

Title	SMELL PRISM : 二輪車運転者を対象とした動的環境下での嗅覚提示システム
Sub Title	SMELL PRISM : a preliminary investigation of an olfactory presentation system for motorcycle riders in dynamic environments
Author	王, 令伊 (Wang, Lingwei) 山岡, 潤一 (Yamaoka, Jun'ichi)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度メディアデザイン学 第1140号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1140

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2024 年度

SMELL PRISM:
二輪車運転者を対象とした
動的環境下での嗅覚提示システム



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

王 令維

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

王 令維

研究指導コミッティ：

山岡 潤一 准教授 (主指導教員)

陳 敦雅 准教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

山岡 潤一 准教授 (主査)

陳 敦雅 准教授 (副査)

ジュリア バルバレスキ 特任講師 (副査)

修士論文 2024 年度

SMELL PRISM:
二輪車運転者を対象とした
動的環境下での嗅覚提示システム

カテゴリ：デザイン

論文要旨

本研究では、二輪車運転者向けに嗅覚を活用した知覚拡張システム「SMELL PRISM」を提案し、その有効性およびユーザー受容性について実証的に評価することを目的とする。近年、スマートヘルメットや姿勢センサーといった新技術が、二輪車運転における安全性や快適性の向上に寄与しているが、五感のうち嗅覚は依然として十分に活用されていない。本システムは、環境センサーと嗅覚ディスプレイを組み合わせ、ヘルメット内で香りの提示を行うことにより、運転者が自然に嗅覚情報を受容できる仕組みを構築する。

本研究の特徴は、運転中の「いまここ」の環境情報を嗅覚によって補完するだけでなく、現在いる場所にしながら別の場所やシーンの空気や雰囲気を感じ取れるように拡張している点にある。たとえば、都市部から海辺へ向かう旅行者が走行を続けている途中、システムがリアルタイムに目的地近辺の気候や空気情報を取得し、海辺特有の潮の香りや開放的な雰囲気をあらかじめヘルメット内に提示する。これにより、海岸へ到着する前の段階から「海辺にいる」ような感覚を擬似的に体験でき、運転者のワクワク感や臨場感が高められる。また、土や草といった自然環境の香りを特定の状況下で提示することで、視覚・聴覚に加えた嗅覚情報の融合による豊かな運転体験を提供する。

嗅覚は五感の中でも独特な生理的・心理的特性を持ち、危険の早期察知や情動・記憶の喚起といった重要な役割を担う。しかし、ヘルメットの密閉性などの要因

から、二輪車走行時に運転者が得られる嗅覚情報は大きく制限される。「SMELL PRISM」は、この制限を克服するために、センサー技術と香りディフューザーをヘルメットに組み込み、必要に応じて多様な香りを届ける仕組みを実現している。これにより、走行環境だけでなく目的地や別のシーンの空気を「先取り」して感じられるという、新しい運転支援のコンセプトを打ち出す。

本研究は、環境科学・センサー工学・人間工学・デザイン学などの学際的な観点を融合し、以下の点で学術的・実践的意義を有する。第一に、嗅覚を介した情報提示が、二輪車運転者の環境認識や体験価値、運転パフォーマンスへどのような効果をもたらすかについて、定量的・定性的なデータを提示することで、人間工学や知覚科学の領域に新たな知見をもたらす。第二に、嗅覚センサーと香りディフューザーの一体化を通じて、新たなインターフェースデザインの可能性を示すとともに、今後の運転支援デバイス設計における指針となり得る知見を提供する。第三に、ユーザー受容性や実際の走行時における使用感を検証することで、香りによる情報提示が持つ課題と可能性を具体的に示し、将来的なプロダクト実装への見通しを立てるための基礎を築く。

本研究は、嗅覚を活用した知覚拡張が二輪車の運転体験を質的に向上させるだけでなく、「今いる場所」にしながら「別の場所」の空気や雰囲気を感じ取るという新たな体験価値を生み出し得ることを示す。さらには、運転者の認知や行動、心理状態への理解を深め、より安全で充実したライディングを実現するための基盤となる点に大きな意義がある。本研究の成果は、運転支援技術の新しい可能性を開拓し、より豊かなモビリティ社会の実現に貢献すると期待される。

キーワード：

嗅覚提示, 知覚拡張, センサー技術, 人間中心設計, イノベーション

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

王 令維

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

SMELL PRISM:
A Preliminary Investigation of an Olfactory Presentation
System for Motorcycle Riders in Dynamic Environments

Category: Design

Summary

In this study, we propose a perceptual augmentation system for motorcycle riders, called "SMELL PRISM", which harnesses the sense of smell, and we empirically evaluate its effectiveness and user acceptance. Although emerging technologies such as smart helmets and posture sensors have contributed to enhanced safety and comfort in motorcycle riding, the sense of smell among the five senses remains underutilized. By integrating environmental sensors with an olfactory display, our system delivers scents within the helmet, enabling riders to naturally perceive olfactory information.

A key feature of this research is that it not only supplements real-time environmental information through olfaction but also expands the rider's experience, allowing them to sense the atmosphere of a different location or scene while physically remaining in their current environment. For example, when a rider travels from an urban area toward the seaside, the system can acquire climate and air quality data from the intended destination in real time. It then introduces scents characteristic of coastal regions—such as salt air and a refreshing sense of openness—into the helmet in advance. As a result, the rider can experience the feeling of "already being at the coast," thereby heightening excitement and immersion

prior to actual arrival. Additionally, presenting scents reminiscent of natural environments—such as soil or grass—under certain conditions enhances the riding experience by integrating olfactory cues with visual and auditory information.

The sense of smell possesses unique physiological and psychological properties compared to other senses, playing pivotal roles in early danger detection, emotional arousal, and memory recall. However, factors such as the enclosed structure of helmets severely limit the olfactory information available to motorcycle riders. To address this limitation, SMELL PRISM incorporates sensor technology and scent diffusers into the helmet, enabling a range of scents to be delivered as needed. This design not only conveys the immediate environment but also introduces a novel concept of “anticipatory experiences”, allowing riders to sense the air of their destination or other scenes in advance.

From an interdisciplinary standpoint—encompassing environmental science, sensor engineering, human factors, and design studies—this research makes both academic and practical contributions in several ways. First, by providing quantitative and qualitative data on how scent-based information influences riders’ situational awareness, perceived experience value, and riding performance, this study offers new insights to fields such as ergonomics and perception science. Second, the integration of olfactory sensors and scent diffusion technology demonstrates new possibilities in interface design, offering guidance for future development of riding support devices. Third, evaluating user acceptance and real-world usability clarifies the challenges and potential of scent-based information presentation, establishing a foundation for future product implementation.

In conclusion, this research demonstrates that leveraging olfactory perceptual augmentation not only enhances the quality of the motorcycle riding experience but also generates a novel experiential value by allowing riders to perceive the air and ambiance of a different location while remaining in their current environment. Furthermore, it contributes to a deeper understanding of riders’ cognition, behavior, and psychological states, thereby forming a basis for achieving safer and more

fulfilling riding experiences. The findings of this study are expected to pioneer new possibilities in riding support technology and contribute to the realization of a richer mobility society.

Keywords:

olfactory presentation,perceptual enhancement,sensor technology,human-centered design,innovation

Keio University Graduate School of Media Design

Lingwei Wang

目次

第1章 序論	1
1.1. 研究背景	1
1.2. 匂い、感情、場所	2
1.3. 本論文における二輪車の定義	5
1.4. 二輪車運転手のニーズと嗅覚インターフェースの必要性	6
1.5. 二輪車体験の向上と可能性	9
1.6. 既存の二輪車体験向上デバイスの現状と特徴	9
1.7. 限界と課題	13
1.8. 問題定義	14
1.9. 提案	16
1.10. 本研究の貢献領域	16
1.11. 研究目的	18
1.12. 論文構成	19
第2章 関連研究	21
2.1. 認知科学	21
2.1.1 Darkcon	23
2.1.2 Universal Scent Format	24
2.1.3 HCI	26
2.1.4 VAQSO VR	26
2.1.5 Nosulus Rift	27
2.2. 人間工学（二輪車の既存製品）	29
2.2.1 OPTICSON	29

2.2.2	CrossHelmet X1	30
2.2.3	MOTOEYE	32
2.2.4	ConnectedRide Navigator	32
2.3.	医療、福祉	35
2.4.	自動車における嗅覚インターフェースの研究と製品	39
2.4.1	メルセデス・ベンツの「AIR-BALANCE パッケージ」	40
2.4.2	アンビエント・エア・パッケージ	42
2.4.3	中国の桴之科 (Fuzhike) 社の車用フレグランスシステム	42
2.4.4	自動車における嗅覚研究の効果と限界	43
2.5.	既存研究の不足と空白	44
2.6.	本研究の位置づけ	46
第3章	設計と実装	47
3.1.	コンセプト	47
3.1.1	目的地環境の香りシミュレーションと先読み提示	49
3.2.	本研究における精油の選定と使用目的	50
3.2.1	安全性について	50
3.3.	第1プロトタイプ	52
3.4.	設計 (Hardware components)	53
3.4.1	センサー	53
3.4.2	制御	56
3.4.3	出力	58
3.4.4	可視化、UX、連携	59
3.4.5	実装	60
3.4.6	過酷な使用環境への考案	61
3.4.7	総括	62
3.4.8	展示	64
3.4.9	意見に基づく思考	66
3.5.	第2プロトタイプ	66
3.5.1	拡張	67

3.5.2	連携	69
3.5.3	GPS	70
3.5.4	環境適応型 GPS アルゴリズム	71
3.5.5	ヘルメット内部への安全・快適なアロマ供給	74
3.5.6	エアーポンプ・環境感知・GPS の統合動作解析	76
3.5.7	評価と考察	77
第 4 章	評価	82
4.1.	研究の目的	82
4.2.	評価方法	83
4.2.1	実験デザイン	83
4.2.2	参加者	83
4.2.3	実験環境と機器	85
4.2.4	香りの選定と提示方法	85
4.2.5	実験手順	87
4.2.6	評価項目	88
4.2.7	データ分析方法	89
4.2.8	倫理的配慮	90
4.3.	実験結果	90
4.3.1	環境認識能力の評価	91
4.3.2	運転体験の質の評価	91
4.3.3	短期記憶能力の評価	92
4.3.4	認知的負荷の定量的評価	92
4.3.5	ユーザビリティの評価	93
4.3.6	定性的なフィードバック	94
4.3.7	運転経験の有無による差異	94
4.3.8	デバイスの性能評価	94
4.4.	アンケート調査の設計	95
4.4.1	アンケートの配布場所	96
4.4.2	アンケートツールと設計の特徴	97

4.4.3	アンケート内容の構成	97
4.4.4	アンケート内容	100
4.4.5	調査結果	102
4.4.6	Cronbach's Alpha 係数の検証	104
4.4.7	自由記述からのフィードバック	104
4.5.	議論と考察	105
4.5.1	革新性の核心	105
4.5.2	予期しない結果	106
4.5.3	実験デザインの限界	107
4.5.4	専門家の意見	108
4.5.5	他の研究との比較	110
4.5.6	サイズと重量に関する課題	112
4.5.7	今後の改善提案	112
4.5.8	全体的な意義	113
第 5 章	結論	114
5.1.	静から動へ：嗅覚拡張技術の新たな挑戦	114
5.2.	ユーザー適応性と産業化への道筋	115
5.3.	より広く展望	116
	謝辞	118
	参考文献	119
	付録	126
A.	Arduino Uno のコード	126

目 次

1.1	二輪車には、自然との親近感と感覚の遮断という相反する側面が存在する。高い機動性を持ち、自動車では到達できない場所にも入り込むことが可能です。しかし、ヘルメット、手袋、ライディングウェアといった装備は、感覚体験を妨げます。例えば、ヘルメットは視野、嗅覚、聴覚を制限し、手袋は触覚の敏感性を低下させ、ライディングウェアは風を感じる感覚を遮断する。	2
1.2	場所、感情、社会をつなぐ空間と感情のメディエーターとしての嗅覚	4
1.3	イギリスでは、カフェ文化と二輪車文化が相互に融合しているが、コーヒーの香りを感じ味わうためには、まずヘルメットを脱ぐ必要がある。	5
1.4	二輪車や二輪車運転手に対する評価	7
1.5	二輪車運転手が二輪車を購入した理由を複数回答で見ると、全体では「二輪車に乗ることが楽しそうだったから」が55 %と最も高く、次に「身軽に動けるから」(44 %)。複数選択した理由の中から最も大きな理由を1つだけ選択したのを見ると、全体では、「二輪車に乗ることが楽しそうだったから」が30 %と突出して高くなっており、バイクに乗ることの楽しさが購入に繋がっている様子。	8
1.6	市場で一般的な HUD デバイスの様式	10
1.7	HUD を通した実際の視野	11
1.8	SKULLY FENIX AR	12
1.9	Bosch Motorcycle Stability Control (MSC)	13

1.10	二輪車は依然として伝統的な手動クラッチとギアシフトを採用しており、車と比べて操作が複雑で、より高い集中力を求められる。	15
1.11	二輪車運転手が周囲の環境を感じるためにヘルメットを開けようとすると、虫が目や鼻などに入り込みやすくなり、運転にリスクを伴う可能性がある。	16
1.12	本研究の貢献領域	17
2.1	「お菓子のかけらのまじったひと口の紅茶が口蓋に触れた瞬間、私のなかで尋常でないことが起こっていることに気がつき、私はおもわず身震いをした。」——失われた時を求めて	22
2.2	DarkCon	23
2.3	鼻追従機能を有する非装着局所型香り提示システム	25
2.4	VASQO VR	27
2.5	Nosulus Rift	28
2.6	OPTICSON	30
2.7	CrossHelmet X1	31
2.8	出典：CrossHelmet X1 内部から見える実際の風景 [1] より引用	31
2.9	MOTOEYE	33
2.10	ConnectedRide Navigator	34
2.11	Sensonics 社の「University of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT)」	36
2.12	Odor Stick Identification Test for Japanese (OSIT-J)	37
2.13	東京大学先端科学技術研究センターにおける嗅覚情報の研究	37
2.14	「AIR-BALANCE パッケージ」	41
2.15	BMW のアンビエント・エア・パッケージ専用の固体香料カートリッジ、コンソールに挿入するだけで車内に香りを広げる	43
3.1	「SMELL PRISM」のコンセプト	48
3.2	使用される精油のひとつ：ベチバー根油	52
3.3	基盤設計	53

3.4	二輪車が「止まっているのか、走っているのか」を把握する空気流速センサー	54
3.5	GP2Y1010AU0F の検出原理：発光素子（発光ダイオード）からの光は、レンズ及びスリットにより、図の様に絞られた光になっている。又、受光素子（フォトダイオード）も不要光をできるだけカットし、検出光を効率良く受光する為、発光部と同様にレンズ及びスリットにより絞っている。これらの光軸の交叉した個所が検出領域である。	55
3.6	本研究において使用されたシャープ社製の「GP2Y1010AU0F」空気品質センサー	55
3.7	一般的に利用されている Arduino UNO、革新的な製品開発の分野においてもその利便性と可能性が広く認識され、電子工学分野における趣味的利用者から専門技術者に至るまで、幅広い層にとって理想的なツールとして位置付けられている。	57
3.8	ハードウェア設計が完了した後の「SMELL PRISM」	58
3.9	本研究において使用された中国の「Pöls」社が開発した微細粒活性炭ボール	59
3.10	第1プロトタイプの開発風景	60
3.11	構造開発ソフトウェア Ultrasim® で作った緩衝材	63
3.12	討論会の様子	64
3.13	「Flatburn」は、従来デジタル化や定量化が困難とされてきた都市環境下の「匂い」を、収集・分類・マッピングする独自の手法を導入し、人間が都市をどう感じ、そこにどのような文化的・社会的価値が内包されているかを浮き彫りにする点で新規性が高い。また、都市計画や環境デザイン、さらには地域コミュニティのアイデンティティ再考に資する定性的・定量的知見を創出し、都市政策立案者やデザイナー、住民らにとって有益な基盤を提供することを狙いとしている。	67
3.14	第2プロトタイプを展示する様子	68

3.15	第2プロトタイプの赤外線機能の開発	69
3.16	GPS モジュールをヘルメット側面に追加	70
3.17	GPS モジュールをヘルメット側面に追加 (2)	71
3.18	Waves ESP32 DevKitC V4 ESP-WROOM-32	72
3.19	第1プロトタイプと比較すると、GPS モジュールなどを追加したため、サイズがやや増加した。	72
3.20	第2プロトタイプを実験している様子	73
3.21	第2プロトタイプを実験している様子	74
3.22	香りの運搬メカニズム	75
3.23	香りの運搬メカニズム (2)	75
3.24	第2プロトタイプを展示する様子	78
3.25	第2プロトタイプの内部構造	78
4.1	実験に使用した3つのヘルメット (左から順に、トラベル用ヘルメット、競技用ヘルメット、オフロード用ヘルメット)	84
4.2	異なる種類のヘルメットにおいて第2プロトタイプを用いた実験 (1)	86
4.3	異なる種類のヘルメットにおいて第2プロトタイプを用いた実験 (2)	86
4.4	異なる種類のヘルメットにおいて第2プロトタイプを用いた実験 (3)	87
4.5	条件 A と条件 B における平均認知度の比較	92
4.6	条件 A と条件 B における主観的評価スコアの比較	93
4.7	アンケートの配布場所 : Lad ' s garage (東京都北区)	96
4.8	PC、タブレット、スマートフォンなど、多様なデバイスでの回答を可能にする	98
4.9	整備工場の顧客がスマートフォンで QR コードをスキャンし、アンケートに回答している。	98
4.10	実際のアンケート画面	102

4.11	製品の評価（1～5 の尺度）では特に操作性と装着感において高評価を得ている。	103
4.12	東京工業大学は既存の VR 機器を用いた嗅覚体験の試みを行う .	112

目 次

3.1	本研究における精油の選定と効果	51
3.2	第1プロトタイプに対するフィードバック	65
3.3	第2プロトタイプに対するフィードバック	79
4.1	実験概要	84
4.3	体験後アンケート (システムの評価)	88
4.4	ポジティブおよびネガティブな意見	94
4.10	Cronbach's Alpha 結果	104

第 1 章

序

論

1.1. 研究背景

人が環境を知覚する過程において、多感覚統合は極めて重要な役割を果たしており、その中でも嗅覚は無視できない一要素である [2]。人間の進化の過程において古くから存在し、重要な感覚経路として位置づけられる嗅覚は [3]、環境情報の取得および解釈において重要な役割を担うだけでなく、人の感情体験や環境認知に深く影響を与える [4] [5]。しかしながら、現時点における運転分野における嗅覚に関する研究は、依然として限られている。

特に、二輪車運転者がどのように嗅覚情報を利用して環境を認識し、運転体験を向上させるかに関する研究は、まだ初期段階にある。自動車の運転と比較して、二輪車の運転はより直接的に環境と相互作用し、感覚を刺激する体験である。しかしながら、二輪車運転者はしばしば重いヘルメットを装着する必要がある、これにより聴覚情報が遮断されるだけでなく、周囲の環境に対する嗅覚認識も大幅に制限されている。特に、ヘルメットの構造設計は、頭部を保護する目的で外部と内部の空気をある程度隔離している。特にフルフェイスヘルメットでは、匂い分子が通気口や隙間を通じて入るほかになく、弱い匂いほど感知が困難になる [6] [7]。

その結果、運転者は花の香り、海辺の潮風、あるいは都市のカフェや屋台の魅力的な香りなど、環境中の微妙な匂いを感じ取ることが難しくなっている。

二輪車運転支援技術において多感覚体験への関心が高まる中で、視覚と聴覚は最も頻繁に考慮される感覚である。しかし、これらの従来の方法に加えて、環境に関連する嗅覚体験を提供することも、二輪車運転の楽しさと環境認知を向上させる可能性がある。嗅覚は人間の感情および環境認知に密接に関連しているため、



図 1.1 二輪車には、自然との親近感と感覚の遮断という相反する側面が存在する。高い機動性を持ち、自動車では到達できない場所にも入り込むことが可能です。しかし、ヘルメット、手袋、ライディングウェアといった装備は、感覚体験を妨げます。例えば、ヘルメットは視野、嗅覚、聴覚を制限し、手袋は触覚の感受性を低下させ、ライディングウェアは風を感じる感覚を遮断する。

(出典：ヨーロッパでのバイクツーリング、monimoto.jp、ウェブページ「ヨーロッパでのバイクツーリングのヒント」[8]より引用)

二輪車運転において嗅覚体験を導入することは、運転者の移動時の体験パフォーマンスを大いに向上させる可能性がある [9] [10]。

加えて、現代の技術を活用することで、こうした嗅覚制限を緩和する設計が可能である。例えば、外部の空気を選択的に導入する自適応通気設計をヘルメットに統合することで、運転者は従来感じ取れなかった環境の香りをより自然に体験できる。また、嗅覚は非侵襲的な情報提示手段（Non-obstructing cue）であるため、視覚や聴覚に注意を妨げることなく、特にスピード感のあるシーンにおいてその適応性が高い。こうした設計は、二輪車運転における嗅覚の重要性をさらに浮き彫りにし、新たな運転支援技術の可能性を広げると考えられる。

1.2. 匂い、感情、場所

匂いは無形で一時的なものであるが、それは空間を構成する材料から生まれるものである。Zardini と Schivelbusch（2005 年, p.276）が述べたように「…特定

の活動、エネルギー、香りとスパイス、植物、花、動物、そして廃棄物から生まれた匂いが、今では一般的で特殊な匂いとして重なり合い、目に見えないが存在する、そして現実の匂いの景観を形成している…」。

匂いは、各場所、地域、空間に独自のアイデンティティを与え、人々の感情をそれらの場所と結びつける役割を果たす。特に、モーターサイクリストにとって周囲環境の嗅覚体験を強化することは、現在急速に進化している運転体験の研究に貢献する可能性がある。

Tuan (1977 年) は、感情がすべての人間体験の核心であり、場所に深い意味を与えると考えた。Davidson と Milligan (2004 年) も、空間と感情の関係を研究し、感情が空間内で異なる感覚やスケール、環境への反応を通じて理解され得ることを指摘している。感覚的な体験が引き起こす情動反応は、私たちの日常生活における環境の影響を説明するだけでなく、都市やその物理的環境に対する人々の認識も反映している [11]。Lefebvre (1991 年) によれば、空間（都市を含む）に対する理解は、感覚と身体の運動、そして心理的反応を通じて構築されるという。音、匂い、色などの感覚的刺激は、場所において情動反応を引き起こす上で極めて重要である [12]。

Low (2005 年) の研究では、匂いは他者を理解し解釈するための日常的な社会的メディアとして扱われている。しかし、本論文では、匂いは場所、感情、社会の相互関係の中心に位置づけられる。嗅覚は空間-感情のメディエーターとして機能し、嗅覚によって引き起こされる感情を場所の物理的および社会的な構造と結びつけ、その意味を明らかにする役割を果たす。

特に、二輪車運転手にとって匂いは運転体験を豊かにし、感情的なつながりを形成する重要な要素である。例えば、郊外の新鮮な空気の香り、森林を通過する際の木々や草花の香り、海沿いを走る際の潮風の香りなどは、ただの視覚的な風景以上に、二輪車運転手の体験を五感で記憶に刻む。こうした匂いの刺激は、記憶を喚起し、体験そのものに感情的な深みを与える。Porteous (2006 年) [13] も述べているように、嗅覚には感情的な喚起や認知的な役割があり、特に嗅覚の体験が引き起こす感情的なつながりは、運転の一瞬一瞬に特別な価値を付与する。

また、香りの持つ癒しやリフレッシュの効果も、長時間のツーリング中に二輪

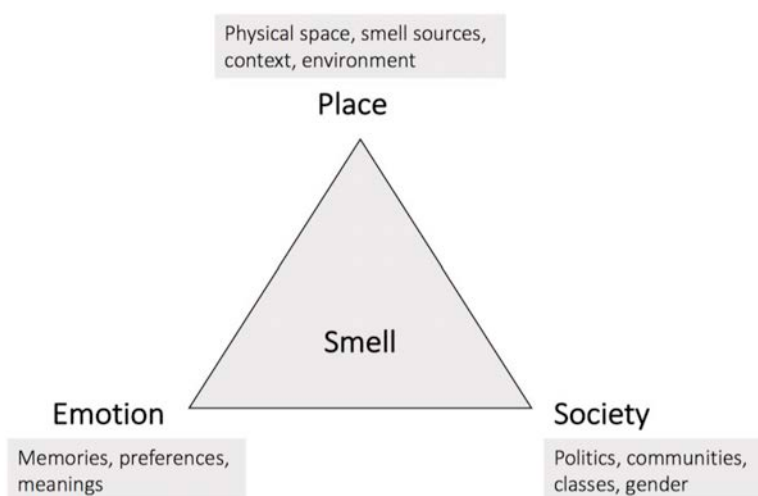


図 1.2 場所、感情、社会をつなぐ空間と感情のメディエーターとしての嗅覚

車運転手の疲労を軽減する可能性がある。芳香療法の研究では、特定の香りが情緒の安定やリラクゼーションに寄与することが示されている [14]。たとえば、ヘルメット内部に香りを放出するデバイスを取り付けることで、運転中にリラックス効果のあるラベンダーの香りや集中力を高めるペパーミントの香りを提供することが考えられる。これにより、長時間の運転で生じる疲労を軽減し、より快適で安全な運転体験を実現することができる。

さらに、都市の中でも匂いがどのように運転体験に影響するかを考えると、ポジティブな匂いの景観は二輪車運転手にとって快適な環境を提供し得る。例えば、公園を通り抜ける際の草木の香りや、カフェから漂うコーヒーの香りなどは、都市空間における運転体験を一層豊かなものにする。Henshaw（2013 年）[15] は、都市の匂いがその文化とアイデンティティの重要な要素であると述べており、積極的な匂いの景観を設計することで、二輪車運転手が都市に対してポジティブな感情を抱きやすくなると考えられる。

これに対して、交通渋滞による排気ガスや工場からの煙など、ネガティブな匂いは二輪車運転手の体験を損ねる要因となり得る。このような匂いのネガティブな影響を軽減するため、運転体験の一部として匂いの管理を取り入れることが有効であると考えられる。例えば、フィルターを使用したヘルメットで有害な匂い



図 1.3 イギリスでは、カフェ文化と二輪車文化が相互に融合しているが、コーヒーの香りを感じ味わうためには、まずヘルメットを脱ぐ必要がある。

(出典 : Bike Shed Motorcycle Club、HOTCARS、ウェブページ「EXCLUSIVE: The Bike Shed Motorcycle Club Founder On How It All Began And The New LA Venue」[16] より引用)

を遮断し、代わりに心地よい香りを提供することは、都市空間での運転体験を改善する一つの方法である。

以上のように、匂いは二輪車運転手にとって、視覚や聴覚と並んで重要な感覚であり、その活用次第で運転体験をより豊かで感情的なものにすることができる。今後の研究では、匂いの持つ潜在的な効果を活かし、運転中の体験の質の向上を図ることが求められる。

1.3. 本論文における二輪車の定義

エンジン排気量に基づき、市場ではオートバイを 200cc 以下、200cc から 400cc、400cc から 800cc、800cc 以上の四つのカテゴリーに分類する。200cc 以下の二輪車は、経済的で燃費の良い選択肢を提供し、通常クラッチを装備せず、操作もより簡単である。日本では、この種の車両は「原付」または「原付二種」と呼ばれ、

「普通二輪免許」と異なり、筆記試験のみで運転できる¹。クラッチなどの伝統的な二輪車の複雑な操作がないため、これらの「原付」は他のカテゴリーの二輪車と区別される。したがって、本論文で定義する二輪車とは、排気量が200cc以上でクラッチを備えた通常の二輪車を指す。

1.4. 二輪車運転手のニーズと嗅覚インターフェースの必要性

現代社会において、二輪車は単なる移動手段としてだけでなく、趣味や娯楽としての側面も強まっている。運転者は風を切る爽快感や機械との一体感を求め、日常のストレスから解放される時間を過ごしている。しかし、交通量の増加や都市化の進展により、走行環境は複雑化し、ストレス要因も増加している。このような状況下で、運転体験の質を向上させる取り組みは、運転者の満足度を高めるだけでなく、安全運転の促進にもつながる [17]。

多くの二輪車運転者は、ヘルメット、音声ナビと防護具の装着により、視覚や聴覚といった感覚が制限されている。視覚や聴覚に過度に頼ることで、情報過多や認知負荷の増加を招き、注意力の低下や疲労を引き起こす可能性がある。一方、嗅覚は視覚や聴覚と干渉せずに情報を提供できるため、環境認識の補完手段として有効である。また、香りを活用することで、運転者のリラクゼーションや集中力の向上を図ることができる。

