

平成 27 年度 博士論文

周辺視野の視覚特性を活用した
複数の運転支援情報の提示方法に関する研究

指導教員 知能機械システム工学専攻 鈴木 桂輔 教授

平成 27 年 9 月 30 日

香川大学大学院 工学研究科 知能機械システム工学専攻

12D642 望月 誠

目次

目次	1
1. 序論	5
1.1. 交通事故の発生状況	5
1.2. 路車間協調システム	6
1.3. ドライバへの情報の提供における課題	7
1.3.1. 運転時の HMI に関する標準化動向	7
1.3.2. 従来研究と課題	8
1.4. 研究の着眼点	11
1.4.1. 増加する車載ディスプレイ	11
1.4.2. ドライバの視覚特性	14
1.5. 提案する情報提示手法	15
1.6. 研究の目的と論文の構成	17
2. 運転支援システムの導入効果評価手法の提案	19
2.1. 背景	19
2.1.1. 導入効果評価手法の必要性	19
2.1.2. 導入効果評価手法の比較	20
2.2. 既存手法の課題と本章の目的	21
2.3. DS 実験	23
2.3.1. 実験概要	23
2.3.2. 芳香成分の供給装置	24
2.3.3. 計測指標	25
2.3.4. 実験条件	26
2.3.5. 実験結果	27
2.4. 提案手法を用いた導入効果評価	29
2.4.1. 時系列信頼性モデルの概要	29

2.4.2.	時系列信頼性モデルへの入力値	30
2.4.3.	時系列信頼性モデルによるシミュレーション結果	31
2.5.	従来手法を用いた導入効果の評価	32
2.5.1.	状態遷移確率モデルの概要	32
2.5.2.	衝突確率の算出	33
2.5.3.	状態遷移確率モデルによるシミュレーション結果	34
2.6.	提案するシミュレーション手法の妥当性の検証	34
2.6.1.	事故統計に基づく衝突発生確率の算出	34
2.6.2.	事故統計データ及び従来手法との比較による妥当性検証	37
2.7.	まとめ	39
3.	周辺視野への情報提示の基本特性の分析	40
3.1.	背景	40
3.1.1.	周辺視野を活用した情報提示	40
3.1.2.	システムへの過信・不信	44
3.2.	本章の目的	45
3.3.	DS 実験	45
3.3.1.	実験シナリオ	45
3.3.2.	情報提示仕様	46
3.3.3.	実験条件	50
3.3.4.	分析指標	51
3.3.5.	実験結果	51
3.3.6.	システムに対する依存度	51
3.3.7.	情報提示に対する反応時間	52
3.4.	事故削減効果の評価	55
3.4.1.	シミュレーション解析	55
3.4.2.	シミュレーション結果	55

3.5.	考察	56
3.5.1.	反応時間と衝突率の分析	56
3.5.2.	周辺視野情報の事故削減効果に関する考察	59
3.6.	まとめ	61
4.	周辺視野を活用した情報提示方法の設計	62
4.1.	警報の競合が発生するシーンの抽出	62
4.2.	競合回避のアプローチ	63
4.2.1.	注意の多重資源モデル	63
4.2.2.	従来手法における注意資源の競合	64
4.2.3.	提案手法による注意資源競合の回避	66
4.3.	ドライバの状況認知過程のモデル化	67
4.3.1.	Endsley の意思決定モデル	67
4.3.2.	ドライバ・システムの相互関係を考慮した意思決定モデル	69
4.3.3.	情報提示時の状況認知過程のモデル化（中心視情報）	70
4.3.4.	情報提示時の状況認知過程のモデル化（周辺視情報）	71
4.3.5.	提案した認知過程モデルの検証	72
4.4.	複数情報の提示方法の設計	78
4.5.	まとめ	79
5.	情報提示方法の事故削減効果の定量的評価	81
5.1.	本章の目的	81
5.2.	DS 実験	81
5.2.1.	実験シナリオ	81
5.2.2.	実験条件	83
5.2.3.	情報提示仕様	83
5.2.4.	計測指標	89
5.3.	実験結果	90

5.3.1.	主情報に対する反応時間	90
5.3.2.	副情報に対する反応時間	90
5.3.3.	NASA-TLX	91
5.4.	事故削減効果の評価	92
5.5.	考察	93
5.6.	まとめ	94
6.	複数の運転支援情報の提示方法に関する設計指針の策定	95
7.	結論	103
7.1.	本論文のまとめ	103
7.2.	今後の課題	106
7.2.1.	高齢ドライバーに対する周辺視野情報の最適化	106
7.2.2.	実環境における運転行動への影響の評価	107
7.3.	今後の展望	108
7.3.1.	安全運転支援から自動運転へ	108
7.3.2.	自動運転時のHMIへの適用可能性の検討	109
	謝辞	115
	参考文献	116
	本研究に関する主論文	119
	国際会議 Proceedings/関連論文	120

1. 序論

1.1. 交通事故の発生状況

日本における交通事故の発生状況は、交通事故総合分析センター（ITARDA）によると、H24年度、事故件数は629,021件、負傷者数は781,494人、死者数は4,373人となっている [1]。図 1-1 は、日本国内における交通事故の発生状況の推移を示したものであり、飲酒運転に対する厳罰化、運転中の携帯電話使用の禁止、運転支援システムの導入などにより、ここ数年で事故件数、負傷者数、死者数ともに減少傾向にある。

一方、H22年の内閣府の発表によれば、「平成30年（2018年）を目途に、交通事故死者数を2,500人以下とし、世界一安全な道路交通の実現を目指す」としており、政府目標の実現には、更なる事故削減の対策が必要である。

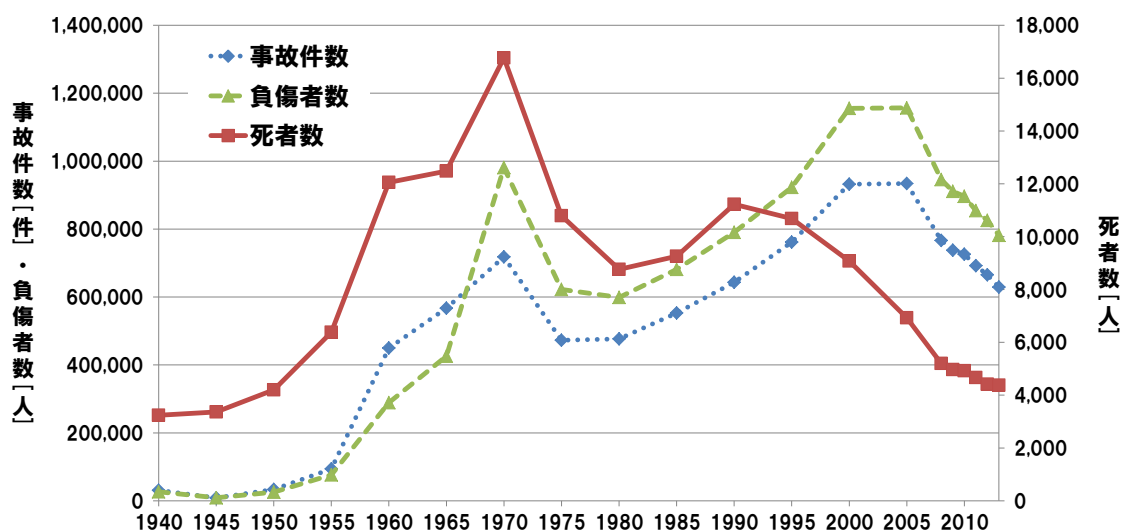


図 1-1 交通事故の発生状況 [1]

また、図 1-2 は、H24年度の死亡事故の発生件数を、発生地点別にまとめたものである [1]。死亡事故の37%が交差点、12%が交差点付近で発生しており、合わせて49%が交差点周辺で発生している。死亡事故の削減のためには、交差点周辺で発生する交通事故を未然防止することが必要である。

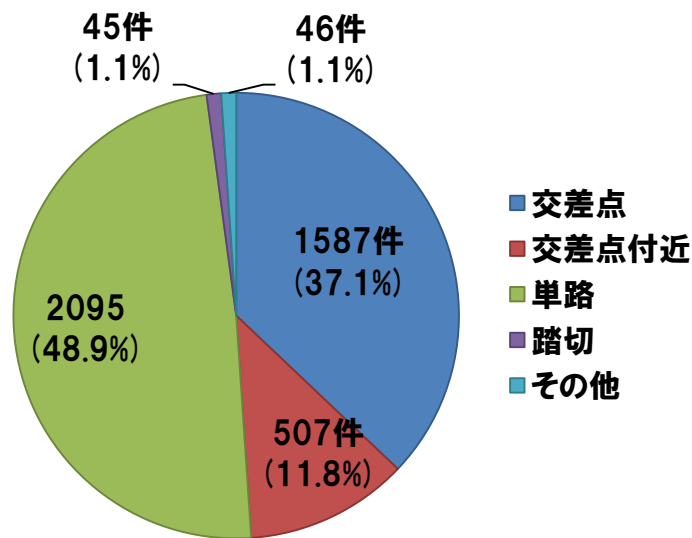


図 1-2 死亡事故発生状況（発生地点別） [1]

1.2. 路車間協調システム

交差点周辺の交通事故を未然防止するため、ドライバから直接見えない、または見落す可能性の高い車両や歩行者の情報を、センシング技術や路車間通信技術を用いてドライバに提供する路車間協調システムの実証実験が進められている。警察庁の推進する安全運転支援システム（DSSS：Driving Safety Support Systems）では、図 1-3 に示すように、右折時に見えにくい対向車両の情報を提供する右折時衝突防止支援システム、カーブ先の渋滞情報を提供する追突防止支援システム、見通しの悪い交差点における車両や歩行者の情報を提供する出会い頭衝突防止支援システムをはじめとする様々なサービスの提供が検討されている [2]。交差点に設置された路側センサを用いて、ドライバから見えない車両や歩行者・自転車などが検出されると、交差点に接近する車両を運転するドライバに対して、カーナビなどの車載機器のディスプレイを用いた情報提示（図 1-4）や、音声を用いた情報提示が行われる。

このように、現在検討されている路車間協調システムでは多様なサービスが想定されており、死亡事故の半数を占める交差点付近での事故の未然防止が大いに期待される。しかし、交差点を通過する際に複数のサービスの情報がドライバに同時、あるいは時間的に近接して提示される可能性があり、ドライバに提示される情報について適切に制御がなされない場合、片方の情報がマスキングされる、またはドライバが混乱していずれの情報も正確に理解できないといった問題が発生する可能性がある。

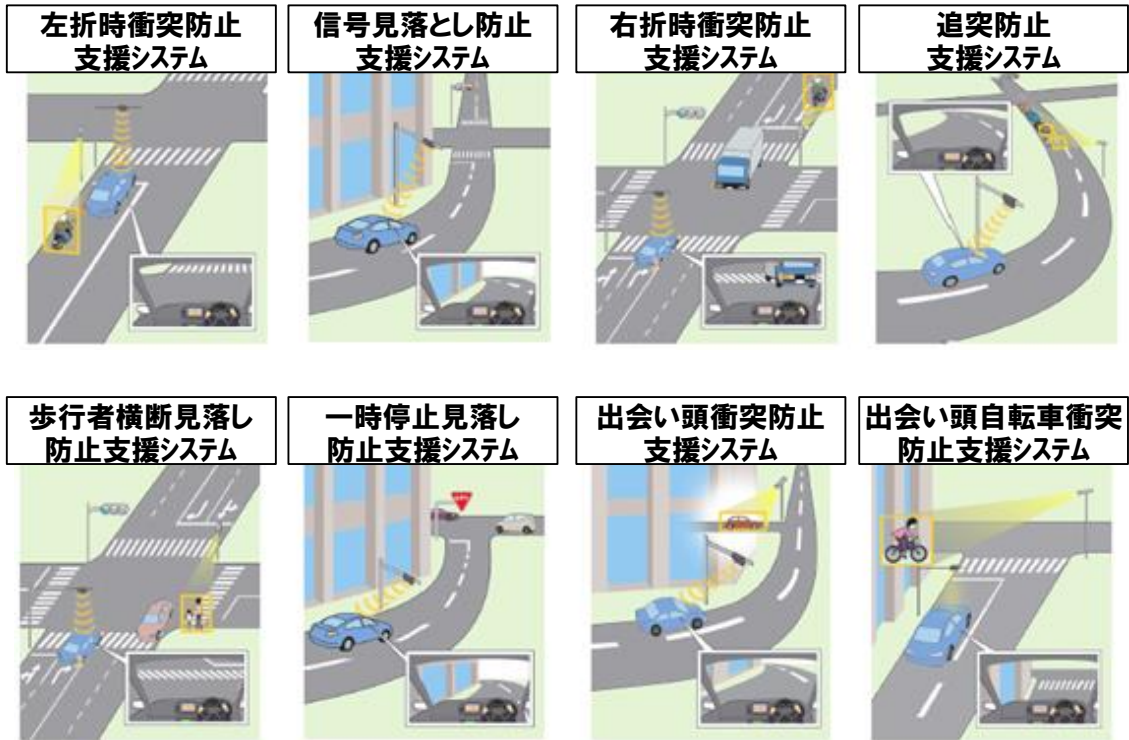


図 1-3 路車間協調システム [2]



図 1-4 ドライバへの情報提供の例

1.3. ドライバへの情報の提供における課題

1.3.1. 運転時の HMI に関する標準化動向

運転時の HMI (Human Machine Interface) に関する標準化は、ISO/TC22 (Road vehicles) /SC13 (Ergonomics) /WG8 (Transport Information and Control Systems on-board MMI) におけるシステム・ヒューマンインタフェース分科会で議論されている。

今後、運転中の機器操作や情報提供装置が増え、ドライバの作業負荷が増加することが懸念されており、システム・ヒューマンインタフェース分科会では、作業負担を最小限と

し、簡単な操作で安全を推進するための HMI の標準化を行っている。図 1-5 に、TC22/SC13/WG8 におけるワークアイテムの一覧を示す。

ISO/TS 16951:2004 [3]では、ドライバに提示される情報の優先度を、重大性と緊急性の2つの指標に基づいて決定し、優先度に基づいてドライバへの情報提示を行うことが推奨されている。重大性とは、ドライバに情報が伝わらない、または情報を無視した場合に発生する、事故又は故障による乗員及び車両損害の大きさであり、緊急性とは、システムから情報が提供された場合に、ドライバが即座に決断・行動しなければならない必要度合と定義される。

また、ISO/TR 12204:2012 [4]では、複数の警報がドライバに同時、あるいは時間的に近接して提示される場合を想定し、警報同士が競合するシーンの抽出と、競合を回避するためのアプローチがまとめられている。TR 12204 では、複数の情報が提示される状況下で優先度の高い情報を確実に伝えることを想定した TS 16951 に続いて、複数の警報が提示される状況下で双方を識別、理解できるような情報提示の在り方が議論されている。

このように、HMI の標準化に関する議論においても、複数の情報が提示される状況下で、ドライバの負荷を増加させずに、分かりやすく情報を提示することは重要な課題となっている。

	標準化テーマ	ISO番号	内 容
1	ダイアログ管理 Dialogue Management	ISO 15005	運転中の車載ITS機器の対話管理に関する人間工学的原則、及び適合基準
2	聴覚情報 Auditory Information	ISO 15006	聴覚によるITS情報提供に関する推奨項目と測定条件。
3	視認行動 Visual Behaviour	ISO 15007-1	ドライバの視認行動の分析・測定方法 Part1: 用語の定義とパラメータを標準化
		TS 15007-2	ドライバの視認行動の分析・測定方法 Part2: 試験装置と手法を標準化
4	視覚プレゼンテーション Visual Presentation	ISO 15008	可変表示を含むITS視覚情報表示の必要条件と評価方法
5	適合性 Suitability	ISO 17287	ITSシステムの運転中における適合性のアセスメント手法
6	優先順位 Priority	TS 16951	ITSを含む複数の情報を運転者に提供するための、優先順位を決める手法の規定
7	視覚散漫 Visual Distraction	ISO 16673	車載情報機器の視認操作負荷を台上測定する方法、2007年4月1日、IS発行
8	警告システム Warning Systems	TR 16352	警告の与え方に関する先行研究事例の整理、TRとして発行
9	警告の統合 Warning Integration	TR 12204	複数の警報がほぼ同時に出て、ドライバが適切に認知できるための設計指針を提供
10	車線変更シミュレーションテスト Simulated Lane Change Test	ISO 26022	PC上での車線変更タスクによる、車載装置操作時に生じるディストラクションの評価方法
11	キャリブレーションタスク Calibration Task	TR 14198	計測の実験条件がキャリブレーションされているかを判定する基準タスク
12	検知反応タスク Detection Response Task	WD 17488	周辺視検知等、比較的単純な検知課題(含む触覚、聴覚)による操作負荷評価法

図 1-5 TC22/SC13/WG8 におけるワークアイテム一覧

1.3.2. 従来研究と課題

HMI における標準化動向を踏まえて、複数の情報がドライバに提示される際の情報提示方法に関する研究動向を図 1-6 に整理した。図 1-6 は、複数の情報提示方法に関する研究について調査した結果を、情報提示方法の目的（横軸）と、複数の情報の発生するタイミング（縦軸）の2軸でまとめたものである。

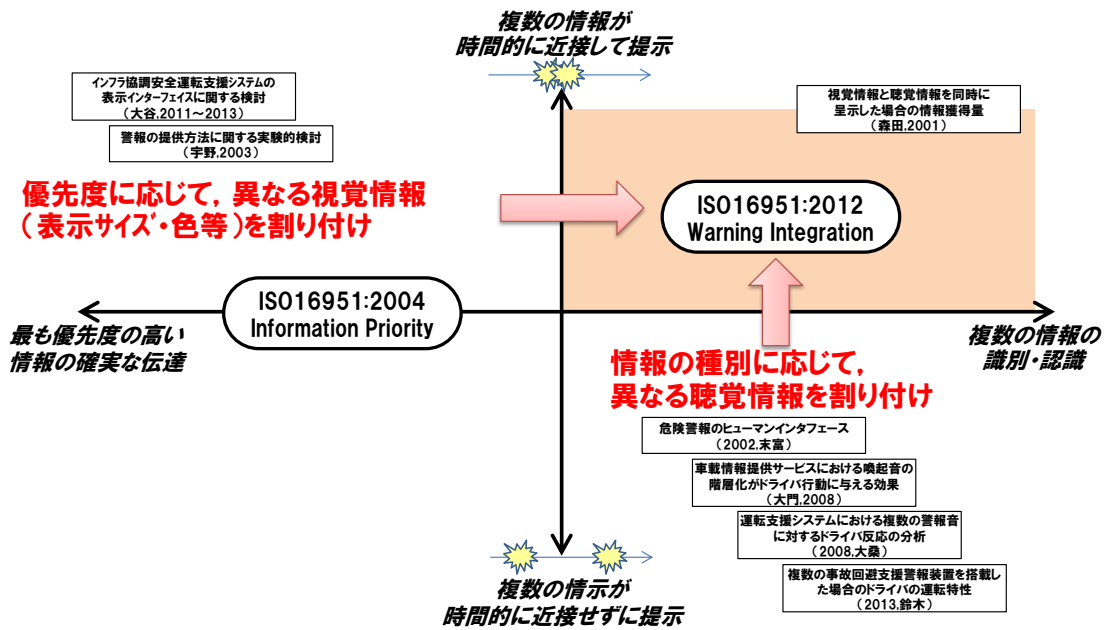


図 1-6 複数の情報の提示手法に関する研究動向

時間的に近接しない複数の情報がドライバーに提供されるシーンにおける、双方が識別可能な形態で提示するための情報提示方法に関しては、数多く研究が行われている（右下の象限）。末富ら [5]、大桑ら [6]、鈴木ら [7]は、前方車両衝突警報システム、歩行者衝突警報システム、レーン逸脱警報システムといった、複数の ADAS (Advanced Driving Support Systems) が車両に搭載された状況下で、ドライバーが迅速に警報の内容を理解するために、情報の種別ごとに異なる聴覚情報を割り付けることで、ドライバーの反応時間を短縮可能となることを示している。

例えば、末富らは、前方車両衝突警報システム、車線逸脱警報システム、歩行者衝突警報システムといった複数の ADAS が搭載された車両を想定して、それぞれの警報音を、同一のブープ音、音声、ブープ音+擬音を用いた場合に、ブープ音+擬音を用いて、警報の種別ごとに異なる聴覚情報を用いることで、それぞれの警報に対する反応時間を短縮できることを、実験を通じて明らかにしている (図 1-7) [5]。これらはいずれも、複数の ADAS からの警報が、異なるタイミングで提示される状況を想定しており、同時あるいは時間的に近接して提示される状況は想定していない。

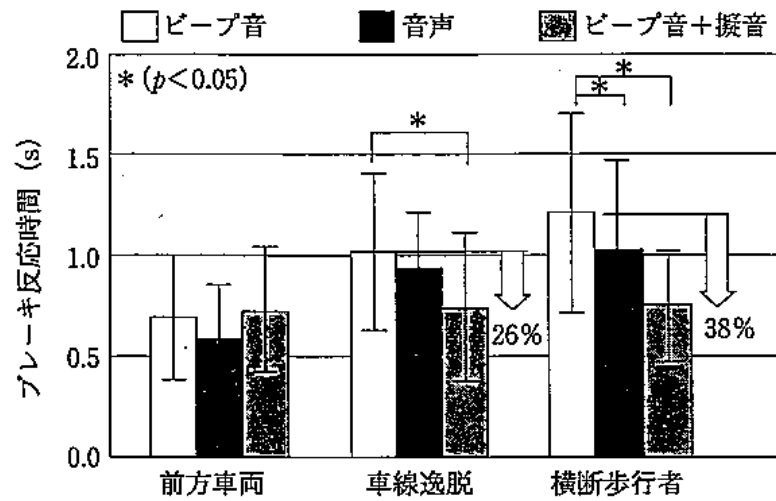


図 1-7 警報種別ごとの聴覚情報の割り付け効果 [5]

一方、複数の警報が時間的に近接してドライバに提供されるシーンにおける、優先度の高い情報を確実に伝達するための情報提示方法に関しては（左上の象限），大谷らは、路車間協調システムから複数の情報が提供される事を想定して、情報の優先度の高い情報の表示サイズを大きくするなど、優先度に応じて異なる視覚情報を割り付けることで、優先度の高い情報を確実に伝達する手法を提案している [8]. 具体的には、交差点において4種類の情報が路車間協調システムを通じて提示される際に、それぞれの情報の優先度を考慮せずに同一の形態でドライバに提示する場合（図 1-8 左）よりも、優先度の高い追突注意情報を強調してドライバに提示する（図 1-8 右）ことにより、ドライバが優先度の高い情報を迅速に理解できることを、実験を通じて示している。



図 1-8 優先度に応じた表示の物理特性の割り付け [8]

また、宇野らの先行研究 [9]では、複数の ADAS を搭載した車両を想定して、前方車両衝突警報、車線逸脱警報、エンジンオイル異常警報の 3 種の情報がドライバに提示される際に、重要な 2 種の情報を、情報の優先度を考慮せずに同一の形態でドライバに提示する場合（図 1-9 左）よりも、2 種の情報の優先度を考慮して提示する（図 1-9 右）ことにより、優先度の高い情報を迅速に理解できることを、実験を通じて示している。



図 1-9 警報の優先度に応じた表示 [9]

複数の警報が同時に、あるいは時間的に近接してドライバに提示されるシーンにおいて、双方の情報を識別・認識可能な情報提示手法に関しては、森田らは、運転時の暗騒音状態で 2 種の異なる音声情報を同時に提示する実験を行い、若年群と高齢群の実験参加者で正解数を比較したところ、若年群の実験参加者は平均 1.5 個、高齢群の実験参加者は平均 1.0 個の正解数であったことを報告している [10]。また、ISO/TR 12204 において、複数の警報が競合するシーンや、解決のアプローチについて述べられているものの、具体的な情報提供の手法に関する研究については、現状では研究事例が少ない。（右上の象限）。

今後、路車間協調システムの普及、また、ADAS の普及に伴い、優先度の高い重要な情報が同時に、あるいは時間的に近接してドライバに提示される可能性が高くなると考えられ、複数の警報を、双方の情報を識別・認識可能な形態でドライバに伝達する情報提示手法の提案が必要である。

1.4. 研究の着眼点

複数の情報を伝達可能な情報提示手法を提案する上での、本研究における着眼点を以下に示す。

1.4.1. 増加する車載ディスプレイ

近年、自動車のコックピットの電子化が加速している。図 1-10 は、セダン 1 台当たりの車載ディスプレイ面積の推移を示したものである [11]。カーナビゲーション（センターディスプレイ）、電子メータ、後席ディスプレイなどの普及により、車載ディスプレイは年々

増加してきている。今後、センターディスプレイの大画面化（図 1-11）、メータ部分のディスプレイ化（図 1-12）に加えて、ドライバーが前方から視線をそらさずに情報を取得可能なヘッドアップディスプレイ（図 1-13）や、車両後方に設置されたカメラを用いて視認性を高めた電子ルームミラー（図 1-14）等の普及が予想され、車載ディスプレイの増加は更に加速すると考えられる。

車載ディスプレイにより、情報提示の自由度が増加するため、運転環境やドライバーの嗜好、運転スタイルに応じて動的に表示内容を調整することが容易になる。また、複数のディスプレイでデザインや表示の視認性を統一する、一括して変更可能とする等、複数のディスプレイ間の連動が可能となり、多様な情報提示が可能になる。

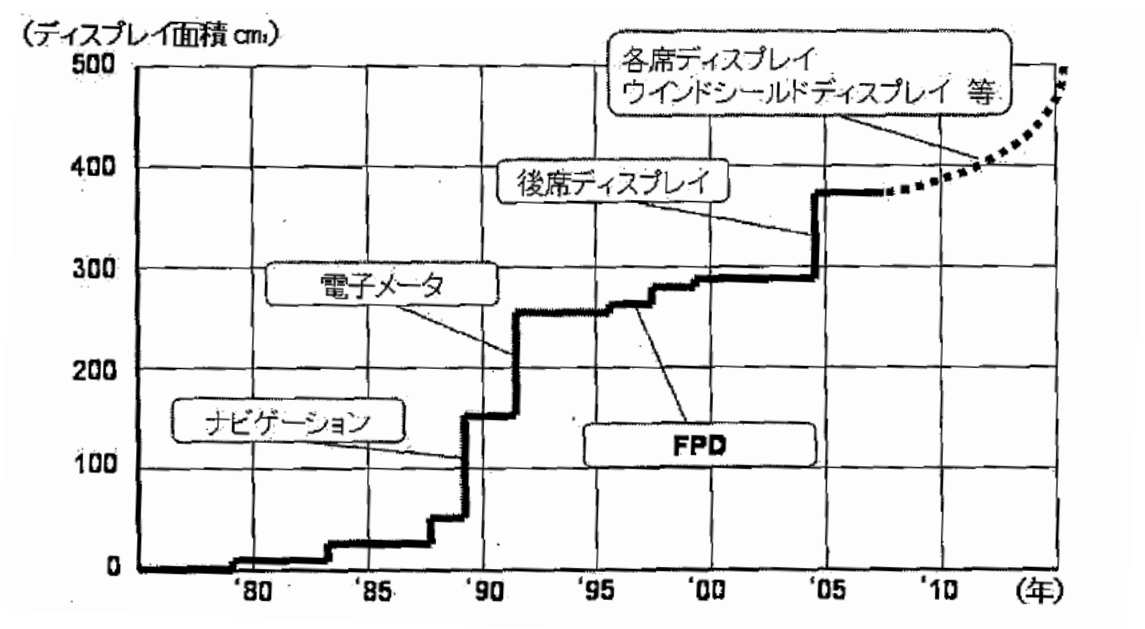


図 1-10 セダン 1 台当たりの車載ディスプレイ面積の推移 [11]



図 1-11 17 インチセンターディスプレイ (Tesla)



図 1-12 12.3 インチメータディスプレイ (Mercedes-Benz)



図 1-13 ヘッドアップディスプレイ (Panasonic)



図 1-14 スマートルームミラー (日産自動車)

1.4.2. ドライバの視覚特性

ドライバは運転に必要な情報の 90%を視覚情報から得ているとされる。我々の視界は約 200° に開けているが、その細部まで見ることができるのは中心視野と言われる約 2° に限られている。但し、中心視野のみが認知に寄与しているわけではなく、中心視野の周りの周辺視野による認知も、運転において重要な役割を果たしている。周辺視野は中心視による認知に干渉することなく、中心視での認知と同時に周辺視野での認知が可能である。

周辺視野の基本的な特性については、これまで多くの研究が行われている。周辺視の視力は、離心角度 10 度で中心視の 20%程度に低下し (図 1-15) , 細かい文字の識別などは、周辺視野では行うことができない [12].

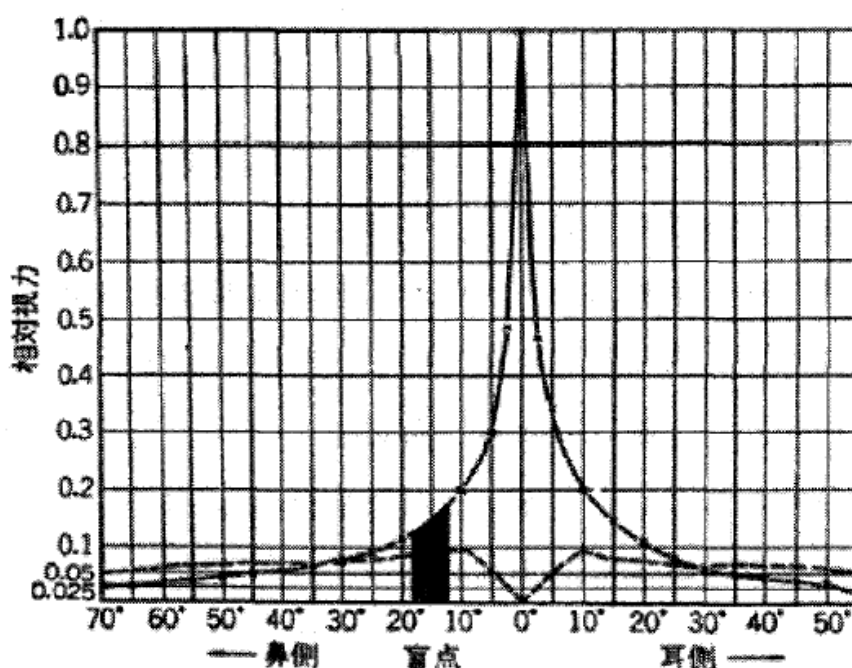


図 1-15 視力分布 [12]

中心視野と周辺視野の機能の違いは、視細胞の分布によるものである。図 1-16 は、眼球の構造及び、中心窩付近の視細胞の分布を模式的に示したものである。中心窩付近には、錐体と呼ばれる視細胞が高密度に分布し、その周辺部分では、錐体細胞の密度は低くなる。一方、桿体と呼ばれる視細胞は、中心窩付近に集中する錐体細胞を取り巻く形で分布する。

錐体細胞の多く分布する中心視野は、高空間周波数、低時間周波数に感度があり、錐体細胞及び桿体細胞の分布する周辺視野では、低空間周波数、高時間周波数に感度が高いと言われている。つまり、中心視野では、文字などの細かい情報や、時間的な変化の緩やかな情報の変化を識別可能であり、周辺視野では、細かい情報の識別は難しいが、時間的な変化については、高い感度を持つと言える。

以上のように、ドライバは、注視して詳細な情報を取得する中心視と、注視せずに周辺の状況を認識できる周辺視を組み合わせて、運転に必要な情報の取得を行っている。

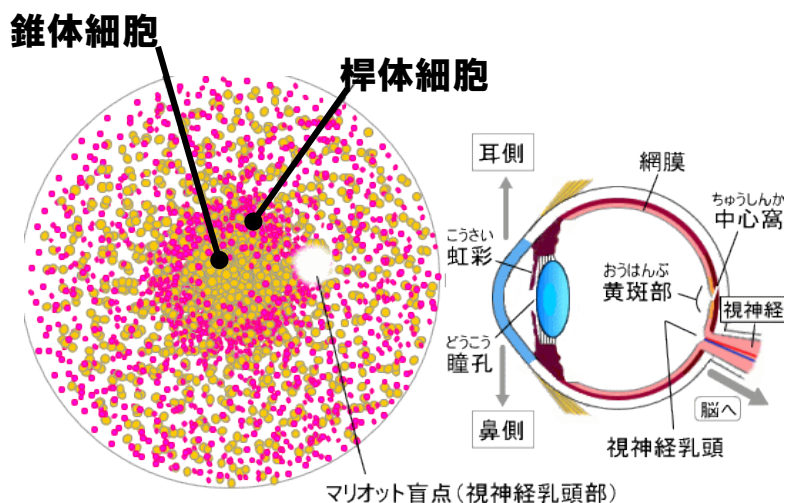


図 1-16 眼球の構造と視細胞の分布

1.5. 提案する情報提示手法

本研究では、1.4 で述べた着眼点に基づき、中心視に加えて周辺視野を用いて情報を取得する人間の視覚特性を、コックピットにおける情報提示に応用する事を考えた。注視して認知することを想定した通常の情報提示方法に加えて、注視を必要とせずに周辺視で認知可能な、言い換えれば、中心視に干渉せずに極めて低い認知負荷で情報の取得が可能な情報提示方法を組み合わせることで、複数の情報を、認知負荷を増加させることなくドライバに伝達できる可能性がある。

具体的には、ドライバの注視点付近に配置されるヘッドアップディスプレイ (HUD) に加えて、ドライバの周辺視野領域にあたるメータディスプレイ等を情報提示手段として活用することで、複数の情報を、ドライバの認知負荷を増大させずに伝達できると考えた。

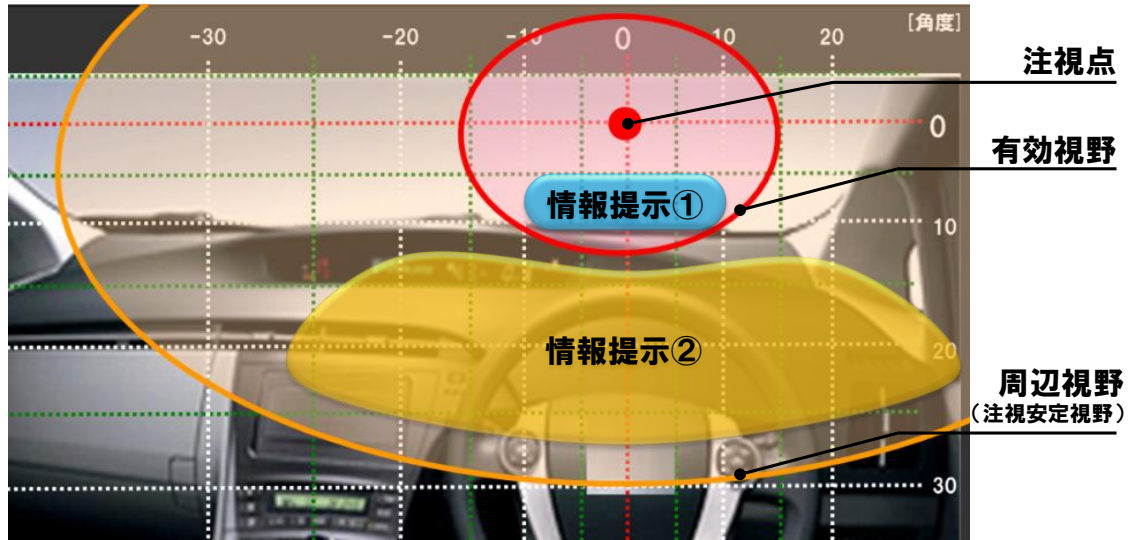


図 1-17 周辺視野を活用した情報提示

1.6. 研究の目的と論文の構成

以上の背景を踏まえて、本研究における目的は、「ドライバの周辺視野への情報提示を用いた、複数の運転支援情報を伝達する情報提示方法の提案」とした。

また、本目的を実現するための取り組みを、以下のように設定した。

- (1) 運転支援システムの導入効果評価手法の提案
- (2) 周辺視野を活用した複数の運転支援情報の提示方法の設計
- (3) 情報提示方法の事故削減効果の定量的評価
- (4) 複数の運転支援情報の提示方法に関する設計指針の策定

本学位論文の構成を図 1-18 に示す。本論文は、本章を含む、以下の7つの章から構成される。

第1章「序論」では、日本の交通事故発生状況を概観するとともに、運転支援システムにおけるドライバへの情報提示手法の課題を整理した。その上で、研究目的および論文の構成を示した。

第2章「運転支援システムの導入効果評価手法の提案」では、時間・コストがかかる実車実験を行うことなく、運転支援システムを導入した際の交通事故の事故削減効果を推定するため、ドライビングシミュレータ（DS）で計測した運転行動データに基づいて衝突回避シミュレーションを行い、事故削減効果を定量的に評価可能な手法を提案した。（主論文1）

