

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

松田さゆり¹ 渡邊健斗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ーにとって、カーブ走行は操舵の量やタイミングが感覚的で習得が容易ではない。我々はこれまでの研究において、操舵角に応じた音を鳴らすことで運転を支援する手法「ドレミハンドル」を提案してきた。実験の結果、通常ハンドル使用群に比べドレミハンドル使用群の修正舵が有意に減り、ドレミハンドルが運転を支援する可能性が示唆された。しかし、これまで開発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。そこで本稿では、車体の挙動がよりリアルに近く、また複合的なカーブを走行することが可能な Assetto Corsa 上にドレミハンドルを実装し、検証を行った。また実験により、通常ハンドル使用群に比べドレミハンドル使用群の修正舵が有意に減少し、ドレミハンドルが運転を支援する可能性が示唆された。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となった。

キーワード: 操舵角, 修正舵, 音階, 運転

1. はじめに

初心者ドライバーにとってカーブや斜面、交差点や高速道路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。中川ら[1]が行った、運転免許を保有する男女 2,000 人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（ステアリングホイール）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、様々なカーブを運転して徐々に慣れていく必要があることから、初心者ドライバーにとって習得が容易ではない。我々はこの問題を支援するために、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にするシステムの作成を目指している。

我々はこれまでの研究[2]において、運転初心者のカーブ走行習得を支援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）に応じて離散的に音階のサイン波を鳴らす「ドレミハンドル」（図 1）を提案してきた。また、実験デザインを再検討し行った追実験の結果、ドレミハンドルがカーブ走行を支援する可能性が示唆された[3]。

これまでの研究において使用してきたドライビングシミュレータは Funazaki ら[4]が開発したものを改良したものである。このシステムは、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、ドレミハンドルがカーブ走行の支援を行うことが可能であるのかの検証が不十分であった。

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。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。

そこで本稿では、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、ドレミハンドルがどのように運転技能に影響するかを検証する。ここで我々は、ドレミハンドルは常時使用

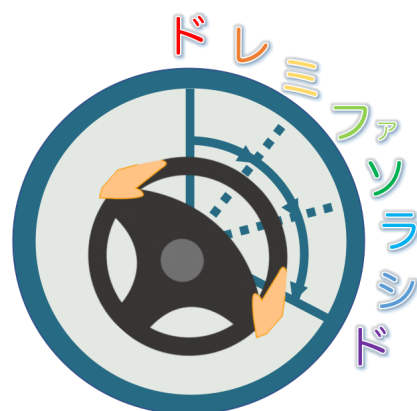


図 1 ドレミハンドルのイメージ図

1 明治大学
Meiji University
2 株式会社SUBARU
SUBARU CORPORATION

するのではなく、運転練習時や、技術向上をしたい時など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。

2. 関連研究

2.1 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は多数行われている。木村[5]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[6]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、事前に色のRGBと音階を心理的的属性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ている。

このように音階を用いた聴覚フィードバックに関する研究は様々に行われてきており、その有用性も明らかになっている。我々の研究は、ハンドルの操舵角を音階にマッピングし、絶対的・相対的にハンドルの操舵角を把握可能とするものである。

2.2 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[7]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。

鬼丸ら[8]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。

Sawa ら[9]は適切な速度を維持するためにビートのリズムを使った聴覚信号を提案している。目標速度より速く走ると周波数が高くなり、目標速度に近づくとビートが止まるシステムによって現在の速度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速度調整ができ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、中でも特にカーブ運転におけるハンドル操作の上達を目指すものである。

2.3 Assetto Corsa を用いた運転に関する研究

Assetto Corsa ではコースをはじめとする走行の再現性の高さから、様々な運転に関する研究に使用されている。

Santiago ら[10]は、シミュレーションゲームである Assetto Corsa と rFactor2 が道路形状の研究のためのドライビングシミュレータとして適しているかを分析するために、比較実験を行った。その結果、どちらのソフトウェアも運転感覚がリアルであり、道路形状研究のための低コストなドライビングシミュレータの開発に用いることができると述べている。

Giovanni ら[11]はドライバの行動の基となる脳の動きを明らかにするために、Assetto Corsa を用いて左ハンドルと右ハンドルで走行する実験を行った。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。

このように Assetto Corsa はコースや車両の再現性が高く、UDP (User Datagram Protocol) 接続によって走行データを取得可能なことから多くの運転研究に使用されている。我々の研究も同様に Assetto Corsa を用いて実験を行う。

2.4 聴覚支援による効果の持続性に関する研究

聴覚からの支援において、支援を外した場合の効果について様々研究が行われている。

東口ら[12]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数値で示し、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と述べている。

