

説明員がヘッドマウントディスプレイ体験者を 誘導するための支援システム

若林 裕太¹ 宮下 芳明²

概要: 3D モデル化した住居の内覧など、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を利用したヴァーチャルリアリティ (VR) コンテンツの普及が急速に進んでいる。このような VR コンテンツの体験の場では、説明員が HMD 体験者に対して説明を行うことがある。説明の際には、HMD 体験者に説明の対象となる箇所を見て貰う必要がある。そのため、説明員は HMD 体験者を移動させたり、特定の方向を向かせるなどの誘導を行う。発話のみで HMD 体験者を誘導することは容易ではないため、説明員と HMD 体験者間で説明対象の伝達をスムーズにすることで誘導を支援する手法が提案されている。しかし、説明対象を HMD 体験者と共有するだけでは、HMD 体験者を説明対象を見るのに適した鑑賞地点へ誘導することはできない。そこで本論文では、説明員が説明対象と、それを見るのに適切な鑑賞地点を指定して HMD 体験者へ伝達する誘導手法を提案する。この手法により、説明員は HMD 体験者を説明対象を見るのに適した位置へ誘導することができる。

Implementation of Support System to Guide the Head Mounted Display Experiencing Person

YUTA WAKABAYASHI¹ HOMEI MIYASHITA²

1. はじめに

1.1 VR コンテンツにおける説明員と HMD 体験者

2016 年は VR 元年と呼ばれ、ヴァーチャルリアリティ (VR) 技術が民間企業の注目を集めた。この背景には、民生用のヘッドマウントディスプレイ (HMD) が相次いで発売されたことがある。スマートフォンを用いた HMD の普及もあり、場所を選ばず VR コンテンツを楽しめる環境も整ってきている。このような影響から、HMD を用いたコンシューマ向け VR コンテンツが次々と制作・公開されている。

VR コンテンツの特徴として、ユーザが感じる高い没入感が挙げられる。ユーザは、自身の動きに合わせてインタラクティブに変化する映像を見ることで、まるで自分がその世界にいるような感覚を覚える。このような没入性を利用して、遠くにある住居を 3D モデル化し HMD で見るこ



図 1 システム使用シーン

とで、まるで現地に内覧に行ったような体験を与えるアプリ [1], [2] も公開されている。

現実世界での住居の内覧は、住居の説明を行う説明員が同行するのが一般的である。VR コンテンツにおいても、説明員が HMD 体験者に対しコンテンツの説明を行うこと

¹ 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻

² 明治大学総合数理学部

がある。説明の際には、HMD 体験者に説明の対象となる箇所を見て貰う必要がある。そのため、説明員は HMD 体験者を移動させたり、特定の方向を向かせるなどの誘導を行う。一般的に、HMD 体験者が見ている映像を外部モニタ等に出力し、その映像を見ながら発話により誘導する。しかし、発話だけで移動や特定の方向を向かせる指示を HMD 体験者へ伝達することは困難である。

1.2 HMD 体験者の誘導における問題

説明の対象となる空間内の特定位置は、Point of Interest (POI) と呼ばれる。前節で述べたように、説明員が発話だけで HMD 体験者を誘導することは容易ではないため、POI の伝達をスムーズにすることで誘導を支援する研究がある [3], [16]。これらの研究は、説明員が POI となる箇所をポインティングにより指定し、その箇所を HMD 上で表示することで HMD 体験者を誘導している。これにより説明員は、HMD 体験者を POI が見えるよう移動させたり、その方向に向かせることができる。

しかし HMD 体験者は、POI の位置を HMD 上で表示するだけでは、どの位置に移動すれば POI が適切に見えるのかわからない。この時、HMD 体験者が自分自身で POI の鑑賞地点を探索するため、説明員の想定した鑑賞地点と実際の HMD 体験者の位置にズレが生じることが考えられる。説明員は、そのズレを修正するために発話によって HMD 体験者を誘導する必要がある。このような説明員の余分な負荷を低減するには、POI だけでなく POI の鑑賞地点も指定して HMD 体験者へ伝える必要がある。

