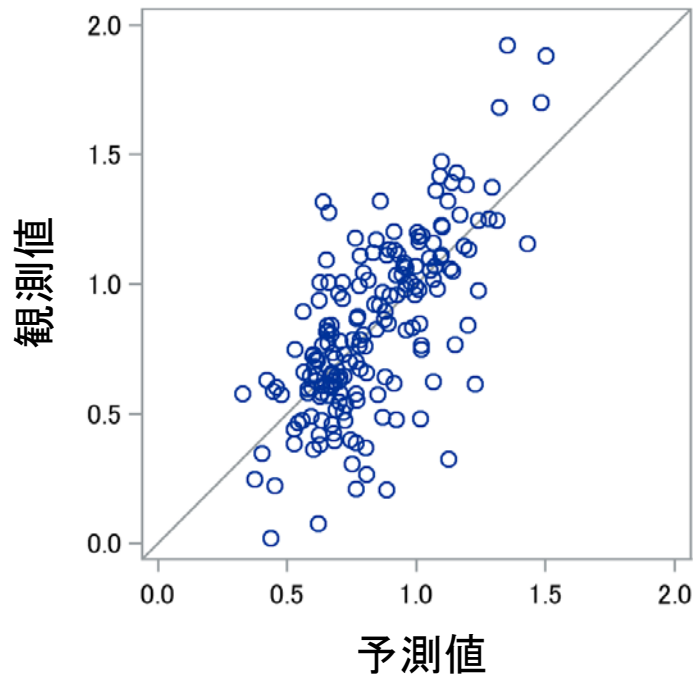


図 4-64 レーンチェンジ時点での停止車両末尾までの時間（観測値）と目とまぶたのパラメーターによる予測値（SuRT 群）

4.5.5.2.<個人間要因>

全分散に対して個人差要因による分散の割合を検討するために、variance components analysis を実施した。表 4-12 に結果を示した。ICC は 0 から 1 までの値をとり、0.0-0.20 を slight, 0.21-0.40 を fair, 0.41-0.60 を moderate, 0.61-0.80 を substantial、0.81-1.00 を almost perfect と判定する (Landis & Koch, 1977)。瞬目頻度、瞬目持続時間、瞬目閉瞼相の相対速度（逆数）、瞬目開瞼相の相対速度（逆数）瞳孔径は個人間の変動が大きく、サッカード回数、マイクロサッカード回数、マイクロサッカード割合、1 分あたりの閉眼割合（瞳孔ベース）は個人間の変動が中程度であり、サッカード振幅、サッカード振幅の標準偏差は個人間の変動の影響が比較的小さいことが分かる。

表 4-12 分散成分解析

パラメーター	ICC*
瞳孔径	0.79
瞬目頻度	0.76
瞬目持続時間	0.68
瞬目閉瞼相の相対速度(逆数)	0.63
瞬目開瞼相の相対速度(逆数)	0.63
サッカード回数	0.59
1分あたりの閉眼割合(瞳孔ベース)	0.50
マイクロサッカード割合	0.46
マイクロサッカード回数	0.45
サッカード振幅	0.39
サッカード振幅の標準偏差	0.30

* IntraClass Correlation

4.5.5.3.<高速道路出口シナリオ>

カロリンスカ眠気尺度で測定した主観的眠気は 6.7 ± 2.1 、日本疲労学会式疲労尺度を用いて測定した主観的疲労は 55.5 ± 25.0 であった。

TOR 呈示直前 1 分間に 3 秒以上の睡眠脳波が出現したかどうかに基づいて、覚醒度を分類した。1 分の間に睡眠脳波が出現した場合を低覚醒度、出現しなかった場合を高覚醒度とした。年齢と性別を共変量として、目やまぶたの動きに関する各パラメーターに及ぼす覚醒度の効果を線形回帰モデルを用いて検討した。表 4-13 に覚醒度の効果を示した。低覚醒度の状態では、瞬目回数の減少、閉瞼相の相対速度(逆数)の増加、瞬目持続時間の増加、開瞼度の減少、瞬目割合の低下、PERCLOS(開瞼度ベース、瞳孔ベースとも)の増加、瞳孔径の収縮、サッカード回数の減少を認めた。

表 4-13 睡眠状態の有無と目やまぶたの動きの関係

目とまぶたの動きに関するパラメーター	低覚醒度 Microsleep(+)	高覚醒度 Microsleep(-)	自由度		F	p
			分子	分母		
瞬目回数	9.6(-0.4 - 19.6)	31.5 (23.5 - 39.5)	3	39	11.38	0.0017
閉瞼相の相対速度(逆数)	2.1(1.9 - 2.4)	1.5 (1.3 - 1.7)	3	34	17.39	0.0002
開瞼相の相対速度(逆数)	3.0(2.8 - 3.3)	2.6 (2.4 - 2.8)	3	34	6.73	0.0139
瞬目持続時間	164.7(151.0 - 178.3)	136.1 (126.4 -145.7)	3	34	11.27	0.002
開瞼度	21.7(14.7 - 28.8)	55.6 (50.3 - 61.0)	3	39	57.03	<.0001
PERCLOS(開瞼度ベース)	52.5 (41.4 - 63.7)	8.9 (0.5 - 17.4)	3	39	37.98	<.0001
瞬目割合	7.5 (1.1 - 13.9)	20.1 (15.2 - 25.0)	3	39	9.4	0.0039
PERCLOS(瞳孔ベース)	63.7 (52.8 - 74.5)	22.5 (13.8 - 31.1)	3	39	34.33	<.0001
瞳孔径	4.2 (3.3 - 5.1)	6.7 (6.0 - 7.4)	3	39	11.18	0.0018
サッカード回数	16.3 (2.3 - 30.2)	45.1 (33.9 - 56.4)	3	46	9.79	0.003
サッカード振幅	2.2 (1.8 - 2.5)	2.3 (2.0 - 2.5)	3	40	0.28	0.6011
サッカード速度	140.5 (117.1 - 164.0)	147.5 (129.3 - 165.6)	3	40	0.2	0.6542
マイクロサッカード回数	4.8 (-0.6 - 10.2)	11.4 (7.0 - 15.7)	3	46	3.34	0.074
マイクロサッカード割合	29.8 (19.2 - 40.3)	19.1 (10.9 - 27.3)	3	40	2.35	0.1329

4.5.6. TOR 前の状態による TOR 後の運転パフォーマンスの予測

TOR 前のパラメーターを用いてステアリング操作までの時間を予測する式を線形回帰モデルを用いて検討した。睡眠脳波の持続時間、開瞼度、PERCLOS(開瞼度ベース)、PERCLOS(瞳孔ベース)、瞳孔径がステアリング操作までの時間を予測する変数として有意であった。

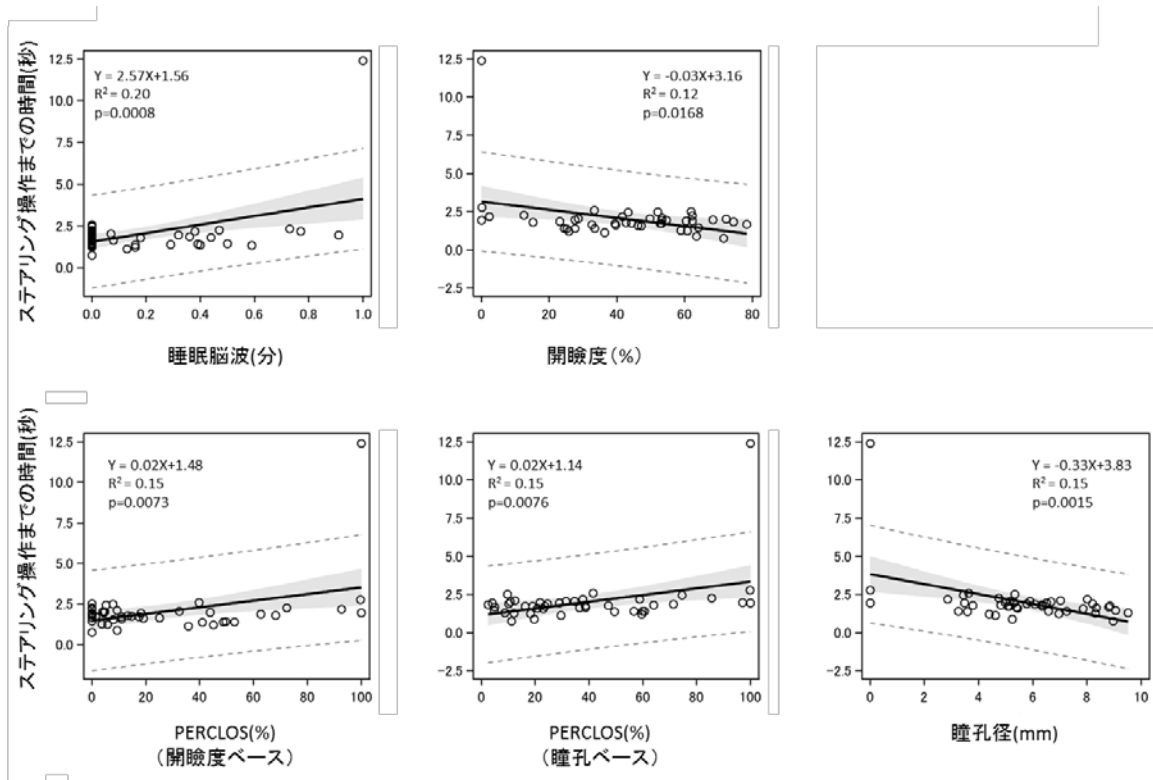


図 4-65 ステアリング操作までにかかった時間の予測(単回帰)

年齢と性別を共変量として、TOR 前のパラメーターを用いてステアリング操作までの時間を予測する式を線形回帰モデルを用いて検討した(表 4-14)。睡眠脳波の持続時間、開瞼度、PERCLOS(開瞼度ベース)、PERCLOS (瞳孔ベース)、瞳孔径がステアリング操作までの時間を予測する変数として有意であった。

表 4-14 ステアリング操作までの時間と目やまぶたの動きの関連性

目とまぶたの動きに関するパラメーター	単変量				多変量*			
	自由度		F	p	自由度		F	p
	分子	分母			分子	分母		
Microsleep	1	51	12.85	0.0008	1	49	19.71	<.0001
瞬目回数	1	42	2.47	n.s.	1	40	1.74	n.s.
閉瞼相の相対速度(逆数)	1	36	2.77	n.s.	1	34	2.13	n.s.
開瞼相の相対速度(逆数)	1	36	0.03	n.s.	1	34	0.27	n.s.
瞬目持続時間	1	36	0.82	n.s.	1	34	2.7	n.s.
開瞼度	1	44	6.18	0.0168	1	42	5.87	0.0198
PERCLOS(開瞼度ベース)	1	44	7.93	0.0073	1	42	9.33	0.0039
瞬目割合	1	44	2.46	n.s.	1	42	2.06	n.s.
PERCLOS(瞳孔ベース)	1	43	7.85	0.0076	1	41	6.44	0.0151
瞳孔径	1	43	11.57	0.0015	1	41	7.97	0.0073
サッカード回数	1	50	1.39	n.s.	1	48	1.95	n.s.
サッカード振幅	1	44	0.03	n.s.	1	42	1.49	n.s.
サッカード速度	1	44	0.08	n.s.	1	42	1.54	n.s.
マイクロサッカード回数	1	50	0.31	n.s.	1	48	0.43	n.s.
マイクロサッカード割合	1	44	0.84	n.s.	1	42	0.3	n.s.

*性別、年齢で調整した。

次に回帰式を示した。ステアリング操作までの時間が長くなるほど、睡眠脳波の持続時間、PERCLOS(開瞼度ベース)、PERCLOS (瞳孔ベース)の値は増加し、開瞼度、瞳孔径の値は減少した。性別に関しては女性を 1、男性を 0 としている。PERCLOS1 は開瞼度ベースと瞳孔ベースの PERCLOS をそれぞれ PERCLOS1、PERCLOS2 とした。

ステアリング操作までの時間(秒)

$$= -0.20 + 3.12 \times \text{睡眠脳波出現時間(分)} + 0.33 \times \text{性別} + 0.04 \times \text{年齢}$$

ステアリング操作までの時間(秒)

$$= -1.87 - 0.03 \times \text{開瞼度(％)} + 0.24 \times \text{性別} + 0.03 \times \text{年齢}$$

ステアリング操作までの時間(秒)

$$= -0.09 + 0.02 \times \text{PERCLOS1(％)} + 0.19 \times \text{性別} + 0.03 \times \text{年齢}$$

ステアリング操作までの時間(秒)

$$= 0.12 + 0.02 \times \text{PERCLOS2(％)} + 0.28 \times \text{性別} + 0.02 \times \text{年齢}$$

ステアリング操作までの時間(秒)

$$= 3.00 - 0.29 \times \text{瞳孔径(mm)} + 0.16 \times \text{性別} + 0.01 \times \text{年齢}$$

TOR 後に 2 車線から 3 車線に変更後、高速道路出口側の車線に移動し、高速道路から出ることに成功したかどうかと関連する TOR 前の要因を単回帰

ロジステック回帰分析を用いて検討した。Wald 統計量を用いて、検定を行った。

表 4-15 に高速道路から出口に向かった被験者と出口から出ることにより失敗した被験者を予測する要因を示した。表にはオッズ比および 95%信頼区間を示している。単変量ロジステック回帰分析の結果、課題の失敗と関連する要因は高齢（年齢が 1 歳あがるごとにオッズ比は 1.08 上昇）することが分かった。TOR 前の覚醒度の状態は高速道路出口への移動の成否との関連性を認めなかった。

表 4-15 高速出口への移動の失敗と関連する要因

目とまぶたの動きに関するパラメーター	Univariate Model		
	Odds ratio	(95%CI)	<i>p</i>
性別	0.792	(0.236-2.650)	<i>n.s.</i>
年齢	1.08	(1.021-1.142)	0.0076
睡眠脳波	1.243	(0.125-12.327)	<i>n.s.</i>
瞬目回数	1.001	(0.969-1.035)	<i>n.s.</i>
閉瞼相の相対速度(逆数)	0.272	(0.019-3.863)	<i>n.s.</i>
開瞼相の相対速度(逆数)	0.537	(0.096-2.996)	<i>n.s.</i>
瞬目持続時間	0.016	(<0.001->999.999)	<i>n.s.</i>
開瞼度	1.009	(0.976-1.043)	<i>n.s.</i>
PERCLOS(開瞼度ベース)	0.986	(0.960-1.012)	<i>n.s.</i>
瞬目割合	1.015	(0.965-1.067)	<i>n.s.</i>
PERCLOS(瞳孔ベース)	1.00	(0.976-1.025)	<i>n.s.</i>
瞳孔径	0.803	(0.589-1.094)	<i>n.s.</i>
サッカード回数	1.00	(0.979-1.021)	<i>n.s.</i>
サッカード振幅	0.959	(0.370-2.483)	<i>n.s.</i>
サッカード速度	0.998	(0.982-1.013)	<i>n.s.</i>
マイクロサッカード回数	0.992	(0.933-1.054)	<i>n.s.</i>
マイクロサッカード割合	1.002	(0.968-1.038)	<i>n.s.</i>

4.5.7. <全体考察>

【ドライバー状態による指標の変化】

ドライバー状態による指標の変化を表 4-16 にまとめた。

表 4-16 ドライバー状態による指標の変化

指標	自動運転 ^{※1}	Nback ^{※2}	SuRT ^{※2}	覚醒度 ^{※3}	
脳活動(脳波)	課題非関連プローブ法によるP2-N1振幅	↑	↓	↑	NA
	EFRP elicited by small saccades(小さいサッカードでの眼球停留関連電位)	-	↓	-	NA
瞳孔径	EFRP elicited by large saccades(大きいサッカードでの眼球停留関連電位)	-	-	-	NA
	瞳孔径	↓	↑	-	↓
眼球運動(目の動き)	PERCLOS(1分あたりの閉眼割合:瞳孔径ベース)	↑	↓ ^{※4}	↓ ^{※4}	↑
	サッカード振幅	↑	↑	↑	-
	サッカード速度	-	↑	↑	-
	サッカード振幅のばらつき	↑	-	↑	NA
	サッカード(40-100 μ V)の生起回数	-	↑	↑	NA
	サッカード(200-400 μ V)の生起回数	↑	-	↑	NA
	サッカード回数(眼球回転角度が0.1度から約10度までのサッカード)	↓	↓	↑	↓
	マイクロサッカード回数(眼球回転角度1度以下のサッカード)	↓	↓	↓	↓
	マイクロサッカード割合(マイクロサッカード数/サッカード数×100%)	-	↓	↓	-
	視線配置(フロントガラスへの視線割合)	-	↑	↓	NA
	フロントガラスへの視線持続時間	-	↑	↓	NA
	視線配置(中央ディスプレイへの視線割合)	-	-	↑	NA
	中央ディスプレイへの視線持続時間	-	-	↑	NA
	眼瞼運動(まぶたの動き)	まばたき頻度	-	↑	↑
まばたき持続時間		↑	-	↓	↑
瞬目閉瞼相の相対速度(逆数)		↑	↓	↓	↑
瞬目開瞼相の相対速度(逆数)		↑	↓ ^{※4}	↓ ^{※4}	↑
開瞼度		NA	NA	NA	↓
PERCLOS(1分あたりの閉眼割合:開瞼度ベース)		NA	NA	NA	↑
頭部運動(顔向き)	瞬目割合	NA	NA	NA	↓
	平均	-	-	↑	NA
自律神経系活動	頭の動きのばらつき	-	↓	↑	NA
	心拍数	↓	↑	↑	NA
	血圧	-	↑	-	NA

-:有意差なし;NA:測定していない項目;※1:群(nback, surt)ごとに検定を行っている場合は、両群ともに手動運転条件と自動運転課題なし条件に差を認めた場合に矢印で値の増減を示した。両群をまとめて検定している場合は、条件の主効果の下位検定の結果が手動運転条件と自動運転課題なし条件に差を認めた場合に、矢印で値の増減を示した。※2:自動運転課題なし条件と高難易度条件もしくは低難易度条件のいずれかで有意差を認めた場合、または低難易度条件と高難易度条件との間に有意差を認めた場合に矢印で値の増減を示した。※3:3秒以上の睡眠脳波が出現しているかどうかで群分けをした。睡眠脳波が出現していなかった場合と比較して睡眠脳波が出現した場合に指標の値がどのように動いたかを矢印の方向で示した。※4:群×条件の交互作用を認めなかったため、条件の主効果による下位検定の結果を示した。

ワークロード:手動運転と比較して自動運転課題なし条件では、課題非関連プローブ法による P2-N1 振幅の増大、瞳孔径の収縮、PERCLOS の増加、サッカード振幅およびばらつきの増加、大きいサッカード(眼電位振幅 200-400 μ v)の生起回数の増加、マイクロサッカードの減少、まばたき持続時間の増加、瞬目閉瞼相・開瞼相の相対速度の増加、心拍数の減少を引き起こすことが分かった。これらの指標の変化は、自動運転に伴う運転作業負荷(ワークロード)の低下に伴い、自動運転中に外界の音刺激に対する注意配分量が増加するが(P2-N1 振幅の増大)、固視している視覚対象から視覚情報を取り込む活動は減少するとともに(マイクロサッカードの減少)、覚醒度が低下し(PERCLOS の増加、瞳孔径の収縮、まばたき相対速度(逆数)の増加)、緊張状態が低くなる(心拍数の低下)現象を反映していると考えられる。

Cognitive Distraction (意識の脇見) の効果: N-back 課題を用いて Cognitive Distraction を負荷した結果、課題非関連プローブ法による P2-N1

振幅の低下、小さいサッカード(40-100 μ V)での眼球停留関連電位の低下、瞳孔径の増大、PERCLOSの低下、サッカード振幅の増大、小さいサッカード(40-100 μ V)の増加、マイクロサッカードの減少、フロントガラスへの視線割合および持続時間の増加、まばたき頻度の増加、瞬きの相対速度(逆数)の増加、頭部運動のばらつきの減少、心拍数及び血圧の増大を認めた。これらの指標の変化は、自動運転中の **Cognitive Distraction** の負荷が、**Gaze Concentration** を引き起こし、視線や頭部が前方を向く時間を多くするとともに、頭部の動きが抑えられるが(フロントガラスへの視線割合および持続時間の増加、頭部運動のばらつきの減少)、**N-back** 課題を実施することで外界の音刺激に対する注意配分量が減少するとともに(**P2-N1** 振幅の低下)、視覚情報を物理的に取り込む活動が低下(まばたきの増加)したために生じたと考えられる。また、マイクロサッカードの減少や眼球停留関連電位の低下は、自動運転中の **Cognitive Distraction** の負荷が視覚情報に視線を向けても視覚情報を取り込むための活動を低下させるとともに、視線を移動しても視覚野での視覚情報処理活動を低下させるために生じたと考えられる。さらに、PERCLOSの低下、瞬きの相対速度(逆数)の増加、心拍数及び血圧の増大は、認知課題を負荷することによる、覚醒度と緊張状態の増加によって生じたと考えられる。

Visual Distraction の効果：**SuRT**を用いて **Visual Distraction** を負荷した結果、**P2-N1** 振幅の増大、PERCLOSの低下、サッカード振幅とばらつきの増大、サッカードの生起回数の増加、マイクロサッカードの減少、フロントガラスへの視線割合と視線持続時間の減少、車載ディスプレイへの視線割合と視線持続時間の増加、まばたき頻度の増加、まばたき持続時間の減少、瞬きの相対速度(逆数)の低下、頭部運動の平均値およびばらつきの増加、心拍数の増加を認めた。これらの活動は自動運転中の **Visual Distraction** の負荷による視線移動や頭部移動の増加(サッカード回数の増加、車載ディスプレイを向く頻度と持続時間が増加、フロントガラスへの視線割合と持続時間の減少)と視覚情報をより多く取り込むための活動の増加(まばたき持続時間の短縮)を反映していると考えられる。また、マイクロサッカードの減少は、視線移動の増加に伴い、一点に視線を固視して情報を取り込む活動が減ったために生じたと考えられる。PERCLOSの低下、瞬きの相対速度(逆数)の低下、心拍数の増加は、課題の負荷による覚醒度の増大と緊張状態の増加によって生じたと考えられる。課題非関連プローブ法による **P2-N1** 振幅の増加は、課題の負荷による覚醒度の増大によって課題が呈示されていない時間帯に音刺激を処理する認知資源容量が増大したために生じたと考えられ

る。SuRT 課題の難易度低条件では自動運転中に課題を負荷しない条件と比較して、まばたき回数が増加していたがこの現象については解釈が困難である。

覚醒度：3秒以上の睡眠脳波が1分の間に出現したかどうかで高覚醒度(睡眠脳波なし)と低覚醒度(睡眠脳波あり)に分類し、目やまぶたの動きを比較した。従来から覚醒度の低下に伴い、瞳孔径の収縮(Wilhelm, Wilhelm, Ludtke, Streicher, & Adler, 1998)、PERCLOSの増加(Abe, et al., 2011)(Dinges, Mallis, Maislin, & Powell, 1998)、まばたき持続時間の増加(Caffier, et al., 2003; Ingre, et al., 2006)、瞬きの相対速度(逆数)の増加(Johns, Tucker, Chapman, Crowley, & Michael, 2007)、開瞼度の減少(Ong, Asplund, Chia, & Chee, 2013)が報告されている。本研究でも、低覚醒度状態では、瞳孔径の収縮、閉眼時間(PERCLOS)の増加、まばたき持続時間の増加、瞬きの相対速度(逆数)の増加、開瞼度の減少を認めた。従来指標は自動運転中であっても覚醒度の評価に適した指標であることが分かった。

本研究により、自動運転中のワークロード低下、意識の脇見、脇見、覚醒度の低下によって生じるドライバー状態の変化を反映した指標が複数明らかになった。ワークロード、意識の脇見、脇見、覚醒度の低下に特異的に反応する単一指標を探し出すことは難しい。本研究で明らかにしたこれらの指標を複合的に用いることで、自動運転中のドライバー状態の推定法が確立されることが期待できる。

【TOR 前のドライバー状態による TOR 後の運転パフォーマンスの推定】

本実験結果を基に、TOR 前のドライバー状態と TOR 後の運転行動との関係性をまとめた。瞳孔径に関する指標は運転行動に及ぼす影響は運転指標によって結果が混在していた。

表 4-17 TOR 前のドライバー状態による TOR 後の運転パフォーマンスの予測

	TOR前の指標	TOR後の運転行動
脳活動(脳波)	課題非関連プローブ法によるP2-N1振幅	-
	睡眠脳波	↓
瞳孔径	瞳孔径	↓↑
	PERLCOS(瞳孔径ベース)	↓↑
眼球運動(目の動き)	サッカード振幅	-
	サッカード速度	-
	サッカード振幅のばらつき	↑
	サッカード(40-100 μ V)の生起回数	↓
	サッカード(200-400 μ V)の生起回数	↓
	サッカード回数(眼球回転角度が0.1度から約10度までのサッカード)	↑
	マイクロサッカード割合(マイクロサッカード数/サッカード数 \times 100%)	↑
眼瞼運動(まぶたの動き)	まばたき頻度	↓
	まばたき持続時間	↓
	瞬目閉瞼相の相対速度(逆数)	↓
	瞬目開瞼相の相対速度(逆数)	-
	開瞼度	↑
	PERCLOS(開瞼度ベース)	↓
	瞬目割合	-

サッカードの生起回数が多くなるほど、TOR 後の運転行動は低下する。TOR 前の脇見／意識の脇見が増えるほど、適切な運転操作の実行が困難になったと考えられる。一方、サッカード振幅のばらつきが大きくなるほど、また、マイクロサッカード回数が多いほど、TOR 後の運転行動が良くなった。運転に関連した視覚情報の取り込みを積極的に行っていた可能性が考えられる。

まばたき回数が多くなり、まばたき持続時間が長くなるほど、TOR 後の運転行動が悪くなる。内的思考に注意がより向けられていたため、TOR 後の運転行動が悪化した可能性が考えられる。

また覚醒度の低下と関係する指標に関しては、まばたき閉瞼相の相対速度(逆数)が増大、睡眠脳波の出現割合の増加、PERCLOS の増大が、TOR 後の運転行動の悪化と関係していた。また、開瞼度が大きくなるほど、運転行動は向上していた。

上述したように本研究で明らかになった自動運転中のドライバー状態を反映する指標を複数用いて TOR 後の運転行動を予測することで、単一指標による予測よりもさらに高い精度で TOR 後の運転行動を予測できるようになることが期待できる。

また、ドライバー状態が自動運転停止後の Critical Event 回避のための運転行動に及ぼす関係性については TOR の呈示タイミングや TOR 呈示の有無も影響を及ぼす。本研究では、TOR が呈示されてから停止車両に到達するまで約 6 秒間の余裕があったため、ドライバーは TOR 呈示後に critical event に対する準備を充分できていたのかもしれない。一方、TOR 呈示後から

critical event まで十分な時間がない場合や、TOR が提示されずに自動運転が機能不全を起こした場合には、TOR 前の意識の脇見、脇見、覚醒度低下がより重大な運転行動パフォーマンスの悪化を引き起こすかもしれない。様々な TOR の提示タイミングや TOR 提示の有無を設定した実験を行い、自動運転機能の停止前のドライバー状態と手動運転への切替え後の運転行動との関係性をより詳細に検討する必要がある。

【自動運転中に実施するセカンダリータスクの評価方法】

本実験により得られた知見を基に、自動運転中におけるセカンダリータスクの実施を評価する方法として、以下が挙げられる。

- ・ ドライビングシミュレータやテストコースにて、自動運転中に、自動運転から手動運転への切り替えを伝える TOR が提示され、TOR 提示後、前方に停止車両があって車両の回避が必要となる交通シナリオ（停止車両は、工事現場等の自車の回避行動が必要となる事象に置き換えても良い）にて評価する。ここで、TOR 後の運転行動として衝突危険性の高い行動を出す目的であれば、TOR の提示タイミングを短くする必要がある。また、回避後の運転行動を評価するためには、TOR 後にステアリング操作の精度が求められる道路環境を用意することが必要である。
- ・ はじめに、セカンダリータスクの種類として、視線の移動を伴わない認知的なタスクであるのか、視線の移動を伴う視覚表示のあるタスクであるのかを分類する。認知的なタスクとして、電話や車内の同乗者との会話や車載機器の音声操作が挙げられる。視覚表示のあるタスクとしては、カーナビ操作やスマートフォンの操作がある。ここでは、視覚表示に伴って手による操作も含まれることを想定している。
- ・ セカンダリータスクの種類によって、そのタスクにどの程度集中しているのかを評価する指標が異なる。認知的タスクであれば、“目の瞬間的な動き（サッカード）の幅と生起回数”、または“瞬きの回数”を計測する。視覚表示のあるタスクであれば、“目の瞬間的な動き（サッカード）の幅と生起回数”、または“車内の画面を見ている時間”を計測する。TOR の提示される前 1 分間～2 分間、これらのデータを計測する。
- ・ セカンダリータスクの種類によって、TOR 提示後の運転行動の評価指標が異なる。TOR 前に認知的タスクを実施している場合は、TOR 後の停止車両との最短距離が評価指標となる。視覚表示のあるタスクであれば、TOR 後に車線変更をした後のステアリング操作のばらつきが評価指標となる。

-
-
- ・ TOR 後の運転行動が不適切または危険を伴う行動であったのかによって、TOR 前に実施していたセカンダリータスクの許容範囲を決定する。

【Limitations】

- ・ 今回の結果は遷移中および遷移後のドライバー行動に影響を与えるドライバー状態とそれを計測可能な生理指標を抽出することが目的であった。意識のわき見、わき見、覚醒度低下状態と運転行動の変化度合い、および遷移に必要な時間の関係を求めるためには、TOR の発生タイミングのバリエーションや、危険事象のバリエーションを増やすことが必要である。
- ・ 今回の実験においては、前方に発生した危険事象のみを対象としたが、他車の割り込み等、左右から事象が発生する場合に対する周辺状況の理解をドライバー状態の一つとして指標化する必要がある。
- ・ 今回の実験においては、ドライバー状態と TOR 発生に対する遷移中および遷移後の行動の関係を検討した。Level2 においては、状況監視はドライバー責任であり、危険事象がシステムの機能限界を最初から超えていれば、TOR の発生無しに危険な状況に陥る。従ってドライバーは自らそのような状況を検知して対処（オーバーライド）しなければならない。そのような対処行動に関わるドライバー状態の定義と指標化については今後の課題である。
- ・ ドライバー状態として、姿勢（ステアリングの把持状態、シートのリクライニング、スライド位置など）も遷移中および遷移後のドライバー行動に影響を及ぼす状態量である。しかしながら、これらは状態の定義と検知方法が比較的明確であることから、本研究で対象とするドライバー状態からは除外する。

5. 課題 B-2 の調査検討

5.1. ドライバーモニタリングシステムの試作

5.1.1. ドライバー状態を推定できる評価指標検知器の車載化に関する検討結果

自動走行モードから手動運転へ切り替え可能なドライバー状態を推定できる評価指標検知器の車載化に関する検討結果をまとめる。

本実験及び評価での計測項目は、提案書により表 5-1 のように定義されている。


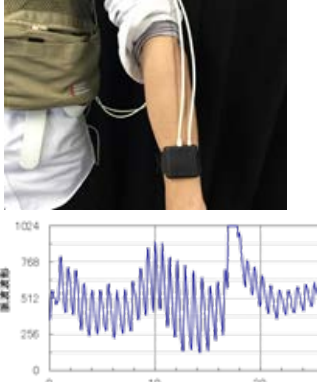
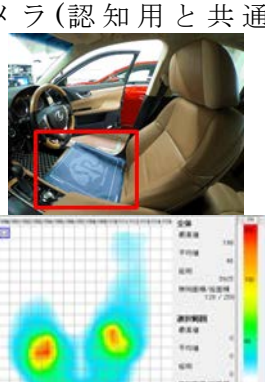
表 5-1 実施計画段階での評価指標候補

認知：主に脳活動状態、視線	生理：主に循環状態	行動：主に姿勢
<ul style="list-style-type: none"> ・ 課題非関連プローブ法 ・ 眼球停留関連電位 ・ サッカード ・ 瞬目 ・ 視線方向 ・ 瞳孔径 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 心拍 ・ 血圧 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 頭部運動

認知については脳活動及び視線に関する評価指標である「課題非関連プローブ法」「眼球停留関連電位」「サッカード」「瞬目」「視線方向」を、生理については循環状態の評価指標である「心拍」「血圧」を、行動については姿勢の評価指標である「頭部運動」を、それぞれ想定している。

表 5-1 の中で、車載機器で検出できる評価指標を「サッカード」(マイクロサッカード除く)「瞬目(瞬き、閉眼時間)」「視線方向」「心拍」「血圧」「頭部(姿勢)」と想定し、表 5-2 の候補に絞り込み評価を行った。

表 5-2 有力な車載器

認知：主に脳活動状態、視線	生理：主に循環状態	行動：主に姿勢
<p>カメラ</p> 	<p>ウェアラブル</p> 	<p>シート圧センサ カメラ(認知用と共通)</p> 

認知の検知はビデオ映像から検知するカメラとした。認知項目の枠部は2016年度の本研究の実験に使用した検知器であり、下は車載性能検討用のプ

ロトタイプ品である。

循環状態は血圧や脈拍を時系列に計測するウェアラブルの脈波計とした。腕に装着する事で下のグラフの様に時系列の血流の変化量を脈波として検出する。

姿勢は座圧の分布を計測するシート圧センサとカメラとした。シート上に配置し、下グラフの様に姿勢変化に応じた圧力分布の変化量を検知する(例では圧力の大きさに応じて色が変わっている)。

カメラは認知用と共通と想定しており、ここでは説明を省略する。

2016年度の活動結果より、上述の評価指標によるドライバー状態推定の可能性が示唆されているが、非拘束、非接触で検出可能な、映像により推定可能な据置型カメラを選定し車載化の検討をした。

本実験結果より、視線移動量(または、眼球運動)を検知することで、運転成績に影響を与える覚醒度、意識の脇見(認知的注意の散漫状態)、脇見(視覚的注意散漫状態)の切り分けとそれぞれのレベルを特定できる可能性が示唆された(表 5-3 参照)。

表 5-3

手動切り替え後の運転成績	視線移動	測定要件(変化量)
停止車両とのTTC(認知的注意散漫状態、意識の脇見)	目の瞬間的な動き(サッカーカード)の幅と生起回数	滞留時間: 200ms以上 移動量(角度): 5deg以上
	瞬きの回数 ^a	瞬き時間: 70ms~500ms
回避行動後の操作のばたつき(視覚的注意散漫状態、脇見)	目の瞬間的な動き(サッカーカード)の幅と生起回数	滞留時間: 200ms以上 移動量(角度): 5deg以上
	車内の画面を見ている時間 ^b	視線滞留時間: 2s以上 視線方向:(頭部運動含む): 滞留位置±20deg
ステアリング保持までの時間遅れ(覚醒度)	目を閉じている時間の割合 ^c	閉眼時間: 500ms以上

a) 瞬き時間の定義

- 目が閉じている時間とする。

b) 車内の画面を見ている時間

- 本実験ではSuRT実験に使用したディスプレイと前方の視線滞留時間で推定した。
- このため、実車環境では別途視線方向の意味付けが必要となる。

c) 目を閉じている時間の割合

- PERCLOS(開眼度ベースの算出): 開眼度 (= 上瞼から下瞼までの距離 ÷ 虹彩の直径) が 20%未満で、
- 目が閉じている時間が 500 ミリ秒以上の区間

上記表に基づき、車載器に適した仕様を導出するための据置型顔/視線移動検知仕様評価器(以下評価器と記述)を試作した(図 5-1 参照)。



図 5-1 据置型顔/視線移動検知仕様評価器

本評価器は、顔位置や顔向きを検知する顔カメラと、目の位置に追従しながら視線移動量を検知する視線カメラで構成した。

顔カメラによって特定した目の位置に基づき視線カメラを目位置に追従させ、瞬きの回数、閉眼時間割合、視線の移動量を特定する(表 5-4 参照)。顔カメラは、顔や目などの位置を特定するために解像度 640×480 の空間分解能と 25fps の時間分解能とした。

視線カメラは、微細な視線移動及び瞬き回数を捕捉するために、顔カメラ映像に基づき特定した目の位置に追従可能な 3 軸制御とズーム制御を搭載し、解像度 480×480 の空間分解能と 200fps の時間分解能を設定した。

表 5-4 評価器仕様

	項目	仕様
顔カメラ	解像度	640×480
	フレームレート	25fps
視線カメラ	解像度	480×480
	フレームレート	200fps
	その他	ズームインアウト機能 追従可動式(3軸)

本評価器を用い、視線移動検出の車載化要件を検討した(図 5-2 参照)。

上記要件検討は、取得したデータに対し、ピクセル数、及び、フレームレートを低下させ、それぞれの水準毎に検出性能を算出することで行った。縦軸に検出性能、横軸にフレームレートを示している。

