

# 運転支援システムへの 共助の導入と有効性の検証

栗橋 翠

電気通信大学  
大学院情報システム学研究科

博士(工学)の学位申請論文

2016 年 3 月

# 運転支援システムへの 共助の導入と有効性の検証

## 博士論文審査委員会

主査	電気通信大学	田中 健次	教授
委員	電気通信大学	鈴木 和幸	教授
委員	電気通信大学	栗原 聡	教授
委員	電気通信大学	植野 真臣	教授
委員	電気通信大学	末廣 尚士	教授
委員	筑波大学	伊藤 誠	教授

著作権所有者

栗橋 翠

2016

# Introduction and Evaluation of Mutual Assistance System for Driver

Sui Kurihashi

## Abstract

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) are receiving increased attention throughout the world for avoiding traffic accident. This research focuses on “Mutual Assistance” paradigm which drivers will mutually assist each other for safer automobile society. The primary purpose of this work is to develop this new paradigm.

This study defined the notion of mutual assistance and conducted experiment for evaluating warning system based on that notion. Mutual assistance system is aiming for not only reducing risk of traffic accident but also improving driver's attitude. Three experiments for evaluation of mutual assistance system were performed on driving simulator.

First experiment focuses on recipient-side effect. It revealed mutual assistance system can statistically decrease collision rate and collision speed in the case of a right-turn with an oncoming vehicle.

Second experiment focuses on recipient-side effect. It revealed mutual assistance system brought positive attitude change of safety mind or operation of driving. This experiment also indicate that self-efficacy was important in enhancing attitude change. Therefore mutual assistance system is desirable including some voluntary actions.

Third experiment was conducted on more realistic situation that examinee did recipient and assister simultaneously. This experimental results revealed that fully automatic system(it is written automatic level IV in the text) kept high success rate of warning and decreased mental workload. On the other hand, semi-automatic systems(these are written automatic level II or III in the text) induce positive attitude changes. In addition, guided feature semi-automatic system(it is written automatic level III in the text) was the most effective for assister's collision rate decreasing. Therefore guided feature semi-automatic system was the most proper automatic level for mutual assistance system and had potential for restraining risk compensation behavior.

Near the future, autonomous cars will probably become widespread gradually all over the world. However driver's attitude for safety is important until completion of perfect automatically automobile society. I hope that some knowledge of this research will be utilized safer automobile society.

# 運転支援システムへの共助の導入と有効性の検証

栗橋 翠

## 概 要

現在までに研究・開発が行われてきた運転支援システムの多くはシステムユーザ自身の安全確保を支援するものであった。しかし、今後は自ら他車両や歩行者といった他者の安全確保に寄与し、他者と協調的に安全な自動車社会を目指すシステムが必要と考えられる。

他者の安全確保を支援する活動が上手く適用されている防災分野では、支援活動を自助・共助・公助の3つに分類しており、これらは適切に組み合わせることでより効果を挙げるとされている。一方で自動車分野に目を向けると、現在までに実用化が進んでいる殆どのシステムが自助に、盛んに研究開発が行われている多くのシステムが公助に分類され、自主的に他者を支援する共助の概念が欠落していることが問題点と考えられる。

この共助が欠落している状況を補完性の原理に当てはめて考えると、ドライバは自主的に共助でも解決できるはずのリスクに対しても、システムに管理される公助の支援に依存してしまいリスクの認知や払うべき注意が疎かになる。具体的には安全意識や運転能力の低下が起り易い環境になることが懸念される。道路上を走行する全ての自動車が完全な自動運転にならない限り、ドライバの安全意識や運転能力を衰退させることは交通事故のリスクを増加させることに繋がってしまう。従って、運転支援システムにおいても防災分野と同様に共助の活動を推進していくことで、ドライバの安全やリスクに対する意識を適切に保ちつつ、ドライバが個々では防ぐことが難しいと考えられるリスクに対しても有効な対策を講じることができると考えられる。

本研究では交通システム、特に運転支援システムに共助の概念を導入することで、他者からの支援を受けリスクを回避する受援者、他者が危険を回避する為の支援を行う支援者の双方に与える効果を明らかにし、その有効性を検討した。有効性を検討する為のデータはドライビングシミュレータを用いた被験者実験で収集した。

受援者側への効果としては、衝突率と衝突速度を有意に低下させ、右直事故のリスクを有意に低下させることが分かった。適切な警告提示のタイミングを検討する為に行った運転行動の解析結果からは、受援者に安全な運転行動を促すためにはドライバが対応可能だが時間的余裕の少ないタイミングでの警告提示が適しており、あまりにも早いタイミングでの警告提示は再加速等の不適切な運転行動を促す危険性があることが明らかになった。一般的には警告が提示されるタイミングが早いほど、受援者がリスクを回避するための時間的余裕が大きくなるので、リスクを軽減する効果が高まると考えられた。しかし早期の警告提示が必ずしも効果的ではないことが確かめられた。

支援者側への効果としては、システムの自動化レベルが増すごとに警告提示成功率が有意に上昇し、ドライバに掛かる心理的負荷は有意に減少することが確認された。しかし、共助の大きな特徴であるドライバの意識に着目すると、リスク目標水準を低下させるような安全や運転に対する好ましい意識変化は、ドライバが自主的に行動を起こすことでより強く表れることが確認された。これらの結果から共助システムは、システムからの支援によってドライバの負荷を軽減しつつ、自主性を残すことでドライバの意識変化に働きかけることができる半自動による警告提示が最適という結論に至った。

右直事故以外のイベントにも対処し、受援者と支援者の役割が入り混じるような現実に近い状況下で行った実験では心理的負荷が上昇し、それに対応する為にはシステムの自動化レベルを上昇させる必要があることが確かめられた。警告提示に関する認知・判断・操作のフェーズのうち、認知に関しては自動化レベルを上昇させたとしてもリスク目標水準に働きかけるような意識変化が損なわれないことを確認した。従って、判断のフェーズに自主性を残すことで共助の特性を活かせると考えられる。加えて、判断のフェーズに自主性を残した半自動の運転では完全な自動での運転に比べ、交差点進入時に適切な減速操作が行われていたので、ドライバのリスク目標水準を適切に減少させることが出来たと考えられる。

今後、世界的に自動運転機能を有した自動車が普及していくことが予測される。しかし、自動運転機能は最初から完全なものではなく徐々に改善され、普及も段階的に進んでいくと考えられる。従って、完全な自動運転までの移行期間においては、ドライバの運転に対する意識を安全に向けさせ、リスク目標水準を低く保つことの重要性はより一層高まると考えられる。本研究で得られた知見が高機能化・自動化の進む今後の自動車社会において、ドライバの意識を適切に保たせる様々な施策の一助となることを願う。

# 目次

1. 序論.....	1
2. 背景・目的.....	3
2.1. 交通事故と事故対策システムの現状と課題.....	3
2.2. 運転支援システム.....	6
2.2.1. 自律型の運転支援システム.....	6
2.2.2. 協調型の運転支援システム.....	7
2.3. ドライバ意識に働きかける方策.....	8
2.3.1. ドライバ教育.....	9
2.3.2. フィードバックシステム.....	11
2.3.3. 他者連携システム.....	12
2.4. 共助の導入.....	13
2.4.1. 防災分野における共助.....	14
2.4.2. 運転支援システムにおける共助.....	16
2.4.3. 共助に期待される効果.....	18
2.5. 目的.....	21
3. 受援者に与える効果.....	23
3.1. 受援者実験の目的.....	23
3.2. 受援者実験の方法.....	24
3.2.1. 受援者実験の想定状況.....	24
3.2.2. 受援者実験の想定システム.....	26
3.2.3. 受援者実験の概要.....	28
3.2.4. 受援者実験の評価方法.....	32
3.3. 受援者実験の仮説.....	34
3.4. 受援者実験の分析結果及び考察.....	35
3.4.1. 衝突率.....	35
3.4.2. 衝突速度.....	39
3.4.3. 衝突余暇時間(Time-To-Collision).....	41
3.4.4. 運転行動.....	44
3.4.5. 警告提示タイミング.....	47
3.5. 受援者実験のまとめ.....	53

4. 支援者に与える効果.....	54
4.1. 支援者実験の目的.....	54
4.2. 支援者実験の方法.....	55
4.2.1. 支援者実験の想定状況.....	55
4.2.2. 支援者実験の想定システム.....	55
4.2.3. 支援者実験の概要.....	55
4.2.4. 支援者実験の評価方法.....	61
4.3. 支援者実験の仮説.....	64
4.4. 支援者実験の分析結果及び考察.....	65
4.4.1. 警告提示成功率.....	65
4.4.2. 心理的負担.....	67
4.4.3. 意識変化.....	69
4.4.4. 責任と貢献.....	73
4.4.5. 自己実現理論における高次欲求.....	78
4.5. 支援者実験のまとめ.....	79
5. 現実に近い状況における共助システムの効果.....	80
5.1. 両者実験の目的.....	80
5.2. 両者実験の実験方法.....	81
5.2.1. 両者実験の想定状況.....	81
5.2.2. 両者実験の想定システム.....	83
5.2.3. 両者実験の概要.....	83
5.2.4. 両者実験の評価方法.....	88
5.3. 両者実験の仮説.....	89
5.4. 両者実験の分析結果及び考察.....	90
5.4.1. 警告提示成功率.....	90
5.4.2. 心理的負担.....	92
5.4.3. 意識変化.....	94
5.4.4. 責任と貢献.....	98
5.4.5. リスク目標水準.....	103
5.5. 両者実験のまとめ.....	107



6. 総合考察.....	109
6.1. 運転支援システムとしての効果 .....	109
6.2. ドライバ意識に働きかけるシステムとしての効果.....	110
6.3. 実車システム適用時の留意点 .....	111
6.4. 実現のための課題 .....	112
7. 結論.....	117
参考文献一覧.....	118
謝辞 .....	123
関連論文の印刷公表の方法及び時期 .....	124
著者略歴 .....	125

# 1. 序論

近年、交通事故のリスクを軽減するための運転支援システムに対する関心は高まり、大学や研究機関による研究が進み、部品サプライヤが向上させた技術に応用した様々なシステムが自動車メーカーによって実用化されている。しかし交通事故を減少させて行くためには、これらの工学的な工夫だけでなく、道路利用者の安全意識や運転行動を改善させることが重要と考えられる。

道路という交通インフラを利用する上で、交通規則とは最小限の決まりである。この交通インフラを安全かつ円滑に利用するために、我々は様々な機械的工夫を凝らすだけでなく、免許制度を含めた交通インフラを適切に使い安全を確保するための教育活動を行ってきた。特に教育活動において「安全運転は気配りから」と誰もが自動車教習所で習うように、安全運転をする上で他の道路利用者のことを考えることは非常に重要である。

図 1-1 の水色の楕円と図 1-2 の赤の楕円は運転支援システムの支援範囲を示している。現在までに研究及び開発が行われてきた運転支援システムの多くは図 1-1 が示すように、運転者や同乗者といった車両内部の安全確保を支援するものであった。しかし今後、より安全な自動車社会を目指すためには図 1-2 が示すように、他車両や歩行者等の他者の安全確保を支援するシステムが必要と考えられ、これによって出会い頭事故や右直事故といった既存のシステムでは防ぐことが難しいとされるタイプの事故にも有効な支援ができると考えられる。

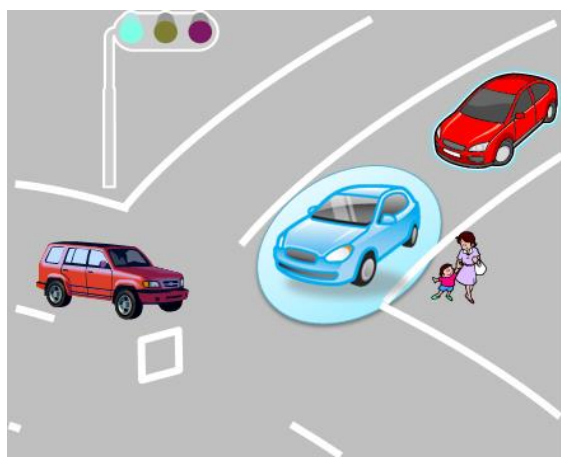


図 1-1 既存のシステムの支援範囲

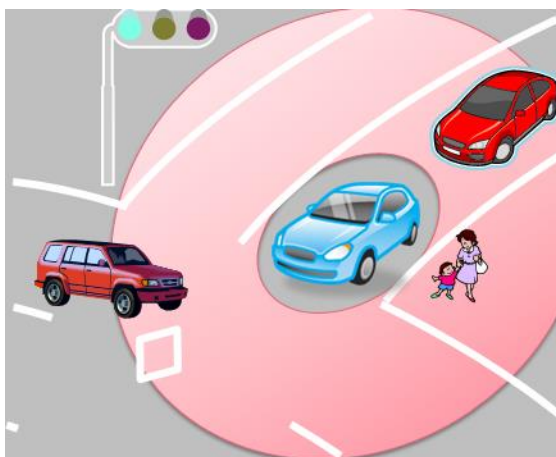


図 1-2 新しいシステムの支援範囲

図 1-2 のように他者の安全確保を支援する活動が上手く活用されている例として防災分野が挙げられる。防災分野では、周りの人達と協力してお互いを助け合う支援活動、例えば火災時に消防車が到着するまでの間に周辺の人達と協力して行う初期消火や体の不自由な高齢者の非難を健常者が助けることを共助と呼んでいる。

本研究では共助の概念を運転支援システムに導入して、他者からの支援を受けリスクを回避する受援者、他者が危険を回避するための支援を行う支援者の双方に与える効果を明らかにし、その有効性を検討する。有効性を検討するためのデータはドライビングシミュレータを用いた被験者実験で収集した。

## 2. 背景・目的

本章では、交通事故とその対策である運転支援システム及び交通心理学の知見を応用した取り組みの現状を概観した後、共助の概念を整理し、運転支援システムに共助の概念を導入することで期待される効果と本研究の目的について述べる。

### 2.1. 交通事故と事故対策システムの現状と課題

図 2-1 は昭和 26 年から平成 26 年までの我が国における交通事故の発生件数・負傷者数・死者数の推移を示している。

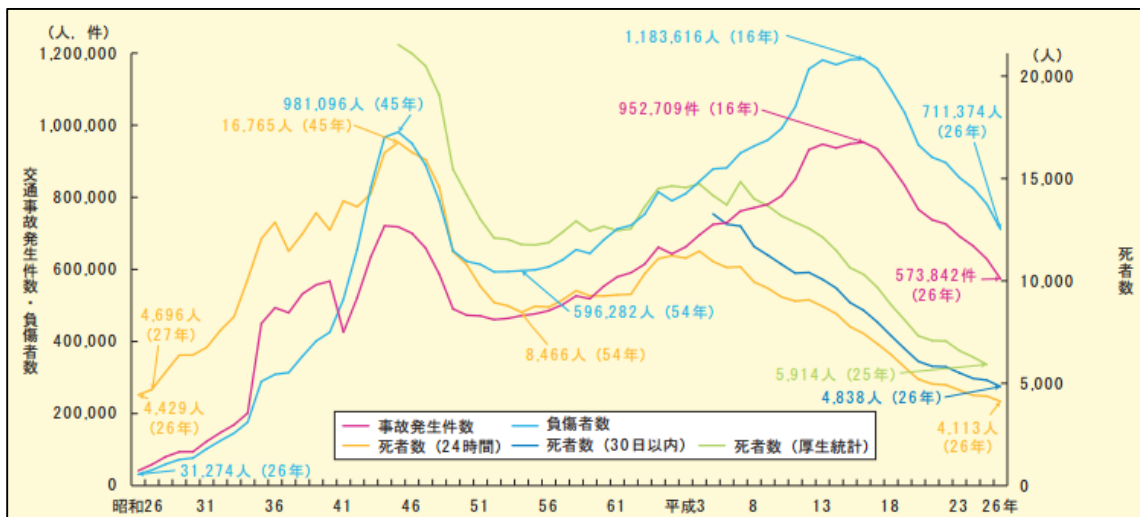


図 1-1 道路交通事故による交通事故発生件数・死傷者数・負傷者数  
[1]より引用

このデータから分かるように、我が国では事故発生件数と負傷者数が最大であった平成 16 年を境に、最近 10 年間は事故発生件数・負傷者数は減少傾向を辿り、直近の平成 26 年には事故発生件数 573,842 件・負傷者数 711,374 人にまで減少した。また死者数に関しても年々減少しており、直近の平成 26 年には 5,914 人にまで減少している。これは被害軽減ブレーキ(衝突被害軽減制御装置)<sup>[2]</sup>に代表される運転支援システムが普及した効果もあると考えられる。

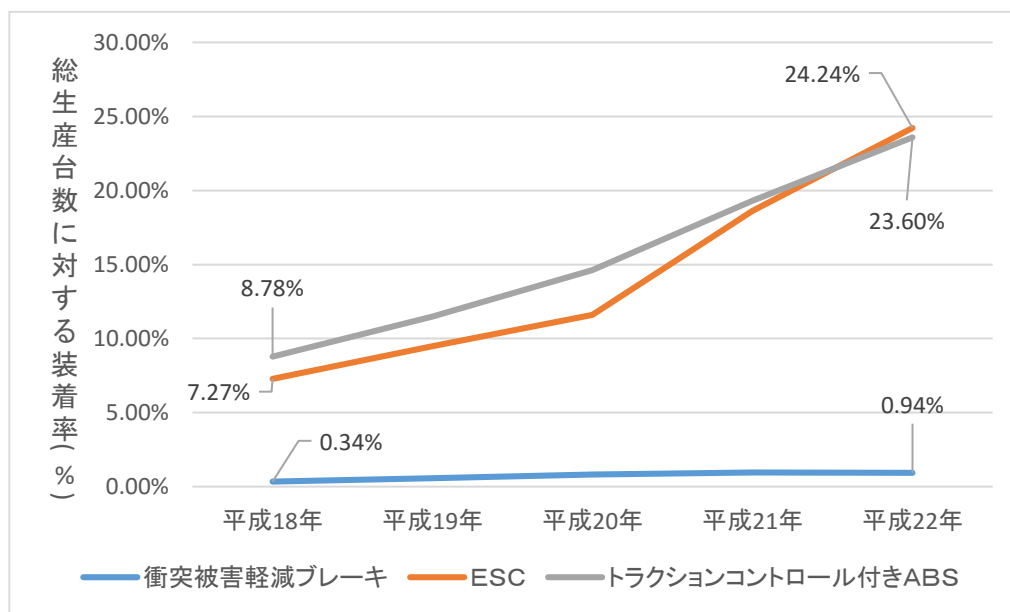


図 2-2 主要な ADAS 装着率の推移 [3]を基に作成

図 2-2 は平成 18 年から平成 22 年までの我が国における衝突被害軽減ブレーキ、ESC(Electronic Stability Control: 車両横滑り時制動力・駆動力制御装置)、トラクションコントロール付き ABS(Anti-lock Braking Systems)という 3 つの先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance Systems)の装着率の推移を示している。直近のデータは欠けているが、ADAS の装着率は増加傾向にあることが見て取れる。前項の図 2-1 で示したように最近 10 年間で交通事故発生件数・負傷者数・死者数が減少していることから、様々な運転支援システムの導入は交通事故リスクの減少に一定の成果をもたらしていると予測される。

一方で、それらの運転支援システムでは、ドライバがシステムに依存することによって起こるリスク補償行動といったシステムの導入に伴う負の効用が課題として残されている。

このリスク補償行動は Wilde(1982, 2001)<sup>[4][5]</sup>が提唱した理論であり、増田ら(2008)<sup>[6]</sup>では図 2-3 で示すように、運転者が自身の持つ主観的なリスク水準(リスク目標水準)と実際の運転結果から知覚したリスク水準(知覚されたリスク水準)を比較し、双方が一致するように行う調整行動をリスク補償行動と説明されている。更に國分(1995)<sup>[7]</sup>は自動車の安全分野を例にとり、運転支援システムのような安全対策が講じられた際に利用者はリスクが下がったと知覚し、利用者が許容するリスク(リスク目標水準)との差を埋めようと安全対策が施される前よりもリスクな行動を取ることで安全対策の効果が期待通りに得られない現象と説明している。

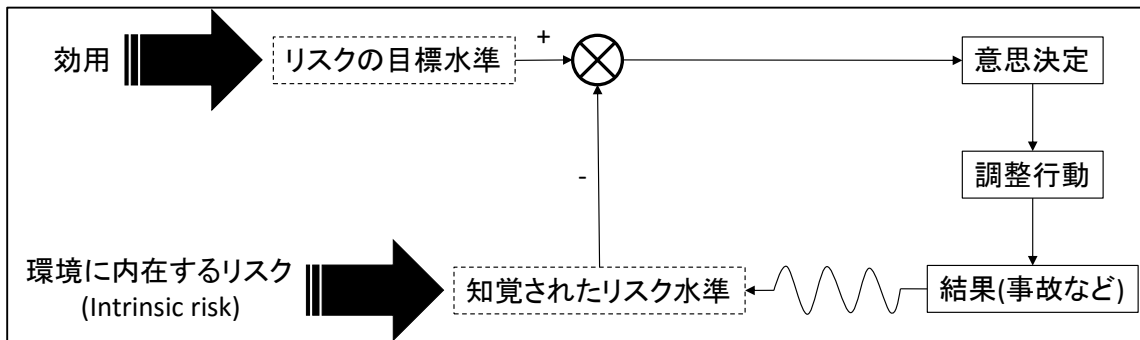


図 2-3 リスク補償行動のメカニズム 増田ら(2008) [6] より引用

リスク補償行動に代表される運転支援システムの導入に伴う負の効用を示した研究として Hoedemaeker ら(1998)<sup>[8]</sup>では、ドライビングシミュレータを用いてドライバに ACC(Adaptive Cruise Control)を使用した走行と使用しない走行実験を実施した結果として、ACC を使用した走行の方が高い走行速度となり、車頭間隔が短くなっていることが報告されている。Vollrath ら(2011)<sup>[9]</sup>でも同様に、ドライビングシミュレータを用いた実験から、ACC と CC(Cruise Control)のような自動化システムは速度超過違反を抑制するためには一定の効果があるものの、狭路でのカーブ等といった危険性の高い状況下におけるドライバの反応時間が遅れると報告されている。ACC 以外にも Stanton ら(2000)<sup>[10]</sup>は、ドライビングシミュレータを用いた実験でナイトビジョンシステムを使用したドライバの走行速度が使用していないドライバの走行速度より高いことを報告している。

また、ドライビングシミュレータではなく実車での影響に関しては、Aschenbrenner ら(1994)<sup>[11]</sup>がミュンヘンのタクシードライバを ABS 使用群と非使用群に分け、約 5 年間のデータを収集した。この解析結果として、ABS が導入された初期に関してはリスク軽減に効果があるものの、運用期間が長くなるに連れ ABS 搭載車ドライバの運転行動はリスクになることが見出され、リスク補償行動が確認できたと報告されている。

このように発生メカニズム及び実例を挙げてきたリスク補償行動は、ITS(Intelligent Transport Systems)や ADAS といった運転支援システムを導入するにあたって懸念すべき重要事項であると國分(1995)<sup>[7]</sup>や蓮花(2000)<sup>[12]</sup>をはじめ、多くの研究者が言及している。

従って、芳賀(2009)<sup>[13]</sup>でも言及されているように、運転支援システムの導入に際しては、ドライバの運転行動に与える影響の評価やリスク補償行動を抑制するためのヒューマン・マシン・インタフェースの工夫と同時にドライバのリスク目標水準を低下させることが重要と考えられる。

## 2.2. 運転支援システム

2.1.に記したように、近年の交通事故の発生件数・負傷者数・死者数の減少には運転支援システムが大きく貢献したと考えられる。

本節では、運転支援システムを車両単体で機能する自律型と、周辺車両や道路設備等との通信を活用する協調型に分け、それぞれの現状について記す。

### 2.2.1. 自律型の運転支援システム

近年、自動車安全へ対する関心の高まりに応じ、自動車メーカ各社から様々な自律型の運転支援システムが提供されている。国土交通省の報告書(2011)<sup>[3]</sup>にある ASV(Advanced Safety Vehicle)技術普及状況調査において、乗用車に対する ASV 技術は 27 項目に分類されている。

一般的にドライバは“認知”・“判断”・“操作”<sup>[14]</sup>を繰り返すことで運転を行っていると言われている。ASV 技術を分類している 27 項目には後進時後方視界情報提供装置(バックカメラ)等のようにドライバの認知を助けるもの、ふらつき注意装置(ふらつき警告)等のようにドライバの判断を助けるもの、車両横滑り時制動力・駆動力制御装置(ESC: Electronic Stability Control)等のようにドライバの操作を助けるものの全てが含まれている。

これまで ADAS(日本では ASV が一般的だが、国際的には ADAS の略称が一般的である)技術は独立したシステムとして普及してきたが、近年では SUBARU の EyeSight<sup>[15][16]</sup>のように複数の機能、TOYOTA の Toyota Safety Sense<sup>[17]</sup>や Mercedes-Benz の Intelligent Drive<sup>[18]</sup>のように複数のセンサを活用するようなパッケージとして提供されることが一般的になりつつある。

研究段階では Sung ら(2011)<sup>[19]</sup>のようにドライバの視線情報を活用した前方衝突警告システム、Pai-Yuan ら(2009)<sup>[20]</sup>や Wali ら(2013)<sup>[21]</sup>のように脳波信号を活用して眠気や覚醒状態を測定するシステム等、ドライバの生体情報を活用したシステムの研究が進められており、より質の高い支援が実現されると期待できる。

これら自律型の運転支援システムは今後も普及率を伸ばし、交通事故リスクの軽減に一定の効果を与えると思われるが、依然として 2.1.で記したリスク補償行動のような負の効用が課題として残されており、その課題に対する対策は十分には施されていない状況にある。

### 2.2.2. 協調型の運転支援システム

実用化及び普及が進む自律型に比べ、通信を活用した協調型の運転支援システムは研究段階から実用化に向けていまひとつ踏み出すことのできない状況にある。これは唐沢(2009)<sup>[22]</sup>でも言及されているように、電波伝搬や他システムとの共存による電波干渉、更には情報セキュリティ等の技術的課題が多いことが原因として挙げられる。また総務省の報告書(2009)<sup>[23]</sup>でも言及されているように、普及が進まない限りサービスの機会が限定的になるというシステムの特性も普及を難しくしている要因と考えられる。このような背景もあり、協調型の運転支援システムに関しては、システムの必要要件を明らかにするための調査研究や特区を設けた小規模な実証実験に留まっているのが現状である。

協調型の運転支援システムは歩行者と自動車間の通信を利用する“歩車間通信”、自動車間の通信を利用する“車車間通信”、道路インフラと自動車間の通信を利用する“路車間通信”に分類することができる。

歩者間通信の研究では、坂本(2015)<sup>[24]</sup>において支援機能に必要な性能要件を検証するドライビングシミュレータ実験や名古屋市での実証実験の結果を報告されている。結果としては GPS の精度として平均誤差は 5.5m あり位置精度が十分に高いとは言えず、通信状況に関しても安定性が欠けるので、実用化に向けて課題が残されている状況にある。

車車間通信に関しては、実用化を意識しているためか高速道路での使用を想定したものが多く、歩車間や路車間と比べると実用化に近い研究が行われている。Zang ら(2008)<sup>[25]</sup>ではコンピュータシミュレーションを用いて、アドホック通信を利用したシステムが高速道路で起こる玉突き事故を抑制する効果があると報告されている。Maag ら(2012)<sup>[26]</sup>ではマルチドライビングシミュレータを用いて、高速道路の合流を支援するシステムが合流に係わる各ドライバの車間距離を確保するために有効であると報告されている。また浜口(2013)<sup>[27]</sup>では、テストコースではあるものの、実車で時速 80km/h、車間距離 4m、4 台での自動運転・隊列走行を達成したことが報告されている。

路車間通信の研究では、Taya ら(2005)<sup>[28]</sup>において固定式カメラと組み合わせることでドライバの死角となっている領域の情報を可視化する NaviView というシステムを提案されている。

これら協調型の運転支援システムは今後、本格的な実用化や普及が期待されるが、2.1.で記したリスク補償行動のような負の効用に加え、クラッキングのような悪意ある外部からの操作<sup>[29]</sup>の対策などが課題として残されている。



## 2.3. ドライバ意識に働きかける方策

2.2.では機械的な工夫によってリスクを軽減する運転支援システムの現状について記述した。2.1.に記したように、これらのシステムは交通事故のリスクを軽減する一方で、導入に伴う負の効用が課題とされている。この負の効用を抑制する為には、ドライバがシステムに過依存することを防ぎ、リスク目標水準を低下させることが重要とされている。

このようにシステムの性能によってリスクを軽減させるのではなく、自動車やシステムを利用するドライバのリスク目標水準低下等、ドライバの意識や行動を改善させることでリスクを軽減させるための研究は交通心理学の分野で取り組まれている。

交通心理学の知見を応用した研究は運転の前後に安全意識や適切な運転行動を指導するドライバ教育、運転中に得られるアクセルやブレーキ操作などの結果を基にドライバを安全もしくは低燃費な運転に導くフィードバックシステム、他者と積極的に情報共有を図り協調的に安全を目指す他者連携システムの3つに分類することができる。図2-4には交通心理学の知見を応用した研究のフィールドを分類したものを示している。

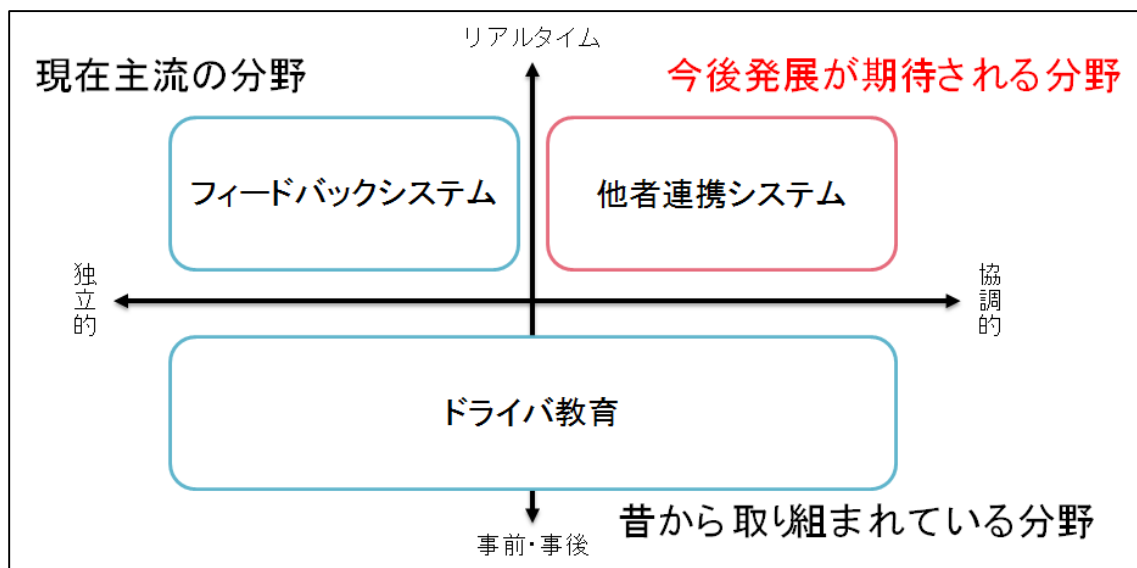


図 2-4 交通心理学の知見を応用した研究のフィールド

本節では、この3つの分類に基づき交通心理学の知見を応用した研究の現状について記す。

### 2.3.1. ドライバ教育

ドライバ教育は運転前に模範的な運転行動やリスクへの対処方法を教示、もしくは運転後に運転行動を振り返ることで運転行動の改善を促す方法である。

Mayhew(1995)<sup>[30]</sup>及び Beirness(1996)<sup>[31]</sup>では、これまでのドライバ教育に関する研究の知見から、若いドライバの衝突事故と精神運動、知覚、認知の能力、心理社会的特性(ライフスタイル)には強い関係性があると述べられている。

Mayhew(2002)<sup>[32]</sup>では、これらの能力を高めることや心理社会的特性を改善させることで交通事故の減少を目指した活動は多く存在するが、実車の運転経験やフィードバックの不足から有効性を十分に発揮できていないと言及されている。また同文献では若いドライバにとって衝突に巻き込まれることは経験を得ることになるとも述べられている。

大きな経験が得られ、ドライバの心理社会的特性を改善することに繋がるとしても、実車を用いて経験を経験させることは現実的なドライバ教育とは言い難い。そこで疑似的に衝突を体験することができるドライビングシミュレータを用いた教育が有効な手段であると考えられる。

田中ら(2007)<sup>[33]</sup>では、高齢者を対象にドライビングシミュレータを用いて自身の運転行動を振り返る自己観察法による教育の効果を報告している。この研究では比較対象として若年者のデータも収集して比較を行っているが、高齢者に対しては衝突等を疑似体験できる体験型教示、若年者に対しては自転車・他者・道路状況などを俯瞰できる 2 次元での客観視教示が有効であることが報告されている。しかし、このような直接的な教育は自分の問題と直面することから、時に強い心理的抵抗を起こしてしまい、モチベーションの低下や指導内容の受け入れを拒否してしまう可能性がある。

対して太田ら(2010)<sup>[34]</sup>では、同じく高齢者を対象としているがミラーリング法(他者観察法)による教育プログラムを開発した。他者観察法では他者の運転行動を観察し討論することで自身の運転行動改善を促す間接的な教育法であるため、心理的抵抗が少なくなると考えられる。この教育プログラムの効果として、被験者の運転に対する自己評価が低下し、指導員(第 3 者)による評価が上昇することを報告している。これはつまり、ドライバのリスク目標水準が低下し、運転行動が安全な方向にシフトした結果と考えられる。しかし、教育プログラムによる効果は 2 ヶ月後には薄れてしまうことも報告されており、ドライバ教育を運転免許の免許更新毎に行うだけでは教育効果は不十分であることを示している。

上記 2 件の研究は高齢者をメインターゲットとしているが、的確に自身の運転技能を認識する能力の低さは何も高齢者に限った問題ではない。太田(2011)<sup>[35]</sup>では JAF メイトの読者を対象に実施したアンケートと、国際交通安全学会が東名高速において調査した車間時間を基に図 2-5 を作成している。このデータを見て分かるように、ドライバは主観的には十分な車間時間を取っているつもりでも、実際の車間時間との間には大きな乖離があり、ドライバ自身が思っているよりも危険な運転行動を取っていると言える。

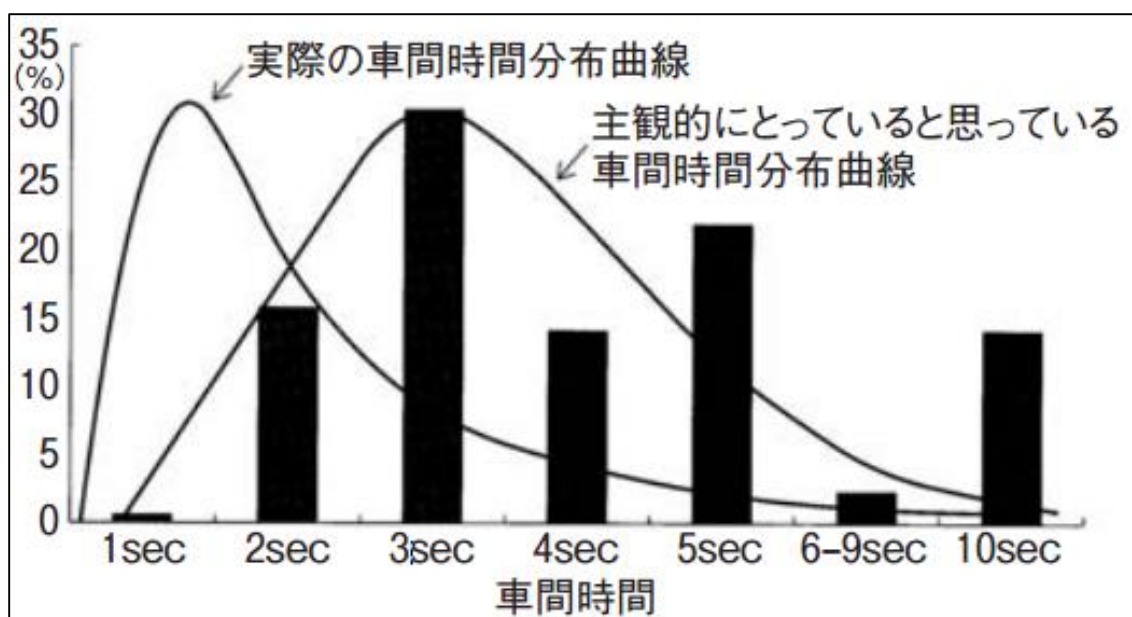


図 2-5 主観的車間時間と実際の車間時間 太田(2011)<sup>[35]</sup>より引用

※棒グラフはアンケート結果から作成した各階級の構成比率を表している

Takeda ら(2011)<sup>[36]</sup>では、ドライブレコーダやイベントデータレコーダ等を用いて自動的に運転を記録し、運転終了後に Web ベースで危険な状況下での運転評価と安全運転に向けた適切な対応方法を教示するシステムを開発した。このシステムを使用することで、使用前に比べて危険な運転行動が半減し有効性が確認された。同様に Toda ら(2013)<sup>[37]</sup>ではドライバの安全運転技術を自動的に評価するシステムを用い、高齢者ドライバの再教育に活用する研究を行っている。しかし、運転終了後に自身の運転行動を振り返る活動を継続的に行わせるための動機付けは難しいと考えられる。

これらの研究成果から、ドライバは自身の運転能力や運転環境を捉える能力が低く、自己評価と現実とのギャップを埋めるために自分自身または他者の運転を振り返るドライバ教育は有効であると言える。しかし効果の継続時間が短いため、より頻繁かつ継続的なフィードバックが必要であると考えられる。

### 2.3.2. フィードバックシステム

前出の太田(2010)<sup>[34]</sup>で説明されたように、ドライバ教育の効果は時間の経過と共に減衰して行くため、より頻繁かつ継続的なフィードバックをドライバに与えることで有効性は増すと考えられる。フィードバックシステムとはドライバの運転行動をリアルタイムで記録・解析し、継続的にフィードバックを与えることで運転行動の改善を促す方法である。

既に実用化されたものでは MAZDA の i-DM(intelligent Drive Master)<sup>[38]</sup><sup>[39]</sup>が例として挙げられる。i-DM はドライバのアクセル・ブレーキ・ステアリング操作が車両の挙動に与える影響をリアルタイムで判定し、評価を視覚的に表示するコーチング機能を実装している。

高田ら(2013)<sup>[40]</sup>では、このコーチング機能の評価項目をより詳細かつ明確にしたインタフェースシステムを提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験からドライバの自発的な行動変容を促し、リスク補償行動を抑制できる可能性があると報告されている。

中野ら(2015)<sup>[41]</sup>では、コーチング機能で与えるフィードバックを音声に切り替え、ドライバの性格に応じて与えるフィードバックの内容を変更することで、ドライバの心理的負担が減少し、満足度が上昇することを報告されている。

これらの研究成果から、ドライバの運転行動をリアルタイムで解析しフィードバックを与えるシステムは、ドライバの運転行動を改善させるために有効であることが示された。

### 2.3.3. 他者連携システム

2.3.2.に記したフィードバックシステムは、ドライバの運転行動を改善させるために非常に有効な手段であるが、これらのシステムは自分自身の安全を確保するためのシステムである。今後、より安全な自動車社会を実現していくためには、1.で記したように他者の安全を確保するようなシステムが必要だと考えられる。

他者連携システムとは、システムを搭載している車両のドライバだけでなく、周辺のドライバに働きかけることでリスクの軽減や運転行動の改善を促す方法である。なお、本研究で提案するシステムもこの他者連携システムに分類されるシステムである。交通心理学の知見を応用した他者連携システムの研究は、近年着手された領域であり、研究報告が非常に少ない。

