

四次元再構成視聴におけるインタラクティブなカメラサーフェスの提案

元村 愛美^{1,2} 菊池 悠太¹ 小林 颯介¹ Fabrice Matulic¹ 五十嵐 健夫¹ 樋口 啓太¹

概要: 四次元再構成は三次元再構成によるフレームを連続的にレンダリングすることで映像を立体的に復元できる技術であり、再構成された映像は自由に視点を制御しながら視聴できる。キーボードやマウスで6軸の視点制御を行いながら、位置や顔の向きが連続的に変化するオブジェクトを追跡し続けることは、ユーザが立体空間操作経験が浅い場合や映像を初めて視聴する場合において困難である。また、四次元再構成コンテンツの制作者は、視聴者の視点を制御できないため、映像内の制作の意図が伝わりづらいという課題を持つ。そこで本稿では、四次元再構成視聴時のカメラの動きを制約するインタラクティブなカメラサーフェスを提案する。サーフェスにはカメラが移動可能な領域や基本となる焦点が定義されており、映像内で連続的に変化するオブジェクトを容易に追跡できる。これにより、視聴者の立体空間内での視点制御の負担を軽減可能となる。さらに、任意の四次元再構成に対してこのようなサーフェスを設定できるオーサリングツールを開発した。制作者は、再構成の品質が悪い部分に視点が集まらないよう自然に隠蔽したり、特定の部分に視点を引き付けたりすることで、四次元再構成をより魅力的に演出可能となる。

1. はじめに

四次元再構成とは、三次元の空間情報に時間軸を加えた四次元データの再構成である。NeRF[1]やGaussian Splatting[2]などの三次元再構成技術を用いて復元された、複数の三次元再構成を連続的にレンダリングし続けることで、映像を立体的に復元できる。四次元再構成の最大の特徴は、再構成された立体映像を様々な視点から視聴できる点であり、ミュージックビデオやスポーツ観戦、学習教材、eコマース、デジタルアートなど、様々な場面への活用が期待されている。特にGaussian Splattingによる四次元再構成は、リアルタイム性と品質のバランスに優れ、コンテンツとしての実用化^{*1}が進められつつある。

現状の四次元再構成によるコンテンツ制作のための動画撮影は複数台の固定カメラで行われることが多く、再構成の品質は撮影動画に依存する。撮影動画に映る部分ほど精巧に復元され、撮影動画に映らない部分の復元品質は低下する(図1)。そのため、四次元再構成の高品質に復元された部分を視聴するためには、視聴時の画角が撮影時の画角からかけ離れないよう適切に視点を制御する必要がある。このような、視点操作が自由な点と品質にムラがある点の2つの特徴を持つ現状の四次元再構成において、コンテ

ツ制作者と視聴者の双方において課題が存在する。



図1 四次元再構成結果を撮影方向から見た場合(左)と撮影方向の反対から見た場合(右)

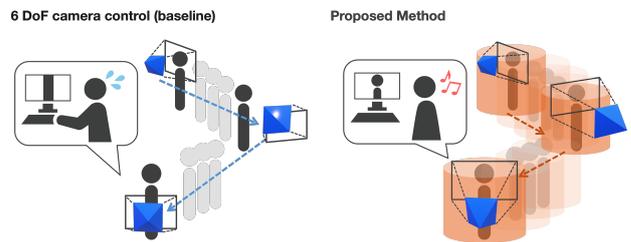


図2 立体空間内での6軸の視点制御(左)と提案手法により制約された視点制御(右)

まず、視聴者に、高品質な立体映像の視聴を維持するための視点カメラの制御が求められる。PCによる立体空間の操作では、キーボードやマウスを用いて上下左右前後の6軸の視点制御を行う場合が多く、四次元再構成の試聴媒体がPCである場合にも同様の操作方法が適用される(図

