

スポーツ反復練習のための Virtual Reality を利用した高速度撮影システム

向井 稜^{1,a)} 井尻 敬¹

概要：本研究では、スポーツ練習におけるフォームの振り返りの支援を目的とし、Virtual Reality (VR) 技術と高速度カメラを統合した練習システムを提案する。提案システムにおいて、ユーザは Head Mounted Display を装着し、VR トラッカーを取り付けたバットまたはラケットを持ち、VR 空間内で練習を行う。この練習において、ユーザは投球・サーブされたボールをバット・ラケットにより打ち返す。その時、提案システムはユーザのスイングに合わせて実世界に配置した複数のカメラから高速度撮影を行い、この動画をユーザに提示する。これにより、ユーザは練習の様子を自動的に高速度動画として記録し、自身のフォームを振り返ることが可能となる。提案システムの有用性を評価するため、バットスイングとテニスのフォアハンドストロークを対象にユーザスタディを実施した。結果、実験参加者より提案システムの練習利用に関して肯定的な意見が得られた。

1. はじめに

スポーツの技術向上には練習中の動作の振り返りが重要である。そのため、鏡や動画撮影により自身の姿勢を確認しながら練習が行われることも多い。また、スマートフォンにも搭載されるなど、高速度撮影機能を持つカメラが普及しており、これを利用することで高速な動作の詳細な振り返りも可能になりつつある。しかし、一般的に、汎用高速度カメラには撮影可能時間に制限があり、スポーツ練習に利用するには、動作のタイミングに合わせて録画開始・終了を指定する必要がある。そのため、練習者とは別に撮影者が必要となり、一人で練習と高速度撮影を行うことは難しい。

スポーツの練習支援のため、Virtual Reality (VR) 技術や Mixed Reality (MR) 技術を利用して、様々な視点から練習者の姿勢を表示する試みがなされている。例えば、練習者に追従するドローンの映像 [1]、モーションキャプチャーより取得した練習者の姿勢 [2]、3 次元姿勢推定より取得したバッターの姿勢 [3] を VR・MR 空間に表示することで、練習者が様々な視点から自身の姿勢を確認できる手法が提案されている。また、練習者の姿勢と理想の姿勢との差を VR・MR 空間に可視化する手法が提案されている。例えば、ダンス [4], [5]、武道 [6]、バスケ [7]、アルペニスキ [8] における練習者の姿勢と理想の姿勢を並べて

¹ 芝浦工業大学

a) ma20093@shibaura-it.ac.jp

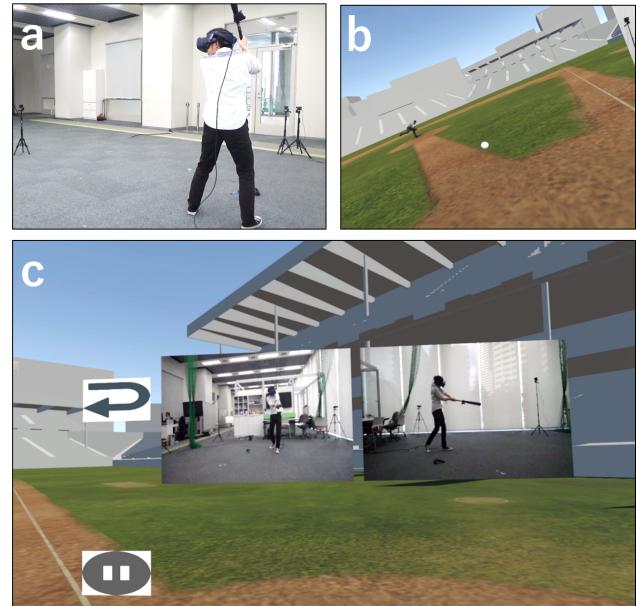


図 1 提案システムを用いた練習の様子。練習者は好きな位置に高速度カメラを配置し、HMD を装着し、バットを持った状態で練習を行う (a)。練習時、VR 空間にて投球されたボールに対してスイングを行う (b)。スイングの様子は実世界の高速度カメラにより撮影され、後から、自身のスロー動画を確認できる (c)。

表示する手法が提案されている。しかし、これらの手法は実世界での練習の様子を撮影し振り返るためのものではない。また、高速な動作を詳細に観察するための高速度動画の利用も議論されていない。

