

# 360度VR動画によるVRツアーコンテンツのOpenVSLAMを用いた開発フレームワークと公開サービス

岡田 義広<sup>1),2)</sup>, 永山 寛二<sup>2)</sup>, 木佐貫 浩司<sup>2)</sup>

1) 九州大学 附属図書館付設 教材開発センター

2) 九州大学 データ駆動イノベーション推進本部 次世代型オープンエデュケーション推進部門

okada.yoshihiro.520@m.kyushu-u.ac.jp

## Development Framework Using OpenVSLAM for VR Tour Contents of 360VR Videos and Its Contents Service

Yoshihiro Okada<sup>1),2)</sup>, Kanji Nagayama<sup>2)</sup>, Hiroshi Kisanuki<sup>2)</sup>

1) Innovation Center for Educational Resources, University Library, Kyushu Univ.

2) Division of Next generation Open Education promotion, Data-Driven Innovation Initiative, Kyushu Univ.

### 概要

本稿では、360° VR動画を使用したWebベースVRツアーコンテンツ開発のOpenVSLAMに基づくフレームワークを提案している。著者らはすでに360° VR動画のナビゲーションや360° VR画像のウォークスルーによるWebベースVRツアーコンテンツの開発フレームワークを提案している。ウォークスルーによるVRツアーコンテンツでは、数十、数百か所で360° VR画像を撮影する必要があり、その作業に必要な時間と労力は非常に大きい。そこで本稿では、360° VR動画からナビゲーションとウォークスルーの両方に対応するWebベースVRツアーコンテンツを開発可能な新たなフレームワークを提案している。360° VR画像のウォークスルーによるVRツアーコンテンツには、同じシーンの360° VR動画から必要な360° VR画像を抽出できるため、360° VR画像を撮影する代わりに360° VR動画を撮影し利用する。この場合、2つの魚眼レンズをもつポータブルな360° VRカメラを利用し動画を一度撮影するのみでよい。また、ナビゲーションによるVRツアーコンテンツには移動経路情報が必要であり、ウォークスルーによるVRツアーコンテンツには撮影された位置の情報が必要である。これまでは、VRツアー作成者が手作業でこれら情報を抽出しファイル化してきたが、この作業に必要な時間と労力も小さくない。そこで、これら情報を自動的に抽出するために、著者らはOpenVSLAMを採用することとした。本稿では、OpenVSLAMによって360° VR動画から正確な移動経路や位置情報の抽出ができるのかを評価した結果を示すとともに、新たなフレームワークにより開発したVRツアーコンテンツ例を示す。さらに、VRツアーコンテンツを公開するためのサービスを紹介する。

## 1 はじめに

本稿では、九州大学データ駆動イノベーション推進本部次世代型オープンエデュケーション推進部門(NOE)の活動の一つを紹介する。NOEの使命の一つは、XR(VR,AR,MRの総称)等最新のICTを活用した教材の提供と、それら教材の作成支援である。本稿では特に、360° VR画像・動画によるWebベースVRツアーコンテンツの開発フレームワークを紹介する。実験室や演習室を360° VRコンテンツとして閲覧できることは、実験や演習の予習として有用と考えられる。

最近では、種々のVRゴーグルが商品化され、

それらを用いるエンターテインメントアプリケーションも数多く制作されている。しかし、VRコンテンツの制作には多大な時間と労力を必要とするため、医療系以外で教育用VRコンテンツはこれまでほとんど制作されていないのが現状である。そのため、NOEでは、VR技術を活用した教育効果の高い教育コンテンツを数多く制作する必要があると考えている。一方で、LIDARカメラや360° VRカメラなど、これまでに多くの種類のスキャンデバイスが研究開発されてきた。これらスキャンデバイスを使用し、点群データ(PCD: Point Cloud Data)、3Dモデルデータ、360° VR画像・動画などの3Dデータを取得できる。3Dデータを教