Renaud ら[13]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。

このように、聴覚からの支援はその効果が持続しやすいことが明らかになっている。本稿ではドレミハンドルにおいても同様の結果が得られるのか検証を行うために、音提示を無くした場合の運転行動についても調査する。

3. 実験

本実験では Assetto Corsa 上で「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」という仮説を検証するために、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。また、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での効果の検証も行う。

3.1 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 2 に示す。これまでの実験[2][3]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[14]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を明らかにしている。そこで今回の実験では、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。

3.2 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 3) 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



図 2 実験の様子

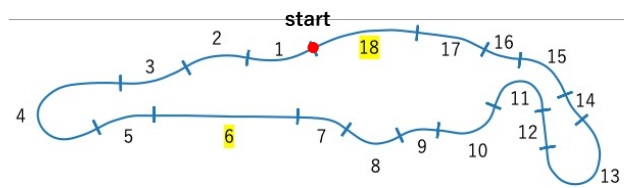


図 3 コース概形

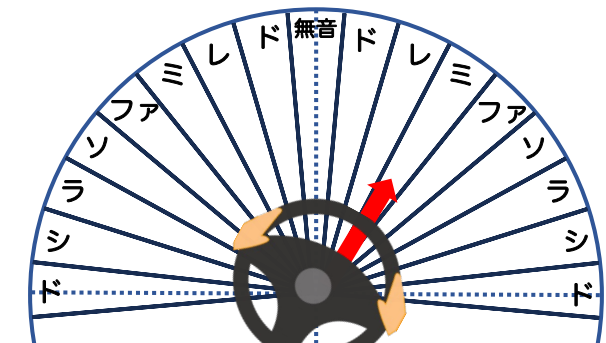


図 4 ドレミハンドルの改良

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 4)。またこれまでの研究[15][16]において、ドレミハンドルにおける一音階に割り当てる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 度で 1 オクターブ音階が上がる設定を採用した。

3.3 実験設計

実験で使用した走行コース (図 3) 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。

3.4 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、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ことと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。

実験の流れを図 5 に示す。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 と走行してもらった。休憩のタイミングは図 5 に示す通りである。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

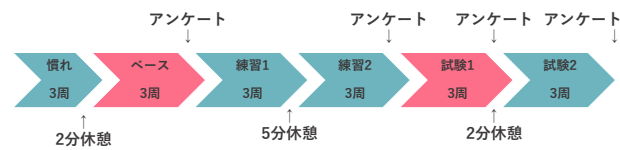


図 5 実験の流れ

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。

4. 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、システムの不具合で走行から数メートルデータが取れない場合があったため、分析は図 3 における 3 以降の区間において分析を行った。また、カーブ区間は、3～5、7、8～17 の区間とした。

4.1 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投量に影響しないと考えられる[15]ため、今回の分析においてもハンドル操作量が 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。本稿では「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 6 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

