

博士論文

運転支援システムの運転行動に及ぼす影響

黒崎 章

2006年 8月 24日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

黒崎 章

審査委員：

西谷 紘一 教授 (主指導教員)

松本 健一 教授 (副指導教員)

野田 賢 助教授 (副指導教員)

運転支援システムの運転行動に及ぼす影響*

黒崎 章

内容梗概

情報通信技術を自動車に取り入れ活用した ITS (Intelligent Transport Systems) の開発が活発になっている。交通の安全性の向上やドライバの運転に対する負担の軽減を目的として、危険事象の検知や危険回避操作支援を行う ASV (Advanced Safety Vehicle) や交通インフラとの連携や車間で通信することによりドライバに自車周辺の情報提供を行う AHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems) が開発されている。また運転中のオーディオやエアコン制御などの操作の負担を減らすために HUD (Head-up Display) とステアリングスイッチを組み合わせた新しい HMI (Human-Machine Interface) も提案されている。本研究では、支援する対象は異なるが、これらの運転支援システムの導入がドライバの運転行動にどのような影響を及ぼすかについてドライビングシミュレータを用いた実験を行い調べる。

まず、AHS の一つのサービスである交差点手前で交差車両の存在を知らせる運転支援システムをドライビングシミュレータの走行環境の中に構築した。この交差車両通知システムの導入前後で、交差点進入時のドライバのブレーキ操作の変化を調べた結果、被験者によって大きな違いのあることが明らかになった。このブレーキ行動に着目し、ドライバの運転支援システムに対する依存度の違いを定量化する方法を示した。また、通知システムの導入が主観的負荷にどのように影響したかを調べた結果、積極的に利用した人とそうでない人に特徴が現れた。さらに、通知システムが誤報や欠報を起こした場合の影響を調べた結果にもとづいて、交差車両通知システムの有効な使い方について考察した。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD0361205, 2006 年 8 月 24 日.

次に，HUD とステアリングスイッチを組み合わせた新しいオーディオ・エアコン操作用 HMI について，スイッチ操作のしやすさや安全運転への影響について調べる実験をドライビングシミュレータを用いて行った．従来から使用されているインパネ型スイッチについても実験を行い比較した．アイカメラデータを用いた考察から，HUD やインパネスイッチを視認する時間，前方を確認する時間，スイッチ操作中の前方確認回数などが，操作にかかる時間や自車挙動データともにユーザビリティや安全運転に関係する重要な評価指標になることを示した．

以上に述べたように，本研究では運転支援システムの導入や車載機器の操作がドライバの運転行動にどのような影響を及ぼすかを定量的に評価する方法について検討するとともに，いくつかの新しい指標を提案した．

キーワード

運転支援システム，運転行動，依存度，Head-up display，ステアリングスイッチ

Effect of Advanced Driver Assistance System on Driver Behavior*

Akira Kurosaki

Abstract

In recent years, due to the development of technology for information communication, much progress has been made on Intelligent Transport Systems (ITS) used in cars. Currently, most research is focused on technologies for advanced safety vehicles (ASV), which automatically warn drivers for the purpose of solving problems such as traffic accidents, as well as advanced cruise-assist highway systems (AHS), which include transportation infrastructure, in-vehicle sensors, and other systems.

In this research, we investigated the effect of driver systems on driver behavior by using a driving simulator, and quantitatively evaluated effects of using the driver-assistance system on driver behavior while driving. First, we conducted an experiment, using a driving simulator, to measure the driver's degree of dependence on a collision alarm system. Each subject had to pass through intersections where some crossing cars might appear. The collision alarm system sounded an alarm for a crossing car. We measured changes both in each driver's dependence on the system and his/her workload when the alarm system gave correct information. We also measured the effects of the alarm system's malfunctions on drivers' brake operation.

What is need now is an experimental method for evaluating both the operability and influence on safety of in-vehicle devices. Such devices include a center-cluster

*Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0361205, August 24, 2006.

panel switch and a new human-machine interface (HMI) with a head-up display (HUD) and steering wheel switch (SWS) that are easy to operate while driving. We propose to measure the number of slips, operation time, glance time, and variations of steering angle and yaw angle as the objective test, as well as to employ subjective evaluations by participants. In response to this need, we conducted an experiment using a driving simulator to evaluate the new HMI with HUD and SWS and the center-cluster panel switch while following a lead vehicle on a highway. Results indicate that the experimental method is effective for comprehensively evaluating in-vehicle devices and for pointing out where improvements are needed. We also discussed the merits of the new HMI.

Keywords:

Driver system, Dependence, Head-up display, Steering switch

目次

1. 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 運転支援システム	5
1.3 本研究の目的と意義	8
2. 交差車両通知システムのドライバブレーキ行動への影響	12
2.1 出会い頭衝突防止支援システム	12
2.2 実験装置	13
2.2.1 ドライビングシミュレータ	13
2.2.2 交差車両通知システム	14
2.2.3 被験者および実験コース	15
2.2.4 実験手順	16
2.3 測定データと分析方針	18
2.4 通知システムのブレーキ操作への影響	18
2.4.1 各交差点でのブレーキ操作の結果	18
2.4.2 通知システムへの依存度	21
2.4.3 主観的ワークロードの経時変化	24
2.4.4 通知システムの誤動作の影響	26
2.5 運転支援システムの使い方についての考察	31
2.6 まとめ	32
3. オーディオ・エアコン操作のドライバ行動への影響	34
3.1 非運転行動とスイッチ操作	34
3.2 スイッチ操作評価実験	35
3.2.1 ドライビングシミュレータ	35
3.2.2 インパネスイッチ	35
3.2.3 ステアリングスイッチ	36
3.3 実験条件	39

3.4	実験手順	39
3.5	分析指標	41
3.6	評価結果	43
3.6.1	操作ミス数	43
3.6.2	スイッチ操作時間	43
3.6.3	視線移動時間	47
3.6.4	ステアリング操舵角	49
3.6.5	ヨー角	49
3.6.6	主観評価	51
3.6.7	HMI間の差の検定	52
3.7	考察	53
3.7.1	総視認時間と他パラメータとの関係	53
3.8	総合評価	57
3.8.1	評価指標	57
3.8.2	安全運転への影響	58
3.8.3	スイッチ操作そのものの評価	58
3.9	まとめ	59
4.	結論	60
	謝辞	61
	参考文献	62
	付録	65
A.	用心率 β とブレーキ率 γ の関係 (第2章)	65
B.	分析データ (第3章)	66
B.1	操作ミス内容	66
B.2	総操作時間	67
B.3	総視認時間と前方確認回数	68

B.4 NASA-TLX	69
研究業績	70

目 次

1	交通事故発生件数の推移	2
2	ITS の開発分野	3
3	ASV	4
4	AHS の7つのサービス	4
5	HONDA ドライビングシミュレータ	13
6	交差車両通知システム	14
7	走行コース	16
8	被験者別の用心率 β (Phase I,II)	23
9	被験者別のブレーキ操作率 γ (Phase I,II)	25
10	AWWL スコア (Phase I,II)	26
11	被験者別の用心率 β (Phase III)	28
12	AWWL スコア (Phase III)	30
13	インパネスイッチ	35
14	HUD	36
15	ステアリングスイッチ	37
16	ステアリングスイッチ (Push 5)	38
17	ステアリングスイッチ (Push 7)	38
18	実験コース	39
19	スイッチ操作の流れ図	44
20	スイッチ総操作時間	45
21	スイッチ1回あたりの操作時間	45
22	最初のスイッチ操作を行うまでの時間	46
23	視線移動の流れ図	47
24	総視認時間	48
25	1回のスイッチ操作あたりの視認時間	49
26	前方確認回数	50
27	ステアリング操舵角の差の二乗和	50
28	ヨー角の差の平均	51

29	WWL スコア	52
30	総視認時間と総操作時間の相関	55
31	総視認時間とステアリング操舵角の残差二乗和の相関	56
32	WWL スコア	69

表 目 次

1	運転支援システムの分類 (Birsen ら)	6
2	被験者属性	15
3	実験条件 (Phase I, II)	17
4	実験条件 (Phase III)	17
5	ブレーキ操作 (Phase I)	19
6	ブレーキ操作 (Phase II)	20
7	ブレーキ操作 (Phase III)	27
8	発生事故件数	29
9	操作内容 (HMI1)	40
10	操作内容 (HMI12, HMI3)	40
11	操作回数	40
12	分析指標	42
13	操作ミス回数と操作ミス率	43
14	操作時間最大値	46
15	検定結果 (有意確率: P)	54
16	総合評価	57
17	操作ミス内容	66
18	総操作時間	67
19	総視認時間と前方確認回数	68

1. 序論

1.1 研究の背景

近年，日本の交通事情では，交通事故による死亡者数が減少しているものの，事故発生件数は年々増加の一途をたどっている．交通事故発生件数，負傷者数および死者数を，図 1 に示す^[1]．事故件数の増加の原因として，車両保有台数や免許保持者の増加が原因として考えられる．一方，死亡者数の減少の原因では，エアバックなどの救命装置の普及，交通の取り締まりや法規の強化，運転者教育の充実などが挙げられる．その他に，自動車や道路交通などに対して情報通信技術や制御技術を取り入れた ITS (Intelligent Transport Systems) の開発が活発に行われており，事故件数や死亡者数を減らす努力が続けられている^[2, 3]．ITS では，自動車・人・道路の間で通信を行い，図 2 に示すような 9 つの分野に分かれて，交通事故の削減，運転の快適性，道路管理の効率化などを目的として開発が進められている^[4]．

運転支援システムに関する主な研究は，1960 年代に車両の運動制御の研究から始まり，1980～1990 年代になると，ABS (Antilock Brake System) や，TCS (Traction Control System) などの車両制御を行う運転支援システムが実装され，それらの技術を搭載した自動車は，広く普及している^[5]．1990 年代から情報化技術の発展に伴い，ITS として，安全運転の支援や交通事故の削減以外にも自動車や道路の高知能化をすることにより，カーナビゲーションシステム (以下，カーナビ) や VICS (Vehicle Information and Communication System) などのナビゲーションの高度化や，高速道路料金を自動で収受する ETC (Electronic Toll Collection System) の開発など，運転の快適性，交通管理の最適化，道路管理の効率化を目的とし，さらなる開発が行われている．また，世界各国で国家レベルのプロジェクトが立ち上がっており，日本における代表的な ITS のプロジェクトは，ASV (Advanced Safety Vehicle) や AHS (Advanced Cruise-assist Highway Systems) 等が挙げられる．最近では，ITS 技術における運転支援システムは，実用化から普及への段階になってきており^[6, 7]，特に，カーナビや VICS，ETC など，その成果はめざましく，今後のさらなる発展が期待されている．

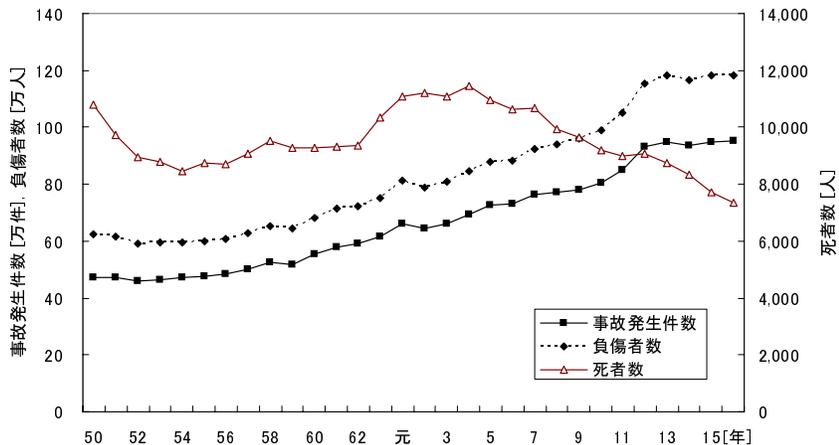


図 1 交通事故発生件数の推移

(1) ASV

ASVとは、Advanced Safety Vehicleの略で、日本語では先進安全自動車と訳されている^[8]。1991年から自動車の高知能化を目的として、交通の安全性や運転の快適性を目指したプロジェクトとして発足した。運輸省(現国土交通省)が推進し、メンバーは関係省庁、学識経験者、自動車メーカー(14社)の産官学の機関で構成されている。基本理念は、「ドライバ支援」、「ドライバの受容性」、「社会の受容性」の3つであり、それらに基づいて研究開発を行い、ASVの早期実用化を目指している。現在は、2006年5月に第3期を終え、実用化^[9]や標準化^[10]に力を入れている。ASVの主な技術を図3に示す。

(2) AHS

AHSとは、Advanced Cruise-assist Highway Systemsの略で、日本語では走行支援道路システムと訳されている^[11, 12]。国土交通省の委託を受けAHSRA(AHS-Research Association:走行支援道路システム開発機構)が、道路インフラのIT化で道路交通の安全性、効率性、快適性、利便性の向上を目指し研究を行っている。AHSRAでは、図4に示すような7つのサービスの実用化に特に力を入れている。

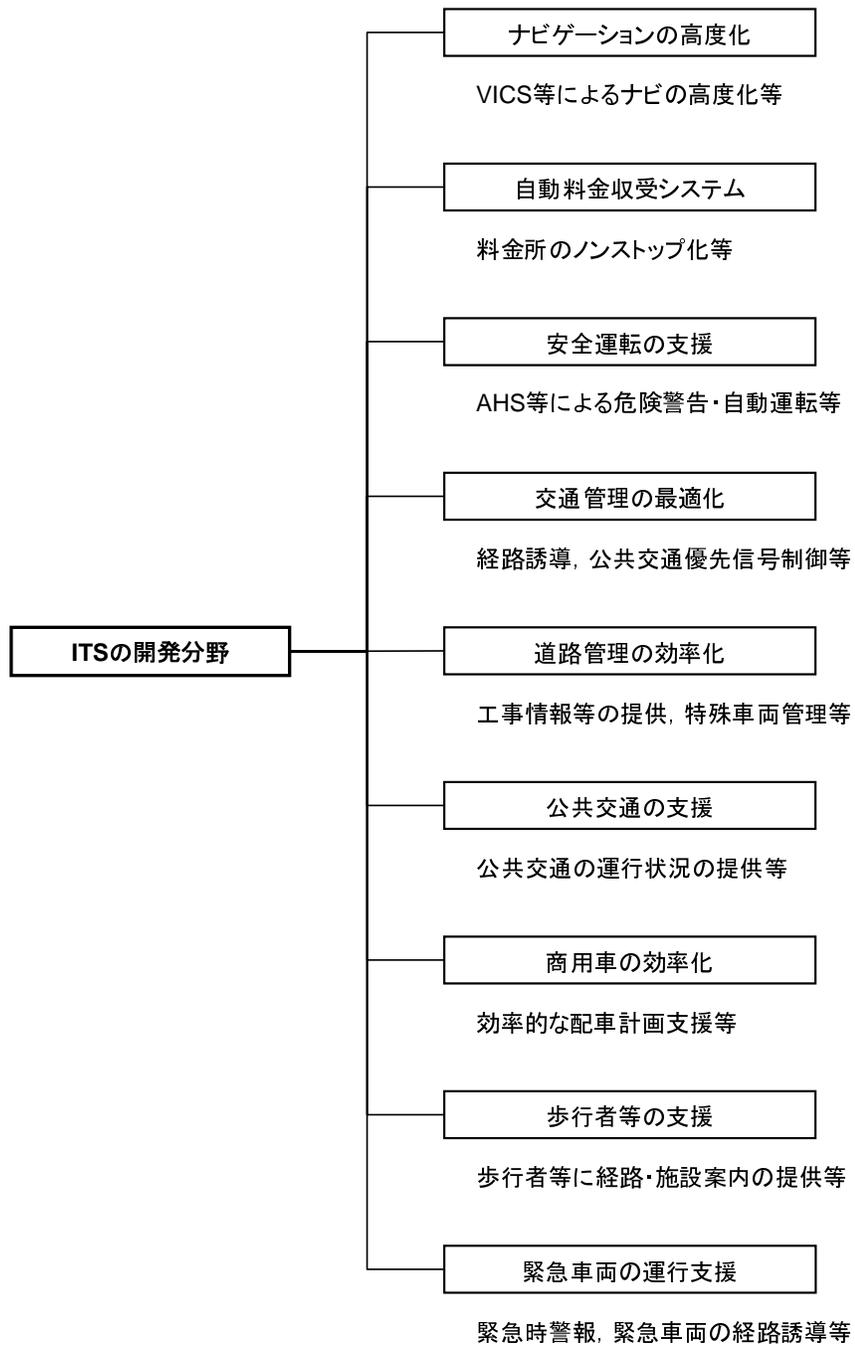
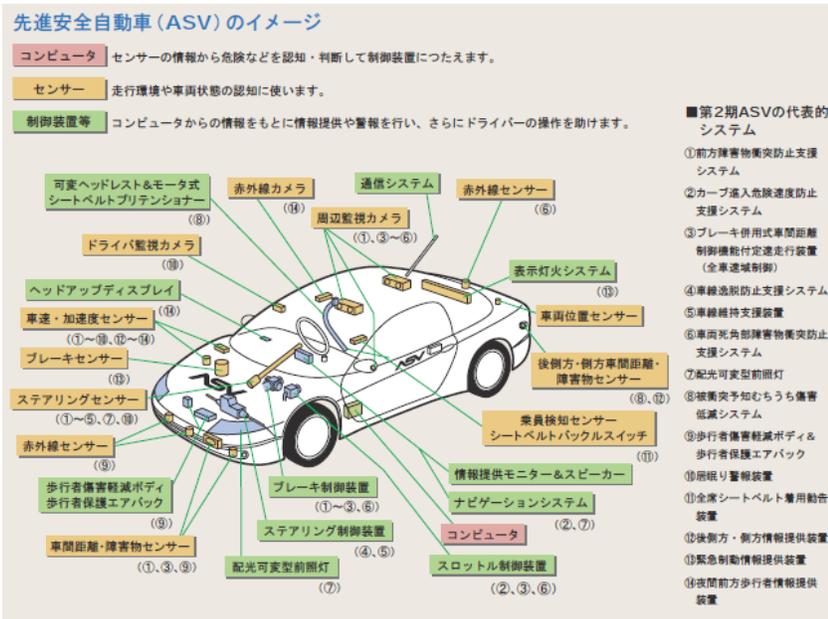
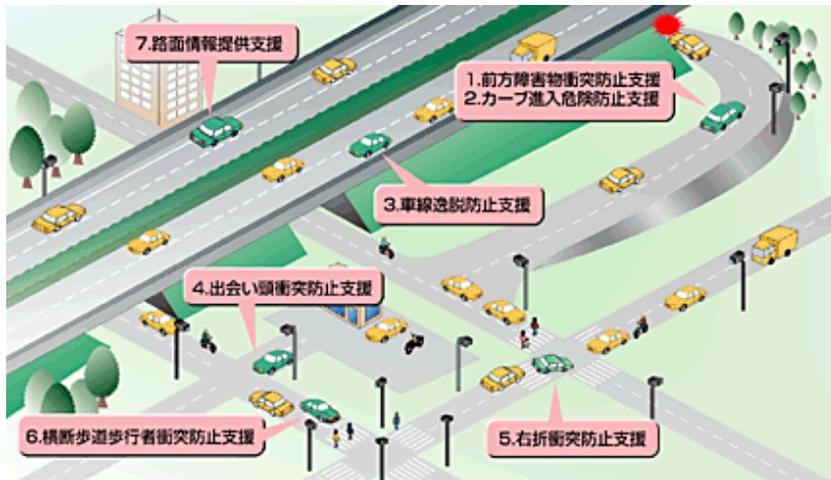