育用 VR コンテンツに活用するために、著者らはすでに VR ゴーグルに対応した Web ベースの VR ツアーコンテンツの開発フレームワークを提案し、多くの VR ツアーコンテンツを開発してきた[1, 2]。360° VR 動画のナビゲーションや360° VR 画像のウォークスルーによる VR ツアーコンテンツの開発フレームワークを提案してきたが、数十、数百か所の360° VR 画像を用意するための時間と労力は非常に大きい。例えば、本稿で紹介する VR ツアーでは、300ヶ所以上の360° VR 画像を撮影した。そこで本稿では、360° VR 動画のみからナビゲーションおよびウォークスルーの両方の Web ベース VR ツアーコンテンツを開発する新たなフレームワークを提案する。

ナビゲーションによる VR ツアーコンテンツには360° VR 動画の移動経路情報が必要であり、ウォークスルーによる VR ツアーコンテンツには360° VR 画像が撮影された位置の情報が必要である。これまでは、VR ツアー作成者が手作業でこれら情報を抽出しファイル化してきたが、この作業に必要な時間と労力も小さくない。そこで、これらを自動生成するために、OpenVSLAM(Open Visual SLAM: Simultaneous Localization and Mapping)[3]の採用を試みた。本稿では、OpenVSLAM によって正確な移動経路や位置情報が生成できるのか評価した結果を示し、OpenVSLAM を用いた新たな開発フレームワークの有用性を明らかにする。

本稿の残りの部分は以下の通りである。次の2節では、関連研究について述べる。3節では、既存フレームワークを紹介する。4節では、OpenVSLAM に基づく開発フレームワークについて説明する。OpenVSLAM を紹介し、OpenVSLAM によって正確な移動経路と位置情報がどのように生成されるかを示す。また、新たなフレームワークによって開発された VR ツアーコンテンツ例を示す。5節では、VR ツアーコンテンツを公開するためのサービスの概要を述べる。最後の6節で、本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 2 関連研究

著者らは、Three.jsに基づく開発フレームワーク[4-9]を使用して、いくつかの Web ベース 3D 教材を開発してきた。Three.js は、人気のある WebGL ベース 3D グラフィックス JavaScript ライブラリシステム(<https://threejs.org/>)の1つであ

る。本稿で扱う 360° VR 画像・動画、PCD の Web ベース VR ツアーコンテンツの開発フレームワークも Three.js を使用している。360° VR 画像・動画および PCD については、それらを使用して対話的な Web VR コンテンツを作成するための商用サービスがいくつかある。RICOH のサービス (<https://www.theta360.biz/>) は 360° VR 画像に対応しているが、360° VR 動画や PCD には対応していない。本サービスの注目点は、エンドユーザーでも独自の 360° VR 画像の対話型 Web コンテンツを作成できる、Web ベース編集機能を提供することである。残念ながら、著者らのフレームワークはそのような機能を提供していない。Matterport のサービス(<https://matterport.com/>)は、360° VR 画像と PCD に対応しているが、360° VR 動画には対応していない。本サービスの注目点は、360° VR 画像と PCD から位置情報マップを自動生成する Matterport キャプチャアプリケーションと呼ばれる AI 技術をベースとした強力なツールを提供することである。残念ながら、著者らの既存フレームワークでは、そのようなツールは提供していない。そこで、本稿では OpenVSLAM を使用して 360° VR 動画から移動経路と位置情報を自動抽出することを提案する。

## 3 既存フレームワーク

本節では、既存フレームワークの機能紹介として、360° VR 画像・動画による Web ベース VR ツアーコンテンツを紹介する。

### 3.1 360° VR カメラと専用ソフトウェア

360° VR 画像・動画による Web ベース VR ツアーコンテンツを開発するには、まずこれらメディアファイルを準備する必要がある。360° VR 画像・動画のセンシングデバイスとして、6 台の魚眼レンズカメラを搭載し、最大 8K 解像度の 360° VR 画像・動画が撮影できる高品質な Insta360 Pro を使用している。360° VR 動画の場合、図 1 の左側に示すように、Insta360 ONE X2 や RICOH Theta などのポータブルな 360° VR カメラを使用する。図 1 の右に示すように、天辺にカメラを取り付けたヘルメットを被り移動することでナビゲーション動画を撮影する。