内海ら(2014)<sup>[42]</sup>は、画像処理技術を用いてドライバの注意方向等を判断し、ドライバの状態を車両外部に取り付けられた LED ライトを用いて車外に提示することで、周囲にいる他者の行動変容を促すシステムを提案及び開発した。紀ノ定ら(2014)<sup>[43]</sup>は内海ら(2014)<sup>[42]</sup>で開発されたシステムの効果をテストコース上で実車を用いた実験で確認している。結果として、極度の疲労や居眠りなどのドライバ状態が正常でないことを提示する場合には歩行者の行動は安全な方向にシフトし、ドライバの状態が正常であることを提示する場合には歩行者の行動は危険な方向にシフトすることを報告している。

この結果をリスク補償行動理論に当てはめて考えると、正常でないことを提示した場合には歩行者のリスク目標水準が低下することを示唆している。しかし一方で、正常であることを提示してしまうとリスク補償行動が確認されたので、そのような情報は提示を控えた方が好ましいと考えられる。

また、これらの実験結果はドライバの状態を歩行者に提示することで歩行者の行動が変化することを示しているが、リスク目標水準に大きく影響すると考えられている意識の変化に関しては調査が行われていない。システムを長期的に使用する際の効果を高めるためにもユーザの意識改善は重要であり、十分に評価・検討する必要がある。

## 2.4. 共助の導入

2.2.では運転支援システムの現状、2.3.ではそれらのシステムが導入することに伴う負の効用を抑制するために交通心理学の知見を応用した研究について記した。2.2.及び 2.3.で紹介したものをはじめ、これまでの運転支援システムに関する研究・開発の多くは、システムを搭載する車両のドライバや同乗者の安全を確保するためのシステムである。

しかし自動車を運転するとき、ドライバの周りには他者が運転する自動車をはじめ、交通弱者である歩行者や自転車など、無数の道路使用者がそれぞれの意思に基づいて行動している。それだけでなく、多くの構造物がドライバに死角を作り、地形や天候といった運転環境の変化など、ドライバを取り巻く状況は刻々と変化する。それらの情報を1人の人間、1つの車両だけで把握することは非常に困難であり、安全な自動車社会を実現するためには多くの人間と車両がお互いに助け合い協調的に安全を確保することが必要と考えられる。

他者の安全確保を支援する活動が上手く適用されている例として防災分野を挙げることができ、これを“共助”という言葉で表現している。この共助の概念を運転支援システムに導入し、有効性を検証することは本研究のメインテーマである。

本節では、防災分野における共助の取り組みと共助の定義、既存の運転支援システムの分類、共助が導入されることにより期待される効果について記す。

### 2.4.1. 防災分野における共助

共助という概念は防災や社会福祉の分野で用いられているが、本研究では防災分野における共助の概念に基づいて、共助の定義や必要性を説明する。

防災分野では、支援活動を自助・共助・公助に分類している。平成 24 年度版の防災白書(2012)<sup>[44]</sup>では、自助とは国民 1 人 1 人や企業が自らの命と安全を守る活動、共助とは地域の人・企業・ボランティアなどが共同して地域の安全を守る活動、公助とは国・地方公共団体による公的な支援活動であると説明している。また、平成 20 年度版の防災白書(2008)<sup>[45]</sup>では「防災対策は、自助、共助、公助の三要素が効果的に組み合わせられることによって効果を上げることができる。」とされている。

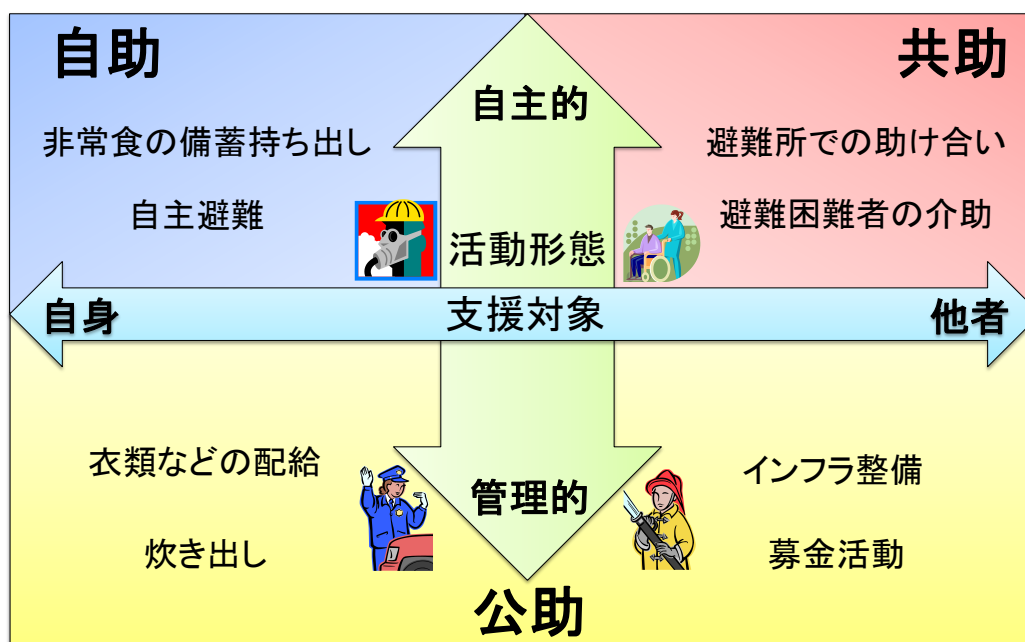


図 2-6 防災分野における支援活動の分類

図 2-6 には主要な防災活動を自助、共助、公助に分類した結果を示している。防災分野では自助、共助、公助の概念が抽象的であり、3つの支援活動を分類するための明確な判断基準が存在しない。そこで支援対象と活動形態という2つの軸を設け、3つの支援活動を分類することにした。以下に2つの軸を用いて分類した自助、共助、公助の定義を示す。

- 自助：自分自身の安全を自主的に確保するための活動
- 共助：他者の安全を自主的に確保するための活動
- 公助：行政などに管理された活動

この 3 つの支援活動の効果的な組み合わせの指針となる思想が補完性の原理である。矢部(2012)<sup>[46]</sup>では「補完性原理は、キリスト教の社会思想において用いられた原理であり、欧州統合推進のための一つの原理となり、さらに、欧州の地方自治保障のための国際条約に明記されるに至った。」と説明されている。また同文献では補完性原理を以下の 4 要素で説明している。

- (1) 市民に最も身近な行政主体が優先的に行政を担うこと
- (2) 上位の行政主体は、下位の行政主体の権限行使を補助すること
- (3) 上位の行政主体が補完して権限行使する場合の基準が示されていること
- (4) 上位の行政主体から下位の行政主体への介入は必要最小限でなければならない

これらをより簡潔にして防災の支援活動に当てはめると、個人解決できることは個人で行い、個人では解決が困難なことのみに周辺の人々と協力して行い、それでも解決できないことにだけ国や地方公共団体といった行政が介入すべきだと言い換えることができる。

補完性の原理に従わず、大きな組織が小さな組織に対して必要以上の支援を行うと、大きな組織への依存から小さな組織のリスク対応能力の低下を招くだけでなく、大きな組織への負担を増加させ機能を低下させる危険性がある。

田中(2011)<sup>[47]</sup>でも説明されているように、自助、共助、公助の概念と補完性の原理という思想は防災分野に限らず、社会福祉の分野でも重要とされている。



## 2.4.2. 運転支援システムにおける共助

2.4.1.に記した自助、共助、公助の定義に従って代表的な運転支援システムを分類したものが図 2-7 である。

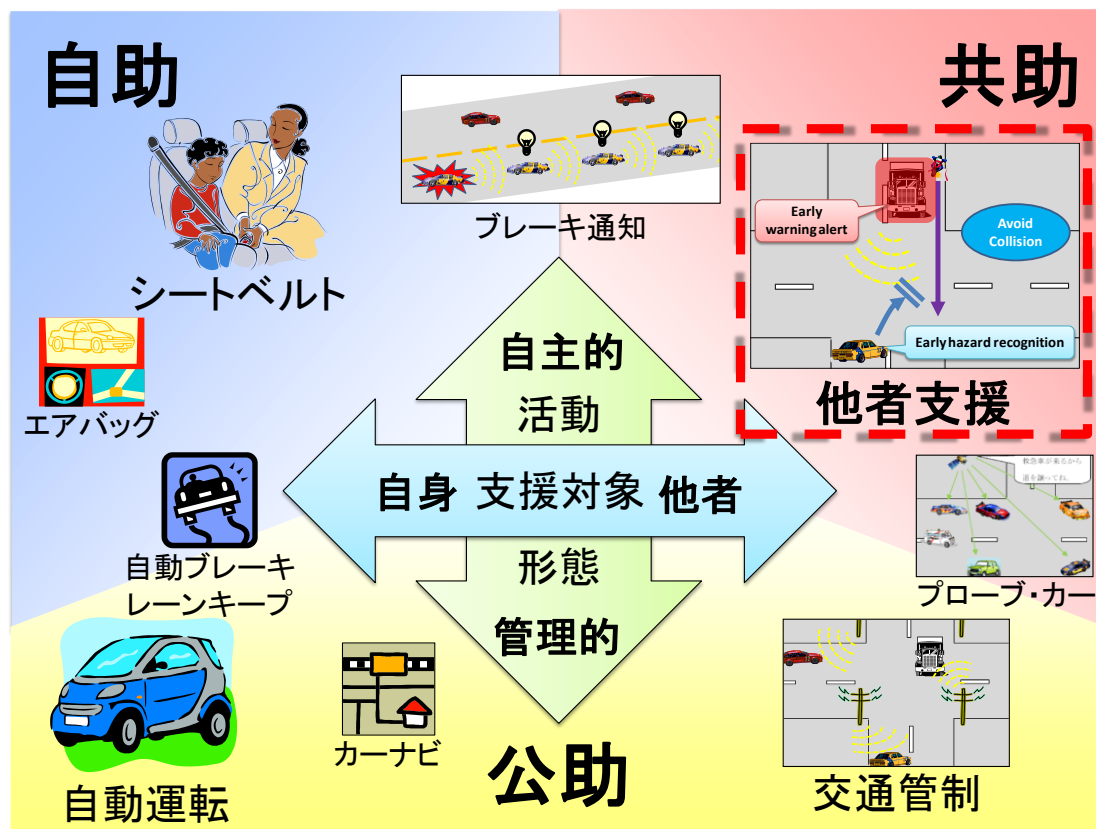


図 2-7 代表的な運転支援システムの分類

シートベルトのように古くから使われているものから近年普及が進んでいる衝突被害軽減ブレーキまで、これまでに実用化された運転支援システムの多くは自主的に自身の安全確保を支援する自助のシステムに該当する。一方で、古くはカーナビゲーションシステムや近年では盛んに研究が行われている自動運転や交通インフラ協調型の ITS の多くは、運転者がシステムに管理されドライバは受動的な振舞いが多くなる公助のシステムに該当すると考えることができる。ここで着目すべきは、運転支援システムを含めた交通事故のリスクを軽減するシステムでは、共助の概念が欠落している点である。

この共助が欠落している状況を補完性の原理に当てはめて考えると、ドライバは自主的に共助でも解決できるはずのリスクに対しても、システムに管理される公助の支援に依存してリスク対応能力が減衰、具体的には安全意識の低下や運転能力の低下が起り易い環境になっていると考えられる。道路上を走行する全ての自動車が必要な自動運転にならない限り、ドライバの安全意識や運転能力を衰退させることは交通事故のリスクを増加させることに繋がる。従って、運転支援システムにおいても防災分野と同様に共助の活動を推進することで、ドライバが公助の支援に依存して能動的に行動を起こす機会を奪われ、リスク対応能力を衰退させることのない対策を講じることができると考えられる。

### 2.4.3. 共助に期待される効果

2.4.2 に記した内容を含め共助の概念を運転支援システムに導入することによって以下に示す3つの効果を期待することができる。

- (1) 自助に比べて広い範囲への支援
- (2) 公助に比べて普及が容易
- (3) ドライバの意識変化

先ず(1)として、自助に比べて早期に広範囲への支援が可能と考えられる。これは他者と協調的に情報をやり取りすることで、1人では認識が難しい範囲に存在するリスクを非常に早い段階で認識することができる可能性を持っているためである。

次に(2)として挙げられるのが、交通インフラを活用する ITS に比べ、低コストで素早く普及させることが可能という点である。共助のシステムは基本的に交通インフラに依存せず、各車両単位で普及させることができるものを想定している。公助のシステムを上手く機能させるには、ほぼ全ての交差点、もしくは車両へ通信機器を搭載する必要がある、それらを普及させることに加え定期的な保守整備にも莫大な時間と費用が必要であり実現が難しい側面がある。従って、インフラ整備に時間と費用の掛かる公助システムに比べ共助システムは普及が容易と考えられる。

最後に(3)として2.4.2に記した内容と密接に関係する支援活動を通したドライバの意識変化が期待できる。共助の大きな特徴は自主的に他者を支援する支援者の立場が存在することであり、他者を支援する活動を通して2.3.1.に記したミラーリング法のような効果を継続的に得ることが出来れば、リスク目標水準を低下させる効果を得ることができる可能性がある。これはつまり、他者の安全を確保する活動を介して、自分自身の運転行動も改善することができることを意味する。

人間に行動を起こさせる動機付けのための代表的な戦略として上淵(2004)<sup>[48]</sup>では、報酬や懲罰による外発的動機付けと、その行動自体が目的で報酬を必要としない内発的動機付けがあると説明されている。一般的に前者は欲求不満や挫折を引き起こし易く、後者は持続性が高いとされている。これは内発的動機付けによる行動を通して有能感と自己効力感を得た人は、さらにそれを得ようと努力するためとされている。

Trimpop(1996)<sup>[49]</sup>は仕事や交通安全に対する内発的動機を高めるために参加型の活動を利用すること勧めており、さらに Trimpop(1994)<sup>[50]</sup>では活動に対する自己決定、参加、責任がリスク目標水準を変化させると主張している。

この内発的動機付けについて、人間性心理学の分野で著名な自己実現理論(マズローの欲求階層説)<sup>[51]</sup>を基に運転支援システムを使用するドライバの心理状況について考察する。

マズローは人間の欲求を生理的欲求、安全欲求、社会的欲求、尊厳欲求、自己実現欲求の5つに分類した。後に Zimbardo(1983)<sup>[52]</sup>は、それらに超越を加えた6つの欲求がピラミッドのように構成されており、人間には低階層の欲求から優先的に高次の欲求に向けて充足させようとする性質があると説明している。図 2-8 は Zimbardo によって追加された超越を除き単純化した5階層の欲求で表現した自己実現理論のモデルを示している。

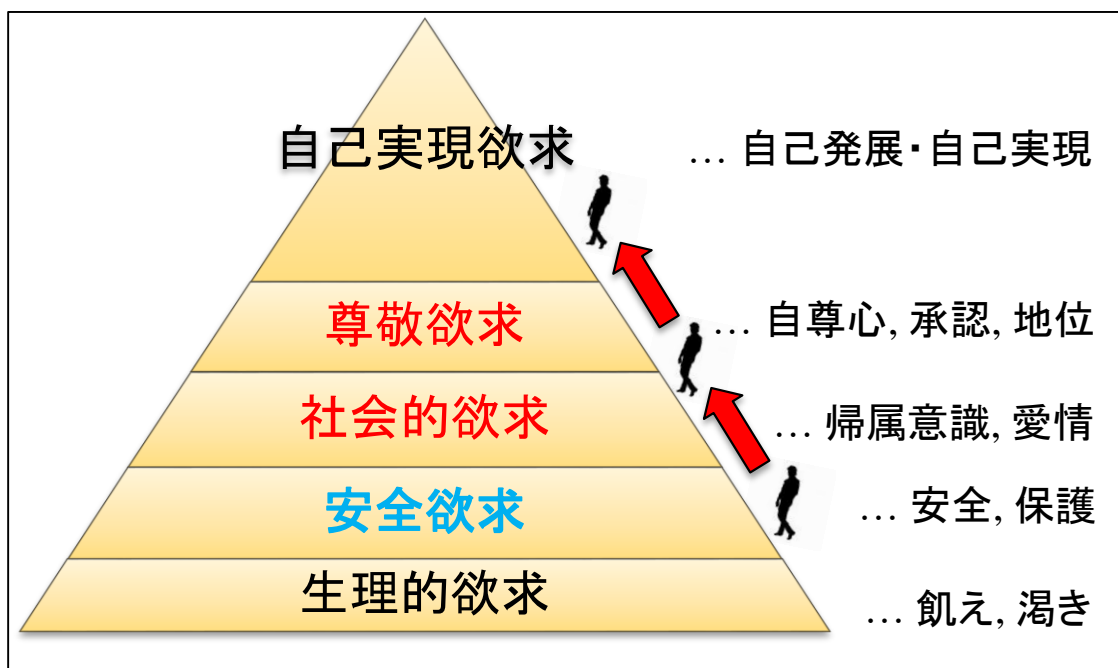


図 2-8 自己実現理論のモデル図 廣瀬ら(2009)[53]より引用・一部編集

例えば衝突被害軽減ブレーキなどのドライバ自身を衝突から守るようなシステムが導入されると、ドライバはこれまで以上に安全性が高まったと感ずることができる。従って、既存の運転支援システムが普及することで多くのドライバの安全欲求が満たされると考えられる。

安全欲求が満たされたとき、ドライバはより高次の社会的欲求や尊厳欲求を満たそうとするが、上手く欲求の方向付けをすることが出来ないと移動時間の短縮や運転技術の誇示などのリスクテイキングな行動で高次の欲求を満たそうとする可能性がある。これはリスク補償行動を引き起こす原因の1つであると考えられる。

先に記したように、社会的欲求や尊敬欲求は運転技術の誇示など、自動車社会を安全に導くには不適切な動機や目的によって満たされることもある。それは図 2-9 の右側のピラミッドが示すような、本来目指すべき目的とは別の方向にドライバが動機づけられている状態だと考えられる。

芳賀(2009)<sup>[13]</sup>でも、安全技術の開発にあたって、ユーザを安全に向けて動機付けする対策を実施することが必要と指摘されているように、高度な運転支援システムの普及が進み、安全欲求が運転支援システムによって満たされつつある現代において、図 2-9 の左側のピラミッドが示すように社会的欲求以上の高次欲求を安全な運転や安全な自動車社会を目指すために方向付けることが重要だと考えられる。

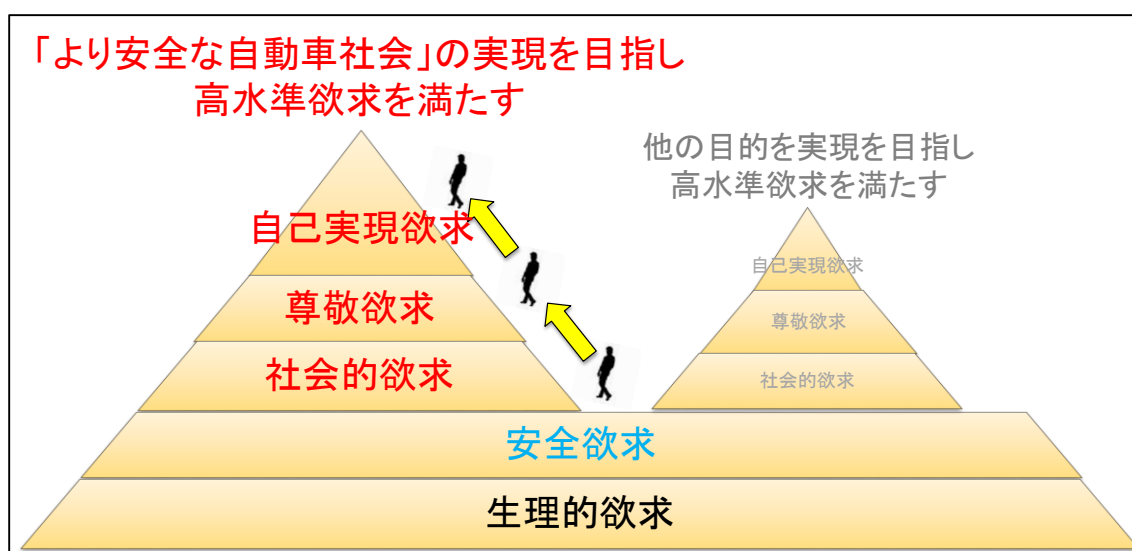


図 2-9 高水準欲求の方向付け

共助の概念に基づいた運転支援システムは、ユーザに対し、他者の安全確保に貢献するグループに属しているという社会的欲求、他者に対し効果的支援を行うことでグループメンバーなどから評価されるという尊敬欲求、このような他者を支援する一種のボランティア活動を行うことに喜びを感じるという自己実現欲求を満たすことができる可能性を持っている。

これらのことから、共助の概念を運転支援システムに導入することで、システムユーザを安全に向けて動機付けすることができる可能性があり、現行のシステムの課題であるリスク補償行動を抑制することができる可能性があることを意味している。

## 2.5. 目的

2.4.2 にも記したように、現在運転支援システムの分野では共助の概念が欠落しており、近年の研究動向から今後は公助システムへの依存がより一層進んでいくと予測される。公助システムへの依存が招く負の効用としては、ドライバの安全意識低下や運転能力低下が懸念され、全ての自動車が完全な自動運転にならない限りこれら負の効用は交通事故のリスク増加に繋がる。

共助の大きな特徴は自主的に他者の安全確保に貢献する支援者という立場が存在することが挙げられ、共助の概念を運転支援システムに導入することで互いを助けあう支援活動を介したドライバ意識の変化を期待することができる。従って共助を上手く活用すれば、ドライバの安全意識を低下させることのない対策を講じることができると考えられる。

本研究では、共助の概念を今後の運転支援システムや自動車社会で活用していくために、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験で得られたデータを基に共助システムの有効性を検証する。図 2-10 には本研究の対象範囲を、以下には明らかにしていくべき内容を示す。

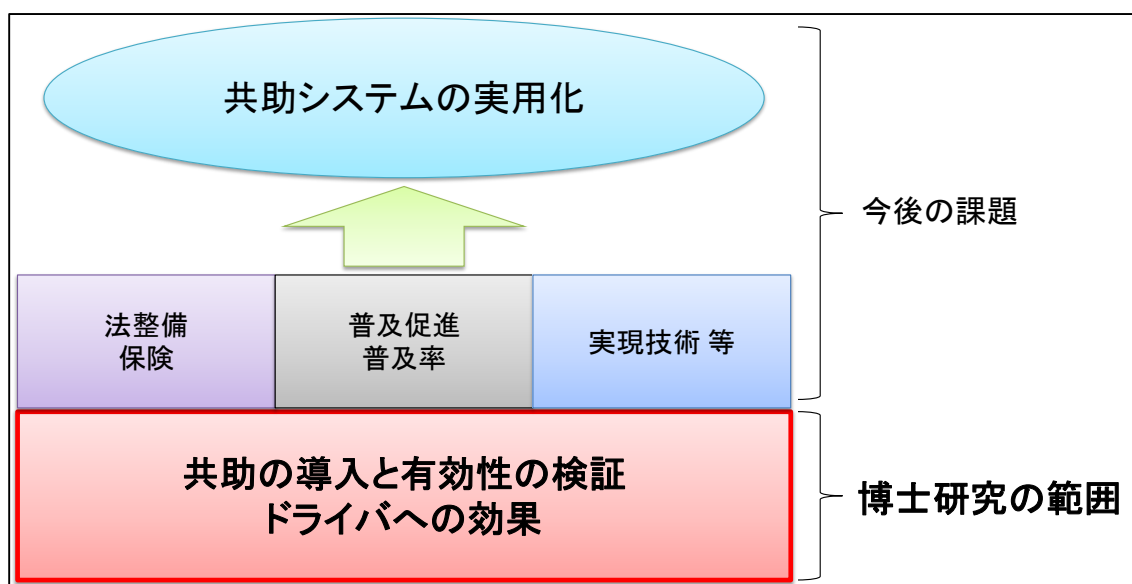


図 2-10 本研究の対象範囲

- (1) 共助システムは受援者の交通事故リスクを軽減できるか
- (2) 共助システムは支援者を安全な方向に動機付けられるか
- (3) 共助システムはドライバのリスク補償行動を抑制させられるか

共助とは互いに支援を行い助け合うことであり、それを運転支援システムに導入するということは他者の安全に関与することを意味する。これは他者からの支援が運転支援システムにおいても有効であるかを確認するだけでなく、事故が起こってしまった際の責任などの法律の整備などが必要であることを示唆している。また、車車間通信を利用したシステムと同様に普及率が高くなるまでは効果が限定的になってしまう点やその実現方法など、実用化に向けては一研究では解決が困難な課題が多くあると予想される。

このように共助システムを実用化するためには様々な課題があるが、これまでに運転支援システムでは共助のシステムは存在せず、自主的に他者の安全確保に関わるアプローチが有効か否かという点すら明らかになっていなかった。この運転支援システムとして成立するかを明らかにすることは、共助システムの実用化に向けた第1歩であり、基盤となる研究である。従って、その他の課題よりも先に共助システムの有効性とドライバへ与える効果を検証することに取り組むこととした。

本稿では以下に記す構成で、共助を活用したより安全な自動車社会の可能性を示す。第3章では共助システムが受援者に与える効果、具体的には他者から提示される警告は衝突率や衝突速度の軽減に有効であるか等を分析していく。第4章では共助システムが支援者に与える効果、具体的には他者に対する警告提示を行う際にドライバに掛かる心理的負担や意識変化等を分析していく。第5章では受援者と支援者の両方の役割を担いながら様々な事故リスクに対応する必要のある現実に近い状況において、ドライバに掛かる心理的負担や意識変化、リスク目標水準の変化を分析することで、共助システムを運用していく上で必要なシステムの自動化レベルを分析していく。これら3～5章は、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験で得られたデータを用いて明らかにする。第6章には総合考察、第7章には結論を記す。

### 3. 受援者に与える効果

本章では、共助システムが受援者に与える効果を検証するために行う実験の目的、実施方法、仮説、結果及び考察について述べる。

#### 3.1. 受援者実験の目的

共助システムを用いてリスクを軽減する場合、受援者は他者からの支援を受けてリスクを軽減するため、多くの場合パッシブセーフティ(衝突安全)ではなくアクティブセーフティ(予防安全)を支援するシステムとなる。また、受援者車両の挙動を支援者車両が制御することは、受援者ドライバの混乱を招く可能性が高いため、支援は受援者に対する情報提示に留めるべきと考えられる。

上記のことから、この実験では共助による警告提示のシステムが受援者に与える効果を明らかにすることを目的とした。具体的には以下の 5 項目を検証する。

- A) 衝突率は減少するか
- B) 衝突速度は低下するか
- C) 衝突余暇時間(TTC: Time-To-Collision)は増加するか
- D) 運転行動は安全になるか
- E) 適切な警告提示のタイミングはどの程度なのか

項目 A)では衝突発生率の軽減、項目 B)では衝突が発生した際の被害軽減の観点から、共助システムがリスク軽減に有効であるかを検証する。項目 C)では共助の警告提示によって受援者の衝突回避にもたらされる時間的余裕、項目 D)では運転行動の変化を明らかにすることで、共助システムにより他者から提示される警告が受援者の運転行動に与える効果について検討する。項目 E)では警告提示のタイミングが運転行動に与える効果を基に、適切な警告提示のタイミングを検討する。



## 3.2. 受援者実験の方法

本節では、3.1.に記した 5 項目を明らかにするために実施する実験の方法について、想定する状況、想定するシステム、実験の概要、実験で使用する機器、実験で得られたデータの評価方法の順に記す。

### 3.2.1. 受援者実験の想定状況

共助システムの評価を行うに当たって、共助の特性が活きる場面に着目して検証を行うことにした。2.4.3.に記したように、共助を活用することで 1 人では認識が難しい範囲に存在するリスクを早い段階で認識できる可能性がある。この特性を活かすため、本実験では交差点で起こる代表的な事故の 1 つである右直事故を想定して受援者への効果を検証することとした。

図 3-1 には典型的な右直事故の発生状況を示している。右直事故とは右折車(図中 A)と直進車(図中 B)が起こす事故である。ここに示すような状況において、右折車と直進車の間に位置する車両(図中 C)が死角を作ってしまう、右折車と直進車のドライバーがお互いの行動を認知することが難しいことから事故の発生率が高くなると考えられている。

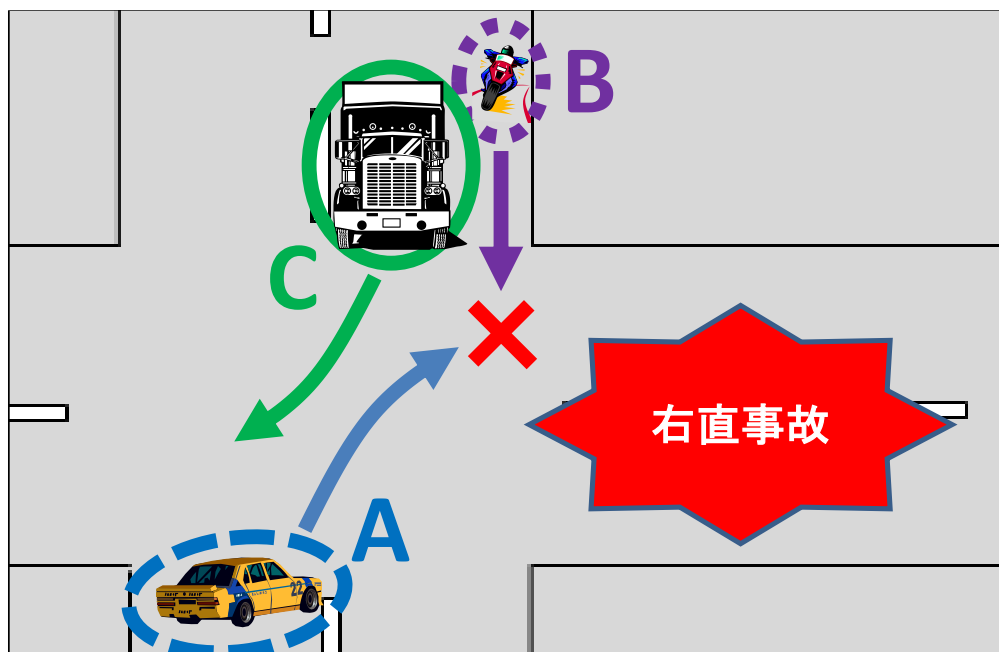


図 3-1 典型的な右直事故の発生状況

図 3-2 は平成 24 年度版の交通統計年報<sup>[54]</sup>を基に作成した 2012 年における事故類型別の車両相互事故発生状況を表している。2012 年の日本国内において発生した 4 輪車が第 1 当事者である車両相互事故のうち、右折時衝突事故の発生比率は追突事故、出会い頭衝突事故に次いで 3 番目に多い 10%である。更に死亡事故に限って分析をしてみると、出会い頭追突事故、正面衝突事故、追突事故に次ぐ 4 番目に多い事故類であるが、全体に占める割合は 15%と発生比率より高くなっている。

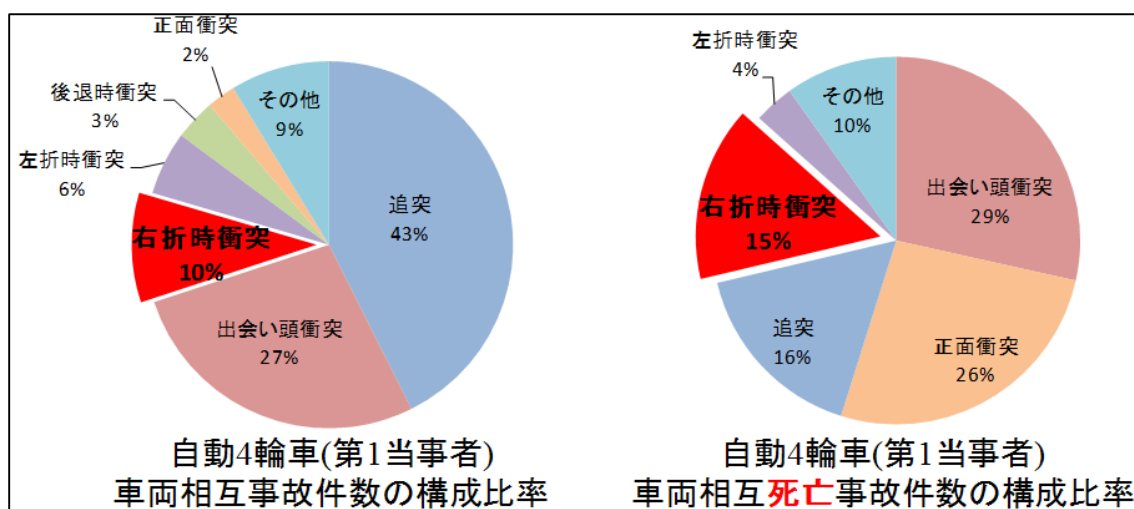


図 3-2 2012 年における事故類型別の車両相互事故発生状況  
公益財団法人交通事故総合分析センター(2013)[54]を基に作成

上記の事故類のうち発生比率の高い正面衝突事故や追突事故への対策としては被害軽減ブレーキが実用化されており、出会い頭衝突事故に関しては ASV 研究等で対策技術の研究が進められているが、木下(2009)<sup>[55]</sup>では右直事故に関しては明確な対応技術が定まっていない現状があると報告されている。

以上のことから、1 人のドライバでは状況を認知することが難しく、事故の発生比率及び死亡率も高く、現行の ASV 技術では対応が難しいと考えられる右直事故は、共助システムの有効性を検証するために適した状況と言える。

### 3.2.2. 受援者実験の想定システム

図 3-3 は 3.2.1. に記した右直事故のリスクを軽減する共助システム(以降本文中では『想定システム』と表記)が作動している状況のイメージを示している。

想定システムでは、死角を作っている支援者が、CCD カメラやミリ波レーダを利用して後方から接近する衝突対象を検知し受援者に対して警告を発信する。この警告によって、右折を試みようとする受援者が早期に衝突の危険を認知することが可能となる。早期に危険を認知することができ、適切な回避行動を取ることができれば、共助システムは右直事故のリスクを軽減するために有効な支援が出来たと考えられる。

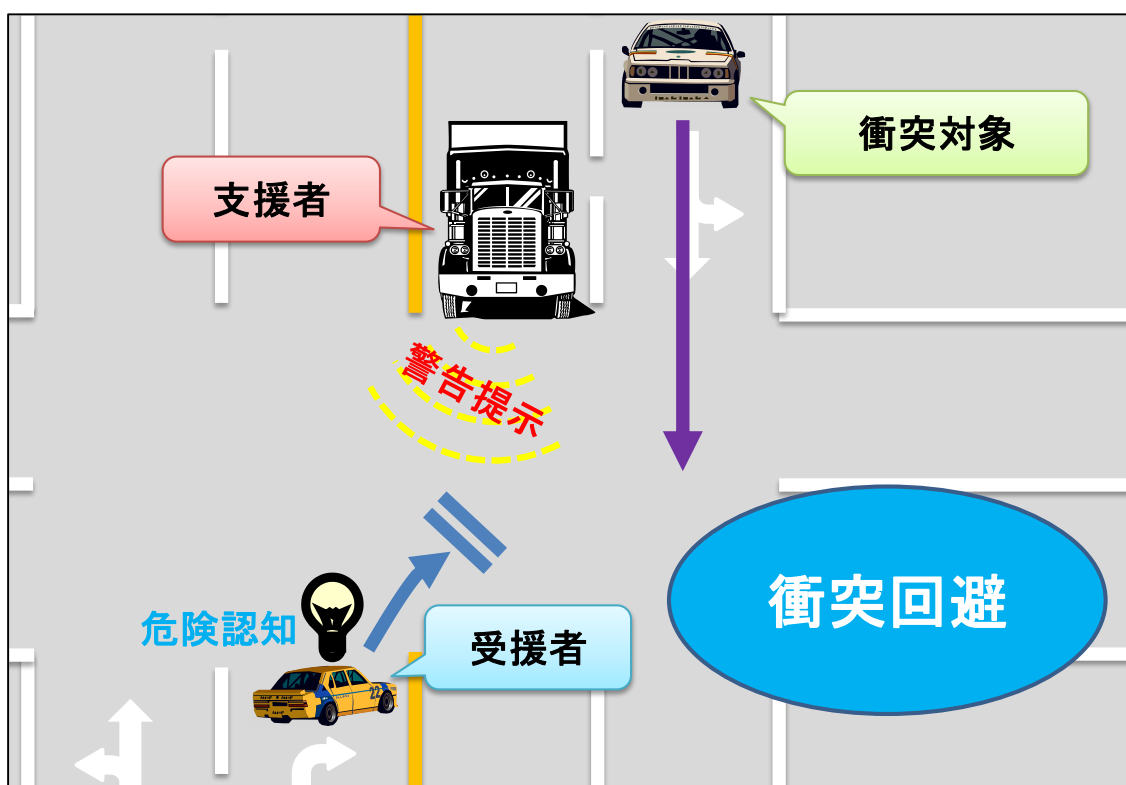


図 3-3 共助システムによる警告提示時の状況

図 3-4 はドライビングシミュレータで再現した受援者の視点から見た想定システムを示している。ここに示すように、支援者からの警告提示は支援者車両の色を変えることで表現した。このような警告提示方法で実験を実施した理由は以下の通りである。



図 3-4 ドライビングシミュレータで再現した想定システム

- 人間は約 8 割の情報を視覚から得ると言われているので、警告を視覚情報として提示することが望ましい。
- 被験者に共助を強く意識させるため、他者から警告提示されていることを容易に理解できる警告提示とすることが望ましい。
- クラッキングなどのリスクを取り除くため、警告提示を行う際に車車間や路車間通信を利用しないでも実現できる警告提示にすることが望ましい。
- HUD(Heads-Up Displays)のような拡張現実を利用するユーザインタフェースによって起こる諸問題、例えば拡張現実から提示される情報を注視してしまうことで現実世界の情報を見落とす等の懸念事項を取り除くため、リスクの接近を現実世界の情報で表現することが望ましい。

この想定システムは共助の特性を明らかにするための基礎研究に適したプロトタイプとして考案した。実用化を考える段階では、警告提示方法を実現するための技術だけでなく、車両外部に警告を提示するためのライト等の法規制を考慮した現実的な実現方法を考える必要がある。

### 3.2.3. 受援者実験の概要

以下に実験の概要を記す。

◇ 日程

2012 年 6 月 9 日～7 月 1 日

◇ 被験者

報酬が支払われた外部からの参加者

男性 10 名、女性 6 名、計 16 名(23～25 歳[学生 2 名])

◇ 場所

国立大学法人 電気通信大学

東 2 号館 512 ドライビングシミュレータ室

◇ 実験装置

三菱プレシジョン製の室内定置ドライビングシミュレータ

✓ システム構成図(図 3-5 参照)

✓ ドライビングシミュレータとスクリーンの位置関係(図 3-6 参照)

✓ ドライビングシミュレータの外観(図 3-7 参照)

