

明治大学大学院

2024年度修士論文

論文題名 ドレミハンドル: 操舵角に応じた音提示による運転練習手法

先端数理科学研究科 先端メディアサイエンス専攻

指導教員名 中村 聡史

本人氏名 松田 さゆり

2024 年度 修士学位請求論文

ドレミハンドル: 操舵角に応じた音提示による運転  
練習手法

明治大学大学院先端数理科学研究科  
先端メディアサイエンス専攻

松田 さゆり

Master's Thesis

Doremi Steering Wheel: Driving Practice Method by  
Presenting Sounds Depending on Steering Angle

Frontier Media Science Program,  
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,  
Meiji University

Sayuri Matsuda

# 概要

車の運転は非常に便利な移動手段である一方、習熟するまでに時間を要する。特に初心者ドライバーや運転に苦手意識を持つひとにとっては事故のリスクが高まる可能性がある。運転に苦手意識を持つ人が特に課題を抱えやすい状況には、駐車、車線変更、高速道路など様々あるが、本研究ではカーブ走行に着目した。カーブ走行は、ハンドルを回すタイミングや量を、目で見た景色と腕の感覚で習得する必要がある練習に時間を要する。そして、カーブ走行が未習得の状況で走行すると、カーブ中にハンドルを必要以上に調整してしまったり、カーブ後にハンドルを切り戻しすぎたりするなど、不安定な運転になってしまう。よって、なめらかなカーブ走行を習得することは重要である。

そこで本研究では、操舵角（ステアリングホイールの回転角度）に連動して段階的に離散変化する音を再生することにより、感覚的に操舵角を把握可能とする手法「ドレミハンドル」を提案する。音は、その音階のサイン波が鳴るようになっている。本手法により、ユーザはカーブ走行において、視覚と腕の感覚だけでなく、聴覚でも操舵角の変化を把握することができるため、運転技能の向上が期待される。

本研究ではまず、ドレミハンドルの有用性を検証するために、単一なカーブを繰り返し走行する際の提案手法の有無がどう影響するか比較する実験をドライビングシミュレータを用いて行った。その結果、ドレミハンドルを使用する方が、使用しない場合より修正舵が減少し、ハンドルを回す速度が遅くなる傾向がみられた。しかし、同じカーブを何度も繰り返し走行する実験であったため、実験自体に飽きが生じやすく、実験協力者の実力を調査しにくいという問題があった。

次に、複数種類のカーブを用意し、実験全体を3つのフェーズに分けることで、実験参加者が実験に飽きづらく、実験協力者の実力を調査しやすいものに改良した。その結果、ドレミハンドルを使用する方が、使用しない場合よりも修正舵が減少する有意差が確認された。

しかし、それまで使用してきたドライビングシミュレータには、実際の道路にあるような複合的なカーブが存在しなかった。そこで、より車体の挙動がリアルに近く、複合的なカーブが存在するコースを走行可能なドライビングシミュレーションソフト Assetto

---

Corsa 上にドレミハンドルを実装し、検証を行った。その結果、提案手法を使用する方が、使用しない場合よりも修正舵が減少する有意差がみられた。さらに、ドレミハンドルを用いて運転練習をした後に、その音提示を無くした場合の走行においても、ある程度効果が持続する傾向が明らかになった。

そして、実車においてもドレミハンドルの効果がみられるか検証するため、実車向けのドレミハンドルを実装し、自動車会社内のテストコースを用いて検証を行った。車速維持訓練においてドレミハンドルを使用し実験を行った結果、ドレミハンドルを使用すると車速維持に意識を向けつつ、修正舵を減少させる可能性がみられた。

加えて、ドレミハンドルの効果を高めるためのお手本を提示する手法の提案を行った。走行前に熟練者のお手本動画を視聴する手法と、カーブに入る直前にお手本の音を提示する手法を提案し、それぞれ走行にどのような影響を与えるか検証を行った、事前にお手本の動画を視聴した群では、記憶に基づいて安定した走行が可能となり、お手本提示を無くした試験走行でもその効果が持続したのに対し、直前に音を提示された群では特に難易度の高いカーブにおいてお手本に近い走行が可能になる効果が見られたものの、提示が終わるとその効果が小さくなってしまう傾向にあった。

これらの多様な条件下による実験を用いて、ドレミハンドルの有用性について述べ、実世界においてもドレミハンドルが有効になる可能性が示唆された。

# Abstract

Driving a car is a very convenient means of transportation, but it takes time to become proficient. In particular, novice drivers and those who have difficulty with driving may be at increased risk of accidents. There are various situations in which people who have difficulty in driving tend to have particular problems, such as parking, changing lanes, and driving on expressways, but in this study, we focused on driving on curves. Driving around curves requires time because the timing and amount of steering wheel turning must be learned by visual observation and arm feel. If the driver does not master curve driving, he or she may adjust the steering wheel operation more than necessary during a curve, or turn the steering wheel back too far after a curve, resulting in unstable driving. Therefore, it is important to learn smooth curve driving.

In this study, we propose a method called “DoReMi Steering Wheel,” which enables the driver to grasp the steering wheel angle sensuously by playing a sound that changes discretely in steps in conjunction with the steering wheel angle (steering wheel rotation angle). The sound is a sine wave of the pitch of the tone. This method is expected to improve the user’s driving skill by enabling the user to grasp changes in steering angle not only visually and with the senses of the arms but also aurally when driving around curves.

To verify the usefulness of the DoReMi Steering Wheel, we first conducted an experiment to compare the effects of the proposed method with and without the DoReMi Steering Wheel when repeatedly driving around a single curve. The results showed that the use of the DoReMi Steering Wheel tended to decrease rudder correction and slow down the speed of steering wheel turning compared to the case without the DoReMi Steering Wheel. However, there was a problem that the experiment itself was easily boring, and it was difficult to investigate the ability of the participants.

Next, we improved the experiment by preparing multiple types of curves and dividing the entire experiment into three phases to make it easier to get bored and to investigate

the ability of the participants. As a result, a significant difference was observed in that the rudder correction was reduced when the DoReMi Steering Wheel was used compared to when it was not used.

However, the driving simulator that had been used up to that point did not have the complex curves that exist on real roads. Therefore, we implemented the DoReMi Steering Wheel on Assetto Corsa, a driving simulation software that allows driving on a course with compound curves and more realistic vehicle behavior, and verified it. The results showed that there was a significant difference in the reduction of rudder correction when using the proposed method compared to when not using it. Furthermore, after practicing driving with the DoReMi Steering Wheel, the effect tended to persist to some extent even when the sound presentation was eliminated.

In order to verify whether DoReMi Steering Wheel is effective in real cars, we implemented DoReMi Steering Wheel for real cars and tested it on a test course in a car company. The results of the experiment using the DoReMi Steering Wheel during speed maintenance training showed that the use of the DoReMi Steering Wheel may reduce rudder correction while focusing attention on maintaining vehicle speed.

In previous studies,, it was confirmed that the timing of the presentation of the reference sound (whether it is viewed as a video before driving or heard just before entering a curve) has different effects on driving behavior. The group that watched the reference video in advance was able to maintain stable driving based on their memory, and this effect persisted during the test runs. On the other hand, the group that received the sound just before the curve showed an improvement in driving behavior, particularly in high-difficulty curves, where their driving became closer to the reference. However, once the sound was no longer presented, the effect diminished.

Through these experiments under various conditions, the effectiveness of the "DoReMi Steering Wheel" was discussed, and it was suggested that this system could potentially be effective in real-world driving scenarios as well.

# 目次

|            |                            |           |
|------------|----------------------------|-----------|
| <b>第1章</b> | <b>はじめに</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1        | 運転苦手意識とカーブ走行の課題            | 1         |
| 1.2        | 運転支援における難しさ                | 2         |
| 1.3        | 本研究の目的                     | 2         |
| 1.4        | 本稿の構成                      | 3         |
| <b>第2章</b> | <b>関連研究</b>                | <b>4</b>  |
| 2.1        | 数値の可聴化                     | 4         |
| 2.2        | 音階を含む音提示による行動支援            | 5         |
| 2.3        | 認知負荷軽減における聴覚の有効性           | 6         |
| 2.4        | 音を用いた運転支援                  | 8         |
| <b>第3章</b> | <b>提案手法</b>                | <b>10</b> |
| <b>第4章</b> | <b>単一カーブを用いた有用性の検証</b>     | <b>12</b> |
| 4.1        | シミュレータの実装と使用方法             | 12        |
| 4.2        | 実験                         | 14        |
| 4.2.1      | 実験設計                       | 14        |
| 4.2.2      | 実験手順                       | 15        |
| 4.3        | 実験結果                       | 16        |
| 4.3.1      | 評価指標                       | 16        |
| 4.3.2      | 修正舵回数による分析                 | 17        |
| 4.3.3      | 平均速度による分析                  | 18        |
| 4.3.4      | 主観評価                       | 19        |
| 4.4        | 考察                         | 20        |
| 4.4.1      | ドレミハンドルの使用による影響            | 20        |
| 4.4.2      | ドレミハンドルの使用による実験協力者への主観的な影響 | 21        |

---

|              |                                              |           |
|--------------|----------------------------------------------|-----------|
| <b>第 5 章</b> | <b>複数種のカーブを用いた有用性の検証</b>                     | <b>22</b> |
| 5.1          | 予備実験 . . . . .                               | 22        |
| 5.1.1        | 実験設計 . . . . .                               | 22        |
| 5.1.2        | 実験手順 . . . . .                               | 23        |
| 5.1.3        | 実験結果・考察 . . . . .                            | 24        |
| 5.2          | 本実験 . . . . .                                | 24        |
| 5.2.1        | 実験設計 . . . . .                               | 25        |
| 5.2.2        | 実験手順 . . . . .                               | 26        |
| 5.3          | 結果 . . . . .                                 | 28        |
| 5.3.1        | 評価指標 . . . . .                               | 28        |
| 5.3.2        | 客観的な指標による分析 . . . . .                        | 28        |
| 5.3.3        | 主観評価による分析 . . . . .                          | 31        |
| 5.4          | 考察 . . . . .                                 | 32        |
| 5.4.1        | ドレミハンドルの使用による影響 . . . . .                    | 32        |
| 5.4.2        | 音階の幅 . . . . .                               | 33        |
| <b>第 6 章</b> | <b>Assetto Corsa による複合的なカーブを用いた検証</b>        | <b>34</b> |
| 6.1          | 実験 . . . . .                                 | 36        |
| 6.1.1        | 実験システム . . . . .                             | 36        |
| 6.1.2        | ドレミハンドルの改良 . . . . .                         | 37        |
| 6.1.3        | 実験設計 . . . . .                               | 38        |
| 6.1.4        | 実験手順 . . . . .                               | 38        |
| 6.2          | 結果 . . . . .                                 | 39        |
| 6.2.1        | ハンドル操作の安定性に関する評価 . . . . .                   | 39        |
| 6.2.2        | 主観評価 . . . . .                               | 42        |
| 6.3          | 考察 . . . . .                                 | 42        |
| 6.3.1        | ドレミハンドルの使用有無による客観的評価への影響 . . . . .           | 42        |
| 6.3.2        | 音提示を無くした場合の効果 . . . . .                      | 43        |
| 6.3.3        | 複合的なカーブのあるコースにおけるドレミハンドルの使用有無による影響 . . . . . | 44        |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <b>第7章 実車による検証</b>            | <b>45</b> |
| 7.1 実験                        | 45        |
| 7.1.1 実車向けシステムの実装             | 45        |
| 7.1.2 実験設計                    | 45        |
| 7.1.3 提示条件                    | 47        |
| 7.2 結果                        | 47        |
| 7.2.1 修正舵のカウント方法              | 47        |
| 7.2.2 修正舵回数による評価              | 48        |
| 7.2.3 車速維持率による評価              | 49        |
| 7.2.4 主観評価                    | 49        |
| 7.3 考察                        | 50        |
| 7.3.1 訓練ごとの修正舵，車速への影響         | 50        |
| 7.3.2 修正舵が減少した状況              | 52        |
| <b>第8章 お手本音提示システムの提案と検証</b>   | <b>54</b> |
| 8.1 実験                        | 54        |
| 8.1.1 実験システム                  | 55        |
| 8.1.2 ドレミハンドルの改良              | 56        |
| 8.1.3 実験設計                    | 57        |
| 8.1.4 実験の流れ                   | 58        |
| 8.2 結果                        | 59        |
| 8.2.1 使用データ                   | 59        |
| 8.2.2 操舵角におけるお手本との差分          | 59        |
| 8.2.3 走行軌跡におけるお手本との差分         | 62        |
| 8.2.4 角速度におけるお手本との差分          | 63        |
| 8.2.5 修正舵回数                   | 64        |
| 8.2.6 速度                      | 64        |
| 8.2.7 直前提示群におけるお手本を聞いているときの軌跡 | 65        |
| 8.2.8 主観評価                    | 66        |
| 8.3 考察                        | 67        |
| 8.3.1 お手本走行との差分               | 67        |
| 8.3.2 主観評価                    | 69        |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 8.3.3 お手本音提示が走行に与える影響と改善策 . . . . . | 69        |
| <b>第9章 全体の考察と展望</b>                 | <b>71</b> |
| 9.1 実験と分析を踏まえた総合考察 . . . . .        | 71        |
| 9.2 制約 . . . . .                    | 72        |
| 9.3 今後の展望 . . . . .                 | 72        |
| <b>第10章 結論</b>                      | <b>74</b> |

# 第1章 はじめに

## 1.1 運転苦手意識とカーブ走行の課題

初心者ドライバにとってカーブや坂道、交差点や高速の合流などの運転は容易ではない。そのため、これらの状況に苦手意識を抱く人も多く、経験不足による不安やミスが生じやすい場面である。経験の浅いドライバにおける事故のリスクの高さは多くの研究で示されている。McKnight ら [1] のアメリカにおける調査では、運転経験の浅い 16 歳のドライバは成人ドライバと比較して 10 倍以上の事故率を示しており、若年層に特有のリスクが指摘されている。また、Curry [2] の研究では、免許取得時の年齢と運転経験が事故率に影響を及ぼすことが実験的に示された。Deery [3] らの分析も、運転経験不足が若年ドライバの衝突リスクにおける主要な要因であることを明らかにしている。さらに、Klauer ら [4] の実験では、運転中の電話など二次的タスクが熟練ドライバでは事故リスクを増大させない一方で、初心者ドライバには顕著なリスク増加をもたらすことが示された。

また、中川ら [5] が行った、運転免許を保有する男女 2,000 名を対象とした自動車運転に関するアンケート調査において、全体の 23% が運転に対して苦手と回答し、運転を苦手とする人の 52% がハンドル操作を難しいと回答しており、ハンドル操作が重要なカーブ走行も難しく感じると考えられる。

ここで、ハンドル（ステアリングホイール）操作が特に重要であるカーブ走行は、運転中に先が見えづらく、ハンドルを回すタイミングや量が視覚と腕の感覚に委ねられている。このカーブ走行の上達には、様々なカーブを運転して徐々に慣れていく必要があり、初心者ドライバにとって習得が容易ではない。そして、カーブ走行の習得が不十分である場合、カーブ中にハンドル操作を必要以上に切りすぎてしまったり、カーブ後にハンドルを切り戻しすぎたりするなど、不安定な運転になってしまうと考えられる。不安定な走行は、車の乗り心地が悪くなってしまっただけでなく事故の原因になるため、なめらかなハンドル操作の走行を目指すことが重要である。

## 1.2 運転支援における難しさ

運転技術を向上させるためには、インストラクターや身近なひとに助手席に同乗してもらい、直接指導を受けることが一般的である。しかし、運転教習所を卒業した後もそのようなひとが身近にいるとは限らない。また、指導してくれるひとがいる場合においても機会を作る難しさがある。さらに指導者も適切に指導できるかを不安に思うこともあり、お互いに不満が溜まる元になり得る。そこで、ひとから直接支援をするのではなく、システムによる支援が必要であると考えられる。

しかし、運転は認知的負荷の高い行動であるため、システムを用いて何かを提示する支援を行うことには困難が伴う。カーブ走行の支援として、運転中に視覚的な情報でハンドルの角度などを直接提示することが考えられる。しかし運転の際は常時交通状況を把握することが重要であり、支援のためとはいえ視覚的な情報を運転中に多用することは望ましくない。そこで本研究では、運転支援の方法として聴覚情報に着目する。しかし、初心者ドライバは緊張や不安などの心理的負荷が大きいため、単純に運転中に操舵角を数値として音声で提示するだけでは、運転から注意がそれてしまう問題がある。また、数値は感覚的に把握することが難しいという問題もあるため、工夫が必要となる。

## 1.3 本研究の目的

以上の内容を整理すると、本研究の目的は、不安定なハンドル操作になりがちなカーブ走行において、なめらかに操作できる手法の実現である。具体的には、ハンドルの角度（以下操舵角と呼ぶ）を感覚的に把握可能にするため、操舵角に応じたドレミ音を提示する手法「ドレミハンドル」を提案する。そして、ドライビングシミュレータ上にドレミハンドルの実装を行い、有用性の検証を行う。また、実車で使用することを想定した複合的なカーブが存在するリアルに近い環境での検証を行うため、Assetto Corsa [6] 上に実装し、実験を行う。また、ドレミハンドルは運転練習システムであるため、練習時や必要に応じて使用することを想定している。よって、この音がなくなった時にも効果が持続するかどうかについても検証を行う。さらに、自動車会社協力のもと実車での検証を行い、ドレミハンドルの有用性について分析をし、議論を行う。その上、さらなる効果的な使い方を模索するためのお手本音提示システムの提案し、真にユーザに求められるシステムを目指す。

## 1.4 本稿の構成

本稿は、本章を含む全 10 章から構成される。まず本章で、カーブ走行の難しさと、運転支援の困難性について述べた。

これ以降、2 章では、本研究の関連研究について述べる。

3 章では、操舵角とドレミ音を組み合わせたドレミハンドル手法を提案する。4 章では単一カーブを用いた実験について述べ、結果と実験の改善点について明らかにする。

5 章では 4 章で行った実験を改良した実験と、ドレミハンドルの有用性について述べる。

次に 6 章では、Assetto Corsa を用いて実車での環境に近づけた複合的なカーブが存在するコースにおける実験を行い、実車に近い環境におけるドレミハンドルの有用性について述べる。

次に 7 章では実車においてドレミハンドルを使用できるように実装し、実験を行った結果について述べる。

8 章では、さらなる効果的な使用方法を模索するためのお手本音提示システムの提案と、それにともなう検証を示し、効果的なお手本提示手法について述べる。

9 章では論文全体を通した考察及び今後の展望について述べる。

最後に 10 章で本研究の結論を述べる。

## 第2章 関連研究

### 2.1 数値の可聴化

単なる数値を可聴化することにより認識を支援する研究は多くなされている。浅野ら [7] は、グラフの上昇傾向や下降傾向などの形状を表現する手法として、対象となるデータの最大値・最小値に最も高い音と低い音を割り当てる方式や、対象となるデータがとる可能性のある最大値・最小値に最も高い音と低い音を割り当てる方式を提案している。しかし、実際にどのような効果があるかについては十分な検証は行われていない。Brown [8] は、視覚障害者がグラフの形状を解釈することが難しいという問題に着目した。そこで、2組のデータを持つグラフにおいて、1組のデータをピアノの音で、もう1組のデータをトランペットの音で表現する手法を提案した。音を聴いた後にグラフの形を絵に描くと、被験者は高い精度でグラフの形を再現することができ、グラフの形を音で伝えることに成功している。Walker ら [9] は、音階を使って感覚的に数値を理解できる視覚障害者向けアプリケーション「オーディオそろばん」を提案した。オーディオそろばんを使用すると、ユーザはほとんど練習することなく音声化された数字の桁を把握することが可能となった。前川ら [10] は、視覚障害者が色模様の紙の中でどのように色が変化しているのかを認識するために、事前に色の RGB と音階を心理的に考慮してマッピングしておき、色の変化をリアルタイムに音の変化で提示する色模様認識システムを提案している。また、患者に協力してもらい実験を行った結果、様々な色模様において識別することが可能で、音から色名を特定可能な場合もあったと述べられている。Bologna ら [11] は、環境の色を楽器の音色に高速変換する手法「SeeColOr」を提案した。これにより視覚障害者が環境を認識しやすくなり、曲がりくねった道を歩くことができる効果があると明らかにした。

本研究は、こうした研究と同じく数値の可聴化に着目し、ハンドルの操作量を音階にマッピングすることで、カーブの運転の上達を支援するものである。

## 2.2 音階を含む音提示による行動支援

音階を用いた聴覚フィードバックにより、人の行動などの支援を行う研究も多数行われている。木村 [12] は、糖尿病などにより末梢神経に障害をもった患者が、正常な歩行を再学習する必要があるという問題に着目し、圧力センサのフットスイッチを用いた聴覚フィードバック装置により、失った感覚を補うシステムを提案している。フットスイッチは母趾球と踵に貼り、踵だけの感知で「ド」、踵と母趾球の両方の感知で「レ」、母趾球のみの感知で「ミ」が鳴るものである。実際の患者を対象とした実験の結果、この装置を使用することによって、進行方向を見ることができるようになったことを明らかにしている。

Berghe ら [13] は、ランニング中の脛骨ショックを減少させることを目的に、走行中に音楽とノイズをフィードバックし、脛骨ショックが減少するとノイズが減り、音楽がより聞きやすくなるシステムを提案している。その結果、バイオフィードバックを用いたランニングで脛骨ショックが27%減少しリアルタイムの音声フィードバックがランニングのインパクト低減に有効であることがわかった。Lorenzoni ら [14] は、デッドリフトの技術を向上させるために、適切な動きの場合は音楽が正しく鳴り、不適切な場合は、不協和音が生じるシステムを提案した。実験の結果、経験豊富なトレーナーからのフィードバックによる効果と有意差がなく、自分のフォームを直感的に理解し、正しい動作を学ぶことができることがわかった。また、音声フィードバックが動作の改善につながることを明らかにした。Yoo ら [15] は、初心者ゴルファーのスキル向上のために正しい動作には1回、間違った動作には2回タグ音を鳴らすシステムを提案している。5週間の実験の結果、タグ付けグループは非タグ付けグループと比べて、クラブヘッド速度やボール速度、角度などのパフォーマンスが向上した。よって、音声フィードバックが初心者のゴルフスキルの向上に有効であることがわかった。

また、大石ら [16] はエキセントリックトレーニングを行う際にチャージ音を付与することで、ゆるやかな動作を促す手法の提案をしている。その結果、動作速度が速くなるのを抑制し、安定した動作速度で継続的に筋力トレーニングができるようになることを明らかにした。さらに、動作速度に基づくフィードバックと、腕の位置に基づくフィードバックの比較を行い、動作速度に基づくフィードバックの方が、安定した速度でトレーニングできる可能性を示した [17]。

細谷ら [18] はバンド演奏の際に、あらかじめ録音された演奏を再生しながら行う同期演奏が、実際のバンド演奏とずれてしまう問題に着目し、ドラムの演奏に合わせて変化する

るクリック音を利用して正確なテンポを維持する手法を提案している．具体的には，同期音源とバンド演奏がずれた際に，クリック音の高さや長さを変化させることで，演奏者にずれを認識させるとともに正確なテンポに誘導する．その結果，ドラム演奏がクリック音より遅れる場合には短いクリック音が有効である一方，早いずれの場合にはクリック音の調整のみでは十分な修正が困難であることが示されている．奥川ら [19] は，サイクルスポーツにおいて一定の回転速度でペダリングするために，回転するごとに音を発生させてペダルの回転速度を聴覚的にフィードバックする手法を提案し，回転速度の分散を減少させることを明らかにしている．Parseihian ら [20] は，音声ガイダンスによってパフォーマンスを向上させる上で，どのような音の特性が，ユーザの行動に影響するのかを明らかにする実験を行った．タブレット上に提示されたターゲットを見つけるタスクにおいて，3種類の音を用意し実験を行った．その結果，基準音を含む2つの音を流す場合に正確さが向上することや，音のピッチを操作することによってタスクをこなす速度が速くなることを明らかにした．

