

ダイナミックサイドミラーによる死角車両認識支援

2014年 3月

桑名 潤平

ダイナミックサイドミラーによる死角車両認識支援

桑名 潤平

システム情報工学研究科

筑波大学

2014年 3月

目次

第1章	研究背景	9
1.1	交通事故発生実態	9
1.2	交通事故防止技術	9
1.2.1	ACC (Adaptive Cruise Control)	12
1.2.2	LKA (Lane Keep Assist system)	13
1.2.3	AEB (Autonomous Emergency Braking)	13
1.3	車線変更における事故	15
1.4	サイドミラーに存在する死角の問題点	17
1.5	車線変更事故防止支援技術	18
1.5.1	知覚・認知の支援	18
1.5.2	意思決定の支援	20
1.5.3	操作の支援	20
1.6	研究目的	22
1.7	本論文の構成	23
第2章	提案システム	24
2.1	ダイナミックサイドミラー	24
第3章	通常的車線変更における提案システムの評価	28
3.1	本章の目的	28
3.2	実験装置	28
3.3	DAMS ミラー	30
3.4	実験参加者	32
3.5	メインタスク	33
3.6	発生イベント	33
3.6.1	イベント1	33
3.6.2	イベント2	34
3.6.3	イベント3	35
3.7	サブタスク	37
3.8	実験計画と手順	38

3.9	評価指標	39
3.10	実験結果と考察	41
3.10.1	安全確保に対する DAMS,EDMAS の効果	41
3.10.2	DAMS と EDAMS の効果の差異の原因について	42
3.10.2.1	最大ステアリング操舵角の分析	42
3.10.2.2	横方向の車両挙動分析	46
3.10.3	左方向への支援について	48
3.11	本章まとめ	50
第4章	前方障害物回避時における提案システムの効用	52
4.1	本章の目的	52
4.2	実験参加者	52
4.3	メインタスク	52
4.4	発生イベント	53
4.4.1	高速道路イベント 1	53
4.4.2	高速道路イベント 2	54
4.4.3	市街地イベント 1	55
4.4.4	市街地イベント 2	56
4.4.5	市街地イベント 3	56
4.5	サブタスク	58
4.6	実験計画と手順	59
4.7	評価指標	59
4.8	実験結果と考察	60
4.8.1	死角車両との事故件数	60
4.8.2	前方車両との事故件数	61
4.8.3	ステアリングによる回避回数	61
4.8.4	有効性の主観評価	63
4.9	本章まとめ	64
第5章	ドライバー受容性	65
5.1	本章の目的	65

5.2	実験参加者	65
5.3	メインタスク	65
5.4	発生イベント	66
5.4.1	イベント1	66
5.4.2	イベント2	67
5.4.3	イベント3	68
5.4.4	イベント4	69
5.4.5	イベント5	70
5.5	実験計画と手順	71
5.6	評価指標	73
5.7	実験結果と考察	74
5.7.1	理解度	74
5.7.2	認識しやすさ	76
5.7.3	混乱	78
5.7.4	ランプについて	79
5.7.5	利用性	82
5.8	本章のまとめ	83
第6章	まとめ	84
6.1	通常の車線変更の場面における評価	84
6.2	前方障害物回避の場面における評価	84
6.3	ドライバー受容性	85
6.4	結論	85
6.5	今後の課題	86
	謝辞	88
	参考文献	89
	研究業績	96

表目次

表 1.1 自動運転のレベル	10
表 1.2 状況認識のレベル	18
表 3.1 事故件数.....	41
表 4.1 死角車両との事故件数	60
表 4.2 前方車両との事故件数	61
表 4.3 ステアリング回避回数	62
表 5.1 各走行における混乱.....	79
表 5.2 各実験参加者の利用性の評価	83

図目次

図 1.1 交通事故の発生状況 [1].....	9
図 1.2 ASV 基本理念 [33]	11
図 1.3 ACC 概要 [33].....	12
図 1.4 LKA 概要 [33].....	13
図 1.5 被害軽減ブレーキ概要 [33].....	14
図 1.6 事故類型別交通事故件数 [1].....	16
図 1.7 サイドミラーの死角域	17
図 1.8 BLIS のランプ.....	19
図 1.9 ソフトプロテクションにおける事故発生状況	21
図 2.1 ミラーのヨー方向	24
図 2.2 通常ミラー位置での視認域.....	25
図 2.3 ミラー回転後の視認域	26
図 3.1 モーションベースドライビングシミュレータ	29
図 3.2 シミュレータのスクリーン構成.....	30
図 3.3 DAMS の作動時のミラーの変化.....	31
図 3.4 EDAMS でのランプ.....	32
図 3.5 イベント 1	34
図 3.6 イベント 2	35
図 3.7 イベント 3	36
図 3.8 数値探索タスク	37
図 3.9 実験順序.....	38
図 3.10 最小車間距離.....	42
図 3.11 最大ステアリング操作量	43
図 3.12 死角車両との衝突回避方向への最大ステアリング操作量	44
図 3.13 ランプの必要性評価.....	45
図 3.14 自車両の横変位（全イベント）	46
図 3.15 自車両の横変位（イベント 1, 40 km/h）	47
図 3.16 DAMS の主観的有効性評価.....	49

図 3.17 EDAMS の主観的有効性評価	50
図 4.1 高速道路イベント 1	53
図 4.2 高速道路イベント 2	54
図 4.3 市街地イベント 1	55
図 4.4 市街地イベント 2	56
図 4.5 市街地イベント 3	57
図 4.6 サブタスク	58
図 4.7 実験順序	59
図 4.8 反応時間	62
図 4.9 有効性	63
図 5.1 イベント 1	67
図 5.2 イベント 2	68
図 5.3 イベント 3	69
図 5.4 イベント 4	70
図 5.5 イベント 5	71
図 5.6 実験順序	72
図 5.7 理解度(グループ I・II)	75
図 5.8 理解度(グループ III・IV)	76
図 5.9 認識しやすさ(グループ I・II)	77
図 5.10 認識しやすさ(グループ III・IV)	78
図 5.11 ランプの参考度合い	80
図 5.12 ランプが気になったか	82

第1章 研究背景

1.1 交通事故発生実態

我が国における近年の交通事故による死亡者数（事故発生後 24 時間以内の死亡）、負傷者数、発生件数については図 1.1 のように推移している [1]。死亡者数に関しては、昭和 45 年頃にピークを迎え、その後順調に減少傾向にある。これは、シートベルトの着用義務化 [2]、法罰則の強化 [2]、自動車アセスメントの開始 [3]、車両の安全そのものの向上 [4] [5] などによるものとされる。しかしながら、平成 24 年度でも死亡者数は 4,411 人となっており、厳しい状態であるのにはかわりがなく、事故件数は 66 万件以上、負傷者は 82 万人以上あるのが現状となっている。厚生労働省は、道路上の危険性は、道路以外の危険に比べて 3 倍(睡眠時間を考慮しても 2 倍)高いと試算している [6]。

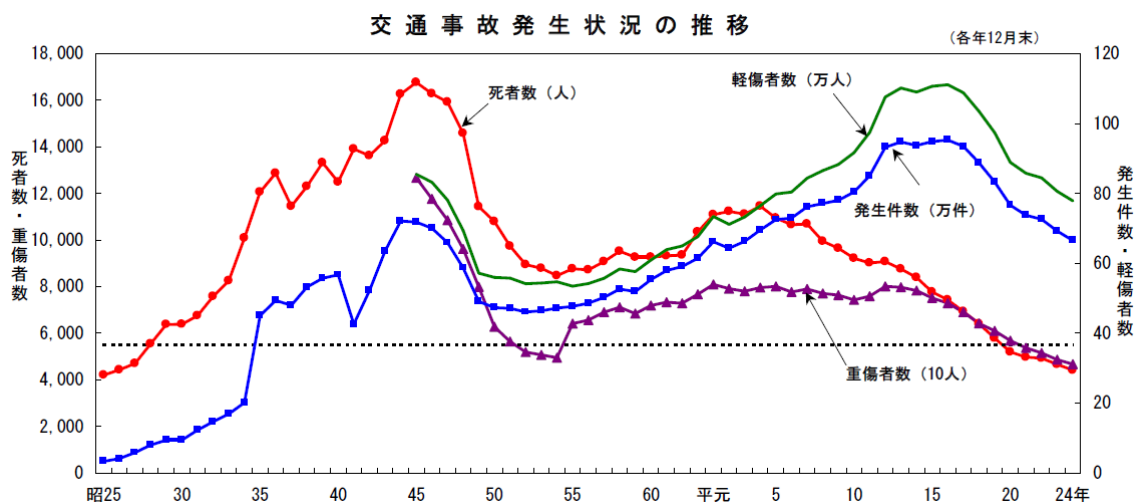


図 1.1 交通事故の発生状況 [1]

1.2 交通事故防止技術

日本政府(中央交通安全対策会議)は、第 9 次交通安全基本計画において、(1)2015 年までに 24 時間死者数を 3,000 人以下とし、世界一安全な道路交通を実現する、(2)2015 年までに死傷者数を 70 万人にする、という二つの数値目標を掲げている [6]。日本学術会議におい

ても「交通事故ゼロの社会を目指して」と題した提言を行っている。具体的に取り組むべき項目は、事故そのものを減少させることを目的とした、(1)ドライブレコーダの活用強化、(2)ヒューマンファクター基礎研究の推進、(3)予防安全型技術の研究開発と普及の促進、(4)道路交通構成員全体の意識向上・教育の徹底化、である [7]。日本学術会議の提言において、予防安全型技術の研究開発と普及の促進は、直接、事故件数の減少および被害の低減が期待できる項目であり、現在様々な支援システムが開発、実用化されている。

例えば、国土交通省主導による「ASV (Advanced Safety Vehicle)推進計画」は、情報技術を利用した、事故防止に役立つ技術開発および普及を推進しており、すでに多くの技術が実際に実用化されている。例えば、車両が衝突してしまいそうな場面で自動的にブレーキをかけることや [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18]、車両が自律的に速度や車間距離を保つ技術 [19] [20] [21] [22] [23]が実現しており、一種の自動運転となっている。米国のNHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)は、自動運転を表 1.1 のように 5 段階に分類し定義している [24]が、現在は、レベル 1 までが先述した、自動ブレーキや速度・車間維持支援システムなどによって実用化されている。そして今後、いくつかのメーカーが、2010 年後半から 2020 年にかけて、レベル 2 の自動運転を実現していくと述べており [25] [26] [27] [28] [29] [30]、高レベルな自動化が進んでいくと期待されている。

表 1.1 自動運転のレベル

自動運転レベル	内容
レベル 0 自動化なし	ドライバーがつねに運転操作を行う。
レベル 1 特定機能の自動化	システムは操舵・制動・加速の 1 つ以上を行うが、それらの機能はお互い単独で作動する。安全運行の責任はドライバーが持つ。
レベル 2 複合機能の自動化	システムが操舵・制動・加速を調和的に行う。安全運行の責任はドライバーが持つ。
レベル 3 半自動運転	ドライバーには周辺監視の義務はない。システム機能限界の場合はドライバーが操作を行う。
レベル 4 完全自動運転	運転操作と周辺監視のすべてをシステムが担当する

しかし、表 1.1 を見て分かれるとおり、レベル 2 の自動運転においても、安全運行の責任はドライバーが持っており、完全な自動運転は簡単に実現できるものではない。完全な自動運転が難しい理由として、ハードウェアおよびソフトウェアの信頼性の問題もあるが、「ドライバー主権」 [31] という考え方を考慮しなければならないという問題がある。ドライバー主権は、「運転はあくまでもドライバーが主体となって行うものである」という主張であり、いわゆる、認知工学における「人間中心の自動化」 [32] に沿った考え方である。「人間中心の自動化」は、最終決定権は、機械ではなく、人間与えるべきであるという考え方であり、安全を確保する責任が人間にあるということである。自動車の運転において、事故が起こった場合の責任はドライバーが負うことになる現状において、最終決定権をドライバーが持つということは重要視すべき考え方である。よって、ASV 推進計画では、「ドライバー支援の原則」、「ドライバーの受容性の確保」、「社会受容性の確保」、を基本理念としおり (図 1.2) [33]、「ドライバー支援の原則」が「人間中心の自動化」と整合する事項となっている。この理念が、運転支援システムを開発・普及するにあたり順守すべき事項であるとしている。

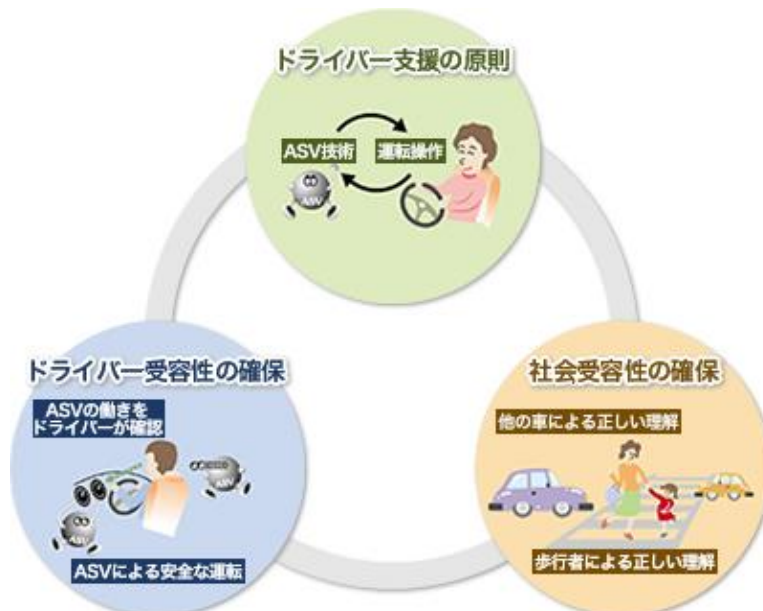


図 1.2 ASV 基本理念 [33]

現在実用化されている主な支援システムは、次のようになっている。

1.2.1 ACC (Adaptive Cruise Control)

ACCは、ドライバーの負担軽減を目的としたシステムの1つであり、既に多くの車両に搭載されている [19] [20] [21] [22] [23](図 1.3)。ACCは、先行車がない場合にはドライバーによって設定された車速を車両が自律的に保ち、前方に設定車速より遅い他車両が存在している場合には、ドライバーによって設定された車間距離を保つことを行うシステムである。これは、表 1.1 の自動運転レベル 1 における、制動・加速の自動化にあたる。しかし、ACCには、ブレーキ減速度の限界値（物理的ではない）が存在し、前方車両の急ブレーキの際には、ドライバーは自らブレーキを踏まなければならない。したがって、ドライバーはACCが作動している間でも常にシステムや車両、外界の状況を監視しなければならない。

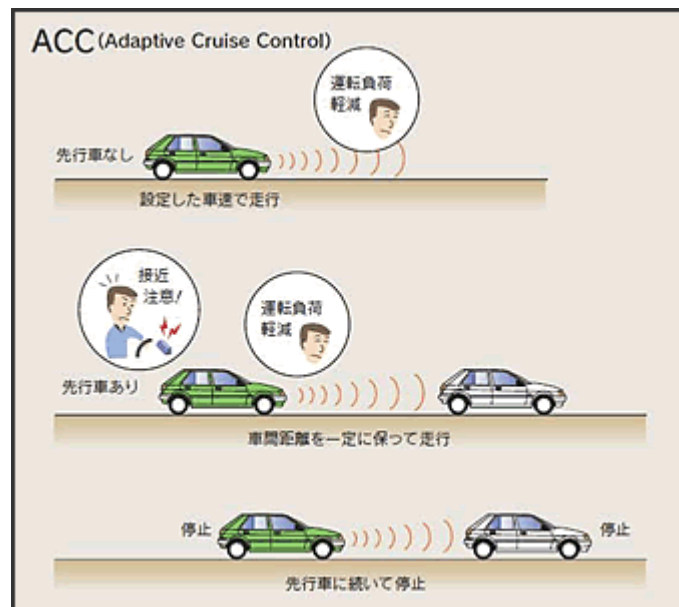


図 1.3 ACC 概要 [33]

1.2.2 LKA (Lane Keep Assist system)

LKA は、車両が自車レーンからはみ出してしまわないように、ステアリング操作の支援や、車線逸脱の恐れがある場合に警報を発する、事故防止とドライバーの負荷軽減を目的としたシステムであり、既に実用化されている [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40]. LKA は表 1.1 の自動運転レベル 1 の操舵の自動運転にあたるが、あくまでも LKA は操舵の支援であり、支援操舵力の限界や、車線の認識が不可能状況も存在する. したがって、ドライバーは常にシステムや車両、外界の状況を監視しなければならない.

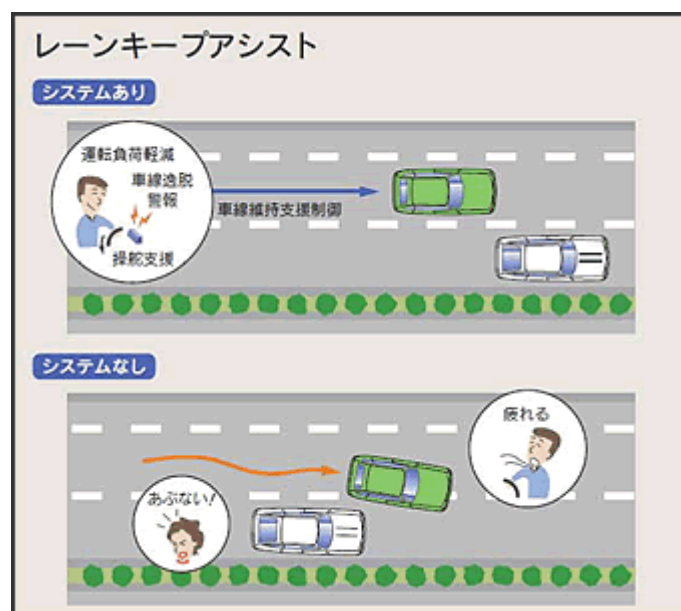


図 1.4 LKA 概要 [33]

1.2.3 AEB (Autonomous Emergency Braking)

前方障害物との衝突被害軽減または衝突回避を目的とした自動ブレーキシステムである AEB も既に実用化されている (被害軽減のみの AEB も存在する) [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18](図 1.5). AEB は、低速域において、前方障害物との衝突の危険性があった場合に、自動的にブレーキをかけ、事故回避を目的とする. しかしながら、AEB における自動ブレーキによる事故回避は低速度域に限られており、高速度域や、低速度域におい

ても、路面状況によって衝突の回避が不可能な場合は、自動的に被害軽減ブレーキを行い、事故による被害の低減をはかる。AEBも表 1.1 における自動運転レベル 1 である。自動ブレーキは低速度域であっても衝突回避を完全に保証しているわけではなく、被害軽減ブレーキもドライバーが無傷または軽傷に収まる範囲には限界があり、ドライバーは常に車両および外界の状況を監視しなければならない。

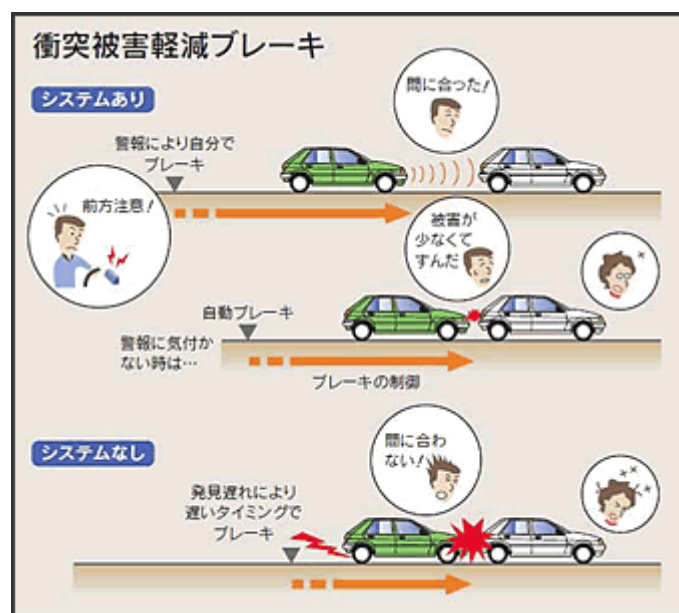


図 1.5 被害軽減ブレーキ概要 [33]

以上のように、前方方向および、自車レーンでの走行における支援システムは、現在急速に実用化が進んでいる。ACC、LKA、AEB が想定している事故形態は複数の車両が関わりあるため、支援システムによる事故防止・被害軽減は死傷者数の低減に大きく貢献できることが期待できる。一方、複数の車両が関わり合う場面である車線変更における支援システムは現状では実現されているものは少ない。

1.3 車線変更における事故

実世界での運転において車線変更が必要になる場面は、追い越し、インターチェンジでの合流や、工事による車線規制などをはじめ、さまざまなものがある。また、車線変更は、複数の車両が関係する複雑なタスクであり、高速道路合流部を走行するドライバーは車線変更時に大きな負担を感じていることが指摘されている [41]。

NHTSA の調査では、車線変更の事故は、事故全体における 4%から 10%となっている [42] [43] [44] [45]。日本においては、追越し・追抜時の事故件数は平成 24 年度で 9705 件であり、車両相互の事故件数における割合は、約 1.6%となっている。また、日本のタクシーにドライビングレコーダーを取り付け、ニアミスの発生について調査した研究では、合流・車線変更におけるニアミスの割合が 20.6%となっており、ニアミスの類型別の中では 1 番大きい割合であった [46]。つまり、車線変更という場面は事故が発生する危険性が高いと言え、何らかの事故防止の方策が必要である。

車線を逸脱する運転行動は、車線変更を行う場合だけではない。前方障害物回避時にステアリングによる回避を行うと、結果として隣車線へと進入してしまうことがありうる。実際の前方障害物回避の場面を考えると、ドライバーとしては、できるだけ障害物との距離をとりたがるのは必然であり、ステアリングを使用した回避はごく自然な行為である。実際に歩行者への衝突回避の人間行動を調査した研究 [47]では、約 90%がステアリングの操作による回避を行っているという結果もある。通常このような場面は車線変更とは分類しない。しかしながら、隣車線への進入という意味では一種の車線変更ととらえることができよう。このような場合に対しても、安全確保のための支援は必要である。側方、後側方の車両との衝突事故には、通常的車線変更時と同様もしくはそれ以上の難しさがあると考えられる。ところで、前方障害物回避のためのステアリングによる回避はどの程度必要であろうか。

平成 24 年度の日本における事故別形態の中で追突事故は 23 万件発生している [1]。割合としてみると、追突事故は、交通事故全体の約 33%を占めており、事故の構成率では 1 番発生頻度の高い事故形態となっている(図 1.6)。

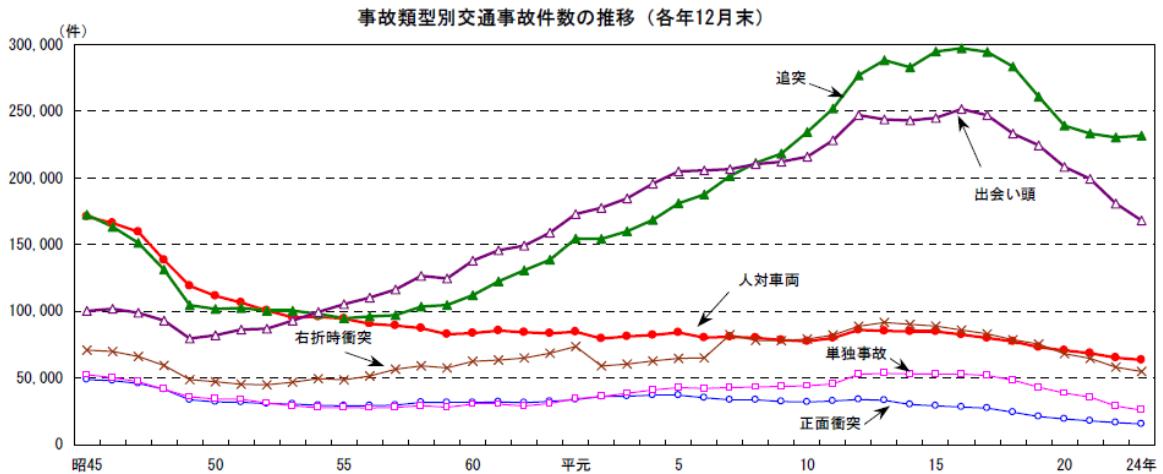


図 1.6 事故類型別交通事故件数 [1]

