VR 空間で演じられたディアボロジャグリングへの視聴者の評価

井手康太[†1]　　堀江亮太[†1]

近年，VR 空間で開催されるイベントが注目を集めている．我々はジャグリングによるステージパフォーマンスに着目し，その一種であるディアボロの演技を VR 空間で行うシステムを開発した．このシステムを用いた VR 空間でのディアボロの演技 1 種類と，現実空間でのディアボロの演技 2 種類を，それぞれ平面動画として視聴させる主観評価実験を行ったところ，視聴者による演技の評価基準は VR 空間で演じられた動画と現実空間で演じられた動画の間で変わらないという傾向が示唆された．

Audiences' evaluation of diabolo juggling performed in VR space

KOTA IDE[†1]　RYOTA HORIE[†1]

In recent years, events held in VR space have been attracting attention. We have developed a system to perform Diabolo, a kind of juggling performance, in VR space. We conducted subjective evaluation experiments. Audiences watched three two-dimensional movies of a diabolo performance, one performed in VR space using the system and other two performed in real space. Results suggested that criteria for evaluating the performances did not change between the movie of a performance in VR space and ones in real space.

1. はじめに

近年，VR ヘッドマウントディスプレイ（VRHMD）の普及が始まっており[1]，VR 空間で開催される音楽ライブや展示会などのイベントが注目を集めている．我々は VR 空間でのジャグリングによるステージパフォーマンスに着目し，その一種であるディアボロの演技を VR 空間で行うシステムを開発した．ディアボロとはお椀を 2 つ繋げたような形状をした独楽であり，2 本のハンドスティックに通した紐によって操ることで，様々な技を行うことができる．

VR 空間で行うディアボロの演技の特徴として，コンピュータによって道具を操作することで，技の成功を支援することが可能であるという点があげられる．例えば現実空間におけるディアボロの演技では，ディアボロを意図した地点より前方に飛ばしてしまい，手が届かずキャッチを失敗するといったことが起こる．しかし VR 空間ならば，意図した地点にディアボロが落ちてくるようコンピュータによって操作し，軌道を修正することで，キャッチの失敗を減らすことができる．このようなコンピュータによる操作が行われている場合，技の難易度は低下する．コンピュータによる操作が視覚的に自然に行われる場合，VR 空間で行われる技がどの程度コンピュータによって支援されているのか，視聴者が正確に推測することは困難である．

また，ジャグリングの物体を触る，持ち上げるといった動作をした際に感じられる力覚情報は，VR 空間と現実空間で乖離している．VR 空間でけん玉の練習を行わせた研究 [2]では，重さ・振動・感覚といったハプティクスに関する部分に現実空間との差異を感じる被験者がいたことが報告されている．触力覚の代用として聴覚フィードバックを用いる手法[3]や，重量感覚を提示するために手の動きに対して把持した物体の動きの速度や移動距離を変化させる手法[4]など，多くの力覚提示手法が提案されているが，VR 空間で現実と全く同じ感覚を提示するには至っていない．また，VR 空間では紐のような細い物体の非貫通処理は困難であり，演者はディアボロが紐をすり抜けないように注意を払いながら演技を行う必要がある．得られる力覚情報や払わなければならない注意の差により，コンピュータによる演技の支援を行っていなかったとしても，現実空間で行われた演技と VR 空間で行われた演技の間で難易度の差は生じるといえる．

このように，コンピュータによる支援の有無や現実空間との力覚情報の違いなど，VR 空間特有の条件が演技の難易度に影響を与えているが，同様に視聴者からの演技に対する評価にも影響を与えている可能性が考えられる．

本研究では VR 空間で行われたディアボロの演技に対し，視聴者がどのような評価を行うのか調査することで，VR 空間での演技を設計する際の指針を導くことを目的とし，VR 空間におけるディアボロの演技と現実空間におけるディアボロの演技をそれぞれ平面動画として視聴させる実験を行った．

本論文では，我々の開発した VR 空間でディアボロの演技を行うシステムの詳細と，VR 空間におけるディアボロの演技と現実空間におけるディアボロの演技の平面動画を視聴させる実験から得たアンケートの結果について述べる．

2. VR ディアボロシステム

本システムでは VRHMD として Facebook 社の Oculus Rift

†1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科
Shibaura Institute of Technology, Graduate School of Engineering and Science

ⓒ2021 Information Processing Society of Japan

S，コントローラとして同じく Facebook 社の Oculus Touch を用いる．システムの開発環境には Unity Technologies 社が提供する Unity 2019.4.26 を利用した．