我々の研究もこれらの研究同様に，音を使って自らの行動を誘導し，パフォーマンスの向上を図るものである．

## 2.3 認知負荷軽減における聴覚の有効性

運転はマルチタスクであるため，支援によっては悪影響を与えかねない．Paul [21] は，15秒ルールという，走行中の車両で視覚表示と手動制御を含むナビゲーション関連のタスクをドライバが完了するために推奨される最大時間を規定した．また，Dmitrenko ら [22] は，運転ミスがある時に特定の匂いを使ってフィードバックをすることで効果があるのか検証を行った．減速が必要な場合にはラベンダー，車間距離が短い場合時にはペパーミント，車線からはみ出た場合にはレモンの香りを提示するシステムを実装し実験を行ったところ，視覚提示のみの場合よりも，平均ミス回数が有意に減少した上に，気を散らさないことや，快適で好まれることが明らかになった．しかし，香りは車内環境に大きく影響を与える上，区別できる香りには限界がある．

ここで，聴覚は他の支援方法より認知的負荷が軽いことが様々な調査からわかっている．Strayer ら [23] は運転中の二次的なタスクが反応時間や認知負荷にどのように影響を与えてしまうのか，どのようなタスクがパフォーマンスに影響を与えてしまうのか実験を行った．その結果，単純なタスクはパフォーマンスに悪影響を与えないが，認知的負荷が高いタスクは大きく影響してしまうことがわかった．さらに別の実験において，Strayer

ら [24] は、運転中に行うナビ操作やラジオ操作などの車載情報システムにおいて、聴覚や視覚でのインタラクションがそれぞれ認知的負荷にどのように影響するのか調査を行った。その結果、聴覚は視覚的な作業負荷が大幅に減少するが、作業時間が長くなってしまふことがわかった。岩田ら [25] は、認知的負荷、精神的負荷の低い情報提示手法の検討のため、二重課題法を用いた実験を行い、視覚を主に使用するタスクでは聴覚提示によりその認知的負荷が軽減されることがわかった。

Wu ら [26] は、ドライバが受ける警告メッセージの種類における影響を調査したところ、非音声警告メッセージの有効性を示した。Johan [27] は、聴覚アイコンによって運転者の状況認識を高め、緊急時の反応時間を改善する可能性を調査するため、トラック運転手が聴覚アイコンを受け入れられるかどうか、どのような影響を与えるのかを調査した。その結果、非常に受け入れやすいことがわかったが、状況とアイコンの種類によることがわかった。東口ら [28] は、一定速度で走行するための支援として、視覚フィードバックと聴覚フィードバックのそれぞれの効果の比較実験を行った。視覚フィードバックでは指標となる座標との誤差を示し、聴覚フィードバックでは一定周波数のメトロノーム音を鳴らしたところ、聴覚フィードバックは視覚フィードバックに比べ、フィードバック中の学習効果は小さいが、そのフィードバックを除去した場合でもパフォーマンスに与える影響が少なかった。

Ronsse [29] は、両手の協調運動活動を用いて、視覚的フィードバックと聴覚的フィードバックの効果と、それを処理する脳活動領域の差について調査を行った。その結果、視覚的フィードバックに比べて聴覚的フィードバックの長期効果が有意に高いことが明らかになった。聴覚情報は記憶に関与する海馬がある側頭葉と補足運動野で処理されているために、長期効果が高くなると推測されている。Koo ら [30] らは、自動ブレーキの際に音声アラートを鳴らすことの影響の調査を行っている。その結果、アラートにはその意図を示すことが重要であることがわかった。

Ueda ら [31] は、ホワイトノイズの両耳バランスを変化させることで車体の横位置情報をドライバに伝える手法を提案した。車体位置を見るための下測視覚を遮断した場合でも、音で位置を提示すると通常の運転と同様に走行できることを明らかにした。Yang ら [32] は、音声ナビゲーションシステムの指示タイミングと指示内容が運転者の行動に与える影響を検証し、特に適切なタイミングと詳細な指示が運転効率、車両の安定性、および運転の快適性を向上させることがわかった。音声案内は運転者の認知的負荷を軽減し、安全運転を支援する有効な手段であることを示した。

これらの研究により、聴覚による支援は、認知的負荷が小さいことや、指示としての受け入れやすさ、またその効果が残りやすいことが示されている。よって、周囲の状況を把握するために視覚を多用している運転中に支援を行う本研究では、認知的負荷が小さい手法である聴覚からの支援に着目している。

## 2.4 音を用いた運転支援

音による運転支援システムは警報音としての役割 [33] だけではなく、運転行動を向上させるためにも多く研究されている。服部ら [34] は、エンジンサウンドの有無による速度への影響を調査する実験を行い、エンジンサウンドを発生させると、速度のばらつきを抑えられることを明らかにした。鬼丸ら [35] は、ドライビングシミュレータを開発し、自動車の左右位置の知覚をリアルタイムに改善した。彼らは、両耳の音圧の違いを利用して、車両の位置に応じたフィードバックを与えるシステムを開発した。視覚支援と併用することで、負荷を増やすことなく運転性能が向上した。

芳野 [36] は、メロディーロードと呼ばれる人工的に刻まれた道路の溝とタイヤの間で生じる振動音が音楽に聞こえる道路による運転への影響を調査した。その結果、速度を守って走行することで音楽に聞こえるため、面白いと感じる人が多く不快感が少ないまま、速度への意識を高められたことを明らかにした。澄川ら [37] は、車両挙動の安定化を目的として、車両挙動の変化を可聴化し、ドライバの運転行動を誘導するシステムを提案している。具体的には車両挙動の不安定時に常時高音が鳴る仕組みと、安定時に報酬音が鳴る仕組みを実現しており、どちらの音刺激も具体的な運転方法を指示することなく運転行動を誘導し、車両挙動を安定化させる手段としての可能性が示唆された。また、ドライバへの負担度合いから、報酬音が鳴る聴覚刺激の方が車両挙動を安定化させる効果が高い可能性が示唆された。

杉本ら [38] は、運転中に音楽と能動的にリズムを取ることが覚醒維持につながることを明らかにし、その分析過程において音によるリズムのとりやすさが有効であることを示唆した。Bynum ら [39] は、視覚障害のある高齢者に向けた自動運転において、音声で操作するシステムを提案している。その結果、あまり音声で操作することに慣れていない高齢者においても、次第に慣れていくことを明らかにした。Yukawa ら [40] は、バック駐車においてハンドルを回す適切なタイミングを検証するために、Early, Middle, Late のタイミング音提示モードを用意し実験を行ったところ、Middle が最も適していること、実際に軌道修正誤差が減少することを明らかにした。Sawa ら [41] は、走行中の適切な速

度維持のために、基準となる音と速度に応じた音を流しその音のリズムを揃えることによって現在と目標速度の差を直感的に感じ、スピードメーターに頼らず調整できるシステムを提案した。その結果、聴覚信号を手がかりに、ドライバが速度を調整することは可能であることがわかった。

このように、運転中の聴覚刺激によって運転技能の向上を目指す研究は数多く存在する。しかし、本研究の目的であるなめらかなハンドル操作に特化して音を活用する研究はない。また、運転中に聴覚を用いて運転技術を支援することは有効であると考えられる。本研究で提案するドレミハンドルにおいても、聴覚フィードバックを活用することで運転技能の向上が期待できる。

## 第3章 提案手法

本研究の目的は、不安定なハンドル操作になりがちなカーブ走行において、なめらかに操作できる手法の実現である。ここで運転中は視覚情報が非常に重要となるため、聴覚情報による運転支援を行う。聴覚情報による支援について、操舵角に音量や周波数を直接対応付け、音量や周波数を動的に変化させ提示することも考えられる。しかし、こうした量は相対的な変化をある程度把握できるが、絶対的な量を把握しづらい。また、相対的な量の差がどの程度あるかについての把握は困難である。さらに、そうした操舵角に応じたアナログな音の変化は不快な音となる可能性がある。我々は、この操舵角の数値を感覚的に把握可能とするには、ある程度離散的に聴覚情報を提示することが望ましく、絶対的・相対的に把握可能な聴覚情報が適切であると考え、操舵角に応じた音階のサイン波を鳴らす「ドレミハンドル」を提案する。

システムのイメージ図を図1に示す。ハンドルがまっすぐ前を向いている状態が操舵角0度であり、その状態から左右に回転させた角度に応じて高いサイン波が鳴る。操舵角の絶対値が0度の時に「ド」、90度の時に1オクターブ高い「ド」が鳴るように段階的に割り当てた。「ミ」と「シ」に関しては、前の音階から半音しか上がらないため、音階に割り当てる角度幅（以後「音階幅」と呼ぶ）が他に比べて半分になるようにした。ハンドル操作の少ない直線区間で常に音が鳴るストレスを避けるため、カーブが始まる10m手前から音が鳴るように設定した。

ここで、上手な運転を評価するにあたり、多様な評価基準があるが、著者は修正舵に着目した。これは、乗車時の安心感を提供するために重要な指標であり、カーブ走行の安定性を示す要素である[42]。ハンドルの操作修正量である修正舵が少ない方が安定度は高く、ハンドルを切り足したり切り戻したりして操作量を微調整することは上手なカーブ走行とならず、乗り心地が悪くなってしまう。ドレミハンドルを使用した場合では、操舵角を調整する際に音階が変わるため、修正舵を認識しやすくなり、より安定したカーブ走行になることが期待される。また、ドレミハンドルを使用して走行することで、一度走ったことがあるカーブでは、ハンドルの角度を何の音階まで回す必要があるかといった、聴覚からの尺度でカーブ走行を認知することができると期待される。

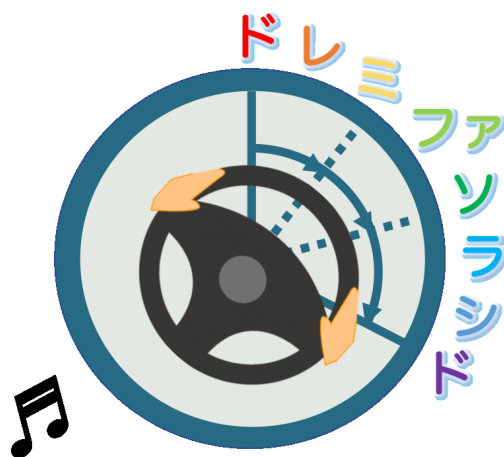


図 1: ドレミハンドルのイメージ図

## 第4章 単一カーブを用いた有用性の検証

本章では、ドレミハンドルの有用性を検証するために、第一段階としてシンプルなカーブを用いて検証を行う。そこで、「ドレミハンドルを使用した場合、使用していない場合よりも試行回数ごとに修正舵回数がより減少する」という仮説を立てた。具体的には、ドレミハンドルの使用と非使用で、どの程度カーブ走行をスムーズかつ早く習得することが可能かの検証を行う。

### 4.1 シミュレータの実装と使用方法

本研究では、Funazaki ら [43] が開発してきたドライビングシミュレータを改良し、Unity を用いてドレミハンドルを実装した。ドライビングシミュレータは Unity で実装されており、運転者が運転するための Head Mounted Display (HMD) と、実験を管理するノート PC が通信し、動作するシステムとなっている。ドレミの音は HMD のスピーカを通して再生され、走行する際のエンジン音もどちらも聞こえる音量に調整した。また、HMD は Oculus Quest2、ステアリングコントローラは Fanatec 社の ClubSport Wheel Base V2.5、ステアリングホイールは Fanatec 社の Podium Lenkrad Classic 2、ペダルは Fanatec 社の ClubSport Pedals V3、シートは Next Level Racing 社の NLR-S010 を使用した。

なお、Oculus Quest2 にはハンドルコントローラを直接接続できないため、ノート PC でハンドルコントローラの情報を取得し、ネットワーク通信 (UDP でデータ送信) により運転情報を HMD に送信する仕組みとなっている。システムの画面の一部はそれぞれ、図 2 (実験協力者用画面) と、図 3 (実験者が管理をするための画面) の通りである。なお、ドレミハンドルの使用の有無は実験管理者が HMD を操作することなく、ノート PC を利用して切り替えることができる。本システムを利用している様子を図 4 に示す。

実験協力者が HMD を装着すると、擬似視界映像が HMD 上に提示され (図 2)、この状態で運転を行うことが可能となる。画面上には、視界には入るが邪魔にはならない位置であるハンドルの右奥に速度情報、左右にガードレールと木が提示される。これらは景色の移動によって、実験協力者により自然に速度を感じさせるために提示される。また、運転における違和感を出さないようにするために、運転実験時に使用するハンドルの回

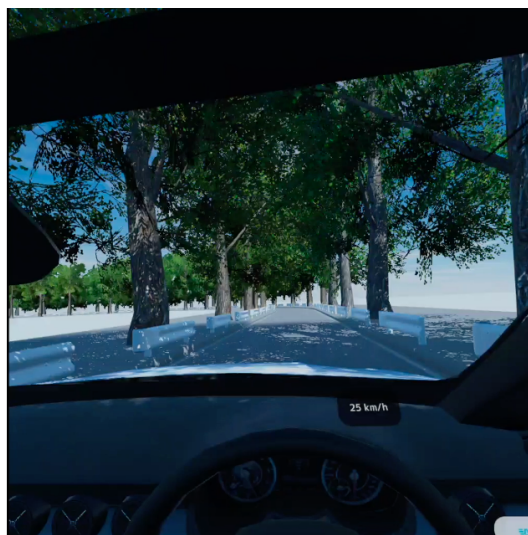


図 2: 実験協力者用画面



| # | 全長    | カーブ半径 | カーブ角度  |
|---|-------|-------|--------|
| 0 | 200 m | 32 m  | -180 ° |
| 1 | 200 m | 64 m  | -90 °  |

道幅: 5 m

開始

ステータス

コース: 不明  
座標:  
速度:  
レイテンシ: 0 ms  
送信: 0:00:00  
受信: 0:00:00

図 3: 実験者が管理をするための画面

転に合わせて実験協力者が見ている画面のハンドルも連動して回転するようにした。実験管理者が管理する画面（図 3）では、道幅、カーブの角度、カーブ半径の値、コースの全長などの実験条件を入力することにより、道路を自動生成することが可能である。また、実験における操作データ収集のため、スタート地点からゴール地点まで、時間、速度、車の通った位置、アクセルを踏んだ量、ハンドルの回転量を 1 秒当たり 33 回程度取得し、各実験協力者の実験 1 試行内複数カーブのデータを csv 形式で一括保存することを可能としている。



図 4: 実験の様子

## 4.2 実験

### 4.2.1 実験設計

運転は天候、時間帯、人通りなど、様々な外的要因によって走行方法が大きく変化する。このうち一条件の影響のみをデータとして出すためには、常に外的要因がなく、統制した環境で走行するなどして実験協力者間の難易度変化が起こらないようにする必要がある。また、実際の環境と近づけるためには、実車を使用しての実験が望ましいが、天候などその日の道路状況によって走行環境が変化する場合がある。そこで本研究では、4.1 節で実装したドライビングシミュレータを用いて実験を行う。

実験では直線 50m、カーブ 100m、直線 50m で構成される、全長 200m の道路とした。カーブは右左折の 2 種類あり、カーブの長さが 100m になるようにカーブの半径は 64m、角度は 90 度とした（図 5）。群馬・長野県境にある国道 18 号の碓氷バイパスはヘアピンカーブと急勾配の連続で知られているが、カーブの最小半径は約 60 m であるため [44]、この実験道路は、比較的難易度が高いものの現実的なものであるといえる。また走行環境は、昼の晴れの道とした。さらにコースは、一般道一方通行の道路をとした。一方通行の道を採用した理由としては、中央線があり対向車が走行してくる可能性がある、その心理的な負担などが運転に影響してしまい、ドレミハンドルによる効果を純粋に検証できない可能性を取り除くためである。

実験では、上手なカーブ走行を習得するまでの過程を確認するため、1 種類のカーブにつき 20 試行連続で計測を行う。また、実験慣れによる順序効果と、カーブ方向による元々

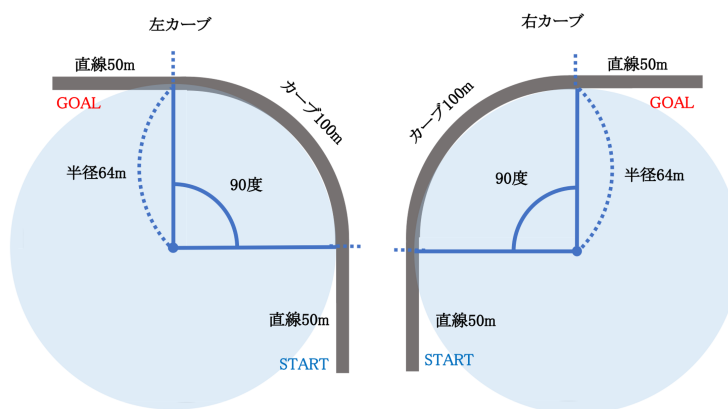


図 5: カーブイメージ図

表 1: 実験協力者グループ

|        | 前半      | 後半      |
|--------|---------|---------|
| グループ A | 右カーブ・音有 | 左カーブ・音無 |
| グループ B | 左カーブ・音無 | 右カーブ・音有 |
| グループ C | 左カーブ・音有 | 右カーブ・音無 |
| グループ D | 右カーブ・音無 | 左カーブ・音有 |

の不得手を考慮するため、実験協力者を 4 つのグループに分類し、実験を行う（表 1）。

ここで、一般的に初心者ドライバは運転免許を取得してから 1 年未満のドライバを指すが、1 年以上経過していても運転をしておらず、慣れていない場合も考えられる。そこで、本実験では普段から週に 1 回以上運転している人を「高頻度運転者」、それ以下の頻度で運転している人を「低頻度運転者」と定義し、グループごとに低頻度運転者と高頻度運転者の数が均等になるように分類した。

#### 4.2.2 実験手順

実験では最初に実験の流れと注意点について実験協力者に説明を行い、シミュレータに慣れるための練習走行を左右 2 試行ずつ、合計 4 試行実施してから本試行を行った。実験では、20 試行ごとに 2 種類のカーブを走行してもらい、1 人あたりの試行回数は合計 40 試行とした。なお、疲労によって実験協力者のコンディションが変化しないようにするため、前半の 20 試行が終わった際に 10 分間の休憩を挟んだ。各試行における各コースの走行は、カウントダウンから始まり（図 6）、道の左右に設置されているガードレールに接触するとエラー（事故）となり、エラーを起こした角度のコースは試行の最後にもう一度提示され再度測定を行うものとした。また、2 回目に提示された測定でもエラーを起



図 6: カウントダウン画面

こした場合は記録なしとした。

ドレミ音は、突然音が鳴る事によるカーブ走行への影響を少なくするために、カーブが始まる 10m 手前（運転開始から 40m の地点）から鳴らすこととした。また、ガードレールにぶつかるなどのエラーを恐れて通常の運転ができないことを避けるため、実験協力者には運転速度が遅くなりすぎないように、目安として速度は 30km/h 以上出すことを教示した。なお、事前説明において、修正舵の少ない運転が望ましいと伝えることや、それ自体をカウントすることについては知らせず、カーブ走行の際にハンドルの角度に合わせて音が鳴ることのみを教示した。

実験は事前説明から測定終了まで 1 人あたり約 45 分を要した。なお、実験協力者は男性 22 名、女性 4 名の大学生 26 名であり、全員普通自動車第一種免許を所持していた。ここで、実験協力者の内 2 名はエラー試行が多く正しい分析ができなかったため、分析対象から除外した。実験協力者 24 名（男性 20 名、女性 4 名）のうち、高頻度運転者が 9 名、低頻度運転者が 15 名となった。

## 4.3 実験結果

### 4.3.1 評価指標

ドレミハンドルを使用した場合、良いカーブ走行は走行開始から音階が上昇し、ある一定の音階を維持し、その後音階が下降する。ここで、カーブ走行の評価の指標として、上手なカーブ走行の 1 要素である操舵の安定性を評価するため、ハンドルの操作修正量

である修正舵に着目する。本実験では、「ドレミハンドルを使用した場合、使用していない場合よりも試行回数ごとに修正舵回数がより減少する」という仮説を立てていたため、この修正舵回数に着目しつつ検証を行う。さらに、ドレミハンドルの使用の有無による運転方法の変化について分析するため、カーブ走行における運転速度についても調査する。また、運転において車が道路の真ん中を走っているのかなどのコース取りも重要な指標の一つであるが、今回使用したコースは 1 車線であるため、優劣の評価ができないためその評価は行わなかった。

#### 4.3.2 修正舵回数による分析

ここで、修正舵については様々な計算方法が考えられるが、今回は走行開始から時間ごとのハンドル角度の微分値の正負が入れ替わった場合を修正舵としてカウントすることとした。そのため、修正舵回数は最もスムーズなカーブ走行でも、直線に戻るために回していたハンドルを戻し始める時の最低 1 回はカウントされることになる。

また、順序効果を最小限にするため、前半 20 試行のデータのみを分析対象とした。図 7 は全長 200m における実験協力者全体、低頻度運転者、高頻度運転者それぞれの修正舵回数の平均である。1 試行ごとの細かい走行のブレを考慮するため、20 試行を 4 試行ごとにまとめている。図より、実験協力者全体では、9-12 試行において、ドレミハンドル使用群の方が通常ハンドル使用群より修正舵回数が少ないことがわかった。また低頻度運転者では、1-4 試行から 9-12 試行にかけて、ドレミハンドル使用群は通常ハンドル使用群に比べ修正舵回数が少ないことがわかった。一方、高頻度運転者では、1-8 試行で通常ハンドルの方が修正舵が少ないが、9-12 試行ではドレミハンドルの方が修正舵が少なくなっていた。

修正舵はカーブ中と、カーブが終了したタイミングで頻発することから、カーブ中とカーブが終わった後に限定して分析を行った結果が図 8 と図 9 である。図 8 より、カーブ中の実験者全体における修正舵回数は、9-12 試行においてドレミハンドルを使用した場合が通常ハンドルを使用した場合に比べ少ないことがわかった。また、低頻度運転者では 1-12 試行において通常ハンドルを使用した場合に比ベドレミハンドルを使用した場合の修正舵回数が少なかった。しかし、高頻度運転者においては違いが見られなかった。

図 9 より、カーブ後における実験者全体における修正舵回数は、全試行を通じて、ドレミハンドルを使用した場合の方が、使用しなかった場合に比べて修正舵回数が少なかった。これは、低頻度運転者と高頻度運転者のどちらにおいても同様の結果となった。こ

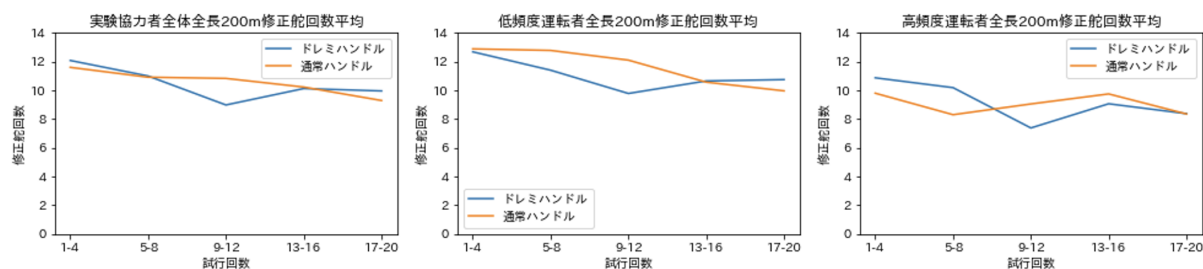


図 7: 全長 200 m における修正舵回数平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

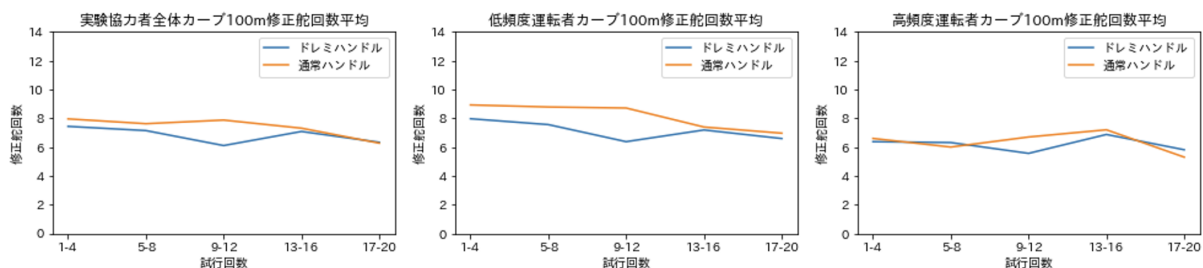


図 8: カーブ中における修正舵回数平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

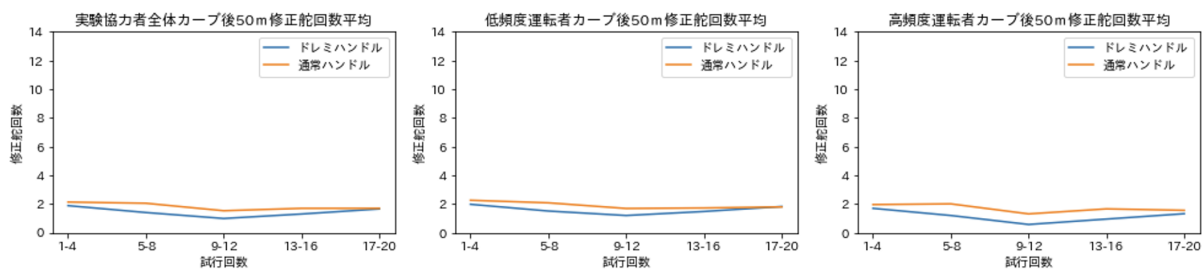


図 9: カーブ後における修正舵回数平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

ここでドレミハンドル使用群と、通常ハンドル使用群とで有意水準が 5 % の二要因混合分散分析 (要因 1: ドレミハンドル (あり/なし), 要因 2: 試行順 (20 試行)) を行った. 分析対象は, 順序効果を考慮して, 全協力者ののはじめの 20 試行とした. 「ドレミハンドルを使用した場合と通常ハンドルでを使用した場合において, 修正舵回数に差はない」という帰無仮説のもと分析したところ, 帰無仮説は棄却されなかった. そのため, 全試行を通して比較した場合, ドレミハンドルの使用の有無では修正舵回数には差が見られなかった.