図 2 ITS の開発分野



(国土交通省道路局ホームページより)

図 3 ASV



(走行支援道路システム開発機構ホームページより)

図 4 AHS の 7 つのサービス

1.2 運転支援システム

運転支援システムは、交通問題を解決すべく事故予防や快適な運転を目的として、様々な種類のものが開発され、市販されてきている。まず、ドライバーにどのように関わっているかを調べ、それらのシステムを分類する。

分類の手段として、Birsen ら^[13]は、以下の3点に着目して、運転支援システムを12のカテゴリーに分類している。

1. 運転支援システムの支援する対象（運転行動 / 非運転行動）
大分類として、「走る，曲がる，止まる」の自動車の基本機能である運転行動と，カーナビやオーディオ・エアコンの操作など運転には直接関係のない非運転行動の2つに大きく分けている。
2. 運転支援システムの作動時の主導権（システム / ドライバー）
運転支援システム作動時において，運転支援システムがドライバーの要求に関係なく作動するか，ドライバの判断で，運転支援システムが起動や停止などの操作が行えるかによって分けている。
3. 運転支援システムの支援の程度（高 / 中 / 小）
運転支援システムがどのくらいドライバの行動に関与するかの自動化の度合いで分けている。

1～3の項目から運転支援システムを分類したものを表1に示す。そして，運転支援システムのいくつかの例を挙げ，どの分類に入るかを検討する。

(1) AHS

AHSの基本的な考え方は，交通事故の削減のために，運転行動を「認知，判断，操作」の行動に分け，運転支援システム(AHS)が，危険や環境を事前に察知し，それぞれの行動を運転支援システム(AHS)が「情報提供，警告，操作支援」で支援する。表1では，運転行動をシステム主体で支援する(1)，(3)，(5)に相当するものが多い。また，AHSの支援のレベルは以下のように定義されている。

表 1 運転支援システムの分類 (Birsén ら)

		運転行動		非運転行動	
		システム	ドライバ	システム	ドライバ
自動化レベル	高	(1)	(2)	(7)	(8)
	中	(3)	(4)	(9)	(10)
	低	(5)	(6)	(11)	(12)

AHS-i (information) : 情報収集をサポートを行う。渋滞末尾警告や前方障害物警告のような危険が発生する可能性のある地点を道路に設置された交通インフラなどから察知し、ドライバーへ情報を提供する。

AHS-c (control) : 運転操作の一部をサポートするような車線逸脱防止や衝突防止などの支援が挙げられる。

AHS-a (automated cruise) : 運転操作の全てをサポートする。完全な自動化による支援であるため、情報提供や操作支援を完全にシステムが行う。このため、安全走行の責任までシステムが負うことになる。

AHS は、表 1 の分類 (5) のような情報提供からはじまり、交差点衝突防止支援システムや、前方障害物衝突防止支援システムなどでは、分類 (3) のような回避行動を行うものもある。そして将来的には、表 1 中の分類 (1) に当てはまる AHS-a レベルでの自動走行を支援するシステムを目指している。

(2) ASV

ASV 技術の中には、AHS と同様に、車線逸脱防止支援システムや夜間前方歩行者情報提供システムのような危険を事前に察知して、事故防止をシステム主体で行うシステム ((1), (3), (5)) もあるが、ドライバーが道路状況や環境に応じて、支援を手動で設定できる運転支援システムもある。例えば、クルーズコントロールは、アクセルペダルを踏まずに一定の速度で走行でき、高速道路や加減速の少ない道路で有用な機能である。クルーズコントロールの設定は、主にドライバー

が、ステアリングスイッチで行う。運転支援システムでは、表 1 中の (2) に相当する。

また、夜間前方歩行者情報提供システムは、夜間では確認しづらい歩行者や障害物を赤外線カメラで捕らえ、ヘッドアップディスプレイ (HUD) に映し出し夜間の視界を支援するものである。歩行者や対向車の位置によっては、ブザー音で警告するものもある。このようなドライバーの操作支援や情報提供を行ってくれるシステムはドライバー主体で、表 1 中の (2), (4), (6) に相当する。

(3) ETC

ETC は、料金所を減速して通過するだけで、自動的に道路料金を収受してくれる。非運転行動に対してシステムが自動で行ってくれることから、ETC は表 1 中の (7) に相当する。(Birsen らによると、表中 (7) の定義は、”Locking・Interrupting” となっていたが、ETC のような非運転行動をシステム主導で実行し、自動化が高いということで分類 (7) に含めた。)

(4) カーナビ, VICS

カーナビでは、予め設定した目的地までの道のりを知らせる機能以外に、VICS に対応すると、渋滞情報や事故や工事の規制などの情報も提供してくれる。ドライバーが予め設定して非運転行動を実行してくれる機能は、表 1 の (8) に相当するが、走行中には、道のりや様々な情報をアドバイスしてくれることから、分類上 (11) にも当てはまる。

(5) オーディオ・エアコン操作機器

現在、最も一般的に使われている操作システムとして、オーディオやエアコンを操作するときのインパネスイッチが挙げられる。最近のオーディオ操作は、カーナビやテレビの機能と統合しタッチディスプレイで操作する多機能な機器になってきている。

それらの機能は、運転行動に直接関係なく、ドライバーが操作しなければ作動しない機能しないということで、分類は (12) に当てはまる。

(6) ヘッドアップディスプレイ (HUD : Head-up display)

戦闘機の照準，旅客機の計器の表示するためにフロントガラスにディスプレイからの映像を映し，人間の視野に情報が映し出されるシステムとして開発され，視線や頭を前方から大きく逸らさずに情報を確認できるシステムである．このシステムは，自動車にも導入されており，基本的な情報として速度などのメータ表示や，最近では夜間前方歩行者情報提供システムとして夜間の歩行者の位置を音声でも知らせるものが開発されている．このような支援システムは，ドライバの視覚的な補助や負担の軽減を支援する．運転行動に対して，システムが情報提供をすることから分類は(5)に当てはまる．しかし，テレビやカーナビなどの長時間注視が必要とされる非運転行動関連情報の映像を表示すると違法になる^[14]．

このように運転支援システムは，安全運転に関係する運転行動と運転に直接関係のない情報を得たり車内環境の調整を行うための非運転行動に対して，それぞれドライバまたはシステムのどちらが操作の主導権をもっているかによっても分けることができる．

1.3 本研究の目的と意義

前節の運転行動と非運転行動の分類から，運転行動を支援するシステムは，主に安全運転の支援を目的とする．その中で，表 1 の分類(1), (3), (5)のような，システムに操作支援の主導権があり，運転支援システムが自動的に危険を察知し，情報や操作支援を行ってくれるものは，ドライバの負荷軽減に非常に高い効果があると思われる．同時に，誤った情報や警報でドライバに混乱させ運転の妨げをしないよう情報の正確性も重要である．それ以外には，支援のタイミングの適切さや，情報の与え方なども重要となる．完全な自動化となれば，もし事故を起こした場合，支援システムを開発したメーカーの責任問題も考えなければならない．自動車や道路が高知能化するにあたり，いろいろな問題が出てくる．

支援システムがドライバの運転行動に与える影響を計測データや主観評価から解析し安全性の評価を行う研究では，運転時のカーナビ操作や，最近では低速域

ACCを対象にしたものがある。丸茂ら^[15]は、渋滞による低速時に先行車への自動追従走行を可能とする低速域ACCの自動停止機能がドライバにどのように影響を及ぼすかに注目してブレーキ操作の変化について調べた。相馬ら^[16]は、ドライビングシミュレータを用いた実験において、低速域ACCに異常を発生させたときのシステムへの信頼感を主観評価によって評価するとともに、運転への影響として車間距離や異常発生からブレーキを踏むまでの時間への影響について調べている。また、木平ら^[17]は、運転支援装置への慣れと依存に関する研究として、実在はしない運転支援システムではあるが、情報提供から操作までの反応時間と数字読み上げタスクから運転負荷の関係を調べた。また、システムに不動作が発生した場合の変化について調べている。

一方、運転に直接関係のないオーディオやエアコンなどの調整のような非運転行動に関する操作機器は、操作しやすさが重要であるが、自動車を運転しながらということもあり、できるだけ運転の妨げにならないように安全性も考えなければならない。オーディオやエアコンのような比較的簡単な操作で行える非運転行動もあるが、最近ではカーナビのような目的地への走行経路案内や自車の位置を表示したり、VICSのような交通渋滞や交通規制の情報提供を行ったりしてくれるものも市販されてきている。しかし、高機能化ゆえに、表示される情報が多くなり、目的の操作に迷うなどの問題点が考えられる。また、従来のインパネや室内ディスプレイでは、操作時に視線や手の大きな移動が伴い、操作に気を取られ、危険な運転になる可能性が高くなる。

オーディオやエアコンの操作のような非運転行動は、表1の分類(12)に相当し、ドライバ主体で機能を手動で切替えられる支援システムが多い。安全性の評価や、支援システム使用時の作業負荷について、最近ではカーナビを対象とした研究がある。例えば、田久保ら^[18]はカーナビ使用時の事故分析を行って、脇見や周囲の道路状況との関連をしらべた。富永ら^[19]は、カーナビの手による操作と音声入力による操作における自車挙動(横変位量)、視認時間、主観評価を用いて、実車で一般道と高速道路での作業負荷の比較実験を行っている。その結果、音声操作は手操作に比べ、各指標とも良い結果が出ているが、現在のカーナビの音声認識機能は、多くのユーザーがその性能に満足していないという状況がある^[20]。

本研究では、運転行動を支援するシステムと、非運転行動を支援するシステムをひとつずつ取り上げる。

一つは、ドライバの要求で警告や情報提供を開始する運転支援システムである。システムの機能を実行するためにドライバの意思が必要であり、実験や評価を行う場合、使用したくないドライバにシステムの影響が見られない可能性が出てくる。本研究では、運転に対してドライバに情報・警告を与える表 1 の (5) の運転支援システムを対象とする。第 2 章では、AHS のサービスの 1 つである出会い頭衝突防止支援システムを対象として、ドライビングシミュレータでシステムを模擬して実験を行った。今回の実験では、交差車両の有無を通知する機能のみを持つシステム交差点交差車両通知システムと呼ぶことにする。このシステムに対する評価についての研究はほとんどない。本研究では、運転支援システムの実装前後でのドライバの運転行動や主観的ワークロードの変化、その運転支援システムが誤作動を起こしたときの運転行動の変化を調べる。ドライバの運転行動として、交差点進入時の運転支援システムからのアラームの有無とドライバのブレーキ行動に着目し、システムに対する依存度を定量的に表す。そして、その依存度とインタビューや主観的ワークロードとの関係から運転支援システムの適切な使い方を考察する。

二つ目は、オーディオやエアコン操作のような非運転行動を対象とした場合、自動的に支援したり (表 1 の (8), (10))、システム側が勝手に支援や提案したりする (表 1 の (7), (9), (11)) 場合においては、ドライバの好みや感覚の影響を大きく受けることが考えられる。本研究では、表 1 の (12) を対象として、ドライビングシミュレータを用いて、運転支援システムのドライバーへの影響を調べる。そして、支援システムの安全に対しての影響と、使いやすさについて分析する。第 3 章では、オーディオやエアコンの操作負担を減らすために提案されている Head-up Display とステアリングスイッチから成る新しい車載ヒューマン・マシン・インタフェース (新 HMI) ^[21] について、従来使用されているインパネ型スイッチとの操作比較実験を行う。そして、操作にかかる時間や、視線について様々な新しい指標を検討し、ドライバが運転中に新 HMI や従来のスイッチを操作する際の行動を、安全性と使いやすさから分析する方法について検討する。

第4章では、各章のまとめを行い、今後の課題を述べた。

2. 交差車両通知システムのドライバブレーキ行動への影響

2.1 出会い頭衝突防止支援システム

出会い頭衝突防止支援システムは、走行支援道路システム開発機構 (AHSRA) が、研究開発を進めている運転支援システムの1つである。この支援システムでは、交差点での出会い頭衝突を防止するため、対向車両の存在を交通インフラを使って検知し、ドライバに対して表示や警報で知らせる^[8]。これらの運転支援システムの実証実験「スマートクルーズ21」が2000年の10月～12月に実施され、現在は実用化を目指して研究が続けられている^[8]。出会い頭衝突防止支援システムを取り扱った研究は、交通インフラを利用しないで車-車間通信を利用して出会い頭事故の防止を図る研究が多い^[22]。岡部らは、最大許容リスクモデルという確率モデルによる交差点事故の解析と出会い頭衝突防止装置の安全評価についての研究を行っている^[23]。

本章では、出会い頭衝突防止支援システムを利用したときのドライバの減速・停止行動への影響を、ドライビングシミュレータを用いた交差点通過実験を行って調べた。ドライバの減速・停止行動がブレーキ操作の有無に密接に関係していることからこれに注目して分析した。この中でドライバが出会い頭衝突防止支援システムにどの程度依存していたかを定量化するとともに、依存の程度が主観的ワークロードにどのように関係するかを調べた。また、出会い頭衝突防止支援システムが交差車両などを検知しきれないケースや、衝突の可能性がない物体を誤検知してアラームを出すケースが考えられる。このようにシステムが誤報や欠報を起こした場合に、ドライバの行動がどのように変わるかについても調べた。これらの運転行動への影響から、ドライバの行動パターンを分ける。

2.2 実験装置

2.2.1 ドライビングシミュレータ

衝突事故等が起こる可能性がある条件下でドライバ行動を調べるために実際の自動車を用いた路上での実験を行うことはできない．そのためドライビングシミュレータを使ってドライバの運転行動を調べる方法がとられる．本研究では，出会い頭衝突防止支援システムのドライバ行動への影響を調べるため，HONDA ドライビングシミュレータ（以下，DS）を使用した^[24]．DSの写真を図5に示す．本DSは，自動車運転教習所で訓練の一部として使うために開発されたものを研究用に転用したものである．このDSは，道路交通環境を自由に設定できる機能があり，実験者が交差車両の発生など目的に合わせたイベントを発生させることができる．またドライバの操作データおよび車の挙動データを10ms間隔で取得できる．



図5 HONDA ドライビングシミュレータ

2.2.2 交差車両通知システム

出会い頭衝突防止支援システムは、交差車両がある場合に自車が交差点手前に来ると、表示や警報（アラーム）で知らせるシステムである。将来的には情報や警報だけでなく、ドライバの運転操作に緊急で介入して危険を避けるようなシステムになる。

本実験では、表示による情報提供は行わず、警報音を鳴らすのみの支援を行うことから、交差車両通知システム（以下、通知システム）とよぶことにする。ここでは警報は、音で知らせるものだけに限定する。本通知システムを DS の走行環境の中に構築した。

本論文で扱う交差車両通知システムの動作概要を図 6 を使って説明する。

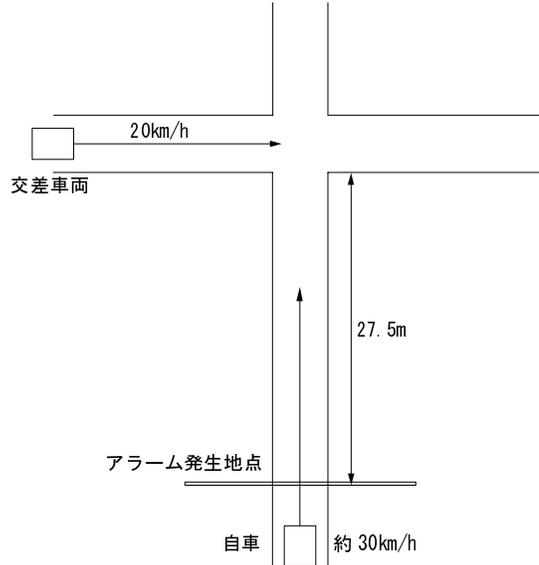


図 6 交差車両通知システム

交差点は建物があるため見通しの悪い交差点になっている。それゆえ、交差点にかなり近づかないと交差車両を確認できない。通知システムは交差車両がある場合、30km/h の速度制限下で走行する自車が交差点の 27.5m 手前に達した時点でアラームで知らせる。アラームは短い「ボン」という音を用いた。またアラームを鳴らすタイミングは、仮に 20km/h で走行する交差車両があった場合に、衝