第3章「周辺視野への情報提示の基本特性の分析」では、周辺視野への情報提示を単独で用いた場合の、情報提示の有効性について評価した。運転支援システムのヒューマン・マシン・インタフェースに関する設計においては、システムが期待した効果を得ることだけでなく、正常に作動しなかった場合のドライバへの負の影響を抑制することも必要と考えられていることから、システムが正常に作動する場合に加え、欠報となった場合の影響についても評価した。その結果、周辺視野への情報提示手法の一定の事故削減効果を確認するとともに、欠報時の衝突リスクの増加が抑制できる可能性がある事を明らかにした。（主論文2）

第4章「状況認知過程の分析に基づく情報提示方法の設計」では、第3章で得られた周辺視野への情報提示の基本特性に基づき、運転時のドライバの意思決定モデルを用いて、周辺視野へ情報が提示された際の状況認知プロセスを明確にした。その上で、緊急性・信頼性が高い情報は、ドライバの正面に配置されるヘッドアップディスプレイ（HUD）に、注視して認知することを想定したアイコンと文字を用いて表示し、それ以外の情報は、周辺視野領域へ、注視せずに認知できる低空間周波数のアンビエント表示を用いて、危険の気配として表示することで、複数の情報を、認知負荷を増加させることなく伝達する情報提示方法を設計した。

第 5 章「情報提示方法の事故削減効果の定量的評価」では，見通しの悪い交差点において，交差車両と歩行者が同時に出現するシーンを例として，第 4 章で提案した複数の情報の提示手法の有効性の検証を行った．結果，優先度が高い情報（交差車両情報）の事故削減効果に影響を与えず，優先度が低い情報（歩行者情報）の事故削減効果を，従来手法よりも改善できることを明らかにした．（主論文 3）

第 6 章「複数の運転支援情報の提示方法に関する設計指針の策定」では，本研究を通じて得た知見に基づき，複数の情報提示を行う際の処理フロー及び情報提示仕様について，設計指針案としてまとめた．

第 7 章「結論」は，本研究で得た結果を総括した上で，周辺視野を活用した情報提示の実用化に向けた課題と，今後実現が期待される自動運転時の HMI への適用可能性について述べた．

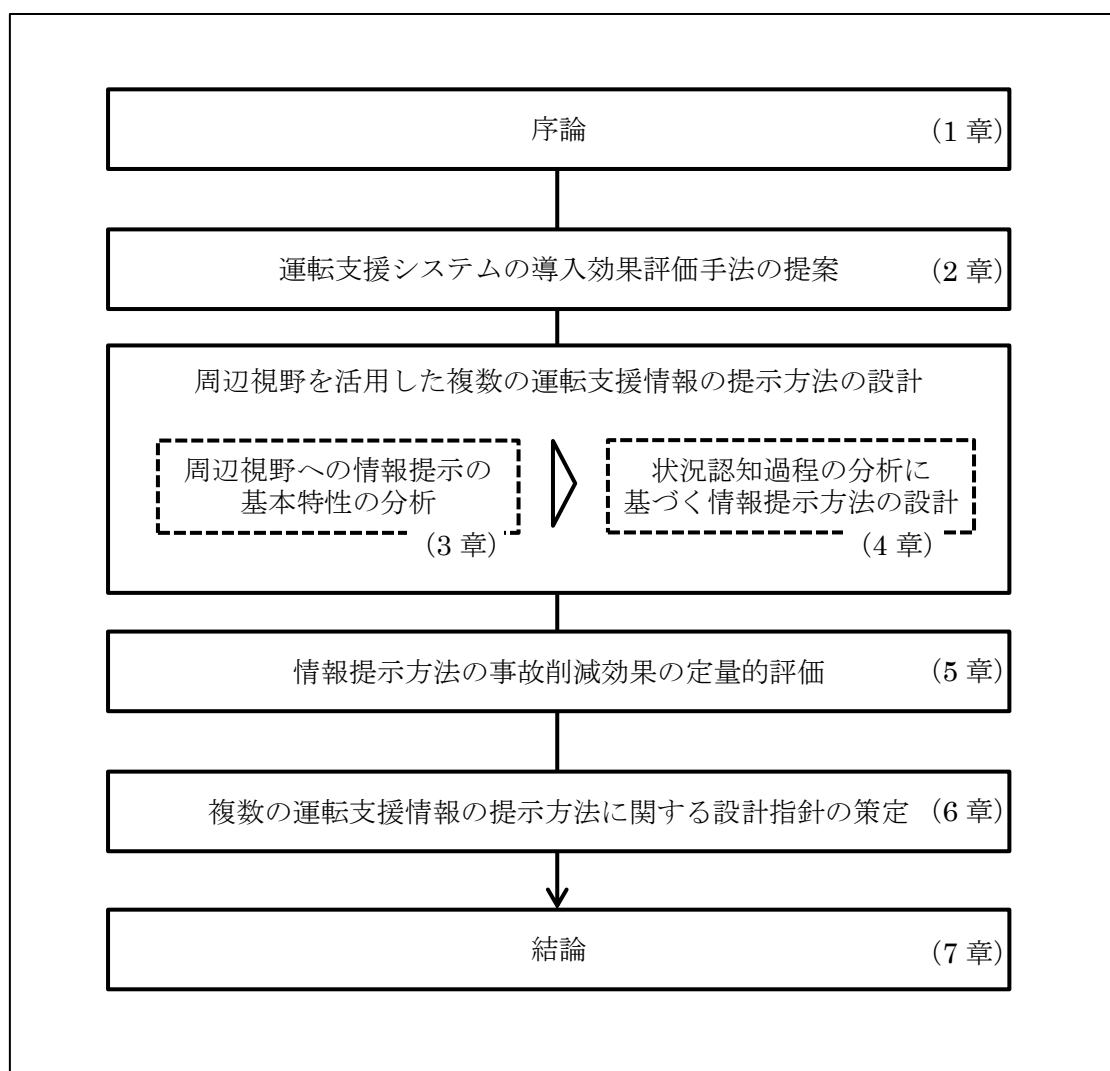


図 1-18 本論文の構成

2. 運転支援システムの導入効果評価手法の提案

2.1. 背景

2.1.1. 導入効果評価手法の必要性

図 2-1 は、路車間協調システムや ADAS といった運転支援システムを用いた際の、ドライバの運転行動モデルを模式的に示したものである [13]。ドライバは、走行環境を認知し、危険回避の必要性があるかどうかを判断した後、アクセル、ブレーキ、操舵などの運転操作を行い、車両の制御を行っている。運転支援システムは、ドライバの認知、判断、操作のいずれか、または複数の機能を支援するものである。

運転支援システムの導入効果を評価するためには、システムの支援によって、ドライバがアクセル・ブレーキなどを操作するまでの時間がどれだけ短縮されたか、という、操作反応時間が良く用いられている（図 2-1 評価指標①）。しかし、運転支援システムの目的は交通事故の未然防止であり、ドライバの操作反応時間の短縮効果が、結果としてどの程度交通事故の削減に結び付くか、という観点での評価が重要である（図 2-1 評価指標②）。

特に、路車間協調システムの場合は、交差点を監視するセンサや、交差点に接近する車両に情報を配信する仕組みなど、インフラの整備に膨大なコストがかかるため、システムの導入によりどの程度の事故が削減できるか、といったシステムの導入コストと、導入により得られる便益である交通事故低減効果とを比較することが重要である。

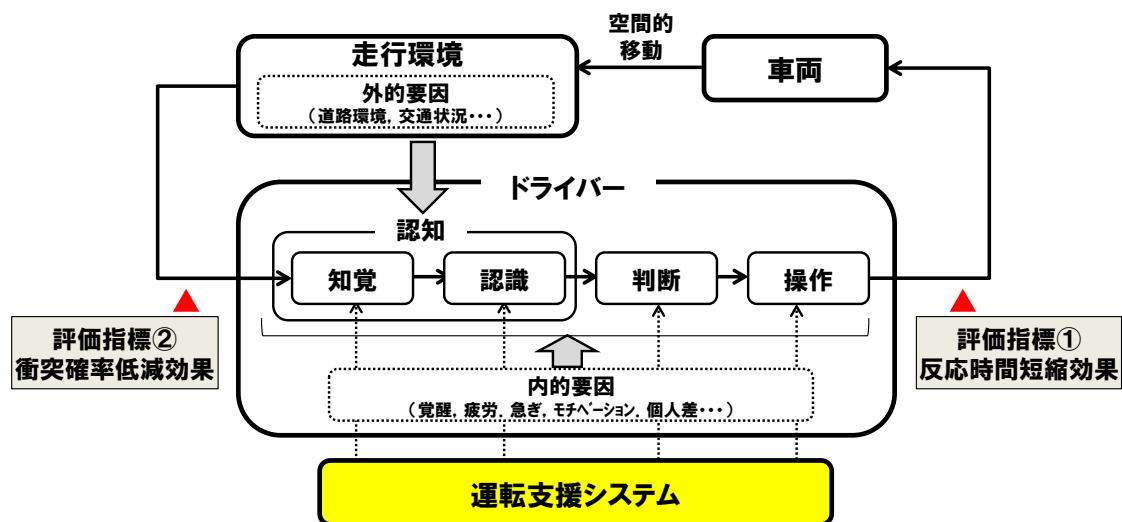


図 2-1 運転支援システム導入時のドライバの運転行動モデル [13]

2.1.2. 導入効果評価手法の比較

運転支援システムの導入効果の評価手法や、交通事故の発生確率の推定手法については、実際の車両を用いた大規模な評価実験から、導入効果を数値計算により机上で推定する手法まで、様々な方法が提案されている。図 2-2 は、運転支援システムの導入効果の評価に関する研究を、2 軸で整理したものである。縦軸の下方は精度を重視した取組、上方はコストを重視した取組（複数の運転シーンに容易に適用可能かどうか、といった汎用性の観点も含む）であることを示す。横軸の右方向は、全国の追突事故、右折事故あるいは出会い頭事故など、広範囲における事故の発生確率を推定するマクロシミュレーションであり、左方向は、特定交差点における交通状況やドライバの運転行動に基づいて、局所的な交通事故の発生確率を推定するマイクロシミュレーションを示す。

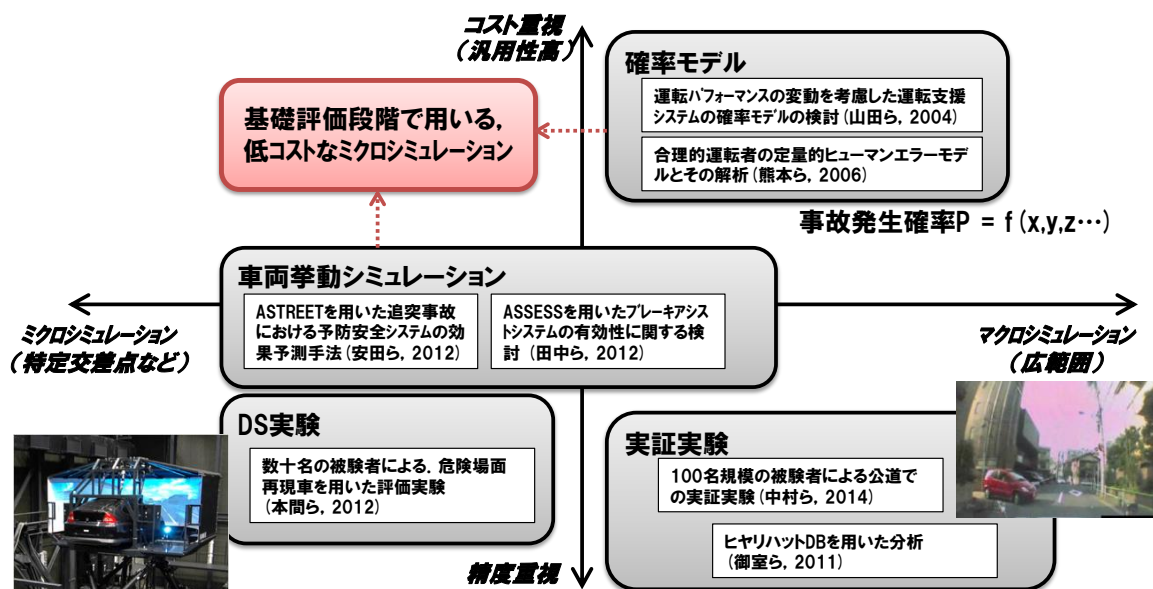


図 2-2 導入効果評価手法の比較

精度を重視した取り組みとしては、中村らは、100名規模の一般人を対象とした実証実験により、路車間協調システムの一つである右折時衝突支援システムの導入効果の評価しており [14]、御室らは、国内の3地域のタクシーに装着したドライブレコーダーで収集したヒヤリハットデータ（事故に至らない急ブレーキ、急ハンドルなどのデータ）を基に、ADASの一つである衝突被害低減ブレーキの導入効果を推定している [15]。また、本間らは、ドライビングシミュレータ環境において70名以上の被験者による実験を実施し、前方車両衝突防止支援システムの導入効果の評価を行っている [16]。

安田ら、田中らは、実証実験や、被験者を用いたDS実験を行わずに、交通環境と車両挙動を、計算機を用いて机上でシミュレーションすることで、システムの導入効果の評価する手法を提案している [17] [18]。これらのシミュレーションでは、被験者実験を行う必要

はないが、実環境を正確に再現するためには複雑なシミュレーションモデルを構築する必要があり、膨大な計算機の処理が必要となる。

一方、コストを重視した取組としては、山田ら [19]、熊本ら [20]によって、事故発生のメカニズムを簡素化し、事故発生確率を数値計算により試算する方法が提案されている。しかし、これらの手法はいずれも、広範囲における事故の発生確率を推定するマクロシミュレーション手法であるがゆえに入力パラメータが限られており、ドライバの運転行動の個人毎のばらつきや、特定交差点における交通状況が考慮できないため、特定交差点における交通事故の発生状況などの局所的なシミュレーションに適用すると、推定精度が低下する場合がある。

以上のように、運転支援システムの導入効果の評価手法は、目的に応じて様々な手法が提案されているが、情報提示の基礎的な検討・評価のためには、様々な運転シーンに容易に適用可能でき、かつ、特定交差点における交通流や運転行動を反映できるミクロシミュレーションモデルの提案が必要である（左上の象限）。

2.2. 既存手法の課題と本章の目的

本節では、先行研究において、山田らにより提案されている確率モデルを用いた評価手法（状態遷移確率モデル） [19]の課題を整理した上で、本章の目的について述べる。

運転パフォーマンスの観点からみた交通事故発生のメカニズムを図 2-3 に示す。図 2-3 に示すように、ドライバの運転パフォーマンスが交通環境の要求する運転パフォーマンスを下回った場合に、交通事故発生のリスクが高まると考えられる。先行研究において山田らは、このメカニズムをシステム信頼性工学におけるシステムの故障・回復に見立て、システムの故障確率を推定する信頼度関数を用いて、交通事故の発生確率を推定する状態遷移確率モデルを提案している。この中で、全国における年間の追突事故の発生頻度を状態遷移確率モデルで推定し、実際の事故統計とほぼ一致していることを確認することで、確率的なアプローチにより交通事故の発生確率を推定する手法の妥当性を検証している。

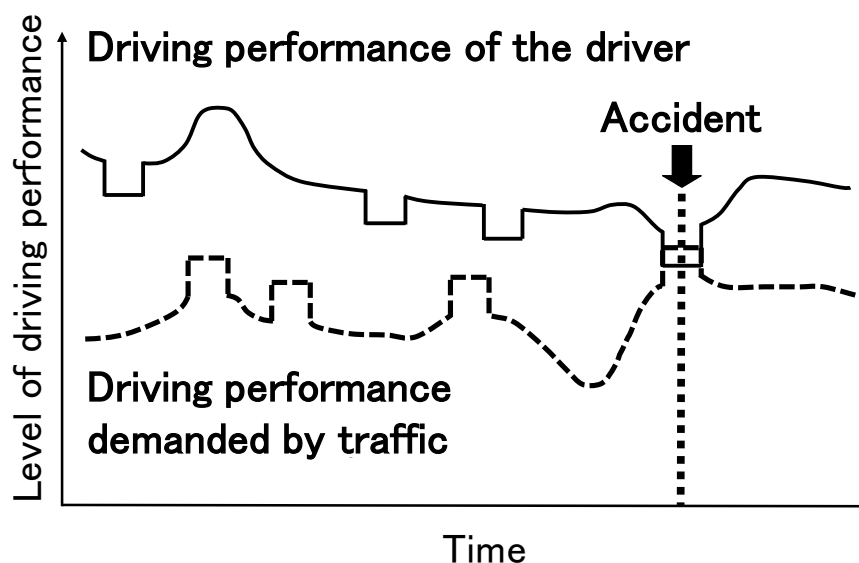


図 2-3 運転パフォーマンスの変動

このように、状態遷移確率モデルは信頼度関数を用いて交通事故の発生確率を推定可能であるが、特定交差点における交通流や、危険発生時のドライバーの回避行動に関しては、モデルへの反映が限定的であるという課題があった。そこで、本研究では、状態遷移確率モデルの考え方を踏まえながら、交通流やドライバーの回避行動を反映して、特定交差点における事故の発生確率を推定可能なマイクロシミュレーションモデルを提案する。

本研究の目的は、見通しの悪い交差点へ接近時、交差車両の情報を提供する運転支援システムの事故削減効果を例にとって、新たに提案する時系列信頼性モデルの妥当性の検証を行うことである。

本章の取り組みのフローを図 2-4 に示す。はじめに、DS を用いて見通しの悪い交差点を再現し、被験者実験により交差点通過時の運転行動を計測する (①)。続いて、計測した運転行動を状態遷移確率モデルと、時系列信頼性モデル其々に入力し、運転支援システムの導入による事故削減効果を推定する (②, ③)。最後に、それぞれにシミュレーション手法を用いて算出した事故削減効果と、事故統計データから推定した、見通しの悪い交差点における事故発生確率との比較を行うことで、提案するシミュレーション手法の妥当性について検証する (④)。

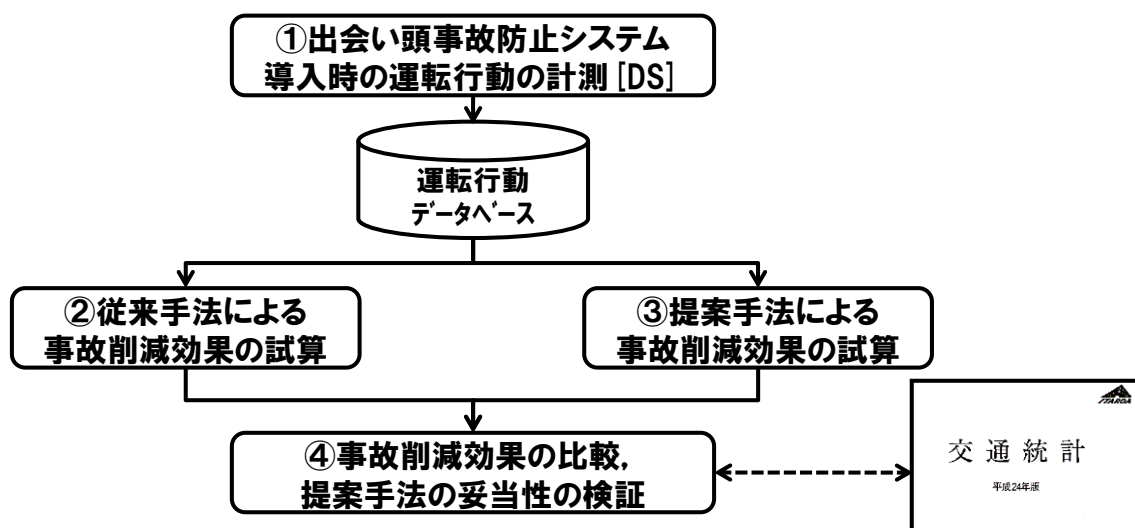


図 2-4 本章の取り組みの流れ

2.3. DS 実験

運転支援システム導入時による事故削減効果のシミュレーションへの入力データとしての運転行動データを生成するために、DS を用いて見通しの悪い交差点を再現し、運転支援システムを使用した場合のドライバの運転行動の計測を行った。

2.3.1. 実験概要

実験には、前方、左右のスクリーンに走行環境を映写する、視野角 135 度の DS を用いた (図 2-5)。



図 2-5 ドライビングシミュレータ (DS)

DSを用いて構築した実験シナリオを図 2-6 に示す。DS 実験では、長時間の運転により注意散漫が発生し、見通しの悪い交差点通過時に前方不注意となる状況を再現した。被験者が運転する自車両（#A）は、信号がなく見通しの悪い交差点に、非優先側の道路から接近する。自車両は一時停止線で一旦停止後、安全を確認して交差点に進入し、交差点を通過する。見通しの悪い交差点での出会い頭事故を想定し、自車両が交差点に進入するタイミングで、交差車両（#B または #C）を 50km/h で左右片側からランダムに出現させた。交差点付近には、障害物（#E）を配置し、見通しが悪く、交差車両を確認しづらい状況を再現した。被験者が単路を走行中、交差点が 5 分おきに出現するように実験シナリオを設定した。また、長時間運転での注意散漫を再現するため、全実験時間は 60 分とし、被験者は計 12 回の交差点を通過した。

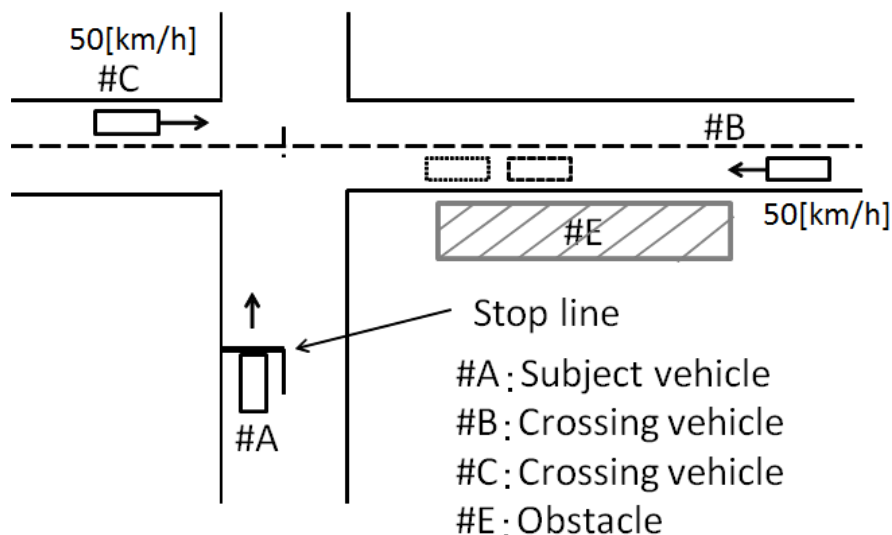


図 2-6 実験シナリオ

2.3.2. 芳香成分の供給装置

本研究では、長時間の運転による注意散漫を抑制する運転支援システムとして、香り成分（ α -ピネン）をドライバーへ供給するシステムを例として用いた。

α -ピネン（ α -Pinene: $C_{10}H_{16}$ ）は、松脂やヒノキの香り成分と同じ森林の香の一種である。脳からのアルファ波の発生を増加させるリラックス効果を持ち、医薬品の原料としても広く使用されている。また、先行研究 [21] [22] では、運転中にドライバーに α -ピネンを供給することにより、運転による疲労やストレスの低減効果を持つことが確認されている。

芳香成分の供給装置の概要を図 2-7 に示す。実験時に使用する α -ピネンの供給は、23°C で温度管理を行う恒温槽の中に液体状態の香り成分を 200CC 充填し、バブリング方式により気化させ、脈動ポンプで規定の嗅覚刺激レベルを示す流量を保持しながら、ドライバーの

顔面付近に噴射した。この際、流量の変化から香りの供給タイミングを被験者が知覚できないように、香り供給用のノズルの他、空気のみを常時噴射するノズルを設置した。また、実験において、 α ピネンの濃度水準、供給時間、供給間隔時間は先行研究によって最適化された値を用いた [23]。具体的には、濃度水準 4（強い匂い）、供給時間 15 秒、供給間隔 5 分とした。

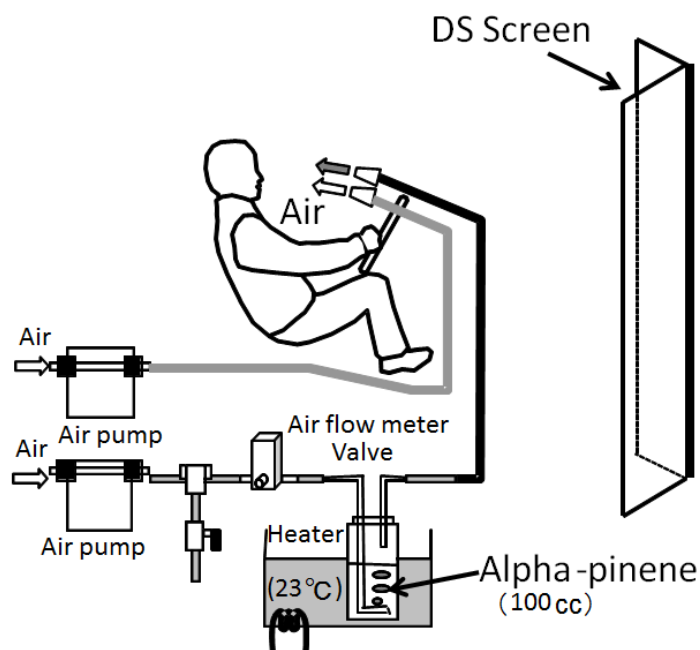


図 2-7 芳香成分の供給装置

2.3.3. 計測指標

DS 実験中のドライバの運転状態を定量化するため、交差点進入時に交差車両に気づくまでの時間と、直線道路走行中のドライバの注意状態の計測を行った。

(1) 交差車両に対する気づき時間

気づき時間の定義は、図 2-8 に示すように被験者 (#A) が交差点にある停止線で一旦停止した後に (①) 徐行動作を行いながら前方に進んだ際の、交差車両 (#B) がスクリーンに表示されてから (②) 被験者が制動操作を開始するまでの時間 (③) とした。なお、交差点を通過する動作を行う度に交差車両 (#B) が接近すると、学習効果によりドライバは交差車両 (#B) に警戒してしまう。そこで、任意の交差点において交差車両 (#B) が接近しない場合も再現した。

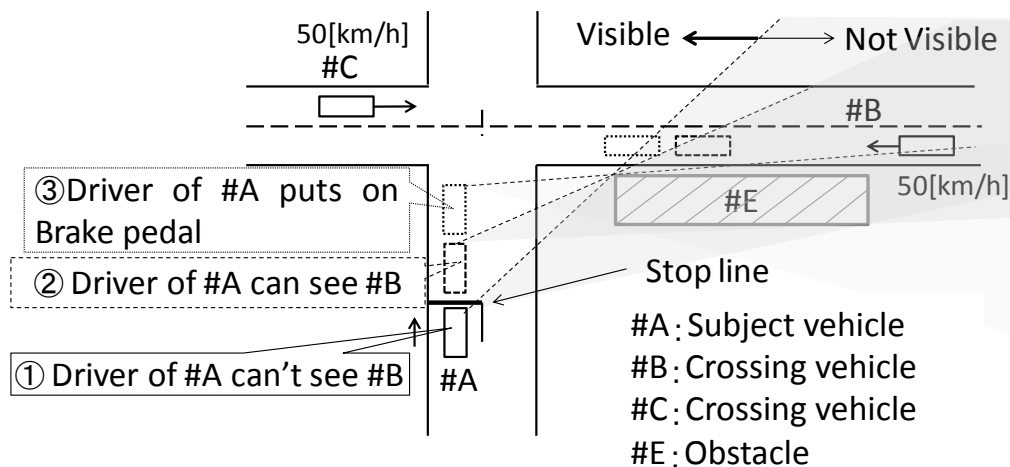


図 2-8 交差車両に対する気づき時間

(2) 視覚刺激に対する反応時間

ドライバの運転中の注意状態を分析するため、LED を用いた視覚刺激に対するドライバの反応時間を計測した。ドライバの正面と左右 45 度の合計 3 ヲ所に赤色のランプを設置し、ランダムな順序で 1 ヲ所を点灯させた。被験者には、ランプの点灯に気づいた時点でステアリングに設置したプッシュボタンを押す操作を行ってもらった。ランプの点灯間隔時間は、被験者にランプの点灯タイミングを予知されないようにするため、平均 15 秒、標準偏差 5 秒とした。なお、プッシュボタンを押すとランプは消灯する。ランプが点灯してから被験者がプッシュボタンを押すまでの時間を、視覚刺激に対する反応時間として計測した。

2.3.4. 実験条件

本実験における実験条件を以下に示す。

- (1) コントロール：交差点出現時に、運転支援を何もおこなわない
- (2) 音声提示：交差点の 10 秒手前から音声による交差点接近情報を提示する
(音声内容：「この先交差点があります」)
- (3) 音声提示+芳香成分の供給：交差点の 10 秒手前から音声による交差点接近情報の提示を開始し、このタイミングの前後 15 秒間で芳香成分を供給する

音声や芳香成分を提示する条件では、交差車両の有無に関わらず、常に音声の提示、芳香成分の供給を行った。

表 2-1 に、実験参加者の概要を示す。平均年齢 22.0 歳で標準偏差 1.1 歳の男性 18 名に協力を依頼した。なお、実験の開始前には、十分なインフォームドコンセントを行った。

表 2-1 実験参加者

項目	条件
実験者数	18名（男性）
年齢	22.0歳（標準偏差 1.1歳）
その他の条件	運転免許を所有し、定期的に運転を行っている （運転歴平均 3.5年，標準偏差 0.9年）

2.3.5. 実験結果

2.3.5.1. 交差車両に対する気づき時間

交差点の通過行動における、右からの交差車両への気づき時間について、1条件につき10個のデータを計測し、被験者18名で180個の気づき時間の分析を行った。被験者18名の平均値と標準偏差を表2-2に示す。結果より、音声のみを提示した条件（音声条件）の気づき時間は、コントロール条件とほぼ同等であった（有意差なし）。一方、音声+芳香成分を提示した条件（音声+芳香条件）で、コントロール条件と比較して気づき時間が有意に短縮された（ $p < 0.05$ ）。芳香成分の薬理効果により、交差点通過時の運転に対する注意が高まり、交差車両に対する気づき時間が短縮されたと考えられる。

表 2-2 交差車両に対する気づき時間の計測結果

Notice Time					
Control		Information presentation		Supplying aroma + information	
average[s]	SD[s]	average[s]	SD[s]	average[s]	SD[s]
1.21	0.66	1.19	0.51	0.98	0.57

2.3.5.2. 視覚刺激に対する反応時間

次に、視覚刺激に対する反応時間を用いて、運転に対する注意状態の定量化を行った。視覚刺激に対する反応時間が大幅に遅れた場合には、運転に対する注意が低下している状態と考えられる。本研究では、運転走行に支障がないと考えられる反応時間の閾値を設定し、その閾値を超えた反応時間が発生した状態を、前方に対する注意量の低下によるディストラクションが発生している状態と定義した。先行研究において、運転中のカーナビ視認時間（視線が前方からナビ画面に移動し始めてから再び前方へ戻るまでの時間）の許容時間として、1.5秒が検討されている。本研究では、各被験者の60分間の実験走行中に計測された視覚刺激に対する反応時間の平均値を算出し、平均値+1.5秒を閾値として、閾値を超えた反応時間をエラー継続時間として取り出すことで、ディストラクションの発生している時間の定量化を試みた。

以上のようにして被験者 18 名のエラー継続時間を算出し、全被験者分を条件ごとに累積頻度分布の形でまとめた結果を図 2-9 に示す。結果より、音声提示条件において、エラー継続時間が大きく増加している。一方、音声に加えて芳香成分を供給した場合には、エラー継続時間の増加が見られず、コントロール条件とほぼ同じエラー継続時間となった。

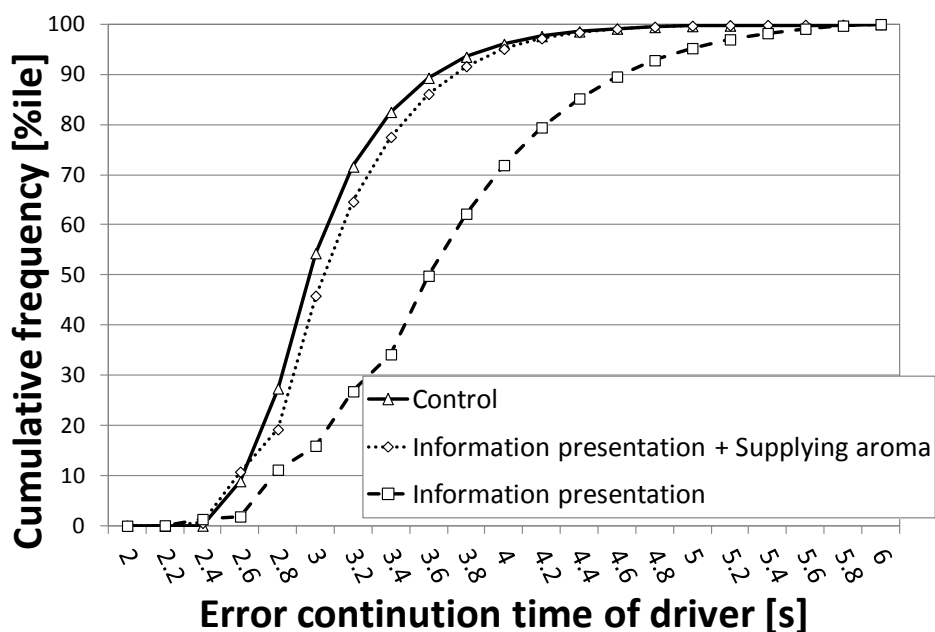


図 2-9 視覚刺激に対する反応時間の計測結果

本実験では、繰り返し提示される交差点手前での音声提示にドライバが過度に依存した可能性があり、直線道路に注意散漫状態が発生し、エラー継続時間が増加したと考えられる。また、音声に加えて芳香成分を供給することにより、音声条件下で発生した注意散漫が、 α ピネンの疲労・ストレス軽減といった薬理効果により低減されたと考えられる。

また、被験者ごとにエラー継続時間の数、つまり、実験中のディストラクションの発生頻度は異なると考えられるが、本研究ではエラー継続時間の長さのみを分析対象とした。

2.4. 提案手法を用いた導入効果評価

DS 実験のデータ数は限られているため、非常に低い確率で発生する衝突確率を、DS 実験の結果のみから分析することは、統計的な信頼区間の観点から困難であると考えられる。本研究では、DS 実験により計測した気づき時間やドライバーのエラー継続時間の分布から、モンテカルロシミュレーションにより複数の運転行動データを再現し、時系列信頼性モデルを用いて衝突確率の解析を試みた。

2.4.1. 時系列信頼性モデルの概要

新たに提案する時系列信頼性モデルの概念について図 2-10 に示す。図 2-10 は、図 2-3 で示した交通事故発生メカニズムを、(1) 環境軸、(2) ドライバ軸、(3) ドライバ・環境軸からなる、横軸を時間軸とした” Error/Normal ”の時系列の矩形波によりモデル化したものである。

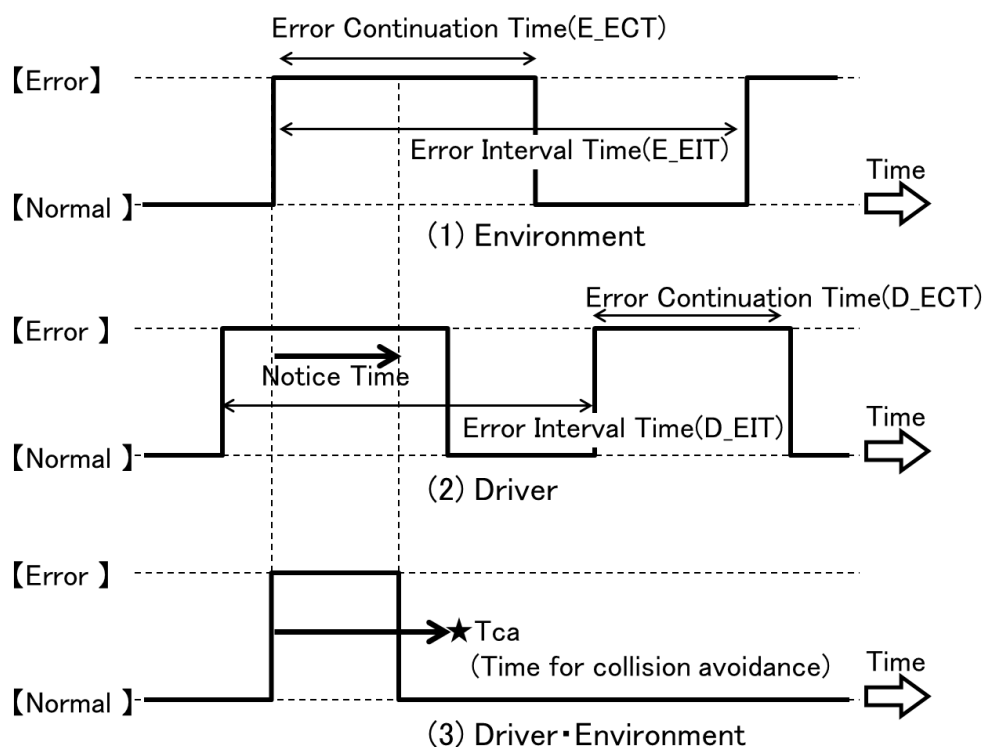


図 2-10 時系列信頼性モデルの概念図

(1) の環境軸は、交通環境から要求される運転パフォーマンスを示し、交差車両がスクリーンに現れた瞬間を、システム信頼性工学における故障が発生した状態を示す” Error (交通環境からのデマンドが高い状態) ” にセットし、交差点を通過したタイミングで、エラーが回復した状態を示す” Normal (交通環境からのデマンドが低い状態) ” としてセット