¹ Preferred Networks, 東京

² お茶の水女子大学

^{*1} <https://pfn3d.com/4d>

2左). しかしこの方法では, 立体空間の操作経験があることやオブジェクトが移動するタイミングや経路を熟知していることが前提となり初めて適切な視点制御が可能となる. そのため, PCでの立体空間の操作に不慣れた視聴者や, オブジェクトの位置変化が激しい動画を初めて視聴する視聴者にとっては, 特定のオブジェクトを追跡し注目することは困難になる. 映像内のオブジェクト数が増えるほど把握すべき情報の量や複雑性はさらに増し, 視点操作の難易度は向上する. ゆえに視聴者が視点操作を誤り意図しない視点に陥ったり, そこから本来の視点に戻るまでの間に, 映像内の注目点を見落としてしまう可能性がある. また, 視点操作に集中することは, 映像への没入感や集中力を低下させる恐れがある. コンテンツ制作者においては, 視聴者の視点を制御できないため制作の意図を正確に伝えることは困難である. そのため, 映像内で強調したいと考える部分に注目してもらえない, あるいは見せたくない部分に視線が集まるといった, 制作者にとって不都合な状況が発生しうる. 一方で, 視点探索の自由は平面の動画視聴と大きく異なる四次元再構成ならではの醍醐味であり, 視聴者が視点を制御不可能であることは望ましくない.

そこで, PCを用いた四次元再構成の視聴における視点操作が容易になるようカメラ制御の一部に制約を与えることが必要である. 本稿では, このようなはたらきをもつインタラクティブなカメラサーフェスを提案する. カメラの位置はサーフェス上に限定され, 移動方向や基本的なカメラ方向をこのサーフェスに依存した上で, 視聴者は上下左右の4軸操作で容易にカメラを制御できる(図2右). さらに, コンテンツ制作者がこのようなサーフェスを設定するためのオーサリングツールを提案する. これにより, PCを用いた四次元再構成の視聴体験を向上させたり, 制作者が四次元再構成をより魅力的に演出できることを目指す.

2. 関連研究

CGやVR環境において, オブジェクトをより美しく演出するカメラワーク手法が提案されている. StyleCAM[3]はオブジェクトを観察する際のカメラの動きを制約するカメラサーフェスを提案した. カメラはサーフェス上のみで自由に制御され, 異なるサーフェスへ遷移する際はカメラの位置は決められた軌道を線形移動し, その間ユーザには三次元オブジェクトの代わりにアニメーションが提示される. HoverCam[4]は, オブジェクトを近接な位置から観察する状況において, 物体からの距離を一定に保ちながらシームレスに視点移動する手法を実現した. 本稿では, StyleCAMのカメラサーフェスを起点に, 時間経過時のオブジェクトの動的変化に応じてインタラクティブに変化するカメラサーフェスを提案する.

また, 立体空間内でのカメラ制御についてさまざまな手法が提案されている. Galyeanは, 仮想環境でのカメラ制

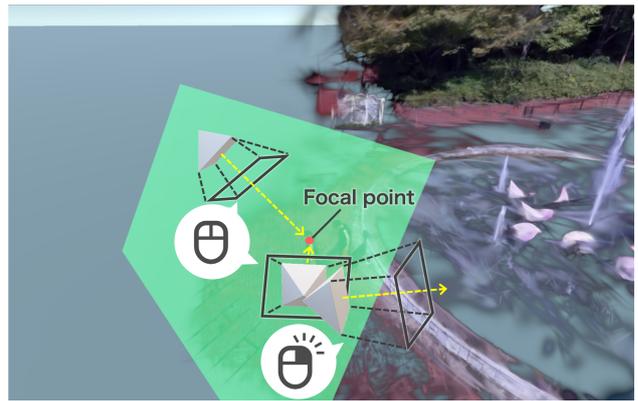


図3 サーフェス上でのカメラ操作. カメラは基本的には基準焦点を向くがドラッグ中のみ他の方向へ回転可能.

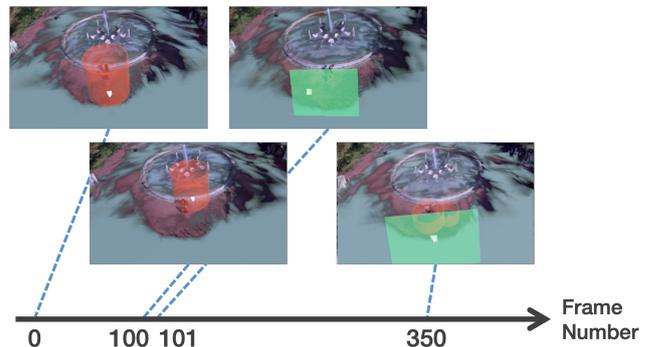


図4 時間経過によるカメラサーフェスの変化. あるサーフェスがフレーム1から100にかけて前進し, フレーム101で消失する. また同時に別のサーフェスが登場する. フレーム350ではまた別の複数のサーフェスが登場している.

