

HMD を用いたスポーツ動作情報の視覚フィードバック方法

今井 美里[§] 宍戸 英彦[‡] 北原 格[‡] 亀田 能成[†]

^{† ‡ §} 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [§] imai.misato@image.iit.tsukuba.ac.jp, [‡] {shishido, kitahara}@ccs.tsukuba.ac.jp

[†] kameda@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし スポーツのトレーニングの1つとして、映像を見て状況判断やタイミングを計り映像に合わせて体を動かす VR トレーニングがある。本稿では、アルペンスキーの VR トレーニングにおけるスポーツ動作情報についてのリアルタイム視覚フィードバック方法を提案する。スポーツ動作情報としてユーザーの重心位置、頭部の高さを取り上げ、これらを提示する視覚フィードバックパネルを提案する。視覚情報の提示には HMD を用い、重心位置の取得には足もとに置いた荷重センサを用いる。評価実験では、VR トレーニング時における視覚フィードバックパネルの見やすさを定める適切なパラメータについて検討を行った。

キーワード VR, 競技者視点映像, スポーツトレーニング, リアルタイム視覚フィードバック

1. はじめに

スポーツ分野では VR 技術を用いることで競技前に競技場の確認を行ったり、過去のプレイを様々な視点で確認したりすることが可能である。選手の技術トレーニングやイメージトレーニング、審判のジャッジ訓練等に VR 技術の活用が進められている[1]-[4]。

スポーツのトレーニングにはそのトレーニングを行うための道具や環境が必要であり、環境の構築に費用が掛かったり、場所や時期が限定されたりすることによりトレーニングの機会が制限される競技も多い。

スポーツのトレーニングの1つとして、映像を見て状況判断やタイミングを計り映像に合わせて体を動かすトレーニングがある。競技者視点の映像を用いたトレーニングシステムが開発され実際にトレーニングとして用いられていることが報告されている[1][5]。映像を見て行うトレーニングは、その場で周りの環境を見て行動を判断するスポーツにおいて有効であると考えられる。我々は頭部搭載型ディスプレイ(HMD)に投影された競技者視点の映像に合わせて体を動かすトレーニング(VR トレーニング)に焦点を当てる。

本稿では、VR トレーニングにおけるスポーツ動作情報についてのリアルタイム視覚フィードバック方法を提案する。VR トレーニングを行える環境を構築するために、事前に全方位カメラを用いて競技者視点映像を撮影する。撮影した映像を仮想空間にマッピングし HMD に投影する。VR トレーニングを行っているユーザーのスポーツ動作情報を取得する。取得するスポーツ動作情報としてユーザーの重心位置、頭部の高さを取り上げる。ユーザーへの視覚フィードバックの提示は、競技者視点映像に重ねる。評価実験を行い、VR トレーニング時における視覚フィードバックパネルの見やすさを定める適切なパラメータについて検討を行

う。本稿ではパラメータとして視覚フィードバックパネルの提示位置の高さと不透過度について検討を行う。

対象とするスポーツにはアルペンスキーを取り上げる。アルペンスキーは周り及び前方の旗門や雪面を見て次の行動を判断するという点で映像を見て行うトレーニングに適していると言える。また、アルペンスキーはトレーニングを行える環境が限られており、VR 技術の活用はトレーニングの機会増加につながる。

2. 関連研究

ユーザーのスポーツ動作情報に対してリアルタイムフィードバックを提示するシステムについての研究がなされている。Kirby らはアルペンスキーヤーのカービングスキル向上を目的とした聴覚へのリアルタイムフィードバックシステムを開発した[6]。光学式マウスにも用いられる光学ナビゲーションセンサでスキーヤーの前進速度と横方向のスリップ、カーブの方向を検知し、横方向のスリップに対してピープ音によるリアルタイムなフィードバックを提供する。12名の被験者による評価の結果、すべての被験者が自分のスキルの理解に役立ったと述べ、10名の被験者がスキルの向上に役立ったと述べた。

Elvitigala らはスクワット及びデッドリフトのフォーム改善を目的としたリアルタイムフィードバックシステムを開発した[7]。ユーザーの足底面内での圧力中心位置を取得し、位置情報を提示するためのフィードバックシステムを開発した。フィードバックシステムは視覚提示のものと触覚提示のもの2種類を用意し、評価実験により比較を行った。評価の結果、いずれの提示方法でもフォームの改善が見られた。提示方法の好みについては、視覚提示の方が圧力中心の位置を明確に理解できたという意見や、触覚提示はモニターに

