

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

松田さゆり¹ 中川由貴¹ 船崎友稀奈¹ 細谷美月¹ 松山直人¹
中村聡史¹ 小松孝徳¹ 鳥居武史² 澄川瑠一² 高尾英行²

概要: 自動車の初心者ドライバにとって、個人での運転技能向上は難しい。人に指導してもらうこともできるが言語的な情報の認識には時間を要する。ここで運転においては様々な難しい点があるが、特にカーブ走行は操舵の量やタイミングが感覚的で初心者ドライバにとって習得が難しいといえる。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）に応じた音階のサイン波を鳴らすことにより感覚的に操舵の量やタイミングを把握できる手法ドレミハンドルを提案する。またドライビングシミュレータ上でシステムを実装し、繰り返し同じカーブを走行する実験を行った。実験の結果、ドレミハンドルおよび通常のハンドルとで修正舵回数に有意差はなかったが、カーブの運転しやすさに関する主観評価では有意差が確認され、ドレミハンドルが運転を支援する可能性が示唆された。

キーワード: 操舵角, 修正舵, 音階, 運転

1. はじめに

初心者ドライバにとってカーブや斜面、交差点や高速の合流などの運転は容易ではなく、苦手意識をもつ人が多い。我々がYahoo!クラウドソーシング[1]にて行った、運転免許を保有する男女 2000 人を対象とした自動車運転に関するアンケート調査でも、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いた。このことから、運転が苦手な人はハンドル操作に問題を抱えていることが多いといえる。

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いことや、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ために、初心者ドライバにとって容易ではなく、習得が難しい。このカーブ走行を習得するためには、様々なカーブを数多く運転する経験が必要であり、運転経験の少ない初心者はその感覚を掴めていないためにカーブ走行に問題を抱えることが多い。カーブ走行の習得が不十分であることは、ガードレールに衝突するなどの事故につながる可能性もあり、適切な感覚を掴むまでの間に運転そのものが怖くなってしまい、苦手意識をもつ可能性がある。

こういった苦手意識は、人に指導してもらうことで改善する可能性がある。しかし指導してくれる人と時間の確保は難しく、指導してくれてもそれが適切でなかったり、相性が悪かったりすることによってお互いに不満が溜まる可能性がある。また、そもそも人に指摘されることを心地良く思わない人も一定数以上いる。

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の提示を行うことも考えられるが、標識や飛び出しなどといったように常時交通状況を把握することは重要であり、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。

ここで岩田ら[2]は、視覚資源を主として使用するタスクにおいて、聴覚提示によって認知的負荷が軽減されることを明らかにしている。また、奥川ら[3]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。これらの研究同様、我々は運転支援の方法として聴覚情報に着目する。しかし、単純に運転中に運転者に操舵角の数値を音声で提示するだけでは、初心者ドライバは緊張や不安などが大きく、運転動作自体に注力していることもあって、運転自体から気が逸れてしまう恐れがあり、望ましくないと考えられる。

そこで本研究では、運転初心者がカーブ走行をできるだけ早く把握および習得可能とすることを目的とし、操舵角（ステアリングホイールの回転角度）の数値を音により感覚的に把握可能とする手法を提案する。ここでは、操舵角に応じ、離散的に音階のサイン波を鳴らすドレミハンドル（図 1）を提案する。本手法により、カーブ走行において、視覚と腕の感覚だけでなく、音によっても操舵角を認知することができ、カーブ走行における運転技能の向上を支援できると考える。本研究では、走行条件を様々に試すことが可能なドライビングシミュレータにドレミハンドルを実

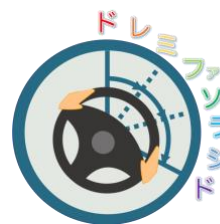


図 1 ドレミハンドルのイメージ図

¹ 明治大学
Meiji University

² 株式会社 SUBARU 技術研究所
Technical Research Center, SUBARU CORPORATION

装し、ドレミハンドルの使用の有無でカーブ走行の技能向上に効果があるか検証するための実験を行う。なお実験では、実験協力者を頻繁に運転を行う高頻度運転者と、運転の頻度が少ない低頻度運転者に分け分析を行う。