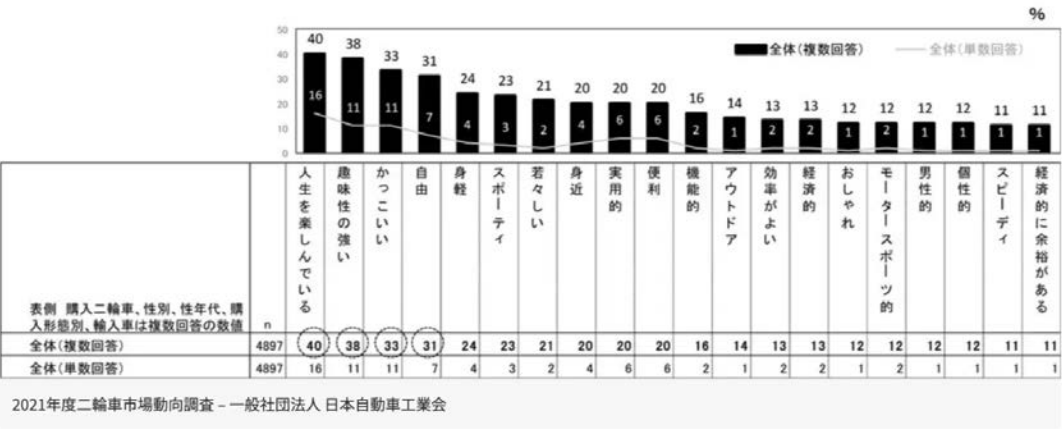
なお、市場調査やアンケート結果から、多くの二輪車運転者が運転体験の質を高めたいと考えていることが示されている²³。具体的には、ストレスの軽減や環境との一体感の向上、安全性の強化などが求められている。しかし、これまでの運転支援システムやエンターテインメント機能は、視覚や聴覚に偏重しており、

1 警察庁交通局・「道路交通法施行規則の一部を改正する内閣府令」等について 平成 22 年 12 月 17 日「道路標識、区画線及び道路標示に関する命令」改正

2 日経新聞、「バイク人気再燃、若者が求める新たな価値とは」、2021 年 5 月 15 日

3 バイク雑誌「ライダーズクラブ」、「特集：ライダーが求める次世代の運転体験」、2022 年 7 月号

二輪車や二輪車使用者に対するイメージ(複数回答)



バイクやバイク利用者に対するイメージの回答を見ると、2017年の調査では32%に過ぎなかった「人生を楽しんでいる」というイメージがなんと40%にも上昇した。

また、同3位の「趣味性の強い」が2位に浮上しており、バイクのイメージ向上はもちろんのこと、特にバイク使用者に対するイメージが向上している。

図 1.4 二輪車や二輪車運転手に対する評価
([17] より引用)

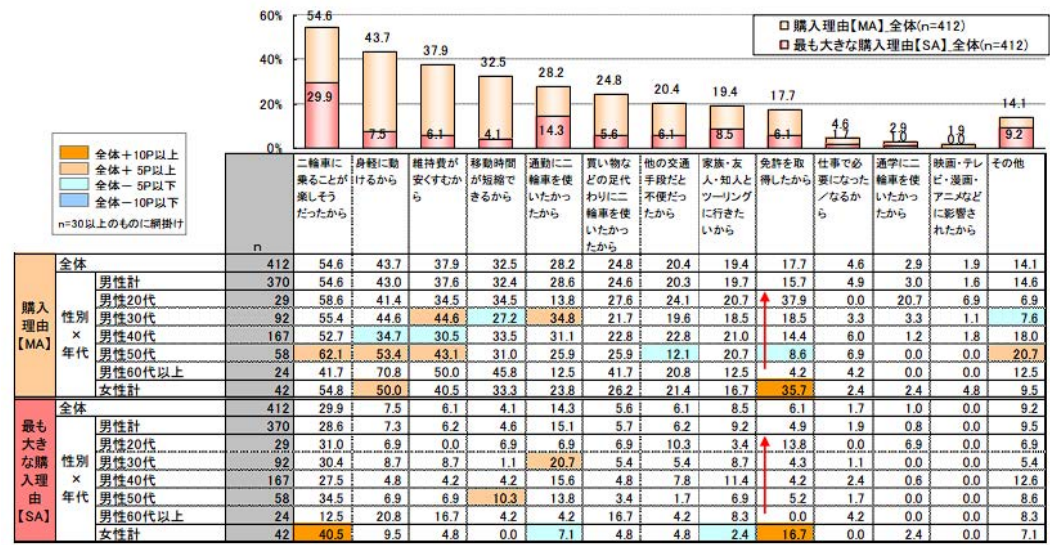


図 1.5 二輪車運転手が二輪車を購入した理由を複数回答で見ると、全体では「二輪車に乗ることが楽しそうだったから」が55 %と最も高く、次に「身軽に動けるから」(44 %)。複数選択した理由の中から最も大きな理由を1つだけ選択したのを見ると、全体では、「二輪車に乗ることが楽しそうだったから」が30 %と突出して高くなっており、バイクに乗ることの楽しさが購入に繋がっている様子。

([18] より引用)

嗅覚を活用した取り組みはほとんど行われていない。

運転者が求めるニーズに応えるためには、新たな感覚モダリティの活用が必要である。嗅覚インターフェースを導入することで、運転者は環境との繋がりをより深く感じることができ、運転体験の質的向上が期待できる。また、嗅覚を通じた情報提示は、認知負荷を増やさずに環境認識を支援する手段として有望である。

1.5. 二輪車体験の向上と可能性

二輪車運転においては、周囲環境の的確な認識が安全かつ快適な走行に不可欠である。しかし、運転者は、走行時の風圧やヘルメットの密閉性により、周囲環境の繊細な嗅覚情報を享受することが困難となっている。視覚や聴覚に過度に依存した状態での運転は、注意力の分散や疲労蓄積を招き、運転パフォーマンスを低下する要因となりうる [19]。

従来の二輪車運転支援システムは、視覚や聴覚に偏重しており、嗅覚を活用したアプローチは極めて限定的である。近年、バーチャルリアリティ (VR) や拡張現実 (AR) 技術の発展に伴い、嗅覚ディスプレイの開発が進み、ゲームやエンターテインメント分野への応用が期待されている [20]。しかし、二輪車運転への応用は未だ未開拓地である。

本研究では、嗅覚に着目し、二輪車運転者の環境感知能力を拡張するための新たなシステム「SMELL PRISM」を提案する。具体的には、環境センサーと嗅覚ディスプレイを組み合わせることで、二輪車運転者のヘルメット空間に自然の香りを再現し、周囲環境に対する感受性を高めることを目指す。これにより、運転中の状況認識能力の向上、運転体験の質的向上、そして新たなヒューマンマシンインターフェースの創出に貢献できると考えられる。

1.6. 既存の二輪車体験向上デバイスの現状と特徴

世紀の初めから、二輪車運転体験の向上を目的とした多様なデバイスが開発されており、それらは主に視覚、聴覚、触覚といった感覚に焦点を当てている。こ



図 1.6 市場で一般的な HUD デバイスの様式

(出典：Tilsberk、Tilsberk - Brand shop、ウェブページ「Tilsberk - Brand shop High-quality, safe, made in Germany」[21] より引用)

これらの技術は二輪車運転者の安全性および利便性を向上させる上で重要な役割を果たしているが、五感の中でも嗅覚を活用する技術は依然として未開拓である。本節では、既存の主要なデバイスやシステムについて、その特徴と役割を以下に示す。

ヘッドアップディスプレイ (HUD)

ヘッドアップディスプレイ (HUD) は、二輪車運転者の視界に直接情報を表示することで視線移動を最小限に抑え、前方への注意力を維持することを目的とした技術である。このデバイスは、車両情報の表示、ナビゲーション機能、安全警告機能などの主要な機能を有し、運転中の安全性を向上させる。具体的には、HUD は速度やナビゲーション矢印などの情報を風防などの表面に投影し、運転者が視線を道路から逸らすことなく必要なデータを得ることを可能にする。Würzburg Institute for Transport Science (WIVW) の研究によると、並行運転タスクが追加されると、データグラスを装着した被験者のパフォーマンスが向上することが示されており、これは運転者が常に道路に目を向けることが安全性に寄与することを示唆している。しかし、HUD の導入については賛否があり、一部の学者はこの技術が二輪車運転手における安全性に対して大きな影響を及ぼす可能性がある



図 1.7 HUD を通した実際の視野

(出典：Head-up display helmet、BMW Motorrad、ウェブページ「BMW Motorrad to Unveil Motorcycle Safety Concepts at CES」[22] より引用)

と指摘している。特に、HUD が提供する情報が多すぎたり、視界を妨げたりする場合、運転者の注意が散漫になり事故のリスクが増加する懸念がある。これに対し、安全性を確保するためには HUD 情報を必要最小限に制限することが重要であるとの意見も存在する。

現在市場には NUVIZ や BMW Motorrad ConnectedRide などの製品が存在し、これらは HUD 技術を活用している。さらに、最新の HUD システムはスマートフォンと連携し、音楽再生や通話管理などの機能も提供することができるため、古いバイクでも利用可能である。しかし、ヘルメット内のスペース制約や視界の妨げになる可能性も考慮する必要がある、安全性を損なわない形で情報表示を行うことが求められる。

スマートヘルメット

スマートヘルメットは、ヘッドアップディスプレイ（HUD）機能に加え、通信機能、カメラ、音声アシスタントなどを統合することにより、二輪車運転者の情報アクセスを飛躍的に向上させている。これにより、運転中の利便性が大幅に向上するだけでなく、グループツーリングにおけるコミュニケーションツールとしても有効な役割を果たす。具体的な事例として、SKULLY FENIX AR や CrossHelmet X1 が挙げられ、これらのスマートヘルメットは以下のような機能を提供している。

音声コントロール機能として、音声操作により情報のハンズフリー操作が可能



図 1.8 SKULLY FENIX AR

(出典：SKULLY FENIX AR、Androidcentral、ウェブページ「Skully Systems taking pre-orders for Android-based motorcycle helmet」[23] より引用)

となり、運転中の注意散漫を最小限に抑えることができる。また、内蔵カメラにより周囲の状況をリアルタイムで記録・確認でき、安全性や運転者の安心感を向上させる。さらに、Bluetoothを用いた通信機能により、他の二輪車運転者やデバイスとの接続が可能で、グループツーリング時の円滑なコミュニケーションをサポートする。

ウェアラブルデバイス

ウェアラブルデバイス、特にスマートウォッチやスマートグローブは、二輪車運転者の生体情報および走行情報をリアルタイムで取得する技術を提供している。この技術により、運転者の健康状態や疲労レベルを把握し、事故の予防に貢献することが可能である。代表的な例として、Apple Watch や Garmin vivosmart は心拍数、体温、ストレスレベルといった生体情報のモニタリング機能を備えており、これらのデバイスは運転者の安全性向上に寄与している。



図 1.9 Bosch Motorcycle Stability Control (MSC)

(出典：Motorcycle stability control (MSC)、BOSCH、ウェブページ「Active safety systems Motorcycle stability control」[24] より引用)

アクティブセーフティシステム

アクティブセーフティシステムは、車両に搭載されたセンサーやカメラを活用して周囲の状況を検知し、衝突回避や危険回避を支援する技術であり、特に二輪車の安全性向上において重要な役割を果たしている。この技術の具体的な例としては、Honda Sensing や Bosch Motorcycle Stability Control (MSC) が挙げられる。これらのシステムは、以下のような機能を提供することで安全な走行を支援している。

1.7. 限界と課題

既存の二輪車運転体験向上デバイスは、視覚、聴覚、触覚を中心とした技術に大きく依存している一方で、嗅覚のような他の感覚の活用はほとんど進んでいない。これには技術的、実用的、個人差などのさまざまな課題が絡んでいる。本節では、それらの限界と課題を詳しく述べる。

1. 感覚の偏重による情報過負荷のリスク：視覚および聴覚を中心とするデバイスが多い現状では、運転中の情報提示が視覚や聴覚に過剰に集中し、二輪車運転者に認知負荷を与える可能性がある。たとえば、ヘッドアップディスプレイ (HUD) や音声案内システムが同時に動作する場合、二輪車運転者はそれぞれの情報に注

意を割く必要があり、結果として注意力の分散を引き起こす可能性が高い。これは特に高速走行中や複雑な交通状況下で問題となる。

2. 五感全体を活用したデザインの不足：現在のデバイスは、視覚、聴覚、触覚という特定の感覚に偏重しているため、五感全体を統合した体験デザインが欠けている。嗅覚や味覚は二輪車運転における潜在的な補完的役割を果たす可能性があるが、これらを統合するための研究開発はまだ初期段階にとどまっている。

3. デバイスの小型化・軽量化の困難さ：二輪車の運転環境に適合する嗅覚デバイスの開発には、デバイスの小型化と軽量化が不可欠である。しかし、現行の嗅覚ディスプレイ技術は主にエンターテインメントや研究用途に向けられており、大型かつ固定型の装置が一般的である。これを二輪車用に適応させるには、さらなる技術革新が必要である。

4. 二輪車運転者の個人差への対応：嗅覚は個人差が大きい感覚であり、特定の香りがすべての二輪車運転者に同様の効果をもたらすわけではない。ある香りがリラックス効果を与える人もいれば、不快感を抱く人もいる。このため、二輪車運転者ごとに香りをカスタマイズできるシステムが必要となるが、その実現には高度なパーソナライズ技術と嗜好データの収集が求められる。

これらの課題を解決するためには、異なる感覚技術の統合、嗅覚デバイスに特化した新素材の開発、そして人間工学や感覚心理学の知見を取り入れた研究が不可欠である。特に、嗅覚の効果を実証する科学的データの蓄積や、デバイス設計における実用化シナリオの明確化が、今後の重要な方向性となるだろう。

1.8. 問題定義

前述したように、嗅覚は人間の行動や心理に深く影響を与える重要な感覚であるが、二輪車運転者は走行時の風圧やヘルメットの密閉性により、周囲環境の繊細な嗅覚情報を享受することが困難である。この問題は、単に周囲の匂いを感じ取れないということだけでなく、運転者が環境と深く繋がり、五感をフルに活用して「環境を味わう」という体験を阻害していると言える。

例えば、緑豊かな森林の中を走行する場合、木々の香りや土の湿った匂い、川の

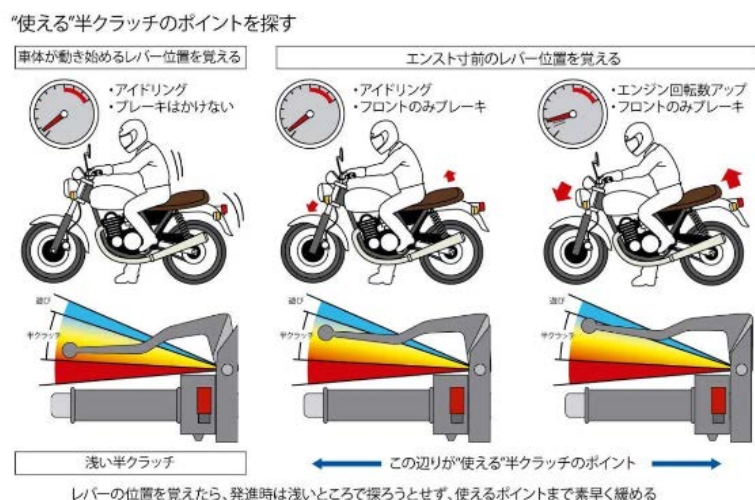


図 1.10 二輪車は依然として伝統的な手動クラッチとギアシフトを採用しており、車と比べて操作が複雑で、より高い集中力を求められる。

(出典：バイク初心者が苦手とする操作のひとつが「半クラ」、津原リョウ、「バイク初心者には難しい「半クラッチ」、どうしたら上手くなれる？」[25] より引用)

せせらぎの音など、様々な感覚情報が五感を刺激し、運転者に癒しや爽快感を与える。しかし、嗅覚情報が遮断された状態では、視覚的な情報のみで周囲の環境を認識することになり、運転体験は単調で、受動的なものになりがちである。これは、長時間の運転において、注意力の低下や疲労蓄積を招き、ひいては運転体験を低下する要因となりうる。

さらに、嗅覚は記憶や感情と密接に結びついており、特定の香りは過去の記憶や感情を呼び起こす効果がある。例えば、故郷の田園風景を思い起こさせる草の香りや、幼少期の思い出と結びついた花の香りなど、嗅覚は運転者に情緒的な豊かさをもたらし、運転体験をより深いものにする。しかし、嗅覚情報が欠如した状態では、このような情緒的な体験も限定的になってしまう。



図 1.11 二輪車運転手が周囲の環境を感じるためにヘルメットを開けようとする
と、虫が目や鼻などに入り込みやすくなり、運転にリスクを伴う可能性がある。

1.9. 提案

本研究では、上記の課題を解決するために、嗅覚を利用した二輪車運転者向けの知覚拡張システム「SMELL PRISM」を提案する。本システムの設計において、運転者が走行中に嗅覚情報が遮断された状態や期待に基づき、以下の要素を重視した。第一に、ヘルメット内の限られた空間を活用するために、軽量でコンパクトな構造を採用した。第二に、リアルタイムで変化する環境に対応するため、複数のセンサーを統合し、香りの種類と強度を自動的に調整するアルゴリズムを導入した。これにより、運転者が自然な形で周囲の状況を感じ取り、より深い没入感を得られる設計とした。

1.10. 本研究の貢献領域

本研究は、環境心理学、センサー技術、人間工学、デザイン学などの学際的な分野を統合し、新たなコミュニケーション手段および知覚拡張手段としての嗅覚インターフェースの可能性を探求するものである。具体的には、二輪車運転者向けの嗅覚を活用した情報提示システム「SMELL PRISM」の開発を通じて、以下の意義と期待される成果をもたらすことを目指す。

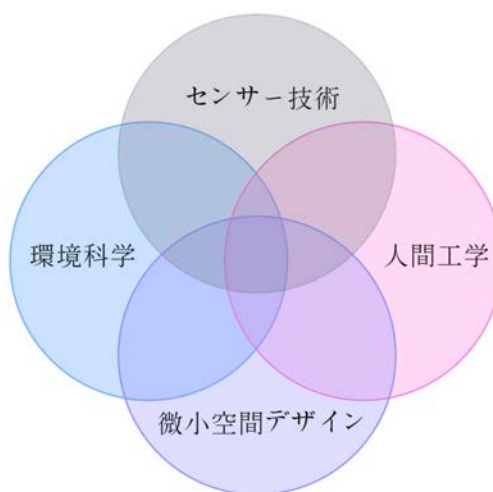


図 1.12 本研究の貢献領域

1. 環境認識とインタラクションの向上嗅覚を用いることにより、従来の視覚や聴覚に依存した情報提示を補完し、より多層的な環境認識を可能にする。運転中に香りを通して周囲の環境と直感的に関わることができ、運転者は環境との一体感を強く感じられるようになる。これにより、単なる交通手段としての運転ではなく、環境とのインタラクションを通じた質の高い運転体験が期待される。

2. 運転体験の質的向上嗅覚提示が運転者に与える情緒的な影響についても、本研究は重要な示唆を提供する。香りがもたらすリラックス効果や覚醒効果を活用することで、ストレスの軽減、疲労の緩和、快適性の向上が期待できる。また、香りを通じた新たな感覚刺激が運転の楽しさを増幅させ、爽快感や没入感を高めることで、運転者にとってより豊かな体験を提供することを目指す。

3. 嗅覚インターフェース技術の発展本研究は、嗅覚を情報伝達手段として活用する新しい技術の実用化に向けた課題を特定し、その解決に寄与することで、嗅覚インターフェース技術の進展を促進することを目指す。具体的には、センサー技術の高度化や香りの選択と制御に関するデバイス設計を通じて、新たな嗅覚提示の実現可能性を探る。これにより、香りを介したコミュニケーションの幅を広げ、感覚的体験を豊かにする技術革新を図る。

4. 学術的およびデザインの知見の提供嗅覚を用いた情報提示の理論的枠組みを

構築し、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション（HCI）やユーザーエクスペリエンス（UX）デザインの分野において新たな学術的知見を提供することも、本研究の重要な目的である。嗅覚がもたらす感覚的な情報は、視覚や聴覚に比べて独特であり、これによりユーザーの体験にどのような影響があるかについて、詳細に分析を行う。

5. 持続可能で環境に優しい運転体験の促進 香りを利用した情報提示は、エネルギー効率の高いデバイスの開発に寄与する可能性がある。視覚的ディスプレイや音声出力に比べ、嗅覚インターフェースは比較的少ないエネルギーでの動作が可能であり、これにより環境負荷の低減が期待される。加えて、嗅覚提示がもたらす感覚的価値を通じて、人間と環境の調和を促進し、持続可能なライフスタイルの実現にも寄与することを目指す。

本研究を通じて、「SMELL PRISM」システムが二輪車運転者に対し、視覚・聴覚を超えた感覚的な環境認識と豊かな運転体験を提供することを実証することを目指している。それにより、運転者が周囲とのインタラクションをより深く楽しみ、感覚的に豊かな体験を得ることで、移動手段を超えた新たな価値を創出することが期待される。

1.11. 研究目的

本研究の目的は、「SMELL PRISM」システムの有効性とユーザー受容性を多角的に評価し、二輪車運転手の運転体験をより豊かにする可能性を探ることである。具体的には、以下の点について明らかにする。

環境とのインタラクション: 嗅覚情報の提示が、二輪車運転手の周囲環境に対する認識の精度や注意の深さ、直感的な環境理解などにどのように寄与するかを評価する。

運転体験の質への影響: 嗅覚提示によって、運転中の快適性や爽快感、運転そのものの楽しさに与える影響を検討する。また、ストレスの緩和や疲労感の低減といった感覚的な側面の変化についても評価する。

ユーザー受容性: 二輪車運転者が「SMELL PRISM」システムに対して抱く印

象や、その利用意図、満足度などを総合的に評価する。

本研究を通じて、「SMELL PRISM」システムが二輪車運転手の環境感知能力を拡張し、より充実した、没入感のある運転体験を提供できることを示すことを目指す。

1.12. 論文構成

本論文は、二輪車における嗅覚技術活用の可能性を探求し、運転エクスペリエンスの革新を目指すものである。先行研究の分析、プロトタイプデバイスの開発、評価実験を通して、嗅覚情報提示が二輪車の安全性、快適性、エンターテインメント性に寄与する可能性を検証する。本論文は、以下の5章で構成される。

第1章序論では、二輪車市場の現状と課題を概観し、五感情報提示技術の現状を分析する。特に、視覚・聴覚情報提示に偏重した既存技術の限界を指摘し、嗅覚に着目した新たなアプローチの必要性を論じる。次いで、既存の二輪車・ヘルメットへの改造を最小限に抑え、汎用性を高めるため、ヘルメット装着型アタッチメントデバイスの開発を目標とする。最後に、本研究の目的、意義、および期待される成果を明確に提示し、研究の枠組みを定義する。

第2章、嗅覚技術の関連研究では、医療、福祉、認知、エンターテインメント、教育など、多岐にわたる分野における嗅覚技術の応用事例をレビューし、二輪車への応用可能性を検討する。特に、自動車分野における嗅覚技術の先行研究を分析し、成功事例から得られる知見を整理する。さらに、二輪車特有の環境要因（振動、風圧、温度変化、匂いの拡散性など）を考慮した上で、安全かつ効果的な嗅覚提示を実現するための技術的課題を抽出する。

第3章、「SMELL PRISM」のプロトタイプ開発では、Arduinoをコアとした3種類のプロトタイプデバイスの設計・製作過程を詳述する。ハードウェア構成、香料の選定と制御、筐体設計、振動対策など、開発における技術的詳細を明らかにする。各プロトタイプは、段階的な改良を通して異なる機能・特徴を有しており、香料の種類、濃度、噴霧方法などをパラメータとして、多様な匂い提示を実現する。開発過程における試行錯誤、性能評価、および改善点を具体的に示す。

第4章、評価実験では、開発したプロトタイプデバイスを用いた評価実験を実施し、その結果を分析する。二輪車ユーザーを対象としたインタビュー、アンケート調査、AR ゲームで模擬走行実験を通して、「SMELL PRISM」のユーザビリティ、効果、安全性などを多角的に評価する。実験デザイン、データ収集・分析方法、結果の解釈について詳細に記述し、ユーザーフィードバックを基に、「SMELL PRISM」の改善点および今後の開発課題を明確化する。

第5章、結論では、本研究の成果を総括し、嗅覚技術が二輪車の運転エクスペリエンスにもたらす可能性を展望する。嗅覚による知覚拡張、環境感知、リラックス効果、運転体験向上など、具体的な応用シナリオを提示する。さらに、本研究の限界と今後の課題を論じ、嗅覚技術の二輪車への応用に関する将来展望を述べる。

第 2 章

関 連 研 究

本研究は、嗅覚感知、ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)、人間工学（二輪車運転体験）、そして嗅覚インターフェース技術という、複数の研究領域にまたがる学際的な研究である。本節では、それぞれの領域における既存研究を概観し、本研究の位置づけ或いは新規性を明らかにする。

2.1. 認知科学

嗅覚は五感の中でも最も原始的な感覚とされ、古来より人間の生存や社会活動の基盤となってきた。この感覚は、我々が周囲の環境を理解し、適応し、さらには記憶や感情を喚起する上で極めて重要な役割を果たしている。近年、神経科学や心理学などの学際的な研究領域において、嗅覚が単なる「匂いの識別」とどまらず、感情や行動選択、記憶の想起など、より複雑で高次の認知プロセスへ影響を及ぼすメカニズムが明らかになりつつある。

嗅覚が記憶や感情と強く結びついている例として、「プルースト現象」がしばしば取り上げられる [26]。この名称は、マルセル・プルーストの小説『失われた時を求めて』に登場する一節に由来し、特定の香りが幼少期の記憶や強い感情を鮮明に蘇らせる効果を指す。その背景には、嗅覚情報が脳内で情動や記憶の形成に深く関与する海馬、扁桃体などの領域と密接に連結していることがある [27]。こうした特性は、香りが単なる感覚刺激ではなく、心理的・情動的世界へと直接的な経路を提供することを示唆している。

さらに、嗅覚は人間の生存戦略においても極めて重要な意義を持つ。たとえば、腐敗臭や有毒なガス、煙などを素早く感知することで危険を回避することが可能



図 2.1 「お菓子のかけらのまじったひと口の紅茶が口蓋に触れた瞬間、私のなかで尋常でないことが起こっていることに気がつき、私はおもわず身震いをした。」——失われた時を求めて

(出典：conger design、Pixabay、[28] より引用)

となる。また、食品の香りは食欲を増進させ、フェロモンと呼ばれる化学物質によって異性認識や性行動を調整するといった、より直接的な生存・繁殖上の利得をもたらす [29]。これらの機能的側面は、嗅覚が人間社会の成立および繁栄に欠かせない感覚であることを改めて示す。

さらに、嗅覚は、他の感覚と比べて、より直接的に脳の情動中枢に作用することが示唆されている。これは、嗅覚神経が、視床を経由せずに、扁桃体や海馬などの情動や記憶に関わる脳領域に直接投射しているためと考えられる。そのため、嗅覚刺激は、リラックス効果、ストレス軽減、集中力向上など、心理的な効果をもたらす可能性がある [30] [31]。

注目すべきは、嗅覚経路が他の感覚と異なり、視床を経由せずに扁桃体や海馬などの情動・記憶形成に関わる部位へ直接投射している点である。この構造的特徴により、嗅覚刺激はリラックス効果やストレス軽減、集中力の向上など、多面的な心理的效果を生み出す可能性が指摘されている [30] [31]。実際、森の中のフィトンチッドや海辺の潮の香りは、人間に安らぎや落ち着きを与えるとされる。都市空間においても、飲食店から漂う芳香が食欲を刺激したり、工場地帯の排気臭が人々の行動や心理状態に影響したりすることで、空間認知や環境理解にも寄与する [32]。



図 2.2 DarkCon

(出典 : DarkCon, Institute for Creative Technologies, University of Southern California, in cooperation with the U.S. Army. [33] より引用)

このように、嗅覚は感情や記憶、生存戦略、環境理解といった多層的な観点から人間認知を解明する上で不可欠な研究領域として位置付けられる。認知科学の分野では、嗅覚に関する研究がさらなる発展を遂げており、これらの知見はバーチャルリアリティやヒューマンインターフェース設計など、多様な応用領域で活用され始めている。

2.1.1 Darkcon

初期段階の認知科学的研究において嗅覚が実践的応用に取り入れられた事例は、限定的かつ粗削りなものが多かった。その中でも一つの画期的な試みとして知られるのが、2006年に米国の先端技術研究所が開発した「DarkCon」という装置である（図 2.1）。DarkCon は、戦場環境で遭遇し得るさまざまな不快臭を訓練場で再現するために設計され、爆発物の燃焼臭や下水が充満した市街地の悪臭など、兵士が実際の戦場で体験する可能性のある嗅覚刺激をシミュレートした。