検出精度は正解値($\sigma=0$)まわりに、視線検出結果のばらつきを印加している。

視線検出精度は空間分解能であり、カメラの眼周辺における解像度(画素割当て)に換算できる。

本評価の結果から、視線検出精度に因らず 100fps 以下で検出性能が低下していることが分かる。

尚、 $\sigma=2$ とは、 3σ ($\pm 6\text{deg}$) 以内に 99.7%が収まる値である。

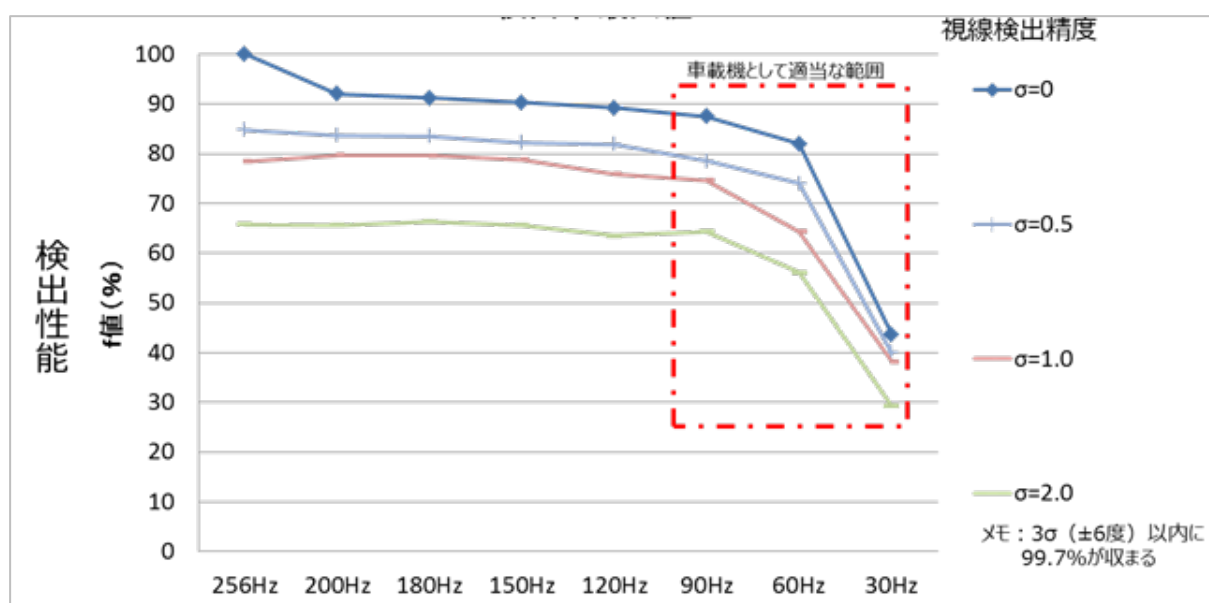


図 5-2 視線移動量検出仕様の検討結果

視線移動量評価前提条件(試験的に想定※)

(下記条件①または②を検出した頻度)

- ① 角速度(80deg/s)以上
- ② 角加速度(800deg/s²)以上

上記検証結果を加味し、開発したプロトタイプの搭載例を図 5-3 に示す。センタクラスタ上の枠部がプロトタイプである。



図 5-3 プロトタイプ搭載例

上記プロトタイプの仕様を表 5-5 に示す。

搭載位置を顔からの距離 600mm において、「瞬き」「視線」「サッカード」を検出する仕様としている。

検出対象の変化量を検出するために、解像度 VGA～SXGA、フレームレート 30～100fps を想定している。

表 5-5 据置型 視線移動検出器仕様

要件	詳細仕様
検出対象	顔向き、瞬き、視線、サッカード
顔距離(搭載位置)	600mm
解像度(空間分解能)	VGA(640×480)～SXGA(1280×1024)
フレームレート(時間分解能)	30～100fps

現時点での仕様は「測定値と Readiness レベルの整合性(2017 年度以降の課題)」「アルゴリズム性能」に依存することから、幅を持った表記とした。

上記仕様の絞り込みを 2017 年度の実証実験(DS または実車による評価)に基づき実施し、仕様の適正化を図る。

6. 課題 C の調査検討

6.1. 課題 C の計画

自動運転車が道路上を走行する場合、自動運転車の混入率が低い導入初期の段階においては、自動運転車の周囲には多くの交通参加者（車両ドライバーや二輪車ライダー、自転車サイクリスト、歩行者など）が存在することになる。交通参加者の間では、交通法規に基づき、交通信号機や道路標識、路面標示等を利用して優先側の交通参加者と非優先側の交通参加者などの関係を明確にしつつ、交通の円滑化が図られている。しかしながら、実際の道路環境や交通状況では、優先側の交通参加者が非優先側の交通参加者に進路を譲ったり、逆に非優先側の交通参加者が優先側の交通参加者に先に進行したい意思を示したりと、少なからず、交通法規に依存しない形式で交通の円滑化が図られており、そのような場面では、パッシングライトやドライバーのアイコンタクト、身振り・手振りなどのノンバーバルなコミュニケーションが交通参加者間で交わされている。このようなノンバーバルなコミュニケーションは、多くの交通参加者が存在する中で自動運転車が導入される初期の道路環境や交通状況においても交通の円滑化を図る上で重要な役割を果たすものと考えられ、自動運転車と他の交通参加者の間には相互のコミュニケーションが必要不可欠であると考えられる。その一方で、自動運転車のドライバーは、自動運転のレベルによっては自動走行中に運転操作に関与しないことから、パッシングライトなどのドライバー自らが操作しなければならないものやアイコンタクトや身振り・手振りなどといったドライバー依存のものなどを利用できない可能性がある。自動運転車から他の交通参加者へのノンバーバルなコミュニケーションを行うには、自動運転車のドライバーに依存しない、周囲の交通参加者に向けたヒューマンマシンインタフェース（以後、HMI と称す）を自動運転車が装備するなどの対応が必要であると考えられる。

そこで課題 C では、レベル 2 やレベル 3、レベル 4 の自動走行システムを対象とした、自動運転車における周囲の交通参加者に向けた HMI（以後、これを外向き HMI と称す）を検討するために、まず現状の道路環境や交通状況において交通参加者間で行われているノンバーバルコミュニケーション、具体的にはドライバー間ならびにドライバー・歩行者間で交通の円滑化を図ろうとするためのノンバーバルコミュニケーションについて調査する。観測されたコミュニケーションのうち、非優先側車両のドライバーや歩行者に進路を譲ろうとする場面において利用されているノンバーバルコミュニケーションの手段や要素、手続きなどの基本要件について抽出する。課題 C の取り

組み概要と目標については次の通りである。

(平成 28 年度)

- 現状におけるドライバー間およびドライバー・歩行者間における譲り合い等のコミュニケーション手段・手続き等について観測調査し、自動運転車と周囲のドライバーや歩行者との安全・円滑な交通行動を実現するためのノンバーバルコミュニケーションの基本要素を導出する。
- ドライバー間およびドライバー・歩行者間における譲り合い等のコミュニケーション手段・手続き等の地域性について予備調査し、地域ごとの特徴を導出する。
- 自動運転車であることを周囲に表明することが周囲の交通参加者に与える影響について予備調査し、自動運転車であることを周囲に表明する外向き HMI の基本要素を導出する。

(平成 29 年度)

- 自動運転車と周囲のドライバー・歩行者とのコミュニケーションのための外向き HMI を試作・実装し、コミュニケーション手段、手続き等について検証する。
- ドライバー間およびドライバー・歩行者間における譲り合い等のコミュニケーション手段・手続き等の地域性の基本要素を確認するとともに、コミュニケーションのための外向き HMI を試作・実装し、その効果について検証する。
- 自動運転車であることを周囲に表明する外向き HMI を試作・実装し、外向き HMI による表明が周囲の交通参加者に与える影響について検証する。

(平成 30 年度)

- 地域性を考慮したコミュニケーションのための外向き HMI および自動運転車であることを周囲に表明する外向き HMI を自動運転車に実装し、実証実験を通じてその影響を検証する。

6.2. 先行研究調査

6.2.1. レビューの目的と方針

自動運転車と周囲の交通参加者（車両ドライバーや二輪車ライダー、自転車サイクリスト、歩行者など）との安全・円滑な交通行動を実現するためのノンバーバルコミュニケーションに関する基本要素や手続き、またコミュニケーションの観測のための実験方法、評価指標などに関する知見を得るために、車両ドライバーと周囲の交通参加者との間での進路の譲りや意図の表明

などのコミュニケーションに関するこれまでの研究を調査する。これらの調査を通じて、車両ドライバーと周囲の交通参加者との間のコミュニケーションに関する既存知見や研究課題を整理するとともに、課題 C における調査方法や実験方法に関する知見を得ることを目的とする。また、車両ドライバーと周囲の交通参加者との間のコミュニケーションに関して以下の視点を考慮する。

- ドライバー間のコミュニケーション
- ドライバー・歩行者間のコミュニケーション
- 歩行者行動・横断行動・意思表示・モデリング
- ドライバー行動・停止通過行動・意思表示・モデリング

6.2.2. レビューの方法

前述した各コミュニケーションに関する詳細事項を調査するために、データベース Web of Science を利用して先行研究の調査を実施した。主としてヒューマンファクタ研究を重視したが、土木工学や交通工学、交通心理学、実験心理学などを含めて広く調査することを念頭においた。

(1) キーワード

Web of Science で論文検索を行うにあたり、次のようなキーワードを設定した。

driver, pedestrian, communication, behavior, crossing, intersection, junction, interaction, crosswalk, yield, yielding, vehicle, bicycle, motorcycle, human machine interface, gesture, eye contact, headlight, indicator lamp, modeling, traffic, simulation, decision making, jaywalking, dilemma zone, gap acceptance, conflict, elderly, child, informal traffic rule

6.2.3. ドライバー間コミュニケーションに関する調査

全般的にドライバー間のコミュニケーションに関する研究は、交差点部通過に関わるギャップアクセプタンスの研究が多く、「進路を譲る」「意思を表明する」などのコミュニケーションに焦点を当てた研究については、少ないながら Renge(2000)や蓮花(2000)、田中ら(2006)が該当した。ドライバー間コミュニケーションに関連するが、交差点部で他のドライバーとコンフリクトする進行の中で自車両の進行に関わる意思決定を構成する要因を分析した研究例が存在した。例えば、無信号交差点における出会い頭での車両同士の譲りにおいて、法規上の優先／非優先の他、ドライバーによる車両挙動など

法規に定められていない規則について検討した研究などが抽出された (Bjorklund and Aberg (2005))。その分析の視点は、他車両よりも自車両が先に交差点部を進行するための意思決定を構成する要因であり、コミュニケーションという観点では車両挙動に基づくものとなるが、「他車両からゆずられている」という観点よりも自車両が先に進行できるという視点の分析のものであり、またコミュニケーション方法という視点でのデータ収集や分析がほとんど見られなかった。

ドライバーと自転車の乗員とのコミュニケーションに関して研究事例は少ないが、車両と歩行者・自転車間のコミュニケーションについて観測検討した研究事例 (谷口ほか(2012)) や自転車の乗員の手合図や車両挙動による意思表示に対して、ドライバーがどのような認識を持つのかについて実験レベルで検討した研究事例が存在した。T字路における自転車の乗員と車両のドライバーとのコミュニケーションを対象として (Walker (2005))、自転車の乗員から車両のドライバーに対して手合図や車両挙動で横断意図が表明された際、そのような手合図や車両挙動にドライバーがどのように認識し判断するのか、また判断時間にどのような影響を与えるのかなどを検討したものであった。自転車の乗員からの合図や車両挙動によって表明される横断意図に対して、ドライバーが適切に認識・判断できない可能性や判読に時間を要してしまう可能性などが示唆されるとの報告であった。ドライバー・自転車の乗員間のコミュニケーションに関する研究では定量的なデータの伴う詳細な分析と検討が必要であると考えられる。

研究事例としては多くないが、日本国内を対象として質問紙調査を通じて、ドライバー間のコミュニケーションの現状に関する調査研究が存在した (田中ほか(2006))。この調査研究では、コミュニケーションに関わる意思表示として「御礼・感謝」「譲歩・親切」「危険感・警告」を取り上げ、これらの意思表示としてどのような方法がとられているか調査し、パッシングやハザードランプ、ウィンカーなどの灯火器類の利用、クラクションなどの警告音、頭を下げる、手を挙げるなどの身振り、車両を左に寄せるなどの車両挙動などを利用して表明されることなどを報告している。しかしながら、質問紙調査であるため、意思表示のタイミングや対象者との物理的な関係、その場面に至るコンテキストなどは十分反映されておらず、また同じ意思表示の方法でもコンテキストによって解釈が異なる可能性もあり、これらに関わる調査や分析が必要であると考えられる。

ドライバー間のコミュニケーションの観測方法については、実道環境を対象にした場合、カメラを高所に装備して可能な限り、上方から対象車両の位

置を追跡する研究事例 (Liu et al. (2014)) なども見られた。高所に設置することで、各車両の挙動だけでなく、車両間の相対関係を記録することで対象場面におけるデータ抽出を容易にできるが、その一方でカメラを高所に装備する場合、その高さには制約があるほか、カメラから対象車両への俯角が小さくなると車両と車両が重なってしまい、結果としてデータ抽出を困難にさせることが少なくない。またデータ抽出時において、映像分析者によるバイアスが小さくなるよう、2名以上の映像分析者が独立に分析して、彼らの分析結果が一致した場面だけを利用するなどの分析方法が適用されている研究も見られた。

6.2.4. ドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する調査

ドライバー・歩行者間のコミュニケーションに関する研究は、ドライバー間のコミュニケーションに関する研究と同様に、ギャップアクセプタンスに着目した研究が多く、主に道路を横断しようとする歩行者が接近する車両や周囲の環境等に基づいて横断可能であるとの意思決定をどのように行うのか (Sun et al.(2015))、この意思決定プロセスをどのようにモデル化するのか (Zheng et al. (2015)) という点に焦点を当てているものであった。例えば、歩行者が車両の流れの間を縫って道路を横断する場合 (中央分離帯付近に島 (安全地帯) のある二段階横断)、両方向から接近する車両のギャップアクセプタンスについての研究事例 (Oudejans et al. (1996)) や、学童 (低学年、中学年、高学年) を対象として学童に接近する車両とのギャップアクセプタンスについての研究事例 (Connelly et al. (1998)) などが存在した。

ドライバー・歩行者間のコミュニケーションに視点を向けた場合、基本的には前述の研究事例と同様な分類になるが、歩行者が横断歩道を横断する際、接近する車両の減速が歩行者に対して進路を譲る意思表示となることを前提として、横断歩道からどのくらいの距離で車両が停止する (ゆずる) と歩行者が判断するのか、横断歩道脇にいる歩行者からドライバーに視線を向ける / 向けない、歩行者の性別、ドライバーの性別などに基づいて、歩行者に進路をゆずるといったドライバーの意思決定がどのようになされるのかなどの研究 (Gueguen et al. (2015)) や手合図の種類によって接近する車両がどのように反応するかなどの研究 (Zhuang et al. (2014)) なども存在した。しかしながら、これらの研究はドライバー・歩行者間のコミュニケーションに焦点を当てた研究ではないため、意思表示の方法が限定されている。ドライバー側からの歩行者の横断意図判断などに関して定量的なデータの伴う分析や検討は少ない。

ドライバー・歩行者間コミュニケーションの観測方法については、実道環境を対象にした場合、観測対象地点にカメラを2台以上設置して接近車両の挙動（位置、速度など）ならびに歩行者の行動（位置、速度、横断タイミング）を観測している研究が多く存在した。また接近車両の速度・加速度をスピードガンで計測する研究も存在した（Pawar and Patil (2015)）。また歩行者として学童を被験者とする場合には、保護者との同伴により安全確保を図るなどの工夫も確認された。

6.2.5. 課題 C の調査方法

課題 C の調査方法の枠組みを図 6-1 に示す。課題 C では、主として、定点観測による調査、車両同乗による調査、歩行者の「譲り」認識の実験調査、Web アンケートによる調査から構成され、またそれらに関連して予備的に実施する観測や実験が追加される。これらの調査項目間での連携や関係は次の通りである。まず定点観測により、実際の道路環境・交通状況においてドライバー間ならびにドライバー・歩行者間で実施されているコミュニケーションの種類や特徴について主に抽出する。それら観測されたドライバー間ならびにドライバー・歩行者間のコミュニケーションを主な対象として、コミュニケーションに伴う利用手段や手続き、車間距離や歩車間距離、タイミングなどの基本要素をより詳細に調査するために車両同乗による調査を実施する。定点観測による調査ならびに車両同乗による調査により観測されたドライバー・歩行者間のコミュニケーションについては、さらに歩行者側の視点に基づいた実験を実施し、道路脇から接近する車両の車両挙動や灯火器類の変化と歩行者側の「進路を譲られている」という認識との関係を調査する。また定点観測による調査ならびに歩行者の認識に関する実験を介して抽出されたドライバー間ならびにドライバー・歩行者間の典型的なコミュニケーション場面を対象に、「進路を譲る/譲られる」に関するコミュニケーションについては、Web アンケート調査を実施して、地域性の違いや運転免許所有/非所有によるコミュニケーションの手段や方法、認識の違いなどについて検討する。

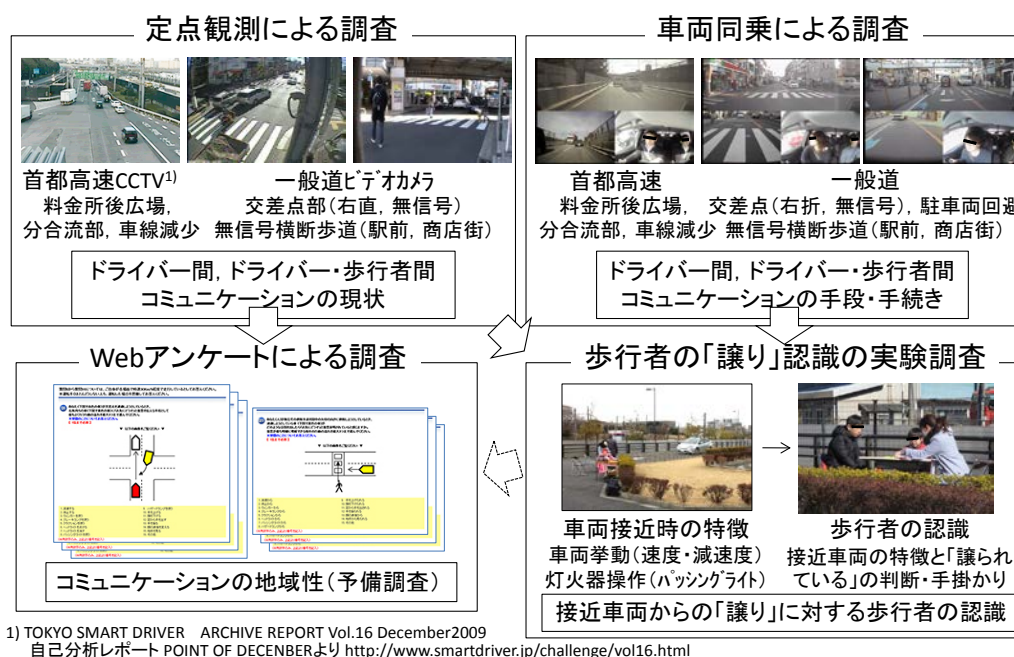


図 6-1 課題 C の調査方法

6.3. 車両同乗による調査で使用する実験車両

ドライバー間ならびにドライバー・歩行者間コミュニケーションに関して利用される手段や手続きについてより詳細に分析するには、車両挙動の変化タイミングや灯火器の操作タイミング、周囲の交通参加者との距離や位置関係などを計測し、収集されたデータに基づいてコミュニケーション時に利用された手段や手続きなどの特徴を検討する必要がある。そこで課題 C では、ドライバー間ならびにドライバー・歩行者間のコミュニケーションに伴う手段や手続きについてより詳細な分析が実施できるように車両同乗による調査を実施する。これらのコミュニケーションに伴う様々なデータを計測するにあたっては様々な計測機器を実験車両に装備して、ドライバーの運転状態や音声ログ、車両周囲の交通参加者に関わるデータを収集するとともに、Controller Area Network (CAN)を介して得られる車両状態のデータも収集可能とした。

6.3.1. 実験車両および計測機器

車両同乗による調査で使用した実験車両を図 6-2 に示す。実験車両は市販車両のトヨタ自動車製プリウス 50 系であり、車両には様々な計測機器が装備された（(株)アイティーエス 21 企画製作）。各計測機器の配置を図 6-3 に示す。ルーフ部にはレーザレンジファインダー（SICK 社製 LMS511）が 2 台設置され、前方 180 度および後方 180 度にそれぞれ割り当てられて実験車両周囲の交通参加者や物体までの距離や方向を収集することが可能であった。

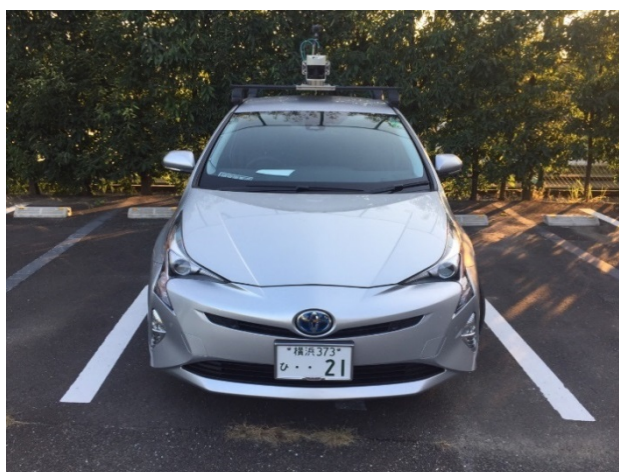


図 6-2 車両同乗による観測で使用した実験車両



図 6-3 実験車両に搭載された各種計測機器

また 2 台のレーザレンジファインダーの間には、360 度撮影可能なカメラ (ニコン製 KeyMission360)が設置され、4K 画質(2389 万画素×2)で周囲の状況が映像データとして記録可能であった。また車室内には高精細アクションカメラ(Canon 製 iVIS mini X)ならびに高精細 4K ビデオカメラ(Panasonic 製 HC-WX990M)が設置され、前方方向のより詳細な交通状況が記録された。車室内にも小型カメラが設置され、ドライバーの運転状況や前後方向の車外映像が収集された。これらの映像は、CAN を介して収集される車両状態のデータと同期してハードディスクに記録された。CAN を介して収集されるデータは、①車間距離、②車間状態情報(確認、未確認、近づき、遠ざかり)、③速度、④前後加速度、左右加速度、⑤角速度、⑥ハンドル角 ハンドル角速度、⑦アクセルペダル量、⑧ブレーキペダル量、⑨ヘッドライト(ロービーム、ハイビーム、パッシング)、⑩フォグランプ、⑪ブレーキランプ、⑫ウィンカランプ、ハザード、⑬ワイパー動作、⑭シフトギア情報(PRND)、⑮運転モード(エコ、スポーツ)、⑯ドアロック情報、⑰シートベルト情報、⑱クラクション、⑲ステアリングスイッチ情報であった。これら車両状態の他、GPS とカーナビゲーションのマップマッチングに基づいた緯度経度情報、車室内の音(ドライバーおよび同乗者の声)、ドライバーがアクセルペダルやブレーキペダルに足を乗せているだけで、まだ踏み込んでいない状態についても CAN データと同期させて計測・記録可能であった。

6.4. 都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討

都市内高速道路を対象にした実際の道路環境や交通状況において、ドライバー間での様々なコミュニケーションが行われており、分合流部などにおいては非優先側の車両に対して進路を譲るために灯火器操作や身振りでの合図を行っている。このようなコミュニケーションを定点観測により観察・記録する場合、どのような交通状況等を観測対象とするのか、観測用のビデオカメラをどのように配置するのか、道路環境によってどのような制約があるのかなどを事前に検討しておく必要がある。また詳細にドライバー間コミュニケーションを分析するためには、定点観測による調査の結果に基づいて、典型的なドライバー間のコミュニケーション場面をある程度絞り込んだ上で、車両同乗による調査を有用かつ効率的に実施する必要があると考えられる。

本節では、都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションの特徴を検討するために定点観測による調査を実施し、実際の道路環境においてドライバー間でのコミュニケーションが必要となる場面などを抽出する。さらに車両同乗による調査を実施し、ドライバー間コミュニケーションにおいて利用される手段や手続きなどの基本要素を抽出して、ドライバー間コミュニケーションに関するモデル化を試みる。

6.4.1. 定点観測による都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討

都市内高速道路では、都市間高速道路と比較して、比較的短い区間で分合流が存在する他、図 6-4 に示されるような合流前の車線数減少箇所や合流長の短い合流部も多いといった特徴がある。また図 6-5 に示されるような料金所ブース前の広場(前広場)において各料金所ブースに車両が分散し、料金所ブース通過後の広場(後広場)にて各料金ブースから車両が再び本線に集中するなどの特徴がある。

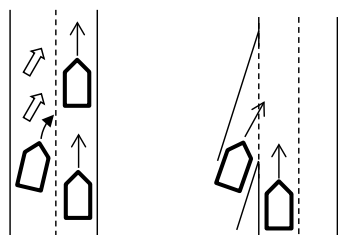


図 6-4 車線減少部、分合流部

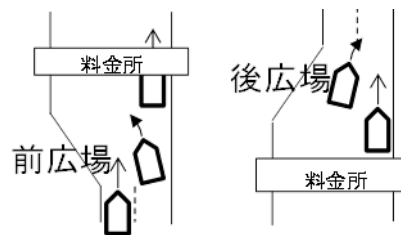


図 6-5 料金所前広場、料金所後広場

これら特徴的な道路環境においては、交通状況によって必然的に合流行動に伴うドライバー間のコミュニケーション、例えば、優先側車両が非優先側車両に対して進路を譲ろうとする意思の表明や、逆に非優先側車両が優先側車両に対して進路を譲って欲しい意思の表明などが行われていると予想される。一方、分合流部や車線数減少箇所、料金所ブースの前広場・後広場以外の単路区間においても同様にドライバー間のコミュニケーションが行われていると考えられるが、道路環境の変化に伴う必然的な合流行動の発生よりもドライバー個人の意図などによる突発的な合流行動の発生が多いことから定点観測による調査対象とするには必ずしも適当でないと考えられる。

そこで本研究では、都市内高速道路として首都高速道路を対象に車線減少や交差交通を伴う分合流部、料金所ブースの前広場・後広場におけるドライバー間のコミュニケーションを観測することとした。

首都高速道路上でのドライバー間コミュニケーションを観測するにあたり、ビデオカメラの設置が必要となるが、ビデオカメラの設置には道路管理社との調整が必要であり、設置位置や落下対策、天候対策などの制約が伴うことになる。首都高速道路株式会社 保全・交通部交通・システム室 ITS 推進課、東京東局調査・環境課、東京西局調査・環境課の協力の下、ビデオカメラに関する設置や各種対策、制約などを検討した結果、ビデオカメラ設置位置や設置角度、ビデオ映像の解像度に関する制約やビデオ映像の利用や公開の制約が伴うが、道路管理用 CCTV (Closed-Circuit Television) で収集される映像データを一部利用して、都市内高速道路上でのドライバー間コミュニケーションの現状と特徴の分析・抽出を行うこととした。

6.4.1.1. 分析対象とする道路区間および地点

分析対象とする道路区間および地点を選定するにあたり、CCTV が設置されていることが前提となるが、道路管理者へのヒアリングから得られた道路区間および地点に関する時間帯別の交通状況の特徴を参考に、下記の道路区間および地点を観測対象箇所として抽出した（各図 6-6 から図 6-11 は http://www.shutoko.jp/~media/pdf/customer/use/network/navimap/161001_map_big.pdf より引用・加工）。

- 志村本線料金所

5号線上りに設置された料金所であり、図 6-6 に示されるように、料金所前広場、料金所後広場が存在する。この地点に設置される CCTV のカメラは、料金所前広場、料金所後広場の他、料金所手前のエリアの交通状況を撮影し

ている。料金所手前にはパーキングエリア(PA)から本線への合流部や中台ランプ入口からの合流部が存在する。



図 6-6 5号線上り志村本線料金所付近の地図

- 用賀本線料金所

3号線上りに設置された料金所であり、図 6-7 に示されるように、料金所前広場、料金所後広場が存在する。この地点に設置される CCTV のカメラは料金所前広場、料金所後広場の交通状況を撮影している。料金所通過後には PA から本線への合流部が存在する。



図 6-7 3号線上り用賀本線料金所付近の地図

- 大井料金所

湾岸線西行きに設置された料金所であり、図 6-8 に示されるように、料金所前広場、料金所後広場が存在する。この地点に設置される CCTV のカメラは料金所前広場、料金所後広場の交通状況を撮影している。料金所手前には、大井南ランプ入口からの流入がある他、料金所通過後には湾岸線と中央環状線(山手トンネル)への分岐が存在する。



図 6-8 湾岸線西行き大井料金所付近の地図

- 小菅 JCT と堀切 JCT の道路区間

中央環状線および 6 号向島線、6 号三郷線との分合流部が存在しており、図 6-9 に示されるように、中央環状線外回りと各上り線が接続する小菅 JCT→堀切 JCT の道路区間と、中央環状線内回りと各下り線が接続する堀切 JCT→小菅 JCT の道路区間に分合流区間が存在する。この地点に設置される CCTV のカメラは、各道路区間において合流地点から分流方向に向けられ、合流と分流を含んだ交通状況を撮影している。



図 6-9 中央環状線小菅 JCT-堀切 JCT の道路区間の地図

- 江戸橋 JCT と箱崎 JCT の道路区間

都心環状線外回りと 1 号上野線、6 号向島線、7 号小松川線との分合流部が存在しており、図 6-10 に示されるように、江戸橋 JCT→箱崎 JCT の道路区間で分合流区間が存在する。この地点に設置される CCTV のカメラは箱崎 JCT から江戸橋 JCT 方向に設置され、主に合流後から次の分流に至るまでの交通状況を撮影している。



図 6-10 都心環状外回り江戸橋 JCT-箱崎 JCT の道路区間の地図

- 熊野町 JCT と板橋 JCT の道路区間

中央環状線および 5 号池袋線との分合流部が存在しており、図 6-11 に示されるように、中央環状線外回りと 5 号線下りとの合流・分流、その後 5 号線上りとの合流が順に存在する熊野町 JCT→板橋町 JCT の道路区間と、中央環状線内回りと 5 号線下りとの分流・5 号線上りとの合流・分流が順に存在する板橋 JCT→熊野町 JCT の道路区間に分合流区間が存在する。この地点に設置される CCTV のカメラは、各道路区間において合流地点から分流方向に向けられ、合流と分流を含んだ交通状況を撮影している。



図 6-11 中央環状内回り熊野町 JCT-板橋 JCT の道路区間の地図

6.4.1.2.分析対象とする観測曜日と観測時間帯

首都高速道路の利用するドライバーは、平日では物流のトラックや乗客輸送のバス、タクシーなどの職業ドライバーが多く、一方、週末(休日)ではレジャーなどを目的とした一般ドライバーが多い傾向にある。職業ドライバーと一般ドライバーでは、運転頻度や運転経験が大きく異なっていると考えられるが、それに伴ってドライバー間コミュニケーションの手段や手続きが異なっている可能性も考えられる。そこで本調査では各観測地点において可能な限り、平日と週末(休日)の映像データを記録することとした。

時間帯については、平日午前時間帯は物流のトラックなどが都心に向かって走行していることが多く、首都高速道路の各路線の上り方向は 20km/h 以下の渋滞状態や 20km/h から 40km/h の混雑状態が発生し、平日午後は下り方向において同様な交通状態が発生している。また渋滞状態や混雑状態が発生している地点であっても、時間帯によっては車両同士がほとんど干渉せず、40km/h 以上で自由に走行可能な状態(自由流状態)であることが少なくない。渋滞状態や混雑状態、自由流状態と様々な交通状況にわたって、ドライバー間コミュニケーションが発生すると考えられるが、渋滞状態や混雑状態における分合流部や料金所前広場、料金所後広場では、単に空いている空間に車両が進入するという状況よりも、低速走行でかつ車間距離が短い交通状況に対してドライバー間コミュニケーションが行われ、円滑な車両同士の合流が図られていると考えられる。そこで本調査では、特定の時間帯に注目することはせず、定点観測箇所において渋滞状態や混雑状態が発生しやすい時間帯を

対象に映像データを記録することとした。

6.4.1.3. ドライバー間コミュニケーションの事前検討

首都高速道路上に設定した定点観測箇所におけるドライバー間コミュニケーション、特に渋滞状態や混雑状態でのコミュニケーションの種類やそれに伴う手段、手続きなどの特徴と映像データからの特徴抽出に関わる制約などを把握するため、前述の定点観測地点から湾岸線西行き大井料金所の料金所前広場と料金後広場を対象に事前検討を実施した。大井料金所の料金所後広場の写真を図 6-12 に示す。

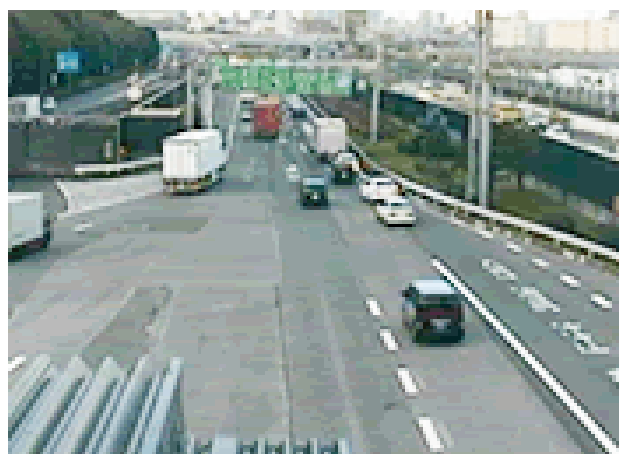


図 6-12 大井料金所の料金所後広場の状況

TOKYO SMART DRIVER ARCHIVE REPORT Vol.16
December2009 自己分析レポート POINT OF DECEMBERより
<http://www.smartdriver.jp/challenge/vol16.html>

事前検討として記録した映像データは、料金所前広場については平日のおおよそ 9:30 から 12:00 ならびに 15:30 から 17:30 の時間帯、料金所後広場については平日のおおよそ 11:30 から 13:30 の時間帯であり、それぞれの映像データにおいて渋滞状態と混雑状態を対象として試行的に分析を実施した。映像データからドライバー間コミュニケーションとして抽出するにあたっては、非優先側車両が優先側車両の車列に合流する事象を基本としているが、渋滞状態や混雑状態でない場合や優先側車列の車間距離が長く、ドライバー間コミュニケーションが行われなくても合流できてしまう場合は除外することとした。一方、ドライバー間で上手くコミュニケーションが取れずミスコミュニケーションと考えられる事象や特徴的と考えられるコミュニケーションと思われる事象については抽出の対象とした。

ドライバー間コミュニケーションについて大まかな傾向を捉えるために、料金所前広場と料金所後広場のそれぞれの観測時間帯から約 1 時間を対象に

してドライバー間コミュニケーションを抽出し、料金所前広場と料金所後広場での観測数を比較した。抽出された結果を図 6-13 に示す。抽出されたコミュニケーションの観測数は、料金所前広場と料金所後広場で大きく異なり、料金所前広場よりも料金所後広場の観測数が多かった。これは、料金所に接続する本線車線数が 3 車線であり、料金所前広場ではこれら 3 車線にいる車両が進行方向にある料金所ブースを目指して横断せず、干渉しない形で分散して各料金ブースに進出したため、車線変更が少なく、ドライバー間コミュニケーションがほとんど発生しなかった。そこで今後の分析では、料金所後広場のみを分析対象とした。

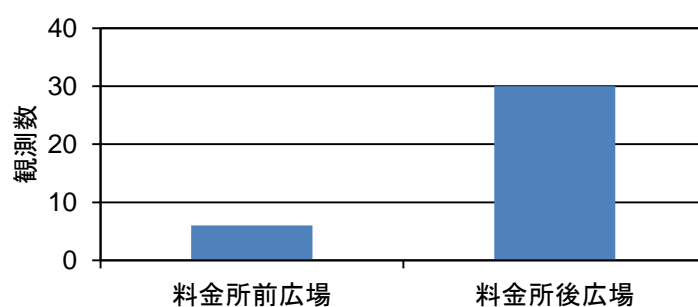


図 6-13 料金所前広場と料金所後広場でのコミュニケーション観測数

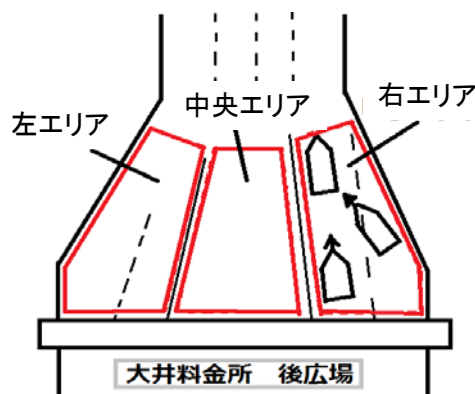


図 6-14 料金所後広場における抽出・分析エリア

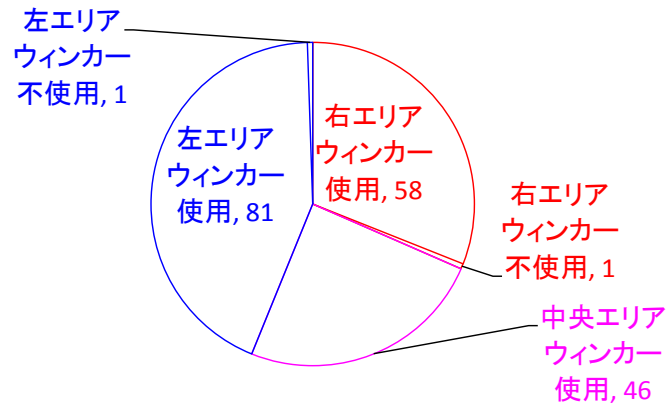


図 6-15 料金所後広場の各エリアで抽出されたドライバー間コミュニケーションの特徴と件数

事前検討では、料金所後広場を図 6-14 に示されるような 3 つのエリアに分割して分析した。各エリアで抽出されたドライバー間コミュニケーションの結果を図 6-15 に示す。おおむね、どのエリアにおいてもドライバー間コミュニケーションが観測された。観測されたドライバー間コミュニケーションの大半のケースは、非優先側車両が優先側車列の後続車両に対してウィンカーを使用して合流したい意思を表明し、それに対応して優先側車列の後続車両が速度を抑えたり減速したりして、優先側車列の先行車両との車間距離を維持するか開けるかして譲ろうとする行動であった。ごく少数であるが、ウィンカーを使用せず、車両の進行・接近のみで合流したい意思を表明している事象も観測された。これらのドライバー間コミュニケーション以外に別途抽出されたものとしては、ハザードランプを利用した他車両への謝意を表明するコミュニケーションが多く観測された他、先行車両との車間距離を詰めて他車両の合流を拒むといった威嚇的なコミュニケーションが数件、非優先側車両のトラックが合流したい意思を優先側車列の後続車両に表明する際にハザードランプを利用するコミュニケーションが 1 件観測された。