2. 関連研究

2.1 数値データの可聴化

数値データの大きさを音で表現する研究は様々なものがある。浅野ら[4]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。Bruceら[5]は、数値データの大きさを音階で表現することによって数値の大きさを感覚的に理解することを可能とした視覚障害者のためのアプリケーションであるAudioAbacusを提案している。このアプリケーションを使用したユーザは、ほとんど練習やトレーニングをすることなく音声化された数字の桁数を判断することができていた。我々の研究は、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 音階を用いた聴覚フィードバック

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[6]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、失った感覚を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補うシステムを開発している。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。実際の患者による実験の結果、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。

前川ら[7]は視覚障害者が色模様の面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、色の変化を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。事前に色のRGBと音階を心理的屬性に考慮してマッピングしておき、リアルタイムに音で色を提示するものである。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。

このように音階を用いた聴覚フィードバックは研究されてきており、その効果もあることがわかっている。我々の研究は、さらにハンドルの操作量を音階にマッピングし、絶対的・相対的にハンドルの操作量を把握可能とするもの

表1 音階配置

音階	周波数 (Hz)	操舵角 (度)
ド	261.6	0
レ	293.7	12.86
ミ	329.6	25.66
ファ	349.2	38.52
ソ	392.0	51.38
ラ	440.0	64.24
シ	493.9	77.1
ド	523.23	90

である。

2.3 運転支援における聴覚フィードバック

聴覚フィードバックにより、運転技能を向上させる研究も多数行われている。

澄川ら[8]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、車両行動を安定化させる手段としての可能性が示唆されたが、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行動を安定化させる効果が高い可能性が示唆された。

鬼丸ら[9]は、車の左右位置を両耳音圧差により定量的にリアルタイムでフィードバック提示するシステムを提案している。ここでは、ホワイトノイズの有無と、不連続に2値変化するものとを定量的に連続変化するもので比較実験を行い、定量的に連続変化する刺激が運転負荷を増加させずに離脱距離を減少させることを明らかにしている。

このように運転においても聴覚フィードバックを利用した支援は様々な研究されている。我々の研究も、こうした研究と同様に運転を支援するものであるが、その中でも特にカーブ運転におけるハンドル操作の上達を可能とするものである。

3. ドレミハンドル

3.1 提案手法

本研究では、運転初心者がカーブ走行をできるだけ早く習得できるようにすることを目的とする。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は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段階的に高いサイン波が鳴る。音階のマッピングは、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」が鳴るように均等に音階を配置する(表1)。

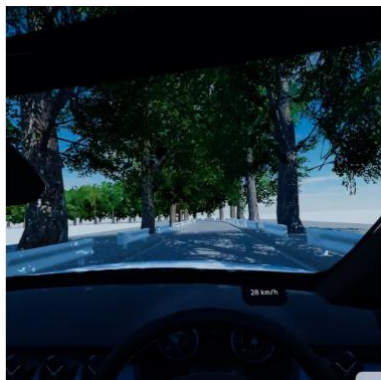


図2 実験協力者から見た画面



図3 実験者が管理する画面



図4 実験の様子

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聴覚からの尺度でカーブ走行を認知することができるかと期待される。また、上手なカーブ走行を実現する要素に操舵の安定度があり、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い。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ふ。ここでドレミハンドルを使用した場合には、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。

3.2 実装

本研究では、船崎ら[10]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HMD(Head Mounted Display)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。

3.3 使用方法

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。

4. 実験

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」という仮説を検証するため、ドレミハンドルの使用とドレミハンドルの非使用とで、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を検証する。

4.1 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。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、3章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60mであるため[11]、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。これらの条件の、昼の道の一般道一方通行の道路を実験では用意した。一方通行の道を採用した理由としては、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。

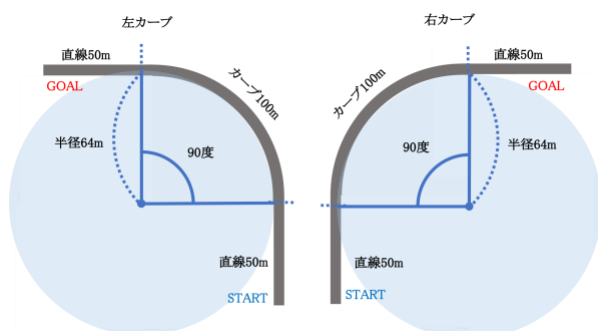


図5 カーブイメージ図

表2 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

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2)。

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 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こした場合は記録なしとした。