本システムを用いて VR 空間でディアボロの演技を行っている現実空間の演者の様子を図 1, 同時刻における VR 空間の演者アバターの様子を図 2 に示す．演者アバターはピクシブ株式会社が提供する VRoid Studio を用いて自作した．演者は両手に持ったコントローラによってハンドスティック（図 3）を掴み，動かすことで，ハンドスティックに繋がっている紐を介してディアボロ（図 4）を操る．ディアボロは Unity に統合されている ProBuilder 機能によって自作した．現状では，ディアボロの軸を水平にした状態（水平軸）で行う技の一部を再現することができる．

ハンドスティックに繋がっている紐には Virtual Method Studio 社の Obi Rope を使用した．本システムでは図 5 に示す振動制御によって，ハンドスティックを前後（図 5 の Z 軸方向）へ素早く動かしたときに紐が大きく振動し続けるといった現実の紐とかけ離れた挙動をしないよう制御を行った．ハンドスティックの先端に紐のみと衝突する 2 枚の壁を作り，この壁で紐を挟みこむことで，紐の移動可能範囲を両手のハンドスティックの先端で挟まれた Z 座標内に制限した．ほとんどのディアボロの水平軸技において，この挟まれた Z 座標の外に紐が出ることはないため，演技に支障は出ない．

現実空間のディアボロの演技では，紐との摩擦によってディアボロを回転させることで傾かないように安定させるが，VR 空間で紐との摩擦によるディアボロの回転を再現することは困難である．よって，本システムではディアボロを回転させることによって安定させるのではなく，Unity の機能によりディアボロが図 4 の X 軸と Y 軸周りの回転をしないよう制限することで傾かないように設定した．

VR 空間の演者アバターは RootMotion 社の Final IK を用いて操作する．Final IK を用いることで，頭部に装着した VRHMD と両手に持ったコントローラの 3 点の位置情報のみからアバターの全身を動かすことができる．

図 1　現実空間における演者の様子

図 2　VR 空間における演者の様子

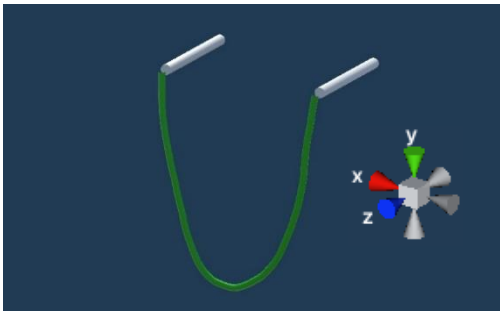

図 3　VR 空間のハンドスティック

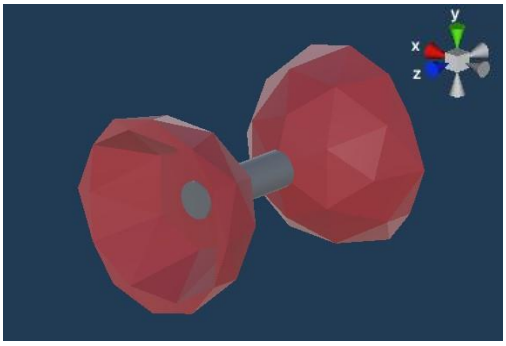

図 4　VR 空間のディアボロ

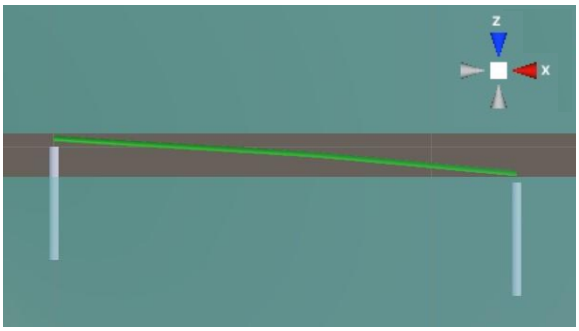

図 5　紐の振動制御

3. 実験

3.1 演技構成

本実験において，ディアボロの演技は複数の技を楽曲に

ⓒ2021 Information Processing Society of Japan

合わせて組み合わせることで構成されている．また，使用する楽曲は Khaim の Blue Ever[5]で統一している．楽曲の長さは 56 秒であり，演技の長さもこれに等しい．全ての演技において，演者は 6 年間のディアボロ演技経験を持つ本論文の第一著者が担当した．

