

OpenVSLAM サーバを利用した教育用 360° VR 画像・動画 Web サービス

岡田 義広, 永山 寛二, 木佐貫 浩司

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

Web Service of Educational 360-degree VR Images/Videos Using OpenVSLAM Server

Yoshihiro Okada, Kanji Nagayama, Hiroshi Kisanuki

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

概要

著者らはすでに、OpenVSLAM(Open Visual SLAM: Simultaneous Localization and Mapping)に基づく、Web ベースの VR ツアー、つまり 360° VR 動画のナビゲーション VR ツアーと 360° VR 画像のウォークスルーVR ツアーの開発フレームワークを提案している。これら VR ツアーは、実験室や演習室の説明教材として利用できる。OpenVSLAM を使用することで、入力とする 360° VR 動画からそのカメラ位置の時系列情報を出力できる。ナビゲーション 360° VR 動画から出力されるカメラ位置の時系列情報に対応した 360° VR フレーム画像を抽出することで、ウォークスルーVR ツアーの 360° VR 画像として利用できる。360° VR 画像を撮影することなしに、360° VR 動画のナビゲーション VR ツアーと 360° VR 画像のウォークスルーVR ツアーを作成できる。今回、著者らは OpenVSLAM をサーバとして利用し、360° VR 画像・動画による VR ツアーの Web サービスを開始した。本稿では、OpenVSLAM がサーバとしてどのように機能するのかについて詳述する。

1 はじめに

九州大学では、学内の DX を推進するため、2022 年 4 月にデータ駆動イノベーション推進本部 (DDI2) を設立した。DDI2 はいくつかの部門で構成されており、その 1 つが、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 (NOE) 部門である。教育 DX の推進を主なミッションとし、XR : eXtended Reality (VR : 仮想現実、AR : 拡張現実、MR : 複合現実) などの最新 ICT を活用した教材の提供と作成支援を行っている。実験室や演習室の VR ツアーは、学生が実験や演習を行う前に実験・演習室の設備や実験・演習内容を理解するのに役立つ。このような VR ツアーの制作も NOE 部門の活動の一つである。著者らはすでに 2 種類の Web ベース VR ツアー、つまり 360° VR 動画のナビゲーション VR ツアーと 360° VR 画像のウォークスルーVR ツアーを作成するためのフレームワークを提案している [1]。これらのフレームワークを使用して、大学図書館の VR ツアーをすでに作成している。しかし、図書館ウォークスルーVR ツアーでは、360° VR 画像の取得に

多大な時間と人的リソースを費やすという問題があった。例えば、図書館は 4 階建てですべての階合計で 300 箇所以上の 360° VR 画像を撮影した。また、撮影した場所の位置情報を記録しておく必要があった。これらのコストを削減するために、ナビゲーション VR ツアーの 360° VR 動画のみを使用し、ウォークスルーVR ツアーに必要な 360° VR 画像の取得と位置情報を抽出するために OpenVSLAM (Open Visual SLAM: Simultaneous Localization and Mapping)[2]を利用するフレームワークを提案した [3, 4]。360° VR 動画のナビゲーション VR ツアーには移動経路情報が必要であり、360° VR 画像のウォークスルーVR ツアーには各 360° VR 画像が撮影された位置情報が必要である。これらの情報を自動生成するために、OpenVSLAM を採用した。次に、OpenVSLAM ベースのフレームワークを使用して、大学図書館建物のナビゲーションとウォークスルー VR ツアーを再作成した。しかし、OpenVSLAM を手動で実行し、移動経路情報を含む OpenVSLAM の出力ファイルを Web サーバ上の適切な場所に手動配置しなければならなかった。今回、OpenVSLAM をサーバとして動作させることで、これらの操作を自動で行

えるように改修した。OpenVSLAM が動作する専用 Web サーバに 360° VR 動画をアップロードするのみで、ナビゲーションとウォークスルーの VR ツアーを作成できるようになった。本稿では、OpenVSLAM がサーバとしてどのように機能するのかを詳述する。

本稿の残りの部分は次の通りである。次の 2 節では、関連研究について述べる。3 節では、著者らが提案するフレームワーク [1] と OpenVSLAM ベースのフレームワーク [3、4] を紹介する。4 節は、OpenVSLAM サーバが Web サーバ上でどのように機能するのかを説明する。最後に、5 節で本稿のまとめを述べる。