この事前検討から抽出された典型的なドライバー間コミュニケーションのおおよその手続きを図 6-16 に示す。

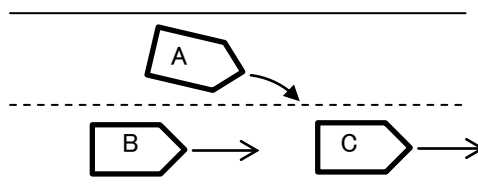


図 6-16 ドライバー間コミュニケーションの手続き

-
-
1. 車両 A が、ウィンカーや車両挙動により、車線変更の意思を表明する
 2. 車両 B が車両 A の車線変更の意図を認識する
 3. 車両 B は、車両 A の車線変更に備えて減速や停止、合図をしている
 4. 車両 A が車線変更を行い、車両 B の前、車両 C の後に入り込む

先行車両 C と後続車両 B で構成される優先側車列に対して、非優先側車両の合流車両 A が優先側車列に合流することになるが、基本的には後続車両 B からの灯火器類による合図は映像データからは確認されなかった。

映像データからドライバー間コミュニケーションに伴う車両挙動の抽出の可能性を検討するために、CCTV の映像データから対象車両の道路上での座標を推定するソフトウェア((株)オリエンタルコンサルタンツ製作)を利用して、車両間の距離や車両の速度の推定を実施した。ここでは、用賀料金所の料金所後広場を対象にした分析例を図 6-17 に示す。時間経過に伴って、優先側車列(被合流側車両)の後続車両が非優先側車両(合流側車両)である先行車両よりも減速し、それとともに車間距離が増加していく様子と最後に謝意のハザードランプを点灯させている様子が確認された。しかしながら、同一地点での異なる時間帯での CCTV の映像データから推定した分析例(図 6-18 参照)では、先行車両と後続車両の両方の速度に大きな誤差が含まれ、図 6-17 の結果と比較すると速度の推定が十分でない状況がうかがえた。また、トラックやバスなどの大型車両が混在して、先行車両もしくは後続車両のいずれかが大型車両の陰に隠れてしまうことが多く、先行車両と後続車両の車両挙動の推定が困難となる事象が多く存在した。本調査で対象とする渋滞状態や混雑状態など低い速度領域では、特に大型車両の陰に隠れてしまう場合が多く、映像データから合流側車両と被合流側車両の車両挙動の抽出が難しい状況であった。映像データから車両挙動等の定量的な結果を抽出することが難しい場合が多いことから、定点観測による調査の基本的な方針として、定性的な結果の抽出に重点を置き、車両挙動等の定量的なデータの抽出に関しては、車両同乗による調査から抽出するのが適当であると考えられる。

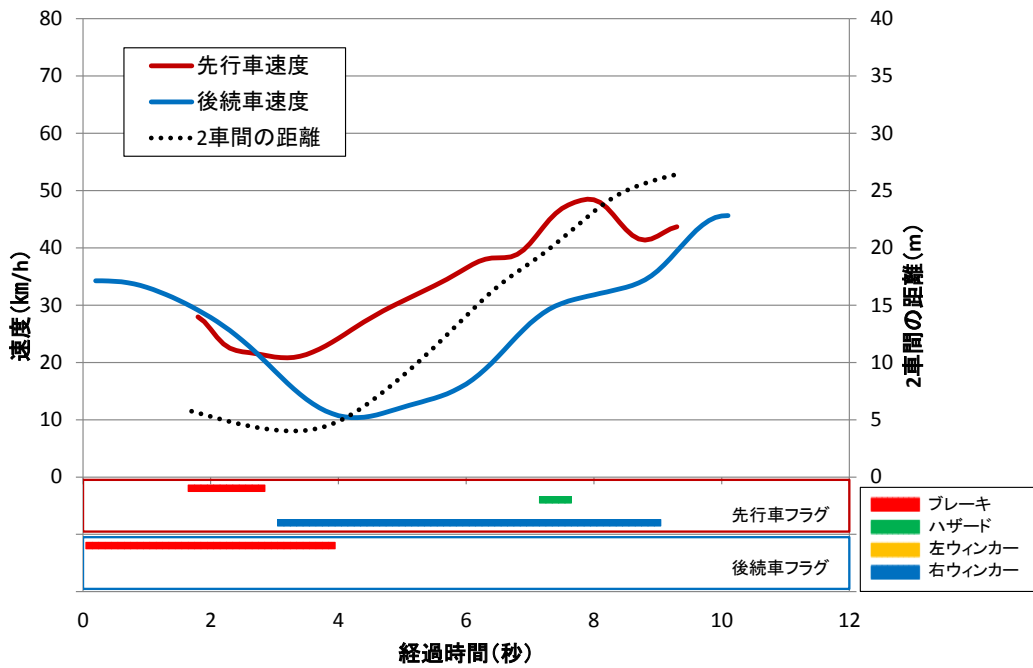


図 6-17 ドライバー間コミュニケーションに伴う車両挙動の推定結果

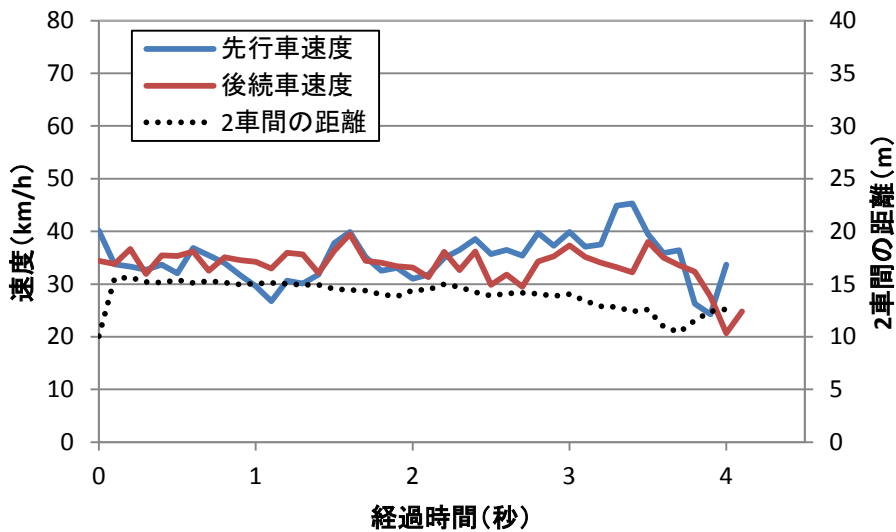


図 6-18 ドライバー間コミュニケーションに伴う車両挙動の推定結果

6.4.1.4.各道路区間および各地点でのドライバー間コミュニケーションの抽出結果

事前検討から抽出したドライバー間コミュニケーションの手続きに基づいて、各道路区間および各地点の CCTV の映像データからドライバー間コミュ

ニケーションの件数を抽出した。その結果を表 6-1 および表 6-2 にそれぞれ示す。大井料金所の料金所後広場では複数ある料金所ブースから 3 車線に集約されること、小菅 JCT-堀切 JCT の道路区間では 2 車線と 2 車線が 4 車線あるいは 3 車線に集約されることから、これらの道路区間については車線変更の方向について分類せず、一つにまとめることとした。一部、CCTV のカメラから判読が十分に行えなかったものについては除外している。

表 6-1 観測されたドライバー間コミュニケーションの件数

	志村 料金所		板橋- 熊野町JCT	用賀 料金所	大井 料金所	
	前広場 (PA) 10/12(水) 6:00-7:00	後広場 10/12(水) 12:30- 13:30	上り・ 内回り 10/12(水) 7:00-8:00	後広場 11/13(日) 11:00~ 11:30	後広場	
					10/14(金) 11:30- 12:15	10/15(土) 16:30- 17:00
右車線 →左車線	50/144	0/3	71/96	2/17	62/113 (車線 まとめ)	61/119 (車線 まとめ)
左車線 →右車線	2/85	187/197	81/107	97/148		

コミュニケーション件数/車線変更総数

表 6-2 観測されたドライバー間コミュニケーションの件数

	小菅-堀切JCT			堀切-小菅JCT	
	外回り			内回り	
	10/9(日) 17:00-17:45	10/10(月祝) 7:00-7:30	10/12(水) 17:30-18:00	10/10(月祝) 16:00-16:30	10/11(火) 9:30-10:00
車線 まとめ	271/430	131/279	114/211	130/252	130/160

コミュニケーション件数/車線変更総数

映像データから抽出されたドライバー間コミュニケーションの件数は、各道路区間、各地点によってやや異なるが、車線変更総数のおおよそ半数であり、合流側車両のウィンカーによる意思表示、被合流側車両の減速や速度維持などの車両挙動による「譲り」の意思表示の組合せがほとんどであった。定性的な結果ではあるが、非優先側車両である合流車両が合流部や車線減少などで車線変更の意思を表明し、その合流車両の合流の受け入れを優先側車両である被合流車両が表明するといったドライバー間コミュニケーションを対象にした場合、ウィンカーを利用した合流意思の表明が多いこと、また他車両の合流意図を受け入れる際には減速して優先側車列の先行車両との車間距離を開ける、あるいは速度を維持して優先側車列の先行車両との車間距離

を開ける/維持するなど車両挙動を利用した意思表示が多く利用されていることが示唆される。

一方、CCTVを利用したドライバー間コミュニケーションの抽出に関して、ウィンカーの利用や車両挙動(一部の挙動を除く)の利用については、おおむね抽出可能であったが、ドライバー間コミュニケーションの手段の一つとして考えられるパッシングライトの利用やドライバーの身振り、アイコンタクトについては確認することが困難であった。これらについては、車両同乗による調査により分析・検討する必要がある。

6.4.2. 車両同乗による都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションの検討

都市内高速道路の分合流部や料金所前広場・後広場を対象に定点観測による調査を実施し、これらの道路区間や地点での合流行動に伴うドライバー間コミュニケーションについて分析・検討したが、定点観測による調査だけでは車両挙動に関する定量的な分析が困難であった。

そこで本節では、5.3 節で説明した実験車両を利用して車両同乗による調査を実施し、都市内高速道路の分合流部や料金所前広場・後広場におけるドライバー間コミュニケーションに伴う手段や手続きなどの基本要素について詳細に検討することを目的とする。

6.4.2.1. 都市内高速道路を対象とした走行地域および走行ルート

車両同乗による調査において設定した走行ルートを図 6-19 に示す。実験走行の往路で設定した走行ルートは、首都高速道路の湾岸線東行き大井南ランプ入口を出発して、辰巳 JCT、葛西 JCT、堀切 JCT、小菅 JCT を経由して千住大橋ランプ出口に至るまでの約 27km で、所要時間は渋滞や混雑がなければ約 25 分であった。実験走行の復路で設定した走行ルートは、首都高速道路の 6 号三郷線上り加平ランプ入口を出発して、小菅 JCT、堀切 JCT、箱崎 JCT、辰巳 JCT を経由して有明ランプ出口に至るまでの約 20km で、所要時間は渋滞や混雑がなければ約 20 分であった。

6.4.2.2. 観測曜日と観測時間帯

車両同乗による走行の実施は、平日に実施することを基本とし、ドライバー間コミュニケーションが多く発生すると考えられる渋滞状態や混雑状態が多く含まれる時間帯を主として対象とした。

(a) 往路(大井南→千住大橋)

(b) 復路(加平→有明)

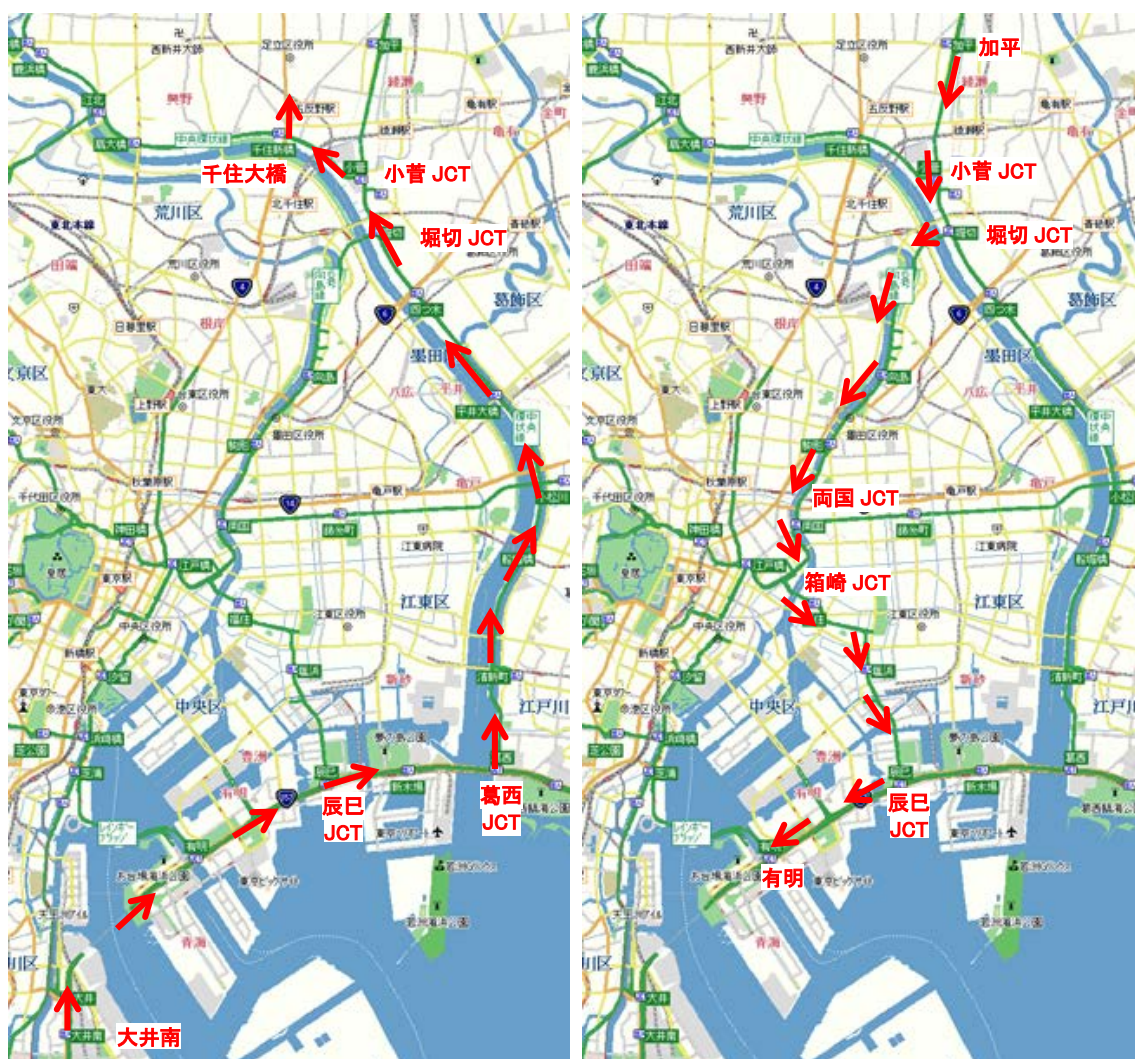


図 6-19 車両同乗による調査に使用した走行ルート

6.4.2.3. 実験参加者

実験参加者は週 1 回以上の運転経験を有し、首都高速道路上での運転に支障のない一般のドライバーを想定したが、一部の実験参加者ではこの条件を満足しなかった。実験参加者の属性や運転経験に関する詳細は表 6-3 に示される通りであり、本実験の実験参加に対して同意頂ける方々のみを対象とした。

表 6-3 実験参加者

群	性別/人数	年齢	運転頻度
若年	男性 11 名	20～29 歳(平均 26.0 歳)	週 1 回以上(10 名), 0.5 回/月(1 名)
	女性 3 名	23～30 歳(平均 27.0 歳)	週 1 回以上(2 名), 0.3 回/月(1 名)
中年	男性 8 名	39～53 歳(平均 44.3 歳)	週 2 回以上(5 名), 0.25 回/月(2 名), 無回答 1 名
	女性 2 名	36～52 歳(平均 44.0 歳)	週 4 回以上(1 名), 0.25 回/月(1 名)
高齢	男性 5 名	66～74 歳(平均 70.8 歳)	週 1 回以上(4 名), 週 0.5 回(1 名)
	女性 1 名	66 歳	毎日

6.4.2.4. 実験手続き

実験参加者には、最初に本実験の概要や実施項目、注意事項などを含めた説明を行い、実験途中で実験の中断や実験の中止を申し出ること、それらを行っても不利益が生じないことなどもあわせて説明し、実験参加への同意書に署名いただいた。実験走行を開始する前に、実験車両に関する説明や簡単な練習運転を行い、実験参加への意思を再度確認した。実験走行を開始するにあたり、実験参加者には、安全に配慮した運転を心がけることなどを依頼した。経路地を含めた目的地までの走行ルートは、実験車両に同乗する実験者からの経路誘導により実験参加者に提供された。実験走行中は、実験参加者の様子や実験車両の周囲状態、実験車両の状態に関するデータを収集・記録した。実験走行終了後に実験参加者の認識や考え、心理状態などを報告していただいた。

6.4.2.5. 車両同乗によるドライバー間コミュニケーションに関する観測結果

計測機器の不調により、実験参加者 30 名のうち、中年層の男性 1 名、女性 2 名のデータが欠損したため、本節の分析では、実験参加者 27 名のデータを対象とすることとした。

車両同乗による観測を通じて得られたドライバー間コミュニケーション場面は、料金所後広場や合流・分流が連続する道路区間がほとんどであり、合計で 19 事象であった。これらのドライバー間コミュニケーションを対象に、合流側の合流完了時点を 0 秒と設定し、合流完了に至るまでの残り時間と被合流側の車間距離(被合流側の先行車両と後続車両の車間距離)の関係を抽出した。その結果を図 6-20 に示す。ここで、合流完了とは、被合流側の後続車両の重心から進行方向に対して鉛直線を引いた時に、合流車両が車線変更してその鉛直線に接した時点と定義する。合流車両のウィンカー点灯の開始タイミングは合流車両によって様々あったが、それに対応して被合流側車列の車間距

離が増加し始め、その後、合流車両が合流を開始する傾向が見られた。この期間の被合流側車両の車両挙動の特徴を検討するために、合流完了までの残り時間と被合流車両の車両速度の関係を抽出した。観測された 19 事象のうち、車両速度が精度良く抽出された 9 事例の結果を図 6-21 に示す。合流車両のウィンカー点灯開始後に、被合流車両はそのまま速度を一定に、あるいはやや減速して一定に維持する傾向が見られ、その速度一定の状態の後に合流車両が合流を開始する傾向が見られた。これらの結果を総合すると、被合流側の先行車両は速度を上げる中、被合流側の後続車両のドライバーがそのまま速度を一定にあるいは減速後に一定に維持するなどして、先行車両との車間距離を徐々に開けていくことが、合流車両のドライバーに進路を譲る意思表示になっており、ドライバー間コミュニケーションとなっているものと考えられる。

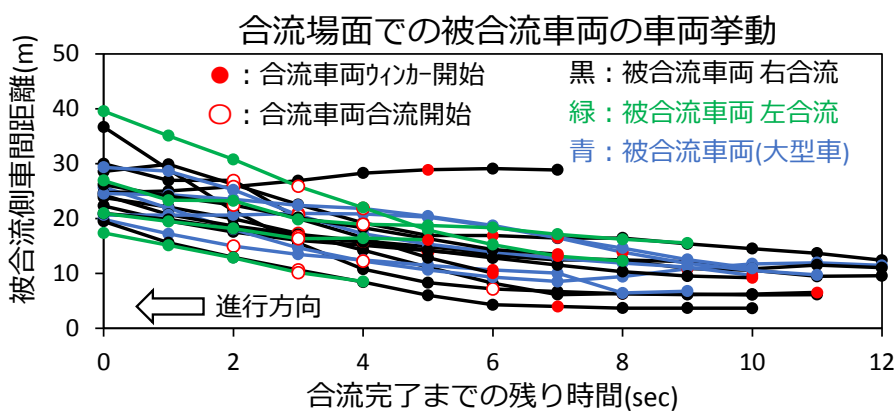


図 6-20 ドライバー間コミュニケーション場面での合流完了までの残り時間と合流側の車間距離の関係

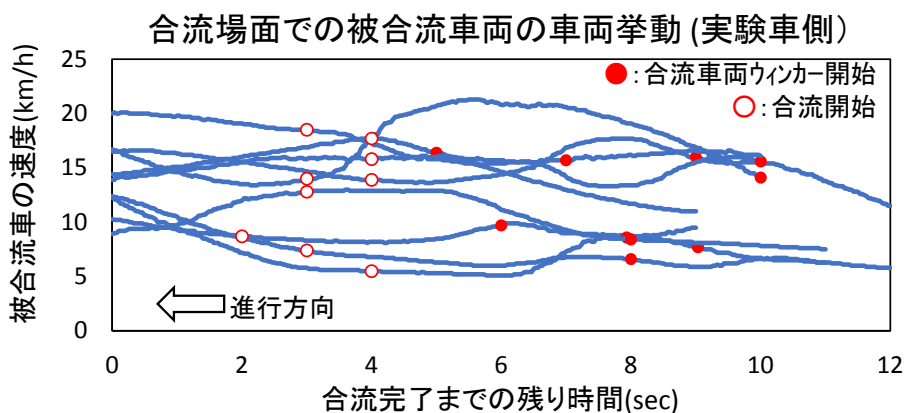


図 6-21 ドライバー間コミュニケーション場面での合流完了までの残り時間と被合流車両の車両速度の関係

合流車両の合流開始までの残り時間に対する、被合流側の先行車両と後続車両、合流車両の位置関係について抽出した。その結果を図 6-22 に示す。ここでは、図に示されるように合流車両のリアエンドの位置と被合流側の先行車両と後続車両の間との位置関係を「比」という形で定義している。合流開始までの時間が減少するにつれて、比がおおよそ 0.5 ぐらいになると合流を開始する傾向が見られた。これを合流開始時の平均距離に基づいて換算すると約 10m であることから、被合流側の車間距離が増加し始め、合流車両が被合流車両との位置関係を約 10m に調整すると合流を開始する可能性が示唆される。

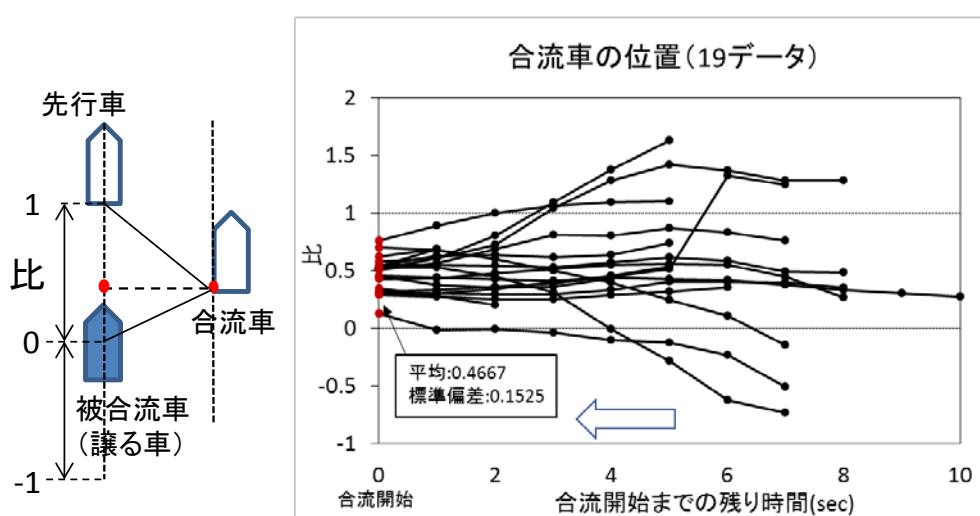


図 6-22 ドライバー間コミュニケーション場面における合流開始までの残り時間と被合流側の先行車両、後続車両、合流車両の位置関係

6.4.3. 都市内高速道路を対象としたドライバー間コミュニケーションのモデル化に関する検討

都市内高速道路を対象に渋滞状態や混雑状態での合流場面において、合流車両に対して被合流車両から進路を譲る場合のドライバー間コミュニケーションは、図 6-23 に示される流れ図のような手続きになると考えられる。初期状態としては、被合流車両の初期速度は 15km/h 以下、初期車間距離は 5m から 15m であるが、そこから被合流車側の車間距離の調整・制御が約 25m に向けて 1 秒あたり約 1.7m の割合で徐々に増加されていき、被合流側の車間距離が約 18m を越えたタイミングで合流車両が合流を開始する。合流開始時の合流側の後続車両との位置関係は約 10m の距離になるものと推察される。

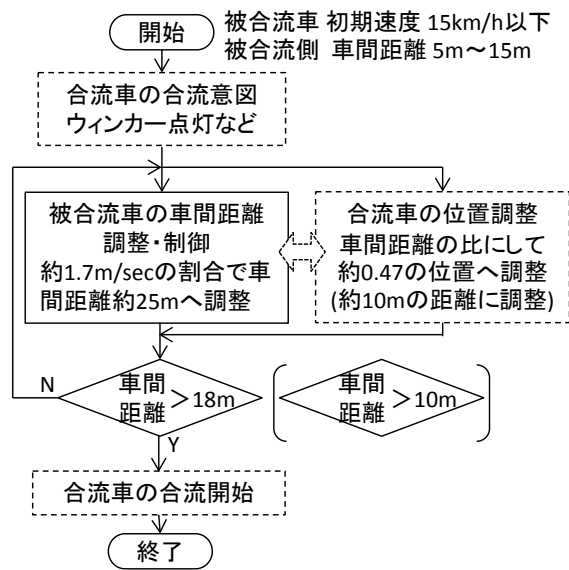


図 6-23 都市内高速を対象にした合流場面での合流車両へのドライバー間コミュニケーションの手続き

6.5. 一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討

都市内高速道路におけるドライバー間コミュニケーションと同様に、一般道路においても様々なコミュニケーションが行われている。しかしながら、一般道路では、都市内高速道路にはない対向車両や歩行者といった交通参加者との関わりがあり、これらの交通参加者とのコミュニケーションに関する検討が必要となる。

本節では、一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションの特徴を検討するために定点観測による調査を実施し、実際の道路環境においてドライバー間でのコミュニケーションが必要となる場面などを抽出する。さらに車両同乗による調査を実施し、ドライバー間でのコミュニケーションにおいて利用される手段や手続きなどの基本要素を抽出して、ドライバー間コミュニケーションに関するモデル化を試みる。

6.5.1. 定点観測による一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討

一般道路では、ドライバー間のコミュニケーションだけでなく、ドライバーと歩行者の間のコミュニケーションも行われており、都市内高速道路と比較して道路環境や交通状況が多様であることから、都市内高速道路とは異なったコミュニケーションが行われていると考えられる。事前に実施した走行調査によると、ドライバー間コミュニケーションについては図 6-24 に示されるような形態が観測された。

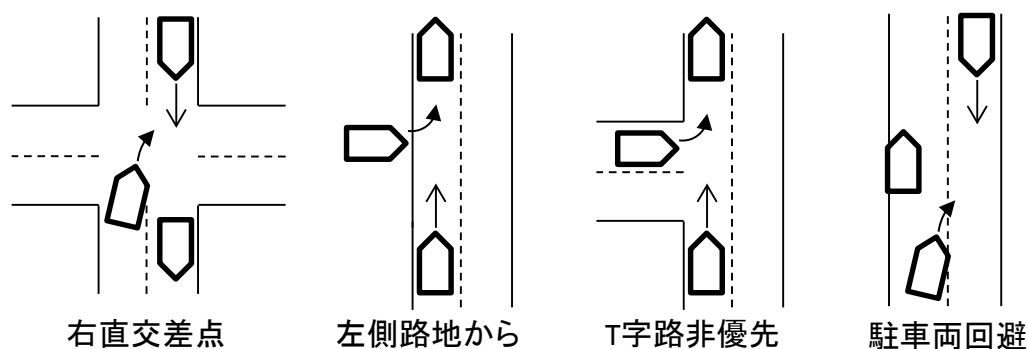


図 6-24 事前調査から得られた主なドライバー間コミュニケーションの形態

そこで本観測では、一般道路におけるドライバー間コミュニケーションの形態として、交差点部での右折車ドライバー(非優先側)と直進車ドライバー(優先側)のコミュニケーション、路地や T 字路から進入する際の進入車ドラ

イバー(非優先側)と直進車ドライバー(優先側)とのコミュニケーションを定点観測の対象とした。商店街や駅前通り等における駐車車両の回避に伴うコミュニケーションについては、対象となる道路区間が長く、撮影範囲も広くなることから、カメラの設置台数などの制約などを考慮すると定点観測による調査には不向きである。駐車車両の回避に伴うコミュニケーションについては定点観測ではなく、車両同乗による調査で対応することとした。

6.5.1.1.分析対象とする道路区間および地点

定点観測対象となる道路区間や地点の候補を抽出するにあたり、地方自治体や所轄の警察署などの監督官庁・関係各所への許可申請ならびに道路使用許可申請などを行い、許可が得られる必要がある。事前の検討に基づいて、川崎市内ならびに横浜市内の一般道路・生活道路を対象に観測対象箇所の選定を実施したが、川崎市からは許可が得られなかったため、横浜市内を対象に検討を行った。その結果、横浜市内の一般道・生活道路の約 10 箇所が候補として抽出された。各定点観測地点に対してビデオカメラ 2 台を設置することを基本とし、設置箇所の制約や撮影範囲の状況に応じて設置台数を増減させた。各候補地の写真は、調査者がその場でカメラ撮影したものであり、実際のビデオカメラは電柱に設置され(電柱所有者・管理者に使用許可を申請済み)、より高い位置から撮影された。ここでは、ドライバー・歩行者間コミュニケーションの観測対象箇所も含めている。

● 菊名駅西口無信号交差点および菊名駅周辺綱島街道沿い交差点

菊名駅周辺では、ドライバー・歩行者間コミュニケーションの候補地として図 6-25 に示されるような菊名駅西口周辺の横断歩道の設置された無信号交差点を観測対象とした。菊名駅へ向かう歩行者がやや多く、通行する車両は速度も低いものがほとんどであった。



図 6-25 菊名駅西口周辺の定点観測箇所の状況

一方、ドライバー間コミュニケーションの候補地として、図 6-26 に示されるような菊名駅周辺綱島街道沿いの交差点部を観測対象とした。事前の調査

において、この交差点では東京方面に向かう直進車両のドライバーが右折待ちの車両ドライバーに進路を譲る場面が多く観測された。



図 6-26 菊名駅周辺綱島街道沿いの定点観測箇所の状況

● 大倉山駅前無信号交差点および大倉山駅から約 500m 離れた交差点

大倉山駅周辺では、ドライバー・歩行者間コミュニケーションの候補地として図 6-27 に示されるような大倉山駅前周辺の横断歩道の設置された無信号交差点を観測対象とした。大倉山駅へ向かう歩行者が多く、通行する車両は速度もやや低い、通行量は多い地点であった。



図 6-27 大倉山駅前周辺の横断歩道部の定点観測箇所の状況

一方、ドライバー間コミュニケーションの候補地として、図 5-28 に示されるような大倉山駅から約 500m 離れた交差点を観測対象とした。事前の調査において、この交差点では住宅街へ右折または左折して進入しようとする車両ドライバー(優先側)が住宅街から出てくる車両ドライバー(非優先側)に進路を譲る場面が多く観測された。



図 6-28 大倉山駅から約 500m 離れた交差点の定点観測箇所の状況

- 日吉駅周辺陸橋端無信号交差点

日吉駅周辺では、ドライバー・歩行者間コミュニケーションならびにドライバー間コミュニケーションの候補地として、図 6-29 に示される陸橋端に位置した、横断歩道の敷設された無信号交差点を観測対象とした。綱島街道に進入しようとする車両がこの陸橋を通行するため、時間帯によって通行量はやや多い地点であった。また駐輪場がこの交差点直近に設置されているため、時間帯によっては駅に向かう歩行者はやや多い地点でもあった。



図 6-29 日吉駅周辺の陸橋端の無信号交差点の定点観測箇所状況

- 矢向駅周辺の無信号交差点

矢向駅周辺では、ドライバー・歩行者間コミュニケーションならびにドライバー間コミュニケーションの候補地として、図 6-30 および図 6-31 に示される横断歩道の敷設された無信号交差点 2カ所を観測対象とした。駅周辺の商店街でもあり、歩行者の通行は多く、通行する車両も多い地点であった。



図 6-30 矢向駅周辺の無信号交差点(1)の定点観測箇所状況



図 6-31 矢向駅周辺の無信号交差点(2)の定点観測箇所状況

● 白楽駅周辺の無信号交差点および商店街道路区間

白楽駅周辺では、ドライバー間コミュニケーションの候補地として、図 6-32 に示される無信号交差点を設定した。商店街道路区間内にある無信号交差点であることから、基本的に歩行者が多いが、対象の交差点では車両同士の交差通行や商店街道路への進入通行が見込まれる道路区間であった。



図 6-32 白楽駅周辺の無信号交差点の定点観測箇所の状況

一方、ドライバー・歩行者間コミュニケーションの候補地として、図 6-33 および図 6-34 に示される商店街の道路区間に敷設された無信号横断歩道を観測対象とした。

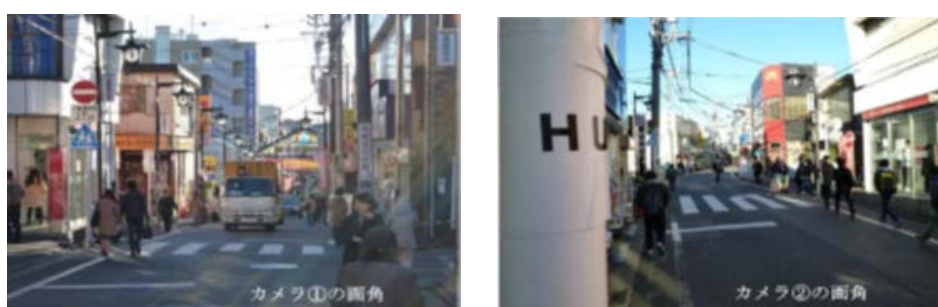


図 6-33 白楽駅周辺の無信号横断歩道(1)の定点観測箇所の状況



図 6-34 白楽駅周辺の無信号横断歩道(2)の定点観測箇所の状況

6.5.1.2.分析対象とする観測曜日と観測時間帯

首都高速道路での定点観測と同様に、平日と週末(休日)で車両の通行量や

や歩行者の通行人数、通行目的などが異なり、各コミュニケーションの特徴が異なる可能性が考えられる。一般道路における定点観測に関しても平日と週末の両日で実施することとし、降雨時や降雪時の場合は順延することとした。観測の時間帯はいずれも 7:00 から 13:00 とした。

6.5.1.3.各道路区間および各地点でのドライバー間コミュニケーションの抽出結果

首都高速道路での定点観測と同様に、定点観測用ビデオカメラで記録された映像データから交差点右折時のドライバー間コミュニケーション場面对象に車両挙動の抽出を試みた。その観測例を図 6-35 に示す。直進車両の車両速度に関しては、ビデオカメラの設置位置と設置角度の制約から、交差点部から離れた車両位置における抽出精度が低く、車両速度の増減が大きく抽出される傾向が見られたが、右折待ち車両に進路を譲ろうとする際には、優先側車両である交差点直進車両はいずれも減速することでその意思を表明するようなコミュニケーションを行っている可能性が示唆された。