突しないで余裕をもって停止できるように決めた．本研究ではこのような通知システムを利用した交差点通過実験を行った．

2.2.3 被験者および実験コース

被験者は普通自動車運転免許を所持している 10 名の大学院学生である．被験者 10 名のうち 1 名の実験手順に不具合があったため，以下 9 名分（P1～P9）のデータについて分析した．表 2 に被験者の属性をまとめた．表中の 1 日あたりの走行時間の－は，普段ほとんど自動車を運転しないことを意味する．

表 2 被験者属性

被験者	年齢	運転歴	1日あたりの走行時間 [分]
P1	23	3年10ヶ月	－
P2	24	6ヶ月	26
P3	23	3年11ヶ月	－
P4	25	4年5ヶ月	100
P5	23	4年3ヶ月	－
P6	24	1年6ヶ月	30
P7	24	4年3ヶ月	90
P8	24	1年8ヶ月	120
P9	25	5年	60

各被験者は図 7 に示した市街地の直線コースを 2 日間で 16 回走行する．このコースには 40m おきに 20ヶ所の交差点がある．1 回の走行には約 3 分かかる．これらの交差点では交差する道路の道幅がすべて同じで，優先側・非優先側の区別はない．すなわち，停止義務はなく，一時停止や徐行の判断は被験者にまかせられた．

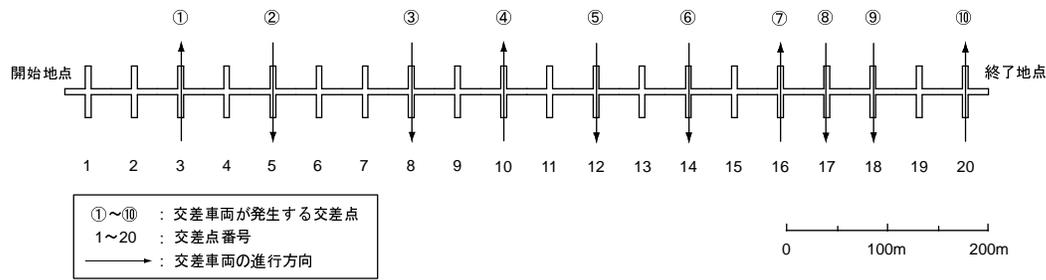


図 7 走行コース

2.2.4 実験手順

(1) 通知システム導入による影響

通知システム導入によるドライバの運転行動の変化を調べるため、実験は各被験者について、通知システムなしでの走行を4回(R1-R4)行ったあと、通知システムありの状態でも7回(R5-R11)、合計で11回の走行を行った。表3に交差車両の発生状況をまとめて示した。R1-R4をフェーズI、R5-R11をフェーズIIと呼ぶことにする。各行が1回の走行に相当する。フェーズIにおける黒丸(●)は、その交差点で交差車両が発生したことを意味する。フェーズIIにおける白丸(○)は交差車両が発生するとともにアラームが鳴り、交差車両の存在を知らせた交差点を意味する。

(2) 通知システムの誤動作による影響

交差点では、交差車両以外に歩行者や自転車も通過する。それらの急な飛び出しなどは交通インフラで検知しきれない可能性がある。逆に、交差点付近にあるが交差点通過に関係しない自動車や物に対しても交通インフラが検知してアラームを出す可能性もある。これらを想定して通知システムのふるまいとして、交差車両があるのにアラームが鳴らない「欠報」や、交差車両がないのにアラームが鳴る「誤報」が発生する場合を考える。ここでは欠報と誤報をまとめて誤動作と呼ぶことにする。

フェーズI, IIの走行後、通知システムが誤動作を起こす条件下での走行実験

表 3 実験条件 (Phase I, II)

フェーズ	走行	交差点番号									
		3	5	8	10	12	14	16	17	18	20
I	R1			●				●			
	R2						●				
	R3							●			
	R4			●							●
II	R5		○								○
	R6			○				○			
	R7						○				
	R8		○					○			
	R9		○					○			
	R10			○					○		
	R11				○					○	

- : 通知システムなし(アラームなし, 交差車両あり)
- : 通知システムあり(アラームあり, 交差車両あり)

(フェーズ III : R12-R16) を続けて行った。R12 の 12 番目の交差点で通知システムに最初の欠報を発生させる。それ以降も、R14 と R15 で通知システムの誤報が合計 4 件あり、R16 の 12 番目の交差点で再び欠報が起こる条件を設定した。表 4 にフェーズ III の実験条件を示す。表 4 では、欠報が起こる交差点を三角 (▲) で表し、誤報が起こる交差点を四角 (■) で示した。通知システムに誤動作が起こることは被験者には知らせないで実験を行った。

表 4 実験条件 (Phase III)

フェーズ	走行	交差点番号									
		3	5	8	10	12	14	16	17	18	20
III	R12	○				▲				○	
	R13			○						○	
	R14					■					
	R15			■			■				■
	R16					▲				○	

- : 通知システムあり(アラームあり, 交差車両あり)
- ▲ : 通知システム欠報 (アラームなし, 交差車両あり)
- : 通知システム誤報 (アラームあり, 交差車両なし)

2.3 測定データと分析方針

本実験では、ドライバの運転行動解析のため自車位置 (x,y) 、自車速度 [km/h]、アクセルペダルおよびブレーキペダルの開度 [%] を記録した。またドライバの主観評価として、各回の走行の後にインタビューを行うと共に、2回の走行毎に NASA-TLX の簡便法である AWWL^[25] を用いてドライバの主観的ワークロードの評価を行った。撮影したビデオ映像は、DS の前方視界映像、ドライバの足の動きを記録した映像とドライバの体の動きを記録した映像である。4画面合成装置を用いて、この3つの映像を同期させた上で1つの画面として記録した。

通知システムがドライバ行動に及ぼす影響を次の2点に焦点を当てて分析した。

1. 交差車両の存在を知らせる通知システムの導入がドライバのブレーキ操作にどのように影響したか。
2. 交差車両の存在を知らせる通知システムの導入がドライバの主観的ワークロードにどのように影響したか。

2.4 通知システムのブレーキ操作への影響

2.4.1 各交差点でのブレーキ操作の結果

フェーズ I およびフェーズ II に対して、全交差点におけるブレーキ操作の詳細をそれぞれ表 5 と表 6 にまとめた。各表の行は被験者ごとの各走行回を表し、列は全交差点の番号を表している。

今回の実験では、交差点間の距離が短く、エンジンブレーキやアクセルペダルを離すだけではほとんど減速できないというコース上の制約から、ブレーキペダルを踏んだ場合を意図的な減速・停止行動とみなした。各表の中のセルの記号は、交差点進入時の被験者のブレーキ操作の有無を表す。白丸 (○) の場合はその交差点でブレーキ操作を行ったことを表し、空白の場合はブレーキ操作を行わずに交差点を通過したことを表す。また、出会い頭事故を起こした交差点は、三角 (△) で表示した。表 5 と表 6 で灰色のセルは、交差車両が発生する交差点で

表 5 ブレーキ操作 (Phase I)

被験者	走行	交差点番号																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
P3	R1						○	▲	(事故のため中断)																			
	R2				○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
	R3			○		○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	R4			○		○			○		○				○		○	○	○	○	○							
P6	R1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	R2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	(事故のため中断)												
	R3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	R4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
Px*	R1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	R2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	R3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	R4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							

Px* : P3とP6以外の被験者

○ : ブレーキ行動

▲ : 事故

■ : 通知システムなし (アラームなし, 交差車両あり)

ある。表 6 の灰色のセルは、通知システムが交差車両の存在をアラームでドライバーに知らせたことも意味する。

(1) フェーズ I での特徴

表 5 より、P3 は、ブレーキ操作を行わずに通過していた交差点が多く、R1 の交差点 8 で出会い頭事故を起こした。また、P6 は、全ての交差点においてブレーキ操作を行ったが、R2 の交差点 14 で出会い頭事故を起こした。事故を起こした被験者 2 名 (P3 と P6) はインタビューで、DS と実際の車ではブレーキ感覚が異なると回答した。一方、P3 と P6 を除く 7 名の被験者は、全ての交差点においてブレーキ操作を行った。これらの 7 名は事故を起こしていないことを考えると、交差車両の存在の可能性を意識して、注意して交差点に進入していたものと推測される。言い換えると、「かもしれない運転」を行っていたと言える。

(2) フェーズ II での特徴

フェーズ I では出会い頭事故が 2 件発生したが、通知システムを導入したフェーズ II では、事故は発生しなかった。これは通知システムの目的とする事故防止の機能が発揮されたことを意味する。

表 6 を詳しく見ると、P2, P6, P8 は、通知システムからのアラームの有無に

表 6 ブレーキ操作 (Phase II)

被験者	走行	交差点番号																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P1	R5			○		○															○
	R6			○						○	○						○		○		
	R7									○					○						
	R8					○				○	○		○				○				○
	R9					○											○				
	R10									○								○			○
R11										○								○		○	
P2, P6, P8	R5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
R11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
P3	R5					○															○
	R6								○								○				
	R7												○		○						
	R8					○											○			○	
	R9									○										○	
	R10					○				○									○		
R11										○									○		
P4	R5		○			○				○	○										○
	R6		○							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
R11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
P5	R5					○															○
	R6									○							○				
	R7															○					
	R8					○											○				
	R9					○											○				
	R10									○										○	
R11										○									○		
P7	R5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
R11										○	○								○	○	
P9	R5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R6									○						○	○				
	R7				○	○									○						
	R8				○												○				
	R9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R10									○										○	
R11										○									○		

○ : ブレーキ行動 ▲ : 事故 ■ : 通知システム正常 (アラームあり, 交差車両あり)

関わらず、すべての交差点でブレーキ操作を行った。インタビューでも、通知システムに頼ることはできなかったと回答している。P4は、R6の8番目の交差点以降全ての交差点でブレーキ操作を行った。P7は、通知システム導入直後は通知システムに頼らず交差車両の有無にかかわらずブレーキ操作をしていたが、次第にアラームが鳴る交差点でのみブレーキ操作をするようになった。P1, P3, P5, P9は、通知システムの導入後すぐに、アラームが鳴るときだけブレーキを操作する行動が多くなった。特にP5は、アラームが鳴ったときだけブレーキ操作を行った。

これらの結果から、通知システムの導入とともに積極的に通知システムを利用した人、時間経過と共に利用を始めた人、やや気まぐれに時々利用した人、全く利用しなかった人などいろいろな対応があることが分かった。

2.4.2 通知システムへの依存度

通知システムへの依存の程度を定量化するため、各交差点における被験者の行動をアラームの有無とブレーキ操作の有無によって分類する。

行動1：「アラームが鳴った」かつ「ブレーキ操作を行った」

行動2：「アラームが鳴った」かつ「ブレーキ操作を行わなかった」

行動3：「アラームが鳴らなかった」かつ「ブレーキ操作を行った」

行動4：「アラームが鳴らなかった」かつ「ブレーキ操作を行わなかった」

行動1はアラームの有無に関係なくブレーキ操作する場合を含むので、通知システムに頼った状態と頼らない状態の両方を含む。行動2はドライバが通知システムを無視してブレーキ操作をしなかった場合である。行動3はドライバが通知システムに頼っていない場合に相当する。行動4は通知システムに完全に頼った状態といえる。これら行動1-4に分類される交差点通過回数を用いて、通知システムに対するドライバの依存度について考察する。

(1) 通知システムのアラームが鳴った時の無視率

アラームが鳴ったときのドライバの反応を表す特徴量として，アラームに対する無視率をみる．1回の走行での行動1および行動2の回数をそれぞれ n_1, n_2 とすると，アラームが鳴った交差点数は $n_1 + n_2$ となり，アラーム無視率 α は (2.1) で計算される．

$$\alpha = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (2.1)$$

アラームが鳴ったときに，ブレーキ操作を行わない回数が増えれば， α は増加する．今回の実験では，アラームが鳴ったときは，被験者全員がブレーキ操作を行ったので， $n_2 = 0$ となり，従ってアラーム無視率は $\alpha = 0\%$ となる．誰も無視しないことが分かった．

(2) アラームが鳴らない場合の用心率

アラームが鳴らない場合のドライバの反応を表す特徴量として，アラームが鳴らない場合の用心率をみる．1回の走行での行動3および行動4の回数をそれぞれ n_3, n_4 とすると，アラームの鳴らない交差点数は $n_3 + n_4$ となり，用心率 β は (2.2) で計算される．

$$\beta = \frac{n_3}{n_3 + n_4} \quad (2.2)$$

β は，通知システムに対する不信度と解釈できる．図8にフェーズI(R1-R4)およびフェーズII(R5-R11)のアラームが鳴らない場合の各被験者の用心率 β の変化を示す．

フェーズIIにおいてP5は，アラームが鳴った場合しかブレーキ操作を行っておらず， β の値は0%であった．また，P1とP3の値は0%に近かった．これはP1, P3, P5が通知システムに全面的に頼っていたことを意味する．P9もR5, R9以外 β の値は小さい．P2, P6, P8の3名は，全ての回の全ての交差点において，アラームが無いときもブレーキ操作したため， β は常に100%であった．P4はR6の交差点8以降 β は100%であった．P7はR8まで通知システムに頼らずア

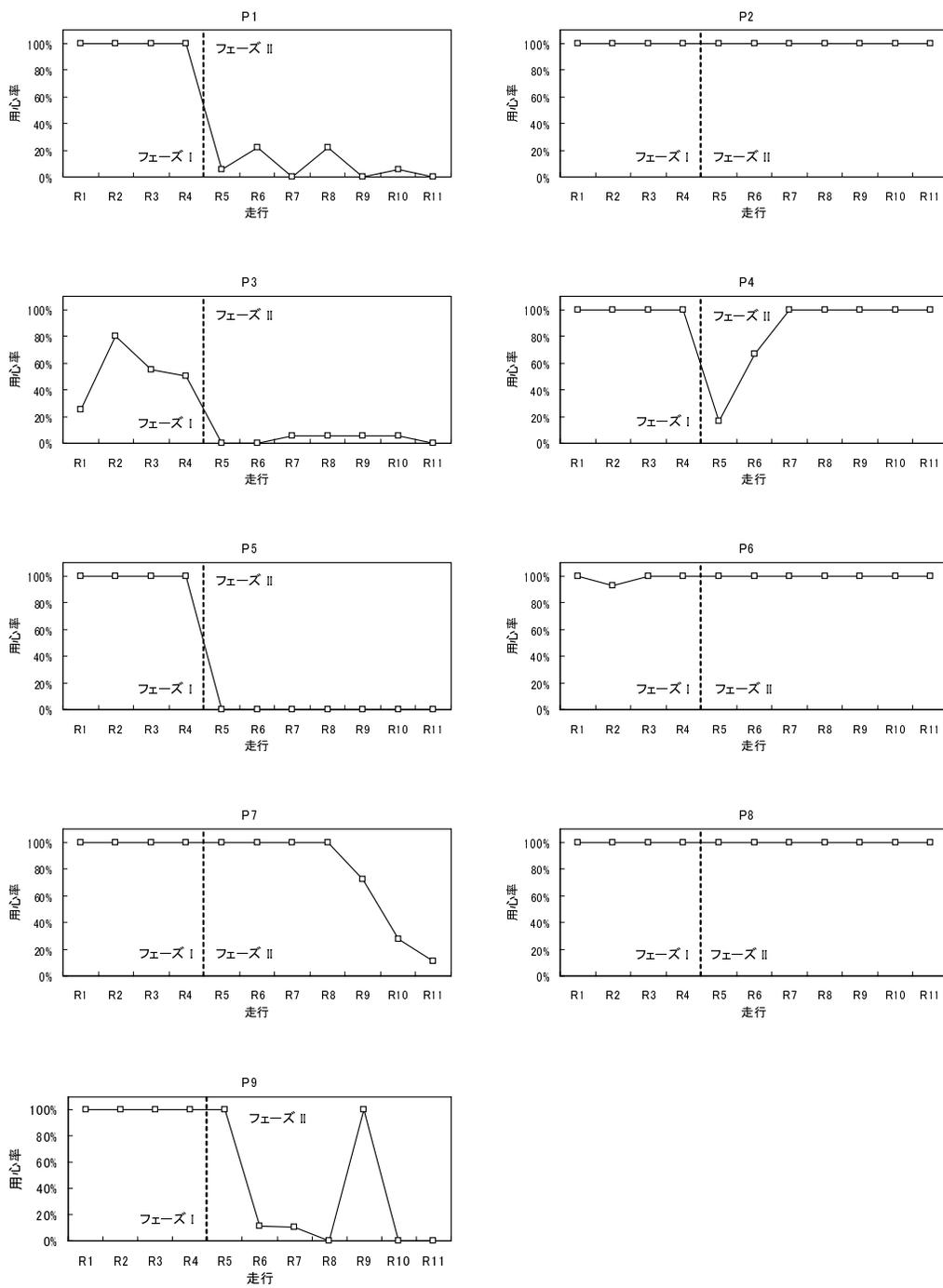


図 8 被験者別の用心率 β (Phase I,II)

ラームの鳴らない交差点でも全てブレーキ操作していたが、R9以降通知システムに頼るようになり、アラームの鳴らない交差点では、ブレーキ操作を行わなくなった。このようにアラームが鳴らない場合の用心率が個人によって大きく異なることが分かった。このことは支援システム導入に対するユーザの特徴を表す指標として使える可能性を示していると考えられる。通知システムが誤操作を起こす場合にこの用心率が何にどのように影響するかを2.5節で検討する。

(3) ブレーキ操作を行った交差点の割合

ここで再び全交差点におけるブレーキ操作の有無のデータを用いた指標について考える。すなわち、全被験者について各走行回に全20箇所の交差点（事故発生以後の交差点は除く）でブレーキ操作を行った割合（以下、ブレーキ操作率）についてみる。 $n_1 \sim n_4$ を使うとブレーキ操作率 γ は(2.3)のように計算できる。

$$\gamma = \frac{n_1 + n_3}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \quad (2.3)$$