1.3 提案手法

そこで本論文では、説明員が POI と鑑賞地点を指定し、その位置を HMD 体験者へ伝達する誘導手法を提案する。

図 1 は、実際に提案手法を導入したシステムを使用しているシーンである。本システムは、説明員システムと HMD 体験者システムの 2 つからなる。説明員システムはタブレット端末で動作する。説明員は手元のタブレット端末を用い、ヴァーチャル空間に対するタッチ操作で POI と鑑賞地点を指定できる。POI と鑑賞地点を指定した後、説明員システムは HMD 体験者システムへ POI と鑑賞地点の位置データを送信する。HMD 体験者システムは、データを受け取ると POI と鑑賞地点の伝達を開始し、HMD 体験者を誘導する。

提案手法を導入したシステムを構築する際は、POI と鑑賞地点をどのように指定するか、その位置をどのように HMD 体験者へ伝達して誘導するかを考える必要がある。次章では、HMD 体験者の誘導について詳細に定義し、提案手法を導入する際のシステムデザインについて述べる。

2. システムデザイン

2.1 HMD 体験者の誘導の詳細

HMD 体験者は、ヴァーチャル空間内において頭部の回転と身体の移動を行うことができる。頭部の回転は、HMD に搭載された加速度センサやジャイロセンサ、地磁気センサなどを用いて、現実空間の頭部の動きを反映する。身体移動は、回転と同様に現実空間での移動をそのままヴァーチャル空間での移動に反映するものや、足踏みを歩行動作に変換して反映するものがある [13]。また、ゲームコントローラを用いるものや特殊な入力インターフェースを用いるもの [15] もある。一方で、移動手段がない場合もあり、その場合は固定点で頭部の回転のみ行うことができる。

これらの基本動作から考えると、HMD 体験者の誘導とは特定位置への移動または特定方向への頭部の回転を、HMD 体験者へ指示することと言い換えることができる。また、この定義から考えると POI への HMD 体験者の誘導とは、HMD 体験者を POI が適切に見れる鑑賞地点へ移動させ、POI が視野に入るよう回転させることである。このように、POI への誘導は移動誘導と回転誘導に分けることができる。

図 2 は、POI と鑑賞地点、HMD 体験者の関係を表した図である。回転誘導は、POI の位置を HMD 体験者へ伝達することで行うことができる。一方、移動誘導は、POI の位置を伝えるだけでは説明員の意図した POI の鑑賞地点へ HMD 体験者を誘導できない。そのため、説明員は POI だけでなく鑑賞地点も指定し、HMD 体験者へ伝達する必要がある。

2.2 POI と鑑賞地点を指定するためのインターフェース

ヴァーチャル空間内のすべてのオブジェクトが説明対象となる場合、POI は様々な箇所を設定されうる。従って、POI の指定は HMD 体験者の見ている一人称視点表示では

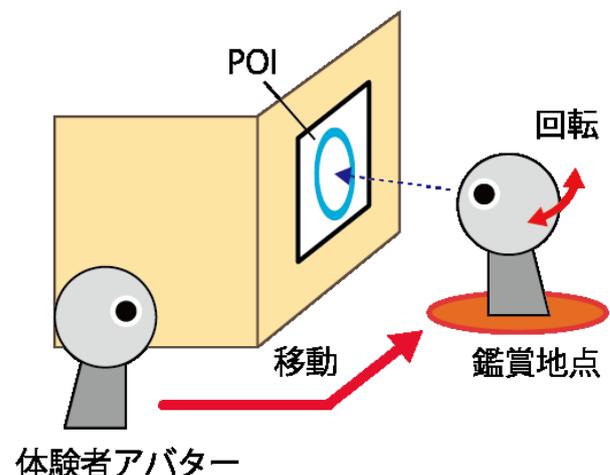


図 2 POI と HMD 体験者、鑑賞地点の関係

なく、ヴァーチャル空間全体を視認できる俯瞰視点表示で行うべきである。俯瞰視点表示は一人称視点表示に比べ、空間の把握が容易に行えることが知られている [6]。

一方で、俯瞰視点は HMD 体験者の視点と大きく異なっているため、HMD 体験者の位置から POI がどのように見えるかを俯瞰視点表示で判断するのは困難である。そのため、俯瞰視点表示で POI に対する適切な鑑賞地点を決定するのは容易ではない。