図 2 の上図に示す魚眼レンズ画像・動画を撮影した後、Insta360 Stitcher などの専用ソフトウェア

を使用し変換することで、図 2 の下図に示す正距円筒図法画像・動画が得られる。最後に、テクスチャマッピング技術を使用して、正距円筒図法画像・動画を 3D 空間の球の内面にマッピングすることで、360° VR 画像・動画コンテンツが利用可能となる。



図 1 360° VR カメラ



専用ソフトウェア ↓ 変換



図 2 専用ソフトウェアを使用して魚眼レンズ画像から正距円筒画像を生成

### 3.2 360° VR 画像・動画の VR ツアーコンテンツ開発フレームワーク

本稿では主に 360° VR 画像・動画を利用した VR ツアーコンテンツの開発フレームワークを紹介

する。360° VR 画像・動画を利用したウォークスルーコンテンツとナビゲーションコンテンツ、PCD を利用したウォークスルーコンテンツのそれぞれを開発するために、フレームワークは 3 つのシステムから構成される。3 つのシステムのすべての JavaScript ファイルと HTML ファイルを図 3 に示す。

<pre>walk_map.html video_map.html pcd_map.html JS {   walk_map.js,   walk_map_controls.js,   video_map.js,   video_map_controls.js,   pcd_map.js,   pcd_map_controls.js }</pre>	<pre>JSM {   Several JS files from Three.js library } Assets Images { 360VR images, optional images } Videos { 360VR videos } Models { PCD files } Movies { optional movie files } Sounds { optional sound files }</pre>
---	--

図 3 システムのファイル構成

3 つのシステムはそれぞれ、\*\_map.html のような 1 つの HTML ファイル（つまり、{walk\_map.html、video\_map.html、pcd\_map.html}）と、\*\_map.js のような 1 つのメイン JavaScript ファイル（つまり、{walk\_map.js、video\_map.js、pcd\_map.js}）、および \*\_map\_controls.js のような 1 つの補助 JavaScript ファイル（つまり、{walk\_map\_controls.js、video\_map\_controls.js、pcd\_map\_controls.js}）で構成される。\*\_map.js は、Three.js ライブラリから派生したいくつかの関数を利用している。新しいコンテンツを作成する場合、これらのプログラムを変更する必要はない。必要な作業は、必要なメディア ファイル（つまり、Assets ディレクトリに含まれる 360° VR 画像・動画と PCD ファイル）を準備し、\*\_map\_controls.js を適当に変更して、必要なメディアファイルを 3 つのメイン JavaScript プログラムのそれぞれに読み込むだけである。

実は、昨年度のオープンキャンパス向けに、日本最大級の大学図書館であることをアピールするために、九州大学の中央図書館の VR ツアーコンテンツを制作した。以下では、これら 360° VR 画像・動画の VR ツアーコンテンツを紹介し、既存の開発フレームワークの機能を個別に説明する。

#### 3.2.1 360° VR 画像のウェークスルーによる VR ツアーコンテンツ

図 4 は、360° VR 画像を使用したウォークスルーによる VR ツアーコンテンツ(中央図書館 3F)の 3 つのスクリーンショットとマップ画像である。図左上のマップは、各スクリーンショットの左上にも表示されている。ご覧の通り、地図上には合計 100 を超える多くのオレンジ色の点が見える。