御に川を渡る船の概念を取り入れ, 全体的な動きとしては制作者の意図に沿わせながら, ユーザが部分的に自由探索可能なインタラクションを提案した[5]. この手法では, 制作者の意図はカメラパスとして定義される. 一方, 本稿の提案手法は制作者の意図は面として定義されるため, 視聴者の視点操作の自由度は高くなる. Oskamらは, プレイヤーなどの注目対象が常に遮蔽されずに視界に入り, かつ空間内のオブジェクトと衝突しないカメラパスをリアルタイムで計算する手法を提案した[6]. OSCAMは, 立体空間の動的な深度変化に対して両目のカメラの輻輳角と距離を自動で最適化し, 自然な立体視を維持する手法である[7].

また, 三次元アニメーションから, これを映画撮影したようなカメラワークを自動生成する手法が提案されている. Hongdaらの手法は深層学習ベースであり, 2キャラクター間のシーンに特化し, ユーザが選択したキーフレームを確実に含み, かつ学習させた映画の撮影技法に類似したカメラワークを生成する[8]. 一方, Evinらの手法は, 特定の映画監督の撮影技法をあらかじめ分析して作成されたデータセットを用いて, 任意のシーンについて対象の映画監督の作風を模倣したカメラワークを生成する[9]. また, Wangらは, アニメの制作プロセスを参考に, 三次元



図 5 提案手法による四次元再構成の視聴画面. 左：俯瞰画面による出現中の全てのサーフェスの提示, 右：リングを用いた出現中の円筒型サーフェスの提示

のダンス映像におけるカメラワークをキーフレームベースで自動生成する手法を提案した [10]. 対象映像の音楽やダンスの特徴を解析し、キーフレームを取得し、キーフレームにおけるカメラパラメータや、これらを滑らかに補間するカメラワークが生成される. これらの手法は、空間内のキャラクターやアイテムがそれぞれ別のオブジェクトとして存在し、かつ背景とも分離されていることが必須である. しかし、現状の四次元再構成された立体映像では、背景や個々のオブジェクトを独立したものとして認識するような機能はないため、これらの手法を適用できない. また、ユーザによる視点操作の余地がない完全なカメラワークの生成は、四次元再構成の視聴においては望ましくない. 本稿が提案するカメラサーフェスは、カメラの移動や回転に制約を与え、この制約下でカメラは自由に制御できる. また、サーフェスの設置は、四次元再構成そのものを解析せずいくつかの操作ステップで行われるため、再構成の品質や注目点の動的な変化に柔軟に対応できる.

3. カメラサーフェス

3.1 カメラサーフェスの特徴と種類

まず、三次元再構成と比較して四次元再構成は、被写体の位置や姿勢、表情といった再構成結果の要素が時間経過によって変化するという特徴を持つ. つまり、制作者が視聴者の視線を惹きつけたいと考える部分が連続的に変化する. これを踏まえて本稿では、以下の 3 つの特徴を持つ、視聴カメラの動きを制約するカメラサーフェスを提案する.

1 つ目の特徴が、「カメラの位置をサーフェス上に制約すること」である (図 3). カメラの位置はサーフェス上に制限され、平面上を移動する. これにより、視聴者の移動操作の負担を減らすことができ、制作者においてはカメラが移動可能な空間が明確に定義されることで意図しない場所からの視聴を防ぐことができる.

2 つ目が、「基準となる焦点を定義すること」である (図 3). サーフェスごとに基準となる焦点が定義され、カメラはサーフェス上で位置が変化しても基本的にはこの焦点を

見るように視線方向が調整される. ただし、視聴者が意図的に視点を操作する間、視聴者は他の方向を見ることができる. 意図的な視点操作を止めると、カメラは再び基準焦点を向くように自動調整される.

3 つ目が、「時間経過によりサーフェス自体が変化すること」である (図 4). 各サーフェスには映像再生時間における出現時間が定義され、再生中は常に最低 1 つ以上のサーフェスが出現する. サーフェスは定義された出現開始時間に初めて立体空間に出現し、出現終了時間が過ぎると空間から消失する. 消失したサーフェスの上にカメラが存在する場合、サーフェスの消失と同時にカメラは空間内の別のサーフェス上に自動で転送される. さらに、我々は形状が異なる 2 種類のサーフェスを作成し、一方のサーフェスは位置変化も可能であるという特徴を持つ. それぞれのサーフェスの詳細については後述する. オブジェクトの位置や制作者側が強調したい部分に合わせてサーフェスを柔軟に変化させ、カメラをこれに追従させることにより、視聴者の視点操作の負担を減らすことができる.

