

平成 28 年博士論文

自動車の入出力機器とブレーキ操作が
ドライバに与える安心感に関する研究

Study of the Driver's Feeling of Security generated
by the Vehicle's Input/Output Equipment and
the Brake Operation

指導教員

主査 小栗宏次教授

副査 村上和人教授

副査 神山斉己教授

愛知県立大学大学院博士後期課程情報科学研究科

2014841006

田中 裕章

目次

第1章	序章	1
1.1	研究の背景	1
1.2	自動車の開発の歴史から見る装着装置と安心感との関連	2
1.2.1	安全性を保つ装置から見る安心感に考慮されるべき項目	2
1.2.2	快適・利便系の装着装置から見る安心感に考慮されるべき項目	4
1.2.3	自動運転時の安心感の検討項目	7
1.2.4	自動運転の定義	7
1.2.5	レベル2での制御とドライバに考慮すべき項目	8
1.2.6	レベル3での制御と考慮すべき課題	9
1.3	研究の目的と研究の時間的領域	10
1.3.1	HMIで解決すべき課題のまとめ	10
1.3.2	本論文で扱う安心の時間的領域	11
1.4	関連研究	12
1.4.1	一般的な安心に関する研究	13
1.4.2	自動車制御に係る安心に関する研究	13
1.4.3	車載機器の安心に関する研究	14
1.5	本論文の構成	16
第2章	ドライバの特性	17
2.1	視覚	17
2.1.1	視力	17
2.1.2	有効視野	17
2.1.3	眼球運動	19
2.2	聴覚	20
2.2.1	聴力	20
2.2.2	加齢による聴覚への影響	20
第3章	ドライバの状態検知の取り組み	22
3.1	はじめに	22
3.2	ドライバの状態変化	24
3.3	ドライバ状態検知の取り組み	27
3.3.1	ドライバの状態変化	27
3.3.2	生体検知の現在の取り組み	28

3.3.3	早期のドライバ状態検知の取り組み	31
3.4	まとめ	33
第4章	警報装置のドライバに対する嬉しさ	35
4.1	実験の方法	35
4.2	結果	37
4.3	考察	39
第5章	入出力機器の使用時の安心感の定義	41
5.1	目的	41
5.2	操作装置の安心因子の抽出	41
5.2.1	実験方法	41
5.2.2	操作装置の安心要因分析の結果	43
5.2.3	考察	57
5.2.4	まとめ	58
5.3	出力機器の安心感の定義	58
5.3.1	目的	58
5.3.2	実験方法	58
5.3.3	表示装置の安心要因の分析	60
5.3.4	安心因子の影響度導出	78
5.3.5	探索的因子分析による仮説モデルの構築	80
5.3.6	考察	82
5.3.7	まとめ	84
第6章	走行中のブレーキによるドライバの安心感の研究	86
6.1	まえがき	86
6.2	ドライバの体調によるブレーキの利かせ方	86
6.2.1	体調によるドライバの事故と運転への影響の仮説	86
6.2.2	統制された環境での体調検知の検証	88
6.2.3	ドライビングシミュレータでの測定結果	89
6.2.4	実車への適用	90
6.2.5	実車環境での結果	90
6.2.6	ブレーキ操作と体調の関係調査のまとめ	93
6.3	制動と安心感の要因	94
6.3.1	運転の状態とドライバの行動	94
6.3.2	ドライバの感性	94
6.4	実験の方法	96
6.4.1	被験者	96
6.4.2	実験	96

6.5	結果	99
6.5.1	減速度とフィーリングレベルとの関係	99
6.5.2	減速度の減速度波形	105
6.5.3	感性の加加速度の特性	106
6.5.4	まとめ	109
第7章	結言	110
	謝辞	113
	参考文献	114
	研究業績	122

図一覧

図 1-1 安全装備装着の歴史	3
図 1-2 利便・快適系装置装着の歴史	6
図 1-3 安全と安心の概念図	14
図 1-4 いつもの安心時間と対応するシステム	14
図 2-1 有効視野の概念図	19
図 3-1 交通事故死者低減への取り組み	22
図 3-2 死亡事故分析の推移（平成 24 年 警視庁）	23
図 3-3 体調変化の症状とそれらの割合	23
図 3-4 ドライバの状態変化	24
図 3-5 Russell の円環モデル	25
図 3-6 運転適性状態に保つドライバと車の循環図	26
図 3-7 ドライバの能力と負荷の関係	27
図 3-8 ドライバステータスモニタ（DSM）	29
図 3-9 DSM の構成と処理の流れ	30
図 3-10 目の開眼度を用いた算出（PERCLOS）	30
図 3-11 漫然発生のメカニズム	31
図 3-12 漫然状態検出	32
図 3-13 心電・脈波センサ	33
図 4-1 実験に用いたドライビングシミュレータ	36
図 4-2 煩わしさと嬉しさの時間的変化	38
図 4-3 煩わしさと嬉しさを感じる時間（平均）	39
図 4-4 煩わしさと嬉しさの T 検定結果	39
図 5-1 情報入手が容易 に対する非計量 MDS の結果	47
図 5-2 情報入手が容易 に対するクラスタ分析結果	48
図 5-3 情報を容易に入手できる に対する RSQ/SPRSQ/PSF 結果	48
図 5-4 理解しやすい に対するデンドログラム	50
図 5-5 心身負担が小さい に対するデンドログラム	51
図 5-6 安全である に対するデンドログラム	52
図 5-7 機能/性能が必要十分である に対するデンドログラム	53
図 5-8 魅力的である に対するデンドログラム	53
図 5-9 情報入手が容易 に対する非計量 MDS 結果	66
図 5-10 情報入手が容易 に対するクラスタ分析結果	67

図 5-11 情報を容易に入手できる に対する RSQ/SPRSQ/PSF 結果	67
図 5-12 理解しやすい に対するデンドログラム	69
図 5-13 心身の負担が小さい に対するデンドログラム	70
図 5-14 安全である に対するデンドログラム	71
図 5-15 機能性能が必要十分である に対するデンドログラム	72
図 5-16 魅力的である に対するデンドログラム	73
図 5-17 仮説モデル	81
図 5-18 因果構造図	83
図 6-1 平成 23 年以前の事業者の事故件数	87
図 6-2 事故の要因となる体調の検知技術とサポート手段	87
図 6-3 ドライバの体調変化に伴う運転挙動の変化の仮説	88
図 6-4 使用したドライビングシミュレータの走行路	89
図 6-5 運転挙動の抽出範囲	89
図 6-6 ブレーキを踏み始めてから停止するまでの距離（被験者の平均値）	90
図 6-7 ドライビングシミュレータでの結果と実車での結果	91
図 6-8 通常時と体調の悪い日の停止までの距離の標準偏差の比	91
図 6-9 Sub A の体調が普段と異なるときと通常のときの停車までの距離	92
図 6-10 車速 5km/h 以下の時の停車までの移動距離の出現回数	93
図 6-11 閾値による感度・特異度・一致率	93
図 6-12 通常ブレーキが踏まれた時の特性	95
図 6-13 突然のブレーキ操作の時の特性	96
図 6-14 走行環境	98
図 6-15 車速と減速、停止位置の関係	98
図 6-16 (a) 初期速度 30km/h の時の停止時の感想	100
図 6-16 (b) 初期速度 50km/h の時の停止時の感想	101
図 6-16 (c) 初期速度 70km/h の時の停止時の感想	102
図 6-17 減速度に対するフィーリングレベル平均値	104
図 6-18 初期速度に対する安心感の限界減速度	104
図 6-19 (a) 被験者 Sub5 の減速度の時間変化（平均減速度 0.175G）	105
図 6-19 (b) 被験者 Sub5 の減速度の時間変化（平均減速度 0.15G）	106
図 6-20 Sub5 の感性の加加速度に対するフィーリングレベル	107
図 6-21 Sub7 の感性の加加速度に対するフィーリングレベル	108
図 6-22 Sub10 の感性の加加速度に対するフィーリングレベル	108

表一覧

表 1-1 自動化レベルの定義	8
表 3-1 生体計測の項目と得られる指標	29
表 4-1 煩わしさの指標	37
表 4-2 嬉しさの指標	37
表 5-1 実験に用いた入力装置	42
表 5-2 入力装置の機能	42
表 5-3 ハプティックデバイスの安心要因と UD マトリクス	43
表 5-4 音声入力の安心要因と UD マトリクスの関係	44
表 5-5 ハンドルスイッチの安心要因と UD マトリクスの関係	45
表 5-6 ジェスチャの安心要因と UD マトリクスの関係	44
表 5-7 情報入手が容易 に対する統合した要因	46
表 5-8 理解しやすい に対する因子と統合因子	54
表 5-9 心身負担が小さい に対する因子と結合因子	55
表 5-10 安全である に対する因子と結合因子	55
表 5-11 機能/性能が十分である に対する初期因子と統合因子	56
表 5-12 魅力的である に対する初期因子と結合因子	56
表 5-13 UD6 分類ごとの入力機器の結合要因	57
表 5-14 表示装置の機能	60
表 5-15 HUD の安心要因と UD マトリクス	61
表 5-16 メータークラスターの安心要因と UD マトリクスの関係	62
表 5-17 ナビゲーションの安心要因と UD マトリクスの関係	63
表 5-18 電子ミラーの安心要因と UD マトリクスの関係	64
表 5-19 運転自体の安心要因と UD マトリクス	65
表 5-20 情報入手が容易 に対する統合した要因	68
表 5-21 理解しやすい に対する因子と結合因子	74
表 5-22 心身負担が小さい に対する因子と結合因子	75
表 5-23 安全である に対する因子と結合因子	76
表 5-24 機能/性能が十分である に対する初期因子と統合因子	77
表 5-25 魅力的である に対する初期因子と結合因子	77
表 5-26 UD6 分類ごとの入力機器の結合要因 UD6 分類ごとの入力機器の結合要因	78
表 5-27 相関係数	80
表 5-28 プロマックス回転後の相関係数	81

表 5-29 χ^2 検定結果.....	82
表 5-30 モデルの当てはまり評価結果.....	82
表 6-1 体調の違いで変化した運転挙動.....	90
表 6-2 試験に用いた平均速度.....	98
表 6-3 フィーリングレベル.....	99
表 6-4 フィーリングレベルの初期速度に対する相関係数.....	103

第1章 序章

1.1 研究の背景

自動車を運転するドライバは、絶えず危険を回避して安全な運転を心掛けている。しかしながら、交通事故が後を絶たないのが現状である。安全装置の発展により、死亡事故者数は年々減少しているが、ドライバが危険を感じることなく、快適に車を運転し続けるようにするためには何が必要かについて研究を開始した。

ドライバが危険を感じず、車両を制御する、または、車両の状態を見守るといったドライバの感覚を本研究では、ドライバの安心感と定義して、安心感はどのように醸成されているのかを解明する。安心について必要なことは何かについて調査を開始した。しかしながら、自動車分野では、安全と安心は明確に分類されておらず、安心の要件が明示されている文献は過去にはないことが判明した。自動運転が広まると想定される中、安心感の定義を行うことにより、安心を生み出すシステムの要件が明確になり、クルマと人との信頼関係が増し、事故のない社会を作ることができるとともに、さらなる社会の発展につながると考えた。

文部科学省の「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」[1]では、安全を「人とその共同体への損傷、ならびに人、組織、公共の所有物に損害がないと客観的に判断されることである」と定義している。また、安心を、「個人の主観的な判断に大きく依存するものである」としたうえで、「人が知識・経験を通じて予測している状態と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること」と定義している。さらに、安心については、「安全と信頼が導く安心」と「心構えを持ち合わせた安心」とに分類している。この報告書の中では、社会的に安全・安心な状態を作り出すため、脅威や被害から如何に社会を遠ざけるかについての考え方が述べられている。このように、[1]では、総合的に安心・安全な社会構築への科学技術の果たす役割と必要な施策について言及されているものの、自動車の分野、特に自動車に搭載されている装置に適用できる安心感の要件については記述されていない。

この懇談会でなされた定義を念頭に入れたうえで、車、特にドライバにとっての安心感はどうなものか、自動車の開発の歴史から装着装置について安心感に関係する項目を洗い出し研究項目とした。さらに、自動運転時のドライバにとっての安心感についても自動運転レベルごとに安心感に関係する項目を検討し、研究項目に追加した。

1.2 自動車の開発の歴史から見る装着装置と安心感との関連

1.2.1 安全性を保つ装置から見る安心感に考慮されるべき項目

図 1-1 に自動車が製造されてから現在に至るまでの安全装置装着の歴史を参考文献 [2] [3] [4] [5] から抜き出して年表として示す。

1885 年，BENZ が自動車を世の中に出してから 130 年が経過し，2020 年前後に実用化を目指した自動運転の開発が急ピッチで行われている。

1910 年代は，自動車としての基本性能を作り上げる期間であった。走る，曲がる，止まるといった，車として基本的な技術確立して，移動手段として実現するための開発が進められた。1910 年からは，信号機や道路標識などのインフラ整備も開始された。さらに，1930 年代になると，安全への意識が高まり，1934 年には世界初の衝突テストが実施された。安全に対する研究が進められるとともに，灰皿（1926 年）やラジオ（1930 年）が自動車に搭載され，快適性についても考慮され始めた。1949 年には，ディスクブレーキが開発され，自動車の制動安定性についても大きな発展があった。さらには，パワーステアリング（1951 年）や，シートベルト（1959 年），エアバック（1968 年）が装備され，ドライバの操作性向上と安全性についても装置が普及し始めた。

1980～1990 年代になると，急ブレーキや雪道などの低摩擦路で車輪のロックによる滑りを防止する，ABS(Anti-Lock Brake System, 1985 年)や，軽い力でハンドルを操舵することのできる，電気式パワーステアリング（1990 年），自動的に車両の進行方向を安定させる横滑り防止装置（Electric Stability Control, 1995 年）が搭載され，車両単独事故や正面衝突事故の軽減につながっている [6] [7]。以上述べたように，80 年代以降は，電子制御による車両の安全性・操作性を高める機能が装着され始めた。

さらに，2000 年代になると，自動駐車システムや衝突被害軽減ブレーキ（2003 年），自動発進・停止システム(2006 年)，自動緊急ブレーキ（AEB：Automatic Emergency Braking, 2008 年）などが装着され，自動で車が制御される時代となってきた。さらに，レーン逸脱警報（LDW：Lane Departure Warning, 2008 年）が装着され，ドライバの車の制御に対する不安全行動に対する注意喚起システムが実装されてきた。

このように，自動車の制御を発展させることで，安全性を追求し，自動化を実現するためのセンシング手段を発展させ，安全運転支援を実現している。

これまで述べてきたように、安全を確保する技術開発は、制御を中心として進められており、初期の開発時期にはドライバとの関連は少ないと思われる。しかし、注意喚起システムなどの搭載により車からドライバに対して情報を提供するというサービスが搭載されてきており、ドライバと車載システムとの間に新たな関係が生まれてきている。一方、ドライバに提示する情報が複雑化し、システムが提示した情報が正確にドライバに伝わらないなど、システムとドライバとの間で、効果的な連携をする方法の解明が課題となっている [8]。また、自動車の制御に対しては、最終的な制御の決定権は人（ドライバ）に与えられるべきであるという考え方 [9]もあることから、ドライバに確実な情報を伝達する、または、ドライバの指示を確実に車側の制御装置に伝える必要がある。ドライバは、車から与えられた情報から車の周辺の状況を知るとともに、ブレーキやアクセル、ハンドルを使って運転に反映させる。情報を与えるタイミングを逸すると、その情報は無駄なものになる。また、情報の提示が早すぎると、ドライバにとって無意味な情報となってしまう。さらに、メータ上のディスプレイや地図を表示するディスプレイなどディスプレイが複数搭載されていることから、どの機器を使って情報を提示させるかについての選択肢は増えている。しかし、情報提示機器は、ドライバにとって運転操作に支障のない機器が選ばれるべきである。機器の選択によっては、視線を道路から外さなければ視認できない状況が生じるなど、顔向きや視認時間に支障をきたす可能性がある。これらのことから、ドライバへの情報の通知法について、ドライバに安心を感じさせるには、

- (a) 通知タイミング
- (b) 通知方法

について検討する必要がある。

1.2.2 快適・利便系の装着装置から見る安心感に考慮されるべき項目

快適性を「車室内の心地よさ」、利便性を「使い勝手の良さ・便利・楽」と捉えると、自動車における快適・利便性は、新製品・新機能を搭載し進化してきた [10]。

図 1-2 に車両に搭載された利便・快適性の歴史を参考文献 [2] [3] [4] [5]を用いて示す。屋外を走る車にとって、外気の影響を大きく受ける車室内を如何に快適にするかが大きな課題であった。家庭にはすでに普及していたエアコンを車に搭載するということは、冷房能力から考えても夢のようであった。しかし、車室内の心地よさを確保するために、1940 年にキャデラックにカーエアコンが搭載された。快適性の追求は、この、エアコンの搭載に始まっている。続いて、利便性の高い機能として、1945 年には、車速を制御により一定に保って走ることのできる、最初のクルーズコントロールが搭載され、アクセル操作がドライバから解放された。JAF のデータによると、運転が楽になり疲労軽減につながるというメリットがあるという意見とともに、注意がおろそかになるというデメリットを上げるドライバもいた [11]。

このように、車室内空間を快適に保つための機器の搭載が進んだ後は、車両制御の一部を自動化して運転負荷を下げる取り組みがなされてきた。さらに、2002年に搭載された夜間の視認性を上げるナイトビジョンシステムや、2007年に装着が開始されたブラインドスポットモニタリングは、ドライバの視覚を補助する装置として、利便性・快適性の効果を上げている。このようにドライバの視覚を補助する機器として、表示機などを用いて視認性を上げ、短時間で表示内容をドライバに理解させるための取り組みが進められてきている。

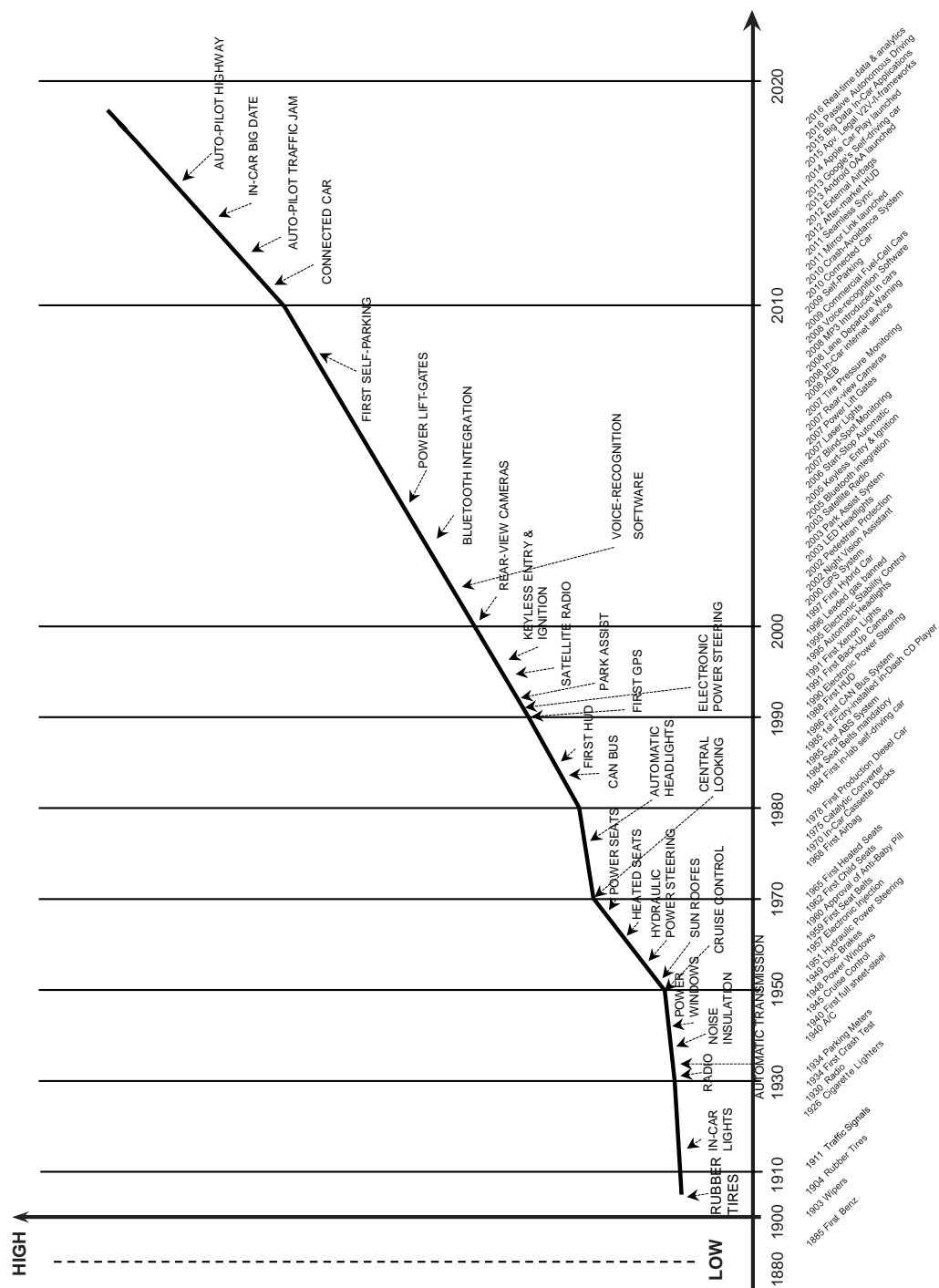
さらに、2008年に Bluetooth を用いた機器が車室内に搭載され、手元操作が始まるとともに、2008年には音声認識システムが搭載され、これまでスイッチ操作により行っていたコマンド入力が音声で行える環境となり、運転負荷の低減が進められた。さらに、2015年には、ジェスチャ認識システムが搭載され、オーディオの音量調節やエアコンの温度コントロールがスイッチを操作することなくあらかじめ決められたジェスチャで入力できる車両も市販され始めている。一方、ジェスチャ入力は、ハンドルから手を離さなければならず、コマンドによっては、ドライバの運転姿勢を変える可能性もあり、何をジェスチャーコマンドにするかについては議論が必要であると考ええる。

このように、車載機器の操作をドライバが行う場合には、短時間で確実に行われることを目標に搭載が進められていると考えられる。また、車両からドライバに情報を伝達するためには、わかりやすい情報提示が必要である。

これらのことから、ドライバの安心感を醸成するためには、

- (a) ドライバへの情報提示
- (b) ドライバの入力手段

における安心感の要因を探ることで、ドライバの安心感醸成につながると考えられる。



1.2.3 自動運転時の安心感の検討項目

前節では、ドライバの車両操作の負担を軽減するためのクルーズコントロールシステムの搭載について触れたが、近年、アクセルだけでなく、ハンドルやブレーキまでも車が制御する、いわゆる自動運転が注目を集めている。自動運転時代になると、これまで、ドライバによって制御されていた自動車が、ドライバが直接関与しない制御となる。システムの信頼性はもとより、ドライバに与える影響はどのようなになるのか、安心感に関連した項目を検討する。

1.2.4 自動運転の定義

交通死亡事故は、2018 年を目途に 2500 人以下とし、2020 年までに世界で最も安全な道路交通社会を実現することを目的として、2020 年代中には自動走行システムの試用を開始することが 2013 年の閣議で決定された。自動走行システムの開発の進め方について、内閣府が 2014 年に研究計画を策定した [12]。自動運転の定義については、内閣府が発表した自動運転システム開発計画 [12]の定義を表 1-1 に示す。米国の自動車技術会 (Society of Automotive Engineers : SAE)は、表 1-1 に示したレベル 4 をさらに 2 段階に分け、完全自動走行するシステムが働く場所が限定される場合をレベル 4、限定されない場合をレベル 5 とし、5 段階の自動化レベルとして定義している [13]。

本論文では、内閣府の研究計画で規定している 4 段階のレベルを使用する。いずれの場合も、対象となる制御システムは、ブレーキ、アクセル、ハンドルであり、レベル 1, 2 では、人が周辺を監視する義務を負うことになるが、レベル 3 では、必ずしも常時周辺を監視する必要はない。レベル 2 では、ドライバは、"Driver in the loop"として、自動化の中にドライバが入ることで責任をドライバに持たせる考え方が主流であった [14] [15]。最近、レベル 3 で、ドライバは、"Driver part of the loop" との考え方が出てきたため、自動車が運転をドライバにゆだねる場合には「すぐに交代できること」という条件が追加される可能性があり、寝ながらの移動は、現状の動向をみると、レベル 4 の実現を待たなければならない。寝ながらの移動はすぐには無理であるが、ドライバから運転負荷を少なくする自動運転への取り組みの中では、ドライバは安全システムの一部として位置づけられている。

それぞれのレベルでドライバは安全システムとどのように関わるのか、また、ドライバの安心感に関わる内容はどのようなものになるかについて、現在開発中の内容に従って考察する。

表 1-1 自動化レベルの定義

自動運転 レベル	概要	注(責任者関係等)	先を実現するシステム	
レベル 1	加速・操舵・制御のいずれかをシステムが行う状態	ドライバ責任	安全運転支援システム	
レベル 2	加速・操舵・制御のうち複数の操作をシステムが行う状態	ドライバ責任 監視義務及びいつでも安全運転できる情勢	準自動走行 システム	自動走行 システム
レベル 3	加速・操舵・制御を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバが対応する状態	システム責任(自動走行モード中)6※特定の交通環境下での自動走行(自動走行モード)※監視義務なし(自動走行モード:システム要請前)	準自動走行 システム	
レベル 4	加速・操舵・制御を全てシステムが行い、ドライバが全く関与しない状態	システム責任 ※全ての行程での自動走行	完全自動走行システム	

1.2.5 レベル 2 での制御と安心感の醸成のために考慮すべき項目

自動運転のレベル 2 では、加速、操舵、制御のうち複数の操作を同時にシステムが行うことが定義づけられており、一般には、それらのすべてを制御するモードが実装され、市販されている。これらの車は、前方監視システムとして、撮像素子による画像認識やレーザ、レーダによる前方及び後方障害物との距離計測システムにより前方の車両や交通信号を認識する。さらには、道路上の白線を検出し、自動で車両の走行経路を計算し、前方車追尾を含む加減速制御、ブレーキ制御、操舵制御を行う [16]。制御が自動化される中、自動車とドライバとのコミュニケーションが重要になってきている。1.2.4 節で述べたように、ドライバは、安全システムの一部であり、運転支援システムを使用するドライバには、自動車を安全な状態に維持する責任がある。このため、自動車とドライバとの間に密接な情報交換が必要であり、ITS(Intelligent Transport Systems)インフォーマルグループ (ITS-IG) は自動車とドライバとのインターフェースとしてヒューマンマシーンインターフェース (HMI: Human Machine Interface) の警報ガイドライン [17] を発行した。この中で、高度運転支援システム (ADAS: Advanced Driver Assistance System) は、ドライバの負荷軽減と快適性を向上させる必要があるとしている。そのために、レベル 1 では追突や車線逸脱に対して警報をしなかった場合でも、レベル 2 では、前方衝突警報や車線逸脱警報により、ドライバに危険を知らせることが望まれている。[17]では、自動運転時の人の要因としての重要な課題として以下の 3 点を挙げている。

(1) 負荷 (Workload)

ドライバの負荷は、周辺監視や操作が自動車に移ることから負荷が減るが、運転

負荷を適度なレベルに保つことが必要

(2)信頼 (Trust)

正常動作の時、異常時のいずれの場合でも自動的に安全行動を実行する信頼システムの開発が必要

(3)順応 (Adaptation)

ドライバが順応することによる、システムへの過大評価と受動的な運転への変化

以上述べてきた通り、自動運転のレベル 2 では、ドライバの負荷が減ることから、漫然運転や、眠気の発生などの覚醒低下が懸念される。さらには、運転に関わらない時間をスマートフォンの操作などに充てる、いわゆる不安全行動の増加が予測される。また、信頼が増すと、過信による過度な依存が発生する恐れがあり、ドライバによる周辺状況の認識が低下する現象も考えられる [18]。これらのことから、自動運転状態においてドライバに安心感を提供するためには、ドライバが運転を監視し、危険時には操作介入できるレベルにあるかどうかを検出する、ドライバの状態検知の技術が必要となる。

さらに、自動車が周辺を監視しながら自動運転を継続する場合、運転者の認知と自動車の認知のミスマッチ [19]によりドライバが自動車の制御に対して不安や恐怖を感じる場面も想定できるため、自動車の周辺環境の認知状態の報知法が重要となる。

以上、検討した通り、自動運転のレベル 2 では、

- (a) ドライバの状態検知
- (b) 車両の周辺認知状態の情報提示
- (c) 制御による車両の挙動

が安心感につなげるためには重要な技術であると言える。

1.2.6 レベル 3 での制御と安心感の醸成のために考慮すべき項目

レベル 3 では、表 1-1 に示したように、加速・操舵・制御をすべてシステムが行い、システムが要求した時にはドライバが対応する状態であると定義されている。すなわち、レベル 2 の制御に加え、周辺監視も常時ドライバが行う必要はなくなるが、車両だけでは対応できない場合 [20]で、道路側のインフラ整備が整っていない場合や、自動運転そのものが破綻をきたす場合、例えば、白線を検知できなくなる（かすれ、降雪など）などの自動運転の想定外の状況においては、自動運転の制御が破綻をきたす前に、ドライバへの運転交代がスムーズに行われなければならない。現在、レベル 3 におけるドライバと自動車との間の権限移譲についてはさまざまな研究が進められており [18] [21] [22] [23]、結論には至っていないが、ドライバが前方を監視せず眠っている場合には、ドライバへの運転の権限移譲には 10 秒以上の時間が必要との研究例 [18]もある。すなわち、権限委譲を確実に行うためには自動車は 30 秒以上先の状態を正確に知る必要があり、現在の技術では管理された道路以外では不可能である。従って、レベル 3 が実現された場合でも、ドライバがいつでも運転を代われる状態にあることを担保する必要がある。この

状態を保つために必要な要件については、内閣府の進める戦略的イノベーション創造プログラム（SIP: Strategic Innovation Promotion Program）の自動走行システムの HMI ヒューマンファクタ [21]にて研究が進められているが、車載された HMI を用いて、ドライバに自動運転の状態や周辺の状態を知らせること、同様に車載された HMI を用いて、ドライバの状態を維持し、ドライバの状態が自動運転に適しているかを知る研究が進むと考えられる。つまり、ドライバに安心感を与えるためには、

- (a) ドライバの状態検知
- (b) 状態維持法

が必要であると言える。

このように、車載 HMI の役割は大きく、今後解決すべき課題も大きいと思われる。

1.3 研究の目的と研究の時間的領域

1.3.1 HMI で解決すべき課題のまとめ

1.1 節で述べたように、ドライバが危険を感じず車両を制御する、または、車両の状態を見守るといったドライバの感覚を本研究では、ドライバの安心感と定義して、安心感はどうに醸成されているのかを解明する。このため、1.2 節では、車の歴史を安全性、利便・快適の観点から技術開発を振り返り、安心に関連するキーワードを抜き出した。また、現在開発が世界レベルで進められている自動運転についても現状を考察し、安心感についてのキーワードを抜き出した。

本研究は、これらのキーワードをもとに、自動車の運転時にドライバが感じる安心感に対する各種要因を解明し、安心感醸成のために考慮しなければならない項目について明確化することを目的とする。

1.2 節で述べたように自動車の歴史を振り返ることで、安全装置の装着や利便・快適系の装置の装着により安心感を醸成するために必要なこととして以下のことがあげられる。

- (a) 通知タイミング
- (b) 通知方法
- (c) ドライバへの情報提示
- (d) ドライバの入力手段

また、自動運転のレベル 2、レベル 3 では、

- (e) ドライバの状態検知
- (f) 車両の周辺認知状態の情報提示
- (g) 制御による車両の挙動
- (h) 状態維持法

が安心感を醸成するために考慮する必要があると考えられる。

以上のことを、本研究では安心感を醸成するために考慮しなければならない項目とし

て列挙し、安心を感じるデバイスや制御の在り方について明確化する。

ドライバに安心感を与えるために考慮すべき項目として (a) から (h) までの 8 項目を考慮しなければならない。従って、本研究は、これらの項目それぞれについて、どのような要因で安心感が醸成されているかを明確化することを目的とする。

安心感を醸成するために必要となる項目ごとに取り組みについて述べる。(a) 通知タイミングでは、ドライバに情報を与えたときに有用だと考える時間帯を明確化する。(b) 通知方法と、(c) ドライバへの情報提示、(f) 車両に周辺認知状態の情報提示の 3 項目については、与える情報がどのような性質であることが安心感を醸成するのか、その情報の要因について明確化する、また、(d) ドライバの入力手段については、安心感を醸成するために入力装置に求められる安心要因を明確化する。(e) ドライバの状態検知と (h) 状態維持については、現状のドライバの状態検知の技術を調べ、今後検出が必要となる状態について検討する。(g) 制御による車両の挙動については、特にブレーキ操作における安心感について何が安心感を決める要因となっているかについて明確化する。

1.3.2 本論文で扱う安心の時間的領域

1.3.2 節でまとめた、ドライバの安心感を醸成するために検討すべき 8 項目を、ドライバがどのような状態にあるときに考慮すべき項目として検討するかについて考える

ドライバが自動車を運転する際、追突とは直接関係のない通常の運転状態と、追突などの危険が迫っている運転状態がある。図 1-3 に、安心と安全の位置付けについての概念図を示す。重大事故や軽い事故に至るまでには、運転中に“ひやり”としたり“ハッ”としたりした経験が少なからずある。これを「ヒヤリハット」と称し、危険が内在する領域であると考えられる。また、運転に対する苦手意識や不安感についても、事故が発生する要因となると考えられる。重大事故や軽い事故が発生する領域を「もしもの安全」領域として、衝突安全や予防安全の取り組みが進められている。一方、ヒヤリハット、苦手・不安の領域は、通常の運転時に生じる状況であることから「いつもの安心」領域と定義されている [24]。この分類は、平岡ら [25] が分類した「危険が潜在化して衝突を回避するために速度を低減させる顕在的衝突回避減速度領域」と「前方車両に追従して速度をコントロールしている領域である潜在的聖徳会費減速度領域」に相当する。

図 1-4 に、[24] や [25] で分類した時間帯の概念図を示す。衝突時刻 (Time To Collision: TTC = 0) の約 2 秒前に、現状では衝突回避不可と判断し車両自らブレーキを操作して衝突回避の制御に移る。これらのシステムは、衝突が不可避となった場合に衝突を軽減する、衝突軽減ブレーキシステム (AEBS: Advanced Emergency Braking System) や、ドライバの操作に対して介入して衝突を防ぐ、車線逸脱防止支援システム (LDP:

Lane Departure Prevention System) や車線中央走行支援システム (LKAS: Lane Keep Assist System) などが挙げられる。

これらのシステムより、衝突時刻に近くない領域を通常運転領域、ドライバによる回

避が可能な領域の時間帯をいつもの安心領域として，研究の対象時間領域とした．

この領域にあると考えられるシステムとして，ドライバの認知を支援するバックモニタやサイドモニタ，トップビュー周辺モニタが挙げられる．また，夜間の視界を支援するシステムとして 自動ハイビームやナイトビューなどのシステムが挙げられる．これらの機器を操作する入力装置も研究の対象とする．

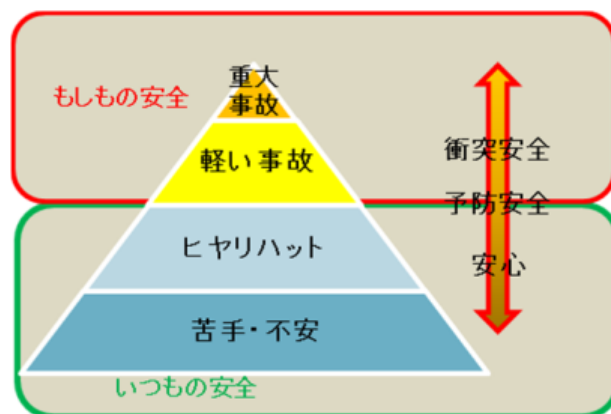



図 1-3 安全と安心の概念図

通常運転		回避可能		回避不可 2 秒前	衝突 TTC=0 秒		
いつもの安全		もしもの安全					
認知支援※	<div>■ 間接視界支援</div> <ul style="list-style-type: none">・ ソナーでの障害物検出通知・ バックモニタ・ サイドモニタ・ トップビュー周辺モニタ（SMS）		注意喚起	<div>■ 操作を促す</div> <ul style="list-style-type: none">・ FCW・ BSW	介入制御	<div>■ 介入操作する</div> <ul style="list-style-type: none">・ ステア回避・ LDP・ LCA	<div>■ 衝突軽減</div> <ul style="list-style-type: none">・ AEBS
	<div>■ 駐車支援</div> <ul style="list-style-type: none">・ ステア自動駐車 <div>■ 間接視界支援</div> <ul style="list-style-type: none">・ ナイトビュー						
	<div>■ 直接視界支援</div> <ul style="list-style-type: none">・ AHB/AZB						
	<div>■ 自動運転</div> <ul style="list-style-type: none">・ ACC/FSRA・ LKA/LCC						
夜間							
苦手（操作）支援							
自動運転							