現在実用化されている追突回避支援システムの多くはブレーキの制動による被害軽減，事故防止の形態となっている．また，事故防止の能力を持つシステムにいたっては比較的低速度に限った支援となっている [9] [10]．しかし，障害物との相対速度が高い場合，ブレーキのみでは回避ができない場面が存在することが知られている．そこで，ステアリングを併用した衝突回避支援の研究・開発も行われている [48] [49] [50] [51]．

例えば，清水らは，人間のアクションをトリガーにシステムの発動や，ドライバーが行った操作のアシストを行うシステムを提案しており [48]，ドライバーが何を行うかの決定権を持っている「人間中心の自動化」にのっっている．そのため，どのような操作によって障害物を回避するかは，ドライバーの意思決定にゆだねられている．人は，知覚・認知，意思決定，操作を繰り返しながら車を運転していると考えることができ，知覚・認知は意思決定や操作のベースである．そのため，ドライバーが知覚・認知に失敗すると，操作のアシストを行うという支援形態において，支援が有効に働かない恐れがある．

現在実用化または研究中の支援の多くは，前方に関することにしか着目していない場合が多く，隣車線の車両との衝突を考慮した研究は少ない．しかし，前方障害物の回避という，時間が限られた中で，ドライバーが隣車線の認識を行うのは容易ではなく，なんらかの方策が必要となる．

1.4 サイドミラーに存在する死角の問題点

車線変更を行う場面において、後側方を確認することは必須である。後側方の確認を行う際、通常ドライバーは、自車の側面に設置されているサイドミラーを使用する。しかし、サイドミラーの確認だけでは、車線変更の安全を確保することは必ずしもできない。なぜなら、サイドミラーは後側方すべての領域を映しているわけではなく、「死角」が存在するためである(図 1.7)。こうした死角の存在が、車線変更のタスクを難しくしている要因の一つといえる。自車両近くの死角域に他車両がいた場合、ドライバーが他車両の存在に気がつかないまま車線変更を行うと他車両と衝突することになる。そのため、通常ドライバーは顔や体を動かして後側方の目視を行う必要がある。ところが、この目視を行う際に顔を大きく横にむける必要があるため、前方への注意が一瞬ではあるが失われることになる。逆に、前方への注意がそれないようにしようと思えば、サイドミラーでのみの確認にとどまったり、直接目視するにしても十分に後側方を確認しないなどすると、死角にある他車両に気がつくことができない可能性がある。

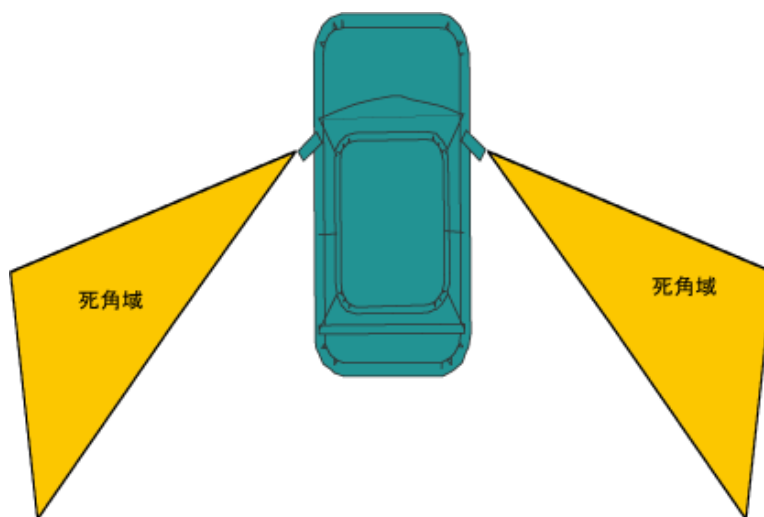


図 1.7 サイドミラーの死角域

1.5 車線変更事故防止支援技術

人間は、知覚・認知、意思決定、操作を繰り返しながら自動車の運転を行っていると考えることができ、このいずれの段階で人間が失敗しても事故へつながりかねない。特に、知覚・認知は意思決定や操作のベースとなるため、ドライバーが知覚・認知の段階における状況認識の確保、つまり、自分が置かれた状況に関する把握や理解が重要である。では状況認識の確保はいかにして可能であるか、Endsley は、状況認識を 3 つのレベルに分けると述べている(表 1.2) [52]。

表 1.2 状況認識のレベル

状況認識 レベル	内容
レベル 1	Perception of the Elements in the Environment
レベル 2	Comprehension of the Current Situation
レベル 3	Projection of Future Status

航空分野において、1986～1992 年までに発生したインシデント事例のうち、状況認識の失敗例を調べた研究 [53]では、約 80%においてレベル 1 の状況認識が不十分であり、レベル 2 の状況認識の失敗に起因する事故は 13%であった。この結果は、人間の状況認識の失敗はレベル 2 までが大部分を占めていることを意味しており、レベル 1, 2 の状況認識の確保を支援していくことの重要性を示すものである。また、自動車の車線変更時の事故原因 65%から 75%以上がドライバーの状況認識の失敗であるという調査結果もあり [54] [55]、自動車の車線変更においても状況認識の確保の支援が重要である。

自動車の車線変更支援について、これまで提案されてきたものを人間の情報処理プロセスに即して整理してみると、以下に示すようにまとめることができる。

1.5.1 知覚・認知の支援

知覚・認知の段階における車線変更時の支援システムとして実用化されているものに、LCDAS (Lane Change Decision Aid Systems)がある [56] [57] [58] [59] [60] [61]。その一つに BLIS (Blind Spot Information System) (図 1.)という支援システムがある。このシステム

では、死角域から死角域の少し後方までとなる自車両の側面後方をセンサなどによりセンシングを行う。その領域内に他車両が存在することが検出された場合に、サイドミラー付近に取り付けられたランプ(図 1.8)を点灯させ、自車の後側面に他の車両が存在していることをドライバーに知らせるものである。



図 1. LCDAS の概要図 [56]



図 1.8 BLIS のランプ

ランプの点灯を見ることによって、ドライバーは後側方に車両が存在していることに気がつくことができることから、BLIS はレベル 1 の状況認識を確保することまではサポートが可能である。しかし、ランプの点灯を確認するのみでは、後側方の他車両が現在どのような状況なのかは詳しくわからないことから、レベル 2 の状況認識が達成できることにはならない。

1.5.2 意思決定の支援

意思決定の段階での支援としては、警報による支援が考えられる [57] [59] [62] [63] [64] [65]。警報は、システムが外界を知覚・認知した結果として、ドライバーが正しい意思決定を行っているかどうかを判断し、ドライバーの意思決定の間違いを音や光やハプティックな手段を用いてドライバーに通知し、是正させる。その一つとして、センサの認識信頼性を考慮し、注意喚起と警報をセンサの信頼度によって使い分ける支援が研究されており [62] [63]、センサの認識信頼性が完璧でない状況でも高いドライバーのシステムへの信頼性や有効性が確認されている。しかしながら、その検証実験においては、その警報システムを用いても事故は発生することがあり、ドライバーの状況認識が十分でない場合などでは警報が無視されてしまう可能性が示唆されている。したがって、警報システムを利用するにも、状況認識の確保が重要であるといえる。

1.5.3 操作の支援

操作の段階の支援として、自車両の近くに他車両が存在しているにも関わらずドライバーが車線変更を試みる場合に、制御に介入して安全を確保しようという研究もある。たとえば、ステアリングをほとんど回せないほどに重くしたり、ドライバーのステアリング操作のキャンセルを行ったりするハードプロテクション [66]、または、ステアリングをやや重くするソフトプロテクション [67] [68]などである。ドライバーのステアリング操作のキャンセルを行うハードプロテクションでは、ドライバーが車線変更方向へと操作した結果として期待した車両の挙動と、実際の車両のプロテクションによって直進し続けるという挙動とが大きく違ってしまう、一種のオートメーション・サプライズ [32]が発生した [66]。オートメーション・サプライズは、ドライバーがシステムが行っている操作に対して、なぜそのような操作が行

われ、何が起きているかわからなくなってしまう状態である。オートメーション・サブライズを起因とするドライバーの混乱は、結果としてその後の事故へとつながってしまうため、オートメーション・サブライズが発生しないようにシステムのデザインを行うことは重要である。このため、ハードプロテクションの実験において、オートメーション・サブライズにより受容性が低くなっている [66]。そこで、受容性の低下を解決するために、ソフトプロテクションによる支援が提案されている [67] [68]。ソフトプロテクションは、ドライバーが操作したステアリング行動と車両挙動が一致するため、オートメーション・サブライズが発生しにくく、受容性が高い [67] [68]。しかし、ソフトプロテクションが機能する場合でも、後側方に複数の車両が存在した場合、十分に事故を防止することができなかつたこともある [68]。ソフトプロテクションは、受容性向上のために、ドライバーのステアリング操作と車両挙動を一致させている。そのため、ドライバーはソフトプロテクションをオーバーライドし、車線変更を強行することができる。ドライバーが、ソフトプロテクションをオーバーライドしてしまう原因としては、機械と人間の認識の不一致が挙げられている。その一例としての状況を図 1.9 に示す。図 1.9 において、2 台の車両 A, B が連なり、先頭の車両 A が自車(Host)の死角に入り込んだ際に、システムは、死角車両 A に対する衝突防止のためにプロテクションを作動させた。これに対し、ドライバーは死角域に存在する車両 A を認識できず、システムが車両 B に対してプロテクションを行っていると考えてしまっている。この場合、車両 B がまだ十分に後ろにいるため、ドライバーは、安全に車線変更できると判断し、車線変更を強行してしまったというものである。

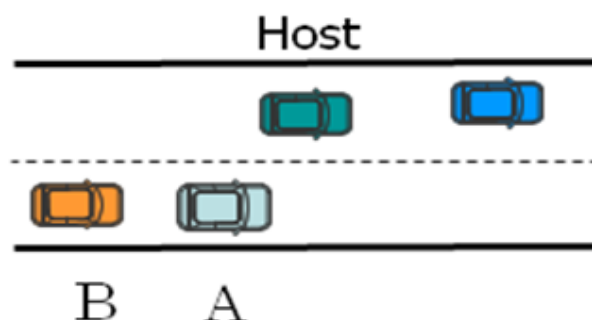


図 1.9 ソフトプロテクションにおける事故発生状況

すなわち、プロテクションが発動した際に、ドライバーが直ちに適切に外界の状況を理解できないときには、ソフトプロテクションは十分に事故防止の機能を果たせない。ここでは「隣車線に車両が存在しているか」に相当するレベル 1 の状況認識は、ハンドルが重くなることを感じることで達成される。しかし、ハンドルが重くなることを知覚するだけでは、レベル 2 の状況認識、すなわち「後側方に存在する車両の位置やスピードが、車線変更行うにあたって危険なものかどうか」について正確に認識できるとは限らない。図 1.9 の場合、サイドミラーに映っている車両が A ではなく B であるため、ドライバーはシステムが B に対して支援を行っていると考えてしまうことである。このような原因の特定の失敗は、1.5.1 節におけるランプによる支援でも同様に発生する可能性がある。レベル 1 は、ランプの点灯によって達成されるが、レベル 2 が、ソフトプロテクションの場合と同様ミラーに B が映っている場合には、ランプを点灯している原因がどの車両であるかの認識をドライバーが失敗してしまう可能性がある。その場合、ドライバーは B がまだ後方にいると認識し、車線変更を継続してしまう恐れがある。そこで、システムの状況認識とドライバーの状況認識とを整合させるための方策が必要となる。

以上のように、意思決定および操作の段階での支援を構築する場合にも知覚・認知を確保することが重要であり、知覚・認知の段階でレベル 2 以上の状況認識を確保できる支援が必要である。

1.6 研究目的

ここまでで述べた通り、車線変更における状況認識確保のための何らかの支援が必要である。また、状況認識レベル 2 までの状況認識確保の支援が重要である。本研究では、自車の後側方にある死角域の状況認識を支援するシステムを提案する。これに加えて、本研究で提案した支援システムが、車線変更時における状況認識の確保を支援し、事故防止に有効かどうかの評価を行う。また、1.3 節で述べた通り、前方障害物回避時においても通常の車線変更と同様に、後側方にある死角域の状況認識の確保が重要であると考えられることから、本研究における提案システムを前方障害物回避の場面に適用し、事故防止への有効性を評価する。最後に、ASV 推進計画の基本理念の 1 つにもあげられている [33]、ドライバーの受容性についても調査を行う。ドライバーの受容性は支援システムを提供する場合に重要な要素である。

ドライバーの受容性が低かった場合、支援システムが使用されないという事態ともなってしまう可能性がある。また、本研究で提案する支援システムはダイナミックにミラーを動かすという、通常とは違った状況であるため、ドライバーがどのようにシステムを理解し、使用するのかを、継続的に調査を行うことが重要である。

1.7 本論文の構成

本論文の構成の以下のとおりである。

第2章では、状況認識レベル2以上の状況認識を確保することが重要であるとの考えに基づき、ダイナミックにサイドミラーを動かすことによる、後側方車両への認識支援システムを提案する。

第3章では、本研究で提案する支援システムについて、通常的車線変更場面における、事故防止の有効性評価を行う。本章では、ドライビングシミュレータに本研究で提案する支援システムを構築し、実験参加者に通常的車線変更における走行を行わせ、支援システムの評価を行った。

第4章では、本研究で提案する支援システムの前方障害物回避時における、事故防止の有効性評価を行う。本章でも、ドライビングシミュレータに本研究で提案する支援システムを構築し、実験参加者に前方障害物回避を行わせ、支援システムの評価を行った。

第5章では、本研究で提案する支援システムのドライバー受容性について評価を行う。本章でも、ドライビングシミュレータに本研究で提案する支援システムを構築し、実験参加者に実際に支援システムを使用してもらい、評価を行った。

第6章では、3つの実験結果をふまえ、本研究で提案する支援システムの有効性について述べるとともに結論および今後の課題について述べる。

第2章 提案システム

2.1 ダイナミックサイドミラー

死角域の車両を容易に認識できるようにしようとした場合、湾曲率の高いミラーを用いる方法が簡単な方法として考えられる。しかし、湾曲率の高いミラーを使用すると後側方車両との距離感がわかりにくくなってしまうことが考えられる。このことは、車線変更の場合のみならず、駐車場等で後進を行う場合にも隣車両との距離をつかみにくく後進しにくいなどの問題ももたらしかねない。

そこで、本研究では、「死角域に他車両が存在する時に、自車のサイドミラーをダイナミックにヨー方向(図 2.1)に回転させる」という支援方法を提案する。後側方車両が自車の死角域に入ってきた際にサイドミラーのヨー方向の角度を変更することによって、ミラーが的確に死角車両を映し出すため、ドライバーがリスク対象を容易に認識できると考えられる。この方法であれば、ミラー視認における距離感が損なわれることもないと考えられる。



図 2.1 ミラーのヨー方向

具体的には、以下のように動作させる。なお、図 2.2 と図 2.3 は概要図であり、視認域の範囲は実際のシステム上での視認域等を正確に反映しているものではなく、本研究の実験上での視野角等の数値については 3.1 節で述べる。通常時では、サイドミラーの死角は図 2.2 に示すとおりである。他車両が近づいてきたとき、その車両の動きに合わせてサイドミラー

を外側に回転させると、通常ミラー位置では当初死角になっていた部分がドライバーから見えるようになる(図 2.3)。これによって、当初の死角車両がミラーに映る。ミラーを見ることによって、死角車両とのおおよその距離や相対速度を把握できるので、直接死角車両を探索・確認するより、容易に状況認識が確保できると期待される。本研究では、このシステムを DAMS (Dynamic Angling Mirror System) と呼ぶ。本システムは、隣車線をセンシングし、一番自車に近い隣車線の車両の相対速度および距離によって、隣車線の車両が死角に入るタイミングを計算し、ミラーを動かす。本研究での検証実験ではシミュレータを使用するが、実車で実現をする場合は、ミラー下部または、リアバンパー部にレーダーまたはカメラによりセンシングを行うことで、実現が可能と考えられる。

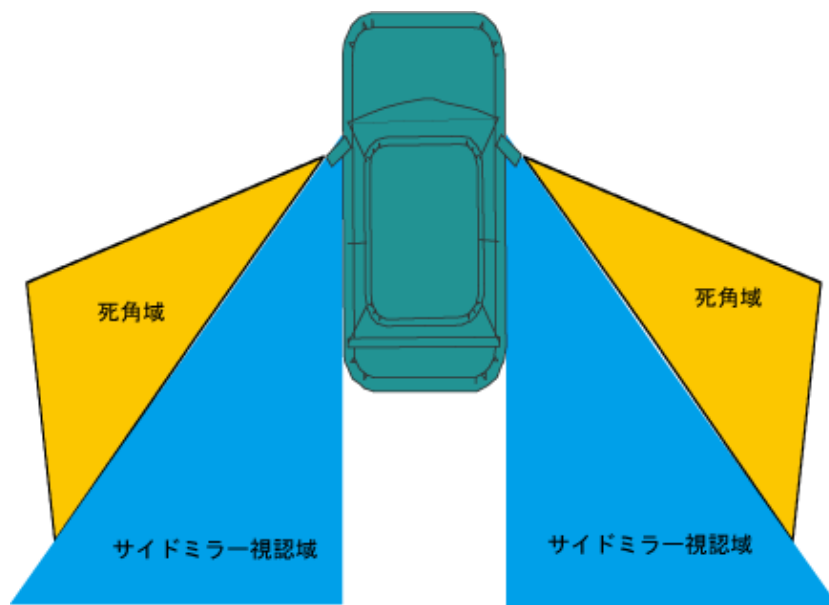


図 2.2 通常ミラー位置での視認域

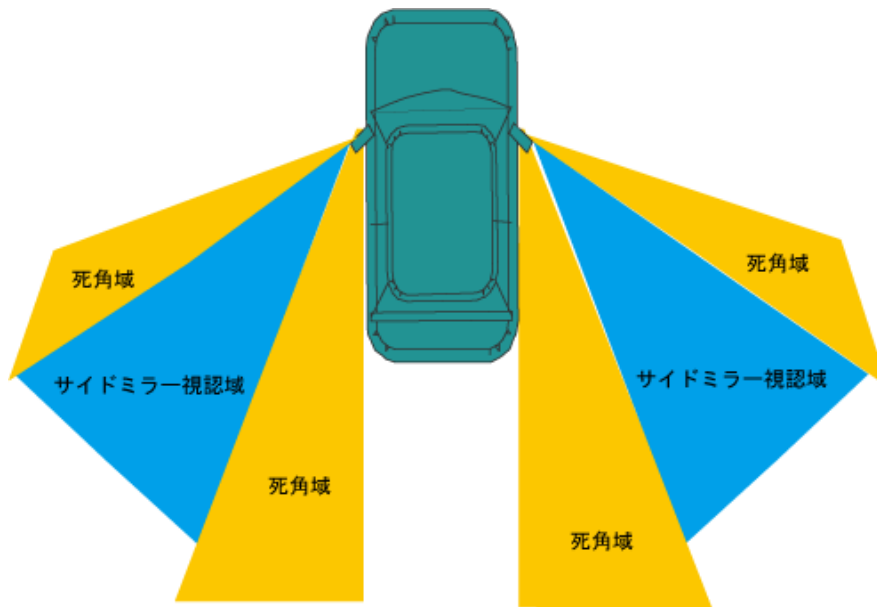


図 2.3 ミラー回転後の視認域

DAMS では、ミラーの回転による支援が行われているか否かは、明示的にはドライバーに伝えられない。そのために、ミラーの角度が変わっているかどうかは、ドライバーが実際にミラーを見て、角度が変わっているかどうかを自ら判断することとなる。このため、支援が提供されているかどうかをドライバーが誤解したり、判断に戸惑う可能性がある。そこで、2つめの支援として、支援を提供している際に、サイドミラー横につけたランプを点灯させるシステムも本研究での考察の対象とする。このシステムを EDAMS (Enhanced Dynamic Angling Mirror System) と呼ぶ。

DAMS と EDAMS が状況認識のどのレベルの支援にあたるかを考えよう。DAMS では、状況認識レベル 2 のみを支援している。つまり、後側方に対しての状況認識レベル 1 である「隣車線に車両が存在しているか」という知覚に関しては、ドライバー自身が隣車線の状況の確認を行おうとしない限り気がつかない。一方、EDAMS におけるランプの点灯は、ミラーの角度が変わったどうかを伝えるが、後側方に車両が存在している事をも通知し、レベル 1 の状況認識のサポートとなりうる。加えて、EDAMS ではミラーの回転が加わる。そのため、1.5.1 節のランプのみの支援の場合におきうるシステムとドライバーの状況認識の不一致

の問題は生じにくい。なぜならば、EDAMS では、後側方に対する状況認識レベル 2 である「後側方に存在する車両の位置やスピードが、車線変更を行うにあたって危険なものかどうか」を容易に理解でき、システムが通知しているリスクの原因をドライバーは容易に認識できると考えられるからである。例えば、図 1.9 において、サイドミラーには車両 A が映るが、ルームミラーには B が映っていることになり、ランプが B に対してではなく、A に対して点灯していることを認識できる。しかしながら EDAMS では、ドライバーが隣車線の状況情報を必要としない場合でも、ランプを点灯させることにより、リスクが存在していることをドライバーに伝えようとする。ドライバーは、これを煩わしいと感じる可能性もある。DAMS にランプ点灯機能を付与すべきかどうかについては支援システムの事故防止の有効性の評価に加えて慎重に検討する必要がある。

第3章 通常の車線変更における提案システムの評価

3.1 本章の目的

本章では通常の手線変更において、DAMS,EDAMS を使用した場合に、隣手線の状況認識が的確に確保できるかどうかを、ドライビングシミュレータを用いて評価する。本研究では、(i)通常の手線変更と、(ii)前方障害物回避における隣手線への進入、に着目しているが、通常の手線変更は比較的時間に余裕がある一方、隣手線への進入では時間的余裕がない。本提案システムを使用するにあたり、比較的時間に余裕がある(i)の通常の手線変更の場面における状況認識確保の支援効果が見られない場合、(ii)の前方障害物回避の場面における状況認識確保の支援を期待することは難しいと考えられる。そのため、まず、通常の手線変更の場面において提案システムを評価する。

3.2 実験装置

本実験では、本田技研工業(株)製のモーションベース付きのドライビングシミュレータを用いる(図 3.1)。このドライビングシミュレータは、フロント用画面、右サイド用画面、左サイド用画面、ルームミラー用画面、左サイドミラー用画面、右サイドミラー用画面、の計6つの画面によって構成されている(図 3.2)。なお、図 3.2 中の数値は映し出されている視野角である。また、縦 9.5cm・横 13.5cm の液晶ディスプレイを使用し、サイドミラーの映像を模擬している。



図 3.1 モーションベースドライビングシミュレータ

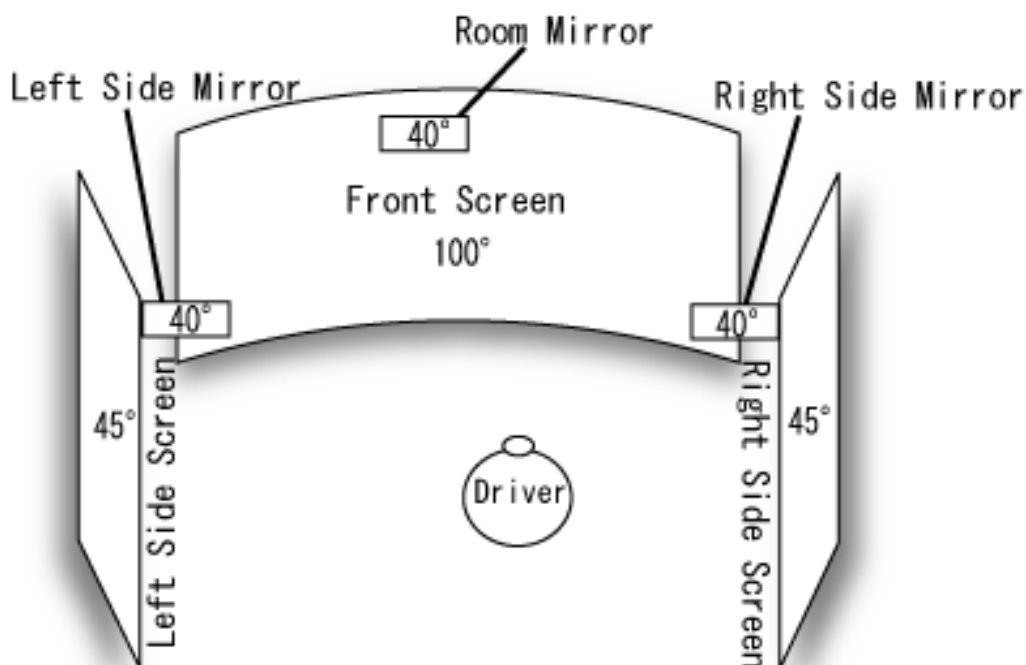


図 3.2 シミュレータのスクリーン構成

3.3 DAMS ミラー

図 3.3 は、自車(Host)と側方後車両(A)を図のように設置した場合に、シミュレータ上で DAMS を作動させた際に描画される映像の違いを示す。なお、本実験では、システムが作動する際、ミラーを外側に最大で 28 度まで回転させる。この回転角度については、本研究のシミュレータ上での環境において、何度か角度を変えながらテストを行い、最適と思われる角度として決定した。実車両に適用する際には、その車両にあった角度へと再調整する必要がある。

