

競技自転車ゲームにおける体重移動を考慮したインタラクションの提案

渡邊拓人^{†1} 兼松祥央^{†1} 三上浩司^{†1}

自転車 VR コンテンツでは、ペダル操作における回転数や力を数値として入力し、ゲームに反映するものが多い。しかし、ハンドルさばきは自動操作による省略や実競技と異なる操作の場合が多く、VR 酔いや没入感の低下を招いている。本研究では体重移動を考慮したインタラクションを目指し、競技自転車のコーナリングの動きについて調査した。この調査をもとに傾斜感覚の提示装置とゲーム内のインタラクションを開発した。

1. はじめに

VRゲームにおいてプレイヤーにおける様々な状況に応じて遊べるコンテンツが増えており、座って遊ぶものから歩いて遊ぶもの、特定の乗り物に乗って遊ぶものなど様々なコンテンツが研究開発されている。

また、自転車分野のVRにおいてもペダル操作を検出し、ゲームのスピードに反映する形でのゲーム空間におけるサイクリングを体験するコンテンツや装置が開発されている。しかし、装置が大型化してしまう問題から、ハンドル操作を自動で行うため省略されてしまう事例がある。また、装置を小型化するために実際の競技における動作と異なる動作を採用した場合、VR酔いや没入感の低下を引き起こし課題となっている。

本研究では前述の課題を解決するために、実際の競技で行われるコーナリング行動を、競技映像や専門誌、論文を利用して調査した。その結果、ハンドル操作と体重移動による操作の双方から入力を与えることで、様々な姿勢に対応してハンドルさばきの動作を入力できると考えた。

本稿では、実際の競技で行われるような、体重移動を考慮したハンドル操作を提示する装置を制作した。また、インタラクションを実装したゲームデモを開発した。ゲームデモを利用し、体験の向上と酔いやささの改善を確認するために、実証実験をした。

2. 先行研究

VR サイクリングゲームやサイクリングゲームにおける細かい課題を考察するために、先行研究を調査した。

川上ら [1] はトレーニングバイクである VZ Bike Controller (以下「VZ Bike」) を利用して VR トレーニングバイクシステムを開発した。この研究において川上らは、HMD の位置と角度をトラッキングする機能を利用してコーナリングすることで VR ゲームを作成している。このゲームでは障害物にぶつかったときの急停止や空中浮遊による感覚の不一致によって、個人差はあるが使用者へ VR 酔いを感じさせてしまうことがある。

石田ら [2] は自転車の傾きを許容したことで現実の走行

感覚に近づけ、室内で走行データを取得できるシミュレーターを開発した。この研究において石田らは室内に自転車を固定設置し、自転車のハンドルの舵角をセンシングする手法を提案した。車体後輪の支持部にばねを利用して車体を傾けられるようになったことで曲がるときの自然な操作感を実現することに成功した。

Herpers ら [3] は 3DCG 上の空間内で自転車に乗るときの状況を再現できる、自転車シミュレーターを開発した。自転車は左右のバランスハンドルを切る動作を現実に近い形動作を行えるように、ヘキサポッドと呼ばれるバランスを検知する大型の装置に取り付けられた。そこで測定した力のデータに基づいて情報を与えることでシミュレーションしている。Herpers らはこの装置を用いて CG 空間上の地面の角度に合わせて自転車の角度を変えることで、シミュレーターによる坂を登る・下るなどの表現ができることも示した。

右左折をするための動作におけるインタラクションは、車体の傾きを考慮したものにおいて、取り付けられた装置が自転車よりも大型であった。また、サイクルトレーナーを利用して制作されたコンテンツでは車体の傾きを考慮されていない。この2点が右左折をするときのインタラクションにおける課題であると考えた。本研究ではこの課題に着目し、インタラクションを制作するために2つの要件を定め、これを満たすことを研究の目的とする。