図9に各走行回のブレーキ操作率の変化を示す。各被験者のグラフの傾向は図8の傾向とよく似ていることが分かる。 γ と β の関係は付録Aにまとめた。図9をみると、フェーズIではP3とP6以外の7名について $\gamma=100\%$ である。フェーズII以降では、 γ の値が33%以下になるグループ(P1, P3, P5)と、それ以外(P2, P4, P6, P7, P8, P9)に分かれる。後者のうち、P2, P6, P8は $\gamma=100\%$ で変わらないが、P4, P7, P9については大きな変化がある。この変化は用心率の変化に基づいているが、その原因を詳しく調べることは今後の課題である。

2.4.3 主観的ワークロードの経時変化

通知システムの導入はドライバのワークロードに影響すると考えられる。主観的ワークロードを測定するために、走行が2回済む毎にAWWLアンケートを行った。また各走行回終了後にインタビューを行った。図10に全被験者のAWWLスコアの変化を示す。

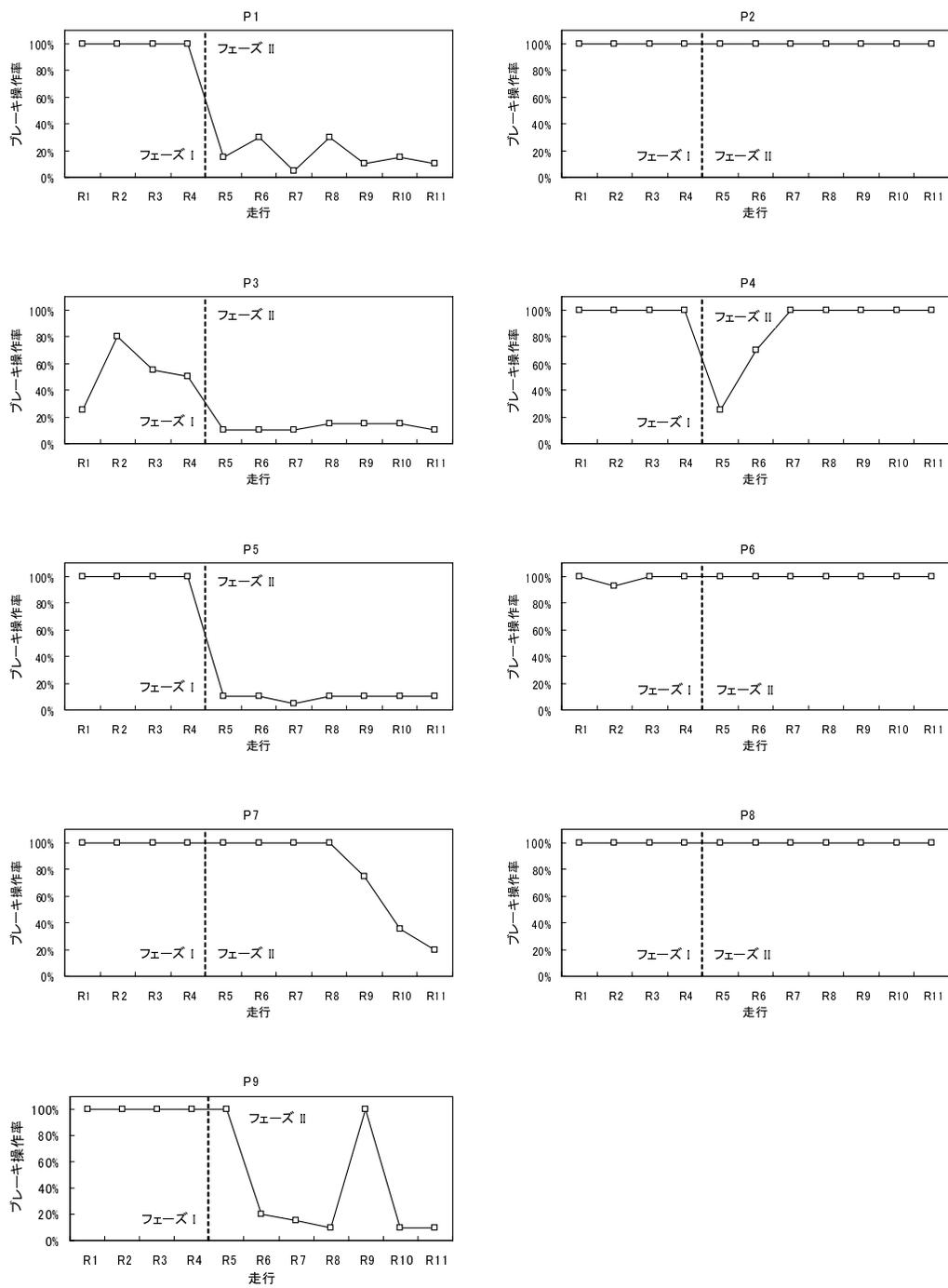


図 9 被験者別のブレーキ操作率 γ (Phase I,II)

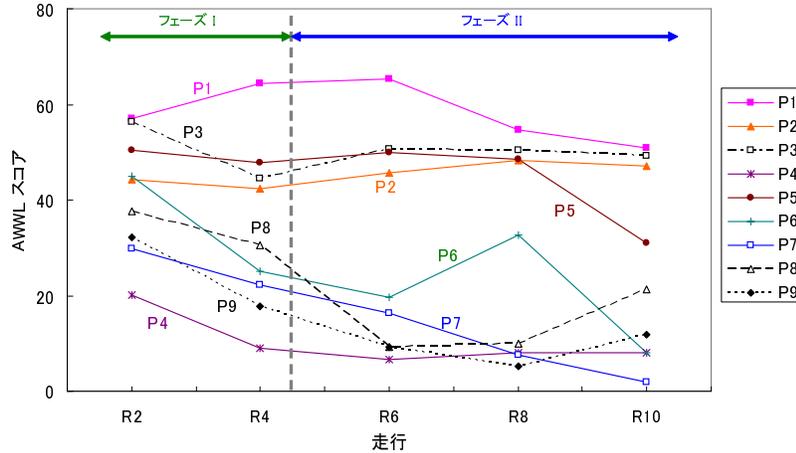


図 10 AWWL スコア (Phase I,II)

フェーズ I からフェーズ II へ移るとき，AWWL スコアが一時的に増加している被験者が 4 名いたが，R4 走行後と R10 走行後の AWWL スコアを比較すると，9 名中 6 名で AWWL スコアは減少していた．一時的な増加については，通知システムの導入直後の環境変化のためと考えられる．図 8 と図 10 を対応させると，フェーズ II で用心率 β が減少した被験者のほとんどは，AWWL スコアが減少していた．例えば P7 についてみると，図 8 の用心率の減少と図 10 のワークロードの減少が並行していることがわかる．これは通知システムの使用がドライバの運転に対するワークロードを軽減させた例と見ることができる．すなわち通知システムを利用することによって，運転行動に対する負荷が軽減されることを示唆していると考えられる．一方 AWWL が増加した被験者 P2, P8 は，用心率 β がフェーズ II では全て 100 % になっていた．このような被験者にとって通知システムは運転の妨げになっていると考えられる．このように用心率をみることによって，支援システムのその人にとっての有用性を推定することができる．

2.4.4 通知システムの誤動作の影響

(1) アラームが鳴った時の無視率およびアラームが鳴らない場合の用心率

フェーズ III に対して，全交差点におけるブレーキ操作の詳細を表 7 にまとめた．

表 7 ブレーキ操作 (Phase III)

被験者	走行	交差点番号																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P1	R12			○	○								▲	(事故のため中断)							
	R13		○		○	○			○	○	○	○	○					○	○	○	○
	R14																				
	R15																	○			
	R16			○										○	○					○	○
P2, P4, P6, P8	R12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R13	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R14	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
P3	R12			○									▲	(事故のため中断)							
	R13								○										○		
	R14																				○
	R15																				
	R16																				
P5	R12			○									▲	(事故のため中断)							
	R13				○				○										○		
	R14														○	○	○	○	○	○	○
	R15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
P7	R12			○																	
	R13				○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R14	○		○	○		○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R15			○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	R16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
P9	R12			○									▲	(事故のため中断)							
	R13								○		○	○	○						○		
	R14						○	○	○	○					○						
	R15																		○	○	
	R16		○							○	○	○	▲	(事故のため中断)							

○ : ブレーキ行動 ▲ : 事故
 : 通知システム正常(アラームあり, 交差車両あり)
 : 通知システム欠報(アラームなし, 交差車両あり)
 : 通知システム誤報(アラームあり, 交差車両なし)

全被験者について，システムの誤作動が起こってもアラームが鳴ったときには必ずブレーキ操作による減速を行ったため，アラームが鳴った時の無視率 α は 0 % だった．

図 11 にフェーズ III のアラームが鳴らない場合の用心率 β の変化を示す．P5, P7 の場合 R12 以降 β が増加した．誤作動の経験により通知システムに頼らない運転になったためと考えられる．P9 は R12 以降 β が増加したものの，たかだか 30 % 程度に留まった．P1 の場合 R13 で β は一旦 61 % まで上昇したが，R14 以降誤

報の経験をしたにも関わらず減少した。P3の場合、フェーズIIIにおいても β は常に小さいままであり、他の被験者と傾向が大きく異なる。P1, P3, P9の3名は通知システムの欠報や誤報を経験しても、通知システムに頼った運転を行ったと考えられる。フェーズIIで支援システムを使おうとしなかったP2, P4, P6, P8の4名はブレーキ操作に変化がなく、用心率 β の値は全員100%であった。P2はインタビューで、「R12の欠報直前まで通知システムを信じようか信じまいか迷っていたが、この欠報をきっかけに通知システムを信じるのをやめた」と回答している。フェーズIIからフェーズIIIにおけるアラームが鳴らない場合の用心率 β に注目すると次の3つのパターンにわかる。

誤動作の発生に関係なく通知システムに頼った被験者 (P1, P3, P9)

通知システムに頼っていたが、エラーが続出すると頼らなくなった被験者 (P5, P7)

通知システムの誤動作の有無に関係なくシステムに頼らなかった被験者 (P2, P4, P6, P8)

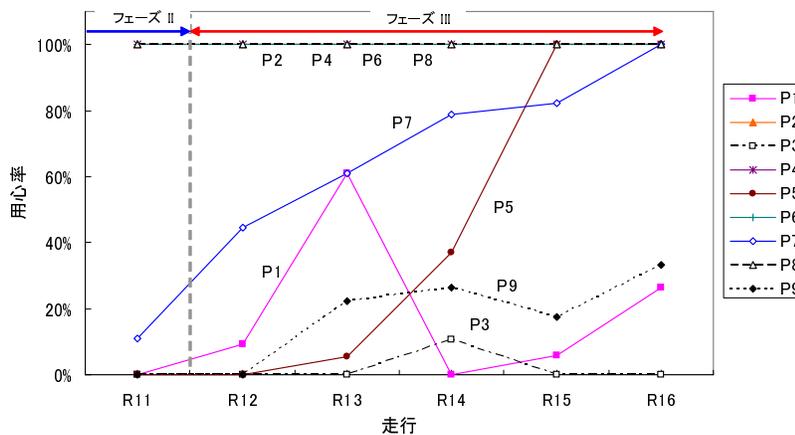


図 11 被験者別の用心率 β (Phase III)

フェーズIIIで起こった6件の事故のうち、5件をパターン 3の3名が起こしたことを考慮したとき、これらの被験者に対して「かも知れない運転」の重要性を理解してもらう必要があると考えられる。

(2) 事故の発生件数

各被験者に対してフェーズⅠ～フェーズⅢで発生した事故件数を表 8 にまとめた。発生事故件数では、支援システムに対しての依存の 3 つのパターンと事故との関連を述べる。

表 8 発生事故件数

Subject \ Phase	Phase I	Phase II	Phase III
P1	0	0	1
P3	1	0	2
P9	0	0	2
P5	0	0	1
P7	0	0	0
P2	0	0	0
P4	0	0	0
P6	1	0	0
P8	0	0	0

■ : ① Phase III でもシステムに頼ったまま
■ : ② Phase III から次第に頼らなくなる
□ : ③ 常にシステムに頼らない

フェーズⅡで用心率の低かった P1, P3, P5, P9 のようなシステムに頼っていた被験者は、R12 の欠報の際に出会い頭事故を起こした。Phase III でも頼ったままの被験者の P3 と P9 は R12 以降誤報が続いて発生したにもかかわらず通知システムに頼り、R16 の交差点 12 での欠報時にブレーキ操作を行わず、再び出会い頭事故を起こした。一方、支援システムに頼っていた被験者の P1 はインタビューで、「R13 以後極度に注意深く運転し、R16 の交差点 12 での欠報時には交差車両の出現に対して何とかブレーキをかけて避けることができた」と回答している。P5 は、R12 以降の誤報の経験を重ねるうちに通知システムに依存しない運転に切り替え、R16 で欠報による事故を再び起こすことはなかった。フェーズⅡで用心率が 100 % であったシステムに頼らない運転をしていた P2, P4, P6, P8 の他、通知システムをよく確かめて利用し始めた P7 も、R12 の 12 番目の交差点での初めての欠報で事故を起こさなかった。

以上のことから、支援システムに頼り用心率が極端に低い運転を行っていた場合、万一支援システムに誤動作などが発生した場合、問題があることがわかった。事故発生の可能性を下げるためには通知システムに過度に依存しないことが必要、すなわち適切な用心率が必要と考えられる。

(3) 主観的ワークロード

図 12 にフェーズ III の AWWL スコアの変化を示す。全被験者の AWWL スコアが、フェーズ II の R10 走行後と比較すると、増加している傾向が見られる。P1, P3, P9 のように R12 における初めての誤動作後において、主観的ワークロードが急激に増加した被験者もいた。

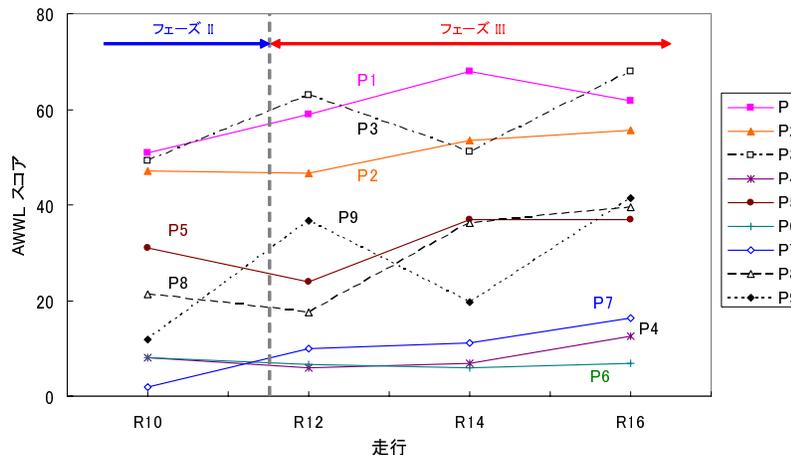


図 12 AWWL スコア (Phase III)

AWWL スコアを構成する 6 つの尺度（知的・知覚的要求，身体的要求，タイムプレッシャー，作業成績，フラストレーション，努力）についてみると，P1 の場合，フラストレーションの値の増加が R12 での AWWL スコア増加に大きく寄与している。フラストレーションの増加の原因としては，事故発生による通知システムへの不信が考えられる。P2 についてもフラストレーションの増加が R12 以降の AWWL スコア増加に大きく寄与していることが分かった。さらに被験者

P6, P7, P9 についても，AWWL スコアの増加の原因は，フラストレーションの増加であった．このように支援システムの誤動作があると，ドライバはフラストレーションを増加させ，主観的ワークロードが増加することが確認できた．

2.5 運転支援システムの使い方についての考察

運転支援システムを搭載した自動車を運転するにあたり，今回の実験から得た知見を以下に記す．

プラス面の知見

1. 無視率 $\alpha = 0\%$ で運転支援システムの警報を利用した．
2. 用心率 $\beta = 0\%$ の被験者の中で運転行動に対する負荷の軽減がみられた．
3. 用心率 $\beta = 0\%$ でも，予期せぬ危険を回避できた被験者もいた．
4. 用心率 $\beta = 100\%$ の被験者の中で用心率が高くても運転負荷の減少がみられた．

まずプラス面として，アラームが鳴ったときの無視率 α から，今回の実験では全被験者が， 0% となっており，警報が鳴ると必ずブレーキ操作を行っていた．通知システムの警報が鳴ったときは，交差車両の有無にかかわらずブレーキ操作を行うことは望ましい運転といえる．支援システム実装前後の AWWL スコアを比較すると，システム実装後にブレーキ操作の回数が減少した被験者（用心率 β の小さい）には，AWWL スコアが減少していく傾向がみられ，運転行動に対する負荷が軽減したと考えられる．用心率 β が 100% に近い被験者の一部にも，負荷の軽減が見られ，運転支援システムを使用することは，運転に対する負荷を軽減させることがわかった．また，Phase II で用心率 β が 0% に近く強くシステムに依存していたと思われる被験者でも，予期せぬシステムの欠報に対してうまく回避行動ができていた被験者もいた．このことから運転支援システムを使用する場合，回避行動ができる程度の注意力を保ち運転を行う必要があることが示唆される．

マイナス面の知見

1. 用心率 β 0% で過度にシステムに依存していた被験者は、突然の欠報に対して事故を起こした。
2. 用心率 β 100% で運転支援システムを使用しなかった被験者についても、運転に対する負荷が増加した。

マイナス面としては、Phase II で用心率 β が 0% に近いほとんどの被験者は、システム欠報時に事故を起こしてしまった。これは運転支援システムに対して過信した結果、運転に対する負担は減ったが、同時に運転への集中度の低下をまねき、危険を予測した運転行動を行わなかったと考えられる。対策として、ドライバ側で予期せぬ危険事象に対しても回避行動ができる程度の注意力を保って運転することが必要である。一方、システム側も、過信させないような対策を組み込む必要がある。また、逆に支援システムに対する不信についてもどのようにしたら支援システムを受け入れてもらえるかも考える必要がある。