する。次に、ドライバ軸 (2) は、ドライバの運転パフォーマンスを示し、ドライバのディストラクションが発生した場合に” Error (注意散漫状態) ” にセットし、発生していない場合に” Normal (正常状態) ” にセットする。

これらの時系列の矩形波は、エラーの継続時間であるエラー継続時間 (Error Continuation Time : ECT) と、次のエラーが発生するまでの時間であるエラー間隔時間 (Error Interval Time : EIT) により定義される。環境のエラー継続時間 (E_ECT) は、DS 実験において交差車両がスクリーンに表れてから交差点を通過するまでに要する時間を意味し、エラー間隔時間 (E_EIT) は、交差車両が出現する間隔を意味する。ドライバのエラー継続時間 (D_ECT) はドライバのディストラクションが発生している時間を意味し、エラー間隔時間 (D_EIT) は、ディストラクションが発生する間隔を意味する。本研究では、ディストラクションが発生している場合、LED に対する反応時間が遅れるものの、ドライバが LED の点灯に気づいてボタンを押すという能動的な行動をとった時点で、注意散漫状態から回復すると仮定し、D_ECT として、3.5.2 において視覚刺激に対する反応時間から算出したエラー継続時間を用いた。

環境軸 (1) とドライバ軸 (2) が共にエラー状態となった場合、事故発生リスクが高まるが、ドライバは事故発生リスクに気づいて所定時間後に回避行動をとるものとして、ドライバ・環境軸 (3) は、所定時間 (気づき時間 : Notice Time) 後にエラー状態を回復する。最終的に、ドライバ・環境軸 (3) のエラー継続時間と、交通環境によって決定される衝突の回避に必要な衝突回避時間 (Time for collision avoidance : Tca) を比較し、ドライバ・環境軸 (3) のエラー継続時間が、Tca よりも長い場合には衝突が回避できないとして、衝突の判定を行う。

2.4.2. 時系列信頼性モデルへの入力値

時系列信頼性モデルへの入力情報を表 2-3 に示す。表 2-3 に示す入力情報の中で、ドライバのエラー継続時間 (D_ECT) , 気づき時間 (Notice Time) については、DS 実験における、実験条件ごとの計測指標 (表 2-2, 図 2-9) を用いた。また、Tca に関しては、DS 実験と環境を統一させるために、平均 4 秒、標準偏差 0.2 秒とした。それ以外に入力値については、本研究で分析を行う相対的な衝突低減率には影響がなく、また、交通環境に大きく依存すると考えられるため、便宜的に表に示す値を設定した。

表 2-3 シミュレーションモデルへの入力値

Related axis in the driver-model	Parameter	Average[s]	S.D. [s]
Environment	E_ECT	5	2
	E_EIT	10	2
Driver	D_ECT	DS experiment	
	D_EIT	30	10
Driver/Environmental	Notice Time	DS experiment	
	Tca	4	0.2

2.4.3. 時系列信頼性モデルによるシミュレーション結果

時系列信頼性モデルにより、衝突確率をシミュレーションした結果を表 2-4 に示す。表 2-4 より、情報提示条件の衝突確率は、コントロール条件よりも若干増加がみられ、本シミュレーションでは、音声提示による衝突回避効果が見られない結果となった。今回の DS 実験では、交差点接近時に繰り返し音声提示を行うことで、システムへの過度な依存が発生した結果、コントロール条件より、反応時間が大幅に増加した可能性がある。一方、交差点通過時の「気づき時間」については、コントロールとほぼ同等の結果となった。以上から、本実験で再現は、音声への過度な依存が発生し、ドライバの自発的な安全確認行動が抑制されたため、通常よりも衝突確率が増加する結果となった、と考えられる。

一方、音声提示に加えて芳香成分を供給した場合は、 α ピネンの疲労・ストレス軽減の薬理効果により、直線走行中の反応時間の増加が抑制され、交差車両に対する反応時間も短縮されることで、結果として衝突確率の低減につながったと考えられる。

なお、音声提示におけるシステムへの依存については、安全の担保された DS 実験における影響の可能性があるため、実際の道路環境においても、同様の結果が得られるかどうかについては、検討の余地があると考えられる。

表 2-4 時系列信頼性モデルによるシミュレーション結果

	Probability
Control	1.34×10^{-4}
Information presentation	1.40×10^{-4}
Information presentation + Supplying aroma	0.36×10^{-4}

2.5. 従来手法を用いた導入効果の評価

2.5.1. 状態遷移確率モデルの概要

システム信頼性工学においては、システムの故障率 λ （単位時間あたりの故障発生率）を一定とすると、時刻 t 秒後にシステムが故障していない確率 $R(t)$ は、式(1)の信頼度関数で表すことができる。

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots (1)$$

状態遷移確率モデルとは、図2-3の事故発生のメカニズムに基づき、信頼度関数を用いて、衝突確率を推定するものである。図2-3に基づき、ドライバの運転パフォーマンスと交通環境の負荷の変動をタイミングダイアグラムで表したものを図2-11に示す。運転パフォーマンスが低下した状態のとき、危険事象が発生したにもかかわらず、運転パフォーマンスが回復しない時に衝突回避失敗となり衝突事故が発生する。

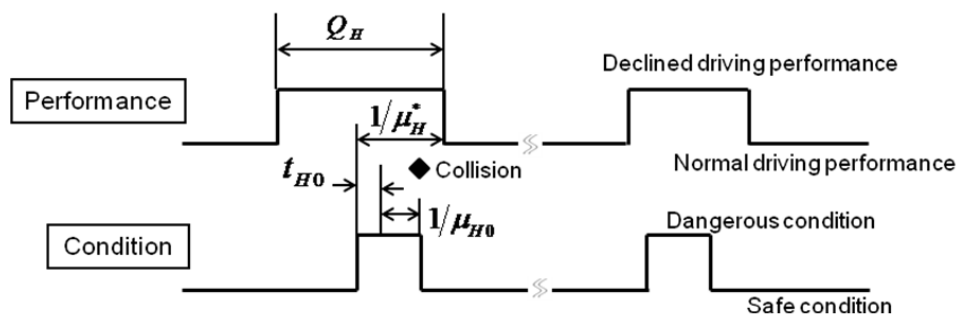


図 2-11 状態遷移確率モデルの概念図

- Q_H : 運転パフォーマンス低下率 (1/s)
- $1/\mu_H^*$: 気づき時間 (s)
- t_{H0} : 衝突発生開始遅れ時間 (s)
- μ_{H0} : 衝突率 (1/s)

モデル化においては、下記を考慮している。

- (1) 危険事象がある場合、それを察知したドライバの緊張度は急速に回復できると考え、危険事象がない場合の運転パフォーマンス低下率 Q_H と、危険事象がある場合の運転パフォーマンス低下回復率（気づき時間） $1/\mu_H^*$ は分離した。

(2) 信頼度関数 $R(t)$ を衝突確率の算出に適用する場合、システムは、稼働直後においても式 (1) の信頼度関数に基づいて故障する確率を持つことになる。しかし、実際の交通環境では、危険事象が発生した直後に衝突が発生することはない。上記を考慮するために、衝突が発生しない余裕時間として衝突発生開始遅れ時間 t_{H0} を導入した。また、危険事象が発生してから衝突が発生するまでの衝突率は μ_{H0} で表した

2.5.2. 衝突確率の算出

初めに、ドライバの運転パフォーマンスが低下している状態における衝突確率 (p) を、信頼度関数を用いて算出する。次に、ドライバの運転パフォーマンスが低下する確率 (Q_H) を算出し、最終的な衝突確率である P を、 p と Q_H との積として算出する。

ドライバの運転パフォーマンスが低下している状態における衝突確率 p は、式 (1) の信頼度関数と、図 2-11 のタイミングダイアグラムを用いて、式 (2) の様に定式化され、式 (2) を展開することで、式 (3) を得る。 $1/\mu^*H$ は、表 2-2 に示す気づき時間の平均値を設定し、 μ_{H0} 、 t_{H0} は DS 実験シナリオで再現した一般的な見通しの悪い交差点を想定し、2 秒に設定した。

$$p = \int_{t_{H0}}^{\infty} e^{-\mu^* t} e^{-\mu_{H0}(t-t_{H0})} \mu_{H0} dt \quad \dots (2)$$

$$p = \frac{\mu_{H0}}{\mu^* H + \mu_{H0}} e^{-\mu^* H t_{H0}} \quad \dots (3)$$

ドライバの運転パフォーマンスが低下する確率 Q_H は、3.5.2 で計測を行った、視覚刺激に対する反応時間を用いて算出した。視覚刺激に対する反応時間の分布を正規分布とみなし、ドライバの運転パフォーマンスが低下する確率、つまり、反応時間が平均値 + 1.5 秒を超える確率を、確率密度関数を用いて、式 (4) として算出する。式 (4) における μ は、計測した気づき時間の平均値、 σ は標準偏差を示す。

$$Q_H = \int_{\mu+1.5}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad \dots (4)$$

最終的に、衝突確率は、式 (3) と式 (4) の積として、式 (5) のように表すことができる。

$$P = Q_H \frac{\mu_{H0}}{\mu^* H + \mu_{H0}} e^{-\mu^* H t_{H0}} \quad \dots (5)$$

2.5.3. 状態遷移確率モデルによるシミュレーション結果

状態遷移確率モデルにより，衝突発生率を算出した結果を表 2-5 に示す．表 2-5 より，音声提示条件の衝突確率は，コントロール条件と比較して増加し，音声提示に加えて芳香成分を供給することにより，衝突確率の低減が見られた．

表 2-5 状態遷移確率モデルによるシミュレーション結果

Experiment Condition	Probability
Control	2.69×10^{-4}
Information presentation	3.46×10^{-4}
Information presentation + Supplying aroma	1.10×10^{-4}

2.6. 提案するシミュレーション手法の妥当性の検証

2.6.1. 事故統計に基づく衝突発生確率の算出

本項では，提案手法の妥当性を検証するために，入手可能な事故統計データに基づき，信号の無い交差点における出会い頭事故の発生確率を試算した．信号の無い交差点における出会い頭事故の発生確率，といった事故統計は存在しないため，以下の手順によって発生確率を推定した．

- (1) 事故統計から，信号の無い交差点における出会い頭事故の発生件数を推定
- (2) 信号の無い交差点数及び，車両の走行トリップ数（通過台数）情報を用いて，1回の交差点通過あたりの事故発生確率を試算

表 2-6 に，試算に用いた統計データ及び，統計データに基づく推定値の一覧を示す．以降では，表 2-6 を用いて詳細な導出過程を説明する．

H24 年度事故統計によると，交差点及び交差点付近で発生した車両相互の出会い頭事故 (A,B) の年間発生件数の合計は，145,321 件に上る (C)．ただし，この中には，信号のある交差点，信号の無い交差点の両方で発生した事故件数が含まれる．

そこで，信号のある交差点で発生したすべての事故件数 (D) と信号の無い交差点で発生したすべての事故件数 (E) を用いて，信号なし交差点での発生比率を試算した (F)．この値を，(C) に掛け合わせることで，信号の無い交差点における車両相互の出会い頭事故の年間発生件数を，89,201 件 (G) と試算した．

次に、事故発生件数 (G) と、交通センサ情報における全国の信号の無い交差点数 (J) を用いて、1つの信号なし交差点における年間の事故発生件数 (K) 及び、24時間の事故発生件数を算出した (L) .

交通センサ情報によれば、全国の一般都道府県道 (山地部) における 24 時間交通量は 1,189 台である (M) . そこで、24 時間の事故発生件数 (L) を、24 時間交通量 (M) で除することで、1 回の交差点通過あたりの交通事故発生確率を算出した. 発生確率は 2.80×10^{-7} であり、平均的には、交通事故は非常に低い確率で発生すると言える.

一方、本研究では、DS を用いて長時間の運転行動を再現しているため、通常の状態と比較して、注意散漫による交通事故が発生しやすい状況にあると言える. そこで、ハインリッヒの法則に基づいて、ヒヤリハット比率として 300 倍の値 (P) を設定し、上記の発生確率に掛け合わせることで、最終的に、注意散漫状態における交通事故の発生確率 (Q) として、を得た. 8.46×10^{-5} の値を得た.

表 2-6 事故統計データに基づく衝突発生確率の推定

分類		項目	値	単位	備考(引用元/推定方法)
事故件数	(A)	車両相互・出会い頭衝突・交差点	140,720	件	交通事故統計(平成 24 年度, ITARDA)
	(B)	車両相互・出会い頭衝突・交差点付近	4,601	件	交通事故統計(平成 24 年度, ITARDA)
	(C)	車両相互・出会い頭衝突・交差点+交差点付近	145,321	件	(A)+(B)
	(D)	信号機あり交差点における事故	104,381	件	交通事故統計(平成 24 年度, ITARDA)
	(E)	信号機なし交差点における事故	165,910	件	交通事故統計(平成 24 年度, ITARDA)
	(F)	信号機なし交差点における交通事故の発生率	61.4	%	(E)÷{(D)+(E)}
	(G)	信号機なし交差点における車両相互事故	89,201	件	(C) * (F)
交差点数	(H)	信号なし交差点数(幅員≥5.5m)	145,827	ヶ所	道路交通センサス(2005 年度)
	(I)	信号なし交差点数(幅員<5.5m)	582,658	ヶ所	
	(J)	信号なし交差点数(合計)	728,485	ヶ所	(H)+(I)
事故発生 確率	(K)	1つの信号なし交差点における年間平均事故件数	0.12244717	件/交差点/年	(G)÷(J)
	(L)	1つの信号なし交差点における 24 時間平均事故件数	0.00033547	件/交差点/24H	(K)÷365
	(M)	一般道の 24 時間交通量(通過台数)	1,189	台/24H	道路交通センサス(H22 年度)
	(O)	事故発生確率(通常状態)	0.00000028	—	(L)÷(M)
	(P)	ヒヤリハット確率	300	—	
	(Q)	事故発生確率(ヒヤリハット状態)	0.00008464	—	(O)÷(P)

2.6.2. 事故統計データ及び従来手法との比較による妥当性検証

本章では、2.2 に示した検証方針に基づき、時系列信頼性モデルの妥当性について検証を行う。

事故統計に基づいて試算した衝突発生確率と、従来手法、提案手法により推定した衝突発生確率を表 2-7 に示す。本節では、表 2-7 を用いて、以下の 2 つの観点で衝突発生確率の比較を行い、提案するシミュレーション手法の妥当性について検証を行う。

- ① 情報提示なし条件における、提案手法・従来手法・事故統計による推定値、の衝突発生確率の比較
- ② 提案手法と従来手法における、情報提示なし、音声提示、音声提示+芳香成分供給条件下での衝突発生確率の比較

表 2-7 衝突発生確率の比較

Experiment Condition	Collision Probability		
	Proposed Method	Conventional Method	Estimate Value based on the traffic statistics
Control	1.34×10^{-4}	2.69×10^{-4}	8.46×10^{-5}
Information Presentation	1.40×10^{-4}	3.46×10^{-4}	-
Information Presentation + Supplying aroma	0.36×10^{-4}	1.10×10^{-4}	-

情報提示なし条件における衝突発生確率を比較すると (①)、提案手法、従来手法、事故統計に基づく推定値のいずれも $10^{-4} \sim 10^{-5}$ オーダーであり、10,000 回の走行に対して 1 ~ 2 回発生するというオーダーとしては概ね一致している。また、事故統計に基づいて試算した事故発生確率が 8.46×10^{-5} (0.85×10^{-4})、従来手法による事故発生確率が 2.69×10^{-4} 、提案手法による事故発生確率が 1.34×10^{-4} 、となっており、従来手法の推定結果が最も高く、提案手法の試算結果の方が事故統計に基づいて試算した結果に近い値となった。事故統計に基づく推定値は、事故統計情報に基づいた試算値であり、表 2-6 で設定した入力パラメータにより結果が変動する値であるものの、提案する時系列信頼性モデルを用いることで、従来手法よりも、衝突確率を精度良く推定できる可能性があることが分かった。

一方、提案手法と従来手法における、各実験条件での衝突発生確率を比較すると (②)、いずれにおいても、音声情報の提示により、情報提示を行わないコントロール条件から衝突確率が増加し、音声情報に加えて芳香成分を供給することによりコントロール条件と比較して衝突確率が低減されている。運転支援システム導入による事故低減効果 (導入前と

の比較)については、コントロール条件における事故発生率からの増減率を算出すると、音声提示条件では、時系列信頼性モデルでは約4%の増加、状態遷移確率モデルでは約29%の増加となり、両モデルの結果に差がみられものの、音声提示+芳香成分供給条件下での事故低減率を算出すると、時系列信頼性モデルでは約73%、状態遷移確率モデルでは約60%となり、概ね近い値を取ることが分かった。

個々の衝突確率の値については、すべての条件において従来手法の衝突発生確率が大きく、情報提示なし：2.00倍、音声のみ：2.47倍、音声+ α ピネン：3.06倍と、2~3倍の開きがある。提案手法よりも従来手法の衝突発生確率が高くなった要因としては、両モデルにおける、衝突発生確率の推定方法の違いが影響している。確率手法を用いる従来手法では、環境のエラー確率と、ドライバのエラー確率を掛け合わせて事故の発生確率を推定するため、環境のエラー状態とドライバのエラー状態が重なった状況下で、衝突可能性が高まることになる。しかしながら、実際の運転環境では、環境がエラー状態（危険が発生した状態）において、ドライバのエラー状態が立ち上がることは稀である（危険が発生した後、わき見や注意力の低下が始まることは稀である）。このため、状態遷移確率モデルでは、実際よりも、衝突確率が高く算出される傾向がある。

一方で、提案手法では、信頼性工学における順序依存性故障の概念を取り入れ、時系列の環境のエラー状態の立ち上がりと、ドライバのエラー状態の立ち上がりの順序を考慮可能であるため、危険が発生した後、ドライバがエラー状態に陥る場合には事故には至らない、という実際の運転のメカニズムをシミュレーションに反映している。このため、従来手法では、事故統計に基づく推定値や提案手法の結果と比較して、衝突確率が高くなったと考えられる。

以上、①②の観点での比較により、時系列信頼性モデルの有効性について検証ができたものとする。以降、本研究においては、情報提示の事故削減効果の評価の際には、提案した時系列信頼性モデルを用いるものとする。

2.7. まとめ

本章では、運転支援システムを導入した際の事故削減効果を、時間・コストが膨大な実車実験を行うことなく、DS 実験で計測した運転行動データに基づいた衝突回避シミュレーションを用いて、定量的に評価可能な手法を提案した。

従来のシミュレーション手法は、日本全国における追突事故の発生件数の推定や、交差点右折時の運転システムの導入効果の推定などを目的として、信頼性工学で用いられる信頼度関数 $R(t)=e^{-\lambda}$ （時刻 t 経過後にシステムが故障せず、正常に作動している確率）を用いた数値計算により、広範囲における大局的な事故発生確率を推定する手法（マクロシミュレーション）が提案されていた。

しかし、運転支援システムの情報提示手法について基礎検討を行う際は、システムの対象とする具体的な運転シーンでのドライバの運転行動や、詳細な交通環境を考慮した上で、運転支援システムの事故削減効果を試算可能な手法（マイクロシミュレーションモデル）が必要であった。

そこで、従来手法で用いられた運転パフォーマンスの変動による交通事故発生メカニズムを時系列の矩形波としてモデル化した上で、モンテカルロシミュレーションを用いてドライバの詳細な運転行動をモデルに入力することで、特定の交差点における運転行動や交通環境を反映可能なマイクロシミュレーションモデルを提案し、その有効性の検証を行った。

見通しの悪い交差点へ接近時、ドライバに音声による情報提示と芳香成分（ α ピネン）を供給することで出会い頭事故を防止する運転支援システムの事故削減効果の推定を例にとって、提案手法の有効性の検証を行った。検証結果は以下の通りである。

(1) 従来手法との比較

日本全国における追突事故の発生確率の試算など、マクロ的な事故発生確率の推定において、先行研究で妥当性の検証されている従来手法と、シミュレーション結果を比較した。結果、運転支援システムを導入した際の事故発生確率の絶対値は異なるものの、事故削減率（システム導入前からの事故削減率）の増減傾向が一致し、提案手法の妥当性について確認した。

(2) 事故統計に基づく衝突発生確率との比較

事故統計データから推定した見通しの悪い交差点における事故発生確率と、従来手法と提案手法それぞれのシミュレーション結果との比較を行った結果、提案手法を用いることで、精度良く衝突確率を推定できる可能性があることが分かった。

3. 周辺視野への情報提示の基本特性の分析

3.1. 背景

3.1.1. 周辺視野を活用した情報提示

周辺視野については、1.4.2 で述べたように、その視力は離心角度 10 度で中心視の 20% 程度に低下するが、空間的な位置関係の把握や、時間的に変化する情報に敏感であることが知られている。このような特性を情報提示に活用する HMI (Human Machine Interface) に関する研究は、数多く行われている。

<アンビエントディスプレイ>

周辺視野で情報を伝達する HMI については、石井らが提案する、人を取り巻く周辺環境の状態を視野の周辺でかすかなアンビエント情報として捉えることができる、アンビエントディスプレイが著名である [24]。石井らは、アンビエントディスプレイとして、周辺視野の認知特性を生かして、フォアグラウンド・タスクに集中しながらも周辺のかすかな気配を感じる事ができる、というコンセプトを提案している。例えば、WaterLamp は、天井を向いたランプとその上の水槽、そして水面に波紋を作り出す PIC チップ制御のソレノイドを用いて、ネットから流れ込むビットに応じて波紋を作り出し、あたかもサイバースペースからビットの雨滴が落ちてきたかのようにビットの流れを可視化するものである (図 3-1)。



図 3-1 WaterLamp [24]

<Ambilight>

Philips 社は、周辺視野への情報提示を活用したテレビ (Ambilight technology) を商品化している (図 3-2) [25]. Ambilight は、画面に表示されるコンテンツに連動した光を画面の周辺部から部屋の壁に照射することで、スクリーンを拡張し、ユーザの没入感を増加させるものである。

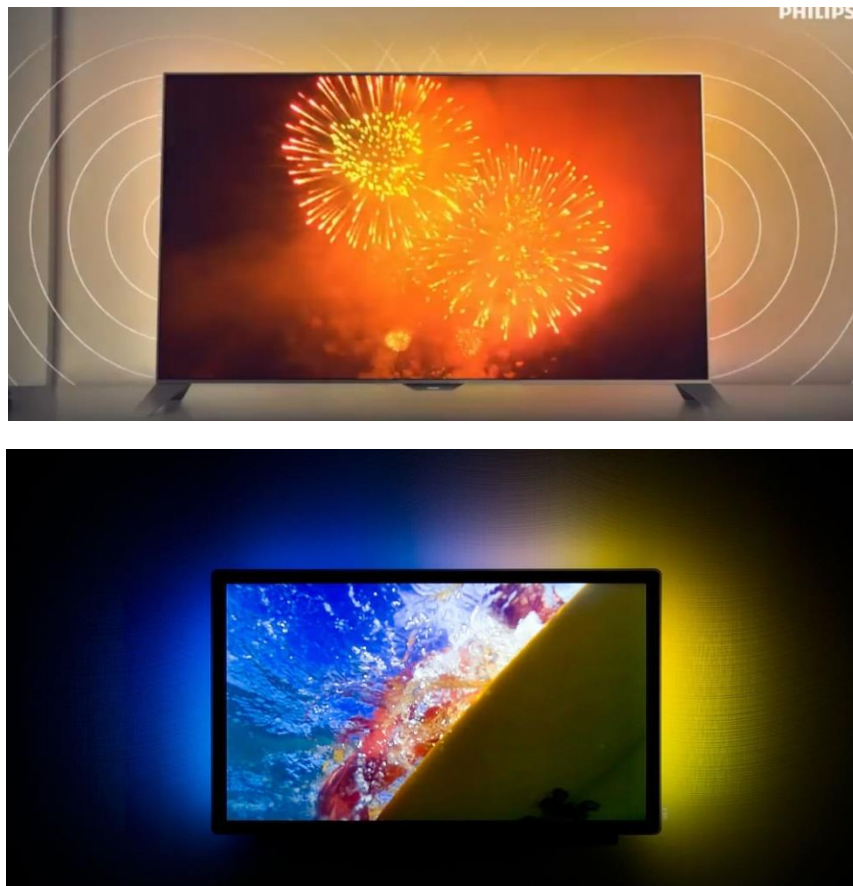


図 3-2 Ambilight technology [25]

<アンビエントな情報提供による PC 作業支援>

定國らは、PC 作業時の情報量過多の対策として、ディスプレイの周辺部分を効果的に活用した情報提供について研究を行っている (図 3-3) [26]. 具体的なアプリケーションとして、アンビエントな情報提供を活用した文章作成支援機能や、ディスプレイ周辺領域を活用したアイデアメモ作成機能について提案している。



図 3-3 アンビエントな情報提供による PC 作業支援 [26]

<ドライバへのアンビエント型情報提示>

運転シーンへの応用事例としては、舟川らは、視線移動や焦点調節を誘発せずに周辺視で理解可能な will-o'-the-wisp パターンについて提案している（図 3-4） [27] [28]. will-o'-the-wisp パターンは、ゆらめく、ぼやけた粗い表示パターン（空間周波数 1cpd, 時間周波数 1~7Hz で、時間周波数的にローパスか狭帯域の、輝度の無いエッジパターン）であり、パターンの位置、形状、色、動き、大きさ、向きなどの連続した変化を使って、ドライバに情報を伝達できるとしている。

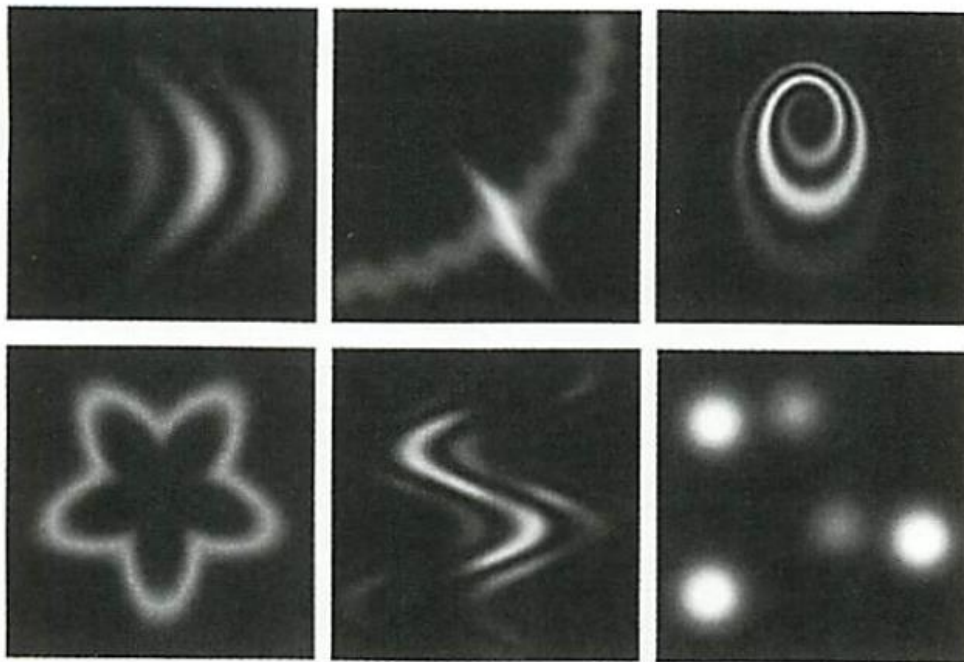


図 3-4 will-o'-the-wisp パターン [27]

＜サイドミラーを用いた側後方車両通知＞

運転中のドライバーの周辺視野領域への情報提示としては、側後方の車両の存在を通知するための車線変更支援システムが実用化されている。メルセデス・ベンツ社のアクティブブラインドスポットアシストは、車両の斜め後ろの死角領域を、車両後方に設置したセンサーでモニタリングし、車両が存在する場合はドアミラー内蔵のインジケータを点滅させてドライバーに注意喚起する（図 3-5）。



図 3-5 アクティブブラインドスポットアシスト

以上のように、周辺視野を活用した情報提示については、様々な研究が行われているものの、周辺視による情報提示を運転支援システムに適用する先行研究は少なく、周辺視による情報提示がドライバーの運転行動に与える影響や、情報提示による衝突事故の回避効果については、未だ明らかにされていない。

3.1.2. システムへの過信・不信

運転支援システムの情報提示の設計においては、情報提示がドライバーの行動に与える影響についても考慮する必要がある。国交省の推進する ASV（Advanced Safety Vehicle）プロジェクトにおいて、運転支援システムの HMI に関しては、ドライバーがシステムに過度の依存や不信を招かず適正な信頼が得られるようにシステムが配慮されていることが重要であるとしている [29]。また、稲垣、伊藤らは、システムへの過度な依存を抑制するためには、HMI の設計や、ドライバーへの教育・訓練が重要であるとしている [30] [31]。

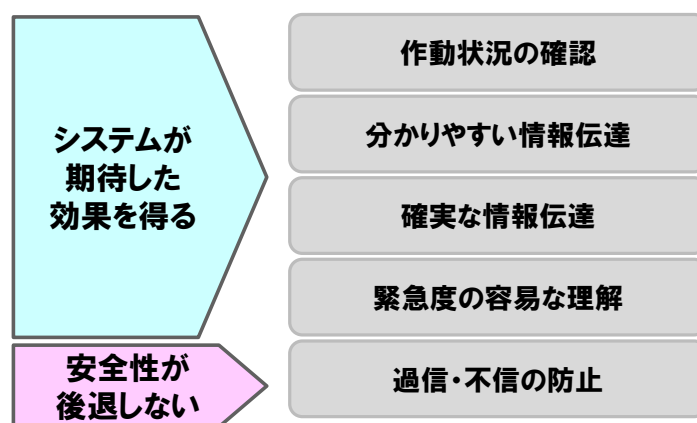


図 3-6 運転支援システムに係る HMI の配慮事項

つまり、HMI の事故回避特性を評価する上では、システムが正常に作動し、ドライバーが警報などのシステムの指示に従って、危険な事象に対して回避行動を取ることが出来るかという、システムに対する信頼の形成に関する評価が必要である。同時に、悪環境下でのセンサの検出性能の限界や、歩行者の飛び出しや予想外の行動などによるシステムの危険予測性能の限界などの理由により、警報システムが不作動となり、人が不安全な状態に対して警戒を怠った場合、どの程度不安全な行動が発生するか、という過信に関する評価が必要であると考えられる。

特に、この「システムが正常に作動しない場合にも、安全性が後退しない」という観点において、運転支援システムにおける HMI に求められる要件は、テレビやパーソナルコンピュータなどの HMI に求められる要件と大きく異なると言える。

3.2. 本章の目的

本研究では、複数の警報のドライバーへの伝達において、周辺視を活用した情報提示の適用可能性を検証するため、周辺視を活用した情報提示を単独で用いた場合の事故回避効果を明らかにすることを目的とする。具体的には、システムが正常に作動する場合の事故削減効果の評価に加えて、システムが正常に作動しない場合、特に、システムが不作動となる場合の事故回避効果への影響を明らかにすることを目的とする。

3.3. DS 実験

3.3.1. 実験シナリオ

DS 実験におけるシーンとして、右折先の歩行者との衝突事故を想定した。右折時には、対向車に注意を払いつつ、右折先の横断歩道を歩行する歩行者に対しても注意を払う必要がある。対向車に注意をとりながら歩行者と接触する事故が多く発生している。本研究では、事故発生件数が多く複数の注意対象が存在する右折シーンを、実験シーンとして抽出した。

実験シナリオを図 3-7 に示す。自車両は、片側一車線の交差点を右折するために、交差点中央付近で停止している右折待ちの状況から実験をスタートする。自車両の前方車両の渋滞により対向車が見えづらい状況を再現し、対向車に対して注意が必要な状況を再現した。対向車両は、車速 40km/h、車間距離 20~40m で断続的に接近する。被験者は、右折可能と判断したタイミングで右折を開始するように教示し、歩行者は、自車両の右折開始と同時に、横断歩道の手前側から横断歩道の横断を開始する。歩行者の速度は、歩行者の飛び出しや、自転車の横断を想定して 16km/h とした。

また、被験者には、副次タスクとして、対向車両の前面が見えた瞬間に、一台前に通過した対向車の色を答える認知課題を課し、対向車両への更なる注意の集中を図った。

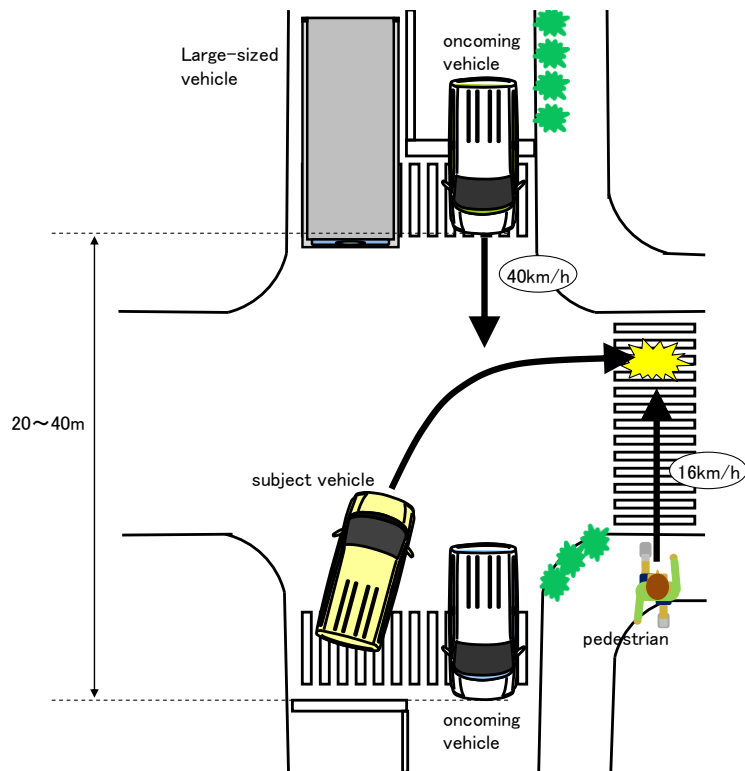


図 3-7 実験シナリオ

3.3.2. 情報提示仕様

3.3.2.1. ドライバへの情報提示

本実験では、右折先の歩行者の存在をドライバに伝えるために、一般的な警報（中心視で見ることを想定した情報提示と音による警報）と、周辺視で見ることを想定した情報提示の 2 種類の情報提示を用いて実験を行った。中心視、周辺視の特性を踏まえて構築した評価環境を図 3-8 に示す。運転中のドライバの中心視野に近い領域に、HUD を想定した 7 インチの液晶ディスプレイを設置し、中心視で見ることを想定した情報提示を行った。また、周辺視の領域として、ハンドルの左右に周辺視で見ることを想定した情報提示用のディスプレイを設置した。実験では、図 3-8 の評価環境を用いて、表 3-1 に示す仕様で、情報提示を行った。

中心視情報としては、HUD に対して歩行者のアイコンを示す表示を行った。また、ディスプレイへの表示と同時に、危険の存在を通知するビープ音（ピピッ）を提示した。

一方、周辺視情報としては、先行研究 [28] を参考に、視野角 3 度の黄色の円形を 1Hz で点滅させた。この際、情報提示への注視や焦点調節を誘発しないように、表示のエッジの無いパターンを用い、1Hz で点滅する際には輝度が急峻に変化せず、連続的に変化するように配慮し、認知課題を遂行中の右折時においても、被験者が情報を注視することなく認知可能であることを確認した上で、実験を行った。