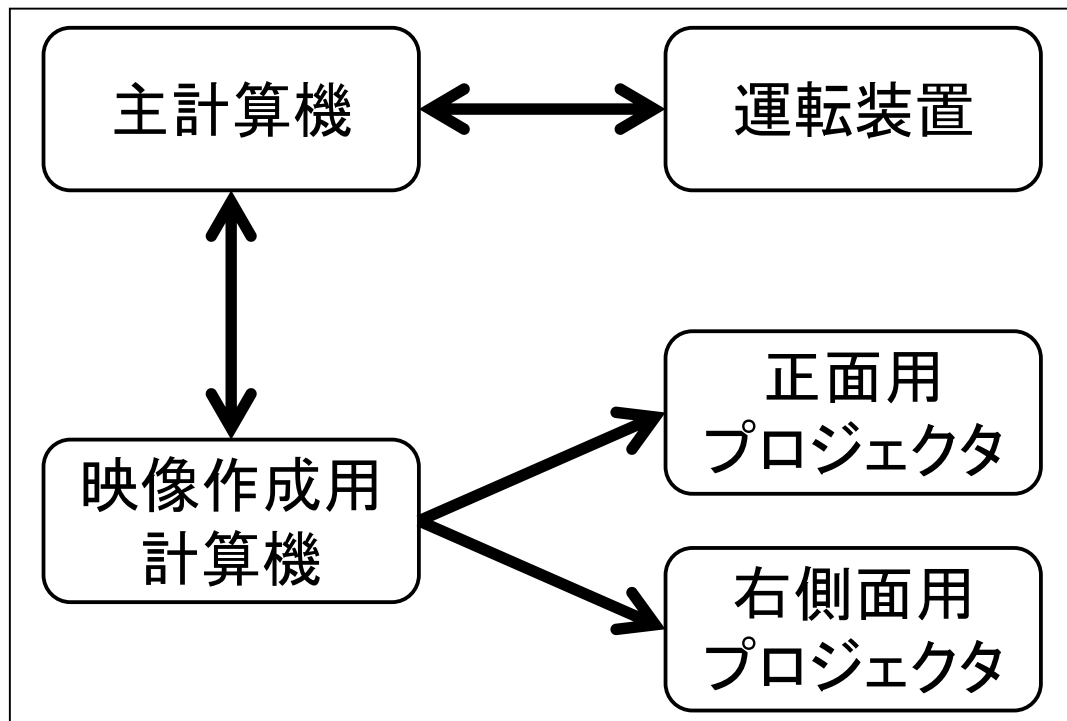


図 3-5 ドライビングシミュレータのシステム構成図

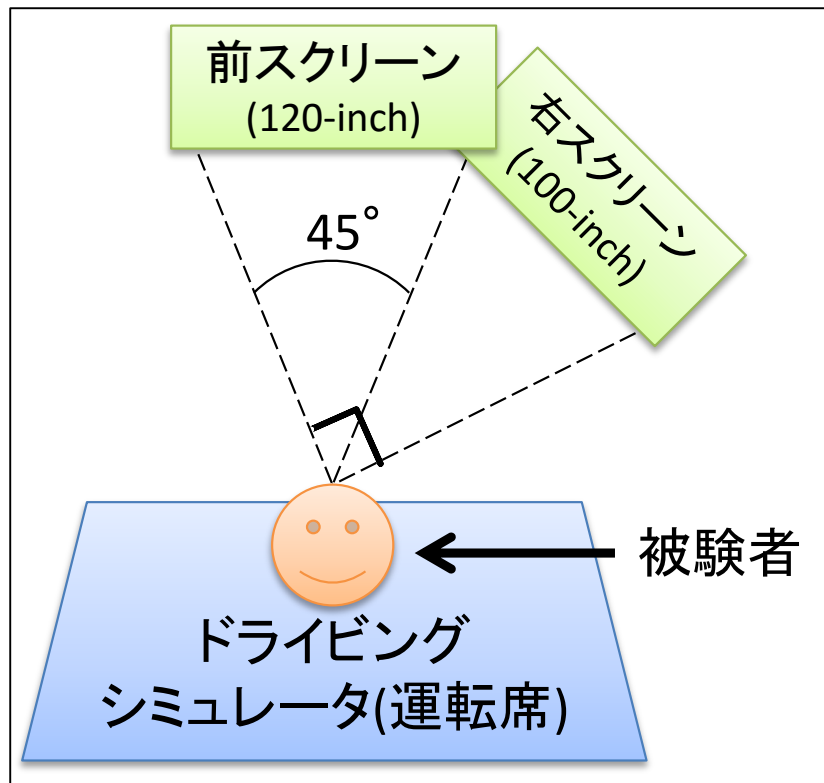


図 3-6 ドライビングシミュレータとスクリーンの位置関係



図 3-7 ドライビングシミュレータの外観

## ◇ シナリオ

市街地を模したコース上に 5 種類の 20～25 分程度で完走できるシナリオを用意し、各シナリオには以下に示す 4 種類の右直事故が起き易い状況をイベントとして組み込んだ。図 3-8 にそれぞれの状況を示す。

### (1). 通常

支援者の同一車線後方より衝突対象が接近する。

### (2). 歩行者有り

右折先の横断歩道に歩行者がいる。ドライバは歩行者に注意を奪われ、右直事故に対するリスク認知が難しくなると考えられる。

### (3). サンキュー事故

死角を作る対向車両に道を譲られる。受援者は支援者からのパッシングによって右折を促され、衝突対象に対する注意が薄れると考えられる。

### (4). 片側 2 車線

片側 2 車線の交差点を右折する。死角を作る支援者の陰に直進・左折車線を走行する車両が隠れている。

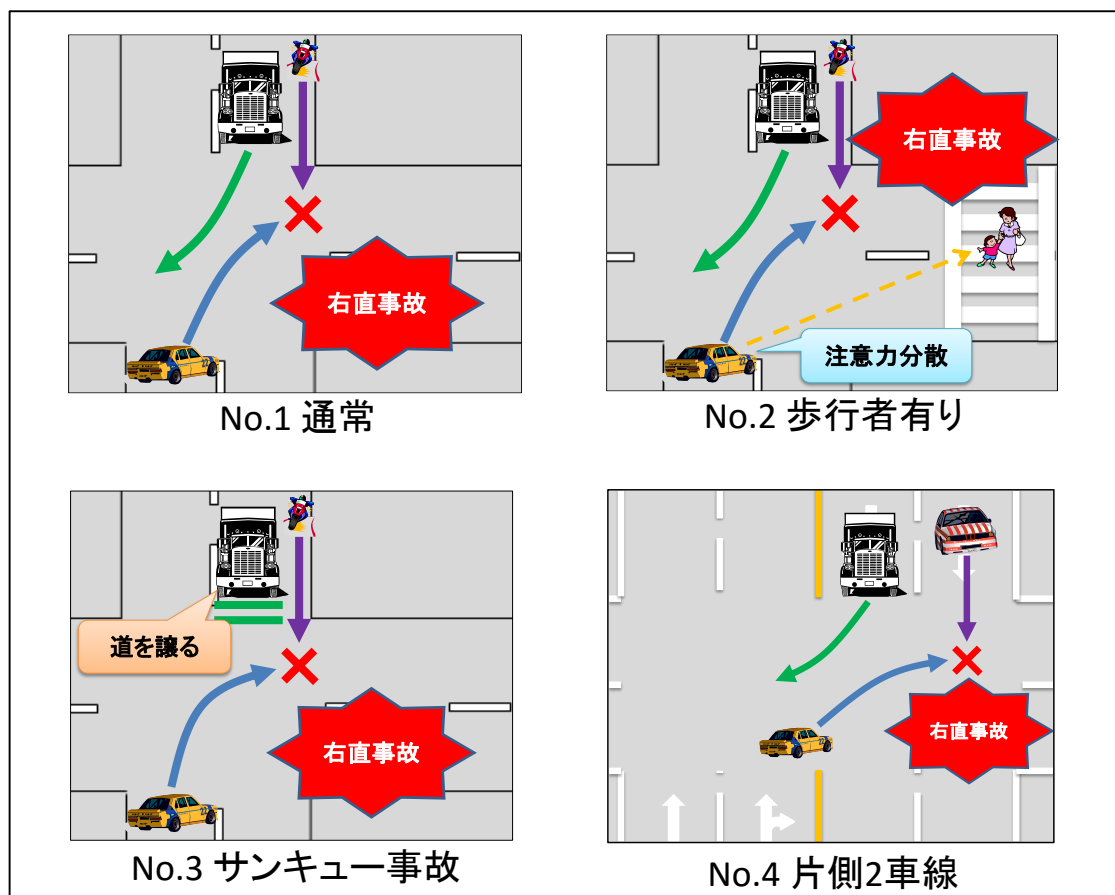


図 3-8 各シナリオに組み込んだ 4 種類のイベント

#### ◇ 実験順序

被験者にはドライビングシミュレータでの走行に慣れてもらうための 5 分程度の練習走行の後、合計 5 回の走行実験を実施した。5 回の走行のうち、1 回目と 5 回目は共助システムが存在せず警告提示がないシナリオ、2～4 回目は共助システムが存在し警告提示あるシナリオである。2～4 回目の走行では 1.5～2.5 秒前、2.5～3.5 秒前、3.5～4.5 秒前という警告提示タイミングの異なる 3 つのシナリオを走行した。2～4 回目の走行はデータ分析時に順序効果の影響を小さくするために被験者ごとにシナリオ順序を入れ替えて実施した。警告提示タイミングは図 3-9 に示すように、衝突対象となる車両が衝突予測位置に到達するまでの時間を用いて表現している。

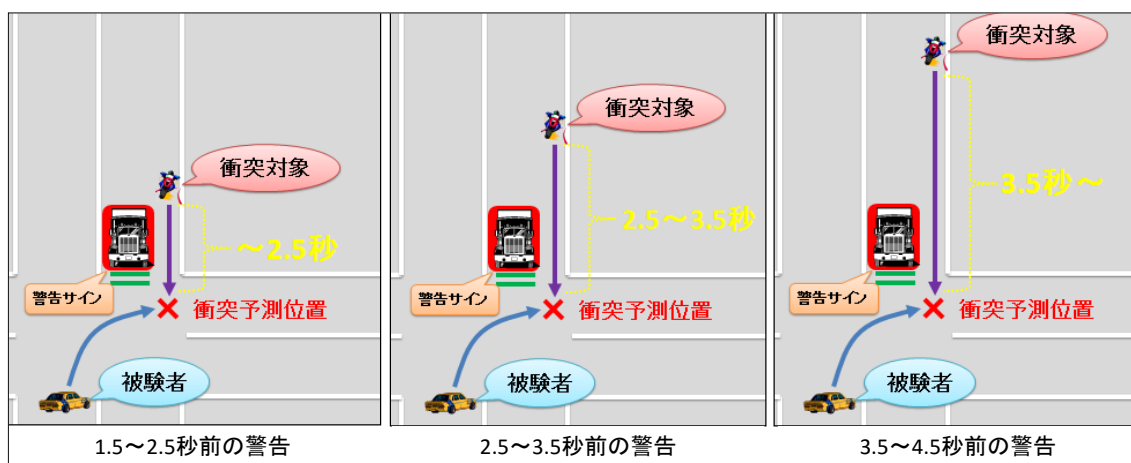


図 3-9 警告提示タイミングの定義

#### ◇ 教示内容

実験中、被験者は実験実施者からの指示に従い進路を変更するが、それ以外はドライビングシミュレータ上で再現されている交通標識に従って運転するように指示を出した。

被験者には 1 回目と 2 回目の走行の間に図 3-3 及び図 3-4 を印刷した紙を用いて想定システムに関して説明した。その際、車体の色が変わることでも他車両から警告が提示されることは説明するが、その警告が右直事故のリスクに対する警告であることは伝えていない。



### 3.2.4. 受援者実験の評価方法

3.1.に記した検証すべき 5 つの項目に対して、以下のような分析方法を用いることにした。

- A) 衝突率 =  $\frac{\text{衝突回数}}{\text{分析対象データ数}}$  で算出する。
- B) 衝突速度はドライビングシミュレータに記録された衝突時の自車速度である。
- C) TTC は衝突対象が衝突予測位置に到着した際の  $\frac{\text{被験者車両と衝突対象間の距離}}{\text{被験者車両の速度}}$  で算出する。
- D) 運転行動はドライビングシミュレータに記録された被験者の運転行動と他車との位置関係からアクシデント 4 種、インシデント 4 種、安全 1 種、合計 9 種に分類する。図 3-10 に運転行動の分類一覧、その次に基準を示す。

衝突あり	アクシデント	減速なし
		急減速
		不十分な減速
		再加速
衝突なし	インシデント	危険な先行通過
		急減速
		遅すぎる減速
		再加速
	安全	危険の少ない運転操作

図 3-10 運転行動の分類

☆ アクシデント：衝突が起こったデータ

➤ 減速なし

被験者は衝突が起こるまで減速操作を行わなかった。

➤ 急減速

被験者が衝突予測位置に到達するまでの任意の 1 秒間に  $5\text{m/s}^2$  以上加速度の減少が起こった。

➤ 不十分な減速

上記の急減速には当てはまらないが減速操作をした。

➤ 再加速

警告を認知して一旦は減速するが、衝突が起こる直前に再度加速をした。

☆ インシデント：衝突が起こらなかったデータ

➤ 危険な先行通過

被験者車両が衝突対象よりも先に衝突予測位置を通過し、通過時の相対距離が 10m 以内という近距離だった。

➤ 急減速

被験者が衝突予測位置に到達するまでの任意の 1 秒間に  $5\text{m/s}^2$  以上加速度の減少が起こった。

➤ 遅すぎる減速

減速を開始してから 1 秒以内に衝突対象が衝突予測位置を通過する。

➤ 再加速

警告を認知して一旦は減速するが、衝突が起こる直前に再度加速をした。

☆ 安全：衝突が起こらなかったデータ

➤ 危険の少ない運転操作

上記のアクシデント及びインシデントの基準には当てはまらず、衝突の危険が少ないと思われる運転をした。

E) 適切な警告提示のタイミングは上記全ての項目を総合的に考慮し、1.5～2.5 秒前、2.5～3.5 秒前、3.5～4.5 秒前の 3 つのタイミングの中で、リスクを軽減するために有効なタイミングを導き出す。

### 3.3. 受援者実験の仮説

3.1.に記した検証すべき 5 つの項目に対して、以下の仮説を立てた。

- A) 他者から提示された警告を認知し回避行動を取ることで、衝突率は減少する。警告提示タイミングが早くなるほど、この傾向は強く表れる。
- B) 他者から提示された警告を認知し減速行動を取ることで、衝突時の速度は低下する。警告提示タイミングが早くなるほど、この傾向は強く表れる。
- C) 他者から提示された警告を認知し減速行動を取ることで、TTC が増加する。警告提示タイミングが早くなるほど、この傾向は強く表れる。
- D) TTC の増加に伴い余裕を持った回避行動が取れるようになるので、運転行動は安全になる。警告提示タイミングが早くなるほど、この傾向は強く表れる。
- E) 警告提示タイミングが早いほど、受援者の衝突回避に対する時間的余裕が大きくなり、安全な運転行動でリスクを回避できるので、警告提示タイミングは早いほど良い。

### 3.4. 受援者実験の分析結果及び考察

本節では、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験で得られたデータを基に、3.1.に記した検証すべき 5 項目を 3.2.4.の分析方法を用いて分析した結果と考察について記す。

また本実験では衝突リスク軽減に注視するために、衝突する確率が非常に低いと考えられる以下の 3 条件に当てはまるデータを分析対象外とした。

- ◇ 被験者車両が衝突対象よりも先に衝突予測位置を通過し、通過時の相対距離が 10m 以上と十分な車間距離があった。(被験者の交差点通過が早すぎて警告提示が意味を成さない)
- ◇ 衝突対象が衝突予測位置を通過した後に 10m 走行しても受援者とすれ違わない。(被験者の交差点通過が遅すぎて回避/減速行動を取る必要がない)
- ◇ 交差点進入時に赤信号停止のためにブレーキを掛けた。

上記の条件に基づき分析対象データを抽出することで、比較的アクシデントやインシデントに繋がる可能性の高い 146 データを分析対象とした。146 データのうち、63 データが警告提示なしの運転データ、83 データが警告提示ありの運転データとなった。

#### 3.4.1. 衝突率

衝突率に関する仮説 A)では、共助システムによりリスクを早期に認知できるため、減速及び回避行動に余裕が生まれ、衝突率が減少すると考えられた。また、衝突率が減少する傾向は、警告提示タイミングが早くなるほど強く表れると考えられた。

図 3-11 は共助システムによる警告が提示される場合と警告が提示されない場合の衝突率を比較した結果を示している。警告が提示されることによって衝突率は半分以下に低下することが分かった。

Fisher の正確確率検定の結果  $p \div 0.09$  で有意傾向が見られ、想定システムによる警告が提示された場合には、警告が提示されない場合と比較して統計的にも衝突率に違いがあるということが出来る。

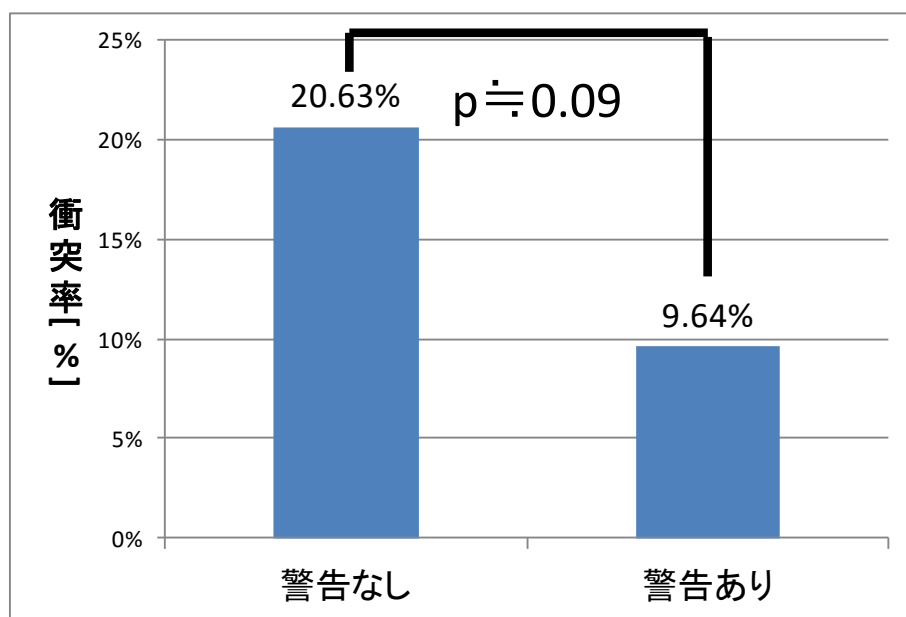


図 3-11 警告の有無による衝突率

図 3-12 は警告提示タイミング別の衝突率を比較した結果を示している。警告なしの場合が最も衝突率が高いが、警告が提示される場合でも 2.5～3.5 秒前に警告が提示されると衝突率は殆ど低下しないことが分かった。対して 1.5～2.5 秒前では衝突率が半分程度に低下し、3.5～4.5 秒前では衝突が起きなかった。

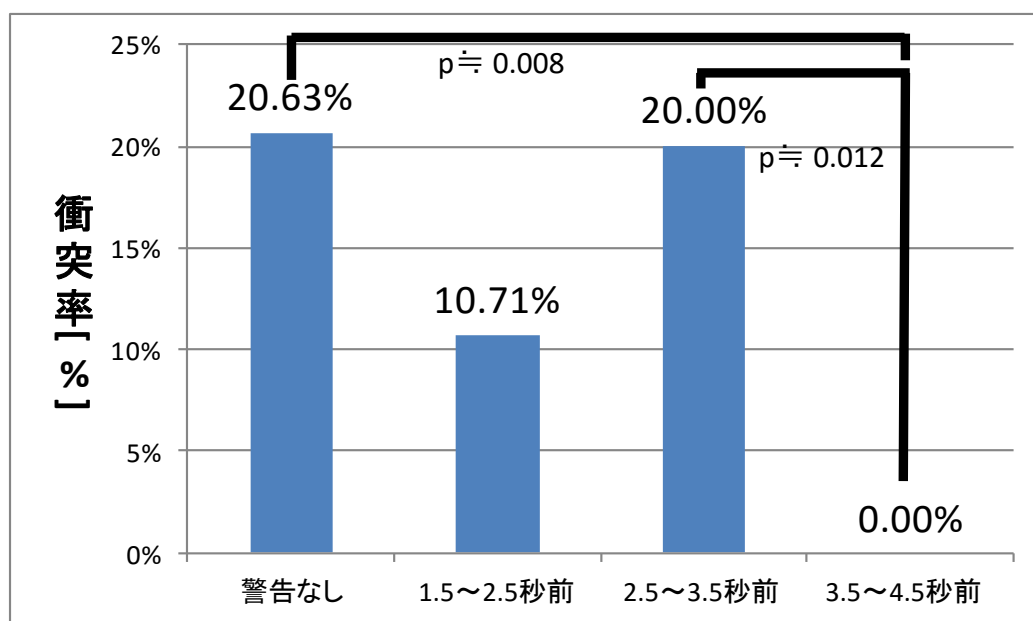


図 3-12 警告提示タイミング別の衝突率

ライアン法による多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差はなかった)

- “警告なし” > “3.5～4.5 秒前” …  $p \div 0.008$
- “2.5～3.5 秒前” > “3.5～4.5 秒前” …  $p \div 0.012$

従って衝突率を有意に低下させることができるのは、今回用意した警告提示タイミングの中では、警告発信から対向車両が衝突予測位置に到達するまでの間隔が最も長い 3.5 秒前～4.5 秒前の警告であることが分かった。

これらの結果から、衝突率に関する仮説のうち全体的に衝突率が低下するという部分は仮説を採択できると考えられる。

一方で、警告提示タイミングが早まるに連れ衝突率が減少するという部分は仮説に反した結果が得られた。特に 2.5～3.5 秒前という中間領域で共助システムの効果が表れないことが分かった。これは受援者が警告を認知した際に、減速して衝突対象を先に通過させるか、加速して衝突対象より先に通過するか、の迷いを生じさせるタイミングがあるためと考えられる。

また実験中では各シナリオで図 3-8 に示した 4 種類の右直事故が起きやすいイベントを起こし分析対象データとした。図 3-13 は各イベントの衝突率を比較した結果を示している。基準となる警告提示なしに比べ 1.5～2.5 秒前の警告では”通常”と”サンキュー”の衝突率が半分以下になっているが、”片側 2 車線”では少し上昇している。2.5～3.5 秒前では”通常”と”サンキュー”の衝突率が減少しているが、”歩行者有り”と”片側 2 車線”が上昇しており、平均の衝突率は警告なしと同等になっている。

	警告なし	1.5～2.5秒前	2.5～3.5秒前	3.5～4.5秒前	平均
通常	25.00%	10.00%	0.00%	0.00%	13.64%
歩行者有り	0.00%	0.00%	12.50%	0.00%	2.63%
サンキュー	33.33%	14.29%	10.00%	0.00%	20.00%
片側2車線	18.18%	25.00%	75.00%	0.00%	25.00%
平均	20.63%	10.71%	20.00%	0.00%	14.38%

図 3-13 イベント別の衝突率

※ 各セルにおける分析対象データ数が異なる

この結果から、“通常”と”サンキュー”に関しては共助のシステムが効果を発揮していると考えられる。特に警告なしの”サンキュー”では、支援者から進路を譲られている状況にあるため安全確認が不十分なまま右折を開始してしまい衝突率が高いと思われる。対して警告提示がある場合には、進路を譲られ右折を開始した直後に警告が提示されたとしても、受援者は警告を認知して衝突回避操作を取ることができると考えられる。

逆に、あまり共助のシステムが効果を発揮していないイベントとして”片側 2 車線”が挙げられるが、片側 2 車線の道路では道幅が広いため、受援者の右折を開始してから完了するまでに多くの時間が掛かることが予測される。警告が提示される場合、特に”2.5～3.5 秒前”で片側 2 車線の衝突率が明らかに高いのは、警告が提示された時点で受援者が衝突対象より先に右折を完了できると判断したが、受援者が思うよりも右折が完了するのに時間が掛かってしまい、その間に衝突対象が接近して衝突が発生した確率が高いと考えられる。

### 3.4.2. 衝突速度

衝突速度に関する仮説 B)では、共助システムによりリスクを早期に認知できるので、十分な減速を行うことができ、衝突速度が減少すると考えられた。また、衝突速度が減少する傾向は、警告提示タイミングが早くなるほど強く表れると考えられた。

図 3-14 は共助システムによる警告が提示される場合と警告が提示されない場合の平均衝突速度を比較した結果を示している。警告が提示されることによって平均衝突速度は 1/3 程度に低下することが分かった。

Fisher の正確確率検定の結果  $p \div 0.26 \text{ e-}2$  で有意差が見られ、想定システムによる警告が提示された場合には、警告が提示されない場合と比較して統計的にも衝突速度に違いがあるということが出来る。

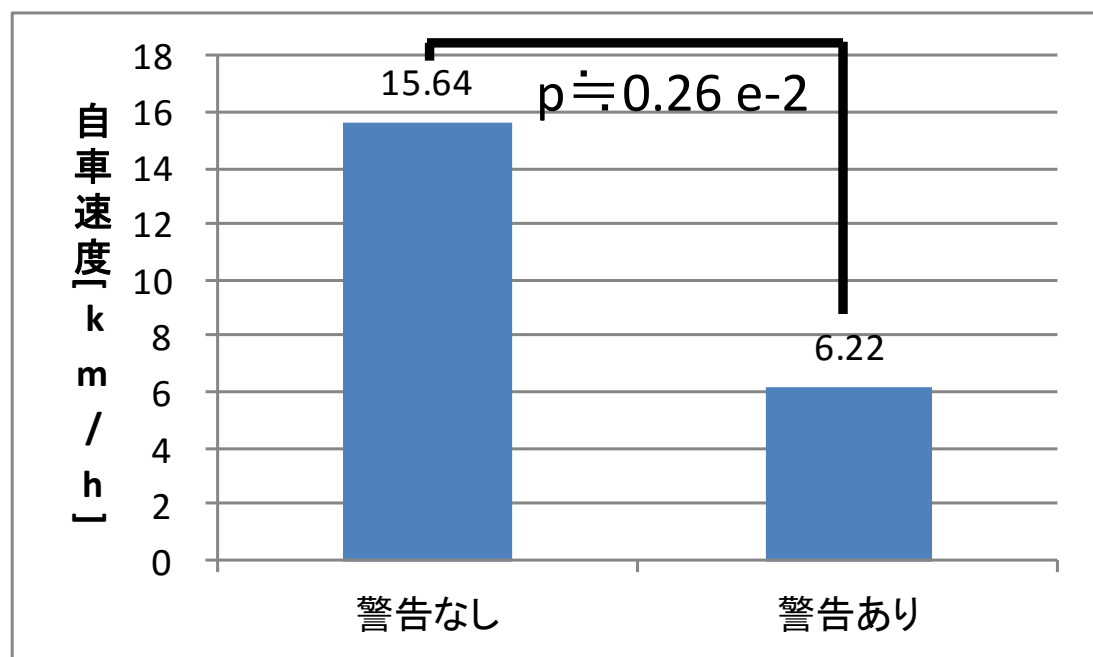


図 3-14 警告の有無による平均衝突速度

図 3-15 は警告提示タイミング別の衝突速度を比較した結果を示している。(ただし 3.5～4.5 秒前では衝突が起きなかったのでデータなし) 警告なしの場合が最も平均衝突速度が高く、警告が提示される場合はどのタイミングでも平均衝突速度が半分以下に低下していた。ただし、警告提示タイミングの早い 2.5～3.5 秒の衝突速度はタイミングの遅い 1.5～2.5 秒よりも少し衝突速度が高い。



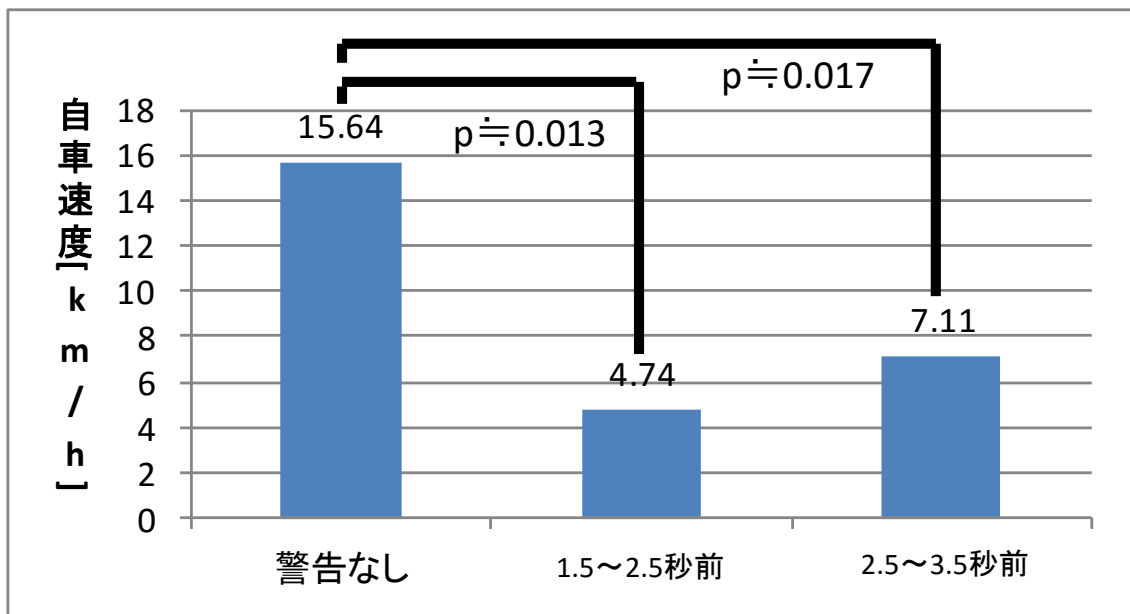


図 3-15 警告提示タイミング別の平均衝突速度

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差はなかった)

- “警告なし” > “1.5~2.5 秒前” …  $p \div 0.013$
- “警告なし” > “2.5~3.5 秒前” …  $p \div 0.017$

従って衝突速度に関しては、警告が提示される場合、どのようなタイミングでも有意に低下することが明らかになった。

これらの結果から、衝突速度に関する仮説のうち全体的に衝突速度が低下するという部分は仮説を採択できると考えられる。

一方で、警告提示タイミングが早まるに連れ衝突速度が減少するという部分は仮説に反した結果が得られた。しかし、3.4.1 で検証した衝突率に比べ、警告提示タイミングによる効果の違いは非常に小さい。

### 3.4.3. 衝突余暇時間(Time-To-Collision)

TTC に関する仮説 C)では、共助システムによりリスクを早期に認知できるので、早い段階から減速を開始することができ、TTCが増加すると考えられた。また、TTCが増加する傾向は、警告提示タイミングが早くなるほど強く表れると考えられた。

図 3-16 は警告が提示されない場合と各警告提示タイミング別の TTC を比較した結果を示している。

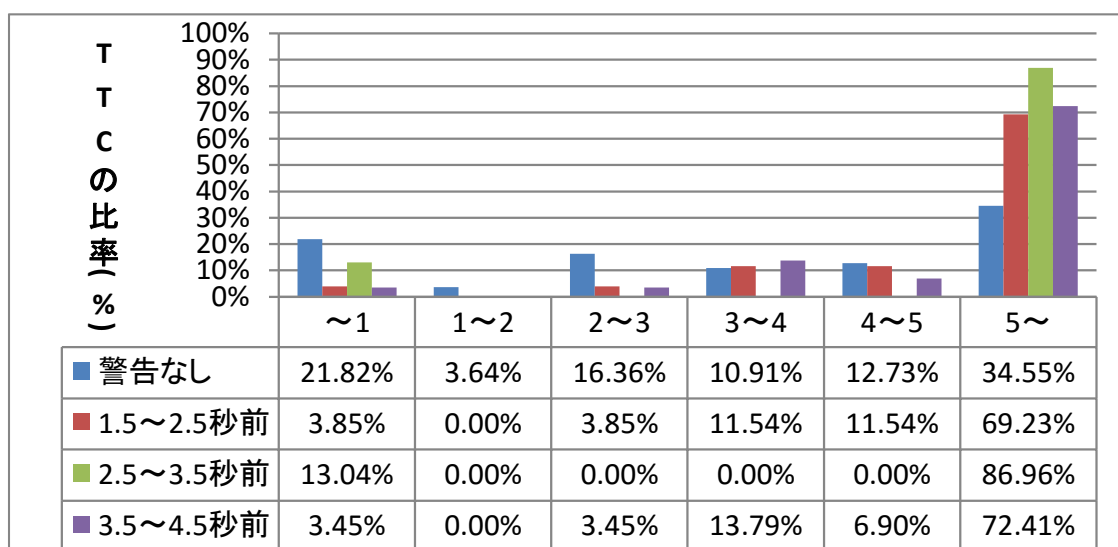


図 3-16 TTC 分布

警告が提示されることによって TTC が 5 秒以上になる確率が大きく上昇していることが分かる。また警告提示タイミング別に比較をしてみると、1.5~2.5 秒前と 3.5~4.5 秒前の分布は近しく、2.5~3.5 秒前は TTC が 1 秒以下もしくは 5 秒以上と両極端な分布となっていた。

上記の分析は直感的なものであるため、定量的に各警告提示タイミングの TTC 分布がどの程度類似しているかを分析するために Bhattacharyya 係数を活用した。Bhattacharyya 係数は 2 つのヒストグラムを比較し類似度を定量的に表す係数であり以下のように算出される。

$$\text{Bhattacharyya 係数} = \sum_{i=1}^n \sqrt{P_i Q_i}$$

式中の  $P$  は 1 つ目のヒストグラムの  $i$  番目の階層の比率を意味している。また、式中  $Q$  は 2 つ目のヒストグラムの  $i$  番目の階層の比率を意味している。Bhattacharyya 係数は 0～1 の値を取り、1 に近いほど類似度が高いことを意味する。

図 3-17 は Bhattacharyya 係数を用いて TTC 分布の類似度を比較した結果である。この結果からも 1.5～2.5 秒前と 3.5～4.5 秒前の警告タイミングは極めて近い TTC 分布になっていることが分かる。対して警告が提示されたとしても 2.5～3.5 秒前の場合は比較的類似度が低くなっている。

	1.5～2.5秒前	2.5～3.5秒前	3.5～4.5秒前
警告なし	0.893	0.717	0.878
1.5～2.5秒前		0.847	0.996
2.5～3.5秒前			0.861

図 3-17 Bhattacharyya 係数による TTC 分布の類似性

図 3-18 は警告タイミング別の TTC が 5 秒以上の比率を比較した結果を示している。タイミングに関わらず、警告が提示される場合には TTC が 5 秒以上の比率が大きく上昇していることが分かった。

ライアン法による多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差はなかった)

- “警告なし” < “1.5～2.5 秒前” …  $p \div 0.003$
- “警告なし” < “2.5～3.5 秒前” …  $p \div 0.2 \text{ e-}4$
- “警告なし” < “3.5～4.5 秒前” …  $p \div 0.95 \text{ e-}3$

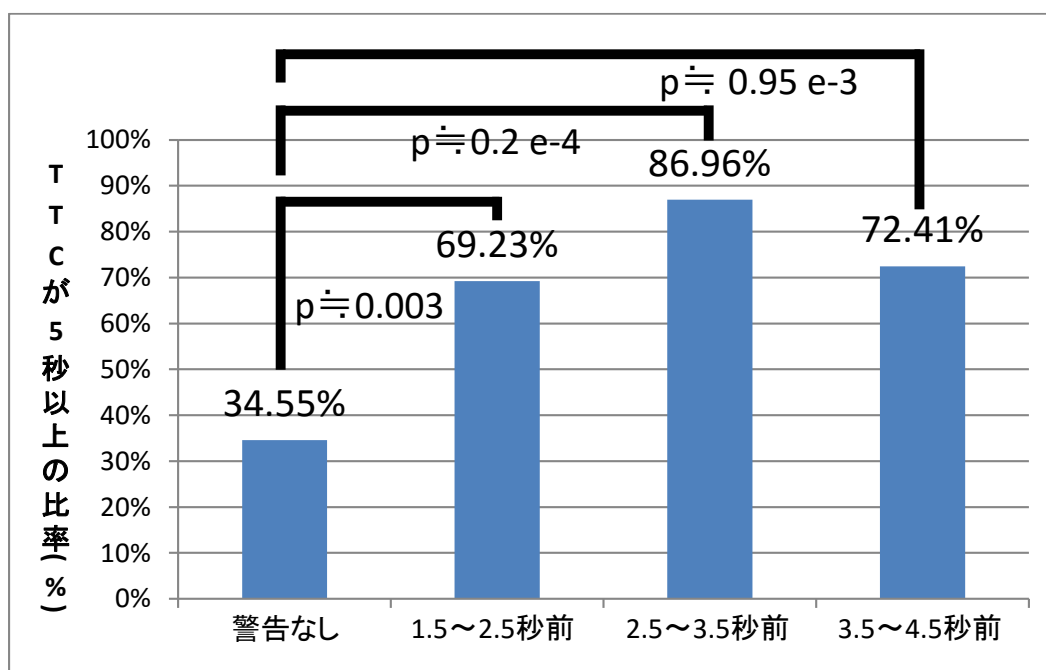


図 3-18 TTC が 5 秒以上の比率

これらの結果から、TTC に関する仮説のうち全体的に TTC が上昇するという部分は仮説を採択できると考えられる。

一方で、警告提示タイミングが早まるに連れ TTC が上昇するという部分は支持されない。2.5~3.5 秒前の警告提示は Bhattacharyya 係数によって算出した類似度が比較的低く、TTC の分布も中間領域が無いという特徴的な結果であった。これらの結果からも 3.4.1.衝突率の考察で得られた知見と同様に、2.5~3.5 秒前の警告では受援者に迷いを生じさせるタイミングであり、他のタイミングに比べ衝突対象より先に交差点を通過するという危険な判断を促してしまう可能性が高いと考えられる。

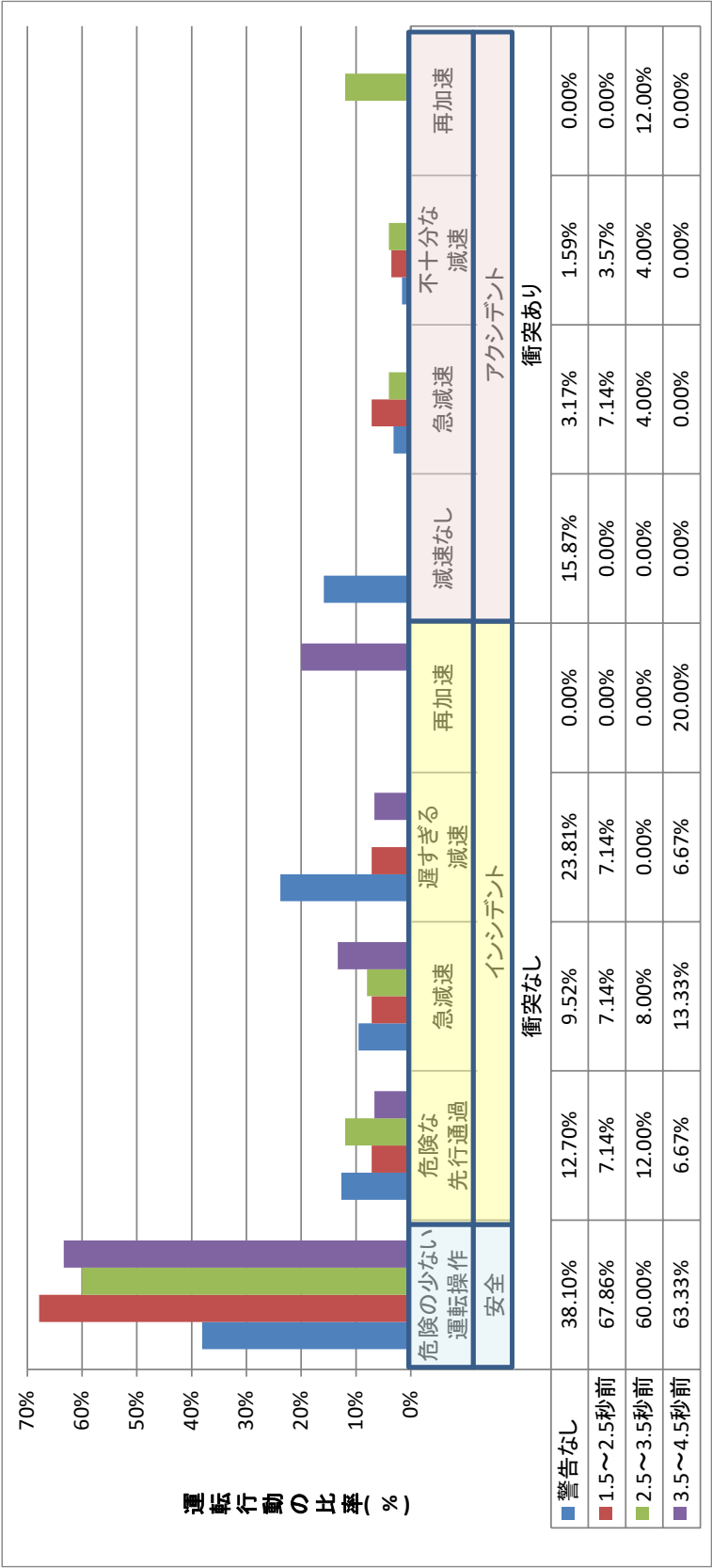
#### 3.4.4. 運転行動

運転行動に関する仮説 D)では、共助システムによりリスクを早期に認知できるため、余裕を持った安全な運転行動でリスクを回避することができると考えられた。また、運転行動が安全になる傾向は、警告提示タイミングが早くなるほど強く表れると考えられた。