2.6 まとめ

通知システムの導入によって、交差車両との衝突事故の発生がなくなるとともに、通知システムを積極的に利用した被験者のほとんどに主観的ワークロードの減少がみられた。このことから通知システムが運転行動に対する負担を減らすのに効果があることが確認できた。一方、通知システムを使わなかった被験者については、主観的ワークロードが増加しており、運転に対する負担が増えることもわかった。次に、通知システムが誤動作を起こす場合のドライバ行動への影響を調べる実験を行った結果、用心率 β について 3通りの典型的な変化パターンがあることが分かった。また思いがけないアラームの欠報に対して、事故を起こしやすい人の依存度の特徴が明らかになった。

運転支援システムは本来運転に対しての負荷を減少させるためのものである。しかし、過度のシステムへの依存は注意力を低下させ、システムの誤動作などの想定外の事象に対して対応力を低下させる可能性がある。今後、用心率の変化などをもとにドライバに適切な注意喚起をすることなどを考える必要がある。また、

アラームの音質や音量などがブレーキ操作に与える影響の評価も今後の課題である。

3. オーディオ・エアコン操作のドライバ行動への影響

3.1 非運転行動とスイッチ操作

走行中の画像表示装置の視認行動に関する指針については、すでに多く存在する。例えば、(社)日本自動車工業会のガイドライン改訂第3版^[26]では、タスク完了までの総視認時間が8秒を超えないこと、SAE J2364^[27]では、総操作時間が15秒を超えないこととされている。また、断続して操作をする場合は、視認間隔を4秒程度確保すれば、総視認時間は14~15秒が許容範囲だという報告^[28]もある。車載HMI機器の機能の増加や操作の複雑化に伴い、その標準化がISO/TC22/SC13/WG8等^[10]で議論されている。多種多様な車載機器を運転中に操作するためには、限られた総操作時間、総視認時間内に出来るだけ多くの操作が安全かつ簡単にできることが理想的である。一定時間内により多くのスイッチ操作を行うためには、1回のスイッチ押し操作にかかる操作時間や視認時間を短くすることが有効である。

本研究では、視線移動を減少させるために表示部はHead-up Display(以下HUD)を用い、手や腕の移動をできるだけ少なくするために、操作部にステアリングスイッチを用いた新しい車載HMI機器(以下、新HMI)を対象とした。このHMI機器と運転席左前に設置されている従来のスイッチ(以下、インパネスイッチ)を使ったHMI機器(以下、インパネHMI)の運転中の操作を比較した先行研究では、設定した条件において新HMIはインパネHMIと比べて、自動車運転に与える影響が小さいことが報告^[21]されている。

本論文では安全運転への影響や車載HMI機器の使いやすさを評価する指標の確立を目標にして、各スイッチ操作により発生するドライバの負担や、スイッチ操作が自動車運転に与える影響を比較し、各HMIを評価する。

3.2 スイッチ操作評価実験

3.2.1 ドライビングシミュレータ

実験には Honda ドライビングシミュレータ^[24](以下, DS)を用いた。この DS では, 10ms のサンプリング周期で自車の位置座標, ヨー角, ステアリング操舵角などのデータが収集できる。この他に, 各種映像記録のためのビデオカメラ, 視点(アイマーク)と視野映像記録のため NAC 社 EMR-8B, 及び画像保存用にディスクレコーダを用いた。

3.2.2 インパネスイッチ

(1) HMI1

HMI1 の外観を図 13 に示す。HMI1 には, Honda ドライビングシミュレータに備え付けられている, 運転席左前に設置されている従来のスイッチ(以下, インパネスイッチ)を使用した。今回使用したインパネスイッチには, オーディオ及びエアコン操作のスイッチがある。



図 13 インパネスイッチ

3.2.3 ステアリングスイッチ

HUDによる表示情報を模擬するため、運転席前方のダッシュボード上に車載用液晶カーモニタ（Panasonic社 TR-M70WS3）を設置した。同じくダッシュボード上にフィルムを貼ったガラス板を設置し、フィルム部分にモニタ映像（操作メニュー）を投影する。ドライバは、フィルム部に写るモニタ映像を見て、ステアリングホイールに設置したスイッチを操作する。

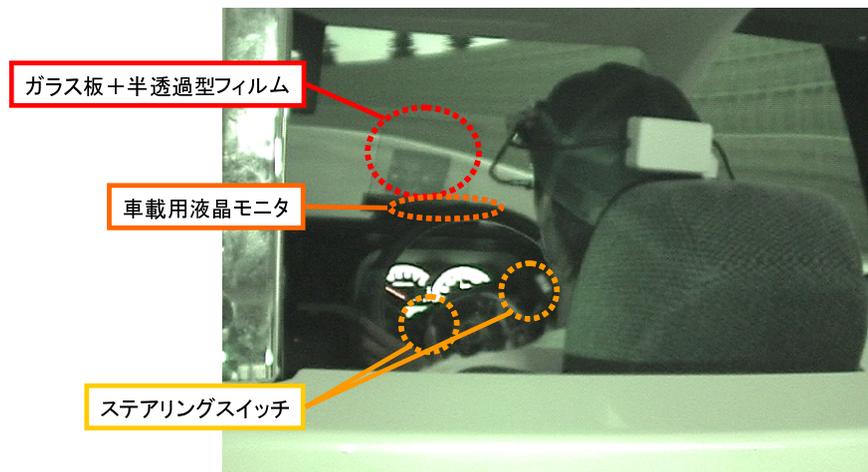


図 14 HUD

新HMIは、事前にプロトタイプの中から操作時間や操作ミス回数などの点で最も優れているものを採用した。ステアリングスイッチを操作しないときは何も表示しないが、どれかスイッチを押すとトップメニューを表示する。キー入力がない状態が8秒続くと、表示が消えるように設定した。ステアリングスイッチの配置を図15に示す。

ステアリング内部左側のスイッチ(a)は、HUDに映しだされるアイコンの位置と対応しており、HUDに映し出されているスイッチを選択したい場合、ステアリングスイッチの対応する位置のスイッチを押すことになる。HUD上の1画面上で選択できるアイコン数の最大値は、ステアリングスイッチのボタンの数と同数とした。また、メニューの構成は階層メニューを採用した。例えば「FMに切替える」動作を行う場合、トップメニューで[Audio]を選択し、Audioの画面に移

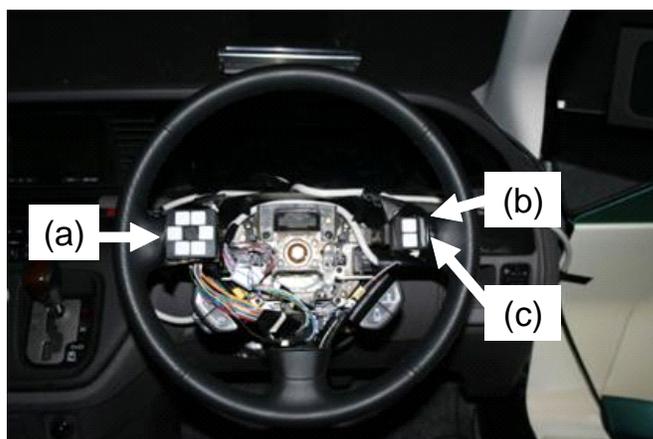


図 15 ステアリングスイッチ

行する．その中にある [Radio] を選択し，次の画面で [FM] を選択する．また，ステアリング内部右側の二つのスイッチのうち，(b) は階層メニューの最上層（トップメニュー）に移動し，(c) は一つ前の階層に戻るものである．

(2) HMI2

HMI2 は，図 16 左側に示す 5 個のスイッチがあるステアリングスイッチと，ダッシュボード上の HUD で構成される．スイッチの大きさは，半径 2.0cm である．HUD の表示メニュー例を図 16 右側に示す．1 画面につき，最大 5 個の選択肢がある．図 16 は 4 個の選択肢の場合である．左上の [TOP] は階層メニューの最上階層を表示していることを示しており，操作可能な選択肢には入らない．

(3) HMI3

HMI3 は，図 17 に示す 7 個のスイッチがあるステアリングスイッチと，HUD で構成される．1 個のスイッチの大きさは，1.4cm 四方である．中央のスイッチのキートップは黒色で，周囲のスイッチより高さが低い．周囲 6 つのスイッチは白色で，左側 3 つのキートップ中央にはそれぞれ凸状の半球が，右側 3 つにも凹状の半球があり，スイッチの確認を容易にしている．HUD の表示メニュー例を図 17 右側に示す．1 画面につき，最大 7 個の選択肢がある．

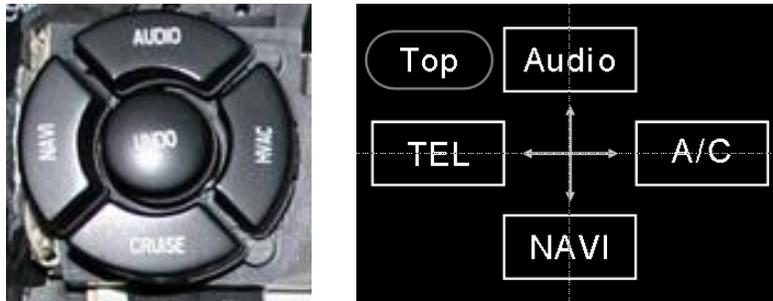


図 16 ステアリングスイッチ (Push 5)



図 17 ステアリングスイッチ (Push 7)

3.3 実験条件

実験に用いた高速道路の走行コースを図 18 に示す．被験者は，図 18 の START 地点から走行を開始し，80km/h で走行する先行車両に追従しながら右回りにコースを周回し，END 地点で走行を終了する．1 周は約 6km である．図 18 中の P1 ~ P8 はスイッチ操作指示の開始地点を示す．

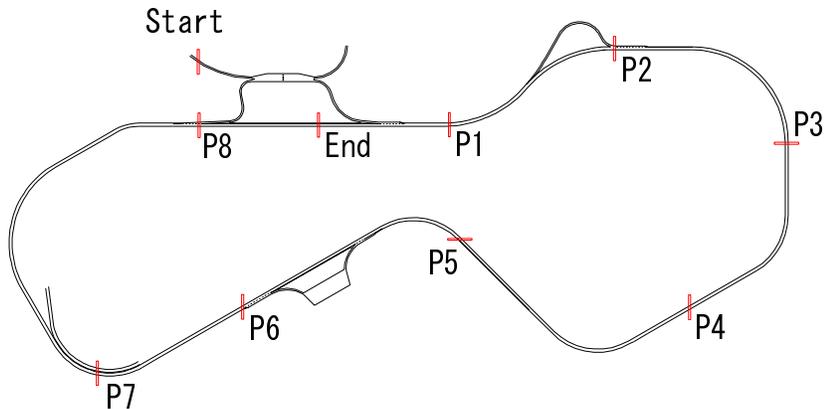


図 18 実験コース

各スイッチ操作指示開始地点では「音量を上げて下さい」「外気/内気を切り替え，風量を下げてください」など，異なる操作を促す音声指示が出る．音声指示終了直後に Beep 音が鳴り，被験者にはその音をトリガにスイッチ操作を開始するように指示した．HMI1 ~ HMI3 について，各操作指示開始地点での指示内容を表 9，表 10 に示し，各操作に対する正しいスイッチ押し回数を表 11 にまとめた．HMI1 は全ての操作が 1 ~ 2 回ですむのに対して，HMI2 および HMI3 では 2 ~ 6 回となっている．

3.4 実験手順

被験者は S1 から S6 の 6 名で，22 または 23 歳の男子大学院生である．

全員，普通自動車免許を所有している．被験者は，図 18 のコースを，以下の 5 種類の異なる条件でそれぞれ 1 周走行した．

表 9 操作内容 (HMI1)

音声指示地点	音声指示内容	操作数
P1	FM/AMを押してください	1
P2	音量を上げてください	1
P3	外気・内気を切り替え, 風量を下げてください	2
P4	外気・内気を切り替えてください	1
P5	風量を下げてください	1
P6	TAPEを押して, 音量を下げてください	2
P7	FM/AMを押して, 1を押してください	2
P8	外気・内気を切り替え, 風量を上げてください	2
Avg.		1.5

表 10 操作内容 (HMI12, HMI3)

音声指示地点	音声指示内容	操作数	
		HMI2	HMI3
P1	音量を上げてください	4	2
P2	外気循環にしてください	3	3
P3	FMに切り替えてください	4	4
P4	フロント霜取りをONにして, リア霜取りをONにしてください	6	5
P5	HDDに切り替えて, 音量を下げてください	5	5
P6	AMのプリセット1を選択してください	6	5
P7	外気循環にし, 風量を上げてください	5	5
P8	風量を下げてください	4	4
Avg.		4.6	4.1

表 11 操作回数

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.
HMI1	1	1	2	1	1	2	2	2	1.5
HMI2	4	3	4	6	5	6	5	4	4.6
HMI3	2	3	4	5	5	5	5	4	4.1

T1：練習走行（スイッチ操作なし・先行車追従タスクなし）

T2：追従走行（スイッチ操作なし）

T3(HMI1)：先行車追従と HMI1 の操作

T4(HMI2)：先行車追従と HMI2 の操作

T5(HMI3)：先行車追従と HMI3 の操作

HMI の順序効果を排除するため、被験者毎に HMI1～HMI3 を行う順番を変えた。HMI1～HMI3 の走行前には、操作対象となる HMI の操作を教示し、スイッチ操作に慣れる時間を設けた。被験者は、T2 以降各周回終了後に NASA-TLX 評価シートへの記入を行い、実験終了後にスイッチの操作評価に関するインタビューを受けた。

3.5 分析指標

表 12 のような指標を採用し、車載 HMI 機器の安全性と使いやすさの観点から分析する。各指標について、安全性と使いやすさのどちらを分析するのに適しているかについて表中の を付けて示している。

操作ミス数は、使いやすさについての直感的な指標である。今回使用する新 HMI では、ある目的に対して必要な操作を、簡単なスイッチ操作に分割することで安全を確保する。このため、操作ミス率を安全性の観点から評価の指標として用いることにする。総操作時間、総視認時間についても、1 操作あたりの操作時間、1 操作あたりの視認時間を分析することにより、安全性の評価の指標として用いることができる。また、最初の操作をするまでの時間、前方確認回数は、安全運転をするために前方や運転状況の確認をするために重要な指標であり、Yaw 角やステアリングスイッチの分析は、スイッチ操作中の運転行動への影響を調べるために分析する。インタビューでは気づいたことなど回答してもらうため、主観評価は、安全性と使いやすさの両方について分析ができる。

表 12 分析指標

分析指標		分析	
		安全性	使いやすさ
操作ミス	操作ミス数		○
	操作ミス率	○	
操作時間	総操作時間		○
	1操作あたりの操作時間	○	
	最初の操作をするまでの時間	○	
視認時間	総視認時間		○
	1操作あたりの視認時間	○	
	前方確認回数	○	
自車と先行車とのYaw角の差		○	
スイッチ操作時と通常運転時のステアリング操舵角の差		○	
主観評価	NASA-TLX	○	○
	インタビュー	○	○

3.6 評価結果

3.6.1 操作ミス数

スイッチ操作時に2種類のミスが発生した。操作ミスの詳細は、付録B.1に示す。

ER1：押すべきスイッチの種類の間違い

ER2：操作順序の間違い，2度押し

表13にそれぞれの操作ミス数を示す。HMI1での操作ミス数が、一番少なかった。操作ミス数を全操作数で割ったものを操作ミス率として比較すると、操作数が多いにも関わらず、HMI2が最も少なかった。

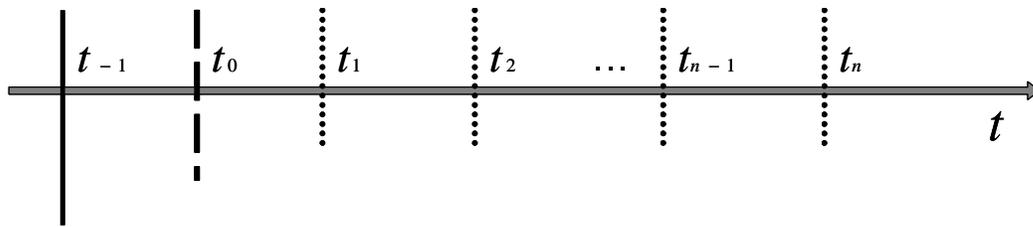
表13 操作ミス回数と操作ミス率

HMI Error type	HMI1 (T3)	HMI2 (T4)	HMI3 (T5)
ER1	1	4	3
ER2	1	0	5
Total	2	4	8
Error ratio	2.8%	1.8%	4.0%

3.6.2 スイッチ操作時間

音声指示開始から被験者が最後にスイッチを押すまでのスイッチ操作の流れを図19に示した。このチャート上で k 番目のスイッチの操作時間は $t_k - t_{k-1}$ ，総操作時間は $t_n - t_0$ で表される。

図20に8つの音声指示地点での総操作時間の平均（但し操作ミス時を除く）を示す。全員HMI1の操作時間がHMI2, HMI3よりも短い。これは、HMI1がHMI2, HMI3よりもスイッチを押す回数が少ないためである。しかし、図21のスイッチ



- t_{-1} 音声指示開始
- t_0 音声指示終了し，操作開始の Beep 音が鳴る
- t_1 操作開始の合図後から最初の操作
- t_2 2 番目のスイッチ操作
- t_{n-1} ($n - 1$) 番目のスイッチ操作
- t_n 最後ののスイッチ操作

図 19 スイッチ操作の流れ図

1 回押し当たりの平均操作時間は HMI1，HMI2，HMI3 でそれぞれ 1.83s, 1.20s, 1.31s であり，HMI1 が一番長いことが分かった．

被験者が操作開始合図から最初の操作を行うまでの時間 ($t_1 - t_0$ ，操作ミス時を除く) を図 22 に示す．平均値で見ると，HMI1 が HMI2, HMI3 より 2 倍以上長いことが分かる．この原因は，被験者がスイッチを探し，そこまで腕を伸ばすことにある．スイッチ操作 2 回目以降の 1 回あたりの操作時間 ($t_k - t_{k-1}$, $1 < k$ ，操作ミス時を除く) の平均値 (HMI1 から順に 1.29s, 1.16s, 1.30s) は，どの HMI でも大きな差は認められなかった．これは，どの HMI でも 2 回目以降の操作では指先の移動で大差がないためと考えられる．