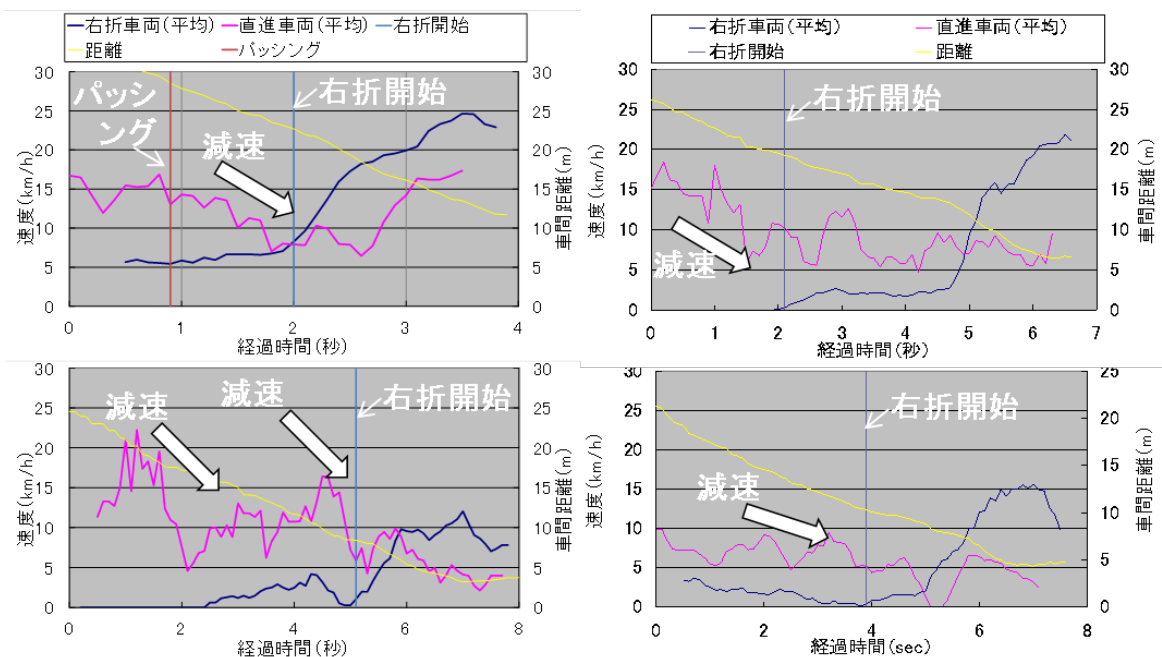


図 6-35 交差点右折を対象としたドライバー間コミュニケーションに伴う車両挙動の推定結果

定性的な検討となるが、交差点を優先車両が直進しようとする際に右折待ちの非優先車両に進路を譲ろうとする場面のほか、側方から T 字交差点を優先車両が直進しようとする際に側方から進入しようとする停止中の非優先車両に

進路を譲ろうとする場面を対象に、ドライバー間コミュニケーションの特徴を抽出した。その結果を図 6-36 に示す。いずれの場面においても直進車が減速することで進路を譲ろうとする意思を表明する特徴が見られたが、特に右折待ち車両を対象とした場合には、交差点部に接近する過程において、パッシングライトを多く利用しており、そのパッシングライトに気づいてすぐ右折を開始している様子が観測された。交差点部での右折車ドライバーと直進車ドライバー間のコミュニケーション場面では、優先側車両が減速しつつ、さらにパッシングライトで合図を行うことで進路を譲っていることを表明できる可能性が高いものと考えられる。

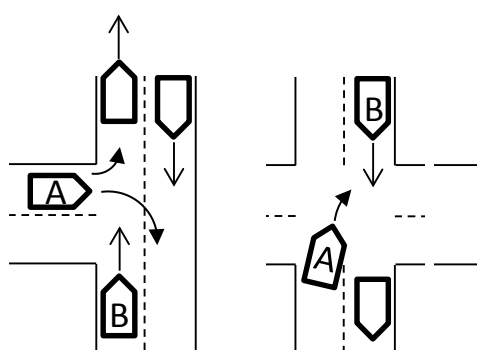


図 6-36 ドライバー間コミュニケーションの手続き

1. 車両 A が、ウィンカー等により、進路に関する意思を表明する
2. 車両 B が車両 A の進行の意図を認識する
3. 車両 B は、車両 A の進行に配慮して車両挙動や灯火器類等で進路を譲る意図を表明する
4. 車両 B からの譲りを車両 A が認識し進行を開始する

6.5.2. 車両同乗による一般道路を対象としたドライバー間コミュニケーションに関する検討

6.5.2.1. 一般道を対象とした走行地域および走行ルート

車両同乗による周囲の交通参加者とのコミュニケーション調査に関して、図 6-37 および図 6-38 に示されるように慶應義塾大学理工学部矢上キャンパスならびに慶應義塾大学新川崎(K2)タウンキャンパス近郊の横浜市内および川崎市内の一般道路ならびに生活道路を走行ルートとして設定した。



図 6-37 車両同乗による観測に使用した走行ルート（前半）



図 6-38 車両同乗による観測に使用した走行ルート（後半）

実験走行の前半に設定した走行ルートは、慶應義塾大学理工学部矢上キャンパスを出発して、武蔵小杉駅、平間駅、鹿島田駅、慶應義塾大学新川崎(K2)タウンキャンパスに至るまでの約 10km で、所要時間は約 50 分であった。実験走行の後半に設定した走行ルートは、慶應義塾大学新川崎(K2)タウンキャンパスを出発して、矢向駅、菊名駅、大倉山駅、慶應義塾大学理工学部矢上キャンパスに至るまでの約 20km で、所要時間は約 90 分であった。

6.5.2.2.観測曜日と観測時間帯

車両同乗による走行の実施は、平日および週末の両方で実施したが、平日と週末による交通状況の影響が生じにくく、実験車両を運転する実験参加者の間である程度の比較が可能と思われる区間を含めることとした。

6.5.2.3.実験参加者

実験参加者は週 1 回以上の日常的な運転経験を有する一般のドライバーで

あった。実験参加者に関して、若年ドライバーとして 21 歳から 34 歳までの男性 15 名（平均 25.5 歳）、24 歳から 34 歳までの女性 16 名（平均 27.4 歳）の合計 31 名、高齢ドライバーとして 65 歳から 72 歳の男性 5 名（平均 69.2 歳）、66 歳から 78 歳の女性 5 名の合計 10 名、全体として 41 名が本実験に参加した。いずれの実験参加者も人材派遣会社を介して募集された一般のドライバーであり、本実験の実験参加に対して同意頂ける方々のみを対象とした。

6.5.2.4. 実験手続き

実験参加者には、最初に本実験の概要や実施項目、注意事項などを含めた説明を行い、実験途中で実験の中断や実験の中止を申し出ること、それらを行っても不利益が生じないことなどもあわせて説明し、実験参加への同意書に署名いただいた。実験走行を開始する前に、実験車両に関する説明や簡単な練習運転を行い、実験参加への意思を再度確認した。実験走行を開始するにあたり、実験参加者には、安全に配慮した運転を心がけること、歩行者や車両が交差点や横断歩道で待機していたら自然な流れで譲れる場合には譲ること、ただし、急ブレーキなどで無理に譲る必要はないことなどを依頼した。経路地を含めた目的地までの走行ルートは、実験車両に搭載されたカーナビゲーションと実験車両に同乗する実験者からの経路誘導により実験参加者に提供された。実験走行中は、実験参加者の様子や実験車両の周囲状態、実験車両の状態に関するデータを収集・記録した。走行ルート（前半）の実験走行終了後に慶應義塾大学新川崎(K2)タウンキャンパス内で休憩を取り、走行ルート（後半）の実験走行終了後に慶應義塾大学理工学部矢上キャンパス内にて周囲の交通参加者との間にコミュニケーションが発生した場面の映像データを確認していただき、その場面に関する実験参加者の認識や考え、心理状態などを報告していただいた。

6.5.2.5. ドライバー間コミュニケーションに関する観測結果

計測機器の不調により、実験参加者 41 名のうち、若年女性のドライバー 1 名のデータが欠損したため、本節の分析では、実験参加者 40 名（若年男性 15 名、若年女性 15 名、高齢男性 5 名、高齢女性 5 名）のデータを対象とすることとした。

車両同乗による調査により収集されたドライバー間コミュニケーションは、主として、図 6-39 に示されるような場面对象としたものであった。

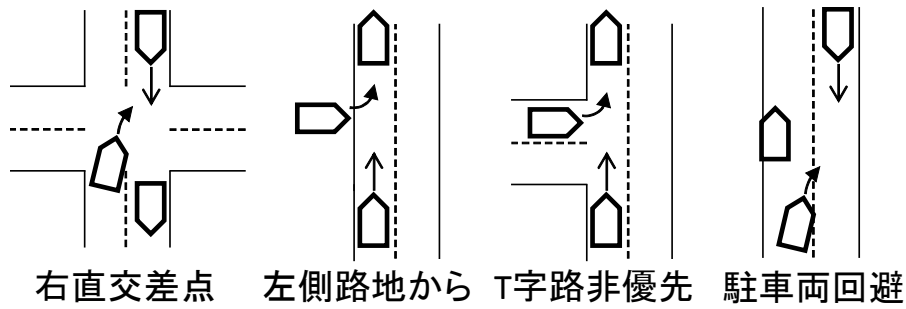


図 6-39 事前調査から得られた主なドライバー間コミュニケーションの形態

6.5.3. ドライバー間コミュニケーションに関する観測結果

車両同乗による観測を通じて得られたドライバー間コミュニケーション場面の結果ならびに形態を図 6-40 に示す。凡例にある「P 利用」はコミュニケーション場面においてパッシングライトを利用したことを示している。逆に「P 利用」のないものは、減速や停止などの車両挙動を利用したことを示している。これらの結果は、走行終了直後にドライバー間コミュニケーションが発生したと考えられる場面を実験参加者に確認してもらい、他のドライバーに進路を譲ろうとしたかどうか、または他のドライバーから進路を譲られたと判断したかどうかを回答してもらった上で、実験参加者が進路を譲ろうとした場面と実験参加者が進路を譲られた場面を抽出した。

観測されたコミュニケーション全体の件数については、若年ドライバーでの発生件数が多く、高齢ドライバーでの発生件数は若年ドライバーの 1/4 に留まった。

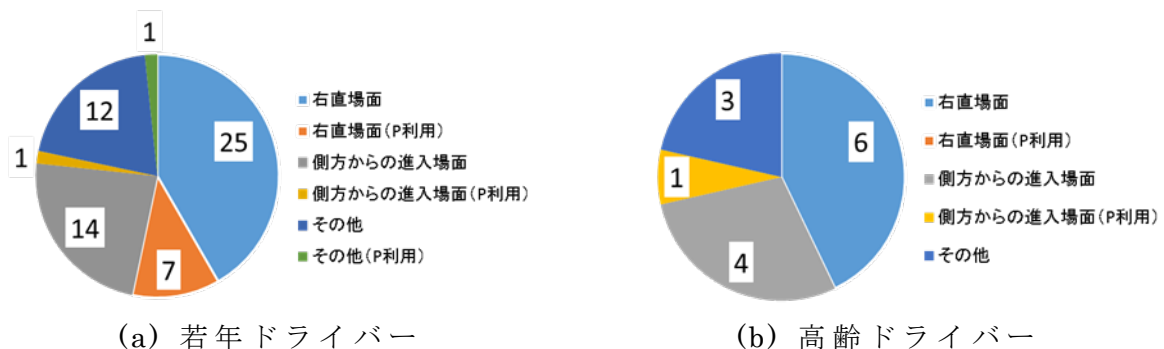


図 6-40 ドライバー間コミュニケーション場面の形態と件数

直進車ドライバーと右折車ドライバーの間のコミュニケーションについては、若年ドライバー、高齢ドライバーの違いに関わりなく多く観測され、観測されたコミュニケーションのおおよそ半数を占めた。その際のコミュニケ

ーション手段は減速または停止が多く、若年ドライバーではパッシングライトを利用する傾向も見られたが、高齢ドライバーでは全く観測されなかった。次に多く観測されたコミュニケーションは、側方から進入する場面でのコミュニケーションであった。詳細には、路地や T 字路から進入する際の進入車ドライバー(非優先側)と直進車ドライバー(優先側)とのコミュニケーションであった。その他は、主として、駐車車両や道路工事箇所を回避しようとする場面において、優先側車両のドライバーが非優先側車両のドライバーに進路を譲ろうとする場面が該当した。パッシングライトを利用したドライバー間コミュニケーションについては、高齢ドライバーではほとんど観測されなかった。

ドライバー間コミュニケーションの場面において、実験車両と相手車両との間の距離と車両速度との関係を分析した。その結果を図 6-41 に示す。ここでは、優先側車両と非優先側車両において車両挙動や灯火器操作に関するデータが抽出可能であったものについてのみまとめている。

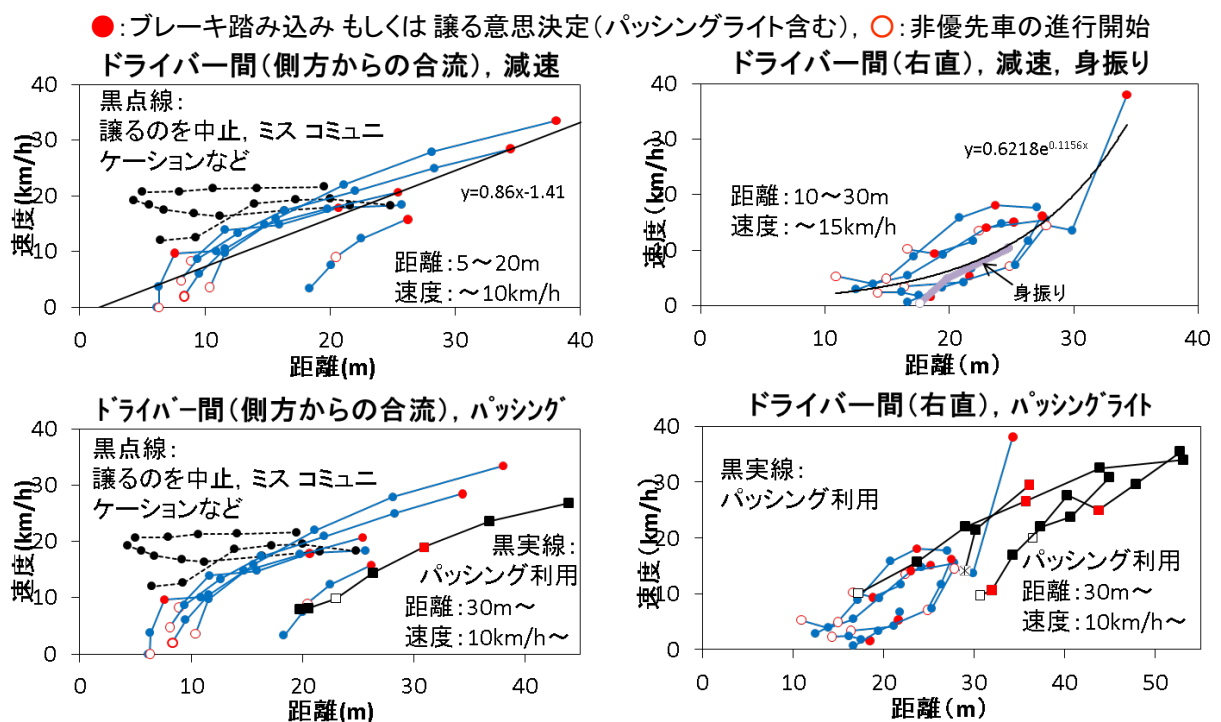


図 6-41 コミュニケーション場面での距離と速度の関係

交差点部での右直場面を対象に、実験参加者が非優先側車両のドライバーに進路を譲ろうと意思決定してから、非優先側車両のドライバーが進行を開始した時点までの実験車両の特徴に注目すると、実験車両と非優先側車両の間の距離がおおよそ 10m から 30m のところ、速度が 15km/h 以下の状態に

において、非優先側車両が発進している状況が多く観測された。減速度の特徴としては比較的大きな減速が生じた後に減速の幅が緩やかになり、下に凸となるような減速に近い状況が観測された。同じく右直場面を対象にパッシングライトが利用された場合に関しては、主として車両同士の距離が 30m 付近以上の場合と 20m 弱の場合に観測された。

一方、側方から進入しようとする非優先側車両に対して、実験参加者が進路を譲ろうとする場合には、右直場面とは異なり、徐々に減速を大きくして、上に凸となるような減速に近い状況で、最終的には 10m 程度の距離のところまで 10km/h 以下の速度となるような車両挙動を行っている傾向が見られた。このような実験参加者からの車両挙動に対して、非優先側車両のドライバーは実験車両との距離が 10m 付近に至り、また速度が 10km/h 以下に至ったときに車両を発進させている状況が観測された。パッシングライトを利用した状況は 1 例あり、車両同士の距離がおおよそ 20m 付近で行われている状況が観測された。

6.5.4. 一般道路を対象とした側方からの進入場面や交差点での右折場面でのドライバー間コミュニケーションのモデル化に関する検討

一般道路における側方からの進入場面を対象に、非優先側車両に対して優先側車両から進路を譲る場合のドライバー間コミュニケーションは図 6-42 に示される流れ図のような手続きになると考えられる。同様に、一般道における交差点での右折場面を対象に、非優先側車両に対して優先側車両から進路を譲る場合のドライバー間コミュニケーションは図 6-43 に示される流れ図のような手続きになると考えられる。

側方からの合流車(非優先側)への譲り

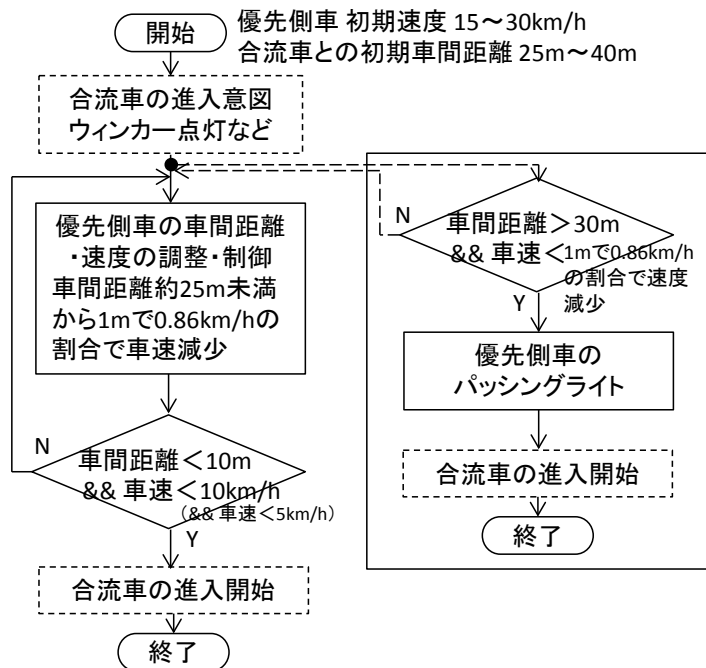


図 6-42 側方からの合流車両への譲りに関するドライバー間コミュニケーションの手続き

交差点での右折車(非優先側)への譲り

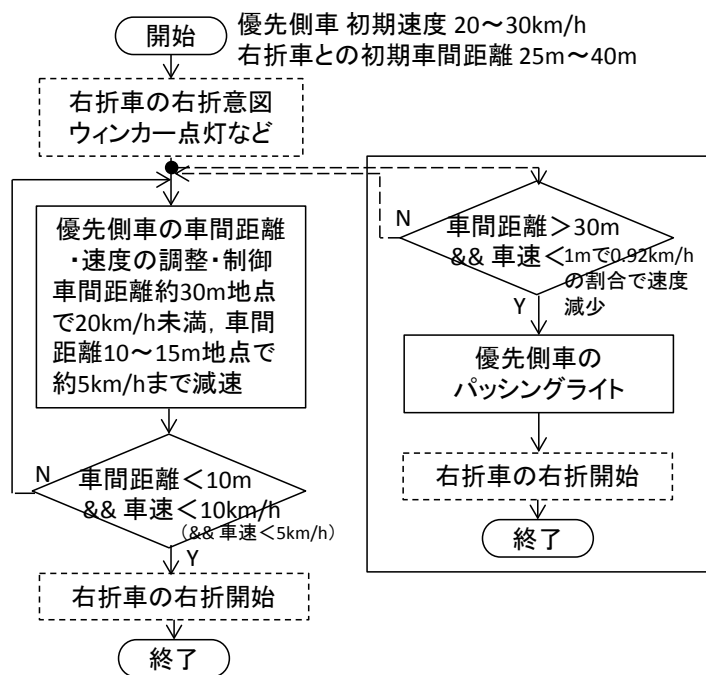


図 6-43 交差点での右折車両への譲りに関するドライバー間コミュニケーションの手続き

6.6. 一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する検討

本節では、一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーションの特徴を検討するために、5.5節で実施した定点観測による調査の映像データと車両同乗による調査の各種データを利用して、ドライバー・歩行者間でのコミュニケーションが必要となる場面などを抽出する。これらの分析を通じて、ドライバー・歩行者間でのコミュニケーションにおいて利用される手段や手続きなどの基本要素を抽出して、ドライバー・歩行者間コミュニケーションに関するモデル化を試みる。

6.6.1. 定点観測による一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する検討

6.5節のドライバー間コミュニケーションに関する定点観測による調査の映像データからドライバー・歩行者間コミュニケーションを抽出し、その特徴について分析することとした。事前に実施した走行調査からは、ドライバー・歩行者間コミュニケーションについては図 6-44 に示されるような形態が候補として挙げられた。一般道路におけるドライバー・歩行者間コミュニケーションの形態としては、無信号交差点にて横断しようとする路肩に立っている歩行者と接近する車両のドライバー間のコミュニケーション、横断歩道の路肩にて道路を横断しようとする路肩に立っている歩行者と接近する車両のドライバー間のコミュニケーションを定点観測の対象とした。横断歩道のない道路区間については、事前の調査でも歩行者の存在が少ない場合が多く、特定の道路区間を指定することは困難であると考えられたことから、横断歩道のない道路区間でのドライバー・歩行者間コミュニケーションについては定点観測ではなく、車両同乗による観測で対応することとした。

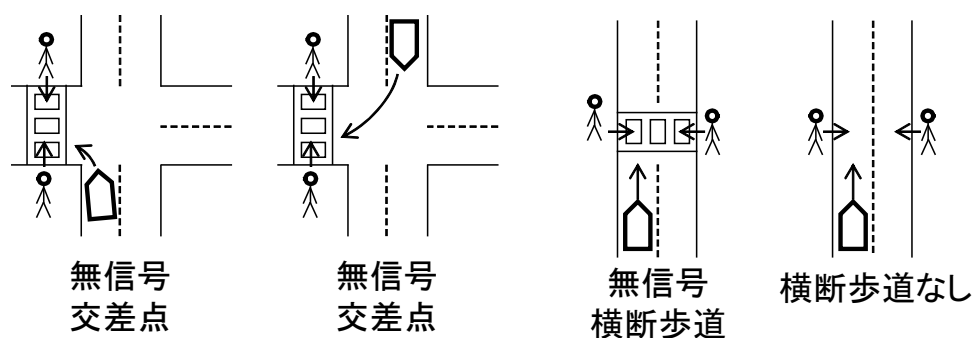


図 6-44 事前調査から得られた主なドライバー・歩行者間コミュニケーションの形態

6.6.1.1.分析対象とする道路区間および地点

5.5 節の定点観測による調査で対象とした道路区間や地点のうち、ドライバー・歩行者間コミュニケーションの対象候補として挙げた 3 地点の映像データを主として分析した。分析対象とする観測曜日と観測時間帯も 5.5 節の定点観測と同様であった。

6.6.1.2.各道路区間および各地点でのドライバー・歩行者間コミュニケーションの抽出結果

6.5.1.3 節と同様に、定点観測用ビデオカメラで記録された映像データから道路を横断しようとする路肩に立っている歩行者に対して接近する車両が進路を譲ろうとする際のドライバー・歩行者間コミュニケーションの場面を対象に車両挙動と歩行者行動の抽出を試みた。その観測例を図 6-45 に示す。接近車両ならびに歩行者の速度に関しては、前述のように、ビデオカメラの設置位置と設置角度の制約から、交差点部から離れた位置では抽出精度が低く、車両速度や歩行速度が高く増減も大きく抽出される傾向が見られた。

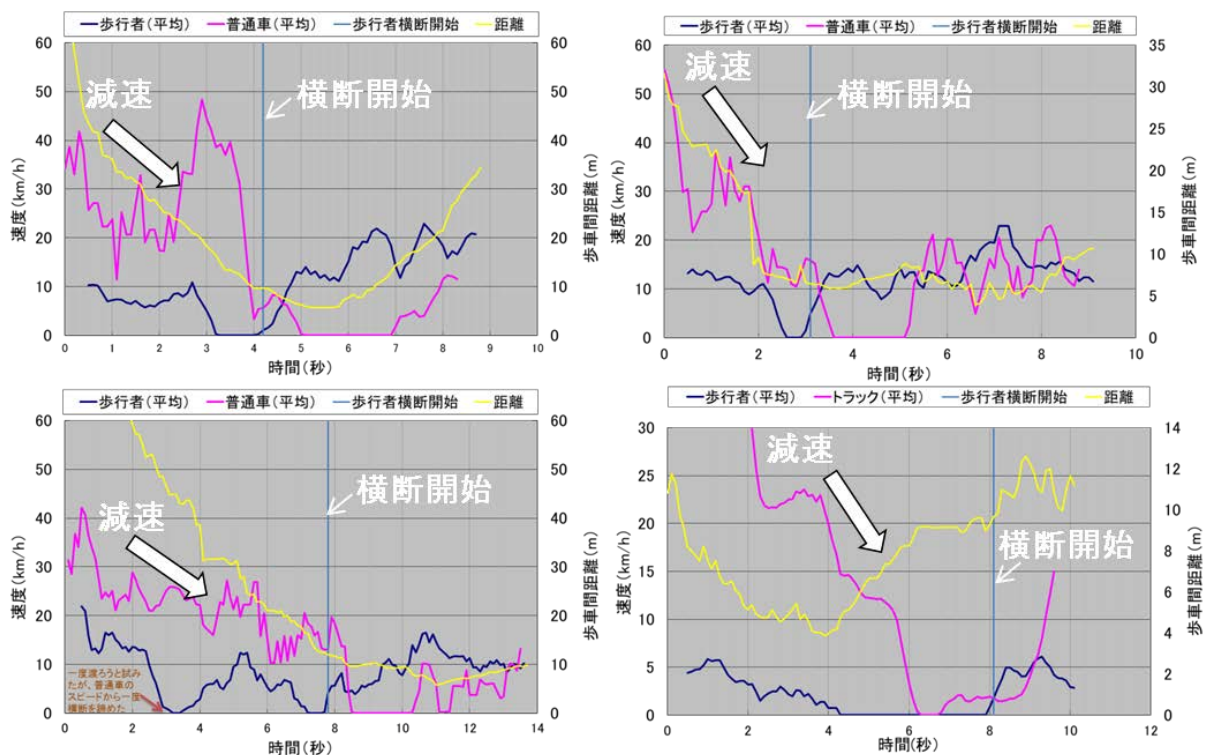


図 6-45 ドライバー・歩行者間コミュニケーションの観測結果

前述と同様に定性的な検討となるが、道路を横断しようとする路肩に立っている歩行者に対して接近する車両が歩行者に進路を譲ろうとする場面を対象に、ドライバー・歩行者間コミュニケーションの特徴を抽出した。その結果を図 6-46 に示す。交差点から離れた地点での車両挙動の抽出精度は高くないが、

接近する車両は徐々に減速している状況がうかがえた。しかしながら、歩行者は接近する車両が完全に停止する前に横断開始している事例が確認され、接近する車両の減速の特徴によっては歩行者側が進路を譲られていると停止前に認識している可能性が示唆される。また歩行者に対して進路を譲る際には、定点観測による調査を実施した範囲では、パッシングライトで歩行者に合図をする事例は観測されたなかった。

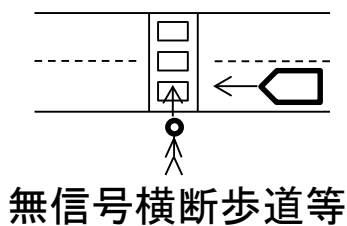


図 6-46 ドライバー・歩行者間コミュニケーションの手続き

1. 車両が、車両挙動により、歩行者に進路を譲る意思を表明する
2. 歩行者が車両の意図を認識し、横断を開始する。

6.6.2. 車両同乗による一般道路を対象としたドライバー・歩行者間コミュニケーション調査

6.6.2.1. 車両同乗による調査の概要

走行ルートや実施日時、実験参加者、実験参加者については、5.5.2 節の車両同乗による調査で設定したものと同様であった。

6.6.3. ドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する観測結果

車両同乗による観測を通じて得られたドライバー・歩行者間コミュニケーション場面の結果ならび形態を図 6-47 に示す。これらの結果は、走行終了直後にドライバー・歩行者間コミュニケーションが発生したと考えられる場面を実験参加者に確認してもらい、歩行者に進路を譲ろうとしたかどうか回答してもらった上で、実験参加者が進路を譲ろうとした場合のみを抽出した。

若年の実験参加者で多くのドライバー・歩行者間コミュニケーションが観測され、高齢の実験参加者は若年と比較すると半数以下であった。実験車両の進行方向に対して歩行者の待機位置(右側/左側)の違いはほとんど見られなかった。また、これらの観測事例のほとんどは単路部で無信号の横断歩道もしくは横断歩道なしの地点であった。無信号の交差点部でのドライバー・歩行者間コミュニケーションは数例のみであった。

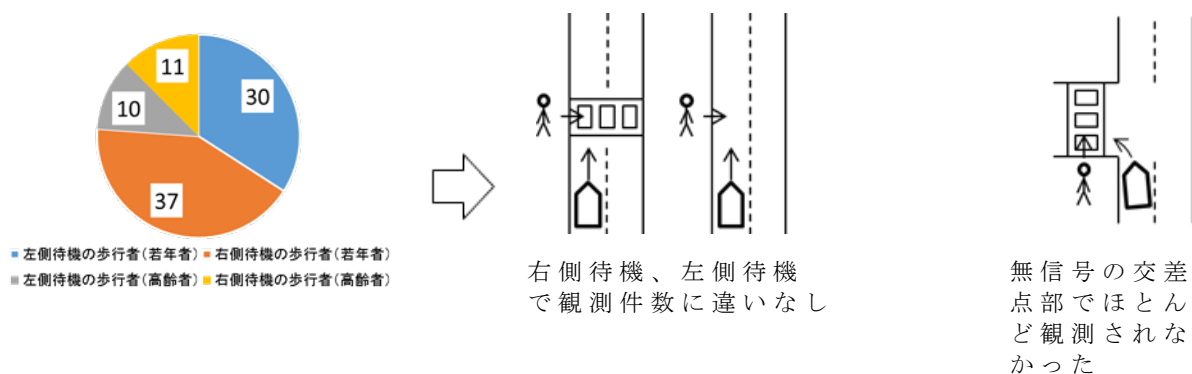


図 6-47 ドライバー・歩行者間コミュニケーション場面の形態と観測件数

またコミュニケーションに伴う手段や手続きに関しては、ドライバーが減速や低速などの車両挙動により、歩行者への譲りを表明しているものがほとんどであった。本実験走行における観測数は少数であったが、ドライバーの身振りによる歩行者への譲りは数例のみに留まった。またパッシングライトなどの灯火器を利用した歩行者への譲りは観測されなかった。

ドライバー・歩行者間コミュニケーション場面において、実験車両から歩行者までの距離と車両速度との関係を分析した。その結果を図 6-48 に示す。

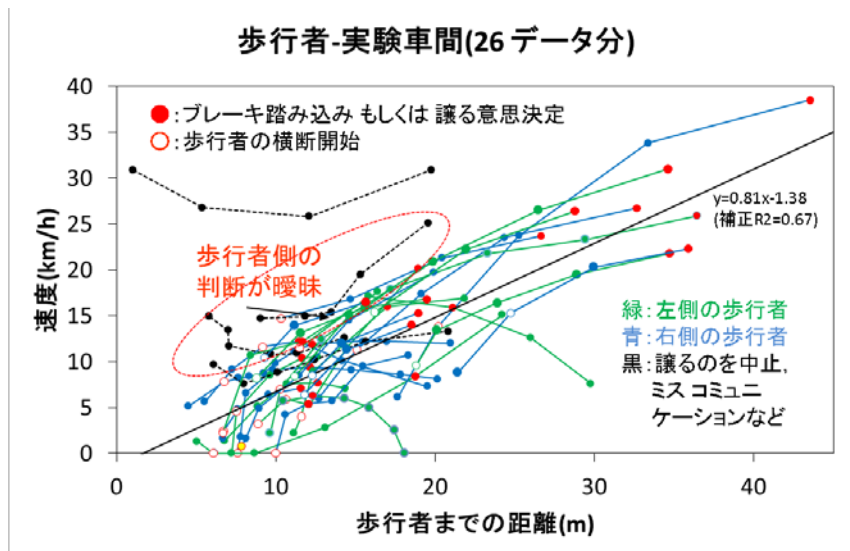


図 6-48 ドライバー・歩行者間コミュニケーション場面での距離と速度の関係

実験参加者が歩行者に進路を譲ろうと意思決定してから、歩行者が横断を開始した時点までの実験車両の特徴に注目すると、車両と歩行者との距離が 20m から 5m の範囲に入り、かつ速度が 15km/h 以下となった場合に、歩行者が横断を開始している。歩行者が横断を開始した時点では、車両から進路を譲られたと歩行者が判断した可能性が考えられる。また車両の進行方向に対して歩行者が左側で待機している場合と右側に待機している場合で歩行者の判断がやや異なり、左側で待機している歩行者の方がより低い速度で横断を開始している状況がうかがえた。一方、歩行者と距離が 20m から 5m の範囲に入り、かつ速度が 15km/h 以下となった場合であっても、実験参加者が歩行者に進路を譲ろうとしているにもかかわらず、歩行者が横断を控えている状況も数例見られた。それらの事例は、大まかではあるが、歩行者との距離が 20m から 5m の間で大きな減速が生じておらず、歩行者からは一定速で進行しているように認識された可能性が考えられる。速度は 15km/h よりもやや低い状態であることを考慮に入れると、歩行者は接近してくる車両の速度だけでなく、減速の有無もまた、接近してくる車両が進路を譲ろうとしているのかどうかの判断に影響を与えることを示唆している。

ドライバー・歩行者間コミュニケーションの形態について歩行者の属性による影響を分析するために、観測されたコミュニケーション場面を歩行者の属性に基づいて分類した。ここでは、歩行者の属性として、若年者、高齢者、ベビーカー・子連れの 3 種類を、また歩行者ではないが、自転車も対象にして同様な分析を行った。その結果を図 6-49 に示す。若年歩行者に対しては、実験参加者は 4 種類の分類の中でもっとも大きな減速度を伴って接近する傾

向が見られた。一方、高齢歩行者に対しては、実験参加者は4種類の分類の中でもっとも小さな減速度を伴って接近する状況が見られたが、これは接近速度が元々小さかった可能性があり、道路環境による影響を受けたものと考えられる。いずれの場合も横断開始タイミングは接近する車両が15km/h以下でほぼ同様であった。

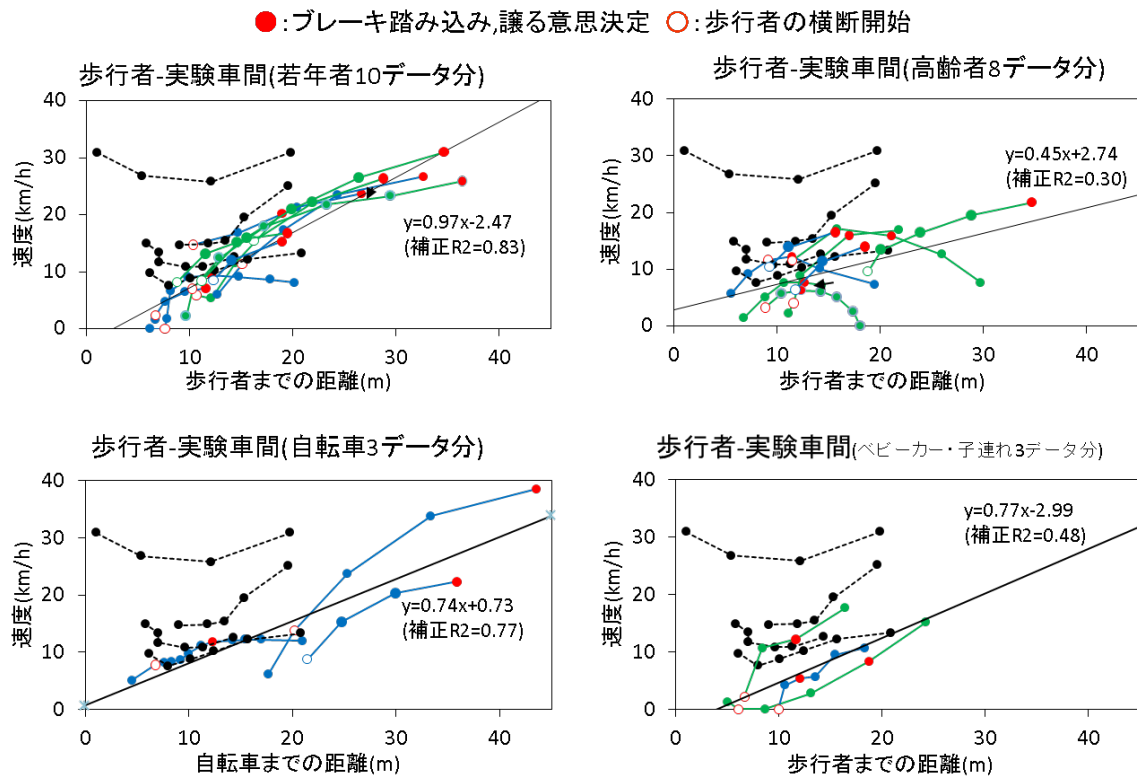


図 6-49 ドライバー・歩行者間コミュニケーション場面での距離と速度の関係（歩行者属性別）

一方、ベビーカー・子連れについて観測数が少なかったが、進路を譲られたベビーカー・子連れは、接近する車両の速度がほぼ0km/hに至らないと、つまりほぼ停止した状態に至らないと横断を開始しなかった。同様に観測数は少ないが、自転車を対象にした場合には、実験参加者は高齢歩行者の場合と同様な減速度を伴って接近していた。しかしながら、自転車との距離がおおよそ20mぐらいの地点と5mぐらいの地点において、接近する車両の速度が10km/h程度の時に横断を開始する状況が観測された。