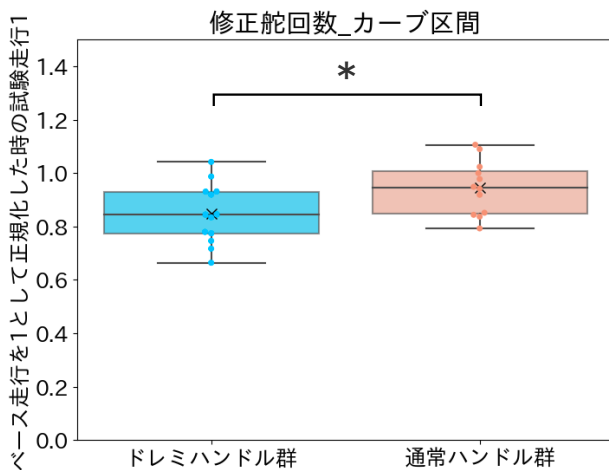


図6 試験走行1における修正舵回数の比較

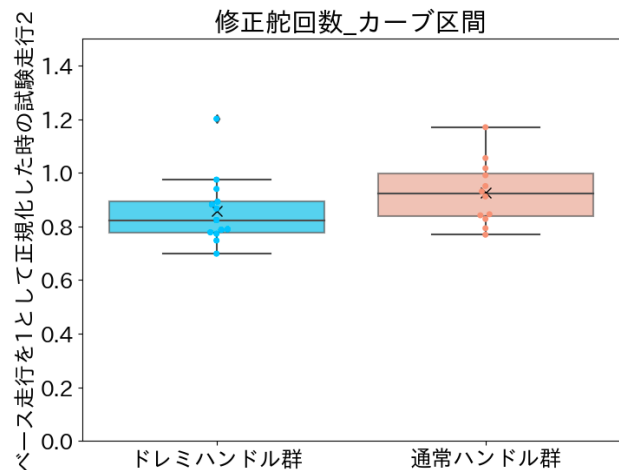


図7 試験走行2における修正舵回数の変化

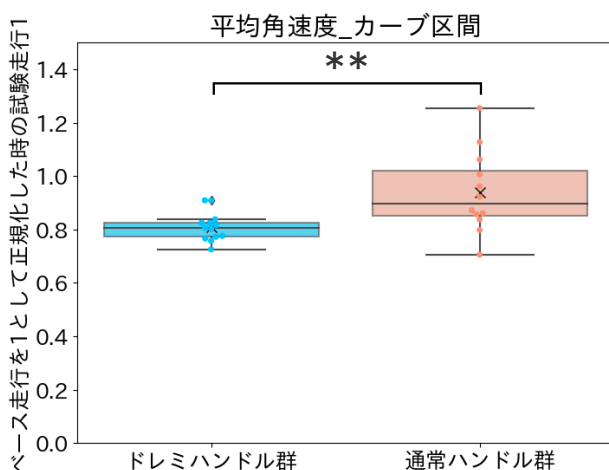


図8 試験走行1における平均角速度の比較

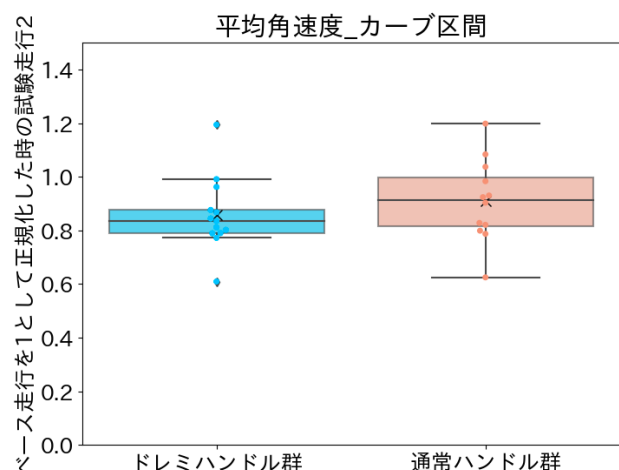


図9 試験走行2における平均角速度の比較

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 ($p < 0.05$)。

図7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ことがわかる。ここで、試験走行1についてと同様に検定を行ったところ、有意差はみられなかった。

図8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で、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 ($p < 0.01$)。

図9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た。修正舵回数と同様に検定を行ったところ、有意差はなかった。

4.2 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。試験走行1および試験走行2において意識したことに関する回答をハンドル、速度、コース、その他に

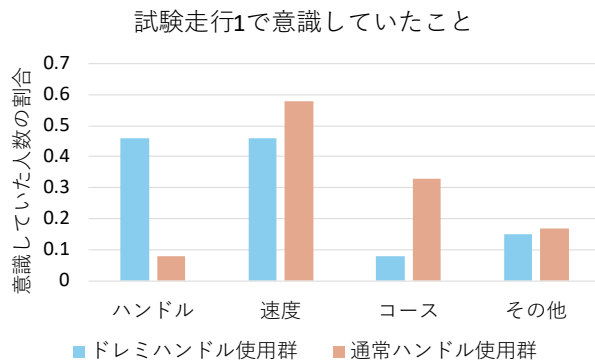


図 10 試験走行 1 において意識していたこと

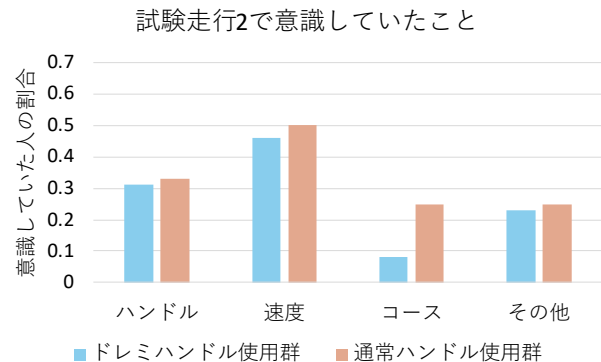


図 11 試験走行 2 において意識していたこと

手動で分類し、全体の人数に対する回答した人数の割合を示したものを図 10 および 11 に示す。この結果より、ドレミハンドル使用群はハンドル操作について意識する傾向があり、通常ハンドル使用群はコース取りについて意識する傾向があることがわかる。また、ドレミハンドル使用群の試験走行 2 では、ドレミハンドルの音がなくなったためか、ハンドルに対する意識が下がっていることがわかる。