#### 4.3.3 平均速度による分析

図 10 は, ドレミハンドルの使用の有無による全実験協力者, 低頻度運転者, 高頻度運転者の平均速度と, 標準偏差を示したものである. まず, 実験協力者全体ではドレミハンドル使用群の速度が遅くなった. また, 低頻度運転者と高頻度運転者をそれぞれ見てみると, 低頻度運転者はドレミハンドル使用群の方が通常ハンドル使用群より遅く, 高頻

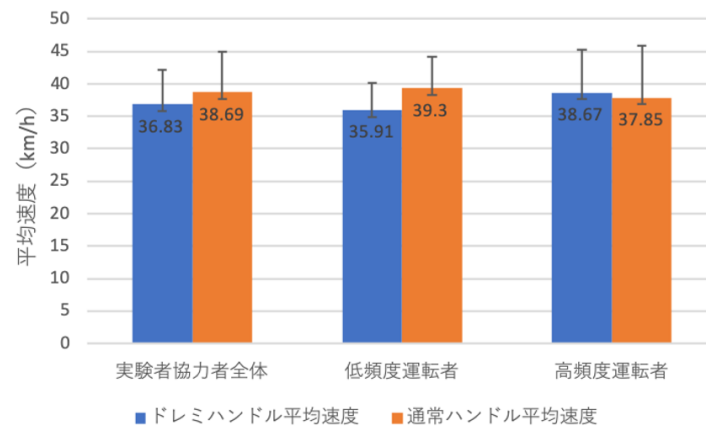


図 10: 平均速度 (km/h) と標準偏差

度運転者は反対に速くなっていた。なお、高頻度運転者の通常使用群の標準偏差は 8.01 であるのに対し、ドレミハンドル使用群は 6.66 であった。このことより、通常ハンドルを使用した場合の方が、試行回数ごとに安定しない、ブレのある運転をしてしまう傾向があったといえる。

次に、4.3.2 項と同じく実験者内比較を行ったところ、低頻度運転者は 15 人中 9 人 (60%)、高頻度運転者は 9 人中 8 人 (88%) がドレミハンドル使用時の方が遅い平均速度となった。また、標準偏差は低頻度運転者が小さく、高頻度運転者は大きかった。このことから、高頻度運転者においては試行ごとの速度のばらつきが大きいことがわかった。

#### 4.3.4 主観評価

実験後に運転に関するアンケート調査を行い、カーブの曲がりやすさなどについてドレミハンドルの有無を別にして、5 段階評価（評価値が大きいほど運転しやすい）で回答してもらった。アンケートの結果を図 11 に示す。この結果より、ドレミハンドルを使用した場合の評価平均は 3.76 だったのに対し、通常ハンドルを使用した場合は 3.16 であり、ドレミハンドルの方が高評価であった。また、曲がりやすさについてドレミハンドルの使用有無について有意水準が 5 % の一要因混合分散分析（要因：ドレミハンドル（あり/なし））を行ったところ、ドレミハンドルを使用した場合と通常ハンドルで使用した場合とでカーブの曲がりやすさに有意差が確認された。

ドレミハンドルを使用中に意識したことについてアンケートに回答してもらったところ、「音階の目安を見つけ、その音になるように操作をした」、「カーブ中に音階を一定にすること、カーブ終わりに『ド』にするようにした」、「音階変化のリズムを試行ごとに一

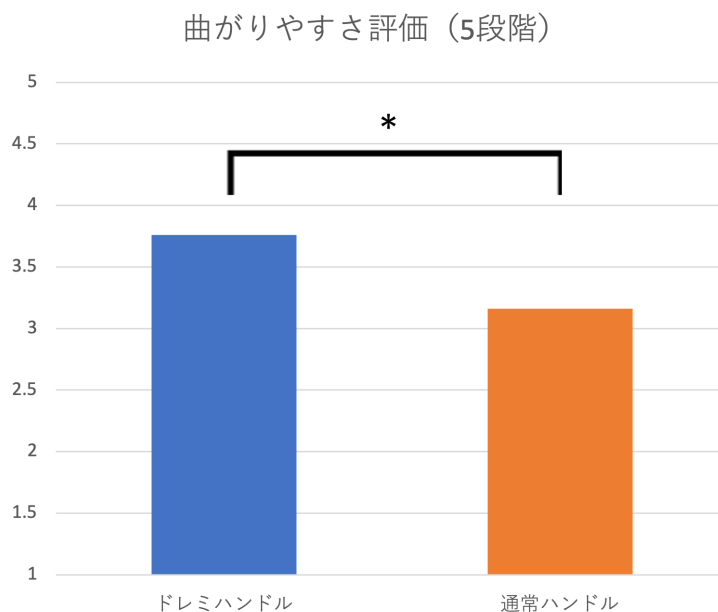


図 11: 曲がりやすさ評価（5 段階評価）

定にすることを意識した」、「ハンドルを回す方に意識が向いて、コース取りへの意識がいつもより散漫になった」、「運転より音を合わせることに意識が向いた」などのフィードバックが得られた。また、どんな状況でドレミハンドルを使用したいかを回答してもらったところ、教習所、長いカーブ、駐車、山道、車幅が細い道、アシスト機能がついたら予測がつかないところで使用したいといった様々な回答が得られた。一方で「ドレミ音に左右されてしまうため、実車では使用したくない」などの意見も得られた。本実験システムの実車と異なる点について回答してもらったところ、エンジンブレーキがかかりにくいこと、ステアリングホイールが自動で元の位置に戻らないこと、ブレーキの感度が低いこと、遠心力を感じないために現実味が少ないことが挙げられていた。

## 4.4 考察

分析結果をもとに、ドレミハンドルの使用の有無による運転行動への影響について考察を行う。

### 4.4.1 ドレミハンドルの使用による影響

修正舵回数に関する分析より、ドレミハンドルの使用の有無で修正舵回数に有意差は見られなかった。これは1-4試行ではまだドレミハンドルに慣れておらず、通常ハンドルと

走行の仕方に差が現れなかったためと考えられる。また、9-12 試行あたりの修正舵回数が減る傾向にあるが、17-20 試行目では修正舵回数が増えてしまう傾向が見られた。これは、実験に途中で飽きてしまう実験協力者も多かったことが原因として考えられる。実験として上達を見るために同じコースを連続して走行してもらうことにしたが、同じ方向にカーブを行うだけといった飽きが来やすいものであったため、休憩を入れることや、コースの工夫などをする必要があったと考えられる。

また、低頻度運転者の平均速度において、ドレミハンドル使用群の方が、通常ハンドル使用群より遅かった。これは、ドレミ音が鳴ることでハンドル操作により注力しようとし、速度が遅くなったのではないかと考えられる。また、高頻度運転者の平均速度は通常ハンドル使用群よりドレミハンドル使用群の方が速かったことから、高頻度運転者はハンドル操作のみで上手なカーブ走行をしようとする傾向があると考えられる。一方、ドレミハンドル使用群の方が、通常ハンドル使用群より平均速度の標準偏差が小さかったことから、速度のブレが少ない安定した走行ができていたと考えられる。

#### 4.4.2 ドレミハンドルの使用による実験協力者への主観的な影響

そして主観評価より、低頻度運転者と高頻度運転者どちらもドレミハンドルの方が曲がりやすいという評価をしており、ドレミハンドルを使用した方がカーブの走行がしやすく感じているといえる。ドレミハンドル使用中に意識したことについての回答から、ドレミハンドルの使用によって数値としては修正舵の抑制につながらなかった実験協力者でも、音により主観的に運転のしやすさにつながったのではないかと考えられる。

これらの分析より、ドレミハンドルを使用することで修正舵が減少する有意差はみられなかったものの、ドレミハンドルを使用する方がカーブを曲がりやすいと評価することがわかった。また、実験が実験協力者を飽きさせやすい設計になっていた可能性が考えられるため、実験設計の改良が必要であると考えられる。

## 第5章 複数種のカーブを用いた有用性の検証

4章の実験においては、ドレミハンドルを使用する方が修正舵に減少傾向が見られたが、有意差はなかった。その理由は2つ考えられる。1つ目は同じカーブを繰り返し走行する実験を行ったため、単調で飽きが生じるなど実験参加者の集中力に結果が左右されてしまったことである。また2つ目は、連続で走行してもらったため、全体を通してメリハリがなく、実力を調査する方法として不十分であったことである。

そこで本章では、運転初心者がカーブ走行の際にできるだけ安定した操舵を習得可能とすることを目的とし、複数種のカーブを走行する場合のドレミハンドルの効果を検証する。実験では複数種のカーブを走行することで、実験自体が単調でなくなるとともに、カーブ角度ごとに必要なハンドル回転量を身につけやすくなり、運転技能が向上すると考えられる。また実験を3つのフェーズ（ベース・練習・テスト）に分けることにより、特にテストに対して意識付けを行う。以上のような実験の改良により、ドレミハンドルの有用性を改めて検証する。

### 5.1 予備実験

本章の実験では、実験協力者が単調なコースに飽きてしまい、ドレミハンドルの効果を適切にはかることができないという問題をなくすために、コースの種類を増やすこととした。ここで、コースの種類を増やすにあたり、何種類に増やすべきか、どれくらいの難易度が適切なのかを検証するために、予備実験を行う。

#### 5.1.1 実験設計

運転は天候、時間帯、人通りなど、他の外的要因によって走行方法が大きく変化するため、4章で使用したものとおなじドライビングシミュレータを用いて実験を行う。なお、これまでの実験においてこのドライビングシミュレータのエンジンブレーキがほとんど

効かないという問題があったため、その点を実験前に改良し、実車と同程度のエンジンブレーキの度合いとなるように実装した。

実験で使用した複数種のコースの概要を表 2 に示す。実験のコースは 4 章と同様全て道幅 5m とし、間に直角に曲がるカーブを設置した。カーブ半径は 3 種類用意し、それぞれ左カーブと右カーブがあるため、合計 6 種類となった。また、スタートからカーブに入るまでの距離を統制するために、全体の長さを調整した。なお、その他の実験条件としては、一方通行の道路で、昼夜モードについては昼モードを採用した。一方通行の道を採用した理由は、中央線からはみ出してしまうといった要因を取り除くためである。

また実験では、システムによる修正舵回数の変化などを調査するために、実験を 3 つのフェーズ（ベース・練習・テスト）に分ける。詳細を以下に説明する。

- **ベース走行:** 実験参加者の練習をする前の実力を調査するためのもので、3 種類のカーブを左右 2 本ずつ（合計 12 本）走行してもらう。ドレミハンドル使用群も、通常ハンドル使用群もどちらも通常ハンドルを使用する。
- **練習走行:** 実験参加者にシステムを利用しつつカーブを練習してもらうためのもので、3 種類のカーブを左右 5 本ずつ（合計 30 本）走行してもらう。ドレミハンドル使用群はドレミハンドルを使用し、通常ハンドル使用群は、音の鳴らない通常ハンドルを使用する。
- **テスト走行:** 実験参加者の成長を計測するためのもので、3 種類のカーブを左右 2 本ずつ（合計 12 本）走行してもらう。なお、実験協力者にはテスト走行としてテストを行うことを説明する。ドレミハンドル使用群はドレミハンドルを使用し、通常ハンドル使用群は、音の鳴らない通常ハンドルを使用する。

実験では、ベース走行における修正舵回数を 1 として正規化したときのテスト走行における修正舵回数などを計算し、その結果による比較でドレミハンドルの使用の有無による差を明らかにする。

### 5.1.2 実験手順

実験では、まず実験協力者にベース走行を行ってもらい、その後練習走行に取り組んでもらった。練習走行後休憩を 5 分間挟み、テスト走行に取り組んでもらった。全ての走行（フェーズ）で、カーブの種類がランダムになるように順番を調整した。また事前に、

表 2: 予備実験に使用したコース概要

| 全体長 (m) | カーブ長 (m) | カーブ半径 (m) | カーブ角度 (度) |
|---------|----------|-----------|-----------|
| 150     | 50       | 32        | 90        |
| 150     | 50       | 32        | -90       |
| 200     | 100      | 64        | 90        |
| 200     | 100      | 64        | -90       |
| 250     | 150      | 96        | 90        |
| 250     | 150      | 96        | -90       |

実験参加者をドレミハンドルの使用有無でグループ分けをし、練習走行も含め同一の環境で実験を行った。

### 5.1.3 実験結果・考察

予備実験の結果、ドレミハンドルの使用の有無での、ベース走行を1として正規化したときのテスト走行における修正舵回数に差はなかった。ここで、実験における運転の様子などから、走行前にどの種類のカーブであることを明示していなかったことが原因として考えられた。カーブ走行の際には、カーブの曲率に合わせて、適切なハンドルの回転量を判断する必要がある。今回の実験では、大小3種類あるカーブがランダムな順番で現れるため、曲がっている最中にどのカーブ角度の道を走行しているかを把握するが、コース上の風景の違いが少なく、どのカーブであるか判断することが難しかったと考えられる。そのため、ドレミハンドルを使用している際に、「このカーブはこれくらいの音が鳴るまでハンドルを回した」と把握したとしても、どのカーブであるかわからず、次に活かせなかったと考えられる。この問題を踏まえ、ドレミハンドルの効果を活かすためには、カーナビやレーシングゲームなどが急または特殊なカーブの直前に情報提示を行うように、シミュレータ上でもどのようなカーブを走行するのかを事前に提示する必要があると考えられる。また、カーブ半径が複数ある事自体も混乱のもとだったため、まずは単純に2つ程度に絞ることが重要であると考えられる。

## 5.2 本実験

予備実験を踏まえ、本節では「複数種のカーブを走行する際に、ドレミハンドルを使用した場合、使用していない場合よりも修正舵が減少する」という仮説を検証するため、ド

表 3: 本実験に使用したコース概要

|   | 全体長 (m) | カーブ長 (m) | カーブ半径 (m) | カーブ角度 (度) |
|---|---------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 250     | 50       | 32        | 90        |
| 2 | 250     | 50       | 32        | -90       |
| 3 | 350     | 150      | 96        | 90        |
| 4 | 350     | 150      | 96        | -90       |

レミハンドルの使用と非使用それぞれ修正舵回数がどの程度減少するかを比較する。

### 5.2.1 実験設計

本実験では、5.1 章の予備実験と同じドライビングシミュレータを改良し、Unity を用いてカーブ形状の事前提示機能（図 12）を実装した。走行を開始するための 5 秒間のカウントダウンの間に、事前提示としてこれから走るコースが急なカーブと緩いカーブのどちらかを提示し、画像で実際の形状を示すようにした。実験で使用した複数種のコースの概要を表 3、経路を図 13 に示す。全て道幅 5m で、間に直角に曲がるカーブを設置した。カーブ半径は予備実験で用いていたカーブ半径 64m のものを除外し 2 種類とした。実験では、それぞれ左カーブと右カーブがあるため、カーブの種類の合計は 4 種類となった。なお本実験では予備実験同様、システムによる修正舵回数の変化などを調査するために、実験を 3 つのフェーズ（ベース・練習・テスト）に分ける。

- **ベース走行:** 実験参加者の練習をする前の実力を調査するためのもので、2 種類のカーブを左右 2 本ずつ（合計 8 本）走行してもらう。ドレミハンドル使用群も、通常ハンドル使用群もどちらも通常ハンドルを使用する。
- **練習走行:** 実験参加者にシステムを利用しつつカーブを練習してもらうためのもので、2 種類のカーブを左右 5 本ずつ（合計 20 本）走行してもらう。ドレミハンドル使用群はドレミハンドルを使用し、通常ハンドル使用群は、音の鳴らない通常ハンドルを使用する。
- **テスト走行:** 実験参加者の成長を計測するためのもので、2 種類のカーブを左右 2 本ずつ（合計 8 本）走行してもらう。なお、実験協力者にはテスト走行としてテストを行うことを説明する。ドレミハンドル使用群はドレミハンドルを使用し、通常ハンドル使用群は、音の鳴らない通常ハンドルを使用する。



図 12: カーブ形状の事前提示機能

### 5.2.2 実験手順

実験では、実際に走行する前に、走行するコース、実験の流れ、実験における注意点の説明を PowerPoint のスライドを用いつつ行った（図 14）。注意点の説明では、運転には修正舵というハンドルを切り足したり、切り戻したりする動作があり、修正舵が少ない方が良い運転とされているため注意してほしいことを伝えた。また、ガードレールにぶつかるなどのエラーを恐れて通常の運転ができなくなってしまうことを避けるため、実験協力者には運転速度が遅くなりすぎないように、具体的には目安として速度は 30km/h 以上出すことを教示した。

実際の走行では、まず実験参加者にドライビングシミュレータに慣れてもらうために、事前に 2 種類のカーブを左右 1 本ずつ（合計 4 本）走行してもらった。その後、ベース走行、練習走行に取り組んでもらい、5 分間の休憩を挟んでテスト走行に取り組んでもらった。

全てのフェーズで、カーブの種類はランダムな順番で走行してもらった。また実験参加者は事前にドレミハンドル使用群と、通常ハンドル使用群とに分けられ、各指定のハンドルモードで実験を行ってもらった。なお、ドレミハンドルを使用する群の実験協力者には、カーブ走行の際にハンドルの角度に合わせて音が鳴ることを教示した。実験は事前説明から測定終了まで 1 人あたり約 50 分を要した。なお、実験協力者は今までにドライビングシミュレータに乗ったことのない大学生、大学院生の 24 名（男性 20 名、女性 4 名）であり、全員自動車運転免許を所持していた。ここで、実験協力者の内 2 名は走行データに欠落があり正しい分析ができなかったため、分析対象から除外した。なお実験協力者のなかで、頻繁に運転する高頻度運転者は 4 名、運転の頻度が少ない低頻度運転者は 18 名であった。

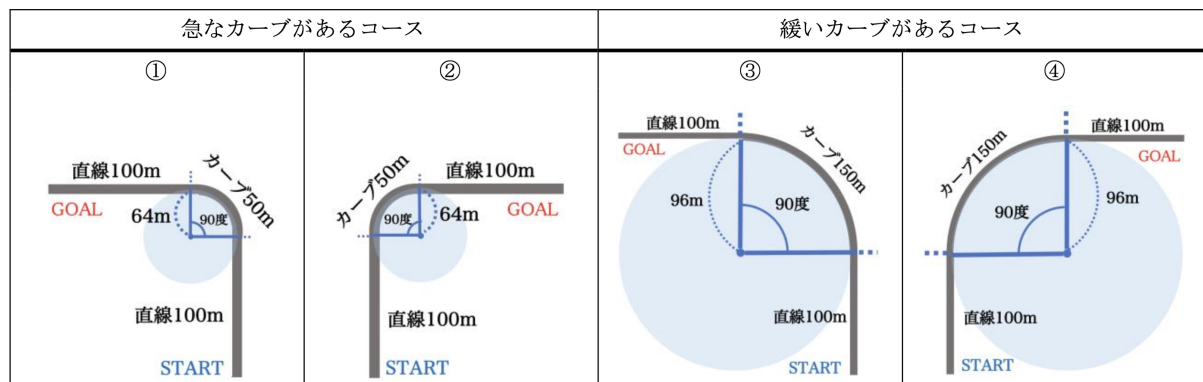


図 13: 使用したカーブの経路図

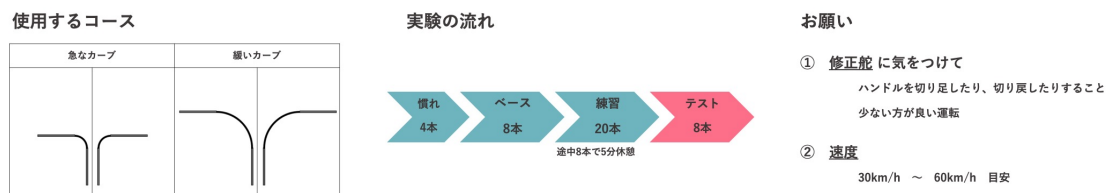


図 14: 説明に使用した PowerPoint

## 5.3 結果

### 5.3.1 評価指標

上手なカーブ走行の 1 要素である操舵の安定性を評価するために、ハンドル操作修正量である修正舵回数と、ハンドル操作の速度であるハンドルの平均角速度について分析を行う。また、実験終了後に実施したアンケート結果から主観評価の分析を行う。

### 5.3.2 客観的な指標による分析

修正舵については様々な計算方法が考えられるが、4 章と同じように、時間ごとのハンドル角度の微分値の正負が入れ替わった場合を修正舵としてカウントすることとした。なお今回の実験コースでは、カーブに入る際にハンドルを切り、直線に戻る際にハンドルを切り戻すため、最もスムーズな走行でも最低 1 回は修正舵回数としてカウントされることとなる。

本実験では、「複数種のカーブを走行する際にドレミハンドルを使用した場合、使用していない場合よりも修正舵が減少する」という仮説を立てたため、ベース走行を 1 としたときの、テスト走行での修正舵回数で比較および分析する。具体的には、3 つのフェーズ（ベース・練習・テスト）に分けている実験の中で、ベース走行とテスト走行を比較して分析を行う。ベース走行及びテスト走行では、1 種類のコースにつき 2 本ずつ走行してもらったが、実験協力者の実力を調査するために、2 本のうち修正舵回数が少ない方の走行をベストなものとして計算に使用することとした。

図 15 は、ベース走行を 1 としたときの、テスト走行での修正舵回数について、ドレミハンドルの使用有無ごとに箱ひげ図を用いて比較したものである。図より、ドレミハンドル群が通常ハンドル群に比べ、修正舵が減少していることがわかる。ここで、ドレミハンドル群と通常ハンドル群とで有意水準が 5% の一要因参加者間分散分析（要因：ドレミハンドル（あり/なし））を行った。そして「ドレミハンドルを使用した場合と通常ハンドルを使用した場合において、修正舵回数に差はない」という帰無仮説のもと分析したところ、帰無仮説は棄却された。そのため、ドレミハンドルを使用した群は、通常ハンドルを使用した群よりも有意に修正舵回数が減少したといえる。

なお、コースの種類ごとに分けて分散分析を行った結果を図 16 に示す。この結果より、緩い左カーブがあるコースにおいては有意水準 1% で有意に修正舵回数が減少することが