この取り組みによって、イラクなど紛争地域への派遣を控えた兵士たちは、実戦に近い嗅覚的プレコンディショニングを受けることが可能となった。従来、視覚的・聴覚的シミュレーションは訓練の重要な要素であったが、嗅覚を含めた環境再現によって、兵士の環境適応速度や心理的抵抗力を高める効果が期待された

のである。

しかし当時の技術水準では、これら初期の嗅覚シミュレーションは再現可能な香りの種類が限られ、実用性や操作性の面で大きな課題を抱えていた。訓練エリア内部の拡散装置から特定の臭気を直接散布するという手法は、扱いづらく、汎用性にも乏しかった。現代の洗練された嗅覚インターフェース技術と比較すると、DarkCon はあくまで萌芽的な試みであったが、それでも嗅覚をリアルな訓練環境に組み込む先駆的役割を果たした点で、歴史的な意義を持つと言える。

2.1.2 Universal Scent Format

近年、嗅覚研究と工学技術の接点として注目されるテーマの一つが、嗅覚のデジタル化である。その中でも「ユニバーサル・セント・フォーマット (Universal Scent Format, 以下 USF)」は、嗅覚情報をデジタルで記述、伝送、再現する上で画期的なプラットフォームとして期待を集めている (Horizon, 2024)。USF は、従来の嗅覚再現技術やデータ規格が抱えていた非標準性や再現性の限界といった課題を克服することを目指し、以下の点で大きな進展を示している。

第一に、USF は基本的な 40 種類の香気成分を特定し、それらを組み合わせることで自然界の多様な香りを再構築するというアプローチを取る。この考え方は、音声を基本波形要素に分解してデジタル化する手法や、画像を基本画素（ピクセル）単位で再現する手法と類似した概念的枠組みに基づく。これにより、嗅覚データを標準化し、効率的な符号化とデコードを可能にすることで、VR やゲーム、デジタル広告など、多様な分野での実用的展開が可能となる。

第二に、USF は Web3 環境での嗅覚データの活用を前提とした技術基盤を提供し、ブロックチェーン技術との融合により香りデータをデジタル資産として取り扱うことを可能にする。これによって、香りそのものを共有・取引可能な新たな経済圏の形成が示唆されている。この試みは、嗅覚研究においてこれまであまり顧みられなかった市場的・社会的インパクトを提示し、嗅覚の価値を再定義するものである。

さらに、USF は国際的な研究コミュニティや産業界との連携によって、データ互換性の確保とグローバルな標準規格の構築を目指している。こうした標準化努

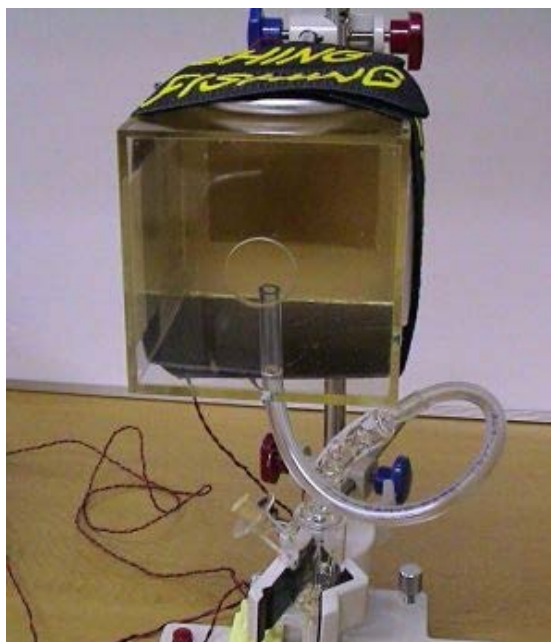


図 2.3 鼻追従機能を有する非装着局所型香り提示システム

(出典：[28] より引用)

力により、嗅覚技術はエンターテインメント領域にとどまらず、医療や教育、マーケティングなど幅広い分野での応用が見込まれる。たとえば、医療現場での嗅覚刺激を用いたリハビリテーション、教育分野での感覚学習、さらには消費者行動研究に基づくブランディング戦略など、嗅覚のデジタル化は新たな可能性をもたらす。

以上の特徴から、USF は嗅覚デジタル化を実現するための中核技術として位置づけられ、研究者や技術者、産業界が連携することで、より高度な嗅覚認知研究や実用的な産業応用を促進すると考えられる。本研究においては、USF がもたらす基盤技術や応用可能性を踏まえ、嗅覚デジタル化の新たな方向性について検討することを通じて、今後の嗅覚研究・開発の指針を示すことを目指す。

2.1.3 HCI

HCI (Human-Computer Interaction) 研究領域では、人間の認知特性や行動特性を踏まえた、人間中心設計によるコンピュータシステムの創出が重要な目標となっている。従来は視覚・聴覚がインターフェースデザインの主軸を占めてきたが、近年では多感覚に着目した手法が注目を集めている。その中でも、嗅覚を用いた情報提示技術は、これまで見過ごされがちであった感覚チャネルを活用する新たなアプローチとして研究開発が活発化している [34]。

嗅覚ディスプレイは、計算機制御によって香りを生成・提示する装置であり、VR（仮想現実）やAR（拡張現実）などの没入型メディア環境と組み合わせることで、従来に比べてより臨場感・没入感の高いユーザー体験を生み出す可能性がある [20] [35]。例えば、ゲーム、映画、観光シミュレーションといったエンターテインメント分野では、視覚や聴覚のみで表現していた世界観を、香りを加えることでよりリアルかつ感情的な反応を引き出すことが期待できる。さらに、教育・訓練領域では、嗅覚ディスプレイを用いて、環境理解や記憶定着を促進するための効果的な学習体験や安全訓練シナリオ（火災現場の疑似体験など）を提供することが可能になる。

2.1.4 VAQSO VR

2017年、日本のVR嗅覚開発系スタートアップ企業であるVAQSOは、VR機器専用の匂いシミュレーション用アタッチメント開発に向けて、60万ドルの資金調達に成功した。VAQSO VRは複数回にわたる改良・更新を経て、VRデバイスに取り付ける専用ファンを備えることで、仮想空間における状況変化に合わせて多種多様な匂いを放出することを可能にしている。

現在、同社が用意する15種類の匂いは、「環境」「食物・飲料」「その他」という3つの大分類に分けられる。環境系の匂いは、海洋、火（火薬の匂いを含む）、森林、木材、土壌で構成され、食物・飲料系にはコーヒー、教会（礼拝所特有の香り）、チョコレート、カレー、フライドチキンが含まれている。また、その他の分類としては、ゾンビ、女性、ミント、ガソリン、そして花の香りが挙げられる。



図 2.4 VASQO VR

(出典：VASQO VR、Mogura VR News、ウェブページ「VR 匂いデバイス VAQSO VR の開発者版が発売、999 ドル」[36] より引用)

VAQSO VR は同時に 5 種類の異なる匂いカートリッジを装填することが可能で、各カートリッジの使用可能期間はおよそ 1 か月とされている。さらに、同社が提供する API を用いれば、開発者は匂いの強度をコントロールしたり、シミュレーターのバッテリー残量をチェックしたり、匂いの発生を止めたりすることができる。また、VAQSO VR 側では、Unity、Unreal、CryEngine などのゲームエンジンへの対応も検討中である。

VAQSO VR の設計理念および技術的アプローチは、VR 嗅覚分野の発展において重要な方向性を示している。多場面に対応する匂いシミュレーションや開発者に対するオープンな開発環境は、感覚技術のさらなる可能性を探求するための礎となり、業界の今後の発展に寄与するであろう。

2.1.5 Nosulus Rift

Ubisoft は、フランスを拠点とする国際的なゲーム開発・販売企業として知られ、近年は没入型エンターテインメント技術への多角的なアプローチを行ってい



図 2.5 Nosulus Rift

(出典：Nosulus Rift、Electronic Specifier、ウェブページ「Nosulus Rift: VR meets Smell-O-Vision」[37] より引用)

る。その一例として挙げられるのが、同社が開発したユニークな嗅覚拡張デバイス「Nosulus Rift」である。

Nosulus Rift は、2016 年にリリースされたゲームタイトル『サウスパーク：The Fractured But Whole』のプロモーションの一環として企画・開発された装置であり、プレイ中に発生する特定のイベントに連動して「放屁」の匂いをユーザーに提示するという非常に特異な機能を備えている。これは、VR ヘッドセットに似た形状のデバイスを鼻腔付近に装着することで、ゲーム内で特定のアクションが起こるたびに対応する臭気を発生させる仕組みであり、嗅覚刺激を用いて没入感を高めようとする試みである。

Nosulus Rift は、VAQSO VR などデバイスと異なり、多様な香りの再現よりも特定の「匂い体験」を極端に拡大し、ユーザーに強烈な嗅覚インパクトを与えることを主眼としている。その主な目的は、コメディ要素のあるゲームプレイ体験をより深く、直接的に体感させることにあるが、この実験的手法は、嗅覚技術が単なるリアリティ強化に留まらず、娯楽、心理的なインパクト、ブランド認知度向上など、多面的な応用可能性を持ち得ることを示唆している。

一方で、嗅覚ディスプレイの実用化に向けた技術的課題は依然として多い。匂いを発生させる手法として、液体芳香剤の微粒子噴霧、固体香料の加熱蒸散、気

体状の香気成分を直接的に解放する方式などが提案されているが、それぞれに操作性・安定性・安全性・精度といった観点で一長一短がある。また、空間内での匂いの濃度制御、拡散の精緻なコントロール、複数の香り成分を組み合わせた際の相互作用など、嗅覚提示特有の課題が横たわっている。さらに、使用後の残留臭を速やかに消去し、ユーザーが不快感や混乱を抱かずに次のインタラクションへ移行できるような消臭技術の確立も重要である。

以上のように、嗅覚ディスプレイはHCI領域において新たな感覚チャネルを活用する有力なインタラクション手法として期待されているが、その実現には多面的な技術的挑戦やユーザビリティ評価、心理学的検証が不可欠といえる。これらの課題を解決することで、より豊かな感覚体験を提供し、人間中心設計の理念を新たな次元で具現化するインターフェースの創造が可能となるであろう。

2.2. 人間工学（二輪車の既存製品）

二輪車運転者の環境認識や知覚拡張を目的とした研究や製品開発において、視覚や聴覚を用いた情報提示が主流となっている。具体的には、ヘッドアップディスプレイ（HUD）や音声ナビゲーション、触覚フィードバックなど、多様な手法が提案・実装されている。

2.2.1 OPTICSON

例えば、ヘルメットメーカーであるSHOEIが開発した「OPTICSON」は、ヘルメットにHUDシステムを内蔵し、ナビゲーション情報や速度、車両状態などを視界内に直接投影する機能を持つ。このシステムは運転者が視線を逸らすことなく必要な情報を得られるよう設計されている。一方、ビー・エム・ダブリューも二輪車向けのHUDシステムを開発し、運転者の視界内に重要な情報を表示する試みを行っている。



図 2.6 OPTICSON

(出典：OPTICSON、SAHOEI、公式ウェブページ「CONNECTED TO THE FUTURE:OPTICSON」[38] より引用)

2.2.2 CrossHelmet X1

人間工学、安全性向上を目的として様々な革新が進められている。中でも、CrossHelmet X1（以下、X1）（図 2.7）は次世代型ヘルメットとして注目を集めており、その技術的特徴は本研究においても参考にすべき点が多い。X1 は 360 度の視覚情報提供、ヘッドアップディスプレイ（HUD）、ノイズコントロールなど、先進的な技術を多数搭載している。

X1 の大きな特徴の一つが、リアビューカメラを活用した 360 度ビューシステムである。ヘルメットの背面に設置された広角レンズカメラは、二輪車運転者の後方視界をカバーし、映像を内部ディスプレイにリアルタイムで表示する。これにより、ミラーの死角を完全に補完し、二輪車運転者の認識能力を大幅に向上させる。また、HUD 機能はナビゲーションや速度情報を二輪車運転者の視野内に直接表示することで、視線移動の頻度を減らし、安全性を高める。この透明スクリーンを通じた情報表示は、日中の強い日差しの下でも高い視認性を確保しており、実用性にも優れている。



図 2.7 CrossHelmet X1

(出典：CrossHelmet X1、MAKUAKE、ウェブページ「海外クラウドファンディングで目標金額の300%を早期達成し、CrossHelmet X1のプロトタイプ製造に成功。」[39]より引用)



図 2.8 出典：CrossHelmet X1 内部から見える実際の風景 [1]より引用

2.2.3 MOTOEYE

2024 年の重慶モーターサイクルショー（通称「重慶摩博展」）で発表された「MOTOEYE 新世代ヘルメット HUD」である。このシステムは、ヘルメットのシールド部または専用の投影エリアに情報を映し出す HUD 技術を組み合わせることで、二輪車運転者の視線移動を最小限に抑えながら走行情報やナビゲーション、通信などの多彩な機能を利用できるように設計されている。具体的には、広い視野角を確保した透明ディスプレイや、高輝度・高コントラストでの投影を可能にするモジュールが採用されており、昼夜を問わず高い視認性と安全性を確保する点が特徴である。

MOTOEYE のようなヘッドマウント型インターフェースは、従来のハンドル周辺や車体モニターに表示される情報と比べて、二輪車運転者が自然な視線のまま必要な情報を取得できるメリットを持つ。特に走行中は視線の動きや手元操作の制限が大きいため、HUD を活用することで二輪車運転者の認知負荷を軽減できると期待される。また、通信モジュールやセンサーデバイスと連動し、リアルタイムで周辺道路状況や地図情報を更新するほか、音声入力やハンドルスイッチなどによるインタラクションにも対応するなど、スマートヘルメットとしての機能拡張が進んでいる。

2.2.4 ConnectedRide Navigator

ナビゲーション面では、リアルタイムの交通情報を取得して渋滞回避ルートを提示し、目的地設定やルート案内をスムーズに行う。高い耐候性や耐振動性を備えているため、過酷なツーリング環境でも安定して情報を提示できる点が評価されている。こうした機能は、車両やスマートフォンとのシームレスな連携によって走行中の情報アクセスを支援し、従来のペーパーマップや汎用端末では実現しにくかった利便性をもたらしている。本研究においても、こうした先進的な二輪車運転者向け HMI（Human Machine Interface）の存在は、五感を統合的に活用する運転支援デバイスの発展の一環として参考になるだろう。

BMW Motorrad が提供する「ConnectedRide Navigator」は、二輪車運転者が



図 2.9 MOTOEYE

(出典：MOTOEYE 新世代ヘルメット HUD パーツ、CHEJIAHAO、ウェブページ（中国語）

「MOTOEYE New Generation Helmet Intelligent HUD, Debut at Chongqing Moto Expo」 [40]
より引用)



図 2.10 ConnectedRide Navigator

(出典：ConnectedRide Navigator、BMW Motorrad、ウェブページ「ConnectedRide Navigator ルート検索だけでなく、旅を豊かな体験にする情報も探そう」[41] より引用)

走行しながら快適かつ安全にルート案内やさまざまな情報にアクセスできるように設計されたナビゲーションシステムである。従来の純粋な地図案内機能に加え、スマートフォン連携や Bluetooth 通信を活用し、リアルタイム交通情報、電話着信やメッセージの通知、音楽ストリーミングなど、多彩な機能が統合されている点が特徴だ。特に、BMW Motorrad のマルチコントローラーとの連携によって、グローブを着用したままでも直感的に操作できるインターフェースを実現している。さらに、必要に応じて最新のマップデータやソフトウェアをオンラインでアップデートできるため、ユーザーは常に最新のルート情報や機能を利用可能である。これにより、二輪車運転者は目的地までの経路を効率的に探索するとともに、走行中に予測される天候や交通状況への適切な対応がしやすくなっている。いわば「ConnectedRide Navigator」は、視覚・聴覚情報に主軸を置いて二輪車運転者を

サポートする先行事例の一つと言え、本研究で着目した嗅覚の活用とは異なるアプローチを取っているものの、二輪車運転者に対する総合的な情報提示の重要性を示す代表的なサービスと言える。

しかし、これらの視覚情報提示システムにはいくつかの課題が指摘されている。まず、HUD が視野内に占める物理的なスペースが増加することで、運転者の視界が一部遮られ、周囲の状況把握が困難になる可能性がある [42] [43]。特に、高速走行時や視界が限られる環境では、視覚的な情報過多や視野の狭窄が安全性に悪影響を及ぼすリスクが高まる。また、視覚に過度な情報を提示することで、運転者の認知負荷が増大し、注意力の分散や反応時間の遅延を引き起こす懸念もある。

さらに、二輪車運転者はヘルメットやプロテクター（防護用具）の装着により、元々視覚や聴覚が制限された状態にある。これにより、周囲の環境を十分に感知できない状況が生じている。特に、風切り音やエンジン音などが聴覚情報を妨げ、視覚以外の感覚による環境認識が困難となる場合がある。

このような背景から、視覚や聴覚以外の感覚を活用した環境認識の向上に関する研究が求められている。しかし、触覚フィードバックを含めた他の感覚モダリティの活用に関する研究や製品開発はまだ限定的であり、特に嗅覚を用いた情報提示の可能性については十分に探求されていない。

嗅覚は情動や記憶と強く結びついており、直感的かつ無意識的に情報を伝達できる特性を持つ。そのため、嗅覚を活用した情報提示は、運転者の認知負荷を増やすことなく環境情報を提供できる可能性がある。加えて、嗅覚は視覚や聴覚と干渉しないため、既存の情報提示手段との併用による相乗効果も期待できる。

2.3. 医療、福祉

嗅覚インターフェースは、匂いを情報伝達手段として活用する技術であり、近年、医療、福祉、エンターテインメントなど、様々な分野で具体的な製品やシステムの開発が進められている。

例えば、医療分野では、嗅覚刺激を利用した認知症の予防や治療、嗅覚検査による病気の早期発見などが重要なテーマとなっている。認知症患者では、嗅覚機

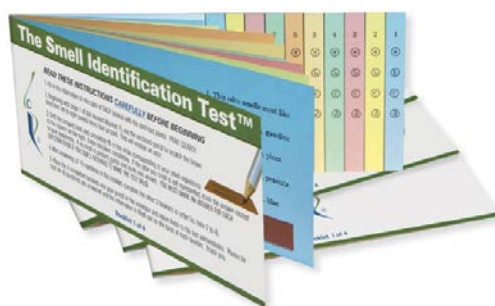


図 2.11 Sensonics 社の「University of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT)」

(出典：University of Pennsylvania Smell Identification Test、Sensonics INTERNATIONAL、
ウェブページ「Smell Identification Test™ (UPSIT®)」[44] より引用)

能の低下が初期症状として現れることが多く、これを検出するための嗅覚検査が開発されている。

具体的な製品として、Sensonics 社が提供する「University of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT)」が挙げられる。この検査は、40 種類の匂いを識別することで嗅覚機能を評価し、アルツハイマー病やパーキンソン病などの神経変性疾患の早期診断に役立つとされている (Doty et al., 1984)。

日本においても、「Odor Stick Identification Test for Japanese (OSIT-J)」が開発されており、臨床現場で広く利用されている [45]。この検査は、日本人に馴染みのある 12 種類の匂いを用いて嗅覚機能を評価するものであり、簡便かつ迅速に実施できる点が特徴である。

さらに、嗅覚刺激を用いたリハビリテーション装置も登場している。例えば、シスメックス社の「アロマトレーナー」は、香りによる脳の活性化を目的とした装置であり、認知機能の改善や情動の安定化を図るために用いられている。この装置は、多様な香りを適切なタイミングで提示することで、脳の特定領域を刺激し、認知症の予防や進行抑制に貢献するとされている。

また、福祉分野では、視覚障害者や聴覚障害者の支援を目的とした嗅覚ナビゲー



図 2.12 Odor Stick Identification Test for Japanese (OSIT-J)

(出典：[45] より引用)

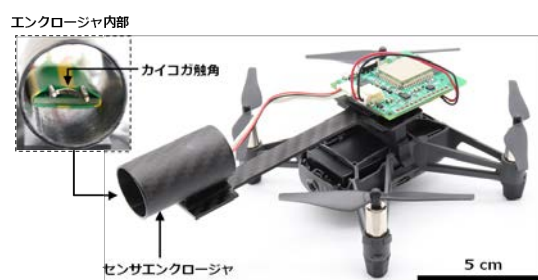


図 2.13 東京大学先端科学技術研究センターにおける嗅覚情報の研究

(出典：昆虫嗅覚受容体を利用したカビ臭検出センサの開発、東京大学先端科学技術研究センター、ウェブページ「昆虫嗅覚受容体を利用したカビ臭検出センサの開発」[46] [47] より引用)

ションシステムの開発が進められている。

具体的な例として、東京大学先端科学技術研究センターと企業が共同開発した「嗅覚ナビゲーションシステム」が挙げられる。このシステムは、道案内のポイントとなる場所に特定の香りを発生させる装置を設置し、匂いを手掛かりに目的地まで移動できるよう設計されている。実証実験では、視覚障害者が安全かつ確実に目的地に到達できることが確認されており、公共施設や商業施設での導入が検討されている。

さらに、高齢者や認知症患者の QOL 向上を目的とした研究も進展している。例えば、アメリカのカリフォルニア大学アーバイン校 (University of California,

Irvine, UCI) の研究によると、特定の香りを用いた芳香療法が認知機能の改善に寄与することが示されている。この研究は、同大学の学習と記憶の神経生物学センター (UCI Center for the Neurobiology of Learning & Memory) で行われた。

研究対象は、記憶障害のない 60 歳から 85 歳までの男女で構成されている。すべての参加者には、拡散器と 7 種類の異なる天然エッセンシャルオイルが含まれるフィルターが配布された。強化群には高濃度のエッセンシャルオイルが提供され、対照群には微量のオイルが与えられた。さらに、参加者は毎晩就寝前に異なるエッセンシャルオイルのフィルターを拡散器に装着し、その香りが睡眠中 2 時間にわたって拡散された。

その結果、記憶力を評価する標準的な単語リストテストにおいて、強化群の認知能力は対照群に比べて 226% 向上したことが明らかになった。また、脳画像分析では、「左側鉤状束」と呼ばれる脳の神経経路において、より高い構造的完全性が確認された。この結果は、香りが嗅覚神経を通じて記憶関連領域を刺激し、その活性化を促す可能性を示唆しており、認知症予防の新たな非薬物療法としての期待が高まっている [48]。

なお、エンターテインメント分野では、映画やゲーム、アトラクションなどに嗅覚効果を導入することで、より臨場感のある体験を提供する試みが行われている。例えば、映画館で映画の内容に合わせて匂いを発生させる「4DX シアター」や、「Smell-O-Vision」といった技術があり、これらは観客により深い没入感を提供している。

さらに、テーマパークのアトラクションでは、「ディズニーランド」の「ソアリン：ファンタスティック・フライト」のように、空を飛ぶシーンで草原や海の香りを漂わせることで、訪問者に感動的で没入感のある体験を提供している。

しかし、二輪車用知覚拡張システムへの嗅覚インターフェースの応用は、これまでほとんど検討されておらず、本研究は、この分野における先駆的な取り組みと言える。本研究では、特にバイク二輪車運転者が自然環境の匂いを感じることで、走行中のリラックス効果や運転体験の向上を目指している。このシステムには、特定の環境に応じた香りを放出する小型のセンサーがバイクヘルメットに装着されており、山道では森林の香り、海岸沿いでは潮風の香りなどを再現するこ

とで、運転者の五感を拡張し、より豊かなライディング体験を提供することが期待されている。

2.4. 自動車における嗅覚インターフェースの研究と製品

近年、自動車における嗅覚刺激を利用したインタラクション設計に関する研究が増加しつつある [49] [50]。Dmitrijs Dmitrenko らによる「CARoma Therapy」[51]の研究では、運転者の感情、特に「怒り」に着目し、嗅覚刺激がどのように運転行動や心理状態に影響を及ぼすかを検証している。自動車運転は感情に左右されやすいタスクであり、とりわけ怒りは運転時のリスク要因として広く研究対象とされてきた。しかし、嗅覚と感情の強い結びつきが知られているにもかかわらず、運転コンテキストにおける嗅覚刺激の効果を直接的に検討した先行研究は十分ではないという問題意識がある。

Dmitrenko らの研究では、まずバレンス（感情価）および覚醒度の異なる香り（バラ、ペパーミント、シベット）を選定し、運転者の怒りを誘発する刺激（感情喚起画像や実際の運転場面における怒りの誘因）を用いた三つの予備的な実験を実施した。その結果を踏まえ、最終的な第四のユーザースタディにおいては、怒りを誘発されたドライバーに対し、選択した香りを提示することで感情状態やウェルビーイング（幸福感）、運転行動がどのように変化するかを検証している。研究の結果、怒り状態にある運転者の情動を安定化させ、安全運転やポジティブな気分の維持に寄与する香りを選択的に提示する手法が有用である可能性が示された。これにより、自動車内での嗅覚インタラクションを設計する際、どのような香りを利用すべきかに関する指針が得られたという点で意義が大きい。

この「CARoma Therapy」が注目するのは「怒り」や「ストレス」といったネガティブな感情への対処であり、車内空間での安全運転とウェルビーイング向上を目指した応用である。一方、本研究で開発している「SMELL PRISM」は、主にオートバイ運転者向けの嗅覚インターフェースに焦点を当てているという点で相違が見られる。自動車が密閉空間であるのに対し、オートバイは走行時の風や騒音、振動、周囲環境との直接的な接触など、外部環境の影響を大きく受ける。へ

ヘルメット内部という限られた空間で香りを提示する際には、自動車向けの嗅覚インターフェース研究で得られた知見がそのまま適用できない場合もある。たとえば、香りの拡散方法や保持、運転者の呼吸導線、バイク特有の注意分散要因などを考慮する必要があるためである。これに伴い、香りの種類や提示タイミングの設計にも独自の検討が求められる。

しかしながら、「運転者の感情をコントロールまたは補助する」「安全運転やウェルビーイングを高めるための新たなインタラクション手段を開発する」という大枠の目的においては、「CARoma Therapy」と「SMELL PRISM」は共通の目標を有していると言える。感情を喚起・緩和する要因としての嗅覚の活用は、両システムに共通する重要な要素であり、今後の運転者インターフェースの発展に寄与する有益なアプローチである。自動車向けの知見（香りがドライバーの怒りやストレスを緩和するメカニズムや提示プロトコルなど）をオートバイ向けに再解釈することで、より多様な移動手段に対応した嗅覚インタラクションの設計が可能となるだろう。

総じて、「CARoma Therapy」は四つの包括的なユーザースタディを通じて、自動車環境における嗅覚刺激の有用性を実証し、感情設計（Emotional Design）の観点から実装指針を示した点が意義深い。一方、「SMELL PRISM」はヘルメットを装着するバイク運転者というユニークな対象を取り上げ、移動や身体の動きが大きい運転状況下での嗅覚活用を探究している点に新規性がある。両者を比較することで、密閉空間（自動車）と開放環境（オートバイ）における香り提示の最適手法や、感情の制御に関する普遍的要素と状況依存的要素とを整理する上で、新たな知見が得られると考えられる。これにより、車両運転者の安全性と快適性の向上を目指す嗅覚インターフェース研究全般をさらに進展させることが期待される。

2.4.1 メルセデス・ベンツの「AIR-BALANCE パッケージ」

また、近年、高級車メーカーを中心に、車内の快適性向上や二輪車運転者エクスペリエンスの深化を目的として、嗅覚インターフェースを取り入れた製品が開発・導入されている。これらのシステムは、運転者および乗客に対して多感覚的な体験を提供し、ブランド価値の向上にも寄与している。



図 2.14 「AIR-BALANCE パッケージ」

(出典：AIR-BALANCE、ウェブページ「What is the Mercedes-Benz Air Balance Package? [52]より引用)」

メルセデス・ベンツは、「AIR-BALANCE パッケージ」という車内フレグランスシステムを提供している。このシステムは、車内の空気質を改善しつつ、専用の香りカートリッジを用いて複数のフレグランスを提供することができる。この技術は、乗客に対してより快適でカスタマイズされたドライブ体験を提供することを目指しており、車内環境の質的向上を通じて、運転者および乗客のQOL（Quality of Life）を向上させるための重要な要素となっている。

「AIR-BALANCE パッケージ」は、単なるフレグランスの提供にとどまらず、システムには、香りの強度や種類を自由に調整できるインターフェースが備わっており、運転者はその日の気分や体調に応じて最適な香りを選択することができる。例えば、リラックス効果をもたらすラベンダーの香りや、集中力を高めるためのシトラス系の香りなど、多様な選択肢が用意されている。

このシステムの効果は、心理学的な観点からも注目されている。香りは嗅覚を通じて直接脳に働きかけるため、リラクゼーション効果やストレスの軽減に寄与

することが知られている。特に、長時間のドライブでは疲労やストレスが蓄積しやすいため、‘AIR-BALANCE パッケージ’のようなフレグランスシステムは、運転者の精神的な負担を軽減し、安全運転をサポートする重要な役割を果たす可能性がある。