そこで説明員システムでは、HMD 体験者視点で鑑賞地点から POI を見た時のプレビューを表示する。これにより説明員は、鑑賞地点から POI がどのように見えるか確認しながら鑑賞地点を指定できる。そのため、説明員が HMD 体験者を適切な鑑賞地点へ誘導可能になると考えられる。また、説明員が適切な鑑賞地点を指定してから HMD 体験者を移動させるため、HMD 体験者に無駄な移動をさせないというメリットもある。

プレビューは、俯瞰視点表示とプレビュー表示を切り替える手法と、俯瞰視点表示とは別の画面にプレビューを表示する手法が考えられる。画面を切り替える手法は、切り替えの煩わしさから誘導には不向きと考えられるので、プレビューはサブ画面で表示するのが適切であると考えられる。

また、説明員と HMD 体験者のコミュニケーションを考えると、HMD 体験者の現在見ているものを把握することも重要である。そこで、HMD 体験者の現在見ている映像もサブ画面で表示する。

図 3 が、実際の説明員システムの画面である。図の左上にある青色のカーソルが投影された箇所が POI である (図 3A)。HMD 体験者の位置はアバターで表され (図 3B)、鑑賞地点には半透明な仮のアバターが表示される (図 3C)。図右上のサブ画面は、HMD 体験者の映像 (図 3D) と HMD 体験者視点で鑑賞地点から POI を見た時の映像である (図 3E)。鑑賞地点映像は、鑑賞地点の変更と同時に更新され、常に鑑賞地点からの POI の見え方を確認できる。

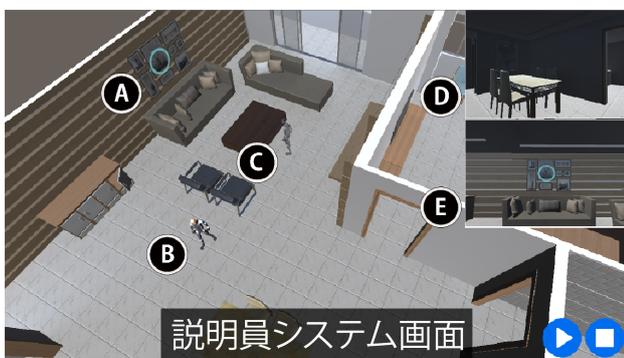


図 3 POI と鑑賞地点を指定するためのインターフェース

2.3 POI と鑑賞地点の伝達と誘導

POI と鑑賞地点を指定した後、HMD 体験者システムは HMD 体験者の誘導を開始する。

まずはじめに、鑑賞地点へ HMD 体験者を移動誘導する。移動誘導は、鑑賞地点まで自動移動する手法と、鑑賞地点まで HMD 体験者を能動的に移動させるナビゲーション手法が考えられる。ナビゲーション手法では、VR コンテンツに慣れていない HMD 体験者が鑑賞地点まで到達できないことが考えられる。このようなケースを考慮し、移動誘導は鑑賞地点までの自動移動を採用した。

自動移動を行っている際の HMD 体験者の画面が、図 4 である。鑑賞地点に赤色の円を表示し、そこまでの移動パスも表示している。HMD 体験者は、このパスに沿って鑑賞地点まで自動移動する。

自動移動は、鑑賞地点までワープする手法とアニメーションで移動する手法が考えられる。ワープ移動は移動時間を大幅に短縮できるが、空間定位が著しく低下することが知られている [5]。VR コンテンツを楽しむには、空間において自身がどこにいるのか、どの方向を向いているのかを適切に把握することが重要であると考えられる。従って、HMD 体験者の自動移動はアニメーションで行うのが適切である。



図 4 鑑賞地点への移動誘導

自動移動が終わると、HMD 体験者を POI の方へ向かせる回転誘導を始める。回転誘導では、HMD 体験者が指定の方向を向くよう、POI の方向を表すインジケータを HMD 体験者画面へ表示する。

