

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

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[‡]

[†] 明治大学総合数理学部 〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

[‡] 株式会社 S U B A R U 〒181-8577 東京都三鷹市大沢 3-9-6

E-mail: [†] sayuri.nikoniko@gmail.com

あらまし 自動車のドライバにとって、カーブ走行は操舵の量やタイミングが感覚的で安定した走行をすることは容易ではない。我々はこれまでの研究において、操舵角に応じた音階の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。そして、ドライビングシミュレータを用いた実験で、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することを明らかにしてきたが、実車では検証できていなかった。そこで本稿では、実車から走行データをリアルタイムで受信し、音提示を行うシステムの実装を行った。また、ドレミハンドル使用群と、講師から口頭で指導を受ける群との比較実験を行い、その結果からドレミハンドルが実車においても効果的であることを明らかにした。

キーワード 運転支援, 操舵角, 修正舵, 音階, 運転, ドレミハンドル

1. はじめに

ドライバ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。

ここで、運転におけるカーブ走行は、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、修正舵が多くなりがちで、安定した走行をすることは難しい。我々はこれまでの研究において、カーブ走行習得を支援するため、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[2]。また、複合的なカーブが存在する現実に近い状況を再現した *Assetto Corsa* を用いた実験において、ドレミハンドルがカーブ走行を支援する可能性を明らかにした[3]。しかし、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。

そこで本稿では、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。

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[4]は、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。実際の患者を対象とした実験により、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[5]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、色のRGBと音階を心理的属性に考慮してマッピングし、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。また実験により音から色名を特定可能な場合もあったと述べている。

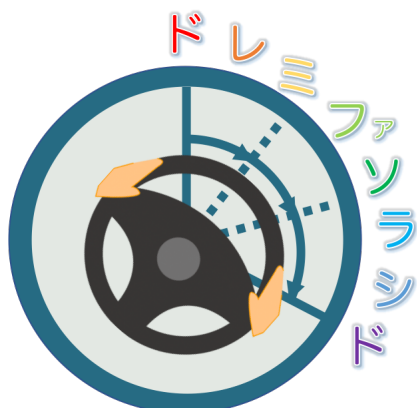


図1 ドレミハンドルのイメージ図

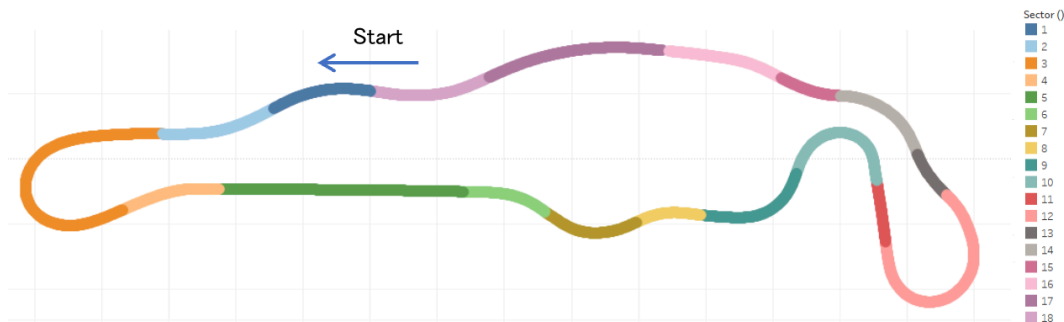


図 2 走行コース

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

図 3 実験の流れ

我々の研究も音階を使用するが、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[6]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。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により、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ている。鬼丸ら[7]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[8]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。また実験により、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。

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技術向上を目指すものである。

3. 実験

本実験では、「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」という仮説を検証するために、実車向けにドレミハンドルを実装し、実験によりその傾向を明らかにする。

3.1. ドレミハンドル実車システムの実装

車両のリアルタイム情報を取得する仕組みを利用して、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。

これまで実現してきたドレミハンドルでは、ドレミハンドルの1オクターブに割り当てる角度は90度に設定してきた。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。そこで操舵角-5度から+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。

3.2. 実験設計

実験で使用した走行コース(図2)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SUVタイプの市販車であり、マニュアルモード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 名を過去の走行状況から、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 3）。

3.3. 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化すること、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、コーナーの頂点を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、指摘が修正できたら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。

4. 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。

4.1. 修正舵のカウント方法

これまで[3]の研究において、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。

そこで本研究では、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 4 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、単調に増加するべき区間で減少、または単調に減少するべき区間で増加しているような余分な操舵角が 1 度以上の場合に、修正舵（図 4 赤点）としてカウントすることとした。