我々は、以上の特徴を持つ矩形型と円筒型の 2 種類のカメラサーフェスを開発した. 矩形型は、出現時間と基準焦点に加え、各辺の長さ、出現座標、角度が定義されている. 出現状態のサーフェスは、俯瞰視点画面内で半透明の緑色の矩形で表示される. サーフェス上のカメラは矩形の面に沿って移動する. このサーフェスでは、ライブステージ全体を観客席から鑑賞するように、オブジェクト全体を離れた位置から俯瞰的に観察するための使用を想定する.

円筒型は、出現時間と基準焦点 (=円筒の中心点) の他、半径、高さ、出現開始時の座標と出現終了時の座標を持つ. 円筒は立体空間に対して垂直であり、出現開始時の座標から終了時の座標まで等速で線形移動する. 出現状態のサーフェスは、俯瞰視点画面内で半透明のオレンジの円筒で表示される. サーフェス上のカメラは、円筒の側面を移動する. 焦点としたオブジェクトの移動に合わせてサーフェスの移動を設定することで、サーフェス上のカメラをオブジェクトに自動追従させることができる. このサーフェス

は、ライブステージ上の出演者のうち1人のみに注目して映し続けるカメラのように、焦点としたオブジェクトを至近距離から観察しつづける際に有効である。

3.2 カメラサーフェスを使用した視聴方法

本稿では、四次元再構成はPCで視聴することを想定する。立体空間内の基本的な操作は、上下左右前後の6軸の移動制御とマウスドラッグによる視線方向の制御である。これに対しカメラサーフェス上には、上下左右の4軸の移動制御によりサーフェスの面に沿ってカメラの位置を制御できる。矩形型カメラサーフェスの場合は平面に沿って移動し、円筒型の場合は真正面から左右に60度の範囲で円筒の側面に沿って移動する。前後移動が不要となることで、視聴者はカメラの現在位置や目的地に移動するために必要な操作工程を理解しやすくなる。また、位置が変化しても基準焦点を向くようカメラの方向は自動調整される。さらに、マウスドラッグ中のみ、3.1節で述べたような意図的な視点操作を行うことができる。オブジェクトを画角に収め続けるためには、既存手法ではカメラの移動制御と方向制御を同時に行うことが不可欠であったが、提案するカメラサーフェス上ではカメラの方向制御は不必要である。また、マウスドラッグによりサーフェスが焦点として定義した部分、すなわち制作者が注目点として掲げた部分以外を見ることも可能であり、サーフェスは視聴者の視点探索を妨げない。

四次元再構成の視聴中、2種類の状態で出現状態にあるカメラサーフェスが図示される。ユーザは図形をクリックすることで、その図形に紐づいたサーフェス上に遷移可能である。1つ目の提示方法が、俯瞰画面による提示(図5左)である。画面左上に俯瞰画面が表示され、現在の再生時間において出現する全てのカメラサーフェスがそれぞれ緑の矩形またはオレンジ色の円筒で提示される。視聴中、カメラの方向は基準焦点を向くよう自動調整されることから、カメラの後方に位置するものなど、視界に入りづらいサーフェスが存在する場合がある。このようなサーフェスに遷移する際にこの方法を利用することを想定する。2つ目が、リングによる提示(図5右)である。画面内に、現在の再生時間において出現する全ての円筒型カメラサーフェスがオレンジ色のリング形状で提示される。リングは円筒の位置と同じ位置に提示され、視聴者にはオブジェクトの周囲にリングが発生しているように見える。これにより、注目するオブジェクトを変更する場合に、新たに注目するオブジェクトに紐づいたサーフェスをすぐに見つけることができる。ユーザは、視聴中に画面右上の「Ring」または「BirdsEyeView」と書かれたボタンをクリックすることで、これらの提示方法を任意に切り替え可能である。