本研究では、スポーツ練習の効率的な振り返りの支援を目的とし、VR空間におけるスイング練習の様子を高速度撮影し、その様子を見返すことのできる練習システムを提案する（図1）。提案システムは、Head Mounted Display (HMD)、VRトラッカー、Webカメラ、高速度撮影機能付きアクションカメラ（以下、高速度カメラ）、計算機より構成される。ユーザはHMDを装着し、VRトラッカーを取り付けたバットまたはラケットを持ち練習を行う（図1a）。練習時、ユーザはVR空間において、投球・サーブされたボールをバット・ラケットにより打ち返す（図1b）。提案システムは、ユーザのスイングに合わせて自動的に高速度撮影を行い、この動画をユーザに提示する（図1c）。これにより、ユーザは練習の様子を自動的に高速度動画として記録し、自身のフォームを振り返ることが可能となる。また、提案システムでは自由な位置にボールを投球できるため、内角高めや外角低めなど、特定のコースに対するスイングの様子を撮影し振り返ることが可能である。

提案システムの有用性を確認するために、野球のバットスイングとテニスのフォアハンドストロークを対象としてユーザスタディを実施した。結果、実験参加者のアンケートより『内角高めや外角低めなどのコースを意識したスイングの練習ができる』や『コース毎に適したスイングになっているかを確認できる』といった肯定的なコメントが得られた。また、特定のコースに対するスイングの様子を撮影することは練習者の動作確認に有効であることが分かった。

2. 関連研究

2.1 VR技術を利用したスポーツの練習支援

スポーツの練習支援のため、VR技術やMR技術を利用して、様々な視点から見た練習者の姿勢を可視化する試みがなされている。Higuchiら[1]は練習者に追従するドローンの映像をHMDに表示することで様々な視点から練習者の姿勢を確認できるシステムを提案した。Hamanishiら[2]はモーションキャプチャで取得した練習者のスケルトンをMR空間に配置することで練習者の姿勢を客観視できる手法を提案した。Takahashiら[3]はセンサと3次元姿勢推定から練習者の姿勢を取得し、VR空間に練習者のスケルトンを表示することでバッティング練習を支援するシステムを提案した。

また、練習者の姿勢と理想の姿勢との差を可視化する研究も行われている。ダンスを対象に練習者の姿勢と理想の姿勢を、VR空間[4]やMR空間[5]に可視化する試みが行われている。Hoangら[6]は、VR空間に練習者の姿勢とお手本の姿勢をスケルトン表示することで武道の練習を支援する手法を提案した。Linら[7]は、実際と理想のボール軌道を提示するバスケットボールのフリースロー練習システムを提案した。また、Wuら[8]はスキー経験者の体の動きや滑走経