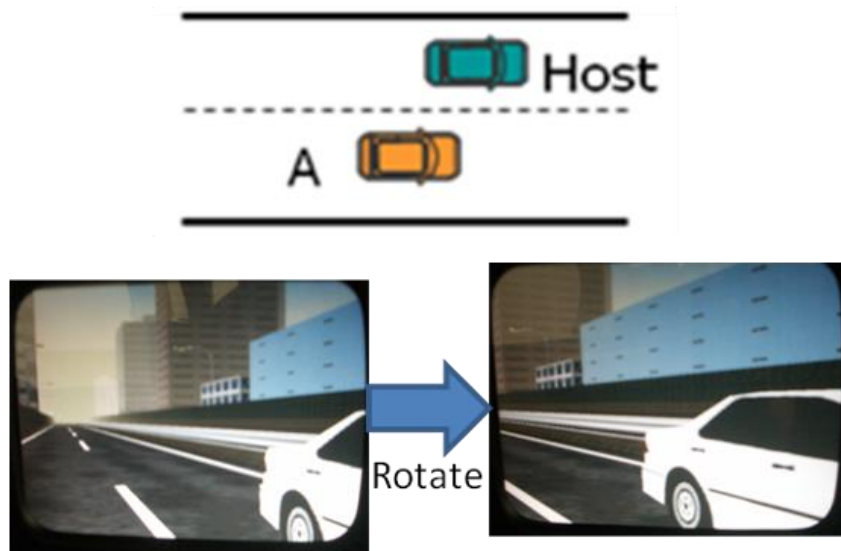
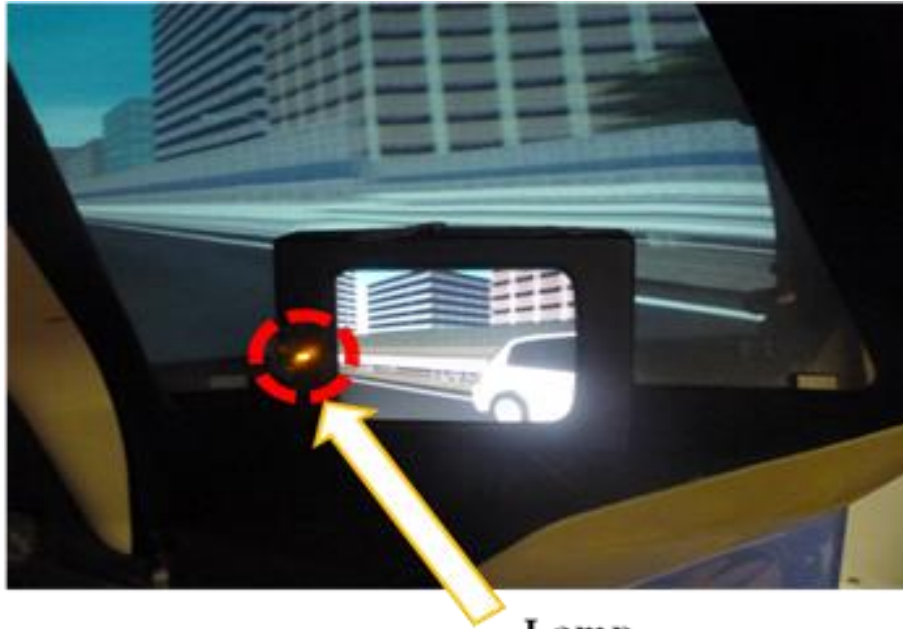


図 3.3 DAMS の作動時のミラーの変化

また, EDAMS の場合はミラーの回転に合わせて, サイドミラー横に設置した輝度 600mcd のオレンジ色の LED ランプが点灯する(図 3.4) .



Lamp

図 3.4 EDAMS でのランプ

3.4 実験参加者

実験には、普通自動車免許を保有する 16 名(19 才～37 才，平均年齢 21.6 才，年齢の標準偏差 4.2，男性 15 名，女性 1 名)が参加した。参加者には 1 時間あたり 820 円を謝礼として支払った。また実験開始前に実験に関する説明を書面で行った上で，全ての参加者からインフォームドコンセントを得ている。

3.5 メインタスク

実験参加者には、直線とカーブ（曲率半径：200m, 300m）で構成された片側 2 車線の高速道路をできるだけ 80km/h で走行すること、また、できるだけ走行開始時にいた車線を維持するように教示した。ただし、前方に自車両よりも低速な車両がいた場合は追い越し、追い越し終了後、速やかに元の車線へ戻るようにも教示した。なお、走行環境は晴れた日中であり路面は乾燥した状態とした。今回の実験では、実験参加者間でほぼ同じタイミングでイベントを経験させるため、80km/h でスピードリミッターが動作するようにした。また、他車両の存在を知るための情報としては視覚情報のみがあたえられ、エンジン音などで他車両の存在を知ることはできないようにした。

3.6 発生イベント

今回の実験では、大きく分けて、3種類のイベントがある。実際の世界では、車線変更における場面は無数にあると考えられるため、全ての場面を取り上げることは難しい。そこで、まずイベント 1 として死角域に車両が 1 台だけ存在する、シンプルな車線変更のイベントを取り上げる。イベント 2 として、1.5.3 節で述べたような、2 台の車両が後側方に存在し、ミラーに映る車両が十分距離があり車線変更が可能に見えるような誤解を生みやすいと考えられる場面を取り上げることとした。イベント 3 は、本研究の支援システムのサイドミラーがダイナミックに回転するという特性上、複数台の車両が存在する際にドライバーが今どの車両がミラーに映っているのかわからなくなるなど、混乱を生みそうなイベントを取り上げる。以上、本研究の支援システムを評価する上で重要だと考えられる 3 つのイベントにて評価を行った。次に、各イベントについて詳しく述べる。

3.6.1 イベント 1

イベント 1 では、隣車線後方より自車の死角に入り込む車両（Blind Spot Vehicle = BSV）が 1 台現れ、そのまま自車の死角に入り込む。その後、自車の前方に先行車両（Lead Vehicle=LV）が現れる（図 3.5）。

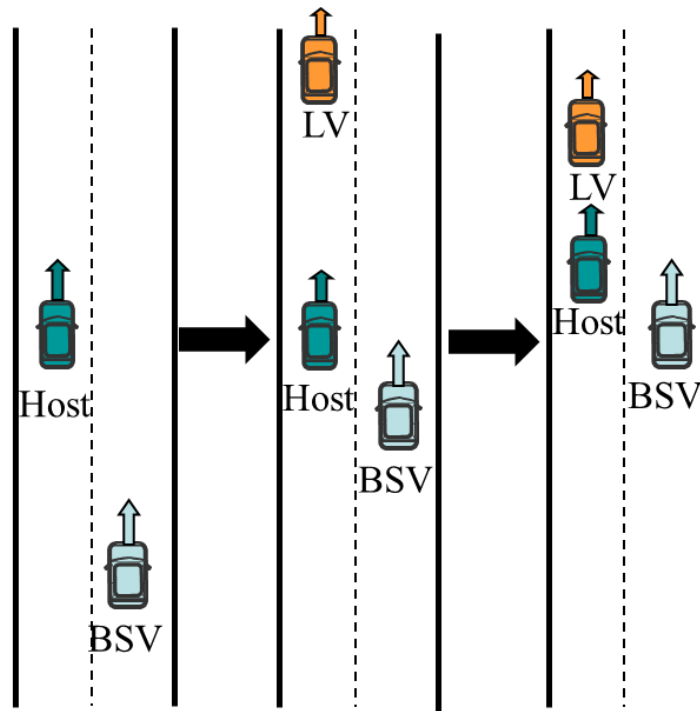


図 3.5 イベント 1

3.6.2 イベント 2

イベント 2 では、隣車線後方より車両が 2 台現れ、その 2 台のうちの先頭車両が、自車の死角に入り込み、後方の車両は前方車両より少し離れて（約 30m）走行する。先行車両は、イベント 1 と同様に振る舞う(図 3.6)。なお、ミラーが回転した際には BSV のみがサイドミラーから見えるようになり、その後方の車両をサイドミラーで視認することはできない。

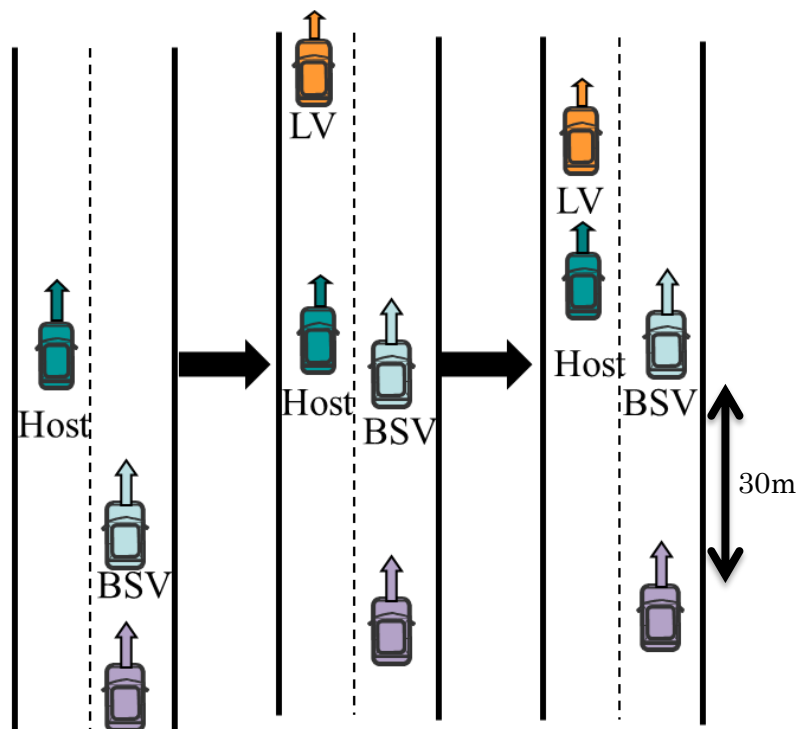


図 3.6 イベント 2

3.6.3 イベント 3

イベント 3 では、隣車線後方より 3 台の車両が現れ、並走する。その後、3 台の内最後方の車両が自車の死角に入り込み、その他の 2 台は前方方向へ走り去って行く。先行車両はイベント 1, 2 と同様にふるまう(図 3.7)。

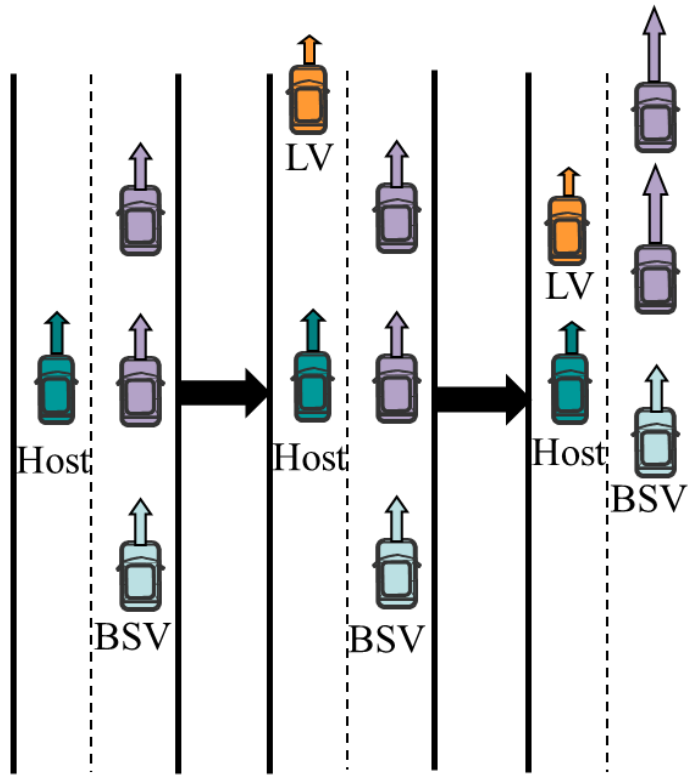


図 3.7 イベント 3

なお、いずれのイベントにおいても、死角に入った車両はしばらく死角に入り込んだまま走行後、前方へ加速して走り抜ける。

それぞれのイベントのタイプごとに、先行車の速度が 40km/h, 50km/h, 60km/h の場合を用意した。先行車の速度を複数用意したのは、自車の減速度が大きくなるほど、前方方向への注意が必要となるため、隣車線へ向けられる注意の度合いが違ってくことから、支援システムの有効性に違いが生じる可能性を考慮したためである。また、サイドミラーまでの距離は左右で違うため、支援システムの有効性の違いが生じる可能性がある。そこで、死角に入る車両が自車の右車線の場合と左車線の場合を用意した。以上から、全部で合計 18 種類のイベントがある。また、ダミーイベント（死角に車両がない・車線変更する必要がない）

を8種類用意した。ダミーイベントは、イベント1,2,3のイベントを改変し、BSVや、LVが存在しないものとした。

3.7 サブタスク

参加者へは、走行開始から走行終了まで継続して、カーナビの地図を確認することを模擬したサブタスクを行わせた。サブタスクは、参加者がサイドミラーに現実にはありえないほどに注視してしまうことを防ぐためにおこなわせた。

本実験におけるサブタスクは、ナビ画面部分に図3.8のように「2」と「3」と「8」で構成された10個の数字を5秒ごとに提示し、そのうち「3」がいくつ含まれているかを口頭で答えるというものである。

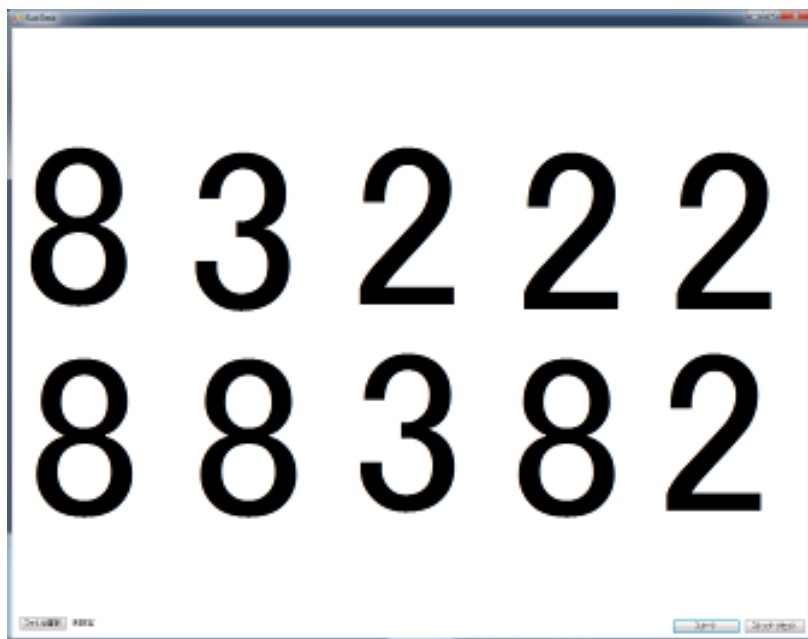


図 3.8 数値探索タスク

3.8 実験計画と手順

実験では, DAMS を使用するグループと EDAMS を使用するグループへ実験参加者をランダムにわりあてた. なお, 両グループともに支援なし条件を走行する.

支援なし, 支援あり走行それぞれで, 3.6 節で述べたダミーイベントを含む走行全て, 各々 1 イベント 1 回ずつ支援なし, 支援あり条件下で各々走行する. 1 走行は約 1 分から 3 分であり, 走行するイベント順番はランダムに決定した. 図 3.9 は本実験での実験手順を表している.

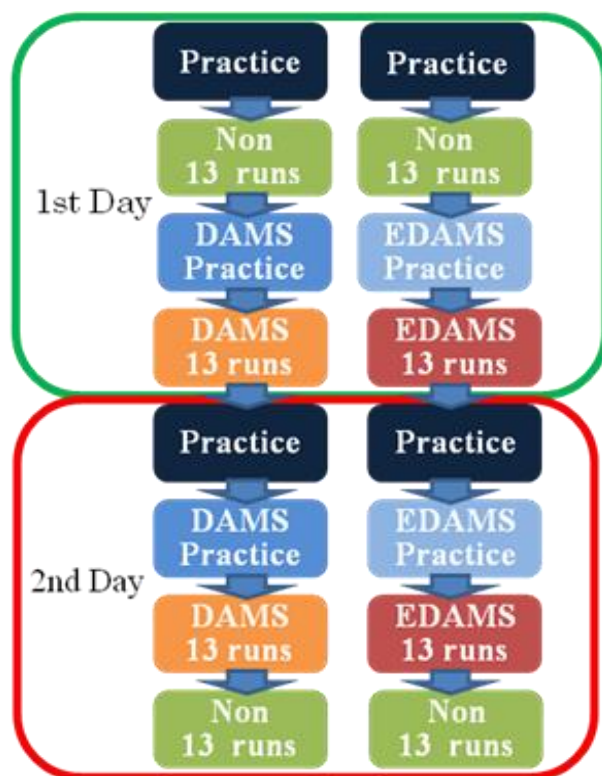


図 3.9 実験順序

実験は全ての実験参加者について 2 日間で行われた. 本実験では, イベントおよびダミーイベントを合わせ全 26 種となっている. 支援あり, 支援なし両方を 2 日間に分けて走行する

ため、実験 1 日における 1 条件での走行は 13 走行となる。1 日目は練習走行後、支援なしの条件 (NON) で 13 走行、支援システムを使用した条件(DAMS or EDAMS)での走行練習を行った後、支援システムを使用した条件で 13 走行を行った。2 日目は、練習走行後、支援の練習走行を行った後、支援を使用した条件で 13 走行を行い、その後、支援なし条件で 13 走行おこなった。

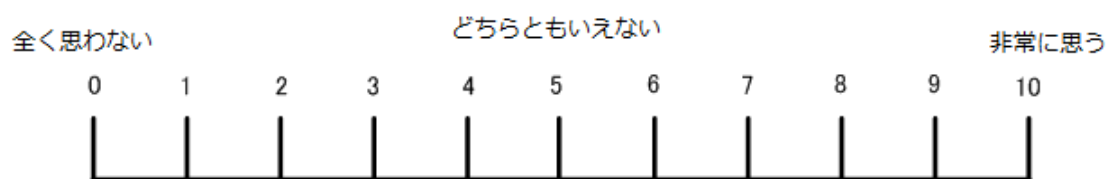
3.9 評価指標

客観的指標として、死角車両との事故件数、ステアリング操作量、自車の移動軌跡および、死角車両との最小車間距離について調べた。今回測定した最小車間距離は、自車と死角車両の位置の間の距離の最小値とした。なお、本実験における最小車間距離はシミュレータシステムの仕様上、自車および死角車両の車両後方両輪の中央となっている。したがって、仮に自車と死角車両とが衝突を起こしたとしても、この車間距離は 0 にはならない。

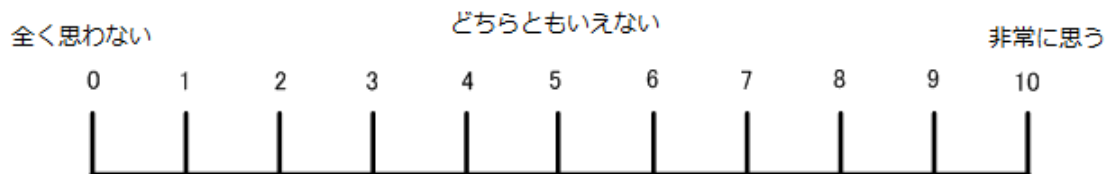
また、主観的評価をアンケートによって行った。まず、システムが事故防止に有効かどうかの質問を提示し、0 を「全く思わない」、10 を「非常に思う」とする 11 段階で回答させた。また、ドライバーからサイドミラーの距離が左右で違うため、左右でシステムの評価が違う可能性を考慮し、左右各々に回答させた。実際に使用したアンケートを以下に示す。

■このシステムは車線変更時の事故防止に役立つとおもいますか。

左ミラー



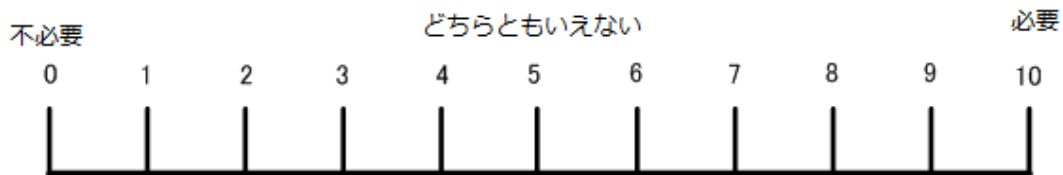
右ミラー



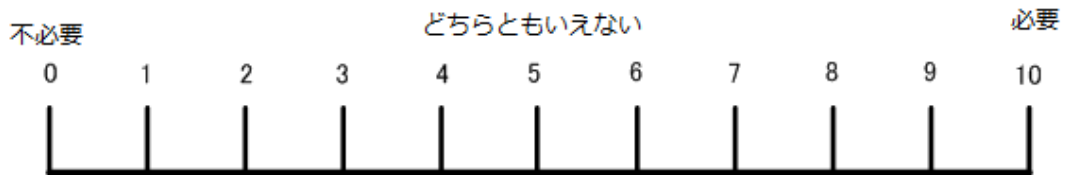
さらに EDAMS のランプに関して，ランプの点灯が必要だったかどうかというアンケートを 0 が「不必要」で 10 が「必要」として 11 段階で左右各々に回答させた．実際に使用したアンケートを以下に示す．

■ランプの点灯は必要だと思いますか．

左ミラー



右ミラー



3.10 実験結果と考察

3.10.1 安全確保に対する DAMS,EDMAS の効果

事故件数(表 3.1)をみると、支援なしでは右側の死角車両との車両事故が 144 件中(18 イベント×16 人÷左右 2) 8 件発生しているのに対し、DAMS, EDAMS では各々 72 件中(18 イベント×8 人÷左右 2)2 件となっている。右側における事故件数は減少しているようにみえるものの、統計的な有意差は確認されなかった。左側についても、支援条件による差はみられなかった。つまり、事故が発生するかどうかというリスクの面で、今回提案する支援システムの有効性は確認できなかった。

次に、潜在的なリスクの高まりを防止することができたかを調べるために、最小車間距離について調べた。

表 3.1 事故件数

NON		DAMS		EDAMS	
Left	Right	Left	Right	Left	Right
1/144	8/144	2/72	2/72	1/72	2/72

自車両と死角にいる車両との最小車間距離(図 3.10)について支援と死角車両の車線方向の 2 要因で分散分析を行った。その結果交互作用が有意であった($F(2,285)=4.876, p=0.008$)。テューキーの HSD 検定により多重比較をおこなったところ、右ミラーの DAMS とそれ以外との間で有意差があった($p<0.05$)。このことから、右車線に死角車両がいた場合、DAMS は事故防止に有効であるといえる。左側に他車両がある場合は、事故件数と同様、支援の有無・タイプによらず差は認められない。これらの結果は事故件数の結果ともおおむね整合する。左方向への有効性が認められなかった考察は 3.10.3 節にて述べる。