図 3-19 は 3.2.4.に記した基準を用いて警告提示タイミング別に運転行動を分類した結果を示している。

はじめに運転行動の分布における警告なしのデータを見ると、警告なしで起こったアクシデントの殆どが減速をせずに起こった衝突である。これは 3.4.2.で分析した衝突速度が警告提示された場合に比べて有意に高かった原因であると考えられる。また、インシデントでは遅すぎる減速の割合が最も高い。これらから、警告が提示されない場合にはリスク認知が遅れ気味になることが見て取れる。

一方で、警告提示がされたデータに目を向けてみると、2.5～3.5 秒前で起こったアクシデントのうち多くが再加速に分類されている。更に 3.5～4.5 秒前では起こったインシデントのうち多くが再加速に分類されている。これらは、2.5 秒よりも早いタイミングでの警告提示は受援者に対して、安全が確保される前の再加速を促してしまう危険性があることを示している。



※ 警告なしのインシデントで476%、3.5~4.5秒前のインシデントで10.00%の重複データが存在した。  
例：減速を開始するタイミングが非常に遅く、急減速をすることで衝突を回避した場合には、“急減速”と“遅すぎる減速”の両方に該当するデータとなる。

図 3-19 警告提示タイミング別 運転行動の分布

図 3-20 は安全・インシデント・アクシデントの比率を示している。なお、重複しているインシデントは重複を取り除き 1 件としてカウントしている。インシデント・アクシデントの和で見ると警告なしが最も比率が高いため、共助システムにより警告が提示されることで安全な運転行動でリスクを回避できる可能性が高くなると考えられる。

一方で、警告が提示された場合に目を向けると、衝突が起こっていなかった 3.5～4.5 秒前の警告提示のインシデント発生率が高いことが見て取れる。従って、単純に衝突率が最も低いからという理由で 3.5～4.5 秒前の警告提示が適切と結論付けることは不適切と思われる。

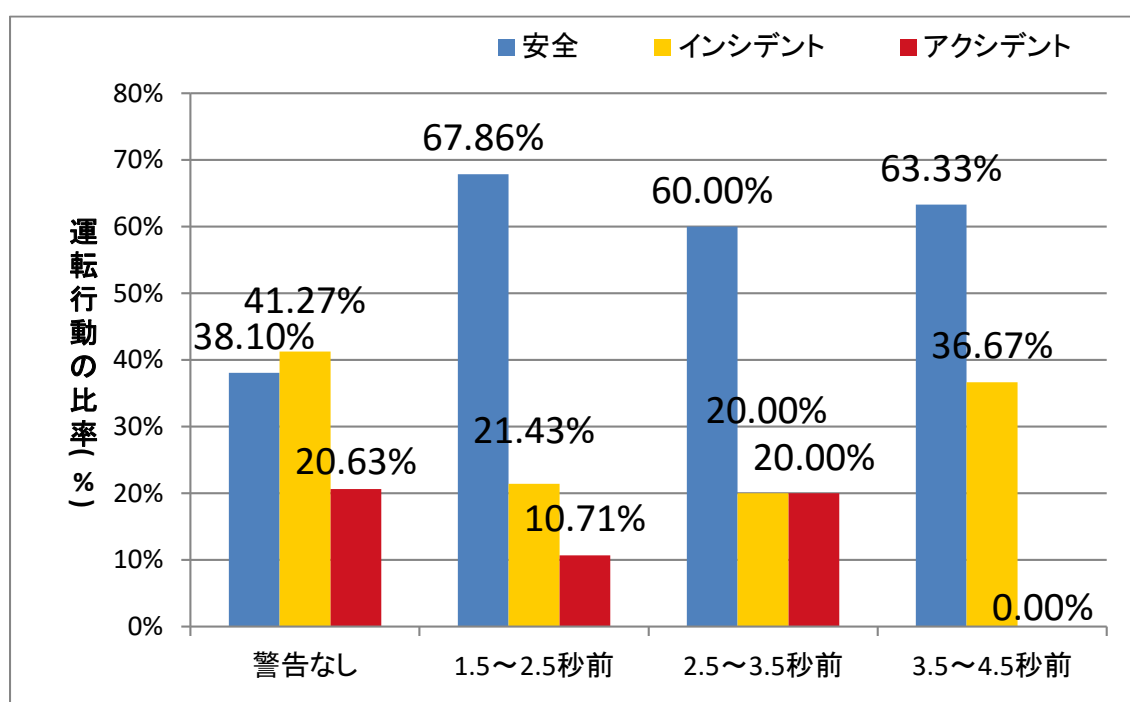


図 3-20 安全・インシデント・アクシデントの比率

これらの結果から、運転行動に関する仮説のうち、共助システムによる警告提示で TTC が増加すれば運転行動が安全になるという部分は仮説を採択できると考えられる。

一方で、警告提示タイミングが早まるに連れ運転行動が安全になるという部分は、インシデントの発生率も考慮するのであれば仮説は支持できない。

### 3.4.5. 警告提示タイミング

警告提示タイミングに関する仮説 E)では、警告提示タイミングが早くなるほど受援者の衝突回避に対する余裕は大きくなり、安全な運転行動でリスクを回避できると考えられた。

本研究で想定している共助システムは警告提示システムであり、受援者ドライバが他者からの警告を認知し、早期の減速によって安全な運転行動でリスクを回避することを促すためのシステムである。即ち、減速が行われていない、もしくは減速の開始が遅すぎた場合には、共助システムの目的が達成できてないと考えられる。従って、運転行動の分類に当てはめると以下の3種類は、共助システムが有効に作用せず目的を達成できていない状況にあったデータだと推測される。

➤ **減速しない・減速が遅れる**

- ✓ インシデント … 危険な先行通過
- ✓ インシデント … 遅すぎる減速
- ✓ アクシデント … 減速なし

また前項に記したように、あまりにも早い段階での警告提示は受援者に安全が確保される前の再加速を促しリスクを増加させてしまう可能性があることが分かった。従って、再加速が行われている以下の2種類の運転行動は、共助システムが悪い方向に作用し、リスクを増加させている状況にあったと推測される。

➤ **再加速**

- ✓ インシデント … 再加速
- ✓ アクシデント … 再加速

上記の“減速しない・減速が遅れる”または“再加速”に分類されるデータは受援者ドライバとしては不適切な運転行動であるため、それらの発生率が低い警告提示タイミングが適切にリスクを軽減することができたと考えられる。

図 3-21 は分析対象データのうち“減速しない・減速が遅れる”に分類される運転行動が占める割合を警告提示タイミング別に示したものである。タイミングに関わらず、警告が提示される場合には“減速しない・減速が遅れる”比率が大きく減少していることが見て取れる。



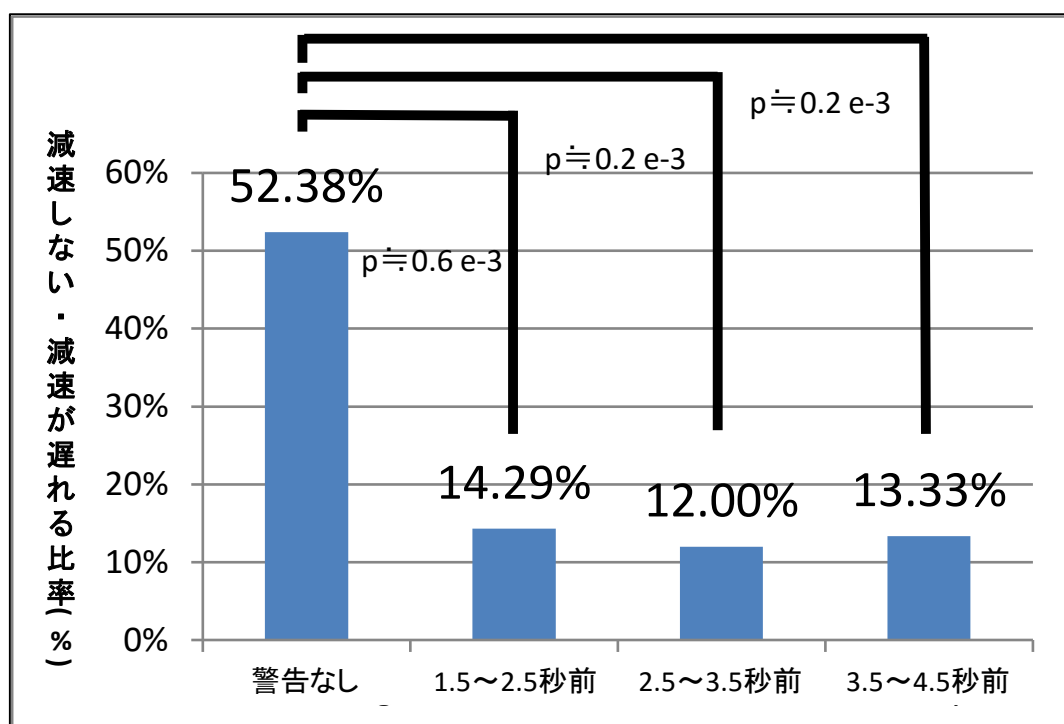


図 3-21 “減速しない・減速が遅れる” の比率

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差が見られなかった)

- “警告なし” > “1.5～2.5 秒前” …  $p \div 0.6 \text{ e-}3$
- “警告なし” > “2.5～3.5 秒前” …  $p \div 0.2 \text{ e-}3$
- “警告なし” > “3.5～4.5 秒前” …  $p \div 0.2 \text{ e-}3$

この結果から、減速操作を促すという意味合いでは警告提示タイミングに関わらず効果があり、タイミングの違いによる効果の差は殆どないと言える。

図 3-22 は分析対象データのうち“再加速”に分類される運転行動が占める割合を警告提示タイミング別に示したものである。警告提示が早くなるに連れ“再加速”の比率が上昇していることが見て取れる。

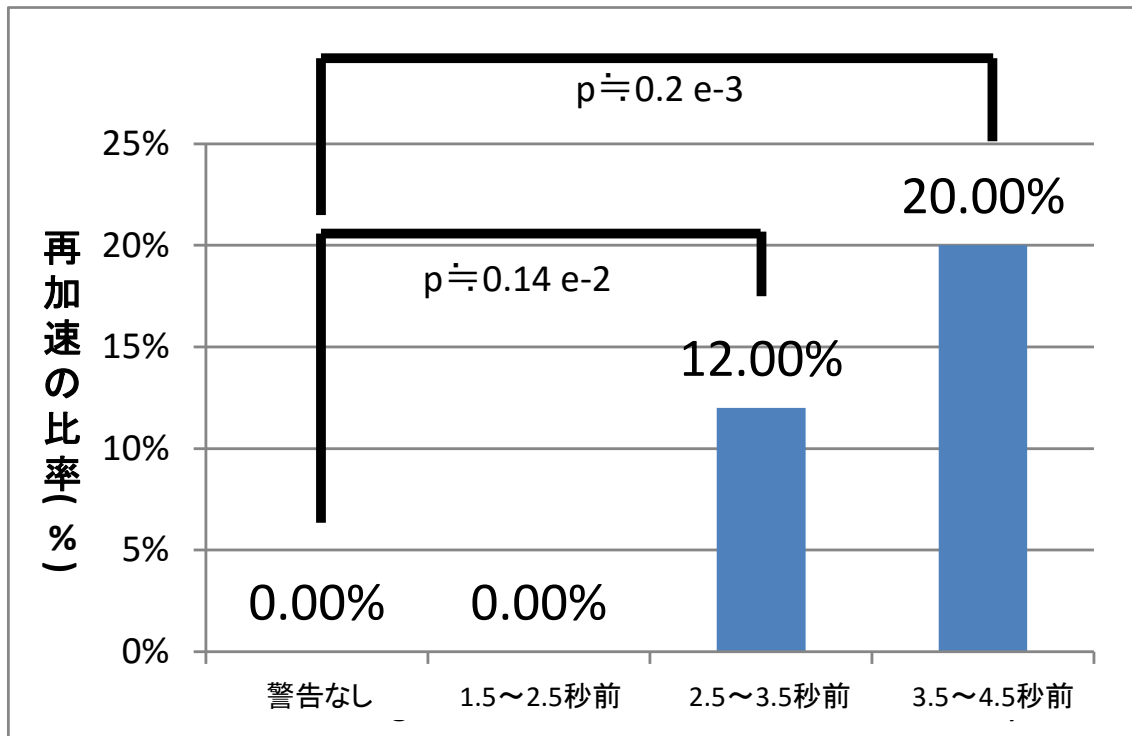


図 3-22 “再加速” の比率

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。

- “警告なし” < “2.5~3.5 秒前” …  $p = 0.14 \times 10^{-2}$
- “警告なし” < “3.5~4.5 秒前” …  $p = 0.2 \times 10^{-3}$

この結果から、受援者に再加速を促すというマイナスの側面を抑制するために警告提示タイミングは非常に重要であり、タイミングが早くなるに連れ再加速のリスクも増加すると言える。

これらの分析結果から“減速しない・減速が遅れる”と“再加速”の発生が共に少ない適切な警告のタイミングは、本実験で設定された3つのタイミングの中では1.5~2.5秒前であると考えられる。従って、警告提示タイミングに関する仮説は棄却される。

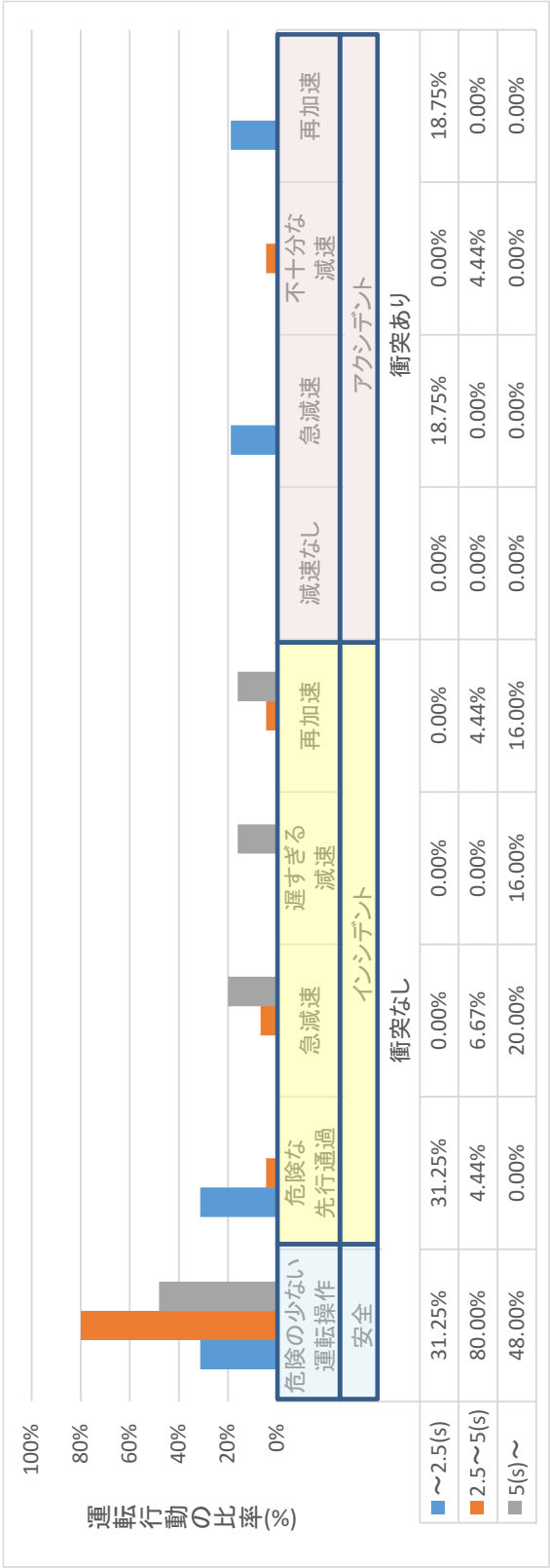
ここまでの分析で用いた警告提示タイミングは衝突対象と衝突予測位置の関係によって決定する。従って、衝突対象の位置や速度といった衝突対象の状態を基準とした分析結果である一方、警告が提示された時点での受援者の位置や速度といった受援者の状態が全く考慮されていない。

図 3-23 は、警告が提示される 3 つのシナリオで収集したデータを警告が提示された時点での受援者の運転状態から算出した TTC を基に” $\sim 2.5(s)$ ”・” $2.5 \sim 5(s)$ ”・” $5(s) \sim$ ”の 3 つのグループに分け運転行動を分類した結果を示している。

初めに、受援者が衝突予測位置に到達するまでの時間的余裕が最も少ない TTC が” $\sim 2.5(s)$ ”のグループでは、安全・インシデント・アクシデントがほぼ同じ割合で発生している。他のグループと比較をするとインシデントの危険な先行通過、アクシデントの急減速と再加速の割合が高い。この結果から、” $\sim 2.5(s)$ ”の状況では受援者は衝突対象よりも先に交差点を通過しようと試み、衝突対象が先に進入してきた際には急減速で回避しようとする傾向があると考えられる。

次に、受援者が衝突予測位置に到達するまでの時間的余裕が中程度の TTC が” $2.5 \sim 5(s)$ ”のグループでは、他のグループに比べ安全の割合が非常に高く、インシデントとアクシデントは特定の行動に集中するのではなく、ばらついて見ることが取れる。この結果から、” $2.5 \sim 5(s)$ ”の状況は受援者が安全な運転操作で衝突を回避するために十分な時間的余裕があると考えられる。

最後に、受援者が衝突予測位置に到達するまでの時間的余裕が大きい TTC が” $5(s) \sim$ ”のグループでは、アクシデントが 1 件も起こっていないことが特徴的であると考えられる。一方、他のグループと比較した場合にはインシデントの割合が非常に高いが、危険な先行通過は 1 件も起こっていないことが取れる。この結果から、” $5(s) \sim$ ”の状況では受援者は衝突対象よりも後に交差点を通過しようと試み、衝突を回避するための時間的余裕は十分にあるが、余裕が大きすぎるためか不適切な運転操作によるインシデントの割合が高くなってしまふと考えられる。



※ ”2.5~5(s)”のインシデントで2.22%,”5(s)~”のインシデントで8.00%の重複データが存在した。  
例：減速を開始するタイミングが非常に遅く、急減速をすることで衝突を回避した場合には、”急減速”と”遅すぎる減速”の両方に該当するデータとなる。

図 3-23 TTC 別 運転行動の分布

これらの分析結果から、受援者の状態を基に警告提示のタイミングを判断し

た場合には、TTC が 2.5～5(s)の間に警告を提示することが望ましいと考えられる。また、受援者の状態を基に警告提示タイミングを判断した場合には、各警告提示タイミングの間で危険の少ない運転操作を取る割合に大きな違いがある。従って、受援者に高い確率で安全な運転行動を促すためには受援者の状態を優先的に考慮し警告を提示すべきと考えられる。

一方で、衝突対象の状態を基に警告提示タイミングを判断した場合、危険の少ない運転操作の割合には大きな差が無いが、システムを導入することに伴う負の側面である再加速を避けるタイミングに設定することができることが大きな利点だと考えられる。

上記のように、それぞれに異なる利点があるが、警告が提示されない場合に比べ有意に安全な運転行動の割合が高く、システム導入に伴う負の側面が小さいことから、衝突対象の状態を優先的に考慮して警告提示のタイミングを決定することでリスク軽減効果が高まると考えられる。

### 3.5. 受援者実験のまとめ

本章では、共助システムが受援者に及ぼす効果と有効性を右直事故が起きやすい状況における対向車両との衝突リスクに関する分析と考察により検証し、以下に記す結果を得ることができた。

衝突率に関しては、共助システムによる警告提示により衝突率が減少する可能性が示された。一方で、警告提示タイミングが 2.5～3.5 秒前の場合、衝突率は警告が提示されない場合と殆ど変わらず、共助システムでは警告提示タイミングが衝突率に大きな影響を与えることが明らかになった。

衝突速度に関しては、共助システムによる警告提示により衝突速度が減少する可能性が示され、警告提示タイミングによる衝突速度の違いは小さいことが確かめられた。

TTC に関しては、共助システムによる警告提示により TTC が増加する可能性が示された。ただし警告提示タイミングが 2.5～3.5 秒前の場合、他のタイミングに比べ TTC が 1 秒以下になる確率が高いことから、衝突対象より先に自分が交差点を通過するという危険な判断を促す可能性が高い不適切な警告提示タイミングであると考えられた。

運転行動に関しては、共助システムによる警告提示により安全な運転行動を取る確率が高まり、インシデントやアクシデントを避けることができる可能性が示された。

警告提示タイミングに関しては、どのようなタイミングであっても受援者に減速操作を促すという意味合いでは効果が見込めるが、再加速という不適切な行動を抑制するためには衝突対象が交差点に進入する直前のタイミングが好ましいことが示された。

本章の分析結果から、共助システムが受援者のリスクを軽減するために有効であり適切な警告提示タイミングは、今回の実験環境においては 1.5～2.5 秒前であることが明らかになった。これよりも警告提示が早過ぎる場合には再加速等の不適切な運転行動を促す可能性が高く、遅過ぎる場合には警告が提示されるよりも先に衝突対象が視認できる可能性が高いので警告提示システムの意味を成さない。ただし、今回の実験で得られた知見を実車に適用するためには、ドライビングシミュレータ環境との違いを十分に考慮する必要がある。これらの実車に適用する際に留意すべき点に関しては 6 章の総合考察で記述する。

本章では共助システムが受援者に与える効果について検証したが、共助では自主的に他者を支援する支援者の立場が存在するのが大きな特徴である。次章では共助システムが支援者に与える効果について検証を行う。

## 4. 支援者に与える効果

本章では、共助システムが支援者に与える効果を検証するために行う実験の目的、実施方法、仮説、結果及び考察について述べる。

### 4.1. 支援者実験の目的

前章では共助システムが受援者に与える効果及び有効性について検証したが、2.4.3.に記したように、共助システムには既存のシステムとは異なり支援者の立場が存在することが大きな特徴である。システムユーザには他者の安全を確保するための支援活動を介し、自身の安全意識や運転行動を改善していくことが期待される。

上記のことから、この実験では共助による警告提示システムが支援者に与える効果を明らかにすることを目的とした。具体的には以下の5項目を検証する。

- A) 警告提示の成功率はどの程度か
- B) 警告提示を行うことで支援者に掛かる負担はどの程度か
- C) 警告提示を行うことにより意識変化は起こるか
- D) 警告提示を行うことにより責任や貢献を感じるか
- E) 共助システムを活用することで自己実現理論における高次欲求を満たせるか

項目 A)では警告提示成功率、項目 B)では警告提示を行う際に掛かる心理的負担を明らかにすることで、ドライバが運転をしながら他者の安全を支援する警告を提示することが可能であるかを検討する。項目 C)では他者に対する警告提示を行うことで支援者に起こる意識変化、項目 D)では責任や貢献に対する意識を明らかにすることで、共助システムにより他者の安全確保に関わることで支援者にもたらされる効果についてそれぞれ検討する。項目 E)では共助システムを活用し他者の安全確保に関わることで、自己実現理論における高次欲求を満たし、ドライバがより安全な自動車社会へと意識を向けることが可能かについて検討する。

## 4.2. 支援者実験の方法

本節では、4.1.に記した 5 項目を明らかにするために実施する実験の方法について、想定する状況、想定するシステム、実験の概要、実験で使用する機器、実験で得られたデータの評価方法の順に記す。

### 4.2.1. 支援者実験の想定状況

想定状況に関しては 3.2.1.に記した受援者側の実験と同様、交差点で起こる代表的な事故である右直事故とした。ただし、共助システムが支援者に与える効果を明らかにする実験であるため、被験者は支援者側として実験に参加した。

### 4.2.2. 支援者実験の想定システム

想定システムに関しては 3.2.2.に記した受援者側の実験と同様、右折を試みようとする受援者に早期の減速操作を促すための警告提示システムとした。

### 4.2.3. 支援者実験の概要

以下に実験の概要を記す。

#### ◇ 日程

2013 年 12 月 22 日～2014 年 2 月 1 日

#### ◇ 被験者

報酬が支払われた外部からの参加者

男性 8 名、女性 7 名、計 15 名(22～27 歳[学生 1 名])

#### ◇ 場所（受援者側実験と同じ）

国立大学法人 電気通信大学

東 2 号館 512 ドライビングシミュレータ室

#### ◇ 実験装置（受援者側実験と同じ）

三菱プレジジョン製の室内定置ドライビングシミュレータ

✓ システム構成図(図 3-5 参照)

✓ ドライビングシミュレータとスクリーンの位置関係(図 3-6 参照)

✓ ドライビングシミュレータの外観(図 3-7 参照)



## ◇ シナリオ

市街地を模したコース上に 3 種類の 15 分程度で完走できるシナリオを用意して実験を実施した。

共助システムでは他者の安全を確保する支援活動を介して、支援者の安全意識や運転行動の改善が期待される。他者の安全確保に関わる意識を強く持つためには、支援者ができるだけ自分で警告提示を行う必要があると考え、1 つ目は“手動”のシナリオを用意した。一方で、警告提示の成功率を高めるためには衝突対象の見落としや警告の出し忘れをなくす必要があると考え、2 つ目は“自動”のシナリオを用意した。3 つ目として、システムの補助を受けることでドライバに掛かる負担を軽減しつつ、自主的な行動を起こすことで他者との関わりも意識してもらう“半自動”のシナリオも用意した。以下に“手動”・“半自動”・“自動”の概要を示す。

### ➤ 手動

支援者は受援者に対して自らの判断で警告提示を行う。警告提示を行う際、ドライバはウインカーレバーを手前に引く必要がある。システムの補助は無く、警告提示のタイミングも自らの判断で行う。

### ➤ 半自動

手動と同様、自らの判断で警告提示を行う。ドライバに求められる操作も同様であるが、ドライバは早い段階で警告提示操作を行えば、システムは警告提示タイミングが最適になるように補助を行う。

### ➤ 自動

受援者に対する警告は自動的に提示される。警告提示のタイミングも自動である。

図 4-1 には、各自動化レベルにおいて警告提示システムが警告を提示する支援者ドライバの認知・判断・操作のフェーズにおいてどのような補助を行うかを示している。

手動では、共助システムは支援者の警告提示率が高めるための補助は行わない。従って、ドライバは普段の運転操作に加え、他者に警告を提示するための負荷を全て担う必要がある。

半自動では、認知と判断フェーズでの補助は行われませんが、操作のフェーズでは適切なタイミングで自動的に警告を提示する。従って、ドライバは警告提示タイミングの調整を共助システムに委託することができる。

自動では認知から操作のフェーズまでを自動的に行う。従って、ドライバは普段の運転操作と同じ負担で他者に警告を提示することができる。

自動化レベル	共助システムが行う補助		
	認知フェーズ	判断フェーズ	操作フェーズ
手動	なし	なし	なし
半自動	なし	なし	警告提示タイミングの自動化
自動	自動	自動	自動

図 4-1 支援者側実験における共助システムの自動化レベルと補助内容

以下に“手動”・“半自動”・“自動”のシナリオにおいて警告提示が成功する条件を記す。条件は大まかに 2 つ存在し、1 つは警告提示が行われるタイミング(条件Ⅰ)、もう 1 つは警告提示が行われる場所(条件Ⅱ)である。なお、各シナリオで設定された警告提示の成功条件が満たされない場合には、例え警告提示操作(ウィンカーレバーを手前に引く)が行われたとしても警告提示は失敗となり、受援者と衝突対象の間で衝突が起こるようにイベントを設定した。

図 4-2 は“手動”による警告提示の成功条件を示している。“手動”での成功条件は警告提示のタイミング(条件Ⅰ)である。3 章の分析結果から有効な警告提示タイミングは衝突対象が衝突予測位置に到達する 1.5～2.5 秒前であると明らかになった。従って、その範囲内で警告が提示されたときのみ警告提示は成功し、受援者が事故を回避できるようにイベントを作成した。なお、警告提示が行われる場所(条件Ⅱ)に関する制限は設けていない。

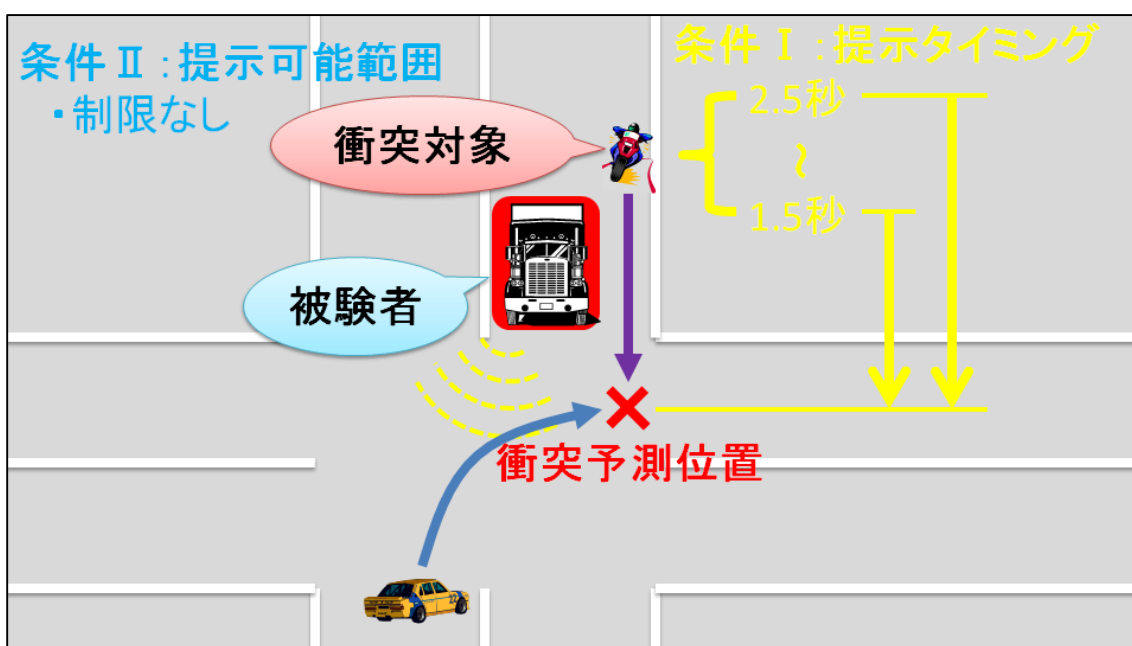


図 4-2 手動による警告提示の成功条件

図 4-3 は“半自動”による警告提示の成功条件を示している。“半自動”での成功条件は警告提示タイミングと警告提示を行う場所である。

警告提示タイミングとして、“半自動”では被験者車両と衝突対象が 100m 以内に接近した時点で警告提示操作が有効となるように設定した。警告提示操作が有効になってから衝突対象が衝突予測位置に到達する 2.0 秒前までに警告提示操作が行われた場合には、警告提示タイミングは自動的に 2.0 秒前に統一されるようにした。それに加え、1.5 秒前までに警告提示操作が行われれば警告提示は成功し、受援者が事故を回避できるようにイベントを作成した。

警告提示可能範囲としては、イベントが発生する交差点の中心から X 座標と Y 座標にそれぞれ 20m を取った正方形の領域とした。警告提示可能範囲は、不必要な警告が頻発しないために設けた条件である。

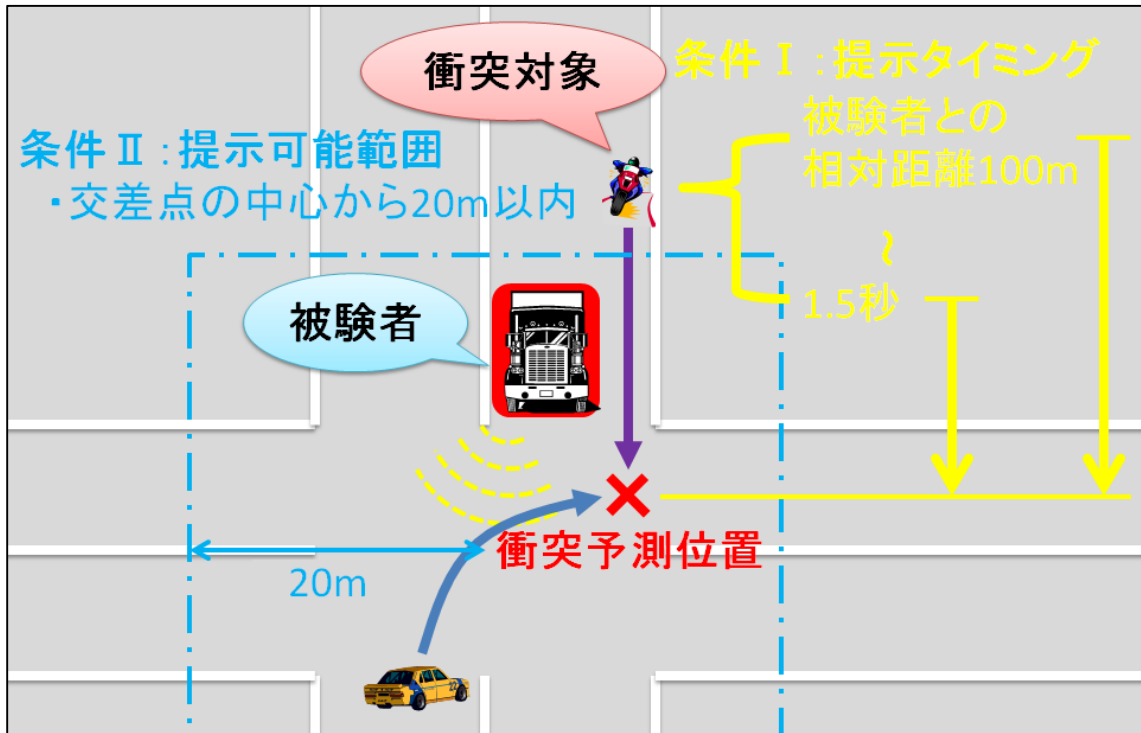


図 4-3 半自動による警告提示の成功条件

図 4-4 は“自動”による警告提示の成功条件を示している。“自動”での成功条件は警告提示を行う場所で警告提示可能範囲は半自動と同様である。また“自動”では警告提示タイミングに関する制限は設けていない。

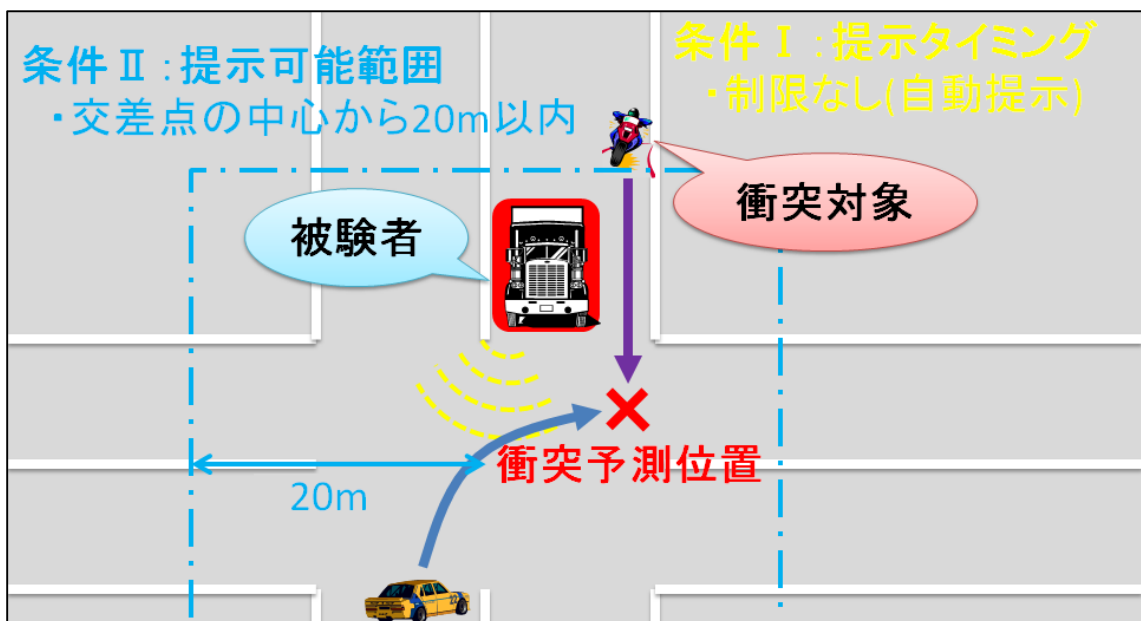


図 4-4 自動による警告提示の成功条件

#### ◇ 実験順序

被験者には共助システムを理解することを目的とした受援者立場を体験できるシナリオを 5 分程度走行して貰った後に、支援者として共助システムの自動化レベルが異なる 3 つのシナリオを“手動”・“半自動”・“自動”の順に実施した。

#### ◇ 教示内容

実験中、被験者は実験実施者からの指示に従い進路を変更するが、それ以外は目標となる先行車両を追従するように指示を出した。

被験者には“手動”の走行の前に図 4-2、“半自動”の走行の前に図 4-3、“自動”の走行の前に図 4-4 を印刷した紙を用いて想定システムと警告の提示方法に関して説明した。

#### 4.2.4. 支援者実験の評価方法

3.1.に記した検証すべき 5 つの項目に対して、以下のような分析方法を用いることにした。

A) 警告提示成功率 =  $\frac{\text{警告提示成功回数}}{\text{分析対象データ数}}$  で算出する。支援者側の実験ではデータ

数を確保するため、先行車両を用意し追従させることでタイミングを調整した。これによって、取得したデータの全てを分析対象とすることができ、被験者 15 人×4 イベント×3 シナリオ=180 データを得ることができた。

B) 支援者に掛かる負担は Hart ら(1988)<sup>[56]</sup>によって提案された NASA-Task Load Index を基に、三宅ら(1993)<sup>[57]</sup>が改良を加え提案した Adaptive Weighted Workload (AWWL)を用いて算出する。図 4-5 は AWWL を算出するために用いたアンケートである。この AWWL は、江部ら(2001)<sup>[58]</sup>をはじめ、ドライビングシミュレータを用いた様々な実験でドライバに掛かる心理的負担の算出する方法として一般的な手法である。





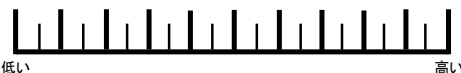

<p>➤精神的要求 課題を実施する上で、どの程度精神的・知覚的活動が必要だったと感じましたか。(ex.見る・聞く・記憶する・考える等)</p>  <p>低い 高い</p>	<p>➤身体的要求 課題を実施する上で、どの程度身体的活動が必要だったと感じましたか。(ex.押す・引く・回す・操作する等)</p>  <p>低い 高い</p>
<p>➤時間的圧迫感 課題を実施する上で、どの程度時間的圧迫感を感じましたか。</p>  <p>低い 高い</p>	<p>➤作業達成度 設定された課題の目標をどの程度達成できたと思いますか。 この目標達成における作業成績にどの程度満足していますか。</p>  <p>低い 高い</p>
<p>➤努力 課題を実施する上で、(精神的・知覚的に)どの程度一所懸命に活動する必要があったと感じましたか。</p>  <p>低い 高い</p>	<p>➤不満 課題を実施する上で、どの程度不安・落胆・イライラ・ストレス・不快感等を感じましたか。</p>  <p>低い 高い</p>