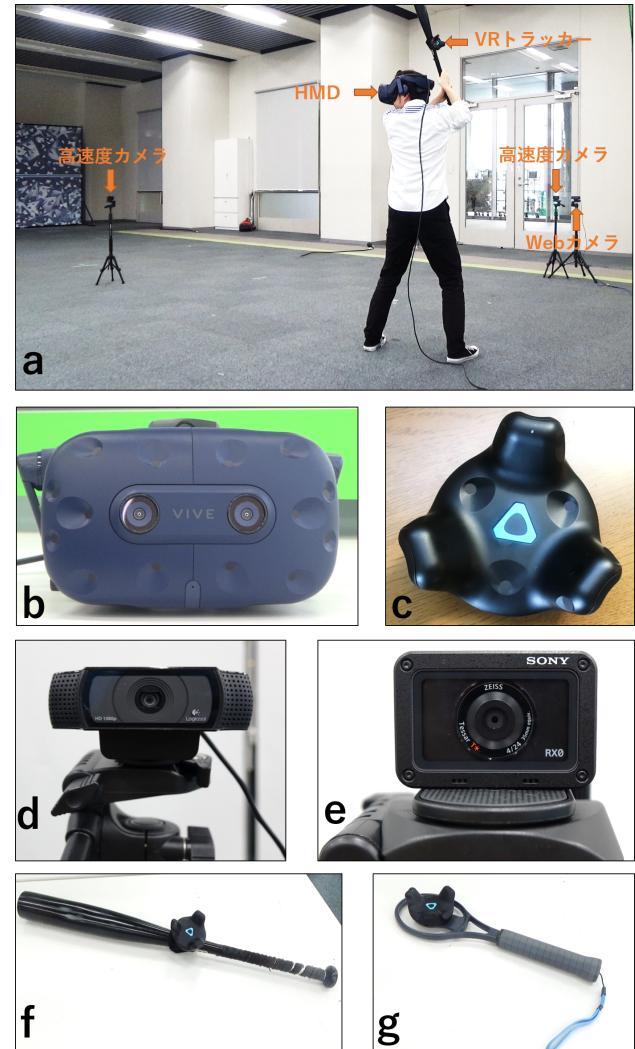


図2 提案システムの全体像(a)。提案システムは、HMD(b)、VRトラッカー(c)、Webカメラ(d)、高速度カメラ(e)、計算機より構成される。VRトラッカー(c)はバット・ラケットに取り付けられる(f,g)。

路の軌跡を表示することでアルペンスキーの練習支援を行う手法を提案した。

これらの手法はVR空間を効果的に利用することで練習者の姿勢を可視化している。しかし、これらの手法は練習の様子を撮影し振り返るためのものではない。また、素早い動きを観察するための高速度撮影についても議論されていない。

2.2 特定動作の自動撮影

スポーツや武道の練習のため、武道の高速な動作[9]や事前登録したスポーツ動作を自動撮影し、スマートミラーにより再生できるシステムが提案されている。我々研究グループは、事前登録されたスポーツ動作を自動検出・高速度撮影し後から見返すことのできるスマートミラーシステム[10]を提案した。他にも、タブレットPCと小型アクションカメラを活用することで、スポーツ動作の事前登録・

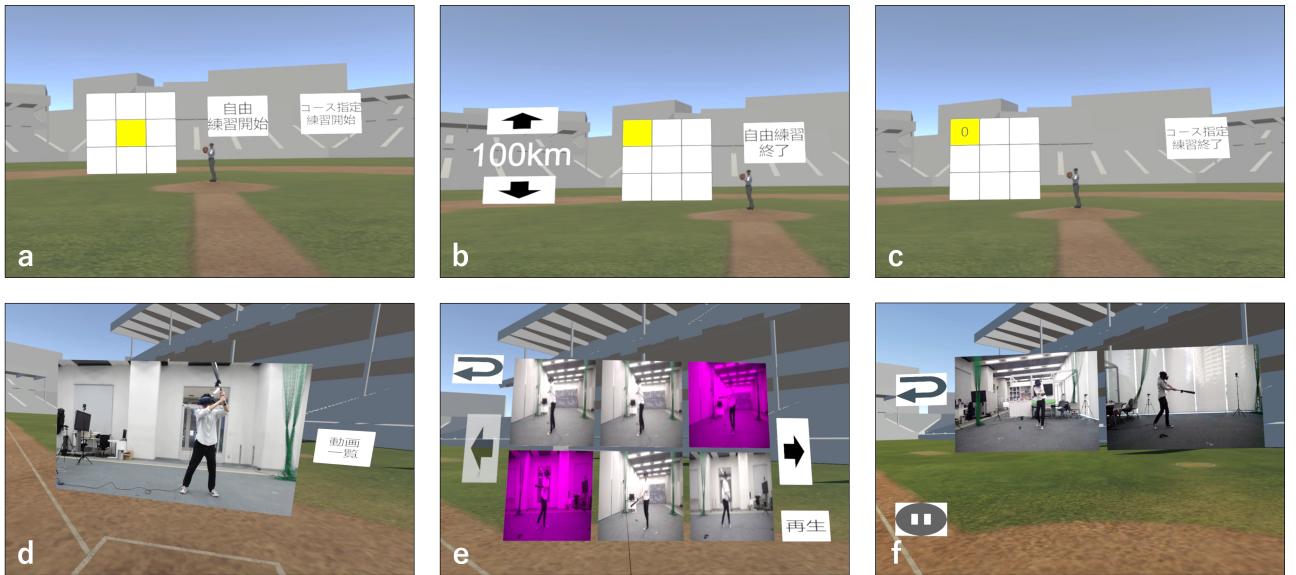


図 3 ユーザインターフェース（野球の例）．提案システムを起動すると前方に練習モードを選択するボタンが表示される（a）．『自由練習開始』を選択するとコース・球速を自由に選択しながら練習を行える（b）．『コース指定練習開始』を選択すると事前に指定されたコースに投球・サーブが行われ、コースと球数が前方に表示される（c）．ユーザの右側にはWeb カメラの映像（実世界の様子）が表示される（d）．『動画一覧』ボタン（d）を押すと撮影された高速度動画の一覧が表示され（e），選択した動画を視聴できる（f）．