本実験では、警報と表示を用いた一般的な警報と、周辺視による視覚的な表示のみの情報提示の特性の違いについて分析することを目的とするため、周辺視による情報提示では、警報や注意喚起音などの聴覚情報の提示は行わなかった。

ドライバに対しては、前方のディスプレイは中心視で確認ように教示し、ハンドル横に設置したディスプレイについては、視線を動かさずに周辺視で認知するように教示した。また、周辺視における情報に関しては、右側のディスプレイに情報提示があった場合には、右折先に何らかの危険対象が存在することを示す、という情報提示の意味合いを、予めドライバに教示した。また、いずれの情報提示も、ドライバの発進と同時にドライバに提示し、右折完了または歩行者との衝突が発生したタイミングで提示を止めた。



図 3-8 評価環境

表 3-1 情報提示仕様

本研究における呼称	中心視情報 (比較対象)	周辺視情報 (評価対象)
表示の様子		
注意喚起音	あり(ビーブ音)	なし
情報に含まれる内容	リスクの有無, 種別(歩行者)	リスクの有無, 存在方向
提示位置	有効視野領域 (HUDを想定)	周辺視野領域 (視野角: 左右 25 度, 下 25 度)
サイズ	7 インチディスプレイ(9 × 15 × cm)	直径 4cm のマーカ(視野角 3°)
表示パターン	—	1Hz で点滅
ドライバーへの教示	注視して情報を確認	注視せずに, 周辺視で確認

3.3.2.2. 情報提示時の注視行動

HUD による情報提示, 周辺視野への情報提示を行った場合の注視行動を確認するため, 視線計測装置 (NAC EMR-8) を用いて, 実験中の被験者の注視点の解析を行った。

図 3-9 は, 交差点右折時, 右折先の歩行者の情報を, HUD へのアイコン表示を用いて提示した際の, 被験者の注視点の時系列変化を可視化したものである。注視点は, 対向車両と HUD 付近に集中しており, 被験者は, HUD に表示される歩行者の情報を注視した上で, 右折を行っていることが分かる。

一方, 図 3-10 は, 周辺視野に配置されたディスプレイに, 注視しなくても認知可能な周辺視情報を提示した際の, 被験者の注視点の時系列変化を可視化したものである。注視点は, 図 3-9 と同様に対向車両に集中しているものの, 周辺視野領域に配置されたディスプレイに提示されている, 周辺視情報への注視は確認されなかった。これより, 被験者は周辺視情報を, 注視することなく周辺視により認識していることが分かった。

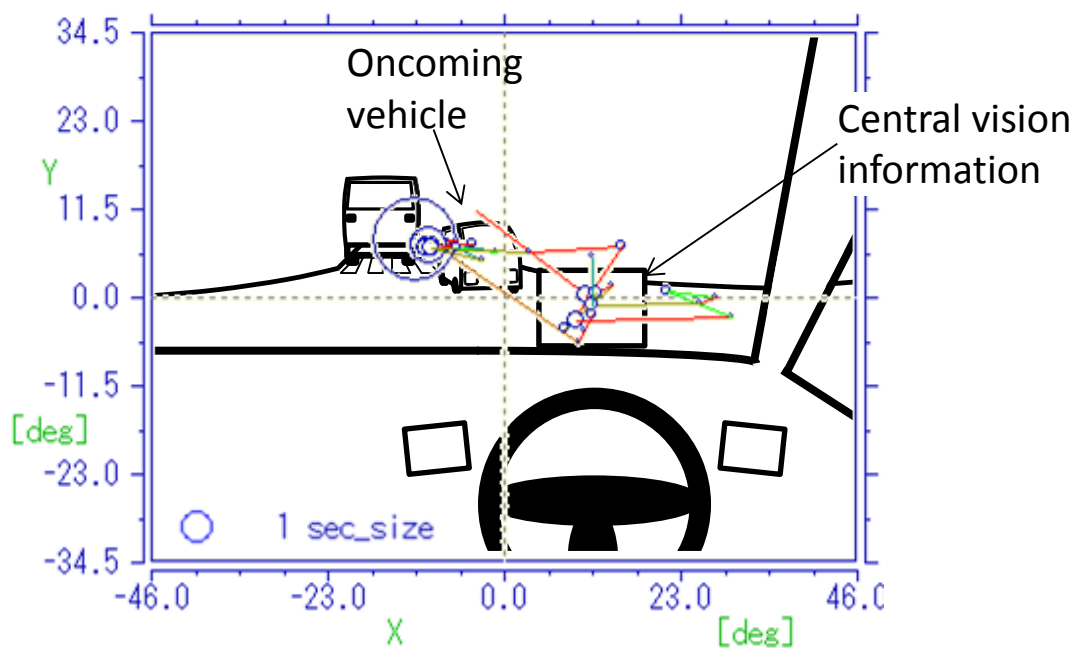


図 3-9 歩行者情報を HUD に表示した際の注視点分析

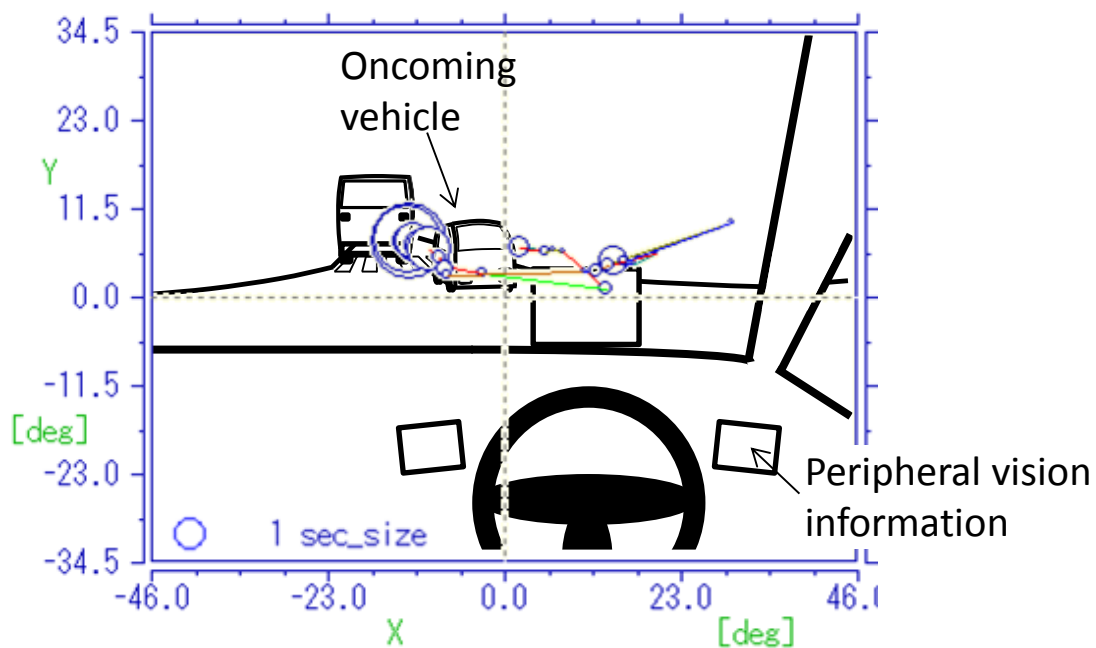


図 3-10 歩行者情報を周辺視野に配置されたディスプレイに表示した際の注視点分析

3.3.3. 実験条件

実験に先立ち、DS の走行に慣れるための練習走行を十分に行った。次に、警報や周辺視による情報提示に慣れるため、それぞれの条件下での練習走行を十分に行い、システムが実際に車両に搭載され、その動作に十分に慣れた状態を再現した。実験は、情報提示なし（コントロール条件）、中心視で認知する警報のみ、周辺視で認知する情報提示のみ、の3条件下において行った。実験条件を表 3-2 に示す。各条件において、合計 20 回の右折実験を行った。被験者に、実験条件を予測させないために、横断歩道の手前側から横断する背面歩行者の出現はランダムに 3 回とし、その他の条件では、歩行者なし、対向車線からのバイクなどを出現させた。警報、周辺視への情報提示条件下では、背面歩行者が出現した場合のみ、警報や情報提示を行った。

また、警報、周辺視への情報提示の条件下では、実験の最後に、システムが不作動条件（システムが導入されているのにも関わらず、情報提示が行われない条件）で実験を一回のみ行った。一度、システムの不作動を経験すると、その後の右折行動への影響が大きいと考えられるため、システムの不作動実験は、各実験条件の最後に実施した。また、実験順序による影響を排除するため、被験者を 2 グループに分けて、警報、周辺視による情報提示、情報提示無し、の 3 条件を、異なる順序で実験を行った。

表 3-3 に実験参加者の概要を示す。実験参加者は 12 名の男性（平均年齢：22.4 歳、標準偏差：0.86 歳）であり、実験の一週間前及び実験の直前にインフォームドコンセントを得た後、DS による実験を開始した。

表 3-2 実験条件

Experimental condition		Pedestrian emerges	Total experiment
No information(control)		3	20
Central vision information with alarm	normal	3	20
	missed	1	
Peripheral vision information	normal	3	20
	missed	1	

表 3-3 実験参加者

項目	条件
実験者数	12 名（男性）
年齢	22.4 歳（標準偏差 0.86 歳）
その他の条件	運転免許を所有し、定期的に運転を行っている

3.3.4. 分析指標

本実験では、システムがドライバに与える影響を評価するため、主観指標と定量指標の計測を行った。各指標の定義を以下に示す。

(1) システムに対する依存度

警報と周辺視による情報提示に対してどの程度依存した右折行動を行ったかを把握するため、システムに対する依存度合いについて、6段階評価（1:全く依存しなかった、6:非常に依存した）で回答を依頼した。

(2) 情報提示に対する反応時間[sec]

情報提示が行われてから、ドライバが情報提示を認知してアクセルから足を離し、ブレーキを踏み始めるまでの時間を計測した。

3.3.5. 実験結果

システム正常作動時と、システム不作動時それぞれの条件において、実験条件ごとに分析指標の計測結果を説明する。

3.3.6. システムに対する依存度

情報提示への依存度について、一般的な警報と周辺視による情報提示の結果を図 3-11 に示す。警報に対する全被験者の平均は 4.5（標準偏差 1.1），周辺視による情報提示に対する全被験者の平均は 2.9（標準偏差 1.7）であり、周辺視に対する情報提示では、システムに対する依存が低い傾向がある事が分かる。警報では、歩行者の存在を中心視で確認することに加え、ブープ音により、情報提示への確実な注意の誘導を行うのに対し、周辺視による情報提示では、周辺視により危険の存在のみを認知することが、システムへの依存度に影響を与えたと考えられる。

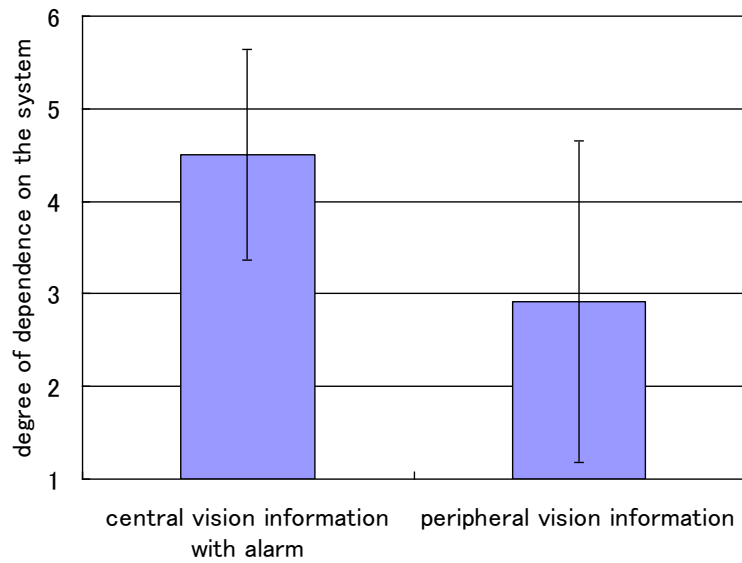


図 3-11 システムに対する依存度

3.3.7. 情報提示に対する反応時間

情報提示に対する気付き時間に関して、システム正常作動時の結果を図 3-12, 図 3-13, システム不作為時の結果を図 3-14, 図 3-15 に示す. いずれも、全被験者の反応時間を、平均値と累積頻度分布にて集計したものである.

図 3-12 において、警報条件では、情報提示無と比較して 0.48 秒の反応時間が短縮し、周辺視による情報提示条件では、情報提示無と比較して 0.35 秒の反応時間が短縮している. 周辺視による情報提示は、警報の 73%の反応時間短縮効果を持つ結果となった. 図 3-13 の累積頻度分布においても、同様の傾向が見て取れる.

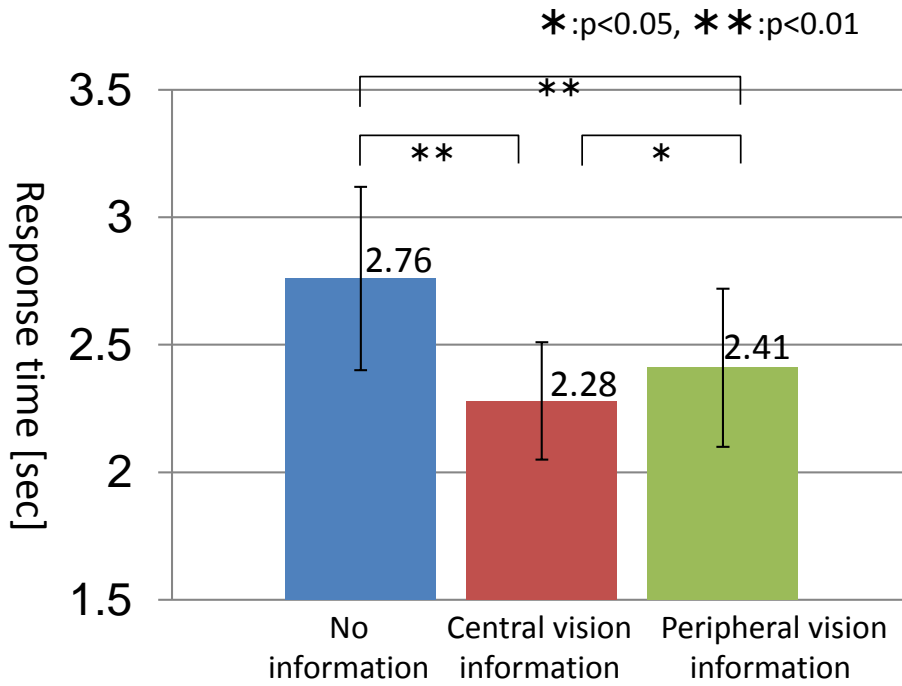


図 3-12 反応時間 (システム正常作動時)

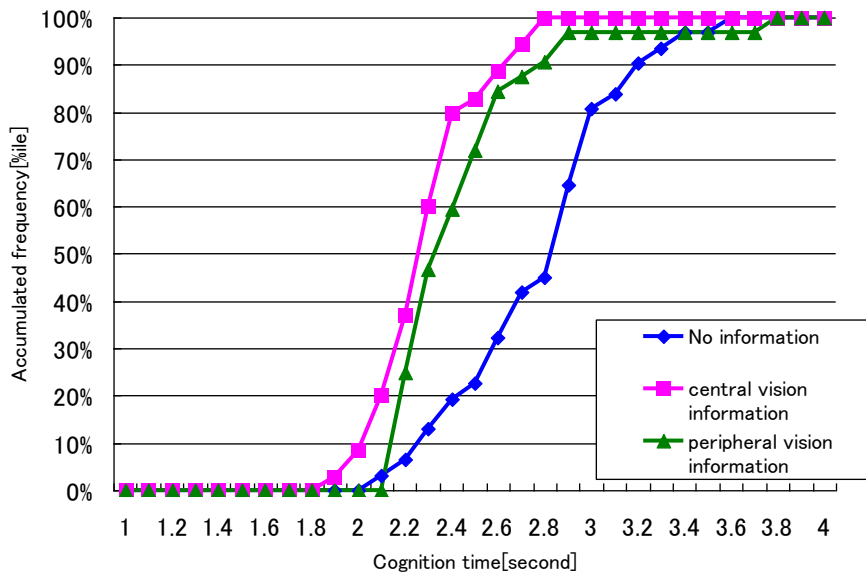


図 3-13 反応時間の累積頻度分布 (システム正常作動時)

一方、図 3-15 において、警報に慣れた状況でシステムが不作動となると、反応時間は情報なしと比較して増加する結果となった。しかし、周辺視への情報提示に慣れた状況でシステムの不作動が発生しても、反応時間は、システム無とほぼ同等であった。図 3-15 の累積頻度分布においても、警報の欠報時には、情報なしと比較して反応時間が増加したことが見て取れる（点線部）。

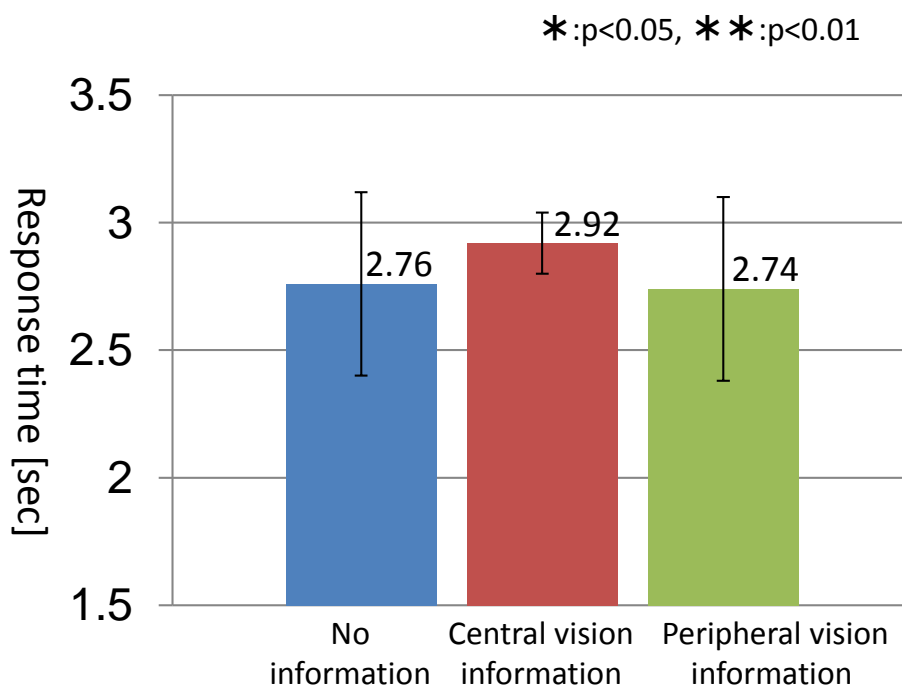


図 3-14 反応時間（システムエラー時）

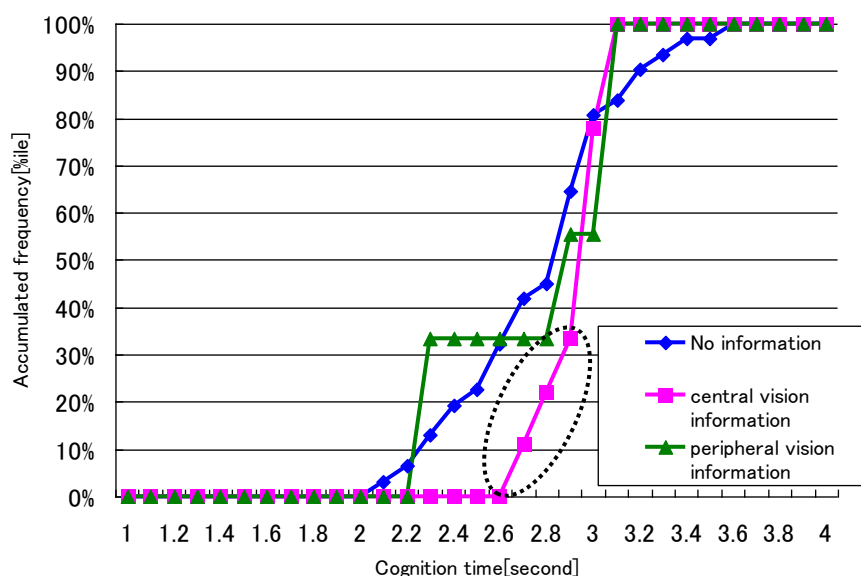


図 3-15 反応時間の累積頻度分布（システムエラー時）

以上の結果より，一般的な警報では，システムへの依存度が高く，システムが正常に作動した場合においては反応時間を短縮することができるが，システムが不作動となった場合，ドライバの過信の影響により，被験者が歩行者の存在を察知してアクセルから足を離すまでの反応時間が遅延することが分かった。

一方，周辺視による情報提示では，一般的な警報と比較してシステムへの依存度が低いものの，システムが正常に作動した場合においては反応時間の短縮効果を有しつつ，システム不作動時の反応時間の遅れが抑制可能であることが分かった。

3.4. 事故削減効果の評価

3.4.1. シミュレーション解析

DS 実験により得られた反応時間を用いて，2 章で提案した時系列信頼性モデルによるモンテカルロシミュレーションを行うことで，10,000 回の右折行動を再現し，事故発生頻度の解析を行った。

以降，シミュレーションへの入力値について説明する。反応時間については，DS 実験で得られた図 3-13，図 3-15 の反応時間の累積頻度分布の近似曲線を作成した上で，任意の値を抽出して設定した。制動時間については，DS 実験結果より，固定値 0.5 秒を設定した。また，停止時間については，反応時間と制動時間の和として算出した。

歩行者の横断時間や横断頻度を表す環境軸のパラメータについては，DS 実験においては一定であるため，固定値を設定した。具体的には，環境軸のエラー継続時間については，本実験における歩行者の出現から横断歩道の横断完了までの時間である 3.5 秒を設定した。エラー間隔時間については，右折時間に基づき設定された一回のシミュレーション時間である，10 秒を設定した。

一方，ドライバ軸のエラー継続時間については，右折時に横断歩道を注視せずに対向車線を注視している時間，エラー間隔時間については対向車線の注視間隔を設定することを想定した。しかし，DS 実験では，右折可能と判断して右折を開始した後は，歩行者へ注意が集中し，対向車線を確認する行動が確認できなかったため，今回のシミュレーションにおいては，便宜的にドライバ軸は省略してシミュレーションを実施した。また，衝突回避時間については，ドライバが右折を開始したと同時に，歩行者が横断を始めてから，歩行者が衝突地点まで到達する時間であり，DS 実験における実測値の平均値である 3.2 秒とした。

3.4.2. シミュレーション結果

時系列信頼性モデルを用いてモンテカルロシミュレーションを行った結果を表 3-4，表 3-5 に示す。表 3-4 において，コントロール条件（情報提示なし）では 66.5%の高い確率で

衝突が発生するというシミュレーション結果が得られた。これに対し、システムが正常に作動し、中心視情報が正常に提示された場合は衝突率 2.3%（コントロール条件に対する事故回避率=97%）と大幅に低下する結果となった。また、周辺視による情報提示を行った場合においても、衝突率 14.7%（コントロール条件に対する事故回避率=78%）に減少するものの、警報と比較した事故回避効果は警報の約 80%となり、若干劣る結果となった。

一方、表 3-5 において、システムに慣れた状態でシステムが不作動となった場合、コントロール条件のシステム無では 66.5%の衝突率と比較して、警報が不作動の場合は衝突率が 92.4%（事故発生リスクが約 1.4 倍）と大幅に増加する結果となった。また、周辺視による情報提示を行った場合は、衝突率が 58.8%（情報提示無しとほぼ同等）となり、過信による事故発生を抑制できることが分かった。

表 3-4 シミュレーション結果（システム正常作動時）

experimental condition		number of collision	number of simulation	collision ratio[%]
Control (No information)		6646	10000	66.5
Information normal	Central vision information with alarm	227	10000	2.3
	Peripheral vision information	1468	10000	14.7

表 3-5 シミュレーション結果（システムエラー時）

experimental condition		number of collision	number of simulation	collision ratio[%]
Control (No information)		6646	10000	66.5
Information missed	Central vision information with alarm	9239	10000	92.4
	Peripheral vision information	5881	10000	58.8

3.5. 考察

3.5.1. 反応時間と衝突率の分析

構築した時系列信頼性モデルを用いて、反応時間と衝突率との相関関係を明らかにし、3.4.2 で得られたシミュレーション結果についての考察を行う。

図 3-16、図 3-17 に示す青色の棒グラフは、構築した時系列信頼性モデルを用いて、ドライバの反応時間と、歩行者との衝突確率との関係をシミュレーションしたものである（説明のため、同じグラフを掲載している）。この結果より、交差点右折時に右折先の歩行者の発見が遅れ、歩行者に対するドライバのブレーキ反応が遅くなるほど、歩行者との衝突率が増加していることが分かる。

図 3-16 は、ドライバの反応時間と歩行者との衝突確率との相関関係のグラフに対して、中心視情報をドライバに提示した条件における、DS 実験により得られた反応時間の平均値を、情報提示なし、システム正常、欠報のそれぞれについて図示したものである。これよ

り、警報における反応時間は、システム作動時には 2.28 秒であるが、システム不動作時には、システムへの過信の影響により反応時間が 2.91 と遅延することで、結果的に衝突率が大幅に増加することが分かった。

一方、図 3-17 は、ドライバの反応時間と歩行者との衝突確率との相関関係のグラフに対して、周辺視情報をドライバに提示した条件における、DS 実験により得られた反応時間の平均値を、情報提示なし、システム正常、欠報のそれぞれについて図示したものである。これより、周辺視による情報提示に対する反応時間は、システム作動時には 2.28 秒であるが、システム不動作時は、システムへの過信が抑制され、反応時間が 2.74 秒となり、警報と比較して、事故発生率を低く抑えられる可能性があることが分かった。

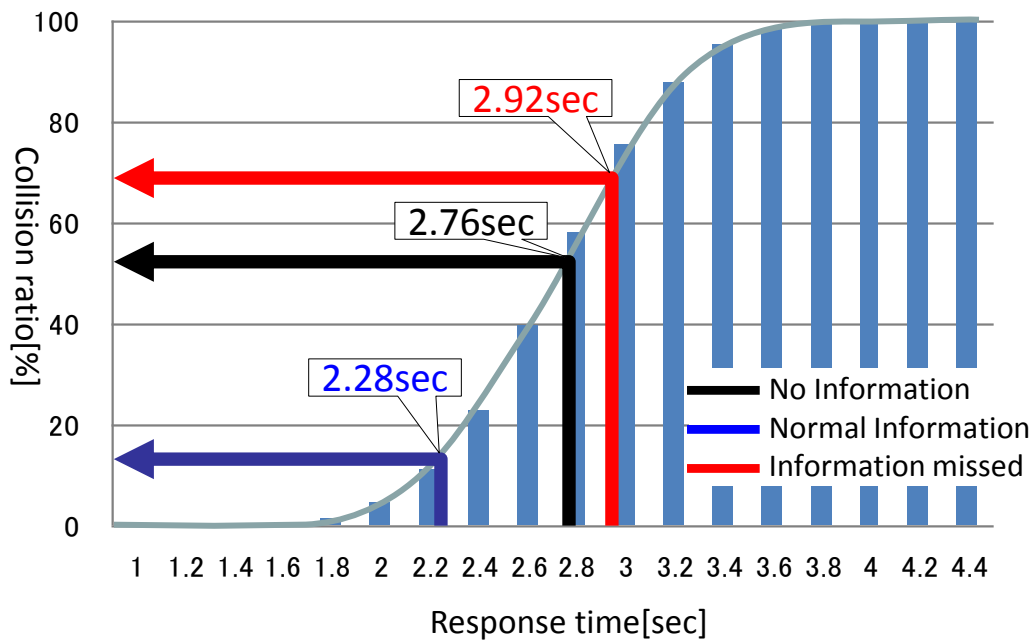


図 3-16 反応時間と衝突確率のシミュレーション結果

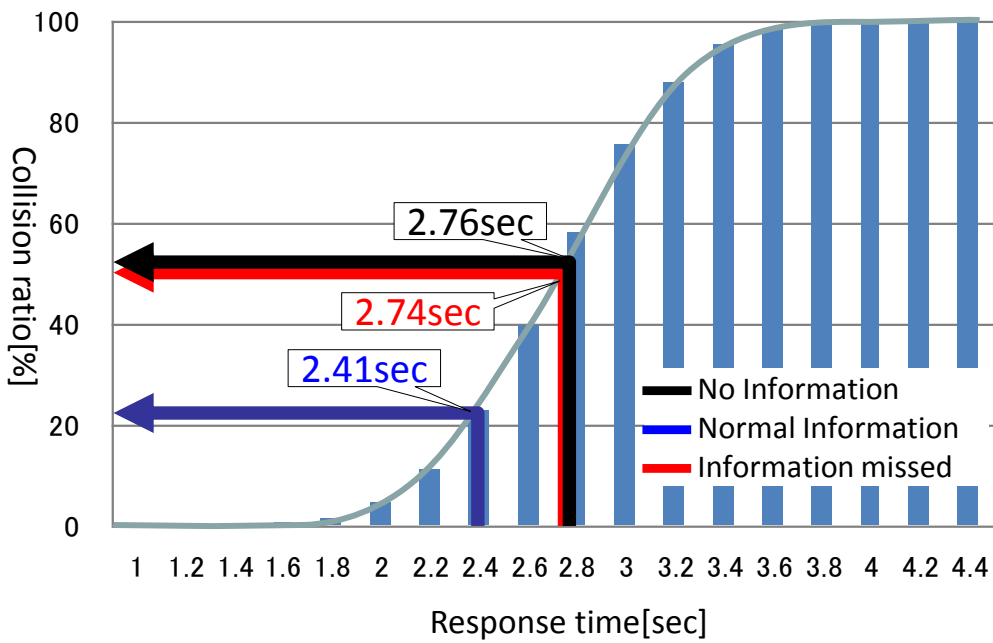


図 3-17 反応時間と衝突確率のシミュレーション結果

3.5.2. 周辺視野情報の事故削減効果に関する考察

3.5.2.1. システム正常時

表 3-4 に示すシミュレーション結果によると，中心視情報が提示された場合の事故回避率は 97.7%(100% - 2.3%)，周辺視情報が提示された場合の事故回避率は 85.3%(100% - 14.7%)であり，周辺視情報による事故回避率は，中心視情報の 80%程度であった。本節では，DS 実験において，周辺視野情報を提示したにもかかわらず衝突が回避できなかった要因を分析する。

表 3-6 ，表 3-7 に，DS 実験における衝突回数の結果を示す。中心視情報を提示した場合では，35（1回は計測エラー）回の歩行者の出現のうち衝突回数は 0 であり，全ての実験条件で衝突が回避できた。一方，周辺視野情報では，33 回の歩行者の出現のうち（3回は計測エラー），5 回の衝突が発生している。全 5 回の衝突は，5 人の被験者が各 1 回ずつ発生している。実験後の内生報告により，要因の分析を行った。

内生報告によると，5 名のうち 3 名は，情報提示への依存度は” 3” であるため，ある程度，情報提示を頼りにして右折行動をとっていたが，周辺視情報の提示に気づかずに歩行者との衝突が発生したことが分かった。

一方，残りの 2 名は，情報提示には気づいていたが，周辺視情報への依存度が” 1” であり，情報提示を頼りにせずに右折行動をとっていた。この結果，周辺視情報提示に気づいていたものの減速行動をとらずに，歩行者と衝突したと考えられる。

表 3-6 DS 実験における衝突回数（システム正常作動時）

experimental condition		number of collision	number of experiment	collision ratio[%]
Control (No information)		25	36	69.4
Information normal	Central vision information	0	35	0.0
	Peripheral vision information	5	33	15.2

表 3-7 DS 実験における衝突回数（システムエラー時）

experimental condition		number of collision	number of experiment	collision ratio[%]
Control (No information)		25	36	69.4
Information missed	Central vision information	11	12	91.7
	Peripheral vision information	7	11	63.6

以上より，周辺視情報で衝突が回避できなかった要因として以下の 2 つの要因を抽出した。

<①周辺視情報の見落とし>

右折時，対向車両に注意が集中している状況下においては，周辺視野における認知能力の個人差が大きい．本実験では，被験者によらず周辺視情報は同一の仕様としたため，被験者によっては周辺視情報に気づかず，歩行者との衝突が回避できなかったと考えられる．運転シーンや外界の環境に応じて変動する運転中の視野範囲に応じて周辺視情報の輝度や大きさを変更するなどにより，周辺視情報の見落としを低減できる可能性があると考えられる．

<②周辺視情報に対する依存度が低い>

周辺視情報に全く依存しなかった被験者に対しては，本実験における周辺視情報提示の有用性が非常に低かったと想定される．要因としては，周辺視情報でドライバに伝達可能な情報量が限られているため，周辺視情報の有用性の低下につながった可能性がある．本実験では，周辺視情報に含まれる情報量としては，危険対象物の有無と方向のみとし，危険対象物の種別（歩行者・自転車など）や距離，詳細な方向については伝達しなかった．結果として，被験者によっては，情報提示の有用性を感じることなく，情報提示にほとんど依存することがなかったと考えられる．

例えば，危険対象物との距離が近い場合は，周辺視情報の点滅周波数を高めるというように，周辺視情報に含まれる情報量を増やすことによって，情報提示の有用性を高めることで，情報提示に対する依存度を高めることができる可能性があると考えられる．

3.5.2.2. システムエラー時

表 3-7 に示すシステム欠報時の衝突率のシミュレーション結果では，情報なし条件の衝突確率が 69.4%であったのに対し，警報の提示に慣れた状態で警報が欠報となった場合の衝突率は 91.7%となり，ほとんどの被験者において衝突が発生した．一方で，周辺視情報の提示に慣れた状態で欠報となった場合の衝突率は，63.6%と，情報提示なし条件とほぼ同等であり，衝突率の増加が見られなかった．以降では，この要因について，システムへの信頼感(trust)の観点から考察を加える．

システムへの信頼感の形成は，人間に対する信頼と本質的に同じであり [30]，trust を高めるには，機械とシステムとの間で，リスク共有に関する合意形成が重要である [32]．さらに，システムと人間の間での合意形成のための意思疎通をリスクコミュニケーションと呼び，その手段の一つとして，確率論的にリスクを運転者に情報提供する（システムの性能や情報の精度などといった，リスクの存在確率を運転者に提示する）事で，システムへの過度な依存を抑制可能であると報告されている [32]．

本実験では，被験者への主観評価により，周辺視による情報提示では，警報と比較してシステムへの依存度の低下が見られた(図 3-11)．この要因としては，周辺視の特性上，ド

ライバに伝達する情報量が限定されることで、ドライバがシステムの危険予測性能の不確実性を直感的に把握する事につながり、システムと被験者との間で、リスクコミュニケーションが行われたことが要因と考えられる。周辺視情報は、中心視情報と比較してシステムへの依存度が低いため、欠報時の運転行動への影響が少なかったと考えられる。

3.6. まとめ

運転支援システムにおけるドライバへの情報提示手法として、ドライバの周辺視野領域に、注視を必要としない形態での情報提示を行う周辺視情報を単独で適用し、ドライバの運転行動や事故回避効果へ与える影響についての評価を行った。

運転支援システムのヒューマン・マシン・インタフェースに関する設計においては、システムが期待した効果を得ることだけでなく、正常に作動しなかった場合のドライバへの負の影響を抑制することも必要と考えられていることから、システムが正常に作動する場合に加え、欠報となった場合の影響についても評価した。

はじめに、DS 実験により、右折先の歩行者との衝突事故を再現し、周辺視野への情報提示に対するドライバの反応時間を分析した。次に、計測した反応時間と、2章で提案した時系列信頼性モデルを用いて、10,000回の右折行動を再現した上で、歩行者との衝突発生確率を算出した。

(1) 周辺視野への情報提示が事故回避行動に与える影響の分析

警報が正常に提示された場合では、HUDを用いた警報と比較して、約80%の反応時間の短縮効果を確認した。また、警報の欠報時には、従来のHUDを用いた警報が欠報となった場合には、システムへの過度な依存により反応時間の遅延が確認されたが、周辺視野への情報については、欠報による反応時間の遅延は見られなかった。

(2) 周辺視野への情報提示の事故回避効果の分析

時系列信頼性モデルを用いて衝突率のシミュレーション解析を行い、周辺視への情報提示の事故回避効果の分析を行った。結果、周辺視への情報提示の事故回避効果は、警報の80%程度に留まるものの、システムへの過度な依存を引き起こさず、システム不作動時の事故発生リスクの増加を抑制可能であるという、周辺視野情報の基本的な特性を明らかにした。