図 4-5 各自動化レベルの心理的負担比較調査用アンケート

※作業達成度のみスコア計算時評価を逆転させる(e.g. 70→30 に変換)

C) 支援者に起こる意識変化は5段階評価のアンケートを用いて合計8項目を調査する。達成・満足感では、システムを適切に利用できたことに対するもの、相手を支援できたことに対するもの、計2つを調査する。安全意識では、運転操作に対するもの、リスク認知に対するもの、計2つを調査する。不満では、システムの操作負荷に対するもの、システムの動作に対するもの、計2つを調査する。運転行動では、認知面への影響に対するもの、操作面での影響に対するもの、計2つを調査する。図4-6は各自動化レベルの比較を行うために用いたアンケートである。

<p>➤達成・満足感① システム適切に利用できたことに対する達成・満足感ほどの程度でしたか。</p> <p>低い 高い</p>	<p>➤達成・満足感② 相手を支援することができたことに対する達成・満足感ほどの程度でしたか。</p> <p>低い 高い</p>	<p>➤安全意識① 警告を提示することで自身の運転操作に対する意識は変化しましたか。</p> <p>低くなった 高まった</p>	<p>➤安全意識② 警告を提示することで危険因子に対する意識は変化しましたか。</p> <p>低くなった 高まった</p>
<p>➤不満① システムの操作負荷に対して感じた不満や煩わしさほどの程度でしたか。</p> <p>低い 高い</p>	<p>➤不満② システムの動作に対して感じた不満や煩わしさほどの程度でしたか。</p> <p>低い 高い</p>	<p>➤運転行動① 警告を提示することで認知面での運転に対する影響はどの程度でしたか。</p> <p>悪影響 好影響</p>	<p>➤運転行動② 警告を提示することで操作面での運転に対する影響はどの程度でしたか。</p> <p>悪影響 好影響</p>

図 4-6 各自動化レベルの意識変化比較調査用アンケート

D) 支援者が感じる責任と貢献は実験実施者が用意した選択脚から複数、または単一回答するアンケートを用いて調査する。複数回答では少しでも事故や事故の回避に関わっていると考えられる対象を明らかにするために用いる。対して単一回答は最も事故の責任がある、もしくは最も事故の回避に貢献したと考えられる対象を明らかにするために用いる。図4-7は責任、図4-8は貢献の所在を明らかにするために用いたアンケートである。

<p>➤責任① 事故が起こった際(もし起きたとしたら)その責任は以下のうち何処にあると思いますか。[複数回答可]</p> <p>①自分 ②システム ③右折車 ④直進車 ⑤その他( )</p> <p>➤責任② 上記のうち最も責任が大きいと思われるのは何処ですか。 ( ) ※必ず記入</p>	<p>➤貢献① 事故を回避できた際(もし回避できたら)それに貢献したのは以下のうち誰(どれ)だと思えますか。[複数回答可]</p> <p>①自分 ②システム ③右折車 ④直進車 ⑤その他( )</p> <p>➤貢献② 上記のうち最も貢献が大きいと思われるのは何処ですか。 ( ) ※必ず記入</p>
--	---

図 4-7 責任の所在調査用アンケート 図 4-8 貢献の所在調査用アンケート

E) 自己実現理論における高次欲求への働きかけは5段階のアンケートを用いて調査する。図 4-9 は高次欲求への働きかけを含め、被験者が共助システムの意義に対してどのように考えているか調査するために用いたアンケートである。このアンケートは共助システムの自動化レベルによるシステムの操作性を明らかにするものではないので、自動化レベルを区別せずに実施した。







<p>➤<b>有意義</b>            普段の運転に比べ            有意義な時間を過ごせたと            思いますか。</p>  <p>思わない                      思う</p>	<p>➤<b>楽しさ</b>            普段の運転に比べ            運転の楽しさを感じる事が            出来ましたか。</p>  <p>出来なかった                      出来た</p>	<p>➤<b>社会貢献</b>            普段の運転に比べ            社会の役に立てたと            思いますか。</p>  <p>思わない                      思う</p>
<p>➤<b>援助</b>            普段の運転に比べ            困っている人を助けられたと            思いますか。</p>  <p>思わない                      思う</p>	<p>➤<b>確認サイン</b>            相手が警告受信サインを            送ってくれた場合に達成・            満足感は変化しましたか。</p>  <p>下降した                      上昇した</p>	<p>➤<b>必要性</b>            他者に警告を与えるような            共助のシステムは必要だと            思いますか。</p>  <p>思わない                      思う</p>

図 4-9 共助による意識変化調査用アンケート



### 4.3. 支援者実験の仮説

4.1.に記した検証すべき4つの項目に対して、以下の仮説を立てた。

- A) 手動での警告提示はタイミングまで支援者ドライバが決定しなければならないため、警告提示成功率は低いと考えられる。半自動、自動と共助システムの自動化レベルが上昇するほど警告提示成功率は上昇する。
- B) 手動での警告提示はタイミングまで支援者が決定しなければならないため、極めて支援者ドライバへの負担が高く、支援者自身の運転行動への負の影響が懸念される。共助システムの自動化レベルが上昇するほど支援者ドライバに掛かる負担は減少するため、運転に集中することが可能となり運転行動は安全になると考えられる。
- C) 手動での警告提示は他者の運転行動に多くの意識配らなければならないため、支援活動を介した達成・満足感や安全意識に関する正の意識変化が起こり易いと考えられる。一方で、ドライバに掛かる負担は大きいため不満や運転行動に関しては負の意識変化が起こり易いと考えられる。これらの意識変化は共助システムの自動化レベルが上昇するほど、他者に配る意識は減少し、普段の運転と同じような意識になると考えられ、自動の場合には普段の運転と一致すると考えられる。
- D) 手動での警告提示は支援者ドライバが担当するフェーズが多いため、事故が起きた際の責任と事故の回避に貢献した意識を強く感じると考えられる。共助システムの自動化レベルが上昇するほど、システムが担当する領域が広がるため、ドライバの責任や貢献に対する意識は弱くなると考えられる。
- E) 共助システムを活用することで、他者の安全確保に貢献するグループに属しているという社会的欲求、他者に対し効果的支援を行うことでグループメンバーなどから評価されるという尊敬欲求、このような他者を支援する一種のボランティア活動を行うことに喜びを感じるという自己実現欲求を満たすことができると考えられる。

## 4.4. 支援者実験の分析結果及び考察

本節では、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験で得られたデータを基に、4.1.に記した検証すべき 5 項目を 4.2.4.の分析方法を用いて分析した結果と考察について記す。

### 4.4.1. 警告提示成功率

警告提示成功率に関する仮説 A)では、手動での警告提示は難易度が高いので、警告提示成功率が低く、共助システムの自動化レベルが上昇するほど警告提示成功率も上昇すると考えられた。

図 4-10 は共助システムの自動化レベル別に平均警告提示成功率を比較した結果を示している。手動では平均 40%以下の成功率となり、受援者が早期の減速操作で衝突を回避することを十分に支援することができないと思われる。半自動では平均 80%を超え、警告提示操作の一部を自動化するだけでも大きく成功率を改善できることが確認できた。自動では 100%に近い確率で成功したが、ごく稀に警告提示範囲内に被験者車両が進入することができず、警告提示に失敗するケースが見られた。

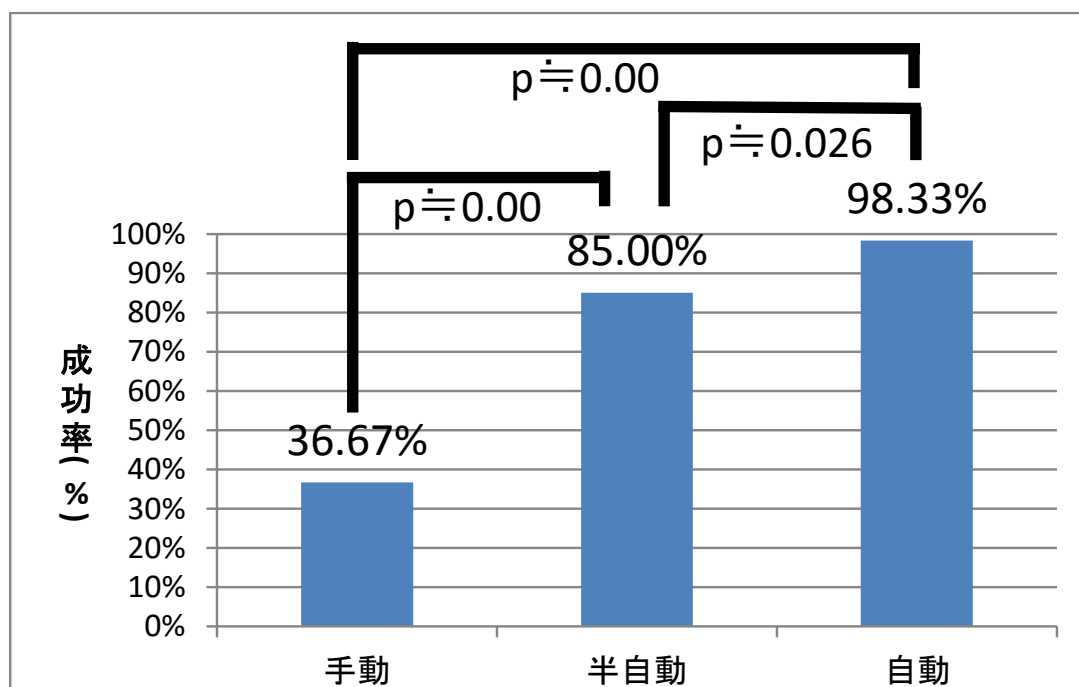


図 4-10 平均警告提示成功率

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。

- “手動” < “半自動” …  $p < 0.1 \text{ e-}7$
- “半自動” < “自動” …  $p \doteq 0.026$
- “手動” < “自動” …  $p < 0.1 \text{ e-}7$

従って警告提示成功率は、共助システムの自動化レベルが上昇するごとに有意に上昇することが確認できた。

図 4-11 は警告提示操作開始タイミングの分布を示している。手動で警告提示が成功するタイミングは 1.5～2.5 秒前であり、警告提示操作の開始タイミングは 1.5～2.0 秒前を中心に分布している。対して半自動では手動よりも早いタイミングで警告提示操作を開始しており、分布が右方向に偏っていることが見て取れる。このことから、支援者ドライバが半自動システムの特性を理解し上手く活用する行動を取ることが確認できた。

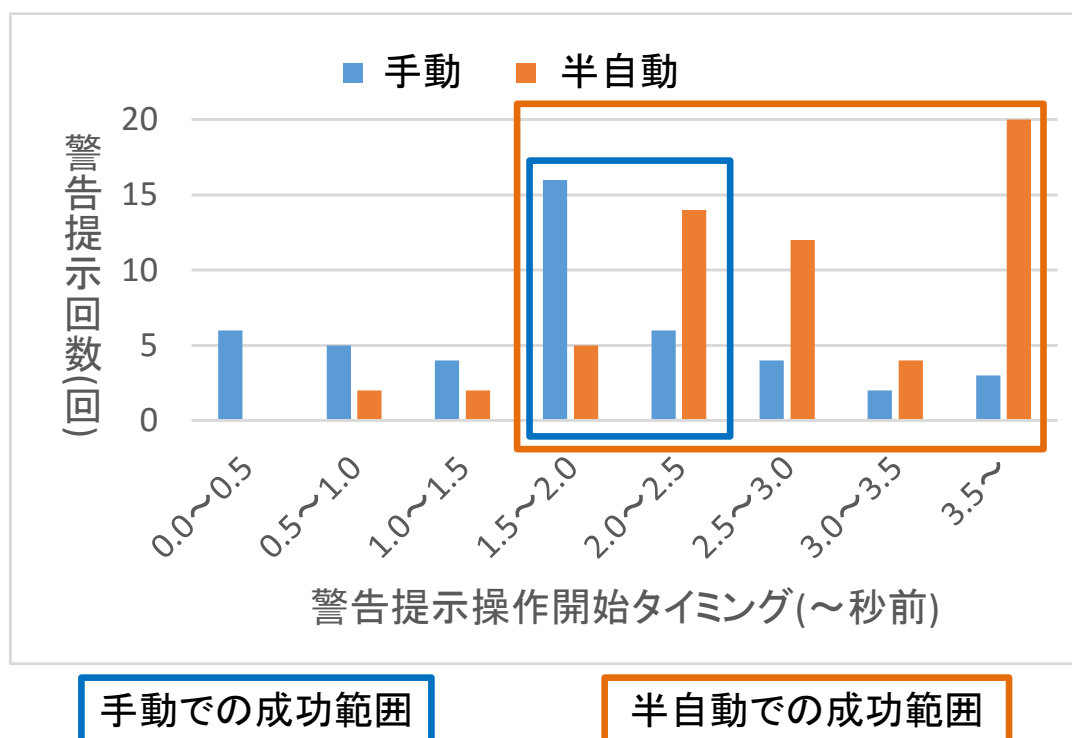


図 4-11 警告提示操作開始タイミングの分布

これらの結果から、警告提示成功率に関する仮説は採択できると考えられる。また手動と半自動の警告提示操作開始タイミングを比較した結果から、早めに警告提示操作をシステムに支持できる半自動システムを使用する際には特性を理解し、半自動の恩恵が得られるように行動を変えることが確認できた。

#### 4.4.2. 心理的負担

支援者に掛かる心理的負担に関する仮説 B)では、手動での警告提示は難易度が高いので支援者ドライバに掛かる負担が高くなり、運転行動への悪影響が懸念された。また、共助システムの自動化レベルが上昇するほど負担は減少すると考えられた。

図 4-12 は共助システムの自動化レベル別に平均 AWWL スコアを比較した結果を示している。手動では約 80、半自動では約 50、自動では 20 以下まで AWWL が低下しており、共助システムの自動化が進むに連れ、支援者ドライバに掛かる負担は減少していることが確認できる。

多重比較の結果、以下のペアに有意差ができた。

- “手動” > “半自動” …  $p \doteq 0.2 \text{ e-}6$
- “半自動” > “自動” …  $p < 0.1 \text{ e-}7$
- “手動” > “自動” …  $p < 0.1 \text{ e-}7$

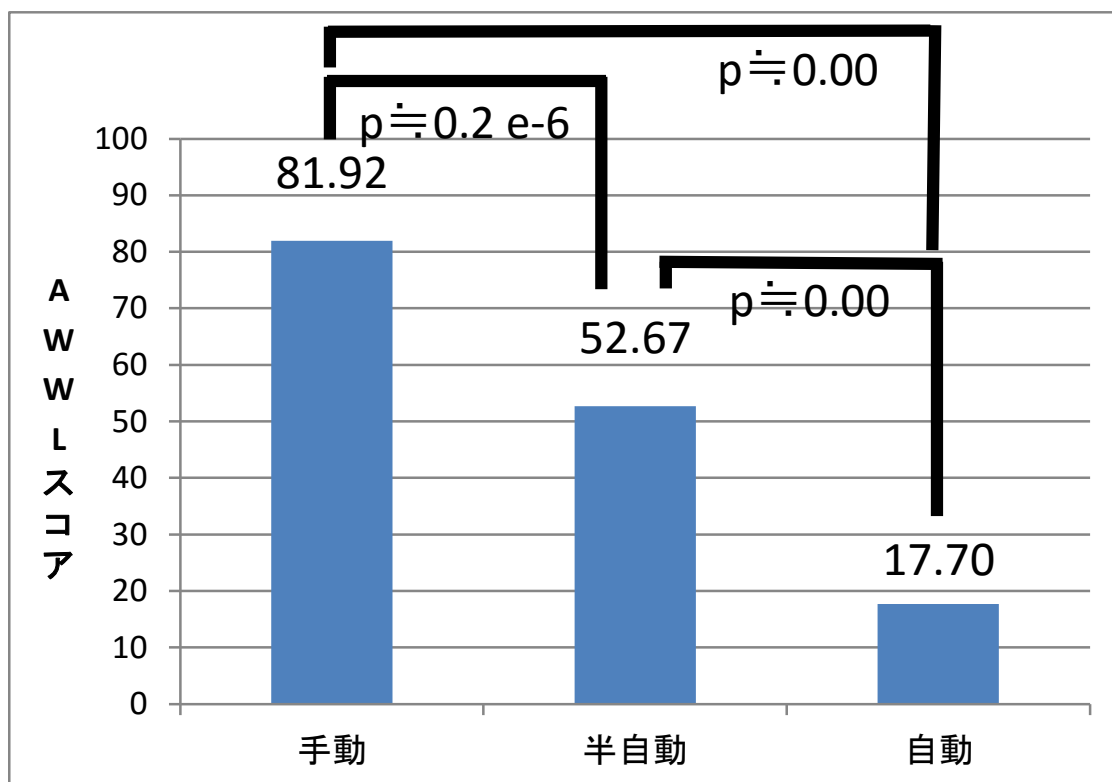


図 4-12 平均 AWWL スコア

図 4-13 は、より詳細に負担の要因を分析するために AWWL スコアを算出する際に用いたアンケートの項目別に素点の平均値を表している。

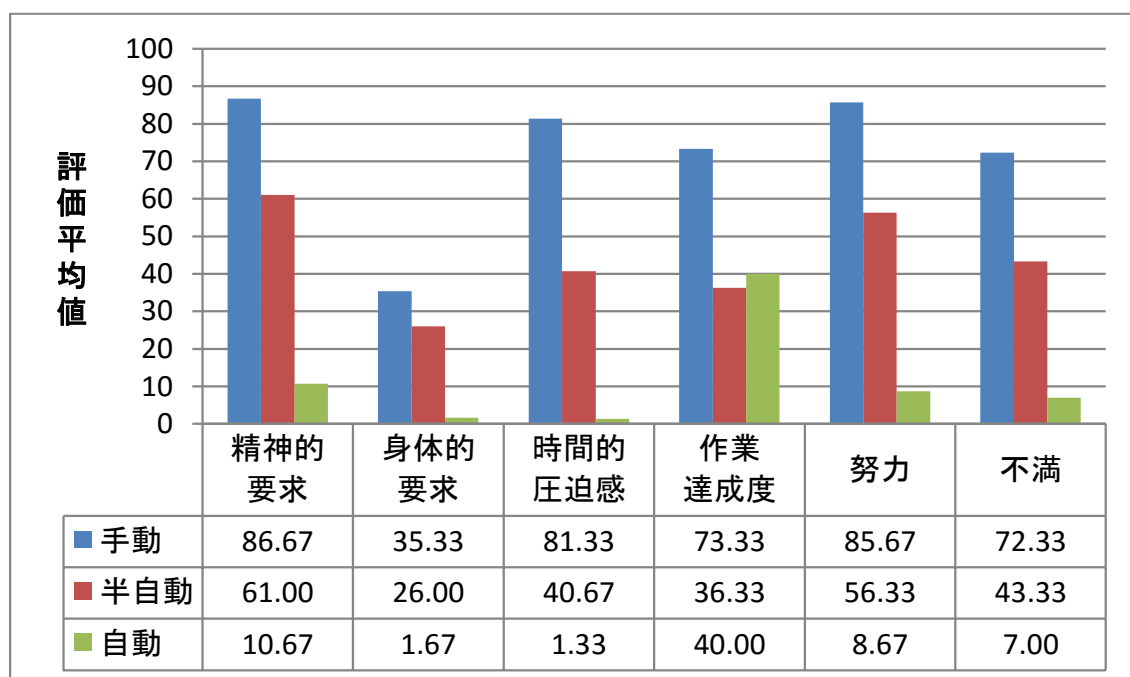


図 4-13 AWWL スコア算出用アンケートの項目別平均評価

殆どの項目で、共助システムの自動化レベルが上昇するに連れて負担も減少している。しかし、作業達成度に関しては、半自動の方が自動よりも負担が小さいという結果になった。警告提示成功率(図 4-10)が自動に比べ有意に低いにも関わらず、半自動の作業達成度が微増しているのは、ドライバが自主的に行動を起こしたことによる満足感や達成感によるものだと考えられる。

満足感や達成感が得られるような意識変化が起きれば内発的動機付けに繋がり、支援者ドライバを積極的かつ継続的な共助活動の参加へ導くことができる。これらの意識変化に関する詳しい分析は 4.4.3.に記載する。

これらの結果から、支援者ドライバに掛かる負担に関する仮説は採択できると考えられる。一方で、運転行動への負の影響に関しては、このデータのみでは検証ができないので他の観点からの分析が必要と考えられる。

### 4.4.3. 意識変化

支援活動を介した意識変化に関する仮説 C)では、手動での警告提示は他者に多くの意識を配る必要があるため、支援活動を介した意識変化は正の方向にも負の方向にも起こり易く、共助システムの自動化レベルが上昇するほど意識変化は弱まると考えられた。

図 4-14 は共助システムの自動化レベル別に意識変化の平均値を比較した結果を示している。達成感・達成感や安全意識に関しては、警告提示に自主的な部分を残した手動と半自動の方が好ましい意識変化を見ることができた。対して、不満に関しては自動が非常に低い値となっており、支援者ドライバが担当する領域が広くなるごとに不満も大きくなっていることが確認できる。

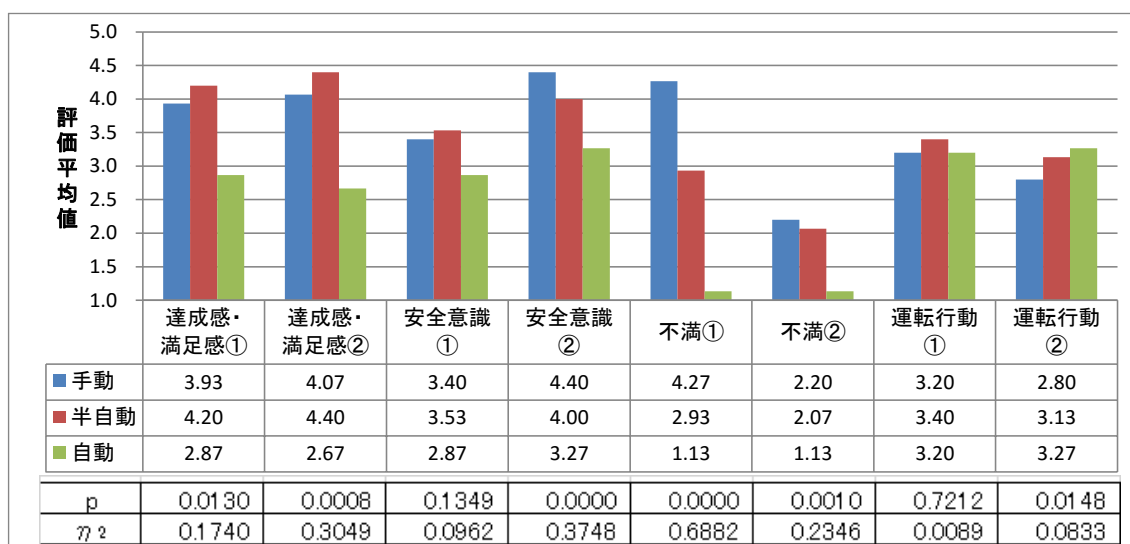


図 4-14 共助システムの自動化レベル別の意識変化

※  $p$  は有意確率、 $\eta^2$  は効果量を示す

図 4-14 では  $p$  値だけでなく、効果量として  $\eta^2$  を記述している。 $p$  値は複数グループの平均値を比較し、有意差の有無を判断するための一般的な指標であるが、サンプルサイズが多くなるほど有意差が確認し易くなる問題がある。一方で、効果量は実験的操作の効果や変数間の関係の強さを表し、サンプルサイズによって変化することのない標準化された指標とされている。心理学や教育学の分野では、この両指標を記載することが一般的となりつつある(水本ら(2008)<sup>[59]</sup>)。分散分析の効果量として用いられる  $\eta^2$  は以下のように算出される。

$$\eta^2 = \frac{\text{対象要因の平方和 } (SS_{\text{effect}})}{\text{全体平方和 } (SS_{\text{total}})}$$

各項目に対して自動化レベルが与える効果量を水本ら(2008)<sup>[59]</sup>によって報告された目安を用いて判断すると、 $\eta^2 \geq 0.14$  の満足感・達成感①②、安全意識②、不満①②で効果量が大きいと言える。続いて、 $0.14 > \eta^2 \geq 0.06$  の安全意識①と運転行動②は中程度であり、 $\eta^2 < 0.01$  の運転行動①では効果量が殆ど無いと考えられる。最も効果量が大きいのはシステムの操作負荷に対する不満であり、自動化レベルを適切に設定することで大きく不満を減少させることが可能と考えられる。次いでリスク認知に対する安全意識が高く、ドライバの意識改善にも大きな効果を与えることが予測される。一方で、認知面での運転に対する効果量は殆ど無いので、他者に警告を提示することでドライバに掛かる負担が通常の運転行動に悪影響を与える可能性は低いと考えられる。

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差が見られなかった) また、多重比較における効果量として用いられる  $r$  は以下で算出され、 $r \geq 0.5$  で効果量が大きい、 $0.5 > r \geq 0.3$  で効果量が中程度、 $0.3 > r \geq 0.1$  で効果量が小さく、 $r < 0.1$  で効果量がほとんどないと考えられている。

$$r = \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + df}}$$

#### 満足感・達成感①(システムを適切に使用したことによる)

- “手動” > “自動” …  $p \doteq 0.023$ ,  $r \doteq 0.542$
- “半自動” > “自動” …  $p \doteq 0.005$ ,  $r \doteq 0.627$

#### 満足感・達成感②(他者を支援したことによる)

- “手動” > “自動” …  $p \doteq 0.003$ ,  $r \doteq 0.661$
- “半自動” > “自動” …  $p \doteq 0.3 \text{ e-}3$ ,  $r \doteq 0.737$

#### 安全意識②(リスク認知に対する)

- “手動” > “自動” …  $p \doteq 0.2 \text{ e-}5$ ,  $r \doteq 0.850$
- “半自動” > “自動” …  $p \doteq 0.5 \text{ e-}3$ ,  $r \doteq 0.722$

#### 不満①(システムの操作負荷に対する)

- “手動” > “半自動” …  $p \doteq 0.5 \text{ e-}4$ ,  $r \doteq 0.786$
- “手動” > “自動” …  $p < 0.1 \text{ e-}7$ ,  $r \doteq 0.948$
- “半自動” > “自動” …  $p \doteq 0.6 \text{ e-}6$ ,  $r \doteq 0.864$

#### 不満②(システムの動作に対する)

- “手動” > “自動” …  $p \doteq 0.6 \text{ e-}6$ ,  $r \doteq 0.720$
- “半自動” > “自動” …  $p \doteq 0.2 \text{ e-}2$ ,  $r \doteq 0.672$

#### 運転行動②(操作面における影響)

- “手動” > “自動” …  $p \doteq 0.5 \text{ e-}2$ ,  $r \doteq 0.631$

ここまでの分析結果は意識変化の調査のみを対象としているが、ここからは4.4.2.で検証した支援者に掛かる心理的負荷と意識変化の関係性について、以下に示す特徴的な3つの分析結果について記していく。

- (1) AWWL スコアと安全意識②
- (2) AWWL スコアと安全意識①
- (3) AWWL スコアと不満①

Scatter plot showing the relationship between AWWL Score (X-axis) and Risk Recognition (Y-axis) for three groups: Manual (手動), Semi-automatic (半自動), and Automatic (自動). The correlation coefficient is  $R=0.59$ .

Group	AWWL Score	Risk Recognition
手動	78	5.0
手動	85	5.0
手動	88	4.0
手動	90	4.0
手動	92	4.0
手動	95	5.0
手動	98	5.0
半自動	40	5.0
半自動	45	4.0
半自動	48	4.0
半自動	52	4.0
半自動	55	5.0
半自動	60	5.0
半自動	65	5.0
半自動	68	4.0
半自動	72	3.0
半自動	75	4.0
半自動	78	4.0
自動	5	3.0
自動	8	3.0
自動	12	3.0
自動	15	4.0
自動	18	4.0
自動	20	3.0
自動	22	4.0
自動	25	4.0
自動	28	3.0
自動	30	3.0
自動	35	3.0

上記から負担が高くなるほど、リスク認知に対する安全意識は高くなる傾向が明らかになったが、図 4-14 の結果から運転操作に対する安全意識に関しては、手動が最も好ましい意識変化を起こしている訳ではないと見て取れる。

71



示唆している。対して半自動では運転操作に対する安全意識が安定して高くなっていることが見て取れる。この結果から、支援者ドライバの負担を高めることが必ずしも好ましい意識変化に繋がるとは言えない。この図では左上の領域が理想的であるが、自動では運転操作に対する安全意識を高めることが難しくそうであり、半自動の負担を軽減することが適切な解決策だと考えられる。

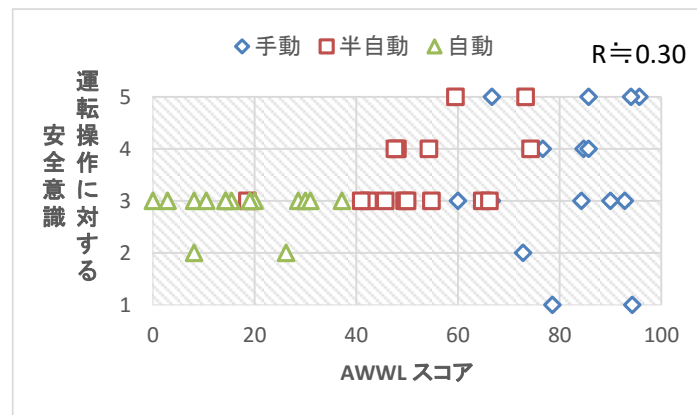


図 4-16 AWWL スコアと運転操作に対する安全意識①の相関

図 4-17 は AWWL スコアとシステムの操作負荷に対する不満の散布図を示しており、相関  $r \doteq 0.80$  で有意に相関があると言える。手動が操作負荷・不満共に高い値を示しており、共助システムの自動化レベルが上昇するに連れ双方が低下していることが見て取れる。

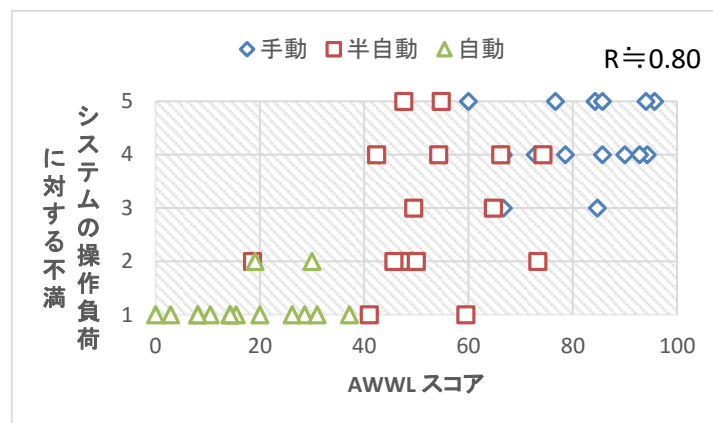


図 4-17 AWWL スコアと不満①の相関

これらの結果から、意識変化に関する仮説は概ね採択できると考えられる。ただし、手動による警告提示が最も好ましい意識変化をもたらすとは限らないので、共助システムは部分的に自動化された適切な自動化レベルで活用されるべきと考えられる。

#### 4.4.4. 責任と貢献

仮説では、手動での警告提示はドライバが担当する領域が広いため、事故が起きた際の責任や事故を回避した際の貢献を強く感じ、共助システムの自動化レベルが上昇するほど支援者が感じる責任や貢献は弱まると考えられた。

図 4-18 は事故に関する責任の所在を複数回答で、図 4-19 は単一回答で調査した結果を示している。(その他を選択した被験者は 0 人)

複数回答では、全ての被験者が受援者に責任があると答えている。支援者のみに着目すると、件数の少ない中での比較だが半自動が責任を感じ易いという結果を得ることができた。対して自動では、2 名の被験者がシステムに責任があると回答しており、好ましくない責任の移譲が起こっていることが確認できた。単一回答では、自動化レベル間の結果に大きな差は見られなかった。

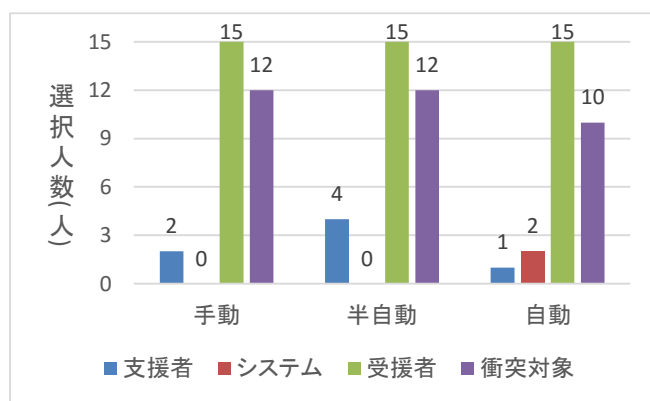


図 4-18 事故に関する責任の所在(複数回答)

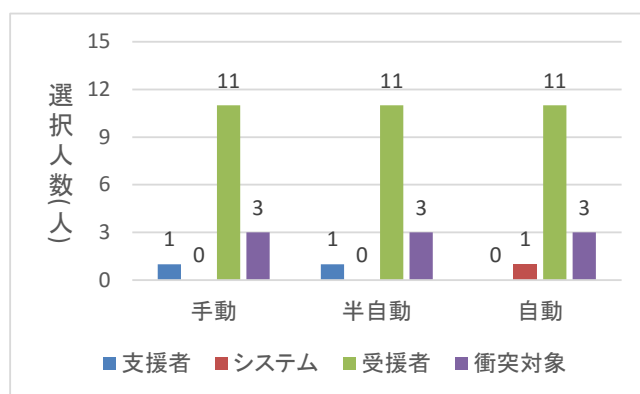


図 4-19 事故に関する責任の所在(単一回答)

このように、半自動による警告提示が支援者に責任の意識を持ってもらうことができる反面、逆に自動では責任の意識を持ち辛いことが確認できた。実際、

ある被験者が『半自動では手動よりもシステムの補助を受けることができるので、警告提示に失敗したときに自分にも責任があると感じるようになった。』と自由記述に回答していることから、支援者ドライバが共助システムから受ける補助を少なくすれば責任の意識を持ち易くなる訳ではないと示唆される。

図 4-20 は事故回避に関する貢献の所在を複数回答で、図 4-21 は単一回答で調査した結果を示している。(その他を選択した被験者は 0 人)

複数回答では、手動と半自動において全ての被験者が支援者は事故の回避に貢献していると答えている。対して自動では支援者が貢献していると回答した被験者は 1/3 のみであった。加えて自動は、単一回答においても貢献したのはシステムであると回答した人数が最も多かった。

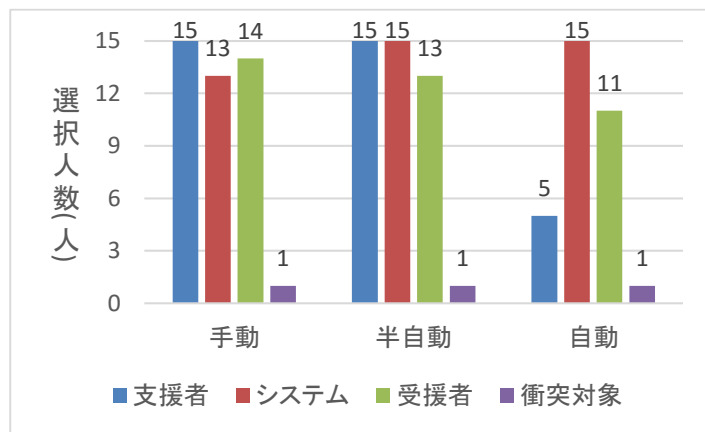


図 4-20 事故回避に関する貢献の所在(複数回答)

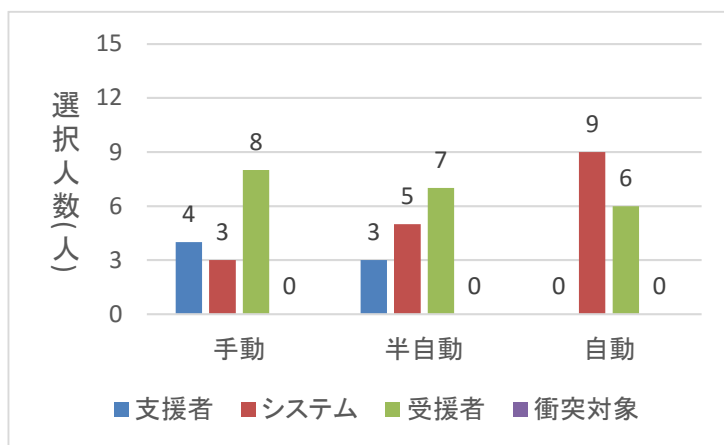


図 4-21 事故回避に関する貢献の所在(単一回答)

このように、自動による警告提示では手動・半自動より支援者に共助活動によって他者の安全に貢献したという意識を持って貰うことは難しいことが明らかになった。また、手動と半自動には殆ど違いが無いことも明らかになった。

ここまでの分析結果は責任と貢献の調査のみを対象とした分析結果であるが、ここからは 4.4.3 で分析した意識変化と責任と貢献の関係性についての分析結果を記していく。

図 4-22 は責任に関する複数回答で、支援者に責任があると回答した走行で得られた意識変化の結果と、責任がないと回答した走行で得られた意識変化の結果の比較を示している。全 8 項目の中、約半数の項目で責任を感じたときの方が好ましい意識変化が見られたが、不満に関する項目では殆ど差が見られなかった。

各項目に対して責任意識の有無が与える効果量は、運転行動①では大きく、達成感・満足感②では中程度、達成感・満足感①と安全意識②では小さい。それ以外の項目においては、効果量は殆ど無いと考えられる。最も効果量が高いのは認知面における運転行動への影響である。これは周辺他者の安全に関する責任意識を持つことで、普段の運転よりも広い範囲のリスクを認知しようと心掛け、自身の運転行動にも好影響が及んだのではないかと考えられる。次いで他者を支援したことによる満足感・達成感が高く、責任意識を持つことが他者を助けた満足感・達成感にも大きく影響し、共助活動を継続させるために有益に働くと予測される。

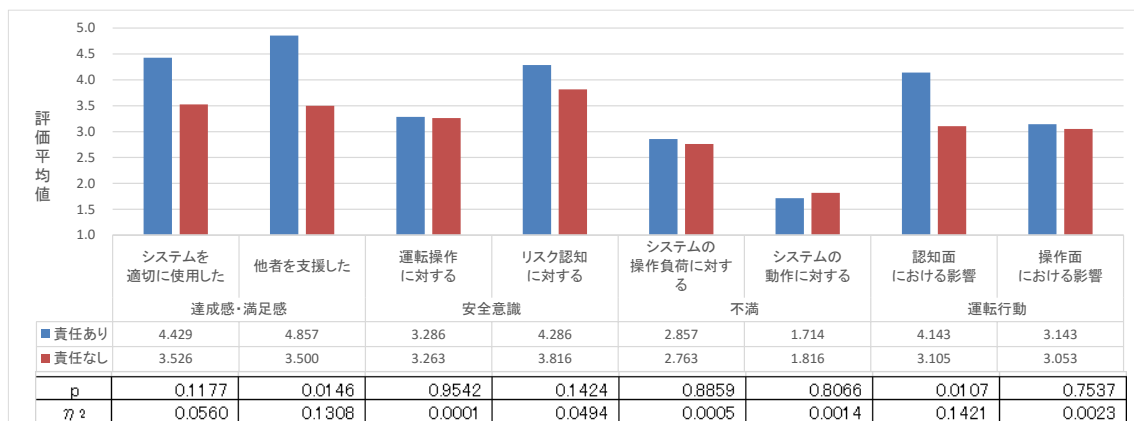


図 4-22 支援者の責任の有無で分類した意識変化

※  $p$  は有意確率、 $\eta^2$  は効果量を示す

分散分析による比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差が見られなかった)