わかった。しかしその他のカーブにおいては差はあるものの、有意な差とはならなかった。

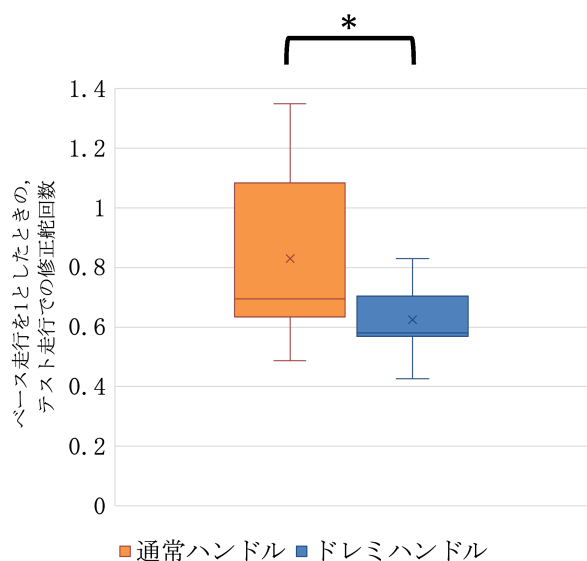


図 15: ドレミハンドルの使用の有無でのテスト走行における修正舵回数の比較

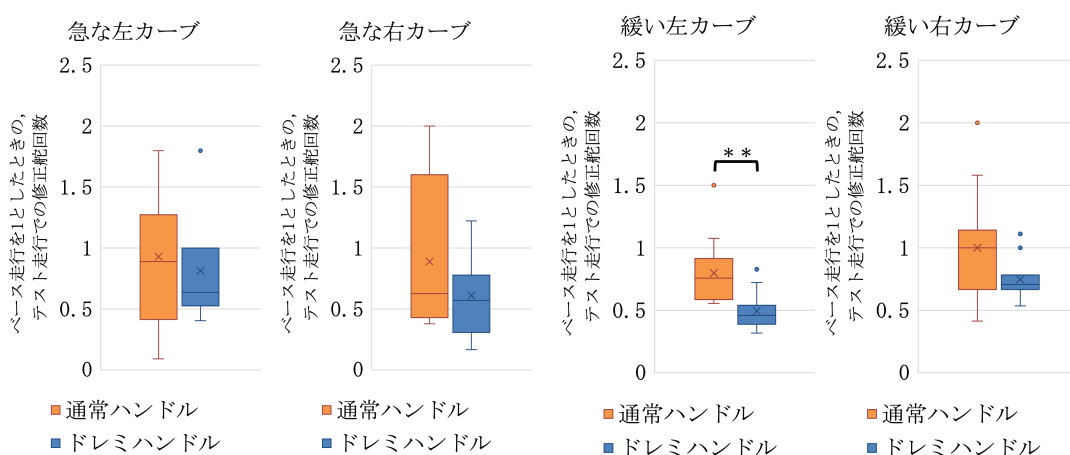


図 16: コースの種類ごとのテスト走行における修正舵回数の比較

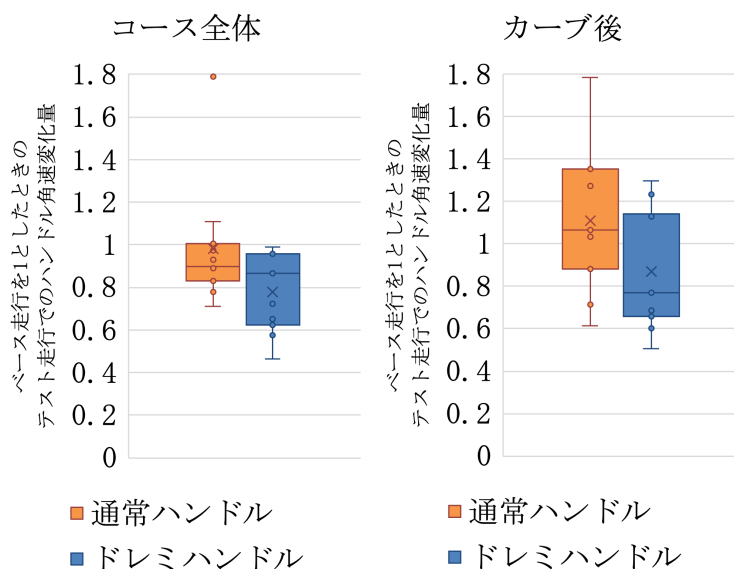


図 17: ベース走行を 1 としたときの、テスト走行でのハンドル角速度変化量

図 17 は 1 試行あたりのハンドルの平均角速度（以下、ハンドル角速度とする）において、ベース走行を 1 としたときの、テスト走行でのハンドル角速度変化量をドレミハンドルの使用有無によって比較したものである。ここでハンドルの平均角速度とは、ハンドル操作の速度のことで、小さい方が緩やかにハンドル操作をしているため、運転技術が高いといえる。この図より、ドレミハンドルを使用した群の方が通常ハンドルを使用した群に比べて、ハンドル角速度が減少する傾向がみられた。修正舵回数と同様に分散分析を行ったところ、ドレミハンドルを使用した群の方が通常ハンドルを使用した群よりもハンドル角速度が減少する傾向がみられた。また、カーブ後に限定して分析をおこなった結果、ドレミハンドルを使用した方がハンドルの平均角速度が減少する傾向がみられた。

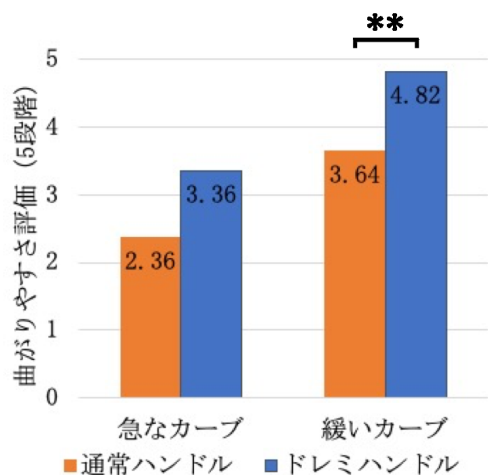


図 18: 曲がりやすさ評価 (5 段階評価)

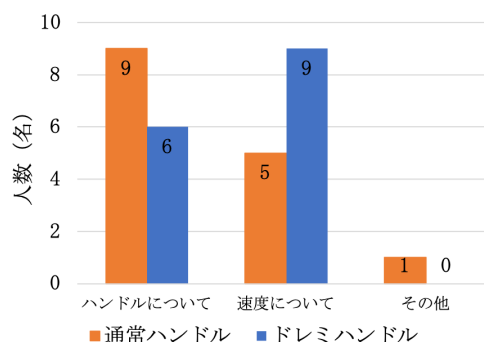


図 19: 走行中に意識したこと

### 5.3.3 主観評価による分析

実験後に運転に関するアンケート調査を行い、カーブの曲がりやすさなどについて 1～5 の 5 段階評価（評価値が大きいほど運転しやすい）で回答してもらった。アンケートの評価結果をカーブごとに平均したものを図 18 に示す。この結果より、急なカーブにおけるドレミハンドルを使用した群の評価平均は 3.36、通常ハンドルを使用した群は 2.36 であった。また緩いカーブにおけるドレミハンドルを使用した群の評価平均は 4.82、通常ハンドルを使用した群は 3.64 であり、どちらのカーブにおいても、ドレミハンドルを使用した群の方が評価が高かった。またドレミハンドル群と通常ハンドル群とで有意水準が 1% の一要因参加者間分散分析（要因：ドレミハンドル（あり/なし））を行ったところ、緩いカーブにおいてドレミハンドルを使用した群の方が有意に曲がりやすいと評価したことが確認された ( $p < .01$ )。

図 19 は走行中に意識したことについて自由記述で回答してもらった結果を、手動で分類したものである。この結果より、ドレミハンドル群は速度について意識する傾向があり、通常ハンドル群はハンドルについて意識する傾向があることがわかる。

## 5.4 考察

分析結果をもとに、ドレミハンドルの使用有無による運転行動への影響について考察を行う。さらに、これまでの実験を踏まえた適切な音階の幅についても考察を行う。

### 5.4.1 ドレミハンドルの使用による影響

5.3.2 項で得られた修正舵回数に関する分析より、ドレミハンドルを使用すると、修正舵が有意に減少することがわかった。これはハンドルを回した角度に応じて音が鳴ることによって修正舵を認識しやすくなったためと考えられる。また事前にカーブ形状を提示することで、この種類のカーブではこの音まで回すという目安を把握しやすくなり、無駄なハンドル操作である修正舵回数が減少したと考えられる。ここで、カーブごとに分析を行った結果、特に緩い左カーブにおいて有意差がみられた。これは急なカーブに比べて緩いカーブの方がハンドルの角速度が遅くなるため、ドレミ音の変化を捉えやすくなり、修正舵の認識しやすさが向上したことが理由と考えられる。しかし、同じカーブ半径である緩い右カーブでは有意差がみられなかった。この左右の違いについては運転席から見える視界の広さなどが影響している可能性があるが、今後調査していく予定である。

ハンドルの平均角速度に関する分析から、ドレミハンドル使用群は、通常ハンドル群に比べ、ベース走行からテスト走行にかけてハンドルの角速度が減少する可能性がある。また区間ごとに分けて分析を行った結果より、コース全体だけでなくカーブ後に同じ傾向がみられたため、カーブから直線に戻るタイミングでのハンドル操作をよりスムーズなものにできると期待される。この理由として回したハンドルを戻すという作業において、ドレミ音が聞こえることで音のリズムを意識してハンドルを戻そうとするようになり、ハンドル操作が緩やかなものになったものと考えられる。

5.3.3 項で行った主観評価の分析から、ドレミハンドルを使用した群の方が、通常ハンドルを使用した群よりも緩いカーブを曲がりやすいと感じていることがわかる。このことより、ドレミハンドルは緩いカーブにおいて、主観的な運転のしやすさを向上させると考えられる。急なカーブで有意差がみられなかった理由は、急なカーブを走行する際にはハンドルを大きく回す必要があり、音の変化が激しいものになっていたことが原因として考えられる。つまり急なカーブを走行する際には、ドレミ音が変化する操舵角の幅を変えるなどの工夫が必要であると考えられる。具体的には急なカーブを走行する際にはドレミ音が変化する操舵角の幅を広げることで急すぎる音階変化を避ける、また反

対に緩いカーブを走行する際には音階変化が明確になるようにドレミ音が変化する操舵角の幅を狭めるなど、カーブの角度に合わせて適切な音階幅を対応させることがあげられる。また音自体には、サイン波の音から、ピアノの音などの聞き馴染みのある音に変更すると使い心地が良くなる可能性も考えられる。

走行中に意識したことについての分析結果より、ドレミハンドル使用群はハンドル操作より速度について意識する傾向がみられ、通常ハンドル使用群は速度よりハンドル操作について意識する傾向がみられた。このことより、ドレミハンドルを使用する方が、カーブ前に減速するなどの速度に関する意識をしやすい可能性が考えられる。なお、ドレミハンドル使用群の方が、修正舵が有意に減ることから、ドレミハンドルを使用する方が、意識的にハンドルに注力せずとも無駄がないハンドル操作ができるようになる可能性も考えられる。

#### 5.4.2 音階の幅

これまで使用したドレミハンドルは、周波数に合わせて音階幅を設定していたため、「ミ」と「シ」は他の音階と比べて半分の角度を割り当てた。しかし、渡邊ら [45] の調査結果より、音の境目付近でその音を維持しようとハンドルを操作する傾向が見受けられ、音を参考にハンドルを操作する傾向があることがわかった。よって、音階幅はどの音程においても同じであるほうが使いやすい可能性が考えられる。

## 第6章 Assetto Corsaによる複合的なカーブを用いた検証

これまで使用したシステムは、指定の条件で繰り返し同じコースを走行させることができるため統制した運転実験に適していた。しかし限られたパターンのカーブが1つ存在する、短区間のコースを繰り返し運転するという特殊な状況での実験となっていたため、より現実に近いコースでの検証が必要である。

ここで、実際に存在する道路を再現したコースを走行することができる拡張性の高いドライビングシミュレータに Assetto Corsa がある。Assetto Corsa では、実際の道路をレーザースキャンするなどして路面が再現されたコースが用意されており、よりリアルに近い運転を行うことができる。

Higuera ら [46] は車線幅と交通量がドライバの行動とパフォーマンスに及ぼす影響について Assetto Corsa を利用して実験を行った。Assetto Corsa を使用することによって、環境変数と現実的な運転条件を正確に制御することができ、研究の妥当性と信頼性が高まった。Daniël [47] は、ドライバとしての技術を高めるためのデータを取得する際に Assetto Corsa を用いることで、レーサー向けのシステムの作成を行っている。Bugeja ら [48] は、シリアスゲームがレースドライバのトレーニングに効果的であるかを検証する際に Assetto Corsa を用いて実験を行った。Vecchiato ら [49] はドライバの行動の元となる脳の動きを明らかにするために、Assetto Corsa を用いて実験を行った。その結果、脳波リズムの変化により三角筋の活動を予測し、ステアリングの行動も予想できることが明らかになった。これらの研究より、Assetto Corsa は再現性の高いシミュレータであり、さまざまな実験に使用されているため、今回の実験においても適切であると考えられる。

また、既存のコースを利用することで、複合的なカーブを有する周回道路における検証も行うことが可能である。

そこで本章では、これまでの研究において開発してきたドライビングシミュレータよりリアルな運転に近く、また複合的なカーブが存在する周回道路においても、ドレミハンドルを使用して運転練習をした場合に修正舵が少なくなるという仮説のもと、Assetto Corsa 上にドレミハンドルを実装し、ドレミハンドルの使用と非使用それぞれにおいて修

正舵回数がどの程度減少するか比較する．ここで、ドレミハンドルは常時使用するのではなく、運転練習時や、技術向上をしたい時など運転練習システムとして、必要に応じて使用することを想定している．そのため、ドレミハンドルでの運転練習後に、その音提示を無くした場合にも効果があるのかについても検証を行う．

## 6.1 実験

### 6.1.1 実験システム

実験では、実際に存在する道路を再現したコースを走行可能な Assetto Corsa を使用する。

ここで、Assetto Corsa で走行中にドレミハンドルの音を鳴らすシステムを実装するため、Assetto Corsa からリアルタイムで走行データを受信し、そのデータからドレミ音を鳴らすシステムを Processing で実装した。UDP 通信で運転データを Processing にリアルタイムに送信し、そのステアリングデータからドレミハンドルの音を鳴らすシステムとなっている。

実験の様子を図 20 に示す。これまでの実験では HMD (Head Mounted Display) を用いて映像を表示してきたが、Assetto Corsa を HMD で用いた予備実験において、コンピュータのスペックの都合で酔いやすく、周回を重ねることが困難であることがわかった。ここで Chris ら [50] の研究によると、運転シミュレーションにおいて HMD とプロジェクタを比較したところ、大きな違いがみられなかったことが明らかとなっている。そこで本章の実験では、大型ディスプレイを前面かつ適切な位置に設置し、そのディスプレイにコースを表示することとした。なお、Assetto Corsa から出力される走行音とドレミハンドルの音は、ノイズキャンセリング機能搭載のヘッドフォンから聞こえるようにした。



図 20: 実験の様子

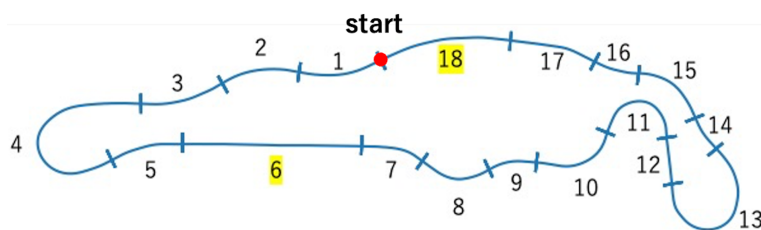


図 21: コース概形

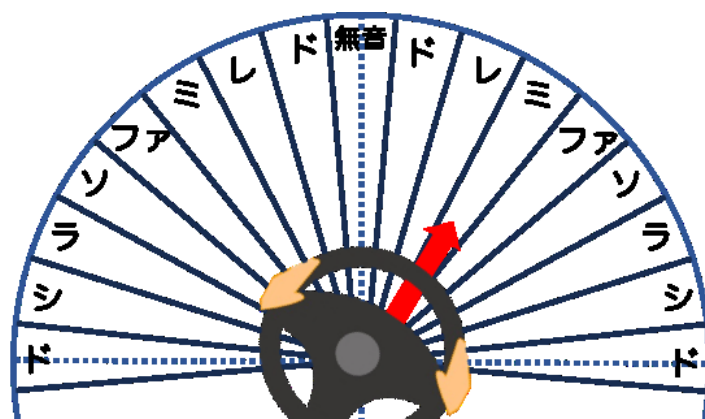


図 22: ドレミハンドルの改良

### 6.1.2 ドレミハンドルの改良

これまでの実験では、一定距離直線を走った後にカーブが始まる短いコースを繰り返し運転するものであったため、ドレミ音は、コース上の指定の範囲で音になるように設計されていた。ここで今回の実験で使用するコース（図 21）は、様々な直線やカーブが複合的に組み合わさったものであり、どの場所で音を鳴らすべきかを限定することができない。その結果、直線部分でも常にドが鳴り続けてしまうといった問題があった。そこで、ハンドルを真っ直ぐにした状態から  $\pm\theta_0$  度回した位置までは音が鳴らない設計に変更した（図 22）。4 章、5 章では、周波数に合わせて音階幅を設定していたため、「ミ」と「シ」の音階幅が他の半分の大きさになっていたが、5.4.2 項をふまえ、音とハンドル角度をより単純に結びつけるため、どの音階も同じ音階幅になるようにした。

また [51] [45] において、ドレミハンドルにおける一音階に割り当てる適切な角度幅はカーブ半径によって異なることが明らかになったが、今回はカーブ半径が異なる複数のカーブが連続しているため、最も多くのカーブで効果があると考えられる 90 度ハンドルを回すと 1 オクターブの音階が上がる設定を採用した。

### 6.1.3 実験設計

実験で使用した走行コース（図 21）は、自動車会社内にある複合的なカーブを有するテストコースを Assetto Corsa 上に再現したものである。コースの全長は 1800m であった。また、車両モデルはセダンタイプの市販車を再現したものである。なお、コースを試乗した結果、ドレミハンドルの無音区間に適切な値として、 $\theta_0 = 5$  と設定した。

実験ではこれまでの実験と同様、運転技能の変化を調査するために、実験をフェーズに分ける。

- ベース走行（3 周）：実験協力者の練習をする前の実力を調べるためのものであり、両群（ドレミハンドル使用群、通常ハンドル使用群）ともに通常ハンドルを使用して運転してもらう。
- 練習走行 1（3 周）：実験協力者に運転の上達を図ってもらうものであり、実験協力者に割り当てたいずれかのハンドルモードを利用しつつ走行練習をしてもらう。
- 練習走行 2（3 周）：練習走行 1 と同様。
- 試験走行 1（3 周）：実験協力者の成長を計測するためのものであり、実験協力者には試験であるということを説明する。実験協力者ごとに割り当てたハンドルモードで走行してもらう。
- 試験走行 2（3 周）：ドレミハンドルを使用して練習した後に、その音提示を無くした場合の走行への影響を調べるためのものであり、両群通常ハンドルを使用して運転してもらう。

実験では、ベース走行における修正舵回数を 1 として正規化したときの試験走行 1、試験走行 2 における修正舵回数などを計算し、その結果による比較でドレミハンドルの使用の有無による差を明らかにする。

### 6.1.4 実験手順

実験では、実際に走行する前に、使用するコース、実験の流れ、実験における注意点の説明を行った。注意点の説明では、修正舵への意識を持ってもらうために、運転には修正舵というハンドルを切り足したり、切り戻したりするものがあり、修正舵が少ない方が良い運転とされているため注意してほしいことを伝えた。また、実験協力者によっ

て走行速度が大きくばらつくとも難易度に差が生まれてしまうため、このコースの運転において無理なく走行可能である 50km/h を目安に走行してほしいことを伝えた。ただし、カーブ区間など 50km/h で走行することが難しいときは、適切に減速するように伝えた。

実験では、まず実験協力者にドライビングシミュレータに慣れてもらうために、事前に 3 周走行してもらった。その後、ベース走行、練習走行 1、練習走行 2、試験走行 1、試験走行 2 と取り組んでもらった。休憩は慣れるための走行の後に 2 分、練習 1 走行の後に 5 分、試験 1 走行の後に 2 分入れた。また、各フェーズ終了後には、そのフェーズで意識していたことを問うアンケートに答えてもらった。

実験協力者はベース走行の実力をもとにドレミハンドル使用群と通常ハンドル使用群に分けられ、各指定のハンドルモードで実験を行ってもらった。なお、ドレミハンドル使用群の実験協力者には、カーブ走行の際にハンドルの角度に合わせて音が鳴ることを教示した。

実験は事前説明から測定終了まで 1 人あたり 60 分を要した。なお、実験協力者は大学生、大学院生の 26 名（男性 20 名、女性 6 名）であり、全員普通自動車第一種免許を所持していた。ここで、実験協力者の内 1 名は修正舵が多く、外れ値となっていたため分析対象から除外した。最終的なそれぞれの条件の実験協力者は、ドレミハンドル使用群 13 名、通常ハンドル使用群が 12 名であった。

## 6.2 結果

上手なカーブ走行の一要素である操舵の安定性を評価するために、ハンドル操作修正量である修正舵回数、ハンドル操作の速度であるハンドルの平均角速度について分析を行う。また、アンケート結果から主観評価の分析を行う。なお、ドレミハンドルは、カーブ走行の支援を目的としているため、図 21 のカーブ区間である 3～5, 7, 8～17 の区間を分析対象とした。

### 6.2.1 ハンドル操作の安定性に関する評価

修正舵は、これまでの実験と同じように、時間ごとのハンドル角速度の微分値の正負が入れ変わった場合を 1 回としてカウントした。また、ハンドル操作量が 3 度未満の細かい修正舵は技量に影響しないと考えられる [45] ため、今回の分析においてもハンドル操

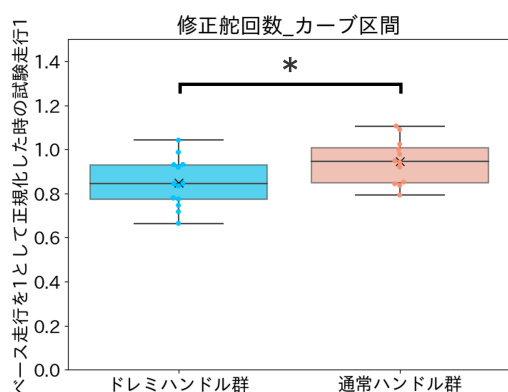


図 23: 試験走行 1 における修正舵回数の比較

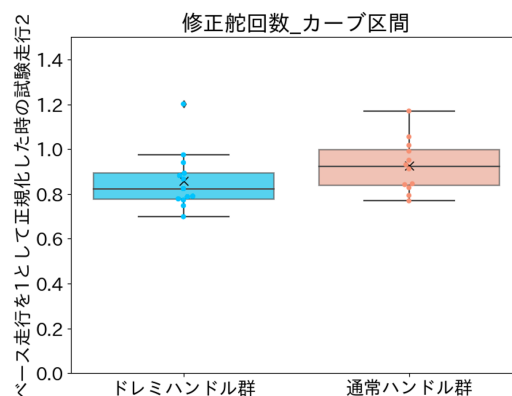


図 24: 試験走行 2 における修正舵回数の比較

作量が3度未満の細かい修正舵についてはカウントしないこととした。本章の実験では「複合的なカーブが存在するリアルに近い周回道路において、ドレミハンドルを用いて運転練習を行うと、操舵角に応じて音階が変わる意識により、修正舵が少なくなる」という仮説を立てていたため、5つのフェーズ（ベース・練習走行1・練習走行2・試験走行1・試験走行2）に分けた実験の中で、ベース走行を1とした時の試験走行1および試験走行2での修正舵回数で比較および分析する。各フェーズでの1周目は休憩後すぐであり、そのフェーズに慣れていない場合も考えられるため分析からは除外し、2, 3周目の平均をそのフェーズのデータとして分析を行った。

図 23 はカーブ区間におけるベース走行を1とした時の試験走行1の修正舵回数について、ドレミハンドルの使用有無ごとに箱ひげ図を用いて比較したものである。図より、ドレミハンドル使用群が通常ハンドル使用群に比べ、修正舵が減少していることがわかる。ここで、ドレミハンドル使用群と通常ハンドル使用群とで対応なしのt検定を行ったところ、ドレミハンドル使用群の方が通常ハンドル使用群に比べ、有意に修正舵回数が減少していることがわかった ( $p < .05$ )。

図 24 はカーブ区間におけるベース走行を1とした時の試験走行2の修正舵回数について、ドレミハンドルの使用有無ごとに箱ひげ図を用いて比較したものである。図より、試験走行2においてもドレミハンドル使用群が通常ハンドル使用群に比べ、修正舵が減少している傾向がみられるが、有意差はみられなかった。