図 5 が、回転誘導時の HMD 体験者画面である。画面中央の円形で表示されたインジケータが、POI の位置と距離を表している。赤色で表示された方向が POI の位置を示しており、体験者はその方向へ頭部を回転すると POI を見ることができる。また、体験者の頭部方向と POI の成す角が小さいほど赤色で塗られる範囲が広がる。成す角が一定値以下になると、インジケータは非表示になる。

回転誘導で HMD 体験者が能動的に動くよう設計したのは、頭部の回転は現実空間での動きと同様のため、HMD 体験者が頭部の動かし方に戸惑うことはないと考えたから

である。反対に移動誘導は、コントローラなど現実空間での動きと違う場合に HMD 体験者が移動に戸惑い、鑑賞地点まで到達できないことを考慮して自動移動にした。



図 5 回転誘導中の HMD 体験者画面

3. システム

説明員システムと HMD 体験者システムは、Wi-Fi によるネットワークで接続され、UDP 通信でデータのやり取りを行う。システムは双方とも Unity5.5 で作成した。説明員システムは、タブレット端末である Apple iPad Pro 9.7 インチモデル (Apple A9X 2.16GHz, 2GB RAM) で動作する。HMD 体験者システムは、プロトタイプとしてスマートフォンの SAMSUNG Galaxy S6 edge (Exynos 7420 4Core 2.1GHz + 4Core 1.5GHz, 3GB RAM) で動作するように制作した。これをスマートフォン向け HMD にセットして使用する。HMD は、ハコスコ製 Google Cardboard I/O 2015 を使用した。

3.1 説明員システム

3.1.1 カメラ

説明員システムは、俯瞰カメラ、体験者アバターカメラ、鑑賞地点カメラの計 3 つのカメラを持つ。俯瞰カメラはヴァーチャル空間全体を把握するためのカメラで、システムのメイン画面はこのカメラからレンダリングした映像である。

体験者アバターカメラは、HMD 体験者がどこを見ているかを把握するためのカメラである。HMD 体験者システムから HMD 体験者の位置と頭部方向のデータを一定間隔で受け取り、その値を体験者アバターカメラへ反映する。これにより、説明員は常に HMD 体験者が見ている映像を把握できる。

鑑賞地点カメラは、鑑賞地点からの POI の見え方を HMD 体験者視点で確認するためのカメラである。このカメラは、POI の位置と鑑賞地点に対応して自動的に位置と向きが決まる。

3.1.2 操作手法

ユーザはタッチ操作で、POI と鑑賞地点の指定、俯瞰

カメラの移動・回転を行うことができる。オブジェクトをタップすると、オブジェクト表面上のタップ箇所を POI として設定する。また、体験者カメラと鑑賞地点カメラの映像画面に対するタップ操作でも、POI を設定できる。

床面上を一定時間タッチし続けると、その箇所を鑑賞地点として設定し、そのままスワイプ操作すると、追従して鑑賞地点も変更する。この時、タッチ箇所が床面上以外の箇所へ移動した場合、変更は適応しない。

また、一定時間タッチし続けずに一本指でスワイプすると、俯瞰カメラが平行移動する。二本指でスワイプすると、俯瞰カメラが回転する。ピンチ操作で俯瞰カメラが前後へ移動する。画面右下の再生ボタンを押すと、HMD 体験者システムへ指定した鑑賞地点までの移動パスデータと POI の位置データを送信する。移動パスの計算は計算コストが高いため、説明員システム側で計算する設計にした。この移動パスは、Unity に標準搭載されている NavMesh を用いて計算する。また、停止ボタンを押すと POI と鑑賞地点の設定がクリアされ、HMD 体験者システムの誘導も停止する。

3.2 HMD 体験者システム

HMD 体験者は、エレコム製の片手用 Bluetooth コントローラ (JC-VRR01) でヴァーチャル空間を移動することができる。頭部が向いている方向を基準に、スティックを倒した方向へ移動できる。

HMD 体験者システムは、説明員システムからデータを受け取ると HMD 体験者の誘導を開始する。まずはじめに、体験者アバターは移動する方向に向かって自動で回転を始める。回転が終わると、説明員が指定した鑑賞地点まで、床面に描画された移動パスに沿って自動移動する。HMD 体験者が鑑賞地点へ到着すると、回転誘導を開始する。