顔を向ける必要がなく正しいフォームを維持できたという意見があり、差は生じなかった。筆者は今後の展望として、視覚による明確な提示ができる上に、顔を特定の方向に固定する必要がない HMD による提示を挙げている。

ユーザーへのフィードバックとして聴覚や視覚、触覚等の器官への提示が考えられるが、視覚への提示が情報を明確かつリアルタイムに与えるのに適していると考えられる。Wu らはプロスキーヤーの動きを学習者であるユーザーに伝えることを目的とし、HMD と足元の慣性計測装置による VR スキートレーニングシステムを開発した[8]。HMD には CG のスキーコースとユーザーの動きをリアルタイムで表すグラフを提示することが可能である。また、事前にシステムを利用したプロスキーヤーの動きを表すグラフ、アバター、雪面上の滑走の軌跡を提示することも可能である。アバターやグラフ、滑走軌跡を用いた、最適なプロスキーヤーの動きの伝え方について評価実験を行っている。ユーザーはプロスキーヤーの動きを主に注視することになるため、スキーコースと動きに関する情報の見やすさの兼ね合いについては触れられていない。

3. VR トレーニングシステム

VR トレーニングにおけるスポーツ動作情報についてのリアルタイム視覚フィードバックを提示することが可能なアルペンスキーの VR トレーニングシステムの概要について述べる。

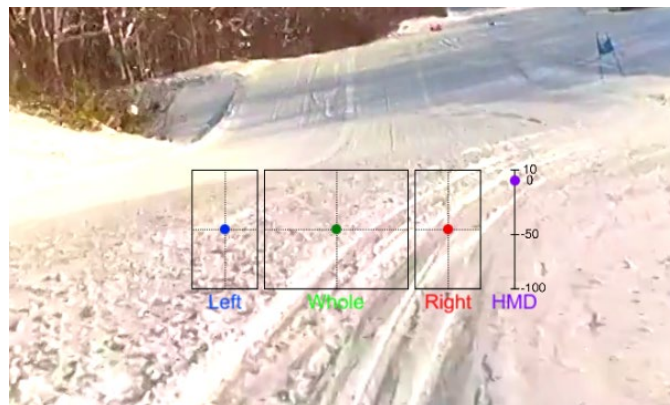
HMD を装着し頭を動かすことで全方位を見渡すことが可能なアルペンスキーの仮想空間を構築する。実際の競技に臨む競技者の頭部に全方位を撮影可能なカメラを固定し競技者視点の全方位映像を取得する。撮影された全方位映像を正距円筒図法の映像に変換し、仮想空間に生成した投影面にマッピングする。

スポーツ動作情報としてユーザーの重心位置と頭部の高さを取得する。重心位置の取得には任天堂株式会社の Wii Balance Board(バランスボード)を2台用いる。1台のバランスボードにつき4個の荷重センサが付いている。各センサ値をPCに送ることでバランスボード面内の重心位置を取得することが可能である。ユーザーの体に対して前後方向と左右方向の2次元の重心位置を取得することが可能である。頭部の高さの取得には HMD に搭載されているトラッキングシステムを用いる。HMD の位置情報の内、鉛直方向のみを用い頭部の高さを1次元情報として取得する。

スポーツ動作情報の視覚フィードバックは、競技者視点映像に重ねて CG により提示する。2次元で取得される重心移動をそのまま提示する直接提示と、アルペンスキーのターンで重要視されると考えられる左右



図 1: VR トレーニングシステムを使用している様子



(a)



(b)

図 2: 視覚フィードバックパネルの提案
(a: 直接提示, b: 簡約提示)

方向の重心移動を提示する簡約提示の2種類の視覚フィードバックパネルを用意する。本稿ではアルペンスキーのVRトレーニング時の視覚フィードバックパネルについて提案する。

本システムを使用している様子を図1に、その際の視覚フィードバックパネルを図2(a), (b)に示す。各々の項目については、4, 5, 6節で詳しく述べる。

4. アルペンスキー競技者視点映像

アルペンスキーの競技者視点の全方位映像の取得と提示について詳細に述べる。

アルペンスキーの競技者視点の映像の取得は全方位カメラを用いて行う。全方位カメラには、GoPro, Inc. の GoPro Fusion(解像度: 5.2K(4992 画素×2496 画素), フレームレート: 30fps)を用いる。スキーヘルメットの前方に GoPro Fusion を固定した状態でコースを滑走することで、アルペンスキーの競技者視点の映像を取得する。撮影は、岩手県八幡平リゾート下倉スキー場のホワイトコース(全長: 1,350m, 最大斜度: 25 度, 平均斜度: 22 度)に、アルペンスキー大回転の競技を想定した位置にポールを設置したコースで行った。