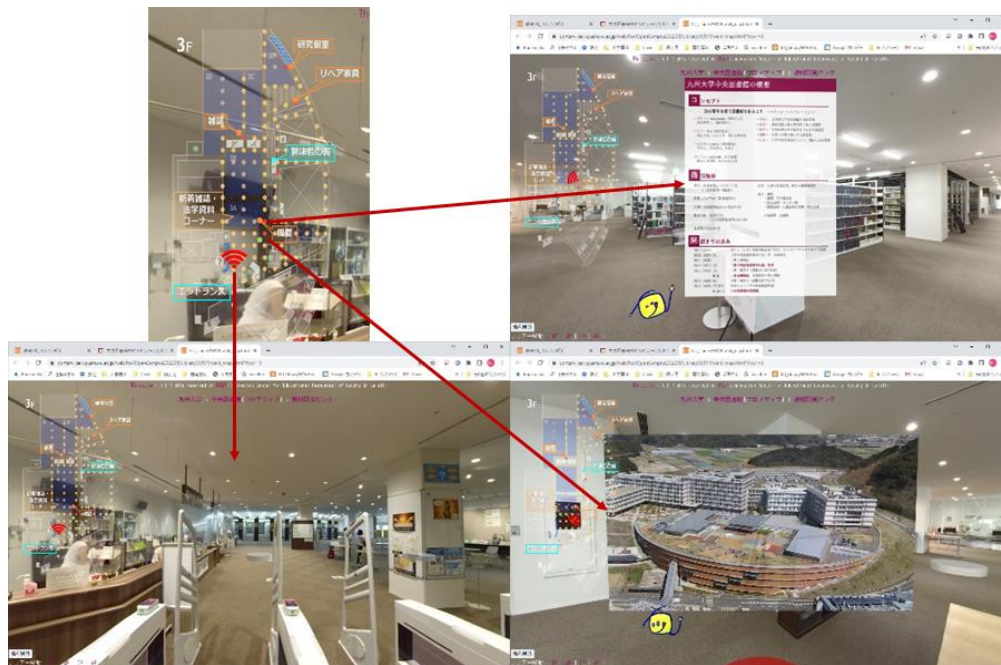


図4 360° VR 画像のウォークスルーによる VR ツアーコンテンツ(中央図書館3階)

それぞれは、対応する 360° VR 画像が 360° VR カメラ・Insta360 Pro によって撮影された場所を示している。オレンジ色の点の1つをクリックすると、対応する 360° VR 画像が次の 360° VR シーンとして表示される。同様に、360° VR シーン内の灰色の薄い円柱の1つをクリックすると、その場所で撮影された 360° VR 画像が次の 360° VR シーンとして表示される。さらに、このフレームワークは標準の画像や動画などのマルチメディアにも対応している。例えば、図の右上は標準画像の1つが表示されたスクリーンショットであり、中央には標準画像として説明パネルが表示されて

いる。同様に、図の右下は標準動画の1つが中央に表示されたスクリーンショットである。対応する赤い球オブジェクトをクリックすることにより、これらメディアが表示・非表示される。

### 3.2.2 360° VR 動画のナビゲーションによる VR ツアーコンテンツ

図5は、360° VR 動画を使用したナビゲーションによる VR ツアーコンテンツ(中央図書館3F)の3つのスクリーンショットとマップ画像である。図の左上のマップは、各スクリーンショットの左上にも表示されている。ご覧の通り、各スクリーンショットの中央下部には、360° VR 動画を制御