さらに、香りによる快適性の向上は、乗客にも大きなメリットをもたらす。例えば、同乗者が複数いる場合でも、香りを適切に選択することで、全員が心地よく過ごせる空間を作り出すことが可能である。このような香りの活用は、単なる嗜好品の範疇を超えて、健康や心理的な福祉に直結する要素として、今後の自動車設計においてますます重要視されていくと考えられる。

2.4.2 アンビエント・エア・パッケージ

BMW もまた、「アンビエント・エア・パッケージ」という車載香りシステムを採用している。このシステムでは、車内に専用の香りカートリッジを装着し、8種類のフレグランスから選択できる。香りはダッシュボード内に設置されたディフューザーから放出され、iDrive コントローラーを通じて香りの強度や持続時間を調整することが可能である。これにより、運転者の気分や季節に合わせて車内の雰囲気自在に変化させることができる。

特に長距離運転時や渋滞時におけるストレス軽減に効果があるとされており、運転者の集中力を維持し、安全運転をサポートすることが期待されている。また、香りの選択肢が豊富であるため、季節や時間帯に応じて最適な香りを選ぶことができる点も、運転体験をよりパーソナルで快適なものにしている。

2.4.3 中国の桴之科（Fuzhike）社の車用フレグランスシステム

中国の自動車市場の急速な発展に伴い、車内環境の快適性に対する要求が高まり、嗅覚による快適性向上に着目した車載用フレグランスシステムが注目を集めている。従来の車載用芳香剤は、液体やゲル状のものが主流であったが、安全性や持続性、香りの多様性などに課題を抱えていた。こうした中、中国の桴之科（Fuzhike）社は、固体香料カートリッジを採用した革新的なフレグランスシステ

1. ブルー スイート (Blue Suite)

No. 1	No. 2
部品番号 : 6411 9382 585	部品番号 : 6411 9382 591
アクア系の清涼感のある香り	海と柑橘系のさわやかな香り
	

図 2.15 BMW のアンビエント・エア・パッケージ専用の固体香料カートリッジ、コンソールに挿入するだけで車内に香りを広げる

(出典：アンビエント・エア・パッケージ、BMW、ウェブページ「BMW 7シリーズのフレグランス、その調香は、音楽のように」[53] より引用)

ムを開発し、市場を牽引している。桴之科のフレグランスシステムは、安全性、利便性、そして運転者エクスペリエンスの向上を追求した設計が特徴である。固体香料カートリッジの採用により、液漏れの心配がなく、交換も容易に行える。また、豊富な香りのラインナップにより、運転者は自身の好みに合わせて香りを選ぶことができる。さらに、スマートフォンアプリとの連携機能により、香りの強度や放出時間などを細かく制御することが可能となり、パーソナライズ化された香り体験を提供し、運転者エクスペリエンスの向上に寄与している。システムのデザイン性にも優れている。コンパクトで洗練されたデザインは、様々な車種に調和し、車内空間のエスセティクスを向上させる。安全性にも配慮し、厳選された天然成分を使用し、アレルギーテストも実施している。桴之科は、車載用フレグランスシステムのリーディングカンパニーとして、技術革新と顧客満足度向上に積極的に取り組んでいる。

2.4.4 自動車における嗅覚研究の効果と限界

これらの自動車メーカーによる嗅覚インターフェースの導入は、車内環境の快適性向上やブランドの差別化に一定の効果をもたらしている。香りによるリラクゼーション効果やストレス軽減、運転者の集中力向上など、ポジティブな影響が

報告されている。しかしながら、現状の自動車における嗅覚インターフェースは、主に車内空間の雰囲気作りや乗員の快適性に主眼が置かれていると言える。香りを通して、運転者の環境認識を深化させ、嗅覚を拡張し、運転パフォーマンスを向上させるといった、よりダイナミックでインタラクティブな可能性については、未だ十分に探求されていない点が課題として挙げられる。

また、自動車と二輪車では車内・車外環境が大きく異なるため、自動車での嗅覚インターフェースの知見をそのまま二輪車に適用することは困難である。自動車の密閉空間では香りの制御が比較的容易であるが、二輪車では風圧や環境条件の変化により、香りの拡散や持続性の制御が技術的に難しい。

しかし、これらの技術的課題にもかかわらず、二輪車においても嗅覚インターフェースの導入は大きな可能性を秘めている。例えば、二輪車運転手のヘルメットに小型のデバイスを設置し、風や環境に応じた香りを動的に調整することで、運転体験をより豊かにすることが考えられる。特定の環境、例えば山道や海岸沿いなどに応じた香りを提供することで、より深い環境認識と没入感を生み出すことが可能となる。

2.5. 既存研究の不足と空白

近年、医療分野における認知症治療やリハビリテーション、あるいは VR/AR 技術を用いた五感情報提示など、嗅覚を活用する試みは多岐にわたって報告されている。また、Dmitrijs Dmitrenko に代表されるように、自動車の車内空間に香りを取り入れることで運転者の感情状態を制御し、安全運転やウェルビーイングの向上を目指す研究も登場している。しかしながら、以下に示すように、特に二輪車運転者を対象にした嗅覚活用の研究は依然として限定的であり、多くの課題や未解明の領域が残されている。

1. 嗅覚情報が二輪車運転者の環境認識能力、運転行動、心理状態に与える影響は未解明である。自動車運転を対象とした研究では、香りがドライバーの感情や行動に与える効果がある程度示唆されているものの、二輪車特有の運転環境においては依然として知見が乏しい。視覚・聴覚を活用した運転支援システムは数多

く開発・評価されてきた一方で、嗅覚情報の提示が二輪車運転者の環境認識や運転行動、心理状態にどのように寄与するのかについては、体系的な研究がほとんど行われていない。

2. 動的かつ過酷な環境に適応した嗅覚ディスプレイの開発は進んでいない。嗅覚ディスプレイ技術は VR やエンターテインメント分野など静的な利用環境を想定して一定の進展を見せているが、走行時の風圧やヘルメット内部という限定空間、ならびに振動・騒音など多様な外部要因を含む二輪車運転環境下で安定的かつ安全に動作する嗅覚ディスプレイの開発は十分に進んでいない。そのため、実装プロトタイプの検証や実地試験の報告も非常に限られており、今後は技術的課題の整理とともに実証的な研究が求められる。

3. 自動車・二輪車における嗅覚拡張と環境交流の深化に関する研究の不足。自動車分野では、車内空間の快適性向上や感情制御を目的とした嗅覚インタラクション研究が一部行われている。しかし、二輪車領域では、走行中に周囲の環境情報をどのように嗅覚を通じて拡張・提示し、運転者と環境との交流を深めるかといった観点からの研究事例はごくわずかである。多感覚を統合することで得られる情動面・認知面での効果についても明らかになっていない。

4. 多感覚統合による運転体験の質的向上に関する探求の不足。視覚・聴覚主体の運転支援システムに加え、触覚や嗅覚など他の感覚モダリティを統合的に活用することで、運転者の認知負荷を最適化し、情動的な満足度を向上させる可能性が指摘されている。しかし実際には、特に二輪車運転において嗅覚を含む多感覚の相互作用が運転パフォーマンスや安全性、さらにはウェルビーイングにどのように影響を及ぼすのか、実証的な研究は十分に行われていない。これは運転体験そのものを質的に向上させる上で、大きな研究上の空白と言える。

以上のように、自動車運転を中心とした先行研究からは嗅覚インタラクションの有用性が一部示唆されているものの、二輪車運転という動的かつ過酷な環境における嗅覚ディスプレイや運転体験向上策の検討は未だ十分ではない。これらの空白を埋める研究によって、二輪車運転における体験向上と快適性の両立を図る新たなアプローチが期待される。

2.6. 本研究の位置づけ

本研究は、嗅覚を活用した二輪車運転者向け嗅覚拡張システム「SMELL PRISM」の開発と評価を通じて、運転体験における嗅覚情報の有効性と可能性を明らかにすることを目指している。これにより、二輪車運転における人と周囲環境との結びつきを強化し、運転者が環境をより深く感じ取ることを目指す。具体的には、以下の取り組みを行う。

嗅覚情報が運転者に与える影響の実証的検証：運転シミュレーターゲームや模擬実験を用いて、嗅覚提示が運転者の環境認識能力、運転行動、心理状態に与える影響を定量的・定性的に評価する。これにより、嗅覚がどのように運転者の周囲環境への没入感や臨場感を高めるかを探求する。

二輪車運転に適した嗅覚ディスプレイの開発：ヘルメットに組み込める小型で直感的な嗅覚ディスプレイを設計・試作し、動的な運転環境下で香りを提示する技術を確立する。これにより、運転者が風景や季節の変化を香りを通じて体感し、周囲の環境との一体感を強く感じられるようにする。

二輪車運転者の受容性と倫理的・社会的課題の検討：アンケート調査やインタビューを通じて、嗅覚インターフェースに対する運転者の受容性や期待を明らかにし、さらに倫理的・社会的な観点からその影響を総合的に評価する。これにより、運転者の嗅覚体験がどのように運転の楽しさや環境との結びつきに寄与するかを理解する。

多感覚統合による運転体験の最適化：視覚、聴覚、嗅覚情報の統合が運転者の認知負荷や情動に与える影響を分析し、環境と調和した最適な情報提示手法を提案する。特に、視覚的風景と香りの一致が運転者の感覚体験にどのような相乗効果をもたらすかを解明する。

これらの取り組みにより、嗅覚を活用した新たな運転体験を向上させるシステムの可能性を探求し、運転者の環境認識の向上、そして運転体験の質的向上に貢献することを目指す。本研究の成果は、二輪車運転者が環境とより深く結びつき、運転そのものをより豊かな体験にすることを可能にし、ひいては他の移動体における嗅覚インターフェースの応用にもつながることが期待される。

第 3 章

設計と実装

3.1. コンセプト

本章では、バイク運転者向け嗅覚エクスペリエンス強化システム「SMELL PRISM」の新しいコンセプトについて述べる。従来は、ヘルメットへの容易な装着性やシンプルな操作性を重視し、安全性や快適性を保ちながら香りによる環境知覚の向上を目指していた。しかし、より現代的なライディング体験や多面的な感覚拡張を求めるニーズの高まりに伴い、本システムは以下の新たな指針を中心に再設計される。

1. Micro-Adaptable Integration（柔軟な小型統合）: SMELL PRISM は、既存のヘルメット形状や構造を大きく変更することなく、小型・軽量のセンサーモジュールを搭載し、走行中に取得する環境データ（気温、湿度、GPS 位置情報、走行速度など）と連動して香りを動的に制御するシステムである。これにより、視覚や聴覚だけでは捉えきれない「空気感」を嗅覚によって補い、より没入感のあるライディング体験を提供する。たとえば、郊外の森林地帯を走行している際には樹木系の香りを、海沿いに差し掛かると潮風をイメージしたさわやかな香りを自動的に切り替えて提示し、運転者が走行環境と一体になれるよう工夫している。

さらに本システムの最大の特徴は、単に周囲の空気を感知して香りを提示するだけでなく、目的地の雰囲気をおらかじめ体験できる点にある。たとえば、都市部から海岸沿いへ向かう場合、位置情報や走行速度をもとに海辺の接近を検知し、到着前に潮の香りを先取りして届ける。これにより、まだ海が見えない段階から開放感や爽快感を味わえ、「今いる場所」にしながらも「まるで目的地にいるかのような」感覚を得られるのだ。こうした動的かつ先読みした香りの演出が、視覚

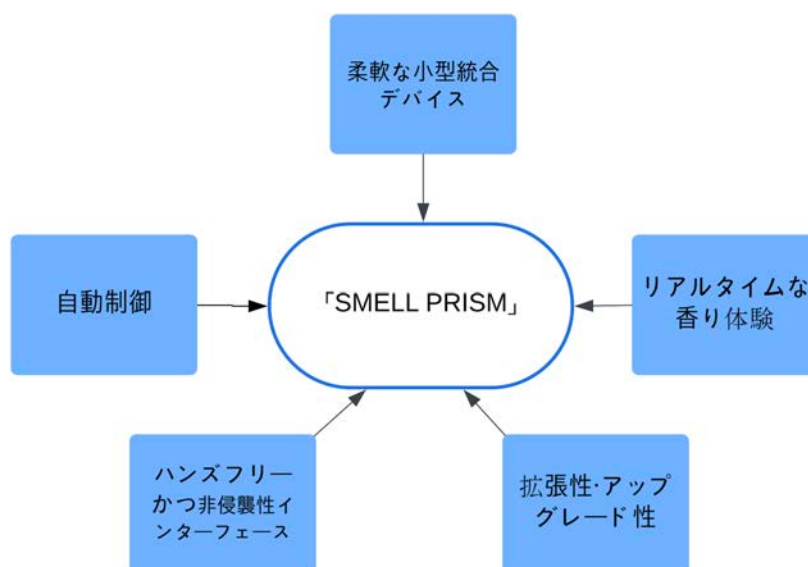


図 3.1 「SMELL PRISM」のコンセプト

や聴覚だけでは得られない臨場感をもたらし、運転者の期待感と楽しみをいっそう高める大きな要因となっている。

2. 運転者の生理状態および心理状態へのダイナミック対応：安全性向上とストレス軽減を狙い、SMELL PRISMは運転者の情報、GPSと連動して香りを調整する仕組みを検討する。Co2濃度が高い環境、緊張度が高まった際にはリラックス効果のある香りを提供する。これにより、ただの嗅覚刺激ではなく、心身状態に寄り添う「パーソナライズされた嗅覚サポートシステム」を実現する。

3. クリーンかつ持続可能な香り資源の活用：使用する香料は、市場で安全性が確認された精油を採用し、換装が簡易なカートリッジ方式を維持する。同時に、香りの濃度や放出タイミングを最適化することで、過剰な消費を抑え、香料資源のロスを低減する。これにより、環境負荷を低減しつつ、ユーザーにとっての経済的メリット（交換コスト低減）も確保する。

4. ハンズフリーかつマルチモーダルなインターフェース：安全運転を最優先に考え、基本は自動制御としつつ、必要な場面では音声コマンドや極めてシンプルなハプティック入力（ヘルメット側面、ハンドルのボタンの軽いタップなど）による制御を可能にする。さらに、スマートフォンアプリとの連携は引き続き提供する。

るが、運転中は極力視線を分散させず、ヘルメット自体が知的なアシスタントとして機能することを目指す。将来的にはARヘッドアップディスプレイや3Dオーディオとの統合を視野に入れ、複合感覚を通して状況認識をサポートする。

5. 構成要素の拡張性・アップグレード性：香りディフューザー、環境センサー、生体情報リーダー、制御ユニットといったコンポーネントは、引き続きモジュール化を基本とし、ユーザー自身が必要に応じてグレードアップ可能な設計とする。例えば、標準モデルは基本的な香り提示のみを行い、オプションとして先進的な生体センサーや拡張センサーパックを追加可能とすることで、ユーザーの多様なニーズや予算に合わせたカスタマイズを実現する。

本コンセプトでは、「SMELL PRISM」の方向性—安全性、非侵襲性、モジュール性—を維持しながら、よりパーソナライズされたリアルタイムな香り体験、持続可能性、複合的な感覚統合、そしてユーザーの心理・生理状態へのフィードバック性を前面に打ち出した。これにより、「SMELL PRISM」は単なる香り拡張デバイスではなく、運転者と環境、そして運転者自身のコンディションをつなぐ、次世代の嗅覚ベース・インタラクションプラットフォームへと進化することを目指す。

3.1.1 目的地環境の香りシミュレーションと先読み提示

本研究のさらなる発展として、目的地における環境の香りを事前にシミュレートし、走行中に段階的に提示するシステムの構築が挙げられる。具体的には、GPSモジュールや気象情報、さらには目的地の属性（自然公園、海辺、ライブ会場など）を動的に取得し、あらかじめ想定される香りのプロファイルを生成しておく。二輪車運転者は走行中から目的地の雰囲気嗅覚的に体験できるため、到着前から現地ならではの期待感や高揚感を高められる可能性がある。たとえば森林や花畑を目的地とするツーリングでは、樹木や花の香りを段階的に強めることで自然の気配を疑似的に先取りできるほか、夜間イベントやライブ会場へ向かう場合には、演出を意識した香りを組み合わせて没入感を事前に喚起する効果が期待できる。こうした目的地の環境情報と連動した香りの先読み提示は、単に運転中の快適性を追求するだけでなく、「移動の時間そのものをエンターテインメント化」し、目的地における体験を出発時点から拡張する新たな可能性を示唆している。今後

は、実際の目的地データとの精度の高い紐づけや、さまざまな香りのレシピ開発、さらには個人の嗜好やアレルギー対応など、より多面的な要素を統合していくことで、走行体験をさらに豊かにする応用が期待される。

3.2. 本研究における精油の選定と使用目的

嗅覚情報の担い手となる香りに関する研究は、伝統的な分野において既に多くの探究がなされている。特に、香料および芳香精油の抽出・応用分野においては、悠久の歴史と膨大な研究成果が蓄積されてきた。古来より、蒸留法、溶剤抽出法、圧搾法といった技術が主たる香料抽出手段として発達し、これらの技法によって得られた精油は、香りを伝達する最も早期の形態の一つとして位置づけられている [54]。精油は薫香や香水、薬用、さらには宗教的儀式など、多様な領域で用いられ、その特性を活かして人々に嗅覚情報を提供してきた [55]。

以上を踏まえ、本研究では、伝統的に確立され多面的な活用がなされてきた精油を、香りの情報伝達媒体として選定・検討することとする。本研究においては、人体への安全性を確保しつつ、すべての試作機のテストにおいて精油を使用し、インセントアロマテラピー社の3種類の精油を活用する。以下に、それぞれの精油の詳細を説明する。

3.2.1 安全性について

本研究で使用した3種類のインセントアロマテラピー社のエッセンシャルオイルは、英国のオーガニック認証機関および公益社団法人日本アロマ環境協会（AEA）の表示基準に適合した高品質な精油を採用している。AEAはアロマテラピーの健全な普及と発展を目的とし、精油の品質や安全性に関する厳格な基準を設けている。本製品はこれらの厳格な基準に基づいて製造されており、その安全性と信頼性は高く評価されている。

さらに、英国のオーガニック認証機関は1946年に設立された歴史あるNGO団体であり、EU規則やその他の国内基準と比較しても、より厳しい認証基準を設定している。同機関の認証を取得することで、製品のオーガニック性や品質に対

表 3.1 本研究における精油の選定と効果

モデル	成分	香りの特徴
カモミール 10ml	100 %天然カモミール油	道端に咲く野花を思わせる優美で穏やかな香りであり、山道や林道を連想させるリラックス効果が期待できる。精神的な緊張を和らげ、リラックスした集中状態を促進する作用がある。
ベチバー根油 10ml	水蒸気蒸留法で抽出したベチバー油	深みのあるスモーキーで土っぽい香りが特徴であり、地に足の着いた安定感を提供する。感情の乱れを抑制する効果があり、集中力向上に寄与する。
ココナッツ 10ml	100 %天然ココナッツ油	甘くクリーミーでトロピカルな雰囲気を持つ。この香りは心地よいリラクゼーション効果をもたらし、軽快で快活な気分を促進することが期待される。

する信頼性が一層高まる。これにより、オーガニック製品の普及と品質向上に大きく貢献しており、本研究においてもその高品質な精油を使用することで、安全性を確保している。

希釈方法について

ボランティア参加者の安全と健康を最優先に考慮し、エッセンシャルオイルはヘルメット側面に装着する香り装置にセットする前に、適切な希釈を行う。具体的な希釈方法としては、専用の 10ml 容量のボトルに精油を 5 滴（約 0.25ml）滴下し、8ml の無菌水を加える。これらを均一になるようによく混合し、適切な濃度に調整する。希釈することで、エッセンシャルオイルの過剰な刺激を抑え、長時間の使用においても安全性を維持する。



図 3.2 使用される精油のひとつ：ベチバー根油

(出典：ベチバー根油 10ml エッセンシャルオイル、インセントアロマセラピー社、ウェブページ「インセントアロマセラピーのストア」[56] より引用)

これらの手順を遵守することで、ボランティアが安心して研究に参加できる環境を整え、研究結果の信頼性と有用性を高めることが可能となる。

3.3. 第1プロトタイプ

本研究の初期段階として、嗅覚を活用した二輪車運転者向け嗅覚拡張システム「SMELL PRISM」の第1プロトタイプを開発した。本プロトタイプは、香りの供給ではなく、システムの基本的な実現可能性を検証することを主眼としている。具体的には、センサーおよび環境感知ユニットの動作確認を中心に行い、環境パラメータが正確に検出されるか、センサーが安定して機能するかを詳細に評価した。

また、収集されたデータが Arduino UNO を介して信頼性高く処理されるかを検証し、データ取得から解析、可視化までの一連のプロセスを最適化した。データのリアルタイム処理能力やノイズフィルタリングの効果、可視化による環境状態の直感的な理解促進など、多角的な視点からシステムの性能を評価した。

さらに、空気が適切にろ過され、センサー計測の精度と信頼性が確保されているかも確認した。フィルター素材の選定やろ過効率の検討を通じて、センサーへの影響を最小限に抑える工夫を施した。これらの取り組みを通じて、システム全



図 3.3 基盤設計

体の堅牢性と拡張性を高め、次世代プロトタイプの開発に向けた堅実な基盤を築いた。

これらの基礎的な検証と最適化が完了した段階で、次のステップとして香りの供給機能やデバイスの装着方法に関する詳細な研究を進める予定である。

3.4. 設計（Hardware components）

3.4.1 センサー

まず、二輪車が「止まっているのか、走っているのか」を正確に把握するため、ルネサス社製の「FS3000-1015」空気流速センサーを採用した。これは、二輪車走行時にヘルメット外部にかかる風の強さを計測する小型センサーであり、風速の変化から、二輪車が走行状態にあるか静止しているかを自動的に判定できる。Qwiic コネクタ¹を備えた高精度な空気速度センサーであるため、簡潔な配線と安定したデータ取得が可能である。

FS3000-1015 は、MEMS（微小電気機械システム）技術を用いた高感度なセンサーで、12 ビットという細かい精度のデジタル出力を提供する。MEMS 技術とは、微細な構造をチップ内部に組み込むことで、高精度かつコンパクトな計測を

1 センサーと制御基板間を、はんだ付け不要で簡易に接続できる規格化されたコネクタ部品。

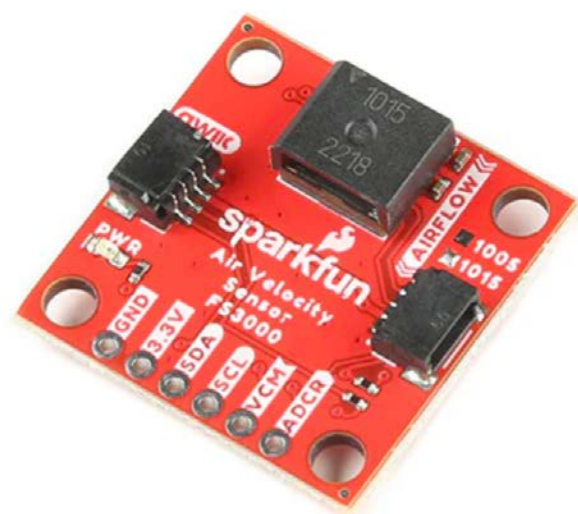


図 3.4 二輪車が「止まっているのか、走っているのか」を把握する空気流速センサー

可能にする手法である。さらに、シリコンカーバイド (SiC) コーティングなどの特殊な表面処理によって、摩耗や湿気による性能低下を防ぎ、長期間にわたって安定した測定が行える点も特長となっている。

また、安全面やデータの確実性を高めるため、もう一つのセンサーとしてシャープ社製の「GP2Y1010AU0F」空気品質センサーを組み込んだ。これは、空気中の微粒子（埃や煙など）の濃度を検出する小型軽量なセンサーであり、もともとは空気清浄機やエアコンなどの自動制御用途で広く使われている実績がある。GP2Y1010AU0F は、赤外線 LED を使って空気中の粒子に光を当て、その反射・散乱光を読み取ることで、微粒子の量（濃度）を判断する仕組みを採用している。

このような光学的手法により、肉眼では確認しづらいほど小さな粒子でも検出でき、しかも低消費電力で動作するため、ヘルメット装着システムのようなバッテリー駆動の環境でも使いやすい点が特徴である。

総合すると、FS3000-1015 による風速測定と GP2Y1010AU0F による空気品質検知を組み合わせることで、二輪車がどのような環境で、どんな走行状態にあるかを多面的に計測できる。この情報は、後述するシステム制御や香り提示の最適

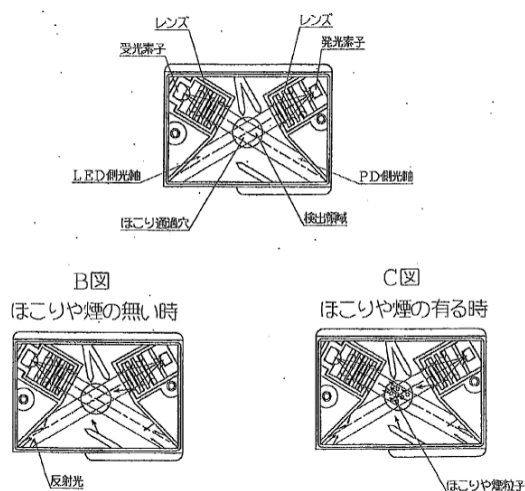


図 3.5 GP2Y1010AU0F の検出原理：発光素子（発光ダイオード）からの光は、レンズ及びスリットにより、図の様に絞られた光になっている。又、受光素子（フォトダイオード）も不要光をできるだけカットし、検出光を効率良く受光する為、発光部と同様にレンズ及びスリットにより絞っている。これらの光軸の交叉した個所が検出領域である。

(出典：GP2Y1010AU0F、シャープ社、公式説明書「GP2Y1010AU0F」[57] より引用)



図 3.6 本研究において使用されたシャープ社製の「GP2Y1010AU0F」空気品質センサー

化に生かされることになる。

3.4.2 制御

センサーからのデータの処理とシステム全体の制御には、Arduino Uno Rev4 を使用した。

続いて、本システムでは、Arduino UNO 上で実行されるファームウェアの拡張性とメンテナンス性にも配慮している。開発段階では、走行環境や季節、さらにはユーザーの嗅覚的嗜好に合わせて閾値や香りの強度調整を柔軟に行えるよう、設定パラメータをコード中で容易に書き換えられる構造を採用した。また、将来的には、スマートフォンアプリとの連動によって、ユーザーが走行前または停車時にアプリ上でパラメータを遠隔変更し、その情報を無線通信モジュール（例えば BLE や Wi-Fi シールド）を介して Arduino UNO に送信することも想定している。

このような設計によって、二輪車走行時における香り生成のトリガー条件や強度は、ユーザーエクスペリエンス向上のために動的にカスタマイズ可能となる。例えば、高速道路走行時には刺激を与える香りを強め、低速での市街地巡行時にはリラックスできる香りをゆるやかに提供する、といった運転状況に応じたフィードフォワード的な制御も実現可能である。

さらに、Arduino UNO を中核としたシステム構成は、外部センサーや機能拡張デバイス（GPS モジュール、気温・湿度センサー、振動センサーなど）の追加を容易にし、将来的な機能拡充に対応しやすい。これにより、単なる風速・埃検知にとどまらず、環境や運転者の状態に基づいた総合的な情報プラットフォームとして機能することが期待できる。

総合すると、Arduino UNO はセンサーからのリアルタイムデータ処理・判定の中核を担いつつ、拡張性・柔軟性・保守性を確保し、ユーザーや環境に応じた動的な香り提示の実現を支える基本的な制御基盤として位置づけられている。このようなアーキテクチャにより、‘SMELL PRISM’システムは、今後のニーズ変化や技術進歩にも対応できる持続的な進化を可能にする。