- 車体の傾きが考慮されていること
- 装置が小型であること

3. 実際の競技の動作

VR サイクリングゲームにおける右左折インタラクションは大型の装置に取り付けて自転車を傾けて自転車を操作する事例があった。しかし、現在のサイクルトレーナーにおいては車体を左右に傾けることができず、その制約の中では現実と違うような形で自転車を操作しなくてはならない。この課題を解決するためにはまず自転車がどのように

^{†1} 東京工科大学
Tokyo University of Technology

操作されているのかを検証する必要がある。そのため、競技自転車におけるコーナリングに対する使用者の行為や知覚について調査した。

3.1 コーナリングやハンドルの動作に関する文献調査

竹谷[4]は競技中の狙ったコース（以下「ライン」）へ自転車を乗せるとき、バイクを傾けることで前輪が切れ込んでいき、曲り始めることができると述べている。基本的にはリーンウィズと呼ばれるバイクと使用者の上半身が1つの直線になるような姿勢でバイクを傾けるのが基本であるとされている。また、バイクを傾ける姿勢には図1のようなリーンアウト・リーンウィズ・リーンイン[5]などいくつかの方法があり、これらの姿勢はコースや路面状況によって使い分けられる。

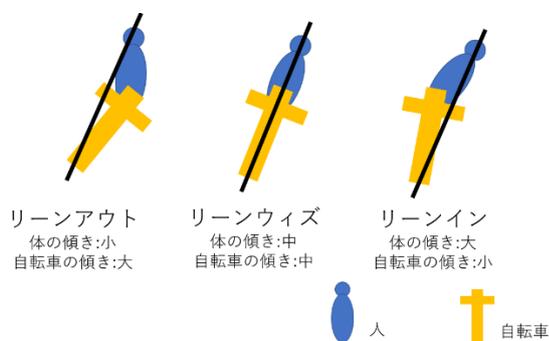


図1 各姿勢における自転車と人の傾き

菅[6]は立ちこぎをする目的のひとつに低い姿勢からの解放があると述べている。その立ちこぎの基本動作として左右に自転車を振ることで体重によってかかる力をペダルへスムーズに与えることができるようになる。またこの左右に振る動作はペダルの回転数によってふり幅を変化させて対応する。

3.2 本研究のインタラクションへ導入するための考察

3.1の参考文献による調査より、インタラクションへの導入に関して考察をした。曲がるときの判定は、ハンドルを切る動作ではなくハンドルを倒すことが重要であることがわかった。「ハンドルを切る」と「ハンドルを倒す」の違いを図2、3に示す。



図2 ハンドルを切る動作



図3 ハンドルを倒す動作

本研究では、図2のように「ハンドルを切る」は一般のシティサイクルのようにハンドルを回すような動作「ハンドルを倒す」は図3のようにバイクを左右に傾げるために片側に下方向の力を加えて傾ける動作と定義する。

自転車を倒す動作をしても前述で述べた立ち漕ぎのような動作の場合、搭乗者自身の体は起きている状態である。また、瞬間的に左右へハンドルが倒されることを繰り返すため、まっすぐに進むようになる。

また体重移動によっても自転車の挙動が変わることもわかった。体重を深く曲がりたい方向にかけることで深く自転車は曲がることができ、体重を乗せなければ浅く自転車は曲がるのがわかった。

3.3 コーナリング動作の考察と先行研究との差異

体重移動を考慮したインタラクションでは、川上ら[1]の研究のように頭部の位置により自転車を制御する手法が存在する。しかし、ハンドルの傾きを用いたインタラクションは今回の先行研究調査では見つからず、自転車の傾斜角度については考慮されていなかった。また、動作の分析によって、コーナリングでは自転車の角度と体の角度の双方がコーナリングに影響を与えることが判明した。これにより、リーンアウト・リーンインのように自転車の傾きと体の傾きの双方が考慮されていない。この課題を解決するためには、まずハンドルの傾きを考慮したインタラクションを開発し、体の傾きとハンドルを倒した傾きの双方を考慮することで、VRコンテンツにおける没入感低下を防ぐことができる考えた。