4. システムの運用

4.1 システムに対する意見

第 24 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2016) にて本研究のデモ発表を行った。発表では、研究のモチベーションやシステムのコンセプトを伝えた上で、実際に説明員システムと HMD 体験者システムを体験してもらった。

発表では、説明員システムの体験者はシステムのコンセプトについて素早く理解し、操作も容易に行っていた。説明員システムのインタフェースについては、好意的な意見が集まった。まず、POI と鑑賞地点の両方を指定する手法に関しては、HMD 体験者を意図した場所へ誘導できるという点で便利だという意見があった。この手法では、HMD 体験者は鑑賞地点を探す必要がない点も便利であるという意見も得られた。

また、HMD 体験者視点で鑑賞地点から POI を見た時のプレビューについては、俯瞰視点表示に比べ鑑賞地点が指定し易く、適切な位置へ誘導できるという意見が得られた。俯瞰視点表示では、ヴァーチャル空間を詳細に確認することが困難なため、オブジェクトを詳細に見たいときに活用できるという意見もあった。

一方で、HMD 体験者システムに対しては、いくつか否定的な意見があった。その内の一つとして、HMD 体験者の移動誘導に関するものがあった。HMD 体験者システムでは移動誘導の際、HMD 体験者が自動的に鑑賞地点へ移動を開始する。このように、HMD 体験者の意図しないタイミングで自動移動すると、HMD 体験者の没入感を損なわせるのではないかという意見である。

次に多かったのは、HMD 体験者の頭部方向を誘導するインジケータが分かりにくいという意見である。実際に、インジケータが指し示している方向が理解できない体験者が多く見られた。理解できていない体験者に対し、HMD を動かしながらインジケータの説明を行うと、インジケータの指し示す方向を理解できるようになった。

4.2 考察

HMD 体験者を意図した場所へ誘導できるという意見から、POI と鑑賞地点を指定する手法は、説明員の誘導にかかる労力を低減することが示唆された。また、提案手法では鑑賞地点を HMD 体験者自身が探索する必要もないため、HMD 体験者の労力も低減すると考えられる。

次に、HMD 体験者視点で鑑賞地点から POI を見た時のプレビューについての意見から、プレビューは説明員の鑑賞地点の決定を支援していると考えられる。HMD 体験者視点で鑑賞地点からの POI の見え方を常に確認しながら鑑賞地点を決定できるため、俯瞰視点表示に比べ適切な鑑賞地点を指定できたのだと考えられる。

HMD 体験者システムの移動手法については、HMD 体験者の意図しないタイミングで自動移動するのは、HMD 体験者の没入感を損なわせるのではないかという意見があった。これは、自動移動が開始されるタイミングは説明員が制御しており、HMD 体験者の意図に反して自動移動を開始してしまうのが問題だと思われる。

また、頭部方向を誘導するインジケータが分かりにくいという意見があった。これは、円形のインジケータが一般的でないために、それが何を表しているのかを体験者が理解できなかったためだと思われる。VR コンテンツの体験の場で、説明員が HMD 体験者にインジケータの表す意味を毎回説明することは困難である。従って、インジケータ理解しやすさを優先した表示手法にすべきだと思われる。

4.3 HMD 体験者の自動移動の改善点

HMD 体験者の意図しないタイミングで自動移動するのは、HMD 体験者の没入感を低下させる恐れがある。一方で、ヴァーチャル空間での移動に慣れていない HMD 体験者は、鑑賞地点まで能動的にたどり着けない恐れがある。

これらを考慮した移動誘導の改善案として、HMD 体験者が自動移動を要求すると自動移動を開始する手法が考えられる。この手法では、説明員ではなく HMD 体験者自身が自動移動のタイミングを制御できるため、自動移動が HMD 体験者の意図に反することはない。