ドレミ音は、突然音にな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



図6 カウントダウン画面

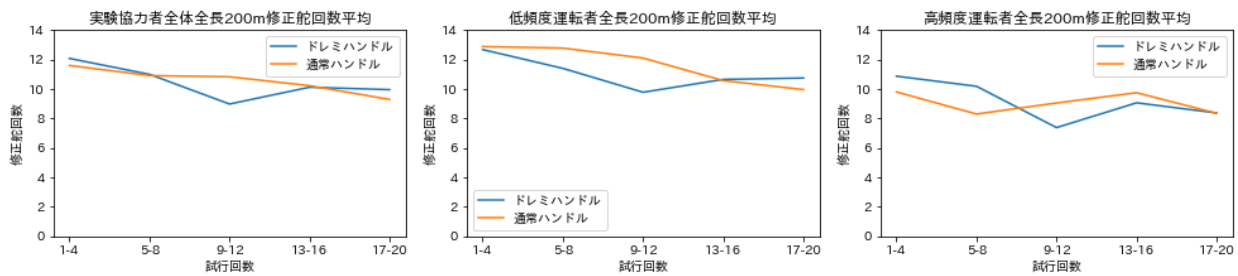


図7 全長 200mにおける修正舵回数平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

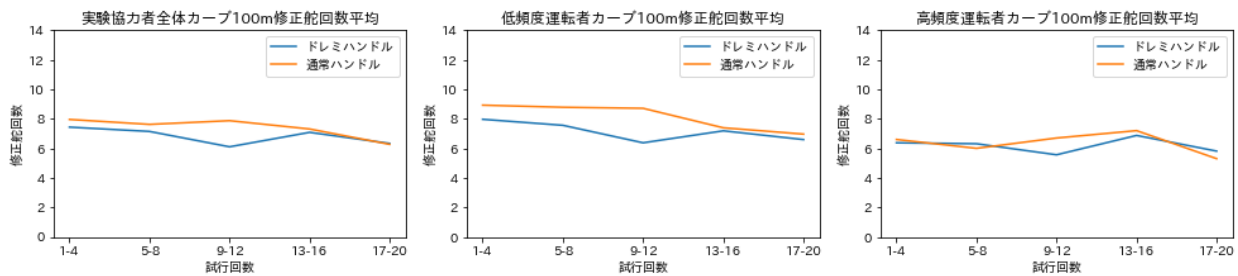


図8 カーブ中における修正舵回数平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

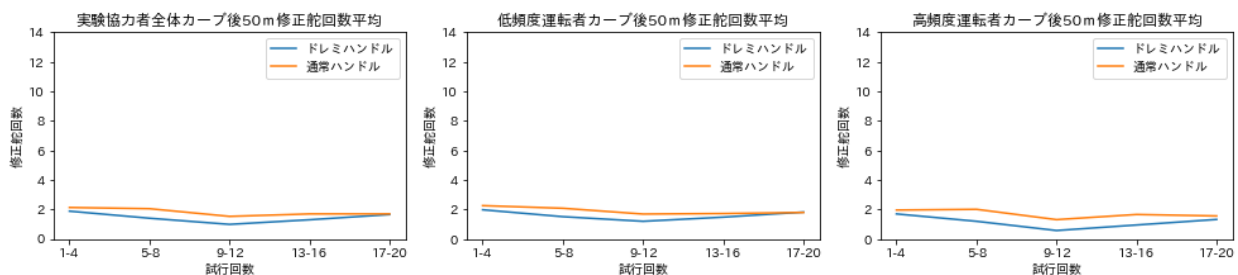


図9 カーブ後における修正舵回数平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

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教示した。さらに、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。

5. 実験結果

5.1 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。また、1試行あたりのハンドル操作量にも着目する。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。