図6 オーサリングツールの画面

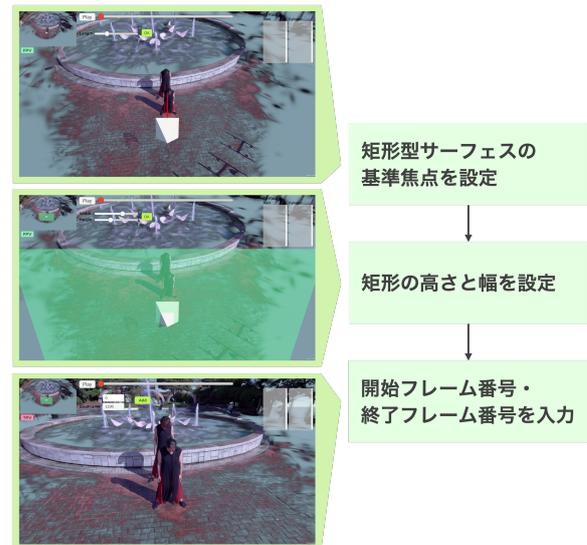


図7 矩形型カメラサーフェスの設置手順

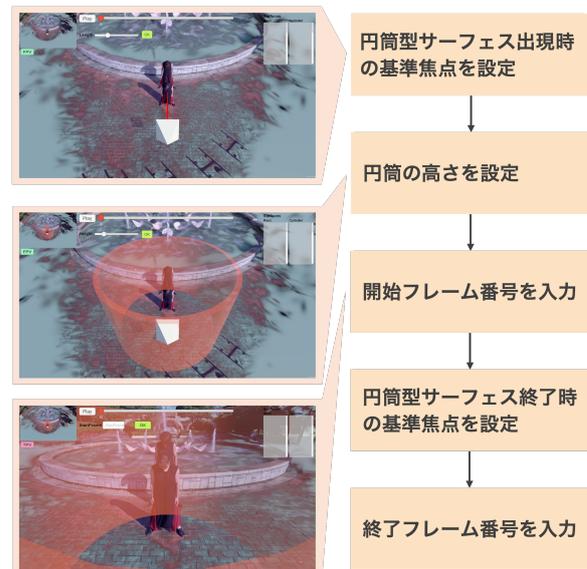


図8 円筒型カメラサーフェスの設置手順

4. オーサリングツール

4.1 使用の流れ

我々は、四次元再構成を用いたコンテンツ制作者が、3

章で説明したカメラサーフェスを容易に設定できるためのオーサリングツール(図6)を開発した。開発環境はUnityであり、このツールも視聴時と同様にPCで使用する。制作者は、四次元再構成の特定のフレームが描画された立体空間内を、WASDQEキーの6軸移動とマウスによる回転によりカメラを制御する。また、画面左にある「TPV」または「FPV」と書かれたボタンをクリックすることで、三人称視点(Third Person View)と一人称視点(First Person View)を切り替えることができる。三人称視点の場合、画面中央に自身のカメラを表す四角錐のオブジェクトが表示される。このオブジェクトは画面左上の俯瞰画面に表示されるものと同一である。ツールの画面上部には再生ボタンとタイムシーケンスバーがあり、ボタンをクリックして四次元再構成を再生したり、スライダーを操作して描画するフレームを制御できる。ユーザはこれらの機能を用いて四次元再構成内を自由に探索し、任意の時間や位置に対して、円筒型または矩形型のカメラサーフェスを設置する。設置方法の詳細については4.2節で説明する。カメラサーフェスが設置されると、俯瞰画面への図形表示や、サーフェスの種類に応じて右上のリストへのサムネイル画像と適用時間の表示が行われる。また、俯瞰画面の「Play 4D」と書かれたボタンをクリックすると、設定したカメラサーフェスを用いた四次元再構成の視聴を試すことができる。再生時のインタラクションは3章の通りである。

4.2 カメラサーフェスの設置方法

本節では、矩形型と円筒型のカメラサーフェスの設置方法をそれぞれ説明する。

矩形型カメラサーフェスの設置方法は図7の通りである。まず、空間内を自由に探索しながら、サーフェスの設置地点および基準焦点を決める。このとき、カメラから前方方向に真正面を表す赤い線が表示され、この線の先端が基準焦点となる(図7左上段)。画面上部のスライダーを操作することで線の長さを制御できる。設置地点と基準焦点を決めたら、次に矩形の高さと長さをパラメータ制御により設定する(図7左中段)。このとき立体空間に、設置地点を中心とし設定した値の高さと長さを持つ矩形が、基準焦点を向くよう傾いた状態で可視化される。矩形型は3章で説明した通り不動であるため、最後に出現時間の開始および終了フレーム番号を入力することで、設置操作は完了する(図7左下段)。操作が完了すると、設置したサーフェスは非可視化され俯瞰画面にのみ表示される。