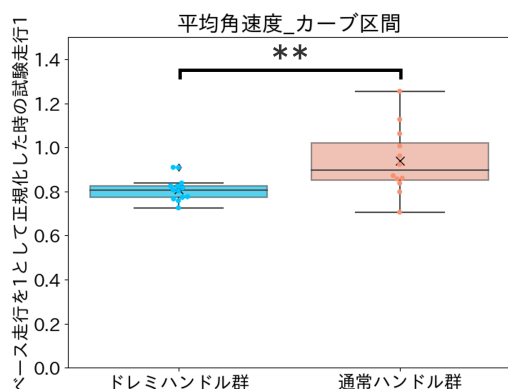


図 25: 試験走行 1 における平均角速度の比較

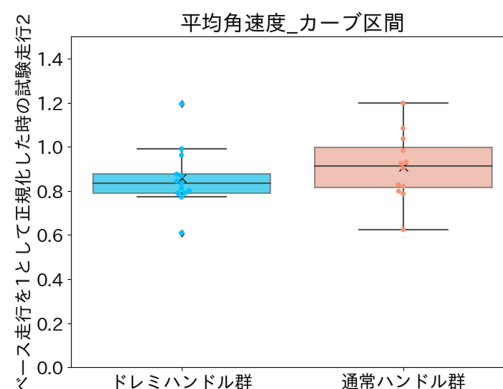


図 26: 試験走行 2 における平均角速度の比較

図 25 はカーブ区間における 1 周あたりのハンドルの平均角速度において、ベース走行を 1 としたときの、試験走行 1 でのハンドル平均角速度をドレミハンドルの使用有無によって比較したものである。ここでハンドル平均角速度とは、ハンドルの操作の速度のこと、小さい方が緩やかにハンドルを操作しているため、運転技能が高いといえる。この図より、ドレミハンドル使用群の方が、通常ハンドル使用群に比べてハンドル角速度が減少する傾向がみられた。修正舵回数と同様に検定を行ったところ、ドレミハンドル使用群の方が、通常ハンドル使用群よりもハンドル角速度が有意に減少する傾向がみられた ( $p < .01$ )。

図 26 はカーブ区間における 1 周あたりのハンドルの平均角速度において、ベース走行を 1 としたときの、試験走行 2 でのハンドル平均角速度をドレミハンドルの使用有無によって比較したものである。この図より、試験走行 2 においてもドレミハンドル使用群の方が、通常ハンドル使用群に比べてハンドル角速度が減少する傾向がみられるが、有意差はなかった。

### 6.2.2 主観評価

実験中および実験後に走行に関するアンケートを行い、フェーズごとに走行中に意識したことを自由記述で回答してもらったところ、「ドレミ音が自身のハンドル操作で鳴るだけでも、修正舵への意識に繋がると思いました」という好意的な意見が得られた。一方で、「ドレミ音に頼りすぎると逆にミスしそう」などという意見も得られた。

## 6.3 考察

### 6.3.1 ドレミハンドルの使用有無による客観的評価への影響

6.2.1 項で得られた修正舵回数に関する分析より、ドレミハンドルの使用中は修正舵が有意に減少することがわかった。ハンドルを回した角度に応じて音が鳴ることで、ハンドル操作に意識が向いて修正舵を認識しやすくなり、抑制しようとした結果、修正舵が減少したものと考えられる。よって、これまで開発してきたドライビングシミュレータだけでなく、今回のようなよりリアルな環境で、複合的なコースが含まれる周回コースにおいても修正舵を減少させられることが明らかになった。したがって、この音が鳴るまでハンドルを回すという目安を把握できない複雑なコースや、初めて通る道においても、修正舵を減少させられる可能性があると考えられるため、今後検証していく予定である。一方、ドレミの音に頼って運転を行った場合に、ミスしやすくなるという意見もあった。これは、カーブごとの音階の目安を見つけたとしても、速度によって回すべき角度が変わるため、その音の目安が混乱を招く場合があることが考えられる。そのため、速度を加味してハンドルの角度に対応させた音階を変化させるような改良を行う必要があると考えられる。

ここで、より詳細な修正舵回数に関する運転行動の分析を行うために、試験走行 1 における修正舵を大きさごとのヒストグラムを図 27 に示す。これまでの分析では、修正舵の大きさが 3 度未満のものは除いてきたが、運転行動の分析を行うために、3 度以下のものも含めた。また、30 度以上の修正舵はカーブを走行するための適切なハンドル操作であると考え除いている。図より、ドレミハンドル使用群は、通常ハンドル使用群に比べて約 2~5 度の小さい値の修正舵の回数が多いのに対し、通常ハンドル使用群はドレミハンドル使用群に比べて 6 度以上の大きい修正舵の回数が多いことがわかる。つまりドレミ

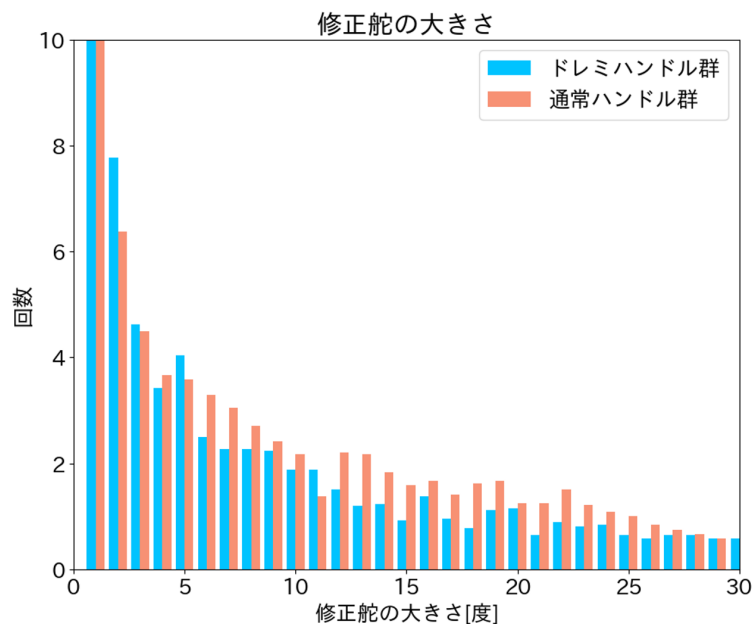


図 27: 試験走行 1 における修正舵の大きさの比較

ハンドル使用群は、通常ハンドル使用群に比べて、大きい修正舵を減少させて、細かいハンドル操作で走行するようになると考えられる。これはドレミハンドルの音階が変わる幅は約 13 度であるため、ハンドルを微調整する際は、それよりも小さい値の範囲で調整するように意識したからと考えられる。

### 6.3.2 音提示を無くした場合の効果

6.2.1 項で得られた結果より、ドレミハンドルを使用して練習をした後に、その音提示を無くした場合にも修正舵が減少する傾向がみられたが、有意な差ではなかった。また、ハンドルの平均角速度においても減少する傾向がみられたが有意な差ではなかった。

ここで、ある実験協力者は試験走行 2 の意識したことにおいて、「基本的には速度を意識したが、元々あったドレミの音がなくなったことでより強く操舵角が意識できているような気がした。走行中は操舵角に意識を向け、ドレミの音があったときはこのような角度や曲げ方でいくとうまくいった気がする、という記憶を頼る場面がいくつか存在した」と回答している。つまり、ドレミハンドルの音がハンドル操作の指標として記憶に残り、その記憶により修正舵を意識できる可能性がある。

### 6.3.3 複合的なカーブのあるコースにおけるドレミハンドルの使用有無による影響

これらの結果より、複合的なカーブを有する周回道路においても、通常ハンドルを使用した場合に比べドレミハンドルを使用した場合の方が、有意に修正舵が減少することが明らかになった。また、ドレミハンドル使用群は通常ハンドル使用群に比べて、大きい修正舵が少なく、小さい修正舵をするようになることも明らかになった。さらに、ドレミハンドルを使用すると、ハンドル操作が緩やかなものになり、運転技能が向上することも明らかとなった。

また、音提示を無くした場合にもドレミハンドルの音が鳴っていた記憶によりハンドル操作を意識した走行になることが明らかになった。しかし、音提示を無くすとハンドル操作から意識が逸れる実験参加者もいたため、音を無くして走行していても、ある程度時間が経ったら音を鳴らすなどといった、ハンドル操作への意識を薄れさせないための工夫が必要であると考えられる。

## 第7章 実車による検証

これまでの実験は、あくまでドライビングシミュレータを用いた実験であり、実車においても効果があるのかについては検証できていなかった。本章では、「実車においても、ドレミハンドルを用いて運転練習を行うと修正舵回数が減少する」という仮説をもとに、ドレミハンドルが実車においても運転技能向上がみられるか、指導者による訓練と同等の効果が得られるかどうかの検証を行う。

実験を行うにあたり、実車から走行データをリアルタイムに取得し、音提示を行うシステムの実装を行う。また、自動車会社内で行われている実車の速度維持訓練の中で、ドレミハンドルを使用し練習する群と、助手席に同乗した講師から直接口頭で指導を受け練習する群とで比較実験を行い、実車におけるドレミハンドルの有用性の検証を行う。

### 7.1 実験

#### 7.1.1 実車向けシステムの実装

車両のリアルタイム情報を取得する仕組みを利用し、その取得した情報をもとに音を鳴らすシステムを、Processingを用いて実装した。本システムは、UDP通信で運転データを車から取得し、音提示システムに対してリアルタイムに送信する。音提示システムは、受信した運転データの中のステアリングに関する情報をもとにドレミ音を鳴らすものとなっている。

ここで実車の走行において直線走行時に常にドレミ音が鳴るのは望ましくない。そこで6章と同様に、操舵角 $\pm 5$ 度までの間は音を鳴らさないようにし、絶対値で5度から90度までの85度で1オクターブ使うようにドレミハンドルの音階幅を変更した。

#### 7.1.2 実験設計

実験で使用した走行コース(図28)は、自動車会社内にあるテストコースである。コースの全長は1800mであった。使用した車はSUVタイプの市販車であり、マニュアルモ-

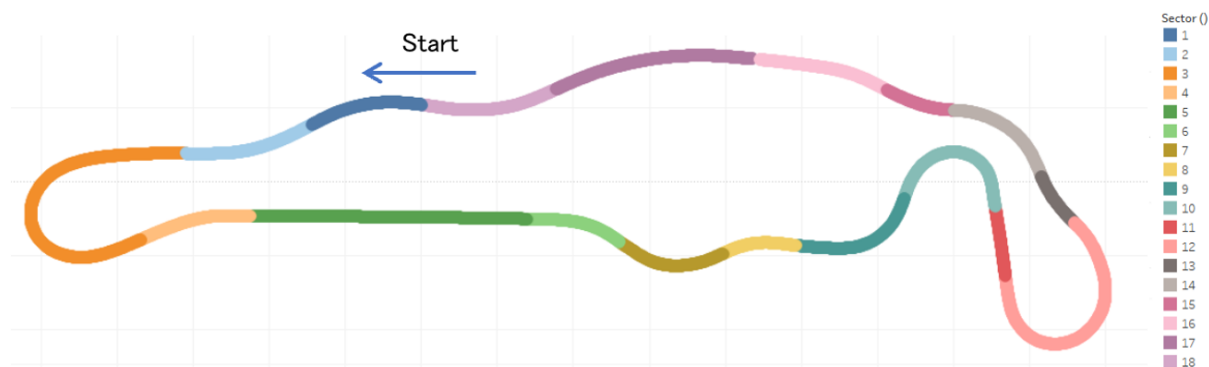


図 28: 走行コース

ド 4 速で走行してもらい、50km/h の車速維持訓練の一環として行った。

実験ではこれまでの実験と同様、運転技能の変化を調査するために、実験を 3 つのフェーズに分けた。実験協力者は、自動車会社の社員で普段から運転をしている 10 名であった。その 10 名を過去の走行データから、技能差が同等になるようにドレミハンドルを使用する群（ドレミハンドル群）5 名と、助手席に乗った講師から指導を受ける群（講師指導群）5 名に分けて実験を行った。実験の流れは以下の通りである。

- 訓練前走行（5 周）：実験協力者の練習前の実力を調べるためのものであり、両群（ドレミハンドル使用群、講師指導群）ともに、通常ハンドルを使用し、指導も受けず走行してもらう。
- 訓練走行（5 周）：運転の上達を図ってもらうためのものであり、ドレミハンドル群はドレミハンドルを使用して走行してもらい、講師指導群は助手席に乗った指導者から、操舵に関する指導を受けつつ、走行してもらう。
- 訓練後走行（5 周）：訓練の影響を図るためのものであり、両群通常ハンドルを使用して走行してもらい、指導も受けず走行してもらう。

なお、訓練前走行の前に、走行に慣れるための慣熟走行を 1 周行ってもらった。また、フェーズごとに待機所で休憩をとってもらい、実験コースに入場、退場するための走行も行った（図 29）。

| 1 セット目 |   |       |   |   |   |   |     | 休憩 | 2 セット目 |   |   |   |   |   |     | 休憩 | 3 セット目 |   |   |   |   |   |     |
|--------|---|-------|---|---|---|---|-----|----|--------|---|---|---|---|---|-----|----|--------|---|---|---|---|---|-----|
| 慣熟     |   | 訓練前走行 |   |   |   |   |     |    | 訓練走行   |   |   |   |   |   |     |    | 訓練後走行  |   |   |   |   |   |     |
| イン     | 0 | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | アウト |    | イン     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | アウト |    | イン     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | アウト |

図 29: 実験の流れ

### 7.1.3 提示条件

ドレミハンドル群には、ドレミハンドルの仕組みや条件を提示した。具体的には、操舵角の大きさに応じてドレミの音が変わること、一定の操舵角度間隔で音が変わること、左右の違いはないこと、音の変化を頼りにスムーズな操作を心がけること、車速に関する提示は特になく、メータで確認することを伝えた。

講師指導群には、状況に応じて会話を通して、その場でフィードバックを行った。具体的には、急な操舵をしないように、操舵の切り始めを遅くしたり切り戻しを速くしたりしないこと、同乗者の頭が振られないような運転を心がけること、コーナーの頂点なるべく見るようにして切り増しを意識して操舵すること、一定の操舵角変化や少ない修正舵を意識して運転すること、指摘が修正できたろうまくできたことを主としてフィードバックした。また自身で修正できていた場合には、修正前に意識していたかを聞くようにした。

## 7.2 結果

カーブ走行における操舵の安定性を評価するために、ハンドル操作修正量である修正舵回数について分析を行う。実験は 50km/h の車速維持訓練の一環として行ったため、車速維持率についても分析を行う。さらに実験後に行ったアンケートからも、運転者の行動への影響を分析する。

### 7.2.1 修正舵のカウント方法

これまでの実験において、修正舵回数は、時間ごとのハンドル角速度の微分値の正負が入れ替わった場合を一回としてカウントしてきた。しかしカーブの走行では、ハンドルを切って曲がった後に直線に戻るため、必ずハンドルを切り戻す必要がある。つまりこ

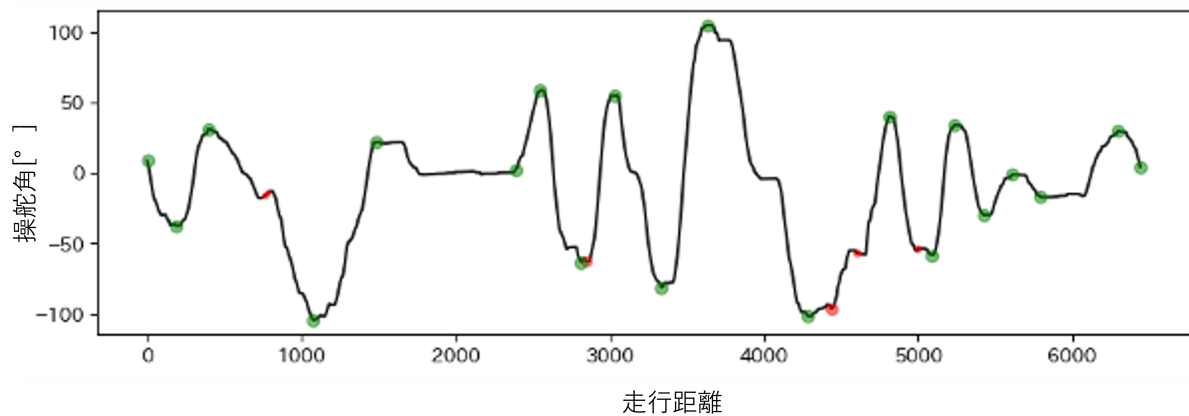


図 30: 修正舵のカウント方法

れまでの方法では、最も無駄のないハンドル操作でも 1 回は修正舵としてカウントしており、カーブ走行に必要な修正舵と、余分にハンドルを切り足したり切り戻したりする減らすべき修正舵を切り分けることができていなかった。

そこで本章では、減らすべき修正舵のみをカウントするため、各カーブにおける最もハンドルを切っている操舵角（図 30 緑点）の頂点に着目し、その頂点と次の頂点の間では、操舵角は単調に変化するものとして、異なる変化がある場合に修正舵としてカウントすることとした。具体的には、操舵角グラフの頂点と頂点の間で、単調に増加すべき区間で減少、または単調に減少すべき区間で増加しているような余分な操舵角が 1 度以上の場合（図 30 赤点）に、修正舵としてカウントすることとした。また、直線部分（図 28 セクター 5）の修正舵は、カーブ走行のための車体を曲げるための修正舵ではなく、直線と維持するための修正舵であり、本研究の対象とする減らすべき修正舵ではないと考えられるため、直線部分の修正舵は分析から除外した。

### 7.2.2 修正舵回数による評価

図 31 は、ドレミハンドル群と講師指導群における、実験協力者ごとの走行回数ごとの修正舵回数を示す。横軸は走行回数で、縦軸が修正舵回数となっている。実験は訓練前走行 5 周、訓練走行 5 周、訓練後走行 5 週の順で行ったため、グラフ横軸の 1～5 走行は訓練前走行、5～10 走行は訓練走行、11～15 走行は訓練後走行となる。結果より、ドレミハンドル群の実験協力者 c, d, e は、訓練前走行よりドレミハンドルを使用した訓練走行で、フェーズごとの平均修正舵回数が減少していることがわかる。ただし、実験協力

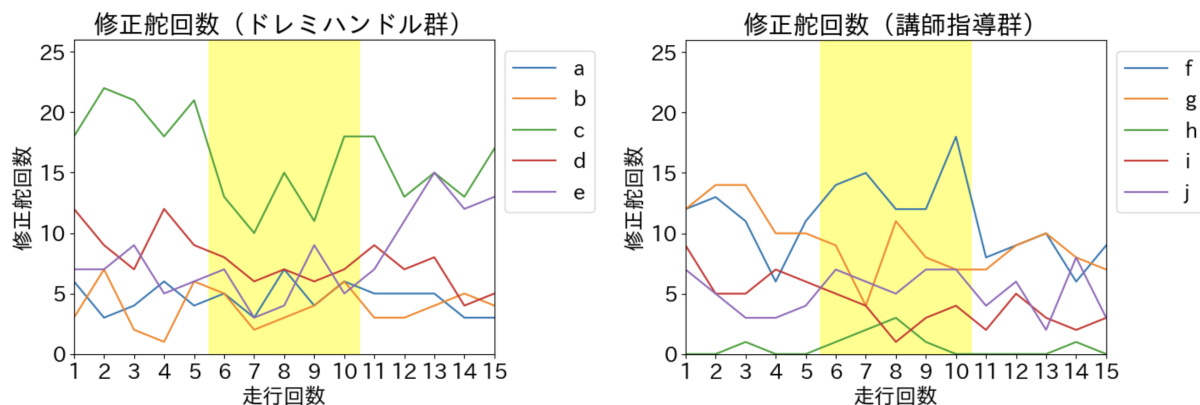


図 31: 修正舵回数の変化

者 e の訓練後走行は、ドレミハンドルを使用した走行の後、再度修正舵回数が増加していることもわかる。一方、実験協力者 a, b は走行ごとに修正舵回数に大きな変化はなかった。また、講師指導群では、実験協力者 f, i は訓練前走行より訓練走行の方が、修正舵回数が減少していることがわかる。一方、実験協力者 f, j は訓練前走行より、訓練後走行の方が、修正舵回数が増加していることがわかる。実験協力者 h は走行ごとに大きな変化はなかった。

### 7.2.3 車速維持率による評価

図 32 は、ドレミハンドル群と講師指導群における、走行回数ごとの車速維持率を求めたものである。図の横軸は走行回数で、縦軸が車速維持率となっている。車速維持率は、車速が 48~52km/h に収まった割合をもとに算出した。結果より、ドレミハンドル群の実験協力者 a, b, c, e は走行ごとに大きな変化はないが、実験協力者 d は訓練中に低下する傾向がみられた。また、講師指導群の実験協力者 g, i, j は走行を重ねるたびに車速維持率が向上していたが、実験協力者 f, h は車速維持率が低下する傾向がみられた。

### 7.2.4 主観評価

走行後に、直接会話形式での実験内容に関する聞き取りと、Microsoft Forms を使った実験及び全般に関するアンケート調査を行った。訓練走行時の手法の有用性について、ドレミハンドル群は、ドレミ音による操舵情報（修正舵、操舵速度）の伝達ができることや、音をアクセルの踏み増す量とタイミングの目安にできるため有効という意見があっ

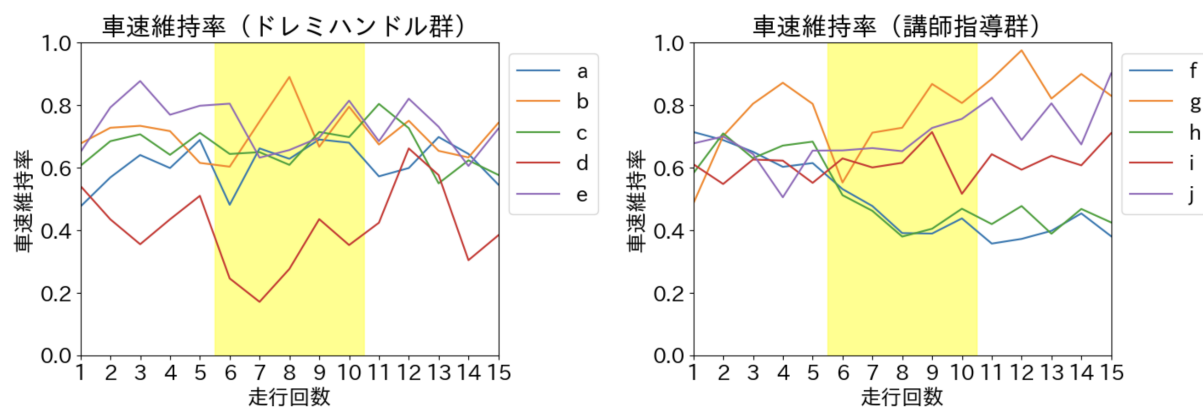


図 32: 車速維持率の変化

たが、一方で音への集中による操舵以外の集中力の低下や、エンジン音などの車速に関する音が聞こえないことにより車速維持が難しいこと、慣れるまでの時間がかかるというネガティブなコメントも得られた。講師指導群では、具体的な操舵指示や即座にフィードバックがあるため有効というコメントがあったが、会話に集中することにより、運転への集中力が低下してしまうというコメントもあった。

## 7.3 考察

### 7.3.1 訓練ごとの修正舵、車速への影響

7.2.2 項で得られた修正舵回数に関する分析より、ドレミハンドルを使用した場合には3名、講師に指導してもらった場合には2名が、修正舵回数が減少していた。ここでドレミハンドル群は、ハンドルを回した角度に応じて音が鳴ることによって、ハンドル操作に意識が向き、修正舵を認識しやすくなることで修正舵回数が減少した可能性がある。実験協力者 c, e は修正舵回数が減少しつつも、車速維持率に変化がなかったことから、ドレミハンドルを使用しても、車速を維持する意識を持ちつつ、修正舵を抑制することが可能であったと考えられる。しかし、実験協力者 d は訓練中に車速維持率が減少してしまった。実験協力者 d は実験後のアンケートで、「車速に関する音が聞こえなくなった」と回答していた。このことから、普段からエンジン音で車速を調整している人にとっては、現在のドレミハンドルの音に集中してしまうと車速を調整しづらくなる可能性がある。この問題は、音量や音の出る方向、性質を変更することで解決できると考えられる。

ドレミハンドル群において訓練後に修正舵回数が増えた1名は、アンケートにおいて、

「訓練後走行後半は集中力が切れて車速維持ができなかった」と回答しており、修正舵や車速維持を十分に意識できていなかったことが考えられる。そのため、今後は集中力をより考慮した実験設計にする必要がある。また、訓練走行においてドレミ音を頼りに運転した結果、訓練後走行においてドレミ音がなくなったことによる反動で修正舵回数が増えてしまったことも理由のひとつと考えられる。