4. インタラクション制作

先行研究における課題と、3.3の調査によるインタラクションの要件より、本研究のインタラクションが目指す要件は次のようになった。

- 装置が小型であること
- 車体の傾きを利用していること
- 体重移動を利用していること

この要件を満たすためには図4のように、従来のHMDのトラッキング機能を利用したインタラクションと、車体の傾斜感覚を提示し、その傾きを利用するための装置を開

発する必要があった。競技自転車においては座る姿勢においても前傾姿勢が続く。そのため、体重が乗る手に対して、ハンドルが傾いた感覚を提示することで、車体が傾く感覚を疑似提示できると考えた。従って、ハンドルの傾斜感覚を提示し、その傾きを利用するための装置を開発する。



図 4 インタラクションの設計概要

装置においては Switch のコントローラーであり PC にもつなげることのできる「Joy-Con」を利用して開発した。Joy-Con には加速度を用いてコントローラーの向きを感知するジャイロセンサーの機能がついている。この機能をハンドルの傾き感知に利用した。また実験用コンテンツには Oculus VR 開発に対応したゲームエンジンである「Unity」、ヘッドマウントディスプレイには外部センサーなしで頭部のトラッキングをすることが可能な「Oculus Quest2」を用いて開発した。

4.1 装置の概要

本研究は被験者の手に対してハンドルの傾斜を与えながら、倒した角度によって操作するインタラクションの開発を目標とする。そこで、本研究が提案するデバイスに必要な要件を次の 2 つに定めた。

- バイクを傾けるときに、ハンドルが傾くこと
- バイクが傾いているときに、直立に戻そうとする反作用が働くこと

本研究で提案するインタラクションの傾斜感覚の提示機構を図 5 に示す。まず、支持用のゴムを下側の板と上側の板で挟んだ。次に、下側の板とゴムを固定した。上側の板にはハンドルを固定し、支持用のゴムを支点にバランスをとるようにした。さらにハンドルの左右の傾きを検知するため、Joy-Con を設置した。

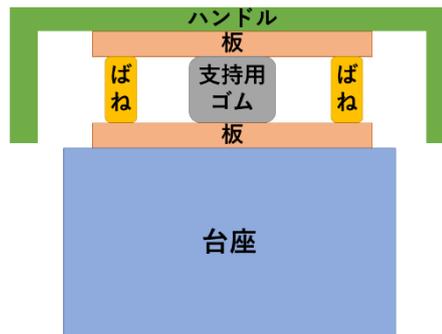


図 5 傾斜感覚の提示

4.2 センサー・コントローラーの取り付け

Joy-Con の左側 (-) コントローラーはジャイロセンサーとして機能させるために図 6 ように取り付けた。右側 (+) コントローラーはゲーム内のコントローラーとして、図 7 ように右手側のグリップの部品に取り付けた。ゲーム内の走行機能として X ボタンに、自転車の加速、B ボタンで自転車の減速、そしてジョイスティックの押し込みボタンに、ジャイロセンサーのリセット機能を割り当てた。固定方法は親指で基本操作ができるよう、図 8 のようにシフトレバーのグリップ部にマジックテープで止めてビニールテープで固定を補強した。



図 6 左側 (-) コントローラーの設置位置



図 7 右側 (+) コントローラーの設置位置



図 8 右側 (+) コントローラーを握った時の様子

4.3 ゲーム内インタラクションの作成

本研究での実験を考慮し制作物の効果を確認するために次の3つの自転車操作インタラクションを作成した。

- **Body Only Control 手法** (以下「BOC 手法」):
HMD の頭部トラッキングのみで自転車をコントロールする手法
- **Handle Only Control 手法** (以下「HOC 手法」):
ハンドル操作のみで自転車をコントロールする手法
- **Handle and Body Control 手法** (以下「HBC 手法」):
ハンドルの両方のセンサーを併用し、自転車をコントロールする手法