自動検出・高速度撮影を行えるシステムを提案した[11]。しかし、これらの手法は事前登録した動作の検出により動画を撮影するものであるため、登録動作と多少異なる動作に対しては、動作検出が安定しないという課題がある。

3. 提案手法

3.1 提案システムの概要

本研究では、スポーツ練習の効率的な振り返りの支援を目的とし、VR 空間で練習を行い、その様子を実世界において高速度撮影し、見返すことができるシステムを提案する。提案システムは、HMD（図 2b）、VR トラッカー（図 2c）、Web カメラ（図 2d）、高速度カメラ（図 2e）、計算機より構成される。Web カメラはユーザの全身が映る位置に三脚等を用いて配置され、その映像は実世界におけるユーザの様子を VR 空間に表示するために利用される、また、高速度カメラはユーザの好みの位置に配置され、動作の高速度撮影に利用される。図 2a は各要素を配置し、練習を行っている例である。

提案システムにおいて、ユーザは HMD を装着し、練習場を模した VR 空間に入り込む。ユーザは、VR トラッカーを取り付けたバット（図 2f）またはラケット（図 2g）を持ち練習を行う。VR 空間に表示されるバット・ラケットは実世界のバット・ラケットと同期して動くため、ユーザは実際のバット・ラケットを持つ感覚で練習を行える。練習時、ユーザは VR 空間で投球・サーブされたボールをバット・ラケットにより打ち返す。その際、提案システム

はユーザのスイングに合わせて実世界に配置した複数のカメラより高速度撮影を行う。また、ユーザは、VR コントローラにより、コース・球速の指定や撮影された動画の再生を行える。

本研究では、高速度カメラとして、Wifi 通信により撮影開始・終了を指定可能な Sony RX0 を利用する。このカメラは、高速度撮影した動画を約 20 秒程度かけてカメラ内の SD カードへ保存する。提案システムは、SD カード保存時に並行して計算機へ動画を転送する。この高速度カメラは 5 台まで同時に接続し撮影可能であるが、転送時にボトルネックがあるため、今回は安定動作を確認できた 2 台の並列利用をすることとした。

3.2 ユーザインターフェース

提案システムを起動すると VR 空間ににおいて、ユーザの前方にコースや練習モードを選択する UI（図 3a）が配置される。また、Web カメラより撮影された映像（図 3d）がユーザの右側に配置される。この映像は等身大で表示され、鏡のように利用することができる。

提案システムは『自由練習モード』と『コース指定練習モード』の 2 種類の練習モードを持つ。システム起動直後、ユーザは前方に配置されたボタン（図 3a）よりいずれかのモードを選択可能である。自由練習モードは、ユーザが自由にコース・球速を選択しながら練習するためのモードである。このモードでは、次のボールのコースと球速を指定するボタンが前方に表示される（図 3b）。この練習モ-

ドでは、投球・サーブごとに毎回高速度撮影が行われる。コース指定練習モードは、事前に指定された特定のコースに対する練習を行うためのモードである。このモードでは、次に投球されるコースが黄色くハイライトされ投球回数が表示される（図3c）。また、この練習モードでは、事前に指定されたコースに4球ずつ投球・サーブされ、1~3球目は練習として高速度撮影は行わず、4球目に高速度撮影を行う。

練習モードを開始すると頭上に『スタート』ボタンが表示される（図4）。ユーザがVR空間のバット・ラケットでの『スタート』ボタンにさわると3秒のカウントダウンの後、投球・サーブが開始される。

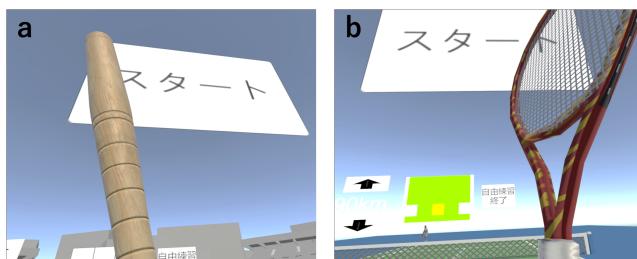


図4 VR空間のバット(a)・ラケット(b)でユーザの頭上に表示された『スタート』ボタンにふれる様子。

一連の練習の後、ユーザは撮影された高速度動画を視聴できる。ユーザが『動画一覧』ボタン（図3d）を押すと、撮影された高速度動画の一覧が表示される（図3e）。ユーザは動画を一つまたは複数選択し『再生』ボタン（図3e）を押すことで選択した動画をVR空間内で視聴できる（図3f）。この複数再生機能により、異なる角度から撮影された高速度動画を同時に視聴することや、同じ視点から撮影された複数の動画を比較することが可能となる。