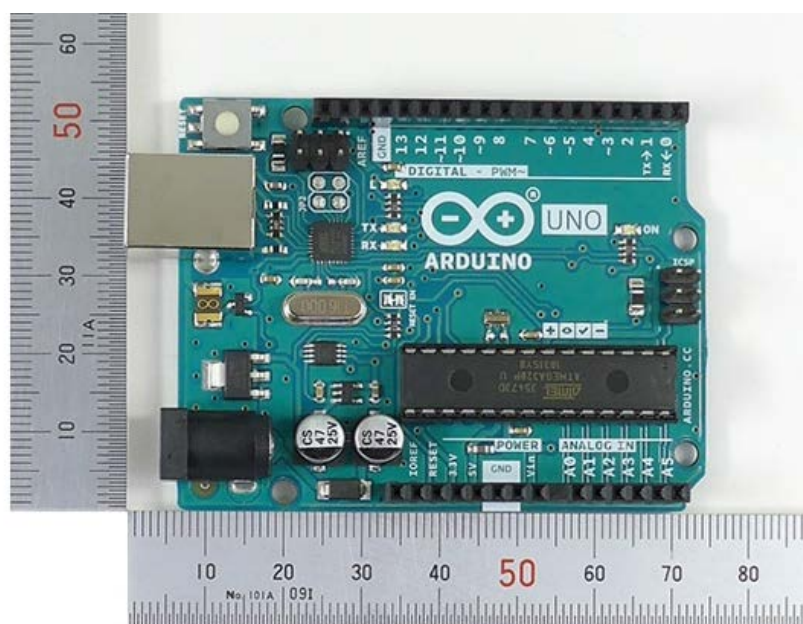


図 3.7 一般的に利用されている Arduino UNO、革新的な製品開発の分野においてもその利便性と可能性が広く認識され、電子工学分野における趣味的利用者から専門技術者に至るまで、幅広い層にとって理想的なツールとして位置付けられている。

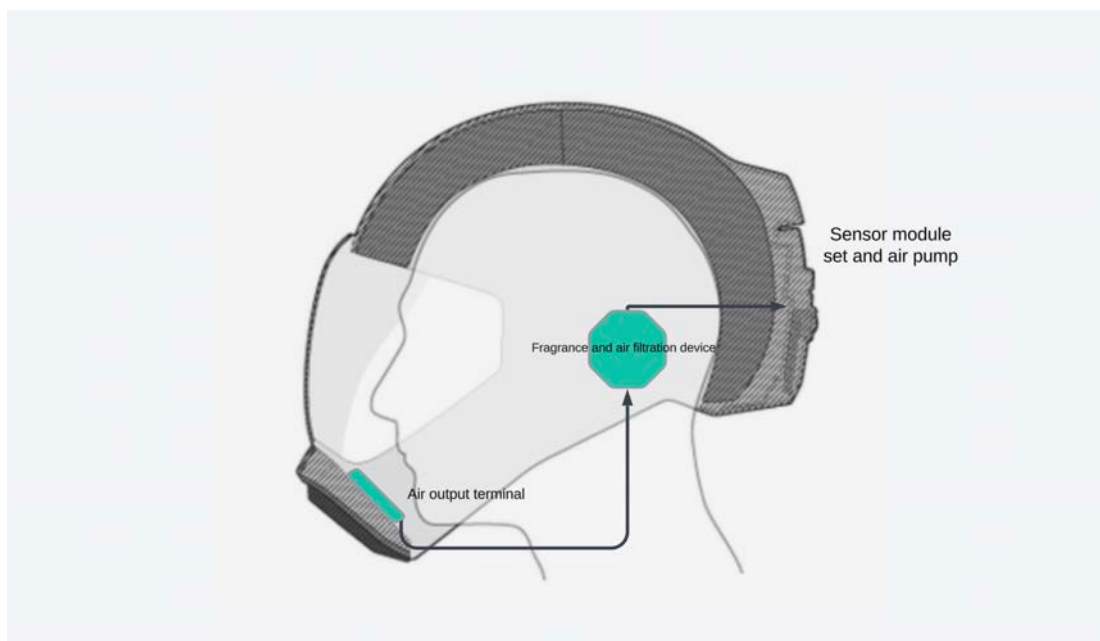


図 3.8 ハードウェア設計が完了した後の「SMELL PRISM」

3.4.3 出力

さらに、エアポンプと香り装置の接続部分には、香りカートリッジの交換が容易な構造を採用した。これにより、運転者は季節や気分、周囲の環境に合わせて香りを手軽に切り替えることができる。香りカートリッジは、精油や固形芳香素材などの安全性が確認された香料を用いており、カートリッジごとに異なる特性や効能を持つ香りを試すことで、嗅覚体験を多様化することが可能となる。

エアポンプをはじめとしたハードウェアコンポーネントは、モジュール化された設計思想に従って組み込まれている。つまり、エアポンプ自体を含め、各部品が独立したユニットとして扱えるため、必要に応じて特定のパーツをアップグレードしたり、メンテナンスを行ったりできる。これにより、システム全体の長期的な信頼性と持続可能性を確保するとともに、将来的な改良やユーザー独自のカスタマイズにも柔軟に対応できる。

小型エアポンプとその周辺部品の組み合わせは、清潔で安定した香りの供給と、ユーザーの好みに合わせたアレンジ性を両立する重要な要素となっている。この

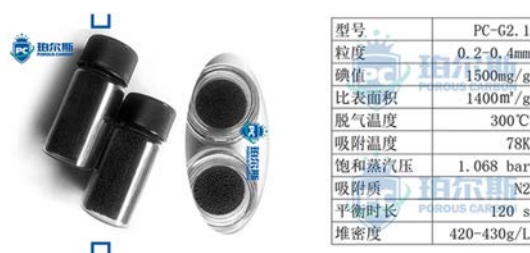


図 3.9 本研究において使用された中国の「Pöls」社が開発した微細粒活性炭ボール
ハードウェア的な基盤により、システムは、運転者にとってより安全で快適かつ
個性的なライディング体験を実現している。

3.4.4 可視化、UX、連携

さらに、Arduino Uno には「1602 LCD ディスプレイ」という小型表示装置を接続した。1602 LCD は、1 行あたり 16 文字、合計 2 行の文字表示が可能な標準的なディスプレイで、一般的な家電や計測機器にも広く使われている。このディスプレイには「HD44780」という基本的な制御チップが搭載されており、Arduino などのマイコン（小型コンピュータ）からの命令で表示内容を切り替えることができる。

特にこのシステムでは、I2C（アイツージー）という通信方式に対応した小さな接続モジュールを使うことで、ディスプレイと Arduino の接続を簡略化している。I2C 接続を採用することで、必要な配線を最小限に抑えながら、文字表示や設定変更などのやりとりをスムーズに行うことができる。この結果、開発者は複雑な配線や回路設計に悩まされることなく、より効率的に表示機能を実装できるようになる。

ディスプレイを導入した目的は、「センサーから得た情報をリアルタイムに視覚的に示す」ためである。たとえば、FS3000-1015 空気流速センサーや GP2Y1010AU0F 空気品質センサーから取得したデータを、そのまま数字や簡単な記号でディスプレイ上に表示できる。これにより、運転者や開発者はヘルメット内の空気状態や風速などの情報を、一目で確認できるようになる。

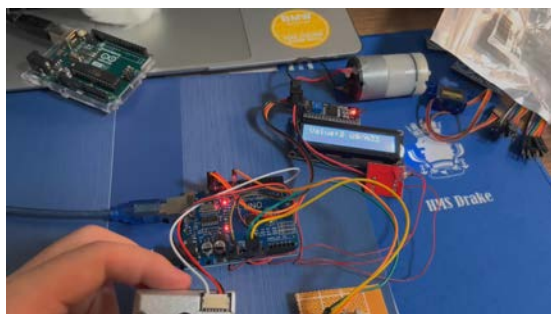


図 3.10 第1プロトタイプの開発風景

さらに、このディスプレイは将来的な発展の足がかりにもなりうる。たとえば、より高解像度な画面に変更したり、別の無線通信モジュール (Bluetooth や Wi-Fi) を追加することで、スマートフォンやその他のウェアラブルデバイスと情報をやり取りする仕組みを構築することも可能だ。こうした拡張によって、運転者はアプリを通じて走行状況や環境情報をより分かりやすく確認できるようになり、結果的に安全性や利便性が向上する。

この初期段階のシステム構築では、センサーと Arduino、そしてディスプレイという基本的な組み合わせによって、リアルタイムで環境状況を把握し、それに応じてヘルメット内への空気や香りの供給を制御する仕組みが整った。強力なセンサー、高信頼な制御システム、そして分かりやすい表示手段の組み合わせにより、ユーザーは走行中でもシステムの状態や外部環境を直感的に理解できる。

今後は、さらなる機能強化や最適化を行うことで、ユーザーがより快適で、安全、そしてカスタマイズ可能な走行体験を得られるようになることが期待される。こうして、現段階のハードウェア設計は、将来のシステム拡張や新技術との組み合わせに向けた柔軟な基盤づくりに大きく貢献していると言える。

3.4.5 実装

第1プロトタイプの動作は、次のステップで進行する。

走行開始検知：二輪車が走り出すと、空気流速センサーがヘルメット周りの風の増加を捉える。風の強さ（風速）が事前に設定したしきい値を超えた場合、シ

システムは「走行中」と判断する。

エアポンプ起動：風速が一定以上になると、Arduino UNO からエアポンプに「作動せよ」という信号が送られる。エアポンプが起動すると、外部から空気が吸い込まれる。

空気の浄化・芳香付与：吸い込んだ空気は微細粒活性炭ボールを通過し、埃や不純物を取り除かれる。その後、清潔な空気が精油カートリッジなどを通過し、香りが染み込む。こうして香りづけされた空気は、柔軟なチューブを通してヘルメット内部へと流れ込み、運転者は走行中に心地よい香りを感じられる。

このプロトタイプを設計・実装する際には、特に以下の点に注意を払った。

安全性の確保：装置の取り付けによって、運転者がハンドル操作や視界確保を妨げられないよう、各部品の大きさや取り付け位置を慎重に検討した。また、部品自体が走行中にずれたり外れたりしないよう、強固な固定方法を用いている。

耐久性と信頼性：二輪車は、雨や埃、振動など、さまざまな環境要因にさらされる。そのため、電子部品は防水・防塵性能や振動への耐性を考慮して選定・配置した。これにより、日常的な走行環境でも安定した動作が期待できる。

こうした配慮によって、この第1プロトタイプは基本的な機能（走行検知による自動的な香り供給）の実現と、安全で快適な利用環境の確保という両面を両立することを目指している。これを足がかりに、さらなる改良や機能追加によって、より豊かな感覚体験を提供するシステムへと発展させていくことが可能となる。

3.4.6 過酷な使用環境への考案

二輪車特有の問題点として、エンジン振動や加減速時の揺れ、路面の凹凸などにより、ヘルメット越しに機器へと微細な振動が伝わる事が挙げられる。これらの振動は、長期間にわたって電子部品に「疲労」と呼ばれるストレスを蓄積させ、故障や性能低下を招く原因となりうる。特に、細いケーブルやセンサー取り付け部といった、物理的な接合や微小な実装箇所に影響が大きい。こうした振動問題を解決し、装置の長寿命化や安定性を確保することは、本システムの重要な課題のひとつである。

この課題に対処するため、本システムでは外部から伝わる振動を効果的に抑えるための新たな構造設計を導入した。具体的には、構造開発ソフトウェア「Ultra-sim®」を用いて、振動を吸収・減衰するための「外装緩衝材」を設計し、3D プリンターで製作できる形状を採用した。この緩衝材は、内部に電子部品を包み込むことで直接的な振動を遮断し、部品そのものが振動のストレスにさらされにくくなる工夫がなされている。

緩衝材には、生分解性を持つ PLA（ポリ乳酸）や ABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）といった、3D プリンターで一般的に用いられる樹脂素材を採用した。これらの素材は比較的環境負荷が低く、かつ入手性が高いことが特徴である。そのため、プロトタイプの開発コストを抑えながら、環境へも配慮した設計を実現できる。

この振動対策によって得られた効果は大きく 2 点ある。

振動低減効果の向上：外装緩衝材が振動を吸収・拡散するため、電子部品への直接的なストレスが大幅に軽減される。

耐久性・信頼性の向上：過酷な走行環境でも電子部品が破損しにくくなり、装置全体が長期にわたって安定して稼働する。

まとめると、新たな振動対策設計は、システムの信頼性向上、そしてコスト面での効率化にも寄与するものである。これらの改良を通じて、本システムは二輪車の厳しい運用環境下でも、より安定かつ持続的に機能するプラットフォームへと進化している。

本プロトタイプの開発および評価を通じて、システムの実用化に向けた重要な知見を得ることができた。今後はさらなるフィールドテストを行い、実際の使用環境下での評価を進めていく予定である。

3.4.7 総括

本研究の第 1 プロトタイプは、システムの基本的な実現可能性を検証することを目的として設計・開発された。主な検証項目は以下のとおりである。

まず、環境情報を取得するための気流センサーの性能を詳細に評価した。気流がセンサーを通過した際、センサーが期待どおりに正常かつ正確に動作し、環境

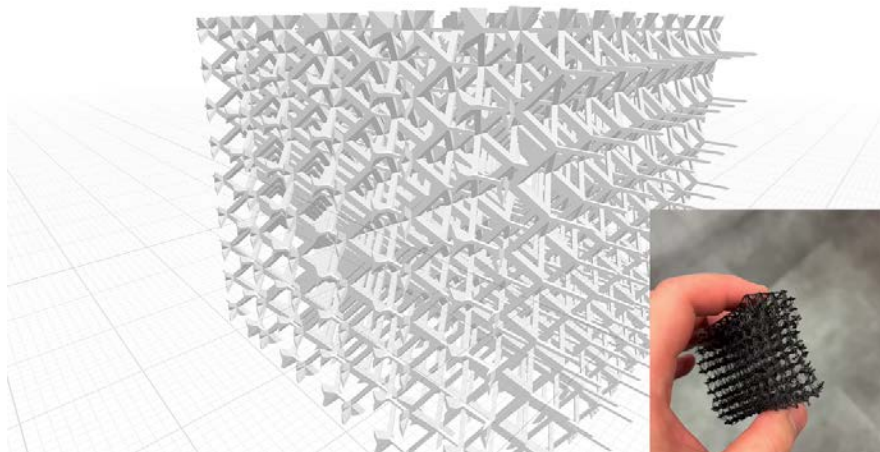


図 3.11 構造開発ソフトウェア Ultrasim® で作った緩衝材

変化に応じて適切な出力が得られるかを検証した。ここでは、感度、応答速度、安定性などを中心に、センサーの基本特性を総合的に評価し、その信頼性を確認した。

次に、Arduino UNO によるデータ処理能力の確認を行った。センサーから取得した生データが正しく取得・解析され、ノイズ除去やリアルタイム処理が適切に機能するかを検証した。また、取得したデータを視覚化することで、周囲環境の状態を直感的に把握できる仕組みが確立された。これにより、システム全体のデータ処理パイプラインの有用性と効率性を確かめている。

加えて、空気のろ過プロセスが適切に機能し、測定結果に悪影響を及ぼさないことも確認した。フィルタ素材やろ過方法の選定を行い、センサー出力の精度向上と信頼性確保に努めた。

これら一連の検証を通じて、システムの堅牢な基盤が確立されたことを踏まえ、今後は精油の活用方法やデバイスの装着形態に関する詳細な研究へと進む予定である。最終的には、システムの実用性とユーザーエクスペリエンスを高め、将来的な製品化への指針を明確にすることが可能となる。本研究は、持続可能な環境モニタリングシステムの開発に向けた重要なステップとして位置づけられる。



図 3.12 討論会の様子

3.4.8 展示

なお、次のプロトタイプの開発を進めるにあたり、第1プロトタイプは実際の静的展示、機能デモンストレーション、遠隔展示など、多様な形態での発表を行った。また、各大学で開催された討論会にも参加し、多くの意見やフィードバックを収集した。これらの活動を通じて得られた貴重な評価の中から、特に重要と考えられるものを以下の表にまとめる。

表 3.2: 第 1 プロトタイプに対するフィードバック

評価項目	フィードバック内容
ポジティブ	● 全体的に軽量であり、頭部の重心に影響を与えないという評価であった。 ● 操作性への影響が見られず、通常のヘルメットと比較して着用時に空気の流動感をより明確に感じられる。 ● 電力供給の方法として、二輪車の走行中に発生する風力を活用し、そのエネルギーを蓄積して装置の電力供給に利用する。製品開発における方向性および応用可能性を広げるものである。 ● 手持ちのヘルメットに大幅な改造を施すことなく香りを提供することで、運転体験の向上を図れる点について、非常に高い関心が寄せられた。
ネガティブ	● 長時間の運転では不快感を引き起こす可能性があるとの指摘があった。 ● 市販のセンサーおよび Arduino のサイズに起因し、一部のヘルメットに装着することが困難である場合があるとの意見が出た。 ● 電力供給に関する課題が指摘された。

3.4.9 意見に基づく思考

第1プロトタイプでは、仮説の検証と基本的な機能実装を主な目標としていたが、静的ワークショップでのフィードバックに基づき、第2プロトタイプでは製品化を視野に入れた設計が行われた。特に、装置の設置方式に大幅な改良が加えられ、外部に装着可能な一体型の小型アクセサリへと再設計されている。この変更により、多様なヘルメットに対応し、磁力吸着、粘着テープ、クリップなどの固定方法により二輪車運転者のニーズに応じた柔軟な装着が可能となった。また、これにより、装置の取り外しや再装着が簡単になり、使用時の利便性が向上している。

さらに、フィードバックに基づく改良は軽量化にも及び、より二輪車運転者フレンドリーでエルゴノミクスに基づいた形状を採用した。二輪車運転者が長時間使用することを考慮し、軽量化と小型化を実現し、装着時の負担を軽減している。また、防水性や耐久性も向上させ、さまざまな天候や使用環境に対応できるように設計されている。

3.5. 第2プロトタイプ

第1プロトタイプの研究が一段落し、第2プロトタイプはその考察を踏まえて大幅な進歩を遂げた。第2プロトタイプでは、マサチューセッツ工科大学（MIT）の Senseable City Lab のプロジェクト「Flatburn」を参考に、Arduino UNO を除くすべての部品は3Dプリントやオンラインで入手可能な廉価な部品で製作可能であり、デバイス本体をヘルメット外部に装着する独立したモジュールとして再設計した。「Flatburn」は、MIT の Senseable City Lab が手掛ける、都市環境における新たな構造・装置の創出を目指した実験的プロジェクトである。プロジェクトは、都市空間の持続可能性や適応性を高めるため、極めてシンプルな部品群を組み合わせることで、低コストかつ拡張性のあるソリューションを提示する点が特徴的である。

このアプローチは、複雑な加工や高価な素材に依存せず、標準化された汎用パーツを用いて柔軟な構築手法を実現することに主眼を置いている。その結果、限ら



図 3.13 「Flatburn」は、従来デジタル化や定量化が困難とされてきた都市環境下の「匂い」を、収集・分類・マッピングする独自の手法を導入し、人間が都市をどう感じ、そこにどのような文化的・社会的価値が内包されているかを浮き彫りにする点で新規性が高い。また、都市計画や環境デザイン、さらには地域コミュニティのアイデンティティ再考に資する定性的・定量的知見を創出し、都市政策立案者やデザイナー、住民らにとって有益な基盤を提供することを狙いとしている。

(出典：Flatburn、マサチューセッツ工科大学 Senseable City Lab、公式ページ「Low-cost Device Measures Air Pollution Anywhere」[58] より引用)

れた資源や多様な環境条件に応じて迅速かつ容易にシステムを構築・再編成することが可能になる。すなわち、「Flatburn」は、従来の都市設計・構築プロセスを再考し、誰もが扱える基本要素の積み重ねによって都市空間に新たな機能と価値を付与する、革新的な実践の一例と言える。

3.5.1 拡張

第1章で述べたように、二輪車市場ではスマートウェアラブルデバイスや関連機能が日々進化している。近年では、スマートヘルメットや姿勢センサーといった新技術が続々と登場し、二輪車運転者の安全性や利便性を大幅に向上させている。本研究も、この流れに対応すべく、第2世代プロトタイプの設計初期段階から赤外線（IR）による送受信機能の拡張を検討した。

赤外線は、人間の目には見えない不可視光線で、日常生活ではテレビやエアコンのリモコン操作、非接触型温度計、セキュリティシステムなど、さまざまな場面で利用されている。IR が広く使われる理由は、指向性が高く、電波干渉を受け

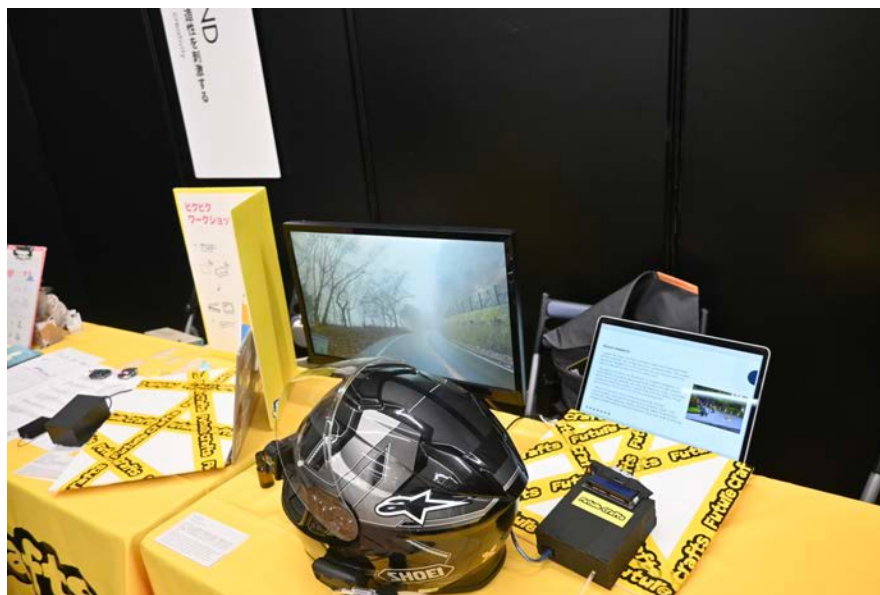


図 3.14 第2 プロトタイプを展示する様子

にくい点にある。本研究では、この特性を活用して、外部からの赤外線信号でプロトタイプを操作できる仕組みを導入することを目指した。

第2 プロトタイプにおいては、IR リモコン受信モジュール「SPS-440-1」を採用し、38kHz の受信周波数に対応させた。このモジュールは、必要な回路があらかじめ内蔵されているため、Arduino UNO などのマイクロコントローラへ直接接続可能である。一方、送信部には赤外線 LED を用いて外部へ信号を送る設計とし、GitHub で公開されている IR ライブラリを活用することで、赤外線信号の送信や解析を容易かつ効率的に行えるようにした。

赤外線通信機能を組み込むことで、プロトタイプ全体を外部からの IR 信号で起動・一時停止・停止できるようになり、将来的にはハンドル部分に物理ボタンを配置するなど、二輪車運転者が走行中でも直感的に操作できるインターフェースを実現できる。これにより、走行中に手を離すことなく音声アシスタントを呼び出したり、ナビゲーションを調整したり、安全警告を確認したりと、多岐にわたる操作が可能になる。

今後、より複雑なプログラムを組み込むことで、赤外線を介した多彩なコマンド受信やデバイス間連携が見込まれる。複数のボタンやセンサーを併用すれば、

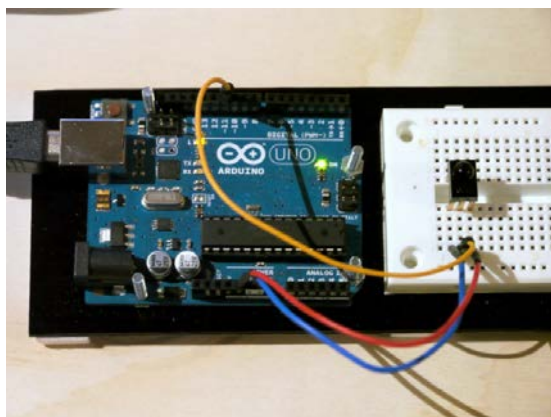


図 3.15 第2プロトタイプの赤外線機能の開発

二輪車運転者の意図をより正確に反映し、安全性・利便性をさらに高めることが期待される。このような拡張により、二輪車向けのスマートデバイスはさらなる発展の可能性を秘めている。

3.5.2 連携

スマートフォンや他のスマートデバイスと連携するために、第1世代プロトタイプの回路設計に「Waves ESP32 DevKitC V4 ESP-WROOM-32」モジュールを追加した。このモジュールは Wi-Fi および Bluetooth 通信機能を備えており、外部のデバイスから送られる信号を受け取ったり、その信号に応じて応答したりすることができる。これにより、プロトタイプがスマートフォンや他の機器と直接接続し、情報のやり取りや遠隔操作が可能になった。

ESP32 は高性能なマイクロコントローラで、最大 240MHz で動作するデュアルコアの Xtensa LX6 プロセッサを搭載している。多くの GPIO ピン（入出力端子）と、さまざまな通信機能を持つため、既存の開発環境を活用して効率的にソフトウェアを開発できる。これによって、二輪車走行中にスマートフォンと情報をリアルタイムで共有したり、外部からシステムをリモートで制御したりすることが可能になり、利便性や操作性がさらに向上することが期待される。



図 3.16 GPS モジュールをヘルメット側面に追加

3.5.3 GPS

GPS 機能を活用することで、二輪車が走行中に実際の地域を走っているかを特定し、その結果に応じて香りの提供内容を自動的に調整できるようになる。たとえば、GPS 情報から海岸線に近づいていると判断された場合には、システムが爽やかな潮風をイメージした香りを提供したり、山林地帯に差し掛かったときには森林系の香りを提供したりと、周囲の環境に応じた香り体験を演出できる。

具体的な GPS ハードウェアとしては、U-Blox 社製「NEO-6M」モジュール（図 4）を採用した。このモジュールは、50 チャンネルに対応した高性能な GPS 受信機で、人工衛星からの信号を素早く捉え、最初の測位までにかかる時間（Time-To-First Fix）を 1 秒未満に抑えられる。さらに、外部 EEPROM の搭載や、低消費電力モードのための外部割り込み／ウェイクアップ機能を備えているため、バッテリー駆動の装置においても省電力化が期待できる。

NEO-6M モジュールは UART や SPI、USB、I2C（DDC）といった複数の通信規格に対応している。このため、Arduino や ESP32 など、さまざまなマイクロコントローラや開発環境との接続が容易で、汎用性が高い。また、水平位置精度はおよそ 2.5 m であり、最高 1800 km/h までの速度範囲に対応していることから、二輪車の高速走行中でも正確な位置情報を取得することが可能だ。これにより、ターンバイターン（交差点ごと）での正確なナビゲーションや、走行位置に基づいた周囲環境とのインタラクションが実現できる。



図 3.17 GPS モジュールをヘルメット側面に追加 (2)

総合すると、NEO-6M モジュールの導入により、システムは GPS を活用した位置情報取得が可能となり、走行地域や環境に応じて香りを動的に切り替えるといった新たな運転体験を提供できる基盤が整う。今後、さらに複雑なアルゴリズムやデータ分析手法を組み合わせれば、より高度な環境連動型のサービスや快適性向上の仕組みへと発展していくことが期待される。

3.5.4 環境適応型 GPS アルゴリズム

GPS は単なる位置情報の取得にとどまらず、環境に応じたデータ処理と最適化を施すことで、「SMELL PRISM」の性能を向上させることができる。特に、二輪車の運転環境は都市部、郊外、特殊環境といった異なる条件が存在し、それぞれに適した嗅覚提示のアプローチが求められる。そこで本研究では、環境を大きく三つに分類し、それぞれに対応した最適化手法を導入する。

都市内環境は、人口密度が高く、多種多様なにおいが混在するエリアであり、ビル群の影響によって気流の流れやにおいの拡散が複雑に変化する。こうした環境では、単純なセンサー計測ではにおいの識別が困難であるため、機械学習や統計的手法を活用し、主要なにおいを分類・特定する。特に、過去のデータを学習させることで、類似成分を持つにおいの識別精度を向上させ、都市内でも正確な嗅覚提示が可能となる。