BOC 手法を川上ら[4]のサイクリングゲーム研究で取り上げられた手法として、本研究での提案手法と比較する。

4.3.1 ハンドルと体の傾きの取得と計算

本項ではハンドルの傾斜検知や頭部位置の移動の検知および最終的な処理について解説する。ハンドルの傾きによる体重移動の検知機能は Joy-Con のジャイロセンサーを用いて開発した。装置に取り付けた Joy-Con の左側 (-) を用いて 1 フレームごとの角度のずれ H_n を取得する。傾きの量 $H(\text{rad})$ を (4-1) に示す式を利用し、毎フレームで得た $H_n(\text{rad})$ の合計値によって計測する。 H_n における n はコンテンツ開始時とリセット時からのフレーム数を指す。

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \cdot \dots \quad (4-1)$$

体重移動はキャスターのついていない椅子で実験することを考慮し、頭部の位置を HMD のトラッキングにより判定する。体の角度 $B(\text{rad})$ はプレイヤーの視線を T 、初期位置の基準点から左右にずれた量を X として、(4-2) の式を用いて計算した。算出された角度は、ゲーム内の被験者の目の前にある立方体のオブジェクトによって、体の傾きとして表示する。

$$\tan B = \frac{X}{T} \quad (4-2)$$

4.3.2 インタラクションの処理方法

本研究では 4.3 のとおり 3 種類のインタラクションを開

発した。

BOC 手法における頭部の移動のみの手法では 4.2.2 項での、HMD を利用したトラッキングによって体の傾き $B(\text{rad})$ を取得する。この B の数値をもとにゲーム内の自転車が曲がる。

HOC 手法のハンドル操作のみ手法では 4.2.1 項の Joy-Con 左側 (-) コントローラー) のジャイロセンサーを用いてハンドルの傾き $H(\text{rad})$ を取得し、この H に沿って曲がる。

HBC 手法におけるハンドルの傾きと頭部の移動を併用した手法では 4.3.1 項 4.3.2 項で示したハンドルの傾きの取得と HMD トラッキングを用いて、ハンドルの傾き $H(\text{rad})$ 、体の傾き $B(\text{rad})$ を取得する。この H 、 B の数値をもとにゲーム内の自転車が曲がる。

H は現実のハンドルが水平の時は 0 に近く、ハンドルの片側を押し込むと H が変化する。 B は初期化時に取った上半身が起きている姿勢の時は 0 に近づき、体験者の頭の位置をずらすと B が変化する。 H 、 B それぞれの絶対値が大きくなると自転車は深く曲がる。

5. 実証実験

第 4 章で示した体重移動を考慮した操作システムの効果を確認するため実験を行った。

5.1 実験概要

本実験では 4.3 節で述べた 3 種類の手法を用いたサイクリングゲームを作成した。実験には 6 名が参加した。参加者 6 名は順序効果を考慮し、1 名ずつの 6 グループに分け、それぞれの手法でプレイする順番を 6 通りに入れ替えた。

実験では図 9 のように、それぞれの手法で 3 分間の練習、レース走行による平均速度測定、操作精度測定を行った。平均速度測定はコース 1 周における平均速度を測定した。操作精度測定ではコース内にチェックポイントを配置した。そのポイントを通過することでスコアが加算されコースを 1 周回った時のスコアと平均速度を測定した。参加者にはコンテンツの評価アンケートに答えてもらった。

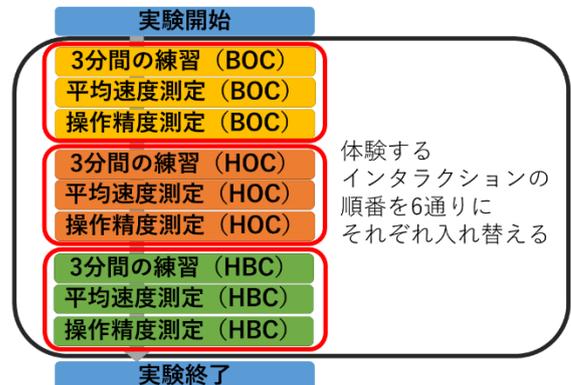


図 9 検証実験の手順

5.2 実験結果

5.2.1 コンテンツ内での測定結果

コンテンツ内での測定値としてレース走行における平均速度と、操作精度測定における平均速度とスコアを測定した。

測定した操作精度の結果を、図 10、11、12 の散布図に示す。それぞれの手法で平均速度が高いほど点数が下がることがわかり速度と点数における相関があった。また、それぞれの手法を比べると HMD のみで操作したとき、速度が高くなるほど著しく点数が下がることがわかった。