今回、プロトタイプとして、この自動移動手法を実装した。この手法では、説明員が POI と鑑賞地点を指定して誘導を開始すると、HMD 体験者システムは鑑賞地点と移動パスのみを表示し、自動移動は行わない。HMD 体験者は表示された移動パスを見ながら、能動的に鑑賞地点へ移動できる。HMD 体験者がコントローラのホームボタンを押すと、HMD 体験者システムは説明員システムから移動パスデータを取得し、自動移動を開始する。

4.4 インジケータの改善点

円形のインジケータは一般的でないために、説明員が HMD 体験者へインジケータの表す意味を説明する必要性が生じた。インジケータは HMD 体験者の理解しやすさを優先した表示手法にすべきである。今回、プロトタイプとして矢印表示によるインジケータを実装した(図6)。HMD 体験者は矢印の向いている方向に頭を回転させると、POI を見ることができる。

この表示手法は POI までの距離を表すことができないが、HMD 体験者に素早い動きを強いる必要のない状況下では、このような表示の理解しやすさを優先した表示手法が最適だと考えられる。

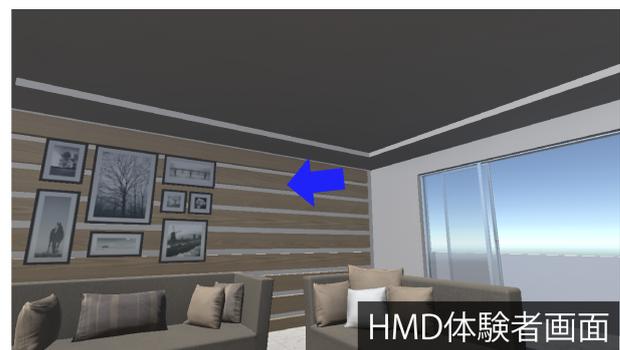


図 6 回転誘導中の体験者画面

5. 関連研究

今回、HMD 体験者と外部のコミュニケーション支援研究についてサーベイを行った。また、POI を利用した移動手法についてのサーベイを行った。

5.1 HMD 体験者と外部のコミュニケーション支援

Stafford らは、遠隔地にいる HMD 体験者とのコミュニケーションを可能にするテーブルトップシステムを提案した [3]。このシステムでは、HMD 体験者の周囲を俯瞰視点表示したテーブルトップ画面に対しタッチ操作を行うと、HMD 側ではタッチ箇所手の CG が重畳表示される。このインタラクション手法は、Godlike Interaction と呼ばれ、HMD 体験者に対して直接物体を指差しているようなコミュニケーションを可能にする。

このようにポインティング箇所 (POI) を共有すると、“あれ”、“それ”といった指示語が何を指しているのかを HMD 体験者に伝えることが容易になる。POI を共有する手法は、発話による指示に比べてタスクパフォーマンスが良くなることが知られており [8]、尉林らの空間レイアウト支援システム [16] や Roland らのヴァーチャル空間オーサリングツールに活用されている [11]。

尉林らの空間レイアウト支援システムである Dollhouse VR [16] では、テーブルトップ上で部屋のレイアウトを HMD 体験者と協調して行うことができる。テーブルトップ上で家具を動かした際、HMD 体験者側でもそのまま家具を動かすと、突然家具がひとりだけで動いたように見えてしまう。そこで Godlike Interaction を導入し、タッチ箇所に手の CG を表示することで動きと表示の整合性を取っている。

このシステムではヴァーチャル空間の表示は俯瞰視点表示し、タッチ箇所は Godlike Interaction で提示する。また、HMD 体験者はコントローラを用いて特定箇所のポインティングをすることができる。これにより、HMD 体験者側からの POI の伝達もサポートする。

Kasahara らの JackIn [14] は、一人称視点映像からヴァーチャル空間をリアルタイムに作成し、遠隔地にいるユーザとインタラクションを行うためのインタフェースを構築するシステムである。作成されたヴァーチャル空間に対しポインティングを行うと、その箇所を見るよう矢印が表示される。これにより、HMD 体験者の視野外のものポインティングし、その箇所を見るよう誘導できる。