なお、今回使用したドレミハンドルでは、常時音が鳴らないようにするために、ハンドルをまっすぐにした状態から±5度は音が鳴らないように設計していた。そのため、±5度の間は音が消え、修正舵の抑制につながりづらかった可能性がある。そこで今後は、直進しているときには±5度で音を鳴らさないが、ハンドルを切り戻したときには±5度以内でも音を鳴らすといった工夫をすることで、解決できるかを検討していく予定である。

講師指導群は、助手席に指導者が乗り操舵に関する指導を受けるため、ハンドル操作に対して意識が向き、修正舵回数が減少したと考えられる。しかし、修正舵回数が増えてしまった2名は、指導を受けた後、講師に見られているという意識が強くなってしまった結果、そのプレッシャーにより修正舵回数が増えてしまった可能性が考えられる。車速維持率が低下してしまった実験協力者fは、アンケートにおいて「操舵に意識が向いてしまい、車速に意識が向かなかった」と回答している。また、実験協力者hは、訓練前から少ない修正舵で走行しているが、講師から指導を受けることで車速維持率が低下してしまう傾向がみられた。これらのことから、講師から直接指導を受ける場合は修正舵に強く意識が向き効果的であるが、他の技能への集中力が減少してしまう可能性があると考えられる。

### 7.3.2 修正舵が減少した状況

修正舵が減少した状況を分析するために、走行距離ごとの操舵角を図 33 に示す。赤い円の箇所で修正舵が起きており、円の直径が修正の大きさを表す。この図より、運転者が急カーブに進入するためにハンドルを切り始める状況や、ヘアピンカーブが続く難しい状況での修正舵が減少していることがわかる。

よって、6 章で行ったシミュレータでの実験と同様、実車における難しい場面でもドレミハンドルが修正舵を減少させることや、修正舵の大きさを小さくさせられる可能性が示唆された。

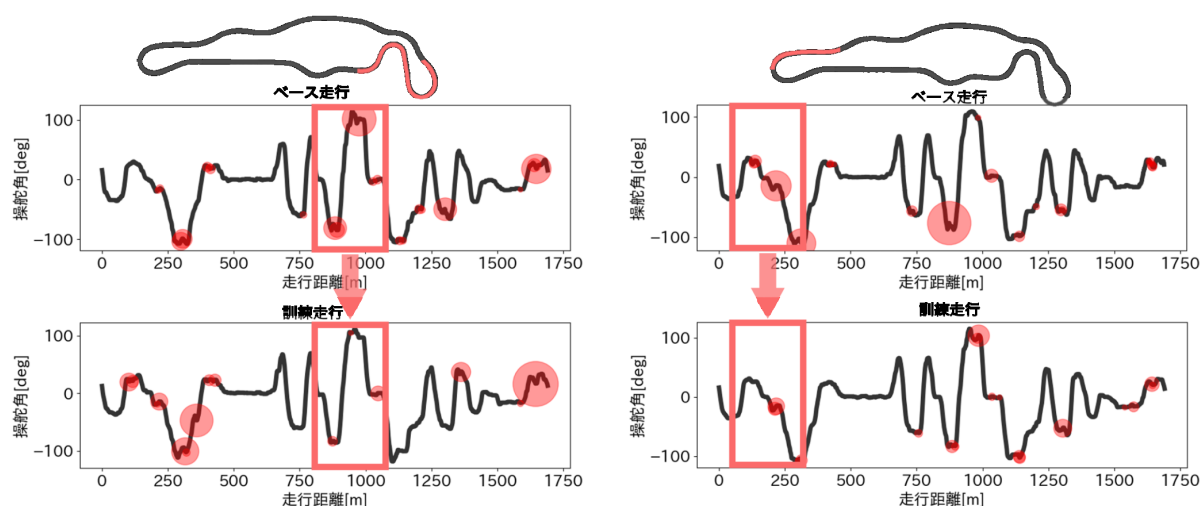


図 33: 修正舵が減少した状況

さらにドレミハンドルが修正舵を減らせた状況の分析を行うため、図 34 に訓練走行で修正舵回数が減った実験協力者の、特徴的なカーブを持つセクター（3, 4, 10, 12）の修正舵回数の変化を示す。セクター 10 において、講師指導群は試行回数が増えるにつれて、修正舵が減少しているが、ドレミハンドル群の変化はあまりない。セクター 10 は特に強いヘアピンカーブであるため、講師指導群は、指導を意識しやすく、修正舵回数が減少したと考えられる、しかしドレミハンドル群には、ドレミの音のリズムが速くなりすぎて、ドレミの音を参考にしづらかった可能性が考えられる。セクター 12 においては、ドレミハンドル群の訓練中の修正舵回数が減少しているが、講師指導群の修正舵回数は減少傾向がない。セクター 12 は他のカーブに比べてカーブ角度が小さく、ドレミ音を聞きながら、修正舵を意識しやすかったと考えられる。

ここで、本実験で使用したコースは左回りにコースを回っているため、右回しをする時はカーブから直線に戻る時など、左回しをする時より難易度が低くなっている。そこでその難易度ごとの修正舵への影響のしやすさを分析するために、ハンドルを回す方向と修正舵回数の関係を表4に示す。表4の結果より、ドレミハンドル群は右にハンドルを回している時に、修正舵が減少する傾向があるため、ドレミハンドルは、急なヘアピンカーブを曲がるような難易度の高い場面より、緩やかなコースを走行する時のほうが音を意識しやすく効果的である可能性が示唆された。

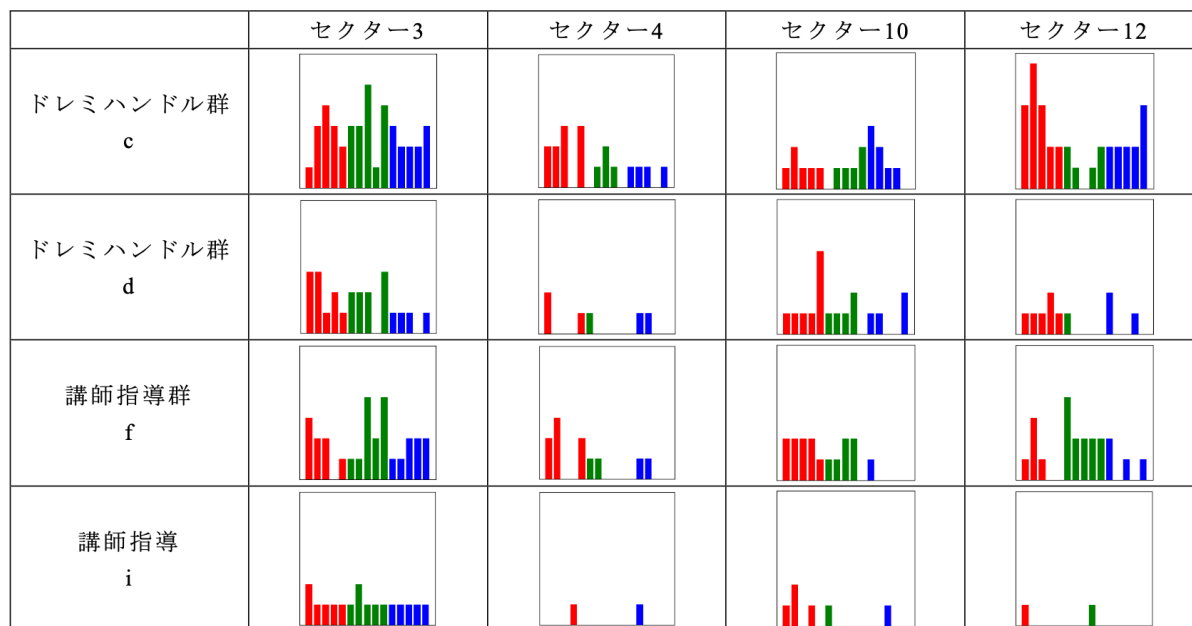


図 34: セクター (3,4,10,12) の修正舵回数の変化

|     |       | 訓練前  | 訓練  | 訓練後 |
|-----|-------|------|-----|-----|
| 左回し | ドレミ c | 12.0 | 8.4 | 8.7 |
|     | ドレミ d | 6.2  | 6.2 | 6.5 |
|     | 指導 f  | 9.4  | 9.2 | 7.5 |
|     | 指導 i  | 3.4  | 5.4 | 4.0 |
| 右回し | ドレミ c | 10.6 | 6.6 | 8.7 |
|     | ドレミ d | 6.8  | 2.6 | 1.8 |
|     | 指導 f  | 3.4  | 7.4 | 4.5 |
|     | 指導 i  | 2.0  | 2.6 | 2.0 |

表 4: ハンドルを回す方向と修正舵回数

## 第8章 お手本音提示システムの提案と検証

これまでの実験によって、ドレミハンドルがシミュレータ上に加えて、実車においても修正舵を減少させられる傾向を明らかにしてきた。そこで本章では、ドレミハンドルの効果を高める手法として、お手本となるドレミ音やドレミ音付き走行動画の提示を提案する。これは、走行する前に同じコースを熟練者が走行した場合のドレミ音を聞く、または走行動画を視聴した上で、そのお手本を参考にカーブを走行するものであり、難しいコースや走行速度においてもそのお手本を頼りに走行することで、お手本に近い運転ができると考えられる。ここで、お手本の提示方法には様々な方法が考えられるが、走行前のどのタイミングで提示するべきかの検証を行う。具体的には、走行前に熟練者のドレミ音付きカーブ走行動画を視聴する事前提示群と、カーブに入る直前に走行しながら熟練者のドレミ音を聞く直前提示群で、どちらの方がお手本に近い走行ができるかどうか比較検証を行う。

本章では、「直前に提示される方が、運転前に提示されるより運転に反映しやすく、お手本に近いハンドル操作になる」という仮説のもと、6章で使用したドライビングシミュレーションソフト Assetto Corsa を用いて実験を行った。そして、事前提示群と直前提示群のそれぞれにおいて、どちらの方がよりお手本に近い走行ができるようになるのか検証を行う。さらに実験後にアンケートを実施し、システムの使いやすさの評価を行う。

### 8.1 実験

まず、今回の実験で比較する群について説明を行う。事前提示群では以下で説明を行う練習走行の前に、熟練者のカーブ中の走行動画を3周分視聴し、それを参考に走行を行う(図 35)。直前提示群は練習走行において、カーブ直前に熟練者のドレミ音が提示され、それを参考に走行を行う(図 36)。

以上の2つの群で検証を行うため、事前提示群用のお手本動画の作成、直前提示群用のお手本音の提示システムの作成を行った。ここで、お手本は自動車会社内で今回使用するコースの走行に慣れている熟練者の方に走行してもらったデータを用いて作成した。こ



図 35: 事前提示手法のイメージ

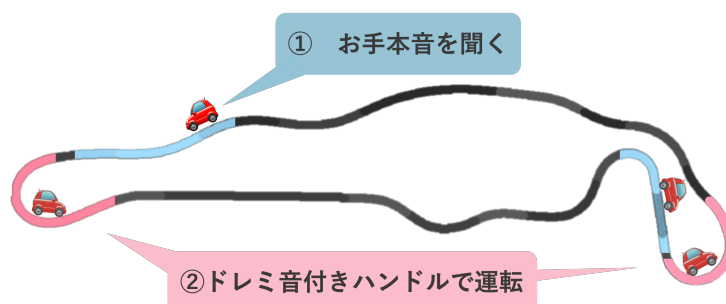


図 36: 直前提示手法のイメージ

ここで、お手本の音を参考にするうえでは、音階の上下に無駄のないものが把握しやすいため好ましい。そこで、熟練者の方にドレミハンドルを使用して走行してもらうことで、音への意識を向けた走行のデータを取得し、そのなかでも最も参考にしやすいと考えられる走行をお手本として採用した。

さらにお手本を参考にする上でドレミハンドルの改良を行う必要があったためそれについても下記で示す。

### 8.1.1 実験システム

実験では、ドライビングシミュレーションソフト Assetto Corsaに加えて、ドレミハンドルの音の提示とデータの記録を行う Processing で実装したシステムを使用した。Assetto Corsa からは運転データを、UDP 通信でリアルタイムに Processing システムに送信し、そのステアリングデータからドレミハンドルの音を鳴らした。

上記の Processing システムに直前提示群が使用のお手本音提示機能の実装を行った。そこで、走行速度とお手本音の長さを考慮して、音を鳴らし始める座標の決定を行い、その座標を通ったらお手本音を提示する機能を実装した。お手本の音は三角波、ドレミハンドルの音はサイン波と、音の質を変えた。さらに、お手本の音と、実際のハンドルの



図 37: 実験の様子

音の間には音が鳴らない瞬間が存在するようにし、お手本の音と実際のハンドルの音の区別が付きやすいように工夫した。事前提示群用のお手本動画は、熟練者が見ている景色の動画を、カーブの少し前から、カーブが終了するまでにトリミングをした。

実験の様子を図 37 に示す。6 章と同様、大型ディスプレイを前面かつ適切な位置に設置し、そのディスプレイにコースを表示することとした。なお、Assetto Corsa から出力される走行音とドレミハンドルの音やお手本の音は、ヘッドフォンから聞こえるようにした。

### 8.1.2 ドレミハンドルの改良

7 章において使用したドレミハンドルの設定では、ハンドルをまっすぐにした状態から±5度では音が鳴らない区間を無音区間として設定していた。しかし、その設定でお手本音を作成し走行を行ったところ、その音が鳴らない区間におけるお手本とのハンドル角度の違いが影響して、お手本の音階の同様に運転した場合でも上手に曲がることができないという問題が発生した。そこで本章では無音区間をなくし、ハンドルをまっすぐにした状態からドの音が鳴る設定にした（図 38）。また、お手本の音の長さ、実際にハンドルからドレミ音が鳴る長さが異なると混乱につながるため、カーブ中のみドレミ音が鳴るように変更を行った。コース内には複数のカーブが存在するが、今回は図 39 に示す 2 つの区間を対象とした。

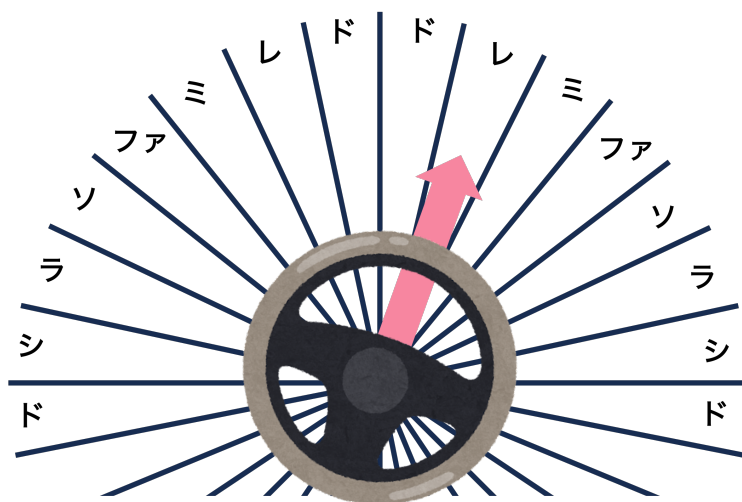


図 38: ドレミハンドルの改良

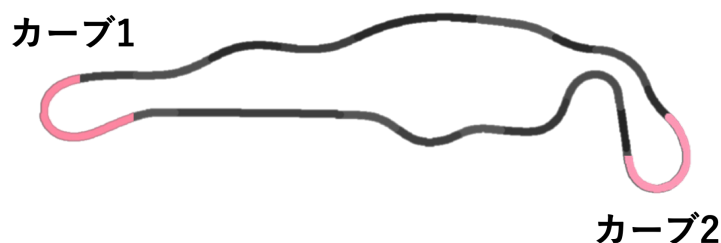


図 39: ドレミ音が鳴る区間

### 8.1.3 実験設計

実験で使用したコースは 6 章と同様の、自動車会社内にある複合的なカーブを有するテストコースを Assetto Corsa 上に再現したものを使用する。コースの全長は 1800m で、車両モデルはセダンタイプの一般車を再現したものである。今回の実験では、お手本動画を事前に提示される場合と、お手本音を直前に提示される場合で比較検証を行うため、実験協力者は事前提示群と直前提示群に分類された。

実験協力者の実力の変化を調査するために、実験を以下の 3 つのフェーズに分けた。詳細を以下に説明する。

- **ベース走行 (3 周)**：実験協力者の練習前の実力を調べるためのものであり、両群（事前提示群、直前提示群）ともにドレミハンドルを使用して走行してもらう。

- **練習走行（6 周）**：運転の上達を図ってもらうためのものである。途中 3 周後に 5 分休憩を行う。事前提示群は 1 周目と途中休憩後の 4 周目の前にお手本動画を見てもらう。直前提示群とお手本の刺激量を揃えるため、一度に 3 周分、合計 6 周分のお手本動画を視聴してもらった。直前提示群は、6 周全てカーブに入る直前にお手本音が提示される。
- **試験走行（3 周）**：実験協力者の練習の影響を図るためのものであり、両群ドレミハンドルを使用して走行してもらう。お手本の提示はない。

なお、ベース走行の前にシミュレータに慣れるための走行 2 周、ドレミ音に慣れるための走行 2 周、合わせて 4 周を慣れの走行として行ってもらった。

#### 8.1.4 実験の流れ

実験では、実際に走行する前に、使用するコース、実験の流れ、使用するハンドル設定、実験における注意点の説明をスライドを用いて行った。使用するハンドル設定の説明では、ドレミハンドルの音の鳴り方の設定と、カーブ中にしか音が鳴らないことを伝えた。注意点の説明では、修正舵への意識を持ってもらうために、運転には修正舵というハンドルを切り足したり、切り戻したりするものがあり、修正舵が少ない方が良い運転とされているため注意してほしいことを伝えた。また、お手本と走行速度を揃えるため、50km/h で走行してほしいことを伝えた。

実験では、まず実験協力者にドライビングシミュレータとドレミハンドルに慣れてもらうために、事前に 4 周（ドレミ音無し 2 周、ドレミ音有り 2 周）走行してもらった。その後、ベース走行、練習走行、試験走行と取り組んでもらった。練習走行の途中で 5 分休憩を入れた。全ての走行が終わった後に、SUS と NASA-TLX を用いたシステムの使いやすさを問うアンケートと、感想等を聞く自由記述のアンケートに答えてもらった。

実験は、事前説明からアンケート回答まで 1 人あたり約 60 分を要した。なお実験協力者は大学生、大学院生の 26 名であり、全員普通自動車第一種免許を所持していた。事前提示群と直前提示群は、実験順に交互に振り分け、それぞれの条件の実験協力者は 13 名ずつとなった。

## 8.2 結果

まず、全走行データを分析する上で、外れ値となる走行があった。それについて説明を行った上で、群ごとの比較分析を行う。本章の実験では、お手本の提示によってどれだけお手本に近い走行ができるかどうか検証を行うため、操舵角、走行軌跡、平均角速度におけるお手本との差分について分析を行う。さらにドレミハンドルは、なめらかなハンドル操作を可能にすることを目的としてシステムであるため、修正舵回数に関しても分析を行う。

また、お手本の走行は 50km/h を維持した走行であったため、それにどれだけ近づけたのかを分析するため、速度の平均についても分析を行う。

ここで、直前提示群では走行をしながらお手本の音を聞くため、運転に悪い影響が出てしまう可能性がある。そこで、音を聞いている最中の軌跡についても分析を行う。

そして最後に主観評価について分析を行い、システムの使いやすさについて評価を行う。

### 8.2.1 使用データ

今回の実験では、慣れの走行を除くと合計 12 走行であった。しかし、フェーズごとの 1 周目に関しては、速度が十分に出ていない状態から始まるため、そのデータを単純に比較に使用することは適切でない可能性がある。また、フェーズごとの 1 周目は実験協力者が慣れてないことも考慮し、1 周目のデータは除外することとした。さらに、今回使用したコースは 50km/h 一定で走行するには難易度が高く、外れ値となるデータがいくつか観察された。図 40 に示したのは、ID=A10 のカーブ中の操舵角を試行ごとにプロットしたものである。この図を見ると走行 no.9 のデータがハンドルの角度が大きくなっており、外れ値であると考えられる。また、システムの欠陥によって、データの取得に不具合がある場合もあった。これらの理由から、今回の分析では 1 走行目を除外し、後半の 2, 3 周目のデータのうち、お手本により近い走行を選択して分析に使用した。

### 8.2.2 操舵角におけるお手本との差分

どれだけお手本に近い走行ができたかどうかを分析するにあたり、ハンドルがどれだけお手本に近い動きをしたのかを調べるため、カーブ中における、お手本との操舵角の差分について分析を行う。ここで、走行データの中で、カーブ中かどうかは座標で区切った。しかし車速が異なるとカーブ中のデータ数も異なってしまうため、単純に比較する

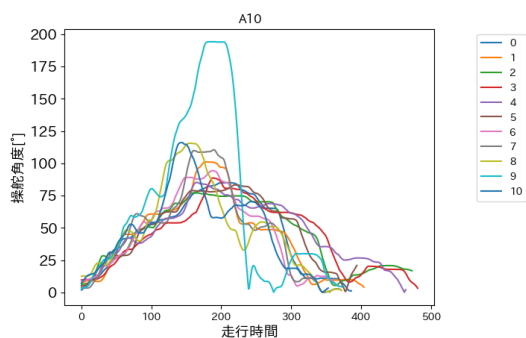


図 40: ある実験協力者の外れ値を含む操舵角の推移

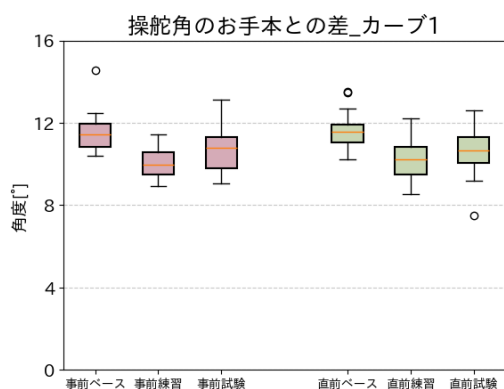


図 41: カーブ 1 における操舵角のお手本との差

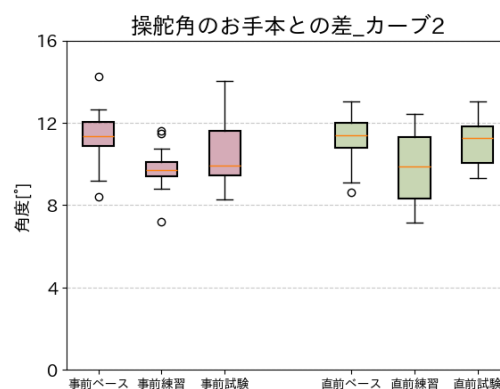


図 42: カーブ 2 における操舵角のお手本との差

ことができない．そこで今回は、位置に基づいた操舵角の補間を行うことで、お手本と実験協力者の操舵の比較を行った．

図 41 と図 42 は、操舵角の差分の 1 カーブあたりの積分値を、群とフェーズごとに箱ひげ図で示したものである．この図より、事前提示群と直前提示群のどちらの群においても、ベース走行より練習走行の方がお手本との差が小さくなることがわかる．しかし、練習走行から試験走行にかけて、直前提示群では小さくなったはずのお手本との差が戻ってしまう傾向があることがわかる．

ここで、カーブを走行する際には、ハンドルを曲げて、戻すという動きをする．お手本との差に影響するのはどのような場面かを詳しく分析するために、カーブを前半と後半に分けて分析した結果を図 43～図 46 に示す．これらの図を見ると、カーブ 2 の後半、ベースから練習にかけて事前提示群はあまりお手本との差分に減少は見られないが、直前提示群では減少する傾向がみられた．

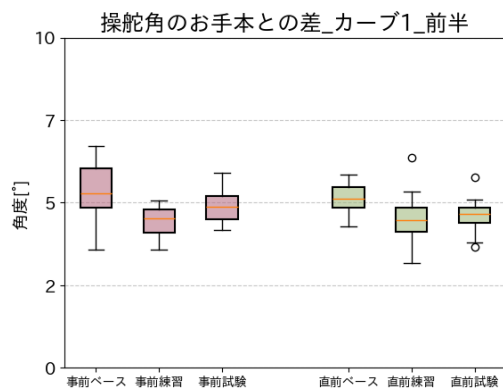


図 43: カーブ 1 における操舵角のお手本との差 (前半)