2 関連研究

VR ゴーグル対応 XR アプリケーションを開発するには、Unity や Unreal Engine などのツールキットシステムを使用する必要がある。Unity は、世界で最も人気のあるゲームエンジンの 1 つである(<https://unity.com/>)。Unreal Engine も、世界で最も人気のあるゲームエンジンの 1 つである(<https://www.unrealengine.com/>)。著者らは Unity を使用して、いくつかの教育ゲームを開発した [5]。Unity と Unreal Engine は非常に強力で洗練されたツールであるが、使用するにはプログラミングの知識と操作スキルが必要なため、教師などの一般のエンドユーザが使用するのは困難である。

LiDAR や 360° VR カメラなどのセンシングデバイスをリリースしている企業がいくつかある。一部の企業は、ユーザが PCD(Point Cloud Data) および 360° VR 画像/動画の対話的な Web ベース VR アプリケーションを作成できる商用サービスを提供している。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。このサービスは、エンドユーザが独自の Web ベース 360° VR コンテンツを作成するために Web 編集機能を提供する。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。このサービスは、360° VR 画像と PCD から位置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 テクノロジーに基づいた強力なツールを提供する。著者らの提案する OpenVSLAM ベー

スのフレームワークでも、移動経路と位置情報を生成できる。

3 既存フレームワーク

この節では、すでに提案している 360° VR 動画の Web ベース・ナビゲーション VR ツアーおよび 360° VR 画像のウォークスルー VR ツアーのフレームワークを紹介し、それを拡張した OpenVSLAM ベースのフレームワークを紹介する。

3.1 360° VR 画像/動画による VR ツアーのフレームワーク

360° VR 動画の Web ベース・ナビゲーション VR ツアーと 360° VR 画像のウォークスルー VR ツアーのフレームワークは 2 つのシステムで構成されている。2 つのシステムのすべての JavaScript ファイルと HTML ファイルを図 1 に示す。

walk_map.html video_map.html JS { walk_map.js, walk_map_controls.js, video_map.js, video_map_controls.js }	JSM { Several JS files from Three.js library } Assets Images { 360VR images, optional images } Videos { 360VR videos } Models { optional 3D model files } Movies { optional movie files } Sounds { optional sound files }
--	---

図 1. 2 つのシステムの全ファイル構成

各システムには、1 つの HTML ファイル (walk_map.html または video_map.html)、1 つの主要 JavaScript ファイル (walk_map.js または video_map.js)、および 1 つの補助 JavaScript ファイル (walk_map_controls.js または video_map_controls.js) が含まれている。walk_map.js と video_map.js は、Three.js ライブラリから派生したいくつかの関数を定義している。Three.js は、WebGL の強力なライブラリである。新しい VR ツアーを作成するときに、これらのプログラムを変更する必要はない。必要なメディアファイル (つまり、Assets ディレクトリに保存されている 360° VR 画像/動画ファイル) を準備し、walk_map_controls.js または video_map_controls.js にファイル名等を設定するだけである。ファイル名が登録されたメディアファイルは、2 つの主要 JavaScript プログラムによって適切に読み込まれる。

1) 360° VR 画像の Web ベース・ウォークスルー VR ツアー

図 2 の上部は、九州大学中央図書館の Web ベース・ウォークスルーVR ツアーのブラウザスクリーンショットである。図の左側は 3 階のマップで、右側は同 3 階のメインスクリーンショットであり、左上にマップが表示されている。360° VR 画像が撮影された場所を示す 100 個以上の小さなオレンジ色の点がマップ上に表示されている。行きたい場所のオレンジ色の点をマウスクリックすると、現在の 360° VR 画像がその場所で撮影された画像に切り替わる。メインのスクリーンショットでは、360° VR 画像が撮影された場所を示す灰色の円盤が見える。この円盤の 1 つをマウスクリックすると、現在の 360° VR 画像がその場所で撮影された画像に切り替わる。このようにして、フロア内をウォークスルーできる。