以上の観測結果をまとめると、横断しよう待機している歩行者の属性や自転車などの違いによっては、歩行者や自転車が横断を開始するタイミングが異なる可能性が示唆される。ただし、車両同乗による観測では、歩行者や自転車の乗り手が接近する車両に対してどのように認識し判断したのかは推測

の域を出ない。これを確認するには、別途、歩行者や自転車の乗り手の立場に立った実験検討を行う必要がある。

6.7. 車両側からの「進路の譲り」に関する歩行者認識に関する予備調査

定点観測や車両同乗による観測からドライバーが歩行者に対して進路を譲ろうとする際に減速して特定の速度以下にするなどの車両挙動を行っていることが確認された。本実験では、定点観測や車両同乗による調査から得られたコミュニケーション手段・手続き（車両挙動、灯火器類、身振りなど）に基づいて、「譲られている」ということに関する歩行者側の認識について調査し、ドライバー・歩行者間コミュニケーションのための手段や手続きについて基礎的な知見を得ること目的とする。

6.7.1. 実験場所および実験環境

本実験は、慶應義塾大学新川崎(K2)タウンキャンパス内の構内道路の一部ならびに駐車場を利用した実験を実施した。構内道路を利用した実験環境を図 6-50 に示す。実験車両は、車両同乗による観測等で利用したプリウス 50 系を利用した。実験コースは、構内道路の直線区間を実験関係者でない者が立ち入ることができないよう、パイロン等で封鎖してクロード環境を構築した。直線区間は約 120m あり、図中の右側部分がスタート地点、○の部分で歩行者の観測地点であった。

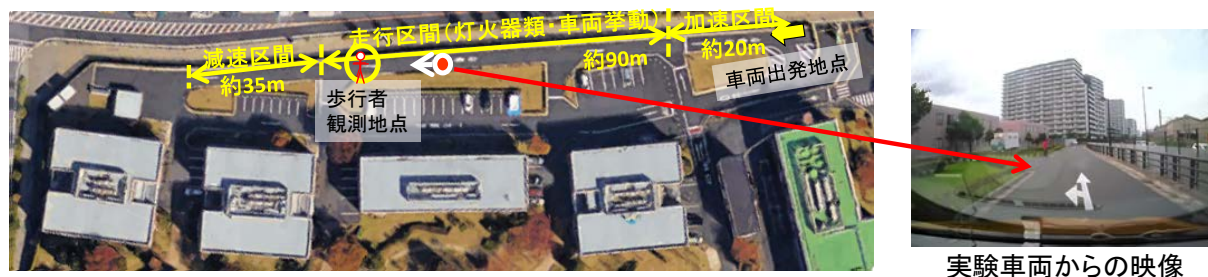


図 6-50 実験環境およびコースレイアウト

6.7.2. 実験参加者

実験参加者は 23 歳から 32 歳の一般若年男性 5 名（平均 26.8 歳）、65 歳から 71 歳の一般高齢男性 5 名（平均 68.2 歳）、8 歳から 10 歳の一般学童 5 名（平均 9.4 歳、小学 3、4 年生）の合計 15 名であった。一般若年男性および一般高齢男性は全員運転免許取得者であった。

6.7.3. 実験条件

本研究で実施した実験条件を表 6-4 に示す。実験条件は、図 6-51 に示されるように、5.6.2 節の実験結果を参考にし、歩車間距離と車両速度の組合せとして、歩行者に「譲られている」と判断されるもの、「譲られていない」と判断されるもの、「譲られている」「譲られていない」の判断が曖昧なものに分類し、これらの組合せを参考にしして実験条件を設定した。パッシングライトの使用については、判断が曖昧なものを対象に付加することにした。

実験車両の 30m 地点での進入速度と 15m 地点での速度、パッシングライトの操作の組合せに基づく 10 種類の実験条件を設定した。基本的に、車両挙動として減速が生じるもの、一定速で進行するもの、パッシングライトを使用するものなどの組合せであった。ただし、一部の実験参加者では時間制約からすべての実験条件を実施することができなかった。

表 6-4 実験条件

	実験条件名 記号	30m地点速度 進入速度	15m地点 速度	パッシング ライト操作	備考
①	D-2505N	25km/h	5km/h	なし	減速
②	D-2510N	25km/h	10km/h	なし	減速
③	D-2515N	25km/h	15km/h	なし	減速
④	C-0505N	5km/h	5km/h	なし	統制・一定速
⑤	C-1010N	10km/h	10km/h	なし	統制・一定速
⑥	C-1515N	15km/h	15km/h	なし	統制・一定速
⑦	H-1515P	15km/h	15km/h	あり	パッシング(P)
⑧	H-2515P	25km/h	15km/h	あり	減速+P
⑨	H-1010P	10km/h	10km/h	あり	パッシング(P)
⑩	H-P2515	25km/h	15km/h	あり ただし35m~30m の区間で実施	P+減速 パッシングが先

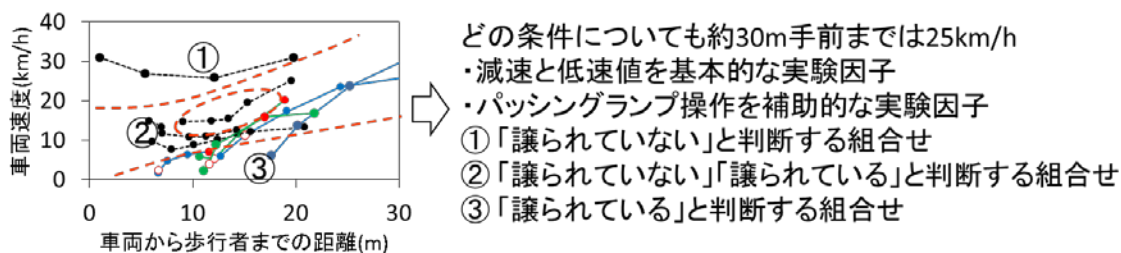


図 6-51 観測結果と実験条件設定の方針との関係

6.7.4. 実験条件

実験参加者には、最初に本実験の概要や実施項目、注意事項などを含めた説明を行い、実験途中で実験の中断や実験の中止を申し出ること、それらを行っても不利益が生じないことなどもあわせて説明し、実験参加への同意書に署名いただいた。学童の場合は、保護者にもこれらの説明を行い、保護者の方からも実験参加への同意書に署名をいただいた。実験参加者は道路を横断することを想像し、接近してくる実験車両を見て、実験車両が「渡ってもいいですよ」ということを表明しているかどうかを判断し、「渡ってもいいですよ」と表明していると思った瞬間に手を挙げるように依頼した。接近する実験車両が進路を譲ってくれていると思っても、実験参加者には実際に渡るつもりがない状況であることを想定してもらい、また判断を行う際には道路を渡る時間などを考慮しないことなどを追加説明した。一回の実験車両の接近が終了する度に質問紙調査を実施した。

6.7.5. 実験結果

各実験条件において接近する車両から進路を譲られている（「渡っていいですよ」）と実験参加者が認識した件数の結果を図 6-52 に示す。一定速でも速度が低い場合や、減速の幅が大きい場合に進路を譲られていると判断される傾向が見られた。またパッシングライトを操作することによって、進路を譲られていると判断される傾向が見られた。

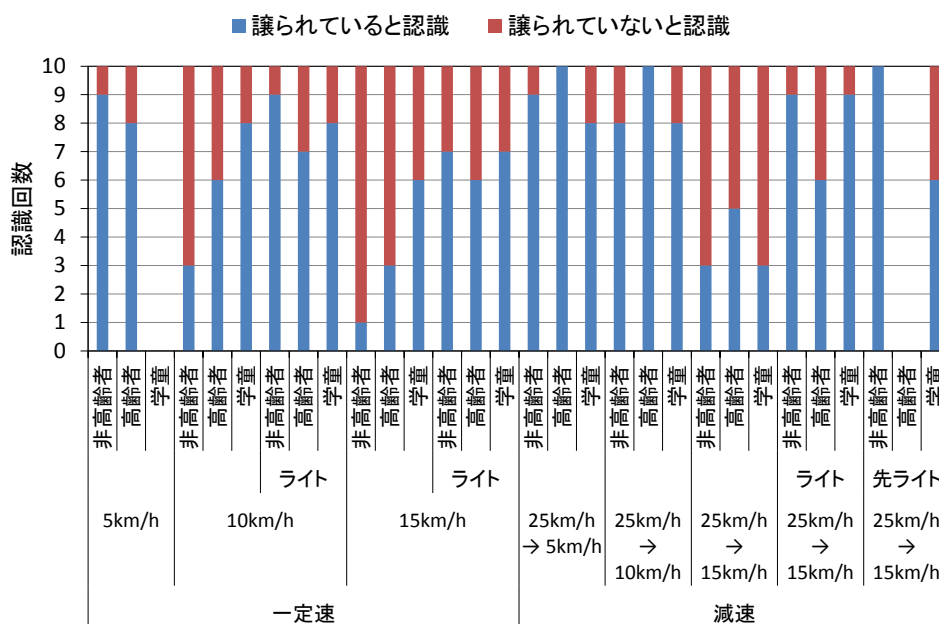


図 6-52 接近車両から「渡っていいですよ」と表明されていると認識された件数

各実験条件において接近する車両から進路を譲られている(「渡っていいですよ」)と実験参加者が認識した際の歩車間距離の結果を図 6-53 に示す。各棒の下に記載した数値は、進路を譲られていると認識した実験参加者の人数であり、この数値が小さい場合は進路を譲られていないと認識する人が多いことに注意されたい。実験条件によって進路を譲られていると認識された時の距離が異なる傾向が見られた。15km/h の一定速の実験条件は、一見すると歩車間距離が長い状況で進路を譲られていると判断されているが、判断された件数は少ない。減速挙動を伴う実験条件の場合には「渡っていいですよ」と感じられる傾向があり、また 10km/h から 15km/h の一定速度でもパッシングライトを利用することでも「渡っていいですよ」と感じられる傾向が見られた。減速挙動とパッシングライトの組合せは、パッシングライトの操作タイミングにより「渡っていいですよ」と感じられるタイミングを早める効果があることが示唆される。また減速挙動よりも先にパッシングライトを操作した場合、歩車間距離は長くなる傾向はあるが、進路を譲られていると判断される件数は学童で少なくなる傾向も見られた。譲られていると判断された件数が比較的多い実験条件を対象に車両との距離を見ると、10km/h で一定速の実験条件では約 10m、15m/h で一定速・パッシングライト併用の実験条件では約 15m、25km/h→5km/h の減速の実験条件では約 7m、25km/h→10km/h の減速の実験条件では約 10m、25km/h→15km/h の減速・パッシングライト併用の実験条件では約 15m であった。

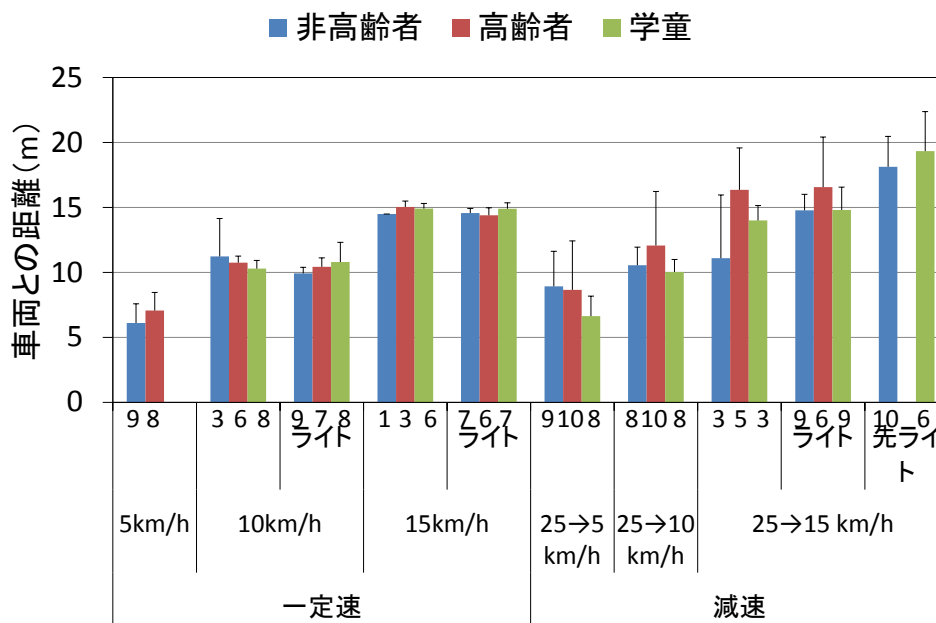


図 6-53 接近車両から「渡っていいですよ」と表明されていると認識された件数

各実験条件において車両の接近や車両の状況から感じられた不安感について内省報告を実施した。その結果を図 6-54 に示す。実験条件によって感じられた不安感が大きくことなり、また年齢層によっても異なる傾向が見られた。最終速度が高い場合に不安を感じる傾向が見られた。

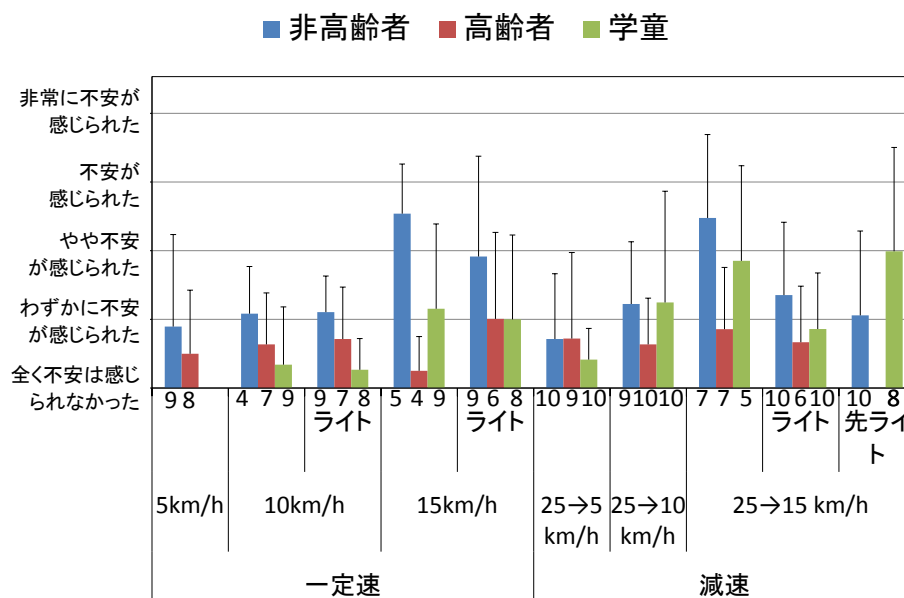


図 6-54 車両の接近や車両の状況から感じられた不安感

以上の結果から、接近する車両から歩行者が進路を譲られている、つまり「渡っていいですよ」と表明されていると感じられる車両側の要件は、基本的に減速を含めた車両挙動であり、減速幅が大きく、最終的な速度値が低くなるほど譲られていると強く感じる事が確認された。また灯火器類の操作は車両挙動と併用することで、より譲られていることを感じる事が可能となる。しかしながら、学童の一部では、パッシングライトが点滅することの意味が全く理解できないなどの結果も得られ、灯火器類を利用したコミュニケーションの効果と仕様について今後も検討していく必要がある。

6.7.6. 一般道路を対象とした歩行者の横断待ち場面でのドライバー・歩行者間コミュニケーションのモデル化に関する検討

一般道路を対象に歩行者の横断待ち場面において、接近する車両が歩行者に進路を譲る場合のドライバー・歩行者間コミュニケーションは、図 6-55 に示される流れ図のような手続きになると考えられる。初期状態としては、接近車両の初期速度は 20km/h から 30km/h(あるいはそれ以下)、歩行者との初期車間距離は 20m から 40m であるが、そこから歩車間距離が約 20m の地点で 20km/h 未満、さらに歩車間距離が 5m から 15m 地点で約 15km/h まで減速させ、歩車間距離約 10m で 10km/h 未満ならば、歩行者は進路を譲られていると判断されるものと考えられる。一方、歩車間距離が 10m から 15m の場合で車速が 10km/h から 15km/h の場合には歩行者の判断は曖昧となる可能性が高いが、接近車両から歩行者に何らかの合図をする、例えば、外向け HMI を装備して合図するならば、歩行者は進路を譲られていると判断する可能性が考えられる。

無信号横断歩道等の歩行者への譲り

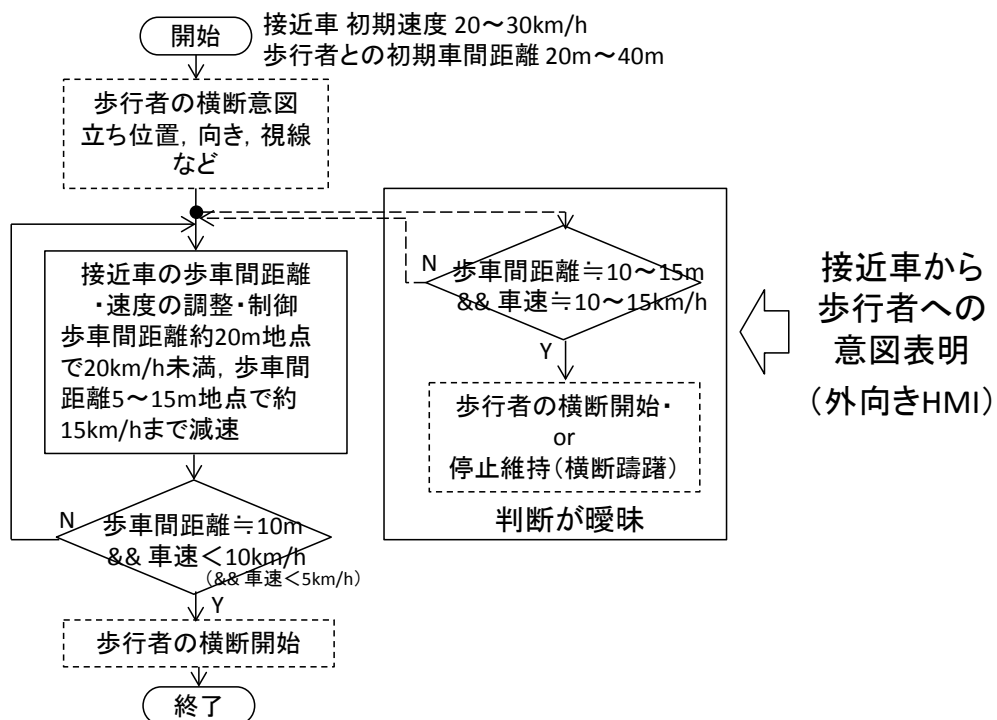


図 6-55 無信号横断歩道等の歩行者への譲りに関するドライバー・歩行者間コミュニケーションの手続き

6.8. Web アンケートを利用したコミュニケーションの地域性等に関する予備調査

前述の実験では、年齢群によって車両から進路が譲られていると感じる傾向が異なる傾向が見られた。年齢群による違いの他、地域性や経験などによって車両から進路を譲られていることへの認識の違いが存在する可能性も考えられる。そこで本調査では、ドライバー間コミュニケーションならびにドライバー・歩行者間コミュニケーションに関するいくつかの交通場面に対して、どのような行動や機器利用があれば車両が進路を譲ってくれていると思えるか、地域性や属性の違いはあるのかに関する Web 調査を実施した。

6.8.1. 調査対象および調査内容

調査対象者は、地域性による影響を検討するために、表 6-5 に示されるように、札幌市、東京 23 区、大阪市、鳥取県・島根県の 4 つの地域を対象として運転免許保有者（職業運転手を含む）、運転免許非保有者をそれぞれ募集した。全体で 1601 名であり、運転免許保有者は 932 名、うち職業運転手は 308 名、運転免許非保有者は 669 名であった。

運転免許保有者に対する設問は、コミュニケーションに関する設問は 20 問、運転免許非保有者に対する設問は 12 問であった(詳細については付録参照)。

表 6-5 地域の違いと運転免許の有無に基づく回答者数

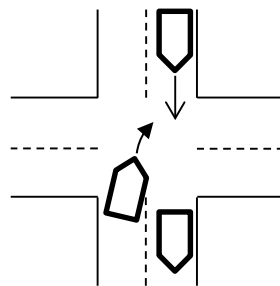
地域	運転免許保有者	(うち職業運転手)	運転免許非保有者	合計
札幌市	250 名	(94 名)	189 名	439 名
東京 23 区	259 名	(103 名)	208 名	467 名
大阪市	238 名	(82 名)	192 名	430 名
鳥取県・島根県	185 名	(29 名)	80 名	265 名
合計	932 名	(308 名)	669 名	1601 名

6.8.2. 主要な調査結果

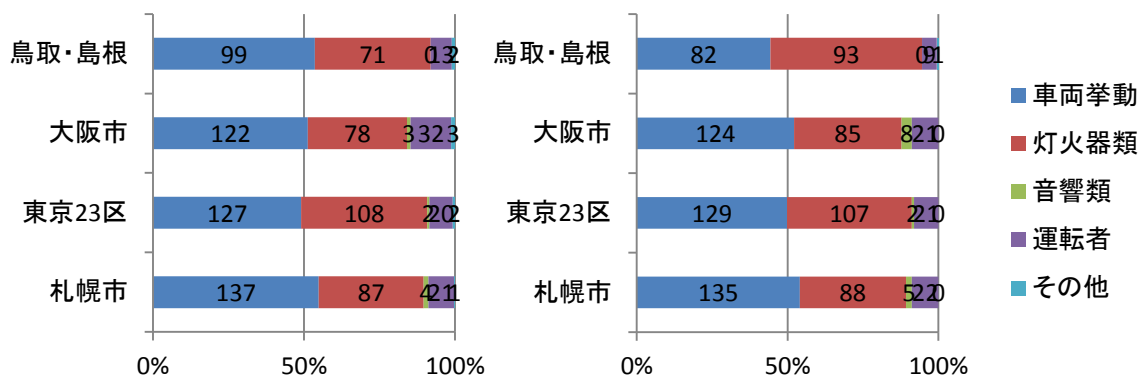
調査結果のうち、地域によってコミュニケーションに利用する手段が若干異なる結果例を図 6-56 に示す(すべての調査結果については付録参照)。調査対象となるドライバー・歩行者間コミュニケーションとして、交差点を右折する場面を対象に、回答者が優先側車両(交差点直進車両)の運転者の場合に、右折待ち車両に対して「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動を回答させるものと、回答者が非優先側車両(右折待ち車両)の運転

者の場合に、交差点直進車両からどのような合図が出されたら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じるかを回答させるものであった。車両挙動は「減速」「停止」、灯火器類は「ウィンカー」「ブレーキランプ」「ヘッドライト」「パッシングライト」「ハザードランプ」、音響類は「クラクション」、運転者は「身振り」「手振り」「表情」「アイコンタクト」などである。

優先側車両の場合、非優先側車両の場合の両方において、札幌市は、他の地域と比較すると、コミュニケーションの手段として車両挙動をやや多く利用している傾向が見られる一方で、大阪市では優先側車両の場合に灯火器類の利用は他の地域と比較すると少なく、運転者に依存した内容が他の地域よりも多い傾向が見られた。鳥取県・島根県では、非優先側車両の場合に灯火器類で合図されると譲られていると感じる傾向が他の地域よりも高い傾向が見られた。



交差点右折場面



(a) 優先側車両の運転者

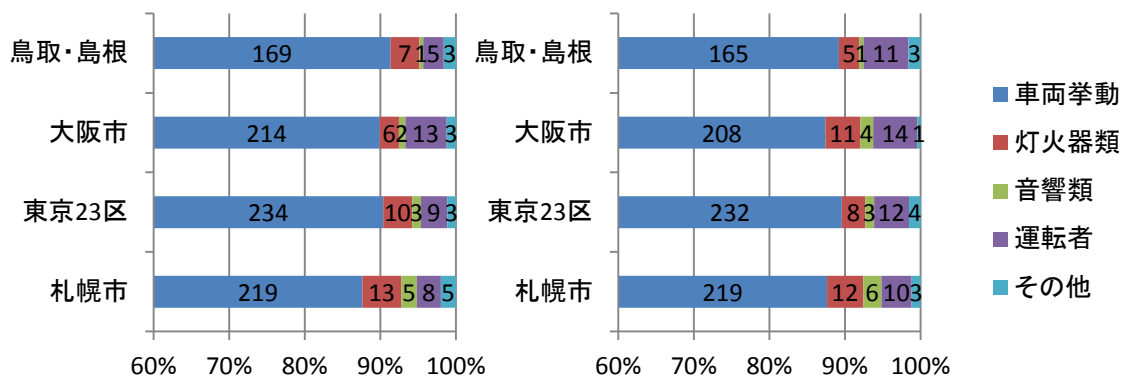
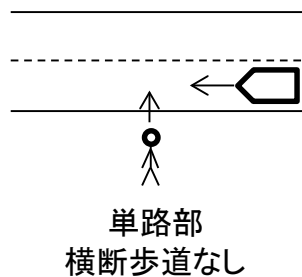
(b) 非優先側車両の運転者

図 6-56 交差点右折場面でのドライバー間コミュニケーション

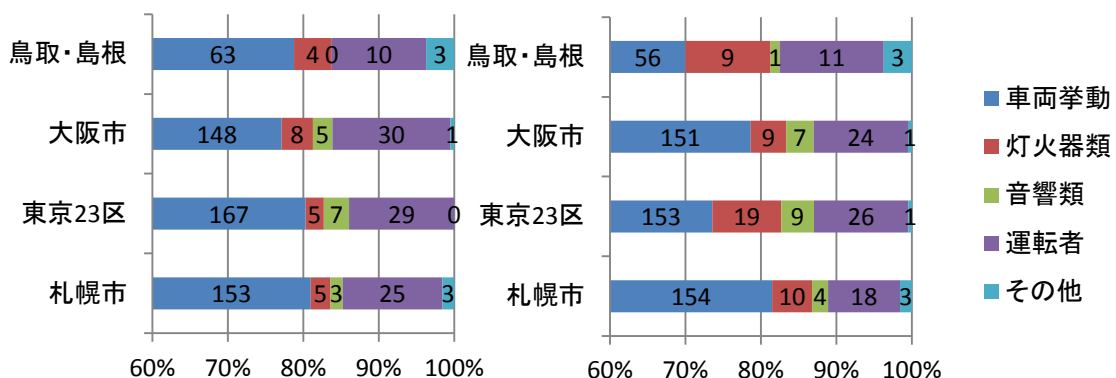
交差点右折の場面だけでなく、T字路での進入場面や駐車車両の回避場面などでも進路を譲る/譲られることの意味表示の手段が地域によって若干傾向が異なり、大きな違いとまではいかないが、少なからず地域によって異なる可能性があることを示唆していると考えられる。

一方、ドライバー・歩行者間コミュニケーションとして、横断歩道が敷設されていない道路を横断する場面を対象とした場合に、接近してくる車両の

どのような要素に注目しているのかについて調査した。その結果を図 6-57 に示す。運転免許保有者も運転免許非保有者もそれぞれ昼間と夜間で注目する要素の違いはほとんど見られなかったが、運転免許非保有者では、運転者に関わる手がかり、例えば、身振りや手振り、アイコンタクトなどを利用しようとする傾向が見られたのに対して、運転免許保有者ではそのような割合はほとんど見られなかった。地域性によるコミュニケーションの違いだけでなく、運転免許保有/非保有によるコミュニケーションの違いも重要な要素であり、運転免許を保有していない学童や生徒などに対する意思表示や外向け HMI による解決の可能性などより詳細な検討を行う必要がある。



(c) 運転免許非保有者(昼) (d) 運転免許非保有者(夜)



(c) 運転免許非保有者(昼) (d) 運転免許非保有者(夜)

図 6-57 横断歩道のない道路の横断場面でのドライバー・歩行者間コミュニケーション

6.9. 「自動運転」表示による周囲の交通参加者への影響に関する予備調査

「自動運転」を表示した状態で車両が走行する場合、その表示が周囲の交通参加者に与える影響について予備的な調査を実施した。

6.9.1. 実験方法

実験車両に「自動運転 走行実験中」のサインボードを車両前方に装着した場合と車両後方に装着した場合の外観を図 6-58 に示す。すれ違い字の対向車両や路肩の歩行者、後続車両から十分に判読可能なサインボードであり、脱着も可能であった。この実験車両を一般道路と高速道路で走行させて、後方車両の反応や走行挙動、路肩や横断歩道を歩く歩行者の視線や行動などについて定性的な調査を実施した。またサインボードを装着しない場合を統制条件として設定し比較した。

自動運転 走行実験中

(c) サインボード



(a) 前方装着の状態



(b) 後方装着の状態

図 6-58 実験車両へのサインボード装着と外観

6.9.2. 走行場面

他の交通参加者がサインボードの「自動運転 走行実験中」の表示を視認して、運転者や歩行者の行動が変容する可能性がある走行場面を想定し選定した。

(1) 後方車両の運転者への影響：

片側一車線の一般道路および片側二車線の高速道路（走行車線、追越車線）（図 6-59 参照）を制限速度で走行し続けた場合の後方車両との車間距離や運転者の反応などについて検討した。



図 6-59 高速道路でのサインボード装着時の後方状況の観測例

(2) 前方車両の運転者への影響：

一般道路の交差点部を対象に（図 6-60 参照）、交差点直進車両として実験車両を走行させた場合の右折車両の発進タイミングや運転者の反応などについて検討した。



図 6-60 一般道路でのサインボード装着時の前方状況の観測例

(3) 歩行者への影響：

繁華街などで歩行者が存在する一般道路を対象に、横断歩道の設置されていない道路区間での歩行者の反応や無信号の横断歩道が設置された道路区間での歩行者の反応などについて検討した。



(a) 駅前無信号横断歩道



(b) 観光地横断歩道

図 6-61 一般道路でのサインボード装着時の歩行者状況の観測例

6.9.3. 予備調査の結果

「自動運転 実験走行中」の表示によって、また表示しない場合と比較することによって以下の状況が観測された。

-
-
- 「自動運転 実験走行中」を表示した場合に、表示しない場合と比較して後方車両との車間距離が約 1.5～2 倍になる傾向が見られた
 - 「自動運転 実験走行中」を表示して片側二車線の高速道路を走行したところ、実験車両が走行している車線以外に一般車両が集中する傾向が見られ、実験車両への追い抜きや追い越しなどの運転行動もやや減少する傾向が見られた
 - 「自動運転 実験走行中」を表示して高速道路の走行車線から追越車線に車線変更しようとする場合に、他車両から進路を譲られる状況が多く観測された
 - 指定速度で走行した場合でも、後方車両から車間距離を詰められる、パッシングライトを操作されるなどの運転行動はほとんど観測されなかったが、2 台後方の後続車両が車線をはみ出して前方を確認しようとするなどの運転行動が見られた
 - 交差点部において実験車両を直進車両として右折待ち車両と対面する場面を再現したが、無理な右折開始などは観測されなかった
 - 駅前の無信号横断歩道にて「自動運転 実験走行中」表示を注意深く視認する歩行者は少数だけで、多くの歩行者がちら見程度に視認するだけで、歩行者に対しては非表示の場合と行動が変わらない可能性がある。
 - 駅前の無信号横断歩道にて、歩行者に進路を譲るために約 20 秒停車継続したところ、後方車両からクラクションを鳴らされる結果となった。

6.9.4. 予備調査の結果に対する考察

「自動運転 実験走行中」のサインボードを視認した一般の運転者は、「自動運転 実験走行中」が表明された車両に対して十分な知識を持ち合わせていない状況であり、「自動運転 実験走行中」の車両挙動にどのような特徴があるのかなど不明な点が多く、不信や不安などが生じた可能性が考えられる。また車両挙動を予測できない車両が周囲に走行していることに警戒している可能性も考えられる。

これらの不信や不安は、「自動運転 実験走行中」の車両に対する十分な知識を有していないことに起因しているものと考えられるならば、今後、同様な表示を有する車両に遭遇する機会が多くなってきたときに、「自動運転 実験走行中」の車両に対して適切な知識が獲得されるような工夫が必要である。

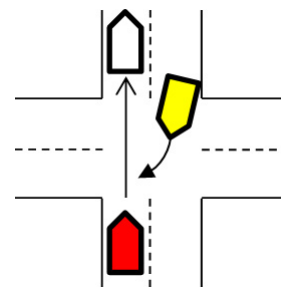
6.10. 本研究のまとめ

本研究では、自動運転車と周囲の交通参加者との間の円滑な交通行動を実現するために必要となるコミュニケーションに関する基本的要件を明らかにするために、実際の道路環境や交通状況を対象として定点観測や車両同乗による調査を実施して、車両が周囲の交通参加者に進路を譲ることを表明するためのコミュニケーションの手段と手続きについて実験的検討を実施した。その結果、次のような知見が得られた。

- ドライバー間コミュニケーションの手段や手続きとして、減速や停止などを伴う車両挙動が主として用いられていることが分かった。しかしながら、速度や距離によっては意味の理解にばらつきが見られ、これを低減するためにはドライバー(車両)の意図を伝達するための“外向き HMI”が必要であると考えられる。
- 歩行者は主に減速を伴う車両挙動から「譲られている」と認識する。しかしながら、より早くにドライバー(車両)の譲る意図を歩行者に伝達するためには、“外向き HMI”の利用が有効であると考えられる。
- 代表的場面における、車両挙動や灯火器類を用いた基本的なドライバー間コミュニケーションならびにドライバー・歩行者間コミュニケーションに関する手続きの定量的なモデルを構築した。
- 歩行者の属性や地域性の違いにより、コミュニケーション手段の理解が異なる場合があるため、配慮が必要である。

6.11. 付録：Web 調査

質問1. あなた(図で赤色の車)が交差点を通過するとき、右折待ちの車(図で黄色の車)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。



※昼間のことについてお答えください。

車両挙動：1.減速する 2.停止する

灯火機類：3.ウィンカーを使う 4.ブレーキランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 7.ヘッドライトを消す 8.パッシングライトを使う 9.ハザードランプを使う

音響類：5.クラクションを使う

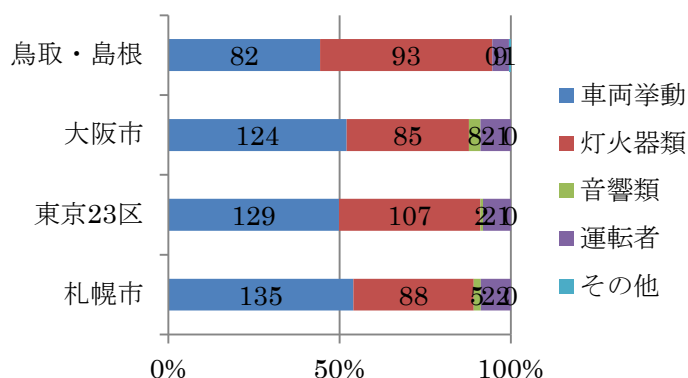
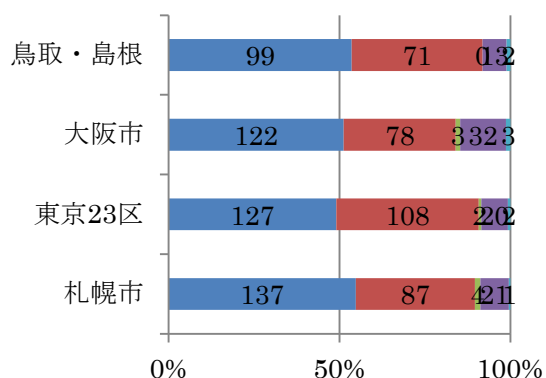
運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る 14.顔の表情を変える 15.相手を見る

その他：

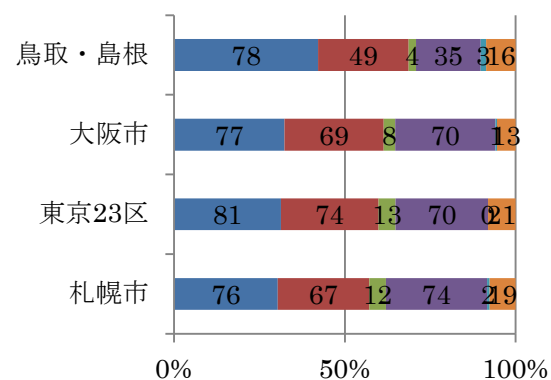
図 A: 交差点・横断歩道・右直・正面場面

Q 6-1(赤の直進車両の場合/1位)