1-4 いつもの安心時間と対応するシステム

1.4 関連研究

本論文の関連研究として，安心について述べられているいくつかの研究内容を調査し，

本論文が解決しようとしている内容との差を明確化する。

1.3.3 一般的な安心に関する研究

近年、ドライバの安心・安全を保つ技術への関心が高まっている。一般的に、安全という言葉は、事故や災害などが起こらないという現実の状態を表現するときに使われ、安心という言葉は事故や災害などについての不安や心配がないという心の状態を表現するときに使われる。現実の状態と心の状態は別の事柄であるため、両者は必ずしも連動していない [26]。また、臨床心理学の世界では、安心に対する固有の定義は存在せず、不安がない状態を安心とし、不安を「さまざまな状況において対処方法が定まらず、自分にとって脅威となることが予測される際に生じる漠然とした不快な情動」と定義している [27] [28]。

安心感に関する研究は、これまで数多くなされてきた [29] [30] [31]。[29]は、一般的な安心について意識調査し、安心は心が落ち着き安定する状態や頼りになる存在がある状態ととらえられていると分析している。

また、食品の領域では、安心感と不安感を対として分析し、不安感としての感じ方について消費者は、メリットの感じられないものに不安を強く感じるとしている [30]。

さらに、日景らは、情報セキュリティ技術に対する安心感を検証し、外的要因である「セキュリティ技術、ユーザビリティ、信用」、内的要因である「経験、プリファランス、知識」で構成されることを示している [32]。つまり、セキュリティ技術によって安全性が確保されていても、ユーザビリティの問題や利用者の経験の有無によって、不安を抱かせる場合があるということである。

以上述べたように、安心感に関する研究は、心の問題であり、安心感を阻害する不安に注目し、不安を取り除くため、その要因を具体化して対策するという方法をとっている。

1.3.4 自動車制御に係る安心に関する研究

自動車の制御に関する安心感の過去の研究内容について述べる。

公益財団法人 交通事故総合分析センター (ITARDA) の事故件数の推移によると、年々事故件数は低減傾向にあるものの、死亡者数は国内で 4000 人を超えている [33]。一方、事故を抑制するために、高度運転支援の研究が進められており普及が期待されている。これらのシステムとして、例えば、前方追突警報システム (FCWS: Forward Collision Warning System) や、衝突被害軽減ブレーキシステム (AEBS: Automatic Emergency Braking System) があげられる。これらのシステムは、衝突を回避するために、効果的なシステムであり、ドライバの制動操作遅れを自動車からドライバに対して制御を要求したり、または、自動車が制御自体を提供したりすることができる。車の加減速による加速度は、もともと乗り心地に大きくかわる [34] [35]ことから、安定した制御を実現

するために、ブレーキ制御とドライバの関係についてはさまざまな研究が進められている。例えば、事故が発生する時に、運転行動と対応能力による事故発生過程への関与 [36] によりブレーキ反応時間を探ったものがある。また、高井らは、ブレーキフィーリングを、

- (1) 踏み応えがあること
- (2) 踏み増した時の応答性が良いこと
- (3) ドライバの期待を上回る効きが得られること
- (4) ブレーキをかけたとき車両が無駄な動きをしないこと

の4点の特性を上げることによりブレーキ特性を向上させた [37]。さらに、宮本らは、ドライバの速度調整操作モデルにより、ドライバの運転操作を模擬し、渋滞の原因検証を行っている [38]。また、Aziz は、長距離ドライブの乗り心地の改善について加加速度が関与していることを突き止めた [39]。さらに、電気自動車の速度パターン制御に加加速度の制御を導入して、乗り心地の向上を図った研究もある [40]。これらの先行研究は、乗り心地向上や制御性向上に大きく貢献している。

自動運転時代にも同様な指標が乗り心地について関係するものと思われる。藤原はトラックドライバを対象とした質問紙調査を実施し、安心して運転するためには周囲の安全確認がきちんとできることを最も重視していることを明らかにしている [41]。

これらは全てマニュアル運転時の感覚に焦点を当てているが、ドライバが感じる安心と不安を明確に分ける因子を発見しているわけではない。クルマがブレーキの制御を行う際、ドライバはどのようにそのブレーキ制御を感じるのかについて知ることは、ドライバが制御を信頼し、安心感を抱くシステム構築のためには重要であると考えられる。しかしながら、現在、運転時に感じるドライバの安心感や不安感について言及された研究はない。

1.3.5 車載機器の安心に関する研究

車載 HMI 機器の安心感についてこれまでの研究について述べる。

車載 HMI 機器を安心して利用するためには、安全性の確保だけでなく、様々な観点で考慮した機器にする必要がある。本論文では、機器に必要とされる要因を明確化することで、機器の設計時に必要となる項目の明確化を図る。

車載 HMI 機器使用時の安全性とは、機器を使用していても事故やヒヤリハットにあわないことである。機器使用中の安全性を確保するため、タスクを完了するまでに必要とする視認時間をガイドラインで定める等の取り組みがなされている [42]。また、機器を導入することによって事故を低減させる取り組みも進められている。事故の要因として割合の多い漫然運転や脇見運転を防ぐため、これらを解消する技術の開発が進められている [43] [44]。さらに、情報提供、注意喚起、警報などの報知方法に関して、適切な HMI の研究がおこなわれている [45]が、ドライバの安心を検討課題とした研究とはなっていない。

ない。

また、佐々木は自動制動装置の状況認識を適切に行うことがドライバの安心感に繋がるという仮説のもと、自動制動装置の作動を事前提示する場合としない場合の安心感を比較した。その結果、事前提示することで安心感は向上するが、呈示タイミングが安心感向上を妨げる要因となる可能性があることを明らかにした [46]。また、稲垣は、表示機器の表示内容をドライバが認知できない時には不安や不信を生じる可能性があるとの研究成果を発表している [47]。しかし、車載 HMI 機器使用時の安心感の要因について網羅的に調査した事例は見られない。本論文では、この現象をさらに正確に定義し、最も安心を感じる時間帯が存在すれば、その時間帯で、装置に必要とされる要因を発見することにより安心要因を解明でき、ドライバにとって有益な機器開発が可能となると考えた。

機器を操作するための入力装置についても、遠方表示のディスプレイに対して手元操作するための入力装置(Remote Touch Controller)やハンドルから手を離すことなく入力可能な音声認識装置など様々な方法でドライバが自動車に装着された機器に対して入力できる入力装置が装着されてきている [48]。ドライバはこれらの機器を操作しながら、自動車を安全に運航させなければならない。

また、Walton らの研究によると、ドライバの 80%から 90%が平均的ドライバよりも安全のためゆっくりと走行しているといっているとの調査結果がある [49]。実際には、危険行動をとっているドライバも少なくないことから、ドライバの運転に対する考え方に頼らず、安心した機器操作ができる機器の開発が必要である。

ドライバの機器操作とディストラクションの関係については様々な研究がなされている。例えば、[50]はドライバの前方車追従におけるディストラクションについて研究しており、機器操作が操舵動作に影響を及ぼすことが示されている。ドライバが機器操作に不安を感じることなく、安心して自動車を操縦できるように配慮しなければならない。操舵に影響するこのような現象について、ドライバは不安に感じることもあると推測できる。安心に近い言葉として安全という言葉があり、これらは、「安心・安全」というように同時に使われることが多く、明確な定義がなされているわけではない。本論文では安心に対するドライバの意識がこういった要因から生じているかについて解明する。

これまで述べてきた過去の研究は、安心感を醸成する事象に着目しているが、周辺の状態を特定しているわけではない。時間的に余裕がある場合とない場合とでは安心感に差がある可能性がある。ドライバは、例えば、自動車の装置を操作する時や、自動車から発せられる情報を入手したり、機器を操作したりする場合にも、時々刻々と変化する自動車の外界の環境に応じて運転を継続しなければならず、ドライバの感じる安心感が変わってくるものと思われる。

そこで、機器操作する時間を衝突前の限られた時間に限定した場合にどのような要因が安心感を醸成するかについて研究することで、安心した運転操作につながる機器を開

発するための指針にできると考えた。

以上述べたように、これまでの研究例と比べると、ドライバが運転中に必要となる機器操作や情報入手において、どのような要因が安心材料となりうるのかを研究する本研究は新しい分野を切り開くものであると言える。

1.4 本論文の構成

本論文の構成は、現状の研究状況を調査する第 2 章、第 3 章と、これらの結果を実験環境に織り込み、安心に関する実験により安心要因を求める第 4 章、第 5 章、第 6 章、さらに、これらをまとめた、第 7 章により構成する。

第 2 章では、本研究を進める際に、実験に反映すべき条件を明確化するため、人の特性、つまり、運転に関わるドライバの特性、特に、聴力と視力について過去の文献によりドライバ特性を述べた後、これらの値を実験条件に反映させ、実験が特殊な環境にならないように配慮した。

本研究で求める、安心に対する要因は、ドライバが通常の状態であるときに感じる安心とするために、第 3 章では、ドライバの状態検知の取り組みについて現在の研究状況を調査した結果を示す。これらの成果を用いて、実験時のドライバの状態が正常状態であることを確認する。

さらに、第 4 章では、安心感が醸成される時間帯を確定するために、ドライビングシミュレータを用いて警報の嬉しさと煩わしさを比較した実験を示す。

さらに、第 5 章で入出力装置の安心感について、どのような要因をドライバが望んでいるかについて実験し、機器を操作した場合と、表示装置から情報を取り入れる場合において、安心感を醸成するための因子の分析を実施した結果を示す。

また、第 6 章では、自動運転の際に、車が制動を行ったときに感じる安心感を明確化するため、はじめに、ドライバの体調変化においてどのように運転が変化するかについて研究した結果を示す。特に、ドライバのブレーキ操作に注目して、体調が変化した時のブレーキ特性を調査した。この結果をもとに、体調が正常である時に、ドライバがブレーキ操作をした場合の安心感にフォーカスし、どのような場合に安心を感じるかについて実験した結果を示す。

最後に、第 7 章では、これまで述べてきた様々な安心感をまとめるとともに、今後展開する分野と現在抱えている課題、今後の展望について述べる。

第2章 ドライバの特性

前述したとおり，自動運転時，ドライバは，自動運転レベル 2 までは，周辺環境を監視／認識し，危険を予知して，危険を避ける動作を絶えず続ける必要がある．機器を開発する上で，人の特性を知り，応用することは重要なことである．本章では，人の特性のうち，特に安全運転につながる視覚，聴覚の各特性についてこれまでの研究内容をまとめる．調査した本章の内容は，第 4 章以降の実験の環境を考慮する際の参考とした．

2.1 視覚

視覚は周辺の状況を認知するために重要な知覚のひとつであり，盛んに研究が行われている分野である．また，自動車の運転時にドライバが外界情報として利用する情報の中で，90%は視覚情報であるとされており [51] [52] [53] ドライバの特性を反映したモデルを構築するうえでも視覚は重要な要素である．本項では現在までに知られている視覚の諸特性を整理し，安心感の実験の際に考慮すべき視覚のパラメータを洗い出し，実験の条件を決める参考とする．

2.1.1 視力

人の視力は，視覚，つまり，視野の分解能[′,分]の逆数で定義されている．視力 1.0 とは視野の分解能が 1 分であることを意味する [54]．道路交通法施行令規則第二十三条 [55]において，普通運転免許保持者は両眼で 0.7 以上かつ一眼で 0.3 以上の視力を有する義務を負っている．従って，ドライバの視力は最低でも 0.7 以上，分解能に換算して 1.43′ 程度が必要である．また，網膜における視細胞の大きさが 0.5′ 相当であることから，視力の上限は 2.0，分解能に換算して 0.5′ 程度である．視力のパラメータはドライバが車両周辺を視認できる範囲の基本となる．

2.1.2 有効視野

解剖学的な観点から，ヒトの視野は分解能の高い中心視野と分解能の低い周辺視野に大別できる．前項で述べた視力とは，中心視野における分解能を意味しており，周辺視野における視力は中心視野における視力に比べて著しく劣る．

上述の中心視野と周辺視野は眼球の構造から整理された分類だが，ドライバの特性を考慮し，のちの実験条件に使用するという目的からすると，視覚的な作業を遂行する際に機能する視野，すなわち有効視野を考慮した方が，より車両を運転しているドライバの特性を表現できる．また，有効視野の範囲は安全運転において最も重要な要因である

とされている [56]. 以上のことから, ドライバの視野としては有効視野を考慮する必要がある.

山中らはドライビングシミュレータを用いた実験により, 自動車運転時の有効視野を測定した [57]. 実験の際に用いられた刺激の大きさは視角にして 1° であった. 実験の結果, 他車両が存在し混雑度が高い道路を模したコースの走行時において注視点より水平方向に半径 $35 \pm 7^\circ$ (SE:標準偏差) 程度, 他車両が存在せず混雑度が低い道路を模したコースの走行時において注視点より水平方向に半径 $43 \pm 7^\circ$ SE 程度の有効視野を有することが明らかとなった. この実験結果は既存の研究報告より広い範囲が有効視野として利用できることを報告しているが, 実験は自由視状態の被験者を対象に計測されており, ドライバの特性を表現するうえで妥当性の高い数値であると考えられる.

なお, 垂直方向の有効視野については既往研究において垂直方向の有効視野は水平方向の有効視野より狭く, 有効視野は楕円状で近似できることが知られている [58]. 以上のことから, 網膜像における大きさ 1° の視覚的な情報を知覚できる有効視野の範囲は, 式(1)によって表現できる. また, 有効視野の概念図を図 2-1 に示す. 青色の楕円で示した領域が, 視角 1° の大きさを持つ視覚的な情報が存在することを知覚できる範囲である.

$$\frac{\left\{a \times \cos\left(r \frac{2\pi}{360}\right)\right\}^2}{a^2} + \frac{\left\{b \times \sin\left(r \frac{2\pi}{360}\right)\right\}^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

ここで,

r : 視点からの偏角[deg],

a : 水平方向の有効視野[deg],

b : 垂直方向の有効視野[deg]

である.

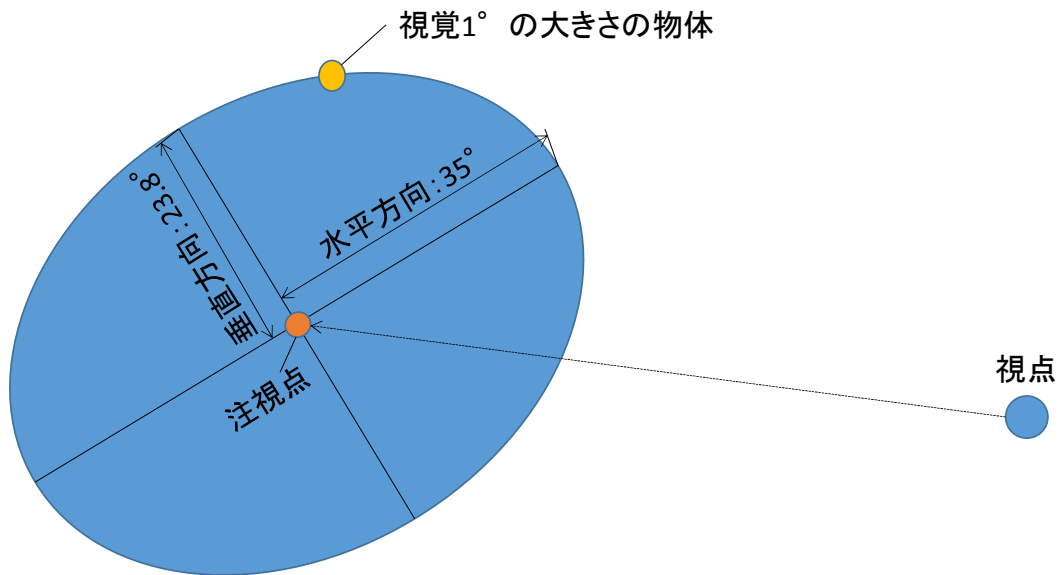


図 2-1 有効視野の概念図

2.1.3 眼球運動

眼球運動には大別してサッカードと滑動性眼球運動の二種類がある。

サッカードとは、視野内のある点から別の点に注視点を移す際の眼球運動である。この運動は高速であり、いったん動き始めると最初に目指した位置まで停止しない。解剖学的に、眼球が運動可能な角度は最大でも 45° 程度であり、それ以上の範囲となると頭部運動と連動して注視点を移動することになる。また、特筆すべき事項として、サッカードの途中で網膜に映った映像は知覚できないという点が挙げられる。この現象はサッカード抑制と呼ばれており、視点を移動する際の重要な特性である。

サッカードに要する時間は眼球運動の角度に比例する。

もう一つの眼球運動として、滑動性眼球運動がある。滑動性眼球運動はサッカードに比べて非常に速度の遅い眼球運動であり、運動する視覚刺激に追従して発生する。逆に、静止している視覚刺激に対しては、滑動性眼球運動は起こらない。追従できる視覚刺激の速度の範囲は $5 \sim 60^{\circ} / \text{sec}$ 以内であり、この範囲に収まらない視覚刺激の運動に対しては、眼球運動がサッカードに切り替わる。

サッカードは、認識が伴っている時に発生するという研究例もあることから、ドライバが何を認識しているかについて計測できる可能性があるが、高速カメラや眼球運動の解析技術など今後の技術開発が望まれる。

2.2 聴覚

自動車運転時にドライバが利用できる重要な情報として、視覚の他に聴覚が挙げられる。例えば緊急車両がサイレン音を鳴らすのは、聴覚情報をドライバに提示することで緊急車両の接近を認知させることが目的である。また、カーナビゲーションなどは、画面の矢印で右左折する場所を知らせるとともに、音声によって目的地までドライバを誘導する。従って、ドライバの特性として聴覚の基本的な特性を考慮することが重要である。

本項では現在までに知られている聴覚の諸特性を整理し、ドライバの特性として考慮すべきパラメータとして聴力について述べる。なお、その他のパラメータとしては、

- (1) マスキング
- (2) 音源定位
- (3) 加齢による聴覚への影響

が考えられる。

2.2.1 聴力

聴力とはヒトが知覚できる音の大きさ、音圧レベルによって表現され、デシベル[dB]で表記される。個人差や加齢による可聴域の狭窄など、その特性には個人差がある。

一般に、ヒトが知覚できる音波の波長は 20Hz～20000Hz 程度であり、頭部の形状や耳道の形状、耳道の特性などの影響により、周波数によって知覚できる音圧レベルの最小閾値が異なる。また、同じ大きさの音として知覚される音圧レベルも周波数によって異なる。周波数毎に「同じ大きさの音」として知覚される音圧レベルを結んだ線、等ラウドネス曲線は[phon]の単位で表記される。最小可聴閾値より低い音圧レベルの音は知覚されない。なお、3～4kHz 付近において最も等ラウドネス曲線が低くなっている(よく聞こえる)のは、外耳道による共振によって音波が増幅されるためである。

2.2.2 加齢による聴覚への影響

加齢により可聴音圧レベルは上昇し、可聴周波数帯域は狭まる。

一般に男性の声の周波数は 500Hz 前後、女性の声の周波数は 1000Hz 前後であるが、医療法人耳鼻咽喉科麻生患者サービス改善委員会 [59]が示すところによれば、500～1kHz の帯域においては、50 歳代で 10dB 程度、60 歳代で 12～15dB 程度、70 歳以降で 22～23dB 程度、75 歳以降で 28～29dB 程度、可聴音圧レベルが上昇するとされている。従って、カーナビの音声案内や緊急車両のサイレン音なども聞き取りづらくなると考えられる。

ただし、加齢による聴力の低下は個人差が大きいため、聴力低下の分布を正確に表現する為には更なる調査が必要である。

さらに， [59]によると， 2kHz を超える周波数帯では 59 歳以下とそれを超える年齢では大きく聴力レベルが異なり， 50 歳代と 70 歳代では 8kHz に対する聴力レベルは 30～40dB 下がるというデータもある．

以上の特性を考慮すると， 今後実験に用いる音源は， 1[KHz]を含み， それよりも低周波側の音源を組み合わせることで， 年齢差や個人差の可聴特性の影響を受けなくなると考えられる．

第3章 ドライバの状態検知の取り組み

3.1 はじめに

19 世紀の終わりに自動車が登場して以来、自動車事故に対する取り組みは脈々と続けられている。

日本では、事故を低減する取り組みとして、道路環境整備、安全教育、シートベルト義務化、エアバック (A/B)・ABS の 100% 装着化や衝突被害軽減ブレーキの製品化がなされ、政府として 2018 年に交通事故死亡者を 2500 人以下にするという目標のもと、1991 年より国土交通省を中心として、先進安全自動車 (ASV: Advanced Safety Vehicle) 推進検討会の活動 [60] が開始され、事故低減へ大きく流れができてつつある (図 3-1 参照)。A/B, ABS100%装着化の取り組みや、衝突被害軽減ブレーキにより、確実に成果を出しており、2016 年では、交通死者が 3904 人となった。3000 人台の死者数は、67 年ぶりである。

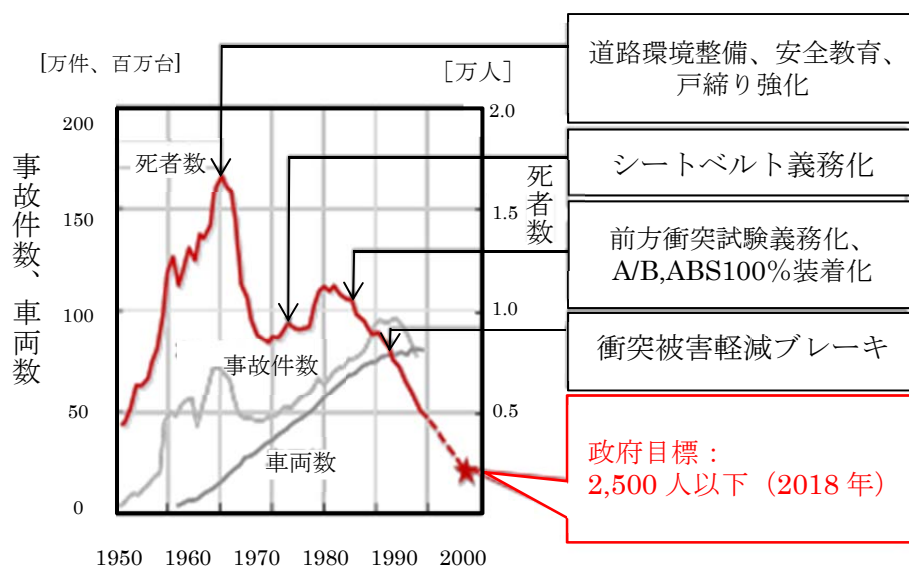


図 3-1 交通事故死者低減への取り組み

警視庁交通局の事故要因の分析 (2012 年度版) によると、死亡事故件数は、最高速度違反が 1992 年をピークに年々減少傾向にあり、2003 年以降では、わき見運転や漫然運転による死亡事故数を下回っている。代わって、漫然運転、わき見運転による事故が死亡事故の主たる原因になっている (図 3-2 参照)。この漫然、わき見運転による事故については、減少傾向は現れておらず、何らかの施策を打つ必要がある。

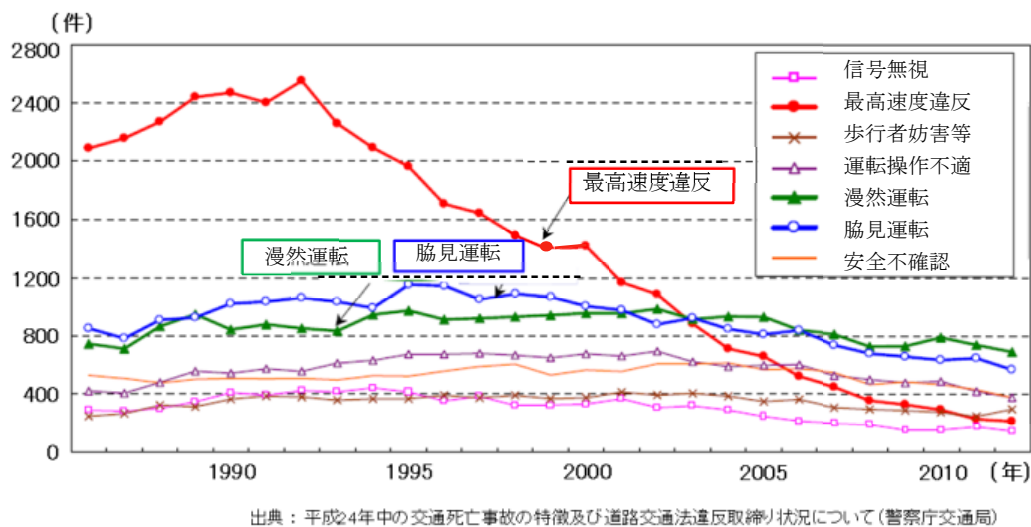


図 3-2 死亡事故分析の推移 (平成 24 年 警視庁)

死亡事故を低減するためには、これらの原因を取り除くことが必要であり、ドライバーの状態検知の技術の革新が望まれている。特に、近年、バスやトラックの運転手の体調異常による悲惨な事故が増加しており、2014 年の愛知県の死亡事故 230 件のうちの 15% が運転中の病死であるとのデータもある [61]。体調変化の症状として、図 3-3 に示すように、心臓疾患、血管系疾患、脳疾患があげられ、高齢化、生活習慣病の広がりから年率 6% の割合で増加している。

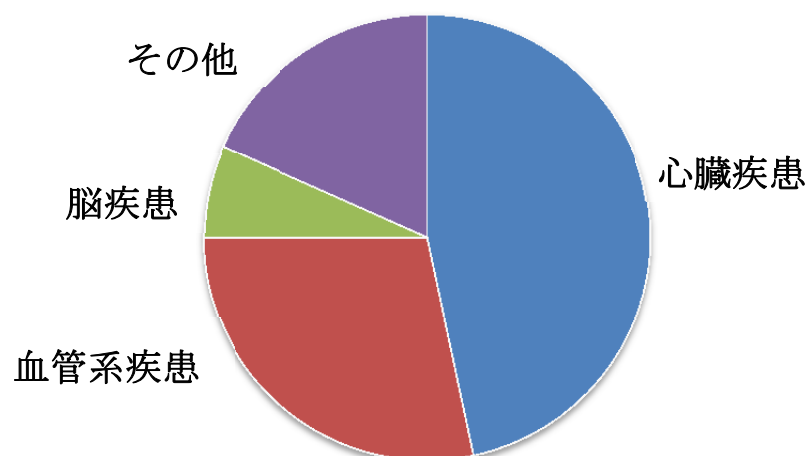


図 3-3 体調変化の症状とそれらの割合

今後、自動車における新たな環境変化として、自動運転が普及すると考えられる。

本節では、ドライバーの身体的状態変化について概要を述べた後、ドライバー状態検知の取り組みと今後の展望についてこれまでの研究をまとめる。また、自動運転時のドライバーの状態検知で必要な項目について検討する。

なお、本章は、2016 年 9 月 22 日に行われた日本医学工学研究会での筆者の発表内容を一部再構成したものである。

3.2 ドライバの状態変化

ドライバがハンドルを握り運転を開始してから、時間が経過することにより疲労や過信、慣れなどの要因により運転に対する反応時間や集中度、視認性、認知力などが変化(低下)する。ドライバの状態変化を、ドライバが事故を起こす前の時間帯による車両状態(結果系)と生体状態(原因系)で分類した結果を図 3-4 に示す。ドライバの状態変化は、はじめは体調不良や漫然状態に始まり、疲労、眠気、居眠りと状態の悪化が進むにつれて事故の可能性が増加していく。そして、最終的にその状態変化が車両操縦に反映され、ふらつきや車線逸脱、他車両への急接近といった車両挙動に現れる。車両の急接近や車線逸脱、ふらつきなどが現れる時間帯は、事故がすぐそこに迫っている、いわゆる、“いよいよ”や“いざ”の状態であり、ぶつかることを想定した安全確保の領域であると言える。これらの状態変化が車両に現れたときには、事故に直結することが多く、危険な状態である。このような状態に陥る前に生体状態の変化を検出する、つまり、“そろそろ”の時間帯での検出がドライバにとって安心確保ができる領域であるといえ、事故に至るよりもできるだけ早い時間帯に生体状態の変化を検出することが必要である。

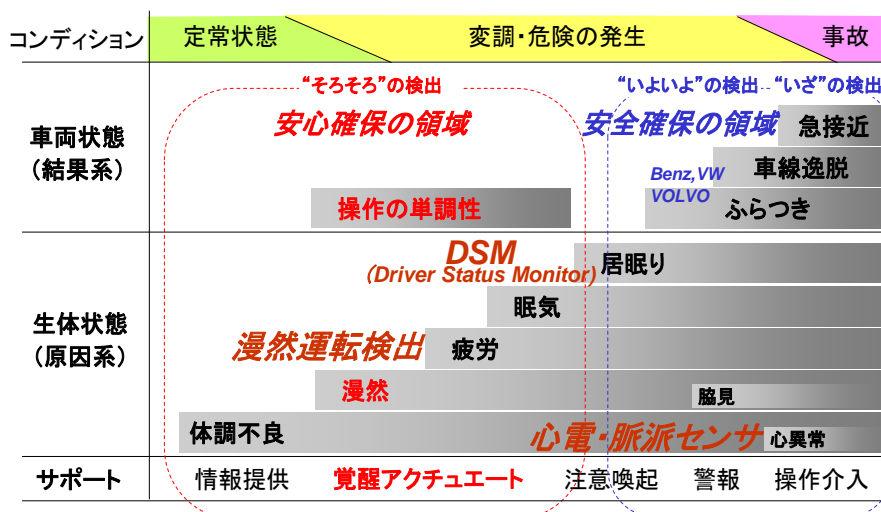


図 3-4 ドライバの状態変化

また、ドライバの生体状態変化とは異なるが、感情についても時々刻々と変化することが知られている。Russell はすべての感情は「快－不快」、「覚醒－眠気」の 2 次元で表わされるとし円環モデルを提案した [62]。図 3-5 に Russell の円環モデルと各要素を運転によるドライバの状況でクラスタリングした結果を示す。精神が平静状態である円環モデルの中心から快適状態に位置し、幸福や喜び、穏やかといった感情が含まれる運

転適性ゾーンと、不快、眠気、過覚醒状態に位置し、みじめな、憂鬱といった因子からなる注意散漫群、退屈、疲労困惑などから構成される倦怠眠気群、イライラ、動揺からなる切迫激情群、覚醒、緊張からなる緊張興奮群を運転不適正ゾーンとして大別した。運転時には、不適正ゾーンに陥ることを防ぎ、平静から快のゾーンの適正状態に保つことが望ましい。

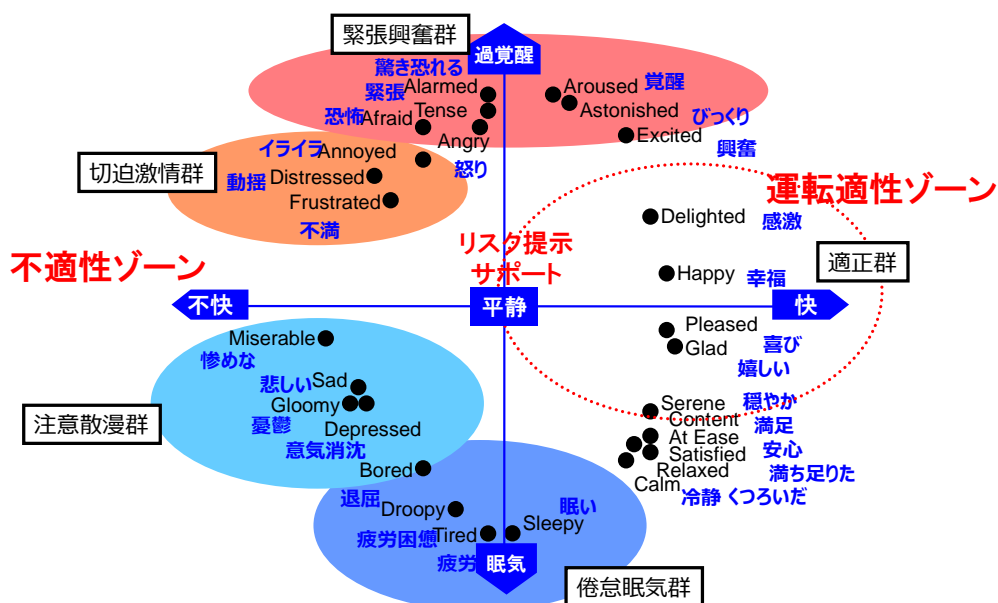


図 3-5 Russell の円環モデル

図 3-6 に、ドライバの状態を適正状態に保つための循環モデルを示す。ドライバと車が、運転環境を理解し、車が制御（アクチュエーション）した結果を受けてドライバはドライバの生理・心理状態に従って車両を操作する。ドライバの操作は、顔向きや視線の向きなどの行動として現れ、この行動を計測することで、車両の近未来の状況を推定し制御に戻す。この時に、人モデルとして覚醒度や注意力、感情などの状態に従ってドライバが行う操作を推定することになる。

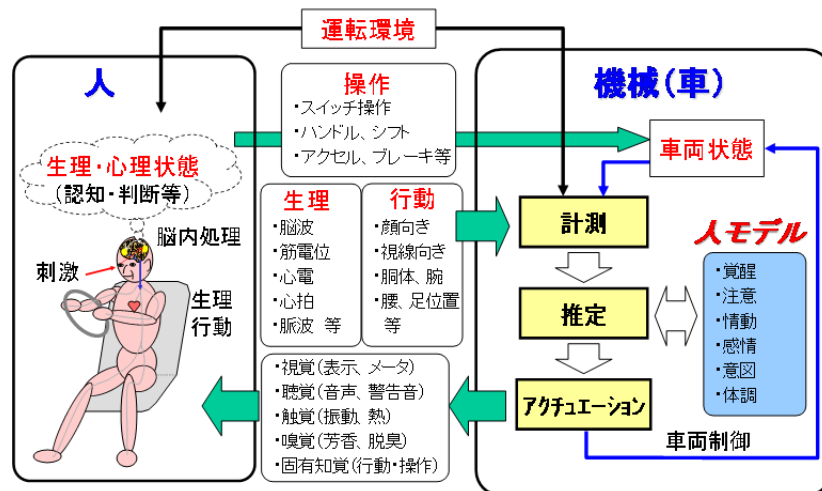


図 3-6 運転適性状態に保つドライバと車の循環図

ドライバを適正状態に維持するためには、ドライバの運転負荷を適正に保つことが必要である。Yerkes-Dodson Law によると、遂行能力は適切な負荷のもとで最高点を示すと考えられている [63]。

図 3-7(a) に Yerkes-Dodson Law とドライバの状態を重ね合わせた関係概念図を示す。負荷が大きい場合が、図 3-7 に示した Russell の円環モデルで切迫激情状態や緊張興奮群の状態であり、負荷が低い場合が注意散漫群や倦怠眠気群に相当すると考えられる。このように負荷量の変動した場合でも、適切な負荷量に保つことにより、操作能力を最大に保つことが必要である。一方、負荷量が適切でない場合も運転中には存在する。この場合、負荷量を変化させて余裕を生み出す考え方を、図 3-7(b) を用いて説明する。図 3-7(b) はドライバのリソースに対する運転能力のイメージを示したものである。図 3-7(b) の左図は、ドライバの能力限界に対して、注意散漫や倦怠眠気により、ドライバの能力限界が下がった場合を示している。この場合でも、外部環境に適応するための運転負荷に対して新たに投入するリソースを低く抑えることで余裕を生み出すことができる。また、図 3-7(b) の右図は、ドライバが切迫激情群や緊張興奮群にあるときのイメージ図であり、ドライバが興奮状態にあることから運転負荷量がその分大きくなっていると考えられ、この場合にも、新たに投入するリソースを低く抑えることで、余裕を生み出すことができる。

以上述べたように、運転適性状態を保つためには、ドライバの注意散漫度合や倦怠眠気度合、さらには、感情状態も検出することで、適切な負荷を与えて常に適正な運転状態を保つ必要がある。

次節では、これらの状態を検出するための方法について、これまでの方法と今後必要となる方法について述べる。

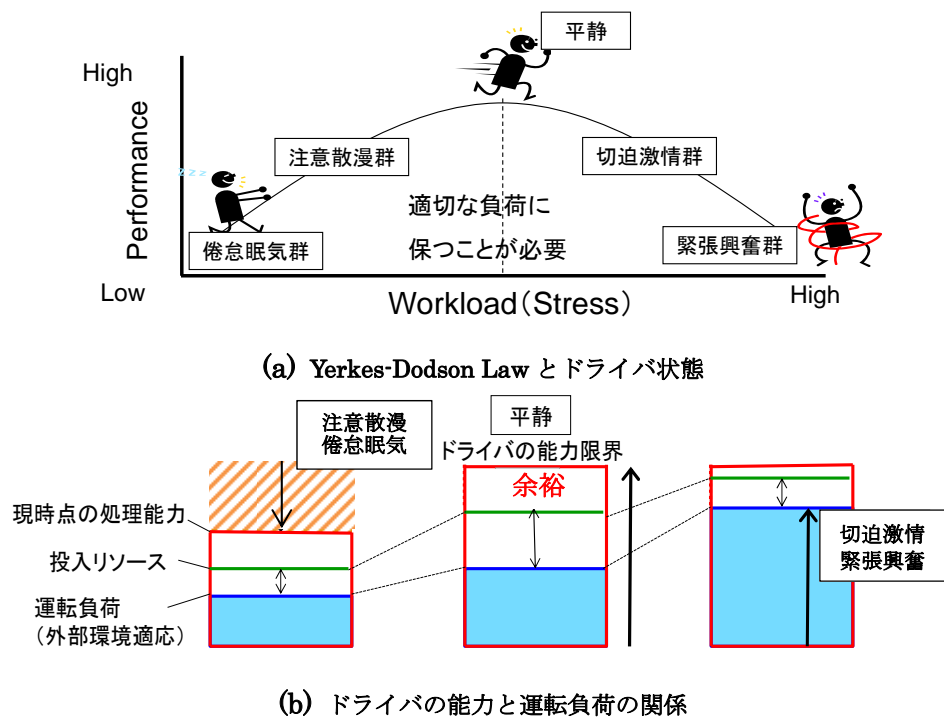


図 3-7 ドライバの能力と負荷の関係

3.3 ドライバ状態検知の取り組み

3.3.1 ドライバの状態変化

ドライバの状態変化は、前述した通り、ハンドルやブレーキ、アクセルといった車両制御装置そのものに現れ、ひいては車両挙動に現れることが多いが、着座状態や表示機の視認時間、操作機器の操作時間といった車両に装備されている機器へのやり取りに変化が現れることがある。また、周辺の環境、つまり、緊張が続く状況かどうかによっても状態の変化度合いは変わってくる。これらの変化を生体計測により間接的に計測する。計測する手段として、脳波、視線・眼球運動、瞬目、自律神経系指標、筋骨格筋系指標があげられる [64]。

脳波計測では覚醒レベルやリラックス度、慣れ、注意など基本的な脳活動の状況が計測可能であるが [65] [66]、実車状態では計測が不可能であり、実験レベルにとどまっている。また、実車搭載が困難であるといった背景から、状態検知のリファレンスとして用いられることもある。

また、視線や眼球運動については、情報取り込み意図や注意の範囲、興味・関心、精神緊張や不安が計測可能であるが、認知や判断といった車両の周辺状況を的確に認知しているかについては、今後の研究成果を待たなければならない。

瞬目については、覚醒水準や注意の集中度などの指標が計測できるという研究例があ

る [67]. 半眼状態から完全に閉眼するか、途中で開眼するかといった閉眼の違いを計測することで、ドライバの覚醒低下の認識について検出できるとした研究例もある [68].