また、直線部分（図 2 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。

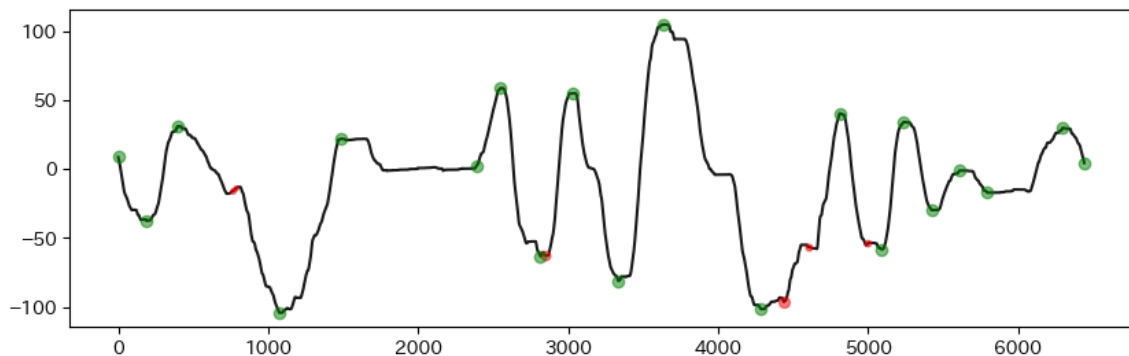


図 4 修正舵のカウント方法

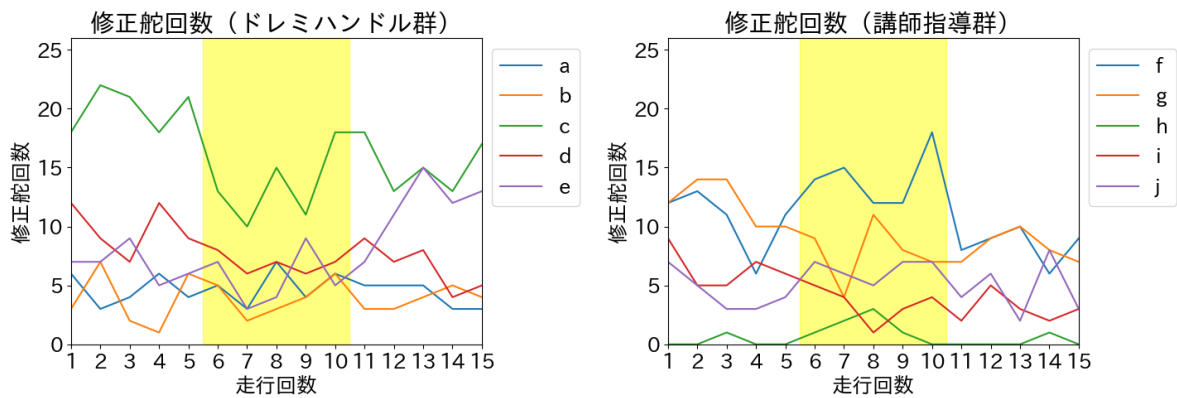


図 5 修正舵回数の変化

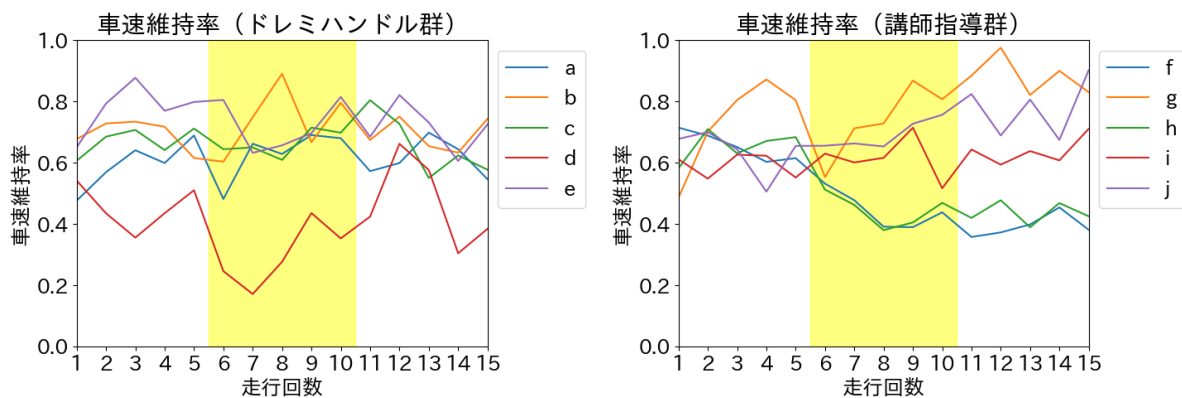


図 6 車速維持率の変化

4.2. 修正舵回数による評価

図 5 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、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。

4.3. 車速維持率による評価

図 6 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。

4.4. 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たが、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コメントが得られた。一方、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。

5. 考察

5.1. 訓練ごとの修正舵、車速への影響

4.2 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と考えられる。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いえる。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。