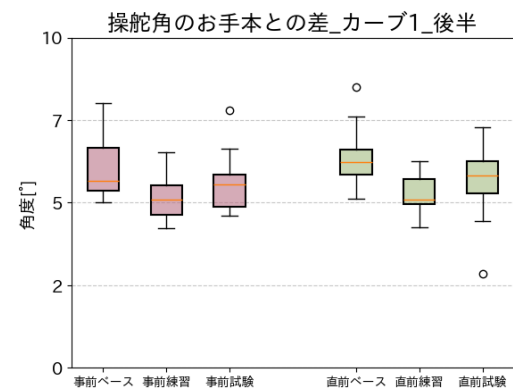


図 44: カーブ 1 における操舵角のお手本との差 (後半)

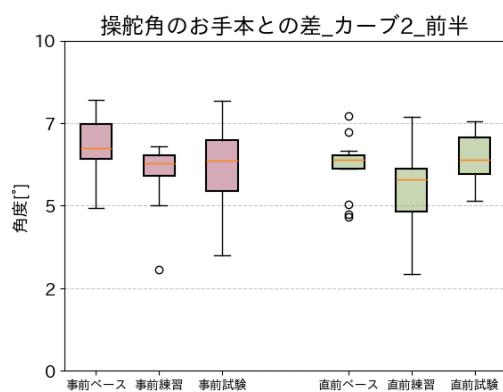


図 45: カーブ 2 における操舵角のお手本との差 (前半)

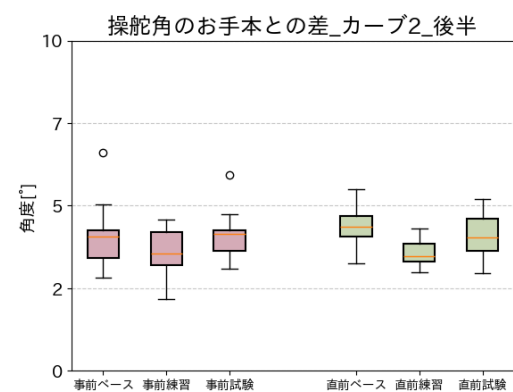


図 46: カーブ 2 における操舵角のお手本との差 (後半)

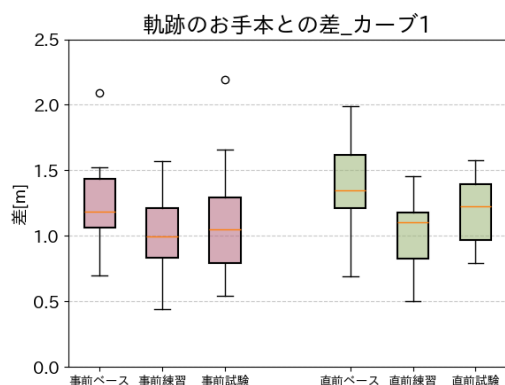


図 47: カーブ 1 における軌跡のお手本との差

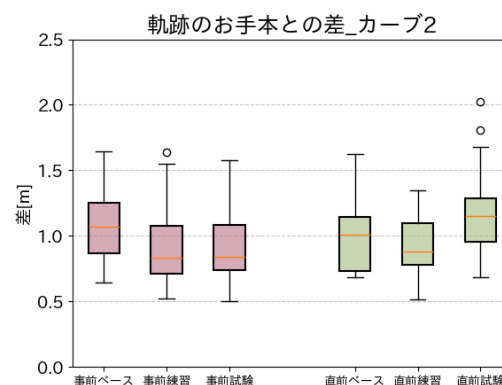


図 48: カーブ 2 における軌跡のお手本との差

### 8.2.3 走行軌跡におけるお手本との差分

続いて、どれだけお手本に近い走行ができたかどうかを分析するにあたり、走行軌跡がどれほど近いかを調べるため、カーブ中における、お手本との走行軌跡の差分について分析を行う。しかし、操舵角と同様に、車速が異なるとデータ数が異なり単純に比較することができない。よって今回も補間を行うことでお手本と実験協力者の軌跡の比較を行った。図 47 と 48 は、軌跡の差分の 1 カーブあたりの積分値を群とフェーズごとに箱ひげ図で示したものである。この図より、事前提示群、直前提示群ともにベース走行から練習走行にかけて軌跡の差分が小さくなることがわかる。しかし、カーブ 2 における練習走行から試験走行にかけて、どちらの群も軌跡の差分が戻ってしまう傾向がある。

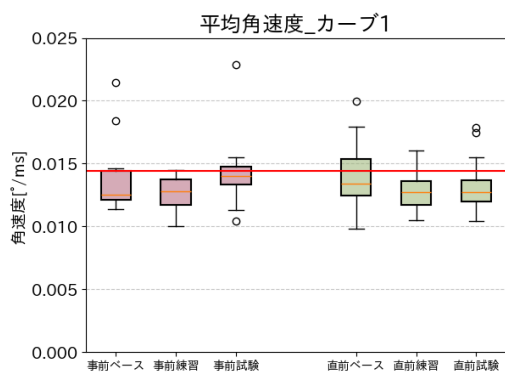


図 49: カーブ 1 におけるハンドルの平均角速度

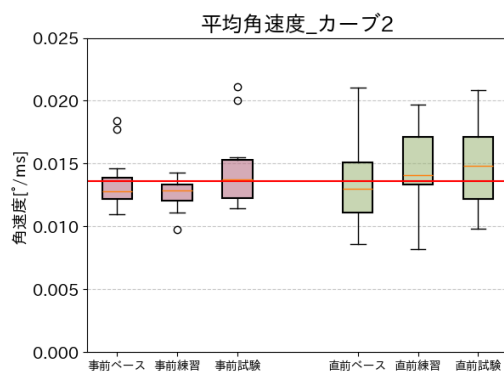


図 50: カーブ 2 におけるハンドルの平均角速度

#### 8.2.4 角速度におけるお手本との差分

続いて、実験協力者がどれだけお手本と近いハンドル操作の動きをしたのかを調べるため、カーブ中における、お手本とのハンドルの角速度の差分について分析を行う。図 49 と図 50 に示す箱ひげ図は、カーブ中のハンドル角速度の平均値を、群とフェーズごとに箱ひげ図で示したものである。

ここで、角速度は早すぎても遅すぎても良い運転とは言えず、適切な量があると考えられるため、赤い水平線でお手本の角速度を示した。よって、この線に分布が近づくと、よりお手本に近いハンドル操作になっていると考えられる。

図より、カーブ 1 においては、全体的にお手本より角速度が小さいため、お手本より遅いハンドル操作をしてしまう傾向があると考えられる。また、カーブ 2 において、直前提示群の練習走行では、お手本に近い角速度でハンドル操作をしている人が多い。また、カーブ 2 においては事前提示群と直前提示群どちらも、試験走行になると角速度が速くなることがわかる。

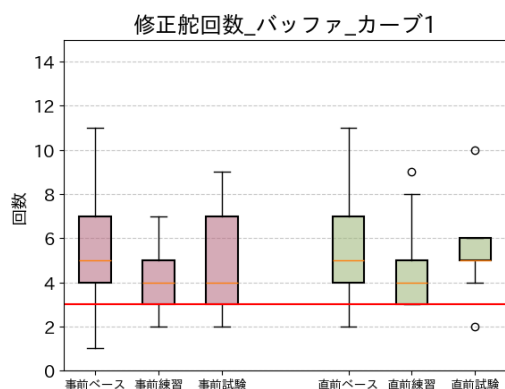


図 51: カーブ 1 における修正舵回数

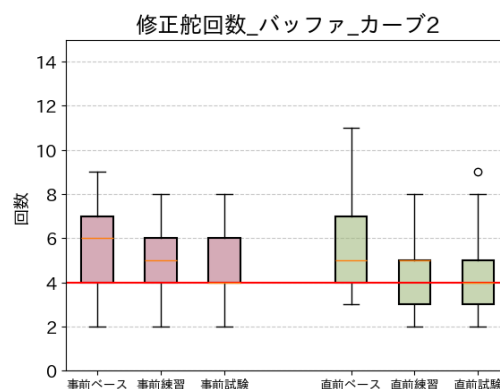


図 52: カーブ 2 における修正舵回数

### 8.2.5 修正舵回数

ドレミハンドルは、なめらかなハンドル操作を可能にすることを目的としたシステムであるため、修正舵回数についても分析を行った。図 51 と図 52 に示す箱ひげ図はカーブ中における修正舵回数について分析を行った。修正舵は、時間ごとのハンドル角速度の微分値の正負が入れ替わった場合を一回としてカウントした。また、6 章と同様に、3 度未満の小さい修正舵はカウントしないこととした。また、修正舵回数は小さいほうが良い運転であるといえるが、熟練者においても存在はするものである。そこで参考として熟練者の修正舵回数を赤い線で示した。

これらの結果より、カーブ 1 においては、ベース走行から練習走行にかけて両群、修正舵回数が減少する傾向がある。カーブ 2 においては、事前提示群はそもそも修正舵回数が少ないひとが多かった。また、直前提示群は試行を重ねるにつれて減少していくことがわかった。

### 8.2.6 速度

また、走行速度について分析を行った結果を図 53, 54 に示す。この結果より、走行を重ねるにつれて 50km/h に近づいてはいるが、両群共にお手本の 50km/h よりも遅い速度で走行していたことがわかる。

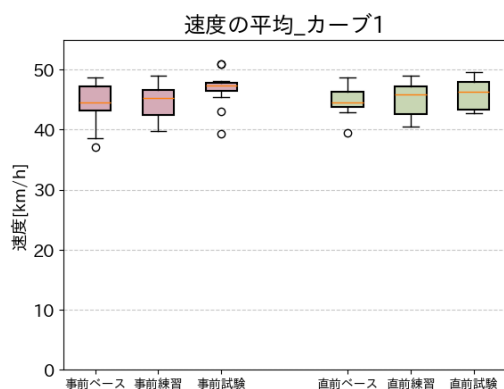


図 53: カーブ 1 における平均速度

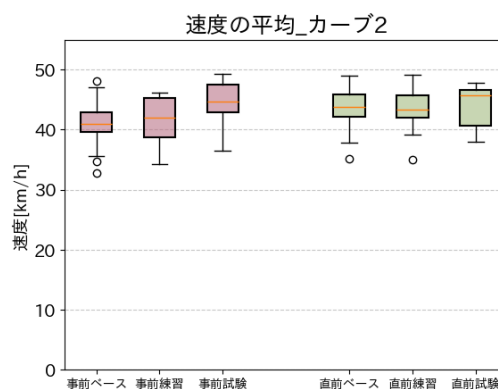


図 54: カーブ 2 における平均速度

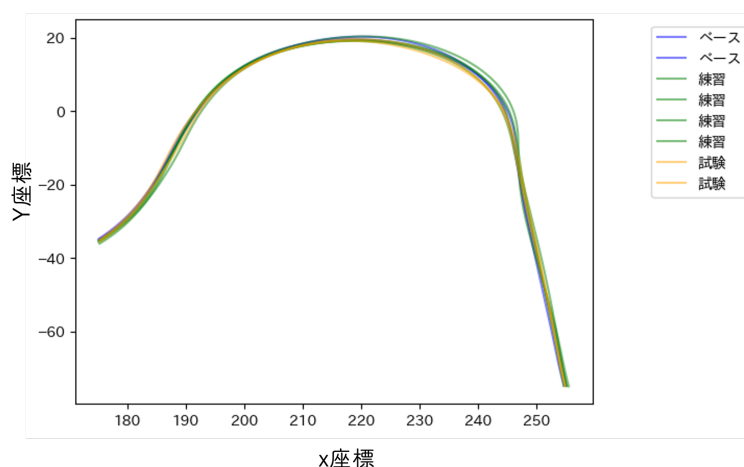


図 55: お手本を聞いている時の走行軌跡のずれ

### 8.2.7 直前提示群におけるお手本を聞いているときの軌跡

直前提示群においては、走行中にお手本音を聞く必要があり、その運転に悪影響がでてしまうと実用化しづらい。そこでお手本音を聞いている時の走行軌跡の分析を行なった。その結果、ほとんどの実験協力者においては走行にぶれは見られなかった。しかし一部の走行において軌跡がずれている場合があった。図 55 には、ある実験協力者のお手本を聞いている区間の走行を、各実験フェーズの 1 周目の走行以外を全てプロットしたものである。横軸と縦軸はその座標となっており、この区間は、第 2 カーブに入る前にお手本音を聞いている場面となっている。よって図の左から音を聞き始め、右下に移動し、そのあとカーブ走行に入る。この区間は、音を聞きながらカーブを走行する必要があり、比較的難易度が高い場面となっている。この図より、音を聞いている練習走行における音を聞いている区間において、軌跡が大回りになってしまっている走行があると見受けられる。

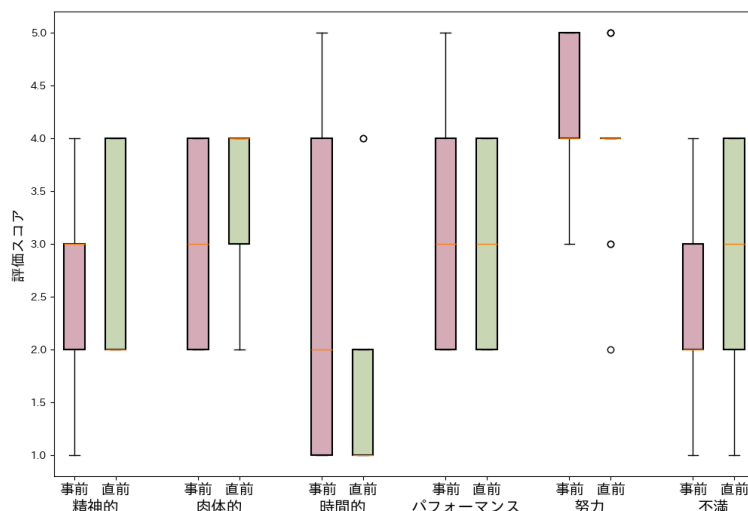


図 56: 認知負荷の評価

### 8.2.8 主観評価

システムが使いにくいものであっては実用性が損なわれるため、その使用感を評価するために主観評価アンケートを実施した。具体的には、認知負荷の評価 (NASA-TLX)、システムの使いやすさ (SUS) と、お手本を再現できたと思うかどうか等の感想を回答してもらった。認知負荷の評価を図 56 に示す。

まず、精神的負荷については両群ともに比較的低いスコアであったことから、お手本を提示することによる精神的負担は大きくなかったと考えられる。しかし、体力的負荷に関しては直前群で高いスコアが示された。努力の必要性に関する評価では両群高い評価となり、走行において努力の必要性を感じさせる傾向があったと考えられる。

また、SUS の評価では事前提示群が 83.5、直前提示群が 70.5 という評価であり、両群ともにある程度高い評価であるといえる。しかし、直前にお手本音を提示されるより、事前に動画を視聴してから走行する方が使いやすいと感じる傾向があるとわかった。

また、「走行中お手本を再現できますか？」という質問に対する回答を分析した結果、事前提示群では、再現できたときとできなかった時があるという意見が多かった。他にも、「曲がる前のスピードが遅いとハンドルをたくさん回さないといけないため、再現しにくい」、「速度が一定でないため、お手本通りに再現できなかった」といった意見があった。一方、「お手本の音のリズムが参考になった」、「お手本を聞いた直後の走行はうまくできた」と、お手本の提示が効果をもたらしたことも示唆された。

直前提示群では、「ドレミのリズムが役に立った」、「音の長さを意識すると再現しやすい」といった肯定的な意見がみられた。しかし、「お手本通りにハンドルを切ると曲がりすぎる」、「速度によってリズムが変わるため、完全には再現できない」といった声もあり、お手本提示の効果が速度の影響を受けることが示唆された。

また自由記述の感想では、「お手本を見ることで運転の仕方がわかった」、「お手本を参考にすることで修正舵の有無を意識できた」といった肯定的な意見が多く挙げられた。一方で、「速度を維持するのが難しかった」、「お手本の運転者は上手すぎて再現が難しかった」といった課題も指摘された。

## 8.3 考察

8.2 節で得られた結果より、走行前にお手本動画を視聴してから走行する場合と、カーブに入る直前にお手本の音を聞く場合とで、走行にどのような影響があるのか考察を行う。

### 8.3.1 お手本走行との差分

まず、8.2.2 項の操舵角におけるお手本との差分に関する分析より、どちらの群もベース走行より、お手本の提示がある練習走行の方がお手本に近い操舵になることがわかった。これは、お手本の動画や音の提示がカーブ走行の参考になり、そして運転に生かすことができたからだと考えられる。

しかし、直前提示群においてはお手本提示がなくなった試験走行においては小さくなった差分がもとの大きさに戻りがちであった。この傾向は事前提示群においては小さかった。これは、事前提示群は、動画視聴中に視聴以外のことは何みせず、その動画だけに集中して見ることができ、なおかつ 1 回の視聴で 3 周分も連続で聞いたために記憶に残りやすかったため、試験走行になってもその効果が持続したのではないかと考えられる。しかし、直前提示群は、走行をしながらお手本の音のみを聞くため、その直後の運転のみに生かすことができたのではないかと考えられる。

また、カーブを前半と後半に分けて分析を行ったところ、カーブ 2 の後半において、事前提示群ではあまり効果がみられなかったものの、直前提示群ではお手本との差が小さくなるという効果がみられた。ここで、カーブ 2 はそのカーブに入る直前にもカーブがある上に、後半は特に見通しが悪く、非常に難易度の高い場面である。そのような難しい場面においても、お手本の直前提示によって大きな効果が出る実験協力者もいた。こ

れは、難易度が高く視界が悪いといった即時的な判断が求められる場面では、より直前提示のような直感的な反応を促せる手法のほうが有効である可能性が示唆された。

そして、8.2.3 項の軌跡におけるお手本との差分に関する分析よりベース走行から練習走行においては差分が小さくなる傾向があった。しかし、両群ともにカーブ 2 において、練習走行から試験走行にかけては、小さくなった差分が戻ってしまう傾向があった。これは、難易度の高いカーブ 2 においては操舵に関する記憶は残りやすいが、軌跡までは再現することが難しかったと考えられる。

また、8.2.4 項のハンドル角速度の差分に関する分析より、カーブ 1 では全体的に角速度が遅く、お手本よりも少し遅いハンドル操作が多かった。これはお手本を参考にするために慎重になりすぎていた可能性が考えられる。しかしカーブ 2 では直前提示群の練習走行でお手本に近い角速度を保つ傾向がみられた。これは直前に提示されることがより直感的な操作を促し、より適切なタイミングでハンドルを切らせる効果があったと考えられる。しかし、試験走行ではカーブ 2 において両群共に角速度が早くなる傾向があった。これは試験走行でお手本の音や記憶が薄まったために焦り、実験協力者のハンドルの動きをはやめてしまった可能性がある。

次に 8.2.5 項の修正舵回数に関する分析より、両群ともに修正舵が少ない運転をできるようになることがわかった。これまでの研究でも同様の結果がでていたことから、お手本動画の視聴やお手本音の提示によって修正舵が増えてしまうということはなく、適切なハンドル操作を促すことができたと考えられる。

また、8.2.6 項の結果より、お手本を提示しても、お手本のように 50km/h で安定した走行を維持することが難しかったと考えられる。これは、実験で使用したコースの難易度が高いことに加えて、自動車会社内などで行われる速度を一定に走行する訓練とは違い、一般的なカーブに入る前に十分に減速してから走行する方法とは異なったために速度の安定が難しかったのではないかと考えられる。

8.2.7 項の結果より、お手本音を聞きながら走行することによる影響は多くの走行ではなかったが、一部コースを大回りになってしまう傾向があった。これはその走行で偶然ハンドルを回すタイミングが遅くなってしまったことも考えられるが、お手本音を聞くことで集中がお手本に向き、ハンドル操作の遅れを引き起こしてしまった可能性も考えられる。

### 8.3.2 主観評価

次に 8.2.8 項の主観評価に関する分析より、精神的負荷については両群ともに比較的低いスコアであり、お手本の提示による精神的な負担は大きくなかったと考えられる。一方で、体力的負荷に関しては直前提示群で高いスコアが示された。また、努力の必要性に関しては両群ともに高いスコアを示しており、走行において努力の必要性を感じる傾向があったことがわかった。

システムの使いやすさを評価する SUS スコアでは、両群ともに比較的高い評価を得た。しかし、直前にお手本音を提示されるよりも事前に動画を視聴してから走行するほうが使いやすいと感じる傾向があることが明らかとなった。これは事前提示の方が走行前の停車中に視聴できるため負担が小さいことに加え、直前提示群のカーブ 2 においてはその直前にもカーブがあるため、カーブを走行しながらお手本音を聞く必要があり、非常に難易度が高くなってしまったからだと考えられる。

自由記述の回答から、直前提示群の方がお手本を再現しやすいと感じる傾向があった。これは直前にお手本音を提示することで、走行中にお手本のリズムを意識しやすくなるためと考えられる。加えて事前提示群はお手本動画内に速度計の表示もあったため速度をお手本通りに維持しようとする意識が強まった可能性がある。その結果、直前提示群に比べて「速度をお手本通りに調整できないこと」への意識が強まり、再現の難しさを感じやすくなったと考えられる。

### 8.3.3 お手本音提示が走行に与える影響と改善策

これらの結果より、お手本の提示方法によって、運転行動に異なる影響を与えることが明らかになった。事前提示群では、集中して動画を見られるため意識しやすく、その効果が試験走行でも持続しやすい傾向がみられた。一方直前提示群では特に難易度の高い場面では有効である可能性が示唆された。しかし、直前提示群はお手本音の提示がなくなると、もとの運転に戻りやすい傾向があった。

また速度に関しては、お手本の 50km/h を維持することが難しく、特にカーブ 2 では速度の低下が顕著だった。これは、コースの難易度が高かったことが原因と考えられる。よって単純なコースであれば、お手本の速度に近づける可能性もある。また、一般的なカーブに入る前に減速してから走行するといったや、ほかの速度に対応したお手本を作成し、運転者の走行に合わせたお手本を提示することで、さらなる効果が期待できる。

事前提示手法は、事前にお手本の音を聞くことができる環境に限られるため、使用が難しいとも考えられる。しかし信号で止まっているときなどに、次に通る必要のある難しいコースのお手本を提示するなどの工夫を行うことで、使用しやすくなる可能性がある。

加えて、直前提示群は、カーブが連続する状況ではお手本を聞きながらの運転でハンドル操作のタイミングに遅れが生じるなど、運転の難易度が高くなり、負担が増してしまう可能性がある。その改善策として、お手本音の長さを調整することが考えられる。具体的には、カーブを曲がるために「ドレミファーミレド」といった音変化であった場合に、「ドレミファ」までと短くすることや、「ドレミファーミ」とハンドルを曲げてキープする時間までは提示するといった工夫を行うことで、負担が小さく、効果的なシステムになる可能性も考えられる。

## 第9章 全体の考察と展望

本研究では、ハンドル操作が難しいカーブ走行において、なめらかなハンドル操作を習得できるよう支援するために、操舵角に応じた音階を提示する手法「ドレミハンドル」を提案した。そして、実験を通してその有用性を検証した。以下に本研究の目的が達成されたかどうかを含めて考察を行い、今後の展望を述べる。

### 9.1 実験と分析を踏まえた総合考察

本研究の目的は、不安定なハンドル操作になりがちなカーブ走行において、なめらかに操作できる手法の実現であり、ドレミハンドルがその実現に効果的であったかどうか確認する。

4, 5章におけるシミュレータでの実験を通して、ドレミハンドルを使用することで修正舵が減少し、操舵の安定性が向上する傾向が確認された。また、客観的な数値だけではなく、主観的にもドレミハンドルを使うほうがカーブを曲がりやすいと感ずることが明らかになった。

さらに、6章の実験を通して、より現実に近い条件での実験においても修正舵を減少させることが明らかになり、本手法の有用性が示された。また、ドレミハンドルは運転練習システムであることから、システムの支援がなくなった後においてもその効果が持続する必要がある。ドレミハンドルで練習した後に、その音を消した状態で走行してもらったところ、ある程度の効果が持続することが明らかになった。

加えて、実車の実験においては、ドレミハンドルを使用することで車速への意識を向けつつ、修正舵を減少させられることが示され、ドレミハンドルが運転技能向上に寄与することが明らかとなった。

そして、ドレミハンドルの効果をさらに高めるための手法を模索するために、お手本音を提示する手法を提案した。お手本の動画を事前に視聴してから走行する手法と、カーブの直前にお手本音を提示する手法を提案し、それぞれ走行にどのような影響が与えられるかを検証した。その結果、事前にお手本の動画を視聴した群では、記憶に基づいて安定した走行が可能となり、試験走行でもその効果が持続したのに対し、直前に音を提