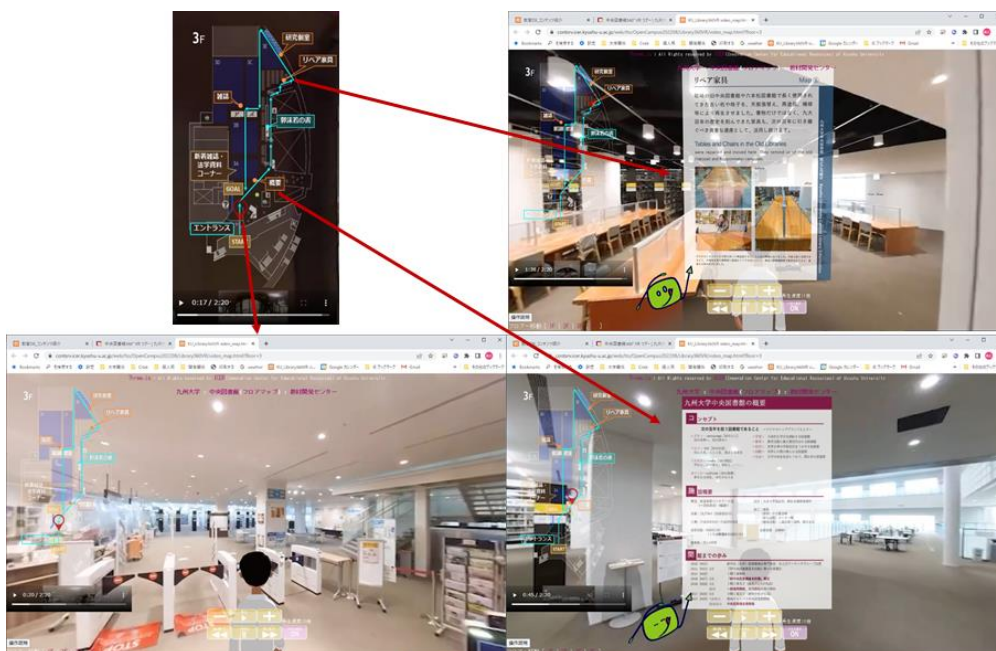


図5 360° VR 動画のナビゲーションによる VR ツアーコンテンツ(中央図書館3階)



するため(再生、一時停止、後進、早送りなど)のコントロールパネルがある。左上のマップには、シアン色の閉じたポリラインが表示されている。これは360° VR動画を撮影した際の移動経路を示している。ポリライン上をクリックすると、360° VR動画のフレームが対応する位置に移動する。ウォークスルーコンテンツと同様に、標準画像などのマルチメディアにも対応している。例えば、図の右上と右下には、その中央に画像ファイルが表示されている。360° VRシーンは、360° VR動画の対応する表示フレームであり、動画再生により自動的に変化する。したがって、この例のコンテンツをナビゲーションコンテンツと呼んでいる。中央下部に表示されているCGキャラクターは、エスコート役である。学生風キャラクターと教師風キャラクターを用意している。

#### 4 ポータブル 360° VR カメラを使用した VR ツアーコンテンツのための OpenVSLAM ベース開発フレームワーク

すでに 360° VR 動画のナビゲーションコンテンツや360° VR画像のウォークスルーコンテンツの開発フレームワークを提案してきたが、画像数が多すぎると360° VR画像を用意する手間は非常に大きくなる。例えば、前節の中央図書館3Fの例では、100カ所以上の360° VR画像を用意した。そこで本稿では、360° VR動画のみを用いたナビゲーションとウォークスルーの両方に対応するWebベースVRツアーコンテンツ開発の新たなフレームワークを提案する。ナビゲーションコンテ

ンツとウォークスルーコンテンツの両方に地図情報が必要である。これまでは、この地図情報を手作業で時間をかけて作成してきた。この作業を自動化するために、OpenVSLAMの利用を検討した。以下では、OpenVSLAMの紹介と評価結果を示す。その後、360° VR動画のみを使用したナビゲーションとウォークスルーの両方に対応する新しい360° VRツアーコンテンツを示す。

#### 4.1 OpenVSLAM と評価結果

天辺に360° VRカメラを備えたヘルメットを被り、移動してビデオ撮影した際の歩行経路を取得するには、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) などのツールを使用する必要がある。著者らは、Visual SLAM アルゴリズムの1つであるOpenVSLAM(Open Visual SLAM)を使用することにした。これは、360° VR動画に対応しており、そのツールは以下からダウンロード可能である。

<https://github.com/OpenVSLAM-Community/openvslam.git>

図6は、中央図書館3Fの360° VR動画におけるOpenVSLAMの実行画面である。右側は中央図書館3Fの360° VR動画の1フレーム、左側はVSLAMアルゴリズムにより抽出された移動経路を示している。ランドマークと呼ばれる多くの特徴点と、キーフレームの位置(緑の三角形)と、歩行経路(紫色のポリライン)が見える。