撮影した映像を正距円筒図法の映像に変換し、仮想空間にマッピングする。HMDには Oculus Rift CV1(解像度: 2160 画素×1200 画素, リフレッシュレート: 90Hz)を用いる。

5. スポーツ動作情報の取得

5.1. 重心位置

ユーザーの重心位置の取得はバランスボードを2台用いてリアルタイムで行う。バランスボードの裏面にはひずみゲージから成る荷重センサが4つ備わっている。BluetoothでバランスボードをPCに接続して各センサ値を取得し、重心位置を計算する。計算する重心位置は左右の足における重心位置(G_R , G_L)と足もとにおける全体の重心位置(G_W)の3種類である。各重心位置はバランスボードの面方向の2次元で取得可能である。各重心位置の計算方法は以下の通りである。センサの位置関係を図3に示す。

- 左右の足における重心位置

$$\text{右足: } G_R = \frac{\sum_{i=1}^4 p_{r_i} r_{r_i}}{\sum_{j=1}^4 p_{r_j}}, \quad \text{左足: } G_L = \frac{\sum_{i=1}^4 p_{l_i} r_{l_i}}{\sum_{j=1}^4 p_{l_j}}$$

- 足もとにおける全体の重心位置

$$G_W = \frac{\sum_{i=1}^4 (p_{r_i} r_{r_i} + p_{l_i} r_{l_i})}{\sum_{j=1}^4 (p_{r_j} + p_{l_j})}$$

(G : 重心位置の座標, p : センサにかかる荷重, r : センサ位置の座標)

5.2. 頭部の高さ

姿勢をどの程度低くしているかの指標として、頭部の高さの取得を行う。頭部の高さの取得には HMD に搭載されているトラッキングシステムを用いる。HMD で取得できる3次元位置情報の内、鉛直方向の値(H_y)を利用する。VR トレーニング開始時の頭部の高さを基準とし、そこからの差を頭部の高さとしてリアルタイムで取得する。

6. 視覚フィードバック

HMDを用いて、図2(a), (b)に示すように競技者視点映像に重ねて重心位置と頭部の高さを表すCGを描画する。このCGを視覚フィードバックパネルとする。配置位置に問わず、競技者視点映像と視覚フィードバックパネルを同時に確認できるようにするため視覚フィードバックパネルは線と点により作製する。

ユーザーの重心位置の視覚フィードバックパネルは、図2(a)に示すように2次元で取得される重心移動をそのまま提示する直接提示と、アルペンスキーのターンで重要視されると考えられる左右方向の重心移動を提示する簡約提示の2種類を用意する。

視覚フィードバックパネルの高さの最も大きい部分が、Oculus Riftの上下方向の視野角に占める割合は直接提示と簡約提示共に16.25%である。簡約提示の重心位置を提示している部分における高さが視野角に占める割合は8.13%である。

7. 評価実験

アルペンスキーのVRトレーニング時における視覚フィードバックパネルの見やすさについて検討するために評価実験を行った。本実験では視覚フィードバック

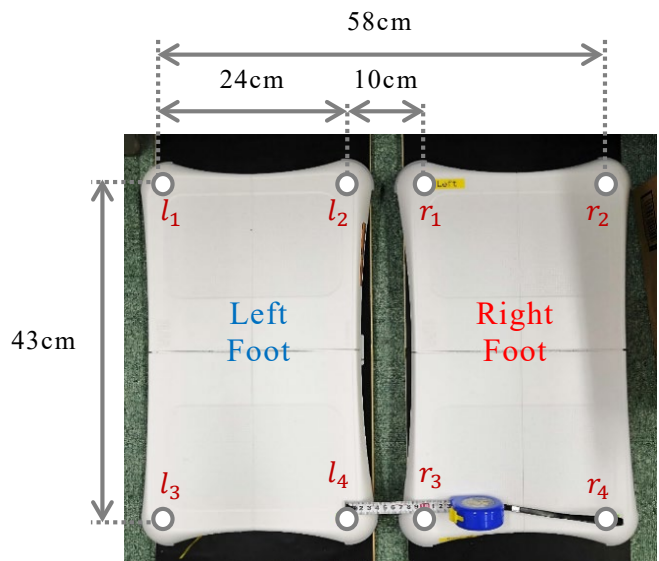


図3: Wii Balance Boardの各センサの位置

クパネルの提示位置の高さと不透過度について検討を行う。

被験者は、本稿で構築したアルペンスキーの VR トレーニングシステムを用いてシミュレーション及び評価を行う。被験者は 21 歳から 25 歳までの大学生 12 名で、スキーのスキルは経験がほぼない人からスムーズにパラレルターンが行える人まで含む。いずれの被験者も競技スキーの経験はない。評価実験は①視覚フィードバックパネルの提示位置の高さと不透過度の調整、②調整後の滑走体験、③アンケートの 3 段階で構成する。