自律神経系の活動を計測することで、緊張感や興奮度合が計測可能であるばかりでなく、注意集中度合が計測できる [69].

表 3-1 は、生体計測の項目とそれにより得られる指標をまとめたものである。表中、△は、センサ単独では検出不可能であり、他のセンシング手段との協調で検出できると考えられるものを示す。また、○は、単独でも検出可能であると考えられる。この表からわかるように、ドライバの状態検知のためには、複数のセンサのフュージョンにより検出することが必要であり、車両搭載性、精度、コストなど総合的に判断して搭載することが必要である。

3.3.2 生体検知の現在の取り組み

これまで、欧州メーカを中心として、ドライバの運転状態、特に車両のふらつきや車線逸脱などの車両挙動を検出し、ドライバの非定常状態を推測する技術やドライバの閉眼度を直接検出することでドライバの眠気を検出しウォーニングを行う装置が実装されている。これらの装置は安全確保の領域で危険が迫っている場合には有効であり、今後さらなる展開が期待される。このように、ドライバの状態異常が運転に現れることをウォーニングの起点とする方法は、事故に至る直前で警報を出す方式であり、事故を防ぐための有効な手段であると考えられるが、ユーザへの休憩提案や警告が煩わしく感じる場面もあり、ユーザの嬉しさを訴求するための工夫も必要である。

また、別の検出手段として、カメラ映像を用いて顔向きや閉眼状態から前方不注意や眠気を検出して警報を発する装置がある。覚醒度は、顔表情から評価する北島の手法 [70] を用いることもある。図 3-8 は、眠気検出のためにダッシュボードに装着したドライバステータスマニタのシステム図である。近赤外 LED を使って顔を照射し、顔の画像をカメラに取り込み、閉眼度や顔向きを検出する [71].

図 3-9 に、DSM の構成と処理の流れを示す。DSM は、近赤外線カメラと近赤外 LED による投光器から構成されている。画像処理の流れとしては、撮影、顔領域検出、顔部品抽出、頭部姿勢推定、開眼度の検出、瞼挙動解析による異常度合推定を経て結果をウォーニングシステムに出力する。ドライバが、眠っている場合やよそ見をしている場合で、危険が迫っている時にプリクラッシュシステムの警報前出しとして使用される。

表 3-1 生体計測の項目と得られる指標

センシング				倦怠眠気群					注意散漫群		切迫激情群		緊張興奮群		体調	
				深い眠気	浅い眠気	疲労	飽き	油断	脇見	考え事	急ぎ焦り	イライラ	緊張	パニック	体調異常	運転不能
検知	分類(系)	検出対象	センサ													
状態	中枢神経	脳波・血流	脳波、NIRS	△			△	△		△		△	△			△
	内分泌系	血液・唾液	採血・唾液			○						△			△	
	自律神経	心電・脈波	心拍・脈拍計	△	△	△					△		△	△	△	△
		呼吸	シート圧	△		△							△	△		
		皮膚温	赤外線温度			△										
	筋活動	眼球運動	眼カメラ	△	△			△	○	△				△		△
		顔表情、瞬き	顔カメラ	○	△		△		△	△	△	△	△	△	△	△
	行動	しぐさ	上半身カメラ				△	△		△	△			△	△	△
		発話	マイク								△	△				
シーン	操作状況	アクセル開度等	CAN	△	△	△		△			△	△	△	△	△	△
	走行状態	車速、加速度等	CAN	△	△		△				△	△	△			
	走行環境	車間距離等	周辺カメラ	△	△		△	△			△	△	△			

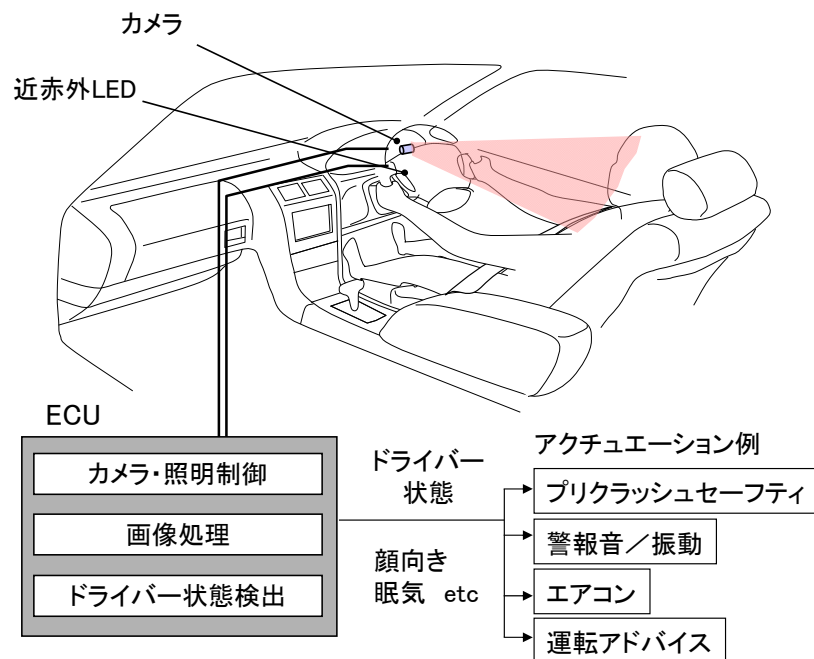


図 3-8 ドライバステータスモニタ (DSM)

文献 [71]より抜粋

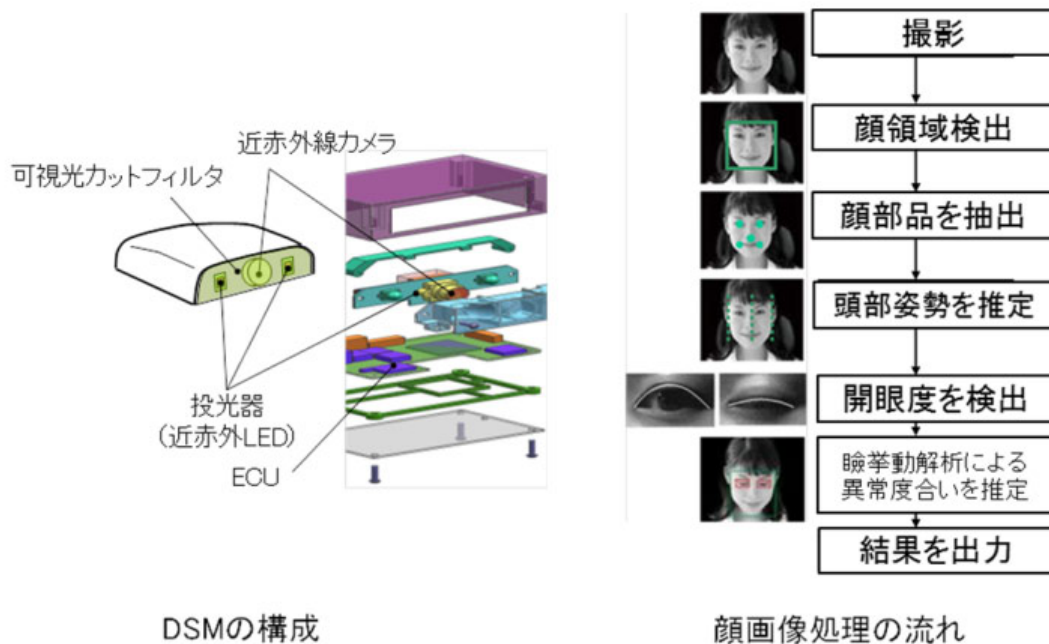


図 3-9 DSM の構成と処理の流れ

文献 [71]より抜粋

図 3-10 に、目の開眼度を用いた眠気レベルの算出法の例を示す。この方法は、NHTSA に認可された運転者の疲労度を測定する手段で、Percentage of Eye Closure (PERCLOS) と呼ばれる方法である [72]。60 秒間のうち目の開眼度が 20%以下となる時間割合を算出し、式(2)に示すように、その値 (*Score*) が 20%以上の時を居眠り状態と判定する。

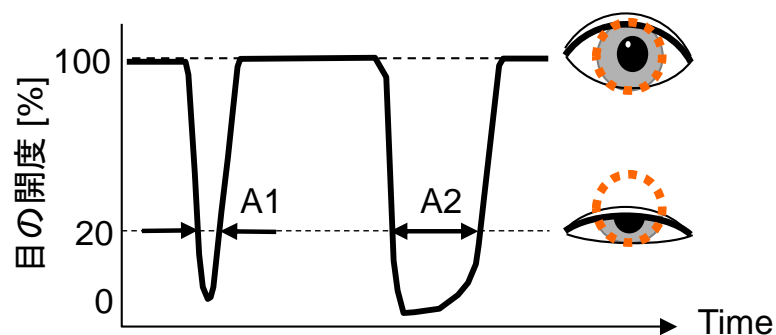


図 3-10 目の開眼度を用いた算出 (PERCLOS)

$$Score = \frac{A1+A2+\dots}{60\text{ second}} \times 100 \quad (2)$$

ここで、

Score: 開眼度、

A1, *A2*, ... : 開度が 20%以下となる時間である。

さらに、近年では、眠気の精度を高めるために、瞬き回数や瞬き周期などによる重みづけで計測する方法も考案されている [73]。

3.3.3 早期のドライバ状態検知の取り組み

一方、前述したドライバの漫然状態は、眠気より前に発生するものと考えられる。漫然時のドライバの運転する特徴量が抽出できれば、より早い時点で警報を与えることができる。図 3-11 は、走行環境の違いにより漫然状態が発生するメカニズムを示した図である。漫然状態とは、運転への注意力が低下した状態ととらえることができる。一般道では、歩行者や対向車などが絶えず現れるため、ハンドルやアクセル、ブレーキを頻繁に操作して車両を制御する。このため、認知、判断、操作といった運転の一連の作業を絶えず繰り返すことになり、漫然状態にはなりにくい。一方、高速道路などでは比較的単調な運転となることが多い。認知、判断、操作のサイクルは少なくなり、注意力の低下や単調感の増加に伴い漫然状態が発生する。このドライバによる運転操作の差を検出し、ドライバの状態や車両の状態を観察することで、より早くドライバの状態異常の予兆を検出することができ、休憩提案などを行うことで、事故を防ぐことができると考えられる。

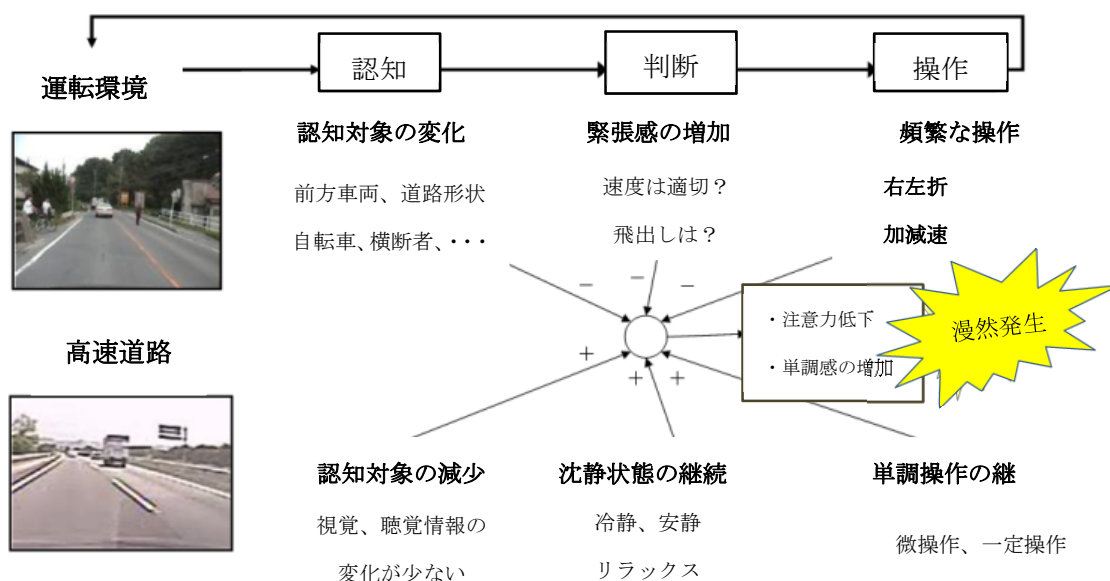


図 3-11 漫然発生メカニズム

図 3-12 に、漫然状態を検出した事例を示す。漫然時の車両信号をあらかじめ記憶しておき、現在の車両信号と比較することで漫然レベルを検出する。主観評価との比較において良い一致があることがわかる。操作の単調性については、車両信号からあらかじめ取得した信号をもとに、現状の車両信号との比較で漫然レベルを求めたが、パイロットの作業負荷量については古くから、作業した時の余裕度を聞き取り調査することであらかじめ作業ごとに決めるという取り組みもなされており [74]、自動車の分野でも、今後

操作機器や表示機器の負荷量について、定量的に求めることも必要だと考える。

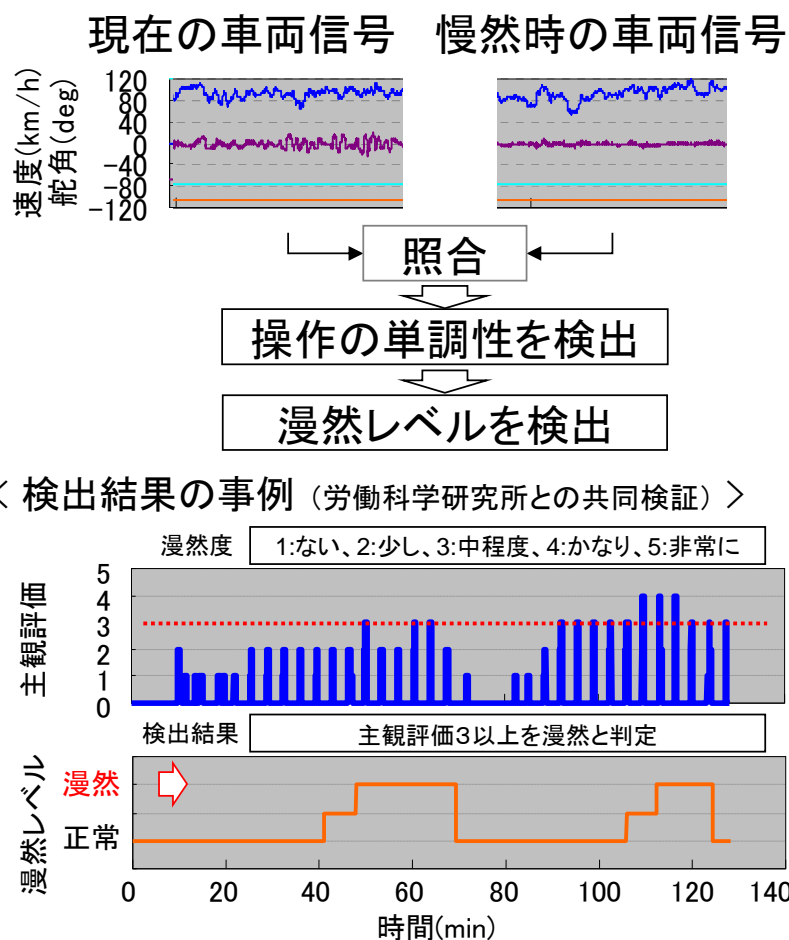
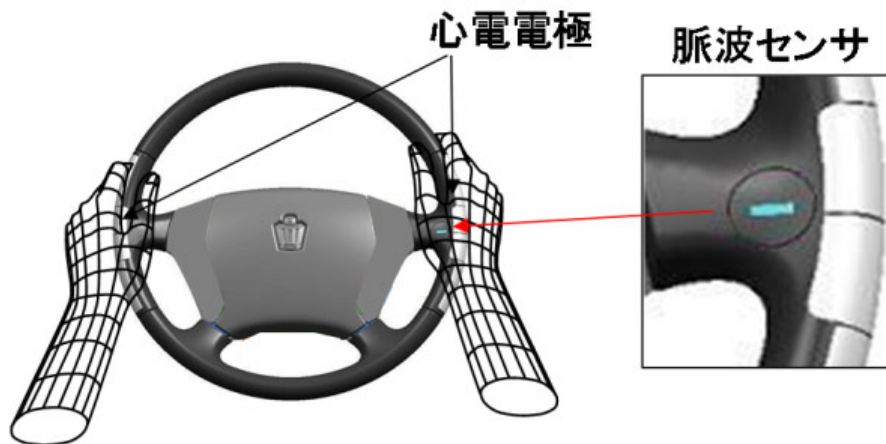
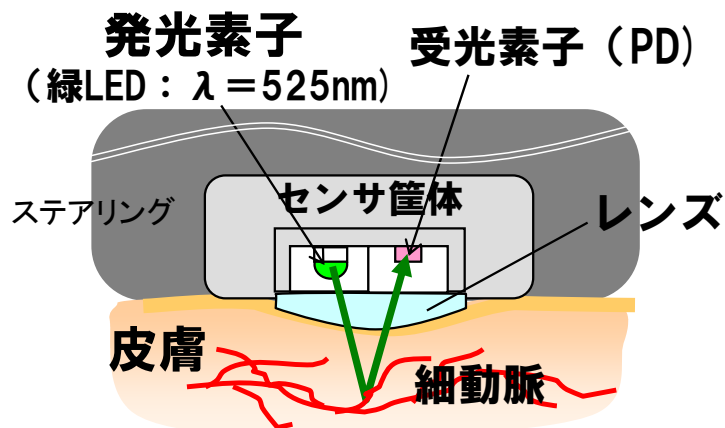


図 3-12 漫然状態検出

ドライバの状態変化を検出する他の方法としては、脈波などの生態信号検出や表情、しぐさなどの状態検出の技術開発が進められている。図 3-13 に、ハンドルに取り付けた心電センサの例を示す。ハンドルに取り付けた脈波センサにより緑の光を掌に照射し、細動脈で反射された光をフォトダイオードで検出することで、心拍数、心拍変動(HRV: Heart Rate Variability)、不整脈、カフレス血圧の測定が可能となる。



(a) 心電+脈波センサの装着状況



(b) 反射型脈波センサ断面概略図

図 3-13 心電・脈波センサ

調査した例はハンドルに装着した装置であるが、ウェアラブル機器の開発も進められていることから、今後、これらの検出技術の精度向上やより早い時間帯での検出技術の向上が望まれる。

3.4 まとめ

今後、状態の変化を早い時期から検出し、危険な状態に陥ることから遠ざけるためには、状態を常時検出できることが重要となってくる。そのためには、車両走行環境によらず、ドライバの状態を検出するロバスト性がセンシングデバイスに要求される。また、単一のセンサデバイスだけでなく、複数のセンサを用いて検出する、センシングのマルチモーダル化が望まれる。

また、疲労と運転挙動との関係が明確には解明されておらず、疲労による反応遅れの

可能性があることが報告されているだけである。脳波と人の状態との相関を解明するといった基礎研究の進展により、複雑な状態検知の可能性を探ることも必要となり、医工連携した活動が重要となってくる。さらに、人の状態検知を安全に向けたセンシングに止まらず、利便快適系のアプリケーションへの応用を目指したセンシングとして活用できるように、通常状態での感情の起伏や注意散漫などの状態変化を検出する技術開発も今後必要となってくると考えられる。

第4章 警報装置のドライバに対する嬉しさ

自動運転レベル 2 では、ドライバに対して、周囲環境に応じた注意喚起や警報を与えることが必要である。警報を与える場合、警報する情報の状態によっては、ドライバにとって無意味なものになることが考えられる。つまり、

- (1) すでに認知している内容である
- (2) 警報の内容が間違っている
- (3) 警報時期がタイムリーでない

このような状況の情報を与えられたドライバは、警報を無視したり、警報システムそのものを動作しない状態にしたりする可能性がある。本間らは、危険の予期が低いドライバの衝突警報に対する反応特性として、ブレーキ警報に対する反応で、1.8 秒以上反応のなかった群は 26.5%にも及ぶとの結果を示している [75]。このように、警報を出すタイミングは、非常に重要であるばかりでなく、自動運転においては、ドライバが安心して自動車による制御を監視できることができるため、警報の嬉しさに対する指針を示す。自動運転のレベル 2 では、警報システムが必要となり、たとえば、前方衝突警報システムは、衝突の数秒前に警報を出し、1.4 秒前にブレーキをかけ始める。安心感を与えるシステムでは、ドライバがブレーキをかける時間に余裕を持った時間とさせることが必要である。以下の節では、余裕を持った時間がどのような状況である時なのかについて実験した結果を述べる。通常の運転時は余裕があることは明らかであるので、特に衝突に至るまでの時間からどの程度さかのぼった時間帯までがドライバにとって余裕を感じられる時間であるかを実験により求めた。次節にその結果を示す。

4.1 実験の方法

被験者として、社内で開催される稟議委員会の承認の元、8 名の被験者を選出した。8 名は、男性 4 名、女性 4 名であり、20 歳代から 50 歳代が含まれている。被験者は、週 2 日以上運転を常時行っている。また、実験の実施日には、体調などが正常であることを確認した後、実験を実施した。

実験環境として、机上で走行映像が流れるドライビングシミュレータを用いた。走行シーンとして、片側 1 車線の道路を走行中、歩行者が横断する場面をドライビングシミュレータで作り、歩行者が飛び出すことをドライバに知らせたとき、ドライバは嬉しさを感じるか、煩わしさを感じるかについて調査した。実験は、歩行者が飛び出してきてクルマと接触する時間 (TTC: Time To Collision) を $TTC=0$ 秒とした場合、衝突の 1 秒前から 10 秒前までの時間でドライバに警報音を聞かせて、衝突を回避する行動を取った後、

警報が嬉しかったか、煩わしかったかについて尋ねた。この時与えた警報音は、報知音として 2 [kHz]を中心とした周波数帯域で作成するという提案もあるが [76]、第 2 章 2.2.1 で述べた聴力の特性より、個人差が出にくい 1kHz を中心とした音源を作成して聞かせた。ドライバには、ラジオ周波数の下一桁を選択するようにわき見タスクを与えた。図 4-1 に実験に用いたドライビングシミュレータを示す。なお、実験は危険が前方にあり、通知も前方の危険に対するもの（本実験では、歩行者が道を横切る）という前提で実施したため、ドライビングシミュレータの画面は前方のみとした。また、画面は、第 2 章の 2.1.2 項で述べた有効視野が画面内に収まる大きさとし、運転に集中できるよう配慮した。さらに、漫然度が結果を左右すること考えられるため、被験者は、第 3 章で述べた漫然状態への変化について理解しており、試験の最中では漫然状態に陥っていないことを確認した。



図 4-1 実験に用いたドライビングシミュレータ

計測項目として、主観評価を、煩わしさと嬉しさについて同時に各ドライバの評価を尋ねた。それぞれの尋ねた指標を表 4-1 及び、表 4-2 に示す。つまり、指標として、煩わしさは、「全く煩わしくない」から「非常に煩わしい」までの 7 段階とした。また、嬉しさの指標として、「全く嬉しくない」から「非常に嬉しい」までの 7 段階とした。

なお、この実験では、嬉しさや煩わしさの定義や、レベル合わせはあえて行わず、相対的な感覚が優位さを生むかどうかについて調査した。

表 4-1 煩わしさの指標

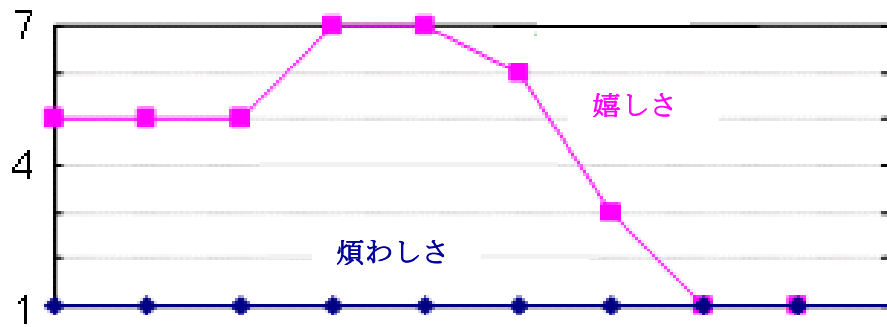
煩わしさ	
1	全く煩わしくない
2	かなり煩わしくない
3	少し煩わしくない
4	どちらでもない
5	少し煩わしい
6	かなり煩わしい
7	非常に煩わしい

表 4-2 嬉しさの指標

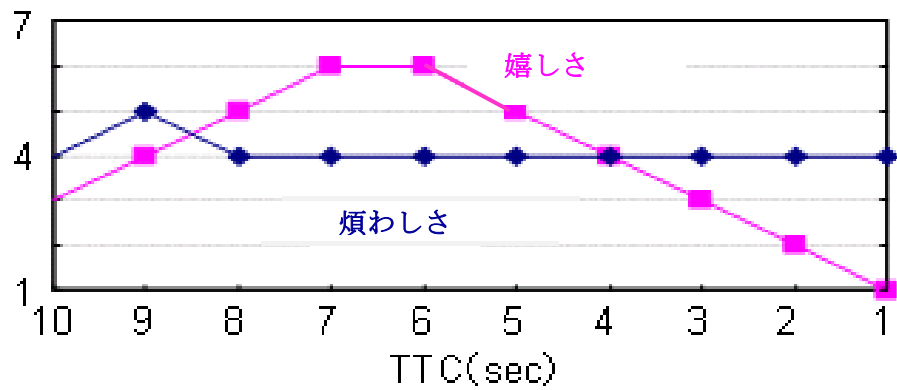
嬉しさ	
1	全く嬉しくない
2	かなり嬉しくない
3	少し嬉しくない
4	どちらでもない
5	少し嬉しい
6	かなり嬉しい
7	非常に嬉しい

4.2 結果

図 4-2 (a)に、被験者 Sub A の結果を、(b)に Sub E の結果を示す。図 4-2(a)と(b)の横軸は、衝突までの時間(秒)で、前述したように、警報を聞かせた1秒から10秒のTTCごとに、嬉しさと煩わしさについて表 4-1 と表 4-2 を選択肢として聞き取り調査を行った結果を縦軸に示す。Sub A は、TTC=10 秒から2秒まで警報に対して煩わしさを感じていない。また、嬉しさは、TTC=7~6 秒の間で非常に嬉しいと回答している。一方、Sub E は、TTC によらず煩わしさはどちらでもないにほぼ固定されているが、嬉しさは、Sub A 同様、TTC=6~7 秒の間で最大となっている。



(a) Sub A のわずらわしさと嬉しさの時間的変化



(b) Sub E のわずらわしさと嬉しさの時間的変化

図 4-2 煩わしさと嬉しさの時間的変化

得られた結果から、被験者 8 人の結果を、“少し嬉しい” から “非常に嬉しい” までを嬉しさを感じた領域とし、“少し煩わしい” から “非常に煩わしい” までを煩わしさを感じた領域として 1 秒ごとに被験者の平均をとった結果を図 4-3 に示す。また、図 4-3 のデータに対して T 検定を実施した結果を図 4-4 に示す。検定結果より、衝突時刻より手前の 4 秒から 7 秒の間で嬉しさを感じる被験者がいることが実証された。以上のことより、より早い警報タイミングを嬉しさレベルで評価すると、TTC=7 秒がクリティカルポイントであり、それより衝突時間に近づいた時間帯での警報がドライバにとって有益であると言える。

以上の結果、ドライバが嬉しさと煩わしさとを比較した時、嬉しさを大きく感じるのは、衝突時間から 4 秒前から 7 秒前であり、機器の表示、操作に関する安心感もこの時間内に存在すると言える。

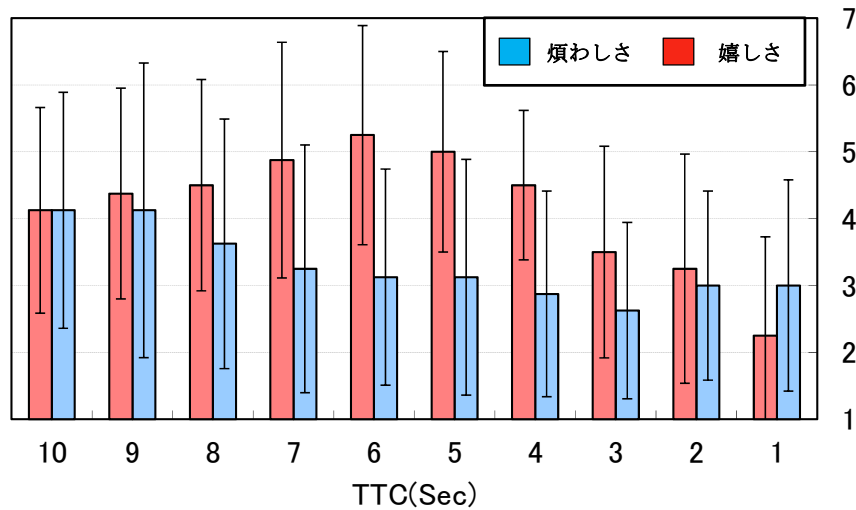


図 4-3 煩わしさと嬉しさを感じる時間(平均)

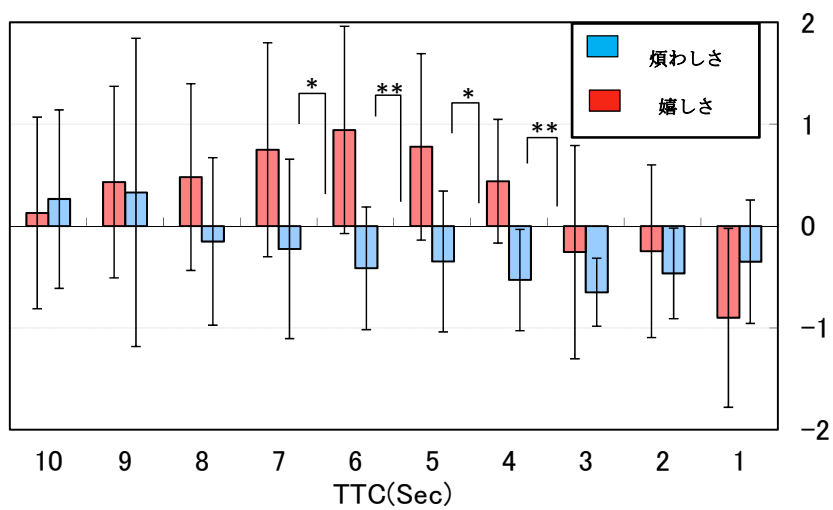


図 4-4 煩わしさと嬉しさの T 検定結果

4.3 考察

本節では、ドライバの安心感につながる時間帯について実験により求め、TTC より 4 秒前から 7 秒前までが警報に対して嬉しさを感じる時間帯であることが分かった。

7 秒より前の時間帯では、嬉しさよりもわずらわしさが多いという結果を得たが、これは、危険への対応を開始するには早すぎるとの判断から出された回答だったと思われる。また、4 秒より TTC に近い時間帯では、嬉しいと回答した被験者の数は減少している。これは、危険回避する時間がほとんど残されておらず、警報による反応が不可能であるため、警報を嬉しいとは感じなかったためと考えられる。警報が鳴ってからドライバがブレーキ操作やハンドル操作をするまでには、「認知」、「判断」、「操作」といった一連の作業が進められる。この一連の作業に必要な時間は、森田らの研究 [78]によると、0.8 秒から 1.3 秒といった時間が必要である。よそ見をしている場合にはさらに長い時間が必要となる。自動ブレーキシステムは、衝突 2.2 秒前から減速制御介入に入るため、それまでの時間、1.8 秒がドライバにとって実行できる最小限の時間帯であると言える。反応時間を 0.8 秒から 1.3 秒の時間として考えると、ドライバが自動ブレーキシステムの制御より早く制動を開始できる最少の時間帯が TTC から 4 秒の時間に含まれていると考えられる。

また、脳科学の観点からこの時間帯について考える。警報を知覚した脳は、後頭葉での視覚情報処理、前頭葉での思考や判断を行った後、前頭葉の後方にある運動野から運動指令を発してブレーキ操作を行うことになる。この、脳内で行われている時間については、詳細な解明は行われていないが、Poppel らは脳科学の分野で、ヒトの行動と時間の関連についての研究 [77]を行っている。その結果、ある一つの意識状態の持続時間は最長 3 秒であるという結論を得ている。前述した通り、4 秒が警報に対する対応を行う最少の時間帯であるとする、この時間帯から 3 秒の間、つまり、TTC の 7 秒前に知覚した危険に対して、4 秒までの間は意識が持続できると考えられ、4 秒から 7 秒までの 3 秒間が意識を持続し続けて危険への適応を実行する時間帯であると考えられる。

今後、嬉しさを表すこの時間帯は、安心感を醸成する時間帯であると定義し、以降の実験は、この時間帯に機器を操作したり、表示された情報を得たりする時間として実験を進める。

第5章 入出力機器の使用時の安心感の定義

5.1 目的

本研究では、車載 HMI 機器使用時の安心感に影響を与える因子（以下、安心因子）を明らかにすることを目的とする。車載機器の使用時の人の感覚や感性による主幹評価を行うに当たり、設計経験や HMI に関する専門知識のあるパネルによる目的の表現を抽出する QDA（Quantitative Descriptive Analysis）法 [79]を参考として要因を抽出した。これは、抜き出した単語を用いて最終的には設計にフィードバックできると考えたためである。さらに、スイッチのハンドル上の配置については、配置により負荷が変化するという研究 [80]もあるため、必要最小限のスイッチ数とした。また、岩崎らは運転負荷を 5 段階として、負荷によって表示を出さないなどの方法により、運転負荷を過度に増加させないようにすることを提案している [81]。本実験では、操作、表示装置を使用している時には、その他の負荷はないものとし、他の影響は除いた。