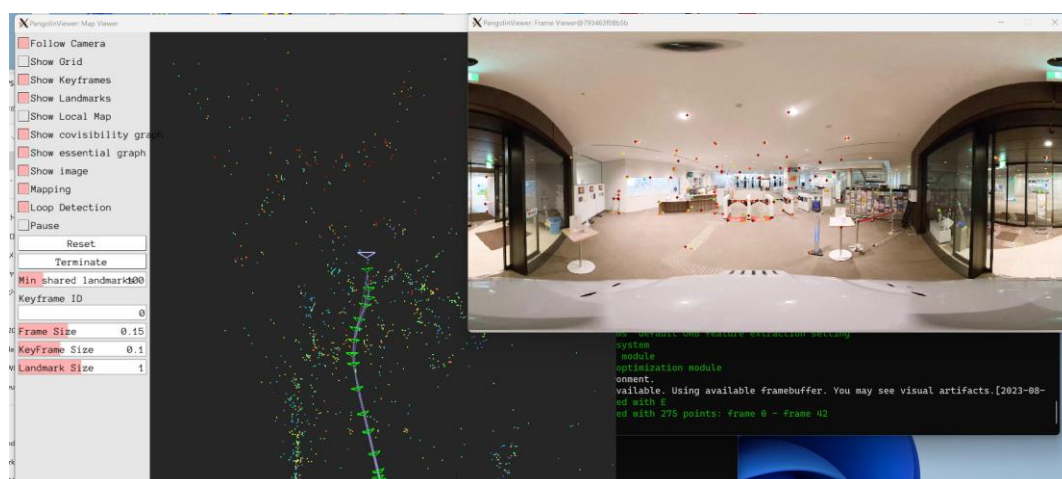


図6 OpenVSLAMの実行画面(中央図書館3階360°VR動画)



図7 手作業により作成された経路図と OpenVSLAM により自動抽出された経路

次のコマンドをパラメータ「-eval-log-dir eval」とともに使用して OpenVSLAM ツールを実行すると、キーフレームの位置データを「eval」ディレクトリ内の 1 つのテキストファイル「keyframe\_trajectory.txt」として取得できる。ファイルの内容を以下に示す。各行には、time\_stamp (システム時間)、x、y、z 座標値、および回転を表す四元数の値が含まれている。

**Command:**

```
./run_video_slam -v /vocab/orb_vocab.fbow -m library3F.mp4 -c equirectangular.yaml --no-sleep --map-db-out library3F.msg --eval-log-dir eval
```

**File 'keyframe\_trajectory.txt':**

```
1692445872.59002 -0 -0 -0 0 0 1
1692445873.99002 0.0035851773 -0.000222045069
-0.000110629381 -0.000992051701 -0.0146692998
-0.000758150407 0.99989162
...
1692446093.95648 1.30501332 -0.102533099
6.09009006 -0.0161551557 0.99928409 0.0232693377
0.0250770024
```

前節で紹介した中央図書館 VR ツアーコンテンツの 360° VR 動画について OpenVSLAM を評価した。図 7 は、OpenVSLAM によって抽出された移

動経路情報の評価結果である。中央図書館は 4 階建てなので、4 つの 360° VR 動画がある。この図には、手作業で作成された移動経路付きマップと OpenVSLAM によって生成された移動経路情報の 4 つのペアが示されている。OpenVSLAM の各移動経路情報は、各「keyframe\_trajectory.txt」ファイルに記述されたすべての x 座標値と z 座標値から生成した。各ペアの左マップと右マップを比較すると、OpenVSLAM によって抽出された移動経路情報は非常に正確であると言える。スケールや向きの調整は必要だが、OpenVSLAM で抽出された移動経路は、ナビゲーション VR ツアーの移動経路やウォークスルー VR ツアーの位置情報として十分で有効であると言える。

**4.2 360° VR 動画のナビゲーションとウォークスルーによる 360° VR ツアーコンテンツ**

新しいフレームワークは、既存の開発フレームワークを少し変更し、手作業により作成したマップの代わりに OpenVSLAM によって抽出された移動経路を使用する。このように、OpenVSLAM の利用により、手作業でのマップ作成の必要が無くなった。図 8 は、著者らの居室がある九州大学附属図書館付設教材開発センター内を 360° VR カメラで動画撮影したものを、VR ツアーコンテンツとして閲覧できるようにしたものである。左はナビゲーション版で、右はウォークスルー版の VR ツアーコンテンツのスクリーンショットである。