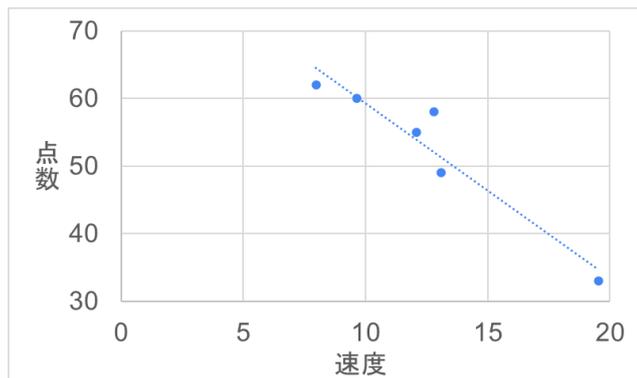


図 10 BOC 手法における速度と点数の散布

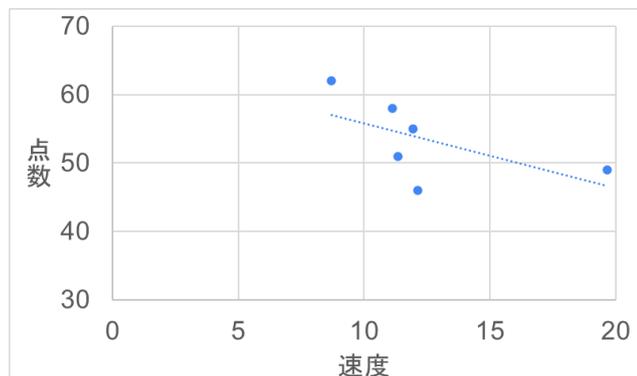


図 11 HOC 手法における速度と点数の散布

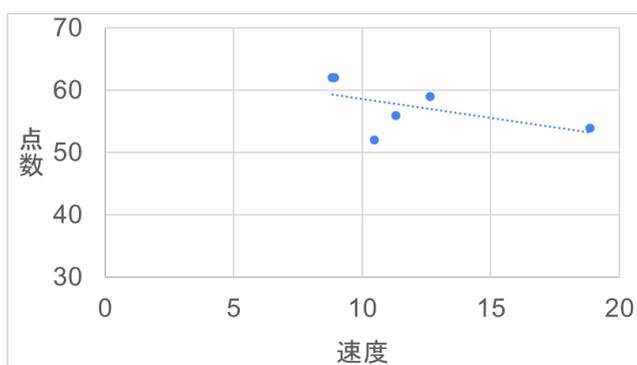


図 12 HBC 手法における速度と点数の散布

5.2.2 印象評価アンケートの調査結果

印象評価アンケートを行い、印象評価の平均をまとめた。今回の実験に先立って実施した予備実験の結果より自転車競技経験の有無が評価に影響を及ぼす可能性があることが考えられた。そのため、実験参加者のうち 2 名の競技経験者と 4 名の未経験者で回答傾向に差異が出ると予測した。そこで、経験者と未経験者に回答を分けそれぞれの回答の平均をまとめて傾向を分析した。

操作性に関する回答の評価平均を図 13 に示す。この質問では従来の BOC 手法による操作と比べて HOC、HBC の提案手法により操作のしやすさに改善が見られた。特に HBC 手法においては高い評価を得ることができた。