5.2 操作装置の安心因子の抽出

前節の煩わしさと嬉しさの関係により車載 HMI 機器、特に操作機器を利用する時の安心感を醸成している要因を明確にするために、機器の使用時に感じる安心感につながると思われる項目について収集、集約し、安心因子を抽出する。

5.2.1 実験方法

感性の情報を求めるに当たり、感性情報の種類についてまとめると、

- (1) 大衆の感性
- (2) 芸術家の感性
- (3) 専門家の感性

に分けられる [82]。本実験では、実験の結果を設計に反映することを目的としたため、常に同一の判断が下せる専門家による感性として因子を抽出することとする。従って、因子の抽出においては、入力装置の設計経験者、HMI に関する研究開発者から構成するチームを編成した。入力装置の設計経験者からは、特に、すでにわかっている使いやすさの因子を漏れなく抽出するため、また、HMI の研究者からは、人間工学的な見地から入力装置に対する評価項目となる因子について抜き出すために選出した。参加者は、5 名（入力装置設計者 3 名、HMI 研究者 2 名、男性 3 名、女性 2 名）とした。

予備実験より、実験参加者には、衝突時間から 7 秒から 4 秒前の状態を想定して回答するように依頼し、車両周辺に危険が全くない状態での操作による安心感は除外した。

評価に用いた入力装置として、最近搭載が増えている遠方表示、手元操作のための入力装置ハプティックデバイスと、ステアリングスイッチ、さらには、手入力以外の入力装置として、音声入力を解析対象とした。また、最近徐々に搭載され始めているジェスチャ認識装置についても解析対象とした。本実験で対象とした装置を表 5-1 に示す。

それぞれの入力装置で入力できる機能については、表 5-2 に示す機能とした。本実験では、別の機能を入力装置に割り当てた場合の違いについては検討していない。

表 5-1 実験に用いた入力装置

入力装置	入力方法	装着場所
ハプティックデバイス	手	センターコンソール
音声入力	音声	ハンドル SW と頭上マイク
ステアリングスイッチ	手	ステアリング
ジェスチャ入力	手	センターディスプレイ近傍

表 5-2 入力装置の機能

入力装置	割り当てた機能
ハプティックデバイス	目的地入力（文字入力など）、エアコン制御（風量制御、温度制御など）、オーディオ制御（音量、AM/FM モード、放送局選択など）
音声入力	行先入力（住所発話、施設名発話）、オーディオ制御（同上）
ステアリングスイッチ	オーディオ制御（同上）、クルーズ制御(同上)
ジェスチャ入力	オーディオ制御(同上)、エアコン制御(同上)

評価では、入力装置により同じ機能が割り付けられている場合もあるが、装置ごとに使いやすさからくる安心感を醸成している項目を自由発話により抽出した。また、抽出後、参加者全員によるディスカッションにより個人が評価した内容、シーンについて話し合い、抽出した項目に漏れがないか確認した。さらに、本実験で求める安心要因と過去の研究で求められている使いやすさとの関係を後の考察で比較するため、過去の文献 [83] [84] [85] を参考としてそれぞれの入力装置について特徴と考えられている項目を抽出した。

5.2.2 操作装置の安心要因分析の結果

評価で操作装置の安心感に関わる 58 項目の要因を収集した。この要因を安心要因ごとに分類するために、日本人間工学会が提案している UD（ユニバーサルデザイン）マトリックス [86] の「商品の 3 側面」及び「UD 原則」に基づき「1. 情報入手が容易 (UDa), 2. 理解しやすい (UDb), 3. 心身負担が小さい (UDc), 4. 安全である (UDd), 5. 機能/性能が必要十分である (UDe), 6. 魅力的である (UDf)」の 6 分類をユニバーサルデザイン 6 分類とし用いることとした。表 5-3, 表 5-4, 表 5-5, 表 5-6 に、ハプティックデバイス, 音声認識, ハンドルスイッチ, ジェスチャ認識ごとに, ユニバーサルデザイン 6 項目と関係すると思われる内容に○を付して示す。

表 5-3 ハプティックデバイスの安心要因と UD マトリックス

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
手元を見ていなくても操作できる		○	○	○		
操作感を感じられる		○				
前を見ていられる			○	○		
マウスと同じ感覚で操作できる		○				
短時間で操作できる		○		○		
微調整が簡単にできる					○	
慣れている		○	○	○		
楽に操作できる			○	○		
手が安定した状態で操作できる				○		
長時間操作しても疲れない			○		○	
動く速さが適切である	○		○			
反力があるためブラインド操作できる	○	○				○
ハンドルから手を離しても怖くない			○			
操作がすぐにできる			○			
押す場所が分かりやすい				○		
操作の仕方がすぐにわかる		○				
デバイスの幅がちょうどいい			○			

表 5-4 音声入力 of 安心要因と UD マトリクス of 関係

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
手元を見ていなくても操作できる		○		○		
前を見てられる			○	○		
コマンドを知っている		○	○	○		
発話が短時間でできる						○
慣れている		○	○	○		
ハンドルを持ったまま操作できる			○	○		
認識率が高い			○	○		
ダイレクトにコマンド入力できる					○	
対話ができる	○	○			○	○
別の言葉で入力できる (ロバスト性)		○	○			
たくさんの機能が入力できる (大語彙)		○			○	
複雑なコマンドが入力できる(連続音声認識)					○	○
キーワードが入力できる (ワードスポッティング)		○	○			
誤認識してもすぐに取り消すことができる			○		○	
普段話す言葉が使える	○					○
入力するときの姿勢にこだわらない			○	○		

表 5-5 ハンドルスイッチの安心要因と UD マトリックスの関係

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
ハンドルから手を離さなくても入力できる			○	○		
左右の手でコマンドが違っていて分かりやすい		○				
スイッチを見なくても入力できる		○	○	○		
視線の移動が少なく済む			○	○		
前方を見たまま操作できる			○	○		
入力の確認はディスプレイを見ればわかる	○	○				
手元を見る余裕がある		○	○			
誤操作をしてもすぐに戻せる					○	
少ない入力数で入力が可能	○		○	○		
押した回数でコマンドが入れやすい		○				
スイッチの押し時間を短くできる			○	○		○
スイッチの数が多くても分かりやすい		○			○	
スイッチの配置が操作しやすい	○		○		○	○
スイッチの配置にコンパチビリティがあり分かりやすい	○	○	○		○	○
スイッチの配置がディスプレイと同じで分かりやすい	○	○			○	○
押しやすい			○			

表 5-6 ジェスチャの安心要因と UD マトリックスの関係

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
自然な動きで入力できる			○		○	
直感的な入力が可能			○		○	
共通のインターフェースが使える		○				
体を積極的に使える						
ハンドルから手を離さなくてもよい			○	○		
いつも使っている動作で入力できる		○	○			○
ジェスチャの結果を見なくてもわかる	○	○				
簡単な動きで入力できる			○	○		

各分類における項目間の意味的空間内距離を求める方法として、SD 法 (Semantic Differential method) や多次元尺度構成法 (MDS: Multi-Dimensional Scaling) がある。SD 法は、相反する形容詞間のどちらがイメージに近いのかを調べる場合に適しているとされている [87] [88] [89]。また、類似する要因を分類する方法としては、多次元尺度構成法が一般によく用いられている。特に、距離などをデータとする計量 MDS と、順序尺度で測定された親近感を評価する非計量多次元尺度構成法 (以降、非計量 MDS) の 2 種類が多く用いられている。本実験では、分類に属する項目全ての組み合わせに対して、両語の類似性を 7 件法 (1: 全く似ていない～7: 非常に似ている) で評定し、類似度を調べることから、非計量 MDS を用いて項目間のユークリッド距離を求めた。図 5-1 に「情報入手が容易」に対する非計量 MDS の結果を散布図として示す。

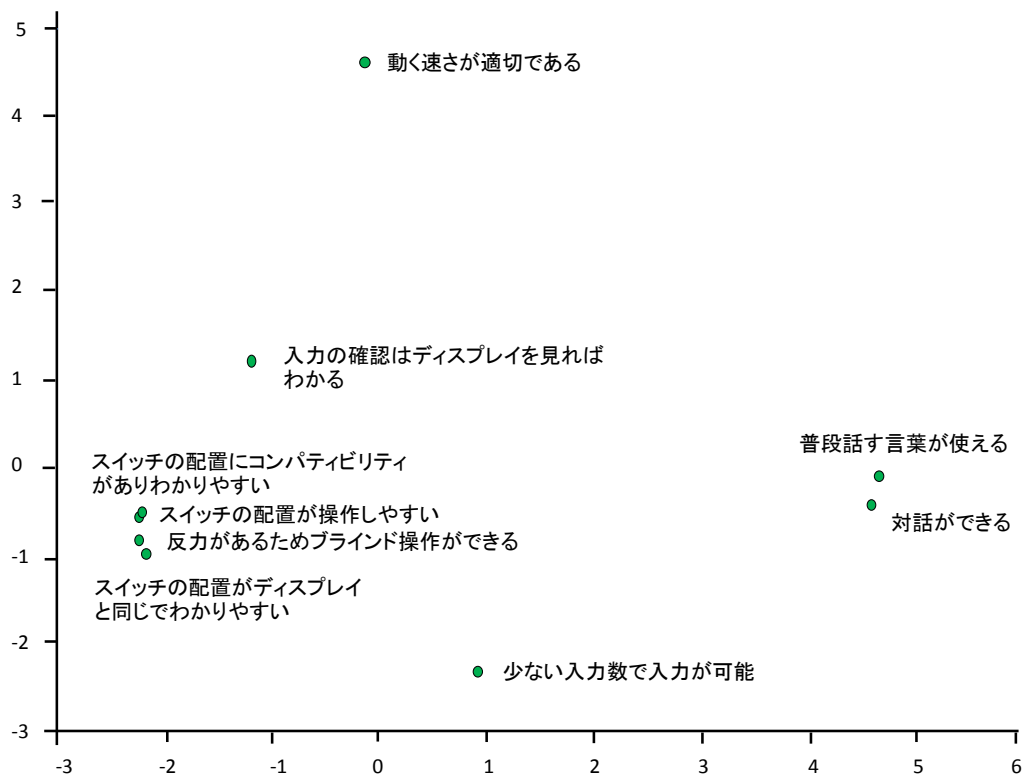


図 5-1 情報入手が容易 に対する非計量 MDS の結果

また、Ward 法による階層的クラスタ分析を用いて Dendrogram を作成した [90]。クラスタ分析の結果から、グループ分けを行う時に、どの結合レベルで切断するかによっていくつのクラスタに分類されるかが変わり、その後の結果に大きく影響を及ぼすことが想定されるため、クラスタのグループ分けには、平方重相関 (RSQ)、セミパーシャル平方重相関 (SPRSQ)、疑似 F 統計量 (PSF) を参考としながら研究目的を踏まえて汎用的に活用できそうな水準で切断面を決定した [91]。以上述べた手順で得た情報入手が容易に対するクラスタ分析の結果を図 5-2 に、非計量 MDS の結果を図 5-3 に示す。図 5-3 より、クラスタ数を 5 に取ることで、本実験の目的に合ったクラスタ数になると考え、図 5-2 中に示した切断レベル 0.96 により 5 つの要因に統合できる。この結果を表 5-7 に示す。以上の手順により、当初 9 つの情報入手が容易に対する 4 つの入力デバイスの共通の要因として、「動く速さが適切である」、「言葉で伝えられる」、「スイッチの入力が分かりやすい」、「入力の確認はディスプレイを見ればわかる」、「少ない入力数で入力が可能」の 5 要因を得た。

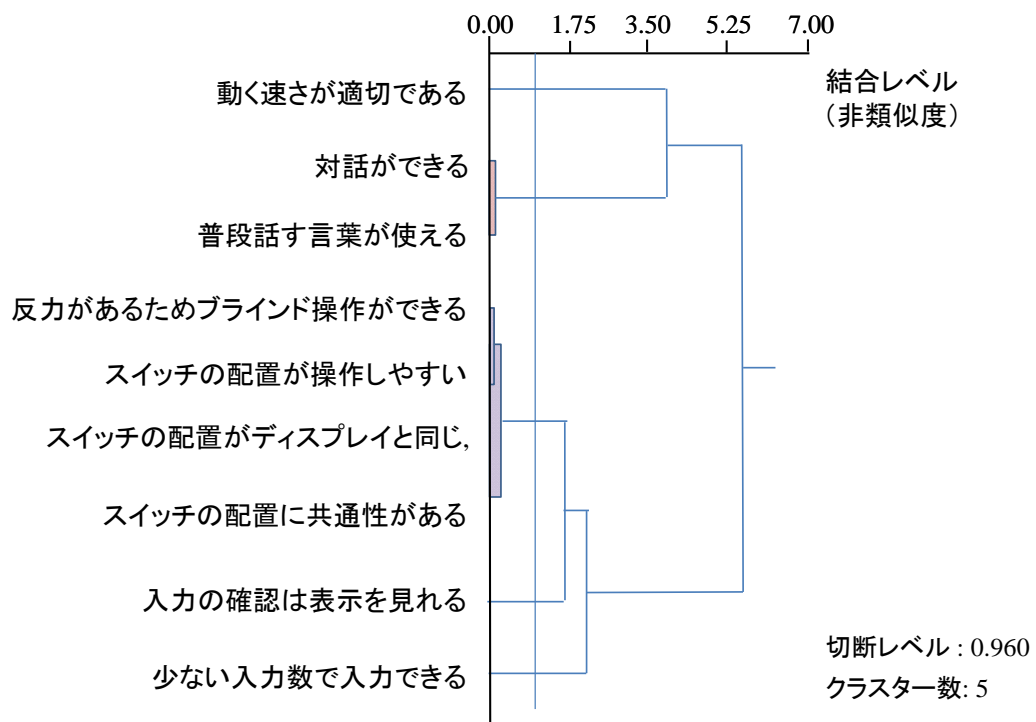


図 5-2 情報入手が容易 に対するクラスタ分析結果

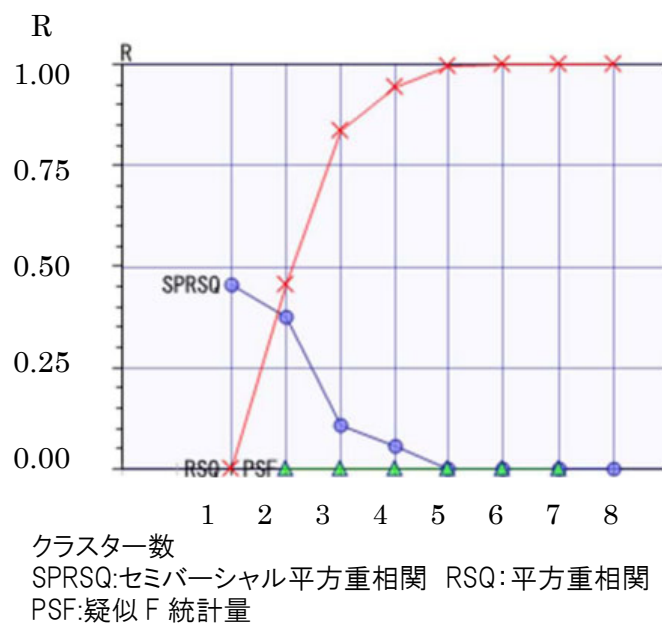


図 5-3 情報を容易に入手できる に対する RSQ/SPRSQ/PSF 結果

表 5-7 情報入手が容易 に対する統合した要因

初期要因	統合要因
動く速さが適切である	動く速さが適切である
対話ができる	言葉でコミュニケーションが取れる
普段話す言葉が使える	
反力があるためブラインド操作ができる	スイッチの入力が分かりやすい
スイッチの配置が操作しやすい	
スイッチの配置がディスプレイと同じ	
スイッチの配置に共通性がある	
入力の確認は表示を見られる	入力の確認は表示を見られる
少ない入力数で入力できる	少ない入力数で入力できる

以下、同様の手順により、UD 原則に基づいた UDb から UDe に対する階層的クラスタ分析の結果を図 5-4、図 5-5、図 5-6、図 5-7、図 5-8 に示す。

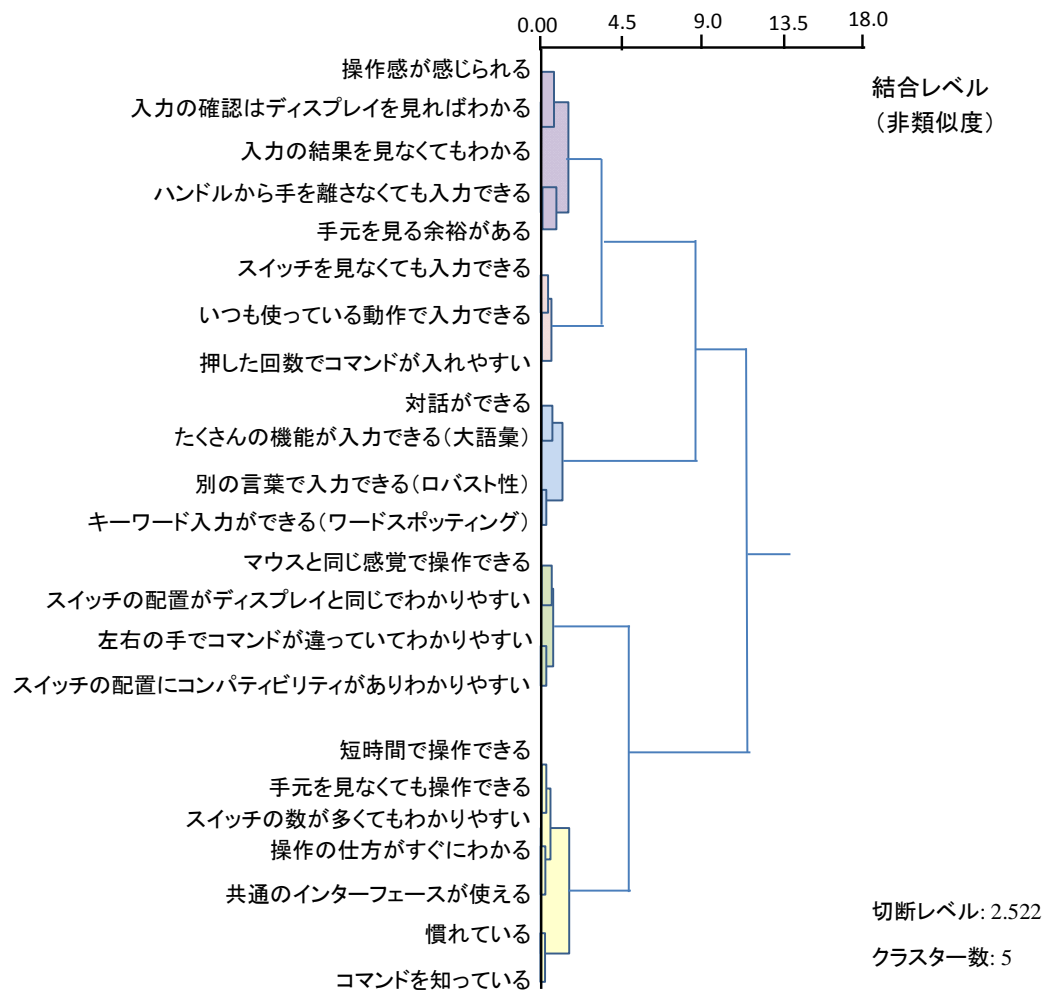


図 5-4 理解しやすい に対するデンドログラム

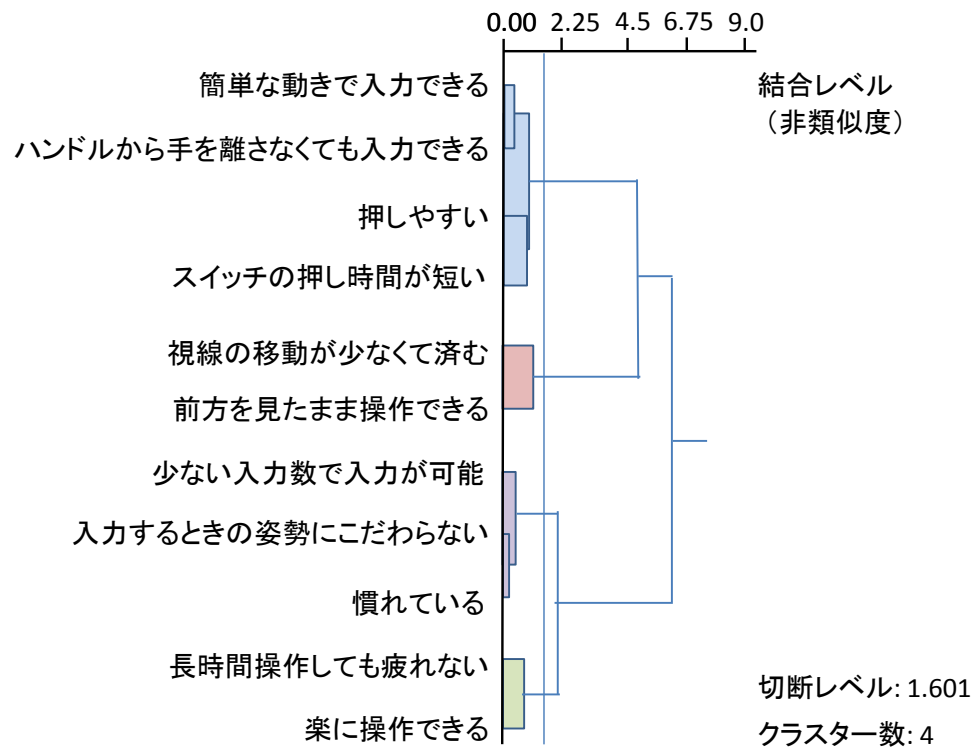


図 5-5 心身負担が小さい に対するデンドログラム

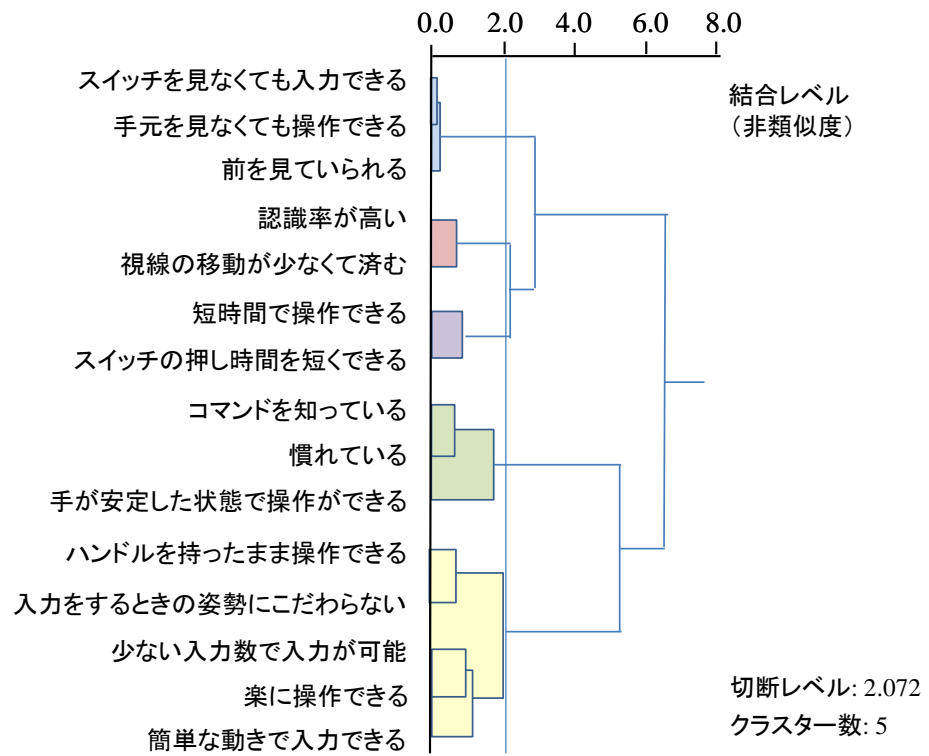


図 5-6 安全である に対するデンドログラム

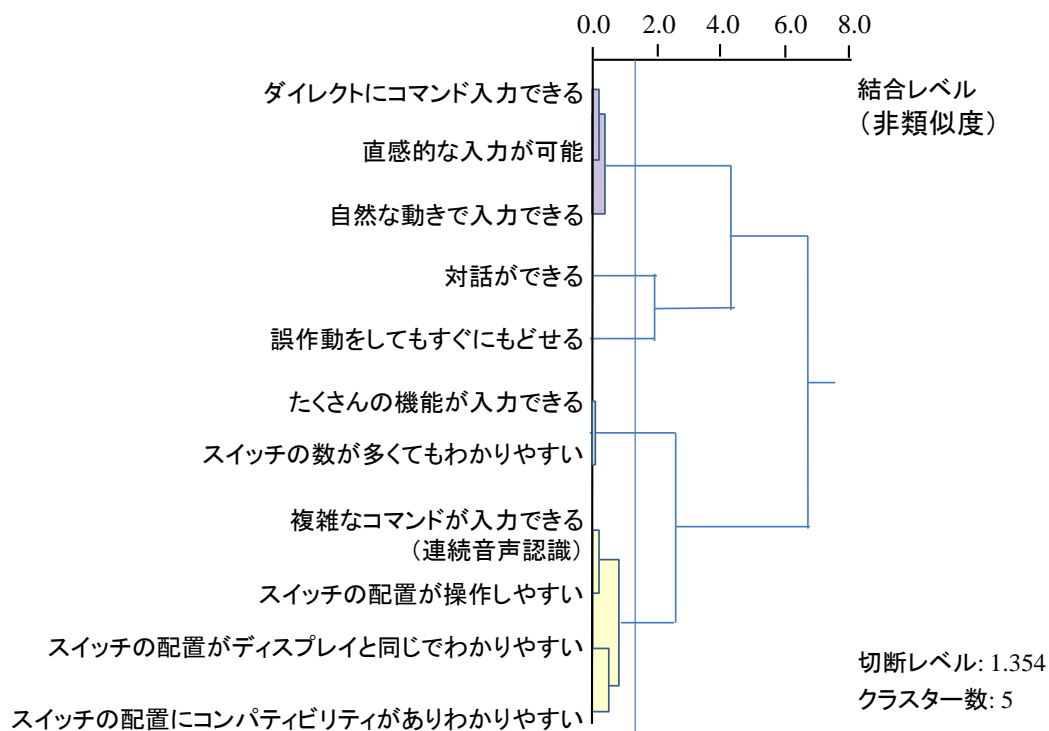


図 5-7 機能/性能が必要十分である に対するデンドログラム

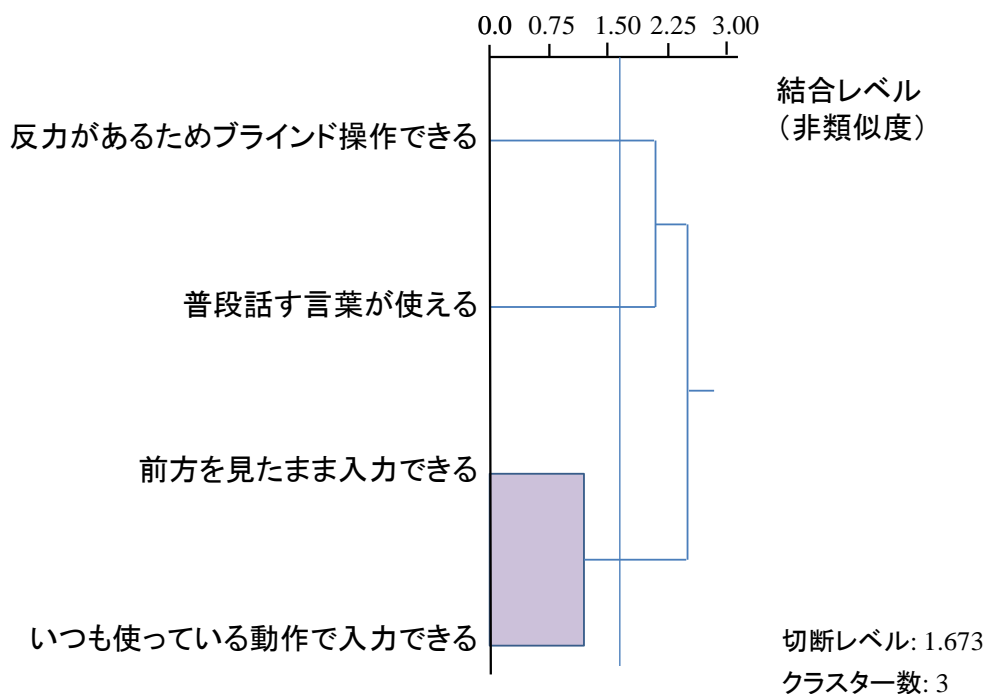


図 5-8 魅力的である に対するデンドログラム

さらに、これらを用いて初期因子を結合した UDb から UDe の結合因子を それぞれ

表 5-8, 表 5-9, 表 5-10, 表 5-11, 表 5-12 に示す.

表 5-8 理解しやすい に対する因子と統合因子

初期因子	結合因子
操作感が感じられる	入力の結果を簡単に確認できる
入力の確認はディスプレイを見ればわかる	
入力の結果を見なくてもわかる	
ハンドルから手を離さなくても入力できる	
手元を見る余裕がある	
スイッチを見なくても入力できる	慣れた動作で入力できる
いつも使っている動作で入力できる	
押した回数でコマンドが入れやすい	
対話ができる	音声で入れるので分かりやすい
たくさんの機能が入力できる(大語彙)	
別の言葉で入力できる (ロバスト性)	
キーワードが入力できる(ワードスポッティング)	
マウスと同じ感覚で操作できる	配置が分かりやすい
スイッチの配置がディスプレイと同じでわかりやすい	
左右の手でコマンドが違っていてわかりやすい	
スイッチの配置にコンパチビリティがありわかりやすい	
短時間で操作できる	入力の方法が理解しやすい
手元を見なくても操作できる	
スイッチの数が多くてもわかりやすい	
操作の仕方がすぐにわかる	
共通のインターフェースが使える	
慣れている	
コマンドを知っている	

表 5-9 心身負担が小さい に対する因子と結合因子

初期因子	結合因子
簡単な動きで入力できる	入力を素早くできる
ハンドルから手を離さなくても入力できる	
押しやすい	
スイッチの押し時間が短い	
視線の移動が少なく済む	視線の移動が少ない
前方を見たまま操作できる	
少ない入力数で入力が可能	楽な姿勢で入力できる
入力するときの姿勢にこだわらない	
慣れている	
長時間操作しても疲れない	操作が楽で疲れない
楽に操作できる	

表 5-10 安全である に対する因子と結合因子

初期因子	結合因子
スイッチを見なくても入力できる	入力で手元を見なくてよい
手元を見なくても操作できる	
前を見ていられる	
認識率が高い	
視線の移動が少なく済む	
短時間で操作できる	短時間で入力できる
スイッチの押し時間を短くできる	
コマンドを知っている	
慣れている	
手が安定した状態で操作ができる	運転姿勢を保てる
ハンドルを持ったまま操作できる	
入力するときの姿勢にこだわらない	少ない動きで入力できる
少ない入力数で入力が可能	
楽に操作できる	
簡単な動きで入力できる	

表 5-11 機能/性能が十分であるに対する初期因子と統合因子

初期因子	結合因子
ダイレクトにコマンド入力できる	入力が自然
直感的な入力が可能	
自然な動きで入力できる	
対話ができる	対話ができる
誤操作をしてもすぐにもどせる	誤操作をしてもすぐにもどせる
たくさんの機能が入力できる(大語彙)	多くの機能を入力できる
スイッチの数が多くてもわかりやすい	
複雑なコマンドが入力できる(連続音声認識)	スイッチが入力しやすい
スイッチの配置が操作しやすい	
スイッチの配置がディスプレイと同じでわかりやすい	
スイッチの配置にコンパチビリティがありわかりやすい	

表 5-12 魅力的であるに対する初期因子と結合因子

初期因子	結合因子
反力があるためブラインド操作できる	反力があるためブラインド操作できる
普段話す言葉が使える	普段話す言葉が使える
前方を見たまま入力できる	特別な動作は必要ない
いつも使っている動作で入力できる	

以上の結果, 表 5-13 に示すように, ユニバーサルデザイン 6 分類に対応して 26 種類の安心要因を抽出した. 表 5-13 に示したように, 初期要因をまとめて結合要因とする際, 前述した先行研究 [83], [84], [85]の要因を特に考慮せず, 操作系装置の安心要因因子とした.