#### 満足感・達成感②(他者を支援したことによる)

- “責任あり” > “責任なし” …  $p \div 0.015$ ,  $\eta^2 \div 0.131$

#### 運転行動①(認知面における影響)

- “責任あり” > “責任なし” …  $p \div 0.011$ ,  $\eta^2 \div 0.142$

これらの結果から、他者を支援したという達成感・満足感を高めるために責任の意識を持つことは重要であると考えられる。また、責任の意識を持つことで、認知面における運転行動にも好影響を及ぼすと考えられる。

図 4-23 は貢献に関する複数回答で、支援者が衝突回避に貢献したと回答した走行で得られた意識変化の結果と、貢献はしていないと回答した走行で得られた意識変化の結果の比較を示している。責任で分類して比較した場合(図 4-22)、貢献を感じたときの方が明らかに大きな不満を感じている点が大きな違いである。

各項目に対して貢献意識の有無が与える効果量は、達成感・満足感①②、安全意識②、不満①で大きい。次いで不満②では中程度、安全意識①は小さく、それ以外の項目では、効果量は殆ど無いと考えられる。責任意識の有無では効果量が大きいとされたのは運転行動①のみであったが、貢献意識の有無では4つの項目で効果量が大きいと判断できる。この結果から、貢献の意識が与える意識変化への効果は、責任の意識が与えるものよりも大きいと考えられる。特に、達成感・満足感や安全意識といった共助を活用することで望まれる好ましい意識変化が顕著に表れている。

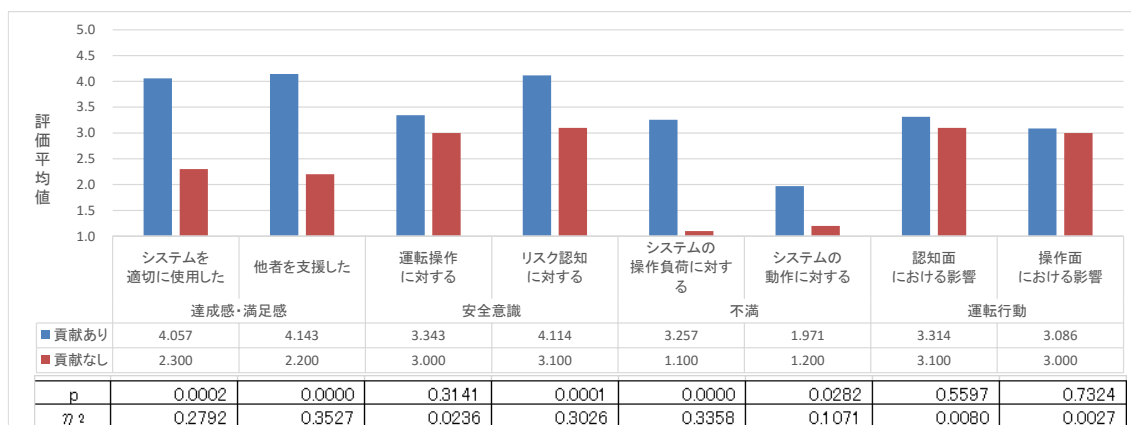


図 4-23 支援者の貢献の有無で分類した意識変化

※  $p$  は有意確率、 $\eta^2$  は効果量を示す

分散分析による比較の結果、次に示すペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差が見られなかった)

**満足感・達成感①(システムを適切に使用したことによる)**

- “貢献あり” > “貢献なし” …  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 \div 0.279$

**満足感・達成感②(他者を支援したことによる)**

- “貢献あり” > “貢献なし” …  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 \div 0.353$

**安全意識②(リスク認知に対する)**

- “貢献あり” > “貢献なし” …  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 \div 0.303$

**不満①(システムの操作負荷に対する)**

- “貢献あり” > “貢献なし” …  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 \div 0.336$

**不満②(システムの動作に対する)**

- “貢献あり” > “貢献なし” …  $p \div 0.028$ ,  $\eta^2 \div 0.107$

これらの結果から、2種類の達成感・満足感、リスク認知に対する安全意識を高めるために貢献の意識を持つことは重要であると考えられる。一方で、責任の意識を持っているときは、持っていないときに比べ多くの不満を感じていることが明らかになった。この不満は他者に対する警告提示を行う際に支援者に掛かる負担によって発生していると考えられるので、共助システムの自動化レベルを適切に設定することができれば、抑制することが可能と考えられる。

本項で得られた分析結果から、責任と貢献に関する仮説は概ね採択できると考えられる。ただし、手動による警告提示が最も好ましい変化をもたらすことはなく、ドライバが許容できる程度の負担になるように共助システムの自動化レベルを上昇させる半自動が、より好ましい変化をもたらすと考えられる。

また意識変化との関係性を分析した結果から、Trimpop(1994)<sup>[50]</sup>ではリスク目標水準を変化させるために責任を意識させることが重要と主張されたが、貢献を意識させることで、より好ましい変化を得られる可能性を示している。

#### 4.4.5. 自己実現理論における高次欲求

仮説では、共助システムを活用することで他者の安全確保に関わることができるため、社会的欲求、尊厳欲求、自己実現欲求といった高次欲求を満たすことができると考えられた。

図 4-24 は共助システムを使用して他者の安全確保に参加することで起こった意識変化の結果を示している。普段の運転に比べ“楽しさ”以外の項目で、大半の実験参加者の意識がポジティブに変化したことが見て取れる。

“有意義”でポジティブな結果が得られたことは、支援者の内発的動機付けに働きかけることが出来た結果と考えられる。“社会貢献”や“援助”でのポジティブな意識変化は、自己実現理論の社会的欲求や尊厳欲求に働きかけることが出来た結果と考えられる。一方で、“楽しさ”ではポジティブな意識変化がほとんど見られず、自己実現欲求に働きかけることは難しかったと考えられる。

“確認サイン”（※警告提示が成功した際、受援者からお礼のクラクションが鳴らされる）でのポジティブな意識変化は、支援者と受援者の間でコミュニケーションを行うことで、より高いレベルで内発的動機付けや高水準欲求に働きかけることができる可能性を示している。“必要性”に関しては、全ての実験参加者がポジティブな回答をしており、共助のシステムは体感することで、その必要性を強く感じることはできるのではないかと考えることができる。

これらの結果から、高水準欲求に関する仮説は概ね採択できると考えられる。ただし、自己実現欲求を満たすには更なる工夫が必要である。

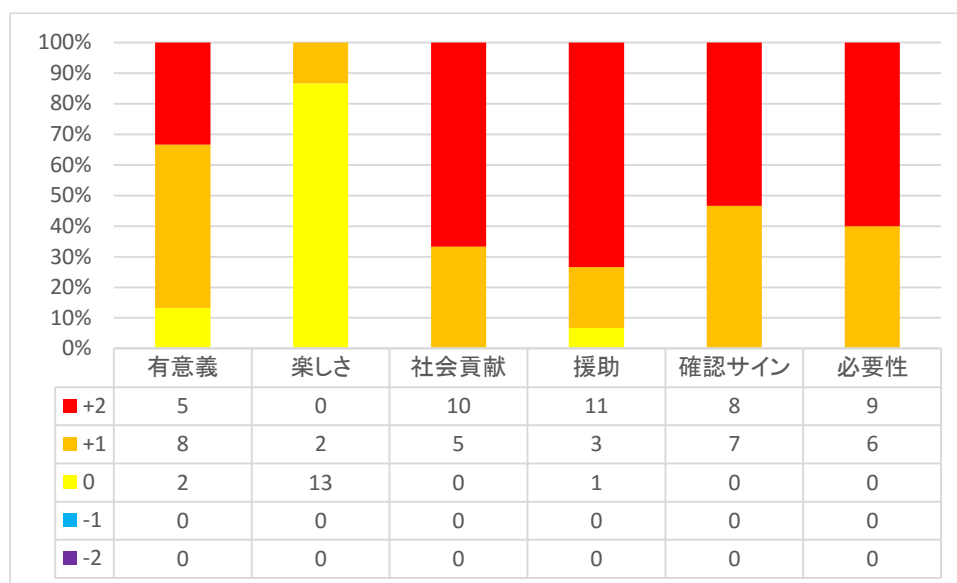


図 4-24 自動化レベルで区別しない共助システムの評価

## 4.5. 支援者実験のまとめ

本章では、右直事故が起きやすい状況において事故のリスクが及びそうな対向車両に警告提示を行う支援者の行動と意識変化を分析及び考察することで、共助システムが支援者に及ぼす効果と有効性を検証した。結果として 4.3. に記した仮説に対して以下の結論を得た。

警告提示成功率は、共助システムの自動化レベルの上昇に伴い上昇する。また手動と半自動の警告提示操作開始タイミングを比較した結果から、支援者ドライバはシステムの特性を理解し、より良い結果が得られるように行動を変えることが確認できた。

警告提示を行う際に支援者ドライバに掛かる負担は、共助システムの自動化レベルの上昇に伴い減少する。

支援活動を介した意識変化は、支援者活動に自主的な部分を残した方が正の方向にも負の方向にも変化が起こり易いが、共助システムの狙いである達成・満足感や安全意識に関しては好ましい変化が起こっていることが明らかになった。ただし、手動による警告提示が最も好ましい意識変化をもたらすとは限らないので、共助システムは部分的に自動化された適切な自動化レベルで活用されるべきだと考えられる。

支援活動を介した責任と貢献の意識は、支援活動に自主的な部分を残した方が強く感じられることが明らかになった。ただし、手動による警告提示が最も好ましい変化をもたらすことはなく、ドライバが許容できる程度の負担になるように共助システムの自動化レベルを上昇させることで、より好ましい変化を得られると考えられる。

共助システムを活用することによる高水準欲求への働きかけは、社会的欲求と尊厳欲求のレベルまでは働きかけることが可能だが、自己実現欲求に働きかけるまでには至らなかったため、共助活動に参加することが喜びに繋がるような更なる工夫(フィードバックシステム等)が必要であると考えられる。

本章の分析結果から、共助システムの自動化レベルが高くなると警告提示成功率が上昇し、ドライバの負担が軽減されることがデータとして示された。一方で、リスク目標水準を低下させるために重要な意識変化などは、ドライバが自主的に行動する部分を残した方が好ましい変化を得られるという結果が示された。

これまでの分析結果は受援者と支援者を分けて実施した実験で得られた結果であり、次章では両者を同時に行う負荷の高い状況での効果について検証を行う。



## 5. 現実に近い状況における共助システムの効果

第3章では受援者、第4章では支援者に共助システムが与える効果について検証した。本章では、受援者と支援者の両方の役割を担う必要があるシナリオ、つまりこれまでの実験に比べより現実的な状況において共助システムがシステムユーザに与える効果を検証する。そのために行う実験の目的、実施方法、仮説、結果及び考察について述べる。

### 5.1. 両者実験の目的

前章までの2つの実験は、受援者と支援者の立場を分離して実施したため、共助システムがそれぞれに与える効果を検証することに適していた。しかし、共助システムが現実的に使用される状況を想定すると、共助システムユーザは交通状況に応じて受援者と支援者の両方の役割を担う必要があり、心理的負荷の増加が予測される。

また、第3章及び第4章では交差点で起こる代表的な事故である右直事故を対象として共助システムの効果を検証してきた。しかし、共助システムがリスク軽減に有効な場面は出会い頭事故など他にも存在すると考えられる。様々な状況に対応するためにドライバは意識を分散させる必要があるため、衝突率の上昇や警告提示成功率の低下が予測される。

上記のことから、本実験では共助システムユーザが受援者と支援者の両方の役割を担い、右直事故以外の事故事例にも対応する必要がある、より一般的な運転状況下における共助システムの有効性を明らかにする。具体的には以下の5項目を検証し、それらを基にドライバが適切に活用することができる共助システムの自動化レベルを明らかにすることを目的とする。

- A) 警告提示の成功率はどの程度か
- B) 共助システムを活用することで掛かる負担はどの程度か
- C) 共助システムを活用することで起こる意識変化はどの程度か
- D) 共助システムを活用することで感じる責任や貢献の意識はどの程度か
- E) リスク目標水準を低く保つような運転行動は見ることができるか

## 5.2. 両者実験の実験方法

本節では、5.1.に記した5項目を明らかにするために実施する実験の方法について、想定する状況、想定するシステム、実験の概要、実験で使用する機器、実験で得られたデータの評価方法の順に記す。

### 5.2.1. 両者実験の想定状況

本実験では右直事故以外の事故へも対応が求められる状況下での共助システムの効果と有効性を検証するため、これまでの実験で実施した右直事故に加え、被験者が受援者の役割を担う状況で1つ、支援者の役割を担う状況で1つ、両方を同時に担う状況で1つを加え実験を実施する。以下に追加した3つの想定状況を説明する。

1つ目のイベントとして、図5-1は被験者が受援者の役割を担う状況である“バス追い越し”の状況を示している。この状況では、被験者の前方に停車している路線バス(支援者)を追い越す際に、対向車線の車両(衝突対象)と衝突の危険があれば路線バスから警告が提示される。被験者には路線バスから提示される警告を認知して減速操作を行うことで衝突を回避することが求められる。



図 5-1 バス追い越し(受援者)

2 つ目のイベントとして、図 5-2 は被験者が支援者の役割を担う状況である“飛び出し”の状況を示している。この状況では、被験者の前方に脇道から車両(衝突対象)が飛び出してくる。被験者は減速を行い飛び出してくる車両との衝突を避けるだけでなく、後続車両(受援者)に対して警告提示を行うことで自身(支援者・衝突対象)との追突を防ぐことが求められる。このような状況では支援者ドライバーがブレーキペダルを踏んだ際に提示されるテールランプやストップランプが警告提示手段として既に実用化されているが、支援者と受援者の車間距離や車間時間が不十分な場合には追突を避けることが難しくなる。対して、共助システムでは支援者がブレーキペダルを踏むよりも早い段階で受援者に対する警告を提示することが可能となるので、追突の回避が容易になると考えられる。図 2-5 に示したように、多くのドライバーは自身が思っているよりも実際の車間時間が短くなる傾向があるので、共助システムは有効に作用すると考えられる。

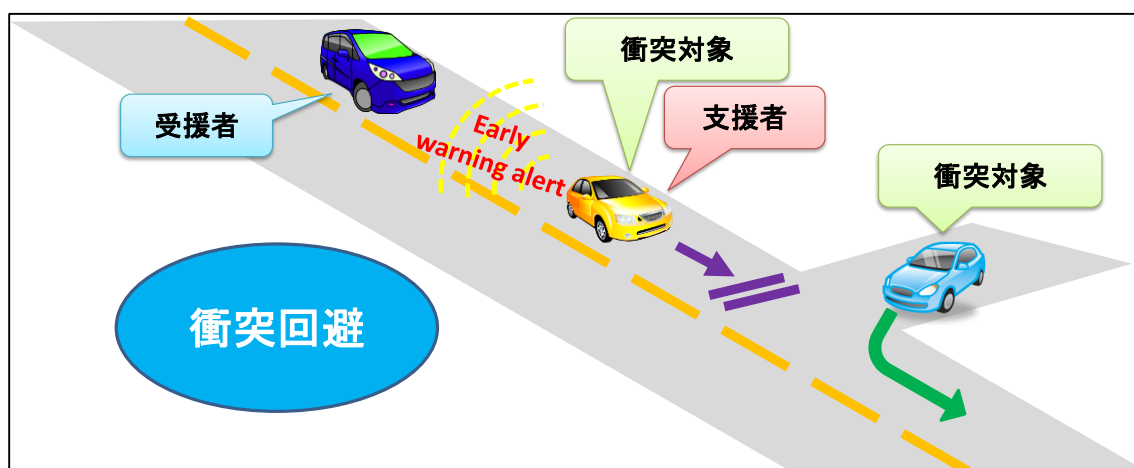
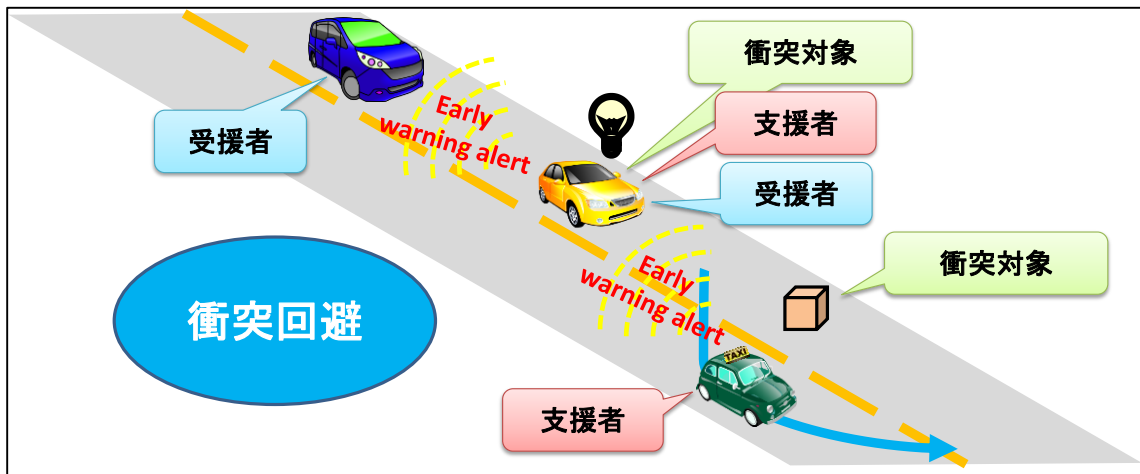


図 5-2 飛び出し(支援者)

ここまでは、あるイベントにおいて被験者が担う役割は、受援者か支援者のどちらか1つであった。しかし現実には、受援者と支援者の役割を連続して担う状況が存在する。そこで3つ目のイベントとして、図 5-3 に示す“障害物回避”の状況を追加する。この状況では、被験者は先行車両(支援者)の更に前方に在る障害物を先行車両と後続車両(受援者)と協力しながら障害物を回避することが必要となる。即ち、被験者は先行車両からの警告を認知し障害物を回避すると同時に、後続車両に対して警告提示を行うことで自身(受援者・支援者・衝突対象)や障害物(衝突対象)との追突を防ぐことが求められる。



### 5.2.2. 両者実験の想定システム

5.2.1 に記したように 3 つの想定状況が追加されたが、想定システムに関してはこれまでと同様の警告提示システムである。

### 5.2.3. 両者実験の概要

以下に実験の概要を記す。

- ◇ 日程  
2015 年 7 月 19 日～2015 年 9 月 7 日
- ◇ 被験者  
報酬が支払われた外部からの参加者  
男性 9 名、女性 6 名、計 15 名(25～44 歳[学生 0 名])
- ◇ 場所（受援者側・支援者側実験と同じ）  
国立大学法人 電気通信大学  
東 2 号館 512 ドライビングシミュレータ室
- ◇ 実験装置  
三菱プレシジョン製の室内定置ドライビングシミュレータ
  - ✓ システム構成図(図 5-4 参照)
  - ✓ ドライビングシミュレータとスクリーンの位置関係(図 5-5 参照)
  - ✓ ドライビングシミュレータの外観(図 5-6 参照)

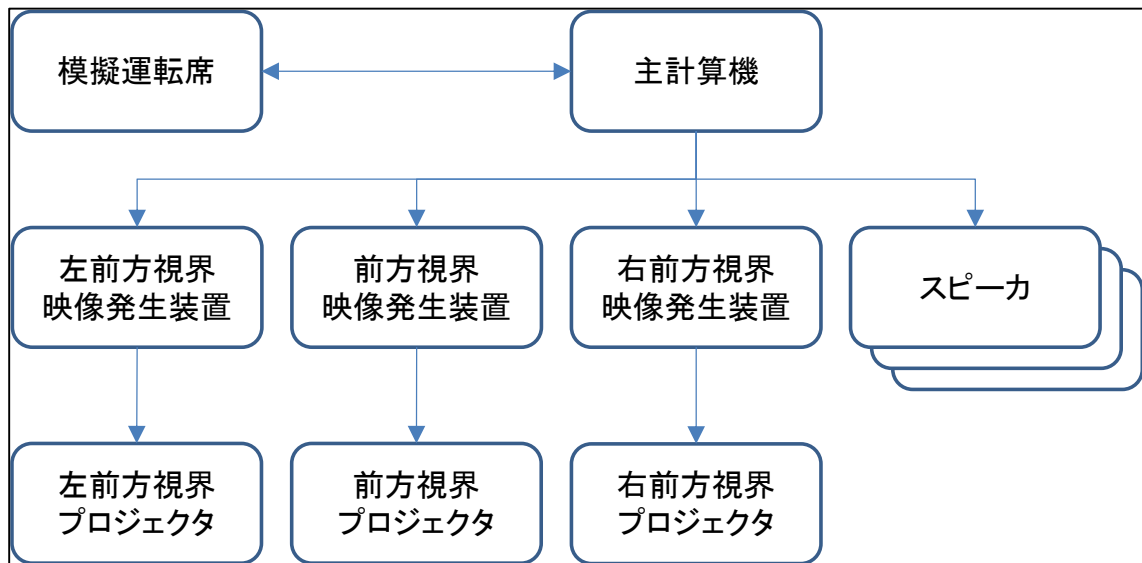


図 5-4 システム構成図

※左前方視界映像発生装置及び左前方視界プロジェクタが追加

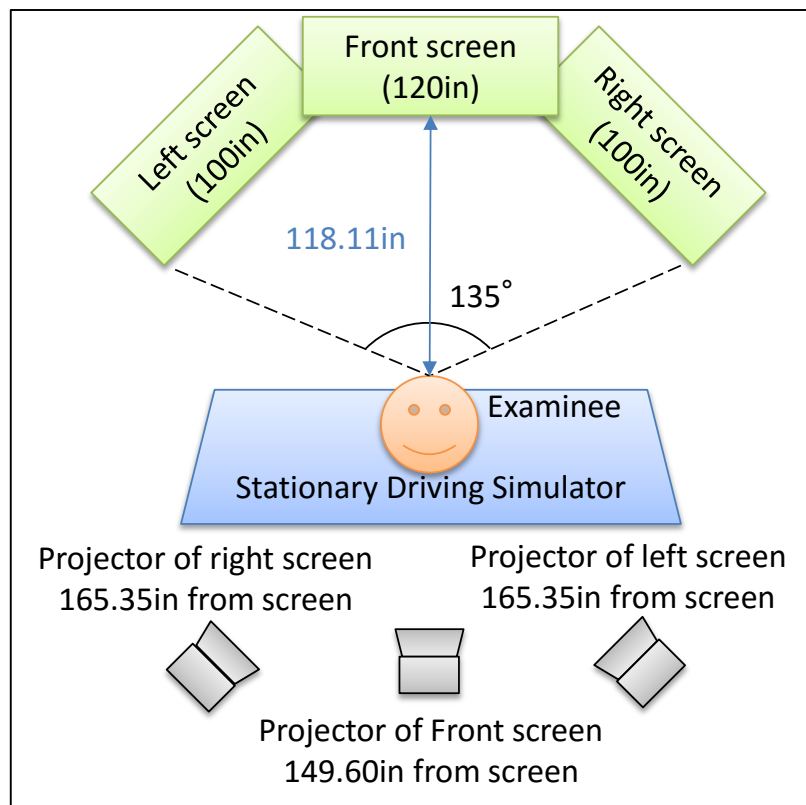


図 5-5 ドライビングシミュレータとスクリーンの位置関係

※左前方視界映像発生装置及び左前方スクリーンが追加



図 5-6 ドライビングシミュレータの外観

#### ◇ シナリオ

第 4 章で記述した支援者側の実験では手動、半自動、自動の 3 つの自動化レベルで実験を実施し、効果や有効性を比較した。結果として安全意識などを改善させるためには自主的に行動を起こす部分を残した半自動が良いが、衝突対象の接近を認知できない、もしくは認知が遅れることで警告提示操作が間に合わないといった原因から自動の場合に比べ有意に警告提示成功率が低いことも明らかになっていた。これに加え、支援者ドライバに掛かる心理的負担も自動の場合に比べ高いことも明らかになったため、警告提示成功率の上昇とドライバへの負担を軽減するために自動化レベルを適切に上昇させる必要があると考えられた。この結果から、本実験では自動化レベルが半自動と自動の間となるレベルとして、警告提示に関わる認知と判断のフェーズでもドライバを補助する新しいレベルを追加し実験を実施した。

本実験では市街地を模したコース上に 3 種類の 20～25 分程度で完走できるシナリオを用意して実施した。第 4 章では自動化レベルを手動、半自動、自動という名称を用いて区別してきたが、より細かく分類した自動化レベルを簡潔に表現するために自動化レベルⅠ～Ⅳと表すことにした。以下に第 4 章で用いた名称との対応関係及び概要を示す。本実験で実施したシナリオにおける共助システムの自動化レベルはⅡ～Ⅳである。レベルⅠは第 4 章の実験から負担が大きく不適切と判断し対象外とした。

➤ レベルⅠ(手動)

第4章の実験で用いた手動と同じ自動化レベルである。今回の実験では対象外とした。

➤ レベルⅡ(ガイド機能あり半自動)

第4章の実験で用いた半自動と同じ自動化レベルである。支援者は受援者に対して自らの判断で警告提示を指示する。警告提示を行う際、ドライバはウインカーレバーを手前に引く必要がある。ドライバは早い段階で警告提示操作を行えば、システムは警告提示タイミングが最適になるように補助を行う。

➤ レベルⅢ(ガイド機能あり半自動)

本実験で新たに追加した自動化レベルである。レベルⅡと同様、自らの判断で警告提示を指示する。ドライバに求められる操作も同様であるが、警告提示の認知と判断を助けるためのガイド機能を追加している。ガイド機能は、警告提示が必要な状況では警告を提示すべきタイミングの2秒前に衝突対象の接近を被験者に通知する。また、操作のフェーズにおける共助システムからの補助はレベルⅡと同様である。

➤ レベルⅣ(自動)

第4章の実験で用いた自動と同じ自動化レベルである。受援者に対する警告は自動的に提示される。警告提示のタイミングも自動である。

図5-7は認知、判断、操作フェーズにおいて各自動化レベルの共助システムがドライバに対してどのような補助を行うかを示している。本実験で追加した自動化レベルはⅢであり、支援者ドライバの負担を軽減しつつ警告提示の成功率を高めるために認知フェーズを自動とし、判断フェーズでも支援者の助けとなるように衝突対象の接近を通知、更に操作フェーズでも警告提示タイミングを自動化したものである。

自動化レベル	共助システムが行う補助		
	認知フェーズ	判断フェーズ	操作フェーズ
レベルⅠ (手動)	なし	なし	なし
レベルⅡ (ガイド機能なし半自動)	なし	なし	警告提示タイミング の自動化
自動化レベルⅢ (ガイド機能あり半自動)	自動	衝突対象 の接近を通知	警告提示タイミング の自動化
自動化レベルⅣ (自動)	自動	自動	自動

図 5-7 両者実験における共助システムの自動化レベルと補助内容

#### ◇ 実験順序

被験者は受援者の立場と支援者の立場を体験し、共助システムの自動化レベルの違いを理解してもらうための練習シナリオを 10 分程度走行して貰った後に、自動化レベルⅡ～Ⅳの 3 つのシナリオを実施した。各走行はデータ分析時に順序効果の影響を小さくするため、被験者ごとにシナリオの実施順序を入れ替えた。

#### ◇ 教示内容

実験中、被験者は実験実施者からの指示に従い進路を変更するが、それ以外はドライビングシミュレータ上で再現されている交通標識に従って運転するように指示を出した。

被験者には練習シナリオ開始前に図 3-4 を印刷した紙を用いて想定システムに関して説明した。車体の色が変わることによって他車両から警告が提示されることは説明するが、その警告がどのような事故のリスクに対する警告であることは伝えていない。

練習用シナリオでは右直事故の状況下で受援者の役割を 2 回、障害物回避の状況下で支援者の役割をレベルⅡ～Ⅳで各 2 回(合計 6 回)の練習をした。



#### 5.2.4. 両者実験の評価方法

5.1.に記した検証すべき 5 つの項目に対して、以下の評価方法を用いることにした。

- A) 警告提示成功率 =  $\frac{\text{警告提示成功回数}}{\text{分析対象データ数}}$  で算出し、自動化レベルごとに比較する。
- B) 支援者側の実験でも用いた Adaptive Weighted Workload (AWWL)を用いて算出し、自動化レベルごとに比較する。AWWL を算出するために用いたアンケートは第 4 章の実験で用いたものと同様(図 4-5 参照)である。
- C) 意識変化は 7 段階評価のアンケートを用いて調査する。質問項目は第 4 章の実験で用いたものと同様(図 4-6 参照)であるが、より詳細な分析を行うために 5 段階から 7 段階の評価へ変更した。
- D) 責任と貢献は実験実施者が用意した選択脚から複数、または単一回答するアンケートを用いて調査する。質問項目は第 4 章の実験で用いたものと同様(図 4-7 及び図 4-8 参照)であるが、受援者と支援者それぞれの立場から感じる責任と貢献の所在を調査した。
- E) 衝突率や警告提示成功率を算出する際に分析対象とするイベントが起こるエリアの 100m 手前と 30m 手前の自車速度を比較する。交差点や危険が迫っている 30m 手前において 100m 手前よりも速度が上昇している場合、リスク目標水準を低く保つことが出来ず、リスクテイキングな行動を取っていると判断できる。また、実際に衝突が減少したか否か検証するために衝突率 =  $\frac{\text{衝突回数}}{\text{分析対象データ数}}$  を算出し比較する。

### 5.3. 両者実験の仮説

5.1.に記した検証すべき 5 つの項目に対して、以下の仮説を立てた。

- A) 受援者と支援者の両方の役割を担う必要があるだけでなく、右直事故以外にも対応するために様々なところに意識を分散させる必要がある。そのため警告提示成功率を高く保つためには、自動化レベルをⅢ以上にする必要がある。
- B) 受援者の役割を担う必要があり、右直事故以外にも対応する必要があるため、ユーザに掛かる負担は増加する。ただし、第 4 章の実験と同様に自動化レベルを上昇させることで、ドライバに掛かる負担を軽減することが可能なので、同じ半自動であっても自動化レベルⅡよりもレベルⅢの方が心理的負担を小さくすることができる。レベルⅢでは AWWL スコアを算出する項目のなかで作業達成度を高く保ちつつ、その他の負荷を小さく留めることができるので、レベルⅣと同適度の負荷に抑えることができる。
- C) 自動化レベルⅡとⅢに起こる意識変化に違いはなく、判断のフェーズに自主的な部分を残しさえすれば共助活動による意識変化に十分働きかけることができるが、レベルⅣでは意識変化が弱まる。
- D) 自動化レベルⅡとⅢの間では責任と貢献に対する意識の違いはないが、レベルⅣではシステムへの依存が高まり、不適切な責任の委譲などによって責任や貢献に対する意識が弱まる。
- E) 自動化レベルⅡ及びⅢでは、リスク目標水準を低く保つことが可能であり、イベントエリアに進入する際には減速を行い、衝突を回避することができる。対して自動化レベルⅣではユーザのシステムへの依存が高まるため、自動化レベルⅡやⅢに比べリスク目標水準を低く保つことが難しく、イベントが起こるエリア付近における不適切な加速行動や衝突が多くなる。

## 5.4. 両者実験の分析結果及び考察

本節では、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験で得られたデータを基に、5.1.に記した検証すべき5項目を5.2.4.の分析方法を用いて分析した結果と考察について記す。

### 5.4.1. 警告提示成功率

警告提示成功率に関する仮説 A)では、高い警告提示成功率を保つためには自動化レベルⅢ以上が必要と考えられた。

図5-8は共助システムの自動化レベル別に平均警告提示成功率を比較した結果を示している。自動化レベルⅡでは平均40%以下の成功率となり、受援者が提示される警告を信頼し、減速操作を行うのは困難であると思われる。レベルⅢでは平均80%を超え、警告提示の際に認知と判断のフェーズでもドライバを補助することで成功率が大きく改善されることが確認できた。自動では100%警告提示に成功した。

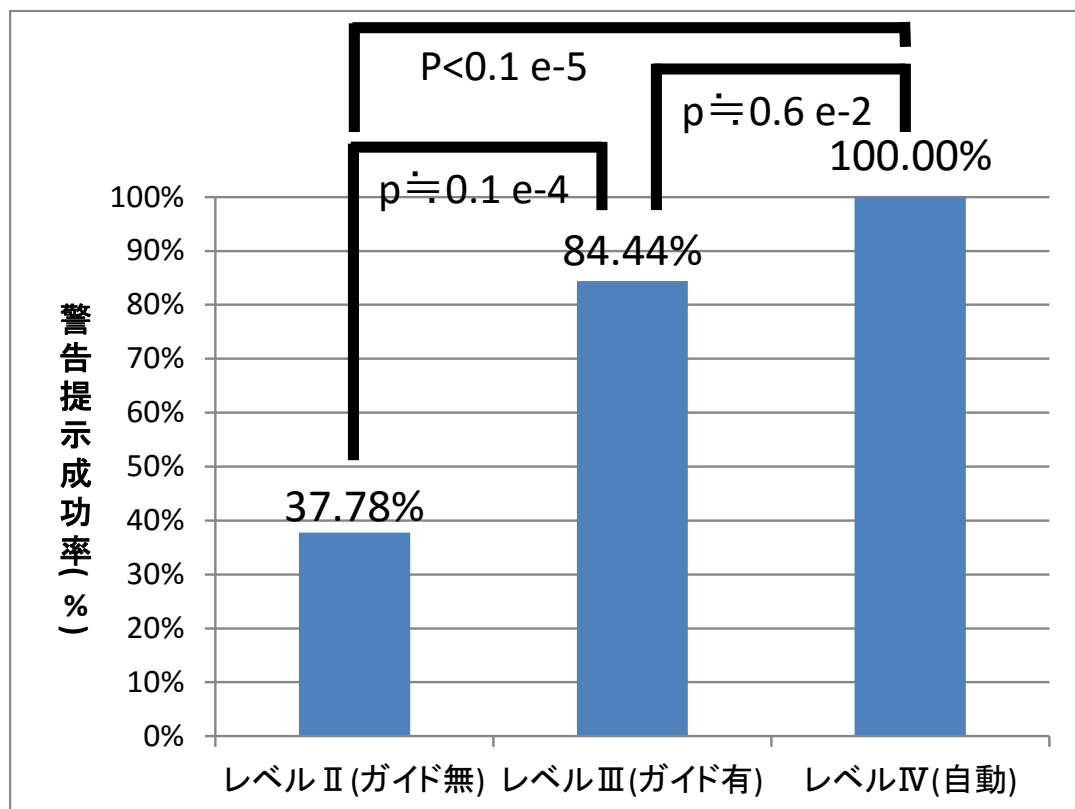


図 5-8 平均警告提示成功率

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。

- “レベルⅡ” < “レベルⅢ” …  $p \doteq 0.1 \text{ e-}4$
- “レベルⅢ” < “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.6 \text{ e-}2$
- “レベルⅡ” < “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.1 \text{ e-}5$

従って警告提示成功率は、共助システムの自動化レベルが上昇するごとに有意に上昇することが確認できた。

これらの結果から、警告提示成功率に関する仮説 A)は採択できる。また同じ半自動であっても、ガイド機能の有無によって大きく警告提示成功率は改善されることが明らかになった。ただし、ガイド機能を用いた自動化レベルⅢであっても完全な自動のレベルⅣと警告提示成功率に有意な違いがある。従って、自主的な部分を残した半自動で自動と同程度の警告提示成功率を実現するためには、自動化レベルⅢとレベルⅣの間になるような新たなレベルを設定する必要があると考えられる。新たな自動化レベルの例としては、支援者ドライバが自主的に警告を提示することも可能だが、支援者が警告提示を失敗しそうになった際には共助システムが自動的に警告を提示するというシステム仕様が考えられる。

### 5.4.2. 心理的負担

システムユーザに掛かる負担に関する仮説 B)では、自動化レベルⅡはレベルⅢとⅣより明らかに負担が高く、レベルⅢとⅣは同水準であると考えられた。

図 5-9 は共助システムの自動化レベル別に平均 AWWL スコアを比較した結果を示している。レベルⅡでは約 70、レベルⅢでは約 55、レベルⅣでは約 40 まで AWWL スコアが低下しており、共助システムの自動化が進むに連れ、支援者ドライバに掛かる負担は減少していることが確認できる。

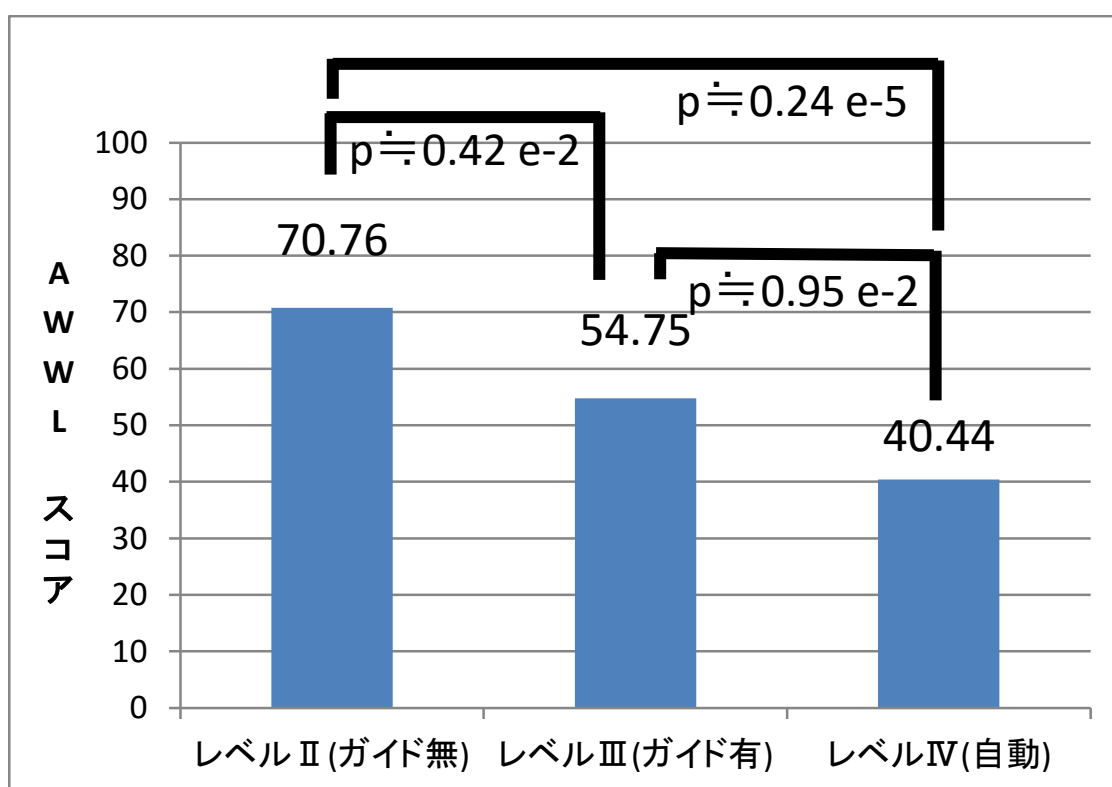


図 5-9 平均 AWWL スコア

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。

- “レベルⅡ” > “レベルⅢ” …  $p \doteq 0.42 \text{ e-}2$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.95 \text{ e-}2$
- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.24 \text{ e-}5$

図 5-10 は、より詳細に負担の要因を分析するために AWWL スコアを算出する際に用いたアンケートの項目別に素点の平均値を表している。作業達成度に関しては半自動の方が自動よりも負担が小さくなるという関係性は本実験においても変化は無かった。これは 4.4.2.でも記したように、ドライバが自主的に行動を起こしたことによる満足感や達成感によるものだと考えられ、レベルⅢの場合には更に負担が減少していることが確認できる。その他の項目では自動化レベルが上昇するごとに負担が減少している。