実験後のアンケートでドレミハンドルを使ってみた状況などについて聞いたところ、「自身の修正舵を意識して運転したい時に使いたいと思いました。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」や、「山道などの連続したカーブがある状況でドレミ音があると、カーブに対するドレミ音の強さの相対性を体が覚えて運転の補助になると考えた」など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ではあったので、音に頼らない工夫がもしなんかあればいいと思います」、「速度とかカーブの角度などの状況によってどこまで回せばいいかが変わってしまうから、音を頼りにハンドルを回すと難しい印象があったので、正解の音を提示してくれたらやりやすいと思った」、「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。

5. 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走行への影響と、音提示を無くした場合の効果について考察を行う。

5.1 ドレミハンドルの使用有無による影響

4.1 節で得られた修正舵回数に関する分析より、ドレミハンドルを使用すると、修正舵が有意に減少することがわかった。また 4.2 節の主観評価の結果よりドレミハンドルを使用すると、ハンドル操作に意識が向くことがわかった。この結果より、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。そこで、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、ドレミハンドルを使用し目安となる音階を把握し、そ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いたしまったためと考えられる。そのため、音に頼りすぎないような工夫や、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 12 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 0~3 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。

ハンドルの平均角速度の結果より、ドレミハンドル使用群は、通常ハンドル使用群に比べ、ベース走行から試験走行 1 にかけて、ハンドルの角速度が有意に減少することがわかった。そのため、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、運転技能が向上したといえ

る。これはハンドルの操舵に連動してドレミ音が聞こえるため、その音の変化を意識してハンドル操作をしようとしたためであると考えられる。

5.2 音提示を無くした場合の効果

4.1 節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、より詳細な運転行動をみるために、音階が変化した回数についてプロットしたものを図 13 に示す。音階変化回数は、無駄のないハンドル操作を目指しているため、少ない方が運転技能が高いと考えられる。図より、通常ハンドル使用群は全体を通じてあまり減少していないのに対し、ドレミハンドル使用群はベース走行から試験走行 1 にかけて音階変化回数が減少していることがわかる。また、ドレミハンドル使用群は試験走行 1 から試験走行 2 にかけて音階変化回数が上がってしまう傾向がみられたが、通常ハンドル使用群の音階変化回数よりは少なかった。よって、音提示を無くした場合においてもドレミハンドルの効果があると考えられる。

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した走行ができたと考えられる。

5.3 ドレミハンドルの応用

本稿ではディスプレイを用いて実験を行った。これまでの研究では HMD で実験を行ってきたが、今回の実験でも、ドレミハンドルを使用した場合通常ハンドルを使用する場合よりも修正舵が減少することが明らかとなったため、ディスプレイでもドレミハンドルを使用することが効果的だと考えられる。ここで、Keith ら[17]はなるべく速いタイムでサーキットを走行することを目的としたレーシングゲームにおいて、音声フィードバックを行うことで、音声フィードバックをしない場合よりも、平均ラップタイムが減少する傾向があることを明らかにしている。その研究において Assetto Corsa をディスプレイに表示していたことから、ドレミハンドルも、現実の道路における技能向上だけでなく、レーシングゲームにおける技能を向上させることができる可能性がある。