表 5-13 UD6 分類ごとの入力機器の結合要因

ユニバーサルデザイン 6 分類	結合因子
情報を容易に入手できる	動く速さが適切である
	言葉でコミュニケーションが取れる
	スイッチの入力が分かりやすい
	入力の確認は表示を見られる
	少ない入力数で入力できる
理解しやすい	入力の結果を簡単に確認できる
	慣れた動作で入力できる
	音声で入れるので分かりやすい
	配置が分かりやすい
	入力の方法が理解しやすい
心身の負担が小さい	入力を素早くできる
	視線の移動が少ない
	楽な姿勢で入力できる
	操作が楽で疲れない
安全である	入力で手元を見なくてよい
	短時間で入力できる
	運転姿勢を保てる
	少ない動きで入力できる
機能/性能が必要十分である	入力が自然
	対話ができる
	誤操作をしてもすぐにもどせる
	多くの機能を入力できる
	スイッチが入力しやすい
魅力的である	反力があるためブラインド操作できる
	普段話す言葉が使える
	特別な動作は必要ない

5.2.3 考察

これまで車載される操作機器に必要とされるドライバの安心感につながる要因について調査してきた。表 5-13 に示す通り，ドライバが安心を感じる要因 26 種類の中には，

先行研究の結果を含み、結合因子となっている要因もある。例えば、「情報入手が容易」に関する要因をみると、「スイッチの配置が操作しやすい」という過去の論文の結論に対して、距離の近かった要因「反力があるためブラインド操作できる」や、「スイッチの配置がディスプレイと同じ」、「スイッチの配置に共通性がある」ことから、短時間の間に操作しなければならない状況下においては、スイッチに反力を持たせ、表示と同じ配置にすることが効果的であることが分かる。また、音声認識は、大語彙化、ロバスト性などの開発が進められているが、対話形式にすることで、意思を早く伝えることができ、安心した運転を継続できると感じていることがわかる。

5.2.4 まとめ

第3章に述べた通り、ドライバが機器から感じる安心感が、衝突前4秒から7秒前にあるという前実験の結果に基づき、ドライバが操作に負荷を感じず、危険を回避できる操作装置のために、具体化した要因を求めることができた。今後、これらの要因のドライバ固有のばらつきや時間的変化に対する重みの変化についても調査する。

なお、本章で述べた内容は、電子情報通信学会に報告した内容 [92] を再構成したものである。

5.3 出力機器の安心感の定義

5.3.1 目的

本節では、車載 HMI 機器利用時、特に、情報を提示する表示機器に焦点を当て、表示機器の安心感に影響を与える要因を明確にするため、実車走行中に要因を自由発話させ、それらを収集・集約することで安心因子を抽出することを目的とする。つまり、表示機器にどのような安心感が求められているのかについて研究、評価する。

さらに、後方視界支援機器を題材として各安心因子の影響度を算出し、重要となる因子について安心感を向上させるための評価を行い、具体的に後方視界支援機器自体に必要な安心因子についての考察を行う。なお、表示機器自体には緊急性を通知する機能もあるが、本論文で対象とする通知は、危険が迫っていない（直接緊急ブレーキの作動につながらない）時間帯での安心感を対象とする。また、本章で用いる自動化レベルは Sheridan が定義した自動化レベル [93] のレベル 5 以下、つまり、「コンピュータは一つの案を人間に提示。人間が了承すれば実行」する状態を想定した。この理由は、システムが実行主体となっている場合には、過信や慢心が新たな感覚として生じると考えられ、安心感は別の観点で論じる必要があると考えたからである。

5.3.2 実験方法

実験の進め方について考え方を説明する。表示装置の安心因子を抽出するために、ド

ライバがどんな内容を安心として感じているのかについて単語ベースで意見を収集する。この場合は、専門家同士のディスカッションを通して、追い越しや後方からの車両の接近などのシーンを使いながら、安心と考えられる要因を抜き出した。その収集した単語だけでは、重複する内容があることが予想されるため、後述するユニバーサルデザインのマトリクスに基づいて分類することとした。また、安心因子を抽出することを前提としたため、商品の3側面である操作性から5項目と有用性、魅力性を安心因子の6分類として解析に用いた。以下、具体的な方法について説明する。車載 HMI 機器、特に表示機器を利用する時の安心感を醸成している要因を明確にするために、機器の使用時に感じる安心感につながると思われる項目について

(1)様々な操作機器の使いやすさに対する因子をインタビューやディスカッションにより収集し、

(2)「多次元尺度構成法(非計量 MDS)」及び「階層的クラスタ分析」により算出する
これら、2つのステップにより、意味的な類似性を尺度として使いやすさに対する因子を集約することで、安心因子を抽出する。

車載 HMI 機器利用時の安心感に影響を与える要因を明確にするため、実車走行中に要因を自由発話させ、それらを収集・集約することで安心因子を抽出する。評価に用いる車載 HMI 機器として視認デバイスを選択し、ドライバの一般的視点からの視線移動量や呈示される情報の種類が様々になるよう、ヘッドアップディスプレイ、メータ内ディスプレイ、ナビゲーションディスプレイ、サイドミラーを選択した。過去の研究例として、ヘッドアップディスプレイでは、森田がヘッドアップディスプレイの両眼視による煩わしさについて、表示像までの距離が短い場合には、両眼視により煩わしさが増大しているとしている [94]。本実験では、このような効果は考慮せず、表示は通常のディスプレイと同様に見ることができるとした。

これらの機器に、車速などのメータ情報、ACC 制御情報、経路案内、後方情報が呈示される。ドライバの一般的視点から機器までのおおよその視線移動角度を表 5-14 に示す。ディスプレイへの表示については、表示内容により安心、不安が変化することも考えられるため、被験者には、ディスプレイ装置自体に必要となる機能・性能について回答するとともに、ディスカッションするように求め、特別な表示（色やフラッシングなどの表示方法）については考慮しないよう要請した。また、表示サイズについても、第 2 章に示した特性を持っていることを考慮して十分大きいサイズの表示がなされることを前提として回答させた。

表 5-14 表示装置の機能

	垂直角度 (degree)	水平角度 (degree)
ヘッドアップディスプレイ	10	0
メータ内ディスプレイ	25	0
ナビゲーション用ディスプレイ	15	15
電子ミラー	15	30(右) 60(左)

評価では、表示装置により同じ機能が割り付けられている場合もあるが、装置ごとに見やすさからくる安心感を醸成している項目を自由発話により抽出した。また、抽出後、参加者全員によるディスカッションにより個人が評価した内容、シーンについて話し合い、抽出した項目に漏れがないか確認した。

5.3.3 表示装置の安心要因の分析

評価で表示装置の安心感に関わる 116 項目の要因を収集した。この要因を安心要因ごとに分類するために、日本人間工学会が提案している UD (ユニバーサルデザイン) マトリックス [95]の「商品の 3 側面」及び「UD 原則」に基づき「1. 情報入手が容易(UDa), 2. 理解しやすい(UDb), 3. 心身負担が小さい(UDc), 4. 安全である(UDd), 5. 機能/性能が必要十分である(UDe), 6. 魅力的である(UDf)」の 6 分類をユニバーサルデザイン 6 分類とし用いることとした。表 5-15, 表 5-16, 表 5-17, 表 5-18 に、ヘッドアップディスプレイ (HUD), メータークラスター, ナビゲーション, 電子ミラーごとに、ユニバーサルデザイン 6 項目と関係すると思われる内容に○を付して示す。

また、実験の途中で、表示機器に関する上述した装着した機器に関する安心要因以外に、運転の際に安心に感じられる項目も抽出した。この要因については、「安全である」という項目として解析に取り入れることとした。この時の要因を表 5-19 に示す。

表 5-15 HUD の安心要因と UD マトリクス

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
周囲と表示が被って煩わしい				○		
周囲が良く見える				○		
誘目される				○		
画面を注視しない				○		
眩しくない	○					
今までの動きと同じ		○				
表示の大きくて見やすい	○					
欲しい情報を見つけやすい	○					
情報量が適切である		○				
先行車をロストしたときに知らせてくれる	○					
実景との対応が付きやすい		○				
実景と表示のずれが小さい					○	
大ざっぱに使える			○			
先進感を感じる						○
焦点合わせが楽にできる			○			
視線移動が楽			○			
腕や身体が安定している			○			

表 5-16 メータークラスタの安心要因と UD マトリックスの関係

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
目線が下がらない				○		
視線を前方から外す時間が短い				○		
普段見ている位置と 同じ		○				
学習がしやすい		○				
使い方を新たに覚える必要がある		○				
システムの能力限界が分かる		○				
後続可能距離が分かる		○				
システムの状態が理解できる		○				
システムに対する知識がある		○				
システムの意図が理解できる		○				
システムの状態が示されている		○				
システムの判断の根拠が分かる		○				
システム動作が理解しやすい		○				
表示内容の意味が一意に決まる		○				
表示の意味が理解しやすい		○				
センシング範囲が分かりやすい		○				
センシング結果が分かりやすい		○				
経験的に安全とわかっている					○	
画質が良くて見やすい	○					
システムエラーがあっても対処できる				○		
センシング精度が高いと感じる					○	
使った経験があるため信頼できる					○	
評判が良いので信頼できる					○	
ドライバによって動作が変化する					○	
満足である						○
好みである						○
親しみやすい						○
期待した動作と一致している		○				
システムの動作が予測と異ならない		○				

表 5-16 メータークラスタの安心要因と UD マトリクスの関係(続き)

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
システムの能力が分かる					○	
自車の動きが推測できる		○				
精神作業負荷が少ない			○			
視線移動量が少ない			○			
目線の動きだけで情報が見られる			○			
システム異常を知らせてくれる				○		
車の挙動が自分の運転と似ている		○				
常にシステムを監視する必要がある					○	

表 5-17 ナビゲーションの安心要因と UD マトリクスの関係

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
インタラクションが自然にできる		○				
容易でないと感じる		○			○	
どこを映しているかが理解できる		○				
情報量が多く煩わしい				○		
情報の密度が高い		○				
必要な時に情報が呈示されている	○					
丁度いいタイミングで情報が呈示される	○					
情報が次々と変わって混乱する	○	○				
傾りになる						○
誤りに対しての許容度が大きい			○			
也の手段を提案してくれる		○				
役に立つ						○

表 5-18 電子ミラーの安心要因と UD マトリクスの関係

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
死角に車がいることに気づける				○		
自分の速度が分からなくなる				○		
煩わしくない				○		
見るべきものがきちんと見えている				○		
違和感がない		○				
視線動線上にディスプレイがある	○					
すぐに慣れることが出来る		○				
表示の変化に気付きやすい	○					
車線変更の判断ができない				○		
表示がはっきり見える	○					
後方車の距離感が分からない				○		
現実感がある					○	
障害物との距離感が掴みやすい				○		
短時間で理解できる		○				
後方車の速度感が分からない				○		
画質が悪くて見づらい					○	
リアルタイム性がある					○	
映像が断続的に見える					○	
システムが間違えても大きな問題にならない				○		
システムが壊れたときの対処方法が分かる				○		
目視とは違う色で映っている		○				
目視との感覚が合わない		○				
慣れている		○				
雨の時に見やすい					○	
夜でも見られる					○	
周囲環境の変化に対応している					○	
必要と感じている						○
事前に周囲の危険を知らせてくれる				○		
眼が疲れる			○			

表 5-19 運転自体の安心要因と UD マトリクス

安心要因	UDa	UDb	UDc	UDd	UDe	UDf
前の車の減速に気づける				○		
周囲に意識が向けられる				○		
周囲との関係性が把握できる				○		
死角がない				○		
最低限の運転が保証されている				○		
漫然状態の時に注意喚起してくれる				○		
周囲の危険に対する備えがある				○		
接近中の危険に気づける				○		
何かあったら助けてくれる				○		
事故のリスクを低減してくれる				○		
運転に集中できる				○		

さらに、各分類における項目間の意味的空間内距離を調べるため、分類に属する項目全ての組み合わせに対して、両語の類似性を 7 件法(1:全く似ていない～7:非常に似ている)で評定し、多次元尺度構成法（以降、非計量 MDS）を用いて項目間のユークリッド距離を求めた。ユークリッド距離を求めるに当たり、実験参加者それぞれが回答した評定値の平均を最終評定値として用いた。図 5-9 に「情報入手が容易」に対する非計量 MDS の結果を散布図として示す。

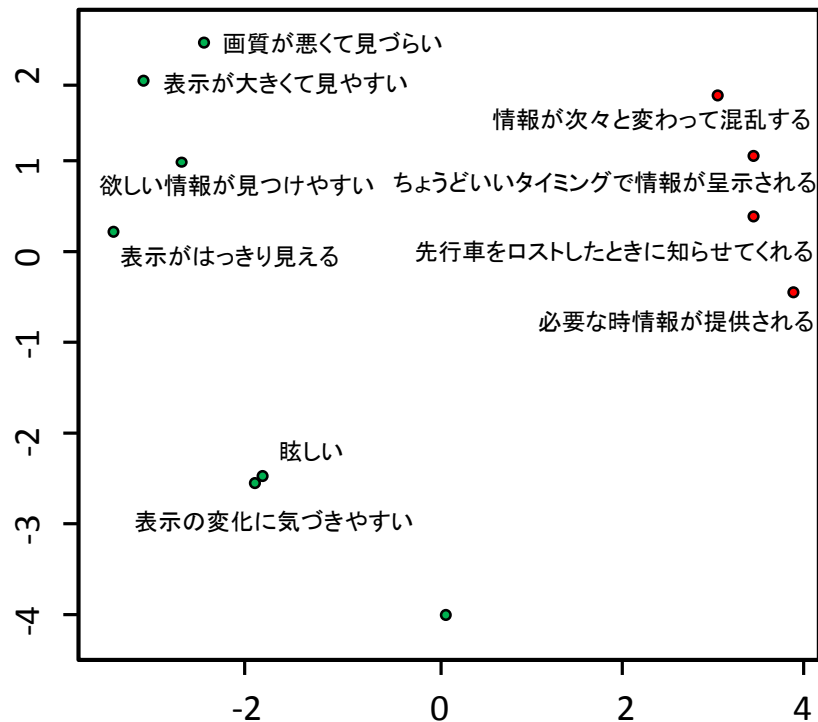


図 5-9 情報入手が容易 に対する非計量 MDS 結果

次に, Ward 法による階層的クラスタ分析を用いて Dendrogram を作成した [90]. Ward 法を用いた理由は, それぞれの因子間の分類感度が高いためである. それぞれの因子の樹形図を作成するために,

- 1) クラスタ間のユークリッド平方距離を求める.
- 2) クラスタ間のユークリッド平方距離の最も近いクラスタを併合して 1 つのクラスタとし, 併合後の距離を計算する.
- 3) クラスタの数が 1 つになるまで, 2) を繰り返す.

を実施した. クラスタ分析の結果から, グループ分けを行う時に, どの結合レベルで切断するかによっていくつのクラスタに分類されるかが変わり, その後の結果に大きく影響を及ぼすことが想定されるため, クラスタのグループ分けには, 平方重相関 (RSQ), セミパーシャル平方重相関 (SPRSQ), 疑似 F 統計量 (PSF) を参考としながら研究目的を踏まえて汎用的に活用できそうな水準で切断面を決定した [91]. 以上述べた手順で得た情報入手が容易に対するクラスタ分析の結果を図 5-10 に, 非計量 MDS の結果を図 5-11 に示す. 図 5-11 より, クラスタ数を 3 に取ることで, 本実験の目的に合ったクラスタ数になると考え, 3 つの因子, 「気づきやすさ」, 「認識しやすさ」, 「適切なタイミングで提示される」を抽出した. この結果を表 5-20 に示す.

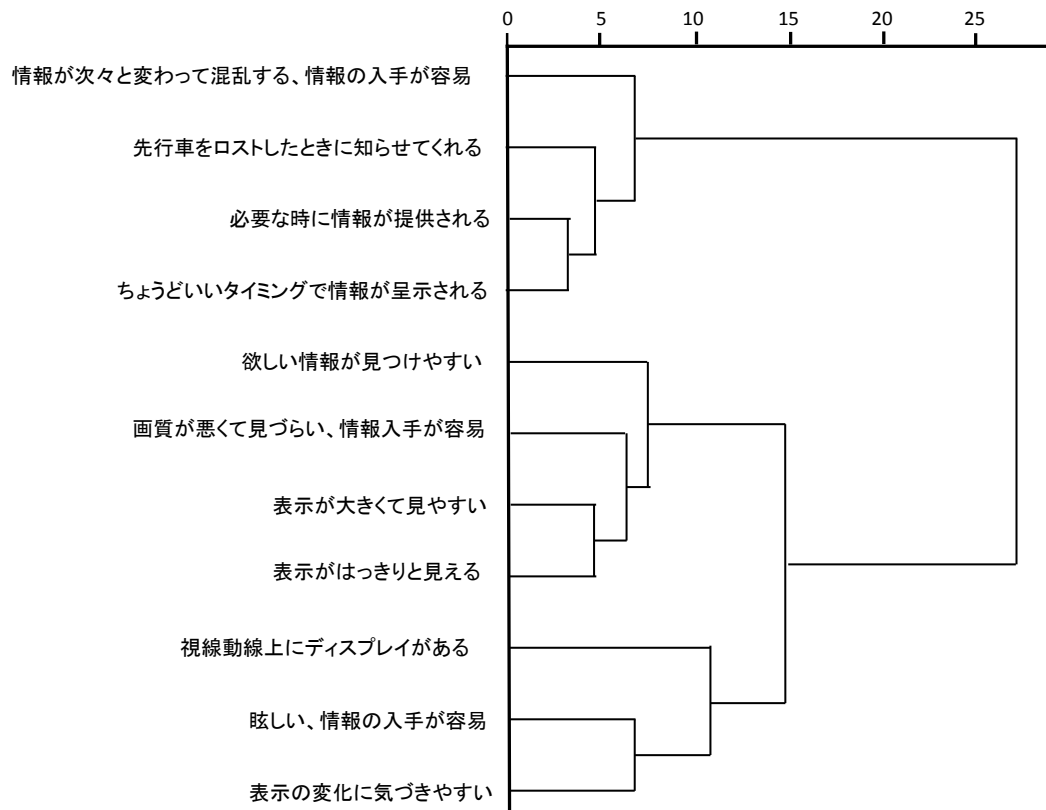


図 5-10 情報入手が容易 に対するクラスタ分析結果

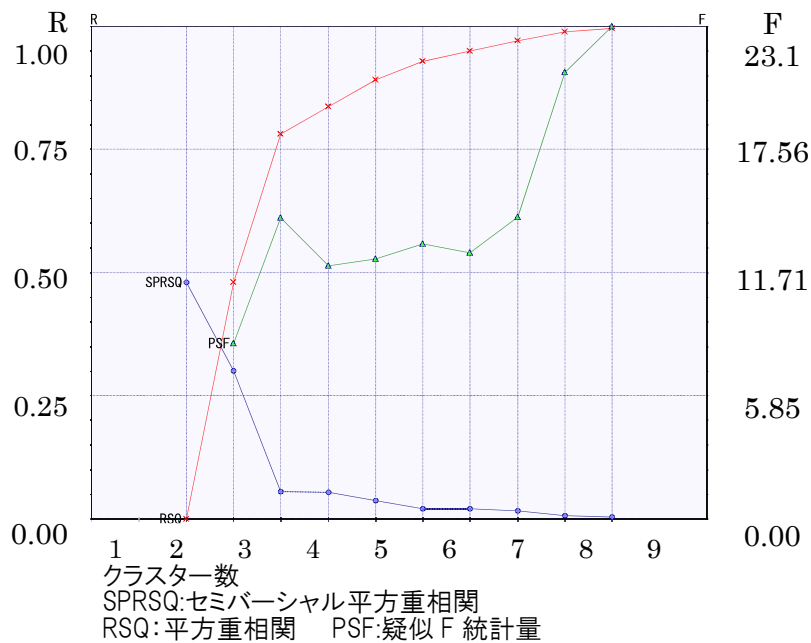


図 5-11 情報を容易に入手できる に対する RSQ/SPRSQ/PSF 結果

表 5-20 情報入手が容易に対する統合した要因

初期因子	結合因子
表示の変化に気付きやすい	気付きやすさ
眩しくない	
視線動線上にディスプレイがある	
表示がはっきり見える	認識しやすさ
表示が大きくて見やすい	
画質が良くて見やすい	
欲しい情報を見つけやすい	
丁度いいタイミングで情報が呈示される	適切なタイミング
必要な時に情報が呈示されている	
先行車をロストしたときに知らせてくれる	
情報の更新頻度が適切である	

以下、同様の手順により、UD 原則に基づいた UDb から UDe に対する階層的クラスタ分析の結果を図 5-12、図 5-13、図 5-14、図 5-15、及び図 5-16 に示す。

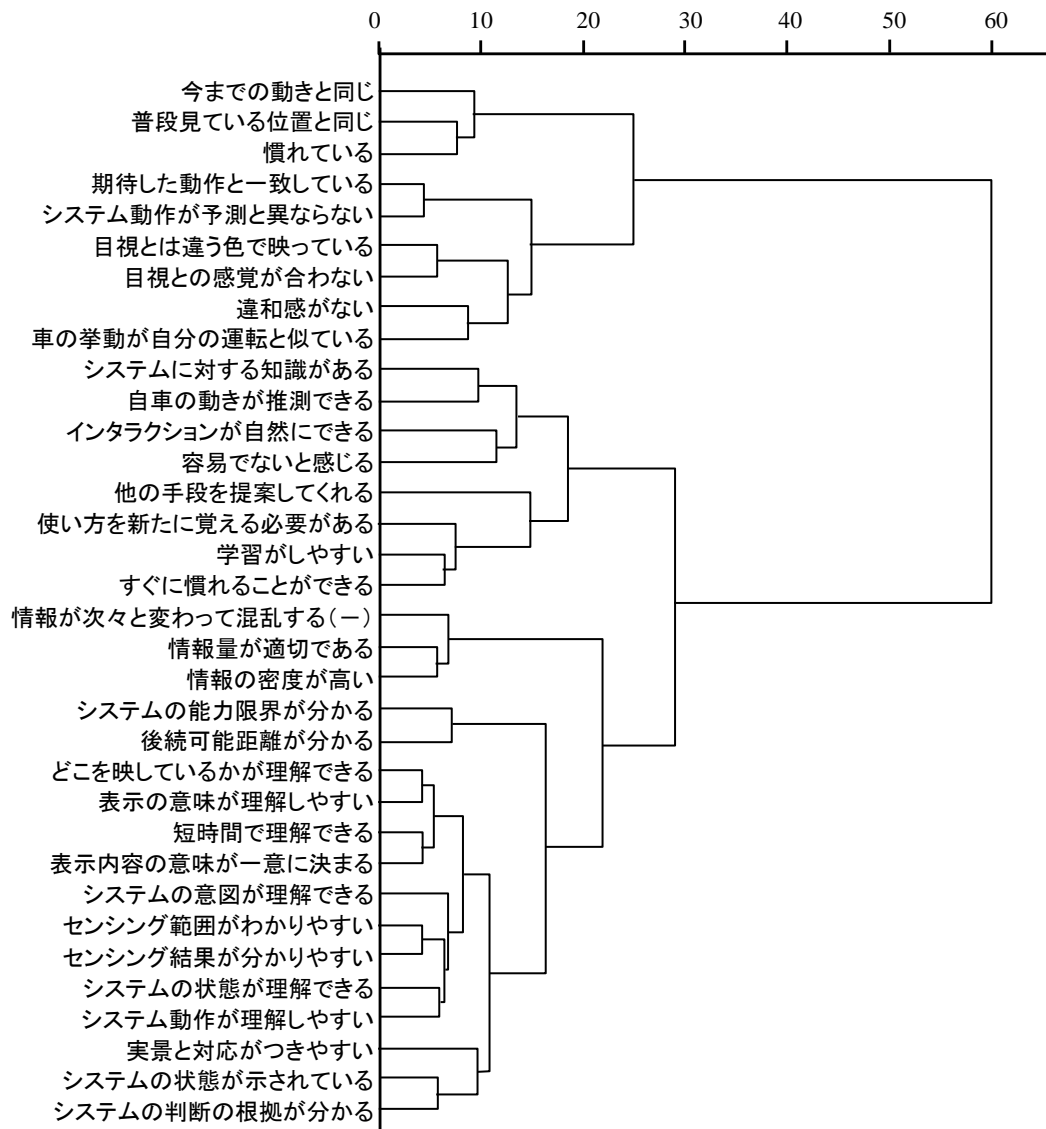


図 5-12 理解しやすい に対するデンドログラム

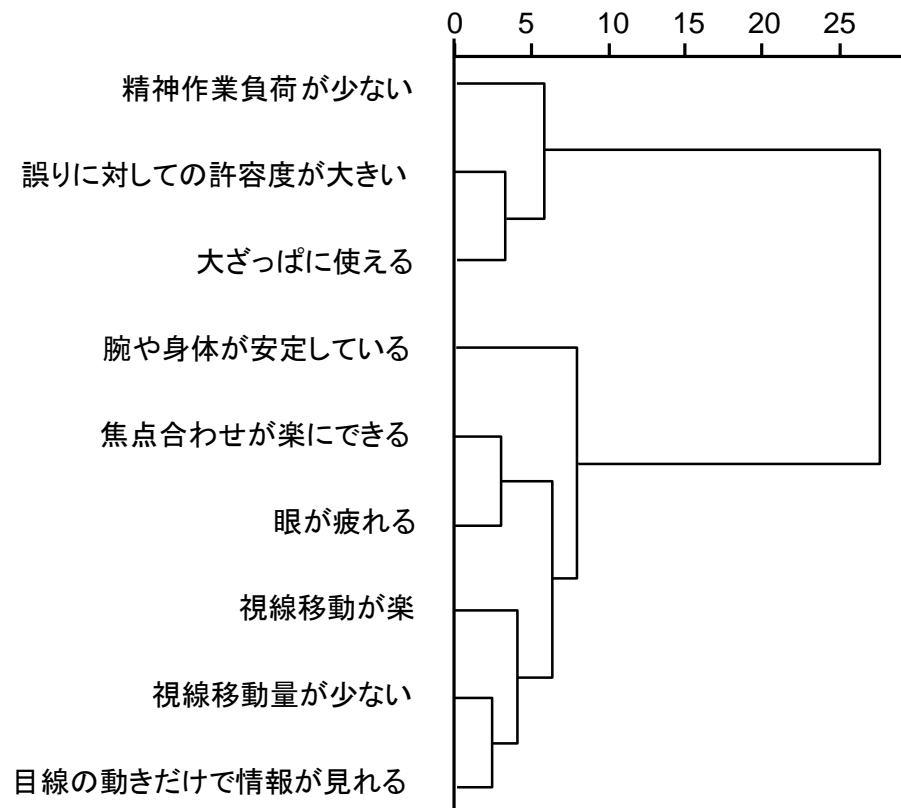


図 5-13 心身の負担が小さい に対するデンドログラム

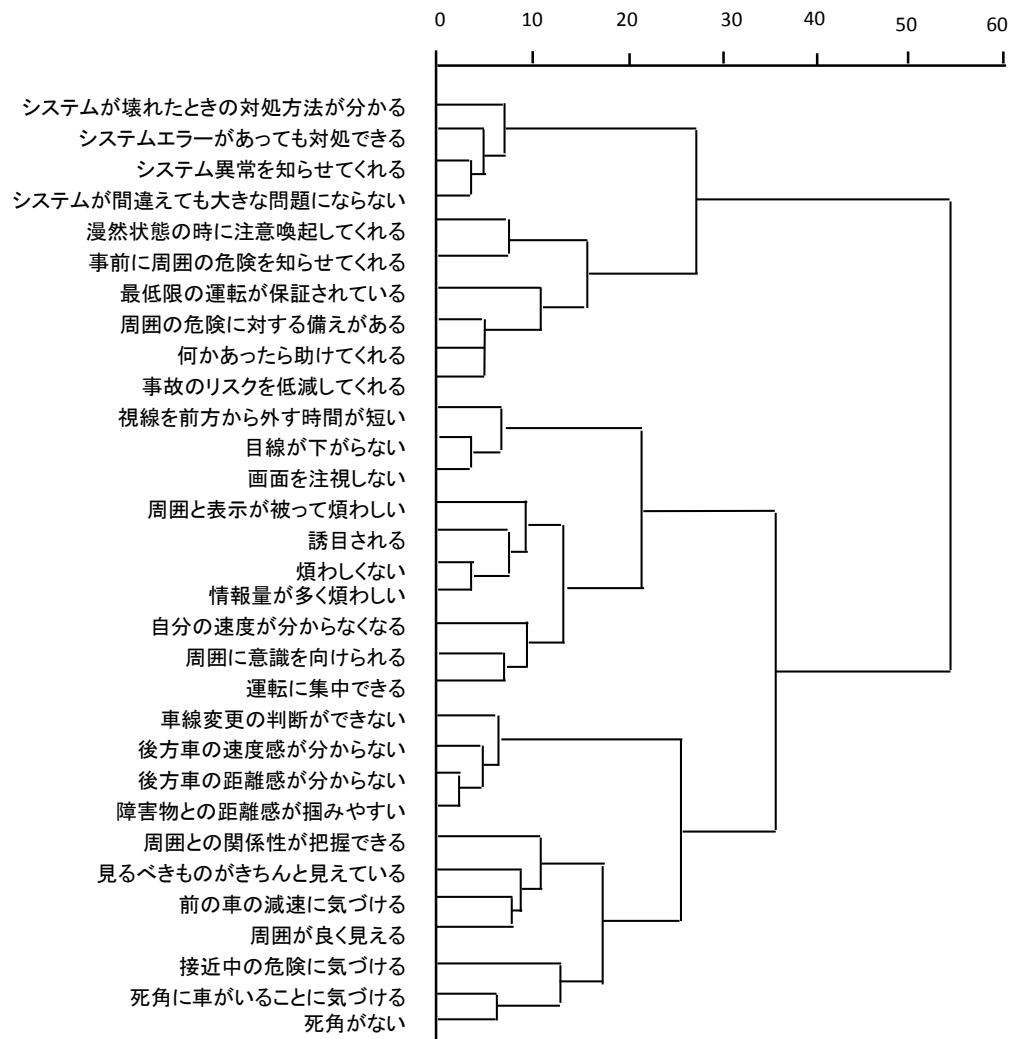


図 5-14 安全である に対するデンドログラム

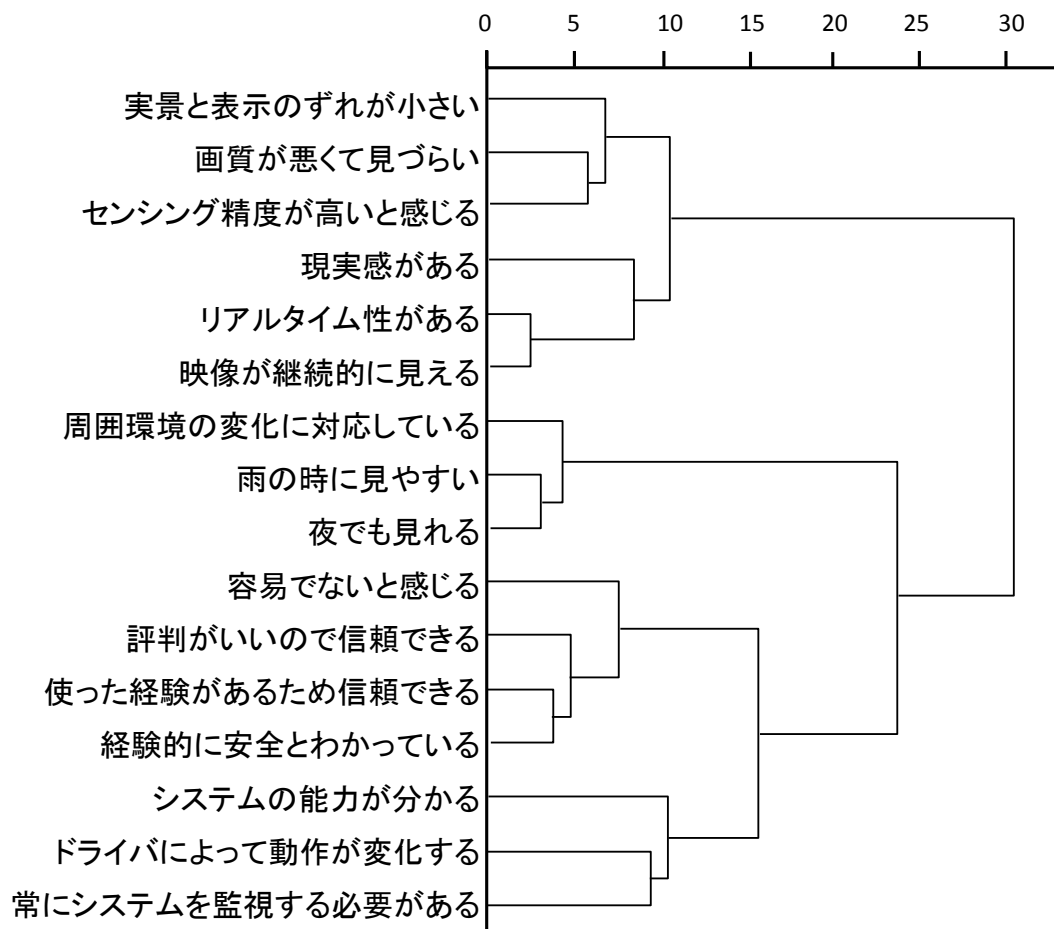


図 5-15 機能性能が必要十分である に対するデンドログラム

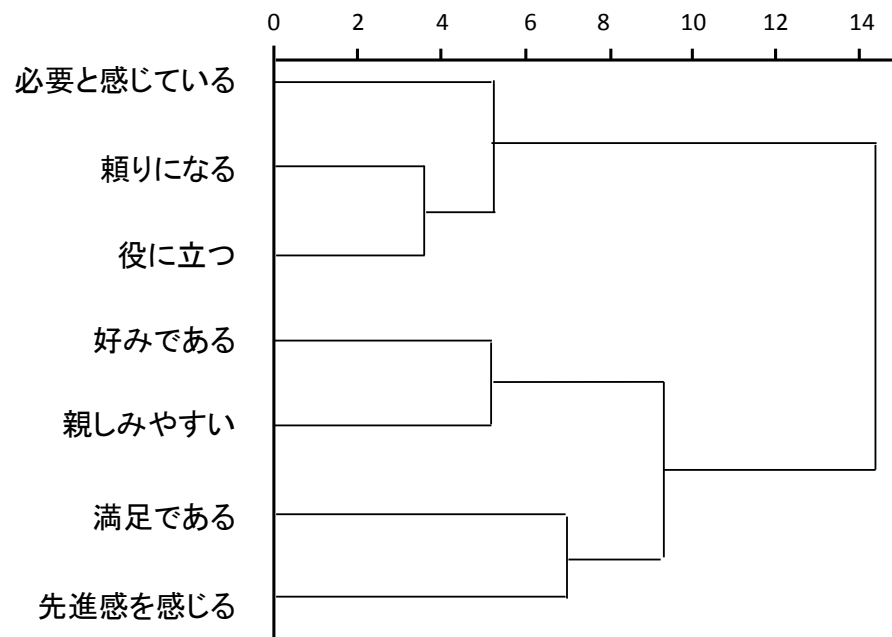


図 5-16 魅力的である に対するデンドログラム

さらに，これらを用いて初期因子を結合した UDb から UDe の結合因子をそれぞれ表 5-21，表 5-22，表 5-23，表 5-24，及び，表 5-25 に示す．

表 5-21 理解しやすい に対する因子と結合因子

初期因子	結合因子
今までの動きと同じ	容易に使い慣れることができる
普段見ている位置と同じ	
慣れている	
期待した動作と一致している	期待していた動作と同じである
システム動作が予測と異なる	
目視とは違う色で映っている(一)	
目視との感覚が合わない(一)	
違和感がない	
車の挙動が自分の運転と似ている	意識することなく自然と使える
システムに対する知識がある	
自車の動きが推測できる	
インタラクションが自然にできる	
容易でないと感じる(一)	
他の手段を提案してくれる	
使い方を新たに覚える必要がある	
学習がしやすい	
すぐに慣れることができる	システムが示す情報が理解しやすい
情報が次々と変わって混乱する(一)	
情報量が適切である	
情報の密度が高い(一)	
システムの能力限界が分かる	
後続可能距離が分かる	
どこを映しているかが理解できる	
表示の意味が理解しやすい	
短時間で理解できる	
表示内容の意味が一意に決まる	
システムの意図が理解できる	
センシング範囲が分かりやすい	
センシング結果が分かりやすい	
システムの状態が理解できる	

表 5-21 理解しやすい に対する因子と結合因子(続き)

初期因子	結合因子
システム動作が理解しやすい	システムが示す情報が理解しやすい
実景と対応が付きやすい	
システムの状態が示されている	
システムの判断の根拠が分かる	

表 5-22 心身負担が小さい に対する因子と結合因子

初期因子	結合因子
精神作業負荷が少ない	大ざっぱに使える
誤りに対しての許容度が大きい	
大ざっぱに使える	
腕や身体が安定している	疲れない
焦点合わせが楽にできる	
眼が疲れる	
視線移動が楽	
視線移動量が少ない	
目線の動きだけで情報が見られる	

表 5-23 安全である に対する因子と結合因子

初期因子	結合因子
システムが壊れたときの対処方法が分かる	システムエラー／故障への対応
システム異常を知らせてくれる	
システムエラーがあっても対処できる	
システムが間違えても大きな問題にならない	
漫然状態の時に注意喚起してくれる	注意喚起・警告・介入
事前に周囲の危険を知らせてくれる	
最低限の運転が保証されている	
周囲の危険に対する備えがある	
何かあったら助けてくれる	
事故のリスクを低減してくれる	
視線を前方から外す時間が短い	運転に意識を向けることができる
目線が下がらない	
画面を注視しない	
周囲と表示が被って煩わしい	
誘目される	
煩わしくない	
情報量が多く煩わしい	
自分の速度が分からなくなる	
周囲に意識が向けられる	
運転に集中できる	
車線変更の判断ができない	行動を決定することが容易
後方車の速度感が分からない	
後方車の距離感が分からない	
障害物との距離感が掴みやすい	
周囲との関係性が把握できる	周辺との関係性を把握できる
見るべきものがきちんと見えている	
前の車の減速に気づける	
周囲が良く見える	
接近中の危険に気づける	
死角に車がいることに気づける	
死角がない	

表 5-24 機能/性能が十分である に対する初期因子と統合因子

初期因子	結合因子
実景と表示のずれが小さい	正しく動作すると感じられる
画質が悪くて見づらい	
センシング精度が高いと感じる	
現実感がある	
リアルタイム性がある	
映像が断続的に見える	
周囲環境の変化に対応している	環境の変化に柔軟に対応する
雨の時に見やすい	
夜でも見られる	
容易でないと感じる	実績があると感じる(信頼)
評判が良いので信頼できる	
使った経験があるため信頼できる	
経験的に安全と分かっている	
システムの能力が分かる	
ドライバによって動作が変化する	
常にシステムを監視する必要がある	

表 5-25 魅力的である に対する初期因子と結合因子

初期因子	結合因子
必要と感じている	使いたいと思う
頼りになる	
役に立つ	
好みである	
親しみやすい	
満足である	
先進感を感じる	

以上の結果、表 5-26 に示すように、ユニバーサルデザイン 6 分類に対応して 18 種類の安心要因を抽出した。

表 5-26 UD6 分類ごとの入力機器の結合要因 UD6 分類ごとの入力機器の結合要因

ユニバーサルデザイン 6 分類	結合因子
情報を容易に入手できる	気付きやすさ
	認識しやすさ
	適切なタイミング
理解しやすい	無意識に使える
	理解しやすさ
	慣れやすさ
	期待通りの動作
心身の負担が小さい	疲れにくさ
	大ざっぱに使える
安全である	周囲の把握
	意識の集中
	行動決定が容易
	注意喚起・警告・介入
	不測の事態へ対応可能
機能/性能が必要十分である	環境の変化に柔軟に対応
	正しい動作
	実績がある
魅力的である	使用意欲がある

5.3.4 安心因子の影響度導出

5.3.4.1 目的

前節では 18 個の安心因子を抽出したが、安心感に対する各因子の影響度の大きさは運転シーンによっても異なると考えられ、その影響度は機器によっても異なる可能性がある。このことを明確化するために、まず、機器を用いる運転シーンを特定し、そのシーンにおける機器にどのような安心を感じたか、前節で得た安心 18 因子から選んでもらうことにより影響度の大きい因子を明確化することとした。具体的には、前節で実施した評価にて、安心感が低いという意見が多かった車線変更やバック駐車を評価する運転シーンとして選択し、表示機器として後方視界支援機器を選択し、その機器に対して安心 18 因子と「安心感」に関する主観評価を実施し、影響度の大きい因子を明らかにする。