7.1. 実験手順

評価実験の各段階の詳細について述べる。

① 視覚フィードバックパネルの提示位置の高さと不透過度の調整

被験者は図 1 に示すように 2 台のバランスボードの上に片足ずつ乗せて立ち、HMD を装着した状態で①と②の段階を行う。被験者は Oculus Remote を用いて視覚フィードバックパネルのパラメータ調整を行う。本実験で調整するパラメータは視覚フィードバックパネルの提示位置の高さと不透過度である。自分の好みの提示位置の高さ及び不透過度になるまで調整を行う。その間、アルペンスキーの競技者視点映像は繰り返し再生される。パラメータ調整終了後 Oculus Remote を回収する。

② 調整後の滑走体験

アルペンスキーの競技者視点映像を最初から再生し滑走を体験する。被験者自身が調整した視覚フィードバックパネルの提示位置の高さと不透過度は①で定めた状態とする。

③ アンケート

被験者は HMD を外してバランスボードから降り、視覚フィードバックについてのアンケートに回答する。アンケートの項目は 3 つで、(a)コースの見やすさに影響があったか、(b)重心位置を目視で確認できたか、(c)スキーコースと視覚フィードバックのどちらの見やすさを優先したか、である。

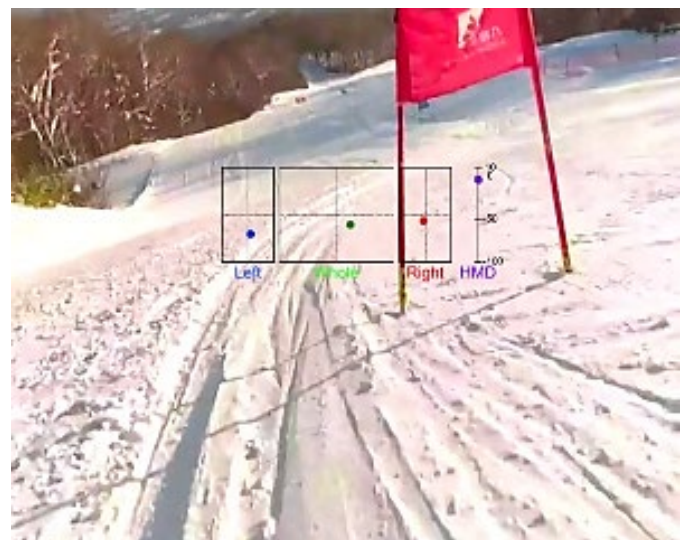
被験者は①~③を直接提示と簡約提示のそれぞれについて実施する。6 名の被験者は直接提示の評価のあとに簡約提示の評価を行い、残りの 6 名の被験者は簡約提示の評価のあとに直接提示の評価を行った。最後に被験者は総合アンケートについて回答を行う。総合アンケートの項目は 3 つで、スキーの経験及びスキルについて、直接提示と簡約提示の好みと理由について及び自由記述である。