5.2 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

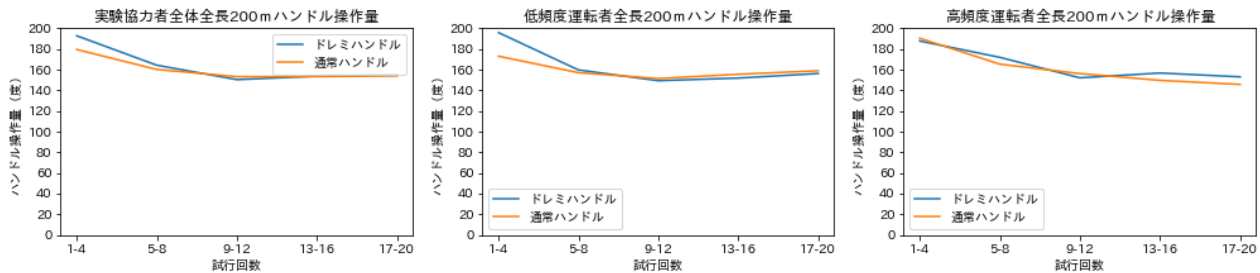


図 10 全長 200m おけるハンドル操作量平均 (実験者協力者全体・低頻度運転者・高頻度運転者)

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、順序効果を考慮し、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。反対に、1-8、5-8 の試行では通常ハンドルを使用した場合のほうの修正舵回数が少なかった。

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べ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。

5.3 ハンドル操作量による分析

図 10 は、1 試行あたりに動かした操舵角の合計量をドレミハンドルの使用の有無によって比較したものである。なお、順序効果を考慮し、前半 20 試行のデータのみを分析対象とした。こちらでも試行ごとの細かいブレをのぞくために 4 試行ごとの平均を計算しプロットした。

実験結果より、実験協力者全体ではドレミハンドル使用有無で、ハンドル操作量に大きな変化はなかった。また、初心者のドレミハンドル使用群において 1-4 試行のハンドル操作量が多くなった。

5.4 平均速度による分析

図 11 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、高頻度運転者は反対に速くなっていた。なお、高頻度運転者のドレミハンドル使用群の標準偏差は 8.01 であるのに対し、通常ハンドル使用群は 6.66 であった。このことより、ドレミハンドルを使用した場合の方が、試行回数ごとに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 節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。

5.5 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 12 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

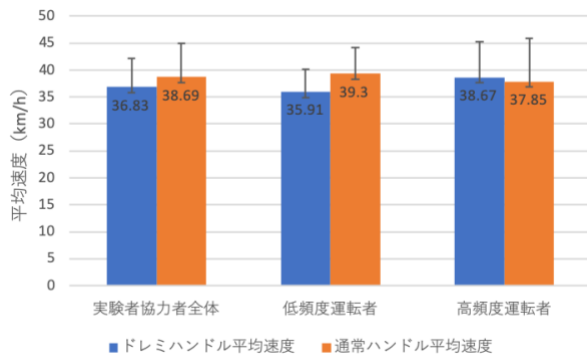


図 11 平均速度(km/h)と標準偏差

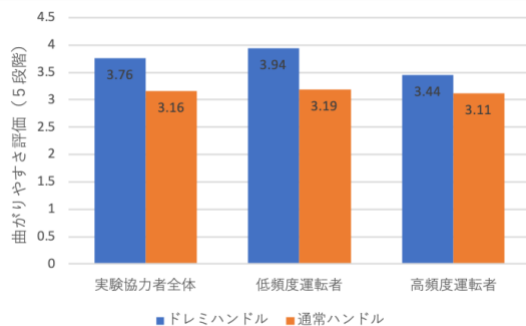


図 12 曲がりやすさ評価 (5段階評価)

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。

6. 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。

6.1 ドレミハンドルの使用による影響

5.2節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る傾向が見られた。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。そこで今後は練習フェースおよびタスクの適切な回数を再度検討し、実験を行う予定である。

また、ハンドル操作量に関する結果より、ドレミハンドルの使用の有無によって、ハンドル操作量に変化は見られなかった。低頻度運転者において、1-4試行でハンドル操作量が増加したのは、まだドレミ音が鳴ることに慣れておらず、混乱したからであると考えられる。高頻度運転者にその傾向は無かったことから、高頻度運転者のハンドル操作にドレミ音の影響は出ないと考えられる。上手なカーブ走行ができるドレミ音を把握することによって、それに合わせようとハンドル操作をしてしまう可能性も考えられたが、操作量が増えることは無かった。