5.3.4.2 実験内容

実験参加者は、日常的に運転している 20～50 代のドライバ 18 名(男性 12 名, 女性 6 名; 平均年齢 37.8 ± 11.0 歳)とした。HQL 式運転スタイルチェックシートと運転負担感受性チェックシート [96]に基づき分析した結果, 平均的な日本人ドライバ特性の範囲内にあることを確認した。参加者には事前に評価内容の説明を行い, 文書によるインフォームドコンセントを得た。

評価に用いた車は右ハンドル車であり, 後方視界を確認する手段として, サイドミラー, サイドミラーの機能を代替するカメラモニタシステム(以下, CMS), バックガイドモニタ(以下, BGM), ルームミラーが搭載されている。

評価では, 装着した機器(CMS と BGM)に慣れてもらうため, 慣熟走行を 20 分程度実施した。その後, 車線変更タスク, 駐車タスクの順に実施した。車線変更タスクでは, 片側 2 車線の幹線道路約 10km のコースをドアミラー又は CMS を用いて走行し, 複数回車線変更を実施させた。実験参加者には, 日常の運転を心がけ, 自分自身のタイミングで車線変更をするよう教示した。駐車タスクでは, 両隣に車両がない条件, 片隣に車両がいる条件, 両隣に車両がいる条件で, CMS 又は BGM とドアミラーを用いて複数回実施させた。体験後, 実験条件ごとに安心 18 因子のアンケートに 7 段階(1: 全くそう思わない～7: たいへんそう思う)で回答し, 理由を自由記述欄に記入するよう求めた。なお, 安全を考慮して, CMS 条件で実施する場合はドアミラーも併用して使用させたが, アンケートの際は CMS のみを考えて回答するよう教示した。実験に当たり, 1 人あたりの全試行回数は, タスク(2 条件)×機器(2 条件)=4 回で, 18 名の合計試行回数は 4 回×18 名=72 回である。

5.3.4.3 収集データの精査

以上述べた実験により得られた結果を用いて, 後方視界支援デバイスにおける安心感とは関連のない因子を求めるために, 相関係数を求めて, 関連のない因子を除外し, 残った因子を使って安心に関する解析を進めることとした。評価項目(18 項目)の全ての組み合わせについて相関係数を求めたところ, 「不測事態への対応」, 「環境変化への対応」, 「注意喚起/警告/介入」の 3 項目と「安心感」との相関関係が, ほとんど相関がないとされる 0.2 以下であった。これらの項目を, 後方視界支援機器において安心感と関係の無い項目として分析対象外とした。

5.3.4.4 分析手法

影響度を算出する手法として, 重回帰分析がよく用いられる。しかし, 重回帰分析では説明変数と 1 個の目的変数の間の一方向の因果のみを仮定しており, 変数間に因果関係が仮定される場合や目的変数が複数仮定される場合は説明しきれない。これらに対応可能な手法として, 共分散構造分析がある。共分散構造分析では, 潜在変数を導入することで類似した傾向を示す説明変数をまとめることができ, 潜在変数間の因果関係を検討することで効率よく関係を検証することができる。

本実験では, 説明変数である安心因子間の因果関係が否定できないため, 共分散構造

分析を用いることとした。まず、探索的因子分析により類似傾向を示す安心因子を明らかにし、仮説モデルを構築した。次に、共分散構造分析を行い、仮説モデルの検証及び修正を実施し、影響度を明らかにした。

5.3.5 探索的因子分析による仮説モデルの構築

安心感の因子構造を把握するため、総合評価である「安心感」と 5.3.4.3 で対象外とした 3 項目を除外した 15 項目の結果を用いて探索的因子分析を実施した。因子の抽出には、因子間に相関を許容する斜交回転であるプロマックス回転を用いた。因子相関行列を表 5-27 に示す相関係数を用いて求めたプロマックス回転後の因子行を表 5-28 に示す。第 1 因子と第 2 因子の相関係数が 0.763、第 1 因子と第 3 因子が 0.714、第 2 因子と第 3 因子が 0.667 となり、全ての因子間で強い相関がみられた。因子数の決定は、固有値が 1 以上となる因子数で判断し、3 つの因子を抽出した。

因子の解釈は、因子負荷量 0.4 以上を基準として行った。第 1 の因子は「正しい動作」「無意識に使える」「慣れやすさ」「理解しやすさ」の因子負荷量が特に高く、直感的な分かりやすさに関することと解釈した。第 2 の因子は「認識しやすさ」「気づきやすさ」の因子負荷量が高く、取り扱いやすさに関することだと解釈した。第 3 の因子は「運転に集中できる」「周囲状況の把握」の因子負荷量が高く、運転を阻害しないことと解釈した。

表 5-27 相関係数

Factor	1	2	3
1	1.000		
2	0.763	1.000	
3	0.714	0.667	1.000

表 5-28 プロマックス回転後の相関係数

Item	Factor 1	Factor 2	Factor 3
正しい動作	0.934	-0.080	-0.142
無意識に使える	0.827	-0.295	0.301
慣れやすさ	0.797	-0.045	0.149
理解しやすさ	0.762	0.235	-0.157
大雑把に使える	0.683	0.158	-0.108
疲れにくさ	0.588	0.074	-0.104
行動決定が容易	0.568	0.138	0.219
実績がある	0.428	0.044	-0.039
認識しやすさ	-0.221	0.913	0.114
気付きやすさ	0.064	0.757	-0.024

これらの結果を用いて、図 5-17 のように仮説モデルを作成した。「分かりやすさ」「取り扱いやすい」「運転の障害をしない」の3つの因子は「安心感」で説明される。

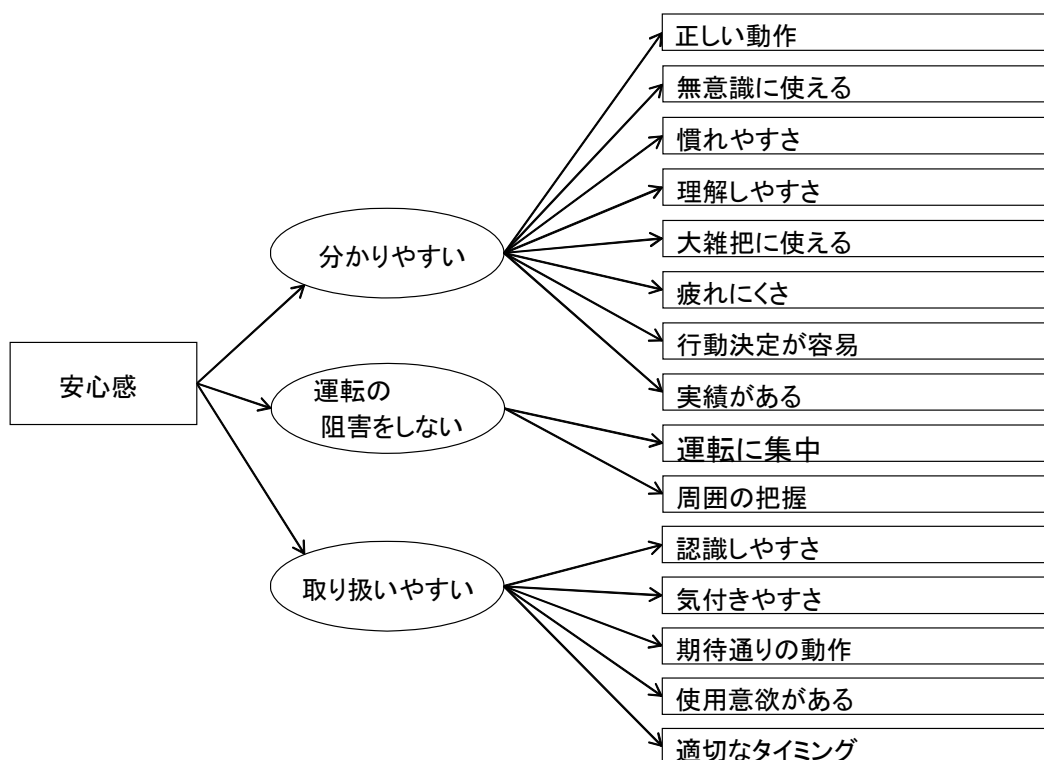


図 5-17 仮説モデル

5.3.5.1 仮説モデルの検証

作成した仮説モデルの妥当性と、各項目の安心感への影響度を明らかにするため、共分散構造分析を用いた検証を行った。モデルの χ^2 検定の結果を表 5-29 に示す。仮説である「構成されたモデルは正しい」は棄却されている。しかし、論理の不明確さから、共分散構造分析においてモデル検定に χ^2 検定を利用すべきでないと言われている [97]。モデルの当てはまりを評価する適合度指標として、CFI, RMSEA を用いる。CFI は表 5-30 に示す通り、0.90 より大きい場合が当てはまりのよいモデルで、RMSEA は、0.05 未満であれば非常に良好、0.1 以上であれば悪いと判断できる [46]。本実験で検証したモデルの χ^2 テストの結果は、 $P<0.01$ であり、これらの基準を満たしていると言える。

表 5-29 χ^2 検定結果

	Model
Chi-square test(p)	$P<0.01$

表 5-30 モデルの当てはまり評価結果

	Model
CFI	0.925

5.3.6 考察

分析結果の因果構造図を図 5-18 に示す。LM 検定・ワルド検定の結果を参考とし、「分かりやすさ」から「運転を阻害しない」、「取り扱いやすさ」から「運転を阻害しない」にパスを追加し、「安心感」から「運転を阻害しない」へのパスを削除した。修正後の適合度指標の値を求めたところ、CFI=0.925 であり、当てはまりの良いモデルと言える。「安心感」に対する各因子の影響度を明らかにするため、標準化された総合効果を算出した（図 5-18 中の括弧内）。例えば、「正しい動作」は「安心感」から「分かりやすさ」への直接効果 0.88 と「分かりやすさ」から「正しい動作」の直接効果 0.63 の乗算で算出される。その結果、「慣れやすさ」「使用意欲」「行動決定が容易」の順に「安心感」への影響が大きいことが分かった。これらの因子について、評価条件毎に評点を比較したところ、車線変更タスク、駐車タスク共に、CMS の評点が低いという結果であった。CMS の安心感を向上させるため、影響が大きいとされた因子について、自由記述欄で得られた理由から考察を行う。

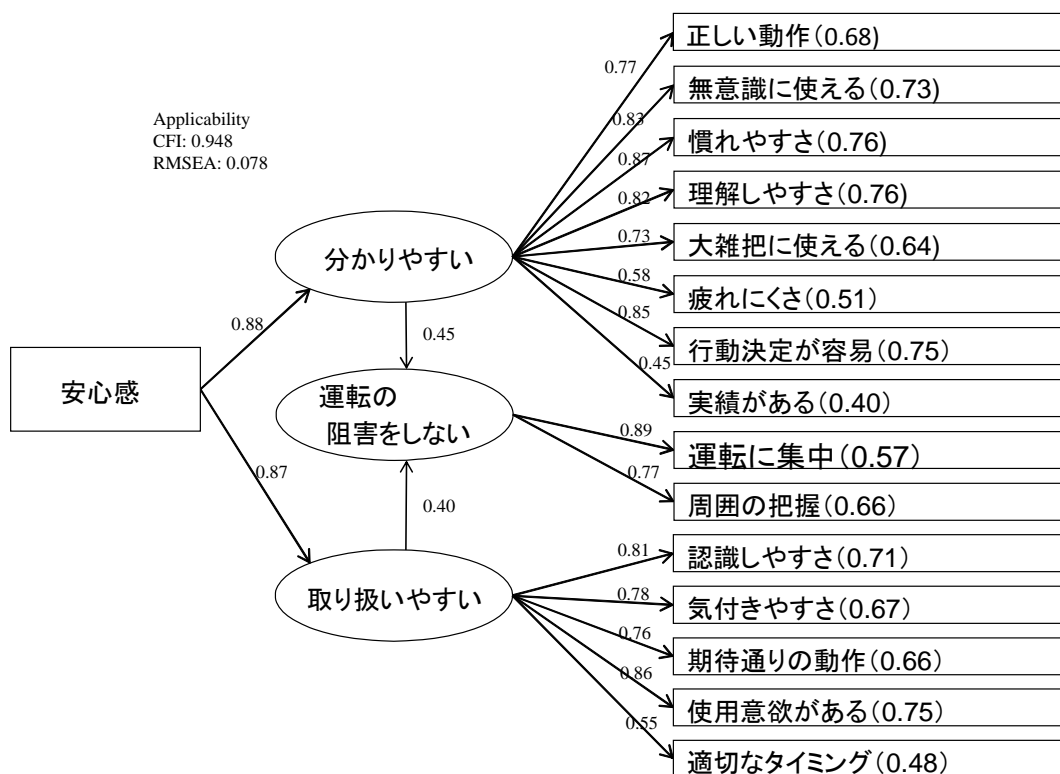


図 5-18 因果構造図

「慣れやすさ」の評価が低くなった理由として、「CMS 利用時も通常のサイドミラーの位置を見てしまう」という理由が大半を占めた。サイドミラーの位置を見に行くことが習慣化しており、40 分程度の走行ではインパネ内に設置されたモニタに視線を移すことに慣れることが困難であったといえる。どの程度の期間使用することで慣れることが出来るかを把握するため、実験協力者のうち CMS の慣れやすさに低い評価であった 1 名に対し、追加評価を実施した。追加評価では、1 日 1 時間程度 CMS を用いて走行してもらった。その結果、9 日程の走行でモニタに視線を移すことに慣れることが可能であることが分かった。また、左右のモニタを比較すると、左側モニタの方が右側モニタよりも早く慣れることが分かった。左側モニタは視線を前方から左サイドミラー位置や助手席側サイドウィンドウに視線を移動させるとき、視界に入る位置するため、ドライバの意識に入りやすいのではないかと考えられる。一方、右側モニタは右サイドミラー位置や運転席側サイドウィンドウに視線を移動するときに視界に入っていない。そのため、右側モニタも視界に入りやすいよう、モニタ位置を高くすることで慣れやすくなる可能性がある。ただし、位置を上にあげることによって煩わしが増し、「運転に集中できる」の評点が下がることも予測されるため、最適位置を明らかにする必要がある。

次に、「使用意欲」について考察する。「使用意欲」は機器の魅力性や好みなどを意味する因子である。理由としては、「サイドミラーで充分である」という理由が多くあげら

れた．今後は CMS が見やすいとされる夜間や雨天時においても検証を行う必要がある．

最後に、「行動決定が容易」について、「後方車の距離感が掴めず、近くに車がいる場面では車線変更の判断が出来なかった」というコメントが多く得られた．人は距離感を得る要因として、生物学的には調節、輻輳、両眼視差、心理学的には重なり、線遠近法、大きさ、きめの勾配、大気遠近法、陰影があるとされている．この中で、近距離の後方車や障害物の距離感を掴むことに影響を与えている要因として、作用距離や特性を踏まえると輻輳、両眼視差、大きさが選択できる．輻輳、両眼視差の情報はモニタである故、活用できないため、大きさについて考える．大きさの知覚に影響を与える設計パラメータとしては、画面サイズや解像度が関係していると考えられる．細川らは画面サイズに注目し、車線変更の敢行判断や距離感の分かりやすさの変化を評価し、5.6 インチ以上であればサイドミラーと同等に敢行判断はできるが、サイドミラーと比べて距離感の分かりやすさを低く評価するドライバがいることを明らかにした．これは、画面サイズを大きくしても距離感の分かりにくさが完全には解決しないことを示唆している．解像度については今後検証する必要がある．また、駐車タスクにおいて、BGM を初めて使用した評価協力者からは、「補助線があることで距離感を掴めた」というコメントが得られたことから、CMS にも補助線を追加する等 HMI の工夫を行うことで、距離感知覚の一助となる可能性がある．この点に関しても、今後検証を行う．

5.3.7 まとめ

本研究では、車載 HMI 機器使用時の安心感について、安心感に関係する因子を抽出し、後方視界支援機器における安心感の因果構造を分析・解明する取り組みを実施した．初めに、実交通環境下にて標準的に搭載されつつある様々な車載 HMI 機器を使用させ、安心感に関連するキーワードを収集・集約して、安心 18 因子を明らかにした．その後、後方視界支援機器を使用する実車評価にて、抽出した各安心因子について主観評価を実施し、共分散構造分析により、安心感の因果構造の分析を行った．この結果より、以下の知見を得た．

(1) 後方視界支援機器において安心因子は、「分かりやすさ」「取り扱いやすさ」「運転を阻害しない」の 3 つに大きく分類できる

(2) 後方視界支援機器において、安心感に影響度の大きい因子は、「慣れやすさ」「使用意欲」「行動決定が容易」の順である．これらの向上に取り組むことで安心感を向上させることができる．

このように、本論文で用いた手法により、安心因子を評価することで、機器自体が持つ安心因子を明確にすることができ、また、安心感を向上させる因子の影響度を示すことができた．

以上述べたように、例えば CMS の場合には、「慣れやすさ」、「使用意欲」、「行動決定が容易」の順に安心感への影響があることが分かったが、表示の意匠によっても「慣

れやすさ」に寄与する割合を大きく変えることができる。本実験で求めたように、それぞれのディスプレイは目的とする機能により安心感への影響が異なり、汎化できる指標はないと考えられる。従って、ディスプレイ装置ごとに安心に影響する因子を抽出し、意匠を作り込むことで効果を上げる設計をすることが必要である。また、表示システムから提供される警報の中には、安全性を確保するために、ドライバーに気付きやすい表示として不快な周波数やフラッシングを用いて表示する場合があります、この場合には、安全性と安心感が両立しない場合がある。

今後は、後方視界支援機器の安心感を向上させるため、評価で示唆された事項に対して、検証を進めていく。また、後方視界支援機器以外の車載 HMI 機器で同様の評価を実施し、汎用的な安心感の因果構造の作成に取り組んでいく。

第6章 走行中のブレーキによるドライバの安心感の研究

6.1 まえがき

システムがブレーキを制御する衝突被害軽減ブレーキシステムの場合、ドライバは、自動車の制御に身を任せることになり、状況によっては不安を感じる場合があると考えられる。また、ドライバが、制動のためにブレーキを踏むマニュアル運転の場合においても、ドライバは自己の制御に対して不安感を抱く場合がある。さらに、同乗者も同様に自動車の制御もしくはドライバの制御に対して不安感や安心感を感じる場合がある。本章は、自動車の制動時に、ドライバがその制動に対して安心感を抱く場合と、不安感を抱く場合に着目し、両者の間で何がその感覚を作り出しているのか、その原因を解明することを目的とする。

本研究を進めるにあたり、被験者の体調によりブレーキの利かせ方が異なると、被験者の感じる安心感と不安感に差が生じる可能性があると考え、ドライバの体調によりブレーキの反応がどうなるかについて調べた。

6.2 ドライバの体調によるブレーキの利かせ方

6.2.1 体調によるドライバの事故と運転への影響の仮説

平成 23 年度に国土交通省より報告された過去 6 年の事業用自動車の事故の数 [98]は、図 6-1 に示すように、年々増加しており、特に疲労や体調不良などの健康状態の変化に対する割合は増加傾向にある。ドライバの状態を検知する技術としては、図 6-2 に示すように、車両信号から計測するものと、生体センサにより計測するものが考えられるが、いずれも、事故を誘発する可能性のある危険な状態で検知できるものであるといえる。

一方、本実験で研究の領域としている安心領域では、どのような差が表れるかについては研究はなされていない。図 6-3 に示すように、体調変化を疲労における運転挙動の変化ととらえ、加減速、右左折、定速走行時に、

- (1) 急な運転操作,
- (2) 緩やかな運転操作,
- (3) 過剰な調整操作,
- (4) 調整操作をしない,
- (5) 定速で走行,
- (6) 車間距離を開ける

といった行動に現れると考え、過去の文献から、それらに通じるドライバの変化について研究した例と照合した。その結果、眠気や疲労から低覚醒を招く [99] ことがあげられており、急な運転調整や運転調整をしないという行動に現れると推測した。また、[99] の研究によると、筋収縮による遅延が発生するとの報告があり、操作の開始遅れや、調整遅れ、捜査終了遅れにつながり、急な運転操作につながると推測した。また、調整遅れは緩やかな運転操作につながると推測した。さらに、緊張感から過覚醒につながるとの研究例 [100] [101] もあり、このことから、急な運転操作や、過剰な調整操作につながると考えた。さらに、眠気や疲労から、危険回避行動をとるという報告 [102] もあり、この行動は、調整操作をしないことや、定速で走行する、さらには車間を開けるといった行動に現れると考えた。

この中で、減速時の行動は、図 6-3 中に“○”で示すように、多くの要因の影響を受けると考えられ、本章の目的である、減速時の安心感を醸成する要因を解明するためには、体調が結果に影響する可能性がある。そこで、どのような現象が起こるのかについて解明を進めた。

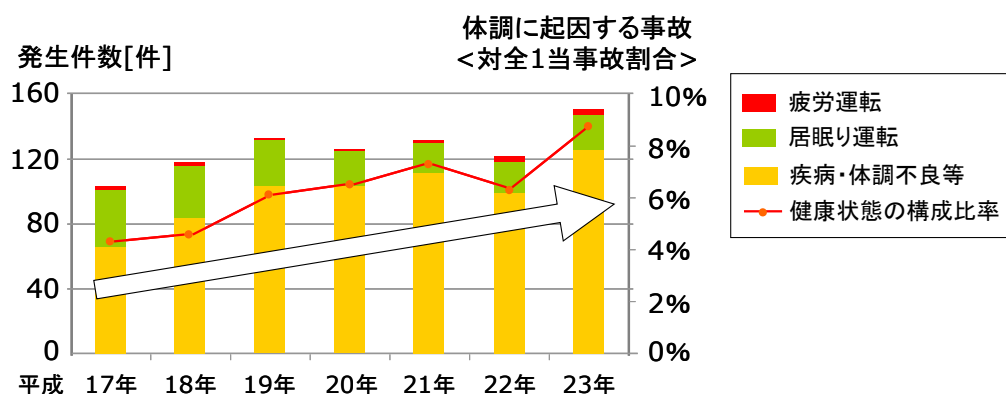


図 6-1 平成 23 年以前の事業者の事故件数
(国土交通省 自動車事故防止セミナー2011 から)

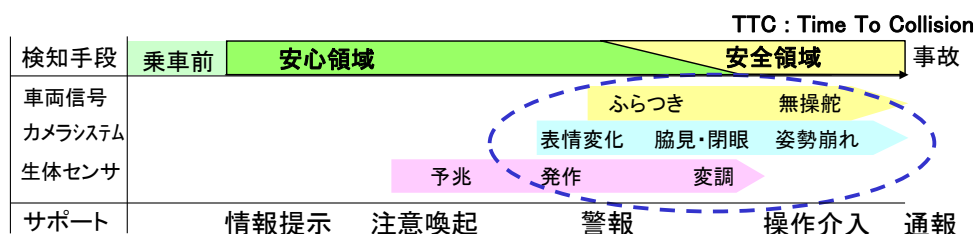


図 6-2 事故の要因となる体調の検知技術とサポート手段

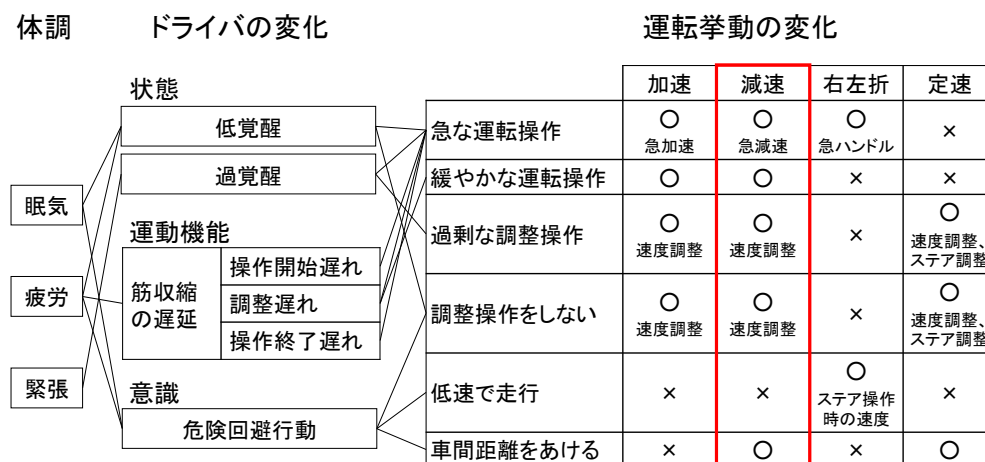


図 6-3 ドライバーの体調変化に伴う運転挙動の変化の仮説

6.2.2 統制された環境での体調検知の検証

図 6-4 に示すように、一時停止を 2 か所に持つ周回コースをドライビングシミュレータ上に形成し、20 代からなる被験者 6 名による運転操作の変化を 20 日間にわたり調査した。ドライビングシミュレータ上での運転操作の前に、被験者には、睡眠時間と自覚症状（疲労している、疲労していない）について尋ねた。

また、ドライビングシミュレータでの走行時には、実車で計測可能な特徴量として、

- (1) 速度,
- (2) アクセル操作量,
- (3) ブレーキ操作量

を計測した。

また、ドライビングシミュレータで計測可能な特徴量として、

- (1) 移動距離
- (2) 停止線からの距離

を計測した。

また、挙動の抽出範囲としては、

- (1) アクセルを離してからブレーキを踏み始めるまでの移動距離と時間,
- (2) ブレーキを踏み始めてから停車するまでの時間と最低速度

を計測対象とした。本実験の時間的關係を図 6-5 に示す。



図 6-4 使用したドライビングシミュレータの走行路

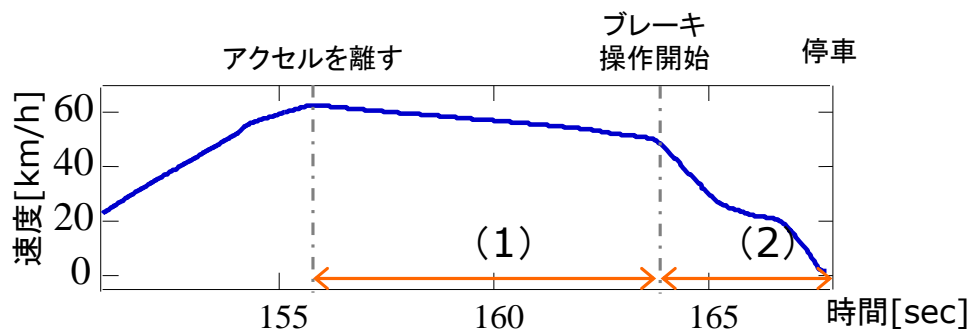


図 6-5 運転挙動の抽出範囲

6.2.3 ドライビングシミュレータでの測定結果

図 6-6 に各被験者の体調による、ブレーキの踏み始めから停止までの距離の平均値を示す。すべての被験者に対して、ブレーキの踏み始めから停止までの距離が、体調が悪いときのほうが長くなっていることがわかる。

参考のために、被験者 6 名のうち 5 名以上で同じ傾向が表れた運転操作を表 6-1 に示す。ブレーキの回数や、停車時の停止線までの距離が、前述したブレーキを踏み始めてから停止までの距離と同様、体調の悪い時が増加する傾向が見られた。

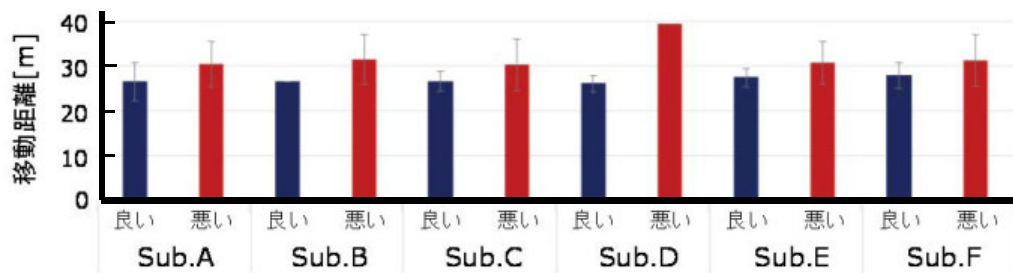


図 6-6 ブレーキを踏み始めてから停止するまでの距離（被験者の平均値）

表 6-1 体調の違いで変化した運転挙動

体調の違いで変化した運転挙動	体調	
	良い	悪い
ブレーキを踏み始めてから停車までの距離	減少	増加
ブレーキ回数	減少	増加
停車時の停止線までの距離	減少	増加

6.2.4 実車への適用

前述したドライビングシミュレータの結果をもとに、実車環境で同様の現象が起こるかについて検証した。

被験者は 20 代から 50 代の 4 名とし、被験者ごとに 20 日間、通勤路と市街地路を走行させ、ドライビングシミュレータと同様に、体調の自己申告を実施するとともに、停車時の速度、時間について計測した。なお、走行路については、それぞれの被験者に一任した。

6.2.5 実車環境での結果

図 6-7 に結果をドライビングシミュレータの時との比較として示す。ドライビングシミュレータでの結果は、図中にブレーキ開始タイミングとして示す点が集中しており、実車においてはばらついていることわかる。これは、実環境では、周辺環境により車両の制御が左右されていると推測した。この現象は、停止直前では表れにくいと考え、停止直前の車両のスピードにより停車までの距離のばらつきを体調の良い時と悪い時とで比較し分類した。

普段の体調の時の停止までの距離の標準偏差と、体調の悪い時の停止までの距離の標準偏差の比 x を式 (3) で求めた結果を、図 6-8 に示す。

$$x = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{\sigma_{i_bad}}{\sigma_{i_usual}} \quad (3)$$

ここで、 σ_{i_bad} は、体調が悪い日の停止までの移動距離の標準偏差、 σ_{i_usual} は、通常時の移動距離の標準偏差である。図 6-8 からわかるように、体調の悪い日と通常の日との停止までの標準偏差の比は、5 [km/h] 以降のデータを用いた時が最も大きいことがわかる。

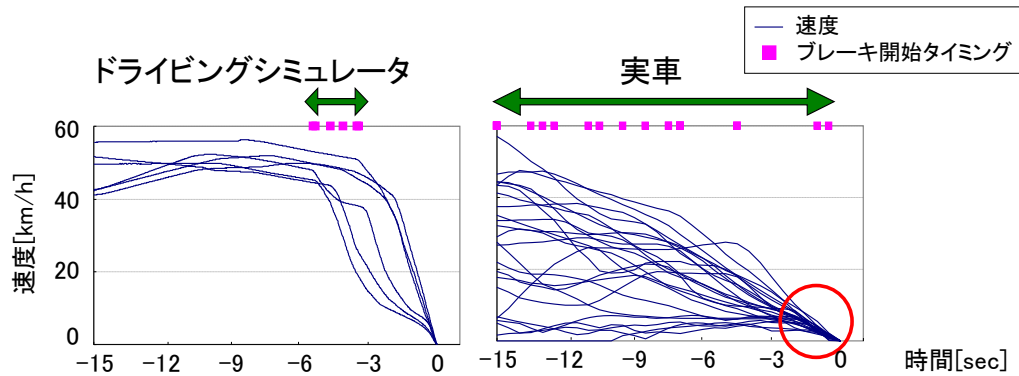


図 6-7 ドライビングシミュレータでの結果と実車での結果

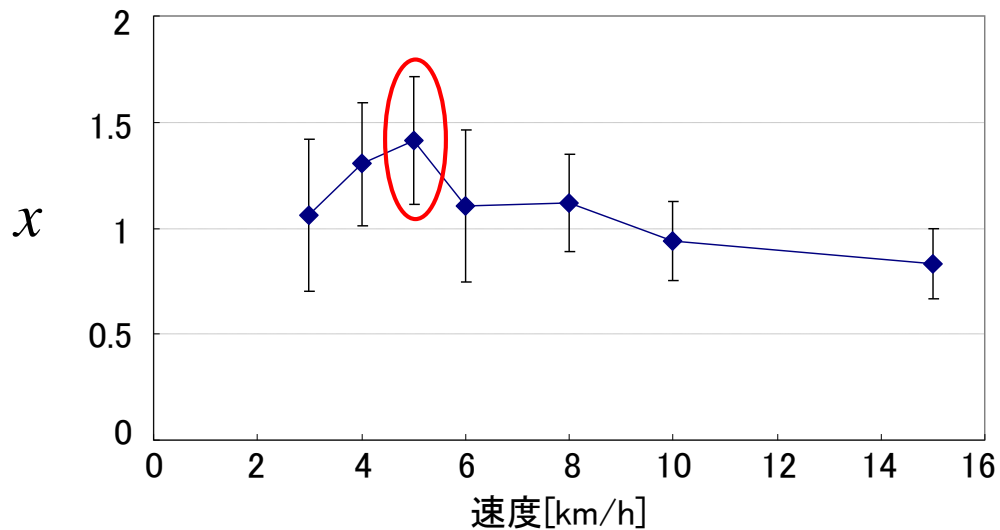


図 6-8 通常時と体調の悪い日の停止までの距離の標準偏差の比

以上のことから、車速が 5 [km/h] 以下の時の被験者のデータを図 6-9 に示す。体調が悪い日の停車までの移動距離は、図中でハッチングして示したように、明らかに長くなっていることがわかる。以上のことから、停止時にドライバの体調を計測する場合、車速が 5 [km/h] になった時からの停止距離を計測することで、通常時の停止距離と比較すれば体調異常が検出できることがわかった。

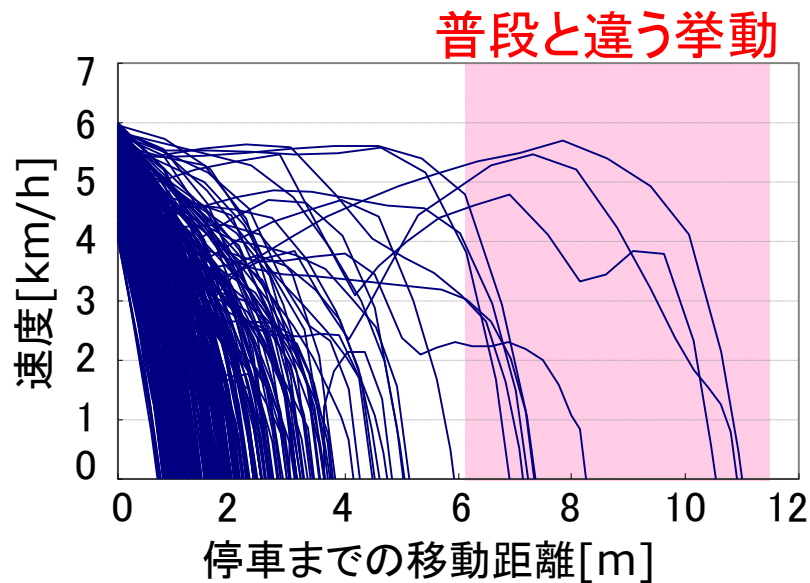


図 6-9 Sub A の体調が普段と異なるときと通常のときの停車までの距離

さらに、体調異常を検出する閾値を決定するため、車速 5[km/h] 以下となった時から停車までの移動距離の出現頻度のグラフを図 6-10 に示す。図 6-10 中には、出現頻度として、距離で分類するために、平均、 σ 、 2σ 、 3σ 、 4σ の位置を示す。例えば、平均を閾値として選んだ場合は、平均値より左側の停止距離が通常時、右側の停止距離となった時には体調不良と判断できる。これらの値を用いた時の、体調が悪い時に悪いと判断される割合（感度）と、普段と同様のときに普段と同様であると判断される割合（特異度）、感度と特異度の平均値を一致度として、図 6-11 に示す。閾値を 2σ に選んだ時には感度が 70% となり、閾値を 3σ としたときには、特異度が 65% となる。