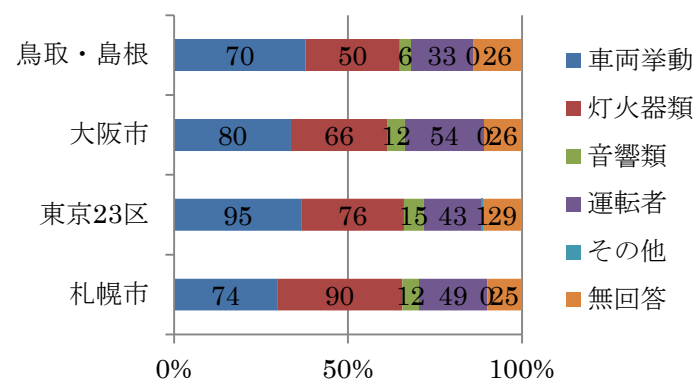
Q 10-1(黄の右直車両の場合/1位)



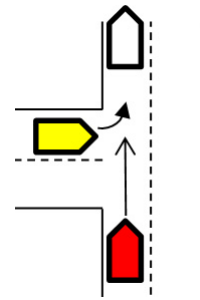
Q 6-2(2位)



Q 10-2(2位)



質問2. あなた（図で赤色の車）が交差点を通過するとき、左折待ちの車（図で黄色の車）に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。※昼間のことについてお答えください。



車両挙動：1.減速する 2.停止する

灯火機類：3.ウィンカーを使う 4.ブレーキランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 7.ヘッドライトを消す 8.パッシングライトを使う
9.ハザードランプを使う

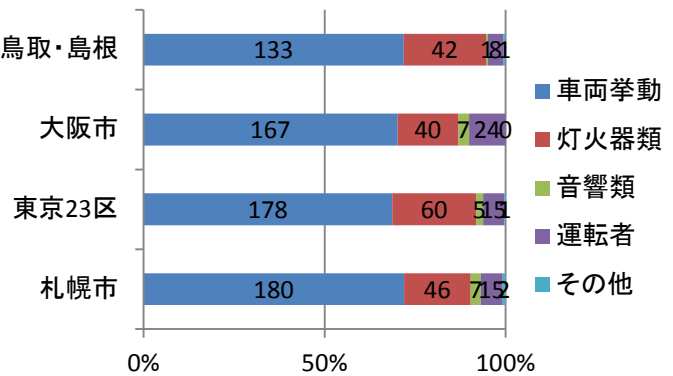
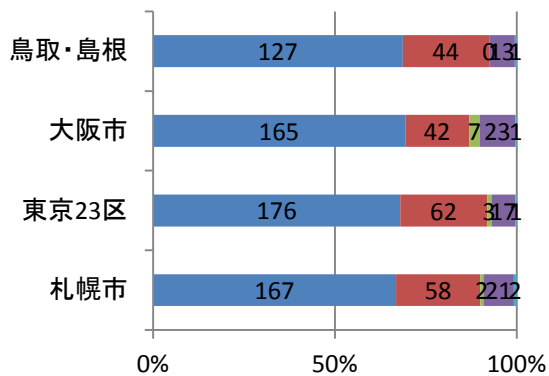
音響類：5.クラクションを使う

運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る
14.顔の表情を変える 15.相手を見る

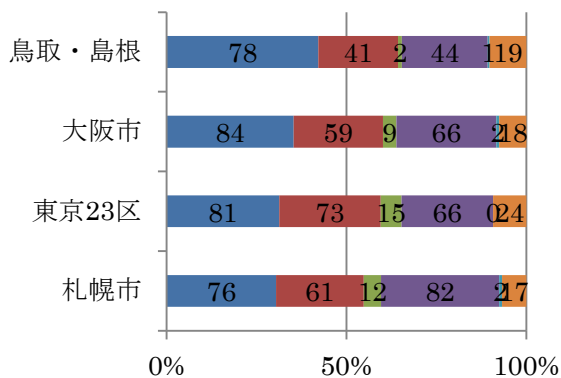
その他：

図 B: 交差点・横断歩道・左折・正面場面

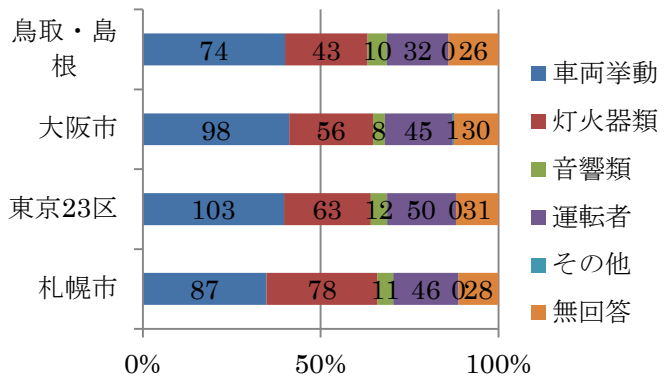
Q 7-1. (赤の直進車両の場合/1位) Q12-1(黄の左直車両の場合/1位)



Q 7-2(2位)



Q12-2(2位)



質問3. あなた(図で赤色の車)が駐車車両のある道路を通過するとき、駐車車両を避けて通過しようとする対向車(図で黄色の車)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。



※昼間のことについてお答えください。

車両挙動：1.減速する 2.停止する

灯火機類：3.ウィンカーを使う 4.ブレーキランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 7.ヘッドライトを消す 8.パッシングライトを使う

9.ハザードランプを使う

音響類：5.クラクションを使う

運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る

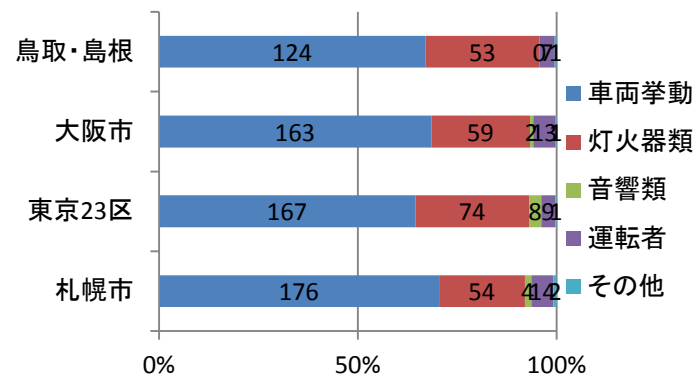
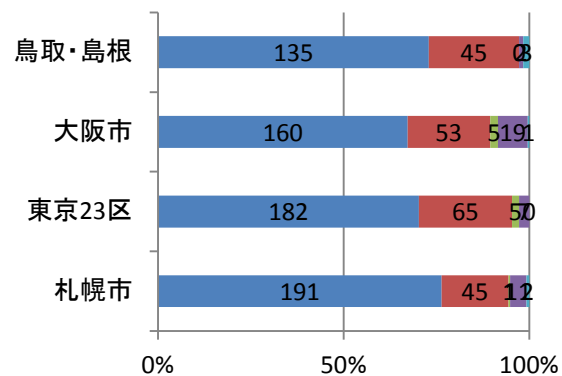
14.顔の表情を変える 15.相手を見る

その他：

図 C:駐車車両回避場面

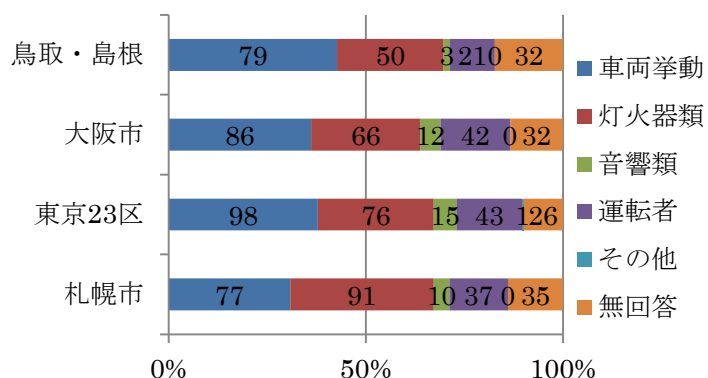
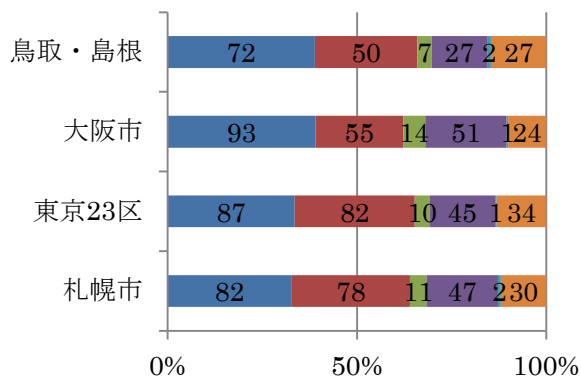
Q 8-1 (赤の直進車両の場合/1位)

Q 13-1(白の停車車両を避けて通過する黄の車両の場合/1位)



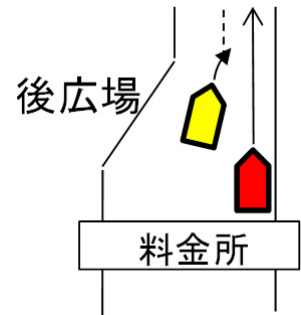
Q 8-2(2位).

Q 13-2(2位).



質問4. あなた(図で赤色の車)が高速道路の料金所を通過した後左側から合流しようとする車(図で黄色の車)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

※昼間のことについてお答えください。



車両挙動：1.減速する 2.停止する

灯火機類：3.ウィンカーを使う 4.ブレーキランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 7.ヘッドライトを消す 8.パッシングライトを使う

9.ハザードランプを使う

音響類：5.クラクションを使う

運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る
14.顔の表情を変える 15.相手を見る

その他：

図 D:料金所後広場場面

Q 9-1(赤の直進車両の場合/1位) Q 14-1(黄の右車線へ合流する車両の場合/1位)

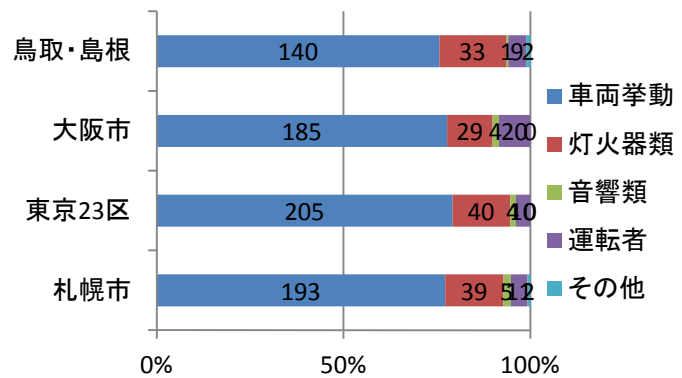
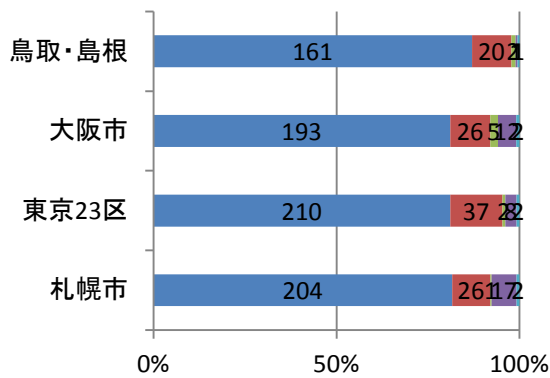


図 Q 9-2(2位)

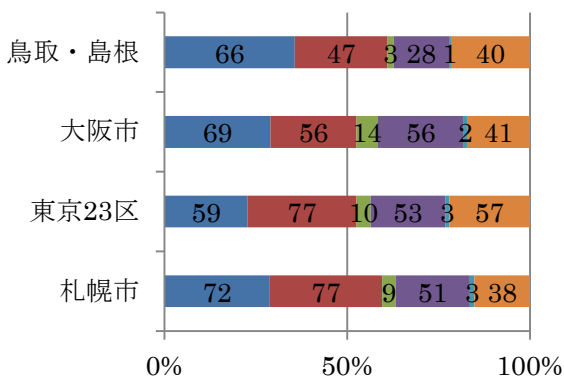
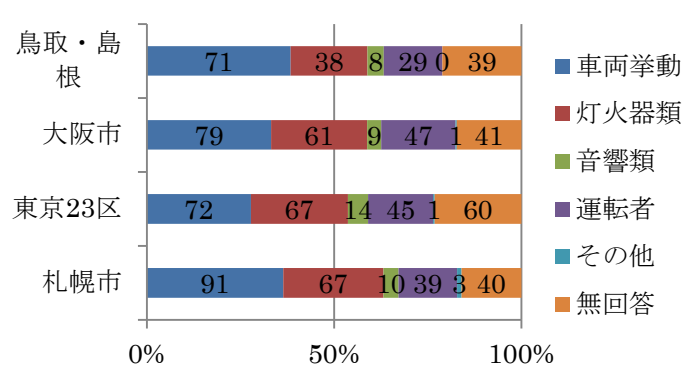
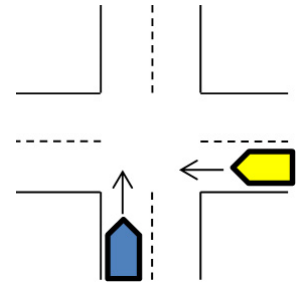


図 Q 14-2(2位)



質問5. あなた(図で青色の車)が交差点を通過するとき、右側から接近する車(図で黄色の車)からどのような合図が出されたら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



※昼間のことについてお答えください。

車両挙動：1.減速する 2.停止する

灯火機類：3.ウィンカーを使う 4.ブレーキランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 7.ヘッドライトを消す 8.パッシングライトを使う
9.ハザードランプを使う

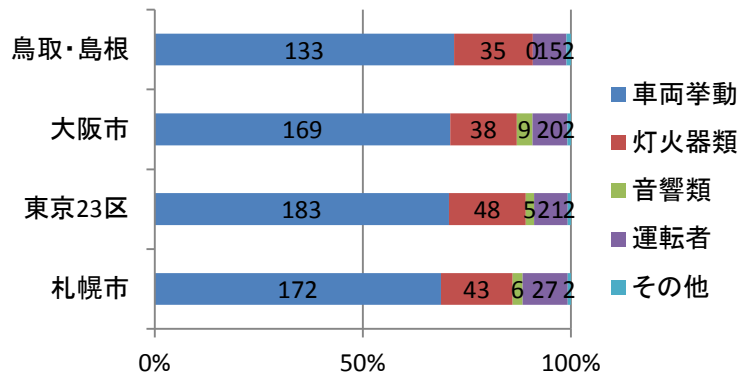
音響類：5.クラクションを使う

運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る
14.顔の表情を変える 15.相手を見る

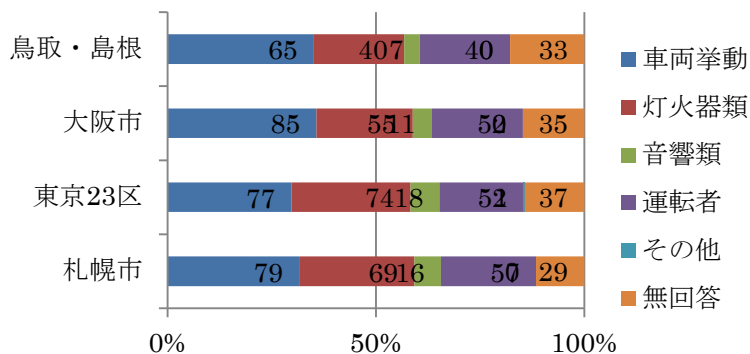
その他：

図:十字路・優先・非優先不明場面

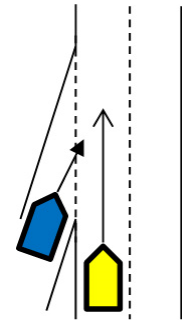
Q 11-1(青の直進車両の場合/1位)



Q 11-2(2位)



質問6. あなた(図で青色の車)が加速車線から本線側に合流するとき、本線側の車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



※昼間のことについてお答えください。

車両挙動：1.右に車線変更をする 2.減速する 3.停止する

灯火機類：4.ウィンカーを使う 5.ブレーキランプを使う 7.ヘッドライトを点ける 8.ヘッドライトが消す 9.パッシングライトを使う
10.ハザードランプを使う

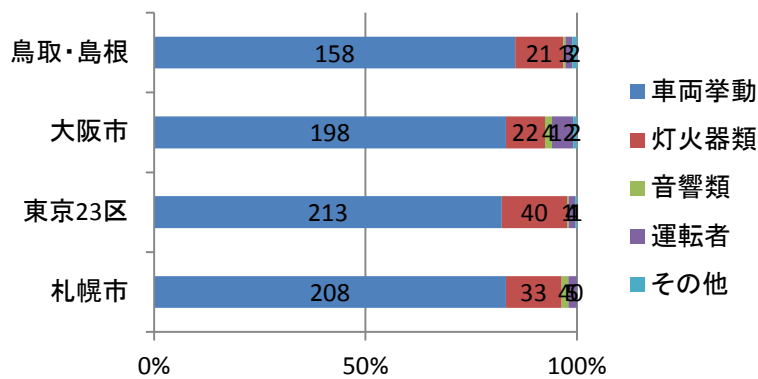
音響類：6.クラクションを使う

運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る
14.顔の表情を変える 15.相手を見る

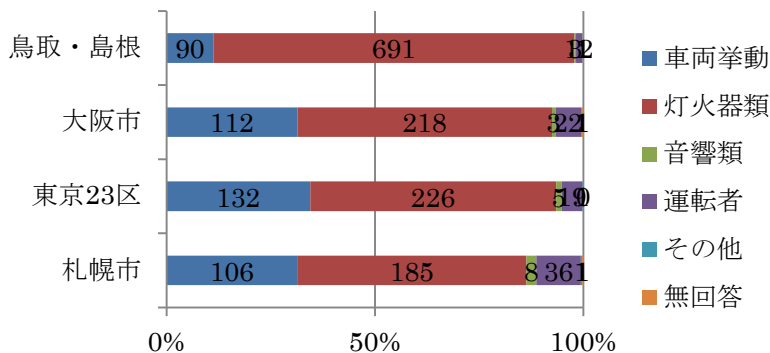
その他：

図：右本線合流場面

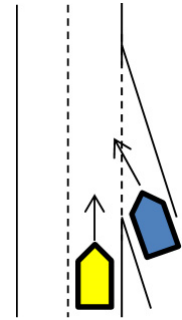
Q 15-1(青の右本線へ合流する車両の場合/1位)



Q 15-2(2位)



質問7. あなた(図で青色の車)が加速車線から本線側に合流するとき、本線側の車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



※昼間のことについてお答えください。

車両挙動：1.右に車線変更をする 2.減速する 3.停止する

灯火機類：4.ウィンカーを使う 5.ブレーキランプを使う 7.ヘッドライトを点ける 8.ヘッドライトが消す 9.パッシングライトを使う
10.ハザードランプを使う

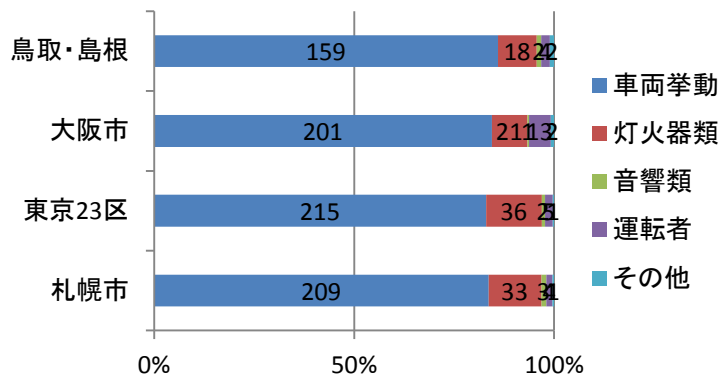
音響類：6.クラクションを使う

運転者：10.手を上げる 11.頭を下げる 12.窓から手を出す 13.手を振る
14.顔の表情を変える 15.相手を見る

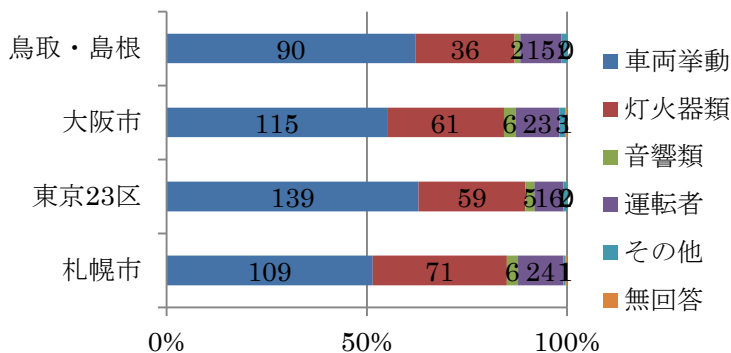
その他：

図:左本線合流場面

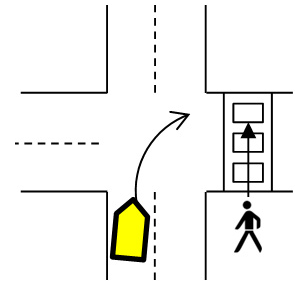
Q 16-1(青の左本線へ合流する車両の場合/1位)



Q 16-2(2位)



質問8. 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するとき、右折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大 3 つまで選んでください。



車両挙動：1.減速する 5.停止する

灯火機類：3.ハザードランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 9.ウィンカーを使う 10.ヘッドライトを消す 13.ブレーキランプを使う 14.パッシングライトを使う

音響類：2.クラクションを使う

運転者：4.手を振る 7.手を上げる 8.顔の表情を変える 11.頭を下げる 12.相手を見る 15.窓から手を出す

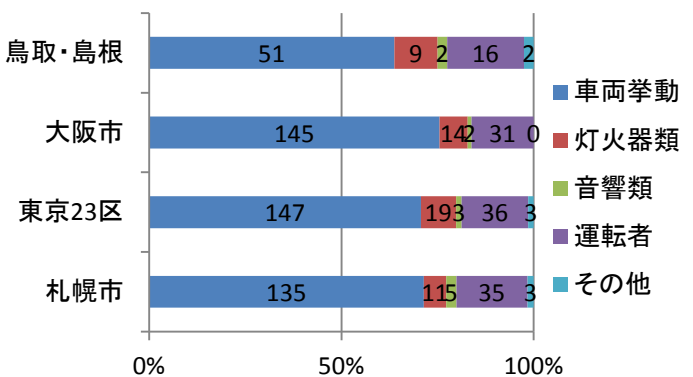
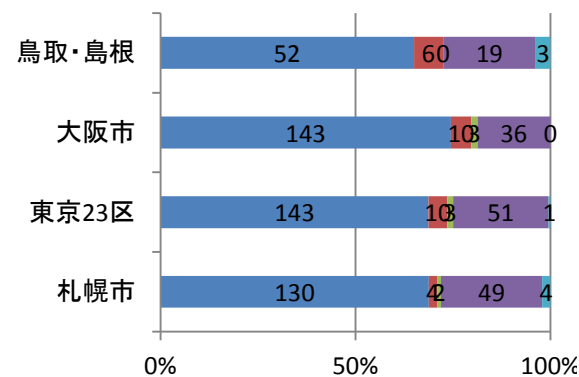
その他：

図:交差点・横断歩道・右折・巻き込み場面

無信号の横断歩道を矢印の方向へ渡る歩行者の場合

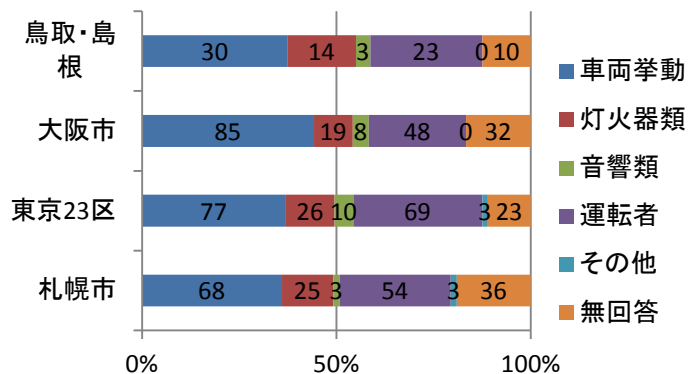
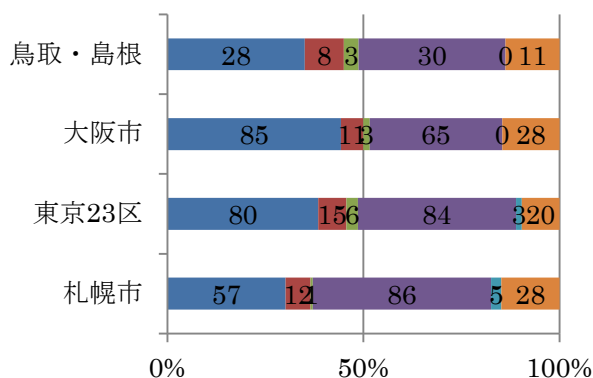
Q6-1(1位) ※昼間

Q7-1(1位) ※夜間

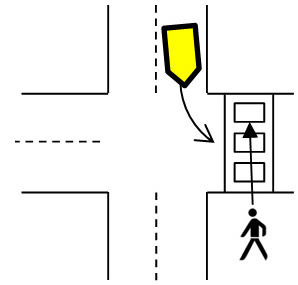


Q6-2(2位)

Q7-2(2位)



質問9. 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するとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大 3 つまで選んでください。



車両挙動：1.減速する 5.停止する

灯火機類：3.ハザードランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 9.ウィンカーを使う 10.ヘッドライトを消す 13.ブレーキランプを使う 14.パッシングライトを使う

音響類：2.クラクションを使う

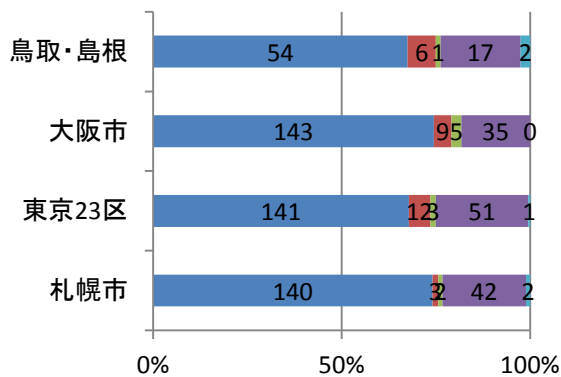
運転者：4.手を振る 7.手を上げる 8.顔の表情を変える 11.頭を下げる 12.相手を見る 15.窓から手を出す

その他：

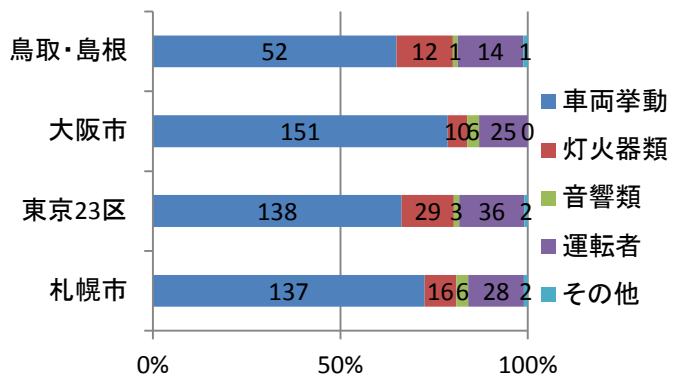
図:交差点・横断歩道・左折・正面場面

無信号の横断歩道を矢印の方向へ渡る歩行者の場合

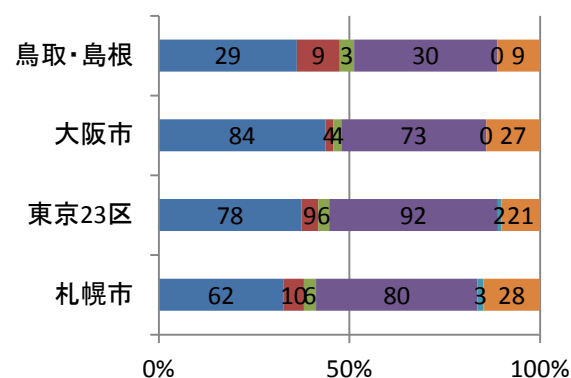
Q8-1 ※昼間



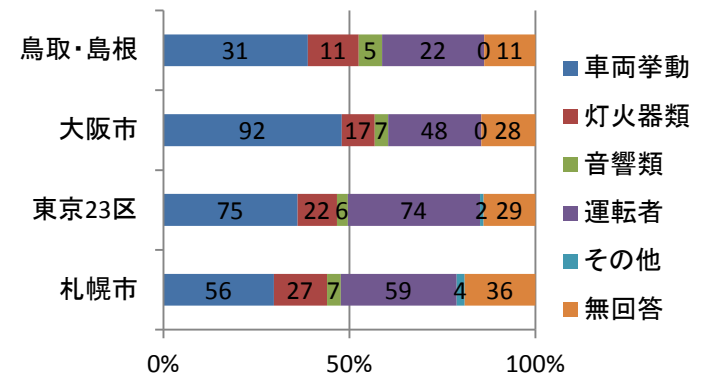
Q9-1 ※夜間



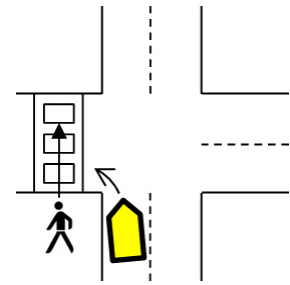
Q8-2(2位)



Q9-2(2位)



質問10. 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しているとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



車両挙動：1.減速する 5.停止する

灯火機類：3.ハザードランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 9.ウィンカーを使う 10.ヘッドライトを消す 13.ブレーキランプを使う
14.パッシングライトを使う

音響類：2.クラクションを使う

運転者：4.手を振る 7.手を上げる 8.顔の表情を変える 11.頭を下げる
12.相手を見る 15.窓から手を出す

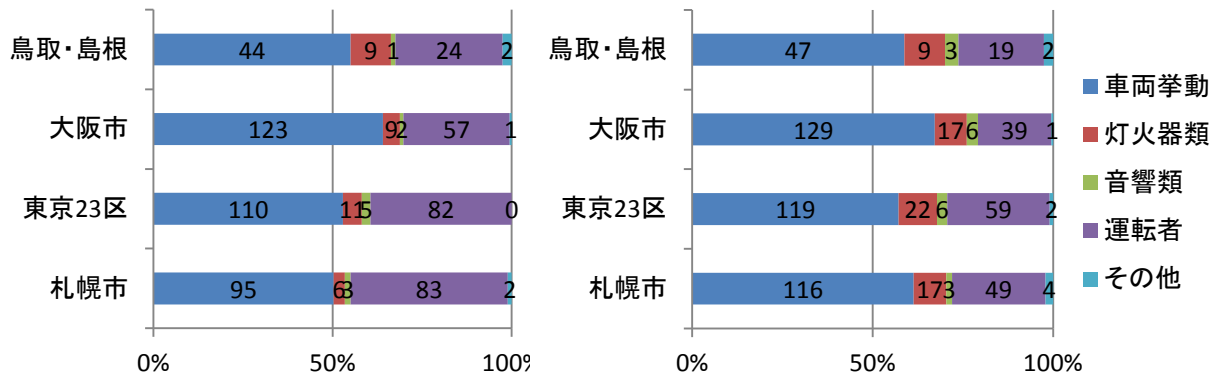
その他：

図：交差点・横断歩道・左折・巻き込み場面

無信号の横断歩道を矢印の方向へ渡る歩行者の場合

Q2-1 ※昼間

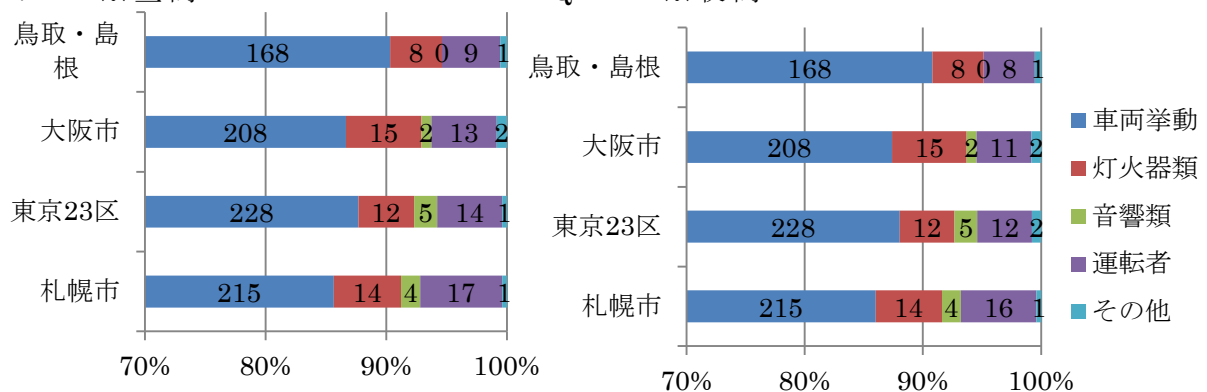
Q3-1 ※夜間



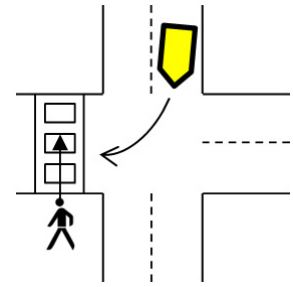
黄の無信号の横断歩道を左折する車両の場合

Q17-1 ※昼間

Q21-1 ※夜間



質問11. 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しているとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



車両挙動：1.減速する 5.停止する

灯火機類：3.ハザードランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 9.ウィンカーを使う 10.ヘッドライトを消す 13.ブレーキランプを使う 14.パッシングライトを使う

音響類：2.クラクションを使う

運転者：4.手を振る 7.手を上げる 8.顔の表情を変える 11.頭を下げる 12.相手を見る 15.窓から手を出す

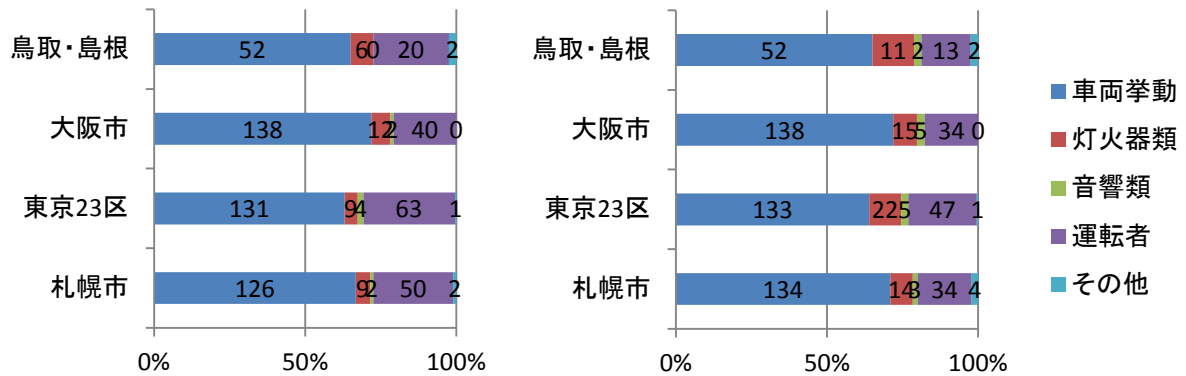
その他：

図：交差点・横断歩道・左折・正面場面

無信号の横断歩道を矢印の方向へ渡る歩行者の場合

Q4-1 ※昼間

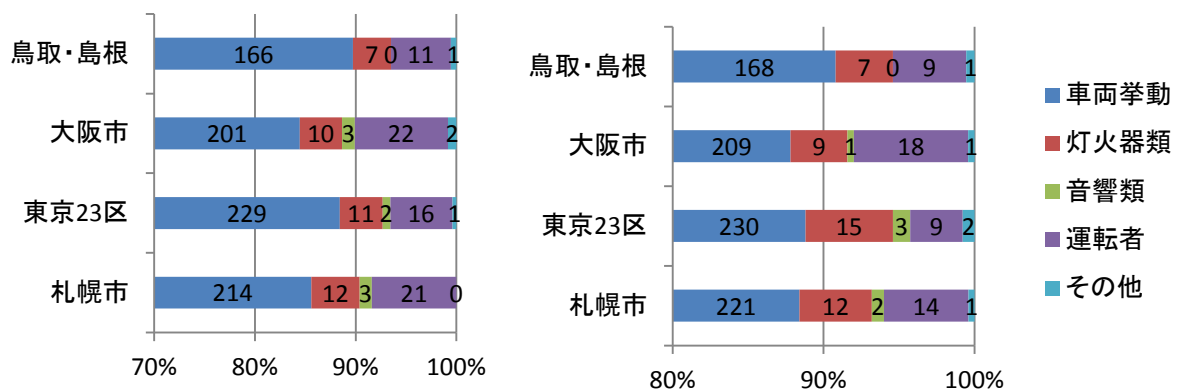
Q5-1 ※夜間



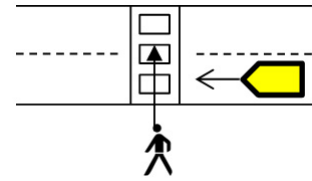
黄の無信号の横断歩道を矢印の方向へ進む車両と歩行者の場合

Q18-1(車両)