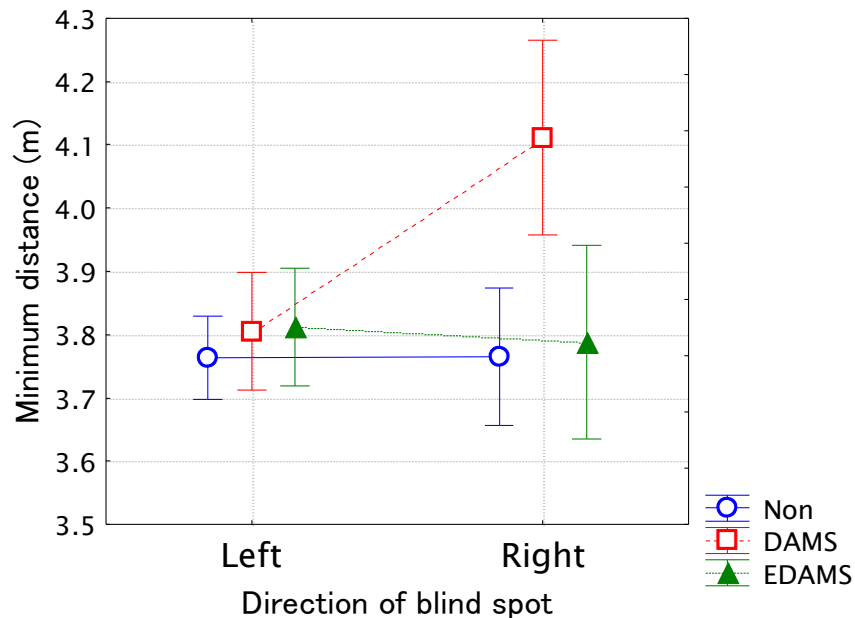


図 3.10 最小車間距離

3.10.2 DAMS と EDAMS の効果の差異の原因について

右方向に死角車両がいる場合に、ミラーを動かすという同様の支援機能を持ちながら、EDAMS についてはなぜ有効性が確認できないのだろうか。

3.10.2.1 最大ステアリング操舵角の分析

この問いの答えを明らかにするために、ステアリング操作について死角車両が存在する方向への最大ステアリング操作量、つまり車線変更を行う方向への操舵について調べた(図 3.11)。死角域の状況認識が適切に確保できていれば、車線変更方向へのステアリング操作が大きくなりにくいと考えられる。

分散分析を行った結果、主効果、交互作用ともに有意ではなかった($p=0.35$)。しかしながら、右において DAMS が 1 番小さく、EDAMS が 2 番目に小さく、支援なしが一番大きい傾向となっている。つまり、DAMS、EDAMS、支援なしの順で状況認識の確保を適切にできた場合が多かったと考えられる。

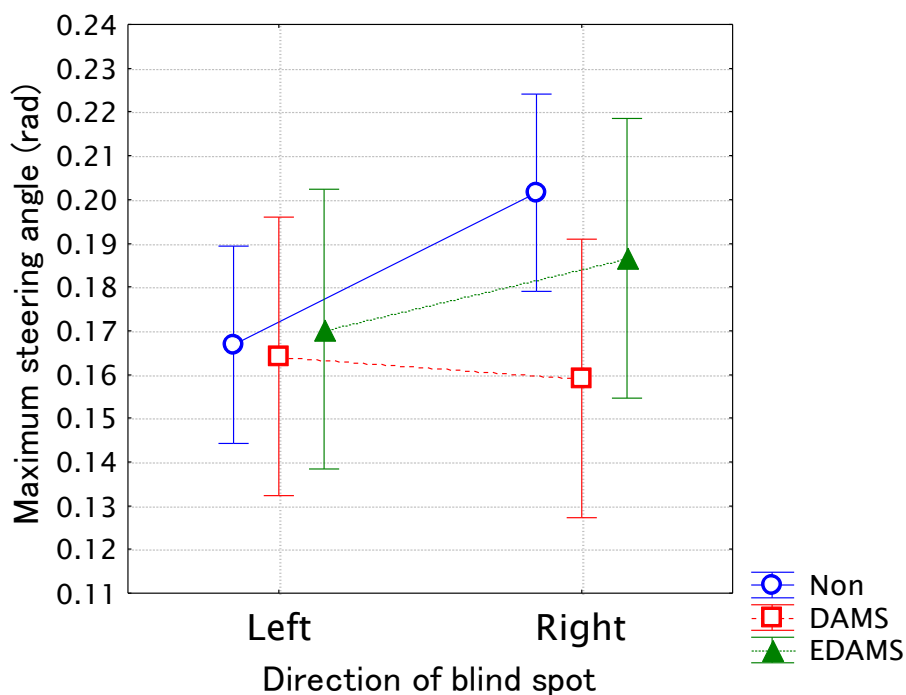


図 3.11 最大ステアリング操作量

さらに、ステアリングを死角車両が存在する方向と逆の方向にステアリングの中立位置から操作した量について調べた(図 3.12)。死角車両が存在する方向と逆の方向へのステアリングは、車線変更方向へのステアリング操作量とは反対に、DAMS, EDAMS, 支援なしの順番に大きくなると考えられる。

しかしながら、死角車両との衝突回避方向への最大ステアリング操作量について分散分析を行った結果、主効果、交互作用ともに有意ではなかったが($p=0.38$)、右の DAMS, EDAMS の操作量がほぼ同じで、支援なしでは反対方向への操舵が大きい傾向がうかがわれた。

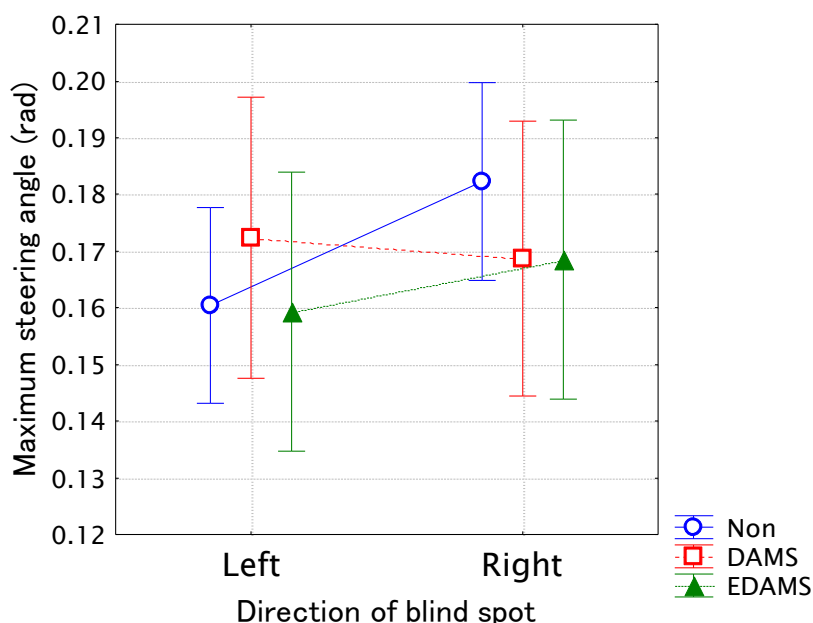


図 3.12 死角車両との衝突回避方向への最大ステアリング操作量

したがって、DAMS を採用している場合、車線変更のための操舵を行わないケースが多いことが示唆される。これは、DAMS を利用することによって、正確に死角車両とのリスクを把握できているからではないだろうか。他方、支援なしは、死角車両に気がつかず、いったん車線変更の操作を行ってしまっているケースが多いと考えられる。その場合、車線変更操作を始めたあとで死角車両を知覚し、衝突を回避するために逆方向への操舵をおこなっているのであろう。これに対し、EDAMS は車線変更への行動を起こしているにもかかわらず、死角車両との衝突回避方向への最大ステアリング操作が確認できない。このことについて、EDAMS の特徴であるランプについて考察を行う。DAMS と EDAMS の唯一の違いはランプのみであるため、ステアリング操作の違いはランプに起因していると考えられる。

EDAMS を使用した実験参加者にランプが必要かどうかのアンケートを行った結果、左の平均が 7,右の平均が、8.75 となっており、右にいたっては、8 人中 7 人が最も必要だとする 10 と答えており(図 3.13)、多くの実験参加者が必要性を高く評価している。

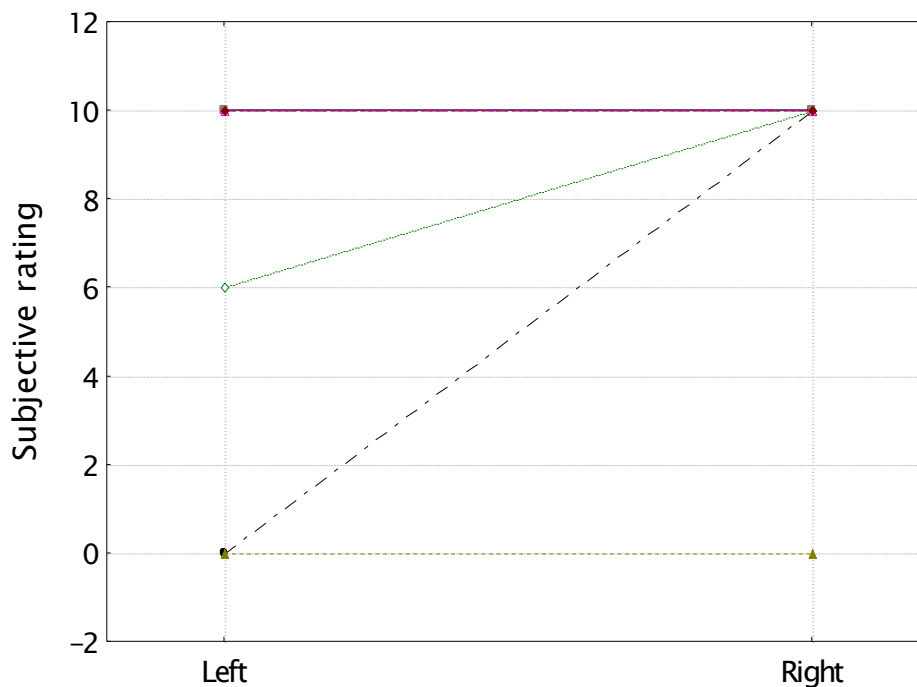


図 3.13 ランプの必要性評価

ランプの必要性を高く感じた理由として複数人の実験参加者が、「ランプの点灯によって車両の存在を知ることができるから」と答えている。またランプについて、「もっと見やすい位置にして欲しい」や「もっと明るくして欲しい」といったコメントが見られた。このことから、ドライバーはランプに頼っていたことが考えられる。

ステアリング操作の分析およびランプの必要性評価の結果から、ドライバーは、EDAMSのランプによる状況認識レベル1への支援で、「隣車線の詳細はわからないが、リスクのある車両が存在している」という認識を持ち、その認識のみに基づいて車線変更の判断のステップへと進む傾向があるものと考えられる。車線変更を行うかどうかの判断に関して、ランプ点灯の有無情報を使用するのは合理的だといえる。しかし、ランプを見落とした場合、ミラーを使用した状況認識を行わないため、車線変更を開始してしまいがちであるものと考えられる。

3.10.2.2 横方向の車両挙動分析

3.10.2.1 節で述べたように、EDAMS 使用時には DAMS 使用時よりも車線変更方向へステアリングをより大きく操作する傾向がうかがわれる。よって、EDAMS 使用時の衝突回避方向へのステアリング操作は DAMS 使用時よりも大きいのが自然だと考えられる。しかしながら、EDAMS 使用時の衝突回避方向へのステアリング操作が DAMS 使用時と同様となっていることから、ドライバーが車線変更行動開始後、ランプにて「死角車両の存在」のみを認識するものの、リスクの高まりを正確に認識していないのではないかと考えられる。この考察の確からしさを検証するために、横方向の車両挙動を調査した。その結果、リスクの高まりを正確に認識していないことがうかがわれる行動が確認された(図 3.14)。図 3.14 において、縦に引かれた破線は、死角車両との距離が最小となる時点を表す。この図は、全ての走行における横方向の車両位置の時間的推移を支援タイプごとに平均したものである。グラフの下方が隣車線に向かう方向となっている。図 3.14 は死角車両が右方向にいる場合のグラフである。

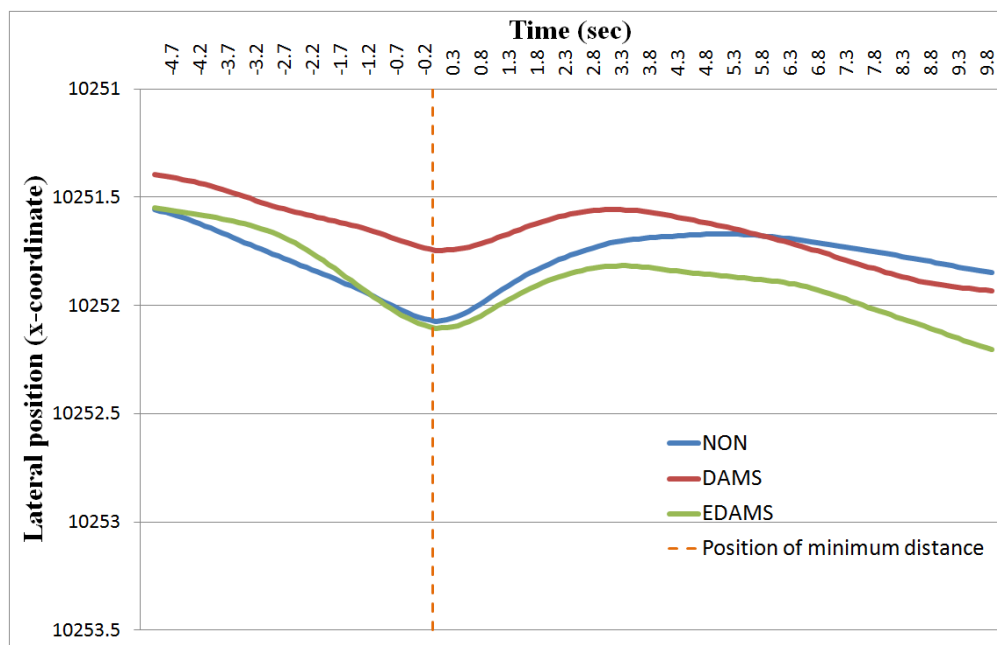


図 3.14 自車両の横変位 (全イベント)

図 3.14 をみると、EDAMS、支援なしとともに同じ程度で、隣車線方向への移動があるが、死角車両との距離が最小になった後の軌跡をみると、EDAMS の軌跡が支援なしと比べて、元の車線変更方向へ戻る量が少ないまま走行している。また、走行イベントごとに見てみたところ、イベント 1 の先行車両の速度が 40km/h の場合に、より顕著な傾向が見られた(図 3.15)。図 3.15 では、最小距離に近づいた後、5 秒間ほど、車両を元の車線方向へあまりもどさず、その後、その他の支援と同等の位置へともどるという行動が見られる。すなわち、ランプ点灯によって車両の存在に気が付いても、直ちにサイドミラーにおいて死角車両とのリスクを正確に認識するわけではなく、車線変更を維持しようとする。その後、サイドミラーに映った車両に気が付き、死角車両とのリスクを認識し、リスクが高いと判断し、元の車線方向へ車両をもどすということである。

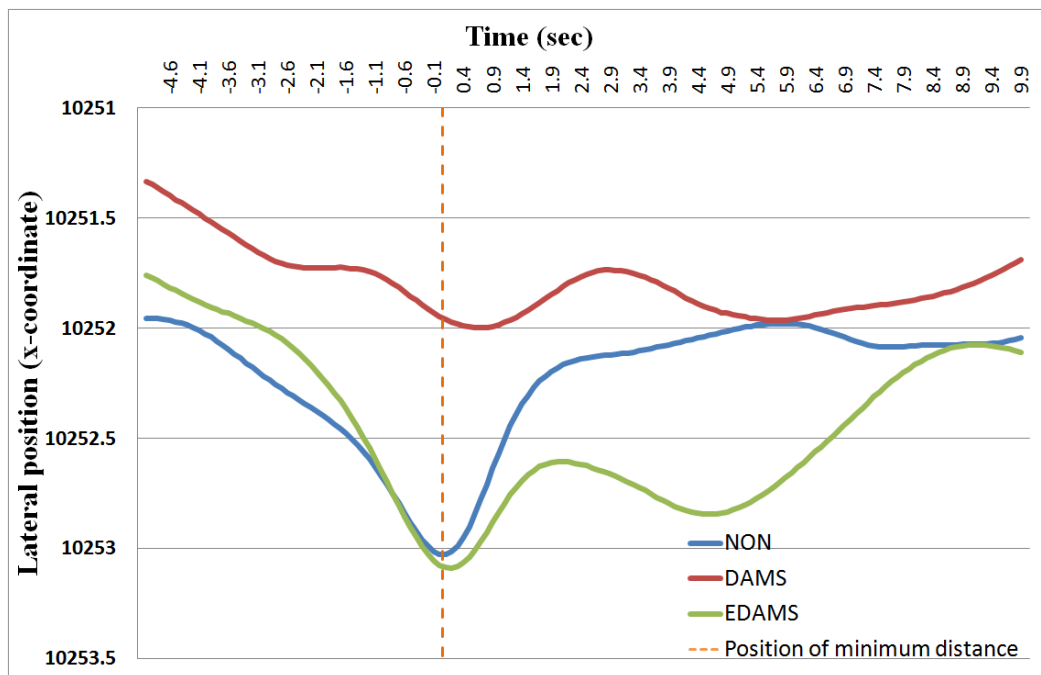


図 3.15 自車両の横変位 (イベント 1, 40 km/h)

このことから、EDAMS 使用時のドライバーは、リスクの高まりをすぐには正確に判断できていないことが多いと考えられる。ドライバーは、ミラーを確認することによってこそ状況認識レベル 2 を確保することができる。本実験の結果は、ミラーの回転に加えランプを提示することによって状況認識レベル 1 と 2 をともに支援する場合、レベル 2 の支援を利用せずに、むしろレベル 1 の認識でとどまってしまう可能性を示唆するものである。

3.10.3 左方向への支援について

左方向の死角車両については、3.10.1 節の事故件数および最小距離の結果によると、DAMS,EDAMS とも有効性が認められなかった。実験参加者へのインタビューで、左右の支援の有効性の違いがあるかどうかについて聞いたところ、「左ミラーについては、ミラーを見ようとする、自然と外の状況を目視できるため、支援の効果をあまり感じない」という回答をする実験参加者がほとんどであった。これにより支援による効果が現れなかったものと考えられる。

支援が事故防止に有効かどうかを、左右のミラー別々に実験参加者にたずねた(図 3.16)。DAMS について、ウィルコクソンの順位和検定をおこなったところ、右と左で差が有意であった($p=0.017$)。なお、グラフは実験参加者一人一人を表している。右方向に対しては有効だが左方向に対しては有効性が確認できないという客観的評価と、ドライバーが右方向での支援が有効だという結果は整合している。左ミラーについては、ミラーを見ようとする、自然と外の状況を目視できるため、支援の効果が低くなるといえる。

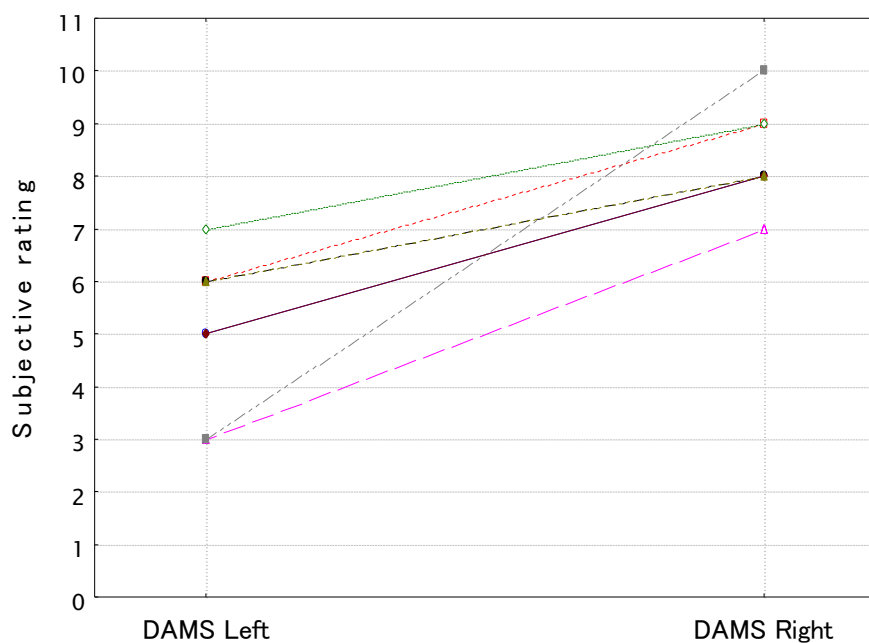


図 3.16 DAMS の主観的有効性評価

EDAMS について、ウィルコクソンの順位和検定をおこなったところ(図 3.17)、有意傾向がみられた($p=0.06$)。EDAMS についても DAMS と同様、右と比べると、左の支援による効果が低いと感じている。なお、グラフは実験参加者一人一人を表している。

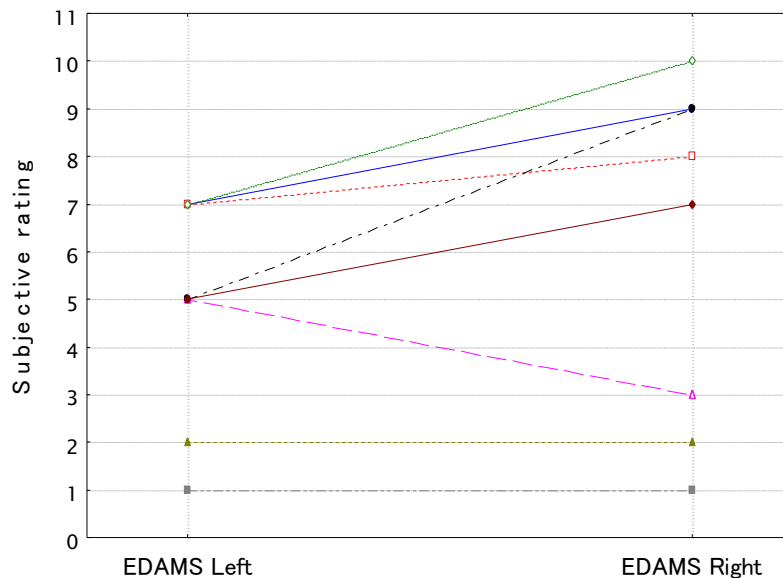


図 3.17 EDAMS の主観的有効性評価

実際のアンケート数値をみても、DAMS では 8 人全員が左より右の方が値が高くなっている。EDAMS については、8 人中 5 人が左よりも右の数値が高くなっている。ただし、EDAMS ではあまり支援を必要と感じなかった実験参加者が 2 人おり（評価が 1 と 2）、その 2 人については左右とも同じ数値となっている。この 2 人を除くと 6 人中 5 人が左よりも右の数値が高くなっている。

3.11 本章まとめ

実験の結果、事故件数の結果からは強い事故防止効果は DAMS, EDAMS とともにみられなかったが、最小距離の分析結果から、DAMS が右方向への事故防止支援の効果があることが確認された。すなわちダイナミックにミラーを動かすことによる事故防止は有効であるといえる。

しかしながら、EDAMS のようにランプを点灯することについては、状況認識を適確に支援することを確認できなかった。それでも、ドライバーはランプのような状況認識レベル 1 のわかりやすい支援を求めていることから、今後、複数の状況認識レベルの支援を同時に提

供する場合、ドライバーが適切に支援を使用できる形態で支援をデザインすることが必要となる。

一方、左方向への効果は客観的指標より効果が確認できないことがわかり、主観的評価の面でも、ドライバーは、左より右への支援が事故防止に有効だと感じていた。このことから、左右では、求める支援の形が違い、車線変更全体の事故防止を行う上では、支援形態を左右各々について検討する必要があるといえる。

第4章 前方障害物回避時における提案システムの効用

4.1 本章の目的

本章では、前方障害物回避時において、DAMS、EDAMS を使用した場合に、隣車線の状況認識が的確に達成できるかどうかを、ドライビングシミュレータを用いた実験によって評価する。1.3 節で述べたように、前方障害物回避という場面は通常は車線変更に分類はしない。しかし、前方障害物回避の場面における問題点を考えた際に、通常的車線変更における、死角域の状況認識が難しいという同じ問題点が存在している。よって、本研究での提案支援システムが事故防止に有効であることが期待できる。しかしながら、前方障害物回避という場面は、通常的車線変更の場面と違い、時間的余裕がない場面である。そのため、本研究として提案している支援システムを使用した際に、通常的車線変更の場面とは違ったドライバー行動があると考えられる。なお、実験装置は第3章で使用したものと同一である。