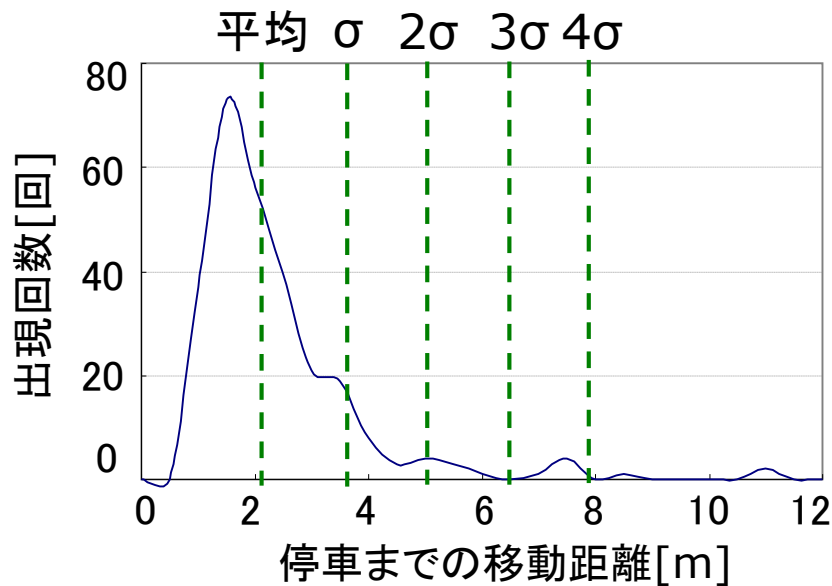


図 6-10 車速 5km/h 以下の時の停車までの移動距離の出現回数

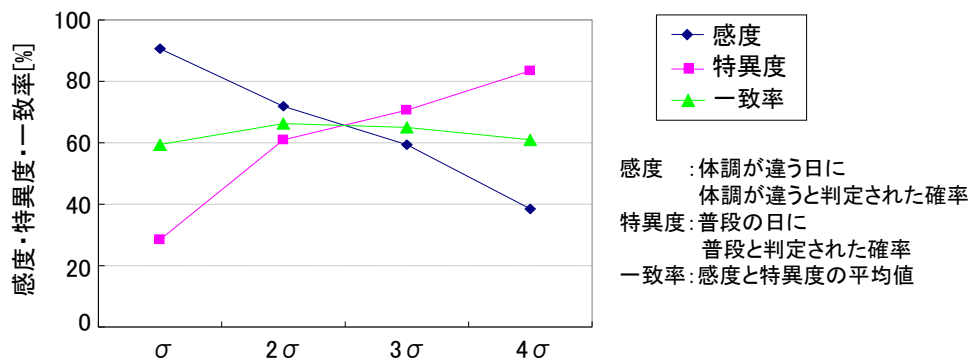


図 6-11 閾値による感度・特異度・一致率

6.2.6 ブレーキ操作と体調の関係調査のまとめ

以上述べてきたように、ドライビングシミュレータ上で検出できたドライバの体調異常の検出は、実車環境でも、5 [km/h]になった時から停止までの時間と距離を計測することで検出可能であることが分かった。ただし、本実験では、被験者の数が少なく、さらなる追加実験が必要である。

一方、6.3 項以降で述べる、ドライバのブレーキ操作時の安心感については、ブレーキの反応時間が体調変化によりばらつきが生じる可能性があることから、体調異常がないことを確認した後に実施する必要があることが分かった。また、実車でのブレーキ操作

は、周辺環境の影響が出ることから、環境が変化すると一律のブレーキ操作ができないことが考えられるため、走行路に対する工夫が必要である。

6.3 制動と安心感の要因

6.3.1 運転の状態とドライバの行動

ドライバは、運転の際、周りに気を配り運転している。ドライバは周辺の危険を検知すると、その危険度の状況によって反応するか、そのまま保持するかを決める。危険が迫っていると感じた場合には、安全を確保するために減速するか、または、ハンドルを操作して危険を回避する行動をとる。佐々木は、ドライバがブレーキを操作する場合、ドライバの制動行動には個人差が大きく、共通の制動行動をとることは困難であるとしている [46]。このことから、ドライバは、状況に応じた制動行動を、ドライバ固有のタイミングで行うことが予測される。一方、ドライバのブレーキ操作タイミングとしては、ドライバが周囲の環境を十分理解し、反応に十分な時間が与えられている場合と、周囲の状況変化（信号変化や人の飛び出しなど）に気付くのが遅れ、即座に反応しなければならない場合とに分けられる。即座に反応しなければならない場合では、ドライバは事故を防ぐためにできるだけ早くブレーキ操作をしなければならない。このような状況において、ドライバは、取り得るタイミングで制動行動をとるが、制動に不安を感じる場合と制動に不安を感じない場合（安心であった場合）とに分けられる。この不安感や安心感がどのように生じるかについて検証することで、安心した制動システムにつなげることができると考えた。本章では、安心感と不安感に焦点を当て、マニュアル運転時のブレーキによる車両挙動にドライバがどう感じているかについて調査し、安心感と不安感の境界がどのように存在するのかについて考察する。

6.3.2 ドライバの感性

交通事故の要因分析により、ドライバが自動車を制動しているときの環境要因について検討した。

- (1) 自動車の動的要因…スピード、ターゲットまでの距離、減速度など
- (2) 個人の運転能力…経験年数、走行距離など
- (3) 運転環境…道路形状、車線数、車両の周辺環境など

まず初めに、ドライバの動作についての解析を行った。解析は、前項で実験したように、体調変化がブレーキ操作に影響することから、体調の異常がないということを確認した後に実施した。図 6-12 は、通常のブレーキが踏まれた場合の時間に対する速度、減速度の割合、停止位置からの距離を示す、図中の点 A でドライバはアクセルから足を離して点 B でブレーキ操作を開始している。そして、領域 C の間、ドライバはブレーキ操作を継続しており、減速を開始してから 8.8 秒後に停止位置に到達し停止している。点 B

は停止位置から 5 秒前である。一方、図 6-13 に、突然ブレーキを踏んだ時の速度、減速度、停止位置からの距離を示す。停止位置の 4 秒前から減速が開始されている。ブレーキ操作を開始した点 B は停止位置から 2 秒前である。

本研究では、減速度を示す C 領域の図 6-12 と図 6-13 の傾きの違いに注目した。通常のブレーキ操作がなされた図 6-12 では、減速度は 0.12G である。一方、急なブレーキ操作が行われた図 6-13 では、減速度は 0.29G であった。安心感と不安感を決める堺は、この傾きにあるのではないかと考え、実験を開始した。

本研究では、自動車の動的要因に着目し、スピード、ターゲットまでの距離、減速度をパラメータとして、ドライバーがどんな状況で安心を感じるかについて究明する。

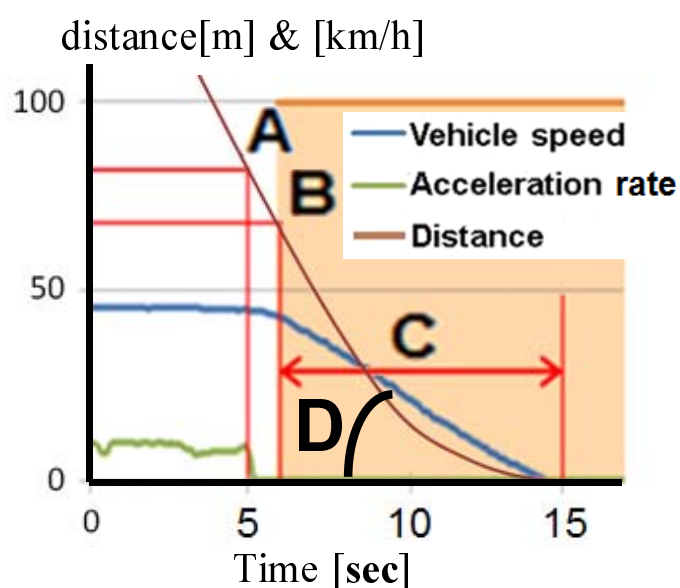


図 6-12 通常ブレーキが踏まれた時の特性

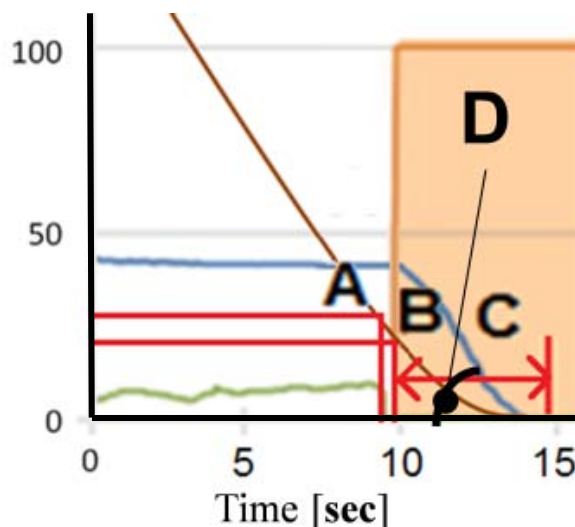


図 6-13 突然のブレーキ操作のときの特性

6.4 実験の方法

6.4.1 被験者

被験者として，社内で開催される稟議委員会の承認の元，10 名の被験者を選出した．10 名は，男性 8 名，女性 2 名であり，運転経験が 3 年以下の被験者は全員が 20 代で，平均年齢は 24.5 歳である．運転経験は平均で 15 年，平均年齢は 38 歳である．それぞれの被験者は，週 2 日以上運転を常時行っている．また，実験の実施日には，体調などが正常であることを確認した後，実験を実施した．

6.4.2 実験

ドライバの視線方向や視線停止時間はドライバごとに異なる可能性があること [103] [104]，さらに，6.2 項で述べたように，周辺環境がブレーキ操作の影響を与えることから，本実験では，実験を簡単化するために，図 6-14 に示す直線路を選択した．図の右側からスタートし，停止位置（Stopping Position）の場所で停止することを被験者には説明した．

図 6-15 に実験環境を模式的に示す．図 6-15 中に示した減速度開始ポイント（Starting point of deceleration）は，表 6-2 に示した平均減速度となるよう，それぞれの減速開始位置を決定した．また，運転経験の違いにより視線の滞留時間や対象への視認時間，視線移動のパターン等に影響を受けるという先行研究の結果 [46]，および，道路環境により有効視野や滞留時間が変化することを考慮し，ドライバの運転環境を極力単純化させ，運転経験，環境に差を出さないよう配慮し，被験者にはあらかじめ停止位置を示し，

確認させた後に、速度 30[km/h]、50[km/h]、70[km/h]で直線路を定速走行させた。そして、指示があるまでその速度を維持させた。制動については、佐々木らの結果 [46]から、ドライバ固有のタイミングで制動することによる制動のばらつきをなくするため、被験者は、実験者の指示したタイミング、実際には、車両に搭載したヘッドアップディスプレイによる表示とスピーカーからの音により制動開始を指示した。被験者はこの指示に従って制動を開始し、停止位置で停止するようブレーキを操作させた。ブレーキ操作の方法については、特に指示をせず、被験者に任せた。第 3 章に述べた漫然度については、実験が走行開始から数十秒と短時間であり、特に考慮はしていない。ヘッドアップディスプレイ上の表示サイズは、第 2 章の視認性の特性から、十分視認が可能となる大きさとした。また、第 4 章で使用した警報音の考え方と同様、第 2 章で述べた聴力特性を考慮し、制動開始を示す音は年齢によって差が少ない 1[kHz]にピークを持つ音源を使用した。

平均減速度は、表 6-2 に示すように、初期速度により小さい場合のほうが小さく、初期速度が大きい場合には減速度が大きくなることを考慮して初期速度が 30km/h のときには小さい範囲で、50km/h、70km/h の時には次第に大きい範囲で実験することとした。減速度の決定については、被験者が余裕を持って車両を制御できるよう、0.4 G 以下の平均制動減速度となるように決めた。また、この表に従って被験者は、3 つの異なる初期速度で、8 つの異なる平均減速度の実験を計 24 回実施した。なお、減速度については被験者が制動を指示される位置を予見することを防ぐために、ランダムな順番となるよう減速位置を被験者に示した。

図 6-15 中の減速開始位置 d (Starting point of deceleration) は、初期速度 (Initial Speed) v_0 と平均減速度 a を用いて、式(4)のように計算できる。

$$d = -\frac{1}{2} \frac{v_0^2}{a} \quad (4)$$



図 6-14 走行環境

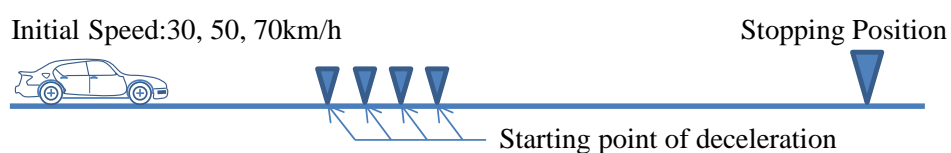


図 6-15 車速と減速，停止位置の関係

表 6-2 試験に用いた平均速度

初期 速度 [km/h]	平均減速度 [G]							
	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp.5	Exp.6	Exp.7	Exp.8
30	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250
50	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300
70	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350

被験者には，停止位置で停止した直後に，停止操作をした時に感じた安心感と不安感について，表 6-3 に示す 5 段階の指標 (Feeling Level) で回答させた．安心感と不安感の指標間のレベル合わせは被験者間で特に行っていない．また，本実験での計測は各項目について被験者 1 回だけ実施した．これは，被験者が加速度に慣れてしまい，安心感と不安感といった感情に影響することを除くためである．

表 6-3 フィーリングレベル

フィーリングレベル	感じ方
2	非常に安心
1	やや安心
0	どちらでもない
-1	やや不安
-2	非常に不安

6.5 結果

6.5.1 減速度とフィーリングレベルとの関係

図 6-16 (a), (b), (c)に, それぞれ初期速度 30 [km/h], 50 [km/h], 70 [km/h]の時の 10 名の被験者のフィーリングレベルの結果を示す. 図は, それぞれの被験者が回答したフィーリングレベルを加算した棒グラフとして示している. フィーリングレベルは, 減速度の増加に伴い不安を感じる割合が多くなっていることがわかる. 例えば, 初期速度 30 [km/h]の時には, 0.125 [G]以下, もしくは, 0.2 [G]以上の時には, 安心感もしくは不安感の指標を申告した被験者が多数に及び, それらの間では混載していることが分かる. しかし, これらのデータには多数の安心感の中に不安感を抱いているという例外のデータもあった. この傾向は, 図 6-16 (a), (b), (c)でも同様の結果である.

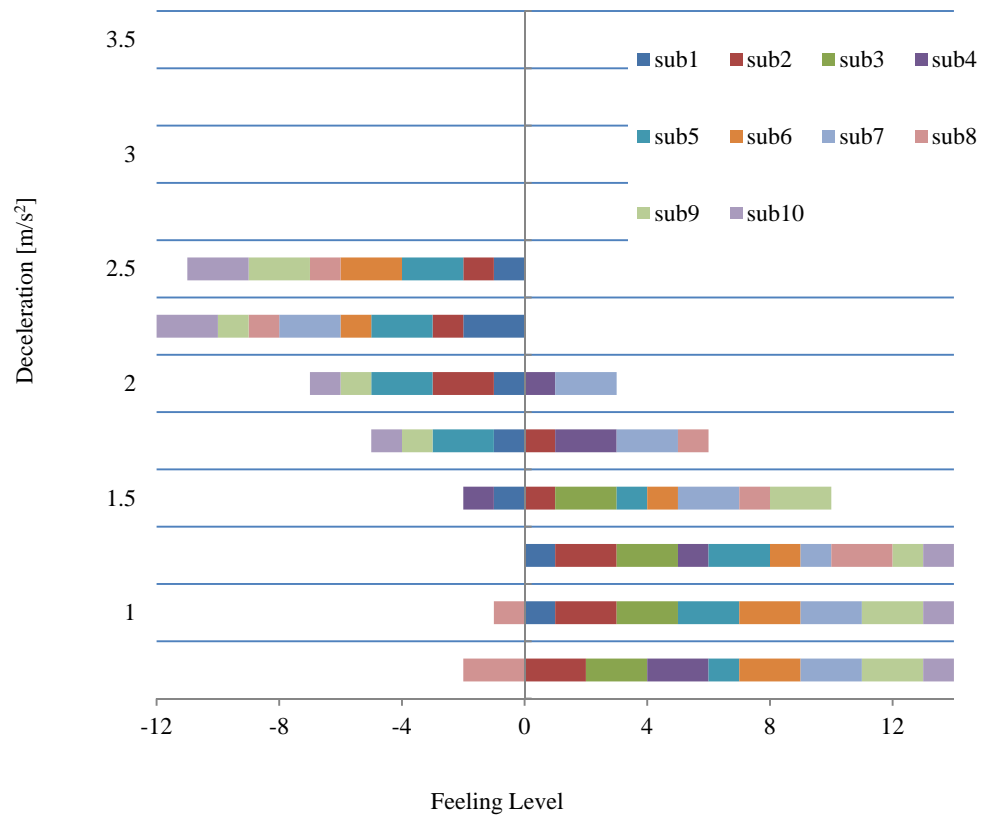


図 6-16 (a) 初期速度 30km/h の時の停止時の感想

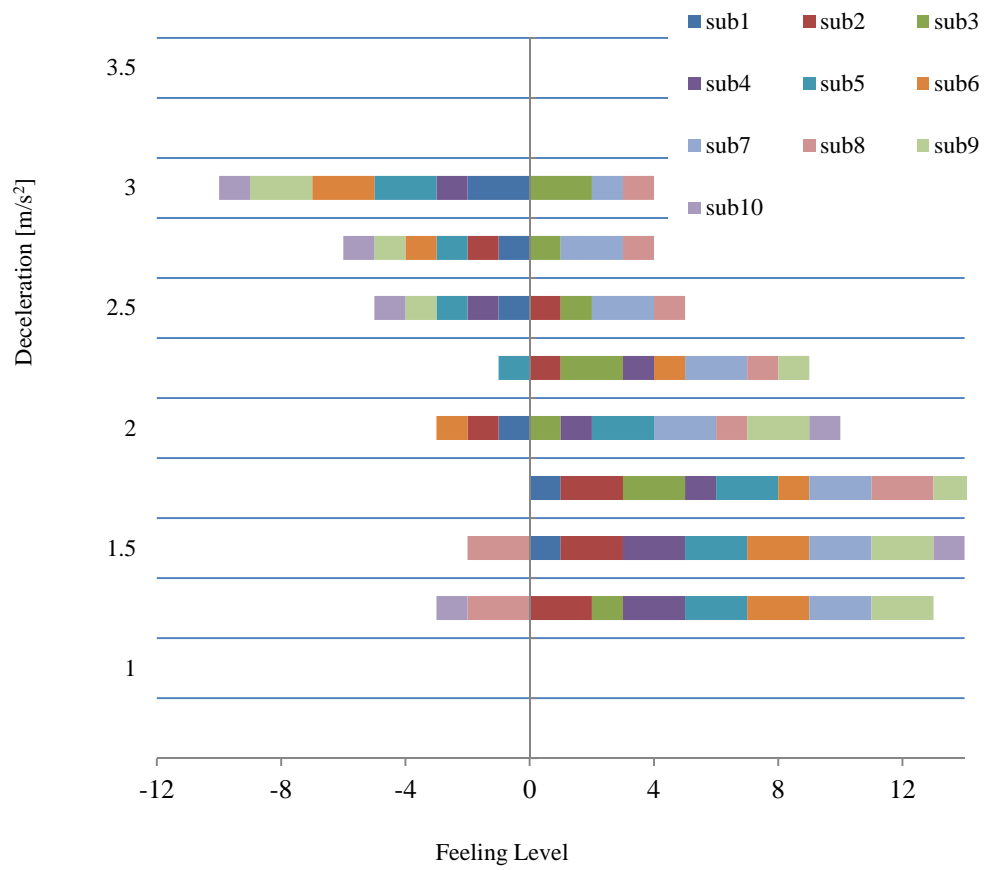


図 6-16 (b) 初期速度 50km/h の時の停止時の感想

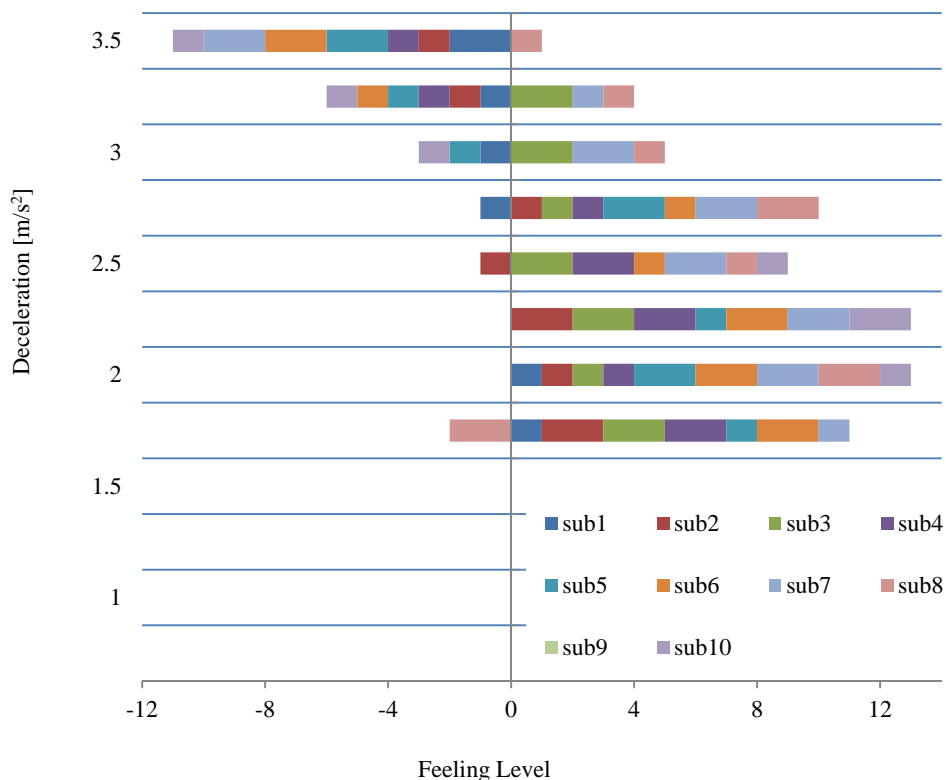


図 6-16 (c) 初期速度 70km/h の時の停止時の感想

初期速度に関するフィーリングレベルの相関係数を各被験者について求めた結果を表 6-4 に示す相関係数の求め方について Sub1 の 30 [km/h] を例に説明する. 図 6-16(a) より, Sub1 の減速度ごとのフィーリングレベルの偏差と, 減速度の偏差を掛け合わせたものを共分散 $CV_{Sub1, 30km/h}$ とする. Sub1 のフィーリングレベルの標準偏差 SDF と減速度の標準偏差 SDD を掛け合わせたもので共分散 $CV_{Sub1, 30km/h}$ を割り算した値を, Sub1 の 30 [km/h] における相関係数 RC とした. 式(5)に相関係数を求める式を示す.

$$RC = CV_{Sub1, 30km/h} / (SDF * SDD) \quad (5)$$

図 6-16(a), (b), (c) は, 各減速度に対して被験者が回答した **Feeling Level** の積み上げ値を示す. 各被験者の回答が分かるように棒グラフ中に個別の積み上げ値を明示した. 以下, このグラフを用いて, 初期速度ごとに特徴を解明する.

初期速度が 30 [km/h] の時の減速度に関する相関は, 被験者 Sub8 以外は, 相関係数が 0.3 以上であり, 減速度に対してフィーリングレベルは相関があることがわかる. また, 相関係数が 0.3 であった被験者 Sub. 3 と 0.62 であった被験者 Sub7 を除くと, 相関係数は 0.76 以上となり, フィーリングレベルは減速度に対して強い相関があることがわかる.

初期速度 50 [km/h]と 70 [km/h]に対しても同様に求め、強い相関のあるデータを用いてフィーリングレベルの平均値を求めた結果を図 6-17 に示す。図 6-17 から、被験者の感じるフィーリングレベルは初期速度が一定の場合、減速度の増加に伴いほぼ線形で減少することが分かる。

また、図 6-17 中に示した直線は、それぞれの初期速度におけるフィーリングレベルの線形近似直線である。図 6-18 に、近似直線のフィーリングレベルがゼロの時の値、つまり、被験者が安心と感じる境界を示す。初期速度が大きいときには大きい減速度まで安心感を保っていることが分かる。つまり、初期速度が大きい場合には、強い減速度をかけたとしても、ドライバは不安を感じることは少ないと言える。

表 6-4 フィーリングレベルの初期速度に対する相関係数

	30km/h	50km/h	70km/h
Sub1	-0.76376	-0.92457	-0.96225
Sub2	-0.87287	-0.68252	-0.7836
Sub3	-0.87287	0.412393	-0.38576
Sub4	-0.30242	-0.9084	-0.86453
Sub5	-0.85559	-0.90726	-0.78386
Sub6	-0.97348	-0.86225	-0.94882
Sub7	-0.62012	-0.57735	-0.54595
Sub8	0.021502	0.639002	0.455016
Sub9	-0.90851	-0.91721	-0.90144
Sub10	-0.96271	-0.50022	-0.69924

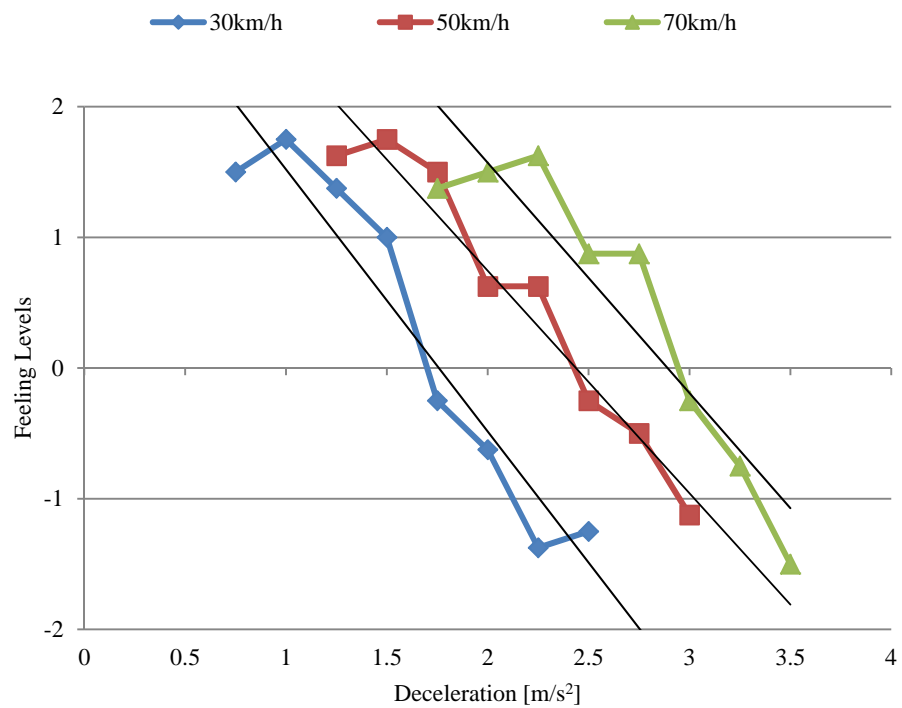


図 6-17 減速度に対するフィーリングレベル平均値

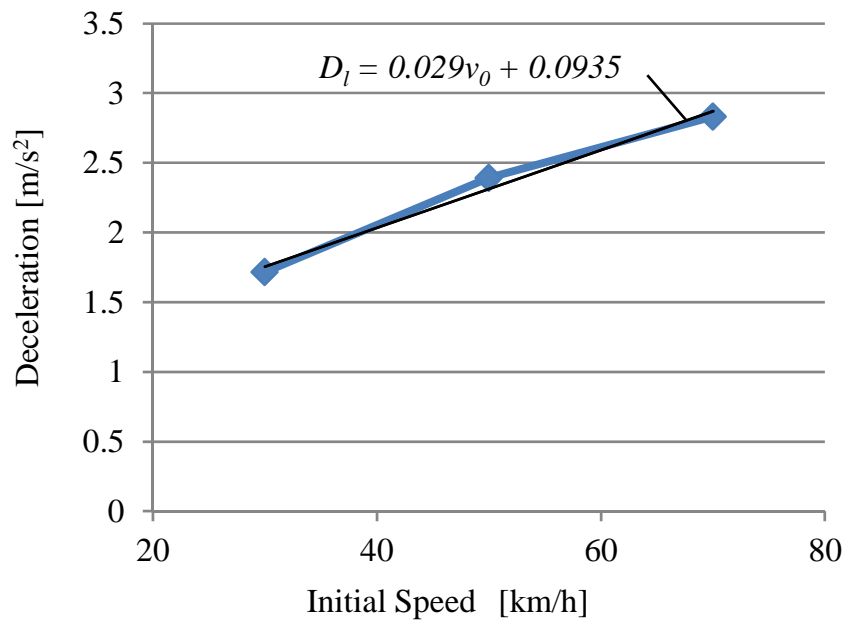


図 6-18 初期速度に対する安心感の限界減速度

6.5.2 減速度の減速度波形

これまで、減速度に関するフィーリングレベルが強い相関があるデータについて、その特性を解析してきた。一方、表 6-4 に示したように、相関がないと判断したデータが存在する。これらのデータを解析するために、減速度と時間の関係について立ち返って解析する。図 6-19(a) に、被験者 Sub5 の初期速度 70 [km/h]，平均減速度が 0.2 [G] の時の減速度の時間変化を示す。この時のフィーリングレベルは 2，つまり、自分のブレーキに対して不安を感じていないときの波形である。被験者 Sub5 は、時間 0 でアクセル制御からブレーキをかけるためにブレーキに足を移行させ、time = 1.73 [sec] でブレーキをかけ始め、さらに、減速度が最大減速度の値 D_{max} になる時間 t_a の間、減速度を増加させ、それ以降緩やかに減速させている。

また、図 6-19(b) は、Sub5 の初期速度 30 [km/h]，減速度 0.175 [G] の時の減速度の時間変化を示す。この時のフィーリングレベルは -2 つまり、不安を感じたと回答している。

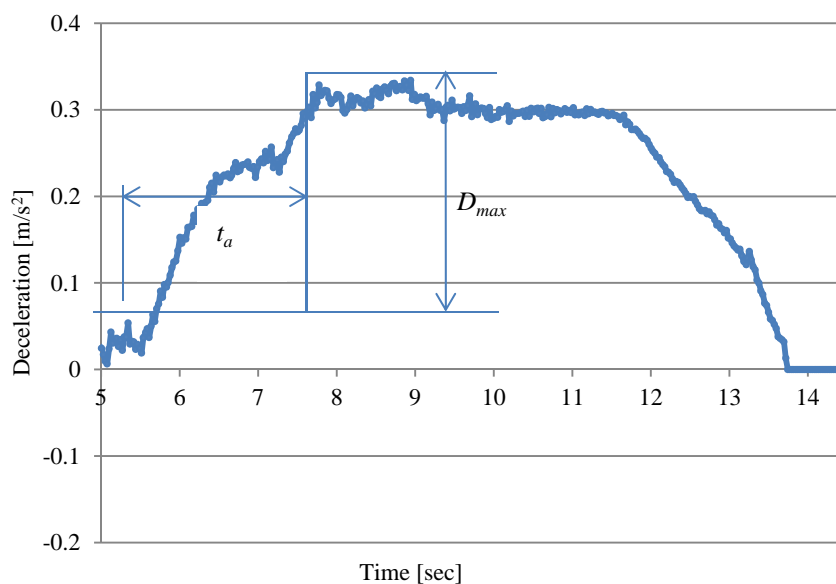


図 6-19 (a) 被験者 Sub5 の減速度の時間変化（平均減速度 0.175G）

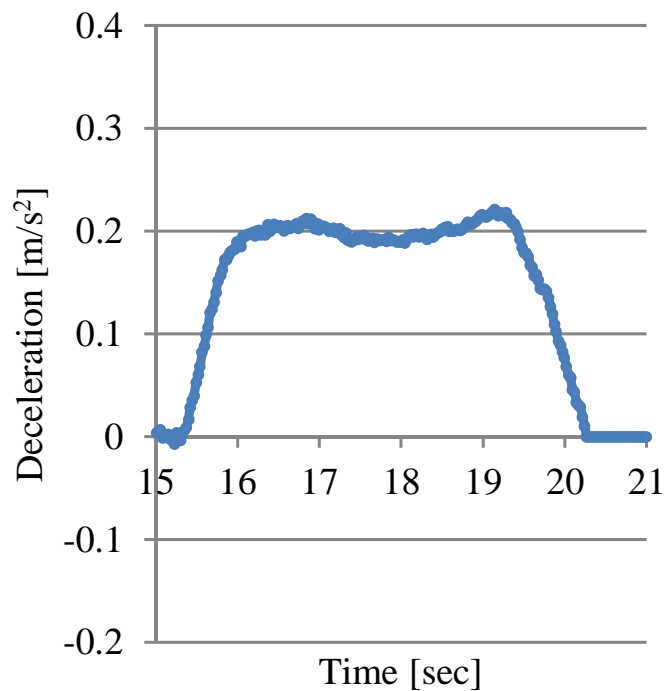


図 6-19(b) 被験者 Sub5 の減速度の時間変化（平均減速度 0.15G）

一般に，加速度を時間で割った値は加加速度と呼ばれるが [105] [106]，本実験では，このブレーキを踏み始めた後に現れる感性の加加速度 IJ（Impression Jerk）を式(6)で示す関数として定義し，フィーリングレベルとの関係を調査した．

$$IJ = \frac{D_{\max}}{t_a} \quad (6)$$

ここで，

最大減速度 D_{\max} ：ブレーキを踏み始めた後に現れる減速度の最大減速度の値 [G]

最大減速度域時間 t_a ：ブレーキを踏み始めてから D_{\max} に達するまでの時間 [sec]
である．

6.5.3 感性の加加速度の特性

図 6-20 に，初期速度 30 [km/h] と 50 [km/h]，70 [km/h] の時の被験者 Sub5 の感性の加加速度に対するフィーリングレベルを示す．これまでの分析で，初期速度によりフィーリングレベルが変化すると考えていたが，感性の加加速度を指標として求めることにより，安心感と不安感がはっきりと分けられることがわかった．

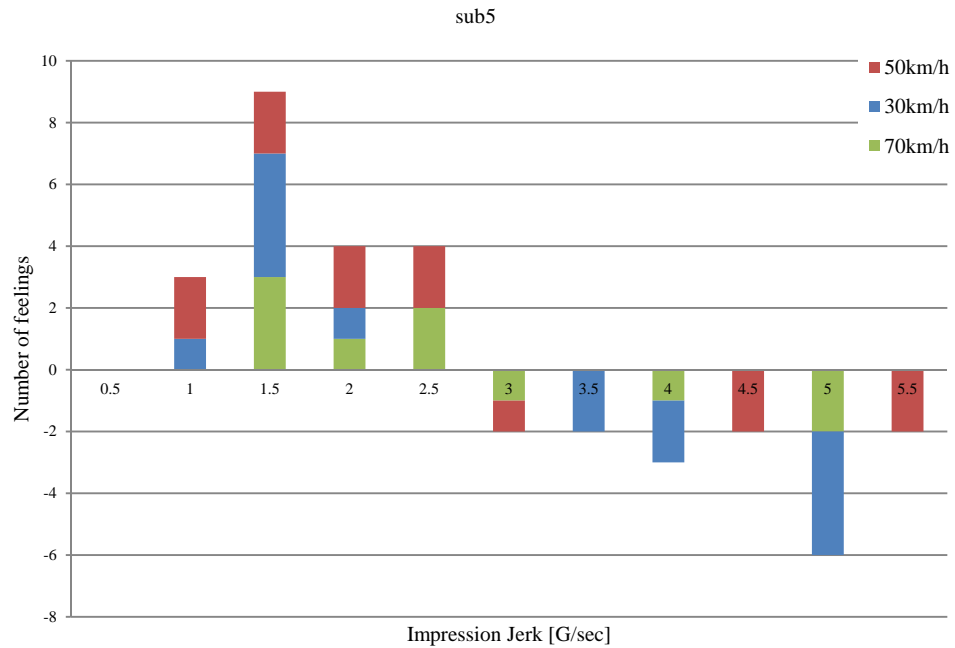


図 6-20 Sub5 の感性の加加速度に対するフィーリングレベル

確認のため、図 6-20 と図 6-21 に、被験者 Sub7 の感性の加加速度に対するフィーリングレベルを示す。Sub7 は、これまでの分析の結果、平均加速度とは相関がないと考えていた被験者であるが、感性の加加速度を導入することにより、不安感と安心感を生じさせる境界をはっきりと示すことができる。また、図 6-22 は、Sub10 の初期化加速度に対するフィーリングレベルであり、前述した通り、フィーリングレベルは明確に安心感と不安感で分離できる。