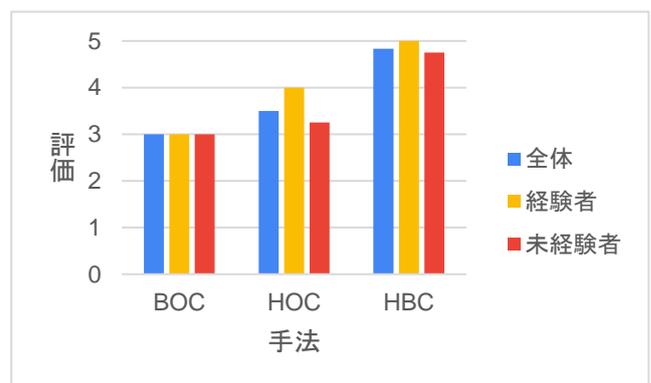


図 13 操作性に関する質問の評価平均

酔いに関する質問における回答の評価平均を図 14 に示す。全体としては HOC 手法の評価が高く酔いにくい傾向があった。しかし HBC 手法における評価が未経験者、経験者ともに低かった。経験者の回答では BOC 手法と HBC 手法の評価を比べると従来の BOC 手法の評価が高かった。

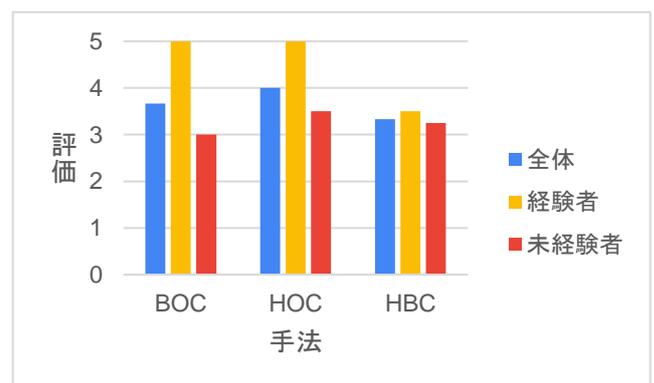


図 14 酔いに関する質問の評価平均

車体の傾き提示に関する質問の回答の評価平均を図 15 に示す。全体の傾向では HBC 手法の評価が高かった。BOC 手法と HBC 手法では経験者と未経験者で評価の傾向に差異があった。経験者は BOC 手法を低く評価し、HBC 手法を高く評価した。しかし、未経験者は BOC 手法を比較的高

く評価し、HBC 手法を BOC 手法より高く評価した。

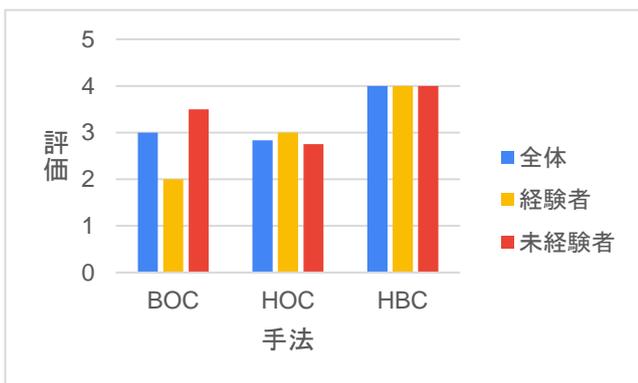


図 15 車体の傾き感覚に関する質問の評価平均

スピード感に関する質問における回答の評価平均を図 16 に示す。全体の傾向では片側のセンサーのみを利用した HOC 手法、BOC 手法を比べると従来の BOC 手法での評価が高い傾向であった。しかし、経験者の回答群と未経験者の回答群では評価の傾向が分かれた。HBC 手法においてのみ、全体で高い評価を得ることができた。未経験者におけるこの手法と BOC 手法を比べると評価平均は近い傾向にあったが、経験者の回答では高い評価を得られた。