4.2 実験参加者

実験には、普通自動車免許を保有する12名(19才～28才、平均年齢22.3才、年齢標準偏差2.1、男性8名、女性4名)が参加した。参加者には1時間あたり820円を謝礼として支払った。また実験開始前に実験に関する説明を書面で行った上で、参加者からインフォームドコンセントを得ている。なお、本実験は筑波大学システム情報系研究倫理委員会の審査を受け、認可された上で行った。

4.3 メインタスク

実験参加者には、片側3車線の直線のみで構成された高速道路環境と、片側2車線の直線のみで構成された市街地環境の道路で走行を行わせた。高速道路環境では時速100km/h、市街地環境では、50km/h でスピードリミッターを使用した状況で走行させた。実験参加者には、前方障害物回避の場面以外では、車線変更をせず、走行が開始された車線を走行するように教示した。また、他車両の存在を知るための情報としては視覚情報のみがあたえられ、エンジン音などで他車両の存在を知ることはできないようにした。

4.4 発生イベント

発生イベントは高速道路環境では2種、市街地環境では3種のイベントがある。また、この節で述べるイベントの他に死角車両が存在しないダミーイベントも2種存在する。

4.4.1 高速道路イベント1

高速道路イベント1では、LVを自車両が600mの間100km/hで追従走行を行う。LVと自車のTHW (Time HeadWay)は3秒となっている。隣車線後方より自車の死角に入り込むBSVが1台現れ、そのまま自車の死角に入り込む。その後、LVが0.4gの急ブレーキを行う(図4.1)。なお、図4.1ではBSVが右側の場合を示しているが、本実験では、左にBSVが存在するイベントも存在する。

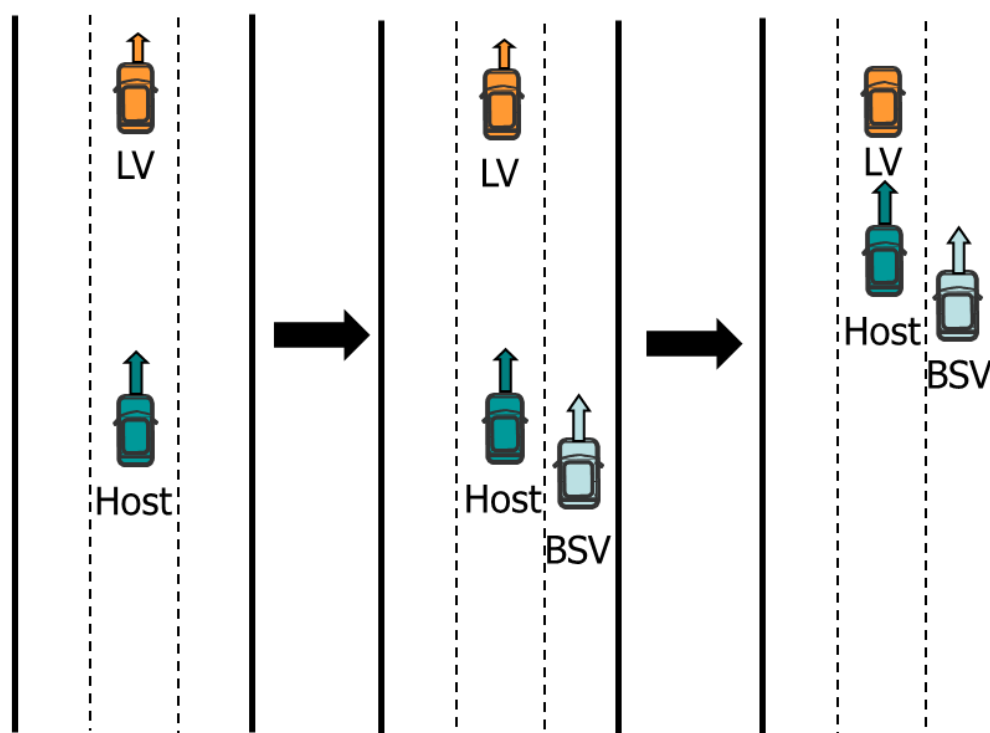


図 4.1 高速道路イベント1

4.4.2 高速道路イベント 2

高速道路イベント 2 では, LV を自車両が 600m の間 100km/h で追従走行を行う. LV と自車の THW は 3 秒となっている. 隣車線後方より自車の死角に入り込む BSV が 1 台現れ, そのまま自車の死角に入り込む. その後, LV から赤パイロンが障害物として落ちてくる(図 4.2). 赤パイロンは 0.7g で減速する. なお, 本イベントも図 4.2 では BSV が右側の場合を示しているが, 本実験では, 左に BSV が存在するイベントも存在する.

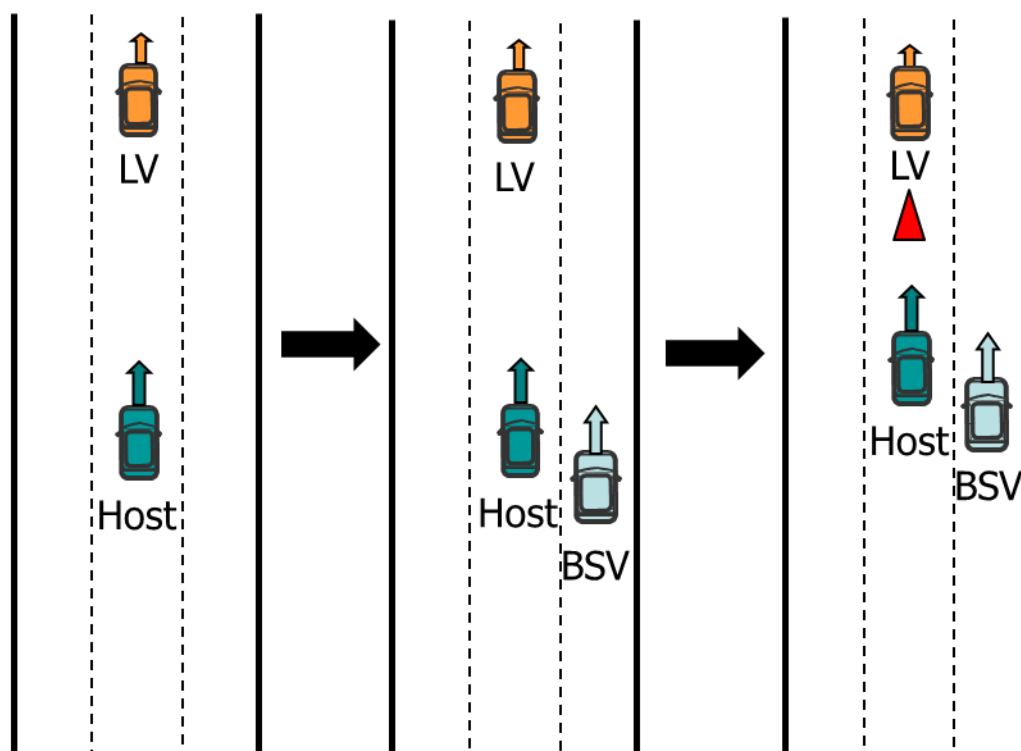


図 4.2 高速道路イベント 2

高速道路のイベント 2 種について, 死角に車両が 1 台入り混んだ状態で, 自車レーン前方で車両の急ブレーキや障害物が発生する, 前方障害物回避という場面においてもっともシンプルなものをイベントとして取り上げる. 時間的余裕が少ない場面における提案支援シス

テムの基本的な有効性やドライバーへの影響を調べる最初の段階としてシンプルなイベントとした。

ただし、その他にも死角車両の反対車線に車両が存在したり、両側の死角域に車両が存在するといったような場面が考えられ、今後、どのような場面でも支援システムが有効かどうかを検証していく必要はある。

4.4.3 市街地イベント1

市街地イベント1では、自車が270m走行後、隣車線後方より自車の死角に入り込むBSVが1台現れ、自車の死角に入り込む。その後、前方路地より自転車がとび出す。自転車が飛び出す時点における自車と自転車のTTC (Time To Collision)は2秒となっている(図4.3)。なお、本イベントにおいては、BSVは右側のみとなっている。

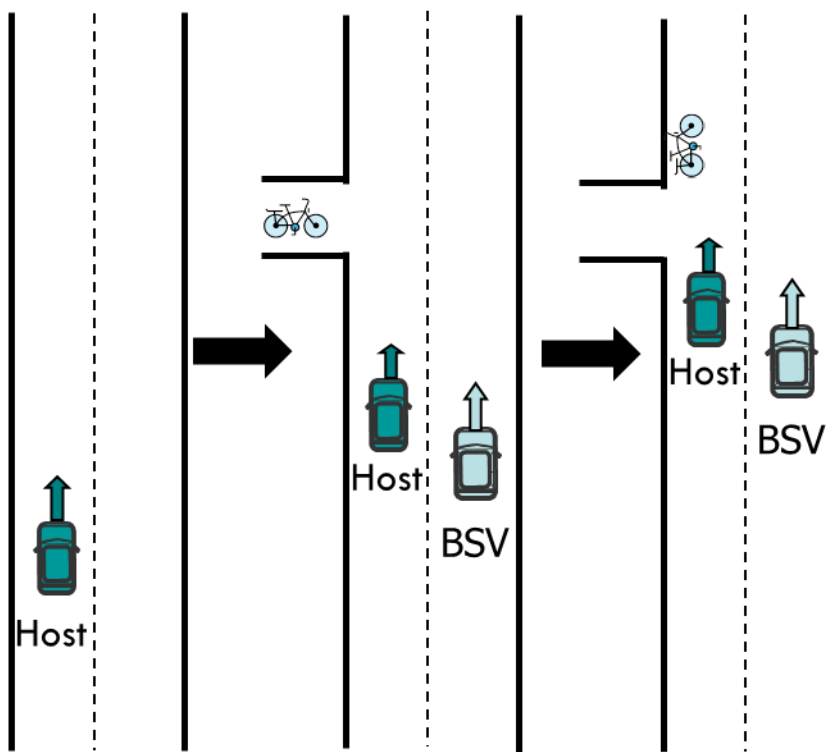


図 4.3 市街地イベント1

4.4.4 市街地イベント 2

市街地イベント 2 では、自車が 170m 走行後、隣車線後方より自車の死角に入り込む BSV が 1 台現れ、そのまま自車の死角に入り込む。その後、前方に歩行者がとびだす。歩行者が飛び出す時点における自車と歩行者との TTC は 3 秒となっている (図 4.4)。なお、本イベントにおいては、BSV は右側のみとなっている。

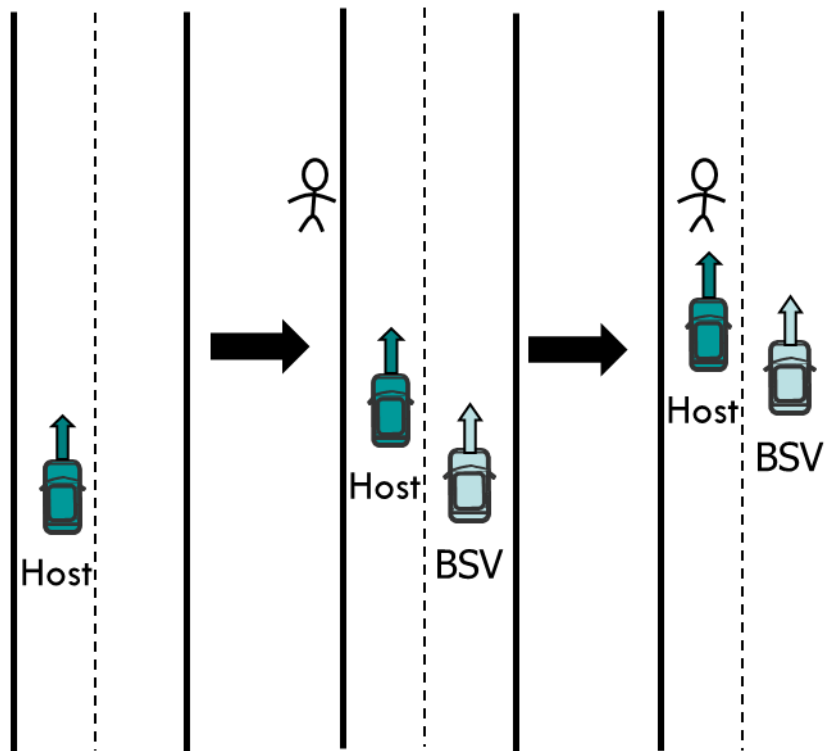


図 4.4 市街地イベント 2

4.4.5 市街地イベント 3

市街地イベント 3 では、LV を自車両が 370m の間 50km/h で追従走行を行う。LV と自車の THW は 2 秒となっている。隣車線後方より自車の死角に入り込む BSV が 1 台現れ、その

まま自車の死角に入り込む。その後、LVが0.7gの急ブレーキを行う(図4.5)。なお、本イベントにおいては、BSVは左側のみとなっている。

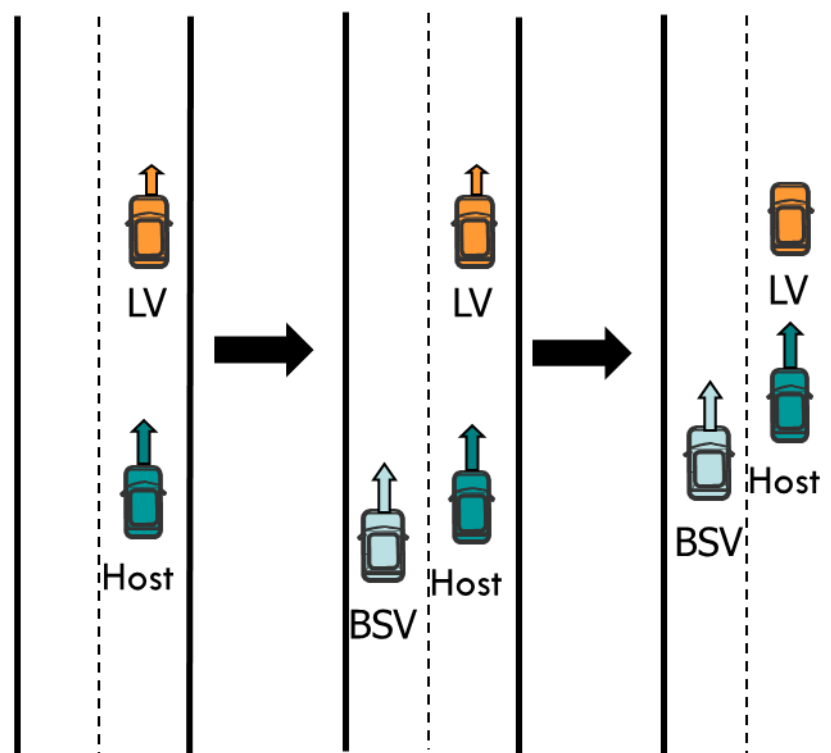


図 4.5 市街地イベント 3

市街地でのイベントにおいても、高速道路の時のイベントと同様、死角域に車両が1台存在し、前方に回避行動を取る必要があるイベントが発生するものとなっている。高速道路と市街地の大きな違いは、片側のみに死角車両が存在し、死角域の状況認識を確保する際に、両側の死角域を注意しなければならない高速道路よりも比べれば、簡単に状況認識を確保することができる点であり、高速道路における場面と違うドライバー行動が現れる可能性を考え、市街地でのイベントを作成した。

ダミーイベントは、ここまでで述べたイベントを改変し、死角車両が存在しないイベントを作成した。

4.5 サブタスク

実験参加者へは、走行開始から走行終了まで継続して、道路標識・案内を見ることを模擬したサブタスクを行わせた。サブタスクは、参加者がサイドミラーに現実にはありえないほどに注視してしまうことを防ぐためにおこなわせた。

本実験におけるサブタスクは、前方スクリーン部分に図 4.6 のように「3」と「6」と「8」で構成された 6 個の数字を 6 秒ごとに提示し、そのうち「3」がいくつ含まれているかを口頭で答えるというものである。

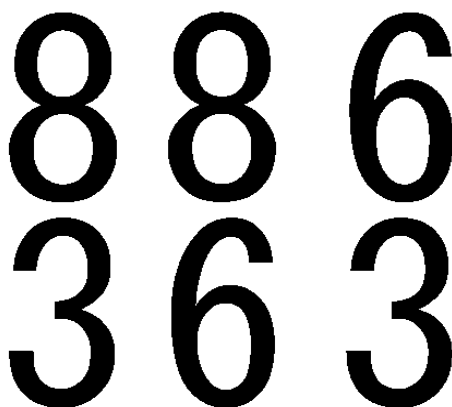


図 4.6 サブタスク

第 3 章の実験では、10 個の数字を使用したサブタスクを使用した。本章の実験のための予備実験をおこなったところ、10 桁のサブタスクでは、前方障害物回避という時間的余裕がない場面において、まったく隣車線の状況確認ができなかった。何種類かのサブタスクをテストしてみた結果、隣車線の状況確認も可能であり、サイドミラーの異常な注視を継続的に防ぐことができるものとして 6 個の数字を使用したサブタスクとした。

4.6 実験計画と手順

実験では、DAMS を使用するグループと EDAMS を使用するグループ、さらに、支援なし走行を最初に行うグループと、支援あり走行を最初に行うグループの計 4 グループに被験者をランダムに振り分けた。実験参加者は、支援なし、支援あり条件で、各々4.4 節で述べたダミーイベント 2 種および、高速道路および市街地のイベント（計 7 種）を各々を 2 回ずつ、合計 18 走行行う。1 走行は約 1 分から 3 分であり、1 走行につき 1 イベント発生する。走行するイベント順番はランダムに決定した。図 4.7 は本実験での実験手順を表している。

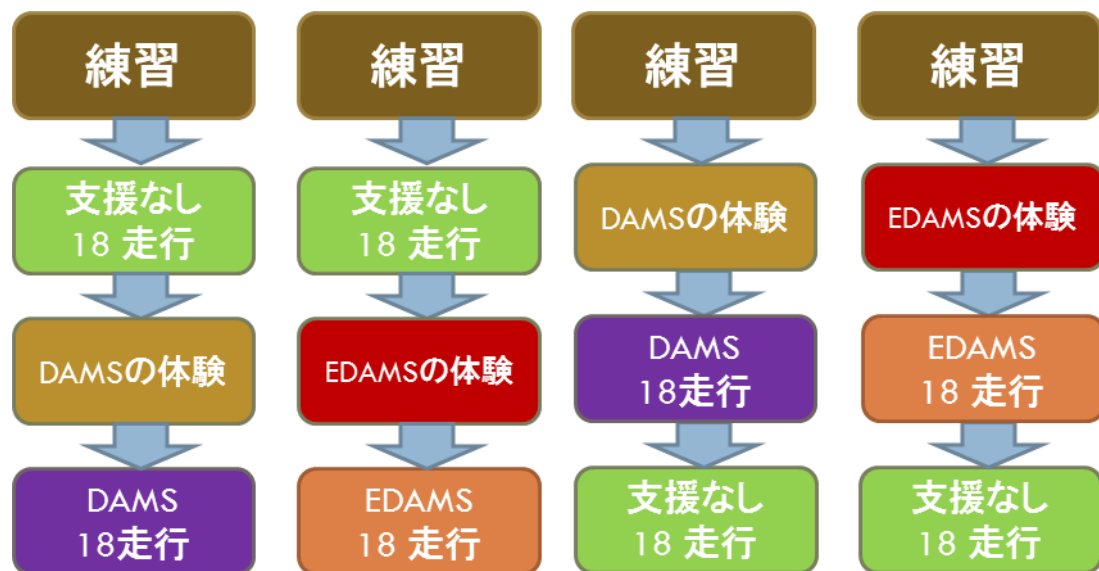


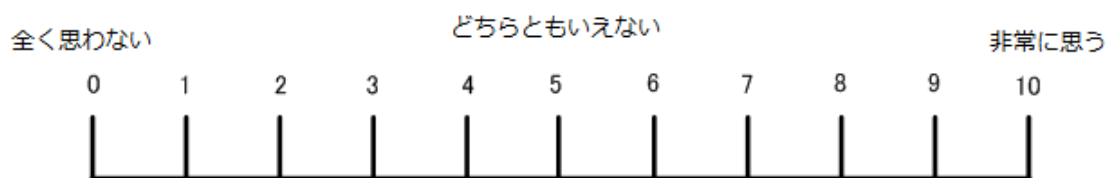
図 4.7 実験順序

4.7 評価指標

客観的指標として、死角車両との事故件数、前方障害物との事故件数を評価する。支援システムを使用した場合、死角域の状況認識を的確におこなえることにより、死角域の車両との事故件数が減少すると考えられる。また、状況認識を支援することにより、的確に早く状況認識を確保でき、結果として前方障害物との事故も減少すると期待できる。加えて、状況認識を的確にできていることを確認するために、ステアリングによる回避回数および反応時

間についても調べた。また、主観的評価をアンケートによって行った。システムの有効性について、「このシステムは事故防止に役立つと思いますか」という質問を提示し、0を「全く思わない」、10を「非常に思う」とする11段階で回答させた。実際に使用したアンケートを以下に示す。

■このシステムは事故防止に役立つとおもいますか。



4.8 実験結果と考察

4.8.1 死角車両との事故件数

ダミーイベントを除く全ての走行における、死角車両との事故件数を調べた結果は表 4.1 のとおりである。死角車両との事故件数について、カイ二乗検定をおこなったところ、 $\chi^2(2)=7.716$, $p<0.05$ で主効果が有意であった。ライアン法にて多重比較を行ったところ、支援なしと DAMS, 支援なしと EDAMS との間で有意であった。そして、支援なしと比べ、DAMS もしくは EDAMS を利用することにより、事故率が減少している。このことから、DAMS, EDAMS とともに死角車両との事故防止に有効であると言える。

表 4.1 死角車両との事故件数

	NON	DAMS	EDAMS
事故件数	25/168	5/84	5/84
事故率	0.148	0.059	0.059

4.8.2 前方車両との事故件数

全ての走行における、前方車両との事故件数について調べた結果は表 4.2 のとおりである。前方車両との事故件数について、カイ二乗検定を行った結果、主効果は有意ではなかった。

表 4.2 前方車両との事故件数

	NON	DAMS	EDAMS
事故件数	56/216	29/108	32/108
事故率	0.259	0.268	0.296

DAMS, EDAMS を使用した場合、死角域の状況認識を早く行えると考えられることから、結果として、回避行動が早く行え、前方障害物との事故件数も減少することを期待した。しかしながら、支援ありの条件下においても、支援なしと同等の事故率となっている。前方障害物との事故件数が減少しなかった原因を実験参加者のコメントから調査した結果、「ミラーが動いたり、ランプが点灯することにより、サイドミラーに注目してしまい、前方車両にぶつかった」というコメントを述べている実験参加者が複数存在した。つまり、ドライバーは、ミラーの回転やランプの点灯に必要以上に注意を向けてしまい、回避操作が素早くできず、結果として支援なしと変わらない結果となったと考えられる。

4.8.3 ステアリングによる回避回数

死角域の状況認識が的確に行えていれば、積極的にステアリングによる回避行動を取ると考え、ステアリングによる回避回数について調べた。高速道路イベントにおけるステアリングによる回避回数について調査を行った結果は表 4.3 のとおりである。高速道路イベントに限った理由は、市街地のイベントでは片側は死角車両が存在し、その反対側は回避スペースがないため、ブレーキによる回避方法をドライバーは行わなければならない、ステアリング回避行動を期待できないためである。ステアリングによる回避回数について、カイ二乗検定を行った結果、 $\chi^2(2)=8.947, p<0.05$ で主効果が有意であった。ライアン法にて多重比較を行ったところ、DAMS と EDAMS の間で有意であった。

表 4.3 ステアリング回避回数

	NON	DAMS	EDAMS
ステア回避回数	115/120	53/60	60/60

つまり、ドライバーは EDAMS を使用した場合、積極的にステアリングによる回避行動を取ることができることがわかった。ステアリングによる回避行動を積極的にとれることにより事故回避の可能性が向上すると考えられる。EDAMS のステアリング回避回数の増加の要因について、ランプによる素早い判断の結果と考えられる。そこで、前方車両の急減速および障害物が現れてから、ステアリングを 5 度以上操作するまでの反応時間を調べた(図 4.8)。反応時間について支援条件を要因とした分散分析を行った結果、主効果は確認されなかった。この結果は、支援なしの場合や DAMS 使用時と比べて、EDAMS 使用時の反応が早いということを主張するものではなく、むしろ同等かやや遅いことを意味する。