円筒型カメラサーフェスの設置方法は図8の通りである。円筒型は3章で述べた通り、等速線形移動するため、円筒の形状と開始時間・位置を決めた後、終了時間・位置を決める。はじめは、矩形型と同様の操作により、サーフェスの設置地点および基準焦点を決める(図8左上段)。基準焦点は円筒の中心点となる。次に、円筒の高さをパラメー

タ制御により設定する。このとき立体空間に、基準焦点が中心で高さがパラメータの値であり、基準焦点と設置地点との水平距離が半径の長さである円筒が可視化される(図8左中段)。高さ設定後、開始時間のフレーム番号を入力することで、円筒の形状と開始時間・位置の設定は完了する(図8左下段)。最後に、終了時間・位置を設定する。カメラから前方に再び赤い線が表示され、制作者はカメラの方向や線の長さを制御する。この線の先端が移動終了時の円筒の中心点となる。終了時間のフレーム番号を入力すると、設置操作は全て完了する。操作が完了すると、設置したサーフェスは非表示になり俯瞰画面にのみ表示される。

5. 実験

5.1 概要

我々が提案するカメラサーフェスの中でも、円筒型のサーフェスが四次元再構成視聴中に特定のオブジェクトに注目する際に有効であるかを検証するために予備実験を実施した。参加者は20代から30代の男女9人(平均年齢24.22歳, SD=2.59)である。3Dゲームプレイ・3D関連ソフトウェアの使用経験について、9人のうち7人が数ヶ月以上の経験がある熟練者であり、立体空間の操作の初心者とは2人のみであった。参加者は、同一の四次元再構成を完全に自由なカメラ操作(以下ベースライン)と提案手法により制約されたカメラ操作の2種類でPCを用いて視聴した。この四次元再構成は、2人の男女の約30秒のダンス動画の再構成結果(図1)である。提案手法のカメラサーフェスは、著者が事前に設定したものを用いた。具体的な手順は次の通りである。まず、実験用とは別の四次元再構成を用いて、既存手法と提案手法のそれぞれの視点操作を練習した。練習終了後、「男性が画面中央に大きく映るよう追跡した四次元再構成の視聴」を両手法でそれぞれ1回ずつ実施した。次に、「女性が画面中央に大きく映るよう追跡した四次元再構成の視聴」を同様に1回ずつ実施した。最後に、事後アンケートに回答した。

5.2 結果

事後アンケートの結果は以下の通りである。合計4回の視聴を通してどちらの方が与えられた目的を達成できたと感じるか尋ねた質問について、6人がベースライン、3人が提案手法が良いと答えた。6人中5人は3Dゲームや3D関連ソフトウェアの熟練者であった。また、ベースラインを選んだ熟練者の1人は「自由なカメラ制御は慣れていたこともあり目的を達成できた。特に複雑な動きをする場合に対応しやすく感じた。」と答えた。さらに、今回使用した四次元再構成が30秒程度で登場人物が2人のみであったことに対して、再生時間が長く、登場人物も多い場合は提案手法が優位にはたらくと述べた人もいた。一方で、提案手法を選んだ初心者の1人は「自由なカメラ制御は、自由

たとえば6つのキーを細かく調節することに専念する必要があり、視聴に集中できず不自由」と答えた。ベースラインを選んだ人の中にも「制約されたカメラ制御は自動で目の前に被写体が来る場合は、必要な操作がカメラの方向を調整するだけで済んだので簡単。」と述べた人もいた。

提案手法の良い点について、「基本的には映像をばーっと見ていたいで、円筒が勝手に追従してくれると助かる」という回答があった。また、「効率の良さ・楽しさという面において、圧倒的に優位性がある。」と答えた熟練者がいた。悪い点について、「サーフェスが動くで自分の今いるサーフェスが全体のうちどれなのかを見失いやすい。」という回答があった。また、今後欲しい機能について、別のサーフェスにカメラの位置を移動する際キーボード操作によってサーフェスを選択したいという回答が複数あった。

5.3 議論

実験結果から、3Dゲームやソフトウェアの熟練者は自由なカメラ操作を好む傾向が見られた。これは、普段から使い慣れた操作方法であり、より直感的に対象人物を追跡できたためと考えられる。一方で、熟練者であっても映像を受動的に視聴したい場合では、提案手法を肯定的に捉えた。また、初心者にとっては6つのキーによる移動制御とマウスによる方向制御を同時に行う必要のあるベースラインに対して、マウスによる方向制御のみで済む提案手法は視点操作の負担軽減に有効であることが示唆された。