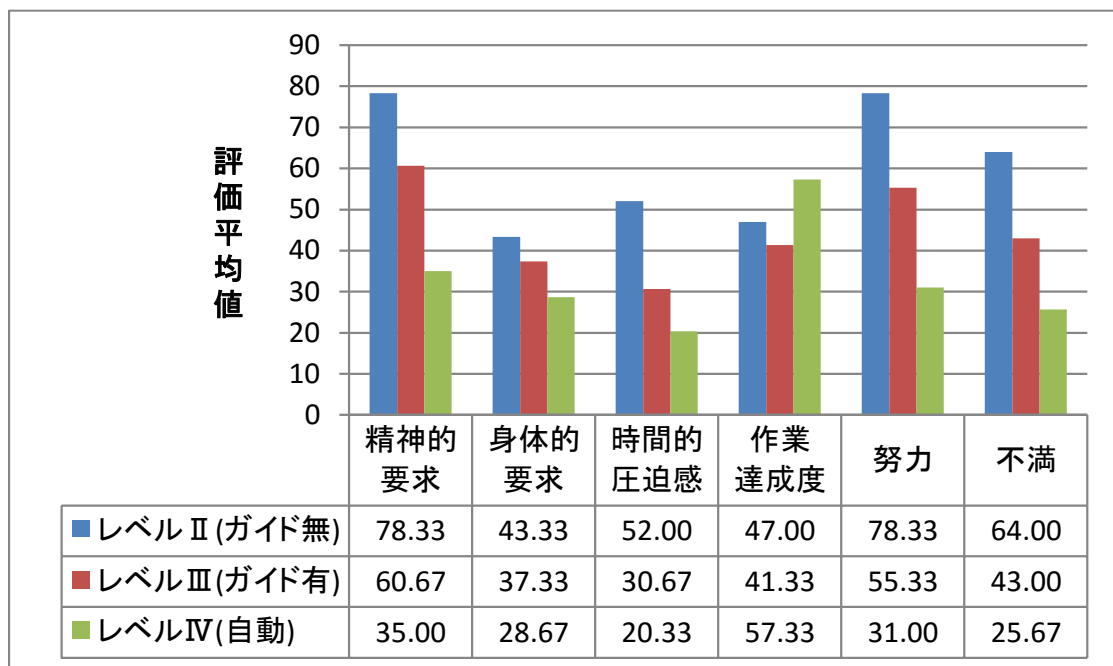


図 5-10 AWWL スコア算出用アンケートの項目別平均評価

これらの結果から、システムユーザに掛かる負担に関する仮説 B)は自動化レベルⅡとⅢの関係性については採択できるが、レベルⅢとⅣの関係性については棄却される。

警告提示に関わる認知と判断のフェーズを補助するガイド機能の有無によってシステムユーザに掛かる負担は大きく改善されることが明らかになったが、依然として半自動であるレベルⅢと完全な自動であるレベルⅣの間にはドライバに掛かる心理的な負担に有意な差がある。従って、自主的な部分を残した半自動で自動と同程度の心理的負担を実現するためには、自動化レベルⅢで完全な自動になっていない判断もしくは操作フェーズでの補助を手厚くするなど改善の余地がある。

### 5.4.3. 意識変化

意識変化に関する仮説 C)では、判断のフェーズに自主性を残した自動化レベルⅢであれば共助活動によるドライバ意識の変化に十分働きかけることができるが、自動化レベルⅣではドライバ意識に働きかけるのは難しいと考えられた。共助システムを長期的・継続的に利用させるには達成感・満足感を高め不満を低く抑えることで内発的動機づけを高め、支援者ドライバの安全意識や運転行動を改善していく必要がある。

図 5-11 は共助システムの自動化レベル別に意識変化の平均値を比較した結果を示している。支援者側の実験と同様、満足感・達成感や安全意識に関しては警告提示に自主的な部分を残した半自動の方が好ましく、不満に関しては自動が非常に低い値となっている。

各項目に対して自動化レベルが与える効果量は、達成感・満足感①②、安全意識①②、不満①②で大きい。次いで、運転行動②で中程度、運転行動①では小さいと考えられる。図 4-14 に示した支援者実験の効果と比較すると、運転操作に対する安全意識の効果量が顕著に増加した。これは受援者として自身に及ぶ危険を回避する行動を取ることで運転操作に対する安全意識がより強く変化したと考えられる。対して、システムの操作負荷に対する不満では、効果量が大きく減少した。こちらは実験内で用いた自動化レベルの幅が狭くなったことから、結果に差がつきづらくなったことが要因と考えられる。

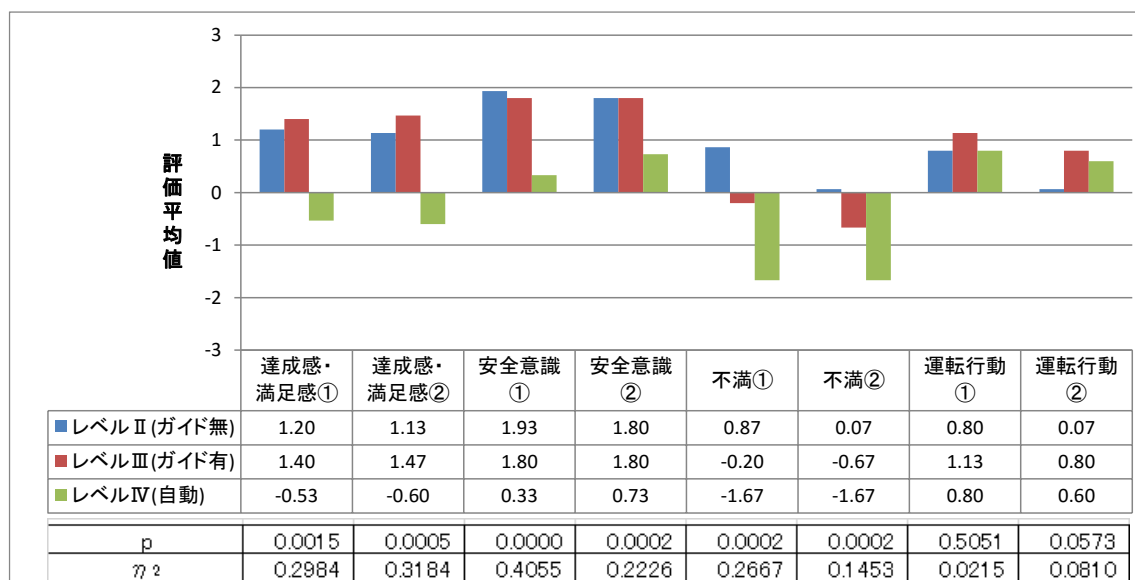


図 5-11 共助システムの自動化レベル別の意識変化

※  $p$  は有意確率、 $\eta^2$  は効果量を示す

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。(他のペアには有意差はなかった)

**満足感・達成感①(システムを適切に使用したことによる)**

- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.003$ ,  $r \doteq 0.663$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.001$ ,  $r \doteq 0.703$

**満足感・達成感②(他者を支援したことによる)**

- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.002$ ,  $r \doteq 0.682$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.27 \text{ e-}3$ ,  $r \doteq 0.744$

**安全意識①(運転操作に対する)**

- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.38 \text{ e-}5$ ,  $r \doteq 0.837$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.14 \text{ e-}4$ ,  $r \doteq 0.815$

**安全意識②(リスク認知に対する)**

- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.29 \text{ e-}3$ ,  $r \doteq 0.742$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.29 \text{ e-}3$ ,  $r \doteq 0.742$

**不満①(システムの操作負荷に対する)**

- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.34 \text{ e-}4$ ,  $r \doteq 0.797$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.008$ ,  $r \doteq 0.607$

**不満②(システムの動作に対する)**

- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.47 \text{ e-}4$ ,  $r \doteq 0.789$
- “レベルⅢ” > “レベルⅣ” …  $p \doteq 0.010$ ,  $r \doteq 0.596$

多重比較の結果として、自動化レベルⅡとⅢの間には全ての項目で有意差はなく、逆にレベルⅣとの間には運転行動以外の全ての項目で有意差が存在した。

これらの結果から、意識変化に関する仮説 C)は採択できる。平均値で比較した場合には、運転操作に関する安全意識以外ではレベルⅢの方が好ましい意識変化を見ることができ、認知フェーズを自動にしたレベルⅢであっても十分に共助活動による意識変化に働きかけることができることが確認できた。特に不満を減少させる点に関しては非常に大きな効果があることが明らかになった。一方で、自動化レベルⅣに関しては不満に関する項目が有意に低下している以外はレベルⅡとⅢの方が共助活動による好ましい意識変化があったと考えられる。



本節で分析した意識の変化、特に安全意識や不満に関しては実験中に衝突を経験するか否かによって大きく変化すると考えられた。図 5-12 は自動化レベルⅢにおいて、図 5-13 は自動化レベルⅣにおいて衝突が発生した走行と発生しなかった走行の意識変化を比較した結果を示している。比較結果として、殆ど全ての項目で有意差及び有意傾向を確認することは出来なかった。唯一、有意傾向が確認できた自動化レベルⅣのシステム動作に対する不満に関しても、図 5-11 で示した自動化レベル別に比較した結果と比べると差が小さくなっている。

それぞれの効果量に関して図 5-11 で示した自動化レベル別の結果と比較すると、自動化レベルⅢでは運転行動①で微増しているものの、効果量は共に小さく差は殆ど無いものと考えられる。自動化レベルⅣでは不満①が微増、不満②は十分な増加が見られた。これは、自動化レベルⅣの状況下でドライバのシステムに対する依存度が高まり、事故が発生した際にはシステム動作に対する不満が大きくなるものと考えられる。

	達成感・満足感		安全意識		不満		運転行動	
	システムを適切に使用した	他者を支援した	運転操作に対する	リスク認知に対する	システムの操作負荷に対する	システムの動作に対する	認知面における影響	操作面における影響
レベルⅢ 衝突経験あり	0.83	1.17	1.83	2.00	-0.33	-0.50	1.33	1.00
レベルⅢ 衝突経験なし	1.78	1.67	1.78	1.67	-0.11	-0.78	1.00	0.67
p	0.1345	0.4447	0.8976	0.4836	0.8265	0.7861	0.5703	0.6000
$\eta^2$	0.1640	0.0460	0.0013	0.0380	0.0038	0.0058	0.0250	0.0220

図 5-12 両者実験における衝突経験別の意識変化(自動化レベルⅢ)

	達成感・満足感		安全意識		不満		運転行動	
	システムを適切に使用した	他者を支援した	運転操作に対する	リスク認知に対する	システムの操作負荷に対する	システムの動作に対する	認知面における影響	操作面における影響
レベルⅣ 衝突経験あり	0.00	-1.25	0.25	1.00	-0.25	-0.50	0.75	0.50
レベルⅣ 衝突経験なし	-0.73	-0.36	0.36	0.64	-2.18	-2.09	0.82	0.64
p	0.5111	0.2962	0.8378	0.5371	0.0433	0.0957	0.8981	0.7895
$\eta^2$	0.0340	0.0830	0.0033	0.0300	0.2780	0.1989	0.0013	0.0057

図 5-13 両者実験における衝突経験別の意識変化(自動化レベルⅣ)

また衝突経験の有無と同様に実験の実施順序も意識変化に影響を及ぼすことが懸念された。図 5-14 は実験順序別に意識変化を比較した結果を示している。こちらの比較結果でも、全ての項目で有意差及び有意傾向を確認することが出来なかった。

こちらにも効果量に関して図 5-11 で示した自動化レベル別の結果と比較をしたが、各項目に対して実施順序が与える効果量が自動化レベルによる効果量を超えることは無かった。

	達成感・満足感		安全意識		不満		運転行動	
	システムを適切に使用した	他者を支援した	運転操作に対する	リスク認知に対する	システムの操作負荷に対する	システムの動作に対する	認知面における影響	操作面における影響
1回目	1.20	1.07	1.40	1.67	0.20	-0.87	0.80	0.40
2回目	0.27	0.60	1.40	1.33	-0.40	-0.87	1.00	0.67
3回目	0.60	0.33	1.27	1.33	-0.80	-0.53	0.93	0.40
p	0.3435	0.5126	0.9395	0.5337	0.3456	0.7301	0.8287	0.6484
$\eta^2$	0.0591	0.0356	0.0030	0.0217	0.0420	0.0071	0.0060	0.0134

図 5-14 両者実験における実験順序別の意識変化

衝突経験の有無と実験順序による影響を分析した結果から、これらの要因が意識変化に与える効果は共助システムの自動化レベルによって与えられる効果に比べ非常に小さい、または影響が無いと考えられる。

最後に各意識変化間の相関関係を図 5-15 に示す。最も相関が高いのは安全意識①②間の 0.786 であり、このことからリスク認知に対する安全意識が高まると運転操作に対する安全意識も高まると考えられる。

	達成感・満足感②	安全意識①	安全意識②	不満①	不満②	運転行動①	運転行動②
達成感・満足感①	0.665	0.454	0.357	0.364	0.356	0.206	0.178
達成感・満足感②		0.490	0.398	0.296	0.280	0.086	0.144
安全意識①			0.786	0.372	0.336	0.336	0.129
安全意識②				0.090	0.080	0.268	0.177
不満①					0.715	0.007	0.034
不満②						0.044	0.095
運転行動①							0.705

図 5-15 両者実験における意識変化を調査した各項目間の相関係数

#### 5.4.4. 責任と貢献

責任と貢献に関する仮説 D)では、自動化レベルⅡとⅢの間には違いはないが、レベルⅣでは責任や貢献に対する意識が弱まると考えられた。

図 5-16 は受援者の立場から見る事故に関する責任の所在を複数回答で、図 5-17 は単一回答で調査した結果を示している。また図 5-18 は受援者の立場から見る事故回避に関する貢献の所在を複数回答で、図 5-19 は単一回答で調査した結果を示している。(その他を選択した被験者は 0 人)

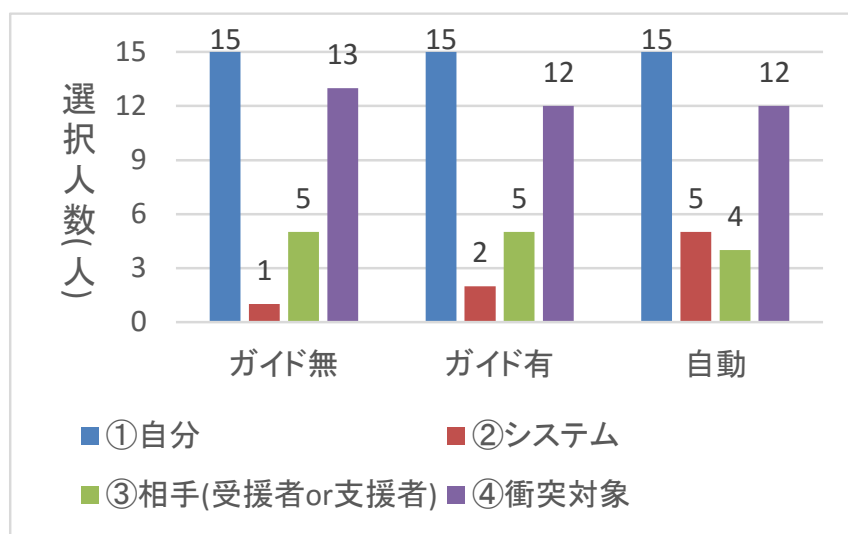


図 5-16 受援者の立場から見る事故に関する責任の所在(複数回答)

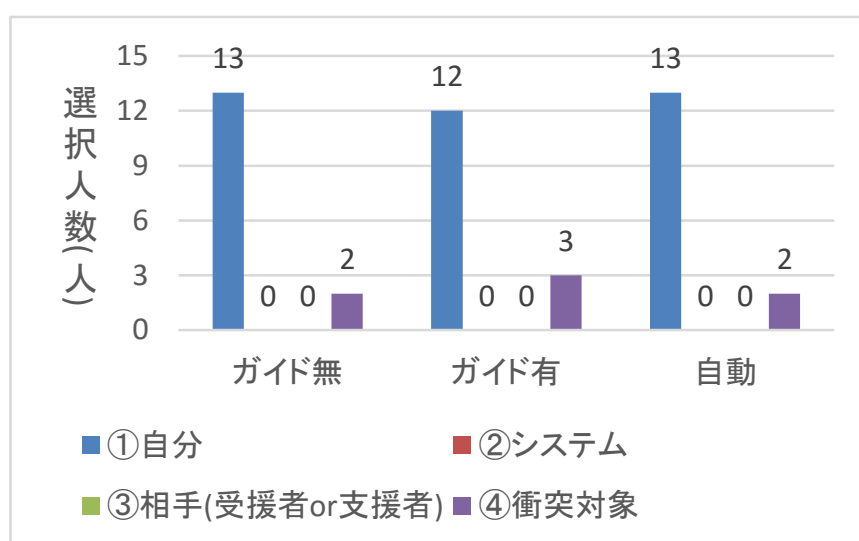


図 5-17 受援者の立場から見る事故に関する責任の所在(単一回答)

責任に関する複数回答では、全ての被験者が自分自身(受援者)に責任があると答えている。共助システムの自動化レベルが異なっても、自分、相手、衝突対象を選択した人数に殆ど差は無かった。システムに着目すると、半自動では選択する被験者が殆どいないのに対し、自動では 1/3 の被験者が選択している。この結果から、受援者の立場であっても支援者側の実験と同様に、共助システムの自動化レベルが高すぎると好ましくない責任の移譲が起こり易くなることが確認できた。なお、単一回答では結果に大きな差は見られなかった。

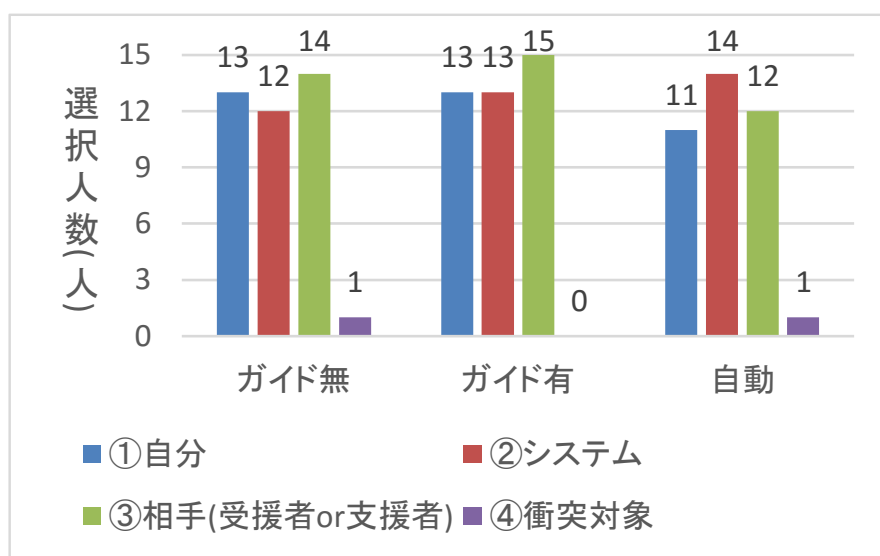


図 5-18 受援者の立場から見る事故回避に関する貢献の所在(複数回答)

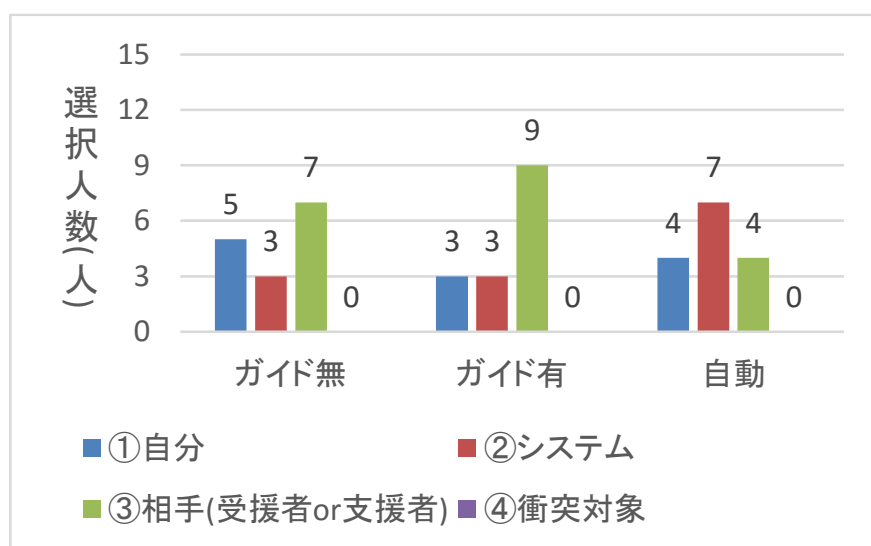


図 5-19 受援者の立場から見る事故回避に関する貢献の所在(単一回答)

貢献に関する複数回答では、半自動に比べ自動において相手(支援者)が貢献しているという意識を持つ被験者が少なくなっている印象を受ける。これは単一回答において同様の傾向が見られるが、自動では特に相手(支援者)を選択する被験者が少ない分、システムを選択する被験者が多い。この結果から、共助システムの自動化レベルが高すぎると他者からの支援を受けていること、他者と助け合って安全を確保しているという意識が弱くなる可能性があると考えられる。

図 5-20 は支援者の立場から見る事故に関する責任の所在を複数回答で、図 5-21 は単一回答で調査した結果を示している。また図 5-22 は支援者の立場から見る事故回避に関する貢献の所在を複数回答で、図 5-23 は単一回答で調査した結果を示している。(その他を選択した被験者は 0 人)

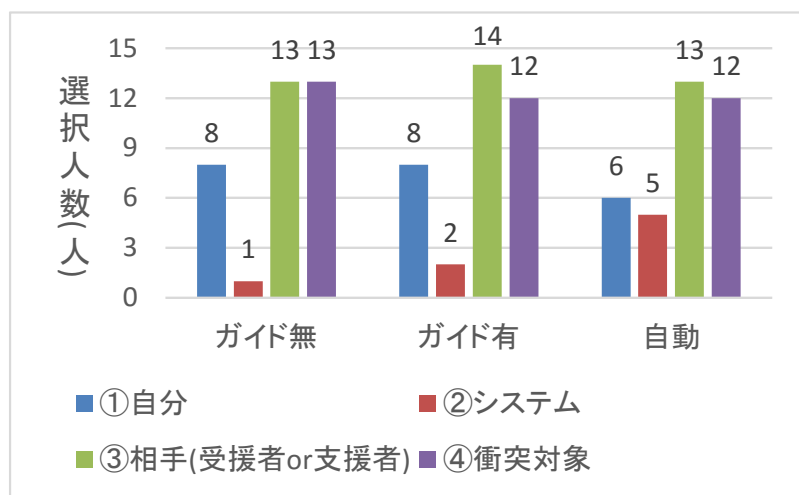


図 5-20 支援者の立場から見る事故に関する責任の所在(複数回答)

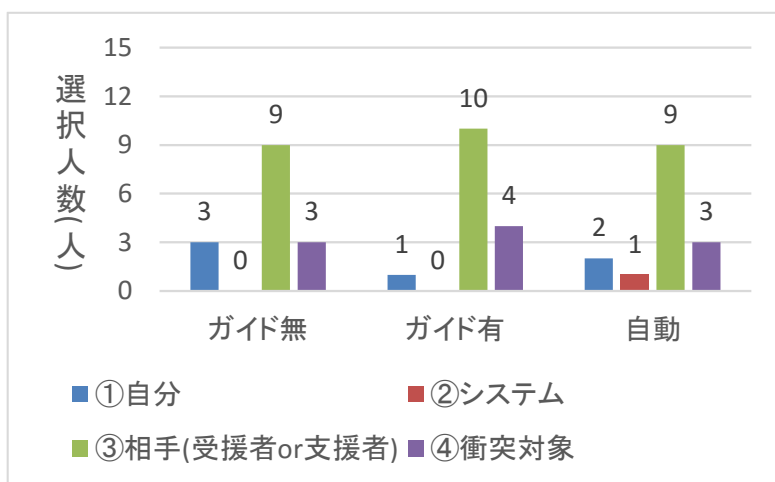


図 5-21 支援者の立場から見る事故に関する責任の所在(単一回答)

責任に関する複数回答において、自分自身(支援者)、相手(受援者)、衝突対象に責任があるという意識を持つ被験者の数に大きな違いは見られなかった。一方で、システムに着目すると、自動化レベルⅡとⅢでは選択する被験者が殆どいないのに対し、レベルⅣでは 1/3 の被験者が選択している。この結果から、支援者の立場であっても受援者の立場と同様に、共助システムの自動化レベルが高すぎると好ましくない責任の移譲が起こり易くなることが確認できた。なお、単一回答では結果に大きな差は見られなかった。

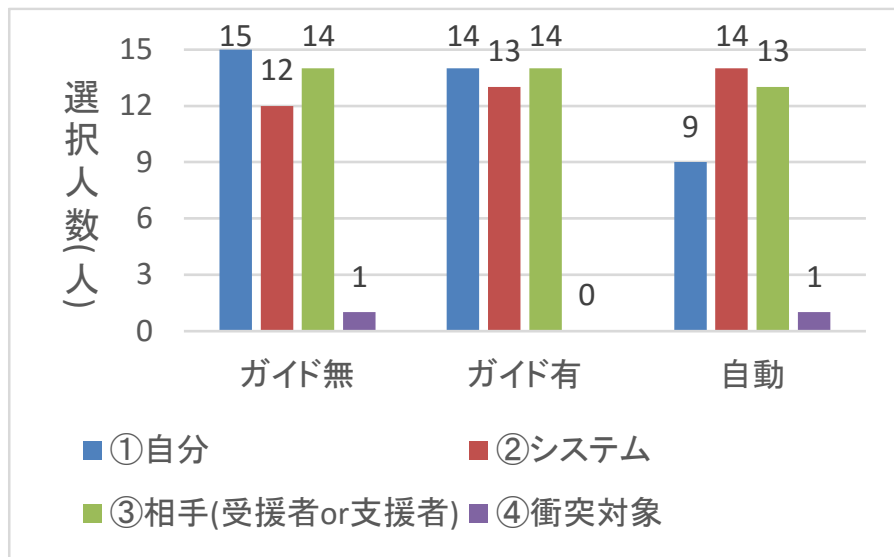


図 5-22 支援者の立場から見る事故回避に関する貢献の所在(複数回答)

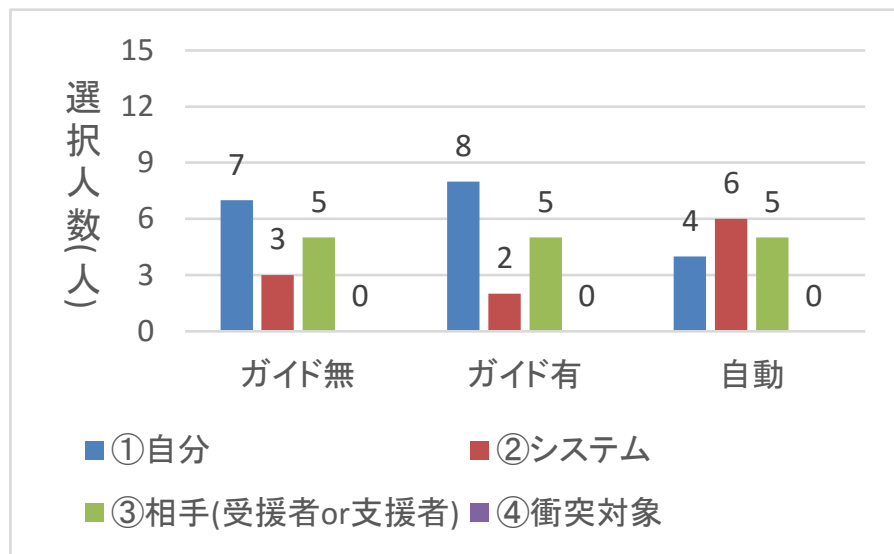


図 5-23 支援者の立場から見る事故回避に関する貢献の所在(単一回答)

貢献に関する複数回答においては、システム、相手(受援者)、衝突対象が衝突回避に貢献したという意識を持つ被験者の数に大きな違いは見られなかった。一方で、自分(受援者)に着目すると、自動化レベルⅡとⅢでは殆ど全ての被験者が選択しているのに対し、レベルⅣでは 1/3 の被験者は貢献の意識を持つことができず、半自動と自動の間には大きな差があると考えられる。単一回答においては、レベルⅣでは特に相手(支援者)を選択する被験者が少ない分、システムを選択する被験者が多い結果が得られた。

これらの結果から、責任と貢献に関する仮説 D)は採択できる。自分が他者の安全確保に関わっており、また自分の安全確保には他者が関わっているという共助の意識を強くするためには、完全な自動ではなく自主的な部分を残した自動化レベルⅡやⅢが好ましい。

#### 5.4.5. リスク目標水準

リスク目標水準に関する仮説 E)では、自動化レベルⅣではユーザのシステムへの依存が高まるため、自動化レベルⅡやⅢに比べリスク目標水準を低く保つことが難しいと考えられた。

リスク目標水準を確かめるために、運転行動の中の加速行動に目を向けた。図 5-24 は被験者が不適切な加速行動を取った確率を共助システムの自動化レベルごとに示している。各自動化レベル間に有意差は見られなかったが、自動化レベルⅢ(ガイド有り半自動)が最も不適切な加速行動が少なかった。自動化レベルⅡ(ガイド無し半自動)は警告提示を行う際の負担が最も大きいため、それに備えるためにも十分な減速が必要だと考えられるが、実際には自動化レベルⅣと変わらない行動を取っていた。

この結果から、自動化レベルⅢでは他のレベルと比較して、交差点に進入する際に速度を低下させ不測の事態に備えようとする確率が高くなる可能性があると示唆される。

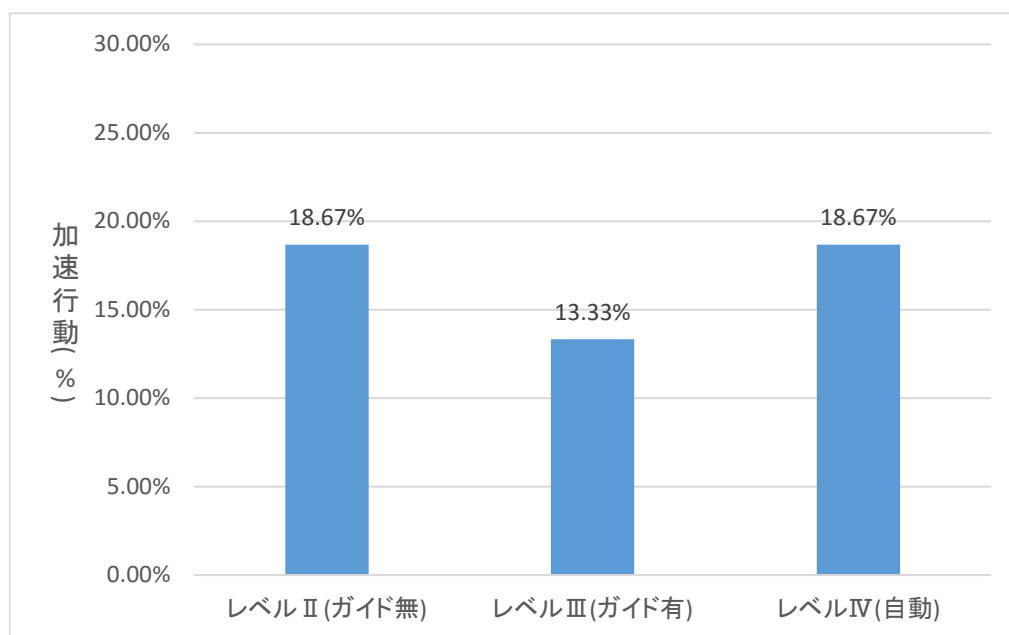


図 5-24 不適切な加速行動の確率



次に、不適切な加速行動が抑制されたことにより、衝突率がどのように変化するかを検証した。図 5-25 は衝突率を共助システムの自動化レベルごとに示している。衝突率の分析対象データとしては、被験者が受援者の役割を担う 3 つのイベントに加え、飛び出してくる先行車両及び警告提示に失敗した際に追突してくる後続車両が存在する飛び出しのイベントとした。衝突率は自動化レベルⅡが非常に高くなっており、レベルⅢとレベルⅣには差が無かった。

多重比較の結果、以下のペアに有意差が確認できた。

- “レベルⅡ” > “レベルⅢ” …  $p \div 0.001$
- “レベルⅡ” > “レベルⅣ” …  $p \div 0.001$

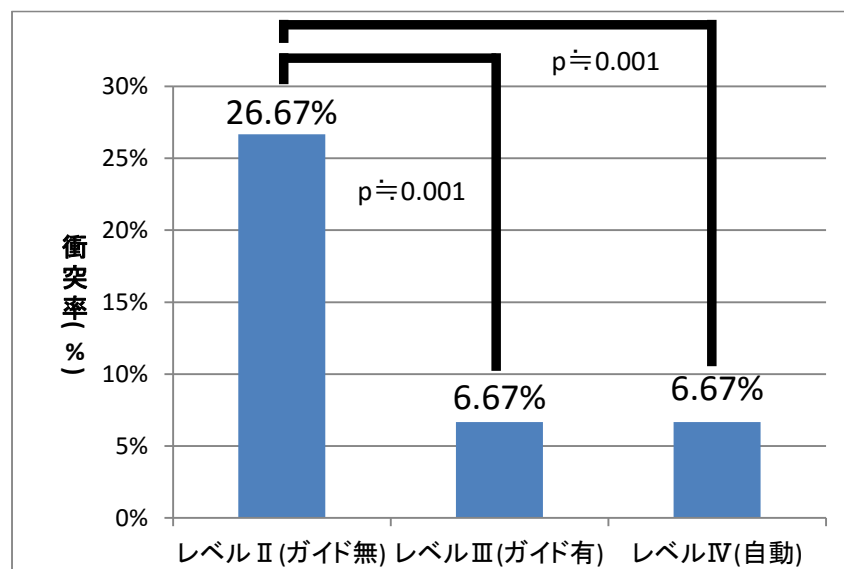


図 5-25 自動化レベルによる衝突率

不適切な加速行動の分析結果からは、自動化レベルⅡとⅣの行動には大きな差が見られなかったにも関わらず、衝突率には大きな差があった要因として、警告提示成功率の違いが考えられた。

図 5-2 に示した“飛び出し”のイベントでは、支援者(本実験の被験者)のリスク目標水準を判断するために適しているのは先行車両となる衝突対象との追突事故である。しかし“飛び出し”のイベントでは、例え車両の飛び出しに適切に対応したとしても、受援者(後続車)への警告提示を失敗すると追突されてしまう。従って、被験者のリスク目標水準ではなく、警告提示成功率によって衝突率が大きく左右されてしまう状況にあった。

リスク目標水準を低く保つことができたかを判断するためには、被験者の運転行動が不適切であったことにより起こった衝突のみを対象とした方が適切であると考えられる。

これらの内容を踏まえ、衝突率への効果を検証するために分析対象データを再考した。図 5-26 は飛び出しイベントにおける後続車からの追突を分析対象から外した衝突率のデータ、つまり警告提示の成否に依存しない衝突率を示している。警告提示の成否に依存しない衝突率では、自動化レベルⅡとⅣの差は無くなっている。従って、被験者の不適切な運転行動によって引き起こされる衝突の確率には差が無いと考えられる。自動化レベルⅢでは他の 2 つに比べ衝突率が低くなっているが、この関係性は不適切な加速行動の確率と同じであり、互いに統計的な有意差までは確認することは出来なかった。

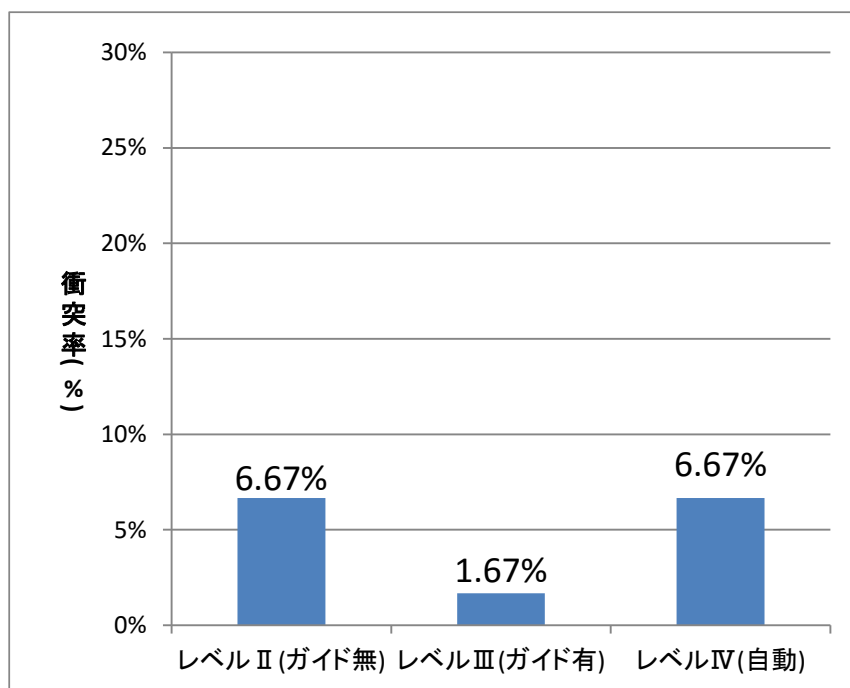


図 5-26 警告提示の成否に依存しない衝突率

また、“飛び出し”イベントにおける飛び出し車両との衝突は、今回の実験で用意したイベントの中で唯一、受援者として共助システムによる支援を受けることができない状況下での衝突回避行動が求められる。従って、リスク目標水準を低く保つことができていたかを判断するために適した状況であると考えられる。図 5-27 は“飛び出し”イベントにおける飛び出し車両との衝突率を共助システムの自動化レベルごとに示している。サンプル数が少ないこともあり統計的な有意差までは確認することは出来なかったが、自動化レベルⅡとレベルⅣは同程度となり、レベルⅢでは衝突率が低くなっている。

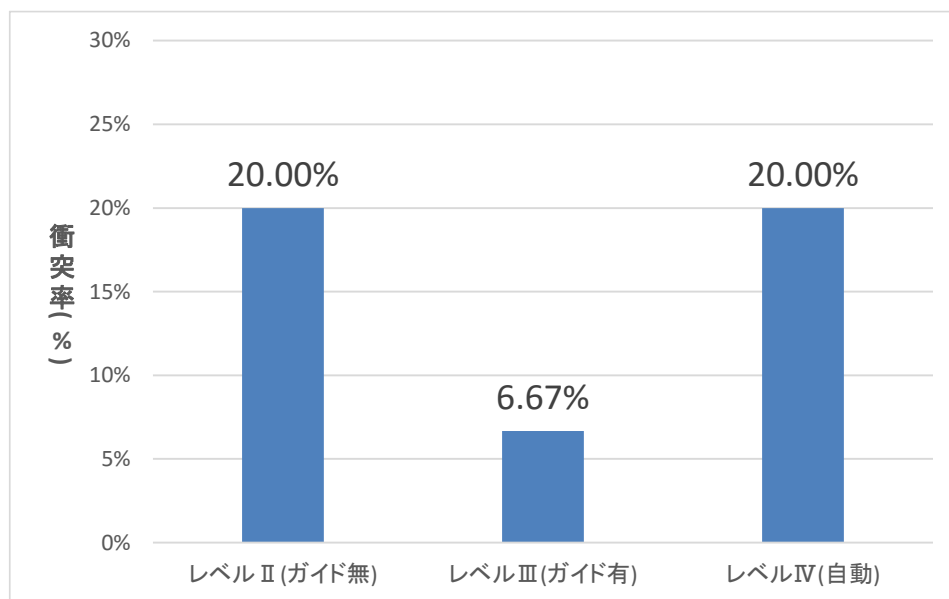


図 5-27 飛び出しイベントにおける飛び出し車両との衝突率

これらの結果から、リスク目標水準に関する仮説 E)は部分的に採択できると考えられる。具体的には自動化レベルⅡとⅣのリスク目標水準は同程度と推測され、レベルⅢでは他の2つに比べ少しリスク目標水準を低く抑えられていると考えられる。