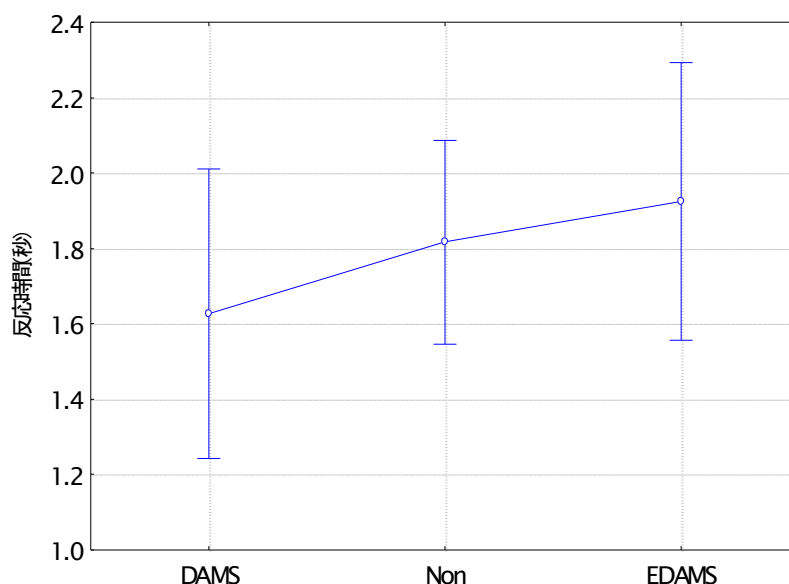


図 4.8 反応時間

つまり、EDAMS のステアリング回避回数の増加の要因は、ランプによる素早い判断の結果ではなく、単純にランプにより、死角域の状況認識が DAMS 以上に的確に行えている結果だと考えられる。

4.8.4 有効性の主観評価

実験参加者に全走行終了後、DAMS、EDAMS について有効であるかどうかをアンケートによってたずねた。その結果は図 4.9 のとおりとなり、ウィルコクソンの順位和検定の結果、有意な差はなかった。すなわち、DAMS、EDAMS 両方に主観的な違いはないという結果になった。このことから、ドライバーの支援を使用した印象としては、事故防止の有効性は DAMS、EDAMS とともに変わらないことがわかる。

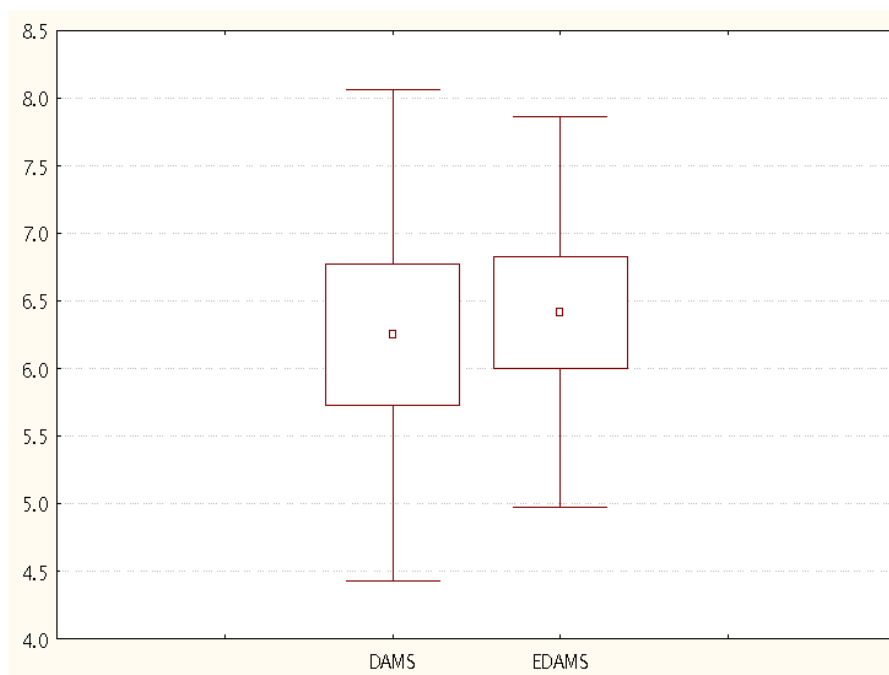


図 4.9 有効性

4.9 本章まとめ

本章の実験の結果，死角車両との事故件数より DAMS，EDAMS とともに事故防止に有効であった。すなわち，DAMS，EDAMS を使用すれば，前方障害物回避という時間的制約の厳しい場面においても，状況認識を的確に支援できることを確認できた。加えて，ステアリングによる回避回数の結果より，EDAMS の方が事故回避の可能性が高いことが示唆された。

一方，前方障害物との事故件数については，死角車両との事故件数と同様，システムを使用した場合の方が，事故防止の有効性が高いと予想していたが，ミラーが動いたり，EDAMS のランプにより，必要以上にランプやミラーに注意を向けてしまい，事故防止の有効性が確認できなかった。

本章の実験の結果として，死角車両との事故防止という点で，ダイナミックにミラーを回転させる支援は，前方障害物回避時の死角車両との事故防止に有効であること，そして，ステアリングの回避回数から，EDAMS の方が前方障害物回避という場面では，有用な支援システムであると言える。

第5章 ドライバー受容性

5.1 本章の目的

本研究で提案しているシステムは、ミラーをダイナミックに動かすという通常とは違った状況であるため、ドライバーの主観的評価から、受容性に関わる「理解度」「ミラーの映し出している場所の把握」「状況認識しやすさ」について調べることは重要である。まず、システムに対する理解が十分であるかどうかについて、システムがどのように動き、どのような機能を持っているかを理解できない場合は、オートメーション・サブライズ [32]が発生し、事故へとつながる恐れがある。本研究で提案する支援システムはミラーをダイナミックに動かすため、システムの基本的な動きや機能に加え、特に、ミラーがどこを映しだしているかが理解できるかも重要である。そして、死角域の状況認識を確保する支援として、根本的にドライバーがシステムによって、状況認識がしやすかったかどうか、支援の評価として重要である。

上記の、受容性に関わる3点について調査するために、ドライビングシミュレータを用いて実験を行った。実験装置は前述した2つの実験と同様のものを使用した。

5.2 実験参加者

実験には、普通自動車免許を保有する11名(18才～36才、平均年齢23.2才、年齢標準偏差6.0、男性8名、女性3名)が参加した。参加者には1時間あたり820円を謝礼として支払った。また実験開始前に実験に関する説明を書面で行った上で、参加者からインフォームドコンセントを得ている。

5.3 メインタスク

実験参加者には、直線とカーブ(曲率半径:200m, 300m)で構成された片側2車線の1周約6kmの高速道路環境が模擬されたコースを、できるだけ左車線を用いて時速80km/hで走行すること、前方に自車両よりも低速な車両がいた場合は追い越し、追い越し終了後、速やかに左車線へ戻るように教示した。なお、今回の実験では、実験参加者間でほぼ同じタイミングでイベントを経験させるため、80km/hでスピードリミッターが動作するようにした。

また，他車両の存在を知るための情報としては視覚情報のみがあたえられ，エンジン音などで他車両の存在を知ることはできないようにした．

5.4 発生イベント

本実験にて，ドライバーの受容性を調べる上で，通常的車線変更での場面を対象とする．発生イベントは全部で**5**種類あり，第**3**章の実験よりもイベントに多様性を持たせ，隣車線の状況を認識するのが難しい，または，誤解を起こしそうなイベントを組み込んだ．

5.4.1 イベント 1

自車が走行中，後方より追い越し車線を走行する**2**台の車両が現れる．前方の合流部より低速車両が自車の前に現れ，それと同時に**BSV**が自車の死角には入る．その後，**BSV**が加速して行く(図 5.1)．

本イベントは，隣車線に，**2**台の車両が自車に接近し，それと同時に前方に注視が必要な場面である．そのため，ドライバーが，今，隣車線がどのような状況なのかを迷ってしまう可能性がある場面となっている．

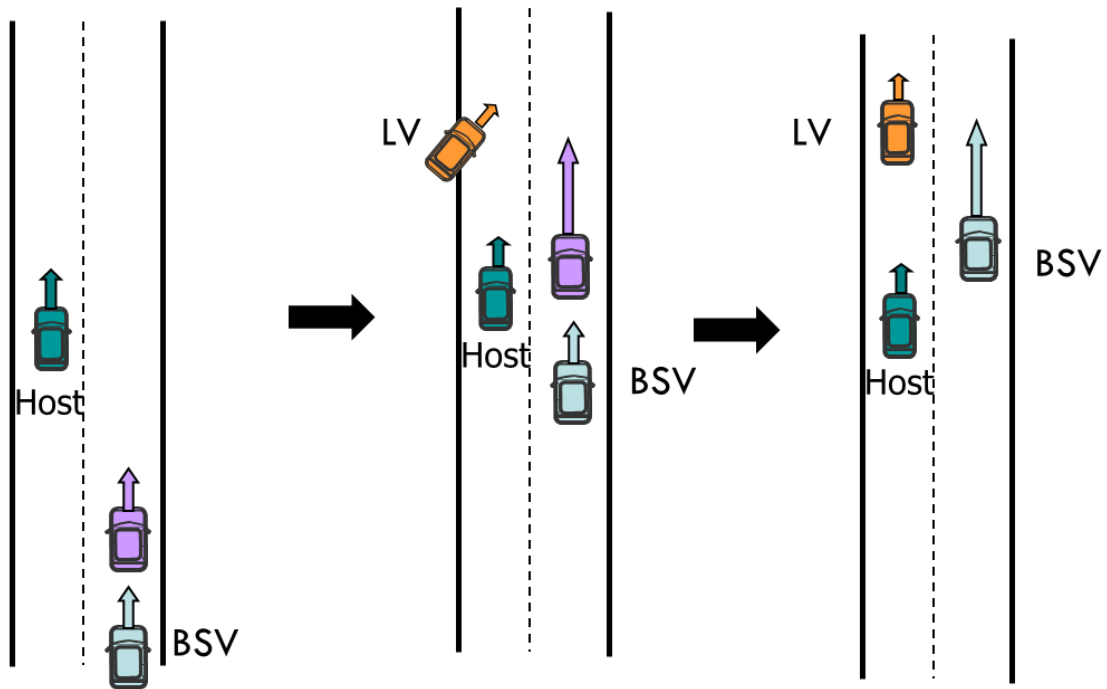


図 5.1 イベント 1

5.4.2 イベント 2

前方に低速車両と大型車が現れる。また、追い越しレーンに 3 台の車両が並走する形となる。その後、大型車は、サービスエリアへ入る。そうすると、自転車から低速車両が見えるようになり、追い越しレーンの 3 台が加速する。その過程で BSV が自転車の死角に入る(図 5.2)。

本イベントはイベント 1 と同様に、前方注視が必要となる場面で、イベント 1 よりも隣車線の車両台数が多く、ドライバーが、今、隣車線がどのような状況なのかをより迷ってしまう可能性がある場面となっている。

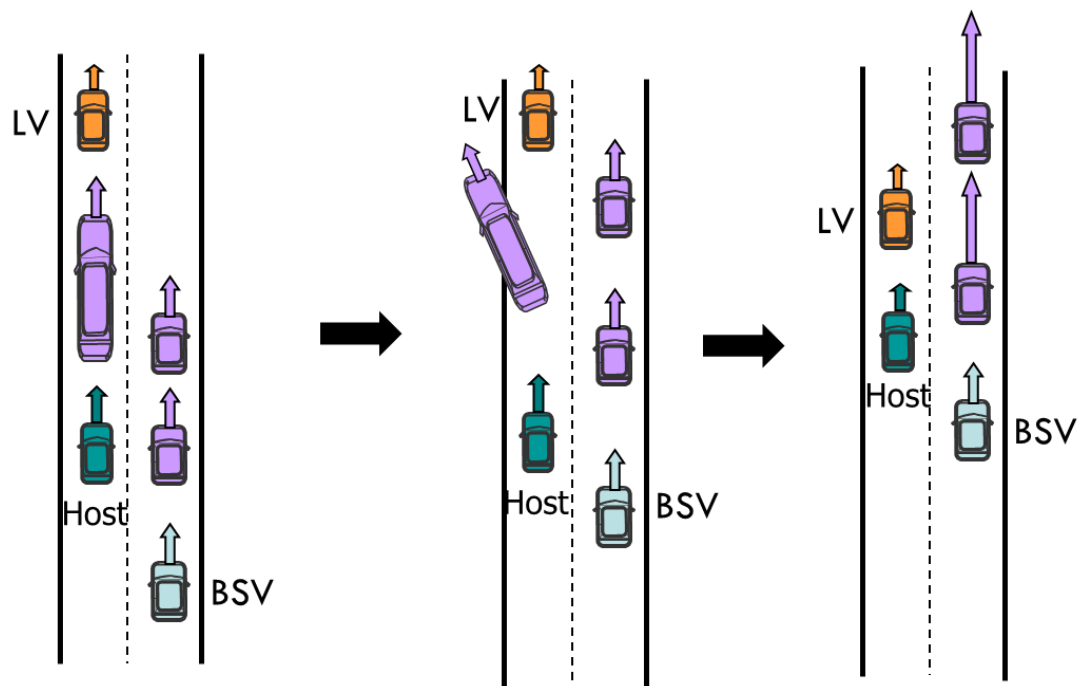


図 5.2 イベント 2

5.4.3 イベント 3

自車が走行中、後方より、自車とおなじ走行レーンに 1 台、追い越しレーンから 2 台が自車に接近する。その後、合流部より低速車両が自車の前方に合流する。それと同時に自車の後方車が追い越しレーンに車線変更し、追い越しレーンの 3 台が加速する。その過程で、BSV が自車の死角に入りこむ(図 5.3)。

本イベントは、最初、隣車線には 2 台の車両が自車に接近するが、前方に注視する状況が発生すると同時に、自車の後方にいた車両が隣車線に車線変更し、死角域に入りこむため、どの車両が死角域にいるのか、判断が難しい場面となっている。

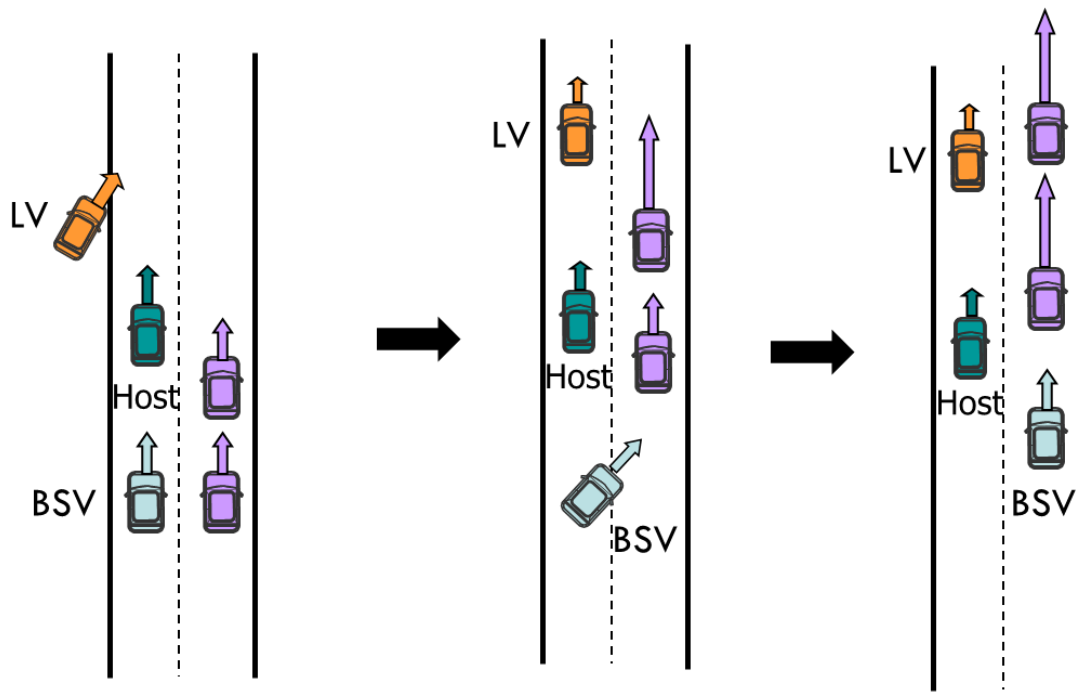


図 5.3 イベント 3

5.4.4 イベント 4

自車が走行中、追い越しレーンに3台の車両が現れ、3台が自車と並走する。その後、自車の前に低速車両が現れる。追い越しレーンの車両はそのまま走行し、車両 BSV が自車の死角に入りこむ(図 5.4)。

本イベントは3台の車両と長時間並走する。そのため、継続してどの車両が死角域に存在するのかを迷う場面であり、EDAMS を使用した場合は、ランプが頻繁に点灯消灯を繰り返すため、ドライバーの運転を邪魔してしまう可能性がある場面となっている。

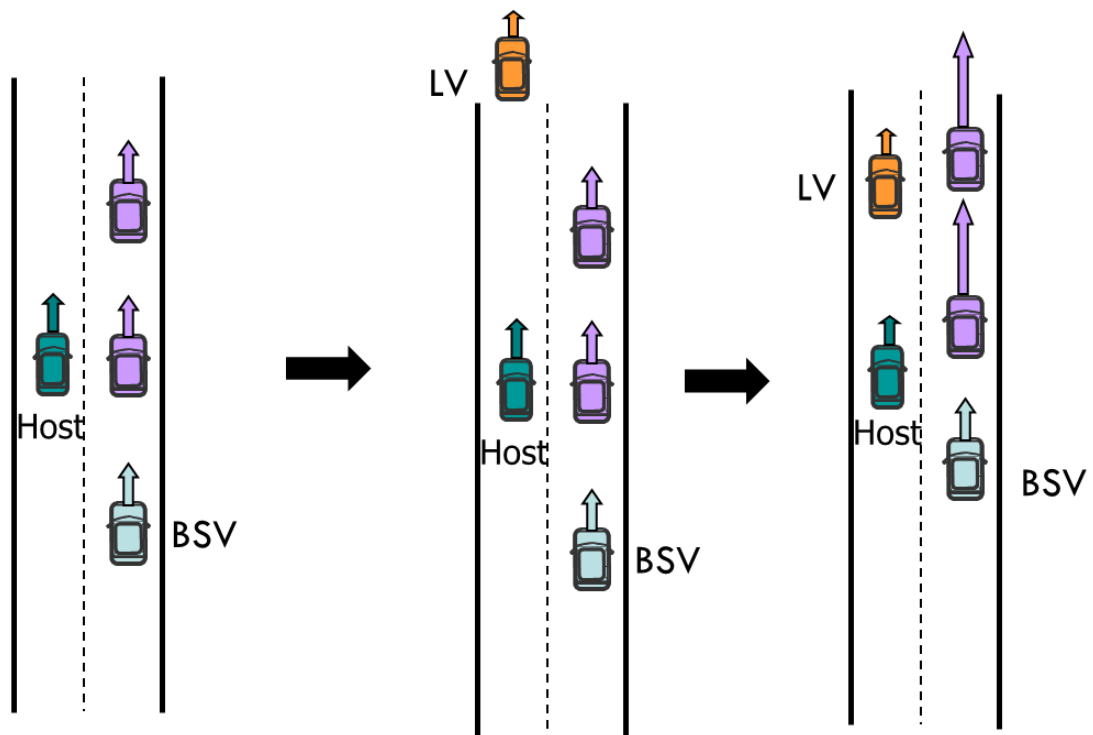


図 5.4 イベント 4

5.4.5 イベント 5

まず低速車両が前方に現れる。それと同時に、追い越しレーンから BSV が近づき、自車の死角に入り、その後、再び加速する(図 5.5)。

本イベントは、もっともシンプルな死角に車両が入り混む場面であり、ドライバー受容性を調査する上で基本となる場面である。

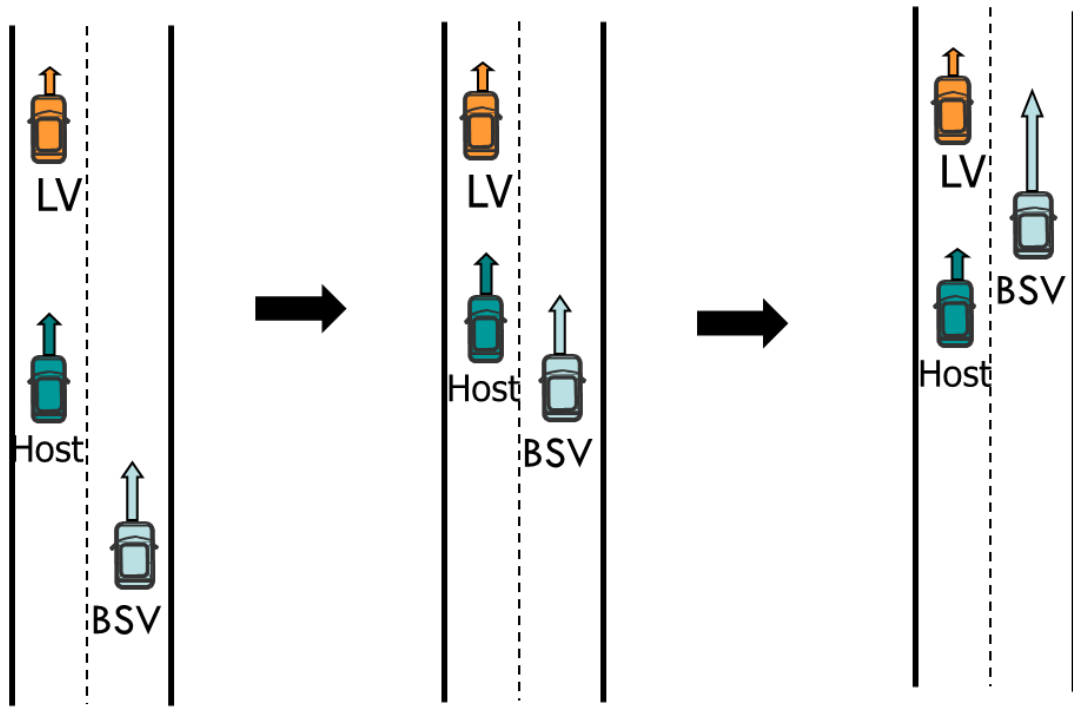


図 5.5 イベント 5

5.5 実験計画と手順

本実験では、支援形態（支援なし、DAMS、EDAMS）を要因とし、支援形態要因は実験参加者内要因とした。また、順序効果を相殺するために、実験参加者をランダムに4グループ(I～IV)に分けた。4グループの走行順を図 5.6 に示す。

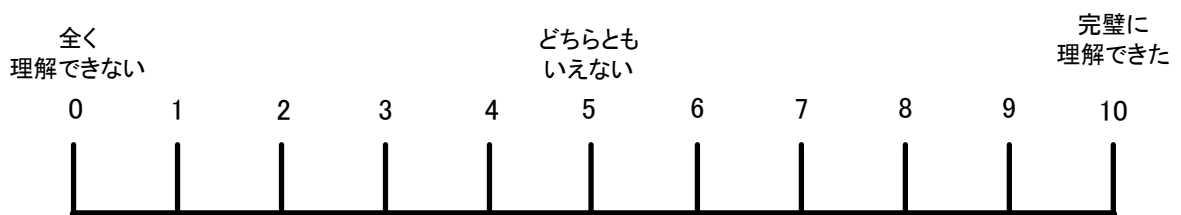


図 5.6 実験順序

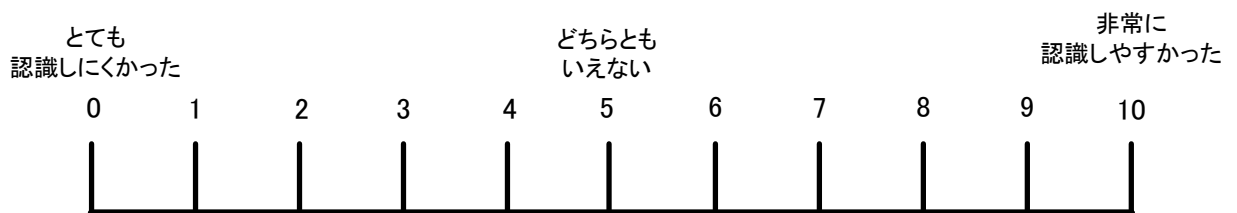
5.6 評価指標

実験参加者には走行毎に、その走行での主観評価をアンケートを用いて行わせた。実験参加者へのアンケートを以下に示す。

■今回までの走行で、システムの動作をどの程度理解できたと思いますか。（どのような時に動作し、どこがミラーに映っているか）



■今回の走行でシステムを使用した際、死角域にいる車両を認識しやすかったですか。

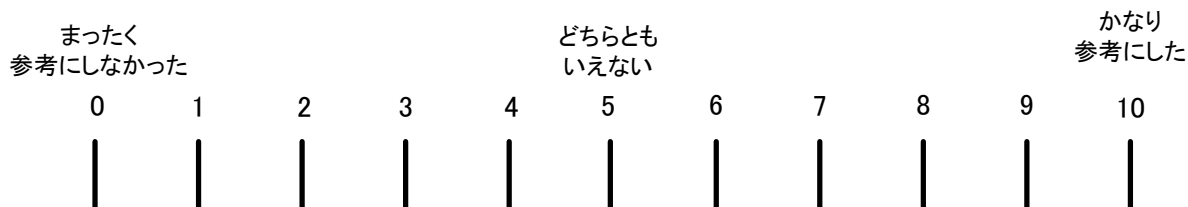


■今回の走行でシステムが作動した際に、どこがミラーに映っているか分からなかった場面がありましたか。

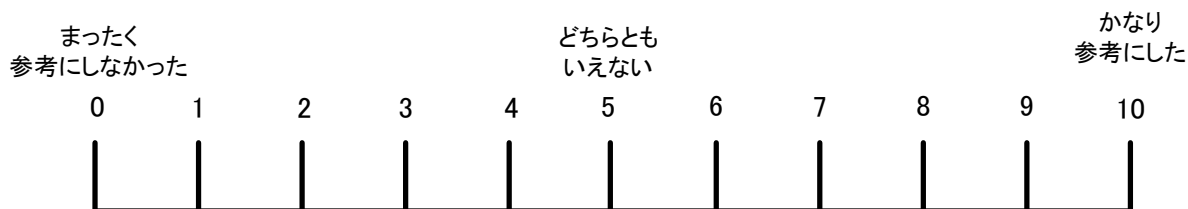
あった ・ なかった

また、EDAMS を使用した走行では以下のアンケートも行った。

■ ランプの点灯をシステムが動作しているかどうかどの程度参考にしましたか.