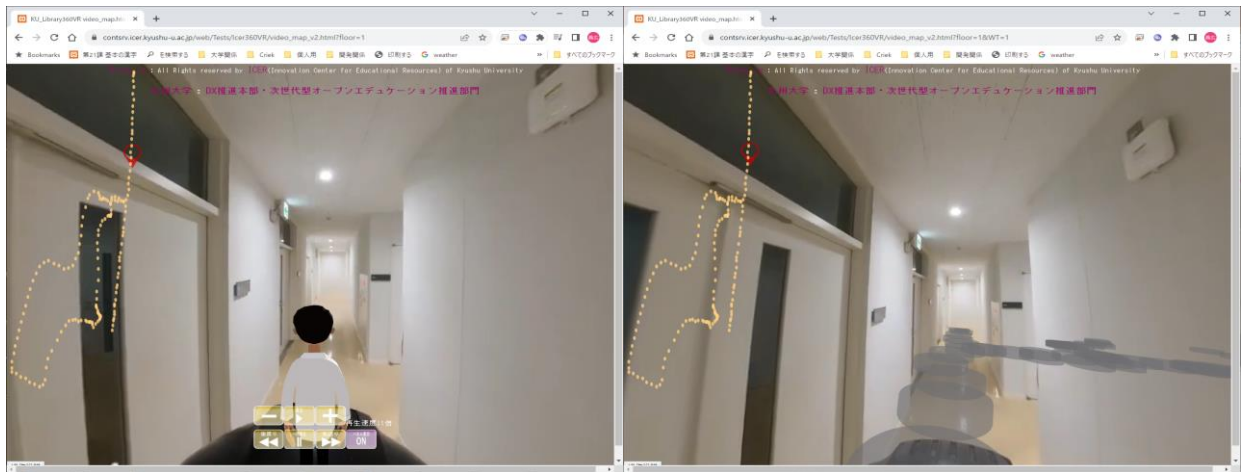


図8 ナビゲーションとウォークスルーによるVRツアーコンテンツ例(教材開発センター)

それぞれのスクリーンショット左上には OpenVSLAM が生成した移動経路が表示されている。オレンジ色の点の1つをクリックすると、360° VR 動画の現在のフレームが対応する位置のフレームに変更される。すなわち、位置が移動する。ナビゲーション版(図8左図)では、「再生」、「一時停止」などの動画を制御するコントロールパネルが表示されている。ウォークスルー版(図8右図)では、代わりに灰色の薄い円柱オブジェクトが多数表示されている。いずれかをクリックすると、360° VR 動画の現在のフレームが対応する位置のフレームに変更される。すなわち、位置が移動する。ナビゲーション版では、中央下部にエスコート役のCGキャラクターが表示されているが、ウォークスルー版では非表示となっている。

## 5. 公開サービスの概要

図9に、VRツアーコンテンツ公開サービスの概要を示す。著者らの所属する次世代型オープンエデュケーション推進部門が学内の教職員・学生からの作成申請を受けると、360° VRカメラとヘルメットのセットを申請者へ貸し出す。申請者は、自ら360° VRカメラ動画を撮影し、その動画を当部門へ送信する。Insta360 Stitcher等の専用ソフトウェアを使用して受信した動画を360° VR動画へ変換する。その後、OpenVSLAMを使用して移動経路情報ファイルを生成する。変換した360° VR動画と生成した移動経路情報の二つのファイルを新フレームワークのAssetsディレクトリへ保存し、当該の

URLを申請者へ通知する。

申請者は、③に示す360° VRカメラで動画を撮影するのみであり、当部門は、④、⑤に示される専用ソフトウェアでの360° VR動画への変換とOpenVSLAMでの移動経路情報生成のみを行えばよい。このように、労力と時間を掛けずに360° VRツアーコンテンツ公開が可能となる。