Rorik らは、VR 映像作品におけるストーリーボードを HMD 体験と協調して作成するためのシステムを提案している [12]。このシステムでは、手元のタブレット端末を用いてストーリーボードの制作や表示、HMD 体験者との連携ができる。HMD 体験者は、制作されたストーリーボードをリアルタイムで確認し、HMD での見え方を確認しながら指示を出せる。

これらの研究のように、HMD 体験者と外部のコミュニケーション研究では、いかに外部の人間がヴァーチャル空間を効率的に把握するかと、そのインタフェースを通じた HMD 体験者と外部のインタラクション設計を中心に研究がなされている。

5.2 POI を用いた移動手法

3次元空間において、位置と回転の6自由度のパラメータをすべてユーザが入力することは容易ではない。そこで Mackinlay らは、POI を基準に移動パラメータを制御することで容易に移動できるようにする手法を提案した [7]。この手法では、移動オブジェクトは POI の方向を常に向くため、ユーザは回転のパラメータを入力する必要がなくなる。また常に POI を向くという性質から、注目したい箇所を見続けながらカメラ移動したい場合に効果的である。

渡邊らは、この手法を応用し、俯瞰視点表示されたサッカーフィールドに対して片方の手で POI を設定し、もう片方でカメラの移動パラメータを制御するインタラクション手法を提案した [17]。これにより、サッカースタジアムでのカメラの自由視点移動を、選手に注目しながら行うことができる。

POI に対する適切な位置を決定するために、より POI への依存を強めた手法としては、Hachet らの Navidget が挙げられる [9]。この手法では、カメラ移動において POI を中心とした円を基準に移動位置を決定でき、移動位置からの POI の見え方をプレビュー画面で確認することができる。これにより、継続的に移動して目的地を決定するのではなく、POI に対する適切な位置を決定してから移動することができる。

その他には、Zelevnik らの ZoomBack が挙げられる [10]。この手法では、ヴァーチャル美術館において絵画を選択すると、事前に登録した絵画を見るのに適した場所へワープ移動できる。オブジェクト上の選択位置によらず、オブジェクトに紐付けられた鑑賞地点へ移動するだけだが、POI となるオブジェクトがあらかじめ決まっている場合には効果的な手法である。

また、3D モデリングにおけるカメラ移動を容易にするために、オブジェクトに対する適切な位置を自動で決定する手法が提案されている [4]。この手法は、オブジェクト上のあらゆる箇所に対し適切な位置を決定できるため、オブジェクト上の任意の箇所を POI として、適切な鑑賞地点を決定できる。しかし、複雑な形状の物体に対して適切な鑑賞地点を決定できないため、ユーザが手動で移動位置を決定する手法は依然として用いられている。

6. まとめと展望

本研究では、説明対象である POI と鑑賞地点を指定し、その位置を HMD 体験者へ伝達する誘導手法を提案した。さらに、提案手法を導入した HMD 体験者誘導支援システムを開発した。

本システムのデモ発表で得られた意見から、POI と鑑賞地点を指定する手法は、説明員の誘導にかかる労力を低減することが示唆された。この手法は、HMD 体験者が鑑賞

地点を探索する必要もなくなるため、HMD 体験者の VR 体験を阻害しない手法ともいえる。また、HMD 体験者視点で鑑賞地点から POI を見た時のプレビューは、俯瞰視点表示に比べ鑑賞地点を決定しやすく、適切な位置へ誘導できるといった意見も得られた。プレビューにより、HMD 体験者視点で鑑賞地点からの POI の見え方を常に確認しながら鑑賞地点を決定できるため、俯瞰視点表示に比べ適切な鑑賞地点を指定できたのだと考えられる。

一方で、指定した POI と鑑賞地点を HMD 体験者システムへ伝達する手法については改善点がみられた。まず、自動移動が開始されるタイミングが説明員に制御されると、HMD 体験者の没入感を阻害することが示唆された。HMD 体験者が自動移動のタイミングを制御することで、HMD 体験者の意図に反した自動移動の開始を防ぐ改善案が考えられる。

また、円形インジケータは一般的でないために、それが何を表しているのかを HMD 体験者が容易に理解できないことがわかった。VR コンテンツ体験の場で、説明員が HMD 体験者にインジケータの表す意味を毎回説明することは困難である。そこで、矢印のような HMD 体験者の理解しやすさを優先した表示手法への変更が考えられる。