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試行回数ごとにブレのある運転をしてしまう傾向があった。この原因は不明であるが、ドレミハンドルの音の鳴り方が影響したと考えられるため、今後さらに検証予定である。

主観評価から、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と考えられる。これは、今回の修正舵の回数による分析が適切でなかった可能性もあり、今後さらに分析を検討していく予定である。一方、ドレミハンドルを使用することで音に注意が向き、運転操作自体の集中力が下がってしまう可能性が考えられる。この点についても今後の実験により、できるだけ集中力を下げないような音のデザインを検討していく予定である。

実験協力者からのフィードバックでのドライビングシミュレータならではの問題について、特にエンジンブレーキやブレーキの感度については、今後システムを改良し、再実験を行うことにより検証していく予定である。また、将来的には実車での実験を行い、その有用性について検証を行っていく予定である。

7. おわりに

本研究では、初心者にとって難易度が高いカーブ走行を習得可能とするため、カーブ走行での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した。またドレミハンドルをドライビングシミュレータ上に実装し、「ドレミハンドルを使用した場合、しない場合よりも、カーブ走行の技能が向上しやすい」という仮説のもと、同じカーブを20試行連続で走行する実験を行った。

実験の結果、低頻度運転者はドレミハンドルの使用によって、5-12試行目に修正舵回数が通常ハンドルの使用に比べ少なくなる傾向が見られたものの、全体としてみた場合にドレミハンドルの使用と通常ハンドルの仕様との間には修正舵回수에有意差がみられなかった。またドレミハンドルの使用有無によるハンドル操作量にも差はなかった。一方、主観評価では、低頻度運転者と高頻度運転者どちらも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感じており、有意差も確認された。ここで、今回の実験では、ドレミハンドル自体にまだ慣れていない試行と連続して走行することによって飽きてしまい、上手なカーブ走行ができなかった試行が含まれる可能性がある。そのため、今後はより適切な実験を再設計し、再実験を行う予定である。

今後は、ドライビングシミュレータを改善し、より現実に近い環境での実験を可能にする予定である。また、対象者ごとにドレミハンドルを使用する適切なタイミングを模索し、ドレミハンドルを使用しても運転自体から注意を逸らさないように音をデザインすることでよりカーブ走行の習得を支援可能なシステムを目指す。さらに、実車でも検証を行っていく予定である。

参考文献

- [1] “Yahoo!クラウドソーシング”. <https://crowdsourcing.yahoo.co.jp/>, (参照 2021-11-5).
- [2] 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, p. 1.
- [3] 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. 日本ソフトウェア科学会第22回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2014)論文集, 2016, vol. 33, no. 1, pp. 41-51.
- [4] 浅野真介, 橋賢二, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰. 音階を用いたグラフ形状の表現システム. 情報科学技術フォーラム一般講演論文集, 2005, vol. 2, no. 1, pp. 123-124.
- [5] B. N. Walker, J. Lindsay and J. Godfrey. The Audio Abacus: Representing Numerical Values with Nonspeech Sound for the Visually Impaired. Proc. of The Sixth International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, 2004, pp. 9-15.
- [6] 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, 2016, vol. 32, no. 1, p. 45-49.
- [7] 前川満良, 今井有希子, 関啓明, 神谷好承, 橋爪慎哉. 視覚障害者のための色模様認識システムの開発. 精密工学会学術講演会講演論文集, 2004, 2004年度精密工学会春季大会, no. 25, pp.1229-1230.
- [8] 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. 自動車技術学会誌, 2021, vol. 75, no. 6, p. 112-117.
- [9] 鬼丸真一, 北崎充晃. 光強度と音圧による位置フィードバック情報がドライビングシミュレータの運転に及ぼす効果. 基礎心理学研究原著論文, 2013, vol. 32, no. 1, pp. 2-13.
- [10] 船崎友稀奈, 瀬戸徳, 二宮洸太, 樋川一幸, 中村聡史, 山中祥太. 運転難易度のモデル化に向けた実験システムの構築とカーブ角度の影響調査. 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), 2019, Vol.2019-HCI-185, no.17, pp. 1-8.
- [11] “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”. <https://www.webcartop.jp/2020/09/578279/>, (参照 2021-11-5).