また，スイッチの位置を確認するための目線の移動は，HMI1 の方が HMI2，HMI3 に比べて大きいですが，操作時間への影響はほとんどないと考えられる．各 HMI についての総操作時間の最大値を，操作ミスを含まない場合と操作ミスを含む場合に分けて調べた．結果を表 14 に示す．操作ミスがあった場合を含めて操作時間は，最大値が 13 秒以内で，SAE J2364 の規制値 (15 秒) を全て下回っていることを確認した^[27]．

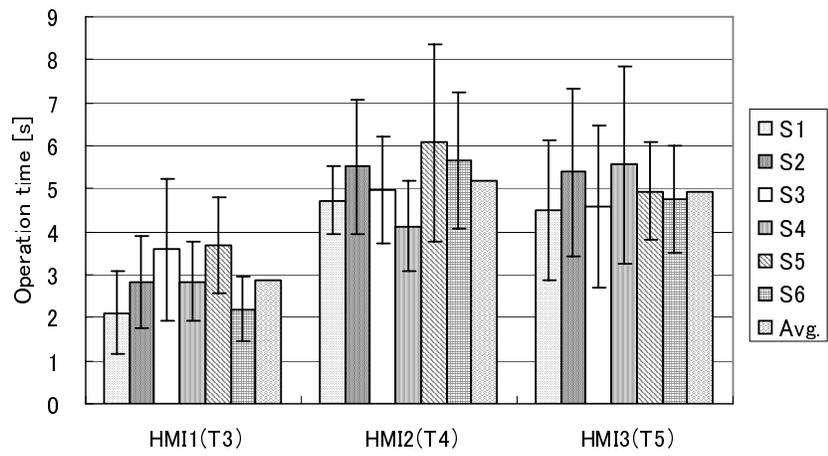


図 20 スイッチ総操作時間

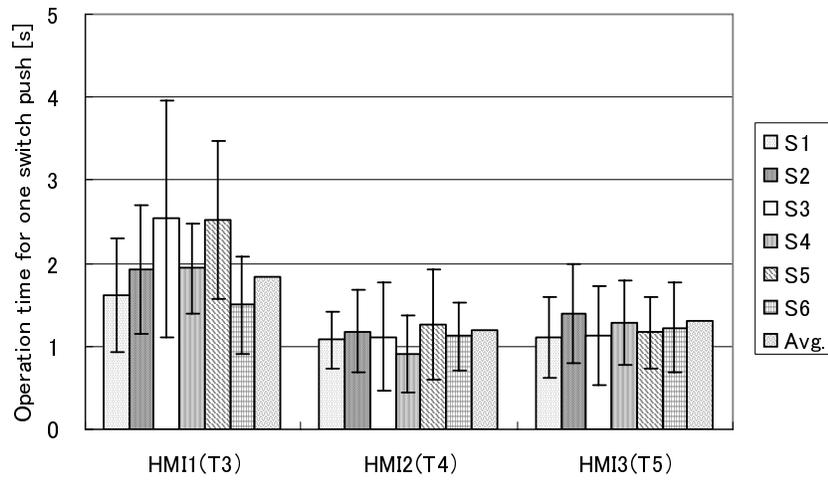


図 21 スイッチ 1 回あたりの操作時間

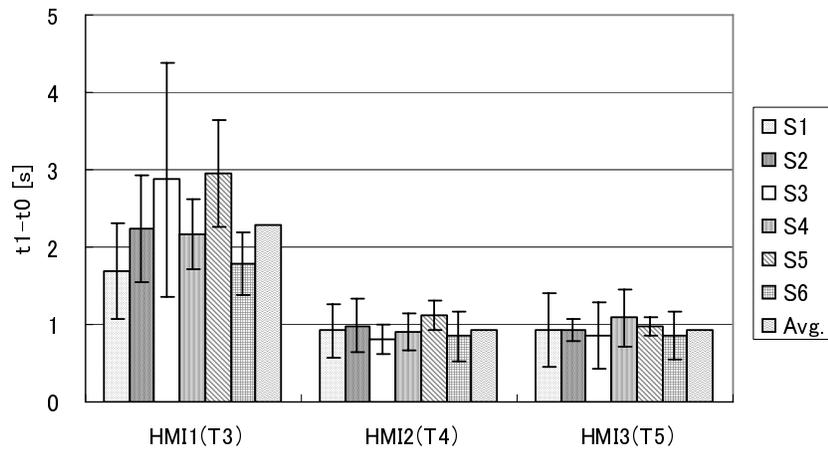


図 22 最初のスイッチ操作を行うまでの時間

表 14 操作時間最大値

HMI	HMI1 [s]	HMI2 [s]	HMI3 [s]
With miss	6.19	10.71	9.25
Without miss	11.35	10.71	12.38

3.6.3 視線移動時間

(1) 視線移動パターン

視線データが良好に収集できた S1, S4, S6 の 3 名について，各スイッチ操作中の視線移動の解析を行った．各被験者，各スイッチ操作前後におけるアイマークレコーダの記録映像及び視線の角度変化を調べた結果，以下のような被験者共通の行動が見られた．

- スイッチ操作前に，安全確認のため前方を見る．
- HMI1 を操作する場合はスイッチを見る．
- HMI2, HMI3 の操作時は，スイッチを見ず HUD を見る．
- 音声指示開始 (t_{-1}) から操作終了 (t_n) までに，前方確認のため前を見る場合がある．

以上の知見から， t_{-1} から t_n まで，スイッチ操作に関わる視線移動を図 23 のように表した． m は HMI を見た回数である．前方確認回数は $m - 1$ である．

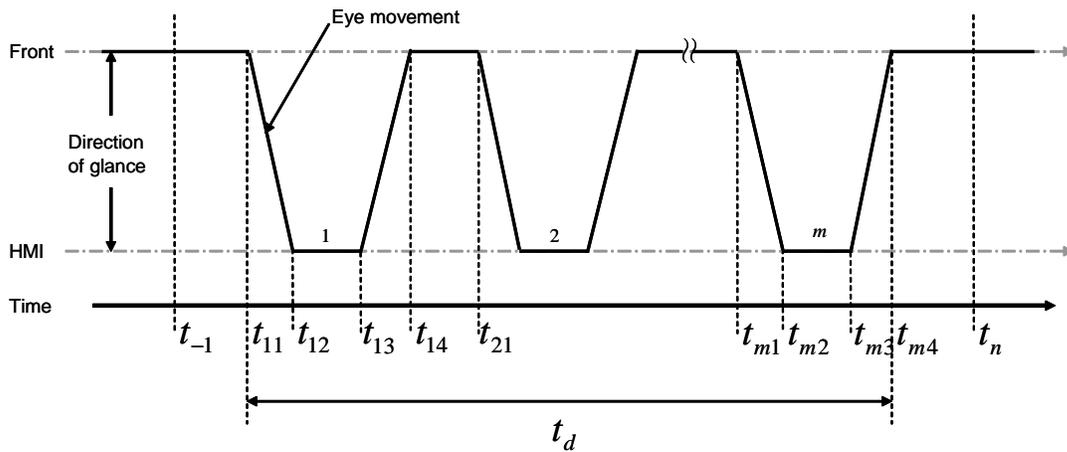


図 23 視線移動の流れ図

(2) 総視認時間

HMI 総視認時間 t_d は，図 23 において操作開始合図直後に視線がインパネや HUD に移動した時刻 (t_{11}) から，最後に視線を前方に戻した時刻 (t_{m4}) の間とした．図 24 に各 HMI，各被験者についての総視認時間の平均値を示す．図 24 から総視認時間は全ての被験者で HMI1 の場合が一番短いことが分かる．HMI1 の総操作時間が一番短いことを反映した結果と考えられる．

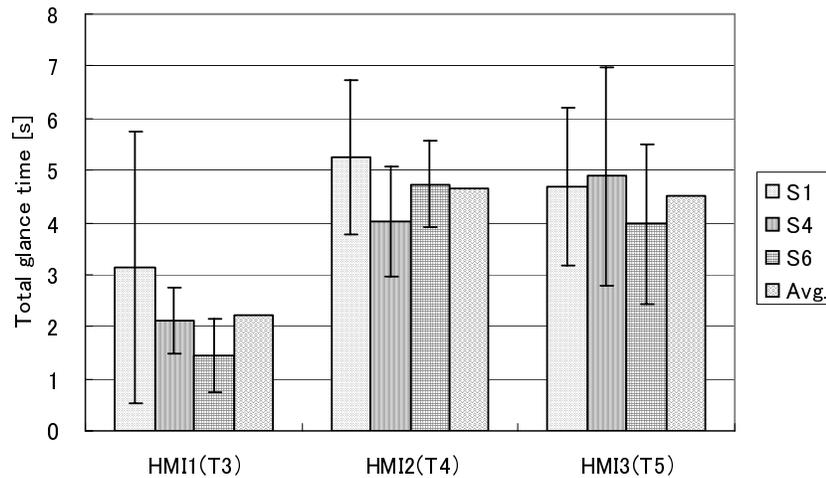


図 24 総視認時間

図 25 に 1 回のスイッチ操作あたりの視認時間の平均を示す．図 25 より S1, S4 の場合 HMI1 が長いことが分かる．原因として，HMI1 の場合スイッチ位置確認のため前方からインパネスイッチに視線を移動する時間が，HMI2 および HMI3 において情報入手のため前方から HUD に視線を移動するよりも長くかかっているためではないかと考えられるが，今後の検証が必要である．

(3) 前方確認回数

図 26 に HMI 毎の 8ヶ所のスイッチ操作における 1 操作あたりの前方確認回数の平均と標準偏差を示す（操作ミス時を除く）．S1, S6 は HMI2, HMI3, HMI1 の

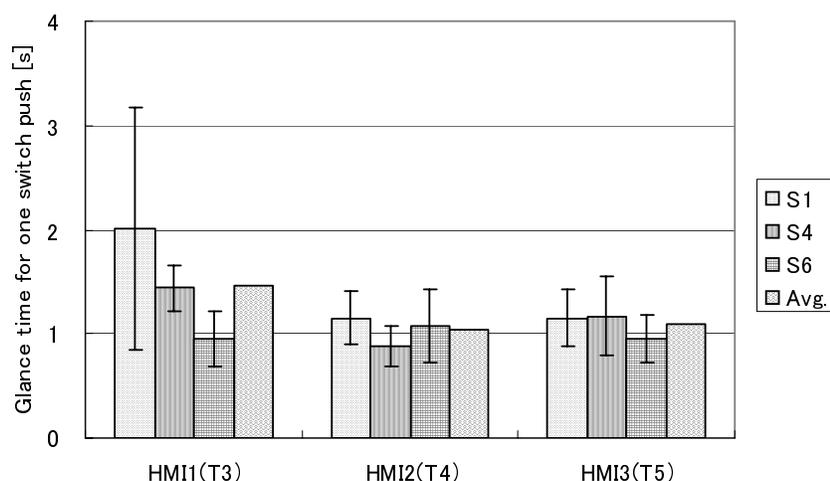


図 25 1 回のスイッチ操作あたりの視認時間

順に確認回数が多い。HMI1 と新 HMI を比べると 3 倍以上の違いがある。S1, S6 については、HMI2, HMI3 の場合 HUD から前方に視線を移動するのが容易であるため、安全確保のため前方確認を多く行っているのではないかと考えられる。

3.6.4 ステアリング操舵角

スイッチ操作時の DS 運転に対する影響について、ステアリング操舵角を用いて分析した。P1-P8 の各音声指示終了時 t_0 の 5 秒前から 20 秒間のステアリング操舵角を調べた。それぞれの被験者で、追従走行のみの場合とスイッチ操作を行った場合のステアリング操舵角の差の二乗和を比較し、図 27 にその結果を示す。平均値でみると HMI1 がやや小さいが、被験者毎に傾向が異なり、HMI の違いによる影響は認められなかった。

3.6.5 ヨー角

スイッチ操作時の DS 運転に対する影響について、ヨー角を用いて分析した。ここでは、車線の中央を走行している先行車と自車とのヨー角の差を、スイッチ操

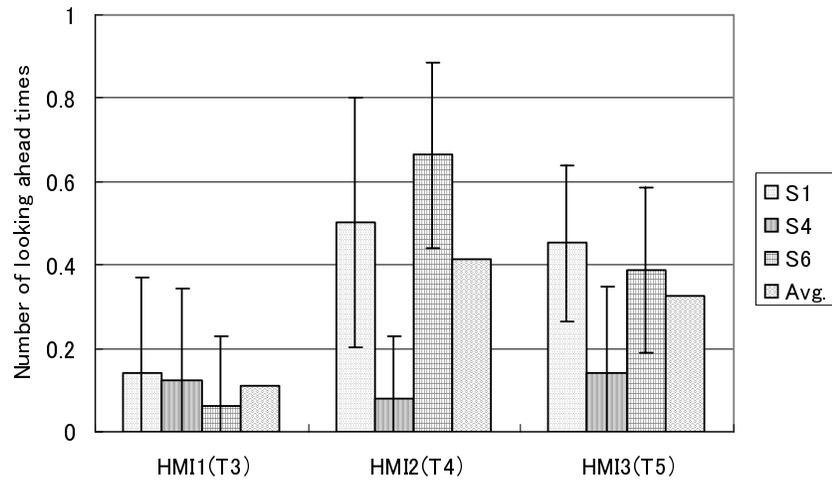


図 26 前方確認回数

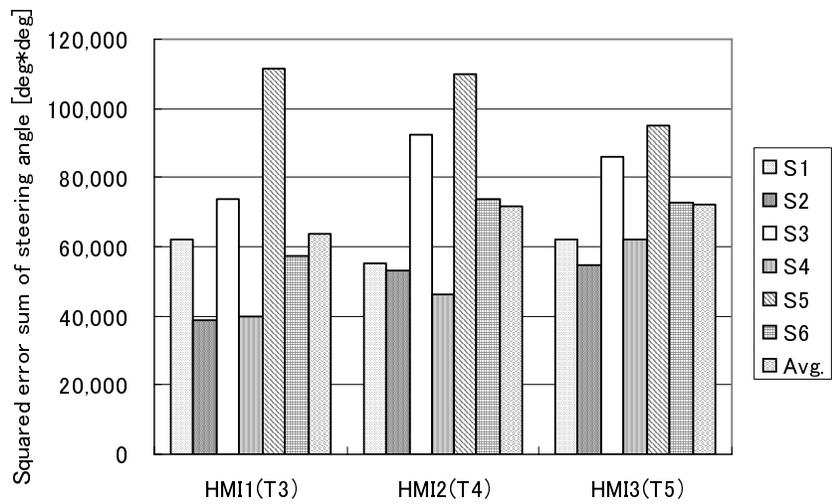


図 27 ステアリング操舵角の差の二乗和

作の有無で比較した。P1-P6の各音声指示終了時 (t_0) の5秒前から20秒間を解析対象とした。その結果、3.6.4と同様にどのHMIにおいても大きな差は認められなかった。

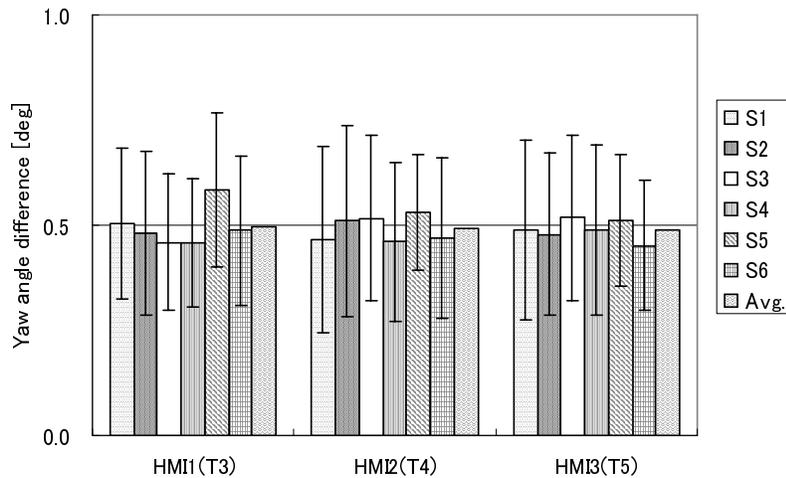


図 28 ヨー角の差の平均

3.6.6 主観評価

HMI1 ~ HMI3のスイッチ操作を行った各周回走行後、インタビューとNASA-TLXのWWLスコアでの評価を行った。各被験者のWWLスコアは、付録B.4に示す。インタビューでは、各周回走行後に操作したHMIの長所と短所を聞き、全周回走行後には全HMIについての感想を聞いた。各HMIについてのコメントをまとめた。

HMI1

長所 一見して機能が分かる (S1, S6)

短所 操作回数は少ないが、視線を逸らし、手を伸ばさないといけないので、
運転が不安定になる (S1, S2, S3, S4, S5, S6)

HMI2

長所 ボタンが少なく，押しやすかった (S1, S6)

短所 階層が深かったのですっと HUD を見ていた (S2)

HMI3

長所 (HMI2 と比べ) 階層が浅くて良かった (S6)，ボタンに凹凸があったため，使いやすい (S1)

短所 1 画面の情報量が多い，ボタンが多い (S2, S3)

各被験者の WWL スコアの解析結果を図 29 に示す．6 名中 5 名の被験者で追従走行のみの場合に比べスイッチ操作を行った場合にスコアは上がったが，HMI 間の差に一致した傾向は認められなかった．