本項の結果を受けると、レベルⅢに比べてレベルⅡとⅣのリスク目標水準が高いと考えられるが、それぞれレベルⅡとⅣのリスク目標水準が高い理由は異なると考えられる。レベルⅡに関してはドライバの負担が高すぎるために自身の安全意識や運転行動の改善にまで意識を回す余裕が無い状況であると推察される。対してレベルⅣに関しては共助システムの自動化レベルが高すぎるにより、システムへの依存度が高まり、共助活動の意識変化の恩恵を十分に受けることができず、リスク目標水準を低く保つことが難しくなっていると推察される。

## 5.5. 両者実験のまとめ

本章では、受援者と支援者の両方の立場を担い、右直事故以外のリスクにも対応する必要がある現実に近い状況シナリオにおいて共助システムがシステムユーザに与える効果と有効性を検証した。ドライビングシミュレータを用いた被験者実験のデータを分析することで以下に記す結果を得ることができた。

警告提示成功率に関しては、意識変化を妨げることなく高い警告提示成功率を保つことを期待された自動化レベルⅢでは警告提示成功率が 80%を超え、レベルⅡと比べ有意に警告提示成功率が高いことが明らかになった。従って同じ半自動の警告提示であっても、システムからのサポートを手厚くすることで警告提示成功率は改善されると考えられる。ただし、半自動で自動と同水準の警告提示成功率を実現するためには、共助システムがドライバをサポートする内容やタイミングを更に改善していく必要がある。

システムユーザに掛かる心理的負担に関しては、自動化レベルが上昇するごとに有意に低下していることが確認された。同じ半自動による警告提示であっても、認知と判断のフェーズを補助するガイド機能の有無によってシステムユーザに掛かる負担は大きく改善されることが明らかになった。しかし、ガイド機能を用いたレベルⅢであっても完全な自動であるレベルⅣとの間には有意差がある。従って、自主的な部分を残した半自動でも自動と同程度の心理的負担に抑えるためには、レベルⅢとレベルⅣの間になるような新たなレベルを設定する必要があると考えられる。

意識変化に関しては、自動化レベルⅡとⅢの間に統計的な差は見られず、両者とも十分に共助活動による意識変化に働きかけることが可能と考えられる。7段階評価の平均値を比較しても、運転操作に関する安全意識以外では自動化レベルⅢの方が好ましい意識変化を見ることができ、特に不満に関する項目はレベルⅡに比べ大きく改善されている。これらの結果から、共助システムによる警告提示では判断のフェーズに自主的な部分を残せば、共助システムとしての特性を活かすことができると考えられる。

責任と貢献に関しては、自動化レベルⅡとⅢでは大きな差がみられなかったが、レベルⅣではシステムに対する不適切な責任の移譲が起こる可能性が高いことが分かった。従って、自分が他者の安全確保に関わっており、また自分の安全確保には他者が関わっているという意識、つまり互いに助け合う共助の意識を強くするためには自主的な部分を残した自動化レベルⅡやⅢの半自動が好ましく、完全な自動化は適さないと考えられる。

リスク目標水準に関しては、統計的な有意差は見られなかったものの、自動化レベルⅢが不適切な行動も少なく、衝突も少ないという結果が得られた。こ

の結果は自動化レベルⅡに関しては支援活動を行う際の負担が大きすぎて自身の運転行動に悪影響があり、レベルⅣに関してはシステムへの依存からリスクテイキングな行動を取ったことによってレベルⅢよりも若干リスクが大きくなったためと考えられる。

## 6. 総合考察

本研究ではドライビングシミュレータを用いて、支援者が受援者の安全確保のために警告提示を行う新しいタイプの共助システムがユーザに与える効果と有効性について検証した。本章では全ての実験結果を踏まえた総合考察について記述する。6.1.では衝突率や警告提示成功率などの定量的な評価指標から読み取れ、事故の減少に直接つながる運転支援システムとしての効果について述べる。6.2.では意識変化やリスク目標水準などの定性的な評価指標から読み取れるドライバ意識に働きかけるシステムとしての効果について考察する。更に6.3.では今後、共助システムの実現に向けて解決していくべき課題を述べる。

### 6.1. 運転支援システムとしての効果

共助システムでは支援者からの警告を提示される受援者の衝突リスクが軽減されると考えられる。

受援者への効果としては衝突率と衝突速度を減少させることが確かめられた。加えて、受援者のTTC(衝突余暇時間)を増加させ安全な運転行動での衝突回避ができる可能性が高まる効果が明らかになった。ただし、警告提示のタイミングが早すぎる場合には受援者の判断に迷いが生じ易く、上手くリスクを軽減できない可能性があることが示された。

受援者への効果から、ドライバに提示される警告は自身が運転する車両の搭載機器から発せられるものに限らず、他者から提示される警告であっても認知が可能であり、リスク軽減に繋がると考えられる。特に既存の運転支援システムでは対処が難しいとされていた右直事故にも十分な効果を発揮すると考えられる。これらの結果から共助によるリスク軽減は、自助では防ぎきれないリスクに対する有効なアプローチの一つと考えられる。

対して警告を提示する支援者は警告提示を行う上で認知、判断、操作の全てを担うことは難しく、他者に対して適切なタイミングで警告を提示できる確率は非常に低いことが明らかになった。警告提示成功率を高い水準で保つためには、共助システムの自動化レベルを上昇させ一部または全てが自動的に行われるようにする必要があると考えられる。

支援者への効果から、警告提示に関わる認知、判断、操作の全てをドライバに負担させると、警告提示成功率が十分でないだけでなく、支援者ドライバに掛かる心理的な負担が増加しすぎることによって運転行動に対して負の影響が及ぶことが予測される。また第4章と第5章の警告提示成功率と心理的負担

に関する結果を比較すると、同じ自動化レベルであっても現実に近い状況である第 5 章で警告提示成功率が低く、心理的負担が高くなっている。即ち、完全な自動システムでない限り、警告提示成功率は支援者ドライバが対応すべき状況が複雑になるほど低下し、ドライバに掛かる心理的負担は増加していくと予測される。従って、運転支援システムとしての有効性を保つためには共助システムの自動化レベルを高め設定する必要があると考えられる。

## 6.2. ドライバ意識に働きかけるシステムとしての効果

共助システムでは主に他者の安全確保に貢献する支援者に意識変化やリスク目標水準の低下などの効果をもたらすと考えられる。

支援者への効果としては安全意識や運転行動への意識が改善されるだけでなく、満足感や達成感を得ることで自己実現理論における社会的欲求や尊敬欲求などの高水準欲求を満たすことができる可能性があるとし示した。ただし、これらの意識変化を得るためには認知、判断、操作のうち判断のフェーズの一部を支援者が担う必要があることが明らかになった。

共助による意識変化を得るために、他者の安全確保に関わっている責任と貢献の意識を持つことが重要であるが、責任や貢献の意識を持つためには警告提示に関する認知、判断、操作のうち一部を支援者が担うことが重要だと確かめられた。また、全てを支援者が担う場合には警告提示の難易度が不適切に高く、一部の被験者から責任の意識を持ちづらくなる可能性も示唆された。第 4 章と第 5 章の責任と貢献に関する結果を比較すると、同じ自動化レベルであっても現実に近い状況である第 5 章で責任や貢献の意識が強くなっている。これは受援者と支援者の両方の役割を担うことで、互いに助け合っているという共助の意識が強くなったからと考えられる。

これらの結果から、共助システムは受援者のリスク軽減だけでなく、支援者の安全意識、運転行動の改善にも有効なアプローチであると考えられる。他者に対して警告提示を行う際に、それに関する全てのタスクをシステムに委託すると意識変化を得ることは難しく、既存の運転支援システムの問題点であるシステム導入に伴う負の効用を抑制することは困難であると考えられる。従って、ドライバ意識に働きかけるシステムとしての有効性を保つために、共助システムには自主的な部分を残す必要があると考えられる。特に、第 5 章の実験で認知と判断の両フェーズに自主性を残した自動化レベルⅡの共助システムと判断のフェーズのみに自主性を残した自動化レベルⅢの共助システムを比較した結果、レベルⅢの方が好ましいドライバの意識変化を得られた。従って、ド

ライバ意識に働きかけるためには、判断のフェーズに自主的な部分を残すことが好ましいと考えられる。

また、ドライビングシミュレータの実験では疑似的に衝突を体験することができるので、その経験がドライバ意識に変化を与えとも考えられた。しかし、実験中に起こる衝突の経験による影響は自動化レベルの違いによるものより小さく、特に安全意識に対する影響は殆どないことが確かめられた。従って、通常は衝突を経験することのない実車であっても、共助システムを搭載することでドライバ意識の改善に十分な働きかけができると考えられる。

### 6.3. 実車システム適用時の留意点

本研究ではドライビングシミュレータを用いて3つの実験を行い、共助システムの有効性を検証した。しかし、閉鎖空間で実施されるドライビングシミュレータ上の走行と解放空間での実車を用いた運転の間には車両感覚、運転感覚、ペダルを踏んだ際の反力などに違いがあるため、本研究で得られた知見を実車システムに活かす上では以下に示す内容を留意する必要がある。

1 点目は適切な警告提示タイミングに関する内容である。共助システムが受援者に与える効果を分析した結果として、警告提示タイミングは1.5～2.5秒前が適切であると第3章に記している。しかし1.5～2.5秒前という絶対的な数値をそのまま実車のシステムに適用することは難しい。特に本実験での被験者は全員が20代であったため、提示された警告に反応するまでに必要な時間が短いと考えられ、高齢者にはもっと早いタイミングでの警告提示が必要と推測される。

しかし、今回の実験で用意した3つの警告提示タイミングの相対的な関係性から得られる知見は十分に実車にも適用できると考えられる。すなわち、受援者に安全な運転行動を促すためにはドライバが対応可能だが時間的余裕の少ないタイミングでの警告提示が適しており、早過ぎるタイミングでの警告提示は再加速等の不適切な運転行動を促す危険性があるという知見は実車システムにも活用できると考えられる。

2 点目は共助システムの適切な自動化レベルに関する内容である。共助システムが支援者に与える効果を分析した結果として、共助システムの自動化レベルはⅢ(ガイド機能あり半自動)が適切であると第5章に記している。第5章の両者実験では現実に近い運転状況のデータを取得するために右直事故に限らず様々なイベントを発生させたが、実際の運転環境では今回検討していない状況や予測の難しい他車両や歩行者の動きに対応しつつ共助システムを活用す



る必要がある。従って両者実験で用いた自動化レベルⅢの共助システムの仕様は、あらゆる状況に対して適切であるとは限らず、対処すべきリスクやドライバの特性を考慮しつつ自動化レベルを設定する必要がある。

しかしながら、実験で用いた各自動化レベルの相対的な関係性から得られる知見は、実車に用いる際にも十分に活用できると考えられる。完全な手動ではドライバに掛かる負荷や不満が大きく共助システムを継続的に使用することは困難であり、完全な自動ではドライバの意識変化に働きかけることが難しい。従ってシステムからの補助を受けつつも自主的に行動を起こすことができる半自動システムが適していると考えられる。特に判断のフェーズにドライバの自主性を残すことは重要である。

## 6.4. 実現のための課題

本研究では共助システムの効果と有効性について検証をしてきたが、共助システムを現実世界で活用して行くためには多くの課題が残されている。以下に代表的な例を5つ挙げる。

まず1点目として、初めに共助システムの適切な自動化レベルを設定することである。6.1.で運転支援システムとしては自動化レベルを高め設定した方が好ましいとした反面、6.2.でドライバ意識に働きかけるシステムとしては自主的な部分を残す必要があるとも記述した。これらの結果からも、それぞれの特徴を捉えることはできたが、最適な自動化レベルがどこであるかを明らかにすることはできなかった。最適な自動化レベルは全てのドライバにとって統一のものであるとも考えづらいので、システムユーザの警告提示や運転行動の記録を取り、各ドライバに対して適切な自動化レベルを提供できるようなシステムにする必要があると考えられる。

次に2点目として、警告提示対象外のドライバへの負の影響を考慮すべきである。共助システムのように車外に対して警告提示を行うシステムでは、警告を認知して欲しい受援者以外のドライバも警告を認知することができてしまう。これが他の周辺ドライバのリスク軽減に繋がる可能性もあるが、逆に不適切な警告となり図6-1に示す”左折時巻き込みの確認遅れ”や図6-2に示す”左側からの飛び出しに対する反応の遅れ”などのリスクを増加させてしまう可能性もある。従って、受援者以外の周辺他者に対する影響も検証する必要がある。ただし、車車間通信とHUDの技術を両方利用することで、特定の受援者にだけ警告提示を行うことは可能なので、この問題は技術的に解決することも可能と考えられる。

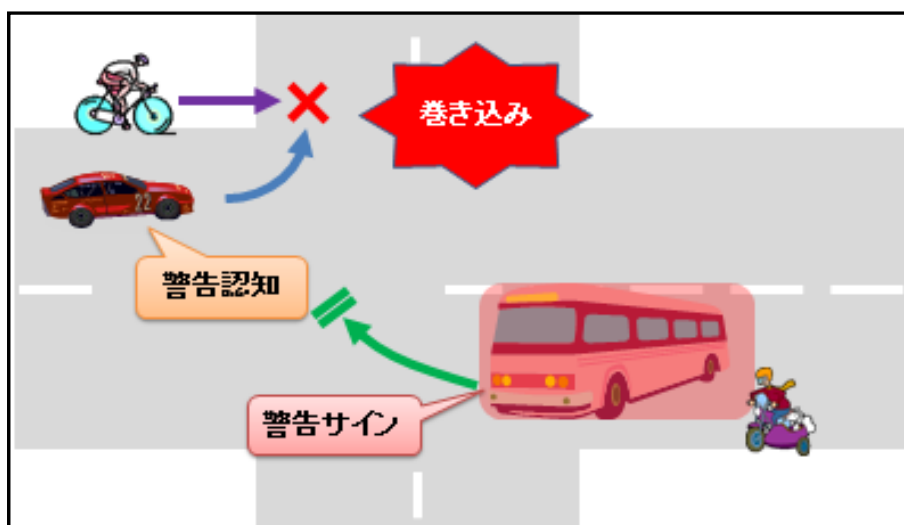


図 6-1 左折時巻き込みの確認遅れ

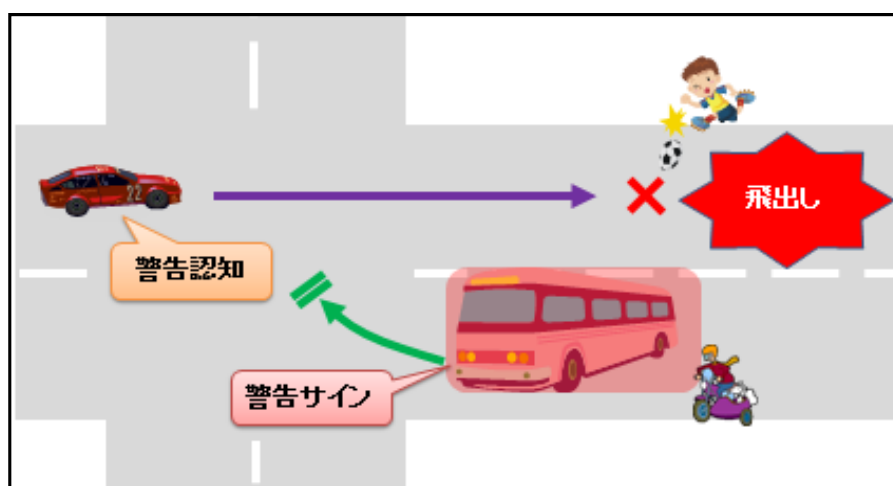


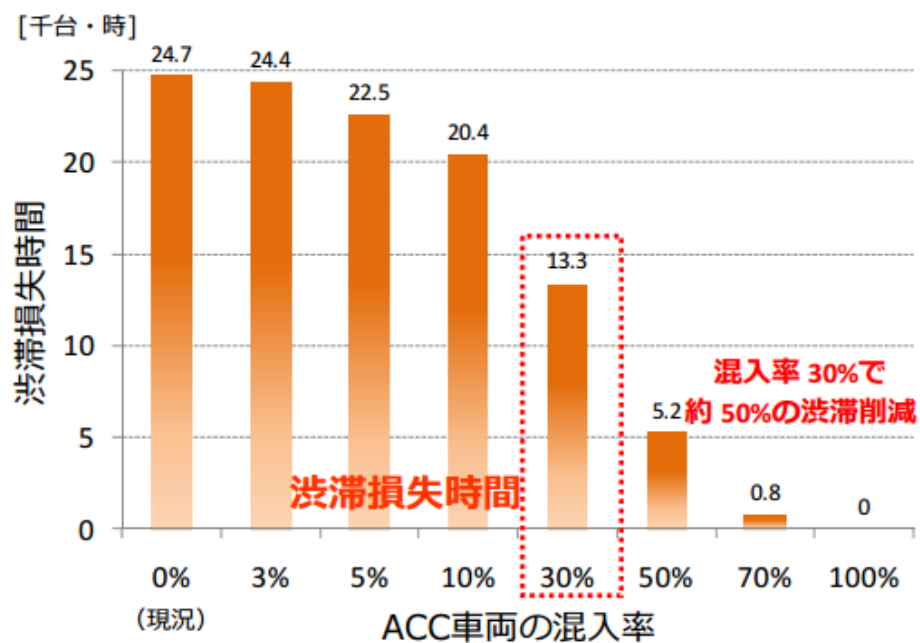
図 6-2 左側からの飛び出しに対する反応遅れ

3 点目は、適切な警告提示方法の選定も重要な検討事項である。本研究では車体の色を変えることで表現した。これは TOYOTA から発表されているコンセプトカーの Fun Vii<sup>[60]</sup>の技術を活用すれば実現不可能ではないが、自動車 1 台にかけられるコストや法律などの問題を考慮すると現実的な方法とは言えない。現在、研究及び実用化が進んでいる技術を用いた現実的な方法としては、車車間通信と HUD を利用する方法、もしくは図 6-3 に示すようにプロジェクタなどを利用して支援者の車両が道路上に警告を提示する方法が考えられる。図 6-3 のような警告提示システムは DENSO(2015)<sup>[61]</sup>でも開発中とされている。



図 6-3 プロジェクタ技術を応用した警告提示

4 点目として、実際に共助システムを運用する上ではシステムの普及率に伴う問題も無視できない。図 6-4 は国土交通省の勉強会(2012) [62]で報告された ACC 搭載車両が普及することによる渋滞削減効果の試算である。



\*2010 年 8 月 21 日に東名高速道路 (下り) 大和サグ付近で発生した渋滞のデータを使用した試算結果。渋滞損失時間 =  $\sum \min\{\text{旅行時間} - \text{基準旅行時間 (70km/h を想定)}\}$   
ACC 車両の設定車間時間は短めの 1.35 秒とし、その追従時における先行車両の速度変化に対する挙動は、ドライバの挙動に比べ俊敏に反応すると仮定。

図 6-4 予想される共助システムの普及率と衝突率の関係 [62]より引用

ACCのような自助のシステムは独立型のシステムであり、図 6-4 に示されているようにシステムが普及するに連れ大きな効果を発揮していくことが予測される。対して共助システムは他者から提示される警告を受け取る必要があるため、自分さえシステムを搭載すればシステムの恩恵を受けられる自助や公助のシステムとは異なり、周辺の他者がシステムを搭載していないと恩恵を受けることができない。本研究では共助システムの普及率が 100%の状況を想定して実験したが、現実社会では徐々にシステムの普及率が上昇することが予想される。図 6-4 は共助システムが普及していく段階で衝突率がどのように変化していくかの予測を示している。

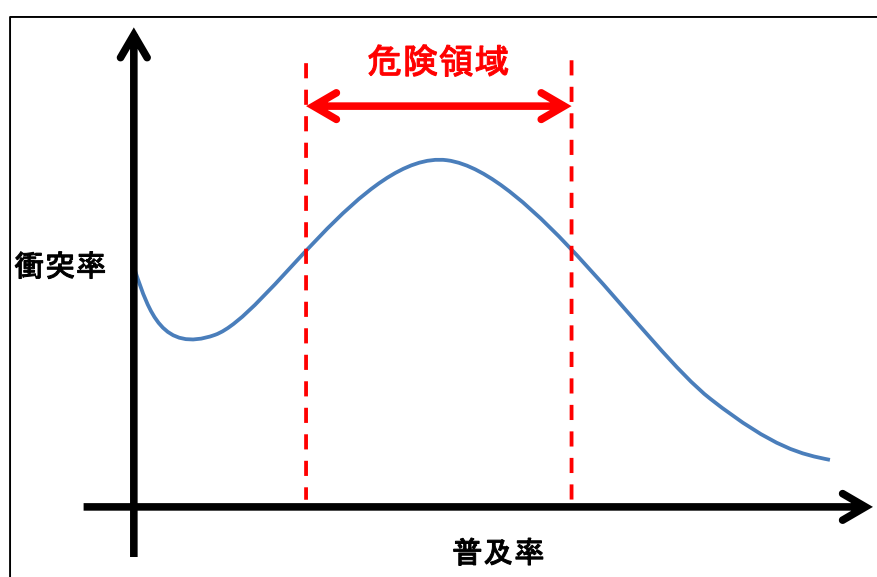


図 6-4 予想される共助システムの普及率と衝突率の関係

普及率が低い状況では、各ドライバは共助システムからの警告提示を補助的な情報として利用するため、システムが全くない状況よりも衝突率は少し軽減する程度だと考えられる。また、普及率が高い状況では、本研究で得られた成果と同様に衝突率や衝突速度の減少など様々なメリットがあると考えられる。

一方で、普及率が中程度の場合には、共助システム未搭載の車両が多く残っている状況下にも関わらず、受援者が他者から提示されると思いこんで運転をすることによって、衝突率はシステムが普及していない状況よりも高くなる危険性が懸念される。この懸念事項を踏まえ、交通社会として共助システムの恩恵が確かに受けられる普及率を見定め、それを実現する普及率促進の方策を考えていく必要がある。

最後に 5 点目として、自助、共助、公助システムの住み分けを考える必要がある。2.4.1.でも記述したように自助、共助、公助の効果的な組み合わせには補完性の原理という指針が存在する。この指針によると、自助で解決できる問題を共助で解決すること、または共助で解決できることを公助で解決することは、個人のリスク対応能力を低下させる一方で、社会への負担を増加させ本来社会が実現すべき機能を低下させる危険性がある。現在の交通安全システムに関する研究開発では共助の概念が欠落しており、多くの問題を公助で解決しようと試みているように見て取れる。道路上を走行する全ての自動車が完全な自動運転にならない限り、ドライバの安全意識や運転能力を衰退させることは交通事故のリスクを増加させることに繋がってしまう。ドライバの安全意識や運転能力を衰退させることなく、より安全な自動車社会を実現して行くためには共助の効果や有効性を見定め、可能な限り公助に依存することなく交通事故を減少させる取り組みが重要と考えられる。具体的には、衝突に関するリスクなど緊急性の高い問題は可能な限り自助で解決し、共助には自助では解決できない問題をサポートすることが求められる。公助に関しては支援の範囲が広く、多くの道路利用者を巻き込むことが可能なため、交通全体の流れを管制するシステムや緊急車両を優先的に通行させるための支援をするシステムなど、規模の大きな問題を担当すべきだと考えられる。

## 7. 結論

本研究では共助の概念を交通システムに導入することによる効果と有効性について、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験から得られたデータを基に検討した。

他者からの支援を受ける受援者に対する効果としては、衝突率及び衝突速度の減少、TTC(衝突余暇時間)の増加、運転行動の改善という効果があることが明らかになった。従って、警告提示システムは既存の運転支援システムのように自身に搭載されている機器に限らず、他者から提示される警告であっても有効に作用する可能性があることが示された。

他者に対して支援を行う支援者に対する効果としては、安全意識や運転行動への意識が改善されるだけでなく、満足感や達成感を得ることで自己実現理論における社会的欲求や尊敬欲求などの高水準欲求を満たすことができる可能性があることが明らかになった。従って、共助システムは受援者のリスク軽減だけでなく、支援者の安全意識、運転行動の改善にも有効なアプローチであると示された。これは既存の運転支援システムには無い効果であり、今後、より一層普及が進んでいくと考えられる ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)や ITS(Intelligent Transport Systems)でも大きな課題とされているシステム導入に伴う負の効用を抑制できる可能性がある。

上記に記したように、共助の概念を交通システムに導入することで、受援者だけでなく支援者にも効果を齎し、既存の運転支援システムにおける課題解決にも貢献できると考えられる。ただし、共助システムを実用化するまでには、法律の整備、普及率の促進、実現技術の研究など検討しなければならない課題が多く残されている。

「安全運転は思いやりから」というように、安全運転を実現するためには自分だけでなく他者の安全を思う心が重要である。安全な自動車社会を実現する方法は様々であるが、本研究で示した共助の可能性と他者を思いやる気持ちが交通安全の発展に貢献することを願って結びの言葉としたい。

## 参考文献一覧

---

- [1] 内閣府:「平成 27 年度版交通安全白書」, 2015
- [2] 国土交通省, 独立行政法人自動車事故対策機構:「予防安全性能評価 事故を防ぐための新しい技術」, 2015
- [3] 国土交通省自動車交通局先進安全自動車推進検討会:「先進安全自動車 (ASV)推進計画報告書ー第 4 期 ASV 計画における活動成果についてー」, 2011
- [4] G.J.S. Wilde: “The theory of risk homeostasis -Implications for safety and health”, Risk Analysis, Vol.2, No.4, pp.209-225, 1982.
- [5] G.J.S. Wilde: “Target Risk 2: A New Psychology of Safety and Health”, Pde Pubns; 2nd edition, 2001.
- [6] 増田貴之, 芳賀繁:「自動車運転支援システム導入に伴う負の適応」, 自動車技術, Vol.62, No.12, pp.16-21, 2008.
- [7] 國分三輝:「ITS 時代のヒューマンファクターーリスク知覚を中心にー」, 国際交通安全学会誌, Vol.30, No.3, pp.14-22, 1995
- [8] M. Hoedemaeker and K.A. Brookhuis: “Behavioural Adaptation to Driving with an Adaptive Cruise Control (ACC)”, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.1, Issue 2, pp.95-106, 1998.
- [9] M. Vollrath, S. Schleicher, and C. Gelau: “The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on driving behaviour ? A driving simulator study”, Accident Analysis and Prevention, Vol.43, Issue 3, pp.1134-1139, 2011.
- [10] N.A. Stanton and M. Pinto: “Behavioural compensation by drivers of a simulator when using a vision enhancement system”, Ergonomics, Vol. 43, No. 9, pp.1359-1370, 2000.
- [11] K.M. Aschenbrenner and B. Biehl: “Improved Safety Through Improved Technical Measures? Empirical Studies Regarding Risk Compensation Processes in Relation to Anti-lock Braking Systems”, Styx Publications, 1994.
- [12] 蓮花一己:「運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ」, 国際交通安全学会誌, Vol.26, No.1, pp.12-22, 2000.
- [13] 芳賀繁:「安全技術では事故を減らせないーリスク補償行動とホメオスタシス理論ー」, 電子情報通信学会技術研究報告. SSS. 安全性, Vol.109, No.151, pp.9-11, 2009.

- 
- [14] 日本自動車連盟:「危険予知の重要性」, JAF Web ページ,  
<http://www.jaf.or.jp/eco-safety/safety/kyt/important.htm>
- [15] S. Katahira, E. Shibata, and T. Monji: “Development of an advanced stereo camera system”, Proc. 14th Asia Pacific Automotive Conference, SAE Technical Paper 2007-01-3591, 2007.
- [16] 柴田英司:「新開発ステレオカメラによる運転支援システム『EyeSight』の開発」, 自動車技術, Vol.63, No.2, pp.93-98, 2009
- [17] トヨタ自動車:「Toyota Safety Sense」, トヨタ自動車 Web ページ,  
[http://toyota.jp/information/campaign/anzen\\_anshin/tss/](http://toyota.jp/information/campaign/anzen_anshin/tss/)
- [18] Mercedes-Benz:「Intelligent Drive」, Mercedes-Benz Web ページ,  
<http://intelligent-drive.jp/>
- [19] J.L. Sung, J. Jaeik, G.J. Ho, R.P. Kang and K. Jaihie: “Real-time gaze estimator based on driver’s head orientation for forward collision warning system”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.12, No.1, pp.254-267, 2011.
- [20] T. Pai-Yuan, H. Weichih, B.J.K. Terry and S. Liang-Yu: “A Portable Device for Real Time Drowsiness Detection Using Novel Active Dry Electrode System”, 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.3775-3778, 2009.
- [21] M.K. Wali, M. Murugappan and R.B. Ahmmad: “PNN BASED DRIVER DROWSINESS LEVEL CLASSIFICATION USING EEG”, Journal of Theoretical & Applied Information Technology, Vol.52, Issue 3, pp.268-272, 2009.
- [22] 唐沢好男:「ITS 車車間通信の研究開発動向と課題: ～安全運転を支援する電波カーブミラー～」, 第 52 回 目黒会 移動体通信研究会 講演資料, 2009.
- [23] 総務省:「ITS 無線システムの高度化に関する研究会報告書」, 2009.
- [24] 坂本一朗:「専用端末による歩者間通信の要求条件に関する調査について(戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)における交通安全環境研究所の取り組み)」, 平成 27 年度 交通安全環境研究所講演会 講演概要, 2015.
- [25] Y. Zang, L. Stibor, H.-J. Reumerman, and H. Chen: “Wireless local danger warning using inter-vehicle communications in highway scenarios”, Proc. 14th European Wireless Conference 2008, pp.1-7, 2008.
- [26] C. Maag, D. Muhlbacher, C. Mark, H.P. Kruger: “Studying Effects of Advanced Driver Assistance Systems(ADAS) on Individual and Group Level Using Multi-Driver Simulation”, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, pp.45-54, 2012.



- 
- [27] 浜口雅春:「ITS 通信の最新動向～車車間通信を代表とする ITS の現状と展望～」, ITU ジャーナル, Vol.43, No.12, pp.3-7, 2015.
- [28] F. Taya, Y. Kameda, and Y. Ohta: “NaviView: Virtual slope visualization of a blind area at an intersection”, Proc. 12th World Congress on ITS, pp.1-8, 2005.
- [29] 日本経済新聞:「クライスラー、ハッキング対策で 140 万台リコール ソフト更新し遠隔操作防ぐ」, 2015/7/25,  
[http://www.nikkei.com/article/DGXLASGM25H19\\_V20C15A7MM0000/](http://www.nikkei.com/article/DGXLASGM25H19_V20C15A7MM0000/).
- [30] D.R. Mayhew, H.M. Simpson: “The role of driving experience: implications for the training and licensing of new drivers”, Insurance Bureau of Canada, 1995.
- [31] D.J. Beirness: “The relationship between lifestyle factors and collisions involving young drivers”, Proc. New to the Road: Reducing the Risks for Young Motorists. Proceedings of the First Annual International Symposium of the Youth Enhancement Service, pp.71-77, 1996.
- [32] D.R. Mayhew and H.M. Simpson: “The safety value of driver education and training”, Injury Prevention; Sep2002 Supplement 2, Vol.8, Issue 3, pp. ii3-8, 2002.
- [33] 田中健次, 稲葉緑:「高齢運転者へのシミュレータ教育の効果研究」, 国際交通安全学会誌, Vol.32, No.4, pp.309-316, 2007.
- [34] 太田博雄, 名古屋武一:「高齢ドライバーのためのミラーリング法によるメタ認知教育プログラム開発」, 平成 22 年度(中間報告) タカタ財団助成研究論文, 2010.
- [35] 太田博雄:「ASV 開発への交通心理学からの提言」, 国際交通安全学会誌, Vol.36, No.1, pp.50-56, 2011.
- [36] K. Takeda, C. Miyajima, T. Suzuki, K. Kurumida, Y. Kuroyanagi, H. Ishikawa, P. Angkititrakul, R. Terashima, T. Wakita, M. Oikawa, and Y. Komada: “Improving Driving Behavior by Allowing Drivers to Browse Their Own Recorded Driving Data”, Proc. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.44-49, 2011.
- [37] M. Tada, H. Noma, A. Utsumi, M. Segawa, M. Okada and K. Renge: “Elderly driver retraining using automatic evaluation system of safe driving skill”, IET Intelligent Transport Systems, Volume 8, Issue 3, pp.266-272, 2014.
- [38] マツダ:「PREMACY 魅力 走行性能」, マツダ Web ページ,  
<http://www.mazda.co.jp/cars/premacy/feature/driving/>.
- [39] 大住一也, 中島英信:「運転を快適に楽しむ i-DM(インテリジェント・ドライブ・マスター)」, 自動車技術, Vol.68, No.5, pp.46-49, 2014.

- 
- [40] 高田翔太, 平岡敏洋, 野崎敬太, 川上浩司:「自発的な行動変容を促す安全運転評価システム(第2報)ー評価システムが運転行動に与える影響ー」, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.2, pp.673-678, 2013.
- [41] 中野, 松野, 田中:「称賛・注意フィードバックがドライバの安全意識に与える効果」, 第42回 知能システムシンポジウム資料, H-05, 2013.
- [42] 内海章, 多田昌裕, 山本直樹, 松尾典義, 鳥居武史, 志堂寺和則:「認知状態共有による交通事故低減技術の研究開発」, ICT イノベーションフォーラム 2014 戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)前刷集, 2014.
- [43] 紀ノ定保礼, 内海章, 多田昌裕, 山本直樹, 松尾典義, 鳥居武史, 志堂寺和則:「運転者状態の車外呈示による歩行者の危険行動の抑制可能性」, 公益社団法人 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.99-14, pp.17-20, 2014.
- [44] 内閣府:「平成24年度版 防災白書」, 2012.
- [45] 内閣府:「平成20年度版 防災白書」, 2008.
- [46] 矢部明宏:「地方分権の指導理念としての「補完性の原理」」, レファレンス, Vol.62, No.9, pp.5-24, 2012.
- [47] 田中滋:「高齢社会-自助・互助・共助・公助のコラボレーション」, 生活福祉研究, Vol.79, pp.1-18, 2011.
- [48] 上淵寿:「動機付け研究の最前線」, 北大路書房, 2004.
- [49] R.M. Trimpop: “RISK HOMEOSTASIS THEORY: PROBLEMS OF THE PAST AND PROMISES FOR THE FUTURE”, Safety Science, Vol.22, No.1-3, pp.119-130, 1996.
- [50] R.M. Trimpop: “The Psychology of Risk Taking Behaviour”, North-Holland, 1994
- [51] A. H. Maslow: “A Theory of Human Motivation”, Psychological Review, Vol.50, No.4, pp.370-396, 1943.
- [52] P.G. Zimbardo: “Essentials of Psychology and Life”, Scott Foresman & Co, 1980
- [53] 廣瀬清人, 菱沼典子, 印東桂子:「マズローの基本的欲求の階層図への原典からの新解釈」, 聖路加看護大学紀要, No.35, pp.28-36, 2009.
- [54] 公益財団法人交通事故総合分析センター:「交通統計年報 平成24年度版」, 2013
- [55] 木下義彦:「コンピュータを用いた事故再現による右直事故の分析」, 第12回 交通事故調査・分析研究発表会, 財団法人 交通事故総合研究センター, 2009

- 
- [56] S.G. Hart and L.E. Staveland: “Development of NASA-TLX(Task Load Index): Results of empirical and theoretical research”, *Advances in Psychology*, Vol.52, pp.139-183, 1988.
- [57] 三宅晋司, 神代雅晴: 「メンタルワークロードの主観的評価法-NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案-」, *人間工学*, Vol.29, No.6, pp.399-408, 1993.
- [58] 江部和俊, 大桑政幸, 稲垣大, 土居俊一: 「カーナビゲーションの負担度評価」, *国際交通安全学会誌*, Vol.26, No.4, pp.251-258, 2001.
- [59] 水本篤, 竹内理: 「研究論文における効果量の報告のために」 —基礎的概念と注意点—, *英語教育研究*, Vol.31, pp.57-62, 2008.
- [60] TOYOTA: 「Fun Vii Concept Car」, TOYOTA Let’s Go Places, <http://www.toyota.com/letsGOPlaces/fun-vii-concept-car/>
- [61] DENSO: 「自動運転車と歩行者とのコミュニケーションシステム」, [http://www.denso.co.jp/ja/news/event/tradeshows/2015/files/aee15\\_communication\\_systems.pdf](http://www.denso.co.jp/ja/news/event/tradeshows/2015/files/aee15_communication_systems.pdf)
- [62] 国土交通省: 「次世代 I T S に関する勉強会とりまとめ」, <http://www.mlit.go.jp/common/000205762.pdf>

---

## 謝辞

本論文を執筆するにあたり、多大なるご指導、ご教示をして頂いた電気通信大学大学院情報システム学研究科教授 田中健次先生、同研究科元助教 稲葉緑先生、同研究科元助教 松野裕先生、日本自動車研究所の研究員各位に深く感謝致します。

本論文の審査過程をはじめ、様々な面からご指導を頂きました、電気通信大学大学院情報システム学研究科教授 鈴木和幸先生、同研究科教授 栗原聡先生、同研究科教授 植野真臣先生、同研究科教授 末廣尚士先生、同研究科元教授 太田敏澄先生、筑波大学システム情報系(情報工学域)教授 伊藤誠先生に深謝申し上げます。

本論文を執筆するために必要なデータを採取するために、快く実験に協力して下さった被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。

最後に、研究生活で様々なご指導とご助言を頂いた田中研究室・長江研究室・岩崎研究室の皆様に感謝致します。

---

## 関連論文の印刷公表の方法及び時期

- (1) 全著者名: Sui KURIHASHI, Yutaka MATSUNO and Kenji TANAKA,  
論文題目: “Enhancing Safety with a Mutual Assistance System for Automobile”,  
平成 27 年 3 月 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.8, No.2, pp.161-170  
(本文との関連: 第 2 章, 第 3 章, 第 4 章)
- (2) 全著者名: Sui KURIHASHI, Yutaka MATSUNO and Kenji TANAKA,  
論文題目: “Evaluation of a Mutual Assistance System from both the Recipient and Assister sides”,  
平成 26 年 9 月 Proc. SICE Annual Conference 2014, pp.1702-1707  
(本文との関連: 第 3 章, 第 4 章)
- (3) 全著者名: Sui KURIHASHI, Yutaka MATSUNO and Kenji TANAKA,  
論文題目: “Self-Perception of Assister Driver Responsibility and Contribution in Mutual Assistance System”,  
平成 27 年 7 月 Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Context, Part II, LNCS 9173, pp.233-242  
(本文との関連: 第 2 章, 第 4 章)

## 参考論文の印刷公表の方法及び時期

- (a) 全著者名: 栗橋 翠, 田中 健次,  
論文題目: 「共助を用いた交通事故のリスク軽減システムによる効果」,  
平成 27 年 7 月 日本科学技術連盟 第 45 回信頼性・保全性シンポジウム報文集, pp.457-462  
(本文との関連: 第 2 章, 第 4 章)
- (b) 全著者名: 栗橋 翠, 田中 健次,  
論文題目: 「共助を活用した警告提示システムの提案と評価 -受援者と支援者を同時に経験させた際の効果-」,  
平成 27 年 12 月 第 24 回交通・物流部門大会, CD-ROM 講演番号 2108  
(本文との関連: 第 5 章)

---

## 著者略歴

1988 年 5 月 3 日	神奈川県川崎市に生まれる	
2004 年 4 月	川崎市立 川崎総合科学高等学校 電子機械科	入学
2007 年 3 月	川崎市立 川崎総合科学高等学校 電子機械科	卒業
2007 年 4 月	専修大学 ネットワーク情報学部 ネットワーク情報学科	入学
2011 年 3 月	専修大学 ネットワーク情報学部 ネットワーク情報学科	卒業
2011 年 4 月	電気通信大学 大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻 博士前期課程	入学
	スーパー連携大学院 博士前期課程	入学
2013 年 3 月	電気通信大学 大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻 博士前期課程	修了
	スーパー連携大学院 博士前期課程	修了
2013 年 4 月	電気通信大学 大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻 博士後期課程	進学
	スーパー連携大学院 博士後期課程	進学
2016 年 3 月	電気通信大学 大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻 博士後期課程	修了予定
	スーパー連携大学院 博士後期課程	修了予定