本実験では，構成する技が同じ VR 空間の演技と現実空間の演技の間で視聴者からの評価に差がみられるか確認するため，同じ初歩的な技の組み合わせについて VR 空間と現実空間で演技を行い，平面動画として視聴させた．また比較対象として，中級者向けの技を組み合わせた現実空間での演技も行い，平面動画として視聴させた．視聴させた 3 種類の演技について表 1 に示す．

表 1　視聴させた演技

名称	空間	構成	難易度
演技 VR	VR	初歩的な技で構成	難
演技 A	現実	初歩的な技で構成	易
演技 B	現実	中級者向けの技で構成	普

表 1 における演技 VR は VR 空間におけるディアボロの演技である．演技 VR ではコンピュータによるディアボロが傾かないようにする支援に加え，ディアボロを上方向へ放る際に前後（図 5 の Z 軸方向）へ逸れないようにするための支援を行っているが，これは VR 特有の操作感によりディアボロが過剰に前後に逸れやすくなる問題を解決するためのものであり，現実のディアボロより難易度を大幅に下げるような支援ではない．そのうえで，ディアボロの重さを感じられない，ディアボロが紐をすり抜けないように注意する必要があるといった難易度を大幅に向上させる要素の存在により，演技 VR は初歩的な技のみで構成されているが難易度は高い．演技 A は演技 VR と同じ技構成のディアボロの演技を現実空間で行ったものである．初歩的な技でのみ構成されているため難易度は低い．演技 B は中級者向けの技を組み入れた現実空間におけるディアボロの演技である．中級者向けの技を行うため，難易度は演技 A より高いが，演技 VR よりは低い．演技開始から 28 秒時点における演技 VR，演技 A，演技 B の動画の様子をそれぞれ図 6，図 7，図 8 に示す．

図 6　演技 VR の動画

図 7　演技 A の動画

図 8　演技 B の動画

3.2 実験手順

実験は被験者 11 人に対して行った．まず，被験者の属性についてのアンケートに回答させ，次に，表 1 に示した演技の動画を，カウンターバランスを考慮して指定した順番で視聴させた．ひとつの演技を視聴するごとにその演技についてのアンケートに回答させ，3 種類の演技を視聴させた後，全ての演技についてのアンケートに回答させた．また，実験から 4 日後に追加アンケートを配布し，5 人の回答者を得た．

3.3 視聴方法

本実験において，動画の視聴は被験者の自宅の PC で行わせた．PC のモニターと目の間の距離は PC モニターの縦の長さの 2 倍とした．また，すべての動画はフルスクリーンモードで視聴させた．

4. アンケート結果

4.1 面白さ

面白いと感じた演技の順位の回答結果を図 9 に示す．この回答結果に対し Friedman 検定を行ったところ有意差が認められた（p=0.0011）ため，Wilcoxon の符号順位検定（Bonferroni 補正）により各群間を比較した．その結果を表 2 に示す．演技 B は演技 VR と演技 A より面白さの順位が有意に高いという結果が得られた．

また，3 種類の演技についてそれぞれ「面白いと感じたか」という質問を行い，「非常に感じなかった」を 1，「非

ⓒ2021 Information Processing Society of Japan

常に感じた」を 7 とした 7 段階リッカート尺度で回答させた結果を表 3 に示す．この回答結果に対して Shapiro-Wilk 検定を行ったところ，標本分布は正規分布に従っているとは言えなかった（p=0.0014）．よって Friedman 検定を行ったところ有意差が認められた（p=0.0016）ため，Wilcoxon の符号順位検定（Bonferroni 補正）により各群間を比較した．その結果を表 4 に示す．演技 B は演技 VR と演技 A より面白さの評価値が有意に高いという結果が得られた．