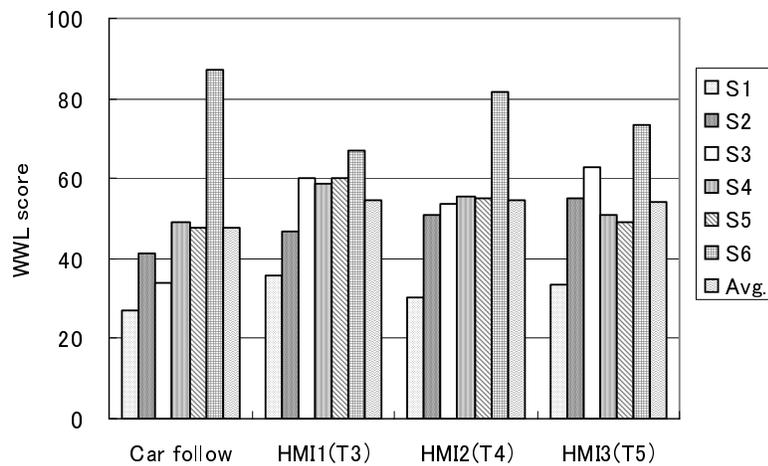


図 29 WWL スコア

3.6.7 HMI 間の差の検定

各 HMI 間の違いを見るために，全被験者の各指標（操作ミスデータを除く）についてフリードマン検定を行った．スイッチの操作データの検定検定結果を

表 15(a) に，視線データの検定結果を表 15(b) に，ヨー角の差・ステアリング操舵角の残差二乗和・主観的ワークロードの検定結果を表 15(c) に示す．表中の灰色で塗りつぶした箇所は，有意水準 10% 以上である．

音声指示地点毎のデータを使用し，有意水準を 10% ($p > 0.1$) としたところ，操作データと視線データの指標に対して，HMI1 と新 HMI では，差があり，HMI2 と HMI3 では差がないという結果を得た．また，ヨー角の差・ステアリング操舵角の残差二乗和・主観的ワークロードの検定では，全ての HMI どうして，差がないという結果を得た．

3.7 考察

3.7.1 総視認時間と他パラメータとの関係

視線データが収集できた 3 人の結果を用いて，総操作時間と総視認時間の関係を調べた．図 30 に，その結果を示す．相関係数は 0.93 であり，総視認時間は総操作時間にほぼ比例していることが分かった．

図 31 に総視認時間と，スイッチ操作の有無によるステアリング操舵角の差の二乗和 (3.6.4 参照) の関係を，視線データが採取できた 3 人について示す．各 HMI について 3 人の被験者の 8 回の指示に対するデータがプロットされている．HMI2，HMI3 は HMI1 に比べ総視認時間は長いものの，ステアリング操舵角の差の二乗和は HMI1 と同じ範囲でばらついていることがわかる．このことから，HMI2，HMI3 のステアリング操舵角のブレは，HMI1 と同等レベルであると判定できる．先行研究である笹之内らの報告^[27]では，HUD とステアリングスイッチを組み合わせた HMI と従来の HMI を使用しているときの走行車の横変位の比較を行い自車の挙動乱れが少ないことを報告していた．今回の実験条件ではスイッチ操作の内容を同じようにしたため，HMI1 のスイッチ押し回数は 1-2 回であり，比較的容易な操作になっている．このため，分析の対象となる時間が新 HMI と比較し短かく，笹之内らの結果と比較するためには，各スイッチの操作回数を合わせた実験を行って，各指標を比較する必要がある．

表 15 検定結果 (有意確率 : P)

(a) 操作データ

	(1)	(2)	(3)
HMI 1 - HMI 2	2.0843E-06	4.4085E-09	2.3311E-08
HMI 1 - HMI 3	2.018E-05	1.0041E-09	6.6631E-06
HMI 2 - HMI 3	0.89753056	0.97297464	0.57851125

- (1): 総操作時間
 (2): 1操作あたりの操作時間
 (3): 音声指示終了から最初の操作までの時間

(b) 視線データ

	(4)	(5)	(6)
HMI 1 - HMI 2	4.0065E-05	0.0285655	0.00873218
HMI 1 - HMI 3	0.00033546	0.01806301	0.05538101
HMI 2 - HMI 3	0.8824969	0.98620712	0.79703885

- (4): 総視認時間
 (5): 1操作あたりの視認時間
 (6): 前方確認回数

(c) その他

	(7)	(8)	(9)
HMI 1 - HMI 2	0.56471812	0.92774349	0.95918946
HMI 1 - HMI 3	0.10170139	0.74081822	0.95918946
HMI 2 - HMI 3	0.56471812	0.92774349	0.84648173

- (7): Yaw角の差
 (8): ステアリング操舵角の差の残差二乗和
 (9): NASA-TLX

有意水準 $\alpha = 0.10$ として

	: 差はない ($P > \alpha$)
	: 差はある ($P \leq \alpha$)

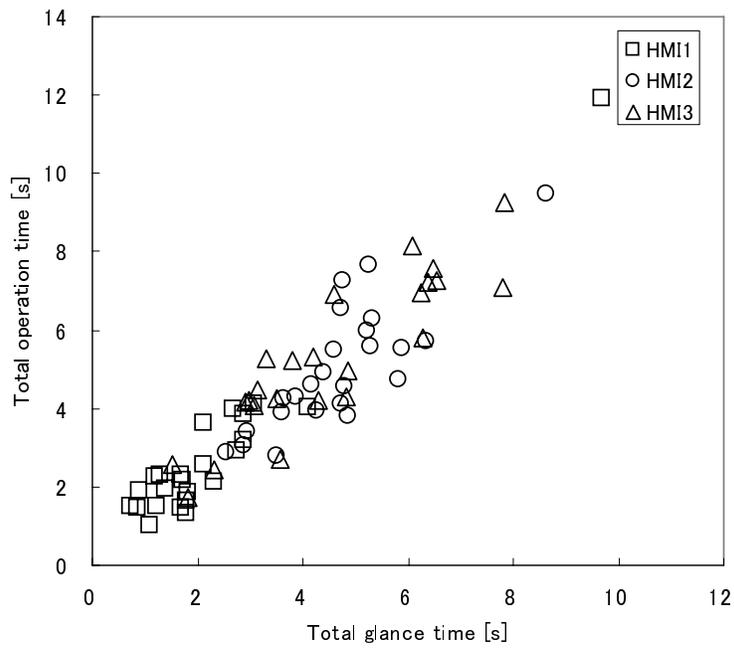


図 30 総視認時間と総操作時間の相関

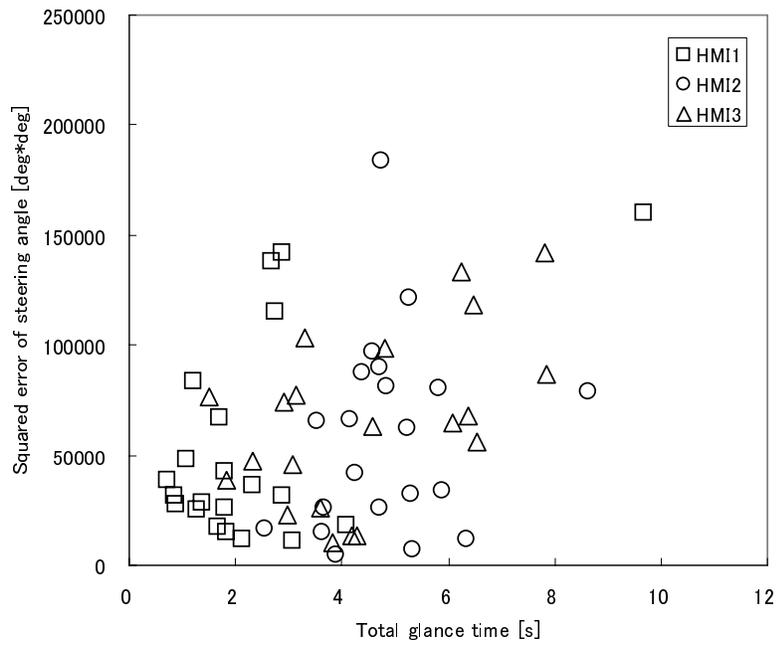


図 31 総視認時間とステアリング操舵角の残差二乗和の相関

3.8 総合評価

3.8.1 評価指標

各 HMI について評価指標の値を表 16 にまとめた．太字の数字は，3 つの HMI の中で最も優れた数値であったことを示す．

表 16 総合評価

分析指標	HMI		
	HMI 1	HMI 2	HMI 3
安全性			
操作ミス率	2.8 [%]	1.8 [%]	4.0 [%]
1 操作あたりの操作時間	1.83 [s]	1.20 [s]	1.31 [s]
最初の操作をするまでの時間	2.28 [s]	0.93 [s]	0.94 [s]
1 操作あたりの視認時間	1.47 [s]	1.03 [s]	1.09 [s]
前方確認回数	ほとんど 0	0~5	0~3
Yaw 角	特徴は見られない		
ステアリング操舵角	特徴は見られない		
使いやすさ			
操作ミス数	2	4	8
総操作時間	2.88 [s]	5.18 [s]	4.95 [s]
総視認時間	2.24 [s]	4.67 [s]	4.52 [s]

安全性の指標である 1 操作あたりの操作時間，1 操作あたりの視認時間，音声指示合図から最初の操作を行うまで時間は，HMI1 はステアリングから腕を伸ばす動作が必要な時間が含まれることが影響している．万一，操作ミスが発生した場合，操作を素早く行える新 HMI では，リカバリが容易であるため，運転を妨げることは従来の HMI1 より少ないと予想される．また，操作ミス率が小さいこと，自車挙動（ステアリング操舵角とヨー角）が安定していることが望ましいが，これらの指標については，スイッチ操作数が少ない HMI1 と比べても，HMI2 が優れている．前方確認回数は，多い方が安全確認の頻度が高く安全運転上好ましいと言えるかもしれない．しかし他の指標に比べて個人差が大きく，今後この指標の持つ意味をさらに探っていく必要がある．

使いやすさの観点からは、従来の指標である総操作時間・総視認時間が短く、操作ミスを少なくする HMI が望ましい。以上、従来用いられている総操作時間や総視認時間以外に、前方確認回数などの新しい指標が安全性と使いやすさの両方から HMI を評価する際に使える見通しを得た。特に、今回提案したスイッチ 1 回あたりの操作時間、視認時間や被験者が操作開始合図から最初の操作を行うまでの時間等各指標が、従来のインパネ HMI と新 HMI の差を説明する重要な評価指標になることが期待できる。

3.8.2 安全運転への影響

ステアリング操舵角、ヨー角の解析から、今回の実験条件下では、各スイッチ操作が自動車運転に与える影響に大差はない結果を得た。総操作時間は HMI2、HMI3 の方が HMI1 より長くなるが、自動車運転への影響が HMI1 より大きくなることはなかった。この理由として HUD の場合、周辺視によって常にある程度前方確認が可能であること、HUD から前方への視線の移動が容易であることによって安定した走行が出来たことが考えられる。

3.8.3 スイッチ操作そのものの評価

操作ミスについては、HMI2 は操作数が多いにも関わらず操作ミス率は低かった。頭文字の 'A' だけを見てどこを押すか判断したケースがあったことから、同じ頭文字の選択肢があった場合、アイコンの色や記号形状などで区別する等、表示改善の余地がある。インタビューでは、HMI1 操作は安全上の不安を伴うこと、HMI2 では操作はしやすいものの階層が比較的深いこと、HMI3 はボタンが多いため使いにくいという指摘があった。使いやすさに関する指摘が HMI1 になく HMI2、HMI3 にあったのは、HMI1 は既製品で慣れている一方、HMI2、HMI3 は試作品（プロトタイプ）で慣れていないことも考えられる。HMI1 は日常で使われているにも関わらず、全員が操作中の運転に不安を感じる点に関しては一致した見解が得られた。

3.9 まとめ

従来のインパネ HMI である HMI1, HUD とステアリングスイッチを使った新しい HMI である HMI2 と HMI3 について, ドライビングシミュレータを用いて高速道路での追従走行における操作比較実験を行った. 1 操作あたりのスイッチ操作時間や HMI 視認時間を含め, 安全性と使いやすさを評価するためのいくつかの有力な評価指標を見つけるとともに, 車載 HMI 開発に役立ついくつかの知見が得られた. これらをもとにしてスイッチ操作そのものの評価および安全運転への影響を評価する方法を提案した. 本章で示した評価方法の提案は, HMI の評価や運転支援システムの開発に役立てることができる. 今後, 先行車が急な減速をした場合など予期しない状況下での検証など, 車載 HMI 機器の”使いやすさ”や”安全運転への影響”をさらにきめ細かく評価する研究が必要である.

4. 結論

本論文では、運転行動に直接影響を与えるシステムが支援を行う運転支援システムと、オーディオやエアコンの操作のような直接運転には関係ないドライバの操作支援を行う車載 HMI 機器について、ドライビングシミュレータを用いて、これらのシステムのドライバの運転行動への影響を定量的に評価する方法を検討した。

第 1 章では、ITS や運転支援システムについて概観し、本論文の背景について述べた。また、運転支援システムを分類し、本研究の目的と意義を記した。

第 2 章では、運転支援システムの実装前後でのドライバの運転行動や主観的ワークロードの変化や、その運転支援システムが誤作動を起こしたときの運転行動の変化を調べた。ドライバの運転行動として、交差点進入時の運転支援システムからのアラームの有無とドライバのブレーキ行動に着目し、システムに対する依存度を定量的に表した。そして、その依存度とインタビューや主観的ワークロードとの関係から運転支援システムの適切な使い方について考察した。今後、この実験から得た知見をもとに、運転支援システムに対して過信や不信をしないような対策を考えたり、支援システム使用時の内面的な影響、特に注意力低下を計測して、ドライバに適切な注意喚起をすることなどを研究していく必要がある。

第 3 章では、Head-up Display とステアリングスイッチを結合した新 HMI と、従来のインパネ型 HMI を比較する実験をドライビングシミュレータを用いて行った。そして、操作時間、視認時間、走行データについて様々な指標を定義し、ドライバが運転中に新 HMI や従来のスイッチを操作している時の行動を安全性と使いやすさから分析する新たな方法を示した。今後、ドライバの予期しない前方の障害物を発見しやすいかどうかなどの検証を行い、危険事象に対する回避行動への影響も視野に入れて、安全性評価を補完する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたって、主指導教官として常に暖かい指導と、研究の場を与えて下さった奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科システム制御・管理講座 西谷 紘一 教授に深く感謝いたします。

お忙しい中、論文審査委員としてご助言をいただきました松本 健一 教授に深く感謝いたします。

貴重なご意見、及びご助言頂いたシステム制御・管理講座 野田 賢 助教授に深く感謝いたします。

日頃より、研究内容のみならず研究の進め方に関する多大なご助言を頂きましたシステム制御・管理講座 小坂 洋明 助手に深く感謝いたします。

研究を進めるにあたり、パナソニック エレクトロニクスデバイス (株) の三戸 宏一 様、今野 文靖 様、笹之内 清孝 様、田中 剛 様、多田 真樹 様には、研究の場や重要な議論など色々と助けを頂き、深く感謝いたします。

最後に、システム制御・管理講座の皆様には、公私に渡り多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 平成 17 年 警察白書
<http://www.npa.go.jp/hakusyo/index.htm>
- [2] 日本自動車技術会 . Journal of Society of Automotive Engineers of Japan.
”Intelligent Transport Systems”. Vol.58, No.8, pp. 166-172, 2004
- [3] 植村 宏 . ”ITS(高度道路交通システム)” . 自動車技術, Vol.59, No.8, pp.160-165, 2005
- [4] 国土交通省道路局 . ITS ホームページ .
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>
- [5] 古川 修, 小西 誠ら . 自動車におけるエレクトロニクス革新 . NTS, 2005
- [6] 坂内正夫 . ”ITS セカンドステージへ” . 自動車技術, Vol.60, No.2, pp.4-7, 2006
- [7] 山下友信 (編) . 高度道路交通システム (ITS) と法 . 有斐閣, 2005
- [8] 国土交通省道路局 . 自動車総合安全情報 .
<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anken/index.html>
- [9] 川嶋弘尚 . ITS の国際標準とセカンドステージに向けた取り組み . 自動車技術, Vol.60, No.2, pp.17-24, 2006
- [10] 日本自動車研究所 . ITS の標準化 2005. pp.24-27, 2005
- [11] 走行支援道路システム開発機構
<http://www.ahsra.or.jp/index.html>
- [12] 国土交通省道路局 . ITS HANDBOOK 2003-2004.
<http://www.its.go.jp/ITS/2003HBook/p44-49.pdf>

- [13] Birsen Donmez , Linda Boyle , John D.Lee. "Taxonomy of Mitigation Strategie for Driver Distraction": Proceeding of Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting, pp.1865-1869, 2003
- [14] 道路交通法
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35HO105.html>
- [15] 丸茂吉高, 鈴木桂輔, 菊地一範. 低速度域 ACC の機能がドライバの運転特性に及ぼす影響. 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.67-03, pp.9-12, 2003
- [16] 相馬 仁, 白石恭裕, 岩井 誠. 自動化レベルの異なる低速域 ACC システムに対するドライバの信頼感. 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.67-03 , pp.1-4, 2003
- [17] 木平 真, 田久保宣晃. 運転支援装置への慣れと依存に関する研究. 人間工学 第 42 号, pp.390-391, 2006
- [18] 田久保宣晃, 木平 真, 星 範夫, 小島幸夫. 運転者行動に及ぼすカーナビゲーション装置の影響. 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.106-01, pp.9-12, 2001
- [19] 富永 茂, 麻生 勤, 橋本健志郎. カーナビゲーション操作に伴うドライバの作業負荷の評価. 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.56-02, pp.15-18, 2002
- [20] 情報処理学会. カーナビ用音声入力の性能評価のためのガイドライン.
<http://www.itscj.ipsj.or.jp/ipsj-ts/ts0011/tutr.htm>
- [21] Kiyotaka Sasanouchi, Tsuyoshi Tanaka, Junichi Yukawa, Austin Hu, Yasushi Ishiai. "Development of the HMI System that Improves the Safety and Operational Convenience by the Combination of Steering Wheel Switch and Head Up Display": SAE2005, SP-1934, pp.145-152, 2005
- [22] 盛田耕作, 室田修男, 依田康宏. 車両出会い頭衝突防止警報装置の開発. 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.68-03, pp.15-18, 2003

- [23] 岡部康平, 熊本博光, 平岡敏洋, 西原 修 . 最大許容リスクモデルによる交差点事故の解析と出会い頭衝突防止装置の安全評価 . 精密工学会誌論文集 Vol.69, No.11, pp.1625-1630, 2003
- [24] 本田技研工業株式会社 . Manual of Honda Driving Simulator. 2001
- [25] 伊藤謙治, 桑野園子, 小松原明哲編 . 人間工学ハンドブック, 朝倉書店, pp.138-151 (2003)
- [26] (社) 日本自動車工業会. 画像表示装置の取り扱いについて 改訂第 3.0 版. 2004
- [27] Chittaro L., De Marco L. "Driver Distraction Caused by Mobile Devices; Studying and Reducing Safety Risks": Proceedings of International Workshop on Mobile Technologies and Health. Benefits and Risks, pp.1-19, 2004
- [28] 麻生 勤, 飯星 明 . 繰り返し操作可能なナビ視認間隔に関する一考察 . 自動車技術会 2005 年秋季学術講演会前刷集 , No.95-05, pp.1-4, 2005
- [29] 黒崎 章, 小坂 洋明, 野田 賢, 西谷 紘一, 三戸 宏一, 笹之内 清孝, 田中 剛, 多田 真樹 . Head-up Display とステアリングスイッチを用いた車載 HMI の評価 . 自動車技術会 2005 年秋季学術講演会前刷集, No.95-05, pp.5-8, 2005

付録

A. 用心率 β とブレーキ率 γ の関係 (第2章)

式 (2.2), (2.3) の関係を用いて $\beta - \gamma$ を計算すると (A.1) になる .

$$\gamma - \beta = \frac{n_1 n_4 - n_2 n_3}{(n_3 + n_4)(n_1 + n_2 + n_3 + n_4)} \quad (\text{A.1})$$

今回の実験結果のように n_2 が 0 である場合, $\beta - \gamma \geq 0$ となる . ある走行回において全ての交差点でブレーキ操作を行った場合, 即ち $n_2 = n_4 = 0$ の場合は $\beta = \gamma$ となる . P2, P8 は全てこの行動である . これ以外の場合 ($n_2 = 0, n_4 \neq 0$), 今回の実験結果では常に $n_1 \neq 0$ であったので n_1 と n_4 の積は常に正であり $\beta < \gamma$ となる . この大小関係は, アラームが鳴らなかった場合に限定したブレーキ操作の割合 (β) は, アラームが鳴る場合を含めた全ブレーキ操作の割合 (γ) より小さいことを意味する .