■ 車線変更しない時もランプが点灯するのが気になりましたか.



全ての走行が終了した後、以下のアンケートも行った.

■ 支援ありの場合、どちらが使いやすかったですか.

ランプなし ・ ランプあり

■ この支援システムが、もし市販されていたら、使ってみたいと思いますか.

使ってみたい ・ 使いたくない

5.7 実験結果と考察

5.7.1 理解度

図 5.7 はグループ I と II の理解度の時系列変化を示す. グラフの 1 から 8 走行目までが EDAMS での走行であり, 9 から 13 走行目までが DAMS の走行となっており, 1 から 3 走行目までが 1 日目, 4 から 8 走行目までが 2 日目となっており, 9 から 13 走行目までが 3 日目である.

図 5.8 はグループⅢとⅣついで理解度の時系列変化を示す。グラフの 1 から 8 走行目までが DAMS での走行であり、9 から 13 走行目までが EDAMS の走行となっており、1 から 3 走行目までが 1 日目、4 から 8 走行目までが 2 日目となっており、9 から 13 走行目までが 3 日目である。

両グラフとも、走行を重ねるごとに理解度が上昇しているのが読み取れる。このことから、DAMS, EDAMS の仕組みや、どのような動きをするかを理解するのは容易であり、支援システムを利用する上で問題ないことがわかる。また、本実験ではドライバーは DAMS, EDAMS 両方の支援システムを経験するが、システムが切り替わっても変わらない理解度を維持しており、ダイナミックにミラーを動かすという支援形態を十分理解できていることがわかる。

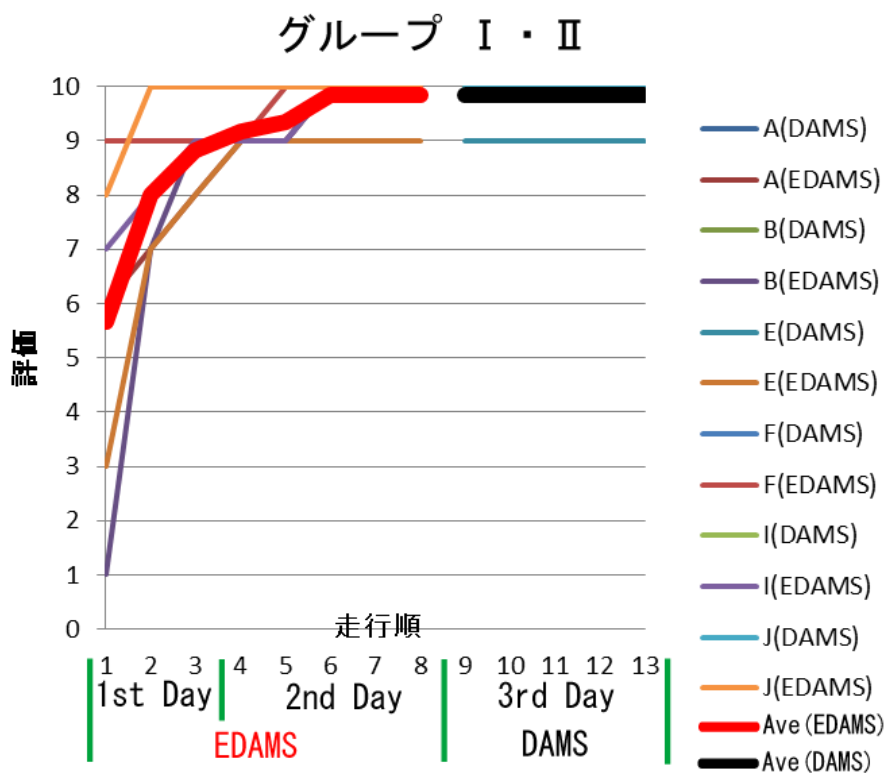


図 5.7 理解度(グループ I・II)

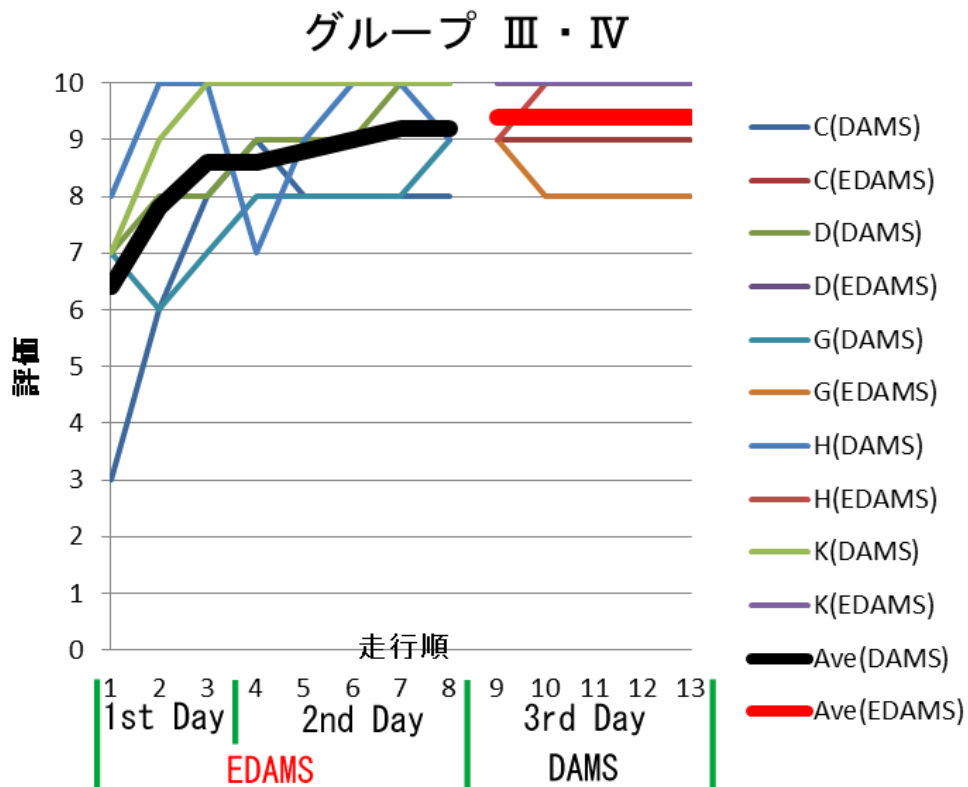


図 5.8 理解度(グループIII・IV)

5.7.2 認識しやすさ

図 5.9 はグループ I と II の認識しやすさについての時系列変化を示す。グラフの 1 から 8 走行目までが EDAMS での走行であり、9 から 13 走行目までが DAMS の走行となっており、1 から 3 走行目までが 1 日目、4 から 8 走行目までが 2 日目となっており、9 から 13 走行目までが 3 日目である。

図 5.10 はグループ III と IV についての認識しやすさについての時系列変化を示す。グラフの 1 から 8 走行目までが DAMS での走行であり、9 から 13 走行目までが EDAMS の走行となっ

ており、1 から 3 走行目までが 1 日目、4 から 8 走行目までが 2 日目となっており、9 から 13 走行目までが 3 日目である。

両グラフとも、おおむね走行を重ねるごとに認識しやすさが上昇しているのが読み取れる。しなしながら、8 走行目のように大きく評価をおとしている所がある。この走行はイベント 3 とイベント 4 を含む走行であり、長時間追い越し車線の車両と並走する場面となっている。その際に、例えば、支援が働きミラーには 2 台目が映っているが、本当は 2 台目の車両より後ろにいる 3 台目をドライバーが見たかったなどが原因ということが実験参加者のコメントから伺えた。つまり、複数台の車両が存在した場合、支援システムによる認識のしやすさが低下する場合があることがわかった。

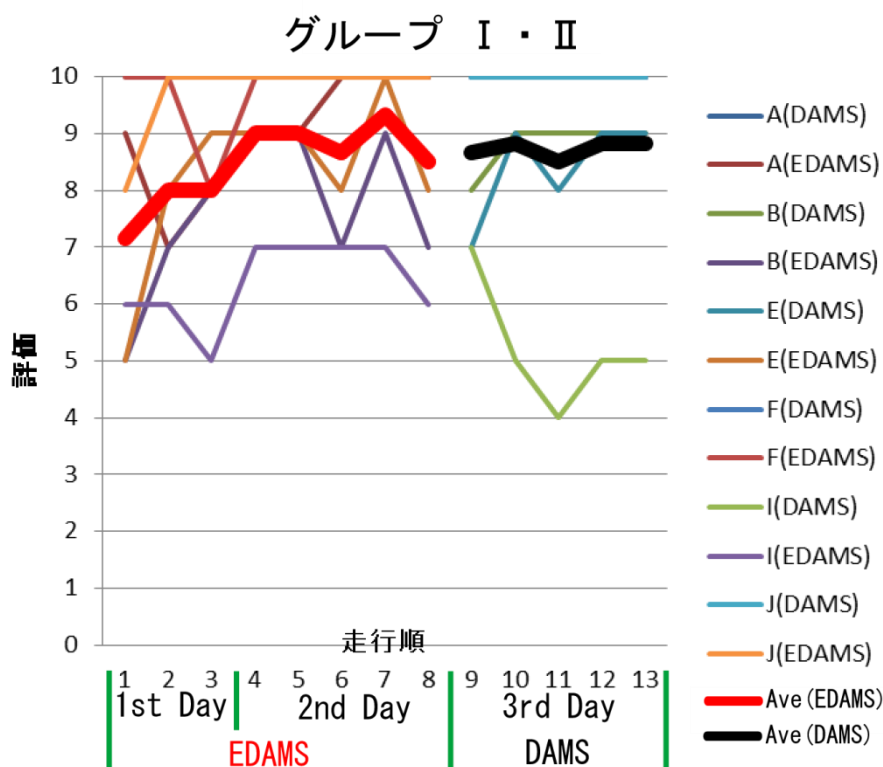


図 5.9 認識しやすさ(グループ I・II)

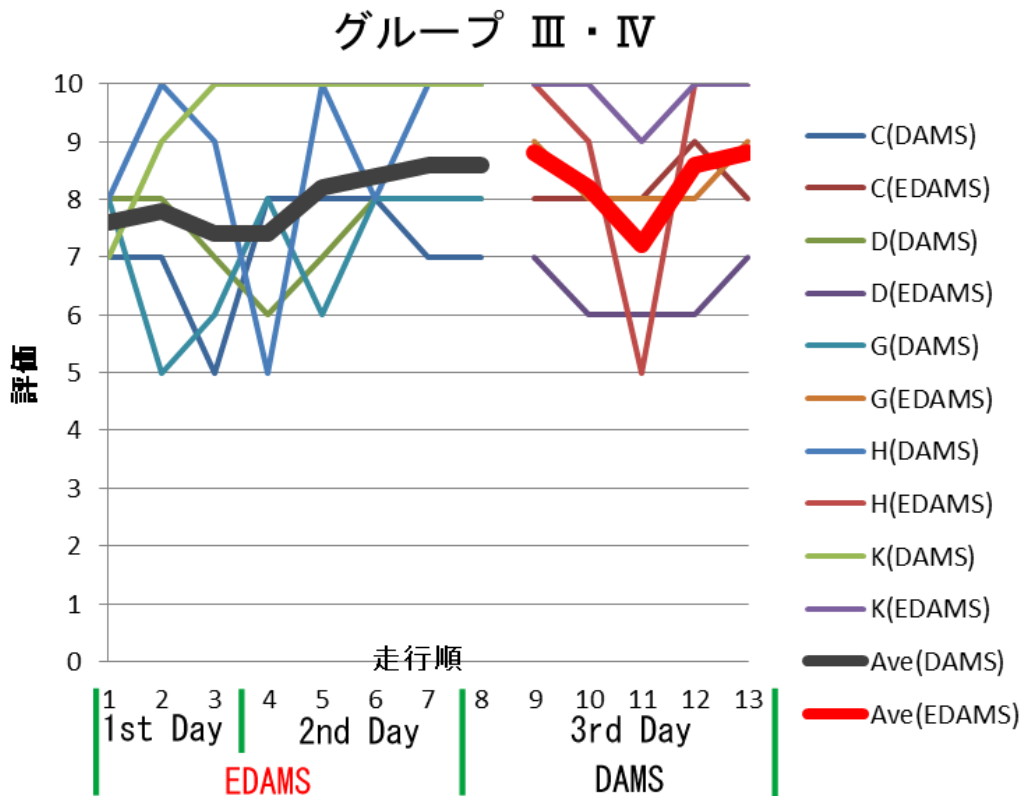


図 5.10 認識しやすさ(グループ III・IV)

5.7.3 混乱

表 5.1 は、各実験参加者の各走行において、ミラーがどこを映しているかわからなくなってしまうことがあったかどうかを、実験参加者にたずねた結果をまとめたものである。つまり、ミラーが回転することによって、混乱が発生したかどうかである（混乱があった走行で、イベント 3 とイベント 4 を含む走行のものは赤で表示してある）。なお、表中の空白部分は、実験参加者の回答漏れによるものである。混乱したと答えたほとんどが、複数台車両のイベントを有する走行であり、混乱したと答えた走行中 15 走行がイベント 3 とイベント 4 を含む走行であり、特に支援システムを利用する経験が浅い 3 走行目では、11 人中 7 人が混

乱したと答えた。実験参加者のコメントから、特にイベント4の直前まで3台の車両が長時間並走をする場面で混乱しているようであった。イベント4は、同じ色の同じ車種の車が複数並走していたのが原因だと考えられる。

このことから、車両が連続して存在した場合に、ドライバーは混乱してしまう可能性があり、さらに一歩進んだ支援、例えば、鳥瞰的な視点でドライバーに情報提供を行うことや、ランプの点滅により、現在ミラーに映っている車両よりも後ろに車両が存在することを知らせるなどの情報提供の形が必要となる可能性がある。

表 5.1 各走行における混乱

混乱 0:なかった 1:あった	実験参加者											イベントタイプ
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1 走行目	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	イベント1,イベント2
2 走行目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	イベント5
3 走行目	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	イベント3,イベント4
4 走行目	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	イベント5
5 走行目	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	イベント3,イベント4
6 走行目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	イベント1,イベント5
7 走行目	0	0	1	0	0	0		0	0	0	1	イベント1,イベント2
8 走行目	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	イベント3,イベント4
9 走行目	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	イベント5
10 走行目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	イベント1,イベント2
11 走行目	1	0	0	0	1	0		0	0	0	0	イベント3,イベント4
12 走行目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	イベント1,イベント5
13 走行目	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	イベント1,イベント2

5.7.4 ランプについて

図 5.11 は、ランプの点灯をミラーが回転しているかどうかというのを判断するのにどの程度参考にしたかについての主観評価を各走行および実験参加者ごとに示したものである。1 走行目から 8 走行目は実験参加者グループ I および II であり、9 走行目から 13 走行目は実験

参加者グループⅢおよびⅣのデータである。全体としては上昇傾向にあり、走行を重ねるにつれてドライバーは、システムの動作の有無の判断にランプの情報を使用していることがわかる。

ミラーの動作の有無を知らせるのは、ドライバーが判断を行う上で、重要なファクターとなることがわかった。

第3章における実験では、ランプは事故防止に寄与でなかった。しかしながら、EDAMSをドライバーが使用した場合は、ランプによる情報で車線変更するかどうかの判断をおこなっていたこと、第4章における実験では、ランプによつて的確な状況認識が向上していたことから、ランプがドライバーの行動に対する重要なファクターとなっている結果と整合している。

第4章における状況認識の向上および本章実験結果のランプの使用状況から、支援システムへランプを付加する意義はあると言える。しかし、第3章における有効性が確認できなかったことへの改善として、ランプの位置や形態を今後検討する必要がある。

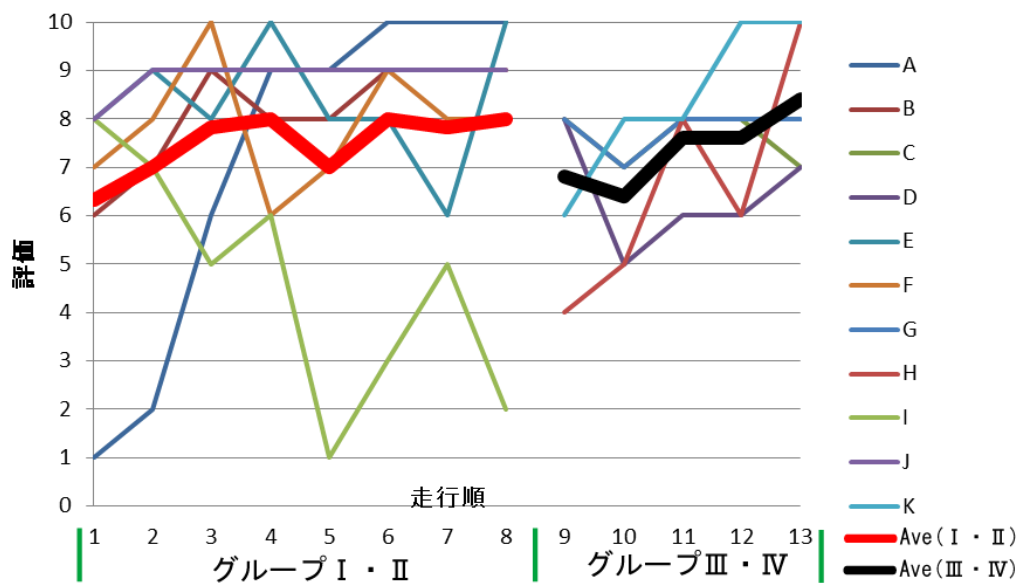


図 5.11 ランプの参考度合い

一方、ランプによつての通知は、ドライバーが車線変更を意図しない場合に煩わしい物となつてしまう恐れがある。

そこで、実験参加者に、車線変更を行わない場合のランプの点灯（追い越しなど）が、気になつたかどうかについてたずねた(図 5.12)。1 走行目から 8 走行目は実験参加者グループ I および II であり、9 走行目から 13 走行目は実験参加者グループ III および IV のデータである。全体的に、減少傾向にみられ、ランプに慣れていっているように思われる。しかしながら、4 走行目と 8 走行目で値が上昇している。この走行は両方ともイベント 3 とイベント 4 を含む走行であり、3 台の車両が並走するシナリオを含むものである。そのため、並走中にランプが点灯し続けるまたは、頻繁に点灯したり消灯するために、ドライバーが気になつたためと考えられる。同様に、13 走行目もイベント 3 とイベント 4 を含む走行であり、半数のドライバーの値が上昇している。

ドライバーにとって、車線変更の意図をしない場合でも、ほとんどの場合、ランプは気にならないが、状況によっては、少し煩わしく感じてしまう場合があることがわかつた。

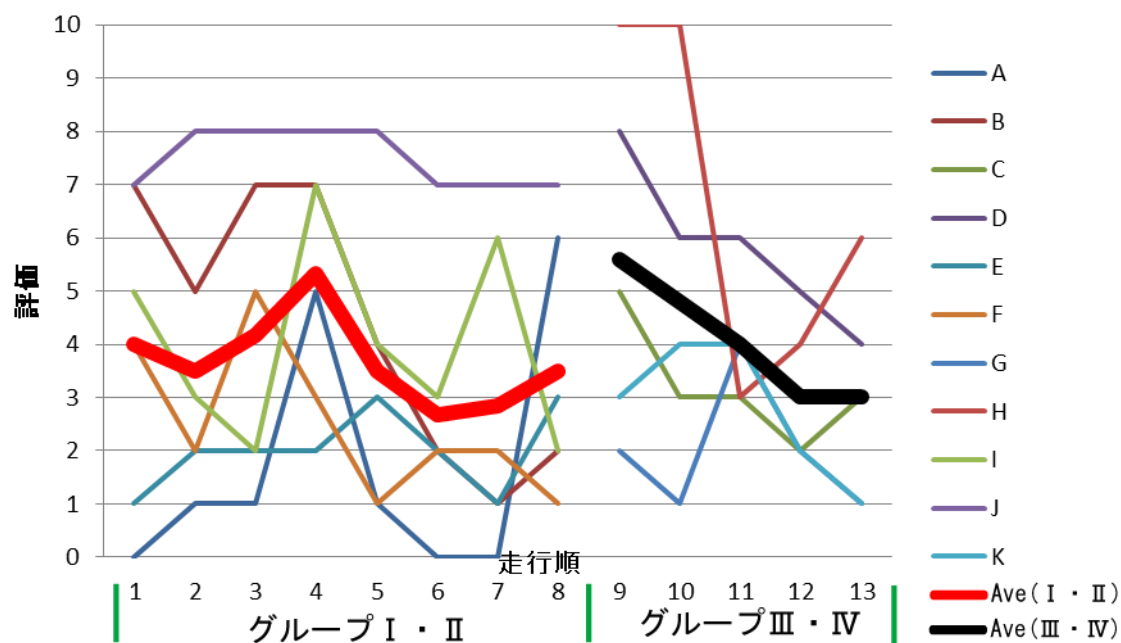


図 5.12 ランプが気になったか

5.7.5 利用性

EDAMS と DAMS のどちらが使いやすかったかを各実験参加者に、全ての走行終了後にたずねた結果、表 5.2 のようになった。11 人中 8 人が EDAMS を選択し、3 人が DAMS を選択した。次に、使いやすかった支援が実際に市販されていた場合、使ってみたいかどうかを聞いた。その結果 11 人中 10 人が支援を使ってみたいと答えた。

表 5.2 各実験参加者の利用性の評価

実験参加者	支援	使用希望の有無
A	EDAMS	使ってみたい
B	DAMS	使ってみたい
C	EDAMS	使ってみたい
D	DAMS	使いたくない
E	EDAMS	使ってみたい
F	EDAMS	使ってみたい
G	EDAMS	使ってみたい
H	EDAMS	使ってみたい
I	EDAMS	使ってみたい
J	EDAMS	使ってみたい
K	DAMS	使ってみたい