Q22-1(歩行者)



質問12. 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しているとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



車両挙動：1.減速する 5.停止する

灯火機類：3.ハザードランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 9.ウィンカーを使う 10.ヘッドライトを消す 13.ブレーキランプを使う 14.パッシングライトを使う

音響類：2.クラクションを使う

運転者：4.手を振る 7.手を上げる 8.顔の表情を変える 11.頭を下げる 12.相手を見る 15.窓から手を出す

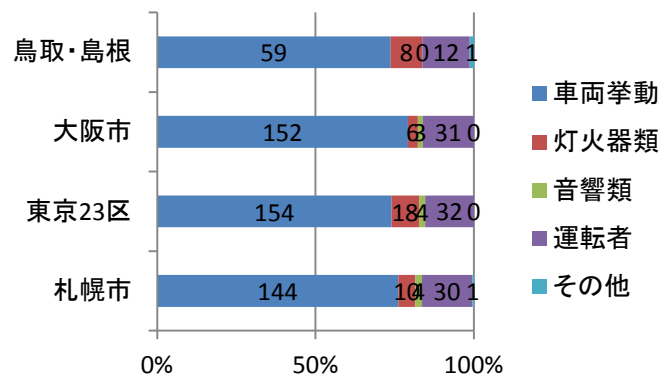
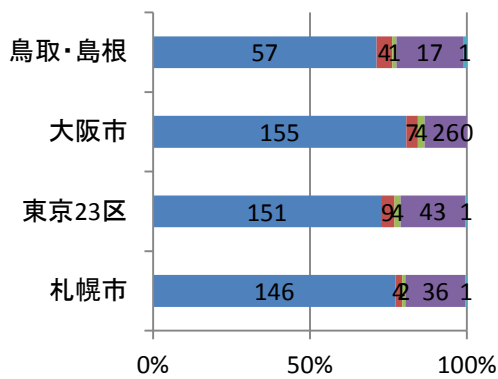
その他

図：単路_横断歩道_横断場面

無信号の横断歩道を矢印の方向へ渡る歩行者の場合

Q10-1 ※昼間

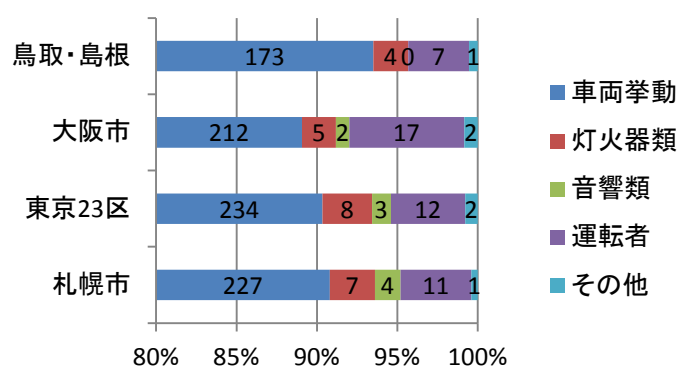
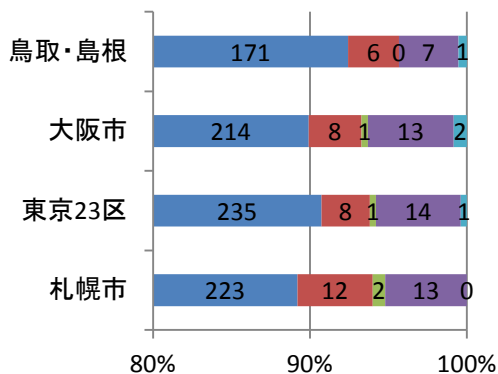
Q11-1 ※夜間



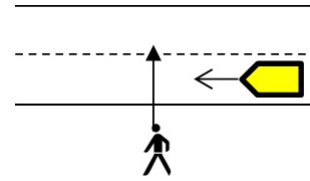
無信号の横断歩道を矢印の方向へ直進する車両と歩行者の場合

Q19-1(車両)

Q23-1(歩行者)



質問13. あなた(人)が道路を図中の矢印の向きに横断しようとしているとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



車両挙動：1.減速する 5.停止する

灯火機類：3.ハザードランプを使う 6.ヘッドライトを点ける 9.ウィンカーを使う 10.ヘッドライトを消す 13.ブレーキランプを使う 14.パッシングライトを使う

音響類：2.クラクションを使う

運転者：4.手を振る 7.手を上げる 8.顔の表情を変える 11.頭を下げる 12.相手を見る 15.窓から手を出す

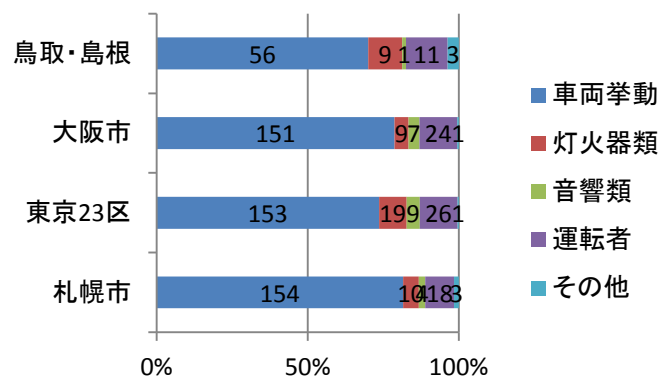
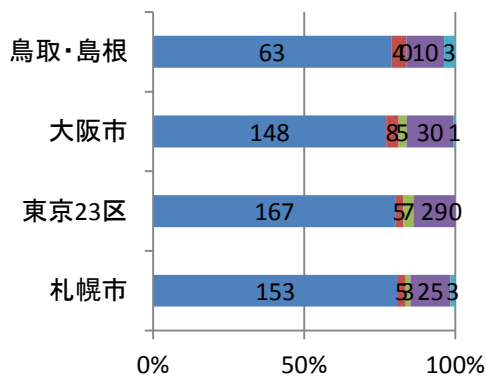
その他

図：単路_横断歩道無・横断場面

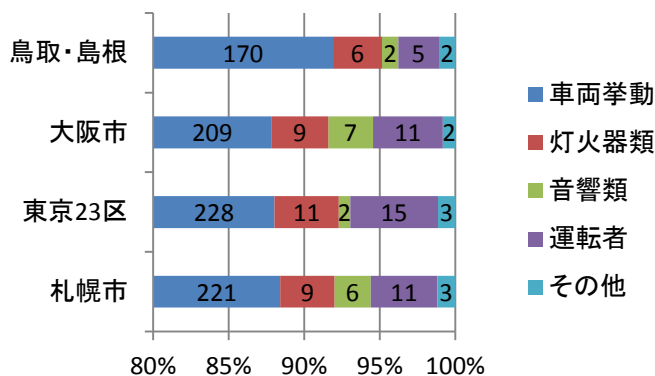
道路を矢印の方向へ直進する歩行者の場合

Q12-1 ※昼間

Q13-1 ※夜間



Q20-1(黄の直進車)



Web リサーチ結果 車の運転に関するアンケート

質問1. ご自身の運転免許証の保有年数についてお答えください。(ひとつだけ)

※一時的に保有していない期間がある方は、保有していない期間を含めトータルの期間でお答えください。

	全体	取得後3か月未満	取得後3～6か月未満	取得後6～12か月未満	取得後1～3年未満	取得後3～5年未満	取得後5～10年未満	取得後10年以上
札幌市	250	2	1	2	9	12	24	200
東京23区	259	1	1	1	3	16	26	211
大阪市	238	2	0	6	10	8	20	192
鳥取・島根	185	1	0	2	4	9	15	154
全体	932	6	2	11	26	45	85	757

質問2. ご自身の自動車の保有についてお答えください。(ひとつだけ)

	全体	世帯で自動車を持っている	世帯で自動車を持っていない
北海道	250	216	34
関東地方	259	144	115
近畿地方	238	158	80
中国地方	185	179	6
全体	932	697	235

質問3. ご自身の日常での運転頻度についてお答えください。(ひとつだけ)

	全体	ほとんど毎日	週に3 4回	週に1 2回	月に1 2回程度	たまに乗る	運転は(ほとんど)しない	無回答
北海道	233	37	28	28	11	13	39	
関東地方	233	9	16	27	16	18	70	
近畿地方	233	18	18	36	21	20	43	
中国地方	233	92	25	21	9	3	6	
全体	932	156	87	112	57	54	158	308

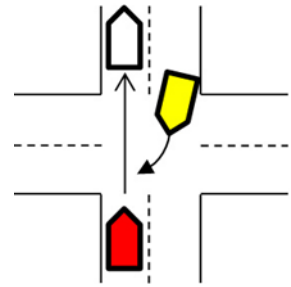
質問4. ご自身の職業についてお答えください。(ひとつだけ)

	全体	タクシーの運転手	バスの運転手	トラックの運転手(2t未満)	トラックの運転手(2t以上)	その他	無回答
北海道	94	19	10	19	29	17	
関東地方	103	37	7	16	20	23	
近畿地方	82	13	4	21	27	17	
中国地方	29	3	2	8	11	5	
全体	932	72	23	64	87	62	624

質問5. ご自身の日常生活で最も多く自動車を利用するシーンについてお答えください。(ひとつだけ)

	全体	送迎・通勤・通学	仕事	(日常生活・買い物)	帰省・レジャー	旅行	その他	無回答
北海道	117	31	8	66	11	1		
関東地方	86	9	11	36	27	3		
近畿地方	113	12	11	63	26	1		
中国地方	150	69	10	63	5	3		
全体	932	121	40	228	69	8	466	

質問6. あなた（図で赤色の車）が交差点を通過するとき、右折待ちの車（図で黄色の車）に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

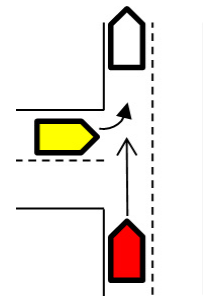


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウインカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	62	75	4	0	4	5	2	71	5	7	1	0	9	0	4	1	250
東京23区	58	69	7	3	2	4	3	88	3	7	1	2	6	0	4	2	259
大阪市	60	62	5	1	3	4	5	60	3	10	3	0	15	0	4	3	238
鳥取・島根	53	46	1	0	0	1	0	67	2	2	1	1	6	1	2	2	185
全体	233	252	17	4	9	14	10	286	13	26	6	3	36	1	14	8	932

質問7. あなた（図で赤色の車）が交差点を通過するとき、左折待ちの車（図で黄色の車）に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

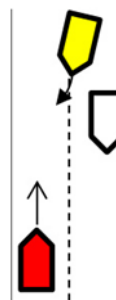


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウインカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	70	97	2	1	2	1	1	52	1	8	1	0	8	0	4	2	250
東京23区	89	87	4	3	3	2	3	47	3	8	2	1	3	1	2	1	259
大阪市	103	62	0	0	7	3	2	32	5	6	3	1	10	0	3	1	238
鳥取・島根	72	55	2	0	0	1	0	40	1	3	1	1	6	0	2	1	185
全体	334	301	8	4	12	7	6	171	10	25	7	3	27	1	11	5	932

質問8. あなた(図で赤色の車)が駐車車両のある道路を通過するとき、駐車車両を避けて通過しようとする対向車(図で黄色の車)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

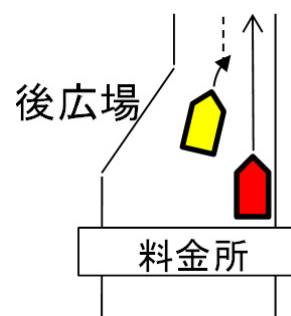


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウインカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	103	88	3	2	1	2	1	37	0	4	0	0	5	0	2	2	250
東京23区	87	95	2	0	5	4	6	52	1	2	2	2	0	0	1	0	259
大阪市	90	70	4	1	5	3	3	37	5	6	1	0	7	1	4	1	238
鳥取・島根	70	65	0	0	0	1	1	42	1	1	1	0	0	0	0	3	185
全体	350	318	9	3	11	10	11	168	7	13	4	2	12	1	7	6	932

質問9. あなた(図で赤色の車)が高速道路の料金所を通過した後、左側から合流しようとする車(図で黄色の車)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

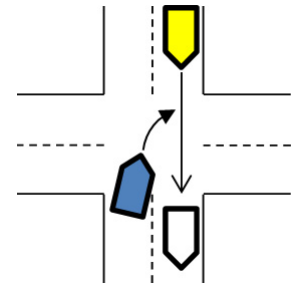


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウインカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	167	37	6	1	1	0	1	16	2	7	0	0	7	1	2	2	250
東京23区	179	31	7	3	2	1	1	24	1	2	0	1	2	1	2	2	259
大阪市	176	17	6	2	5	2	3	11	2	2	0	1	6	0	3	2	238
鳥取・島根	139	22	2	0	2	1	0	16	1	1	0	0	0	0	0	1	185
全体	661	107	21	6	10	4	5	67	6	12	0	2	15	2	7	7	932

質問10. あなた(図で青色の車)が交差点を右折しようとしているとき、直進車(図で黄色の車)からどのような合図が出されたら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

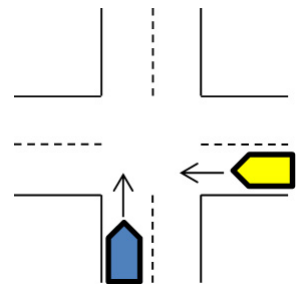


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	停止される	ウインカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	49	86	3	4	5	6	0	72	3	7	2	1	8	0	4	0	250
東京23区	45	84	5	1	2	4	4	87	6	6	2	2	10	1	0	0	259
大阪市	57	67	4	2	8	4	5	66	4	8	0	1	10	0	2	0	238
鳥取・島根	30	52	0	1	0	2	1	89	0	3	1	1	4	0	0	1	185
全体	181	289	12	8	15	16	10	314	13	24	5	5	32	1	6	1	932

質問11. あなた(図で青色の車)が交差点を通過するとき、右側から接近する車(図で黄色の車)からどのような合図が出されたら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

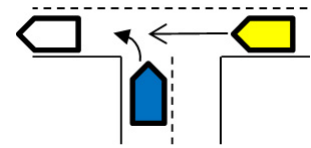


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	停止される	ウインカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	50	122	3	0	6	3	1	33	3	8	1	0	15	1	2	2	250
東京23区	65	118	1	2	5	2	1	38	4	9	1	2	8	0	1	2	259
大阪市	72	97	2	3	9	1	4	24	4	6	1	2	9	0	2	2	238
鳥取・島根	41	92	0	0	0	2	1	32	0	6	1	1	5	1	1	2	185
全体	228	429	6	5	20	8	7	127	11	29	4	5	37	2	6	8	932

質問12. あなた(図で青色の車)が無信号の交差点を左折するとき、右からくる車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

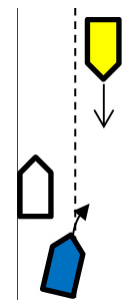


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	停止される	ウインカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	58	122	3	1	7	2	3	36	1	5	1	0	8	0	1	2	250
東京23区	81	97	1	1	5	5	4	47	2	4	4	0	5	1	1	1	259
大阪市	80	87	2	1	7	3	7	26	1	9	1	0	13	0	1	0	238
鳥取・島根	55	78	0	0	1	1	0	41	0	2	0	1	5	0	0	1	185
全体	274	384	6	3	20	11	14	150	4	20	6	1	31	1	3	4	932

質問13. あなた(図で青色の車)が駐車車両を避けて通過するとき、対向車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

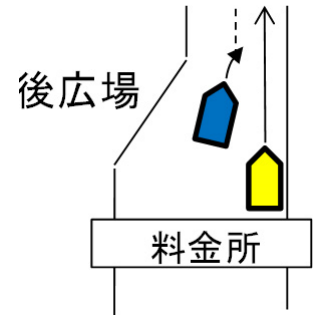


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	停止される	ウインカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	61	115	4	1	4	4	1	43	1	6	0	0	6	1	1	2	250
東京23区	65	102	4	2	8	1	6	60	1	2	2	2	3	0	0	1	259
大阪市	74	89	1	3	2	3	7	43	2	3	0	0	10	0	0	1	238
鳥取・島根	44	80	0	0	0	0	1	50	2	1	1	2	3	0	0	1	185
全体	244	386	9	6	14	8	15	196	6	12	3	4	22	1	1	5	932

質問14. あなた(図で青色の車)が高速道路の料金所を通過して右側に合流しようとするとき、合流される側の車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

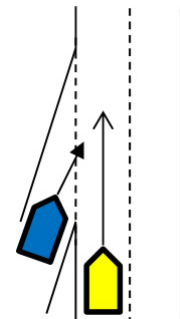


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	停止される	ウインカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	122	71	3	0	5	1	2	31	2	4	0	0	5	0	2	2	250
東京23区	154	51	3	4	4	3	1	22	7	5	0	2	2	0	1	0	259
大阪市	136	49	4	2	4	3	6	11	3	5	0	1	8	1	5	0	238
鳥取・島根	92	48	2	1	1	1	0	27	2	3	1	2	2	0	1	2	185
全体	504	219	12	7	14	8	9	91	14	17	1	5	17	1	9	4	932

質問15. あなた(図で青色の車)が加速車線から本線側に合流するとき、本線側の車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

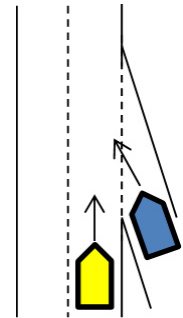


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	右に車線変更をされる	減速される	停止される	ウインカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	123	59	26	5	2	4	1	14	8	3	1	1	0	1	1	1	0	250
東京23区	92	106	15	6	3	1	2	13	11	5	1	0	2	0	1	0	1	259
大阪市	96	88	14	5	3	4	1	7	4	2	4	1	2	4	0	1	2	238
鳥取・島根	90	55	13	2	0	1	0	11	7	1	0	0	1	1	0	1	2	185
全体	401	308	68	18	8	10	4	45	30	11	6	2	5	6	2	3	5	932

質問16. あなた(図で青色の車)が加速車線から本線側に合流するとき、本線側の車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

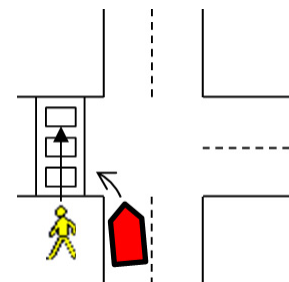


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	左に車線変更をされる	減速される	停止される	ウィンカーが使われる	ブレーキランプが使われる	クラクションが使われる	ヘッドライトを点けられる	ヘッドライトが消される	パッシングライトを使われる	ハザードランプを使われる	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情を変えられる	相手から見られる	その他	全体
札幌市	134	49	26	3	4	3	0	14	8	4	0	0	1	1	2	0	1	250
東京23区	113	84	18	8	1	2	2	13	10	2	3	0	2	0	0	0	1	259
大阪市	106	81	14	4	1	1	2	7	5	2	4	1	2	4	0	2	2	238
鳥取・島根	91	51	17	1	0	2	0	7	9	1	1	0	1	0	0	2	2	185
全体	444	265	75	16	6	8	4	41	32	9	8	1	6	5	2	4	6	932

質問17. あなた(図で赤色の車)が無信号の交差点を左折するとき、図中の矢印の向きに横断しようとしている歩行者(黄色)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

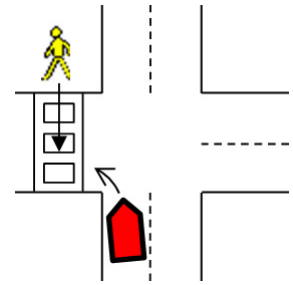


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウィンカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げ	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	31	171	4	1	3	1	1	5	1	11	0	1	15	1	3	1	250
東京23区	47	176	4	1	2	0	3	0	0	11	0	3	11	0	0	1	259
大阪市	50	144	2	2	4	0	0	1	0	9	1	0	19	1	3	2	238
鳥取・島根	31	133	2	1	0	0	0	5	0	6	0	1	5	0	0	1	185
全体	159	624	12	5	9	1	4	11	1	37	1	5	50	2	6	5	932

質問18. あなた(図で赤色の車)が無信号の交差点を左折するとき、図中の矢印の向きに横断しようとしている歩行者(黄色)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

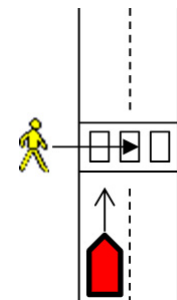


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウィンカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	38	176	4	0	3	2	2	4	0	7	0	1	9	1	3	0	250	
東京23区	52	177	6	2	2	1	1	0	1	6	0	3	7	0	0	1	259	
大阪市	54	147	4	2	3	1	1	2	0	6	0	1	12	1	2	2	238	
鳥取・島根	36	130	1	1	0	0	0	5	0	6	1	0	4	0	0	1	185	
全体	180	630	15	5	8	4	4	11	1	25	1	5	32	2	5	4	932	

質問19. あなた(図で赤色の車)が無信号の横断歩道を通過するとき、図中の矢印の向きに横断しようとしている歩行者(黄色)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

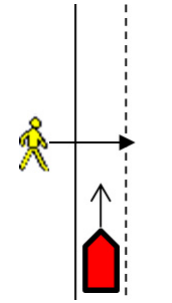


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウィンカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	35	188	3	2	2	1	1	5	0	4	0	1	6	0	2	0	250	
東京23区	51	184	2	2	1	2	0	1	1	7	0	2	4	0	1	1	259	
大阪市	52	162	1	3	1	1	1	2	0	2	1	0	7	0	3	2	238	
鳥取・島根	29	142	0	3	0	0	0	3	0	4	0	0	3	0	0	1	185	
全体	167	676	6	10	4	4	2	11	1	17	1	3	20	0	6	4	932	

質問20. あなた(図で赤色の車)が走行しているとき、図中の矢印の向きに道路横断しようとしている歩行者(黄色)に「お先にどうぞ」と意思を伝える手段として最もよく行う行動の流れを最大3つまで選んでください。

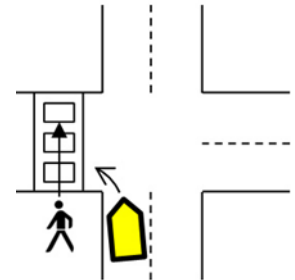


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速する	停止する	ウィンカーを使う	ブレーキランプを使う	クラクションを使う	ヘッドライトを点ける	ヘッドライトを消す	パッシングライトを使う	ハザードランプを使う	手を上げる	頭を下げる	窓から手を出す	手を振る	顔の表情を変える	相手を見る	その他	全体
札幌市	64	157	2	2	6	1	1	3	0	2	1	1	4	1	2	3	250
東京23区	88	140	1	4	2	3	1	0	2	7	0	1	3	2	2	3	259
大阪市	86	123	1	2	7	0	0	6	0	2	0	2	5	0	2	2	238
鳥取・島根	43	127	0	2	2	0	1	2	1	4	0	0	1	0	0	2	185
全体	281	547	4	10	17	4	3	11	3	15	1	4	13	3	6	10	932

質問21. 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しているとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

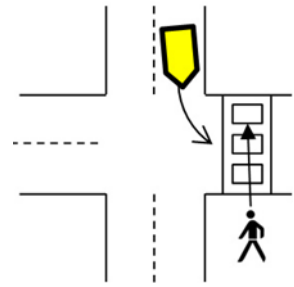


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速から	停止から	ウィンカーから	ブレーキランプから	クラクションから	ヘッドライトから	パッシングライトから	ハザードランプから	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情から	相手から見られる	その他	全体
札幌市	43	172	5	1	4	1	1	2	4	3	1	10	1	1	1	250
東京23区	60	168	3	2	5	1	2	2	2	6	0	4	1	1	2	259
大阪市	55	153	3	1	2	1	0	3	7	0	0	6	4	1	2	238
鳥取・島根	30	138	0	1	0	0	2	3	2	1	1	5	1	0	1	185
全体	188	631	11	5	11	3	5	10	15	10	2	25	7	3	6	932

質問22. 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するとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

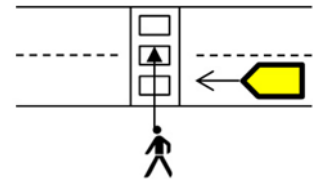


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速から	停止から	ウィンカーから	ブレーキランプから	クラクションから	ヘッドライトから	パッシングライトから	ハザードランプから	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情から	相手から見られる	その他	全体
札幌市	48	173	4	2	2	1	3	2	2	2	1	7	1	1	1	250
東京23区	66	164	5	2	3	3	3	2	0	3	0	4	0	2	2	259
大阪市	62	147	3	2	1	0	1	3	6	3	0	8	0	1	1	238
鳥取・島根	37	131	1	1	0	0	3	2	3	1	0	3	1	1	1	185
全体	213	615	13	7	6	4	10	9	11	9	1	22	2	5	5	932

質問23. 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するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

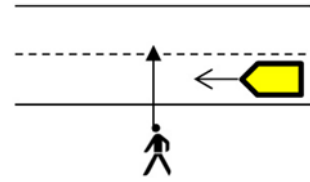


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速から	停止から	ウィンカーから	ブレーキランプから	クラクションから	ヘッドライトから	パッシングライトから	ハザードランプから	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情から	相手から見られる	その他	全体
札幌市	51	176	1	1	4	1	1	3	2	1	1	4	1	2	1	250
東京23区	68	166	0	2	3	2	3	1	2	4	0	3	2	1	2	259
大阪市	60	152	1	2	2	0	2	0	5	1	0	9	1	1	2	238
鳥取・島根	35	138	0	1	0	1	0	2	3	1	0	3	0	0	1	185
全体	214	632	2	6	9	4	6	6	12	7	1	19	4	4	6	932

質問24. あなた(人)が道路を図中の矢印の向きに横断するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

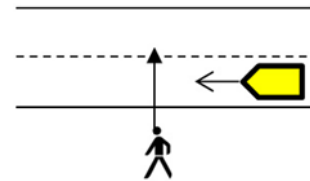


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速から	停止から	ウィンカーから	ブレーキランプから	クラクションから	ヘッドライトから	パッシングライトから	ハザードランプから	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情から	相手から見られる	その他	全体
札幌市	57	162	5	0	5	1	3	2	2	1	1	5	1	0	5	250
東京23区	74	160	0	2	3	0	5	1	2	2	1	3	1	2	3	259
大阪市	75	139	0	0	2	0	2	0	4	5	0	6	1	1	3	238
鳥取・島根	35	134	1	1	1	0	0	3	2	1	0	3	0	1	3	185
全体	241	595	6	3	11	1	10	6	10	9	2	17	3	4	14	932

質問25. あなた(人)が道路を図中の矢印の向きに横断するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



※夜間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

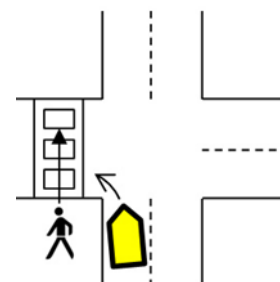
	減速から	停止から	ウィンカーから	ブレーキランプから	クラクションから	ヘッドライトから	パッシングライトから	ハザードランプから	手を上げられる	頭を下げられる	窓から手を出される	手を振られる	顔の表情から	相手から見られる	その他	全体
札幌市	56	163	3	1	6	2	2	4	1	1	1	6	1	0	3	250
東京23区	71	161	0	2	3	1	4	1	2	3	0	2	2	3	4	259
大阪市	67	141	2	1	4	3	5	0	3	3	0	6	0	2	1	238
鳥取・島根	35	130	0	1	1	0	2	2	6	1	1	3	0	0	3	185
全体	229	595	5	5	14	6	13	7	12	8	2	17	3	5	11	932

Web リサーチ結果 歩行者に関するアンケート -

質問1. ご自身が日常生活において、外出する目的として最も多いシーンについてお答えください。

	全体	送迎 通勤・ 通学	仕事 (通勤を除く)	日常生活 (買い物物)	旅行 レジャー 帰省	その他
北海道	189	92	5	88	2	2
関東地方	208	131	7	59	6	5
近畿地方	192	84	7	92	6	3
中国地方	80	51	1	27	1	0
全体	669	358	20	266	15	10

質問2. 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しているとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大 3 つまで選んでください。

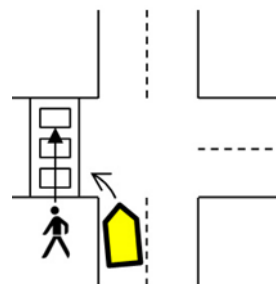


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使われる	ハザードランプが使われる	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	使われる ブレーキランプが	バックシグナルが使われる	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	23	3	1	38	72	0	19	2	3	0	14	4	1	1	6	2	189
東京23区	35	5	1	43	75	3	14	1	7	0	11	4	0	0	9	0	208
大阪市	41	2	2	25	82	1	12	3	5	0	10	2	1	0	5	1	192
鳥取・島根	17	1	0	13	27	4	4	0	4	0	2	4	0	1	1	2	80
全体	116	11	4	119	256	8	49	6	19	0	37	14	2	2	21	5	669

質問3. 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しているとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

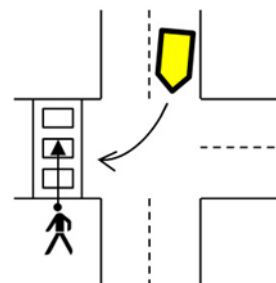


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使用される	ハザードランプが使用される	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使用される	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	使われる	ブレーキランプが使用される	パッシングライトを使用される	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	28	3	4	25	88	0	6	3	4	3	6	1	3	3	3	8	4	189
東京23区	39	6	4	28	80	4	10	0	8	4	8	1	0	2	12	2	208	
大阪市	39	6	2	18	90	1	6	1	9	1	6	1	3	1	7	1	192	
鳥取・鳥根	15	3	0	8	32	3	3	0	3	1	2	3	0	2	3	2	80	
全体	121	18	10	79	290	8	25	4	24	9	22	6	6	8	30	9	669	

質問4. 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しているとき、右折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

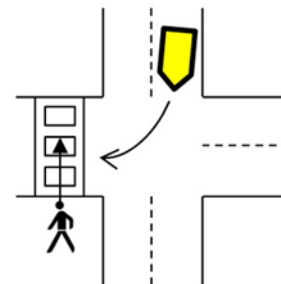


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使用される	ハザードランプが使用される	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使用される	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	使われる	ブレーキランプが使用される	パッシングライトを使用される	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	35	2	1	26	91	1	7	1	5	0	8	4	0	2	4	2	189	
東京23区	49	4	0	31	82	1	13	0	7	0	6	4	1	0	9	1	208	
大阪市	47	2	2	15	91	1	9	1	8	0	9	2	1	0	4	0	192	
鳥取・鳥根	20	0	0	10	32	1	3	1	3	0	2	3	0	2	1	2	80	
全体	151	8	3	82	296	4	32	3	23	0	25	13	2	4	18	5	669	

質問5. 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しているとき、右折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

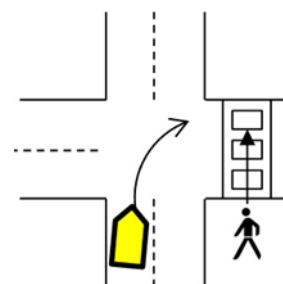


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使える	ハザードランプが使える	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	ブレーキランプが使われる	パッシングライトを使われる	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	30	3	2	21	104	2	3	0	6	0	3	0	0	4	7	4	189
東京23区	47	5	2	19	86	2	9	1	8	8	7	2	0	2	9	1	208
大阪市	45	5	3	15	93	2	6	1	8	0	8	0	2	0	4	0	192
鳥取・島根	20	2	2	6	32	3	2	0	3	1	1	3	1	1	1	2	80
全体	142	15	9	61	315	9	20	2	25	9	19	5	3	7	21	7	669

質問6. 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するとき、右折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

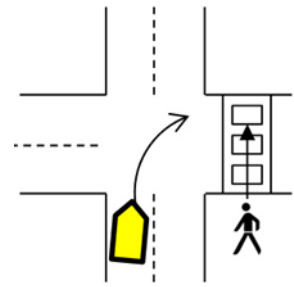


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使える	ハザードランプが使える	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	ブレーキランプが使われる	パッシングライトを使われる	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	35	2	0	22	95	0	7	3	3	0	9	3	0	1	5	4	189
東京23区	54	3	3	22	89	1	11	1	6	0	6	1	0	0	10	1	208
大阪市	52	3	3	18	91	1	4	0	4	0	7	3	2	0	4	0	192
鳥取・島根	21	0	1	8	31	1	5	1	3	0	1	3	0	1	1	3	80
全体	162	8	7	70	306	3	27	5	16	0	23	10	2	2	20	8	669

質問7. 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するとき、右折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大 3 つまで選んでください。

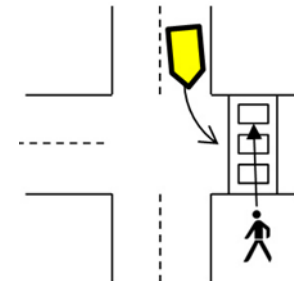


※夜間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使用される	ハザードランプが使用される	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情をえらる	ウィンカーが使用される	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	ブレーキランプが使用される	パッシングライトを使用される	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	32	5	1	18	103	2	6	1	5	0	2	2	0	3	6	3	189
東京23区	50	3	5	14	97	1	7	0	8	4	6	1	0	1	8	3	208
大阪市	51	2	4	14	94	1	3	1	5	1	9	0	2	1	4	0	192
鳥取・島根	19	2	3	7	32	1	3	0	3	0	2	3	0	2	1	2	80
全体	152	12	13	53	326	5	19	2	21	5	19	6	2	7	19	8	669

質問8. 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するとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大 3 つまで選んでください。

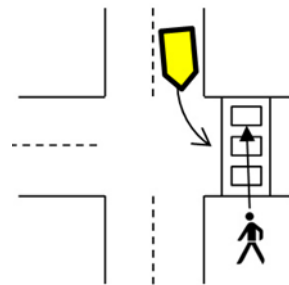


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使用される	ハザードランプが使用される	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情をえらる	ウィンカーが使用される	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	ブレーキランプが使用される	パッシングライトを使用される	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	42	2	1	24	98	0	7	1	1	1	6	0	0	0	4	2	189
東京23区	48	3	0	25	93	3	13	0	9	0	5	2	0	0	6	1	208
大阪市	55	5	2	14	88	0	5	0	5	0	8	1	1	1	7	0	192
鳥取・島根	21	1	0	7	33	1	3	0	3	0	1	4	0	2	2	2	80
全体	166	11	3	70	312	4	28	1	18	1	20	7	1	3	19	5	669

質問9. 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するとき、左折しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

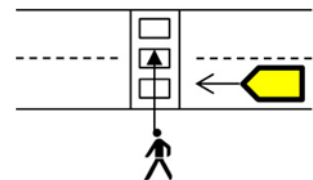


※夜間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使われる	ハザードランプが使われる	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	ブレーキランプが使われる	パッシングライトを使われる	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	39	6	1	17	98	4	3	0	4	2	2	1	0	5	5	2	189
東京23区	40	3	4	15	98	5	8	2	12	6	4	2	0	2	5	2	208
大阪市	56	6	2	11	95	3	4	0	4	0	4	2	1	0	4	0	192
鳥取・島根	19	1	1	5	33	4	3	0	4	1	1	4	0	2	1	1	80
全体	154	16	8	48	324	16	18	2	24	9	11	9	1	9	15	5	669

質問10. 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するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

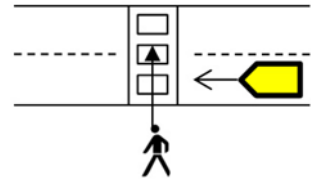


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使われる	ハザードランプが使われる	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	ブレーキランプが使われる	パッシングライトを使われる	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	31	2	0	18	115	0	8	3	2	1	4	0	0	1	3	1	189
東京23区	37	4	2	23	114	3	6	2	2	0	6	1	1	1	5	1	208
大阪市	49	4	1	9	106	1	4	2	3	2	9	0	0	0	2	0	192
鳥取・島根	20	1	0	7	37	0	2	1	3	0	3	2	0	1	2	1	80
全体	137	11	3	57	372	4	20	8	10	3	22	3	1	3	12	3	669

質問11. 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するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

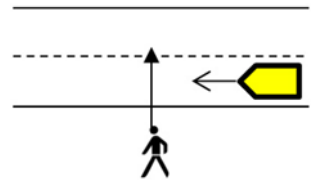


※夜間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使われる	ハザードランプが使われる	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	使われる	ブレーキランプが使われる	パッシングライト	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	31	4	2	15	113	3	5	2	0	2	2	1	0	3	5	1	189	
東京23区	34	4	4	16	120	3	5	0	3	6	4	1	0	2	6	0	208	
大阪市	42	3	1	11	110	1	4	1	1	0	11	1	2	1	3	0	192	
鳥取・島根	21	0	1	7	38	4	1	0	1	0	2	1	0	2	1	1	80	
全体	128	11	8	49	381	11	15	3	5	8	19	4	2	8	15	2	669	

質問12. あなた(人)が道路を図中の矢印の向きに横断するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。