3.3 練習シーン

現在、提案システムには、野球・テニスの練習用のシーンが用意されている。それぞれ説明する。

野球シーンでは、野球場を模したVR空間で練習を行う。ユーザの前方には3Dアバターの投手が配置され、練習を開始すると投手が投球を行う（図1b）。このシーンでは、ストライクゾーンを 3×3 分割した9コースの指定と、80~150km/hの範囲で速度指定が可能である（図3b）。

テニスシーンでは、テニスコートを模したVR空間で練習を行う。ユーザの前方には3Dアバターのサーバーが配置され、練習を開始するとサーバーがサーブを行う（図5a）。このシーンでは、テニスコート半面を縦軸に3分割した3つのコースと、80~100km/hの範囲で速度指定が可能である（図5b）。

3.4 撮影タイミング

既存手法[10], [11]では、姿勢推定手法を活用すること

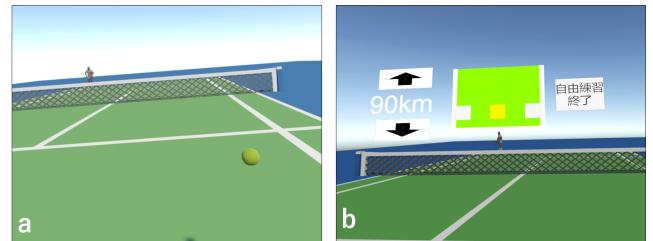


図5 テニスシーン。相手コートのアバターがサーブしたボールを打ち返す(a)。ユーザの前方にはコースや速度を指定するボタンが配置される(b)。

で、事前登録した動作が検出されたタイミングで高速度撮影を行っていた。そのため、登録動作と異なる動作をした場合に動作検出が安定しない問題があった。一方、提案システムでは、投球・サーブされたボールがVR空間の特定位置（野球シーンではマウンドとホームベースの中間、テニスシーンではネットの上）を通過した際に、高速度カメラに信号を出し、高速度撮影を行う。このように、VR空間の情報を利用し撮影を行うことで、ユーザのフォームに関係なく安定した高速度撮影が可能である。

4. ユーザスタディ

提案システムの有用性を確認するため、ユーザスタディを実施する。このユーザスタディは、野球のスイングとテニスのフォアハンドストローク練習を想定し、野球経験者またはテニス経験者の協力のもと実施する。

4.1 タスク内容

各実験参加者が行うタスクの内容は以下の通りである。まず、各参加者は本研究の目的・内容、および、提案システムの使い方について説明をうける。次に、提案システムに慣れるため、コース指定練習モードを利用して野球は4コース、テニスは3コースのスイング練習を体験する。上記のコースの内訳は、野球では、内角高め・外角高め・内角低め・外角低めである。また、テニスでは、中央・左・右である。その後、各参加者は、もう一度、提案システムのコース指定練習モードを用いて上記と同じコースの練習を行う。上記の練習の後、各参加者は、撮影された高速度動画を観察し、自身の理想のスイングと撮影されたスイングを比較してコメントをする。

続いて、各参加者は、自由練習モードを用いてコースや球速を自由に指定してスイングの練習を行い、撮影された動画の視聴を行う。最後に、提案システムの使いやすさや練習効果に関するアンケートに回答する。アンケートは、図6に示す6項目に対し、それぞれ4段階のリッカート尺度で回答するものである。また、各項目について、フリーディスカッション形式でコメントをもらう。今回の実験では、撮影に利用する高速度カメラは、練習者の前方と右側