5.8 本章のまとめ

実験の結果、ドライバーは、走行を積み重ねることで、DAMS、EDAMS 両システムともに十分に理解を得ることができた。また、ドライバーは走行を重ねることで、システムを利用し、認識しやすいと感じており、上手く支援システムを利用している。加えてドライバーは DAMS よりも EDAMS の方が良い支援だと感じている。

このことから、本研究で提案する DAMS、EDAMS はドライバー受容性を十分確保していると言える。

しかし、複数車両が連続する場合など、交通環境によっては他車両が認識しづらいと感じる場面が存在することがわかった。また、複数の車両が存在する場合には、EDAMS の普段は邪魔ではなく、むしろ必要と感じているランプが邪魔と感じてしまう。しかしながら、ドライバーの最終的な評価として、多くのドライバーが EDAMS 支援を使用してみたいと答えている。よって、EDAMS のランプが支援システムの受容性を大きく低下させている要因とはなっておらず、第 4 章の実験結果からも、ランプは状況認識を的確に確保する支援として重要な要素となっている。ランプを付加する意義はあると言える。

第6章 まとめ

車線変更は、複数の車両が関係するため、簡単なタスクではない。そのため、いくつかの支援システムが知覚・認知、判断、操作の各段階において、研究開発および実用化されている。車線変更において状況認識レベル 2 以上の適切な状況認識を得ることは重要である。また、判断、操作の段階においても適切な状況認識を得ることが難しい場合、支援が有効に働かなくなる。しかし、死角に存在する車両に対する、状況認識レベル 2 以上の適切な状況認識を得ることをサポートできる支援システムがないのが現状である。そこで、本研究では、状況認識レベル 2 以上の適切な状況認識を得ることができる支援システムを提案した。

本研究では、サイドミラーの死角に車両が存在する際に、サイドミラーをダイナミックにヨー方向に回転させ、死角に存在する車両の認識をサポートする支援システム DAMS を提案した。また、DAMS はミラーが回転しているかどうかを明示的に通知しないため、ドライバーが支援状態に関して混乱してしまう懸念があったため、サイドミラーが回転している際にミラー横に取り付けたランプを点灯させる、EDAMS も提案した。

上記のシステムを、通常車線変更の場面および前方障害物回避の場面での事故防止の有効性を評価した。加えて、ドライバーの受容性についても評価をおこなった。

6.1 通常車線変更の場面における評価

通常車線変更の場面における事故防止の有効性について、ドライビングシミュレータを用いて実験を行った。

実験の結果、最小車間距離の結果から DAMS が有効であることがわかったが、EDAMS は有効性が確認できなかった。一方、ドライバーはランプのような状況認識レベル 1 のわかりやすい支援を求めていることがわかった。

6.2 前方障害物回避の場面における評価

前方障害物回避の場面における支援システムは、現状、隣車線について考慮しているものがない。そこで、本研究で提案するシステムが、前方障害物回避という時間的制約が厳しい場面において、隣車線の状況認識の支援が可能ではないかと考え、ドライビングシミュレータを用いて実験を行った。

実験の結果、DAMS、EDAMSともに死角車両への事故防止が有効であることが確認された。加えて、EDAMSの方がステアリング操作による事故回避を行える可能性が高いことも示唆された。一方で、前方への事故回避の可能性も向上すると期待したが、ミラーが動くことや、ランプが点灯することにより、必要以上にランプやミラーを見てしまったため、支援なしと同様の事故回避結果となった。

6.3 ドライバー受容性

システムへのドライバーの受容性についてドライビングシミュレータを用いて調査を行った。

調査の結果、ドライバーは走行を重ねることによって、システムを十分理解し、上手く支援を使用していることがわかった。また、ドライバーはDAMS、EDAMSともに使用してみた場合に、最終的にEDAMSの方が良い支援だと評価している。一方、ダイナミックにミラーを動かすという支援方法には、例えば、隣車線に車両が複数台連なっている場合などに、システムにより後側方車両の認識がしづらく、EDAMSの場合、車線変更の意図がない場合に、ランプが少し煩わしく感じる場面があることが確認された。しかし、ドライバーの多くがEDAMSが良い支援だと答えており、また使用したいとも答えていることから、ランプが支援システムの受容性を大きく低下させている要因とはなっていない。また、第4章の実験結果からも、ランプは状況認識を的確に確保する支援として重要な要素となっており、ランプを付加する意義はあると言える。

6.4 結論

評価の結果として、通常的車線変更における場面では、EDAMSの有効性が見られなかったが、前方障害物回避の場面ではEDAMSの方が事故防止の有効性が高いことが示された。また、ドライバーはEDAMSの支援形態を好んでいる。このことから、ダイナミックにミラーを回転させることによる、死角車両の認識支援は有効であり、結論として、DAMSにランプを付加したEDAMSを使用すべきであると言える。ただし、ランプの位置については改良する必要がある。通常的車線変更の場面では、EDAMSを使用した場合、ドライバーの視認確認行動がランプで止まってしまったことが、EDAMSの有効性が見られなかった要因である可能性がある。そこで、本実験では、ランプをミラーの内側に設置したが、例えば、ラン

プをミラーの外側に設置することで、後側方確認行動の過程で、ミラーが自然に目に入るようになり、通常の変車線における EDAMS の有効性が高まることが期待できる。

また、本研究で提案したシステムと、現在の支援システムを組み合わせることにより、総合的に高い安全性を実現できると考えられる。まず、ACC と併用した場合を考えてみる。

ACC と本研究の支援システムを使用することにより、縦方向の制御は ACC が行うことで、本研究の支援システムを使用して、後側方の状況認識をより簡単に行える。また、ACC には、前方車両が急減速した際に、自車も減速を行うが、減速度の限界値（物理的な限界ではない）が存在する。ACC の減速の限界値に達してしまう場面において、本研究の支援システムを使用することにより、後側方の状況認識が向上し、安全に回避行動を行うことが期待できる。

次に AEB と併用した場合を考える。

前方障害物回避の場面において、前方障害物に対する事故割合は提案システムありと支援システムなしとでは変わらないという結果であった。しかし AEB を使用することによって、衝突までの余裕時間が長くなる。また、EDAMS を使用した場合には、ステアリングによる回避行動が取りやすくなる。この 2 つのことから、長くなった衝突余裕時間の間に支援システムを使用し隣車線の状況認識を行い、ステアリングで回避を行う。これによって、死角車両との事故および前方車両との事故も減少することが期待できる。

6.5 今後の課題

・ランプの位置に関する検討

第 3 章の実験結果から、ランプが事故防止の有効性へと寄与できなかった。本実験では、ランプをミラーの内側に設置しているため、ドライバーがミラーまで目視による確認行動をとらなかったことが原因として考えられる。そこで、ランプをミラーの外側に配置することで、隣車線の状況認識を行う際に、ランプを見ようとすると自然にミラーも目視する状態となると考えられる。1.5.1 節で述べた LCDAS のシステムの 1 つである RVM (Rear Vehicle Monitoring system) では、車両の存在を通知するランプをサイドミラーの外側に配置しており、通知ランプの確認とミラーによる直接の目視が自然に行えることを狙っている [59]。実際に製品化された支援システムでも、ミラーの外側にランプを設置している場合があることなどからも、ランプの位置の改良を行う事で、EDAMS の状況認識の確保が向上することが期待でき、今後評価する必要がある。

・左右の支援形態

第3章の実験結果の通り、左ミラーに対する支援の有効性は確認できず、左右で違った形態の支援が必要である可能性が示唆された。左右のサイドミラーのドライバー行動を考えると、右サイドミラーは頭を大きく動かさなくとも、サイドミラーの確認ができる。一方、左サイドミラーについては、頭をある程度動かさなくてはミラーの確認ができないといった違いがある。今後、左側の死角域の状況認識確保の支援形態についてどのようなものが良いのか検討する必要がある。

・評価場面の多様化

本研究では、提案する支援システムを評価する上で、最低限必要と考えられる場面を取り上げてはいるが、さらなる多様な場面での評価を行う必要がある。また、今回、複数の車両が存在する場合に、ミラーによる認識がしづらい場面や、ランプが邪魔となってしまう場面が存在することがわかった。本研究では、隣車線の車両は最大で3台となっており、より多数の車両が存在する場合のドライバーの運転行動評価を行うことは重要である。

・実験参加者数および実験参加者属性の拡充

本研究における3つの実験において、実験参加者数が多いとは言えない。また、実験参加者の属性として、高齢者層での評価ができていない。今後、提案した支援システムを実用化する上では、実験参加者を拡充しての評価実験が重要といえる。

・実車による検証

本研究では、シミュレータ上での、支援システムの有効性については評価を行うことはできた。しかしながら、シミュレータ上でのサイドミラーは液晶ディスプレイにて代用しているなど、実車を忠実に再現しているとはいいがたい。よって、支援システムを実用化する上では、実車による評価実験が必須となる。また、実際の鏡による隣車線の状況認識を人間がどの程度正確に（距離や相対速度）できているのかを、調査することは重要な評価項目の1つと言える。

謝辞

本論文をまとめるにあたり，多くの方のご助力をいただいたことに感謝いたします。

特に，伊藤誠教授および稲垣敏之教授には，長くにわたり，ご指導していただき感謝いたします。

伊藤誠教授には，学類1年生の頃から，クラス担任として，指導教員として，主査として，私の11年間の全大学生活においてご指導いただきました。研究のご相談，ゼミ等で，不十分な成果に対しても正確で，優しさのある指摘をいただきました。伊藤先生の優しさがなければ本論文の完成までたどり着けなかったと思っています。感謝いたします。

私が，現在の大学そして，研究室を選んだのは稲垣敏之教授がきっかけでした。ふりかえてみると，この大学，研究室を選べた事はとても幸せに感じます。稲垣先生の精力的な研究活動に，私は大いに刺激されました。研究者とはどういうものなのかというのを，言葉で，行動で示し教えていただきました。感謝いたします。

認知システムデザイン研究室の皆様にも感謝を申し上げます。私が在籍した，約8年間，とても楽しく研究活動が行えました。周慧萍氏には，先輩として，研究および本論文をまとめるにあたり，多くのアドバイスをいただきました。山本(旧姓:竹田)和美氏および梶順子氏には，研究を進める上での様々な手続きに関してご助力いただき，研究室生活においても楽しく過ごせるようご配慮いただけたことに感謝いたします。

博士論文審査の副査をお引き受けいただいた，宮本定明教授，遠藤靖典教授，亀山啓輔准教授には，審査の過程において，本論文のいたらない点についてご指導，ご助言を頂戴しました。先生方の有益なご指摘により，本論文がいつそう充実したものとなりました。感謝いたします。

ソフトイーサ株式会社の方々にも，本論文を仕上げるにあたり，仕事上配慮いただいたことを感謝いたします。

最後に，長きにわたり学生という身分を許していただき，暖かく見守ってくれた家族に感謝いたします。特に，妻の智美には，生活面，精神面でのサポートに尽力してくれたことに感謝いたします。娘の柚には毎日の笑顔で活力をくれたことに感謝します。

参考文献

- [1] 警察庁, “平成 24 年度の交通事故発生状況,” 2013.
- [2] 警察庁, “平成 24 年度版警察白書,” 2013.
- [3] (独)自動車事故対策機構, “クルマの安全性ガイド BOOK,” 2013.
- [4] 富永茂, 竹内啓, 桜井実, 橋爪栄, “事故実態と自動車アセスメントの相関に関する研究,” 自動車研究, Vol. 26, No. 10, pp. 5-8, 2004.
- [5] 竹内啓, 大野祐司, “自動車の衝突安全性向上による効果—乗用車の衝突安全性能の向上による死者数低減効果の推定—,” IATSS Review, Vol. 31, No. 2, pp. 21-25, 2006.
- [6] 内閣府, “第 9 次交通安全基本計画,” 2011.
- [7] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会, “交通事故ゼロの社会を目指して,” 2008.
- [8] トヨタ自動車株式会社, “トヨタ企業サイト | プリクラッシュセーフティシステム,” [オンライン]. Available:
http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/pre_crash/.
- [9] 富士重工業株式会社, “SUBARU: スバルのクルマづくり<SUBARU SPIRIT>プリクラッシュセーフティ,” [オンライン]. Available:
<http://www.subaru.jp/about/technology/spirit/safety/pcsafety03.html>.
- [10] E. Coelingh, M. Distner, M. Bengtsson, J. Ekmark, “Challenge in Low-speed Collision Avoidance,” 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No. 56-10, pp. 1-4, 2010.
- [11] 本田技研工業株式会社, “Honda | 安全への取り組み | アクティブセーフティ | 追突軽減ブレーキ (CMBS),” [オンライン]. Available:
<http://www.honda.co.jp/safety/technology/active/cmbs/>.
- [12] マツダ株式会社, “【MAZDA】ブレーキアシスト&EBD | アクティブセーフティ技術(事故を未然に防止する),” [オンライン]. Available:
http://www.mazda.co.jp/philosophy/tech/safety/active_safety/bk_ebd.html.
- [13] フォルクスワーゲン, “「先進」の安全テクノロジー,” [オンライン]. Available:

- <http://www.volkswagen.co.jp/ja/volkswagen/technology/safety/safety3.html>.
- [14] ボルボ・カー, “先進のセーフティテクノロジー,” [オンライン]. Available: http://www.volvocars.com/jp/top/about/safety/pages/safety_technology.aspx.
- [15] 日産自動車株式会社, “インテリジェントブレーキアシスト,” [オンライン]. Available: <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/iba.html>.
- [16] Ford, “Ford Focus - The official home of the Ford Focus - Ford UK,” [オンライン]. Available: <http://www.ford.co.uk/Cars/Focus/mdp=v1204988487700>.
- [17] J. Jansson, A. Eidehall, J. Pohl, “Systems for Collision Avoidance in Road Vehicles,” Final IVSS Project Report, 2007.
- [18] 小高賢二, 小田部誠, 上地幸一, 赤羽博, “追突軽減ブレーキと E-プリテンション,” 自動車技術, Vol. 59, No. 12, pp. 79-84, 2005.
- [19] 飯島徹也, 東又章, 奥田次郎, 浅田哲也, 橋詰武徳, 溝口和貴, “車間自動制御システムの開発,” 自動車技術, No. 53(11), pp. 98-103, 1999.
- [20] 国土交通省, “車両・交通システムの安全テクノロジー: 自動車総合安全情報,” [オンライン]. Available: <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/japanese/practical.html>.
- [21] トヨタ自動車株式会社, “トヨタ企業サイト | 安全技術 | レーダークルーズコントロール,” [オンライン]. Available: http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/technology_file/active/radar.html.
- [22] 富士重工株式会社, “SUBARU: スバルのクルマづくり <SUBARU SPIRIT>,” [オンライン]. Available: <http://www.subaru.jp/about/technology/spirit/safety/pcsafety01.html>.
- [23] 本田技研工業株式会社, “Honda | 安全への取り組み | アクティブセーフティ | ACC (アダプティブ・クルーズ・コントロール),” [オンライン]. Available: <http://www.honda.co.jp/safety/technology/active/acc/>.
- [24] National Highway Traffic Safety Administration, “Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles,” 2013.

- [25] 国土交通省, “国内外における最近の自動運転の実現に向けた取組概要,” 2013.
- [26] 日産自動車株式会社, “日産自動車, 自動運転の取り組みを発表,” [オンライン]. Available: http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2013/_STORY/130828-02-j.html.
- [27] トヨタ自動車株式会社, “トヨタ自動車, 自動運転技術を利用した高度運転支援システムを2010年代半ばに導入,” [オンライン]. Available: http://www2.toyota.co.jp/jp/news/13/10/nt13_057.html.
- [28] Mercedes Benz, “Autonomous Long-Distance Drive,” [オンライン]. Available: <http://www5.mercedes-benz.com/en/innovation/autonomous-long-distance-drive-research-vehicle-s-500-intelligent-drive/>.
- [29] Audi, “Audi autonomous cars could ease driving drudgery,” [オンライン]. Available: <http://www.audi.co.uk/about-audi/latest-news/audi-autonomous-cars-could-ease-driving-drudgery.html>.
- [30] General Motors, “Emerging Technology: Driving Safety, Efficiency and Independence,” [オンライン]. Available: http://www.gm.com/vision/design_technology/emerging_technology.html.
- [31] 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－第4期ASV計画における活動成果について－,” 2011.
- [32] N. B. Sater, D. D. Woods, “How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control,” *Human factors*, Vol. 37(1), pp. 5-19, 1995.
- [33] 国土交通省, “ASVの基本理念 | 自動車総合安全情報,” [オンライン]. Available: <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/principle.html>.
- [34] 新部忠幸, 磯本和典, 末富隆雅, 佛圓哲朗, “自動車の車線逸脱防止システムの開発,” 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No. 953, pp. 53-56, 1995.
- [35] 末富隆雅, 木戸孝二, 新部忠幸, “運転者の回避特性に適合した車線逸脱警報の研究,” 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No. 973, pp. 169-172, 1997.
- [36] トヨタ自動車株式会社, “トヨタ企業サイト | 安全技術 | レーンキーピングアシス

- ト,” [オンライン]. Available:
http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/technology_file/active/lka.html.
- [37] 日産自動車株式会社, “レーンデパーチャープリベンション | 日産 | 技術開発の取り組み,” [オンライン]. Available:
<http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/ldp.html>.
- [38] フォルクスワーゲン, “Lane Assist,” [オンライン]. Available:
http://www.volkswagen.co.jp/ja/volkswagen/technology/innovation/lane_assist.html.
- [39] 本田技研工業株式会社, “LKAS (レーン・キープ・アシスト・システム),” [オンライン]. Available: <http://www.honda.co.jp/safety/technology/active/lkas/>.
- [40] 定野温, 渡辺敏之, 田中智則, 島影正康, 上沼研也, “車線維持支援装置の開発,” 自動車技術会学術講演前刷集, No. 19-01, pp. 11-14, 2000.
- [41] 大橋正樹, 屋井鉄雄, 内田智也, “高速道路走行における心理負担の計測と安全評価に関する研究,” 都市計画論文集, Vol. 35, pp. 541-546, 2000.
- [42] C. Eberhard, K. Leubkemann, P. Moffa, S. Young, R. Allen, E. Harwin, J. Keating, R. Mason, “Task1 interim report: Crash problem analysis,” Tech. Rep. DOT HS 808431, National Highway traffic Safety Administration, 1994.
- [43] J. Wang, R. Knippling, “Lane change/merge crashes: Problem size assessment and statistical description,” Tech. Rep. Final Report, DOT HS 808075, National Highway Traffic Safety Administration, 1994.
- [44] S. K. Young, C. A. Eberhard, P. J. Moffa, “Development of performance specifications for collision avoidance system for lane change, merging, and braking. Task2: Functional goals establishment,” National highway Traffic Safety Administration, 1995.
- [45] L. Barr, W. G. Najima, “Crash problem characteristic for the intelligent vehicle initiative,” TRB 80th Annual meeting, CD-ROM, 2001.
- [46] 国土交通省自動車交通局, “平成17年度映像記録型ドライブレコーダーの搭載効果に関する調査報告書,” 2006.

- [47] 田中啓人, 伊藤誠, 稲垣敏之, “歩行者飛び出し時におけるドライバの操舵回避とその特徴,” 自動車技術会関東支部学術研究講演会講演論文集, CD-ROM, 2010.
- [48] 清水政行, 宇佐美祐之, 藤波宏明, “ドライバ操舵時の回避支援システムの開発,” 自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 4 pp. 41-46, 2008.
- [49] 田中啓人, 伊藤誠, 稲垣敏之, “触覚を利用した操舵回避方向提示機能の提案と評価,” 第39回 知能システムシンポジウム, pp. 237-242, 2012.
- [50] 堀米辰弥, 伊藤誠, 稲垣敏之, “状況適応的操舵機能を有する衝突回避支援に対するドライバ受容性の評価,” 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 2, pp. 341-347, 2011.
- [51] 佐々木陽成, 古川修, 鈴木隆史, “衝突回避操舵における支援システムの検討,” 自動車技術会論文集 No. 37(6), pp. 33-38, 2006.
- [52] M. R. Endsley, “Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems,” *Human Factors*, Vol. 37 No. 1, pp. 32-64, 1995.
- [53] D. G. Jones, M. R. Endsley, “Investigation of situation awareness errors,” *Proc. 8th Int’l Symp. Aviation Psychology*, pp. 746-751, 1995.
- [54] R. Kinpling, “IVHS technologies applied to collision avoidance: Perspectives on six target crash types and countermeasures,” *Proc. 1993 Annual Meeting of IVHS America: Surface Transportation: Mobility, Technology, and Society*, pp. 249-259, 1993.
- [55] B. Sen, W. G. Najm, J. D. Smith, “Analysis of Lane crashes,” *Tech. Rep. DOT HS 809 571*, National Highway traffic Safety Administration, 2003.
- [56] Volvo, “Blind Spot Information System (BLIS) by Volvo,” [オンライン]. Available: <http://www.volvo.com>.
- [57] マツダ株式会社, “【MAZDA】RVM (リアビークルモニタリングシステム),” [オンライン]. Available: http://www.mazda.co.jp/philosophy/tech/safety/active_safety/rvm.html.
- [58] L. Becker, A. Debski, D. Degenhardt, M. Hillenkamp, I. Hoffmann, “Development of Camera-Based Blind Spot Information System,” *AMAA 2005, Part 2*, pp. 71-84,

2005.

- [59] 信時宜和, 高橋達朗, 清水賢治, 松本成司, 花田充基, “後側方障害物警報システムの開発,” マツダ技報, No. 26, pp. 124-130, 2008.
- [60] G. Piccinini, A. Simões, C. M. Rodrigues, M. Leitão, “A method to investigate drivers’ acceptance of Blind Spot Detection System®,” *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, No. 41, pp. 4213-4217, 2012.
- [61] R. J. Kiefer, J. M. Hankey, “Lane change behavior with a side blind zone alert system,” *Accident Analysis and Prevention*, No. 40, pp. 683-690, 2008.
- [62] 秋田時彦, 堤成可, 和田隆広, 土居俊一, “センサ認識信頼度を考慮した車線変更支援システム,” 自動車技術会論文集, Vol. 40, No. 6, pp. 1581-1586, 2009.
- [63] S. Tsutsumi, T. Wada, S. Doi, “A methodology to increase driver trust in rear-obstacle warning systems with imperfect sensing results – Proposal for a warning system using sensor reliability information,” *IATSS Research*, No. 35, pp. 71-78, 2012.
- [64] 辻正文, 山田勝規, 是石純, “後側方領域の障害物警報システム,” 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, No. 97(41), pp. 33-38, 1997.
- [65] E. N. Mazzae, W. Riley, M. A. Flick, “Human Factors Evaluation of Existing Side Collision Avoidance System Driver Interfaces,” *National Highway Traffic Safety Administration*, 1996.
- [66] T. Inagaki, M. Itoh, Y. Nagai, “Support by Warning or by Action, Which is Appropriate under Mismatches between Driver Intent and Traffic Conditions?,” *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E90-A, No. 11, pp. 264-277, 2007.
- [67] T. Inagaki, M. Itoh, Y. Nagai, “Driver Support Functions under Resource-limited Situations,” *Journal of Mechanical System for Transportation and Logistics*, Vol. 1, No. 2, Special Issue on Driving Simulation Conference - Asia/Pacific 2006, pp. 213-222, 2008.
- [68] 永井義朝, 稲垣敏之, 伊藤誠, “運転行動および交通状況を考慮した適応的運転支援,”

自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 2, pp. 393-398, 2008.

研究業績

【参考論文】

本論文の主内容は、下記(1),(2),(3)として公表済みである。

・ 公表済み論文

- (1) 桑名 潤平,伊藤 誠,稲垣 敏之: "後側方の車両認識を支援するダイナミックサイドミラー," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 3, pp. 327-335, 2013
- (2) Junpei Kuwana, Makoto Itoh, and Toshiyuki Inagaki: "Dynamic Side-View Mirror: Assisting Situation Awareness in Blind Spots," The 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 455-460, 2013
- (3) Junpei Kuwana, Makoto Itoh: "Dynamic Angling Side-view Mirror for Supporting Recognition of a Vehicle in the Blind Spot," International Conference on Control, Automation and System 2008, pp. 2913-2918, 2008

【その他の論文】

・ 査読のない発表論文

桑名潤平, 伊藤誠, 稲垣敏之: "死角域車両認識のためのダイナミックサイドミラー," ヒューマンインタフェースシンポジウム学会研究報告集, Vol. 9, No. 2, pp. 59-64, 2007