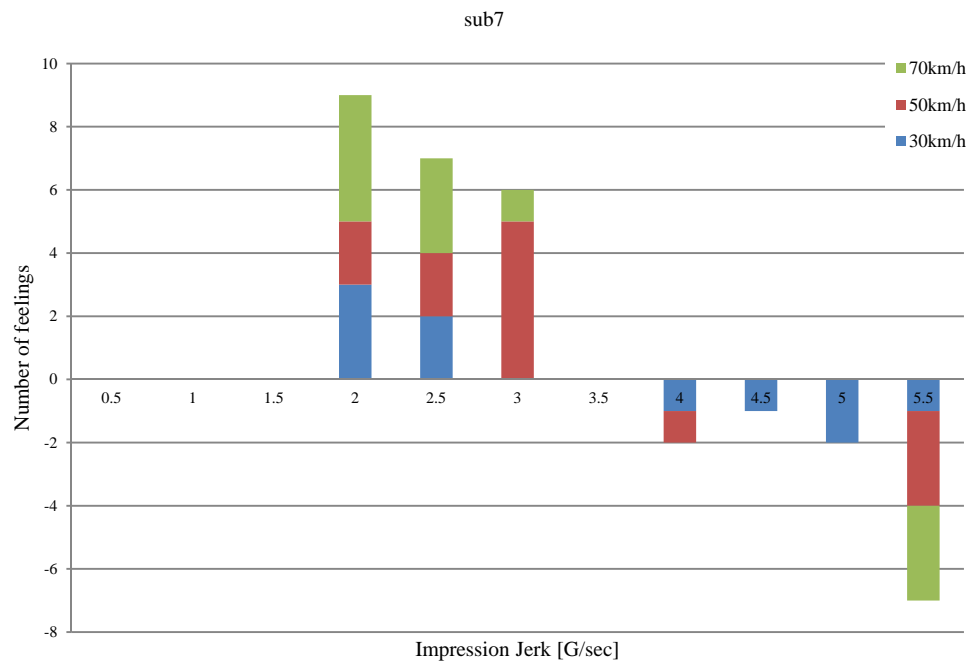


図 6-21 Sub7 の感性の加加速度に対するフィーリングレベル

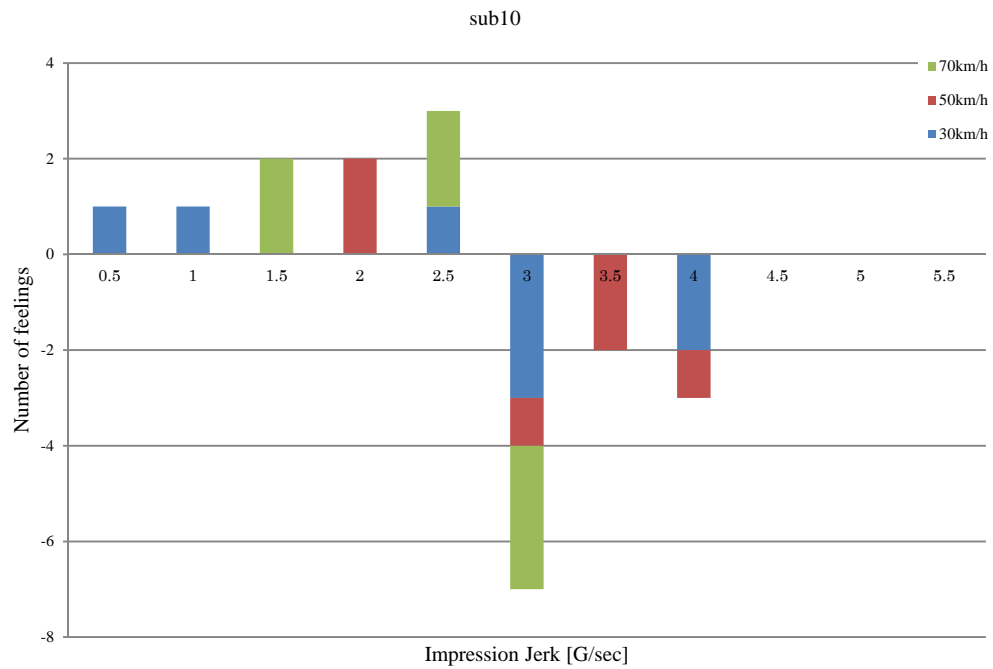


図 6-22 Sub10 の感性の加加速度に対するフィーリングレベル

6.5.4 まとめ

本実験で、Jerk がブレーキングにより最初に最大値を迎える Jerk 値をブレーキングからその時までには要した時間で割った、「感性の加加速度 (Impression Jerk)」と定義し、この新しい変数を使うことにより、ドライバがブレーキングに対して感じる安心感と不安感を判別することができることを示した。

以上述べたように、ドライバが停止に向けた制動をかけているときには、不安感と安心感を抱く場合がある。本論文は、その違いを解明するために、加速度に着目し、実験を行った。得られ結果は以下の通りである。

1. 減速度の大きさにより安心感と不安感が発生する。
2. 減速度が大きい場合と小さい場合とで比較すると、減速度が小さい場合の方が小さい減速度で不安を感じる割合が大きい。
3. 初期スピードが大きいほど、不安を感じ始める減速度は大きい。
4. 新たに導入した最大減速度を、ブレーキを掛け始めた時間から最大減速度に達するまでの時間で割った値、すなわち「感性の加加速度」により不安を感じる値と安心を感じる値を分離できる。

本実験の結果として、個人ごとに安心を感じる感性の加加速度は異なることが分かった。これは、個人差の要因であるとともに、自動車の運転にどの程度慣れているかについても相関がある可能性がある。今後は、個人差の要因について調査するとともに、制御へ反映する。

なお、本項の内容は、電子情報通信学会に報告の論文 [107]、ならびに、2015 年 ITS 世界会議での報告 [108]、2016 年 SAE での発表 [109]を再構成したものである。

第7章 結言

本研究では、ドライバの安心感にフォーカスし、車載機器のドライバが感じる安心感の解明とその応用を目指し、ドライバが機器からの情報に嬉しさを感じる時間帯をもとに、入力装置、表示装置に必要となる要因を、階層的クラスタ分析を用いることで求めた。さらに、ドライバのブレーキ操作に対する安心感、不安感の要因を分析し、感性の加加速度（Impression Jerk）という新たな指標により個人の感覚を分類できることを示した。

以下に本論文についてまとめる。

これまで行われてきた人の特性に関する研究の中で、特に、視力、聴力について調査した。人の有効視野は、1 mmのサイズが視認できている領域として、おおむね水平方向で35度、垂直方向で23.5度ある、この結果をもとに、本研究で実施するドライビングシミュレータの画面は、この範囲が含まれる画面で実験を行った。また、聴覚については、加齢による聴力の特性が2kHz以下では10代と50代の差は10dB以下であることから、本研究に使う音は1kHzをピークに持つ波形とした。（第2章）

また、事故要因を調べると、漫然状態での事故が減少していないことに着目し、漫然状態で起こるメカニズムを推測し、本研究の中で実施した実験には、漫然にならないよう、被験者に漫然状態がありうることを予め知らせて、時間的に短時間な実験とすることでドライバが正常に運転している際に感じる安心感について研究できるように実験環境を整えた。この、ドライバ状態を測定するための現在の研究内容調査では、一つの指標で検出できる項目は少ないことがわかり、センサのフュージョンにより状態検出を実現することが今後望まれることが分かった。（第3章）

車両からの危険提示をドライバが嬉しいと感じるのは、報知後の嬉しさの聞き取り調査結果をT検定した結果、衝突予想時刻（Time To Collision = 0）から4秒から7秒前に与えられる情報であることが分かった。7秒より前の情報提示では、ドライバは情報をわずらわしいと感じ、4秒より後の情報提示では、ドライバは情報に対して有用性（嬉しさ）を抱かないことが判明した。本研究の結果、今後実験する内容については、この時間帯で使用したり、情報を取得したりすることを前提として、安心感の定義を行った。（第4章）

入力機器に対する安心感を生じさせる要因を解明するため、入力機器の設計経験者とHMIに関する研究開発者からなる専門家チームを組織化し、入力デバイスとして、ハプティックデバイス、音声入力、ステアリングスイッチ、ジェスチャ入力について、ドライバが使用時に必要とされる要因を抽出した。その結果、58項目の要因を収集した。この要因を、日本人間工学会が提案しているUDマトリックスの6分類に照らし合わせて、各

要因間の類似性を、7 件法を用いて評定し、多次元尺度更生法を用いて要因間のユークリッド距離を求めた。また、Ward 法による階層的クラスタ分析を用いて同様の意味合いになる要因を分類した。その結果、26 の因子が入力機器の結合要因であることを結論付けた。この中には、「動く速さが適切である」、「言葉でコミュニケーションが取れる」などが含まれる（第 5 章 5.2）。以上のことから、入力機器を開発する際に、26 の因子により搭載機器を評価することで、ドライバにとって安心感を抱く装置となっているかが判断できる。

同様に、ディスプレイ機器の安心感についても、専門家チームを組織化し、入力デバイスと同様の検討を行った結果、18 の因子を抽出した。これらの因子としては、「気づきやすい」、「理解しやすい」などが含まれている。さらに、これらの因子の影響度を実際の機器で検証するため、後方支援機器に対する 18 因子に関する探索的因子分析を行った。この結果、「分かりやすさ」、「取り扱いやすさ」、「運転の阻害をしない」が安心感として影響度が大きいと分類された。このことから、対象とする機器により、抽出した因子の影響度が異なることが推測できる。従って、機器を開発するときには、これらの因子の影響度を予め検証した後、安心感についての評価をすることが望ましい。

本研究により、自動車に搭載される入出力機器に対するドライバの安心感の要因を明確化することができ、機器の開発において、これまでは漠然と使いやすさやクリック感の良さなどで決定していた設計指標を安心感といった新たな嬉しさに対して明確化することができた。ただし、これらの指標は、ディスプレイに対する節で検討したように、機器ごとにその影響度は異なることから、機器ごとに割り当てられた機能を明確化した後、影響度を算出して安心感を得るために着目すべき要因を決定する必要がある。また、本研究で対象とした被験者には、体調が普段通りであることを確認した後実験に取り掛かった。つまり、ドライバの体調が通常の状態であることが前提となっており、覚醒度が下がった場合や、危険が迫ってきている時にはどのような因子が安心感に影響するかについては今後検討を進める必要がある。

以上の研究より、入出力機器が醸成する安心感の要因が明確となったが、「危険を回避する手段・対策をとって安全性を高めても、人は安全になった分だけ利益を期待してより大胆な行動をとるようになるため、結果として危険が発生する確率は一定の範囲内に保たれる」という理論：リスクホメオスタシス理論 [110] [111] が発表されているが、本研究により得られた安心因子を実現したデバイスを制作してドライバの行動観察をすることで、安心に関しても同様のことが生じるかについては別途検討が必要である。

さらに、自動運転時代に自動車の制動に対する安心感を探るため、手動運転時、ドライバ自身がかけた制動に対する安心感についての調査を行った。安心感の実験の前に、ドライバの体調がどのようにブレーキングに影響を及ぼすかについて実験を行ったところ、体調の悪い時、実車環境では、速度が 5 [km/h] 以下となった時から停止するまでの距離が、体調が通常の場合に比べて長くなるという傾向があることがわかった。また、

通常の停止距離と比べて、出現頻度が 2σ のときには、一致率（体調が悪い時に悪いと判断する割合と体調が普段と同じと判断する割合の平均値）が70%を上回り、通常の体調でないと判断できることを示した。また、ドライバの安心感については、これらの知見をもとに実験環境を作り、ドライバが、指示した場所で制動を開始し、あらかじめ決められた場所で停止するという実験を異なる平均減速度について行ったところ、初期速度が大きいほど、平均減速度で安心を感じる減速度は大きいことが分かった。さらに、減速度が最大となった時の値を、制動を開始した時刻から減速度が最大となった時刻までの時間で割った値として新たに、「感性の加加速度（Impression Jerk）」という指標を定義することで、制動をかけ始めるスピードによらず安心感と不安感を分類できることを示すことができた。

この感性の加加速度の発見により、縦方向に制動する減速度について、個人差はあるが、個人の安心感は一律に定義できることが分かったが、普段の運転から、安心感と不安感を分ける境界線を特定して制御に生かす必要があり、普段の運転をいかに数値化するかという研究も望まれる。また、この研究を制御の開発に展開する必要がある。さらに、旋回、車線変更など、横方向の加速度がドライバにかかる場合にも、安心感と不安感は存在するものと思われる。これらの解明についても研究を進める。

謝辞

本論文は、筆者が愛知県立大学大学院博士後期課程情報科学科情報科学専攻課程に在学中に、小栗宏次教授、入部百合絵講師の指導の下に行った研究成果をまとめたものである。本研究の遂行にあたり、多くの方々のご指導、ご協力をいただきました。

指導教官である愛知県立大学情報科学科 小栗宏次教授には、終始懇切丁寧にご指導いただき深く感謝いたします。人間工学の分野において、非常に困難な、人を相手にした実験や解析に的確かつ有益なご助言をいただき、適切なご指導を賜りました。また、学生の実験において、環境構築や実験の手続きなどに協力いただいた入部百合絵講師に深く感謝いたします。さらに入部百合絵講師には、国際学会での発表論文や国内論文で多大なご助言もいただきました。貴重な時間を割いていただき、ありがとうございました。また、本論文を査読いただくとともに、貴重なご教授をいただきました愛知県立大学 村上和人教授、神山斉己教授に深く感謝いたします。私が入学した当時の修士課程に在学していた早田有利氏ならびに柴田千里氏には多くの実験結果を提供していただき、その協力を深く感謝いたします。

さらに、博士課程進学之机をを与えて頂いた株式会社デンソー 徳田寛元副社長、若林宏之専務、DP-Mobility IOT の 宮地智弘室長に深く感謝いたします。さらに、忙しい時間を割き、多くの議論を共にしていただきました ADAS 推進部 情報 HMI 開発室の西井克昌室長をはじめとして、川島毅課長、河合政治担当課長、林哲洋氏、竹森大祐氏、伊藤有華里氏、久米拓弥氏、小谷彩子氏、矢倉晃氏に深く感謝いたします。

また、本研究を進めるにあたり、ドライバモデルなどで有用なご意見をいただきました、株式会社構造計画研究所 森俊勝氏、センシングの手段について現状をご紹介いただいた、SMK 株式会社 鈴木利江子氏、ドライバの状態についての議論を進めさせていただいた、産業技術総合研究所のヒューマンファクターセンター、北崎智之センター長、佐藤稔久研究チーム長、人の状態センシングの可能性に関して議論させていただいたマサチューセッツ工科大学メディアラボの石井裕副センター長にも感謝いたします。

最後に、博士課程の 3 年間、常に私を支えてくれた妻、淳子に心から感謝の意を表します。心が折れそうになった時の叱咤激励のおかげで、ここまで来ることができました。

皆様のおかげで博士論文として完成させるに至りました。ここに謹んでお礼申し上げます。

2016 年 12 月
田中 裕章

参考文献

- [1] 安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会, “報告書,” 文部科学省, http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/anzen/houkoku/04042302.htm, Apr., 2004.
- [2] GAZOO, “よくわかる自動車歴史館,” 自動車の歴史 ～年表～, https://gazoo.com/car/history/Pages/chronological_table.aspx, 参照: Jul. 2, 2015.
- [3] 自動車工学全書 1 巻, “自動車の歴史と社会,” 自動車工学全書編集委員会, 山海堂, 1975.
- [4] エリックエッカーマン, “自動車の世界史,” グランプリ出版, 1996.
- [5] 佐々木烈, “日本自動車史 II,” 三木書房, 2009.
- [6] 柵木充彦, “自動車における安全技術の現状と将来,” デンソーテクニカルレビュー, Vol.12, No.1, pp.12-22, 2007.
- [7] 平成 17 年 2 月 18 日 自動車事故対策機構, “スタビリティ・コントロール・システムの効果についての調査結果,” 自動車事故対策機構, Feb., 18, 2005, <http://www.nasva.go.jp/gaiyou/documents/050218.pdf>, 参照: Oct. 1, 2016.
- [8] 森田和元, “ドライバを支援する予防安全システム,” 交通安全環境研究所講演会資料, <https://www.ntscl.go.jp/kouenkai/h22/22-06.pdf>, 平成 22 年 7 月 22 日.
- [9] 稲垣俊之, “人と機械の共生のデザイン 「人間中心の自動化」を探る,” 森北出版, 2012.
- [10] 樋口正浩, “自動車における快適・利便製品のデンソーの取組みと将来の方向,” デンソーテクニカルレビュー, Vol. 15, pp10-19, 2010.
- [11] JAF, “ACC に関するアンケート調査,” http://www.jaf.or.jp/eco-safety/safety/environment/enq/image/201403_acc-enquete.pdf, 参照: Oct. 1, 2016.
- [12] 制作統括局 (科学技術・イノベーション担当), “SIP 自動走行システム 研究開発計画,” 内閣府, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf, 参照: Sep. 2, 2016. .
- [13] SAE, “AUTOMATED DRIVING LEVELS OF DRIVING AUTOMATION ARE DEFINED IN NEW SAE INTERNATIONAL STANDARD J3016” <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/sae-levels-driving-automation>. 参照: Jul. 27, 2016.
- [14] 関根道昭, 平松金雄, “5. 自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題,” 交

通安全環境研究所フォーラム講演概要, 巻:2014, pp.59-62, 2014.

- [15] 津川定之, “自動運転システム ー展望と課題ー,” NEDO, エネルギーITS 推進事業報告会資料, Mar., 12, 2013, <http://www.nedo.go.jp/content/100521777.pdf>, 参照: Oct.1, 2016.
- [16] NHTSA, “Human Factors Evaluation of Level 2 And Level 3 Automated Driving Concepts,” National Highway Traffic Safety Administration, “http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/CrashAvoidance/Technical%20Publications/2014/812043_HF-EvaluationLevel2andLevel3AutomatedDrivingConceptsV2.pdf,” 参照: Oct. 10, 2016.
- [17] Inland Transport Committee, “Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3),” ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3, Jan. 23, 2014.
- [18] 本間亮平, 若杉貴志, 小高賢二, “高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討 (第1報),” JARI Research Journal 201260601, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRL_q/JRL20160601_q.pdf, 参照: Oct. 9, 2016.
- [19] 稲垣敏之, “人間機械共生系: システム設計の視点と課題,” 自動車技術会シンポジウム「ヒューマトロニクス」, pp.19-24, Dec. 21, 2005.
- [20] オートパイロットシステムに関する検討会, “オートパイロットシステムの実現に必要な検事項の整理,” 国土交通省, Aug. 6, 2013, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/05/4.pdf>, 参照: Oct. 1, 2016.
- [21] 内閣府, “SIP 自動走行システム HMI タスクフォース結果報告,” 内閣府, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_22/siryo22-3-1-1-1_part1.pdf, 参照: Oct. 10, 2016.
- [22] 稲垣敏之, “自動運転における人と機械の協調,” IATSS Review, Vol.40, No.2, pp.49-55, Oct., 2015.
- [23] 日本能率協会, “自動走行の制度的課題等に関する調査研究報告書 (概要),” 平成 27 年度警察庁委託事業, <https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/jidosoko/kentoiinkai/report/gaiyou.pdf>, 参照: Oct. 1, 2016.
- [24] 松ヶ谷和沖, “目指す姿「いつもの安心・もしもの安全」を実現するシステム構成,” デンソー, https://www.denso.co.jp/ja/news/event/tradeshows/2016/files/aee16_automated_driving.pdf, 参照: Oct.1, 2016.
- [25] 平岡敏洋, 田中雅樹, 熊本博光, 泉達也, 畑中健一, “衝突回避減速度を用いた衝突リスクに評価,” 自動車技術会, Vol.40, No.2, pp.545-551, 2009.

- [26] 中谷内一也, “リスクのモノサシ—安全・安心生活はありうるか—,” NHKBOOKS, 2006.
- [27] 田代信維, “不安と葛藤 —神経症性障害と身体表現性障害—,” 九州大学出版会, pp.210, 2014.
- [28] 遠山尚孝, 尾崎真理子, “不安の心理,” 河野智信・風祭元 (編), 不安の科学と健康, 朝倉書店, pp.20-29, 1987.
- [29] 酒井幸美, 守川伸一 他, “原子力発電所に対する安心感の構造 —「安心」のイメージに関する調査をもとに—,” 原子力安全システム研究所, JOURNAL, Vol.10, pp10-21, 2003.
- [30] 高橋梯二, “食品の安心や不安をどう理解するか,” 社会文化研究センター, <http://www.agriworld.or.jp/shabunken/0823houkokusyo.pdf> , Jul. 2013.
- [31] 自動車安全運転センター, “自動運転が運転行動に与える影響に関する調査研究,” https://www.jsdc.or.jp/search/pdf/all/h13_2_1.pdf , Mar. 2002.
- [32] 日景奈津子, カールハウザー, 村山優子, “情報セキュリティ技術に対する安心感の構造に関する統計的検討,” 情報処理学会, Vol.48, No.9, Sep, pp.3193-3203, 2007.
- [33] 交通統計, “交通統計平成 25 年度版,” 交通事故総合分析センター, <http://www.itarda.or.jp/fl.php?file=tokei/mame25.pdf&n=1186>, Jul. 27, 2015.
- [34] 小美濃幸司, 白戸宏明, 遠藤広晴, 清野寛 “乗り心地に考慮したブレーキパターン,” 人間工学, Vol.42, No.3, pp.164-171, 2006.
- [35] 王峰, 佐川貫一, 猪岡光, “自動車の加減速と乗り心地の関係に関する研究,” 人間工学, Vol.36, No.4, pp.191-200, 2000.
- [36] 内田信行, “交差点での見落とし事故の発生メカニズム検証と予防安全対策の構築,” 筑波大学, 報告番号 12102 甲第 6857 号, Mar., 2014.
- [37] 高井 幸夫, 中西宏之, 萩野健治, “しっかり安心とを感じるブレーキフィーリングの実現(新型スカイラインへの適用),” 日産技法, Vol.49, pp32-36, 2001.
- [38] 宮本秀樹, 鈴木高宏, “速度調整操作モデルにおけるドライバー特性の解析,” 東京大学生産技術研究所, 59 巻, 3 号, 2007.
- [39] T. AZIZ, Y. HORIGUCHI, T.SAWARAGI, “Towards understanding the development of driver's mental model of a Lane Departure Warning system while driving,” Journal of Advanced Mechanical Design, Vol.8, No.3, 2014.
- [40] 趙莉, 堀洋一, “安全と乗り心地の向上を目指し加速度・ジャーク限界とドライバ指令変更を考慮したリアルタイム速度パターン生成,” 電気学会産業計測制御研究会資料, IIC-06 巻, 16-39.41-44 巻, pp.5-9, 2006

- [41] 藤原康弘, 永吉孝行, 西山義孝, 村山優子, “トラックドライバの安心に関する質問紙調査の実施,” 情報処理学会研究報告, Vol.2010-CSEC-49, No.14, 2010.
- [42] 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,” 画像表示装置ガイドライン, http://www.jama.or.jp/safe/guideline/pdf/jama_guidelines_v30_jp.pdf, Aug. 18, 2004.
- [43] 警察庁, “交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取り締まり状況について,” データカタログサイト, <https://www.npa.go.jp/toukei/koutuu48/before/tokucho/PDF/H26tokucho.pdf>, 参照: Oct. 10, 2016.
- [44] 久米拓弥, 内藤貴博, 石田健二, “車載装備を利用した漫然状態の検出および解消手法の開発,” 自動車技術会論文集, Vol.45, No.3, pp567-572, May, 2014.
- [45] 宇野宏, “人間の特性を考慮した視聴覚表示による情報提供方法,” 自動車技術, Vol.58, No.12, pp.22-27, 2004.
- [46] 佐々木政治, “自動制動装置に対するドライバの安心感に関する実験的検討,” 日本機械学会, 交通・物流部門大会講演論文集, Vol.10, pp423426, Dec. 4, 2001.
- [47] 稲垣俊之, “運転支援とセンシング: 進化がもたらす新たな課題,” 自動車技術, Vol.61, No.2, pp.16-21, 2007.
- [48] 田中裕章 他, “デンソールの HMI 技術動向,” デンソーテクニカルレビュー, Vol.18, pp85-91, 2013.
- [49] D. Walton, J. Bathurst, “An exploration of the perceptions of the average driver's speed compared to perceived driver safety and driving skill,” Accident Analysis & Prevention, Vol.30, Issue 6, pp821-830, Nov., 1998.
- [50] I. K. Yuying DING, “Research on the Influence of Distraction on Driver's Action of Following the Front Automobile,” <http://www.cit.nihon-u.ac.jp/laboratorydata/kenkyu/kouennkai/reference/No.48/pdf/2-4.pdf>, 参照: Oct. 10, 2016.
- [51] Hartman, E., “State of the Art Driver Vision Requirements,” SAE Technical Paper, Feb. 2, 1970, DOI:10.4271/700392
- [52] Hollnagel, “Human Reliability Analysis Context and Control, Academic Press, 145, 1993.
- [53] 藤森充, 上迫宏計, 川村幹也, “高速道路における頭部運動を考慮した運転者の視線計測,” 計測自動制御学会論文集, Vol.35, No.4, pp.473-479, 1999.
- [54] 鵜飼一彦, “視力と調節・屈折,” 北里大学医学部, 講義資料, <http://www.vision.phys.waseda.ac.jp/vision/koumokuPDF/10kougai/C1991.03.03.02.pdf>, 参照: Oct.1, 2016.

- [55] 総理府, “道路交通法施行規則,”
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35F03101000060.html>, 参照: Jul. 21, 2015.
- [56] L. Cushman, “Cognitive capacity and concurrent driving performance in older drivers,” IATSS Research, pp38-45, 1996.
- [57] 山中仁寛他, “自動車運転時の有効視野計測・評価法に関する研究,” 自動車技術会, Vol.68, No.3, pp92-96, Mar., 2014.
- [58] 山中仁寛他, “視覚認知作業時の有効視野評価法に関する研究,” 日本機械学会論文集, C 編, Vol.72, No.719, pp2248-2256, Jul. 25, 2011.
- [59] 社会医療法人耳鼻咽喉科麻生患者サービス改善委員会, “知っておきたい老人性難聴,”
http://www.jibiazabu.or.jp/service/pdf/k4133_vol07.pdf, 参照: Oct. 10, 2016.
- [60] 自動車総合安全情報, “先進安全自動車 (ASV) について,” 国土交通省,
<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/>, ASV(先進安全自動車), 参照: Oct.10, 2016.
- [61] 日経新聞, “運転中病死 1 年で 36 人,” 2014.2.12.
- [62] James A. Russell, “A Circumplex Model of Affect,” Journal of Personality and Social Psychology, Vol.39, No.6, pp1161-1178, 1980.
- [63] J. R.M.Yerkes, “The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation,” Journal of Comparative Neurology and Psychology, Vol.18, Issue5, pp459-482, Nov., 1908, DOI: 10.1002.
- [64] 自動車技術会, “自動車技術ハンドブック 人間工学編,” 人間工学編編集委員会, May, 2016.
- [65] 道盛章弘, “脳波 α 波解析による覚醒レベルの定量化,” 第 5 回生体生理工学シンポジウム, pp.213-216, 1990.
- [66] 佐々木信彦, 金子信也, 西田泰 他, “高速道路運転時の疲労と慣れ: 脳波特性の日変化,” 日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌, Vol.45, No.2, pp.89, Mar., 2003.
- [67] 中野倫明他, “居眠り検知のためのまばたき検出と覚醒度推定,” 電子情報通信学会技術研究報告. PRU, パターン認識・理解, Vol.95, No 44, pp. 73-80, May. 19, 1995.
- [68] 杉山和彦, 水野守倫, 中野倫明, 山本新, “画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知,” 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol. 31, No. 2, 1996.
- [69] 井上祥史, 阿久津洋巳, 立花正夫, 伊藤敏, “学習時における自律神経機能計測の試み,” 岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 第 11 号, pp.321-324, 2012.
- [70] 北島洋樹, 沼田仲穂, 山本恵一 他, “自動車運転時の眠気の予測手法についての研

- 究：第 1 報，眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について，” 日本機械学会論文集，C 編，Vol.63，No.613，pp.3059-3066，1997.
- [71] 大見拓寛，“運転者の居眠り状態評価の画像センサ，” 人工臓器，42 巻，1 号，2013.
- [72] DOT HS 808, “A Preliminary Assessment of Algorithms for Drowsy and Inattentive Driver Detection on the Road,” NHTSA,
- [73] 杉本大樹，高野博史，中村清美，“眠気度推定のための瞬目群発や単独瞬目の特徴解析，” 情報科学技術フォーラム，Vol.13，No.2，pp375-376，2014.
- [74] G. E. A. H. Roscoe, “A Subjective Rating Scale for Assessing Pilot Workload in Flight: A Decade of Practical Use,”
<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA227864>. 参照: Sep. 2, 2015.
- [75] 本間亮平他，“危険の予期が低いドライバの衝突警報に対する反応特性，” JARI，Vol.33，No.11，pp25-28，Nov. 2011.
- [76] 片倉健治，“日本の報知音が世界標準に 誰にでもわかりやすい報知音の幅広い普及に期待，” 産総研，http://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/aistinfo/aist_today/vol12_02/vol12_02_p20.pdf, 参照：Oct. 1, 2016.
- [77] Poppel, E., “A Hierarchical Model of Temporal Perception,” TRENDS in Cognitive Sciences, 1, pp.56-61, 1997.
- [78] 森田和元，関根道昭，岡田竹雄，“ドライバの認知判断に関する支援システムについて，” 交通安全環境研究所，<https://www.nts-el.go.jp/forum/18files/18-11k.pdf>, 参照:Oct.1, 2016.
- [79] マルハニチロ，“食品の「おいしさ」評価技術，” マルハニチロ，<https://www.maruha-nichiro.co.jp/laboratory/palatability/qda.html>, 参照:Oct. 1, 2016.
- [80] Makoto Wakabayashi, “Ergonomics of steering switches -Determination of proper number of steering switches and arrangement-,” International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.35, Issue11, Nov., 2004.
- [81] 岩崎、吉澤、瀬賀、平石、溝口，“車両信号による運転負荷の定量化と情報提供基準・ドライバの機器操作基準への適用，” デンソーテクニカルレビュー，Vol. 18，2013.
- [82] 井口征士，“感性情報処理が目指すもの，” 情報処理学会，Vol.35，No,9，Sep., 1994.
- [83] Koji Tsukada, “Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use,” Ubicomp 2001, Informal Companion Proceedings, Technical Report,
<http://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/3330/01-17.pdf> , pp.11-13, Dec. 2002.
- [84] 駒谷和範，河原達也，“音声認識結果の信頼度を用いた効率的な確認・誘導を行う対話

- 管理,” 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.10, Oct. 2002.
- [85] 斎藤孝之, 関連性データ解析法, 共立出版, 2006.
 - [86] 日本人間工学会, ユニバーサルデザイン実践ガイドライン, 共立出版, pp33-34, 2003
 - [87] 岡本安晴, “計量心理学,” 培風館, 2006.
 - [88] 政倉祐子, 永井聖剛, 熊田孝恒, “視覚的手がかりの印象と注意を誘導する効果との関係,” 日本感性工学研究論文誌, Vol.7, No.3, pp.517-523, 2008.
 - [89] 三浦佳世, 知覚と感性の心理学,” 岩波書店, 2007.
 - [90] T.B. Sheridan, “Automation and Human Supervisory Control,” Telerobotics, MIT Press, 1992.
 - [91] I-JUSE, “階層的クラスタ分析とは,” 日科技研, 手法一覧.
<https://www.i-juse.co.jp/statistics/product/func/ma/hierarchic-cluster.html>, 参照: Oct. 10, 2016.
 - [92] Hiroaki Tanaka, Ayako Kotani, Katsuyoshi Nishii, Yurie Iribe, Koji Oguri, “A Study of the Sense of Security needed for the Input Devices of the Vehicle in the Vicinity of the Time to Collision,” IEICE, Vol.E100-A, No.02, pp.-, Feb. 2017.
 - [93] 社団法人人間生活工学研究センター, HQL 式運転負担感受性チェックシート解説, 2003.
 - [94] 森田和元, “自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感,” 日本視角学会, VISION Vol.15, No.1, pp.7-10, 2003.
 - [95] 浅野熙彦, 入門共分散構造分析の実際, 講談社, 2005.
 - [96] Geoffrey Underwood, Peter Chapman, Karen Bowden, David Crundall, “Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene,” Transportation Research Part F, Vol5, Issue2, Jun., 2002.
 - [97] 豊田秀樹, “共分散構造分析[疑問編]構造方程式モデリング,” 朝倉書店, 2003.
 - [98] 国土交通省, “平成 23 年における事業用自動車の事故について,” 自動車事故防止セミナー, 2011.
 - [99] 樋口進, “安全運転に影響する要因,” Jpn. Alcohol & Drug Dependence, Vol.46, No.1, pp.127-139, 2011.
 - [100] 財団法人国際交通安全学会, “ドライバーの感情特性と運転行動への影響,” <http://www.iatss.or.jp/common/pdf/research/h184.pdf>, 参照: Oct. 1, 2016.
 - [101] 文部科学省, “第 2 章心のケア 各論,” 在外教育施設安全対策資料【心のケア編】, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/clarinet/002/003/010/005.htm, 参照: Oct. 1, 2016.

- [102] 佐藤稔久 他, “長時間運転疲労チェックシートの開発とドライバーの疲労タイプの分類,” 自動車技術会論文集, Vol.118, No.12, pp5-10, 2012.
- [103] M.F. LAND, D.N. LEE, “Where we look when we steer,” *Nature*,369, pp742-744, Jun. 30, 1994, DOI:10.1038/369742a0.
- [104] Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K., and Crundall D., “Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene,” *Transportation Research Part F*, Vol. 5, pp.87-97, 2002.
- [105] 辺見信彦, “ジャーク (加加速度, 躍度) の測定法,” 精密工学会誌, Vol.80, No.11, 2014.
- [106] 趙莉, 堀洋一, “安全と乗り心地の向上を目指し加速度・ジャーク限界とドライバ指令変更を考慮したリアルタイム速度パターン生成,” IIC-06-17, http://www.hori.k.u-tokyo.ac.jp/hori_lab/paper_2011/old-papers/zhaoli/iic-zhaoli.pdf, 参照: Oct.1, 2016.
- [107] Hiroaki Tanaka, Daisuke Takemori, Tomohiro Miyachi, Yurie Iribe, Koji Oguri, “Analysis of Drivers’ Anxiety and Security during the Braking of a Vehicle,” , IEICE, Vol.E100-A,No.02,pp.-,Feb. 2017.
- [108] Hiroaki Tanaka, Daisuke Takemori, Tomohiro Miyachi, Yurie Iribe, Koji Oguri, “Research on the Threshold of Scare or Secure by the Braking for Advanced Driver Assist System,” 22nd ITS World Congress (TSWC2015), ITS-1205, Bordeaux (France), 2015.
- [109] Hiroaki Tanaka, Daisuke Takemori, Tomohiro Miyachi, “Research on the Threshold of Scare or Secure by Assessing Braking in Advanced Driver Assistance System,” International SAE, 2016-01-0111, Detroit (USA), 2016.
- [110] 芳賀繁, “リスク・ホメオスタシス説—論争史の開設と展望—,” 交通心理学研究, Vol.9, No.1, pp.1-10, 1993.
- [111] Wilde, G.J.S., “The theory of risk homeostasis Implications for safety and health,” *Risk Analysis*, Vol.2, pp.209-225, 1982.

研究業績

学術論文

- (1) Hiroaki Tanaka, Ayako Kotani, Katsuyoshi Nishii, Yurie Iribe, Koji Oguri, “A Study of the Sense of Security needed for the Input Devices of the Vehicle in the Vicinity of the Time to Collision”, IEICE, Vol.E100-A, No.02, pp.473-481, Feb. 2017.
- (2) Hiroaki Tanaka, Daisuke Takemori, Tomohiro Miyachi, Yurie Iribe, Koji Oguri, “Analysis of Drivers’ Anxiety and Security during the Braking of a Vehicle”, IEICE, Vol.E100-A, No.02, pp.466-472, Feb. 2017.

国際会議（査読付き）

- (1) Hiroaki Tanaka, Daisuke Takemori, Tomohiro Miyachi, Yurie Iribe, Koji Oguri, “Research on the Threshold of Scare or Secure by the Braking for Advanced Driver Assist System,” 22nd ITS World Congress (TSWC2015), ITS-1205, Bordeaux (France), 2015.
- (2) Hiroaki Tanaka, Daisuke Takemori, Tomohiro Miyachi, “Research on the Threshold of Scare or Secure by Assessing Braking in Advanced Driver Assistance System,” International SAE, 2016-01-0111, Detroit (USA), 2016.

国内学会

- (1) 小谷彩子, 河合政治, 田中裕章, “車載 HMI 機器がドライバーの安心感に影響を与える因子の研究,” 自動車技術会 2015 年秋季大会, No.18-15A, pp.433-438, 2015.
- (2) 田中裕章, 松岡弘芝, “自動運転時のドライバーの突然の変化による補助装置,” 自動車技術会会誌, Vol.71, No.5, 6 Pages, 2017.

論文・解説

- (1) 田中裕章, “安全運転を支援するドライバー状態検知技術,” 日本交通医学工学研究会 学術総会, ‘16 医学と工学からみた交通安全対策 2025 年の社会と車, pp.10, 名古屋大学 (愛知), 2016 年 9 月 22 日.
- (2) 田中裕章, 竹森大祐, 宮地智弘 入部百合絵, 小栗宏次, “自動車の制動時の安心感に関する研究,” デンソーテクニカルレビュー, Vol.21, pp.30-36, 2016.
- (3) 田中裕章, “高度運転支援時代の HMI コンセプト,” 自動車技術会シンポジウム, 自立 (自動) 運転技術でシニアドライバ問題をどこまで解決できるか, pp.31-36, 発明会館ホール (東京), 2016 年 12 月 22 日.