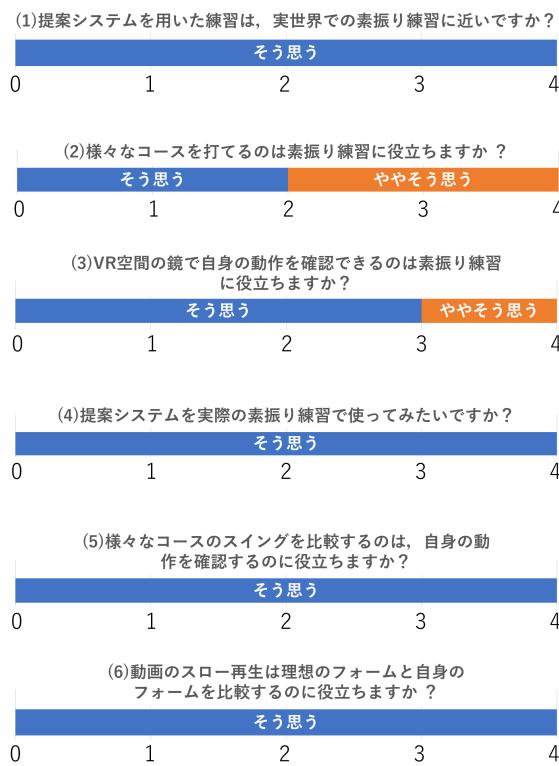


図 6 アンケート項目とその結果.

に配置する。

4.2 ユーザスタディ結果と考察

野球経験者 3 人とテニス経験者 1 人に、前述の手順で提案システムを体験してもらった。野球経験者には野球シーンをテニス経験者にはテニスシーンを体験してもらった。アンケートへの回答結果を図 6 に、また、各項目への代表的なコメントを以下に示す。

提案システムを用いた練習は、実世界での素振り練習に近いですか？この項目について、すべての参加者がそう思うと回答した。また、『実際のバットやラケットの重さを感じられたので、実世界の素振り練習の感覚に近かった』『VR 空間のバットやラケットが実世界のものと同期していたため違和感なく素振り練習を行えた』『VR 空間のボールを意識しながら素振り練習を行えるため、実世界の素振り練習より効率的に練習できる』という肯定的な意見が得られた。この回答から、提案システムを利用した練習は、実世界での素振り練習と似た感覚で行えることが分かった。

一方で、『HMD によって視野角が狭まることでボールを見失う』『テニスの練習において、HMD のケーブルがあり思い通り動けなかった』という否定的な意見も得られた。テニスなど、大きな移動を伴うスポーツでは HMD のケーブルが練習の大きな妨げになるため、移動を伴うスポーツは提案システムの応用としては不向きである可能性も示唆された。

様々なコースを打てるのは素振り練習に役立ちますか？こ

の項目への回答は、参加者ごとに異なる結果となった。肯定的なものとして、『必ず指定したコースに飛んでくるため、ピッチングマシンなどをを使った練習より効率的に練習できる』『内角高めや外角低めなどのコースを意識したスイングの練習ができる』『テニスにおいては、素振り練習よりも球出し練習やフットワークの練習に近く、足の運びの練習ができる』という意見が得られた。一方、『もう少しコースを細かく指定したい』という意見も得られた。この項目への回答から、様々なコースの打球を練習できることについて、練習者が肯定的に捉えたことが分かる。

VR 空間の鏡で自身の動作を確認できるのは素振り練習に役立ちますか？この項目については、4 人中 3 人がそう思うと回答した。また、『実世界の鏡と同じように使うことができた』『練習の途中に自分のスイングを確認できるのが良い』『振る前と振り終わりの動作の確認に利用した』との意見が得られた。一方、『VR 空間でボールを打つとき、飛んでくるボールを見るため、打球時にスイングを確認するのは難しい』『鏡を使うより、撮影された動画のほうで動作を確認した』という意見も得られた。この項目への回答より、VR 空間の鏡は動作の確認に役立つものの、ボールに対してスイングをする際には利用されないことが分かった。

提案システムを実際の素振り練習で使ってみたいですか？この項目については、参加者全員がそう思うと回答した。また、『実世界での素振り練習よりも楽しく練習を行える』『デッドボールの危険がないため安全に練習を行える』『スピードの感覚を掴むのに役立つ』『素振り練習よりも提案システムを使った練習をしたい』『一人で様々なコースのスイングの練習・撮影ができるのが良い』という意見が得られた。一方、『コースや球速をランダムで投げられる機能があると、より実践的な練習ができる』との意見が得られた。より効果的な練習のため、今後、コースや球速をランダムで投げられる機能を提供したい。