4. 周辺視野を活用した情報提示方法の設計

本章では、警報の競合が発生する運転シーンを具体化した上で、中心視野と周辺視野を併用することにより情報の競合が回避できる可能性について、ドライバの注意資源の観点から議論する。

その上で、3章で得られた中心視情報とアンビエント情報をそれぞれの基本特性に基づいて、中心視情報が提示された際のドライバの状況認知のプロセスと、アンビエント情報が提示された際のドライバの状況認知のプロセスの違いを明確にする。

以上を踏まえて、中心視情報とアンビエント情報を併用して、ドライバに複数の運転支援情報を伝達する情報提示方法の設計を行う。

4.1. 警報の競合が発生するシーンの抽出

はじめに、路車間協調システムにおいて、警報の競合が発生するシーンの具体化を行った。図 4-1 に示すように、DSSS で検討されているサービス一覧の中で複数の警報が同時、あるいは近接して提示される可能性があるシーンは、右折時及び、出会い頭時と考えられる。右折時には、対向車両との衝突を防止する右折時衝突防止システムと、右折先の歩行者との衝突を防止する歩行者横断見落とし防止システムの情報が時間的に近接して提示され、ドライバが混乱を招く可能性がある。また、見通しの悪い交差点を通過する際には、交差車両との衝突を防止する出会い頭衝突防止支援システムと、自転車や歩行者との衝突を防止する出会い頭自転車衝突防止支援システムの情報が同時に提示される可能性があり、複数の情報の提示により、片方の情報がマスキングされてしまう、あるいは、ドライバが混乱する、といった可能性がある。

以上より、本研究において想定する運転シーンとして、右折時及び出会い頭時の 2 つの運転シーンを抽出した。

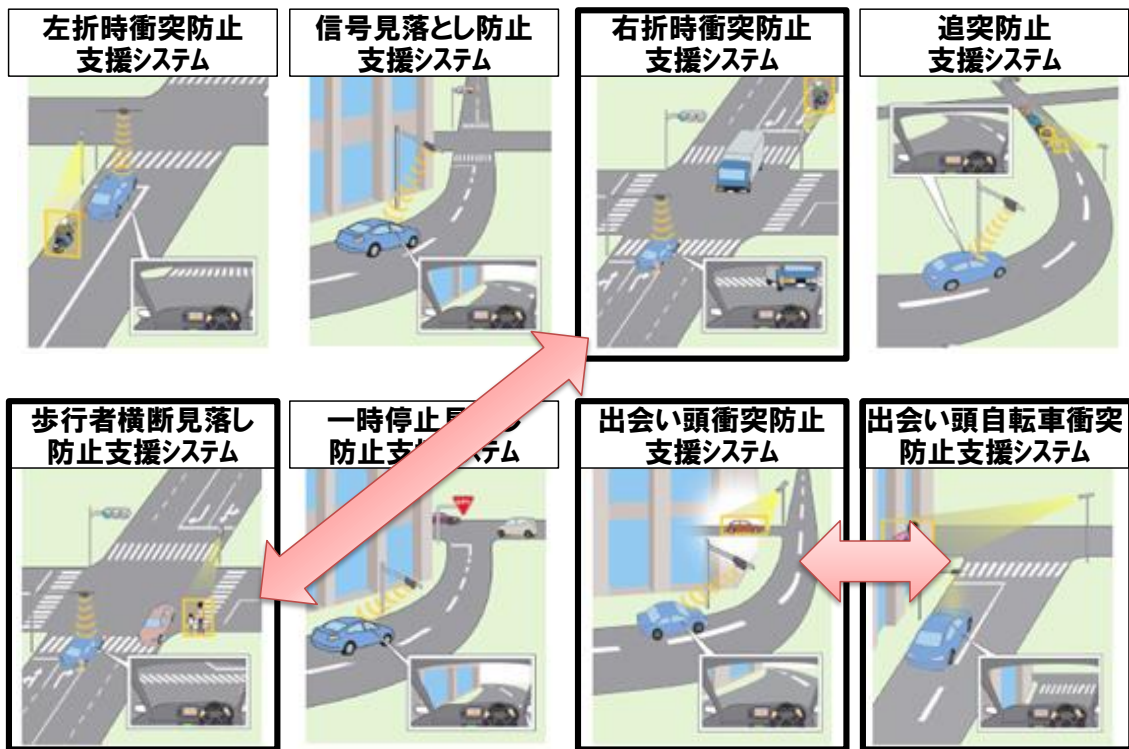


図 4-1 警報の競合が発生するシーン

4.2. 競合回避のアプローチ

次に、ドライバーに複数の警報が提示される場合の競合回避のためのアプローチについて説明する。本節では、Wickens による注意の多重資源モデル [33] [34]を引用し、中心視野に加えて周辺視野を活用することにより、警報の競合を回避できる可能性について議論する。

4.2.1. 注意の多重資源モデル

多重資源理論では、何らかの課題を遂行する際に用いられる処理メカニズムそれぞれに、特有の資源が存在すると仮定している。例えば、音を聞きながら体を動かす、という一連の課題を想定する場合、音を聴取するために用いられるために消費される資源と、体を動かすために用いられる消費される資源とは異なるとされる。ある一つの課題の遂行にも、複数の処理プロセスが用いられるため、各処理に対応した複数の資源がそれぞれ一定量必要になる。そこで、二つの課題間で干渉が生じるのは、両課題で同一の資源が共有される時である。また、各資源の供給量よりも課題の必要量が上回ったときのみ干渉が生じると考えられ、資源の競合は各資源において独立して生じ、課題間で多くの種類の資源が共有されるほど、より多くの干渉が生じると考えられる。二つの課題で消費される資源が別々のときには、両者の遂行成績は独立したものとなる。

図 4-2 に、Wickens による注意の 4 次元多重資源モデルの概要を示す。Wickens の多重資源モデルの特徴を以下に示す。

- 処理段階の次元(STAGES)…知覚及び認知に関するタスクは、潜在的な行為の選択や実行とは異なる資源を用いる。
- 処理コードの次元(CODES)…空間的な活動は、言葉による、または言語的な活動とは異なる資源を用いる。
- モダリティの次元(MODALITIES)…モダリティの次元は、特に、処理段階の知覚レベルにおける構造であり（認知、反応レベルにおいて、その構造は明確になっていない）、聴覚的な知覚は視覚的な知覚と異なる資源を用いる
- 反応の次元(RESPONSES)…動作または空間的な反応は、言語・声による反応とは異なる資源を用いる。
- 視覚的チャンネル(VISUAL PROCESSING)…上記 4 つの次元に加えて、モダリティの視覚レベルにおける内部構造として、中心視野と周辺視野からなる視覚的チャンネルが存在する。中心視野は、文字を読む、シンボルを認識するなどの高精度な知覚を行う。一方、周辺視野は、視野全体に関わっており、方向や動きの知覚を行う。例えば、ターゲットの方向に向かって真っすぐに進む、高速道路で走行車線を維持する、といった行動の際に使われる。

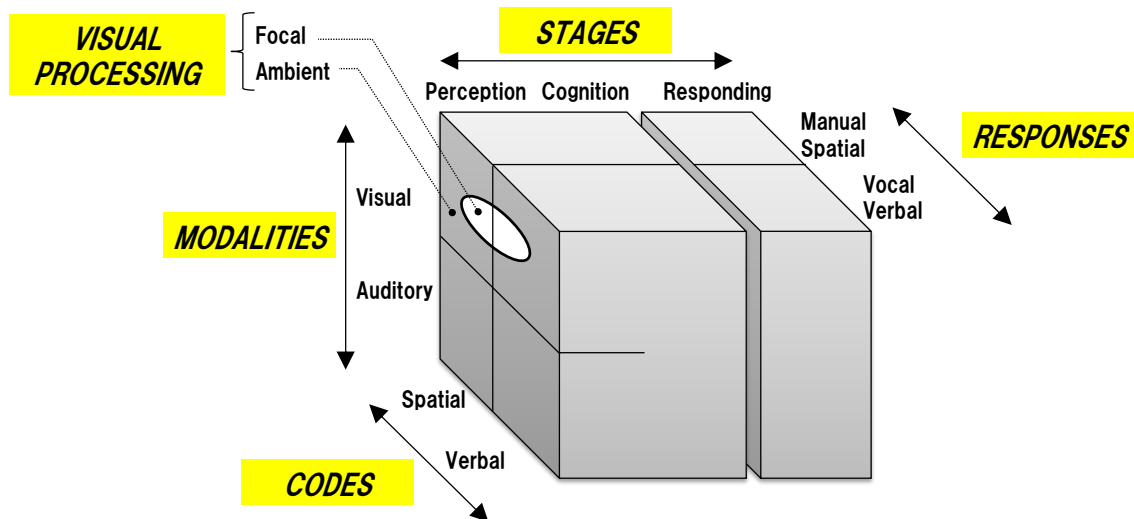


図 4-2 Wickens による注意の多重資源モデル

4.2.2. 従来手法における注意資源の競合

複数の情報を提示するための従来手法として、1.3.2 で述べた先行例を例に取り、注意資源の競合について説明する。情報が競合するシーンの一つである、出会い頭時に、交差車両と歩行者に関する情報がドライバに提示される場面を想定する。

従来手法では、複数の情報がドライバーに提示される場合、情報の優先度に応じて、表示の物理特性（サイズ）を割り付ける。上記シーンにおいて、ドライバーが減速行動をとらなければ衝突の可能性が高い交差車両に関する情報を優先度が高く、挙動の予測が困難なために衝突可能性の判定が難しい歩行者に関する情報を優先度が低いと考えた場合、情報提示の概念図を図 4-3 に示す。

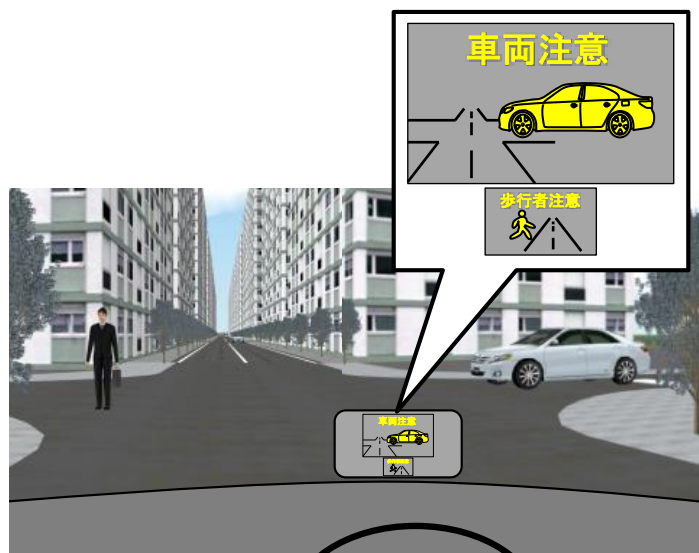


図 4-3 従来手法の概念図

従来手法は、注視して理解する事を想定したアイコンを、情報の優先度に応じたサイズで提示するために、優先度の低い情報の視認性が低下する可能性がある。上記について、注意の多重資源モデルを引用して示したものが図 4-4 である。視覚情報処理の中心視に関する注意資源を、複数の情報の知覚で用いることにより、情報の知覚・認知処理が干渉し、結果として情報に対する反応時間が遅延する可能性がある。

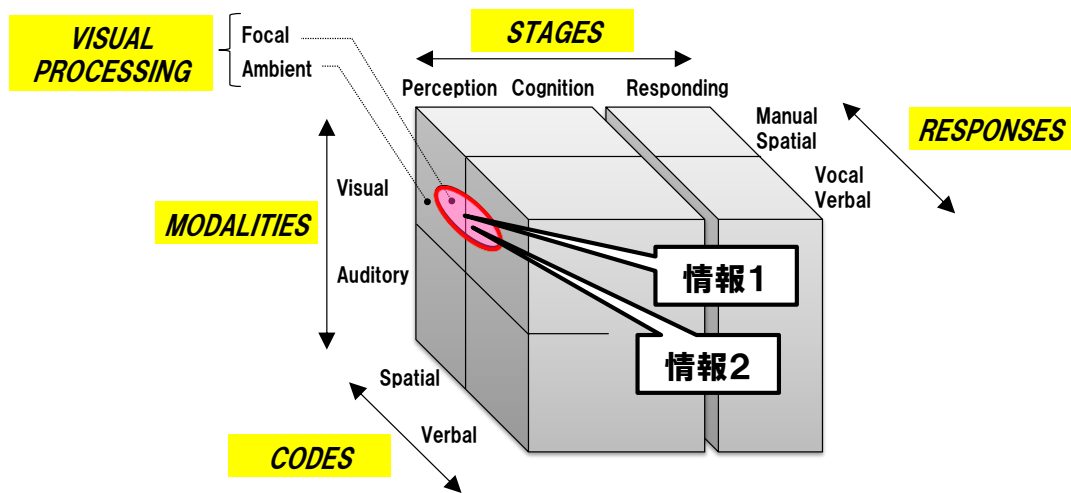


図 4-4 従来手法における注意資源の競合

4.2.3. 提案手法による注意資源競合の回避

次に、周辺視野を活用した提案手法による競合回避の考え方を示す。優先度の高い交差車両に関する情報を HUD に提示し、優先度の低い情報を周辺視野領域に位置するディスプレイを活用して、注視を必要とせず、周辺視野で理解可能な形態で提示する。提案手法の概念図を図 4-5 に示す。



図 4-5 提案手法の概念図

上記について、注意の多重資源モデルを引用して示したものが図 4-6 である。複数の情報を伝達するために、視覚情報処理の中心視に関する注意資源と、周辺視野に関する注視資源を分割して活用することで、情報の知覚・認知処理の注意資源に干渉を発生させずに、双方の情報を理解できる可能性がある。

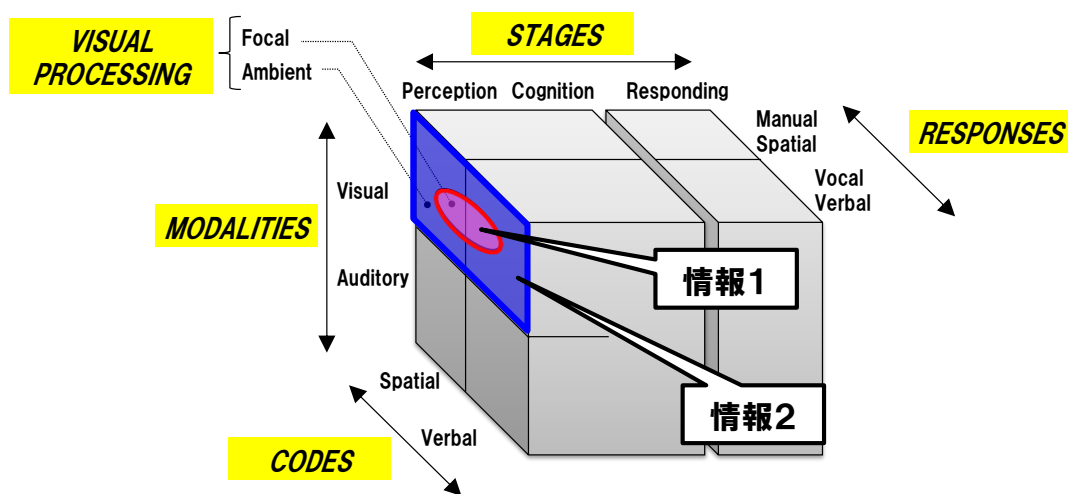


図 4-6 提案手法による注意資源競合の回避

4.3. ドライバの状況認知過程のモデル化

3章では、周辺視野への情報提示を単独で用いた場合の特性として、以下を明らかにした。

- ① システムが正常に作動した場合、中心視情報（アイコン表示）の約 80%の事故削減効果を持つ
- ② 詳細な情報を提示する中心視情報と比較して、情報提示への過度な依存が発生しにくいいため、情報提示に慣れた状態で万一欠報となった場合でも、事故リスクの増加が抑制できる

本節では、運転時のドライバーの状況認知過程をモデル化した上で、注視して認知する情報提示と、周辺視野への情報提示の状況認知過程の違いを明確にし、上記の①②の特性が得られたメカニズムについて議論する。

4.3.1. Endsley の意思決定モデル

コックピットの操縦士、原子力発電プラントのオペレータ、管制塔の航空管制官などが、其々の経験や知識に基づいて周辺環境の状況を認識して意思決定を行うプロセスに関する研究は、数多く行われている。図 4-7 に、主に航空機分野における安全性の向上、事故の要因分析に使用されている、Endsley の意思決定モデルを示す [35] [36]。

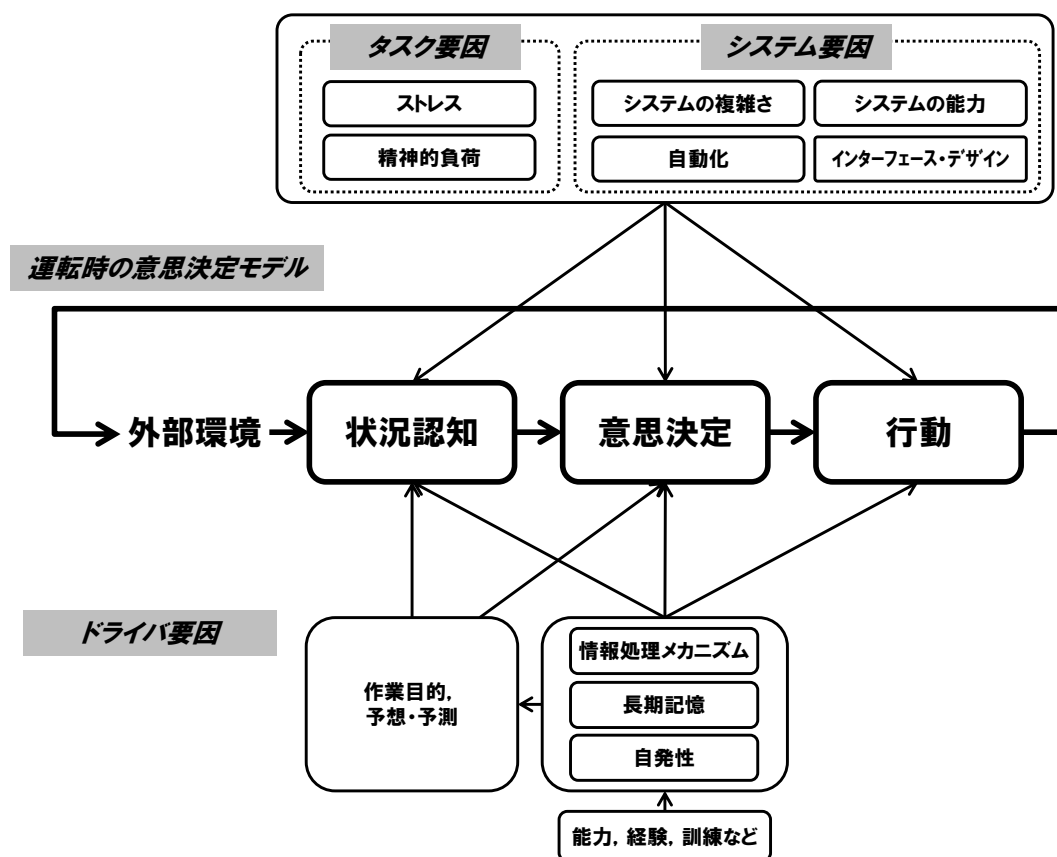


図 4-7 Endsley の意思決定モデル

Endsley の意思決定モデルは、外部環境を入力として、意思決定の過程が、状況認知 (Situation Awareness)、意思決定 (Decision)、行動 (Performance & Action) の3つの段階で構成され、その結果が外部環境を通じてフィードバックされる事を示している。

各プロセスは、人 (ドライバ) が実施するタスクによってもたらされるストレスや精神的な負荷、また、人が使用するシステムの能力、複雑さ、自動化のレベル、インターフェースのデザインといったシステムに関する要因によって影響を受ける。また、人の情報処理メカニズム、長期記憶、自発性によっても影響を受け、さらにそれらは、個人の能力、経験、訓練の度合によっても影響を受けることを示している。

本モデルでは、状況認知を意思決定から分離することにより、高度な訓練を受けた専門家であっても、状況認知を誤ると不適切な意思決定を行うことを、簡潔に説明することができる。

4.3.2. ドライバ・システムの相互関係を考慮した意思決定モデル

主に航空機の分野で活用されてきた Endsley の意思決定モデルでは、ドライバの意思決定には、主に、システムに関する要因とドライバに関する要因が影響を与えることが示されている。しかしながら、自動車の運転においては、運転者は高度な訓練を受けたパイロットでなく、初心者ドライバ、高齢ドライバを含む多様な熟練度や運転能力・運転経験を持つことから、ドライバとシステムの相互関係が、何らかの形でドライバの意思決定に影響を与えていると考えられる。

そこで、本研究では、運転支援システムにどの程度依存して運転行動をとったか、というシステムに対する“依存度”と、運転支援システムの提示する情報を理解するための負荷である“情報提示の認知負荷”に着目して、ドライバ・システムの相互関係を考慮した意思決定モデルを考案した（図 4-8）。

ドライバ・システムの相互関係を考慮した意思決定モデルでは、従来のモデルに加えて、ドライバ・システム間要因として、情報提示の認知負荷及びシステムに対する依存度を設け、それらが状況認知プロセスに影響を与えると仮定した。また、ドライバ・システム間要因に影響を与えるシステム要因として、システムの能力とインターフェース・デザインの構成要素を具体化し、ドライバ・システム間要因に対する影響を説明可能なようにした。図 4-8 において、Endsley の状況認知モデル（図 4-7）との差分は、追加した構成要素は塗りつぶして示し、追加した因果関係（矢印）は、点線で示している。

例えば、システムの情報量や情報提示のモダリティを調整し、情報の認知負荷が低い（短時間で認知可能な）ように設計を行えば、ドライバが情報提示を認知するための負荷が低下する。結果として、ドライバが運転に対して十分な注意を払うことが可能となり、余裕をもって自ら周辺状況を確認するという状況認知にあたることが可能である。ここで、情報提示のモダリティとは、視覚・聴覚・触覚のどの手段で情報を提示するか、を示し、視覚においてはさらに、中心視で認知する形態と、周辺視で認知する形態も区別する。一方で、システムの情報量が多く、ドライバが情報提示の内容を理解するための認知負荷が高ければ、ドライバ自身による状況認知がおろそかになる可能性がある。

また、システムの情報量やモダリティを調整し、システムに対するドライバの依存度が適切にコントロールされれば、ドライバはシステムに対して適度な依存（システムの仕様・性能を適切に理解した上で情報を活用する）を行って、状況認知を行うことができる。しかし、システムの情報量やモダリティの調整が不適切であれば、システムの仕様・性能を実際以上に見積もるといったシステムの対する過度な依存につながり、ドライバの主体的な状況認知が不当に省かれる可能性がある。結果として、万一システムが不動作となった状況では、状況認知プロセスにおけるエラーが発生し、事故のリスクが高まる可能性がある。

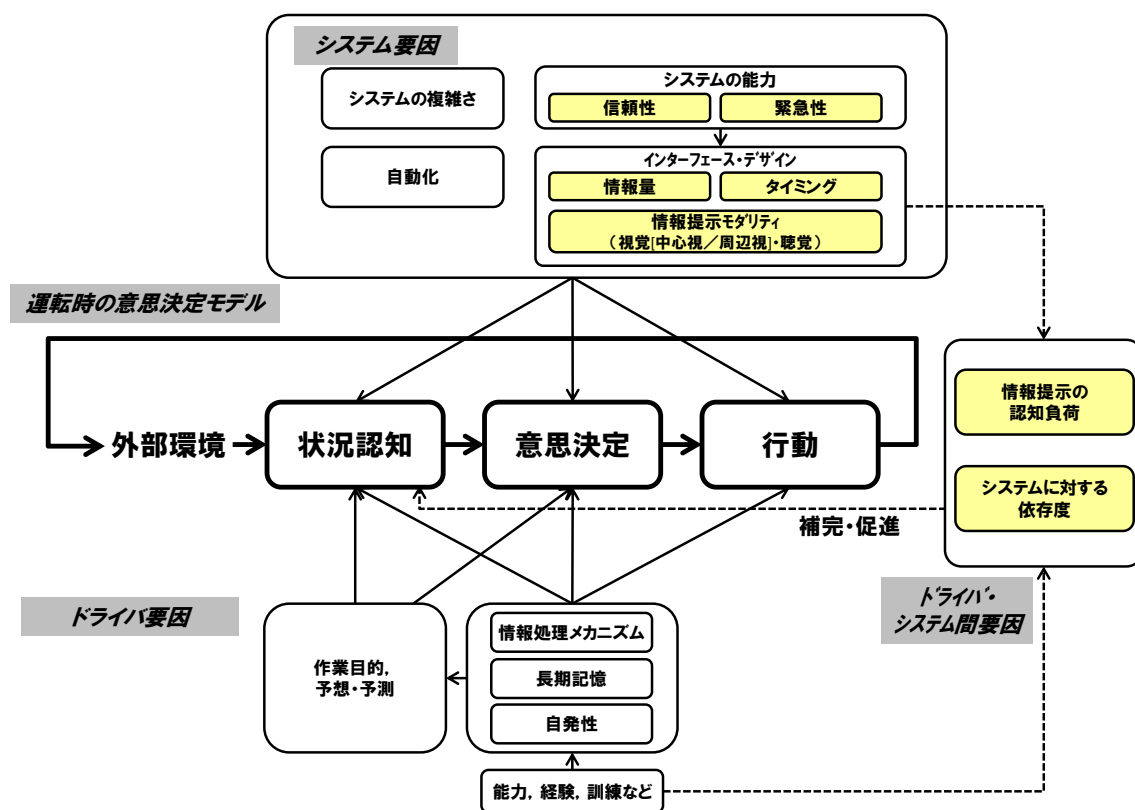


図 4-8 ドライバ・システムの相互関係を考慮した意思決定モデル

4.3.3. 情報提示時の状況認知過程のモデル化（中心視情報）

4.3.2 で提案したドライバー・システムの相互関係を考慮した意思決定モデルを用いて、運転支援情報が、注視して認知する事を想定した形態でドライバーに提示される状況における状況認知プロセスを図 4-9 に示す。

中心視情報は、周辺の物体の種別や存在方向などの詳細な情報を伝達可能であるが、注視して内容を理解する必要があるため、情報の理解には、ある程度の認知負荷が必要である。また、詳細な情報を伝達できるため、システムの信頼性が高い場合や、緊急性が高い場合には、ドライバーがシステムの情報を活用し、システムに対して適度に依存をして状況認知を行うことができる。

一方、複数の情報が同時、あるいは時間的に近接して提示される場合には、情報提示の認知負荷が高まることで情報の理解が困難となり、結果として、適切な状況認知が行われない可能性がある。また、システムに依存しているがゆえに、システムの信頼性が不十分である場合、つまり、本来システムから提示されるはずの情報が、何らかのエラーにより情報を伝達されない場合（欠報）には、ドライバー自らの状況認知が行われず、危険が増加する可能性がある。

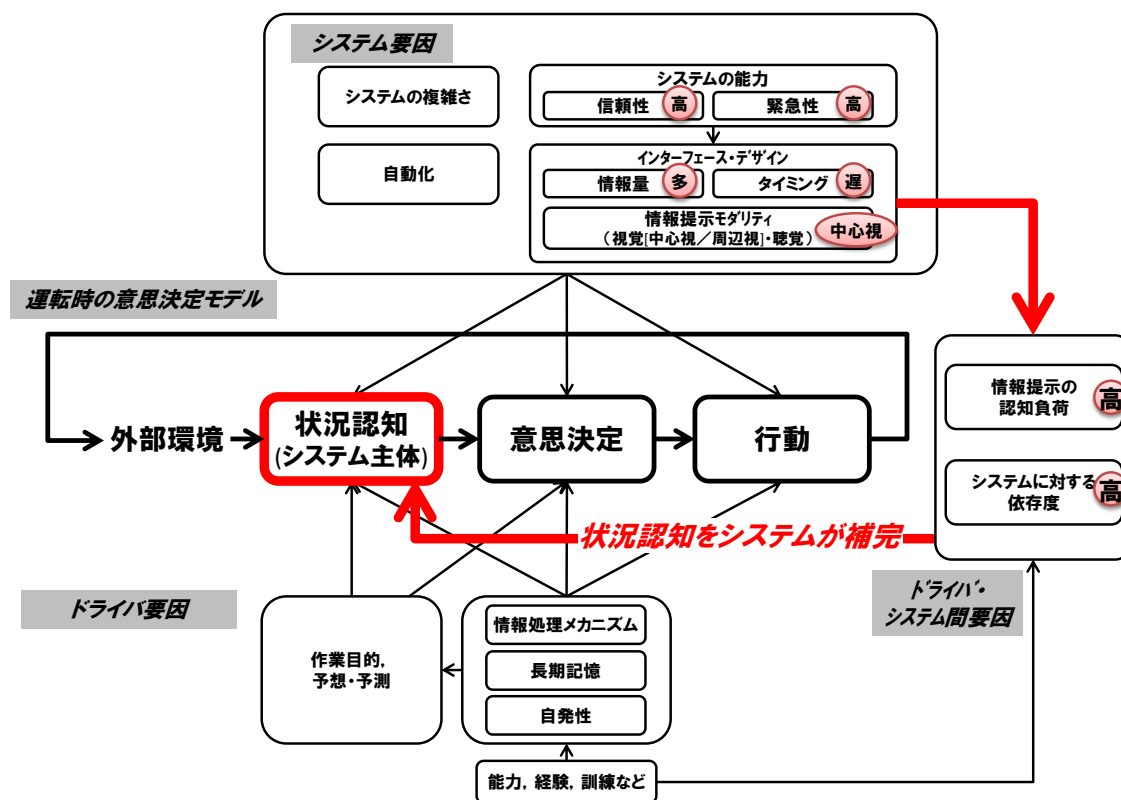


図 4-9 情報提示時の認知過程プロセス (中心視情報)

4.3.4. 情報提示時の状況認知過程のモデル化 (周辺視情報)

次に、4.3.2 で提案したドライバー・システムの相互関係を考慮した意思決定モデルを用いて、運転支援情報が、周辺視で認知する事を想定した形態でドライバーに提示される状況における状況認知プロセスを図 4-10 に示す。

周辺視情報は、周辺の物体の存在方向といった限られた情報ではあるが、注視を必要とすることなく極めて低い認知負荷で提示可能であるため、ドライバーは、システムからの情報を基に余裕をもって自ら状況認知に当たることができる。このため、複数の情報が提示された場合においても、中心視での情報の認知に干渉することがなく、状況認知に悪影響を与えることがない。

また、周辺の物体の存在方向などといったように、限られた情報を、周辺視というモダリティを用いて提示することで、システムの曖昧さ、不確実さを直感的に把握可能となり、システムへの過度な依存を発生させないと考えられる。これにより、ドライバーは、システムの情報がある程度頼りにしながらも、自らの状況認知により、安全に運転することが可能であると考えられる。

一方、詳細な情報を迅速に伝えることは困難であるため、不確実性の高い情報、あるいは、ドライバーが即座に行動をとる必要のない情報の提示に適すると言える。

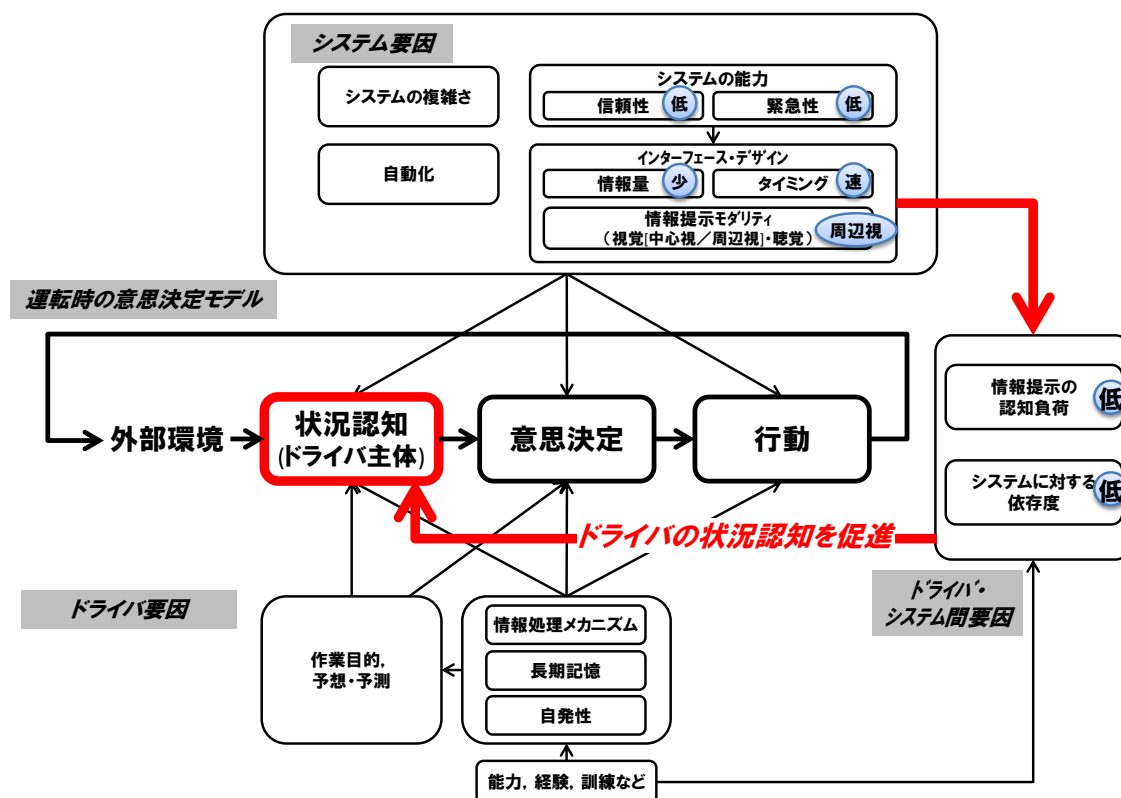


図 4-10 情報提示時の認知過程プロセス (周辺視情報)

4.3.5. 提案した認知過程モデルの検証

本節では、4.3.2 において提案したドライバの状況認知過程のモデルの妥当性を検証するための実験とその結果について示す。

実験は、運転支援システムのインターフェース・デザインの様々な要因が、ドライバ・システム間要因に与える影響について、4.3.3, 4.3.4 で示した関係が成立する事を検証するために実施した。ここで、インターフェース・デザインと情報提示の認知負荷との関係については、情報量が少ないより多い場合、情報提示が行われてから理解する時間が長いより短い場合、注視を必要としない場合よりするの方が、認知負荷が高まる事は容易に想定が可能である。そこで、本節では、特に、インターフェース・デザインと、ドライバの運転支援システムに対する依存度との関係に着目して実験を行った。

本実験の目的は、インターフェース・デザインの中で、システムからドライバに提示される情報量と依存度との関係及び、モダリティ (中心視で認知するか、周辺視で認知するか) と依存度との関係について評価を行う事とした。

4.3.5.1. 実験シナリオ

実験参加者は、片側一車線の直線路を 40km/h で走行する。走行中、100m 間隔で見通しの悪い交差点を通過し、1 走行約 90 秒のコースの中で、最大 10 か所の交差点を通過する。走行中いずれかの交差点で、交差車両または歩行者が、1 走行につき 1 回のみ、右または左からランダムに出現し、衝突予想地点の 4 秒前に交差車両または歩行者に関する情報がドライバに提示される。ドライバは情報提示に従い、ブレーキ操作によって回避行動をとる。

実験参加者の予期を防ぐため、歩行者は交差点の左右いずれか、また、手前もしくは奥側のいずれかから出現し、5km/h または 10km/h のいずれかの速度で交差点に進入する（図 4-11 左）。一方、交差車両は交差点の左右いずれかから、一時停止を無視して 20km/h で交差点に進入する（図 4-11 右）。

また、実環境における運転への集中を再現するために、ドライバの前方に一桁の数字を提示し、直前の数字と現在の数字を合算した数字の一桁目を発声する 1-back 課題を課した。

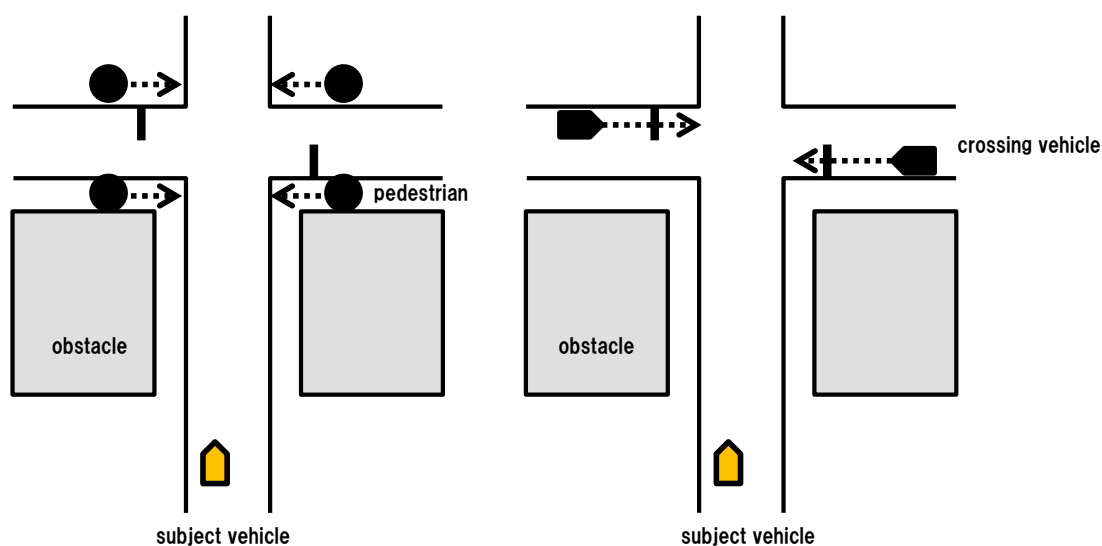


図 4-11 歩行者・車両の出現地点

4.3.5.2. 実験参加者

表 4-1 に、実験参加者の概要を示す。運転免許を所有し、定期的に運転を行っている男性被験者 10 名が実験に参加した。実験参加者には、実験の一週間前及び実験の直前にインフォームドコンセントを得た。また、実験の実施にあたり香川大学の研究倫理委員会から実施の了解を得た。




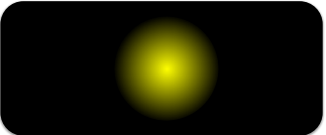
表 4-1 実験参加者

項目	条件
実験者数	6名（男性）
年齢	22.1歳（標準偏差 1.0歳）
その他の条件	運転免許を所有し、定期的に運転を行っている

4.3.5.3. 情報提示仕様

本実験では、情報量、情報提示のモダリティを変更した4種類の情報提示を用いた。表 4-2 に情報提示仕様を示す。

表 4-2 情報提示仕様

		情報量		
		少	中	多
モダリティ	中心視	情報提示① （中心視×情報量：少） ※提示画像 	情報提示② （中心視×情報量：中） ※提示画像（右方向） 	情報提示③ （中心視×情報量：多） ※提示画像（右方向） 
	周辺視	—	情報提示④ （周辺視×情報量：中） ※提示画像 	—

注視して認知する事を想定した情報提示に関しては、交差点付近に何らかの移動体が接近する事を示す情報量：少（情報提示①），移動体の接近方向のみを示す情報量：中（情

報提示②), 移動体の接近方向とその種別を示す情報量:多(情報提示③)の3条件とした. 情報提示位置については,3章の情報提示位置(表3-1の中心視情報)と同等とした.