B. 分析データ (第3章)

B.1 操作ミス内容

HMI1 ~ HMI3 のスイッチ操作時の操作ミス内容を以下に示す。表中の黒色の文字は操作ミス内容であり、灰色の文字はミスに準ずる操作である。

表 17 操作ミス内容

(a) HMI1

音声指示地点	エラー種別	内容
P3	ER1	風量でなく、音量を下げる(S1)
	ER2	「風量を下げる」2度押し(S1)

(b) HMI1

音声指示地点	エラー種別	内容
P2	ER1	外気循環でなく、風量を選択する(S6)
P7	ER1	A/Cではなく、Audioを押す(S5)
	ER1	風量ではなく、風向き・霜取ボタンを押す(S1)
	ER1	風量を上げるのではなく、下げる(S5)

(c) HMI3

音声指示地点	エラー種別	内容
P1	ER2	TOP画面のVol▲ではなく、Audio内のVol▲を押す(S3)
	ER2	TOP画面のVol▲ではなく、Audio内のVol▲を押す(S5)
P3	ER1	A/Cではなく、Audioを押す(S4)
P5	ER1	A/Cではなく、Audioを押す(S1)
	ER2	TOP画面にて音量を下げ、HDD押した後にも音量を下げる
	ER2	HDDを押す前に音量を下げ、HDD押した後にも音量を下げ
P7	ER2	HDDを押す前に音量を下げ、HDD押した後にも音量を下げ
	ER1	風量を上げるのではなく、下げる(S5)

B.2 総操作時間

HMI1 ~ HMI3 のスイッチ操作時の総操作時間を以下に示す。

表 18 総操作時間

(a) HMI1

項番	操作数	総操作時間					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	1	2.14	1.25	2.86	1.95	2.39	1.49
P2	1	1.86	1.31	1.23	1.66	2.06	1.89
P3	2	11.35	2.80	3.55	3.84	4.51	2.19
P4	1	1.34	2.22	1.66	2.29	2.55	1.46
P5	1	1.04	3.40	6.19	2.31	3.73	1.51
P6	2	4.04	3.57	3.10	4.14	4.89	3.63
P7	2	2.94	3.94	5.75	4.00	4.86	3.18
P8	2	1.48	4.15	4.30	2.58	4.52	2.26
	Avg.	2.12	2.83	3.58	2.85	3.69	2.20
	SD	1.05	1.14	1.77	0.99	1.18	0.81
	Max	4.04	4.15	6.19	4.14	4.89	3.63

(b) HMI2

項番	操作数	総操作時間					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	4	3.94	5.49	6.47	5.58	5.85	4.59
P2	3	3.91	2.76	4.43	2.87	3.07	5.55
P3	4	4.11	4.75	3.94	2.80	3.99	3.82
P4	6	4.90	7.55	5.45	4.72	10.71	7.67
P5	5	5.99	6.12	5.93	4.25	6.47	6.54
P6	6	5.73	5.81	4.30	4.29	7.17	6.29
P7	5	9.47	7.65	6.43	5.49	8.36	7.26
P8	4	4.54	4.03	2.78	3.05	5.22	3.41
	Avg.	4.73	5.52	4.97	4.13	6.07	5.65
	SD	0.79	1.56	1.23	1.05	2.30	1.58
	Max	5.99	7.65	6.47	5.58	10.71	7.67

(c) HMI3

項番	操作数	総操作時間					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2	2.42	2.74	3.08	1.73	3.09	2.58
P2	3	2.71	3.47	2.65	4.21	4.41	4.08
P3	4	4.31	5.12	3.43	7.09	4.17	4.16
P4	5	4.47	8.82	5.31	6.93	7.28	5.28
P5	5	7.26	12.38	11.38	7.21	5.37	8.13
P6	5	4.23	7.06	4.20	5.30	4.31	5.21
P7	5	7.59	6.10	8.36	9.25	7.35	6.97
P8	4	5.79	4.35	3.46	4.26	4.09	4.96
	Avg.	4.50	5.38	4.57	5.56	4.94	4.75
	SD	1.64	1.96	1.88	2.28	1.13	1.25
	Max	7.59	8.82	8.36	9.25	7.28	6.97

■ : 操作ミス

※ 平均値、標準偏差、最大値は、操作ミスを除いて算出した

B.3 総視認時間と前方確認回数

HMI1 ~ HMI3 のスイッチ操作時の総視認時間と前方確認回数を以下に示す。

表 19 総視認時間と前方確認回数

(a) HMI1

項番	操作数	総視認時間			前方確認回数		
		S1	S4	S6	S1	S4	S6
P1	1	2.32	1.38	1.22	0	0	0
P2	1	1.82	1.80	0.88	0	0	0
P3	2	9.68	2.88	1.72	5	0	0
P4	1	1.78	1.68	0.85	0	0	0
P5	1	1.08	1.28	0.72	0	0	0
P6	2	4.08	3.08	2.12	1	1	0
P7	2	2.75	2.68	2.88	1	1	1
P8	2	1.68	2.12	1.18	0	0	0
	Avg.	2.22	2.11	1.45	0.29	0.25	0.13
	SD	0.97	0.69	0.75	0.49	0.46	0.35
	Max	4.08	3.08	2.88	1	1	1

(b) HMI2

項番	操作数	総視認時間			前方確認回数		
		S1	S4	S6	S1	S4	S6
P1	4	4.25	5.28	4.15	2	0	3
P2	3	3.62	2.55	5.88	3	0	3
P3	4	4.72	3.52	4.85	3	1	3
P4	6	4.38	5.82	5.25	2	0	3
P5	5	5.22	3.65	4.72	3	2	4
P6	6	6.35	3.88	5.32	2	0	6
P7	5	8.62	4.58	4.75	3	0	3
P8	4	4.78	2.88	2.95	0	0	1
	Avg.	4.76	4.02	4.57	2.14	0.38	3.29
	SD	0.86	1.13	0.81	1.07	0.74	1.50
	Max	6.35	5.82	5.32	3	2	6

(c) HMI3

項番	操作数	総視認時間			前方確認回数		
		S1	S4	S6	S1	S4	S6
P1	2	2.32	1.82	1.52	1	0	1
P2	3	3.58	2.98	3.08	2	0	2
P3	4	4.82	7.82	2.92	3	1	2
P4	5	3.15	4.58	3.32	1	1	2
P5	5	6.55	6.38	6.08	4	3	3
P6	5	4.28	4.18	3.82	2	0	2
P7	5	6.48	7.85	6.25	2	1	0
P8	4	6.28	3.52	4.85	1	0	1
	Avg.	4.42	4.47	3.68	1.71	0.71	1.43
	SD	1.56	2.06	1.51	0.76	1.11	0.79
	Max	6.48	7.85	6.25	3	3	2

：操作ミス

※ 平均値、標準偏差、最大値は、操作ミスを除いて算出した

B.4 NASA-TLX

先行車追従のみの走行 (T2) と HMI1 ~ HMI3 のスイッチ操作を行った各周回 (T3 ~ T5) 走行後の各被験者の NASA-TLX の WWL スコアを以下に示す。

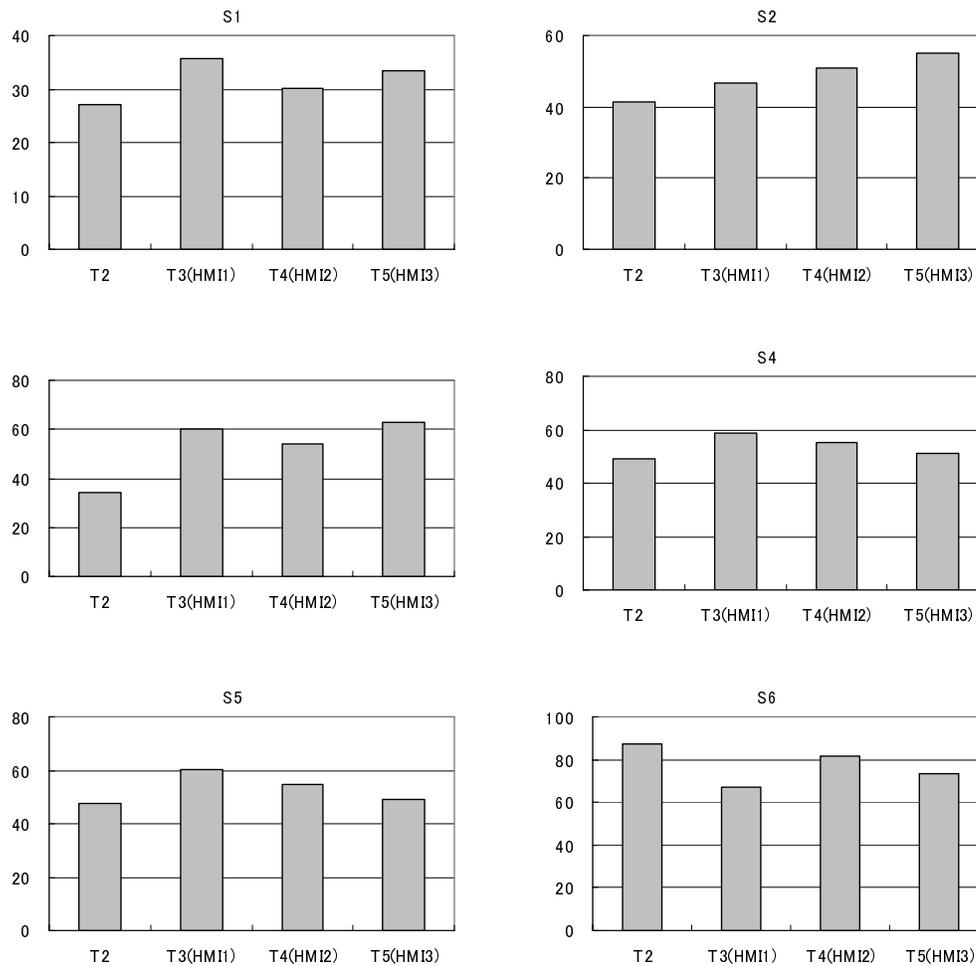


図 32 WWL スコア

研究業績

学術雑誌論文

1. 黒崎 章, 小坂 洋明, 野田 賢, 西谷 紘一: 交差車両通知システムのドライバブレーキ行動への影響, ヒューマンファクターズ, Vol.11 No.1 pp.53-66, 2006
2. Opat Orapimpan, Akira Kurosaki, Taketoshi Kurooka, Yuh Yamashita, Hirokazu Nishitani: "Computer Aids for Knowledge Management in Plant Operations", Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 43, No. 14, 3731/3740, 2004

国際会議論文

1. Hiroaki Kosaka, Akira Kurosaki, Masaru Noda and Hirokazu Nishitani, Koichi Santo, Kiyotaka Sasanouchi, Tsuyoshi Tanaka and Masaki Tada: "Evaluation of a New In-vehicle HMI System Composed of Steering Wheel Switch and Head-Up Display", SAE 2006 World Congress, Human Factors in Driving and Automotive Telematics and Seat Comfort, COBO Center, Detroit, Michigan, USA, 3-6 April, pp. 17-24, 2006
2. Akira Kurosaki, Wai Cheong Choy, Hiroaki Kosaka, and Hirokazu Nishitani: "Driver's Distrust of a Collision Avoidance System", 11th International Conference on Human-Computer Interaction, Las Vegas, Nevada, USA, 22-27 July, 2005
3. Akira Kurosaki, Wai Cheong Choy, Hiroaki Kosaka, and Hirokazu Nishitani: "Driver's Degree of Dependence on Collision Avoidance Systems", SAE Congress 2005, Human Factors in Driving and Telematics, and Seating Comfort, COBO Center, Detroit, Michigan, USA, 11-15 April, pp.93-98, 2005

4. Akira Kurosaki, Hiroaki Kosaka, Hirokazu Nishitani: "Knowledge Management in Plant Operation", Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering, Kitakyushu, Japan, Oct. 17-21, No. 1P-10-001, pp.1-6, 2004
5. Hiroaki Kosaka, Akira Kurosaki, Atsushi Harada, Yuh Yamashita, Hirokazu Nishitani: "Developing a Driving Simulator and an Assessment Methodology to Estimate a Driver's Mental State when Distracted", SAE Congress 2004, Human Factors in Driving and Telematics, and Seating Comfort, COBO Center, Detroit, Michigan, USA, 8-11 March, pp.7-11, 2004

国内会議発表

1. 黒崎 章, 小坂 洋明, 野田 賢, 西谷 紘一, 三戸 宏一, 笹之内 清孝, 田中 剛, 多田 真樹: Head-up Display とステアリングスイッチを用いた車載 HMI の評価, 2005 年自動車技術会秋季学術講演会, 福岡国際会議場, 9 月 28 日 ~ 30 日, No.95-05, カーナビ警報, pp. 5-8, 2005
2. 黒崎 章, 小坂 洋明, 野田 賢, 西谷 紘一: ドライバの運転行動および主観評価と衝突防止支援システムに対するドライバの依存度との関係, 第 7 回日本感性工学会大会, 青山学院大学, 9 月 8 日 ~ 10 日, S9-2A-2, p232, 2005
3. 黒崎 章, 小坂 洋明, 野田 賢, 西谷 紘一: 衝突防止支援システムの誤報・欠報とドライバー運転行動の関係, 2005 年自動車技術会春季学術講演会, パシフィコ横浜, 5 月 18 日 ~ 20 日, No.62-05, ドライバ・ビークル・インタラクション - ドライバ支援 -, pp.21-24, 2005
4. 黒崎 章, 小坂 洋明, 野田 賢, 西谷 紘一: 衝突防止支援システムに対するドライバ行動の計測, 平成 16 年度 計測自動制御学会関西支部学生研究発表会, 京都大学桂キャンパス, 3 月 7 日, pp.139-142, 2005
5. 黒崎 章: ビデオ画像を用いた技術伝承支援システム, 化学工学会 SIS 部会プラントオペレーション分科会第 98 回研究会, 奈良先端科学技術大学院大学, 12 月 3 日, 2004

6. 黒崎 章, 小坂 洋明, 西谷 紘一: 衝突防止支援システムに対するドライバの依存度推定, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004, 京都リサーチパーク, 10月6日~10月8日, pp. 599-602, 2004
7. 小坂 洋明, 原田 淳, 黒崎 章, 山下 裕, 西谷 紘一: ドライビングシミュレータを用いた出会い頭事故時のドライバー解析の一検討, 2004年自動車技術会春季学術講演会, パシフィコ横浜, 5月19日~21日, No.4-04, pp.1~4, 2004
8. 黒崎 章, 小坂 洋明, 山下 裕, 西谷 紘一: 技術伝承支援システムを用いたナレッジマネジメント, 化学工学会 69 年会, 大阪府立大学, 4月2~4日, M109, 2004
9. 黒崎 章, 小坂 洋明, 山下 裕, 西谷 紘一: 人間行動解析支援システムの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 9月30日~10月2日, pp.133-136, 2003
10. 原田 淳, 黒崎 章, 小坂 洋明, 山下 裕, 西谷 紘一: 出会い頭事故解析用ドライビングシミュレータの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 9月30日~10月2日, pp.797-798, 2003

受賞

1. 黒崎 章: 技術伝承支援システム, 化学工学会 SIS 部会情報処理技術教育分科会第3回ソフトウェア・ツール学生コンテスト「優秀賞」, 化学工学会第36回秋季大会, 東北大学, 2003年9月, 2003