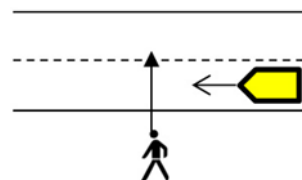


※昼間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使われる	ハザードランプが使われる	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウィンカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	使われる	ブレーキランプが使われる	パッシングライト	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	43	3	1	13	110	1	4	0	1	1	3	1	1	0	4	3	189	
東京23区	44	7	0	12	123	2	7	1	2	0	5	1	0	1	3	0	208	
大阪市	44	5	3	8	104	0	6	2	1	1	9	3	2	1	2	1	192	
鳥取・島根	27	0	2	5	36	0	2	0	1	0	1	1	0	1	1	3	80	
全体	158	15	6	38	373	3	19	3	5	2	18	6	3	3	10	7	669	

質問13. あなた(人)が道路を図中の矢印の向きに横断するとき、通過しようとしている車(図で黄色の車)がどのような合図を出したら「お先にどうぞ」と意思表示されていると感じますか。意思が最も明確に理解できる相手の行動の流れを最大3つまで選んでください。



※夜間のことについてお答えください。

1 番目に多い手段

	減速される	クラクションが使われる	ハザードランプが使われる	手を振られる	停止される	ヘッドライトを点けられる	手を上げられる	顔の表情を変えられる	ウインカーが使われる	ヘッドライトが消される	頭を下げられる	相手から見られる	使われる ブレーキランプが	パッシングライトを使われる	窓から手を出される	その他	全体
札幌市	37	4	0	6	117	4	6	0	2	0	2	0	0	4	4	3	189
東京23区	36	9	2	12	117	6	4	1	1	4	4	1	1	5	4	1	208
大阪市	44	7	2	7	107	2	5	3	3	0	5	1	2	0	3	1	192
鳥取・島根	20	1	2	4	36	3	2	0	2	1	1	3	0	1	1	3	80
全体	137	21	6	29	377	15	17	4	8	5	12	5	3	10	12	8	669

7. 業務推進のための調査検討

7.1. 業務推進のための計画

7.1.1. 諮問委員会の設置

本プロジェクトでは、プロジェクトの円滑な推進を目的に「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諮問委員会」（以下では諮問委員会と表記）を設置する。諮問委員会は、3回の開催を計画しており、コンソーシアムメンバーより計画、進捗、成果の説明を行い、外部専門委員からプロジェクトへの助言を受け、プロジェクトの実施をブラッシュアップしていく。

諮問委員会は、今年度内に3回の開催を計画しており、コンソーシアムメンバーより計画、進捗、成果の説明、外部専門委員から忌憚のないご意見、ご批判を頂き、調査検討プロジェクトをブラッシュアップしていくことを目的としている。

7.1.1.1. 諮問委員会の構成

- (1) 本諮問委員会は、別表の外部専門委員をもって組織する。
- (2) 外部専門委員の中から委員長を選任する。
- (3) 本プロジェクトを受託したコンソーシアム構成機関は、事務局として諮問委員会に参加し、発注者である内閣府は諮問委員会のオブザーバーとする。
- (4) コンソーシアムおよび外部専門委員は、必要に応じて新たなオブザーバーを参加させることができる。

7.1.1.2. 諮問委員会開催計画

諮問委員会は計3回を予定している。

- ・ 第1回諮問委員会、8-9月、主に研究開発計画についての議論
- ・ 第2回諮問委員会、11-12月、研究開発の進捗についての議論
- ・ 第3回諮問委員会、2-3月、今年度研究開発の成果についての議論

※諮問委員会は各2時間程度

※開催場所は、産総研つくば、または産総研東京本部（霞が関）等を想定

7.1.2. プロジェクトを推進する会議体の設置

本プロジェクトは、3つの課題を複数の機関が調査研究を並行で進める大規模プロジェクトである。本プロジェクトの実施にあたっては、コンソーシアムを構成する各機関との情報共有、SIP自動走行システムを取り巻く外

部との連携（情報交換）、各課題の調査研究の進捗把握などを目的に、定期的な会議体を設置しプロジェクトを推進していく。

- プロジェクト運営会議：月 1 回 2 時間を目安に開催
 - コンソーシアム構成メンバーでのプロジェクト進捗の確認
 - 研究項目情報交換
 - プロジェクトの運営審議ほか
- 評価・進捗・成果 共有会議：2 週間に 1 回程度で 1～1.5 時間を目安に開催
 - 研究進捗、実施状況などの情報共有
 - W e b 会議システムなどを使った遠隔会議を想定※ 研究の実施状況により開催回数は調整

7.2. 諮問委員会の設置・実施

7.2.1. 諮問委員会 外部専門委員への移植

諮問委員会の外部専門委員は下記の方に委嘱した。

表 7-1 諮問委員会における外部専門委員

	氏名	所属
委員長	鵜浦 清純	株式会社本田技術研究所 四輪 R & D センター / 主任研究員
委員	内田 仁	スズキ株式会社 開発本部 横浜研究所 第1課 / 係長
委員	河合 英直	独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所 自動車研究部 / 部長
委員	寸田 剛司	日産自動車株式会社 電子技術・システム技術開発本部 AD&ADAS 開発部 HMI 開発グループ / 主管 (兼) 総合研究所モビリティ・サービス研究所 / 主管研究員
委員	鷹取 収	一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 / 次長
委員	高橋 宏	湘南工科大学 工学部 コンピュータ応用学科 / 教授
委員	中野 公彦	東京大学大学院情報学環 (兼) 生産技術研究所 次世代モビリティ研究センター / 准教授
委員	芳賀 繁	立教大学 現代心理学部 心理学科 / 教授
委員	森 大樹	トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 先進安全先行開発部 第2自動運転技術開発室 / グループ長
オブザーバー		内閣府 政策統括官 (科学技術・イノベーション担当)

7.2.2. 諮問委員会の実施

7.2.2.1. 第1回諮問委員会

1. 日時：2016年9月30日 10:00~12:00
2. 場所：(株)デンソー 日本橋ビル 会議室
3. 出席者：(敬称略、五十音順)

<外部専門委員>

鵜浦 清純 (株式会社本田技術研究所)、内田 仁 (スズキ株式会社)、河合 英直 (独立行政法人自動車技術総合機構)、寸田 剛司 (日産自動車株式会社)、鷹取 収 (一般財団法人日本自動車研究所)、高橋 宏 (湘南工科大学工学部)、中野 公彦 (東京大学大学院情報学環)、森 大樹 (トヨタ自動車株式会社)

※芳賀委員 (立教大学現代心理学部) へは、2016年10月25日に個

別説明を実施

<オブザーバー>

森下 信（内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当)）、山本武司（内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当)）、小野 古志郎（一般財団法人日本自動車研究所）

<事務局：プロジェクトコンソーシアムメンバー>

北崎 智之・赤松 幹之・佐藤 稔久（国立研究開発法人産業技術総合研究所）、周 慧萍（国立大学法人筑波大学）、田中 裕章（株式会社デンソー）、大門 樹（学校法人慶應義塾）、保坂 圭太・吉野 亜希子・築山 幸奈・品田 晴恵（東京都ビジネスサービス株式会社）

【議事要旨】

課題 A

- 様々な機関が行っている研究開発を見ると、社会の中では幅広い方が運転をしているので、知識を全く持たない方への対応が課題となっている。
- 機能を理解していても、人間の恐怖心から行動してしまうことをどう考えるかも重要。
- 実験のプロファイリングとして、A/B/C 課題でプロファイリングの取り方を揃えるなどは行って欲しい。
- 実験で得られた結果をどのように活用するかイメージを作り、研究に取り組んでほしい。例えば、システムデザインへの実験結果フィードバックだけでなく、売る際にユーザーへの情報提供方法のような形式についても知見として活用できるようにしてほしい。

課題 B

- 交通量・周辺環境により、覚醒度が変化することも整理してほしい。

課題 C

- 自動運転者の新しい仕組みを導入した場合のコミュニケーションを見つける出口を作り進めてほしい
- ドライバーの協調型コミュニケーションだけでなく、敵対的なコミュニケーション（コミュニケーション拒否）についても検討してほしい。

7.2.2.2.第2回諮問委員会

1. 日時： 2016年12月21日 15:30～17:30
2. 場所： (株)デンソー 日本橋ビル 会議室
3. 出席者：(敬称略、五十音順)

<外部専門委員>

鵜浦 清純（株式会社本田技術研究所）、内田 仁（スズキ株式会社）、河合 英直（独立行政法人自動車技術総合機構）、寸田 剛司（日産自動車株式会社）、鷹取 収（一般財団法人日本自動車研究所）、高橋 宏（湘南工科大学工学部）、中野 公彦（東京大学大学院情報学環）、芳賀 繁（立教大学現代心理学部）、森 大樹（トヨタ自動車株式会社）

<オブザーバー>

山本 武司（内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当)）

<事務局：プロジェクトコンソーシアムメンバー>

北崎 智之・赤松 幹之・佐藤 稔久（国立研究開発法人産業技術総合研究所）、周 慧萍（国立大学法人筑波大学）、田中 裕章（株式会社デンソー）、大門 樹（学校法人慶應義塾）、保坂 圭太・築山 幸奈・赤松 美樹・品田 晴恵（東京都ビジネスサービス株式会社）

【議事要旨】

課題 A

- 実験結果については、被験者の運転パフォーマンスについても整理してほしい。
- 今回の実験で、被験者にインストラクションする時間・量について整理検証してほしい。
- 被験者が「うまくいく／うまくいかない」についての整理となっているが、被験者の考えも結果に負荷してほしい。

課題 B

- 認知的な注意散漫状態／視覚的な注意散漫状態／覚醒度など、Readinessを定義する軸を整理してほしい。
- ドライバーモニタリングシステムの車載を考えると、周辺環境の計測や測定項目について段階的に提示してほしい。

課題 C

- 車両挙動とドライバーの運転行動について、コミュニケーションがうまくいかなかった場合の検証もしてほしい。
- 同じサインで意味が異なる（パッシングなど）場合は、条件の組み合わせなどで意図を明確に切り分けるなどの整理検証をしてほしい。
- 安全サイドを重視すると、自動運転車は止まってしまうので、「交通流の円滑化」「ルールの変更」などの検討軸から整理してほしい。
- コミュニケーションのための外向けHMIに結びつくよう実験結果を整理してほしい。

8. 参考文献

8.1. Executive summary (全体要旨)の参考文献

- 警察庁交通局企画課 (2016). 平成 27 年中の交通事故死者数について, 平成 28 年 1 月 4 日.
- 交通事故総合分析センター (2011), 平成 23 年交通事故統計表データ.
- Kitazaki, S. and Myhre, N. J. (2015). Effects of non-verbal communication cues on decisions and confidence of drivers at an uncontrolled intersection, *Proceedings of the 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, p.113-119.
- Merat, N., Jamson, A.H., Lai, F.C.H., Daly, M., and Carsten, O.M.J., (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle, *Transportation Research Part F, Vol. 27*, p.274-282.
- National Highway Traffic Safety Administration (2013). Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles. Washington, DC.
- SAE International (2016). Surface vehicle recommended practice, Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles, J3016 revised September 2016.

8.2. 課題 A の参考文献

- 伊藤誠(2016). 品質・安全問題と信頼, 日科技連.
- 稲垣敏之(2012). 人と機械の共生のデザイン, 森北出版.
- 大谷 亮, 江上 嘉典, 佐藤 健治, 三井一志, 阿部正明 (2016). 自動運転状況下におけるドライバーへの情報伝達方法—低中度の自動運転システムからの情報伝達が運転行動に及ぼす影響—, 自動車技術会論文集, 47(4), 961-966. (Otani, A., Egami, Y., Sato, K., Mitsui, K., & Abe, M. (2016). Human machine interface with driver in automated driving -Driver's behaviors caused by information presentation from lower levels of vehicle automation-, *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, 47(4), 961-966 (in Japanese).)
- 本間亮平, 若杉貴志, 小高賢二 (2015). 高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討 (第 1 報) —覚醒度の低下や運転以外の作業による影響—自動車技術会論文集 47(2), 537-542. (Homma, R., Wakasugi, T., & Kodaka, K. (2016). Basic study on transition to manual from highly automated driving (First report) -Effects of drowsiness and non-driving-related tasks-, *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, 47(2), 537-542 (in Japanese))
- Abe, G., Sato, K., & Itoh, M. (2015). Driver's Trust in Automated Driving when Passing Other Traffic Objects. *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2015*, 897-902. <http://doi.org/10.1109/SMC.2015.165>
- Banks, V. A., & Stanton, N. A. (2016). Keep the driver in control: Automating automobiles of the future. *Applied Ergonomics*, 53, 389-395.
- Beggiato, M., & Krems, J. F. (2013). The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 18, 47-57.
- Beggiato, M., Pereira, M., Petzoldt, T., & Krems, J. (2015). Learning and development of trust, acceptance and the mental model of ACC. A
-
-

-
-
- longitudinal on-road study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 35, 75–84.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2015.10.005>
- Blanco, M., Atwood, J., Vasquez, H. M., Trimble, T.E., Fitchett, V. L., Radlbeck, J., Fitch, G., & Russel, S. M. (2016). Automated Vehicles: Take-Over Request and System Prompt Evaluation. In S. Meyer, G., Beiker (Ed.), *Road Vehicle Automation 3* (pp. 111–119). Springer International Publishing Switzerland.
<http://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7> (Blanco, M., Atwood, J., Vasquez, H. M., Trimble, T.E., Fitchett, V. L., Radlbeck, & J.,Morgan (2015). Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts, Report DOT HS 812 182, Washington, DC, NHTSA)
- Brandenburg, S., & Skottke, E. (2014). Switching from manual to automated driving and reverse: Are drivers behaving more risky after highly automated driving? *IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2978–2983. <http://doi.org/10.1109/ITSC.2014.6958168>
- Carsten, O., Lai, F.C.H., Barnard, Y., Jamson, a. H., Merat, N.(2012). Control task substitution in semiautomated driving: Does it matte what aspects are automated? *Human Factors*, 54(5), 747-761.
- Desmond, P., Hancock, P., & Monette, J. (1998). Fatigue and automation-induced impairments in simulated driving performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1628), 8-14.
- Degani, A., Shafto, M., & Kirlik, A. (1999). Modes in human-machine systems: Review, classification, and application. *International Journal of Aviation Psychology*, 9, 125–138.
- de Waard, D., van der Hulst, M., Hoedemaeker, M., & Brookhuis, K. A. (1999). Driver behavior in an emergency situation in the Automated Highway System. *Transportation human factors*, 1(1), 67-82.
- De Winter, J. C., Happee, R., Martens, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 196-217.
- Donmez, B., Boyle, L. N., Lee, J. D., & McGehee, D. V. (2006). Drivers' attitudes toward imperfect distraction mitigation strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(6), 387–398. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2006.02.001>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32-64.
- Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation, *Human Factors*, 37(2), 381-394.
- Flemisch, F.,O., Kelsch, J., Löper, C., Schieven, A., Schindler, J., & Heesen, M. (2008). Cooperative control and active interfaces for vehicle assistance and automation, Paper presented at FISITA World Automotive Congress, Munich, Germany (Paper No. F2008-02-045).
- Gibson, M., Lee, J., Venkatraman, V., Price, M., Lewis, J., Montgomery, O., and Mutlu, B. (2016). Situation awareness, scenarios, and secondary tasks: Measuring driver performance and safety margins in highly automated vehicles, *SAE International Journal of*
-
-

-
-
- Passenger Cars, - Electronic and Electrical systems, 9(1), 6 pages.
Doi: 10.4271/2016-01-0145
- Gold, C., Lorenz, L., Damböck, D., & Bengler, K. (2013). Partially Automated Driving as a Fallback Level of High Automation. 6. Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren, 28(29.11), 2013.
- Gold C., Dambock D., Lorenz L, & Bengler K (2013) Take over!"—How long does it take to get the driver back into the loop? In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 57th annual meeting, 2013, 1938–1942.
- Hajek, W., Gaponova, I., Fleischer, K. H., & Krems, J. (2013). Workload-adaptive cruise control – A new generation of advanced driver assistance systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 20, 108–120.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2013.06.001>
- Hancock, P. A., & Parasuraman, R. (1992). Human factors and safety in the design of intelligent vehicle-highway systems (IVHS). *Journal of Safety Research*, 23(4), 181–198.
[http://doi.org/10.1016/0022-4375\(92\)90001-P](http://doi.org/10.1016/0022-4375(92)90001-P)
- Itoh, M. (2009). Toward Preventive ACC Systems against Crashes due to Another Vehicle's Cut-in, Proc. ICIRA2009 (LNAI5928), pp. 226-234, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009.
- Itoh, M., Inagaki, T., Shiraishi, Y., Watanabe, T., & Takae, Y. (2005). Contributing Factors for Mode Awareness of a Vehicle with a Low-Speed Range and a High-Speed Range ACC Systems, Proc. HFES 49th Annual Meeting, pp. 376-380, 2005.
- Itoh, M. (2012). Toward overtrust-free advanced driver assistance systems, *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 51-60.
- Itoh, M., Horikome, T., & Inagaki, T. (2013). Effectiveness and Driver Acceptance of a Semi-Autonomous Forward Obstacle Collision Avoidance System, *Applied Ergonomics*, 44, 756-763.
- Itoh, M. & Inagaki, T. (2014). Design and Evaluation of Steering Protection for Avoiding Collisions during a Lane-Change, *Ergonomics*, 57(3), 361-373.
- Jamson, A. H., Merat, N., Carsten, O. M. J., & Lai, F. C. H. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, 116–125.
<http://doi.org/10.1016/j.trc.2013.02.008>
- Kyriakidis, M., Happee, R., & de Winter, J.C.F. (2015). Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents, *Transportation Research Part F*, 32, 127-140.
- Körber, M., Gold, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19–32. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2016.03.002>
- Larsson, A. F. L. (2012). Driver usage and understanding of adaptive cruise control. *Applied Ergonomics*, 43(3), 501–506.
<http://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.08.005>
- Larsson, A. F. L., Kircher, K., & Hultgren, J. A. (2014). Learning from experience: Familiarity with ACC and responding to a cut-in situation in automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27(PB), 229–237.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.05.008>
-
-

-
-
- Larsson, P., Johansson, E., Söderman, M., & Thompson, D. (2015). Interaction Design for Communicating System State and Capabilities during Automated Highway Driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2784–2791. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.735>
- Lee, J., & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35(10), 1243-1270.
- Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 46(1), 50-80.
- Lee, J. D. (2008). Review of a Pivotal Human Factors Article: “Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse.” *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 404–410. <http://doi.org/10.1518/001872008X288547>
- Louw, T., Kountouriotis, G., Carsten, O., & Merat, N. (2015). Driver Inattention During Vehicle Automation: How Does Driver Engagement Affect Resumption Of Control ?, 4th International Driver Distraction and Inattention Conference, Sydney, New South Wales, November 2015, 1–13.
- Mattes, S., Hallén, A. (2009). Surrogate distraction measurement techniques: The lane change test, in: Regan, M., Lee, J., Young, K. (Eds.), *Driver Distraction*. CRC Press, 107–122.
- Merat, N., & Jamson, a H. (2009). Is drivers’ situation awareness influenced by a highly automated driving scenario ? *Human Factors, Security and Safety. Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference*, Soesterberg, the Netherlands, Shaker Publishing, 1–11.
- Merat, N., & Lee, J. D. (2012). Preface to the special section on human factors and automation in vehicles designing highly automated vehicles with the driver in mind. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), 681-686.
- Merat, N., Jamson, A.H., Lai, F., Daly, M., & Carsten, O.M. (2014). Transition to manual: Driver behavior when resuming control from a highly automated vehicle, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, 26, 1-9.
- Merritt, S. M., & Ilgen, D. R. (2008). Not All Trust Is Created Equal: Dispositional and History-Based Trust in Human-Automation Interactions. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(2), 194–210. <http://doi.org/10.1518/001872008X288574>
- Montague, E., & Xu, J. (2012). Understanding active and passive users: The effects of an active user using normal, hard and unreliable technologies on user assessment of trust in technology and co-user. *Applied Ergonomics*, 43(4), 702–712. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.11.002>
- Naujoks, F., Purucker, C., & Neukum, A. (2016). Secondary task engagement and vehicle automation - Comparing the effects of different automation levels in an on-road experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 38, 67–82. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2016.01.011>
- Naujoks, F., Purucker, C., Neukum, A., Wolter, S., & Steiger, R. (2015). Controllability of Partially Automated Driving functions - Does it matter whether drivers are allowed to take their hands off the steering wheel? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology*
-
-

-
-
- and Behaviour, 35, 185–198.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2015.10.022>
- Ososky, S., Sanders, T., Jentsch, F., Hancock, P., & Chen, J. (2014). Determinants of system transparency and its influence on trust in and reliance on unmanned robotic systems. In Spie (Vol. XXXIII, pp. 81–87). <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(2), 230-253.
- Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation-induced 'complacency'. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(1), 1-23.
- Payre, W., Cesta, J., & Delhomme, P. (2014). Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability, *Transportation Research Part F*, 27, 252-263.
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2015). Fully Automated Driving: Impact of Trust and Practice on Manual Control Recovery. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 0018720815612319–. <http://doi.org/10.1177/0018720815612319>
- Petermeijer, S. M., Abbink, D. a., & de Winter, J. C. F. (2014). Should Drivers Be Operating Within an Automation-Free Bandwidth? Evaluating Haptic Steering Support Systems With Different Levels of Authority. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57, 5–20.
<http://doi.org/10.1177/0018720814563602>
- Reeves, J. (Ed.) (2014). *Human Factors in Automated Driving Scenarios: Assessment of Research, Technology and Concepts*, New York, NY: NOVA Science Publishers.(DOT HS 812 043, DOT HS 812 044)
- Saffarian, M., de Winter, J. C. F., & Happe, R. (2012). Automated driving: Human-factors issues and design solutions, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 56th Annual Meeting*, 2296-2300.
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 5-19.
- Sheridan, T.B. (1992). *Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control*, MIT Press.
- Seppelt, B. D., & Lee, J. D. (2007). Making adaptive cruise control (ACC) limits visible. *International Journal of Human Computer Studies*, 65(3), 192–205. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2006.10.001>
- Seppelt, B. D., & Victor, T. W. (2016). Potential Solutions to Human Factors Challenges in Road Vehicle Automation. In G. Meyer and S. Beiker (eds.), *Road Vehicle Automation* (pp. 131–148). Springer.
<http://doi.org/10.1007/978-3-319-40503-2>
- Sheridan, T. B. (2002). *Humans and automation: System design and research issues*. John Wiley & Sons, Inc..
- Skottke, E. M., Debus, G., Wang, L., & Huestegge, L. (2014). Carryover effects of highly automated convoy driving on subsequent manual driving performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(7), 1272-1283.
- Stanton, N. A., & Young, M. S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics*, 41(7), 1014–1028.
<http://doi.org/10.1080/001401398186568>
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I. C. M., & Nilsson, L. (2014).
-
-

-
-
- Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27(PB), 218–228.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.005>
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2007). What's skill got to do with it? Vehicle automation and driver mental workload. *Ergonomics*, 50(8), 1324-1339.
- Wiener, E.L. (1981). Complacency: Is the term useful for air safety? Proc. 26th Corporate Aviation Safety Seminar, 116-125, Denver, CO: Flight Safety Foundation, Inc.
- Wilde, G. J. (1994). Target risk: Dealing with the danger of death, disease and damage in everyday decisions. Castor & Columba.
- Wu, Y., & Boyle, L. N. (2015). Drivers' engagement level in Adaptive Cruise Control while distracted or impaired. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 33, 7–15.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2015.05.005>
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 230-239.

8.3. 課題 B の参考文献

- 阿部 高志 (2014). 客観的眠気検査の有用性と職域での応用. *睡眠医療* 8(1): 29-35.
- 大見 拓寛. (2014). 画像認識技術を用いたドライバー状態検知システム「ドライバーステータスマニター」の開発. In 白川 修一郎 & 高橋 正也 (Eds.), *睡眠マネジメント-産業衛生・疾病との係わりから最新改善対策まで-*. (pp. 309-315). 東京: エヌ・ティー・エス.
- 西山 潤平, 谷田 公二, 楠見 昌司, & 平田 豊. (2008). 瞳孔ゆらぎを指標とした覚醒度状態評価. *生体医工学*, 46(2), 212-217.
- 和久井 秀樹, & 平田 豊. (2014). 眼球・瞳孔運動に現れる覚醒状態とその神経機構. *日本神経回路学会誌*, 21(1), 20-31.
- Abe, T., Nonomura, T., Komada, Y., Asaoka, S., Sasai, T., Ueno, A., et al. (2011). Detecting deteriorated vigilance using percentage of eyelid closure time during behavioral maintenance of wakefulness tests. *Int J Psychophysiol*, 82(3), 269-274.
- Ahlstrom, U., & Frideman-Berg, F. J. (2006). Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 623-636.
- Atienza, M., Cantero, J. L., Stickgold, R., & Hobson, J. A. (2004). Eyelid movements measured by Nightcap predict slow eye movements during quiet wakefulness in humans. *J Sleep Res*, 13(1), 25-29.
- Backs, R. W., & Seljos, K. A. (1994). Metabolic and cardiorespiratory measures of mental effort: the effects of level of difficulty in a working memory task. *Int J Psychophysiol*, 16(1), 57-68.
- Barnard, Y., & Lai, F. (2010). Spotting sheep in Yorkshire: Using eye-tracking for studying situation awareness in a driving simulator. In D. de Waard, A. Axelsson, M. Berglund, B. Peters & C. Weikert (Eds.), *Human Factors: A system view of human, technology, and organisation* (pp. 249-261). Maastricht, The Netherlands: Shaker Publishing.
-
-

-
-
- Beatty, J., & Lucero-Wagoner, B. (2000). The pupillary system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 142-162). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T., & Re, A. (2011). Driver workload and eye blink duration *Transportation Research Part F*, 14, 199-208.
- Caffier, P. P., Erdmann, U., & Ullsperger, P. (2003). Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure. *Eur J Appl Physiol*, 89(3-4), 319-325.
- Carsten, O., Lai, F. C., Barnard, Y., Jamson, A. H., & Merat, N. (2012). Control task substitution in semiautomated driving: does it matter what aspects are automated? *Hum Factors*, 54(5), 747-761.
- Cha, D. (2003). Driver Workload Comparisons among Road Section of Automated Highway Systems. SAE Technical Paper Series, 1-8.
- Chua, E. C., Tan, W. Q., Yeo, S. C., Lau, P., Lee, I., Mien, I. H., et al. (2012). Heart Rate Variability Can Be Used to Estimate Sleepiness-related Decrements in Psychomotor Vigilance during Total Sleep Deprivation. *Sleep*, 35(3), 325-334.
- Crevits, L., Simons, B., & Wildenbeest, J. (2003). Effect of sleep deprivation on saccades and eyelid blinking. *European Neurology*, 50(3), 176-180.
- Damböck, D., Weißgerber, T., Kienle, M., & Bengler, K. (2013). Requirements for Cooperative Vehicle Guidance Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), 6-9.
- Davis, J., & Animashaun, A. (2008). Evaluation of Semi-Autonomous Convoy Driving *Journal of Field Robotics*, 25(11-12), 880-897.
- de Waard, D., van der Hulst, M., Hoedemaeker, M., & Brookhuis, K. A. (1999). Driver Behavior in an Emergency Situation in the Automated Highway System. *Transportation human factors*, 1(1), 67-82.
- de Winter, J. C. F., Happee, R., Martens, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence *Transportation Research Part F*, 27, 196-217.
- Di Stasi, L. L., Catena, A., Canas, J. J., Macknik, S. L., & Martinez-Conde, S. (2013). Saccadic velocity as an arousal index in naturalistic tasks. *Neurosci Biobehav Rev*, 37(5), 968-975.
- Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Catena, A., Macknik, S. L., Canas, J. J., & Martinez-Conde, S. (2013). Microsaccade and drift dynamics reflect mental fatigue. *Eur J Neurosci*, 38(3), 2389-2398.
- Dinges, D. F., Maislin, G., Brewster, R. M., Krueger, G. P., & Carroll, R. J. (2005). Pilot test of fatigue management technologies Safety: Older Drivers; Traffic Law Enforcement; Management; School Transportation; Emergency Evacuation; Truck and Bus; and Motorcycles (pp. 175-182). Washington: Transportation Research Board Natl Research Council.
- Dinges, D. F., Mallis, M., Maislin, G., & Powell, J. W. (1998). Evaluation of techniques for ocular measurement as an index of fatigue and as the basis for alertness management.: U.S.
-
-

-
-
- Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.
- Flemisch, F., Kelsch, J., Löper, C., Schieben, A., Schindler, J., & Heesen, M. (2008). Cooperative control and active interfaces for vehicle assistance and automation. *Fisita world automotive congress*.
- Ftouni, S., Sletten, T. L., Nicholas, C. L., Kennaway, D. J., Lockley, S. W., & Rajaratnam, S. M. (2015). Ocular Measures of Sleepiness Are Increased in Night Shift Workers Undergoing a Simulated Night Shift Near the Peak Time of the 6-Sulfatoxymelatonin Rhythm. *J Clin Sleep Med*, 11(10), 1131-1141.
- Funke, G., Matthews, G., Warm, J. S., & Emo, A. K. (2007). Vehicle automation: a remedy for driver stress? *Ergonomics*, 50(8), 1302-1323.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? . *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 57th Annual Meeting 1938-1942*.
- Heger, R. (1998). Driving behavior and driver mental workload as criteria of highway geometric design quality Paper presented at the Transportation Research Board.
- Hsieh, L., Seaman, S., & Young, R. A. (2015). Eye Glance Analysis of the Surrogate Tests for Driver Distraction. *Proceedings of the Eighth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 141-147.
- Ingre, M., Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: examining individual differences. *J Sleep Res*, 15(1), 47-53.
- Jamson, A. H., Merat, N., Carsten, O. M. J., & Lai, F. C. H. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, 30, 116-125.
- Johns, M. W., Tucker, A., Chapman, R., Crowley, K., & Michael, N. (2007). Monitoring eye and eyelid movements by infrared reflectance oculography to measure drowsiness in drivers. *Somnologie*, 11, 234-242.
- Johns, M. W., & Tucker, A. J. (2005). The amplitude-velocity ratios of eyelid movements during blinks: changes with drowsiness. *Sleep*, 28(A122).
- Korber, M., Cingel, A., Zimmermann, M., & Bengler, K. (2015). Vigilance decrement and passive fatigue caused by monotony in automated driving. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (Ahfe 2015) and the Affiliated Conferences, Ahfe 2015, 2403-2409.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lank, C., Haberstroh, M., & Wille, M. (2011). Interaction of Human, Machine, and Environment in Automated Driving Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2243, 138-145.
- Llaneras, R. E., Salinger, J., & Green, C. A. (2013). Human factors
-
-

-
-
- issues associated with limited ability autonomous driving systems: Drivers' allocation of visual attention to the forward roadway Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 92-98.
- Ma, R., & Kaber, D. B. (2005). Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone Information Journal of Industrial Ergonomics 35, 939-953.
- Malta, L., Aust, M. L., Faber, F., Metz, B., Saint Pierre, G., Benmimoun, M., et al. (2012). European large-scale field operational tests on in-vehicle systems. Final results: Impacts on traffic safety (EUROFOT Deliverable D6.4). Aachen, Germany: Ford Forschungszentrum Aachen GmbH.
- Merat, N., & Jamson, A. H. (2009). How do drivers behave in a highly automated car? . Proceedings of the fifth international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design, 514-521.
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C., & Carsten, O. (2012). Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. Hum Factors, 54(5), 762-771.
- Ong, J. L., Asplund, C. L., Chia, T. T., & Chee, M. W. (2013). Now you hear me, now you don't: eyelid closures as an indicator of auditory task disengagement. *Sleep*, 36(12), 1867-1874.
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M., & Bengler, K. (2014). How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 58th Annual Meeting, 2063-2067.
- Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2003). Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination, and decision making. *J Exp Psychol Appl*, 9(2), 119-137.
- Recarte, M. A., Perez, E., Conchillo, A., & Nunes, L. M. (2008). Mental workload and visual impairment: differences between pupil, blink, and subjective rating. *Span J Psychol*, 11(2), 374-385.
- Reimer, B. (2009). Impact of Cognitive Task Complexity on Drivers' Visual Tunneling Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2138, 13-19.
- Shin, D., Sakai, H., & Uchiyama, Y. (2010). Slow eye movement detection can prevent sleep-related accidents effectively in a simulated driving task. *J Sleep Res*.
- Siegenthaler, E., Costela, F. M., McCamy, M. B., Di Stasi, L. L., Otero-Millan, J., Sonderegger, A., et al. (2014). Task difficulty in mental arithmetic affects microsaccadic rates and magnitudes. *Eur J Neurosci*, 39(2), 287-294.
- Smilek, D., Carriere, J. S., & Cheyne, J. A. (2010). Out of mind, out of sight: eye blinking as indicator and embodiment of mind wandering. *Psychol Sci*, 21(6), 786-789.
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I. C. M., & Nilsson, L. (2014). Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. *Transportation Research Part F*, 27, 218-228.
- 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*, 42, 140-150.
- Tsai, Y. F., Viirre, E., Strychacz, C., Chase, B., & Jung, T. P. (2007). Task performance and eye activity: Predicting behavior relating to cognitive workload. [Article]. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 78(5), B176-B185.
- Tucker, A. J., & Johns, M. W. (2005). The duration of eyelid movements during blinks: changes with drowsiness. *Sleep*, 28, A122.
- Veltman, J. A., & Gaillard, A. W. (1996). Physiological indices of workload in a simulated flight task. *Biol Psychol*, 42(3), 323-342.
- Victor, T. W., Harbluk, J. L., & Engström, J. A. (2005). Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty. *Transportation Research Part F*, 8, 167-190.
- Wierwille, W. W., Ellsworth, L. A., Wreggit, S. S., Fairbanks, R. J., & Kim, C. L. (1994). Research on vehicle-based driver status/performance monitoring: development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness.
- Wilhelm, B., Wilhelm, H., Ludtke, H., Streicher, P., & Adler, M. (1998). Pupillographic assessment of sleepiness in sleep-deprived healthy subjects. *Sleep*, 21(3), 258-265.
- Yagi, A. (1981). Average cortical potentials (lambda responses) time-locked to onset and offset of saccades. *Physiological Psychology*, 9, 318-320.
- Yagi, A. (1982). Lambda response as an index of visual perception research. *Japanese Psychological Research*, 24(2), 106-110.
- Yuval-Greenberg, S., Tomer, O., Keren, A. S., Nelken, I., & Deouell, L. Y. (2008). Transient induced gamma-band response in EEG as a manifestation of miniature saccades. *Neuron*, 58(3), 429-441.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accid Anal Prev*, 78, 212-221.

8.4. 課題 C の参考文献

- 田中恭子, 佐藤愛, 垣本由紀子 (2006). 車同士のコミュニケーションに関する一研究, No.43, pp.104-113
- 谷口綾子, 吉村聡哉, 石田東生 (2012). 車両と歩行者・自転車間のコミュニケーションによる協調行動の生起に関する研究, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.68, No.5(土木計画学研究・論文集第 29 巻), I_1115-I_1122
- 蓮花一己 (2000). カーコミュニケーション, pp.92-99, 交通行動の社会心理学, 蓮花一己編, 北大路書房, 京都
- Bjorklund, G.M. and Aberg, L. (2005). Driver behavior in intersections: Formal and informal traffic rules, *Transportation Research Part F*, Vol.8, No.3, pp.239-253
- Connelly, M.L., Conaglen, H.M., Parsonson, B.S., and Isler, R.B. (1998). Child Pedestrians' Crossing Gap Thresholds, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.30, No.4, pp.443-453,
- Gueguen, N., Meineri, S., and Eyssartier, C. (2015). A pedestrian's stare and drivers' stopping behavior: A field experiment at the pedestrian crossing, *Safety Science*, 75, 87-89
-
-

-
-
- Liu, M., Lu, G., Wang, Y., and Zhang, Z. (2014). Analyzing drivers' crossing decisions at unsignalized intersections in China, *Transportation Research Part F*, pp.244-255
- Oudejans, R.R.D., Michaels, C.F., Dort, B.van, and Frissen, E.J.P. (1996). To Cross or Not to Cross: The Effect of Locomotion on Street-Crossing Behavior, *Ecological Psychology*, Vol.8, No.3, pp.259-267
- Pawar, D.S. and Patil, G.R. (2015). Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world, *Journal of Safety Research*, Vol.52, pp.39-46
- Renge, K. (2000). Effect of driving experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communication, *Ergonomics*, Vol.43, No.1, pp.27-39
- Sun, R., Zhuang, X., Wu, C., Zhao, G., and Zhang, K. (2015). The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment, *Transportation Research Part F*, Vol.30, pp.97-106
- Walker, I. (2005). Signals are informative but slow down responses when drivers meet bicyclists at road junctions, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.37, No.6, pp.1074-1085
- Zheng, Y., Chase, T., Elefteriadou, L., Schroeder, B., and Sisiopiku, V.P. (2015). Modeling vehicle-pedestrian interactions outside of crosswalks, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol.59, pp.89-101
- Zhuang, X. and Wu, C. (2014). Pedestrian gestures increase driver yielding at uncontrolled mid-block road crossings, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.70, pp.235-244