一方,移動体の接近方向のみを示す情報量:中の条件については,周辺視野への情報提示によっても情報を伝達することが可能と考え,周辺視で認知する事を想定した情報提示(情報提示④)を,さらに設けた. 情報提示位置については,3章の情報提示位置(表3-1の周辺視情報)と同等とした.

本実験では,全ての条件で警報や注意喚起音等の聴覚情報の提示は行わず,視覚的な情報提示のみを行った.

4.3.5.4. 計測指標

情報提示①~④それぞれにおいて,1走行約90秒のコースを10回走行し,10回の走行後,情報提示に対する依存度を主観評価により計測した. 主観評価は,Visual Analog Scale(VAS)を用いて,「0:情報提示に全く依存しなかった」から,「10:情報提示に非常に依存した」として回答を取得した.

4.3.5.5. 実験結果

図4-12,図4-13に実験結果を示す. いずれの図も,情報提示に対する依存度について,6名の実験参加者の平均値と標準偏差を示したものである.

図4-12では,中心視で認知する情報を提示した際の,情報量とシステムに対する依存度との関係を示す. ドライバに対して提示される情報の量が増えるほど,システムに対する依存度が増加していることが分かる. 交差点接近時に,移動体の接近だけでなく,接近方向と種別についても提示することで,ドライバがシステムの検知性能を高く見積もり,結果としてシステムに大きく依存しながら,交差点を通過したと考えられる.

図4-13では,情報量:中の条件において,情報提示のモダリティ(中心視/周辺視)と,システムに対する依存度との関係を示す. 同じ情報量であっても,周辺視で認知する情報提示の方が,中心視で認知する情報提示より,システムに対する依存度が低くなっていることが分かる. 周辺視で認知可能な情報として提示されることで,ドライバはシステムの不確実性を直感的に理解し,結果としてシステムに対する依存度が低下したと考えられる.

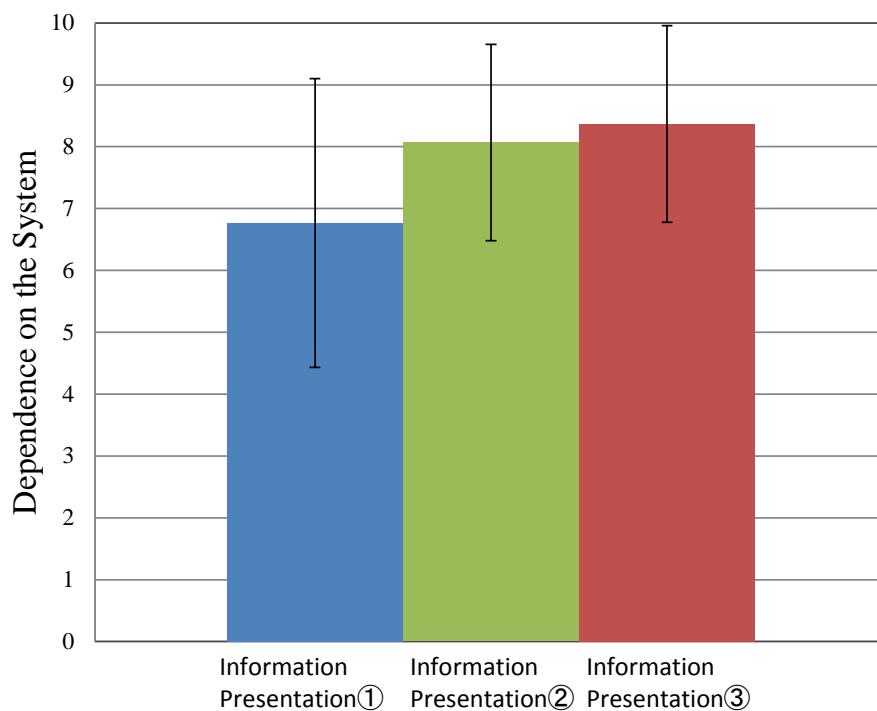


図 4-12 情報量とシステムに対する依存度との関係

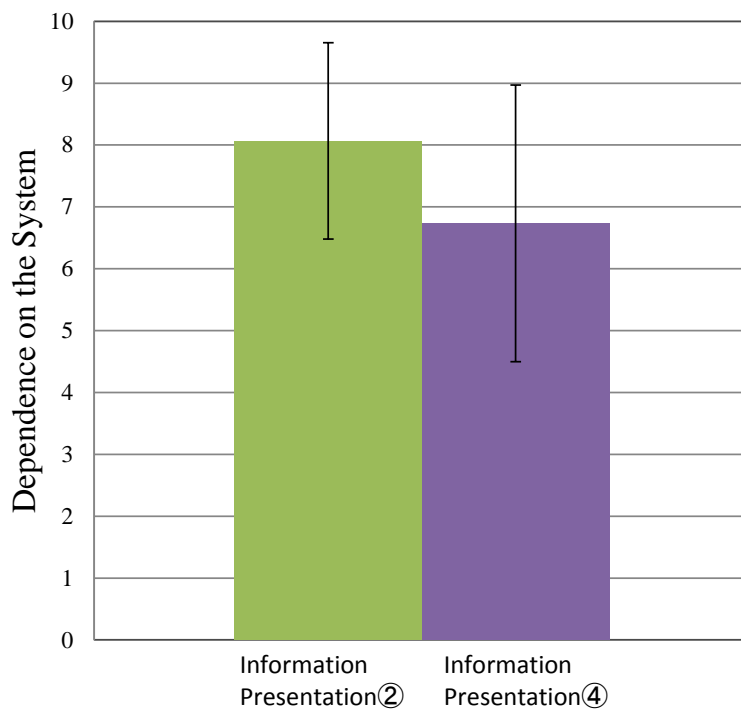


図 4-13 情報提示のモダリティとシステムに対する依存度との関係

4.3.5.6. 検証結果

4.3.3 では、中心視で認知する事を想定した形態で情報提示を行う場合、①情報提示のモダリティとして中心視を用いる、②周辺視で認知する事を想定した形態よりも情報量が多くなる、という 2 点から、運転支援システムに対するドライバの依存度が高まる、という仮説を示した。また、4.3.4 では、周辺視で認知する事を想定した形態で情報提示を行う場合、①情報提示のモダリティとして周辺視を用いる、②中心視で認知する事を想定した形態よりも情報量が少なくなる、という 2 点から、運転支援システムに対するドライバの依存度が低くなる、という仮説を示した。

一方、本節での検証実験を通じて、運転支援システムからドライバに提示される情報量が多い程、運転支援システムに対する依存度は高まることが分かった。また、運転支援システムからドライバに提示される情報が、ドライバが周辺視で認知する事を想定した形態よりも、中心視で認知する事を想定した形態で提示する場合の方が、運転支援システムに対する依存が高まることが分かった。

以上より、本項の検証実験を通じて、4.3.3, 4.3.4 で示した、インターフェース・デザインと、システムに対する依存度との関係について検証を行うことができたと考える。

4.4. 複数情報の提示方法の設計

4.2, 4.3 を踏まえて、複数の運転支援情報が提示される場合、提示される情報の緊急度と、信頼性の 2 つの特性に基づいて、中心視で認知する事を想定した情報提示と、周辺視で認知する事を想定した情報提示を割り付ける情報提示制御方法を提案する。

表 4-3 に示すように、2 種の警報の緊急度を比較し、緊急度が高い情報については、信頼性が高い情報（本研究においては、交差車両に関する情報）の場合は中心視野への情報提示選択し、信頼性が低い場合は、周辺視野領域への情報提示を選択する。一方、緊急度が低い情報については、信頼性によらず、周辺視野領域への情報提示を選択する。緊急度が高く、かつ、信頼性が高い情報を中心視野へ情報提示を行い、それ以外の情報については、周辺視野でも認知可能な危険の気配として伝達することで、複数の警報による競合を回避することができる考えた。

表 4-3 複数警報の提示制御方法

		情報の緊急度	
		高	低
情報の信頼性	信頼性：高 (誤報/欠報可能性：低) =交差車両情報	中心視野への 情報提示	周辺視野への 情報提示
	信頼性：低 (誤報/欠報可能性：高) =歩行者情報	周辺視野への 情報提示	周辺視野への 情報提示

上記の制御方法に基づいて、想定するシーンである右折時、出会い頭時において、複数の情報が提示された場合の情報提示の例を、図 4-14, 図 4-15 に示す。

図 4-14 は、右折時において、対向車の接近情報と、右折先の横断歩行者に関する情報が時間的に近接して提示され、情報が競合するシーンを示している。2 つの情報の中で、緊急度が高い情報は対向車両であり、かつ、情報の信頼性も高いために、HUD に、対向車の接近を示すアイコンとして表示される。一方、右折先の歩行者に関する情報は、2 つの情報の中では緊急度が低く、歩行者の挙動予測が困難なことから、信頼性も低いと考えられるので、周辺ディスプレイを用いて、周辺視野で認知可能な形態で表示される。

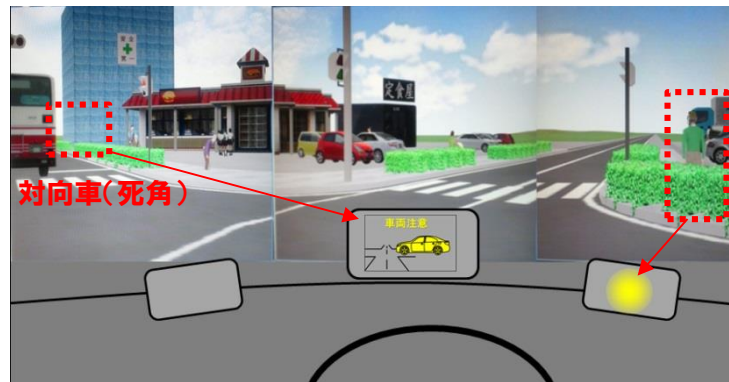


図 4-14 情報提示例（右折時）

図 4-15 は、出会い頭時において、交差車両の接近情報と、歩行者の接近情報が時間的に近接して提示され、情報が競合するシーンを示している。交差車両と歩行者までの距離がほぼ同じである場合、交差車両情報と歩行者情報の緊急性は同等と考えられる。一方、歩行者は突然進路を変更する可能性があり、挙動予測が困難なことから、歩行者情報の信頼性は交差車両情報の信頼性よりも低いと考えられる。このため、交差車両情報は中心視、歩行者情報は周辺視野で認知可能な形態で表示される。

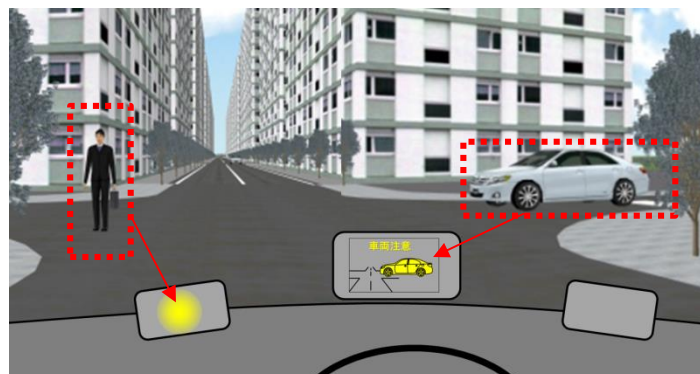


図 4-15 情報提示例（出会い頭）

次章では、本章にて設計した情報提示制御方法（出会い頭）を用いて、DS 実験により、その有効性を評価する。

4.5. まとめ

本章では、路車間協調システムが導入された際に、複数の情報が競合するシーンを明確にした上で、3 章で明らかにした、周辺視情報を単独で用いた場合の基本特性に基づいて、警報の競合を回避するための情報提示手法の設計を行った。

はじめに、路車間協調システムが導入された際、複数の情報が競合するシーンとして、出会い頭時と右折時の 2 つのシーンを抽出した。次に、Wickens の注視の多重資源モデルを引用し、中心視で認知する事を想定する HUD を用いた情報提示と、周辺視で認知する事を想定した周辺に配置されたディスプレイを活用するアンビエント情報提示とを併用することで、路車間協調システムから提供される複数の情報を認知する際の競合を回避可能であることを示した。

また、Endsley の状況認知モデルに基づいて、ドライバ・システムの相互関係を考慮した状況認知モデルを提案し、アンビエント情報提示がドライバに提示された際の状況認知プロセスを明らかにした。

以上を踏まえて、複数の運転支援情報が提示された際に、情報の緊急度と信頼性に基づいて、HUD への情報提示と、周辺ディスプレイへの情報提示を割り付ける手法を提案し、右折時と出会い頭時における具体的な情報提示方法を示した。

5. 情報提示方法の事故削減効果の定量的評価

5.1. 本章の目的

本研究では、路車協調システムから同時に複数の運転支援情報が提示されるシーンにおいて、ドライバの中心視野に加えて、周辺視野を活用したアンビエント情報提示を用いる有効性を検証することを目的とする。有効性の検証のために、以下の点に着目して評価を行う。

- (1) 周辺視野へのアンビエント情報提示が、HUD 表示され情報に対するドライバの運転行動（反応時間）に影響を与えないこと
- (2) 周辺視野へのアンビエント情報の提示により、ドライバの反応時間が短縮可能であること
- (3) HUD 及び周辺ディスプレイを用いたアンビエント情報提示により、ドライバの運転負荷を増大させないこと

5.2. DS 実験

5.2.1. 実験シナリオ

2010年の交通事故統計によると、信号の無い交差点における交通事故の死亡者数は1,006件に上り、全死者数の21%を占める [37]。さらに、1,006件の中で、車両同士の交通事故における死亡者数は577件(57%)、人対車両の交通事故における死亡者数は363件(36%)に上る。これらの事故統計に基づき、本研究では、複数のリスクが存在するシーンとして、見通しが悪く信号のない交差点を通過する際に、死角から交差車両と歩行者が同時に接近するシーンを、ドライビングシミュレータ（以下、DSと記述）を用いて再現した。実験シナリオを図5-1に示す。

自車両は片側1車線の道路を40km/hで走行し、100m間隔で配置された見通しの悪い交差点通過する。1走行約90秒のコースの中で、最大10個の交差点を通過し、交差点を通過する際、交差車両と歩行者が同時に出現し、ドライバは衝突しないように減速による回避操作を行う。

交差点付近には建物が配置され、交差車両と歩行者は同じタイミングで被験者から視認可能となるように設定した。実際のヒヤリハット事象を参考にし、交差車両とのTTC=1.9s、歩行者とのTTC=1.6sの時点で、被験者からそれぞれの対象物が視認可能となるようにした。歩行者は車道へ飛び出さずに交差点を手前へ曲がるために衝突は発生せず、交差車両は一時停止を無視して直進するため、被験者が減速行動を行わなければ衝突が発生するように設定した。図5-2にDS画面の例を示す。

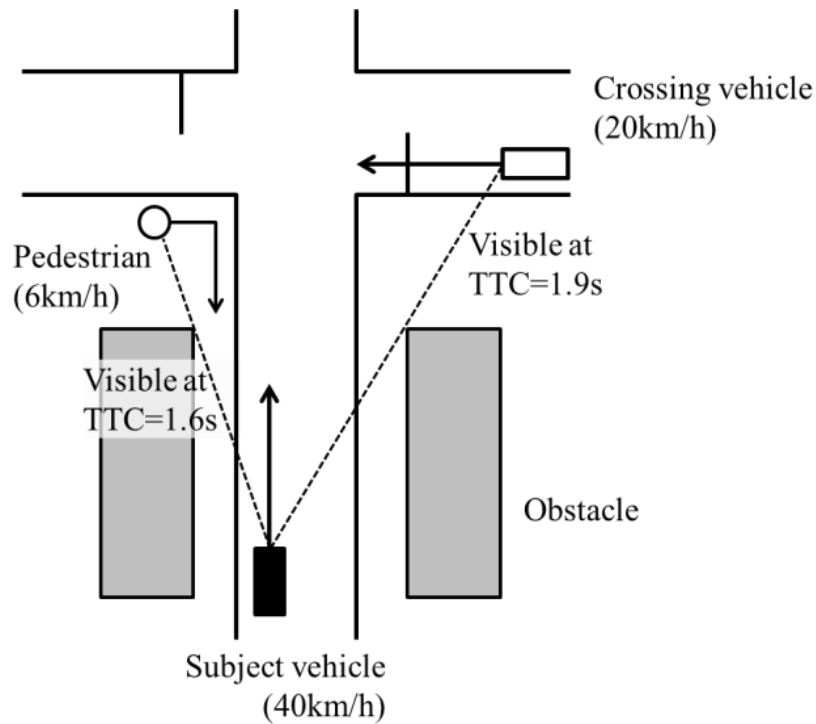


図 5-1 実験シナリオ



図 5-2 実験シナリオ (DS 画面)

実環境における運転を再現するために、ドライバーの前方に一桁の数字を提示し、直前の数字と現在の数字を合算した数字の一桁目を発声する 1-back 課題を課した。被験者には、交差車両の存在に気づいた場合には減速して衝突を回避し、歩行者の存在に気づいた場合にはステアリング背面の左右に設置されたボタンを押すように事前に教示したうえで実験を行った。

表 5-1 に実験参加者の概要を示す。実験参加者及び、香川大学の研究倫理委員会よりインフォームドコンセントを得た上で、男性被験者 10 名（平均年齢 22.1 歳，S.D. 1.0 歳）が実験に参加した。

表 5-1 実験参加者

項目	条件
実験者数	10 名（男性）
年齢	22.1 歳（標準偏差 1.0 歳）
その他の条件	運転免許を所有し，定期的に運転を行っている

5.2.2. 実験条件

DS に慣れるための練習走行を十分に行った後，表 5-2 実験条件に示す実験条件下で実験を行った。被験者は，図 5-1 に示す 1 走行 90 秒のコースを全 20 回走行し，交差車両と歩行者が同時に出現する条件はそのうちの 8 回とした。左右異なる方向から障害物が出現する場合に，特にリスクが高まると考え，車両と歩行者が左右異なる方向から出現する実験条件の割合を高く設定した。また，信号の無い交差点における事故のマイクロ分析において，右側から接近する車両との衝突事故が多いことが報告されている [38]。この事故統計を考慮して，実験回数を設定した。ドライバが歩行者や車両の出現を予期しないように，交差車両のみが出現する条件（2 回），歩行者のみが出現する条件（10 回）を用意し，実験の順番及び歩行者や車両が出現する交差点はランダムに設定した。

表 5-2 実験条件

experimental condition	direction		frequency of experiment
	crossing vehicle	pedestrian	
crossing vehicle and pedestrian	R	L	4
	L	R	2
	L	L	1
	R	R	1
crossing vehicle	R	-	1
	R	-	1
pedestrian	-	Random	10

5.2.3. 情報提示仕様

5.2.3.1. 情報の優先度の考え方

ISO/TS16951 によると，複数の情報が提示される場合，情報の緊急性と重大性により判断される情報の優先度を考慮して，提示が行われる事が望ましい [3]。本実験におけるシナ

リオにおいては、交差点に進入する交差車両は自車両との衝突可能性が高いといえる。一方、道路に接近する歩行者については情報提示を行う時点では移動の予測が困難であるため、自車両との衝突可能性の予測が困難である。そこで、本実験では、衝突可能性の観点から、交差車両情報が歩行者情報よりも優先度が高い、と仮定して情報提示方法の検討を行った。

本実験では、上記の情報の優先度に基づいてアイコンの表示サイズを変更した上で HUD へ割り付ける表示方法と、優先度の高い情報を HUD に表示し、優先度の低い情報を周辺視野に設置された周辺ディスプレイに表示する表示方法、という 2 種の表示方法について検討し、それぞれの表示方法が運転行動へ与える影響に関して評価を行った。

5.2.3.2. 実験環境

実験に用いた表示用ディスプレイのレイアウトを図 5-3 に示す。HUD の大きさは現在、商品化されている HUD のサイズ [39]を参考に縦 90mm×横 150mm の液晶ディスプレイを用い、視覚的な煩わしさに配慮して、被験者から見て俯角約 5 度の位置に設置した [40]。HUD までの距離は 1.0m とした。

また、周辺ディスプレイの大きさは縦 5cm×横 7cm とし、被験者が正面を見て走行中に周辺視野に位置するように、水平方向±約 20 度、俯角約 4 度に設置した。周辺視野については様々な定義があるが、本研究では、眼球運動だけで情報注視が可能で瞬時に情報を視認可能な有効視野（左右約 15° 以内、上約 8° 以内、下約 12° 以内）よりも外側の領域を周辺視野と考え、周辺ディスプレイの配置を決定した。

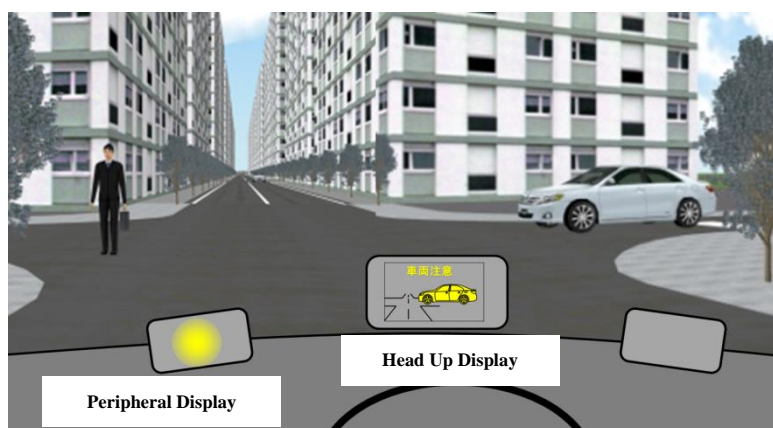


図 5-3 実験時のディスプレイ配置

5.2.3.3. 情報提示仕様

5.2.3.3.1. HUD のみを用いた情報提示方法

図 5-4 に、HUD のみを用いた情報提示方法を示す。先行研究 [41]を参考に、優先度の高い交差車両情報に対して大きな面積を割り付けて表示した（縦 3cm×横 4cm，視野角 1.7deg×2.4deg）。相対的に優先度の低い歩行者情報は、交差車両情報よりも小さいサイズとして表示した（縦 1.2cm×横 1.8cm，視野角 0.7deg×1.0deg）。各情報の表示位置は固定した上で、交差車両及び歩行者の出現方向に応じて表示内容を変更した。図 5-4 では、右から交差車両、左から歩行者が出現する場合の情報提示例を示す。表示タイミングは、TTC=3.0s となる時点で、交差車両情報と歩行者情報を同時に提示した。HUD への情報提示と同時に、注意喚起音の提示を行った。図 5-5 に、実験風景を示す。



図 5-4 HUD を用いた複数情報の提示



図 5-5 実験風景

5.2.3.3.2. HUD 及び周辺ディスプレイを用いた情報提示方法

図 5-6 に、HUD に加えて周辺ディスプレイを用いた情報提示方法を示す。図 5-4 に示す従来の方法では、HUD の限られた領域にそれぞれ注視が必要な 2 種の情報を優先度に応じて割り付けるため、優先度の低い情報に対する反応が遅延する可能性があった。そのため、本研究では、優先度の高い情報を HUD に表示し、相対的に優先度の低い情報は周辺ディスプレイに周辺視野で認知可能な形態で提示することで、情報の認知負荷を低減することを考えた。

優先度の高い交差車両情報は、ドライバ正面の HUD に表示を行った(縦 3.5cm×横 5.4cm, 視野角 2.0deg×3.2deg)。一方、相対的に優先度の低い歩行者情報は、歩行者の出現方向に対応する方向の周辺ディスプレイに、周辺視野で認知可能な形態で表示を行った。周辺ディスプレイへの表示仕様は、周辺視野で視認可能な表示の特性に関する従来研究 [28]及び、視標検出視野の加齢変化に関するデータ集 [42]を参考にして、ドライバからの視野角が 3°の円型を、1Hz で点滅表示を行った。情報提示への注視を避けるために、表示画像にガウシアンフィルタを用いて平滑化処理を施すことでエッジをぼかし、点滅表示の際の輝度の時間的変化を急峻とせず、1Hz で連続的に輝度が変化するように表示を制御した。また、被験者に対しては、周辺ディスプレイ上の表示については、注視せずに周辺視野で認知するように教示を行った。

表示タイミングは、TTC=3.0s となる時点で、交差車両情報と歩行者情報を同時に提示した。HUD への情報提示と同時に、注意喚起音の提示を行った。2 種の表示方法の特性の違いがドライバ行動へ与える影響のみを評価するために、注意喚起音は、HUD のみを用いた情報提示方法と統一した。図 5-7 に、実験風景を示す。

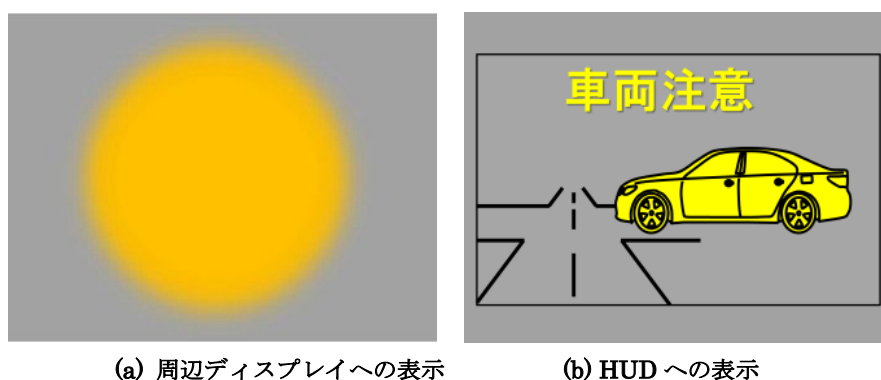


図 5-6 HUD と周辺ディスプレイを用いた複数情報の提示



図 5-7 実験風景

5.2.3.4. 情報提示時の注視行動

被験者が、注視することなく周辺ディスプレイ上の表示を認知しているかどうかを確認するため、視線計測装置 (NAC EMR-8) を用いて注視点の解析を行った。図 5-8 , 図 5-9 に注視点解析結果を示す。図 5-8 は、HUD のみを用いた情報提示を行った場合の注視点の解析結果、図 5-9 は、HUD 及び周辺ディスプレイを用いた情報提示を行った場合の注視点の解析結果である。いずれも、交差点右側から車両が出現し、交差点左側から歩行者が出現する実験シナリオにおいて、情報提示から車両と歩行者を確認するまでの注視点の時系列の軌跡を示したものである。

図 5-8 は、HUD を注視した後、交差車両と歩行者を注視していることがわかる。図 5-9 は、図 5-8 と同様に HUD を注視した後、交差車両と歩行者を注視しているが、左側の周辺ディスプレイに表示されている、歩行者の存在を示す情報提示には注視していないことがわかる。被験者は、実験前の教示通り、注視することなく周辺ディスプレイ上の情報を認知していたと考えられる。但し、実験の都合上、注視点の計測、解析は被験者 1 名に対してのみ行った、周辺ディスプレイへの視認方法については、被験者に対して事前の教示によって統制を行い、実験後の被験者の聴きとり調査からも、この視認方法をとっていたことを確認した。

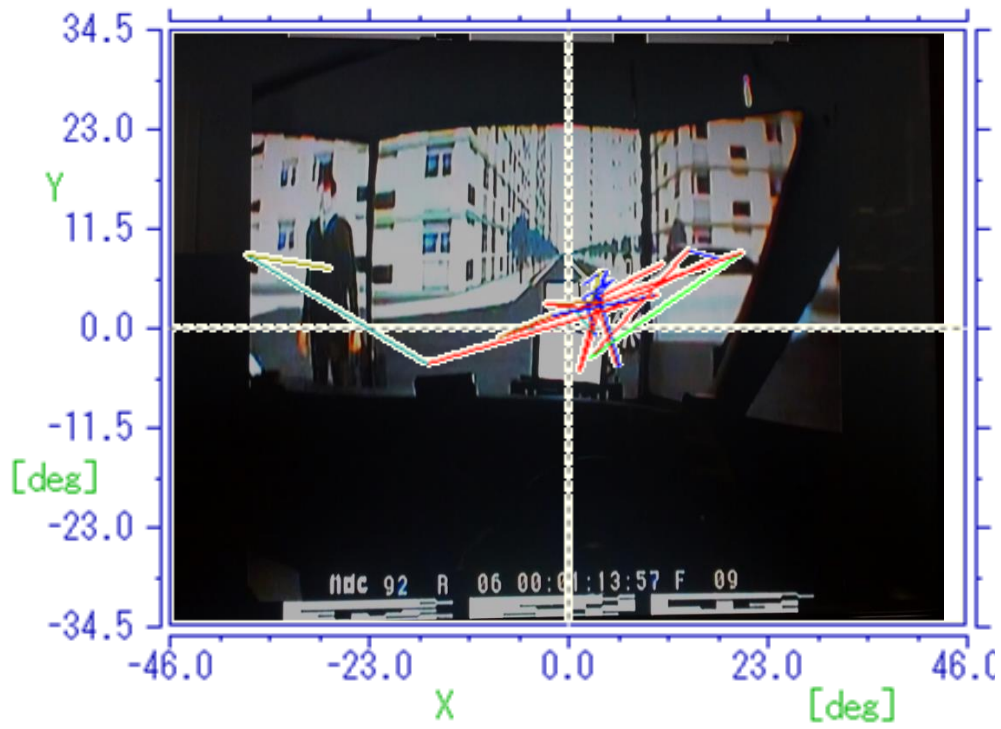


図 5-8 注視点解析結果 (HUD)

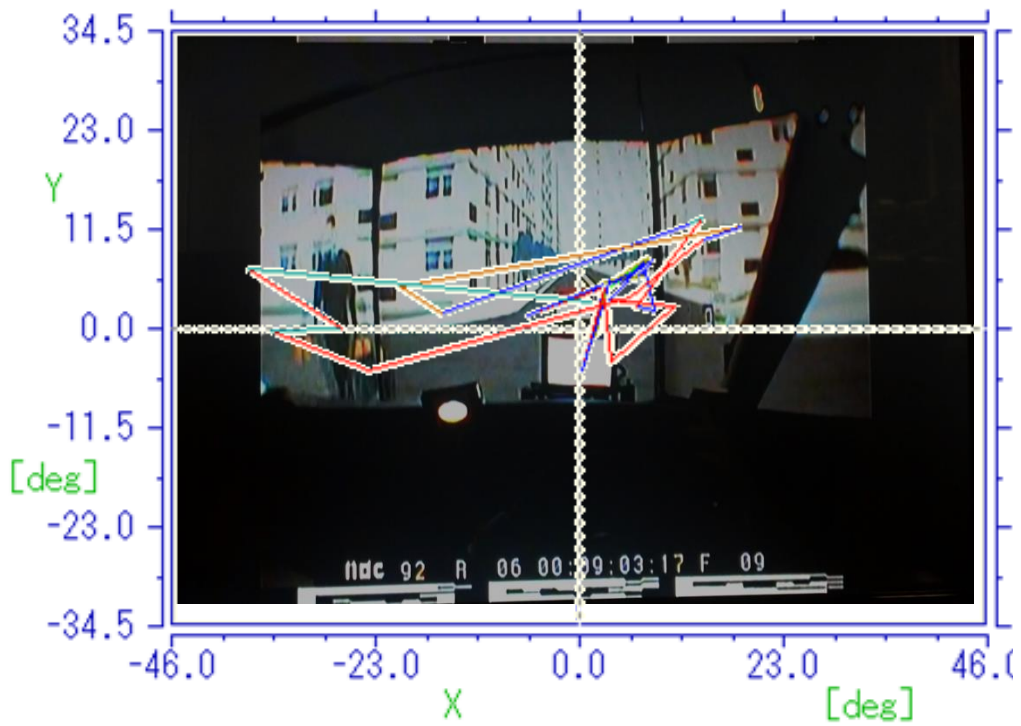


図 5-9 注視点解析結果 (HUD+周辺ディスプレイ)

5.2.4. 計測指標

実験では、2 パタンの情報提示方法が、主情報、副情報それぞれに対するドライバの反応時間及び、情報の認知負荷に与える影響を評価するため、以下の指標を計測した。

(1) 主情報（交差車両情報）に対する反応時間

優先度が高い主情報に対するドライバの反応時間を計測するため、交差車両情報に対するブレーキ反応時間を計測した。具体的には、交差点までの TTC が 3.0 秒となる時点（交差点 33m 手前）を基準として、ドライバが交差車両に気づいてブレーキを踏み始めるまでの反応時間を、1 走行ごとに計測した。

(2) 副情報（歩行者情報）に対する反応時間

優先度が低い副情報に対するドライバの反応時間を計測するため、歩行者情報に対する反応時間を、ステアリング背面の左右に設置されたボタンに対する反応時間により計測した。具体的には、歩行者の出現方向を理解した段階で、歩行者の出現方向と同じ方向のボタンを押すように被験者に教示し、歩行者に対する反応時間を計測した。交差車両と同様に、交差点までの TTC が 3.0 秒となる時点（交差点 33m 手前）を基準として、被験者がボタンを押すまでの反応時間を、1 走行ごとに計測した。

(3) NASA-TLX

見通しの悪い交差点を通過する際の、ドライバの精神的負荷を比較評価するために、NASA-TLX(WWL スコア)の計測を行った。NASA-TLX は、情報提示を行わない条件および、HUD のみの情報提示を行った場合、HUD 及び周辺ディスプレイを用いた情報提示を行った場合について測定を行った。NASA-TLX は、それぞれ全 20 回の走行を完了した後に、アンケートにより計測を行った。

5.3. 実験結果

5.3.1. 主情報に対する反応時間

交差車両・歩行者同時出現時のシナリオ（20シーン中8シーン）における、交差車両に対する全被験者の反応時間の分析結果を図5-10に示す。情報提示を行わない条件に対して、HUDのみを用いた情報提示により、反応時間は平均0.89秒短縮され、HUD及び周辺ディスプレイを用いた情報提示により、平均0.97秒短縮された。Bonferroni法による多重比較により、交差車両に対する反応時間は、HUDのみを用いた情報提示と、HUD及び周辺ディスプレイを用いた情報提示のいずれにおいても、情報提示なし条件と比較して有意な反応時間の短縮効果が確認できた。一方、それぞれの情報提示において、反応時間の短縮効果については有意な差は見られなかった。