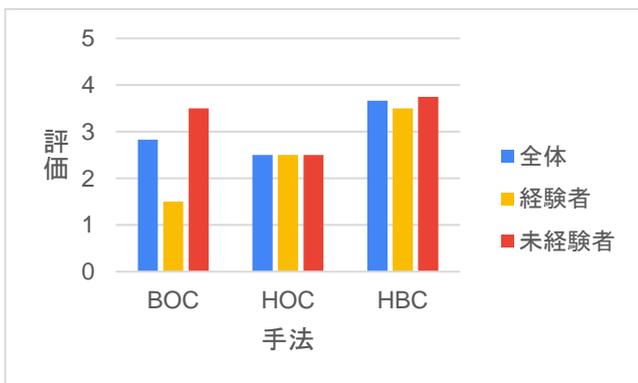


図 16 スピード感に関する質問の評価平均

6. 実験の考察とまとめ

本研究の提案手法である HOC 手法、HBC 手法においてアンケート結果と操作精度測定における中高速域における点数の減少傾向が低いという結果から、操作性の向上を確認できた。

酔いの改善においては経験者間では BOC 手法と HOC 手法では評価値が同じであったが未経験者間では HOC 手法の評価型たかいことから HOC 手法を用いると酔いが改善されていることが確認できた。

HBC 手法では記述による酔いの原因について調査をしたところ、頭を振ってしまう傾向があり、酔いやすいことが分かった。

車体の傾き提示においては経験者間での HBC 手法、HOC 手法の 2 つが BOC 手法より評価が高いことから、提案手法をもちいた車体の傾き提示に成功したと。ただし、未経験者間では体の傾きが車体の傾きであると錯覚している傾向にあったと考えられる。

スピード感においては経験者間での HOC 手法、HBC 手法の 2 つが BOC 手法より評価が高いことから、経験者間においてはスピード感の向上を確認できた。しかし、未経験者間においては評価値が BOC 手法と比べて近い。体の動作によってスピード感を感じていたと考えられる

アンケート結果の記述では、HBC 手法においては、現実の感覚と近く、操作がしやすいことがわかった。また、周りを見やすくすることができ、自転車を操作する体験を向上させることに有効であることが分かった。

HOC 手法においてはセンサーの精度についての指摘が多かった。ジャイロセンサーの測定において、精度が悪いことが明らかとなった。センシング手法の改善が今後の課題となった。

本研究では実際の競技自転車における動作からハンドルの傾斜を用いた傾斜感覚提示装置を制作し、既存手法である BOC 手法と提案手法である HOC 手法、HBC 手法を開発した。実証実験の結果で操作性を改善することができ、経験者間においても車体の傾斜感覚の提示に成功し、スピード感の向上につながった。記述による操作の現実感が高いことから体験の向上につながったと考察できる。

今後の展望はペダリング機能を実装し本研究の手法がペダル操作と合わせることで影響があるのかを確認したいと考えている。また、実際の競技自転車と比較して、どれだけ体験に差が生じるかについても実証していきたい。

参考文献

- 1) 川上庄慶, 中山宗太郎, 寺田裕樹, 猿田和樹, 横山真哉: VR によるサイクリングゲームの作成, 秋田県立大学学生自主研究研究成果, 秋田県立大学 (2018).
- 2) 石田雄紀, 島田哲哉, 植田晃一郎, 金田重郎: 車体傾きを許容した自転車シミュレーターの提案, 情報処理学会第 79 回全国大会, 3T-05 (2017).
- 3) Herpers, R., Heiden, W., Kutz, M., Scherfgen, D., Hartmann, U., Bongartz, J., Schulzyk, O.: FIVIS Bicycle Simulator: an Immersive Game Platform for Physical Activities, Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share, pp.244-247 (2008).
- 4) 竹谷賢二: 荷重コントロールでピシッと曲がる!, Cycle Sports <https://old.cyclesports.jp/magazine/content/2010/1003/index>
- 5) すぐに実践できる! 高速コーナリングの知識とスキル, ペダリスト [https://pedalista.net/speed/3196\(2016\)](https://pedalista.net/speed/3196(2016)).
- 6) 菅洋介: ラクに走れる必殺テク! ダンシングをマスター【ロードバイクの乗り方】, BiCYCLE CLUB <https://funq.jp/bicycle-club/article/10464>