示された群では特に難易度の高いカーブにおいてお手本に近い走行が可能になる効果が見られたものの、提示が終わるとその効果が小さくなってしまう傾向にあった。

以上の結果より、本研究の目的は概ね達成されたといえる。しかし実験参加者の人数や、限定した条件下での結果であるため、さらなる検証が必要であると考えられる。

## 9.2 制約

ドレミハンドルがカーブ走行においてなめらかなハンドル操作を習得できることは明らかとなったが、制約も存在する。ドレミハンドルの効果は全ての参加者において一貫して得られたわけではなく、個人差があった。その理由として考えられることに、ドレミハンドルに慣れるための時間が十分でなかったことと、ドレミハンドルの音に電子音のサイン波を使っているために不快に感じてしまったことが考えられる。広く使われるシステムを目指すためには、教習所で利用してもらうなどドレミハンドルに慣れる時間や環境を設けることや、音の性質などをコントロールする必要がある。加えて、これまでの実験協力者は大学生と大学院生であり、運転頻度が似た人が多くなってしまったため、これらの結果は限定的なものになっていると考える。

また、本研究で検証した環境は一部のコースに限られているため、異なるコースや、夜間や悪天候時など様々な環境での実験を重ね、多様な環境においてもドレミハンドルが効果があるのか、ない場合の工夫などを模索する必要がある。また、他の車があることによる心理的な影響を排除するために、全で一車線のコースで実験を行ってきたが、二車線以上のコースや他の車が通る場合、歩行者がいる場合などの様々な場面において実験を行い、適切な場面の検討をして安全に使用できるシステムにする必要がある。

そしてドレミハンドルは運転支援システムではあるが、実験は短時間で終わるものであり、長期的に利用することによる効果は未検証である。長期的に使用した場合の記憶への残り方や、発生する可能性のある慣れ、音に対する依存度についても検討していく必要がある。

## 9.3 今後の展望

9.2 節の制約を受け、ドレミハンドルの効果が得られやすい対象者を明らかにし、かつ広く使ってもらうための工夫を検討するために、より多様な運転頻度の人にドレミハンドルを使用してもらい効果を検証する必要がある。また、普段の運転頻度だけではなく、

もともとの技量をより調査した上で考察を行うことで、どのような対象者に効果的なのかや、効果的でない人の理由や原因を明らかにする必要もある。

そしてお手本の提示手法においてもさらに検証する必要がある。具体的には、お手本音の提示時間や内容を調整することで、負担を軽減できる可能性があるため、今後さらに検証し、効果的な方法を模索する必要がある。

さらに、ドレミハンドルはカーブ走行の実力を向上するために実験を行ってきたが、運転には他にも難しい場面が存在する。操舵角を把握しやすい利点を活かし、駐車などのさらに難しい場面で応用可能かどうか検討の余地があると考ええる。また、高速道路などの速度調整が重要となる場面においては、アクセル開度に応じたドレミ音を付与するなどの手法を提案することで改善される可能性も考えられるため、検証する必要がある。

## 第10章 結論

本研究では、なめらかに走行することが難しいカーブ走行に着目し、操舵角に応じた音階提示手法「ドレミハンドル」を提案し、その有用性を検証した。

まず、シミュレータを用いた単一なカーブを走行する実験において、修正舵が減少するというドレミハンドルの効果がみられたが有意差はなかった。これは、実験協力者が同じカーブを繰り返し走行することによる飽きや、メリハリのない実験になっていたため、実験協力者の実力を調査するのに不適切な実験設計であったことが原因と考えられた。これを改善するために複数種類のカーブを用意し、実験全体を3つのフェーズに分けることで、実験協力者が実験に対して飽きづらい実験設計を構築した。その結果、ドレミハンドルを使用することで、使用しない場合よりも修正舵が減少し、より安定した運転が可能であることを明らかにした。

この2つの実験においてドレミハンドルの有用性を確認したが、短い区間の中にカーブが1つ存在する特殊な環境における実験になっていた。そこでより現実に即した環境で実験を行うために、Assetto Corsa というドライビングシミュレータにドレミハンドルを実装した。そして、複合的なカーブが存在する現実に近い環境において実験をおこなったところ、ドレミハンドルが修正舵を減少させる有用性が確認された。さらに、ドレミハンドルにおいて練習を行ったのちに、音を消した場合においてもその効果が持続する傾向も示された。

さらに、ドレミハンドルは実車向けのシステムであるため、自動車会社内のテストコースを使用して、ドレミハンドルの効果を検証した。車速を維持する訓練において、ドレミハンドルを使用してもらったところ、速度への意識を向けつつも、修正舵への効果がある可能性を示した。

そして、ドレミハンドルのさらに有効的な使用方法を模索するために、お手本の事前提示を提案した。事前にお手本の動画を視聴する群と、カーブの直前にお手本音を提示される群とで比較検証を行なった結果、事前提示群では記憶に基づいて安定した走行が可能となり、試験走行においてもその効果が持続する傾向が見られた。この結果は、運転者が視覚と聴覚を用いて運転方法を把握し、その後の走行においてその知識を活かして

安定した走行ができたと考えられる。一方、直前提示群では、特に難易度の高いカーブにおいてお手本に近い運転が可能になる効果が確認された。しかし、提示が終了した後はその効果が急速に減少する傾向があった。お手本音の提示方法やタイミングによって、運転行動が異なる影響を受けることが明らかとなり、どのようなタイミングや方法でお手本音を提示すべきかを検討することが重要な課題であると考えられる。

これらの研究を通して、操舵角を段階的な音でフィードバックすることによってなめらかなカーブ走行を支援することは可能であることが明らかになった。しかし、効果には個人差があることや、実験環境が限られたコースであることなど、効果の限定性などの課題がある。そのため、より多様な環境における検証や、どのように使ってもらうことが最も効果を高めるのかといった使用方法の模索を行う必要がある。

本研究が、運転に対する苦手意識を持つ人に自信を持たせ、より快適な運転を提供できることを望む。

## 謝辞

本研究に関して、お世話になった方々にこの場を借りて感謝申し上げます。

はじめに、中村聡史先生には、特に研究室に本配属されてから4年間、研究の相談に親身に乗っていただきました。方向性に迷走した時や、分析に息詰まった時、不安でどうしようもないとき、数えきれない場面で助けていただき、感謝の気持ちでいっぱいです。これからもぜひお酒を飲みに行ってくださいと嬉しいです。

また、4年間通して一緒に研究を行ってくださった共同研究先のSUBARUの皆様、本当にありがとうございました。皆様のおかげで、自分ではできない実験をたくさん行わせていただくことができました。私の至らない点が多く、ご迷惑をおかけしてしまうことも多かったと思いますが、一大学生の意見を真剣に聞いてくださり、本当にありがとうございました。

そして、大学生、大学院生を共に過ごしてくださった、友人、先輩、後輩、アルバイト先の皆様、ありがとうございました。研究で頭がいっぱいになってしまった時でも、思いつきり笑える時間を作ってくれたことで、最後まで来れたと思っています。週末にはアルバイトで料理に励むことで頭が整理され、また新たな気持ちで頑張れました。

特に研究室の同期には研究の面からもたくさん支えていただきました。研究について一緒に真剣に考えてくれただけでなく、自分の研究に嫌気がさしたときでも寄り添ってくれて、褒めてくれて、美味しいお酒を飲みに行ってくれて、メンタルを安定させてくれました。もう戦友のような気持ちです。これからもみんなが元気に過ごしてくれることを願っています。ありがとうございました。

何より、このような充実した大学生活を送れたのは、生活を全面的に支えてくれた両親のおかげです。おかげさまで、たくさんの経験を重ねることができ、とても楽しい時間を過ごせました。ありがとうございました。

## 参考文献

- [1] McKnight, A. and McKnight, A.: Young novice drivers: careless or clueless?, *Accident Analysis Prevention*, Vol. 35, No. 6, pp. 921–925 (2003).
- [2] Curry, A. E., Pfeiffer, M. R., Durbin, D. R. and Elliott, M. R.: Young driver crash rates by licensing age, driving experience, and license phase, *Accident Analysis Prevention*, Vol. 80, pp. 243–250 (2015).
- [3] Deery, H. A.: Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers, *Journal of Safety Research*, Vol. 30, No. 4, pp. 225–236 (1999).
- [4] Klauer, S. G., Guo, F., Simons-Morton, B. G., Ouimet, M. C., Lee, S. E. and Dingus, T. A.: Distracted Driving and Risk of Road Crashes among Novice and Experienced Drivers, *New England Journal of Medicine*, Vol. 370, No. 1, pp. 54–59 (2014).
- [5] 中川由貴, 松田さゆり, 船崎友稀奈, 松山直人, 中村聡史, 小松孝徳, 鳥居武史, 澄川瑠一, 高尾英行: 自己決定に基づく内発的動機づけが運転に及ぼす影響, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol. 2022-HCI-196, No. 9, pp. 1–8 (2022).
- [6] アセットコルサ コンペティツィオーネ 公式サイト (2024), 参照 2024-12-19.
- [7] 浅野真介, 橘賢二, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰: B-013 音階を用いたグラフ形状の表現システム (B 分野: ソフトウェア), 情報科学技術フォーラム一般講演論文集, 第 4 巻, pp. 123–124 (2005).
- [8] M., B. L.: DRAWING BY EAR : INTERPRETING SONIFIED LINE GRAPHS, *Proc. of the 2003 International Conference on Auditory Display* (2003).
- [9] Walker, B. N., Lindsay, J. and Godfrey, J.: The audio abacus: representing numerical values with nonspeech sound for the visually impaired, in *Proceedings of the 6th*

---

*International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, Assets '04, p. 9–15, New York, NY, USA (2003), Association for Computing Machinery.

- [10] 前川満良, 今井有希子, 橋爪慎哉, 関啓明, 神谷好承: 視覚障害者のための色模様認識支援システムの開発, 精密工学会学術講演会講演論文集, Vol. 2004S, pp. 762–762 (2004).
- [11] Bologna, G., Deville, B. and Pun, T.: Blind Navigation along a Sinuous Path by Means of the See ColOr Interface, pp. 235–243 (2009).
- [12] 木村和樹: 圧力センサのフットスイッチを用いた聴覚フィードバック装置の開発と信頼性, 日本義肢装具学会誌, Vol. 32, No. 1, pp. 45–49 (2016).
- [13] Berghe, Van den P., Lorenzoni, V., Derie, R., et al.: Music-based biofeedback to reduce tibial shock in over-ground running: a proof-of-concept study, *Scientific Reports*, Vol. 11, p. 4091 (2021).
- [14] Lorenzoni, V., et al.: The sonic instructor: A music-based biofeedback system for improving weightlifting technique, *PLOS ONE*, Vol. 14, No. 8, p. e0220915 (2019).
- [15] Kyung Yoo, W. Z. Z. X., Xie Wu and Liu, Y.: The effects of audible feedback as a coaching strategy on golf skill learning for novice players, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, Vol. 20, No. 4, pp. 596–609 (2020).
- [16] 大石琉翔, 中村聡史: エキセントリックトレーニングにおける動作速度の安定性向上のための効果音フィードバック, 情報処理学会 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC) , Vol. 2024-EC-71, No. 24, pp. 1–8 (2024).
- [17] 大石琉翔, 中村聡史: エキセントリックトレーニングにおける適切な動作速度を維持するための聴覚フィードバック手法の検討, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol. 2025-HCI-211, No. 7, pp. 1–8 (2025).
- [18] 細谷美月, 佐々木美香子, 小松孝徳, 中村聡史: 音の長さの変化によりドラム演奏のずれを認識および誘導させるメトロノームシステムの提案, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol. 2020-HCI-187, No. 14, pp. 1–8 (2020).
- [19] 奥川遼, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦: 聴覚フィードバックを利用したペダリングトレーニングシステム, コンピュータ ソフトウェア, Vol. 33, No. 1, pp. 41–51 (2016).

- 
- [20] Parseihian, G., Gondre, C., Aramaki, M., Ystad, S. and Kronland-Martinet, R.: Comparison and Evaluation of Sonification Strategies for Guidance Tasks, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 18, No. 4, pp. 674–686 (2016).
- [21] Green, P.: The 15-second rule for driver information systems, *America Conference Proceedings (CD)* (1999).
- [22] Dmitrenko, D., Maggioni, E. and Obrist, M.: I Smell Trouble: Using Multiple Scents To Convey Driving-Relevant Information, in *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '18*, p. 234–238, New York, NY, USA (2018), Association for Computing Machinery.
- [23] Strayer, D. L. and Johnston, W. A.: Driven to Distraction: Dual-Task Studies of Simulated Driving and Conversing on a Cellular Telephone, *Psychological Science*, Vol. 12, No. 6, pp. 462–466 (2001), PMID: 11760132.
- [24] Strayer, D. L., Cooper, J. M., Goethe, R. M., et al.: Assessing the visual and cognitive demands of in-vehicle information systems, *Cognitive Research: Principles and Implications*, Vol. 4, p. 18 (2019).
- [25] 岩田貴裕, 山邊哲生, 中島達夫: マルチタスク環境下における認知負荷の測定と評価, 情報処理学会研究報告, 2009 年度, No. 1, pp. 1–8 (2009).
- [26] Wu, X. and Boyle, L. N.: Auditory Messages for Intersection Movement Assist (IMA) Systems: Effects of Speech- and Nonspeech-Based Cues, *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 63, pp. 336 – 347 (2020).
- [27] Fagerlönn, J.: Making Auditory Warning Signals Informative: Examining the Acceptance of Auditory Icons as Warning Signals in Trucks, Vol. 6, pp. 95–101, University of Iowa (2011).
- [28] 東口大樹, 高橋秀平, 加古誠人, 上村一貴, 内山靖: 高齢者における聴覚・視覚フィードバックが運動学習の習熟ならびにフィードバック除去による運動制御に及ぼす特徴, 理学療法学 Supplement, Vol. 2013, No. 0, p. 0293 (2014).
- [29] Ronsse, R., Puttemans, V., Coxon, J. P., Goble, D. J., Wagemans, J., Wenderoth, N. and Swinnen, S. P.: Motor Learning with Augmented Feedback:

- 
- Modality-Dependent Behavioral and Neural Consequences, *Cerebral Cortex*, Vol. 21, No. 6, pp. 1283–1294 (2010).
- [30] Koo, J., Shin, D., Steinert, M. and Leifer, L.: Understanding driver responses to voice alerts of autonomous car operations, *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 70, p. 377 (2016).
- [31] Ueda, S., Sakai, H. and Kumada, T.: A Novel Approach to Sensorimotor Skill Acquisition Utilizing Sensory Substitution: A Driving Simulation Study, *Scientific Reports*, Vol. 9, (2019).
- [32] Yang, L., Zhao, X., Bian, Y., Zhang, M. and Guo, Y.: Effects of the Amount of Information from Navigation Voice Guidance on Driving Performance, *Sustainability*, Vol. 16, p. 5906 (2024).
- [33] 高田翔太, 平岡敏洋, 野崎敬太, 川上浩司: 自発的な行動変容を促す安全運転評価システム (第2報), 自動車技術会論文集, Vol. 44, No. 2, pp. 673–678 (2013).
- [34] 服部之総, 原田聖士, 光永誠介, 森田洋明, 白石秀宗: 音からの情報で意のままの運転に貢献するエンジンサウンド開発, マツダ技報, Vol. 37, No. 0, pp. 45–49 (2020).
- [35] Onimaru, S., Uraoka, T., Matsuzaki, N. and Kitazaki, M.: Cross-modal information display to improve driving performance, in *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '08, p. 281–282, New York, NY, USA (2008), Association for Computing Machinery.
- [36] 芳野幹生, 野田宏治, 荻野弘: 豊田市川手町におけるメロディーロードの評価, 豊田工業高等専門学校研究紀要, Vol. 41, pp. 95–100 (2008).
- [37] 澄川瑠一, 鳥居武史: 直線とカーブ走行時の車両挙動の変化を用いた聴覚刺激による運転行動の誘導に関する研究 (2021).
- [38] 杉本祥平: ドライバの能動的行動に基づく音楽による運転補助に関する研究, 第78回全国大会講演論文集, 第2016巻, pp. 159–160 (2016).
- [39] Bynum, L., Parker, J., Lee, K., Nitschke, N., Laflam, M., Marcussen, J., Taleb, J., Dogan, A., Avetisyan, L., Molnar, L. J. and Zhou, F.: Navigating in the Dark – Designing Autonomous Driving Features to Assist Old Adults with Visual

- 
- Impairment, in *Adjunct Proceedings of the 15th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, AutomotiveUI '23 Adjunct, p. 150–155, New York, NY, USA (2023), Association for Computing Machinery.
- [40] Yukawa, M., Sonoda, K. and Wada, T.: Auditory Assist Method to Indicate Steering Start Timing in Reverse Parking for Improvement of Driver Performance, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, Vol. 5, No. 1, pp. 32–40 (2020).
- [41] SAWA, F., KAMIZONO, Y., KOBAYASHI, W., TANIGUCHI, I., NISHIKAWA, H. and ONOYE, T.: An In-Vehicle Auditory Signal Evaluation Platform based on a Driving Simulator, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E106.A, No. 11, pp. 1368–1375 (2023).
- [42] 小橋昌明, 田中駿, 塚本祥太, 佐藤能英瑠, 鳥居武史: 操作の変更修正と修正原因に着目した自動車の運転技能評価, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2020, pp. 2O6GS1301–2O6GS1301 (2020).
- [43] Funazaki, Y., Seto, N., Ninomiya, K., Hikawa, K., Nakamura, S. and Yamanaka, S.: Driving Experiment System Using HMDs to Measure Drivers' Proficiency and Difficulty of Various Road Conditions, in Krömker, H. ed., *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems*, pp. 247–257, Cham (2022), Springer International Publishing.
- [44] 急カーブの注意標識にある「R」とは? 横の数字はどう「使えば」いいのか (2020), 参照 2024-12-20.
- [45] 渡邊健斗, 松田さゆり, 大石琉翔, 中川由貴, 中村聡史, 小松孝徳, 鳥居武史, 澄川瑠一, 高尾英行: 操舵角に応じた音提示の音高変化がカーブ走行時の操舵に及ぼす影響, 電子情報通信学会技術研究報告 (Web), Vol. 123, No. 24(HCS2023 1-41) (2023).
- [46] de Frutos, S. H. and Castro, M.: Assessing sim racing software for low-cost driving simulator to road geometric research, *Transportation Research Procedia*, Vol. 58, pp. 575–582 (2021), XIV Conference on Transport Engineering, CIT2021.
- [47] Assies, D.: Developing a Smart Telemetry Feedback System for Sim Racing (2021).

- 
- [48] Bugeja, K., Spina, S. and Buhagiar, F.: Telemetry-based optimisation for user training in racing simulators, in *2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)*, pp. 31–38 (2017).
- [49] Vecchiato, G., Del Vecchio, M., Ambeck-Madsen, J., et al.: EEG–EMG coupling as a hybrid method for steering detection in car driving settings, *Cognitive Neurodynamics*, Vol. 16, pp. 987–1002 (2022).
- [50] Zöller, C., Müller, A., Eggert, L., Winner, H. and Abendroth, B.: Applicability of Head-Mounted Displays in Driving Simulation (2019).
- [51] 渡邊健斗, 松田さゆり, 大石琉翔, 中川由貴, 中村聡史, 小松孝徳, 鳥居武史, 澄川瑠一, 高尾英行: ドレミハンドルにおける一音階に対する角度幅がカーブ走行の上達に与える影響の調査, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol. 2023-HCI-201, pp. 1–8 (2023).

## 研究業績

- [1] 松田 さゆり, 中川 由貴, 船崎 友稀奈, 細谷 美月, 松山 直人, 中村 聡史, 小松 孝徳, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. ドレミハンドル: 操舵角に応じた音提示による運転支援システムの提案, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2021-HCI-195, No.16, pp.1-8, 2021.
- [2] 中川 由貴, 松田 さゆり, 船崎 友稀奈, 松山 直人, 中村 聡史, 小松 孝徳, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. 自己決定に基づく内発的動機づけが運転に及ぼす影響, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2022-HCI-196, No.9, pp.1-8, 2022.
- [3] Sayuri Matsuda, Yukina Funazaki, Takanori Komatsu, Naoto Matsuyama, Yuki Nakagawa, Satoshi Nakamura, Hideyuki Takao, Ryuichi Sumikawa, Takeshi Torii. DoReMi Steering Wheel: Proposal for a Driving Assist System with Sound Display Depending on the Rotation Angle of Steering Wheel, Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 26th International Conference, pp.4504-4513, 2022.
- [4] 松田 さゆり, 中川 由貴, 船崎 友稀奈, 渡邊 健斗, 大石 琉翔, 中村 聡史, 小松 孝徳, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. ドレミハンドル: 操舵角に応じた音提示手法の複数種のカーブを用いた検証, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2022-HCI-200, No.8, pp.1-8, 2022.
- [5] 大石 琉翔, 中川 由貴, 渡邊 健斗, 松田 さゆり, 中村 聡史, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. 内発的動機づけが運転に及ぼす影響の調査: クリック選択と音声選択の比較, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2023-HCI-201, No.18, pp.1-8, 2023.
- [6] 渡邊 健斗, 松田 さゆり, 大石 琉翔, 中川 由貴, 中村 聡史, 小松 孝徳, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. ドレミハンドルにおける一音階に対する角度幅がカーブ走行の上達

- 
- に与える影響の調査，研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI），Vol.2023-HCI-201, Issue.36, pp.1 - 8, 2023.
- [7] 松田 さゆり, 中村 聡史. 爪色の変化によるものの重さの推定に関する基礎検討, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）, Vol.2023-HCI-202, No.45, pp.1-8, 2023.
- [8] 松田 さゆり, 渡邊 健斗, 横山 幸大, 青木 由樹乃, 青木 柊八, 中村 聡史, 掛 晃幸, 石丸 築. メロ字<sub>イ</sub>: ペンの位置に応じた音階の音提示による手書き文字練習システムの提案, 信学技報 ヒューマンコミュニケーション基礎研究会（HCS）, 2023.
- [9] 渡邊 健斗, 松田 さゆり, 大石 琉翔, 中川 由貴, 小松 孝徳, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. 操舵角度に応じた音提示の音高変化がカーブ走行時の操舵に及ぼす影響, 信学技報 ヒューマンコミュニケーション基礎研究会（HCS）, Vol.123, Issue.24, No.HCS2023-31, pp.151-156, 2023.
- [10] Yuki Nakagawa, Sayuri Matsuda, Takumi Takaku, Satoshi Nakamura, Takanori Komatsu, Takeshi Torii, Ryuichi Sumikawa, Hideyuki Takao. A Study on the Effects of Intrinsic Motivation from Self-determination on Driving Skill, International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2023), Vol.CCIS, volume 1836, pp.73–81, 2023.
- [11] 松田 さゆり, 渡邊 健斗, 中村 聡史, 小松 孝徳, 鳥居 武史, 澄川 瑠一, 高尾 英行. ドレミハンドル: 操舵角に応じた音階提示手法の AssettoCorsa を用いた複合的なカーブにおける検証, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）, Vol.2023-HCI-204, No.5, pp.1-8, 2023.
- [12] 鳩貝 怜央, 松田 さゆり, 渡邊 健斗, 中村 聡史, 掛 晃幸. メロ字<sub>イ</sub>: 手書き練習における軌跡とお手本との距離を考慮したメロディ提示手法, 信学技報, Vol.123, No.433, MVE2023-43, pp.7-12, 2024.
- [13] 松田 さゆり, 渡邊 健斗, 中村 聡史, 鳥居 武史, 高尾 英行, 清水 紗英里. ドレミハンドル: 操舵角に応じた音階提示手法の実車を用いた検証, 信学技報 ヒューマンコミュニケーション基礎研究会（HCS）, 2024.

- 
- [14] Sayuri Matsuda, Satoshi Nakamura. TsumeColorGram: A Method of Estimating an Object's Weight Based on the Thumb's Nail Color, Proceedings of the 2024 International Conference on Advanced Visual Interfaces, No.100, pp.1-3, 2024.
- [15] 會田 萌々花, 鳩貝 怜央, 渡邊 健斗, 松田 さゆり, 中村 聡史, 掛 晃幸. 手書き文字練習における筆圧に応じたフィードバック手法の比較検証：音提示と色提示の比較, HCG シンポジウム 2024, No.A-3-1, 2024.