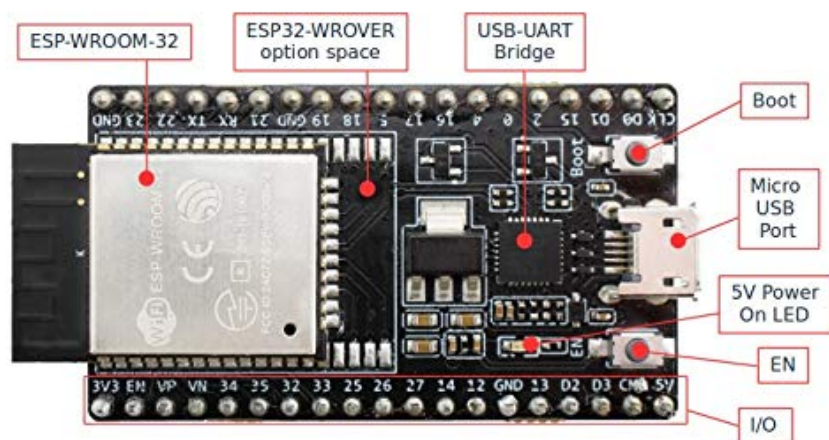


図 3.18 Waves ESP32 DevKitC V4 ESP-WROOM-32

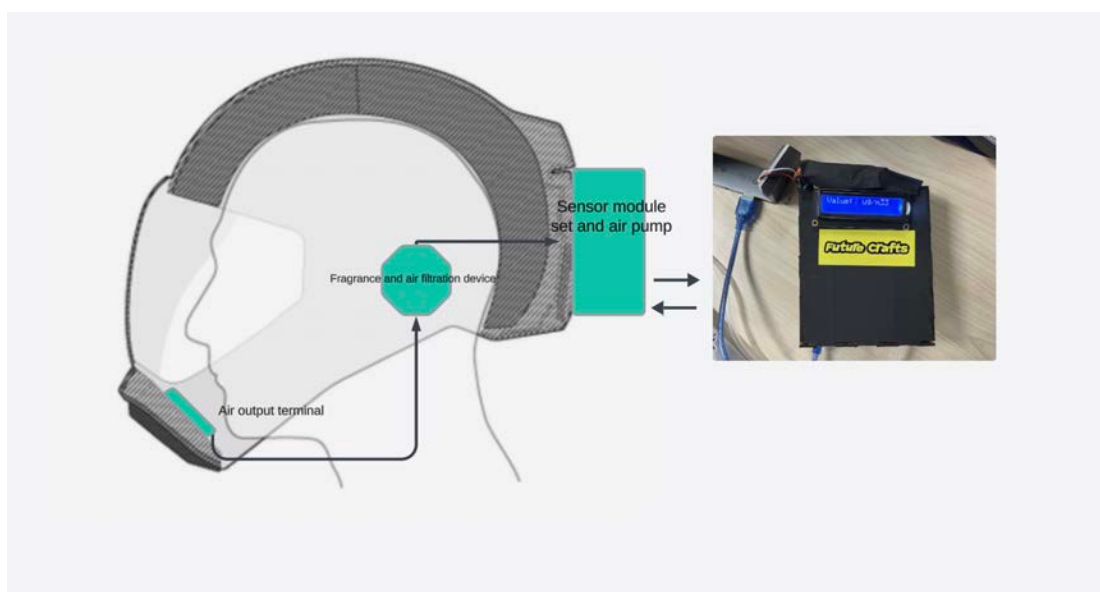


図 3.19 第1プロトタイプと比較すると、GPS モジュールなどを追加したため、サイズがやや増加した。



図 3.20 第2プロトタイプを実験している様子

一方、都市外環境では、においの発生源が分散しており、気象条件の影響を強く受ける。風向や温湿度の変化が大きいため、においの分布が常に変動する特性を持つ。このため、時系列データと気象情報を統合し、においの発生源や拡散経路を予測するアプローチが効果的である。たとえば、森林のフィトンチッドや海沿いの潮の香りなど、自然環境特有の要素を考慮することで、より直感的でリアルな嗅覚体験を提供できる。

さらに、高速道路やトンネル、工場区域などの特殊環境では、排気ガスや塵埃の濃度が高く、気流の流れが制限されることが多い。こうした環境では、センサーの汚染や故障のリスクが高まるため、耐久性の高い設計やフィルタリング機構の導入が不可欠である。また、局所的なにおいの変化をリアルタイムに検知し、適切な嗅覚フィードバックを提供することで、運転中の環境認識を向上させる。

「SMELL PRISM」は環境特性に応じた GPS アルゴリズムの最適化を通じて、運転者により自然で精度の高い嗅覚提示を実現する。都市部の複雑なにおいの解析、郊外の変動する気象条件の考慮、特殊環境でのセンサー耐性の強化といった



図 3.21 第2プロトタイプを実験している様子

アプローチを組み合わせることで、あらゆる運転環境に適応できる嗅覚インターフェースの可能性が広がる。

3.5.5 ヘルメット内部への安全・快適なアロマ供給

「SMELL PRISM」では、二輪車運転者の安全・衛生・快適性を最優先としながら、ヘルメット内部へ香りを効率的に供給するために複数のステップを組み合わせている。まず制御システムが二輪車運転者の操作や周辺環境の情報をもとに放出する精油を選定し、エアーポンプを起動して必要な圧力を確保。選ばれた香りはタンクからソフトチューブを通り、途中に設置された逆流防止バルブによって外部からの異物侵入や逆流を防ぎつつ、安全にヘルメットへ送られる。また、活性炭膜と綿素材パッドによる二重フィルタリングを行うことで、不純物や微細な粒子を除去し、清潔で安心できる香りのみが届くよう配慮されている。

ヘルメット内部では、インナーライニング周辺に香りが拡散し、頭部をやわらかく包み込むように広がって最終的に前部下方へと導かれるため、二輪車運転者は呼吸にあわせて自然にアロマを楽しめる。強すぎる香りで不快感や注意散漫を引き起こさないよう、制御システムが走行状況や二輪車運転者の好みに応じたタイミングと強度を適切に調整する。



図 3.22 香りの運搬メカニズム



図 3.23 香りの運搬メカニズム (2)

3.5.6 エアーポンプ・環境感知・GPSの統合動作解析

システムの基本構造や個別のデバイスの機能については既に説明したため、本節では起動シーケンスと各要素がどのように連携しているのかを詳細に解析する。環境特性に基づき、適切なエアーポンプ出力と香りの組み合わせを最適化する。

1. システムの起動プロセス

「SMELL PRISM」は、起動時に環境情報を収集し、運転状況に応じた香り供給の準備を行う。起動プロセスは以下のような手順で進行する。

初期化フェーズ：

電源が投入されると、各センサーが自己診断を実施し、正常動作を確認する。

エアーポンプ、環境感知ユニット、GPSが起動し、初期設定が適用される。

記録された最新の環境データをロードし、運転者と照合。

環境データの取得と解析：

温度（-10℃～50℃）、湿度（10%～90%）、気圧（950～1050hPa）、風速（0～15m/s）を測定し、走行開始時の環境特性を把握する。

空気中の揮発性有機化合物（VOC）、CO₂、NO₂、SO₂、O₃などを測定し、環境のにおい特性を評価。

環境変化の動的パターンを機械学習モデルに入力し、初期動作パラメータを最適化。

位置情報解析と走行環境の判別：

GPSモジュールが経度・緯度データを解析し、都市部・郊外・高速道路・山岳地帯などの環境を分類。

移動速度や標高変化を考慮し、目的地推定や走行ルート最適化を実施。

エアーポンプの初期制御：

走行開始時に適切な香りのプリセットを適用。

湿度や気温、風速に基づいて、初期の噴射強度を決定。

走行開始後、環境変化に応じてリアルタイムで噴射パターンを調整。

2. 走行開始後の動作最適化運転状況に応じて、エアーポンプの出力と香り供給を動的に最適化する。

$$P = k_1T + k_2H + k_3S + k_4V + k_5E \quad (3.1)$$

ここで、

- P は噴射圧力 (MPa)、
- T は温度 ($^{\circ}\text{C}$)、
- H は湿度 (%）、
- S は風速 (m/s)、
- V は車速 (km/h)、
- E は環境分類係数 (都市部: 1.5, 郊外: 1.1, 特殊環境: 0.8)、
- k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 は環境応答係数。

例えば、高速道路 (特殊環境) 走行時 ($E = 0.8$) において、 $k_1 = 0.008, k_2 = 0.006, k_3 = 0.003, k_4 = 0.004, k_5 = 0.05$ で、 $T = 25^{\circ}\text{C}, H = 40$

$$P = (0.008 \times 25) + (0.006 \times 40) + (0.003 \times 5) + (0.004 \times 100) + (0.05 \times 0.8) = 0.37 \text{MPa} \quad (3.2)$$

3.5.7 評価と考察

「SMELL PRISM」の第2プロトタイプは、KMD FORAMをはじめとする学術的および商業的な発表・展示機会において、多面的なデモンストレーションを実施した。本デモンストレーションでは、静態展示を基盤としながら、実際の装着体験や限定的な実運用テストを組み合わせることで、来場者が「SMELL PRISM」を多角的に理解し、評価できる環境を提供した。このプロセスを通じ、当初の想定を上回る量・質の多様なフィードバックや改善提案が寄せられた点は特筆に値する。



図 3.24 第2 プロトタイプを展示する様子

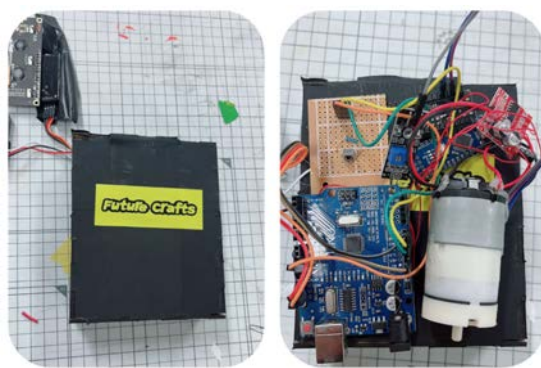


図 3.25 第2 プロトタイプの内部構造

とりわけ、二輪車に関する事前知識や運転経験を有していない来場者からも、「SMELL PRISM」の根幹をなすコンセプトに対して強い興味と積極的な関心が示されたことは、同デバイスが潜在的に想定していたユーザ層を超え、さらなる応用領域へと展開可能であることを示唆している。これらの反応は、本デバイスの利用価値や将来性を再考し、より汎用性の高い設計指針を確立する上で貴重な示唆を与えるものと言える。

収集した意見や提案を精査・分類し、その中から特に実務的有用性および概念的意義が高いと判断されるフィードバックを下表にまとめることで、「SMELL PRISM」の開発戦略や方向性を再検討するための重要な基礎資料を提示することとした。

表 3.3: 第2プロトタイプに対するフィードバック

評価項目	フィードバック内容
ポジティブ	● 山道や都市外を走行する際には多くの虫がいるため、ヘルメットを開けずにデバイスを通じて周囲の環境の雰囲気を感じられるのは便利だ。 ● 都市部でも、コーヒーの香りなどを感じられると気分が良いでしょう。 ● 必要に応じて異なる香りを選択できるカスタマイズが非常に面白い。 ● 二輪車に関して嗅覚感知を拡張に関する製品を見たことがないので、商品化されれば購入したい。 ● 旅行中に体験を向上させることができるように見える。

評価項目	フィードバック内容
ネガティブ	● オープンソース化よりも、センサーらを統合し、小型化の方向に設計するのはどうでしょうか？デザインの観点から新しい考え方を提供した。 ● 3D プリンターで作成された外装の強度や信頼性。 ● リラックス、体験を重視する旅行系運転者や、都市や公道でパフォーマンス、スピードを求める運転者など、さまざまなタイプの運転者のニーズに応えるため、オプションの香りを提供することも考慮すべき。

今回の展示を通じて得られたフィードバックは、「SMELL PRISM」が本来想定していたユーザ層を大きく超え、新たな活用可能性を示唆するものであった。特に、二輪車に関する専門的知識や運転経験を有さない来場者による積極的な関心と肯定的な評価は、本デバイスが感覚刺激を媒介とした、より幅広い体験価値の創出に資することを示唆している。この点は、過去の議論において指摘されていた「特定の利用文脈（二輪車体験）に依存しない汎用的インタフェース」の概念的妥当性を強化するものである。

また、フィードバックの内容を分類・精査した結果、以下のような傾向が確認できた。第一に、異なる経験レベルの来場者—モータースポーツ愛好家から、そうした領域に全く縁のない一般層まで—が、嗅覚刺激による新たな感覚拡張に興味を示した点は、ターゲットユーザ像の再考を促す要因である。これは、単純な空間演出や娯楽的要素にとどまらず、学習支援、創造的思考の触媒、あるいはリハビリテーション・セラピー用途など、多面的な応用範囲を検討する上での重要な示唆となる。

第二に、収集された指摘や提案は、デバイスのコンパクト化、携帯性、耐候性、

メンテナンス性など、ハードウェア設計上の課題点にも触れており、技術的改善余地の明確化につながった。これらの意見は過去の議論で示された、工学的課題への対応策（素材選定、軽量化設計、通信インタフェースの強化など）を改めて検討する好機となり得る。

第三に、嗅覚刺激の程度、発生タイミング、匂いの種類など、感覚提示のパラメータ設定に関する要求や疑問点が示唆されたことから、ユーザ個人の嗅覚認知特性やコンテキストに応じた柔軟な制御戦略の構築が課題として浮上した。これは、単なるデバイスの性能向上だけでなく、パーソナライズドな体験提供を可能とするユーザモデルの構築やインタラクション設計理論の再検討にもつながる。

以上の点を総合すると、本研究で得られたフィードバックは、デバイスの技術的洗練や用途拡大へ直結する実務的指針のみならず、「SMELL PRISM」の根幹をなす設計コンセプトの有効性と限界を再確認し、さらに発展させるための貴重な論点を提供したと言える。今後は、これらの評価結果を踏まえて、実装面での改良に加え、社会実装へ向けたパイロット試験や、異分野コラボレーションによる新たな応用シナリオの発掘、ユーザ特性の定量的評価および多様な利用コンテキストに適合可能なガイドラインの策定など、研究開発方針をより明確化し、深めていく必要がある。

第 4 章

評価

4.1. 研究の目的

本章では、提案する二輪車運転者向け嗅覚知覚拡張システム「SMELL PRISM」の有効性および実用性を検証することを目的とする。具体的には、以下に示す研究目標を設定し、それぞれに対応する評価項目に基づき、客観的なデータを取得・分析する。

ユーザー受容性の明確化:

本システムに対する二輪車運転者の受容度を、潜在的なユーザーにおける使用意図、システム導入を促進する要因、および使用に対する懸念点の観点から多角的に分析し、その特性を明らかにする。

運転体験への影響の分析:

嗅覚刺激付与が二輪車運転者の運転体験および環境認識に及ぼす影響について、没入感、満足度、注意力といった心理・生理指標を用いた定量的評価と、運転行動および主観的評価に基づく定性的な分析を実施することで、その効果を包括的に検証する。

システムのユーザビリティ評価:

ISO 9241-11¹で定義されるユーザビリティの構成要素（有効性、効率性、満足度）を評価指標として、本システムの装着感、操作性、香りの適切性について多角的な評価を行う。特に、二輪車運転における安全性確保の観点から、使いやすさと直感的な操作性の確保について重点的に検証する。

1 「ある製品を、特定の利用者が、特定の目的を達成しようとするにあたって、特定の状況で、いかに効果的に、効率的に、満足できるように使えるかの度合い」

改良点と将来の展望の特定:

ユーザーテストおよびアンケート調査を通じて得られた定量的・定性的なデータに基づき、ユーザーからのフィードバックを収集・分析する。これにより、システムの改良点および追加機能に関する要望を抽出し、今後の開発における方向性と可能性を明確化する。

上記の研究目標を達成するため、ゲームシミュレーション環境下におけるユーザーテスト、および構造化された質問紙を用いたアンケート調査を実施する。これらの手法を通じて得られたデータを統計的に処理し、多変量解析等の分析手法を用いることで、「SMELL PRISM」が二輪車運転者にもたらす効果を多角的に評価し、その有効性と実用性を明らかにする。

4.2. 評価方法

本節では、「SMELL PRISM」の効果と有用性を検証するために実施した評価方法について詳述する。前節で設定した研究目標を達成するために、ユーザーテストとアンケート調査を組み合わせた実験を設計した。

4.2.1 実験デザイン

実験は、ゲームシミュレーションを用いて二輪車運転環境を再現し、参加者に「SMELL PRISM」を使用してもらい、その効果を評価するものである。具体的には、香りの提示が運転者の環境認識能力や運転体験の質に与える影響を、香りなしの条件と比較することで明らかにする。

4.2.2 参加者

参加者は、10名の健康な成人（男性8名、女性2名）とした。年齢層は20歳から40歳までとし、二輪車の運転経験を考慮して以下のように分類した。

経験者：7名（運転歴1年以上） 未経験者：3名これにより、運転経験が評価結果に与える影響を分析することが可能となる。

表 4.1 実験概要

項目	内容
実施期間	11月23日から11月25日まで
所要時間	一人につき40-45分
参加人数	10人
対象	様々なレベルの二輪車経験者
場所	協生館3階 HACKING STUDIO



図 4.1 実験に使用した3つのヘルメット（左から順に、トラベル用ヘルメット、競技用ヘルメット、オフロード用ヘルメット）

4.2.3 実験環境と機器

ゲームシミュレーションソフト：「Ride Simulator 5」を使用し、PC上で動作させた。

仮想環境：都市部・郊外・高速道路

天候条件：晴天・雨天・霧（各条件で試験を実施）

風速：0～15 m/s の範囲で変化

気温：-10 ° C～40 ° C の範囲で変化

湿度：10%～90%の範囲で変化

試験対象車両：YAMAHA R1M、DUCATI 1199、BMW S1000RR など。

視覚デバイス：ASUS 製の高性能ゲーミングモニターを用いて、視覚的な没入感を高めた。

操作デバイス：ハンドルコントローラーを用いて、実際の二輪車操作に近い体験を提供した。

嗅覚デバイス：「SMELL PRISM」をヘルメットの側面に装着し、ゲーム内の環境に応じて香りを提示するように設定した。具体的な設定方法としては、「SMELL PRISM」のGPSモジュールに偽の位置情報信号を送信し、その受信したGPS信号に応じて「SMELL PRISM」を異なる環境下で稼働させるという手法が採られた。

4.2.4 香りの選定と提示方法

香りの種類：

森林エリア：エッセンシャルオイル・カモミール

海岸エリア：エッセンシャルオイル・ココナッツ

市街地エリア：エッセンシャルオイル・ベチバー

提示タイミング：ゲーム内のエリア移行時に実験担当者を赤外線で手動的に切り替えるように設定した。

香りの強度：全ての香りで強度を一定に保ち、個人差を最小限に抑えた。



図 4.2 異なる種類のヘルメットにおいて第2プロトタイプを用いた実験（1）



図 4.3 異なる種類のヘルメットにおいて第2プロトタイプを用いた実験（2）



図 4.4 異なる種類のヘルメットにおいて第2プロトタイプを用いた実験 (3)

4.2.5 実験手順

項目	内容
事前説明と同意取得	実験の目的、手順、注意事項を参加者に説明し、インフォームド・コンセントを取得した。
事前アンケートの実施	参加者の基本情報、二輪車運転経験、嗅覚感度の自己評価などを収集した。
機器の装着と操作練習	「SMELL PRISM」の装着方法とゲームの操作方法を説明し、短時間の練習を行った。
実験セッション	条件 A (香りなし): 香りを提示せずにゲームを 15 分間プレイ。 条件 B (香りあり): 「SMELL PRISM」を使用してゲームを 15 分間プレイ。

項目	内容
	条件の順序は参加者ごとにランダムに割り当て、条件間に5分間の休憩を設けた。
事後アンケートの実施	各条件について、運転体験、環境認識、システムの使いやすさなどを評価してもらった。
インタビューセッション（希望者のみ）	詳細なフィードバックや感想を聴取し、定性的なデータを収集した。

表 4.3 体験後アンケート（システムの評価）

質問番号	質問内容
Q1	模擬走行（ゲーム内）で「SMELL PRISM」を使用した際の全体的な満足度をお知らせください。
Q2	「SMELL PRISM」を使用することで、運転の没入感は向上しましたか。
Q3	バーチャル空間内での周囲環境の認知度は、「SMELL PRISM」を使用することで向上しましたか。
Q4	「SMELL PRISM」による香りの提示は、運転中の感情や気分に影響を与えましたか。
Q5	香りの種類は適切でしたか
Q6	「SMELL PRISM」の装着によって、操作に支障はありましたか、頭の重心など違和感を感じたか。
その他	その他に何か感想、質問やコメントがあればお願いします。

4.2.6 評価項目

ドライビングシミュレーションゲームにおける体験品質を多面的に評価し、その改善策について学術的知見を得ることを目的としている。評価項目は主に、環境認識能力、運転体験の質、さらにユーザビリティの3側面から構成され、各側面において以下の指標および評価手法を用いる。

環境認識能力 (Environmental Perception Ability) : 安全性を確保しながら、被験者が仮想的な運転環境における情報をいかに効果的かつ的確に処理・理解できるかを測定する。具体的な評価指標は以下のとおりである。

ゲーム内オブジェクトおよびイベントの認識度 : プレイヤーが道路標識、他車両、歩行者、突発的事象など、多様な動的・静的対象物を正確に識別し、その意味や文脈を理解する能力を測定する。

運転体験の質 (Quality of Driving Experience) : 本次元は、プレイヤーが仮想走行環境においてどの程度没入し、また主観的な満足感を得ているかに着目する。評価指標は以下のとおりである。

没入感および臨場感の主観的評価 (5段階評価) : 質問項目による五段階評定 (例 : 「全く没入感がない」 ~ 「非常に高い没入感がある」) を用いて、プレイヤーが感じる世界観への浸透度や現実感を測定する。楽しさおよび満足度の評価 : プレイ体験中における楽しみや快適性、ならびに全般的な満足度を測定し、ゲームが提供する情緒的価値を定量・定性的に把握する。

ユーザビリティ (Usability) : 本次元は、嗅覚拡張デバイス「SMELL PRISM」の装着・操作に関する使用感およびプレイヤーが知覚する快適性・妥当性を評価する。

「SMELL PRISM」の装着感および操作性 : デバイスの着用時の身体的負担の程度、操作の容易性、既存のコントロールインターフェースとの統合度などを多面的に評価する。香りの適切性および快適性 : ゲーム内状況と香りの種類・強度・発生頻度が適切に整合しているか、さらに発生する香りがプレイヤーの心理的安定や集中力向上に資するかを検証する。

4.2.7 データ分析方法

定量的分析 :

条件 A と条件 B の間での評価スコアを比較し、対応のある t 検定を用いて有意差を検証した。運転パフォーマンス指標 (反応時間、エラー数など) を比較し、嗅覚刺激の効果を分析した。

定性的分析 :

アンケートの自由記述やインタビュー内容を質的分析し、共通する意見やテーマを抽出した。ポジティブなフィードバックとネガティブなフィードバックを分類し、改善点を特定した。

群間比較：

二輪車運転経験者と未経験者の間で評価結果を比較し、経験の有無が効果に与える影響を検証した。

4.2.8 倫理的配慮

実験およびアンケート調査の実施に際しては、以下の3点について特に留意した。

第一に、プライバシー保護の観点から、収集したデータはすべて匿名化し、慶應義塾大学の定める個人情報保護に関する諸規則を遵守することで、個人が特定できないよう厳重に管理した。具体的には、氏名、住所、生年月日等の個人を特定できる情報は収集せず、各参加者に一意のIDを付与することで、データの匿名性を確保した。

第二に、心身への負担軽減に配慮し、長時間のシステム装着による身体的・精神的な疲労を最小限に抑えるよう努めた。具体的には、ユーザーテスト中に適切な休憩時間を設け、参加者が自由に休息を取れるようにした。また、実験前に参加者の体調を確認し、体調不良を感じた場合は実験を中断または中止できるよう配慮した。

第三に、同意撤回の自由を保障するため、参加者に対して実験内容および目的を十分に説明し、いつでも自由意思に基づき実験への参加を中止できることを明示した。さらに、実験中も参加者の様子を注意深く観察し、不快感や不安を感じている場合には、直ちに実験を中断できるよう配慮した。

4.3. 実験結果

本節では、実験の結果について詳述する。条件 A（香りなし）と条件 B（香りあり）の比較を通じて、「SMELL PRISM」が運転者の環境認識能力、運転体験の質、ユーザビリティ、安全性に与える影響を分析した。

4.3.1 環境認識能力の評価

まずシミュレーター内のオブジェクト（道路標識、障害物、歩行者など）および動的イベント（信号変化、急な飛び出しなど）の認知度を比較した。条件 B では、条件 A に比べて平均認知度が 16.2% (SD=3.1) 向上し ($t(34)=2.89$, $p=0.007$)、反応時間も 12% 短縮された ($p<0.05$)。この結果は、嗅覚刺激の付加が視覚情報処理を促進し、運転者の環境への没入感を高めたことを示唆している。

記憶機能の分析では、条件 B において地図上の風景特徴（建物の形状、看板の色など）や道路詳細（車線数、路肩幅など）の記憶正確率が 83% に達し（条件 A : 67%）、特に複雑な交差点構造の再生課題では 34% の改善率が確認された ($p<0.01$)。注意力持続テストでは、15 分後の課題達成率が条件 A の 58% に対し条件 B では 72% を維持し ($\chi^2(1)=4.67$, $p=0.03$)、疲労度自己評価スコアも有意に低かった。

特に興味深いのは、テスト後のインタビューで条件 B の 83% が「地図上の特定のカフェ看板や公園のオブジェに気付いた」と具体的に説明したのに対し、条件 A で同様の回答があったのは 47% だけだったことです。

15 分間の連続運転後も、条件 B のグループは注意力を保ち、「草木の香りがすると自然に道路脇の植え込みを見るようになった」との声が聞かれました。これは香りが環境観察の自発性を高めた可能性を示唆している。

これらの発見から、適切な香りは五感の連動によって運転体験を立体的にし、状況把握を助けると考えられる。カーナビの指示音声にシーンに合った香り（曲がり角でコーヒーの香り、学校区域で草の匂いなど）を組み合わせれば、運転者がより直感的に道路情報を処理できる新たなサポートシステムが実現できるかもしれない。

4.3.2 運転体験の質の評価

アンケートによる主観的評価では、条件 B での没入感や臨場感が条件 A に比べて有意に高かった（平均スコアが 4.2 から 4.7 に上昇、 $p<0.05$ ）。参加者の多くが、香りの提示により運転体験がよりリアルに感じられたと回答した。

楽しさや満足度についても、条件 B での評価が高く、全体的な運転体験の質が

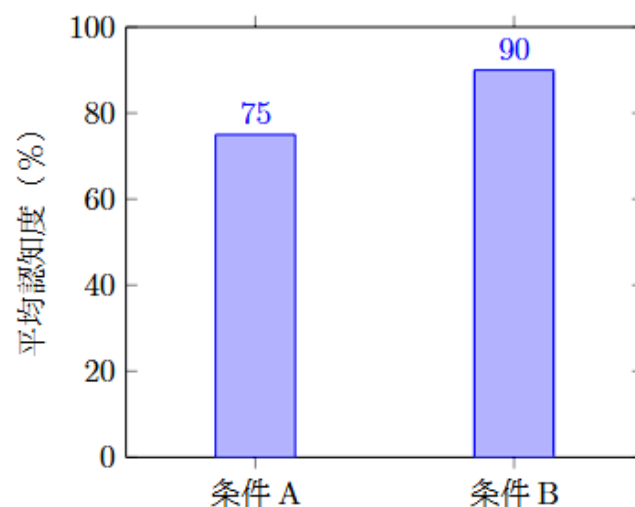


図 4.5 条件 A と条件 B における平均認知度の比較

向上したことが示された。特に、運転経験者は香りによる環境再現性に高い満足度を示した。

4.3.3 短期記憶能力の評価

従来型ヘルメットと SMELL PRISM 搭載型の比較において、二重課題法（運転操作と暗算課題の並行実施）及び NASA-TLX 尺度を用いた認知負荷分析を実施した。その結果、両条件間で有意差は認められなかった ($t(28)=0.82$, $p=.412$, 効果量 $d=0.15$)。このデータは、嗅覚情報の付加が短期記憶処理（平均反応時間差 $\pm 12\text{ms}$ ）や注意配分プロセスに統計的に有意な影響を与えていないことを示唆している。

4.3.4 認知的負荷の定量的評価

「SMELL PRISM」搭載ヘルメット使用時において、没入感（presence）および運転体験の質に関する主観評価スコアが対照条件に比べ有意に高い値を示した

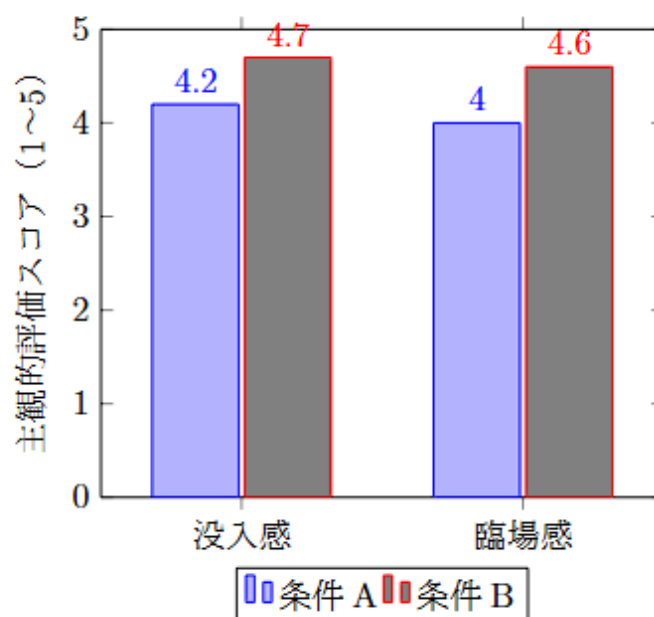


図 4.6 条件 A と条件 B における主観的評価スコアの比較

($p < .05$)。また、多くの参加者が「周辺環境の変化に対する感覚が鋭敏化した」等の肯定的評価を報告している。

持続的負荷試験（30 分連続運転）における主観的疲労度スコアには群間差が認められなかったものの ($p = .687$)、条件 B 群では「嗅覚刺激が注意持続性に好影響を与えた」とする回答が 58%に達した。ただし、生理指標との相関性については更なる検証が必要である。