今後、提案手法の有効性を検証するために、立体空間操作の初心者を対象とした本実験を実施する必要がある。また、今回実験で使用した四次元再構成は1種類のみであるが、再生時間や登場人物の数や、移動の複雑性などの条件が異なるものを複数用いて、どのような四次元再構成に対して提案手法が効果的であるかを明らかにする必要がある。

6. まとめと今後の課題

本稿では、矩形型と円筒型の2種類のカメラサーフェスを用いて、四次元再構成の視聴時のカメラの動きにインタラクティブな制約を与える手法を提案した。このサーフェスは、カメラの移動可能領域を制限したり、カメラが基本的には基準焦点を向くよう回転方向を自動調整する。また、各サーフェスはそれぞれ出現時間が定義され、同時に複数存在する間、視聴者は自由にサーフェス間を遷移可能である。円筒型のサーフェスは出現場所と消失場所が定められ、2地点間を等速で線形移動する。また、四次元再構成によるコンテンツの制作者がこのカメラサーフェスを容易に設定可能なオーサリングツールを開発した。これにより、四次元再構成の魅力をより向上させるカメラワーク演出を制作者自らが定義可能となる。さらに、円筒型のサーフェスが特定のオブジェクトに注目しながら四次元再構成を視聴する際に有効であるかを検証するために予備実験を

実施した結果、主に立体空間の初心者に対して有効にはたらく可能性が得られた。

今後は、初心者を対象とした本実験を実施する予定である。さらに、四次元再構成の種類を複数用意した比較実験を実施し、提案手法がどのような四次元再構成に対して特に有効であるか検証する。さらにオーサリングツールを改良した後、その評価実験も実施する。

参考文献

- [1] Ben Mildenhall, Pratul P. Srinivasan, Matthew Tancik, Jonathan T. Barron, Ravi Ramamoorthi, and Ren Ng. Nerf: representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. *Commun. ACM*, 65(1):99–106, December 2021.
- [2] Bernhard Kerbl, Georgios Kopanas, Thomas Leimkühler, and George Drettakis. 3d gaussian splatting for real-time radiance field rendering. *ACM Transactions on Graphics*, 42(4), July 2023.
- [3] Nicholas Burtnyk, Azam Khan, George Fitzmaurice, Ravin Balakrishnan, and Gordon Kurtenbach. Stylecam: interactive stylized 3d navigation using integrated spatial & temporal controls. In *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '02, page 101–110, New York, NY, USA, 2002. Association for Computing Machinery.
- [4] Azam Khan, Ben Komalo, Jos Stam, George Fitzmaurice, and Gordon Kurtenbach. Hovercam: interactive 3d navigation for proximal object inspection. In *Proceedings of the 2005 Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, I3D '05, page 73–80, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
- [5] Tinsley A. Galyean. Guided navigation of virtual environments. In *Proceedings of the 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics*, I3D '95, page 103–ff., New York, NY, USA, 1995. Association for Computing Machinery.
- [6] Thomas Oskam, Robert W. Sumner, Nils Thuerey, and Markus Gross. Visibility transition planning for dynamic camera control. In *Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, SCA '09, page 55–65, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [7] Thomas Oskam, Alexander Hornung, Huw Bowles, Kenny Mitchell, and Markus Gross. Oscan - optimized stereoscopic camera control for interactive 3d. In *Proceedings of the 2011 SIGGRAPH Asia Conference*, SA '11, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [8] Hongda Jiang, Marc Christie, Xi Wang, Libin Liu, Bin Wang, and Baoquan Chen. Camera keyframing with style and control. *ACM Trans. Graph.*, 40(6), December 2021.
- [9] Inan Evin, Perttu Hämäläinen, and Christian Guckelsberger. Cine-ai: Generating video game cutscenes in the style of human directors. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 6(CHI PLAY), October 2022.
- [10] Zixuan Wang, Jiayi Li, Xiaoyu Qin, Shikun Sun, Songtao Zhou, Jia Jia, and Jiebo Luo. Dancecamimator: Keyframe-based controllable 3d dance camera synthesis. In *Proceedings of the 32nd ACM International Conference on Multimedia*, MM '24, page 10200–10209, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.