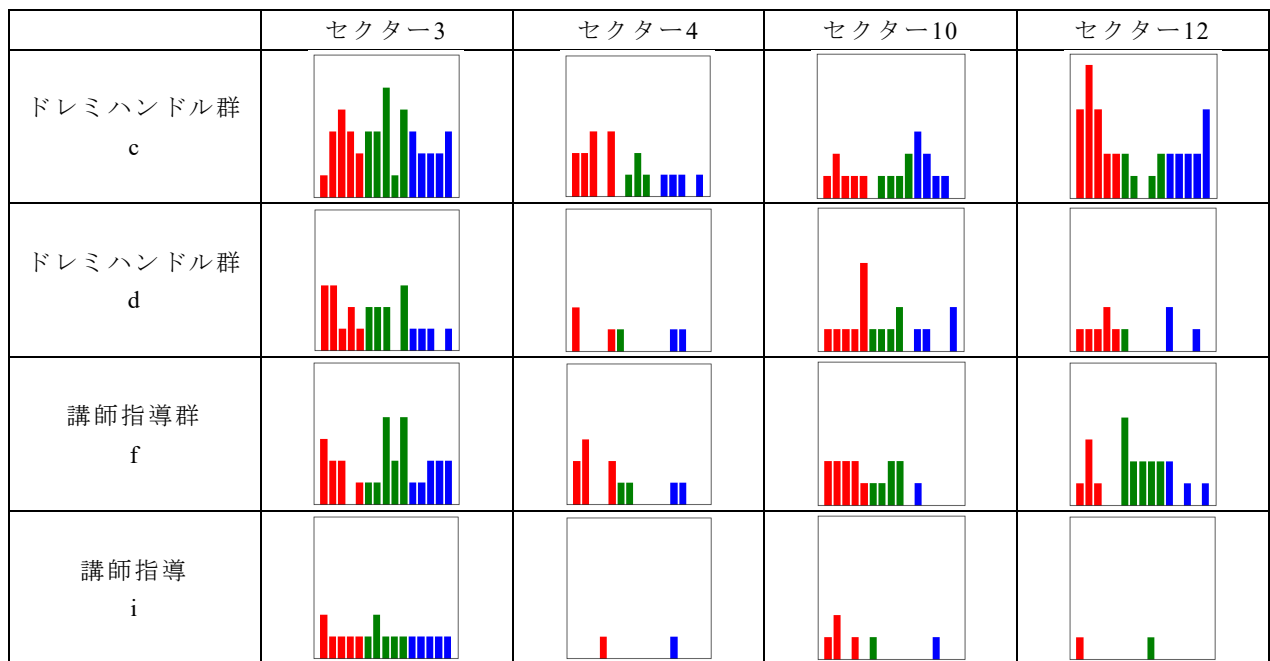


図7 セクター(3,4,10,12)の修正舵回数の変化

5.2. 効果的な修正舵

図7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1に示す。表1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。

6. まとめ

本研究では、我々がこれまで実現してきたドレミハンドルが実車でも効果があるかどうかを検証するため、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。実験では、ドレミハンドル使用群と、講師指導群とに分け、修正舵回数や車速維持率に与える影響について実験で比較を行った。実験の結果、講師指導群では5名中2名において修正舵回数が減少する傾向がみられたが、直接指導

表1 ハンドルを回す方向と修正舵回数

		訓練前	訓練	訓練後
左回し 中	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 中	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

を受けたことにより修正舵に意識が向きすぎ、車速への集中が薄れてしまう傾向もみられた。一方ドレミハンドル群においては、5名中3名が修正舵回数の減少に成功しており、車速を維持できなかった実験協力者も1名のみであった。このことより、車速維持にも意識を向けつつ、修正舵を減少させることができた可能性が考えられる。しかし、ドレミ音によりエンジン音が聞こえづらくなり車速維持が難しいという問題も観察されたため、提示する音の改善を行う必要がある。

今後は、ドレミハンドルのスマートフォン向けアプリケーションを開発し、利用容易性を向上させることで実験協力者を増やす予定である。また、提示する音のデザインなどを改善することにより、実車においてもより安定したカーブ走行を可能にするシステムを目指す。

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), vol.2022-HCI-196, no.9, pp.1-8, 2022.
- [2] S. Matsuda, Y. Funazaki, T. Komatsu, N. Matsuyama, Y. Nakagawa, S. Nakamura, H. Takao, R. Sumikawa, T. Torii, “DoReMi Steering Wheel: Proposal for a Driving Assist System with Sound Display Depending on the Rotation Angle of Steering Wheel,” KES2022, vol. 207, pp. 2202-2212, 2022.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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年度精密工学会春季大会, no. 25, pp. 1229-1230, 2004.-
- [6] 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, vol. 75, no. 6, pp. 112-117, 2021.
- [7] 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, vol. 32, no. 1, pp. 2-13, 2013.
- [8] F. Sawa, Y. Kamizono, W. Kobayashi, I. Taniguchi, H. Nishikawa, T. Onoye, “An In-Vehicle Auditory Signal Evaluation Platform based on A Driving Simulator.” IEICE Proceeding Series, vol, 69, pp. 37-40, 2022.