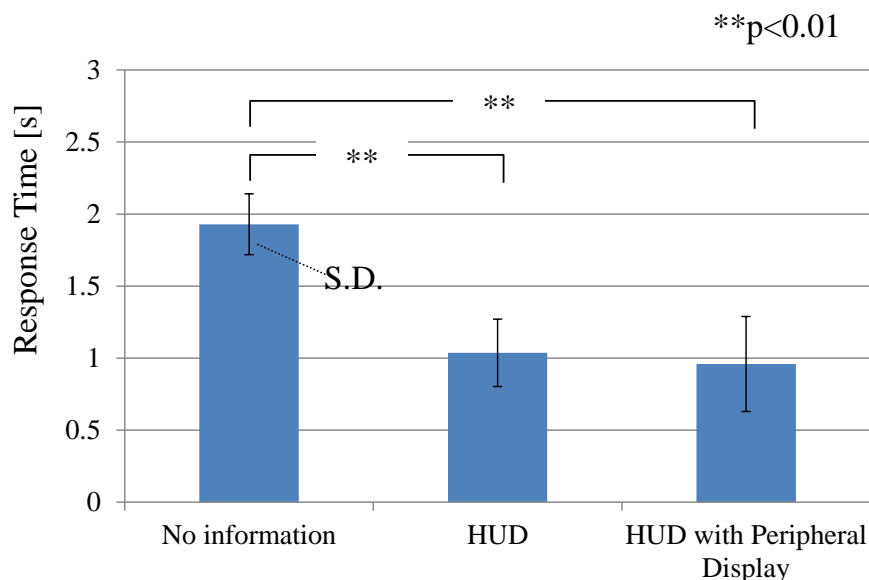


図 5-10 主情報に対する反応時間

5.3.2. 副情報に対する反応時間

交差車両・歩行者同時出現時のシナリオ（20シーン中8シーン）における、歩行者に対する全被験者の反応時間の分析結果を図5-11に示す。情報提示を行わない条件に対して、HUD及び周辺ディスプレイを用いた情報提示により、反応時間は平均0.7秒短縮された。一方、HUDのみを用いた情報提示による反応時間の短縮効果は平均0.35秒に留まった。Bonferroni法による多重比較により、各条件間での有意差を確認できた。

歩行者情報を交差車両と共にHUDに提示した場合よりも、歩行者情報を周辺ディスプレイに表示した方が、歩行者に対する反応時間の短縮効果が高いことが分かった。

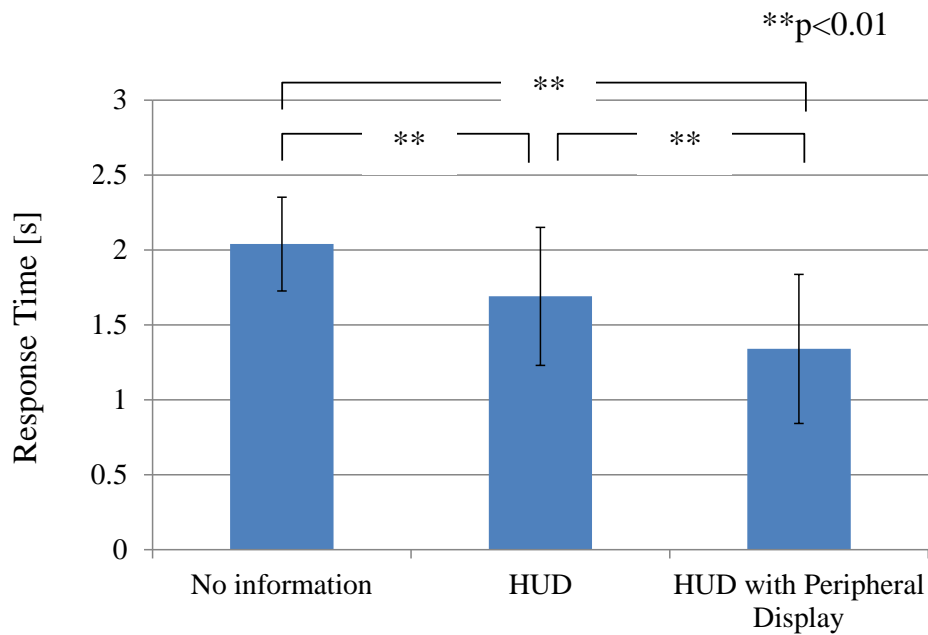


図 5-11 副情報に対する反応時間

5.3.3. NASA-TLX

図 5-12 に、見通しの悪い交差点を通過する際の精神的負荷の評価結果を示す。いずれの情報提示を行った場合でも、情報提示を行わない条件と比較して精神的負荷が低下している。情報提示により、見通しの悪い交差点を通過する際の、ドライバの精神的負荷が軽減されていることがわかる。

また、HUD 及び周辺ディスプレイを用いた情報提示では、HUD のみを用いた情報提示と比較して、精神的負荷の若干の低減が見られた。交差車両を HUD に表示し、歩行者情報を周辺ディスプレイに表示する表示方法を用いることにより、HUD のみを用いる場合と比較して精神的負荷を低減できる可能性がある事が分かった。

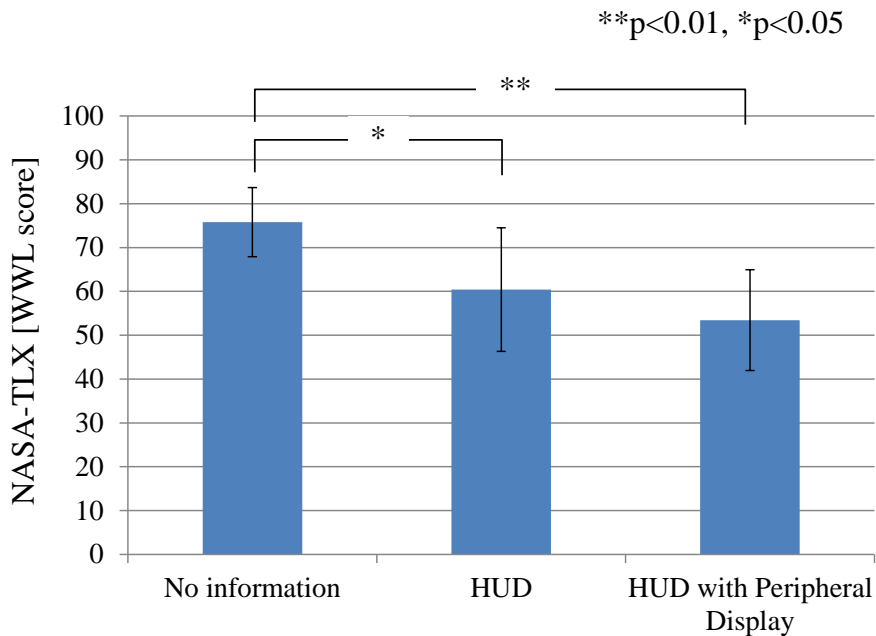


図 5-12 NASA-TLX

5.4. 事故削減効果の評価

2章で提案した時系列信頼性モデルを用いたモンテカルロシミュレーションにより、自車両が交差点に接近する際に歩行者が出現する 10,000 回分の運転行動を再現し、各条件における歩行者との衝突回数と衝突低減効果を算出した。表 5-3 に結果を示す。

情報提示がない条件における衝突回数と比較して、どの程度事故を削減できたかの割合を示す事故低減効果を見ると、HUD 上への優先度表示では、47%の事故低減効果に留まったのに対し、HUD と周辺視ディスプレイを用いた情報提示は 86%の事故低減効果となった。HUD 上への優先度表示に対して、周辺視ディスプレイを用いることにより、事故低減効果は約 1.8 倍改善されることが分かった。

表 5-3 歩行者との衝突確率のシミュレーション結果

	Collision Frequency	Collision Mitigation Ratio
No information	9,292	-
Conventional Method (HUD)	4,883	47% reduction
Proposed Method (HUD with Peripheral Display)	1,323	86% reduction

5.5. 考察

本研究においては、主情報に対する反応時間は、HUDのみを用いた情報提示と、HUD及び周辺ディスプレイを用いた情報提示との間で差が見られなかった。HUDのみを用いた情報提示の場合には、情報の優先度を考慮して主情報を副情報よりも大きく表示したため、主情報を迅速に認知し、反応することができたと考える。これより、HUDの限られた表示領域に対して複数の情報を表示した場合においても、優先度を考慮して表示方法を変更することで優先度が高い情報をドライバに伝達し、反応時間を短縮することができることを確認した。先行研究 [41]において、宇野らは、複数の情報が提示される際、優先度の大きい警報系情報をより大きな表示領域サイズで表示するという情報提示マネジメントを行うことで、優先度の高い情報に対する反応時間が短縮されると報告している。本研究においても、主情報に対する反応に関しては、同様の効果が確認できたと言える。

一方、副情報に対する反応時間については、HUDのみを用いた情報提示と比較して、HUD及び周辺ディスプレイを用いた情報提示を行った場合に有意に短縮された。HUDのみを用いた情報提示では、HUD上に注視を必要とする2種の情報が提示された。被験者は、それぞれの情報を理解するために、優先度の高い主情報を視認して交差車両の接近を理解した後、優先度の低い副情報を視認して歩行者の出現方向を確認する必要があるため、副情報に対する反応時間が遅れたと考える。さらに、副情報は、主情報と比較して小さく表示されたため、副情報に対する認知負荷が増加し、反応時間が遅れたと考える。これに対して、副情報の表示に周辺ディスプレイを用いた場合、被験者は、HUDに表示された主情報を中心視で視認しながら副情報を周辺視でとらえることが可能となり、視線移動なく副情報の内容を理解できたと考えられる。そのため、結果として、副情報に対する反応時間が短縮されたと考える。尚、HUDのみを用いた情報提示に関しては、歩行者の出現方向に応じて、副情報をHUDの左右位置に表示する、というような提示方法も考えられる。この場合、情報の表示位置により歩行者の出現方向を伝達できるため、副情報の反応時間が、本実験で用いた従来方法よりも短縮される可能性がある。HUDのみを用いた従来例としては、本実験において用いた提示方法以外についても評価が必要と考えられる。

運転中の精神的負荷については、HUD上に複数の情報を集約して表示するのではなく、HUDと周辺ディスプレイに情報を分割して表示する、という従来と異なる表示方法により、精神的負荷への影響が懸念されたが、HUD上への優先度表示と比較して増加する事は無く、若干ではあるが低減できる可能性がある事が分かった。

主情報についてはHUDに表示することで、迅速かつ確実に理解することができ、副情報については、リスクの存在方向のみを周辺視で認知可能な形態で伝達することで、全体の認知負荷が低減されたと考える。

5.6. まとめ

見通しの悪い交差点において、路車協調システムから同時に複数の情報が提示されるシーンを DS により再現し、ドライバの周辺視野を活用した情報提示方法の有効性を検証した。交差点に接近する交差車両に関する情報を主情報、交差点に接近する歩行者に関する情報を副情報と定義し、HUD を用いたアイコン表示により主情報・副情報を提供する従来手法と、主情報は HUD を用いてアイコン表示し、副情報は周辺ディスプレイを用いて周辺で認知可能な形態で提供する提案手法が、ドライバの運転行動に与える影響について評価した。

1) 主情報への反応時間に与える影響の分析

提案する提示方法により、情報提示を行わない条件と比較して、交差車両に対するブレーキ反応時間が平均 0.97 秒短縮された。これは従来方法 (HUD のみを用いた情報提示) とほぼ同等の短縮効果であった。周辺視野への副情報の提示により、主情報への反応時間に影響を与えることはなかった。

2) 副情報への反応時間の短縮効果の分析

提案する提示方法により、歩行者に対するボタン反応時間は、情報提示を行わない条件と比較して平均 0.7 秒、従来方法と比較して平均 0.35 秒短縮された。歩行者情報を交差車両と共に HUD に提示した場合よりも、歩行者情報を、周辺視で認知可能な形態で周辺ディスプレイに表示した方が、反応時間の短縮効果が高いことが分かった。

3) ドライバに与える精神的負荷の分析

ドライバの精神的負荷を示す NASA-TLX 値は、従来方法と比較して若干の低減が見られた。見通しの悪い交差点において、交差車両と歩行者が同時に出現する状況下では、HUD のみを用いる情報提示と比較して、周辺ディスプレイを用いることで精神的負荷を低減できる可能性がある事が分かった。

6. 複数の運転支援情報の提示方法に関する設計指針の策定

本章では、本研究において提案した、周辺視野を活用した複数の運転支援情報の提示方法について、路車間協調システムからの情報の取得から、車両に搭載された運転支援システムによる情報提示に至るまでの処理の流れを具体化し、設計指針としてまとめる。

図 6-1 は、4.3 において設計した複数の情報の提示方法に基づいて、車両に搭載された運転支援システムにおける情報提示制御のプロセスを、フローチャートの形で具体化したものである。以降、本フローチャートの各工程について、詳細を示す。

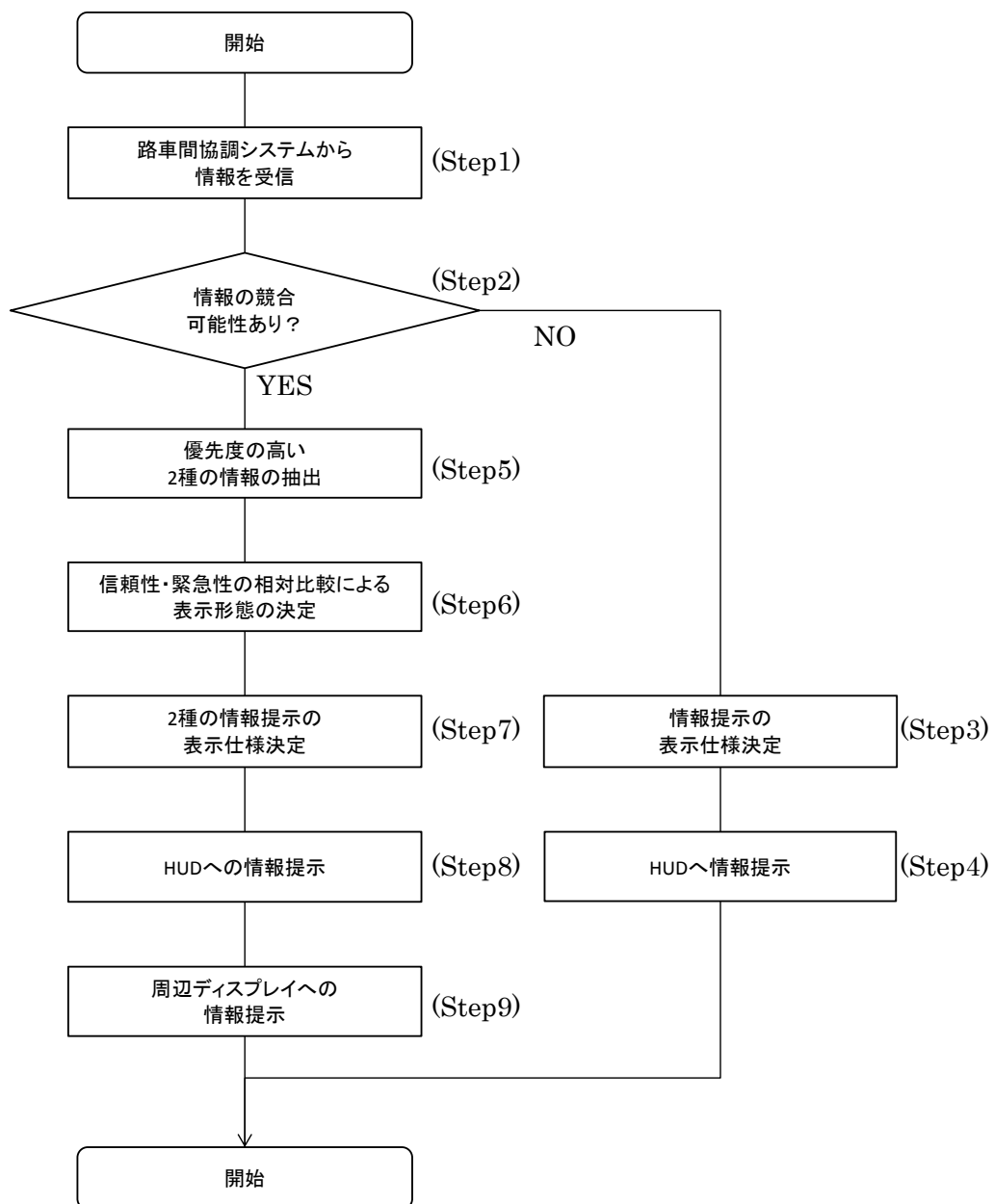


図 6-1 情報提示処理フロー

路車間協調システムの導入された交差点に、運転支援システムの搭載された車両（自転車）が接近すると、運転支援システムは、路車間協調システムから情報を受信する（Step1）。運転支援システムは、受信した情報数に基づいて、単一の情報を受信した際には“情報の競合なし”，複数の情報を受信した際には“情報の競合あり”と判断する（Step2）。

“情報の競合なし”と判定された場合には、受信した情報に基づいて、予め運転支援システムに格納されている、注視して認知する事を想定したアイコン形式を選択して（Step3）、車両に設置された HUD に表示する（Step4）。アイコン形式の表示例を、図 6-2 に示す。図 6-2 において、左図は、歩行者の接近情報を受信した際の HUD への表示例、右図は、交差車両の接近情報を受信した際の HUD への表示例である。

情報の競合が発生しない場合は、ドライバーは、HUD に提示されたアイコン表示を注視した上で内容を理解し、安全確認を行ったうえで必要に応じて徐行し、交差点を通過する。



図 6-2 注視して認知する事を想定したアイコン表示例

一方で、Step2 において、“情報の競合あり”と判定された場合には、競合を回避するための処理へと進む。先行研究において、同時にドライバーに提示する情報数の上限は 2 個までが望ましい、と報告されていることから [43]，“情報の競合あり”と判定された場合は、情報の優先度に基づいて、優先度の高い 2 種の情報を、ドライバーに提示する情報として抽出する（Step5）。今後、路車間協調システムには、様々なサービスが導入されることが予想されるが、ISO/TS 16951 を参考にして、情報の緊急性と重大性の 2 つの指標に基づいて、情報の優先度が高い上位 2 種の情報を抽出すればよい。

ドライバーに提示された 2 種の情報が抽出された後は、2 種の情報の緊急性と信頼性を相対的に比較することで、情報の表示形態を決定する（Step6）。具体的には、表 4-3 に示す緊急性・信頼性毎の表示形態をまとめたテーブルを用いて、其々の情報を、中心視で認知することを想定した形態か、周辺視で認知することを想定した表示形態のいずれかに決定する。以降では、出会い頭時、右折時それぞれの、表示形態の決定の具体例を示す。

なお、下記以外のシーンにおいても同様に、表 4-3 のテーブルを用いて、2 種の情報について緊急性と信頼性の相対評価を行い、2 種の情報を、中心視で認知する形態と周辺視で認知する形態のいずれかに決定すればよい。

<出会い頭>

①交差車両情報と歩行者情報が同時に提示される場合

- ・シナリオ

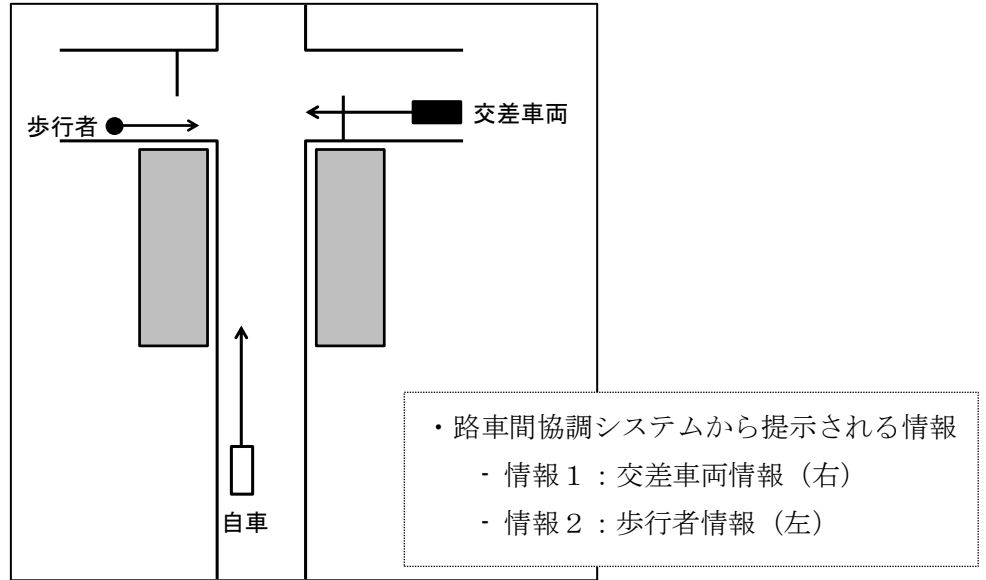


図 6-3 運転シナリオ

- ・表示形態の決定

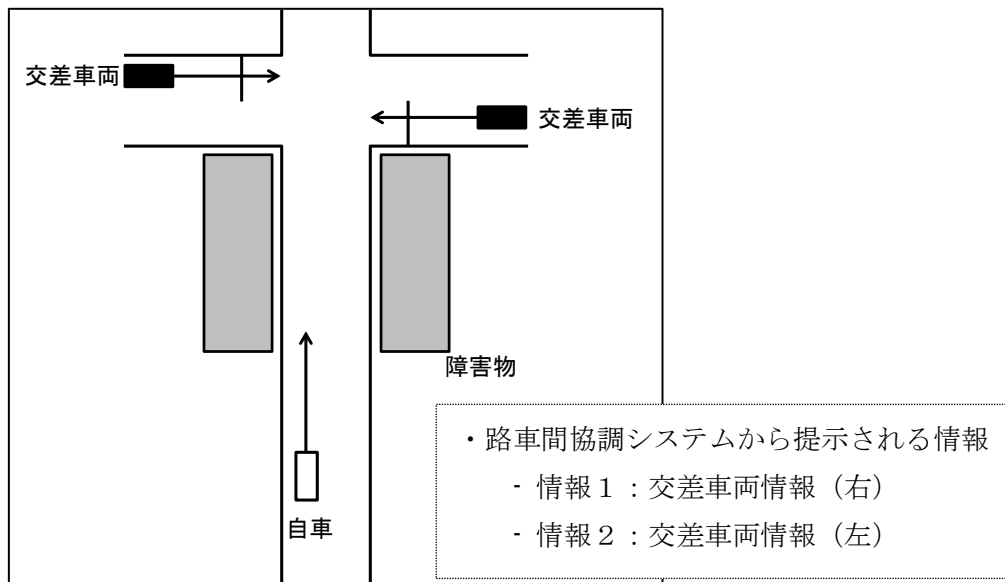
自車が歩行者と衝突するまでの時間と、自車が交差車両と衝突するまでの時間はほぼ同等とみなし、情報の緊急度は同等に高いと判定する。一方、歩行者については、交差点進入後の挙動の予測が困難であり、情報の信頼性は、交差車両情報と比較して相対的に低いとみなし、交差車両情報の表示形態を中心視野への情報提示、歩行者情報の表示形態を周辺視野への情報提示と判定する。

表 6-1 表示形態の決定方法

		情報の緊急度	
		高	低
情報の信頼性	信頼性：高 (誤報／欠報可能性：低)	中心視野への情報提示 情報1 交差車両情報	周辺視野への情報提示
	信頼性：低 (誤報／欠報可能性：高)	周辺視野への情報提示 情報2 歩行者情報	周辺視野への情報提示

② 2種の交差車両情報が同時に提示される場合

- ・シナリオ



- ・表示形態の決定

交差車両と衝突するまでの時間は、右側から接近する交差車両の方が短いため、交差車両情報（右）の緊急度は、交差車両情報（左）よりも高いと判定する。一方、情報の信頼性は、いずれも交差車両である事から、等しく高いと見なし、交差車両情報（右）の表示形態を中心視野への情報提示、交差車両情報（左）の表示形態を周辺視野への情報提示と判定する。

表 6-2 表示形態の決定方法

		情報の緊急度	
		高	低
情報の信頼性	信頼性：高 (誤報／欠報可能性：低)	中心視野への情報提示 情報1 交差車両情報(右)	周辺視野への情報提示 情報2 交差車両情報(左)
	信頼性：低 (誤報／欠報可能性：高)	周辺視野への情報提示	周辺視野への情報提示

③ 2種の歩行者情報が同時に提示される場合

- ・シナリオ

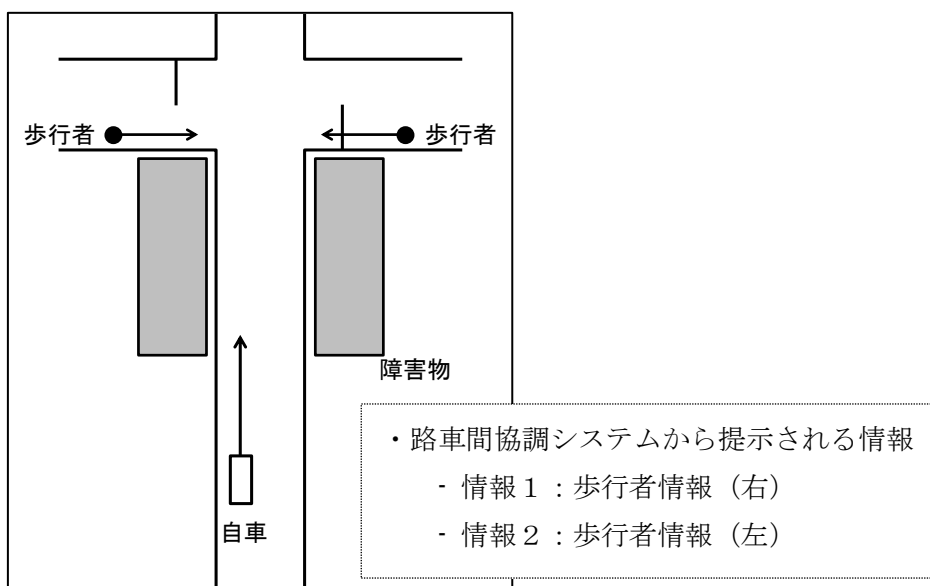


図 6-5 運転シナリオ

- ・表示形態の決定

左右の歩行者と衝突するまでの時間は、ほぼ同等とみなし、情報の緊急度は同等に高いと判定する。一方、情報の信頼性は、いずれも歩行者である事から低いと見なし、歩行者情報 (右)、歩行者情報 (左) の表示形態を、ともに周辺視野への情報提示と判定する。

表 6-3 表示形態の決定方法

		情報の緊急度	
		高	低
情報の信頼性	信頼性：高 (誤報／欠報可能性：低)	中心視野への情報提示	周辺視野への情報提示
	信頼性：低 (誤報／欠報可能性：高)	周辺視野への情報提示 <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;"> 情報 1 歩行者情報(右) </div> <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;"> 情報 2 歩行者情報(左) </div>	周辺視野への情報提示

<右折時>

○対向車情報と横断歩行者情報が同時に提示される場合

- ・シナリオ

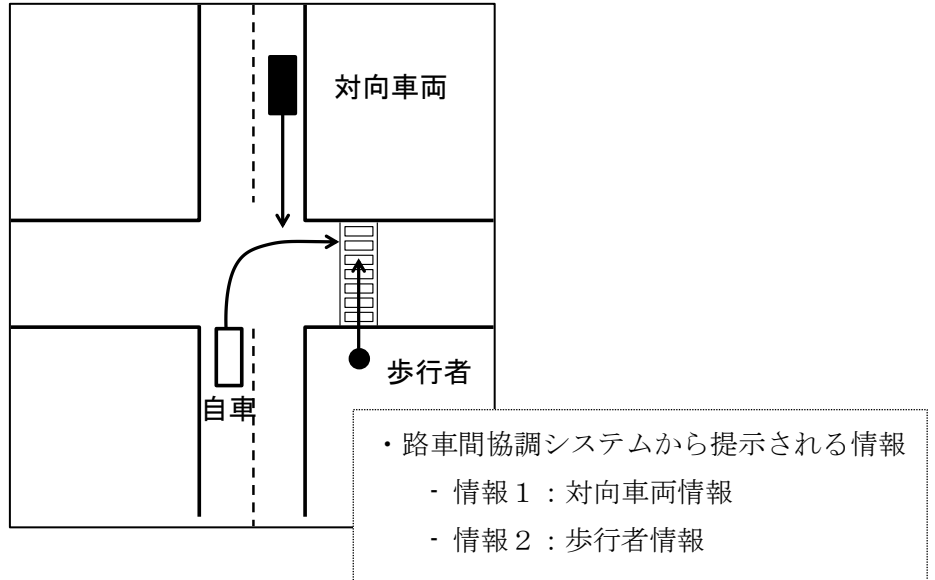


図 6-6 運転シナリオ

- ・表示形態の決定

対向車両と衝突するまでの時間の方が、右折先の歩行者と衝突する時間よりも早いため、対向車両情報の緊急度は、歩行者情報よりも高いと判定する。一方、歩行者については、横断歩道進入後の挙動の予測が困難であり、情報の信頼性は、対向車両情報と比較して相対的に低いとみなし、対向車両情報の表示形態を中心視野への情報提示、歩行者情報の表示形態を周辺視野への情報提示と判定する。

表 6-4 表示形態の決定方法

		情報の緊急度	
		高	低
情報の信頼性	信頼性：高 (誤報／欠報可能性：低)	中心視野への情報提示 情報 1 対向車両情報	周辺視野への情報提示
	信頼性：低 (誤報／欠報可能性：高)	周辺視野への情報提示	周辺視野への情報提示 情報 2 歩行者情報

上記の例では、情報の信頼性については、挙動の予測が難しい歩行者に関する情報は、挙動の予測が容易な車両に関する情報と比較して、相対的に低いと判定するように説明した。今後、路車間協調システムから、交差点に接近する情報の種別に加えて、センサの認識精度に関する情報が取得できる場合は、センサの認識精度を考慮して、情報の信頼度を設定してもよい。例えば、センサにカメラなどを用いた画像撮影装置を用いている場合は、天候や照明変動などによってセンシング精度が大きく影響を受ける可能性がある。また、ミリ波レーダーなどを用いている場合は、検出対象の電波反射率などの影響を受ける場合がある。将来的には、このようなセンサの特徴に基づいて、情報の信頼度を設定することが可能になると考えられる。

Step6において、2種の情報の表示形態が決定された後は、2種の情報提示の表示仕様を決定する（Step7）。中心視で認知する情報と判定された場合には、情報を確実かつ迅速に伝達する事を目的として、図 6-2 で示したアイコンを、HUD に表示する。一方、周辺視で認知する情報と判定された場合には、周辺視野でも認知可能な形態で、ドライバの周辺視野領域に配置されたディスプレイを用いて、情報の存在する方向のみをドライバに伝達する。周辺視野情報の表示仕様については、先行研究および、本研究における評価に基づいて、表 6-5 にまとめた。表 6-5 において、（※）で示した項目については、先行研究 [27] [28]に基づいて設定した項目である。

表 6-5 周辺視野領域への情報提示の仕様

項目	表示仕様
表示位置	<ul style="list-style-type: none"> ・運転中に HUD 上の情報提示を注視しながら、周辺視野で認知可能とするために、注視安定視野の範囲内に表示することが望ましい。 - 左右：約 15 度～約 30 度 - 俯角：約 12 度～約 25 度
サイズ・形状（※）	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺視野で認知可能な表示サイズであることが望ましい（空間周波数 1cpd 以下）。本研究では、視野角 3 度のエッジの無い円型パターンを用いた。
色	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺視野では、色に対する感度が低下するため、色の違いにより異なる情報を伝達することは避けることが望ましい。本研究では、表示色として黄色を用いた。
周波数（※）	<ul style="list-style-type: none"> ・注視を誘発しないように、時間周波数 1～7Hz で、ローパスあるいは狭帯域な時間周波数で変化する、エッジの無いパターンとすることが望ましい。

HUD 及び周辺視野領域のディスプレイに対する表示仕様が決定した後、表示仕様に基づいて、HUD 及び周辺ディスプレイへの情報提示を行う（Step8, Step9）。

7. 結論

7.1. 本論文のまとめ

本研究は、交差点における路車間協調システムから、異なる 2 種の運転支援情報がドライバに提供される状況において、ドライバの周辺視野を活用することで 2 種の情報を競合させることなくドライバに伝達可能な情報提示手法を提案し、その有効性の検証を行った。有効性の検証は、DS を用いた被験者実験により計測したブレーキ反応時間などのドライバの運転行動に基づいて、衝突発生頻度を机上シミュレーションすることで行い、情報提示によるドライバのブレーキ反応時間の短縮効果と、事故削減効果の両面において、提案する情報提示手法の効果を明確にした。

以下に、本研究の取り組み及び成果をまとめた上で、研究の新規性及び学術的な新規性について整理する。

第 1 章「序論」では、日本における交通事故発生状況及び、路車間協調システムについて整理した後に、ドライバへの情報提示手法における研究動向及び、運転時の HMI に関する標準化動向に基づいて、情報提示の課題についてまとめた。その上で、システムからドライバに複数の運転支援情報が提示される状況下で、それぞれの情報をドライバが識別・認識できるような情報提示手法が必要であることを提言した。

また、自動車のコックピットの進化の大きな流れである車載ディスプレイの増加と、中心視野と周辺視野を使い分けて情報を取得するというドライバの視覚特性に着眼し、ドライバの正面付近に設定される HUD に加え、ドライバの周辺視野に当たる車載ディスプレイを活用して、複数の情報をドライバに伝達可能な新たな情報提示手法の概念を提案した。

第 2 章「運転支援システムの導入効果評価手法の提案」では、情報提示手法の評価指標として、情報が提示されてからドライバがブレーキを踏みこむまでの時間（反応時間）の短縮に加えて、実際に衝突確率をどの程度低減できたか（事故削減効果）、が重要であることを述べた。通常、実道での実験や大規模な実証実験などにより運転支援システムの導入効果を推定する場合には、膨大な時間・費用面のコストが必要である。本研究では、実車を用いた実験を行うことなく、運転支援システムを導入した際の交通事故の事故削減効果を推定するため、ドライビングシミュレータ（DS）で計測した運転行動データに基づいて衝突回避シミュレーションを行い、事故削減効果を定量的に評価可能な手法を提案し、その有効性を検証した。

先行研究で提案されている運転パフォーマンスの変動による事故発生の概念を、時系列の矩形波を用いてモデル化した上で、モンテカルロシミュレーションを用いてドライバの

詳細な運転行動をモデルに入力することで、特定の交差点における運転行動や交通環境をモデルに反映することが可能なシミュレーション手法（時系列信頼性モデル）を提案した。さらに、提案手法によるシミュレーション結果を、事故統計に基づいた衝突発生確率と比較することで、その有効性を検証した。

第 3 章「周辺視野への情報提示の基本特性の分析」では、ドライバの周辺視野領域に存在するディスプレイを活用した、注視を必要としない情報提示（アンビエント情報提示）の基本特性を分析した。システムが正常に作動し、情報提示が正常に行われる場合と、センサの検出ミスやシステムの故障などの要因により、情報提示が行われずに欠報となる場合の両面において、アンビエント情報提示が事故削減効果に与える影響を分析した。

DS 実験と、第 2 章で提案した時系列信頼性モデルを用いて、自車両が交差点右折時、右折先の横断歩道を歩行中の歩行者との衝突が発生するシーンにおいて、アイコン表示と同時に警報を提示する従来の情報提示と、ドライバの周辺視野領域へのアンビエント情報提示の事故削減効果を、通常時、欠報時、それぞれの条件において定量化し、情報提示の事故削減効果の比較を行った。

その結果、周辺視野へのアンビエント情報提示を用いた場合には、従来警報の 80%程度の事故削減効果にとどまるものの、何らかの要因により情報が欠報となった場合、システムへの過度な依存を引き起こさず、事故発生リスクの増加を抑制できるという、アンビエント情報の基本的な特性を明らかにした。

第 4 章「状況認知過程の分析に基づく情報提示方法の設計」では、第 3 章で得られた周辺視野へのアンビエント情報提示の基本特性を踏まえ、複数の運転支援情報の提示方法の設計を行った。

Wickens の注意の多重資源モデルを参照しながら、中心視で認知する事を想定した HUD へのアイコン表示と、周辺視で認知する事を想定した周辺ディスプレイへのアンビエント情報提示を併用することで、ドライバの注意資源を競合させずに 2 種の情報を伝達可能であることを説明した。また、Endsley の意思決定モデルに基づいて、ドライバ・システムの相互関係を考慮した状況認知モデルを提案し、アンビエント情報提示がドライバに提示された際の状況認知プロセスを明らかにした。