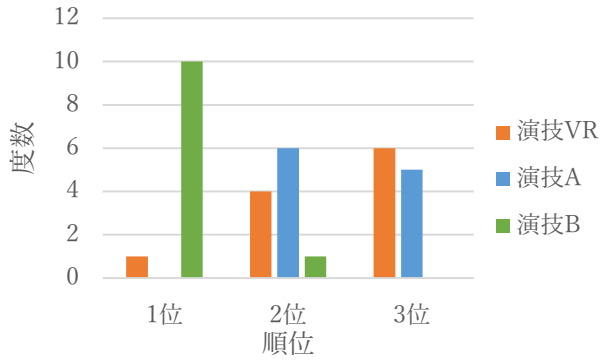

図 9　面白さの順位

表 2　面白さの順位の検定結果

比較対象	p 値
演技 VR と演技 A	1.0
演技 VR と演技 B	0.021
演技 A と演技 B	0.0084

表 3　面白さの評価値

名称	平均	分散
演技 VR	4.91	2.09
演技 A	4.82	2.56
演技 B	6.00	1.20

表 4　面白さの評価値の検定結果

比較対象	p 値
演技 VR と演技 A	1.0
演技 VR と演技 B	0.041
演技 A と演技 B	0.022

4.2 難易度

難しそうだと感じた演技の順番の回答結果を図 10 に示す．この回答結果に対し Friedman 検定を行ったところ有意差が認められた（p=0.00021）ため，Wilcoxon の符号順位検定（Bonferroni 補正）により各群間を比較した．その結果を表 5 に示す．被験者が感じた難易度の順位について，演技 B は演技 VR と演技 A より有意に高いという結果が得られた．

また，3 種類の演技についてそれぞれ「難しそうだと感じたか」という質問を行い，「非常に感じなかった」を 1，「非常に感じた」を 7 とした 7 段階リッカート尺度で回答させた結果を表 6 に示す．この回答結果に対して Shapiro-Wilk 検定を行ったところ，標本分布は正規分布に従っているとは言えなかった（p=0.0018）．よって Friedman 検定を行ったところ有意差が認められた（p<0.0001）ため，Wilcoxon の符号順位検定（Bonferroni 補正）により各群間を比較した．その結果を表 7 に示す．被験者が感じた難易度の評価値について，演技 B は演技 VR と演技 A より有意に高いという結果が得られた．

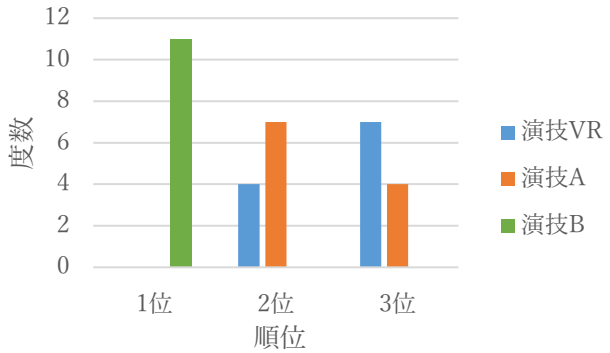

図 10　難易度の順位

表 5　難易度の順位の検定結果

比較対象	p 値
演技 VR と演技 A	1.0
演技 VR と演技 B	0.0084
演技 A と演技 B	0.0084

表 6　難易度の評価値

名称	平均	分散
演技 VR	4.18	1.96
演技 A	4.82	1.56
演技 B	6.82	0.164

表 7　難易度の評価値の検定結果

比較対象	p 値
演技 VR と演技 A	1.0
演技 VR と演技 B	0.011
演技 A と演技 B	0.010

4.3 演技 VR と演技 A の構成

演技 VR と演技 A の間で技の構成が同じであることに気付いていたか質問した結果，被験者 11 人のうち 9 人が，構成が同じであることに気付いていたと回答した．

ⓒ2021 Information Processing Society of Japan

4.4 演技 VR に対するコンピュータによる操作

演技 VR が演者の技量によって操作されていると感じたか，コンピュータによって操作されていると感じたかについて,「完全にコンピュータにより操作されていると感じた」を 1,「完全に演者の技量により操作されていると感じた」を 7 とし，7 段階で答えさせた結果を図 11 に示す．本質問は追加アンケートによって行った．

1 と回答した被験者は，回答理由として「モーションキャプチャ―技術によって，既に撮影してある演技 A の動画から VR 空間のディアボロや演者の動きを生成しているように見えたため」と挙げている．また，4 と回答した被験者は「演技 A をもとにコンピュータによって生成したのかと思ったが，ところどころ演技 A より動きが滑らかではないので，完全にコンピュータによって生成されているわけでもないと思ったため」と答えている．