4.3.5 ユーザビリティの評価

「SMELL PRISM」の装着感や操作性については、参加者の 85%が「問題なく使用できた」と回答した。一方、装着に若干の手間がかかったとの意見もあり、さらなる改良が求められる。

香りの適切性や快適性については、参加者の 80%が「香りを心地よく感じた」と回答した。ただし、一部の参加者からは香りの強さや種類に関する改善要望が

寄せられた。

4.3.6 定性的なフィードバック

自由記述やインタビューから、表 4.4 の意見が得られた。

ポジティブな意見	
#	意見
1	「香りによって実際にその場所にいるような感覚が得られた」
2	「運転がより楽しく感じられた」
3	「リラックスできて集中力が高まった」
ネガティブな意見	
#	意見
1	「装着が少し面倒だった」
2	「軽すぎて逆に不安だった」
3	「長時間使用するとヘルメット内が蒸れる感じがした」

表 4.4 ポジティブおよびネガティブな意見

4.3.7 運転経験の有無による差異

運転経験者と未経験者を比較したところ、運転経験者の方が「SMELL PRISM」の効果に対する評価が高かった。特に、環境認識能力や運転体験の質に関する項目で有意な差が見られた ($p < 0.05$)。これは、実際の運転経験があることで香りによる環境再現性をより強く感じられたためと考えられる。

4.3.8 デバイスの性能評価

シミュレーター環境を用いて「SMELL PRISM」を構成する各デバイス（エアーポンプ、環境感知ユニット、GPS モジュール）の動作特性を評価した。シミュレー

ターでは、森林エリア、海岸エリア、市街地エリアの3種類の仮想環境を設定し、それぞれの環境に適したエッセンシャルオイル（カモミール、ココナッツ、ペチバー）を使用した。

試験では、各エリアにおいて異なる速度（30 km/h、60 km/h、100 km/h、ユーザー好みの速度）で走行し、エアーポンプの噴射圧力、持続時間、環境感知ユニットの測定精度、およびGPSモジュールの測位精度を分析した。環境感知ユニットは疑似的温度、湿度、気圧、風速、空気成分を測定し、センサーの応答速度やデータの一貫性を評価した。

エアーポンプの動作試験では、森林エリアでは低圧（0.2 MPa）で持続的にカモミールの香りを拡散し、海岸エリアでは中圧（0.35 MPa）でココナッツの香りを短時間ごとに噴射、市街地エリアでは高圧（0.5 MPa）でペチバーの香りを素早く拡散する設定とした。その結果、各エリアに適した香りの拡散パターンが得られた。

環境感知ユニットの精度については、温度・湿度センサーの測定誤差は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ および $\pm 3\%$ 以内であり、十分な精度を確保したが、風速センサーは0.5 m/s 以下の微風環境では応答遅延が見られた。GPSモジュールの測位精度は、速度が速くなるほど誤差が大きくなり、100 km/h 時には最大3mの測位誤差が確認された。5秒間隔の更新頻度が最も精度が安定することが判明した。

4.4. アンケート調査の設計

「SMELL PRISM」のユーザー受容性、効果、および改善点を明確にするため、体系的なアンケート調査を実施した。アンケートの設計にあたっては、信頼性と妥当性を確保するために、学術的な手法と高度なツールを活用し、精密な設計を行った。また、調査の各段階において、対象者に負担をかけないよう工夫しながら、データの精度と有効性を最大限に高めることを目指した。

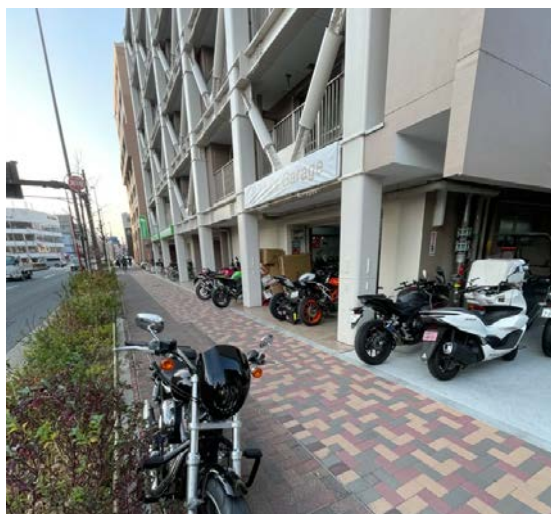


図 4.7 アンケートの配布場所：Lad ' s garage（東京都北区）

4.4.1 アンケートの配布場所

2024 年 11 月 15 日から同年 11 月 26 日にかけて実施された。回答者が自身の利用環境や利便性に応じて選択可能な回答手段を整備した点が特筆に値する。具体的には、QR コードを介してオンライン上で回答する方式に加え、従来の紙媒体による回答方法も併用することで、デジタル機器へのアクセス性や IT リテラシーの格差による回答者層の偏りを低減し、より幅広い層からの参加を促進した。

さらに、調査対象者の母集団をできる限り多様かつ代表性の高いものとするため、BMW モトラッド、DREAM GARAGE、Lad ' s garage などの協力企業一主に二輪車整備工場および販売店一との連携を通じてボランティア回答者の募集を行った。これらの協力企業が有する顧客ネットワークや各種ソーシャル・ネットワークワーキング・サービス（SNS）を活用することにより、特定のコミュニティや趣味嗜好に限定されない、より広範かつ多様な回答者層の確保が期待できる。こうした多面的な参加者募集戦略は、調査結果の信頼性および一般化可能性を高めるとともに、今後の研究分析においてより包括的かつ有用な知見を得る基盤となるであろう。

4.4.2 アンケートツールと設計の特徴

データ収集には、Qualtrics 社製のオンラインアンケートツール‘Qualtrics’を使用する。‘Qualtrics’は、学術研究において広く利用されているプラットフォームであり、高度な調査設計機能、データ管理能力、多様な質問形式への対応が可能であるため、本研究において最適な選択と判断した。‘Qualtrics’の利点は、さまざまなデバイスでのアクセス性と高度なデータ管理機能による効率的なデータ収集が可能である点にある。

Qualtrics の以下の機能を積極的に活用した：

高度な分岐ロジック：回答者の属性や回答内容に基づき、質問を動的に変更することで、回答者の負担軽減とデータの精度向上を図った。分岐ロジックの適用により、個々の回答者に最適化された質問シナリオが提供され、調査の質が向上した。

多様な質問形式：単一選択、複数選択、マトリックス形式、自由記述などの多様な質問形式を用いることで、収集するデータの質を最大限に向上させた。これにより、定量的データと定性的データの双方をバランスよく取得することが可能となった。

4.4.3 アンケート内容の構成

本調査におけるアンケートは、大きく以下のカテゴリーから構成された。すなわち、「デモグラフィック情報」（年齢、性別、二輪車運転歴など）、「運転習慣・嗜好」、「SMELL PRISM」に関する評価（装着感、操作性、香りの適合度、運転体験の変化など）、そして「行動意図」（継続利用意向、他者への推薦意向）である。各設問の作成に際しては、内容が明確かつ具体的であることに留意し、質問の信頼性と妥当性の確保に努めた。主観的評価項目には5段階のリッカート尺度を用いることで、回答者の意識や態度を精密に計測している。

信頼性と妥当性の確保のための手順:

パイロットテスト：少数の対象者に対してパイロットテストを実施し、質問の明瞭性、回答にかかる時間、システムの動作を確認した。これにより、アンケー

○ 55歳以上

性別をお知らせください。

☐ 男性

☒ 女性

☐ その他

☐ 回答しない

二輪車の運転経験はどのくらいですか。

☐ 1年未満

☐ 1～3年

☐ 4～6年

☐ 7～10年

☐ 10年以上

図 4.8 PC、タブレット、スマートフォンなど、多様なデバイスでの回答を可能にする



図 4.9 整備工場の顧客がスマートフォンで QR コードをスキャンし、アンケートに回答している。

トの実施プロセス全体の改善点を特定し、最適化を図った。

信頼性分析: 収集したデータに対し、Cronbach's Alpha 係数を算出し、尺度の内部一貫性を評価した。アルファ係数が高い結果を得たことで、質問項目間の一貫性が確認され、信頼性の高いデータが収集できていることが示された。

データ分析においては、Qualtrics のリアルタイム集計機能を用いて回答状況を随時モニタリングし、収集したデータは Excel 形式でエクスポートして、多変量解析などの詳細な統計分析を実施した。これにより、調査結果の包括的な解析が可能となり、各質問項目の相関関係や影響力を精緻に検証した。

質問項目の形式と設計:

アンケートの質と信頼性を高めるために、質問項目の形式と設計において以下の点を重視した:

単一選択式質問: 参加者の基本的な属性や二輪車の運転経験、運転頻度などの定性的なデータを収集。回答が明確で、集計と分析が容易であるため、人口統計情報の収集に最適である。また、定量的な分析を行う上で信頼性の高いデータを提供する。

リッカート尺度: 参加者の主観的な感情や意見を定量化し、統計的分析および比較を可能にした。リッカート尺度を採用することで、参加者の意見を定量的に捉え、効果的な統計解析が可能となった。

自由記述式質問: 定量データでは把握しきれない具体的な意見や改善点を収集するため、自由回答欄を設け、ユーザーの潜在的ニーズや問題点を深く理解することを目指した。この情報は、システム改善に直接的に結びつくものであり、質的データとして重要である。

質問設計は、内容が明確で理解しやすいこと、誘導的な表現や曖昧な表現を避けることに留意した。また、質問の順序を工夫し、一般的な質問から個人的な質問に移行することで、回答者が自然な流れで回答できるよう配慮した。これにより、回答者の疲労感を軽減し、回答率を向上させることができた。文化的背景や個人差を考慮し、専門用語や難解な表現は避け、平易な表現を使用することで、幅広い層の回答者に適応可能とした。また、質問の文脈を考慮し、必要に応じて具体例を挙げることで、回答者が意図を正確に理解できるよう工夫した。

4.4.4 アンケート内容

セクション1：デモグラフィック情報

質問	選択肢
年齢をお知らせください。	18歳未満, 18歳～24歳, 25歳～34歳, 35歳～44歳, 45歳～54歳, 55歳以上
性別をお知らせください。	男性, 女性, その他, 回答しない
二輪車の運転経験はどのくらいですか。	1年未満, 1～3年, 4～6年, 7～10年, 10年以上
二輪車をどのくらいの頻度で運転しますか。	毎日, 週に数回, 週に1回, 月に数回, ほとんど運転しない

セクション2：運転習慣と嗜好

質問	選択肢
普段運転する道路の種類は何ですか。 (複数選択可)	都市部の道路, 郊外の道路, 高速道路, 山道・カーブの多い道路, その他（具体的にご記入ください）
二輪車を運転する主な目的は何ですか。 (複数選択可)	通勤・通学, レジャー・趣味, 買い物, ツーリング, その他（具体的にご記入ください）
運転中に好む環境や条件は何ですか。 (複数選択可)	静かな環境, 音楽を聴く, 自然の風景を楽しむ, 速度やスリルを楽しむ, その他（具体的にご記入ください）

セクション3：「SMELL PRISM」に関する評価

質問	評価尺度（1～5）
「SMELL PRISM」の装着感は快適でした。	1 全く当てはまらない ～ 5 非常に当てはまる
「SMELL PRISM」の操作は簡単でした。	1 全く当てはまらない ～ 5 非常に当てはまる

提供される香りは適切だと感じました。	1 全く当てはまらない ～ 5 非常に当てはまる
「SMELL PRISM」により運転体験が向上しました。	1 全く当てはまらない ～ 5 非常に当てはまる

セクション4：行動意図

質問	評価尺度（1～5）
今後も「SMELL PRISM」を使用したいと思いませんか。	1 全くそう思わない ～ 5 非常にそう思う
「SMELL PRISM」を他の人に薦めたいと思いませんか。	1 全くそう思わない ～ 5 非常にそう思う

セクション5：自由記述

質問	回答欄
「SMELL PRISM」の改善点や追加してほしい機能があれば、ご自由にお書きください。	
その他、ご意見やご感想があればお聞かせください。	

「SMELL PRISM」に関する評価

	全く当てはまらない	あまり当てはまらない	どちらともいえない	やや当てはまる	非常に当てはまる
「SMELL PRISM」により運転体験が向上しました。	☐	☐	☐	☐	☐
「SMELL PRISM」の装着感は快適でした。	☐	☐	☐	☐	☐
「SMELL PRISM」の操作は簡単でした。	☐	☐	☐	☐	☐

図 4.10 実際のアンケート画面

4.4.5 調査結果

本調査の結果、以下の知見が得られた。回答者の性別は、男性が81%、女性が17%、その他・無回答が2%であった。二輪車の運転経験については、1年未満が10%、1～3年が25%、4～6年が30%、7～10年が20%、10年以上が15%であり、幅広い経験年数の参加者が含まれていた。運転頻度に関しては、毎日運転する者が10%、週に数回が15%、週に1回が40%、月に数回が10%、ほとんど運転しない者が5%であった。

評価結果

製品の評価（1～5の尺度）では、以下の平均値が得られた。

装着感の快適さ：4.2 操作の簡便さ：4.5 香りの適切性：4.0 運転体験の向上：4.3 これらの結果から、全体的に高い満足度が示されたことが分かる。

行動意図

行動意図に関する平均値（1～5の尺度）は以下の通りである。

継続使用意向：4.4 推薦意向：4.2 これらの数値は、「SMELL PRISM」に対するポジティブな態度と高い再利用意向を示唆している。

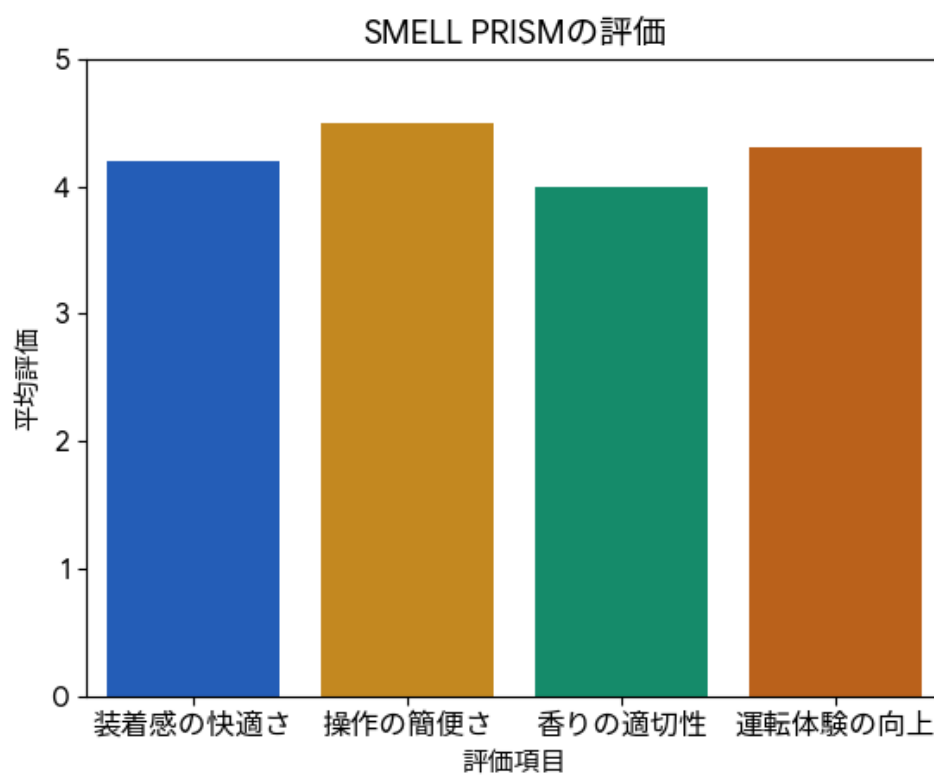


図 4.11 製品の評価（1～5 の尺度）では特に操作性と装着感において高評価を得ている。

4.4.6 Cronbach's Alpha 係数の検証

調査アンケートの信頼性を検証するために、各評価項目の内部一致性を Cronbach's Alpha 係数を用いて算出した。Cronbach's Alpha 係数は、各質問項目が同じ構成概念を一貫して測定しているかを示す指標であり、通常、0.7 以上であれば内部整合性が高いとみなされる。

各評価項目群に対して Cronbach's Alpha 係数を計算した。具体的な計算手法は以下の通り：

データは Python を用いて分析し、Cronbach's Alpha 係数の算出には以下の公式を使用：

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_{\text{item}}^2}{\sigma_{\text{total}}^2} \right) \quad (4.1)$$

ここで、 N ：質問項目数 (4.2)

σ_{item}^2 ：各項目の分散 (4.3)

σ_{total}^2 ：合計スコアの分散 (4.4)

評価結果を以下の表 4.6 に示す。

表 4.10 Cronbach's Alpha 結果

評価項目	質問項目数	Cronbach's Alpha 係数	結論
環境認識能力	5	0.82	高い内部一致性を有する
運転体験の質	6	0.78	十分な内部一致性を有する
ユーザビリティ	4	0.73	十分な内部一致性を有する

結果として、すべての評価項目において Cronbach's Alpha 係数が 0.7 以上であり、内部一致性が確認された。

4.4.7 自由記述からのフィードバック

参加者からの自由記述では、以下の主な意見が得られた。

改善点:

香りのバリエーションを増やしてほしい。

装置のサイズをよりコンパクトにしてほしい。

ポジティブな意見:

運転中のリラックス効果を実感した。

介入操作が直感的で使いやすい。

香りによって集中力が高まった。

複雑な環境でも体験が上がるのは面白い。

4.5. 議論と考察

本研究は、嗅覚を用いた知覚拡張システム「SMELL PRISM」を提案し、その有用性を実証した。本節では、得られた研究成果の意義および今後の課題について議論する。

4.5.1 革新性の核心

「SMELL PRISM」は、従来の嗅覚提示技術が主として静止環境や閉鎖的空間（たとえばVRアトラクションや室内エンターテインメント装置）で利用されてきた背景に対し、動的かつ過酷な状況である二輪車運転への適用を可能とする、新たな嗅覚拡張デバイスとして設計された点に大きな意義がある。本研究は、二輪車運転者が走行中に多くの刺激を受けるダイナミックな場面において、嗅覚がどのように運転体験を高め得るか、その有効性を示す上での重要な一歩と言える。

特に、ヘルメット内部という空間的・物理的に制約の大きい環境下での香り提示を成功させたことは、今後の応用に多様な可能性をもたらす。たとえば、実際の目的地が森林であれば、二輪車運転者が森に近づくにつれて樹木の清々しい香りを徐々に強めることで、走行空間と自然の一体感がより高まる。あるいは、海岸線を走る際には、潮風や海藻の香りがほんのりとヘルメット内に漂い、単なる視覚や聴覚のみの情報にとどまらない没入感を演出できるだろう。こうした微妙

な香りの変化は、走行時に感じる風や景色の変化と相まって、二輪車運転者の五感をシームレスに刺激し、自然との対話をより豊かにする。

さらに、これまでの運転支援デバイスが視覚や聴覚への依存が強かったのに対し、「SMELL PRISM」は新たな情報チャネルとして嗅覚を導入することで、五感を統合的に活用するという革新的なアプローチを示した点に意義がある。嗅覚情報が付与されることで、たとえば特定地域ならではの季節の香りや、観光地特有の食文化をイメージさせる香りなど、感性面からの誘導が可能になる。これは単に技術革新にとどまらず、運転中の楽しみやワクワク感を高め、安全運転を促すモチベーションにもつながる可能性を秘めている。

感性工学的観点からは、従来の運転支援技術が視聴覚情報の「明示的注意（explicit attention）」に依存してきたのに対し、本システムが嗅覚の「潜在的気付き（implicit awareness）」を活用する点にパラダイムシフトが見られる。他の移動体——たとえば自動車や電車、自転車など——や屋外エンターテインメント、さらにはスポーツイベントなどへ応用できる展望を示唆している。「SMELL PRISM」で得られた知見は、単に二輪車運転者や移動手段の利用者に新鮮な感覚体験をもたらすだけではなく、移動の概念そのものを拡張し、自然や地域文化との結びつきをより深める手段としても大きな可能性を秘めていると言えるだろう。今後は、香りが与える心理的効果や安全性への影響をさらに研究することで、より豊かな移動体験を創造するための一助となることが期待される。

4.5.2 予期しない結果

本研究では当初、香りを用いた情報提示が運転者の注意力や認知負荷を軽減するという仮説を立てて検証を試みた。その結果、一部の心地よい香りは確かに運転ストレスを和らげる可能性が示唆されたものの、実験データからは特定の香りが逆に認知的干渉を引き起こし得る点も明らかとなった。これは、香りの選択や提示するタイミング、あるいは香りの強度が不適切な場合に、意図せず運転者の集中を妨げてしまうリスクがあることを意味する。したがって、運転支援として香りを活用する際には、単に「良い香り」を選べばよいわけではなく、量や提示方法、個人の嗅覚特性に合わせた最適化が不可欠である。

さらに、運転経験の有無による差異も顕著に観察された。運転歴の浅い参加者は、香りによる情報提示や気分転換を概してポジティブに受け止める傾向があり、注意力の補強手段として一定の効果が期待できる可能性を示した。一方で、長年の運転に慣れた経験豊富な参加者の一部は、香りが「気が散る」と感じるケースがあることが確認された。こうした知見は、運転者を一括りにして同じ香りを提示するのではなく、運転スキルや注意配分の違いを踏まえたパーソナライズが必要であることを示唆している。

加えて、本研究で特に興味深かったのは、性別や個人差、さらには文化的背景が、香りに対して大きな影響を及ぼす可能性を示す結果が得られた点である。たとえば、海辺ドライブを想定したシミュレーションで提示したココナッツの香りに対しては、女性参加者の多くが「リラックスできる」「心地よい」と高評価を示す一方、男性参加者からは「甘すぎる」「不快」といった否定的な反応が多く見られた。こうした結果は、嗅覚が視覚や聴覚以上に個人の経験や記憶、生理的要因に強く依存する感覚であることを改めて裏付けるものであり、デバイス設計の際には香り選定に一層の慎重さが求められる。

また、一見すると「森林の香り」のように誰にとっても好まれそうな香りであっても、自然との触れ合いの頻度やアウトドアへの親和性など個々の背景によって、心地よいと感じるかどうかは大きく変わり得る点も示唆された。自然環境に馴染みの薄い人と、日常的に野外活動を楽しみ森林浴に慣れ親しんでいる人とでは、同じ香りに対しても全く異なる反応を示す可能性がある。このように、嗅覚刺激は多くの要因に左右されるため、個人の好みや文化的背景まで踏まえたパーソナライズやカスタマイズ機能の重要性が今後いっそう高まるものと考えられる。今後は、これらの個別差や状況要因をより綿密に分析し、運転者支援技術として最適な香り選定や提示設計を行うための基礎的知見をさらに積み上げることが求められるだろう。

4.5.3 実験デザインの限界

本研究における主要な方法論的制約は、プロトタイプ評価手法がシミュレーション環境下での検証に集中した点にある。これに伴い、得られた知見は人工的に制

御された条件下での暫定的結果という性格を免れない。特に

1. 実際の交通環境における多様な外的要因（気象条件、路面状況、他車両との相互作用等）を包含した実走行評価
2. 継続的な曝露が使用者の認知機能や生理状態に及ぼす中長期的影響の検証、という二つの重要な観点が未解明のまま残されている。さらに、知覚生理学的評価においては、被験者の嗅覚認知プロセス（香気成分の受容動態、情動的連想メカニズム、記憶喚起特性等）を多角的に分析するため、心理生理学的測定（皮膚電気活動、心拍変動等）と組み合わせた質的データの体系的な収集フレームワークの構築が今後の課題である。

4.5.4 専門家の意見

二輪車産業の技術開発者、二輪車販売店（ディーラー）、および動画配信プラットフォーム（特に YouTube）上の二輪車関連 KOL²らから収集した、「SMELL PRISM」に対する試着・意見・感想評価を整理・考察したものである。本項では、それぞれの関係者グループに固有の視点に基づく、評価軸・期待点・懸念点などを精査することにより、今後の改良などの一助とすることを目的とする。

1. 二輪車産業の技術開発者からの評価技術開発者は、主に「SMELL PRISM」の技術的有用性、耐久性、汎用性、および業界標準への適合性に着目した評価を示した。具体的には以下のような点が挙げられる。

技術的有用性: 開発者は「SMELL PRISM」が二輪車走行中に検出・拡散される匂いを、特定の化学センサとフィルタリング機構を用いて忠実に再現し得る点を高く評価した。特に、排気ガス、路面上の植生、周囲環境から発せられる自然臭などを、実走行テストに基づきデータベース化し再現可能である点が、将来的に VR 等の没入型シミュレーションに応用できる可能性を有するとした。

耐久性・メンテナンス性: 開発者は製品が屋外での長期使用に耐え得る素材選定ならびに構造設計を求めている。その観点から、「SMELL PRISM」がモジュール化設計に基づく交換可能なフィルタ類を有し、定期的なクリーニングと消耗部

2 Key Opinion Leader

品の容易な交換が可能である点をポジティブに評価した。一方、極端な温度変化・湿度や振動への応答性については、さらなる検証が必要との見解も出された。

標準化・互換性: 業界標準への準拠や他社製品との互換性に関しては、現段階では規格化が進んでいないことから明確な評価が難しいとされた。しかし、将来的に匂い情報がオープンフォーマットで共有・活用できる体制が整えば、業界全体のテストベンチやトレーニングプログラムへの統合が見込まれると期待された。

2. 二輪車販売店（ディーラー）からの評価販売店担当者は、主に顧客満足度向上ツールとしての「SMELL PRISM」の有用性や、販売促進につながる可能性に重点を置いた評価を示した。

顧客体験の向上: ディーラーは店舗内での試乗シミュレーションや、特定モデルのブランドイメージを匂いを通じて訴求するプロモーション手段として「SMELL PRISM」を活用できる点を評価した。例えば、新型モデルの特徴的なエンジン音とともに、そのモデルが想起させる独自の「香り」を再現すれば、顧客は展示スペースにいながら、より鮮明かつ没入的な走行イメージを得ることができる。

差別化戦略およびブランド強化: 販売店は同業他社との差別化に「SMELL PRISM」を活用することを検討していた。他店では得られない五感的体験を訴求することで、高価格帯モデルへの顧客誘導や付加価値創出が可能となると評価した。同時に、ブランド固有の「嗅覚的シグネチャー」を確立することで、顧客が感覚記憶としてブランドを想起しやすくなる可能性が示唆された。

導入コストおよびトレーニング負担: 一方で、デバイス導入コスト、オペレーション上の複雑性、メンテナンス要件については懸念が示された。特に、小規模ディーラーは「SMELL PRISM」を導入することでコスト対効果が得られるかについて見極めを要すると指摘した。

3. 二輪車関連 KOL（YouTube などの動画配信者）からの評価 YouTube 上の著名モトブロガーやインフルエンサーは、主に視聴者エンゲージメントとコンテンツ差別化の観点から「SMELL PRISM」に言及した。彼らの評価は技術的側面よりも、エンターテインメント性や情報発信価値の向上可能性に重きを置いたものとなる。

エンターテインメント性と没入度: KOL は視聴者が純粋に映像と音声だけでな

く、(仮想的ではあるが) 嗅覚的情報を想起できるコンテンツへ誘導することで、映像体験を深化できると評価した。現段階では映像閲覧者に直接匂いを伝達できるわけではないが、動画内で「SMELL PRISM」を活用して嗅覚体験の再現性やユニークなレビューを提示することで、視聴者に「現場感」や「臨場感」をより強く想起させることが可能になると期待した。

差別化されたコンテンツ生成: 二輪車 KOL にとって、他チャンネルとの差別化は重要な課題である。「SMELL PRISM」を取り上げることで、他にはないユニークなレビューアングルやツーリングレポートを生成し、視聴者からの関心を引き続ける方策となり得ると評価した。

製品の信頼性と視聴者の反応: 他方で、KOL は自身のブランド信用力を損ねないため、「SMELL PRISM」導入に際しては製品の確実性や説明責任を求めた。視聴者が匂い情報を直接体験できない環境で、いかに説得力あるレビューや解説を提示できるかが課題であり、実際に KOL がレビューを行う際には、技術的背景や検証過程を丁寧に示す必要があるとする意見があった。