以上を踏まえて、複数の運転支援情報を提示する際に、情報の緊急性と信頼性に基づいて、中心視で認知する形態、または、周辺視で認知する形態のいずれかを割り付ける方法を提案した。

第 5 章「情報提示方法の事故削減効果の定量的評価」では、見通しの悪い交差点において、交差車両と歩行者が同時に出現するシーンを例として、第 4 章で設計した複数の運転支援情報の提示手法の有効性の検証を行った。

DS 実験と、第 2 章で提案した時系列信頼性モデルを用いて、見通しの悪い交差点において歩行者と交差車車両が同時に出現するシーンにおいて、HUD に 2 種のアイコンを表示する従来手法と、HUD へのアイコン表示に加えて周辺視野へのアンビエント情報提示それぞれの事故削減効果を定量化し、以下の事を明らかにした。

(1) 提案手法を用いることにより、優先度が高い情報（交差車両情報）への反応時間に対して、負の影響を与える事は無かった

(2) 提案手法を用いることにより、優先度が低い情報（歩行者情報）への反応時間を、従来手法と比較して 0.35 秒短縮し、事故効果を従来の 1.8 倍に増加できることを示した

(3) 見通しの悪い交差を通過する際の、ドライバの精神的負荷について主観評価を行い、従来手法と比較して、提案手法で精神的負荷が低下することを示した。

第 6 章「複数の運転支援情報の提示方法に関する設計指針の策定」では、本研究を通じて得た知見に基づき、複数の運転支援情報の提示を行う際の情報提示の制御方法を、複数情報提示の設計指針としてまとめ、他の研究者あるいは製造者にとって、複数の運転支援情報をドライバに提示する際の情報提示機能の設計が容易になるようにした。

まず、情報提示の制御方法の処理フローを整理し、出会い頭、右折時の代表的な運転シナリオを例に取り、複数の運転支援情報の提示方法について具体的に示した。さらに、周辺視野へのアンビエント情報の提示仕様については、先行研究で報告されている知見に、本研究を通じて得た知見を加えて明確にした。

本研究の新規性は、ドライバに複数の運転支援情報を伝達する、という課題に対し、中心視と周辺視を併用した新たな情報提示方法を提案し、衝突予測シミュレーションモデルを用いて事故削減効果を検証した点にある。

また、本研究の学術的な貢献について以下にまとめる。

第一に、本研究では、DS 実験に基づく衝突予測シミュレーションモデルを用いて、ドライバ状態と周辺環境の状況を考慮し、運転支援システムの事故削減効果を精度良く試算するシミュレーション手法を提案し、その有効性を検証した。これにより、従来研究の少なかった、ドライバの運転パフォーマンスを考慮した、システムの導入効果推定技術の研究に貢献した。

第二に、情報の認知負荷が少なく、かつ、情報への依存度が低い、というアンビエント型情報提示の事故削減効果の基本特性を明らかにし、アンビエント情報がドライバに提示された際の、運転中のドライバの状況認知プロセスを明確にした。これにより、アンビエント情報を用いた運転支援 HMI の応用研究の加速に貢献した。

7.2. 今後の課題

本研究では、路車間協調システムを想定して、複数の運転支援情報がドライバに提示される状況下での、ドライバへの情報提示方法について提案し、若年被験者による DS 実験と、実験結果に基づく事故削減効果のシミュレーションを通じて有効性の評価を行った。本章では、本手法の実車への適用に向けた課題についてまとめる。

7.2.1. 高齢ドライバに対する周辺視野情報の最適化

ドライバの周辺視による情報認知能力については、周辺状況の把握、自己運動推定といった点では非常に重要な役割を果たしているものの、ドライバへの運転支援情報の提示という点では十分に活用されている例は少ない。

本研究で提案した、ドライバの周辺視野を活用した複数の運転支援情報を提示する手法は、緊急度・信頼性が高い情報については、HUD を用いて確実にドライバに提示し、その他の情報は、中心視野での認知タスクに影響を与えない周辺視による認知を活用して、“危険の気配”としてアンビエントな情報提示を行うことで、複数の情報をドライバに伝達する、というコンセプトに基づくものである。

本研究では、20 代の被験者の協力の下で DS 実験を行い、その結果に基づく事故削減効果のシミュレーションによって、提案する情報提示の事故削減効果を確認した。一方で今後増加が予想される高齢ドライバにおいては、周辺視野における認知能力は、若年者と比較して低下することが報告されている。日本工業標準調査会による標準報告書「指標検出視野の加齢変化に関するデータ集」は、加齢による視野範囲に関するデータ集であり、視標の色・輝度・背景とのコントラストなどを変化させた際の加齢による視野範囲の変化がまとめられている [42]。図 7-1 は、実験室において被験者が着座した状態で、前方スクリーンに緑色の視標を表示した際に、所定時間以内に被験者が検出することができる領域を示したものである。若年者と比較すると、高齢者においては領域が大幅に狭くなっていることが分かる。このように、加齢による周辺視野の認知能力の低下を想定して、表 6-5 で示した周辺視情報の表示仕様を、年齢に応じて最適化することが、今後の課題といえる。

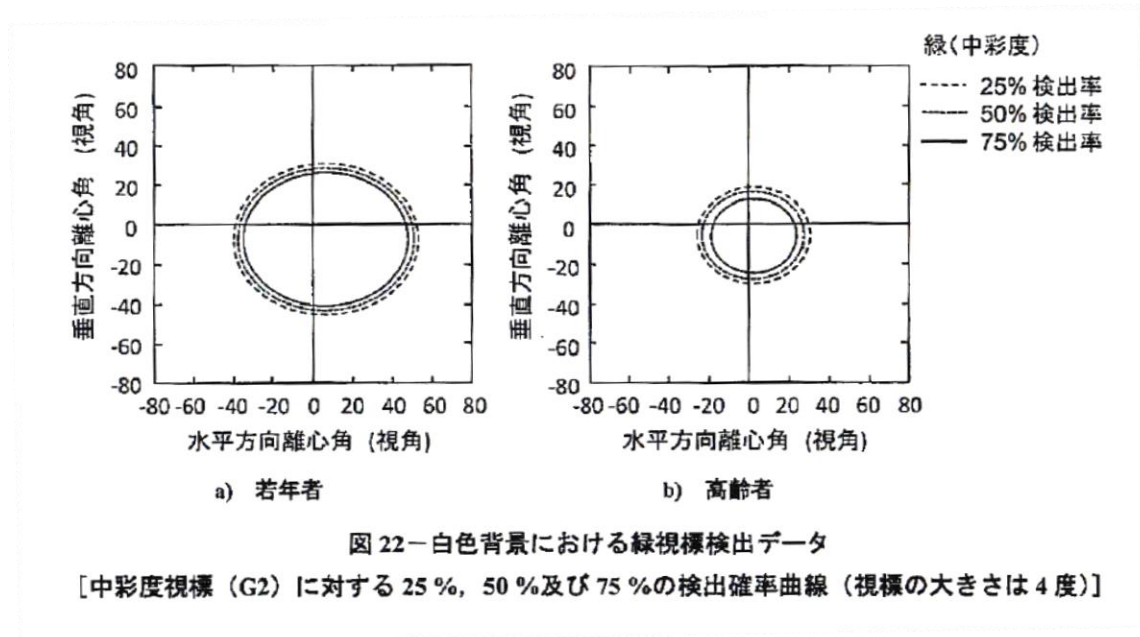


図 7-1 加齢による視野範囲の変化 [42]

7.2.2. 実環境における運転行動への影響の評価

本研究では、DS 実験と事故削減効果のシミュレーションを用いて、提案する情報提示の有効性を検証した。今後は、実際の交通環境における評価を通じて、実環境での課題抽出が必要である。

特に、複数の情報が提示された際の精神的負荷の評価については、実車環境における評価が重要であると考えられる。ドライバの精神的負荷については、5 章において、情報提示を行わない場合と、HUD を用いて 2 種の情報を提示する場合と比較して、提案手法で改善効果が見られた。

しかしながら、DS は、実際の運転行動を模擬するものであるが、実験中に衝突が発生しても安全が保障されているという点で、実環境と大きく異なるものである。精神的負荷に関して、5 章で得られた相対的な傾向（情報提示なし > 従来手法 > 提案手法）は、実環境と DS 環境では変わらないと予想されるが、実環境において複数の情報を提示することによる精神的負荷の評価は、今後の課題であると考えられる。

7.3. 今後の展望

本研究では、路車間協調システムを想定し、ドライバの周辺視野を活用した情報提示手法の提案を行った。一方で、更なる交通事故低減、運転負荷の軽減を目的として、自動車自らが周辺の状況を把握して車両を制御する自動運転の実現が期待されている。本節では、自動運転時のドライバの役割について整理した上で、本研究で提案した周辺視野を活用した情報提示手法の適用可能性について議論する。

7.3.1. 安全運転支援から自動運転へ

自動運転の定義については、現状、国ごと、あるいは検討を行っている組織ごとに定義が異なっている。今後、統一されてゆくものと考えられるが、ここでは、米国の NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration : 米国運輸省道路交通安全局) 及び、SAE (Society of Automotive Engineers International : 自動車技術会) の定義を取り上げる。

NHTSA では、2013 年 5 月に、自動運転に関する一次政策方針を公表した。その中で、車両の自動化の分類について、以下の表 7-1 に示すように定義を行っている。 [44]

表 7-1 車両の自動化の分類 [44]

自動運転レベル	概要
0 (自動化なし)	常時、ドライバが運転の制御 (操舵・制動・加速) を行う。
1 (特定機能の自動化)	操舵、制動又は加速の支援を行うが操舵・制動・加速の全てを支援しない。
2 (複合機能の自動化)	ドライバは安全運行の責任を持つが、操舵・制動・加速全ての運転支援を行う。
3 (半自動運転)	機能限界になった場合のみ、運転者が自ら運転操作を行う。
4 (完全自動運転)	運転操作、周辺監視を全てシステムに委ねるシステム。

一方で、SAE は、科学者、エンジニア等からなるフォーラム等を通じて自動運転の情報交換を行っている。SAE では、NHTSA が定義した自動化のレベル 4 を二つに分けて再定義している。図 7-2 は、SAE の定義する自動化のレベル及び、自動化レベルごとのシステムとドライバの役割分担について示したものである。 [45]

図 7-2 では、縦軸は SAE における自動化レベル及びその定義が示されており、合わせて、NHTSA の自動化レベルも参考として示されている。また、各自動化レベルにおいて、『ハンドル操作と加速/減速』・『走行環境のモニタリング』・『運転操作のバックアップ』といった運転中の行動に対する主体者が示されている。

例えば、自動運転レベル0，1においては、ハンドル操作と加速／減速，走行環境のモニタリングはドライバーが主体的に実行するが，自動運転レベル2においては，走行環境のモニタリングはドライバーが主体的に実行し，ハンドル操作と加速／減速についてはシステムが主体的に実行する．さらに，自動運転レベル3（条件付き自動運転）においては，走行環境のモニタリングについてもシステムが主体的に実行する，という役割分担が示されている。

このように，自動化レベルが高まるにつれて，これまでドライバーが行ってきた，ハンドル操作や加減速，走行環境のモニタリングといった作業はシステムが主体的に行うようになり，代わりに，システムが機能限界となった場合を想定して，運転操作のバックアップとしてシステムの作動状況を監視することが，運転中のドライバーの主要な作業になると考えられる。

自動化レベル（案） (Draft Levels of Automation for On-Road Vehicles)							
NHTSA レベル	SAE レベル	SAEに おける 呼称	SAEにおける定義	ハンドル操作 と加速／減速 の実行主体	走行環境の モニタリング	運転操作の バックアップ 主体	システム能力 (運転モード)
ドライバーが自ら運転環境をモニタリング				ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	
0	0	手動	ドライバーが、常時、全ての運転操作を行う。				
1	1	補助	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作、あるいは、加減速のいずれかを行うとともに、システムが補助をしていない部分の運転操作をドライバーが行う。	ドライバー (人間) +システム	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	いくつかの 運転モード
2	2	部分的な 自動化	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作と加減速を行うとともに、システムが補助をしていない部分の運転操作をドライバーが行う。	システム	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	いくつかの 運転モード
自動化された運転システムが運転環境をモニタリング				システム	システム	ドライバー (人間)	いくつかの 運転モード
3	3	条件付き 自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバーは適切に応じるという条件のもと、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	いくつかの 運転モード
4	4	高度な 自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバーが適切に応じなかった場合でも、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	いくつかの 運転モード
	5	完全 自動化	ドライバーでも対応可能ないかなる道路や走行環境条件のもとでも、自動化された運転システムが、常時、車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	全ての 運転モード

図 7-2 SAE における自動化レベル（案） [45]

7.3.2. 自動運転時のHMIへの適用可能性の検討

運転中のドライバーの主要な作業の変化に伴い，ドライバーへの情報提供の方法についても，『ドライバーが周辺環境をモニタリングすること』を支援するためのHMIから，『ドライバーがシステムの作動状況をモニタリングすること』を支援するためのHMIへの変革が求められる。

本項では，高速道路を自動運転で走行するシーンを例にとり，自動運転時のHMIに，注視して情報を認知する事を想定した従来型の情報提示と，本研究で提案した，周辺視で認知する事を想定したアンビエント型の情報提示を適用した場合のドライバーの状況認知プ

プロセスを比較することで、自動運転時のHMIへのアンビエント型情報提示の適用可能性を示す。

想定する運転シーンとしては、高速道路を時速 80km 程度で、自動運転モード（図 7-2 における自動運転レベル3）で走行するシーンを例にとる（図 7-3）。この時、図 7-2 の定義に基づけば、ハンドル操作と加速／減速及び、走行環境のモニタリングはシステムが主体的に実施する。ドライバに期待される行動は、システムの作動状況を監視し、自動運転が困難な状況となった場合など、万一の状況に備えて運転操作のバックアップの準備をしておく事、と考えられる。

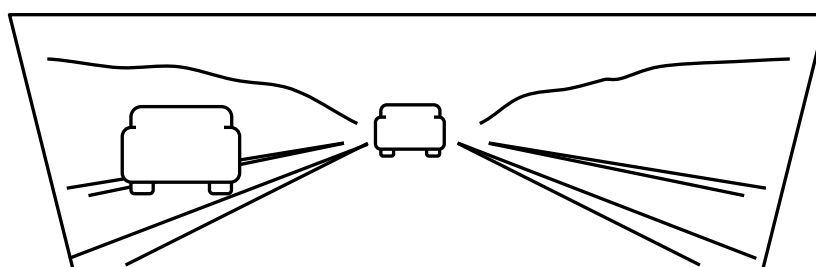


図 7-3 想定する運転シーン

7.3.2.1. 従来型 HMI の課題

<従来型 HMI の概要>

システムの作動状況や、外界のセンシング状況を伝達する自動運転時の HMI は現時点で確立されていないが、従来型の HMI の例として、システムの詳細な作動状況を車室内のディスプレイに表示する HMI を想定した。図 7-4 に、従来型の HMI の概念図を示す。

従来型 HMI では、自車（図中、センターディスプレイに示された白い□）に対して、周辺の障害物や移動体（図中、センターディスプレイの網掛けの□）を鳥瞰図として示したものである。自動運転中、ドライバは、ディスプレイを注視してシステムの周辺の障害物や移動体の検出状況を理解し、システムの作動状況を確認する必要がある。

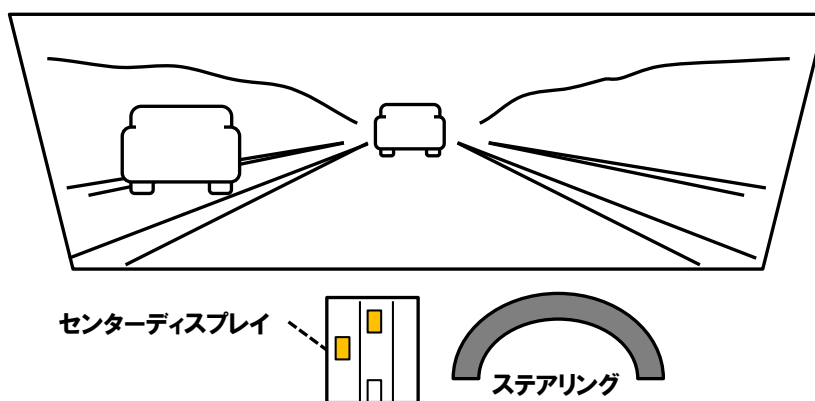


図 7-4 従来型 HMI の例

<従来型 HMI を用いた際の状況認知モデル>

上述した従来型 HMI を用いた際、ドライバがどのような外界の認知を行っているかについて、4.3 で提案した状況認知モデルを用いて、図 7-5 に整理する。図 7-5 における“状況認知”とは、自動運転システムの作動状況を適切に理解する事であり、“意思決定”とは、状況認知の結果に基づいて、自動運転を継続するか、必要に応じて運転への介入を行うかどうかの判断をすることである。

従来型 HMI では、システムの作動状況をドライバが注視して確認する事を想定しているため、自車両周辺の移動体や障害物の詳細な位置関係や検出状況といった詳細な情報を正確にドライバに伝達することを目的としている。しかし、表示される情報量が多く、注視による認知を必要とするために、提示される情報の認知負荷が高くなる。このため、長時間にわたってシステムを監視することによるドライバへの負担が大きく、監視作業（状況認知プロセス）に支障をきたす、または、最悪の場合は監視作業が形骸化し、行われなくなってしまう可能性がある。

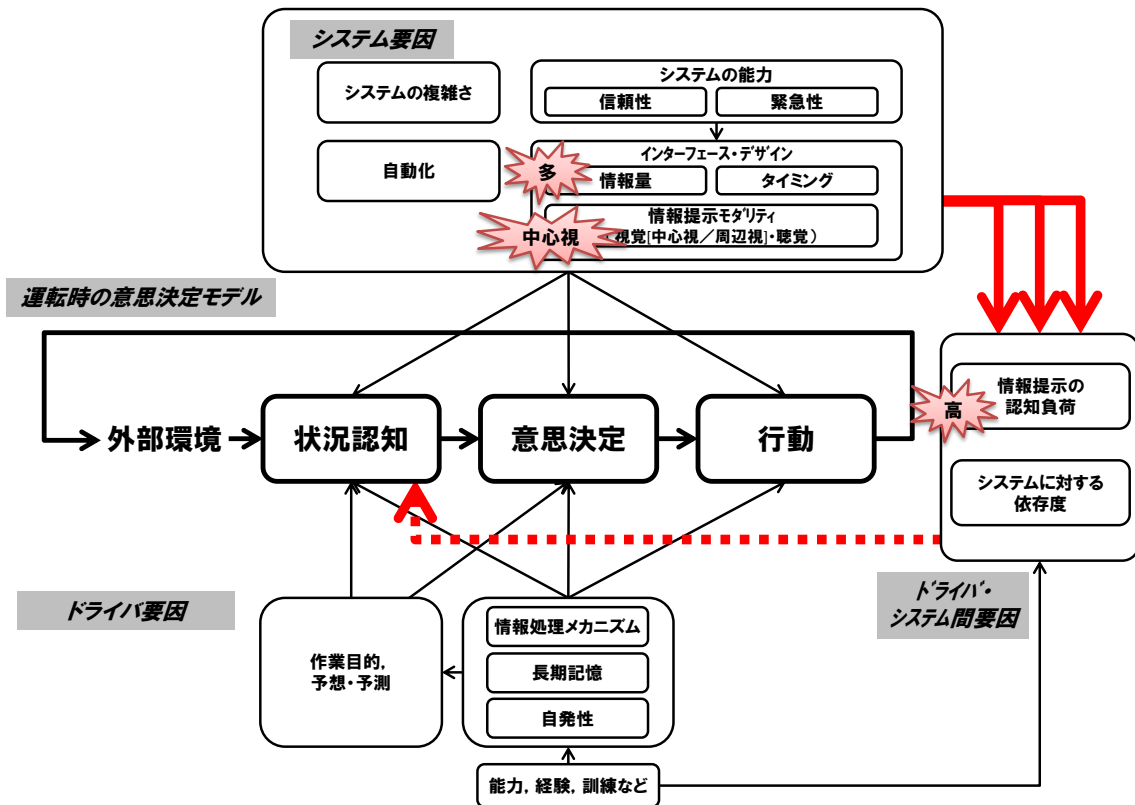


図 7-5 従来型 HMI を用いた際の状況認知モデル

7.3.2.2. アンビエント情報の適用可能性

<アンビエント型情報提示の概要>

システムの検出状況を，周辺視で認知可能な形態で提示するアンビエント型情報提示の例を図 7-6 に示す．システムが検知する車両や障害物の詳細な位置を伝達するかわりに，センターディスプレイやメータディスプレイの一部などを活用して，システムが検出した物体の位置に対応するディスプレイ部を，周辺視で認知可能な形態で強調表示を行うことで，システムの検知する物体のおおよその位置を“物体の気配”としてドライバに伝える．

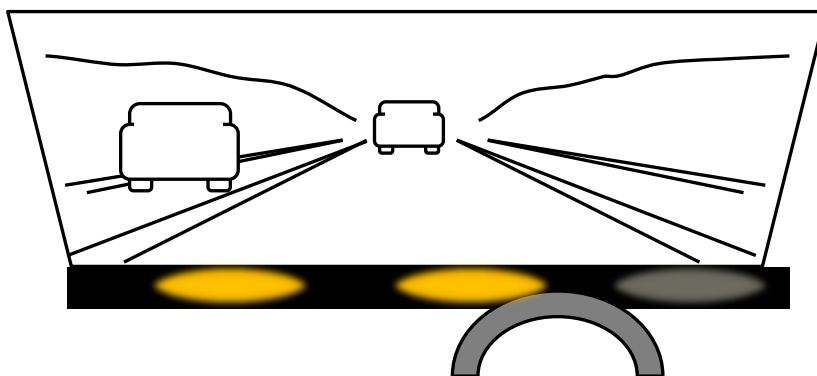


図 7-6 アンビエント型情報提示の例

<アンビエント型情報提示を用いた際の状況認知モデル>

上述した従来型 HMI を用いた際，ドライバがどのような外界の認知を行っているかについて，4.3 で提案した状況認知モデルを用いて，図 7-7 に整理する．

アンビエント型情報提示は，システムの検知した物体の存在とおおまかな方向のみを伝達するため，従来型の HMI ほどの詳細な情報を提供することはできないが，限られた情報を周辺視野のモダリティを用いて伝達することにより，情報提示に認知負荷を極めて低く抑えることができる．このため，ドライバは，長時間の監視作業であっても，システムの作動を監視し続けることができる可能性がある．

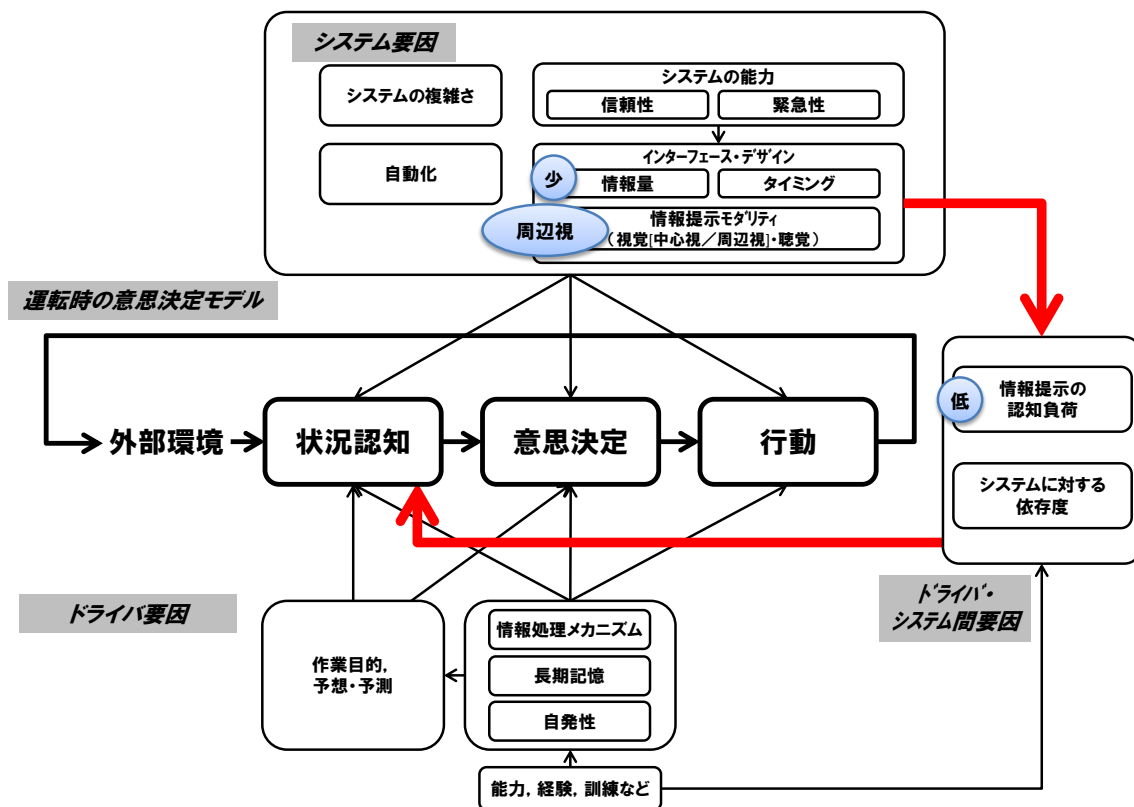


図 7-7 アンビエント型情報提示を用いた際の状況認知モデル

以上、述べてきたように、自動運転時には、いずれも完璧でないドライバと機械の協調作業によって運転が行われることになり、人間と機械を一つの全体システムとみなした、人間・機械系システム全体での安全性を確保することが重要となる。ドライバと機械の橋渡しを行う HMI の役割も今まで以上に重要なものとなり、ドライバ特性を考慮した、人にやさしい HMI についての更なる検討が望まれる。

謝辞

本論文を執筆するに当たり，大変多くの方々にご協力を頂きました．ここに深く感謝の意を表します．

まず，研究を進めるに当たり，終始ご指導，ご支援を受け賜りました香川大学工学部知能機械システム工学科 鈴木桂輔先生に，甚大なる敬意と感謝の意を表します．

そして，本研究の共同研究者である，香川大学工学部知能機械システム工学科卒 後藤圭祐さん，向井綾さん，新居良紀さん，森脇悠太さん，大同大学工学部 山田喜一先生のご協力に感謝します．また，本研究を進める上で，長時間のドライビングシミュレータ実験に実験参加者としてご協力いただいた香川大学知能機械システム工学科 鈴木研究室の学生の皆様にも感謝を申し上げます．さらに，研究の進め方に関して厳しくも暖かいご助言を頂きました，香川大学工学部 土居俊一先生に，御礼を申し上げます．

また，本研究の遂行および大学院博士後期課程進学に際し，暖かいご支援を頂きました，パナソニック株式会社 松瀬哲朗氏，伊藤快氏，そして，大学院博士後期課程進学へのきっかけを与えて頂いたパナソニック株式会社 宇野嘉修氏，久保谷寛行氏，寺田佳久氏に心より御礼申し上げます．

最後に，大学院博士後期課程進学に際し，暖かい支援と理解を頂き，研究活動および論文の執筆を支えてくれた家族と両親に深く感謝致します．

参考文献

- [1] 交通事故総合分析センター, “平成 24 年度交通統計,” pp64-65, 2012.
- [2] “DSSS とは,” [オンライン]. Available: <http://www.vics.or.jp/service/dsss.html>. [アクセス日: 9 4 2015].
- [3] “ISO/TS 16951:2004 Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems (TICS) - Procedure for determining priority of on-board messages presented to drivers” .
- [4] “ISO/TR 12204:2012 Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems (TICS) - Introduction to integrating safety critical and time critical warning system” .
- [5] 末富隆雅, 新部忠幸, 上村祐樹, “危険警報のヒューマンインターフェース,” 自動車技術会論文集, Vol.56, No.3, pp49-53, 2002.
- [6] 大桑政幸, 杉山和彦, 名切末晴, 津田太司, 服部彰, “運転支援システムにおける複数の警報音に対するドライバ反応の分析,” 自動車技術会論文集, Vol.39, No.3, pp289-294, 2008.
- [7] 鈴木桂輔, 杉本成基, 見市善紀, “複数の事故回避支援警報装置を搭載した場合のドライバの運転特性,” 自動車技術会論文集, Vol.45, No.1, pp141-148, 2014.
- [8] 大谷亮, 江上嘉典, 岩城亮, 中村之信, “インフラ協調安全運転支援システムを対象にした表示インターフェイス (第 6 報),” JARI Research Journal, 2012.
- [9] 日本自動車研究所, “人と機械のインターフェース構築のための情報提供技術に関する標準化,” 日本自動車研究所, pp86-105, 2001.
- [10] 関根道昭, 森田和元, “高齢ドライバの聴覚情報獲得に関する基礎調査,” 自動車技術会論文集, Vol.37, No.6.
- [11] 矢野経済研究所, “2011 年度版カーナビゲーション／車載用情報通信システム市場,” 矢野経済研究所, pp210-211, 2011.
- [12] 佐藤研吾, 山本和彦, 加藤邦人, “周辺視野における気配の認識能力についての研究,” ITE Technical Report Vol.33, No.34, pp27-30, 2009.
- [13] 大門樹, “ドライバー特性に基づいた自動車の情報化・運転支援,” Panasonic Technical Journal Vol.57, No.3, pp39-43, 2011.
- [14] 中村俊佑, 菅沼英明, 菊池一範, 本間亮平, “インフラ協調型右折時衝突防止支援システムの効果評価,” 自動車技術会 学術講演前刷集 No.49-14, pp23-28, 2014.

- [15] 御室哲志, 白井秀和, 高梨宏之, “ヒヤリハットデータベースの活用による予防安全対策の効果予測手法,” 自動車技術会論文集 Vol.42,No.3,pp777-782, 2011.
- [16] 本間亮平, 菊池一範, 若杉貴志, 田坂寿康, 吉田傑, “前方車両衝突防止支援システムの効果予測,” 自動車技術会論文集 Vol.43,No.3 pp769-775, 2012.
- [17] 安田浩志, 小里明男, 田中信, 持田勤, 田島淳, “ASSTREET を用いた追突事故における予防安全システムの効果予測,” 自動車技術会論文集 Vol.43,No.2,pp599-604, 2012.
- [18] 田中信濤, 森田和元, 青木義郎, 安本まこと, 廣瀬敏也, “予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) を用いたブレーキアシストシステムの有効性に関する検討,” 自動車技術会論文集 Vol.43,No.1,pp15-20, 2012.
- [19] 山田喜一, 鈴木桂輔, 佐藤吉信, 川原卓也, “運転パフォーマンスの変動を考慮した運転支援システムの確率モデルの検討,” 自動車技術会論文集 Vol.35, No.4, pp209-214, 2004.
- [20] 熊本博光, 岡部康平, 西原修, 平岡敏洋, “合理的運転者の定量的ヒューマンエラーモデルとその解析,” 精密工学会誌 Vol.72,No.8, pp1040-1047, 2006.
- [21] 鈴木桂輔, 保田将史, 佐々幸哉, 原田茂樹, “森林系エアサプリメントがドライバの運転行動に及ぼす影響,” 日本機械学会論文集, 72 卷 723 号, pp142-150, 2006.
- [22] 鈴木桂輔, 五藤光, 田中尚, “ドライバへの α -ピネン供給による心理的ストレスの低減効果,” 自動車技術会論文集 Vol.40, No.1, pp193-198, 2009.
- [23] 鈴木桂輔, 佐藤桂, “運転行動を改善する低臭覚刺激の香り供給パターンの最適化,” ヒューマンインターフェース学会論文誌, 12-3, pp115-123, 2010.
- [24] 石井裕, “Tangible Bits : 情報の感触/情報の気配,” IPSJ Magazine Vol.39, No.8, pp745-751, 1998.
- [25] “PHILIPS Ambilight,” [オンライン]. Available: <http://www.philips.co.uk/c-m-so/televisions/#pillar=ov-pillar-ambilight>. [アクセス日: 10 4 2015].
- [26] 定國伸吾, “ディスプレイ周辺領域におけるアンビエントな情報提供を活用したアプリケーション,” 名古屋大学大学院情報科学研究科, 2012.
- [27] 舟川政美, “視野の自空間周波数特性に基づくアンビエント型情報表示法,” 自動車技術会論文集, Vol.40, No.5, pp1191-1196, 2009.
- [28] 舟川政美, “辺視で見ることを想定したアンビエント型情報表示,” 自動車技術, Vol.64, No.10, pp85-89, 2010.
- [29] 国土交通省自動車交通局, “先進安全自動車 (ASV) 推進計画 報告書,” 2011.

- [30] 稲垣敏之, “運転支援システムへの過信と依存,” IEICE, Technical Report SSS2010-16, pp21-24, 2010.
- [31] 伊藤誠, “システムに対する信頼の虚と実,” IEICE Technical Report SSS2009-11, pp21-24, 2009.
- [32] 岡部康平, 鎌田実, “人と機械とのリスクコミュニケーションの検討,” 電気通信大学大学院情報システム学研究科シンポジウム 第12回「信頼性とシステム安全学」, pp54-59, 2008.
- [33] C. D. WICKENS, “Multiple resource and performance prediction,” Theoretical Issues in Ergonomics Science 2002, Vol.3, No.2, pp159-177, 2002.
- [34] C. D. Wickens, “Multiple Resources and Mental Workload,” Human Factors June 2008, pp449-455, 2008.
- [35] M. R. ENDSLEY, “Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems,” HUMAN FACTORS, 1995,37(1), pp32-64, 1995.
- [36] M. R. Endsley, “THEORETICAL UNDERSTANDINGS OF SITUATION AWARENESS,” 2000.
- [37] 交通事故総合分析センター, “交通事故統計年報,” 2009.
- [38] 交通事故総合分析センター, “交通事故例調査・分析報告書,” 2007.
- [39] “パナソニック: フロントインフォディスプレイ,” [オンライン]. Available: <http://panasonic.jp/car/navi/products/DF100/>. [アクセス日: 11 4 2015].
- [40] 森田和元, 関根道昭, 塚田由紀, 岡田竹雄, 豊福芳典, “ライバに対する適切な情報伝達方法に関する研究,” 交通安全環境研究所報告, 第14号, p61-82, 2009.
- [41] 宇野宏, 内田信行, 大門樹, 高田一, “車載機器におけるヒューマンインタフェースのあり方に関する検討概要,” フォーラムテキスト, p77-82, 2003.
- [42] 日本工業標準調査会, “視標検出視野の加齢変化に関するデータ集 (TR S 0004) ,” 2010.
- [43] 宇野宏, “警報音提供方法に関する実験的検討,” JARI Research Journal, 第25巻, 第5号, 2003.
- [44] N. H. T. S. Administration, “Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles,” 2013.
- [45] 国土交通省, “オートパイロットシステムに関する検討会,” [オンライン]. Available: <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/>.

本研究に関する主論文

主論文1	
題 目	時系列信頼性モデルを用いた出会い頭事故における ディストラクション低減効果の評価
著 者 名	望月誠, 新居良紀, 鈴木桂輔, 山田喜一
学 術 雑 誌 名 (巻, 号, ページ)	計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.11, pp.1074-1081
発 行 年 月	2013/11
主論文2	
題 目	An Analysis of Collision Avoidance Effectiveness by Using the Information Displayed in Driver's Peripheral Vision
著 者 名	Makoto MOCHIZUKI, Keisuke GOTO, Keisuke SUZUKI
学 術 雑 誌 名 (巻, 号, ページ)	SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 8, No. 1, pp. 022-026
発 行 年 月	2015/1
主論文3	
題 目	ドライバの周辺視野を活用した複数の運転支援情報提示の有効性
著 者 名	望月誠, 鈴木桂輔
学 術 雑 誌 名 (巻, 号, ページ)	自動車技術会論文集, Vol.45, No.6, pp.1123-1128
発 行 年 月	2014/11

国際会議 Proceedings/関連論文

関連論文 1	
題 目	Presentation of multiple driving support information using the driver's peripheral vision at blind intersection
著 者 名	Makoto Mochizuki, Keisuke Goto, Keisuke Suzuki
学 術 雑 誌 名 (巻, 号, ページ)	ACED 2014,PROCEEDINGS
発 行 年 月	2014/5
関連論文2	
題 目	出会い頭衝突防止システムの事故削減効果の定量化及びシステムのエラー許容量に関する分析手法
著 者 名	望月誠, 久保谷寛行, 新居良紀, 鈴木桂輔
学 術 雑 誌 名 (巻, 号, ページ)	自動車技術会論文集, Vol.44, No.2,pp.621-626
発 行 年 月	2013/3