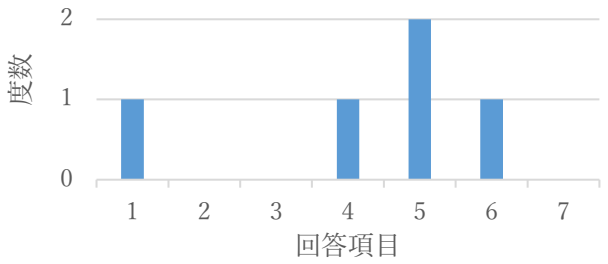

図 11　コンピュータによる操作度合いの推測

5. 考察

アンケート結果 4.1 と 4.2 より，視聴者によるディアボロの演技の面白さと難易度の評価は，構成する技の種類が異なる演技間でのみ有意差が認められた一方で，構成する技の種類が同じ演技間では演技が行われた空間が異なっていても有意差が認められないことが分かった．よって視聴者は，VR 空間と現実空間の間における触力覚や重みの感覚の差や，コンピュータによる演技の操作の有無を考慮せずに演技への評価を行っていたか，考慮していたとしても有意差が出ないほど小さいものだと判断していたと考えられる．このことは，視聴者による演技の評価基準は VR 空間と現実空間の間で変わらないという傾向を示唆している．

VR 空間と現実空間の間における触力覚や重みの感覚の差違を視聴者が考慮していない理由としては，VR 技術やディアボロに対する知識が少なく，そもそも VR 空間と現実空間の間で感覚に差違があると思っていないことが考えられる．また，本実験では，視聴者が VR 空間の演技に対してどの程度のコンピュータによる操作が行われていると予想するのかについても調べるため，動画を視聴させる前に VR 空間の演技を実現するために用いた技術についての説明は行わなかった．このため，アンケート結果 4.4 から分かる通り，演技 VR は演技 A における演者とディアボロの動きをモーションキャプチャ技術によって VR 空間に再現したものだという予測をした視聴者がいた．この場合は映像の元となる演技は現実空間で行っているということとなり，VR 空間と現実空間の間の感覚の差違は難易度に影響を及ぼさないため，考慮していないのだと考えられる．

また，演技 VR は演技 A における演者とディアボロの動きをモーションキャプチャ技術によって VR 空間に再現したものだと予測した視聴者がいたことと，アンケート結果 4.3 からわかる通り，ほとんどの視聴者が演技 VR と演技 A の構成が同じであったことに気付いていたことからも，演技 VR と演技 A は近しい動きをしていたことが分かる．よって，我々が開発した VR 空間でディアボロを行うシステムは，演技 VR および演技 A で行われた初歩的な技の範囲において，現実空間のディアボロの動きを再現できていたといえる．

演技に対する視聴者の評価基準が現実空間と VR 空間で変わらないのであれば，現実空間と同じ演技を単純に VR 空間で行うだけではその評価は向上しないといえる．また，視聴者がコンピュータによる演技の支援を考慮せずに評価を行うのであれば，コンピュータによる演技の支援を行い，演技の見た目はそのままに実際の難易度だけを低下させたとしても，難易度や面白さの評価は低下しないと考えられる．よって，VR 空間の演技の評価を向上させるためには，現実空間の演技を単純に VR 空間で再現するのではなく，VR の特性を活かし，エフェクトによる演出や難しい技を行えるようにコンピュータによって支援を行うことなどが有効だと考えられる．

6. おわりに

我々は VR 空間でディアボロの演技を行うシステムを開発した．このシステムを用いて実際に VR 空間でディアボロの演技を行い，現実空間における通常のディアボロの演技とともに視聴させた結果，視聴者による演技の評価基準は VR 空間と現実空間の間で変わらないという傾向が示唆された．よって，VR 空間における演技において視聴者からの評価を向上させるためには，単純に現実の再現を行うだけではなく，VR の特性を活かした演出や演技の支援を行うことが有効であると考えられる．今後は，視聴者の VR 空間の演技に対する評価について更に調査するため，VR 空間で行うことができる技の種類を増やし，多様な条件の演技に対する視聴実験を行う．

参考文献

1)　令和 2 年版情報通信白書,
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/02honpen.pdf
2)　川崎仁史，脇坂崇平，笠原俊一，齊藤寛人，原口純也，登嶋健

ⓒ2021 Information Processing Society of Japan

太, 稲見昌彦: けん玉できた！VR：5 分間程度の VR トレーニングによってけん玉の技の習得を支援するシステム, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, pp.26-32(2020).
3) 水鳥未那人, 西晃, 広田光一, 池井寧: 素早い動作を可能とした VR 環境の構築及び検証, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.17, No4, pp.429-438 (2012).
4) 平尾悠太朗, 三家礼子, 河合隆史: VR 空間におけるクロスモーダルを用いた重さ感覚提示手法の提案と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.23, No.4, pp.263-270 (2018).
5) DOVA-SYNDROME, https://dova-s.jp/bgm/play3479.html

ⓒ2021 Information Processing Society of Japan