7.2. 結果と考察

視覚フィードバックについてのアンケートの各項目と視覚フィードバックパネルの各パラメータの関係



提示位置の高さ : 0.18



提示位置の高さ : -0.01



提示位置の高さ : -0.545

図 4 : 視覚フィードバックパネルの提示位置

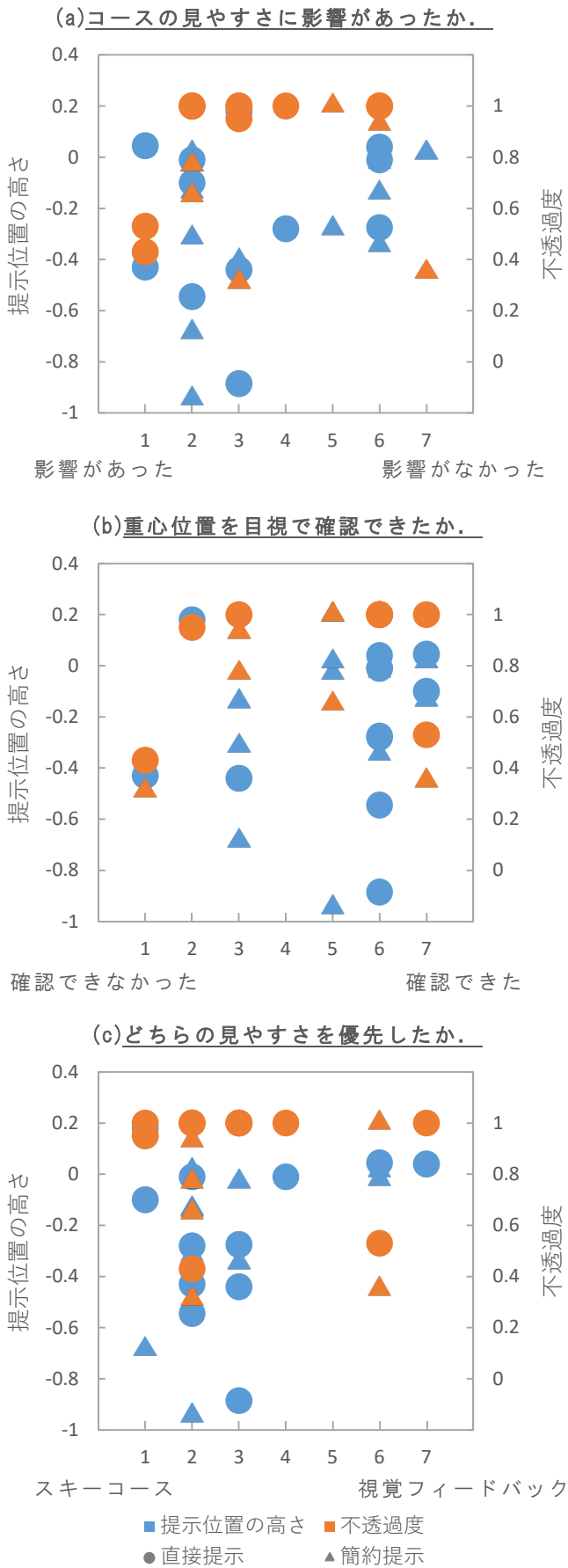


図 5 : 提示方法アンケート項目と各パラメータの関係

の結果を図 5 に示す. また, 提示位置の高さと不透過度の関係を図 6 に示す. 提示位置の高さは被験者の視野に対して上方向が正である. 視覚フィードバックが Oculus Rift の視野角内に全て収まる提示位置の高さはおよそ $-1.0 \sim 1.0$ である. 提示位置の高さが 1.0 のとき視覚フィードバックは Oculus Rift の視野角の上端にあり, -1.0 のとき下端にある. 提示位置の高さが 0.0 のとき視覚フィードバックパネルは視野の中央にある. ある提示位置の高さにおけるスキーコースと視覚フィードバックパネルの重なる例を図 4 に示す. 不透過度は 0.0 で完全に透明になり, 1.0 で全く透過しない状態になる. 提示方法の好みは直接提示の方を好む人が 6 名, 簡約提示の方を好む人が 6 名であった.

図 5 に示す結果からはアンケートの各項目と視覚フィードバックパネルの各パラメータの間に関連性は表れなかった. 関連性が現れなかった原因として視覚フィードバックによるコースの見にくさを軽減するために視覚フィードバックパネルを線と点を用いて作製したことにより提示を透過させる必要がなくなり, ほとんどの被験者が不透過度を 1.0 に設定したことが挙げられる. 図 6 に示す結果からは不透過度が 1.0 のときは様々な高さに配置されているが, 不透過度が 0.0 に近づくと視野の中心から離れたところに配置しないことが読み取れる. 12 名中 10 名が直接提示と簡約提示の双方において提示位置の高さを負の値に設定した. 残り 2 名は双方の提示方法において正の値に設定した. 視覚フィードバックパネルの提示位置は視野の中央より下側にあることを好む人が多いと推測できる. 提示方法の好みについては直接提示を好む人と簡約提示を好む人が共に 6 名ずつであったが, 直接提示を好む人