様々なコースのスイングを比較するのは、自身の動作を詳細に確認するのに役立ちますか？この項目については、参加者全員がそう思うと回答した。また、『コース毎に適したスイングになっているかを確認できる』『コースごとに力の入れ方が変わってないかが分かる』等の意見が得られた。一方、『動画選択時にコースや球速ごとに動画をソートをしたい』という意見もあった。この項目への回答から、様々なスイング動画を比較できるのは動作の観察に役立つことが分かった。今後、コースや球速ごとに動画をソートする機能を追加することで、提案システムのユーザビリティを向上させたい。

動画のスロー再生は理想のフォームと自身のフォームを比較するのに役立ちますか？この項目については、参加者全員がそう思うと回答した。また、『スローで動画を視聴できるため、細かなところまで理想のフォームと比較でき

る』『スローでバットの軌道、ミートポイント（腕の返る位置）、体の使い方（体の軸・腰のひねり・足の伸びなど）を見れるため、自身の動作をより詳細に観察しやすい』『テニスのフォアハンドストロークにおける体のひねりや足の運びをじっくり確認できる』との意見が得られた。この項目への回答から、スポーツ練習において、高速度撮影した動画を見返すことは有効であると多くの参加者が肯定的にとらえたことが分かる。

5.まとめと展望

本研究では、スポーツ練習の効率的な振り返りの支援を目的とし、VR空間でスイング練習を行い、その様子を実世界において高速度撮影し、見返すことができるシステムを提案した。提案システムの有用性を確認するために、バットスイングおよびテニスのフォアハンドストロークに着目したユーザスタディを実施した。その結果、提案システムの練習感覚、VR空間におけるコースを指定した練習、高速度カメラによるスロー動画再生などについて、実験参加者より肯定的な意見が得られた。

我々の将来課題として、より実践的な練習のため、コース・球速をランダムで投げる機能や、ボールのコース・球速で、撮影した高速度動画をソートする機能の適用が挙げられる。また、今後、スタンダード型HMDやシースルーモード型HMDの導入により、テニスやバドミントンのような大きな移動やジャンプを伴うスポーツでも安全に利用できるよう、提案システムを改良したい。

謝辞 ユーザスタディに参加していただいた皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Higuchi, K., Shimada, T. and Rekimoto, J.: Flying sports assistant: External visual imagery representation for sports training, p. 7 (2011).
- [2] Hamanishi, N., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: Assisting viewpoint to understand own posture as an avatar in-situuation, pp. 1–8 (2019).
- [3] Takahashi, K., Mikami, D., Isogawa, M., Kusachi, Y. and Sajio, N.: VR-based Batter Training System with Motion Sensing and Performance Visualization, *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 1353–1354 (2019).
- [4] Chan, J. C., Leung, H., Tang, J. K. and Komura, T.: A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology, *IEEE transactions on learning technologies*, Vol. 4, No. 2, pp. 187–195 (2010).
- [5] Yan, S., Ding, G., Guan, Z., Sun, N., Li, H. and Zhang, L.: OutsideMe: Augmenting Dancer's External Self-Image by Using A Mixed Reality System, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (2015).
- [6] Hoang, T., Reinoso, M., Vetere, F. and Tanin, E.: One-body: Remote Posture Guidance System using First Person View in Virtual Environment (2016).
- [7] Lin, T., Singh, R., Yang, Y., Nobre, C., Beyer, J., Smith, M. A. and Pfister, H.: Towards an Understanding of Situated AR Visualization for Basketball Free-Throw Training, *CoRR*, Vol. abs/2104.04118 (2021).
- [8] Wu, E., Nozawa, T., Perteneder, F. and Koike, H.: VR Alpine Ski Training Augmentation using Visual Cues of Leading Skier, pp. 3836–3845 (2020).
- [9] Hämäläinen, P.: Interactive Video Mirrors for Sports training, *Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*, pp. 199–202 (2004).
- [10] 新野大輔, 井尻敬: 姿勢検出法を活用したスポーツ反復練習のためのスマートミラーシステム, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, Vol. 2019, pp. 138–144 (2019).
- [11] 向井 稔, 武藤駿嗣, 井尻 敬: スポーツ練習支援のための複数高速度カメラを用いた多視点自動撮影システム, 技術報告 28, 芝浦工業大学 (2021).