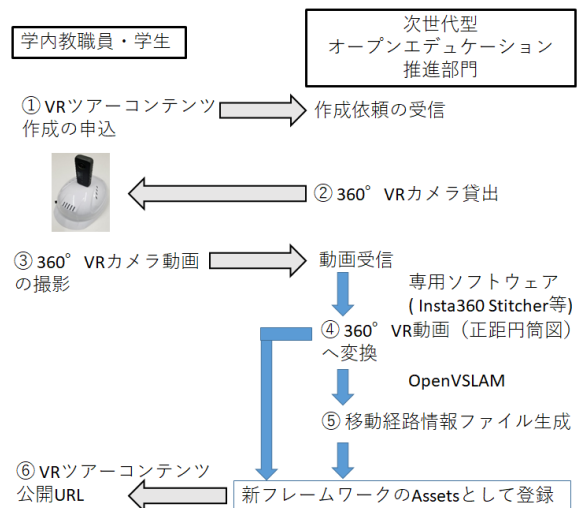


図9 VRツアーコンテンツ公開サービス

## 6. おわりに

最近では、LIDAR スキャナや360° VRカメラなど、さまざまな種類のスキャンデバイスが研究開発されている。これらのスキャンデバイスを使用すると、点群データ(PCD: Point Cloud Data)、3Dモデルデータ、360° VR画像・動画などの3Dデータを取得できるようになる。これらの3Dデ

ータを教育用 VR コンテンツとして活用するために、著者らはすでに 360° VR 画像・動画と PCD を用いた Web ベースのウォークスルーとナビゲーションによる VR ツアーコンテンツの開発フレームワークを提案している。しかし、360° VR 画像の数が多すぎるとそれを用意するための作業時間と労力が大きくなる。そこで本稿では、OpenVSLAM をベースとした新たな開発フレームワークを提案した。評価結果から、OpenVSLAM によって抽出された移動経路は非常に正確であり、手作業で作成する移動経路の代わりにこれを採用することとした。

今後は、提案した開発フレームワークを活用して、VR ツアーコンテンツの有用性を実証するための VR ツアーコンテンツをさらに作成していく予定である。また、RICOH Theta サービスの Web ベース編集機能と同様の編集機能の実装を試みる予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22H03705 および九州大学 VISION EXPO プロジェクトの助成を受けて行われたものである。

## 参考文献

- [1] Okada, Y., Kaneko, K., Shi, W. (Feb 2023, Development Framework Using 360VR Cameras and Lidar Scanners for Web-Based XR Educational Materials Supporting VR Goggles. In: Barolli, L. (eds) Advances in Internet, Data & Web Technologies. EIDWT 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 161. Springer, pp. 401-412.
- [2] Okada, Y., Kaneko, K., Shi, W. (July 2023). Development Framework for Web-based VR Tours and Its Examples. 27th International Conference Information Visualisation (IV), pp. 420-425.
- [3] Sumikura, S., Shibuya, M. and Sakurada, K., 2019, OpenVSLAM: A Versatile Visual SLAM Framework, MM '19: Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia October 2019 Pages 2292–2295.
- [4] Okada, Y. et al, 2016. Framework for Development of Web-based Interactive 3D Educational Contents, 10th International Technology, Education and Development Conference, pp. 2656-2663.
- [5] Okada, Y. et al, 2016. Interactive Educational Contents Development Framework Based on Linked Open Data Technology, 9th annual International Conference of Education, Research and Innovation, pp. 5066-5075.
- [6] Okada, Y. et al, 2017. Interactive Educational Contents Development Framework and Its Extension for Web-based VR/AR Applications, Proc. of the GameOn 2017, Eurosis, ISBN: 978-90-77381-99-1, pp. 75-79.
- [7] Ma, C. et al, 2018. E-Learning Material Development Framework Supporting VR/AR Based on Linked Data for IoT Security Education, Proc. of 6th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT 2018), ISBN: 978-3-319-75928-9, pp. 479-491.
- [8] Hirayama, D. et al, 2019. Web-Based Interactive 3D Educational Material Development Framework and Its Authoring Functionalities, Proc. of the 22nd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2019), ISBN 978-3-030-29028-3, pp. 258-269.
- [9] Yamamura, H. et al, 2020. A Development Framework for RP-type Serious Games in a 3D Virtual Environment, VENOVA 2020 in Proc. of the 14th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS-2020), pp. 166-176.