今回、デモ発表で得られた意見から提案手法の有用性や改善点を議論した。一方で、説明員と HMD 体験者間に生じるコミュニケーションの質的評価は行えていない。本手法のような、発話による誘導を極力減らすような手法が、二者間の関係に与える影響については議論の余地があると思われる。

参考文献

- [1] Matterport VR, <https://matterport.com/virtual-reality/>
- [2] 3D オープンハウス, <http://open-runways.com/service/3d-openhouse/>
- [3] Aaron Stafford, Wayne Piekarski, Bruce Thomas: Implementation of god-like interaction techniques for supporting collaboration between outdoor AR and indoor tabletop users. In *Proceedings of the Mixed and Augmented Reality (ISMAR '06)*, pp.165-172, 2006.
- [4] Azam Khan, Ben Komalo, Jos Stam, George Fitzmaurice, Gordon Kurtenbach: HoverCam: interactive 3D navigation for proximal object inspection. In *Proceedings of the Interactive 3D graphics and games (I3D '05)*, pp.73-80, 2005.
- [5] Doug A. Bowman, David Koller, Larry F. Hodges: Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques. In *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '97)*, pp.45-52, 1997.
- [6] Doug A. Bowman, Ernst Kruijff, Joseph J. LaViola, Ivan Poupyrev: 3D User Interfaces: Theory and Practice. *Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc.*, 2004.
- [7] Jock D. Mackinlay, Stuart K. Card, George G. Robertson: Rapid controlled movement through a virtual 3D workspace. In *Proceedings of the Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '90)*, pp.171-176, 1990.
- [8] Martin Bauer, Gerd Kortuem, Zary Segall: Where are you pointing at? A study of remote collaboration in a wearable videoconference system. In *Proceedings of the Wearable Computers*, pp.151-158, 1999.
- [9] Martin Hachet, Fabrice Declé, Sebastian Knödel, Pascal Guitton: Navidget for 3D interaction: Camera positioning and further uses. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(3), pp.225-236, 2009.
- [10] Robert C. Zeleznik, Joseph J. LaViola Jr., Daniel Acevedo Feliz, Daniel F. Keefe: Pop through button devices for VE navigation and interaction. In *Proceedings of Virtual Reality*, pp.127-134, 2002.
- [11] Roland Holm, Erwin Stauder, Roland Wagner, Markus Priglinger, Jens Volkert: A combined immersive and desktop authoring tool for virtual environments. In *Proceedings of Virtual Reality*, pp.93-100, 2002.
- [12] Rorik Henrikson, Bruno Araujo, Fanny Chevalier, Karan Singh, and Ravin Balakrishnan: Multi-Device Storyboards for Cinematic Narratives in VR. In *Proceedings of the User Interface Software and Technology (UIST '16)*, pp.787-796, 2016.
- [13] Sam Tregillus and Eelke Folmer: VR-STEP: Walking-in-Place using Inertial Sensing for Hands Free Navigation in Mobile VR Environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*, pp.1250-1255, 2016.
- [14] Shunichi Kasahara and Jun Rekimoto: JackIn: integrating first-person view with out-of-body vision generation for human-human augmentation. In *Proceedings of the Augmented Human International Conference (AH '14)*, 2014.
- [15] 加藤邦拓, 宮下芳明: なでて操作するカードボード HMD. 第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集 (WISS '15), pp.13-18, 2015.
- [16] 尉林暉, 杉浦裕太, 坂本大介, チョントビー, 宮田なつき, 多田充徳, 大隈隆史, 蔵田武志, 新村猛, 持丸正明, 五十嵐健夫: Dollhouse VR: 複数人が異なる視点で共同作業を行う VR 環境. *情報処理学会論文誌*, 57(12), pp.2610-2616, 2016.
- [17] 渡邊哲哉, 北原格, 亀田能成, 大田友一: 正確で直感的なカメラ操作を可能とする両手を用いた自由視点映像撮影インタフェース. *電子情報通信学会論文誌 D*, 95(3), pp.687-696, 2012.