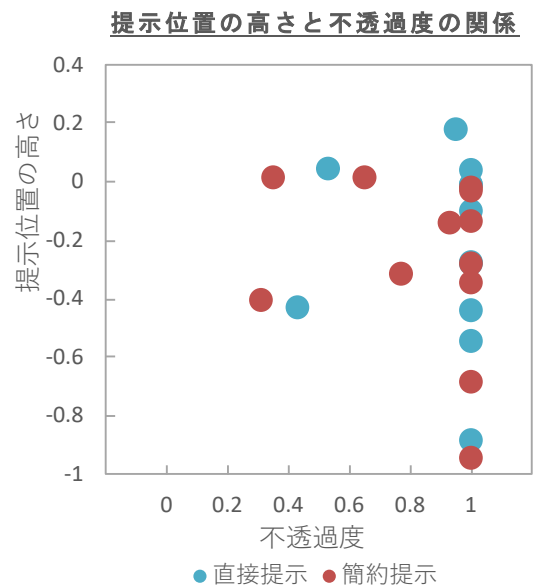


図 6 : 提示位置の高さと不透過度の関係

は「姿勢が後傾していないか確認できるため」や「重心の加速度が分かりやすかったため」等を理由として挙げており、詳細な情報を求める人が多かった。一方で、簡約提示を好む人は「直感的に理解しやすかったため」や「スキーコースが見やすかったため」等を理由として挙げており、分かりやすさや見やすさを求める人が多かった。以上の結果と考察から VR トレーニング時のスポーツ動作情報のリアルタイム視覚フィードバックについて、パネルの見やすさを定める適切なパラメータは人によって異なるという結果になった。

自由記述では、パネルの提示位置の左右方向や、提示の大きさ及び線の太さ等のパラメータ調整も行いたいという意見が見られた。また、本実験では直接提示と簡約提示においてパラメータ調整を各 1 回ずつ行ったが、複数回試してみたかったという意見も得られた。

8. おわりに

本稿では、アルペンスキーの VR トレーニングにおけるスポーツ動作情報についてのリアルタイム視覚フィードバック方法を提案した。事前に撮影した全方位の競技者視点映像を仮想空間にマッピングし HMD に投影した。スポーツ動作情報としてユーザーの重心位置、頭部の高さを取得した。取得したスポーツ動作情報を視覚フィードバックパネルを用いて競技者視点映像に重ねてユーザーに提示した。視覚フィードバックパネルの見やすさを定める提示位置の高さと不透過度について評価実験を行った。評価実験の結果、視覚フィードバックパネルの見やすさを定める適切なパラメータは人によって異なるということが分かった。

本研究の一部は科研費 19K22857 の助成を受けて行われた。ここに謝意を表す。

文 献

- [1] 株式会社楽天野球団, 株式会社 NTT データ, “世界初、プロ野球球団が監修した VR [バーチャルリアリティー] 技術による選手のトレーニングシステムを提供開始”, Sep.2016, <http://www.nttdata.com/jp/ja/news/release/2016/090500.html>
- [2] Dominic Brennan, “NFL Refs Using STRIVR’s VR Training Platform to Prepare for New Season,” Road to VR, Aug.2017, <https://www.roadtovr.com/nfl-refs-using-strivrs-vr-training-platform-prepare-new-season/>
- [3] Ruth Morey Sorrentino, Richard Levy, Larry Katz, and Xiufeng Peng, “Virtual Visualization: Preparation for the Olympic Games Long-Track Speed Skating,” International Journal of Computer Science in Sport, Vol.4, ed.1, pp.39-44, Apr.2005.
- [4] 佐野高也, 依田淳也, 中村壮亮, 橋本秀紀, “VR 技術を用いた身体位置感覚の較正によるパッティングトレーニングシステムに関する研究,” 日本機械学会論文集, Vol.83, No.848, pp.1-12, Apr.2017.
- [5] SkyTechSport, Inc., “Ski and Snowboard Simulators,” 2012, <http://www.skytechsport.com/>
- [6] Richard Kirby, “Development of a real-time performance measurement and feedback system for alpine skiers,” Sports Technology, Vol.2, No1-2, pp.43-52, April.2009.
- [7] Don Samitha Elvitigala, Denys J.C. Matthies, Loïc David, Chamod Weerasinghe, and Suranga Nanayakkara, “GymSoles: Improving Squats and Dead-Lifts by Visualizing the User's Center of Pressure,” Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.174:1–174:12, 2019.
- [8] Erwin Wu, Florian Perteneder, Hideki Koike, and Takayuki Nozawa, “How to VizSki: Visualizing Captured Skier Motion in a VR Ski Training Simulator,” The 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, No.5, pp.1-9, 2019