6. まとめ

我々はこれまで、運転初心者にとって難易度が高いカー

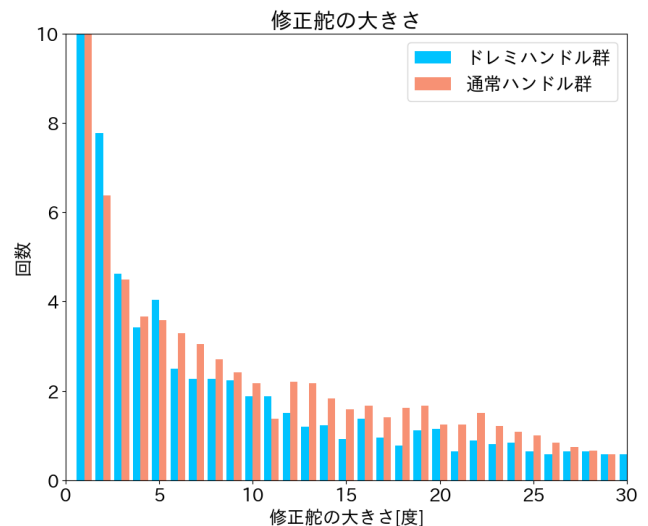


図 12 試験走行 1 における修正舵の大きさの比較

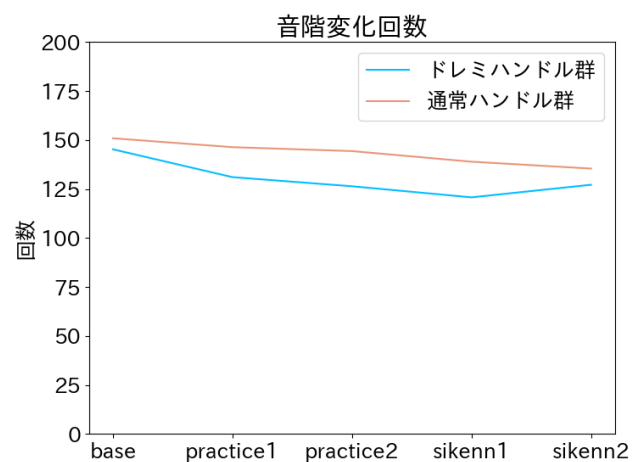


図 13 群ごとの音階変化回数の変化

ブ走行を支援するため、操舵角を音により感覚的に把握可能とするドレミハンドルを提案してきた。複数種のカーブをランダムで走行してもらった実験を行ったところ、ドレミハンドルで走行した場合、通常ハンドルで走行する場合よりも修正舵が減少する傾向がみられた。しかし実験で使用したシミュレータは、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実験に適していたが、現実の道路にあるような複合的なカーブがないため、リアルな運転とは異なっていた。

そこで本稿では、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でのドレミハンドルの影響の検証を行うために、Assetto Corsa 上にドレミハンドルを実装し、実験を行った。そして「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」という仮説のもと、ドレ

ミハンドルの使用の有無で比較実験を行った。その結果、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。

今後は、ドレミハンドルはより多くの場面に効果的なシステムを目指し、音の改善や、カーブ以外での検証、長期的な実験を行っていく予定である。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] 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), 2022 vol.2022-HCI-196, no.9, pp.1-8.
- [2] 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) , 2021, vol.2021-HCI-195, no.16, pp.1-8,
- [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, KES2022, 2022.
- [4] Yukina Funazaki, Noboru Seto, Kota Ninomiya, Kazuyuki Hikawa, Satoshi Nakamura, Shota Yamanaka. Driving Experiment System Using HMDs to Measure Drivers' Proficiency and Difficulty of Various Road Conditions, HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. HCII 2022, 2022, vol. LNCS 13335, pp. 247–257.
- [5] 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, pp. 45-49.
- [6] 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.
- [7] 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, pp. 112-117.
- [8] 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.
- [9] Fuma Sawa, Yoshinori Kamizono, Wataru Kobayashi, Ittetsu Taniguchi, Hiroki Nishikawa, Takao Onoye. An In-Vehicle Auditory Signal Evaluation Platform based on A Driving Simulator. IEICE Proceeding Series, 2022, vol, 69, pp. 37-40.
- [10] Santiago Higuera de Frutos, María Castro. Assessing sim racing software for low-cost driving simulator to road geometric research, Transportation Research Procedia, 2021, vol. 58, pp.575-582.
- [11] Giovanni Vecchiato, Maria Del Vecchio, Jonas Ambeck-Madsen, Luca Ascari, Pietro Avanzini. Hybrid EEG-EMG system to detect steering actions in car driving settings, Cognitive Neurodynamics 16, 2022, pp.987-1002.
- [12] 東口大樹, 大矢敏久, 高橋修平, 西川大樹, 上村一樹, 内山靖. 聴覚および視覚フィードバックが運動学習の習熟過程・保持に及ぼす特性の違い, 第 47 回日本理学療法学会大会抄録集, 2012, vol. 39, no. 2.
- [13] Renaud Ronsse, Veerle Puttemans, James P Coxon, Daniel J Goble, Johan Wagemans, Nicole Wenderoth, Stephan P Swinnen. Motor Learning with Augmented Feedback: Modality Dependent Behavioral and Neural Consequences. Cerebral Cortex. 2011, pp. 1283-1294.
- [14] Chris Zöller, Andreas Müller, Lukas Eggert, Hermann Winner, Bettina Abendroth. Applicability of Head-Mounted Displays in Driving Simulation, Driving Simulation & Virtual Reality Conference, 2019, pp. 9-15.
- [15] 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. 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) , 2023, vol.2023-HCI-201, no.36, pp.1-8.
- [16] 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) , 2023, vol.123, no.HCS2023-31, pp.151-156.
- [17] Keith Bugeja, Sandro Spina, Francois Buhagiar. Telemetry-based optimisation for user training in racing simulators, International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, 2017, pp. 31-38.