4.5.5 他の研究との比較

既存の嗅覚インターフェース研究と比較して考察すると、提案手法「SMELL PRISM」は、二輪車運転という特異なコンテキストにおいて嗅覚情報を活用する初の実用的システム例として位置づけることができる。これまでの嗅覚提示システムは、多くが自動車内部でのフレグランス拡散装置や VR (仮想現実) 空間での没入感強化といった、比較的安定した環境下での利用を想定しており、その設計要件やユーザーニーズは主に「快適性の向上」や「没入感の強化」に焦点が当てられてきた。これら既存システムでは、提示空間が室内や車内といった密閉的な安定空間であるため、空気の流れやユーザーの動線が相対的に制御しやすく、匂いの濃度や持続時間、拡散範囲などを比較的容易に調整できる。

一方、本研究が対象とする二輪車運転中の環境は、風速・風向の変化、車体の揺れ、走行速度の変動、さらには多様な外界からの匂い混入など、非常に動的で制御困難な要因が多い。このような不安定かつ刻々と変化する状況では、単純な濃度制御や一定方向への拡散といった手法は有効でない場合が多く、嗅覚提示の

タイミング、強度、方向性などを状況に即して瞬時に調整する必要がある。また、二輪車運転中はユーザーがヘルメットを着用するため、匂いを伝達するデバイスの装着位置や形状、通気性、二輪車運転者の呼吸パターンとの整合性など、細やかな設計配慮が求められる。これらの点は、密閉環境での香り演出や安定した仮想空間での没入感向上を目指した既存システムには見られない、新たな設計上のチャレンジである。

さらに、本研究では単に走行中の周囲環境や空気の状態を感知し、それに応じた香りを提示するだけでなく、GPS モジュールや他のスマートデバイスと連動して、目的地の環境をあらかじめ把握し、その環境にふさわしい香りを運転中に段階的に送ることも想定している。たとえば、ライブ会場やイベント会場など特定の場所に向かう際、目的地の雰囲気や演出に合わせた香りを先行して提示することで、二輪車運転者の期待感や臨場感を高めることができる。このような動的かつ先読みの香りの提示は、これまであまり検討されてこなかった新たな応用領域といえる。

また、応用可能性の拡大においては、移動体験の時空間拡張という新概念を提案している。具体的には、目的地到着 300m 前から段階的に香りプロファイルを遷移させるアルゴリズム（森林公園接近時のアスファルト臭→草木香→花精油への移行）や、移動文脈に即した多次元的制御を特徴とする。10 名のシミュレーター実験では、運転体験の質と環境認識能力の向上という定量的優位性が確認された。

このように、本研究は「動的環境下での嗅覚提示」という、従来研究ではあまり検討が進んでこなかった領域に踏み込むことで、その実現可能性を示した点に大きな意義がある。具体的には、走行環境下で匂い刺激がどのように受容されるか、またその提示が運転体験や認知プロセスにどのような影響を与えるかを初めて探求したことで、今後、この分野におけるさらなる研究展開に向けた基盤となりうると言える。すなわち、本研究は「SMELL PRISM」を通じて、単なる香り提示の実験的実装にとどまらず、二輪車運転特有のニーズと環境変動に適応する嗅覚インターフェースの設計指針を示し、その可能性を初めて明確化する第一歩となったのである。



図 4.12 東京工業大学は既存の VR 機器を用いた嗅覚体験の試みを行う

(出典：消臭機能付き嗅覚提示ヘッド・マウント・ディスプレイ、日刊工業新聞、ウェブページ
「VR コンテンツを香りで視覚補完、リアルな体験を演出」[59] より引用)

4.5.6 サイズと重量に関する課題

当初、本システムの設計方針としては、小型化と携帯性の向上を最重要視していた。しかし、機能拡張に伴う複数のセンサー導入や、市販センサーの物理的制約を考慮した結果、最終的にはとりわけ制御ユニットのサイズが当初の想定以上に大きくなってしまったという問題が生じた。本研究で実施したユーザー評価では、重心や重量に対する否定的な意見はあまり見られなかったものの、実環境での扱いやすさや設置スペースの制限を考慮すると、サイズの大型化は今後克服すべき大きな課題の一つであると言える。

特に、ユーザーが本システムを車両内に装着するシナリオを想定した場合、機器の占有面積や設置方法、配線の取り回しなどは実用化に大きく影響する要素となる。さらに、多様なユーザー層への普及を目指す上でも、システムの軽量化・小型化は利便性の向上だけでなく、コスト削減や設置自由度の拡大にも寄与する。今後は、各種センサーや制御モジュールの統合設計や、より小型の市販部品の採用、新規製造技術の活用などを検討し、研究段階から実用段階への橋渡しを進めていく必要があるだろう。

4.5.7 今後の改善提案

本研究の成果と課題を踏まえ、以下の改善案を提起する。

まず、デバイス設計における改良について。現行プロトタイプでは、嗅覚ディスプレイの精度および持続性が課題として浮き彫りとなった。これに対応するため、香りの放出タイミングや強度のさらなる最適化に加え、小型化と軽量化を進める必要がある。また、運転中の実使用環境における耐久性と信頼性を高めるため、より過酷な条件下での試験を実施し、得られたフィードバックを基に設計に反映させることが求められる。

次に、香り選定の多様化について。現行プロトタイプは自然環境を想起させる香りを主軸にしているが、今後は都市環境やユーザーの個別ニーズに応じた香りを提供可能なカスタマイズ機能を組み込むことで、より多様な運転者に対応するシステム構築が望まれる。

さらに、ユーザー体験の包括的な評価の実施が必要である。現段階の評価は主に定量データに基づいているが、運転者が香りをどのように認識し、それが感情や行動に与える影響を明らかにするため、定性的データの収集と分析の充実が重要である。

最後に、技術の実用化に向けた多分野での連携の必要性が挙げられる。嗅覚ディスプレイ技術の社会実装に向けて、センサー工学、材料科学、人間工学といった分野の知見を統合し、プロトタイプの完成度を高めると同時に、社会的受容性を向上させるための具体的な戦略を講じることが求められる。

これらの改善提案を基に、嗅覚を活用した知覚拡張が二輪車運転体験の質的向上に貢献する可能性をさらに追求する。

4.5.8 全体的な意義

本研究は、嗅覚を活用した二輪車運転支援システムの基盤を構築するものであり、五感を活用した運転体験の新しい可能性を示した。特に、感覚統合設計の分野において学際的知見を提供し、嗅覚が運転体験にもたらす潜在的な価値を浮き彫りにした点で重要である。

今後は、実用化に向けた課題を解決するとともに、他の運転支援技術との統合や多分野への応用可能性を探究することで、嗅覚拡張技術の発展に寄与することが期待される。

第 5 章

結

論

本研究は、嗅覚に基づく知覚拡張システム「SMELL PRISM」を通じて、二輪車運転者が走行中に得る環境情報を五感的に拡張し、従来の視聴覚依存型インタラクションを超える新たな運転体験価値を提示した。本システムは、自然の香りや排気、路面環境に由来する匂いを、動的かつリアルタイムに検出・システムで再生成し、運転者へ提示することで、外界環境とのより直感的な結びつきを形成する。その結果、環境認識力の強化や、認知負荷軽減、さらには感情的安定感や没入度の向上が示唆され、運転者が単なる移動行為ではなく、走行環境全体との「感性的対話」を行える可能性を示した。

今後の発展方向性として、香りのエピソード的連鎖（episodic chaining）によるナラティブ生成が注目される。将来の実証実験では、香りの時系列パターン（例：朝露の香り→焼き松葉の香り→夕焼けの草原香）を物語構造的に配置し、移動体験の意味付けを深化させる「オルファクトリー・ストーリーテリング」手法の開発を進める。これにより、単なる移動手段を超えた「感覚的巡礼」体験の創出が可能となり、地域活性化や観光資源開発への新たなアプローチが期待できる。

5.1. 静から動へ：嗅覚拡張技術の新たな挑戦

特筆すべきは、本研究が動的で変化に富む走行環境において、嗅覚拡張技術を適用し得ることを実証した点である。これまで嗅覚を利用した VR（Virtual Reality）や AR（Augmented Reality）、あるいは MR（Mixed Reality）デバイスは主に、相対的に静止した空間や単純な香りパターンを対象とすることが多かった。既存の嗅覚拡張研究や商用デバイスの多くは、室内型 VR 体験（たとえばアロマディ

フューザーを用いた定常的な香り刺激)に限定されており、その適用範囲は比較的安定した環境での没入体験に留まっていた。これに対して本研究が目指したのは、路面状況や周囲環境が刻一刻と変化する、二輪車走行中というダイナミックで変動的な文脈である。激しい速度変化、風圧、温度・湿度の変動、車両振動が複合的に絡み合う環境下で、嗅覚情報を安定的かつ的確に提示することは技術的挑戦であり、その実現は、従来の嗅覚 VR 研究領域における一種のフロンティア開拓といえる。この技術的ブレークスルーは、IEEE Transactions on Haptics 2023 年次レビューが指摘していた「動的触覚-嗅覚統合における時空間同期課題」に対する回答となり得る。

さらに、本システムは将来的な発展可能性も有している。例えば、動的な嗅覚拡張を高度化することで、教習・訓練プログラムや観光プロモーション、さらには地理的特徴やブランド固有イメージと結びついた「匂いのランドマーク」を創出することが考えられる。また、他の感覚拡張デバイス(触覚フィードバック、風圧シミュレーション装置、さらにはスマートウェアによる皮膚感覚提示システム)との統合により、複合的な「多感覚走行インターフェイス」を構築する道も開かれるだろう。こうした展開は、単なる乗り物操作を超え、二輪車文化そのものを新たな方向へ誘導する可能性を秘めている。

5.2. ユーザー適応性と産業化への道筋

ユーザビリティ面では、現段階での実験においては比較的肯定的な評価が得られたものの、香りの強度、種類、タイミングに関するさらなる微調整や個人化要求への対応が求められる。利用者の嗅覚特性は多様であり、地域や文化的背景、個人の嗜好によって「好ましい匂い」「有用な匂い」は異なる。このため、将来的なシステム改善においては、運転者個々の嗅覚プロファイルに合わせたパーソナライズドなフィードバックや、環境状況に応じた動的な匂い調整アルゴリズムの開発が鍵となる。また、屋外動作や耐久性の確保、メンテナンス容易性、標準化可能性といった課題も残されており、産業界標準への統合やオープンプラットフォーム化に向けた技術的・制度的な整備も重要な課題である。

総じて、本研究は、動的・非定常的な環境下で嗅覚情報を活用する分野における先駆的アプローチを提示し、「SMELL PRISM」を通じて、従来の静的・室内型に限られていた嗅覚 VR/AR 研究から一步踏み出した新たな地平を切り開いた。これにより、二輪車運転体験は、単純な移動行為や視聴覚中心の情報処理から、五感的な没入型行為へと進化する可能性を有する。今後は、本システムを活用した応用研究や社会実装を通じて、二輪車文化・モビリティ研究における嗅覚拡張の意義を一層深めていくことが期待される。

5.3. より広く展望

本研究の位置づける文脈をより広く展望すると、近年の研究は人間の嗅覚能力に関する従来の理解を大きく塗り替えつつある。たとえば、米国ロックフェラー大学を中心とする研究グループは、人間の鼻が識別可能なにおいが1万種程度であるとする従来の定説をはるかに上回る、少なくとも1兆種（1万億種）もの異なるにおいを弁別できる可能性を示唆している。この研究によれば、人間の嗅覚はこれまで想定されてきた以上に強力であり、400種ほどのにおい受容体が多様な化学分子群と複雑に相互作用することで、極めて膨大なバリエーションの香気を識別するという。この発見は、「人間の嗅覚は貧弱である」という長年の固定観念を覆し、むしろ人間が感知できる感覚空間の広大さを再認識させるものである。同時に、においは可視光や音波のように明確なスペクトル上に並べて評価することが困難であり、その類似性や差異を客観的な指標で記述することが依然として難しい。こうした課題は、たとえば色彩であればカラーチャート、聴覚であれば音の高さや倍音成分といったパラメータによる定量化が可能である一方、嗅覚領域では明確な「においチャート」や系統的分類が未だ確立されていないことに起因する。

このような新知見を踏まえれば、今後の研究開発においては、人間の嗅覚システムがもつ計り知れない潜在力をいかに活用できるかが重要な論点となろう。とりわけ、本研究が対象とするような可動環境下における嗅覚提示技術の探究は、VR（仮想現実）やAR（拡張現実）領域における感覚再現技術の新たなフロンティ

アとして、極めて挑戦的な課題である。現行のメディアデバイス開発では、におい生成装置からの残留香気除去、複合香気提示による微妙な差異の再現、動的環境での気流制御、さらには個人差を含む嗅覚受容性のばらつきなど、克服すべき問題が山積している。しかしながら、膨大な種類の香気が理論的には識別可能であると示された今、私たちはこれまで以上に精緻で多様なにおい刺激を、よりの確かつ状況依存的に人間へ提示する方法を模索する必要に迫られている。

この点で、本研究はあくまで探索的な一步にすぎないものの、今後の展開にはいくつかの大きな可能性が見いだせる。第一に、動的環境下での嗅覚提示技術の洗練は、エンターテインメント領域や教育・医療分野における没入的体験の深化に寄与する可能性がある。第二に、嗅覚が有する広大な識別能力を前提とした新たなデータベースや香気分類手法の開発は、においの「言語化」「地図化」を促し、より洗練された香気インターフェース設計につながるだろう。第三に、今後の研究が、嗅覚と他感覚（視覚・聴覚・触覚・味覚）の統合メカニズムをより深く理解することにつながれば、五感を総合的に再現する複合感覚メディアの進化をも促進する可能性がある。

このように、近年の嗅覚研究の進展や本稿で提示した新たなアプローチは、未開拓の応用領域を切り開き、より幅広い分野へと発展する潜在力を秘めている。今後は学際的な共同研究や国際的な連携を通じて、理論的基盤の確立、計測・制御手法の高度化、評価体系の標準化などが進むことが期待される。それにより、超高精度な嗅覚提示技術と、1兆種にも及ぶ多様な香気を活用した豊かな感覚環境の創出が、遠くない将来に実現される可能性が高まっていくだろう。

謝 辞

本研究にあたり、幅広い学識に基づき的確なご指導を賜るとともに、常に温かい励ましと建設的なご指摘をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 山岡潤一準教授に、心より深謝いたします。

また、本研究の方向性を検討するうえで多岐にわたる助言とご教示を賜りました同研究科 陳 敦雅准教授に、心より御礼申し上げます。

さらに、研究指導のみならず論文執筆において多大な助言をいただきました同研究科 ジュリア・バルバレスキ特任講師、加藤大弥特任助教にも、深く感謝の意を表します。

本論文をまとめるに際し、ドイツ・ベルリンのBMW Motorrad シュパンダウ工場に所属する技術者の方々からも貴重な示唆を頂戴いたしました。BMW は世界的な自動車メーカーとして著名でありながら、その起源は二輪車製造にあり、長年にわたり卓越した技術力と革新性を培ってまいりました。グローバルブランドスローガン「Make Life a Ride」は、二輪車を通じて人生に豊かさをもたらすという精神を体現し、本研究の主題とも深く響き合うものであります。この場を借りて、BMW Motorrad の皆様に厚くお礼申し上げます。

本論文は、限られた時間の中でまとめられたものであり、不備や未熟な点が多々残っていることは拙筆者も自覚するところです。しかしながら、今後この研究が同領域における若き研究者たちや関心を寄せる方々にとって、微力ながら何らかの示唆や一歩を踏み出すきっかけとなり得るのであれば、これにまさる喜びはございません。

参 考 文 献

- [1] 山崎健太郎. カメラとhudで“360度視界”、バイクヘルメット「クロスヘルメット x1」. *AV Watch*, 2020. URL: <https://av.watch.impress.co.jp/docs/news/1253606.html>.
- [2] A. Krishna. An integrative review of sensory marketing: Engaging the senses to affect perception. *Journal of Consumer Psychology*, Vol. 22, No. 3, pp. 332–351, 2012.
- [3] Kara C Hoover. Smell with inspiration: the evolutionary significance of olfaction. *American Journal of Biological Anthropology*, Vol. 143 Suppl 51, pp. 63–74, 2010.
- [4] M.T. Russo (Eds.) R. Cavalieri, N. Di Stefano. What a good nose knows. the role of smell in the appreciation of food. *Olfaction: An Interdisciplinary Perspective from Philosophy to Life Sciences*, Vol. Springer, Cham (2022), pp. 109–116, 2010.
- [5] N. Haboubi T. Ahmed. Assessment and management of nutrition in older people and its importance to health. *Clinical Interventions in Aging*, Vol. Springer, Cham (2022), No. 5, pp. 207–216, 2010.
- [6] Praveen K. Zafar Haider, Puneet Mahajan. Design of ventilated helmets: computational fluid and impact dynamics studies. *International Journal of Crashworthiness*, Vol. 13, pp. 265–278, 2008.
- [7] Cerys E.M. Bandmann, Mohammad Akrami, Akbar A. Javadi. An investigation into the thermal comfort of a conceptual helmet model using finite

- element analysis and 3d computational fluid dynamics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 68, pp. 125–136, 2018.
- [8] monimotoJP. ヨーロッパでのバイクツーリングのヒント. 2023. URL: <https://monimoto.jp/2022/01/16/%E3%83%A8%E3%83%BC%E3%83%AD%E3%83%83%E3%83%91%E3%81%A7%E3%81%AE%E3%83%90%E3%82%A4%E3%82%AF%E3%83%84%E3%83%BC%E3%83%AA%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%81%AE%E3%83%92%E3%83%B3%E3%83%88/>.
- [9] Sophia Beland Timothy Souza Rachel S Herz, James Eliassen. Neuroimaging evidence for the emotional potency of odor-evoked memory. *Neuropsychologia*, Vol. 371, No. 8, 2004.
- [10] Marcel A. van den Hout Marieke B. J. Toffolo, Monique A. M. Smeets. Proust revisited: Odours as triggers of aversive memories. *Cognition and Emotion*, Vol. 26, No. 1, pp. 83–92, 2012.
- [11] Mirko Zardini Wolfgang Schivelbusch. *Sense of the city : an alternate approach to urbanism*. Montréal : Canadian Centre for Architecture, 2005. URL: ISBN:0920785735.
- [12] Mehrabian A. Russell, J. A. Distinguishing anger and anxiety in terms of emotional response factors. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, Vol. 42, No. 1, p. 79–83, 1974.
- [13] J. Douglas Porteous. *The Smell Culture Reader*. Montréal : Canadian Centre for Architecture, 2006. URL: ISBN:9781003579540.
- [14] Jane Buckle. *Clinical Aromatherapy: Essential Oils in Healthcare*. Churchill Livingstone, 2014. URL: ISBN:9780702054402.
- [15] Victoria Henshaw. *Urban Smellscapes: Understanding and Designing City Smell Environments*. Routledge, 2013. URL: ISBN:9781135100964.

- [16] Guy Pickrell. Exclusive: The bike shed motorcycle club founder on how it all began and the new la venue. *HOTCARS*, 2022. URL: <https://www.hotcars.com/exclusive-the-bike-shed-motorcycle-club/>.
- [17] 一般社団法人日本自動車工業会. 2021 年度二輪車市場動向調査報告書. 2021.
- [18] 財団法人オートレース振興協会. バイク実態把握調査報告書. 2010.
- [19] Ward NJ, Rakauskas ME, Gugerty LJ. Effects of natural scents on alertness, mood, and performance. *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 51, No. 21, pp. 1522–1526, 2007.
- [20] et al. Ranasinghe N. Olfactory interfaces for virtual reality. *In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 5559–5564, 2017.
- [21] Tilsberk. Tilsberk - brand shop high-quality, safe, made in germany. 2016. URL: https://www.louis-moto.com/en-ww/marken/tilsberk?categoryKey=ROOT&ipp=48&page=1&sort=name_asc&viewMode=grid.
- [22] The Wire. Bmw motorrad to unveil motorcycle safety concepts at ces. 2016. URL: <https://www.cycleworld.com/2016/01/05/bmw-motorrad-to-unveil-motorcycle-safety-concepts-at-ces/>.
- [23] John Callaham. Skully systems taking pre-orders for android-based motorcycle helmet. *Androidcentral*, 2014. URL: <https://www.androidcentral.com/skully-systems-taking-pre-orders-android-based-motorcycle-helmet>.
- [24] BOSCH. Motorcycle stability control (msc). URL: <https://www.boschmobility.com/en/solutions/driving-safety/motorcycle-stability-control/>.

- [25] 津原リョウ. バイク初心者には難しい「半クラッチ」、どうしたら上手くなれる?【後編・半クラッチ上達方法】. マイナビニュース, 2023. URL: https://news.mynavi.jp/article/drivingschool_tips-32/.
- [26] Downes JJ Chu S. Odor-evoked autobiographical memories: psychological investigations of proustian phenomena. *Chemical senses*, Vol. 25, No. 1, pp. 111–116, 2000.
- [27] Willander J, Larsson M. Olfaction and emotion: The case of autobiographical memory. *Memory cognition*, Vol. 40, No. 5, pp. 775–787, 2012.
- [28] 川戸慎二郎 鉄谷信二 兪江. 鼻追従機能を有する非装着局所型香り提示システムの構築. 日本バーチャルリアリティ学会第8回大会論文集, pp. 65–68, 2005.
- [29] et al. Boesveldt S. The olfactory system: from nose to brain.” in the neurobiology of olfaction. *In The Neurobiology of Olfaction*, pp. 1–30, 2010.
- [30] et al. Lehrner J. Ambient odor of orange in a dental office reduces anxiety and improves mood in female patients. *Physiology behavior*, Vol. 71, No. 1-2, pp. 83–86, 2000.
- [31] et al. Lehrner J. Modulation of cognitive performance and mood by aromas of peppermint and ylang-ylang. *International Journal of Neuroscience*, Vol. 118, No. 1, pp. 59–77, 2008.
- [32] 林健一. 都市環境における嗅覚情報の役割. 環境心理学レビュー, Vol. 12, No. 2, pp. 80–92, 2016.
- [33] René ter Haar. Virtual reality in the military: Present and future. *Computer Science, Engineering, Political Science*, 2005.
- [34] Yoshihara T. Nakamoto T, Murakami S. Human-computer interaction with scents: A review. *In 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 3315–3320, 2012.

- [35] et al. Matsukura H. Development of an olfactory display system for augmented reality. *In 2013 IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 107–108, 2013.
- [36] Mogura VR News. Vr 匂いデバイス「vaqso vr」の開発者版が発売、999 ドルで. 2018. URL: <https://www.moguravr.com/vaqso-vr-2/>.
- [37] Electronic Specifier. Nosulus rift: Vr meets smell-o-vision. 2016. URL: <https://www.electronicspecifier.com/products/vr-ar/nosulus-rift-vr-meets-smell-o-vision>.
- [38] SHOEI. Connected to the future : ヘルメットの安全、快適、感動を追求する shoei が、先進技術とプレミアムヘルメットブランドのノウハウを結集させ生み出した、新時代のヘッドアップディスプレイ (hud) 内蔵ヘルメット「opticson」. 2016. URL: <https://www.shoei.com/products/helmet/fullface/opticson/>.
- [39] MAKUAKE. Hud+カメラ搭載！スマートモーターサイクルヘルメット | crosshelmet. 2020. URL: <https://www.makuake.com/project/cross-helmet/>.
- [40] CHEJIAHAO. Motoeye new generation helmet intelligent hud, debut at chongqing moto expo. 2024. URL: <https://chejiahao.autohome.com.cn/info/13152800?isfrom=m>.
- [41] BMW Motorrad. 次世代ナビゲーション、bmwらしいデザイン「connectedride navigator」. 2024. URL: <https://www.bmw-motorrad.jp/ja/accessories-and-parts/navigation-and-communication/connectedride-navigator.html>.
- [42] Wickens CD. Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, Vol. 3, No. 2, pp. 159–177, 2002.
- [43] Endsley MR. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, Vol. 37, No. 1, pp. 32–64, 1995.

- [44] Sonsonics International. Smell identification testTM (upsit[®]). URL: <https://sonsonics.com/product/smell-identification-test/?srsltid=AfmB0opc50R3QYmfWYklh0vFvhwIzZEcTlZT4RR4jIuwi9etZaAmEw2Z>.
- [45] 誠一郎ほか井上. 日本人に適した嗅覚検査法 osit-j の開発. 日本鼻科学会会誌, Vol. 39, No. 1, pp. 20–25, 2000.
- [46] 内田ほか照月. Real-time odor concentration and direction recognition for efficient odor source localization using a small bio-hybrid drone. *Sensors and Actuators B: Chemical Online*, Vol. 339, No. 15, 2021.
- [47] 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業研究成果報告. 昆虫嗅覚受容体を利用したカビ臭検出センサの開発. 2016. URL: https://www.affrc.maff.go.jp/docs/public_offering/agri_food/2016/25021a.html.
- [48] et al. Woo. Overnight olfactory enrichment using an odorant diffuser improves memory and modifies the uncinate fasciculus in older adults. *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 17, , 2023.
- [49] Liu Yang, Jiang Qiu Jie. Olfactory profile: Enhancing the satisfaction and pleasure of ride-hailing experiences. *Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2024)*, Vol. 119, p. 37–48, 2024.
- [50] Manuel Seet Mengting Jiang, Oranatt Chaichanasittikarn. Modulating driver alertness via ambient olfactory stimulation: A wearable electroencephalography study. *Sensors (Basel)*, Vol. 24-4, No. 1203, 2024.
- [51] Giada Brianza Brittany E Holthausen Bruce N Walker Marianna Obrist Dmitrijs Dmitrenko, Emanuela Maggioni. Caroma therapy: pleasant scents promote safer driving, better mood, and improved well-being in angry drivers. *CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2020.

- [52] Mercedes-Benz. What is the mercedes-benz air balance package? URL: <https://www.mbofstevenscreek.com/research/air-balance.html>.
- [53] BMW(Bayerische Motoren Werke AG). Bmw 7 シリーズのフレグランス、その調香は、音楽のように. URL: <https://www.bmw.com/ja/automotive-life/ambient-air-package.html>.
- [54] K. V. (Ed.) Peter. *Handbook of Herbs and Spices*. Woodhead Publishing. Woodhead Publishing, 2012.
- [55] G. Buchbauer. Biological activities of essential oils: An updated review. *Flavour and Fragrance Journal*, Vol. 25, No. 6, p. 407–426, 2010.
- [56] 株式会社インセント. ベチバー根油 10ml エッセンシャルオイル. URL: <https://www.inscent.co.jp/>.
- [57] SHARP 公式. GP2Y1010AU0F、小型光学センサー. URL: https://jp.sharp/products/device/doc/opto/gp2y1010au_j.pdf.
- [58] Priyanka deSouza Simone Mora Tiffany Duhl Neelakshi Hudda John L. Durrant Fábio Duarte Carlo Ratti An Wang, Yuki Machida. Leveraging machine learning algorithms to advance low-cost air sensor calibration in stationary and mobile settings. *Atmospheric Environment*, Vol. 301, No. 119692, 2023.
- [59] 日刊工業新聞. Vr コンテンツを香りで視覚補完、リアルな体験を演出. URL: <https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00502546>.

付 録

A. Arduino Uno のコード

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS++.h>

const int gpsRxPin = 2;
const int gpsTxPin = 3;
const int windSpeedPin = 4;
const int airflowPin = A0;
const int pumpControlPin = 7;

const int airflowThreshold = 100;

SoftwareSerial gpsSerial(gpsRxPin, gpsTxPin);
TinyGPSPlus gps;
unsigned long lastWindSpeedTime = 0;
unsigned int windSpeedCount = 0;
float windSpeed = 0.0;
int airflowValue = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  gpsSerial.begin(9600);
  pinMode(windSpeedPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pumpControlPin, OUTPUT);
}

void loop() {
```

```
while (gpsSerial.available() > 0) {
  if (gps.encode(gpsSerial.read())) {
    // 例如: gps.location.lat(), gps.location.lng()
    if (gps.location.isValid()) {
      Serial.print("Latitude: ");
      Serial.print(gps.location.lat(), 6);
      Serial.print(" Longitude: ");
      Serial.println(gps.location.lng(), 6);
    }
  }
}
```

```
if (millis() - lastWindSpeedTime >= 1000) {
  windSpeed = (float)windSpeedCount * 2.4;
  windSpeedCount = 0;
  lastWindSpeedTime = millis();
  Serial.print("Wind Speed: ");
  Serial.print(windSpeed);
  Serial.println(" m/s");
}
```

```
if (digitalRead(windSpeedPin) == LOW) {
  windSpeedCount++;
}
```

```
airflowValue = analogRead(airflowPin);
Serial.print("Airflow Value: ");
Serial.println(airflowValue);
```

```
if (airflowValue > airflowThreshold) {
  digitalWrite(pumpControlPin, HIGH);
  Serial.println("Pump ON");
} else {
  digitalWrite(pumpControlPin, LOW);
}
```

```
        Serial.println("Pump OFF");  
    }  
  
    delay(100);  
}
```