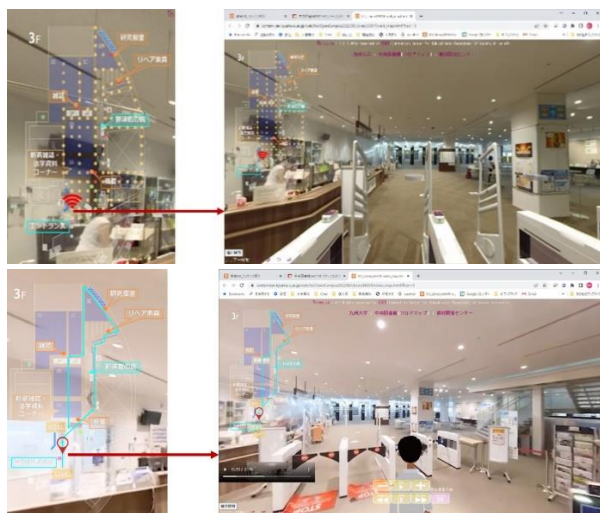


図 2. 九州大学中央図書館 VR ツアー

2) 360° VR 動画の Web ベース・ナビゲーション VR ツアー

図 2 の下部は、九州大学中央図書館の Web ベース・ナビゲーション VR ツアーのブラウザスクリーンショットである。図の左側は 3 階のマップで、右側は同 3 階のメインスクリーンショットであり、左上にマップが表示されている。水色のポリラインは、コンパクトな 360° VR カメラが取り付けられたヘルメットを被って 360° VR 動画を撮影した際の移動経路を表している。移動経路上をマウスクリックすると、その位置に 360° VR 動画の再生位置が移動する。メインスクリーンショットの中央下部に、再生、一時停止、逆再生などのホームビデオの制御と同様に 360° VR 動画を制御するためのコントロールパネルが表示されている。

3.2 360° VR 動画による VR ツアーの OpenVSLAM ベースフレームワーク

3.1 で説明したように、360° VR 動画のナビゲーション VR ツアーには移動経路情報が必要であり、360° VR 画像のウォークスルーVR ツアーには各 360° VR 画像とそれらが撮影された位置情報が必要である。これらの情報を自動生成するために、OpenVSLAM を採用した。360° VR 動画に対応しており、コミュニティバージョンが次の URL(<https://github.com/OpenVSLAM-Community/opencvslam>) から入手可能であるため OpenVSLAM を採用することにした。

以下では、OpenVSLAM がどのように機能して、中央図書館の Web ベース・ナビゲーション VR ツアーとウォークスルーVR ツアーの作成が可能であるのかを説明する。

1) OpenVSLAM の機能

まず、WSL2(Windows Subsystem for Linux)の Ubuntu OS に OpenVSLAM をインストールした。図 3 に中央図書館 3 階の 360° VR 動画に対する OpenVSLAM 実行画面を示す。右側部分は 360° VR 動画の 1 フレームを表示しており、黒い背景の左側部分には OpenVSLAM によって生成された移動経路が表示されている。ランドマークと呼ばれる多数の特徴点と、緑色の三角形はキーフレームが撮影された場所、紫色のポリラインは移動経路をそれぞれ表している。

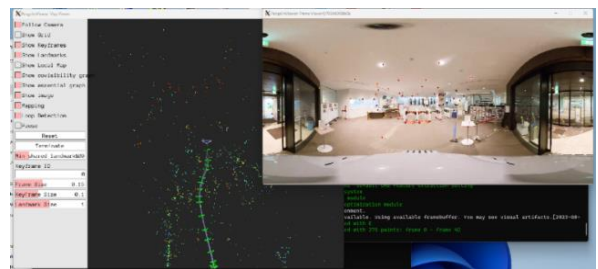


図 3. OpenVSLAM 実行画面

OpenVSLAM を実行するには、パラメータ「-eval-log-dir eval」を指定した以下のコマンドを使う。キーフレームが撮影された場所の情報は、eval ディレクトリ内の keyframe_trajectory.txt というファイル名のテキストファイルとして出力される。keyframe_trajectory.txt には複数の行が含まれており、各行には time_stamp (システム時間)、x、y、z 座標、および回転としての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
```

2) OpenVSLAM ベースフレームワークにより再作成された Web ベース・ナビゲーション VR ツアーとウォークスルーVR ツアー

以前のフレームワークをわずかに変更して、OpenVSLAM ベースの新しいフレームワークを開発した。図 4 は、この新しい OpenVSLAM ベースフレームワークのファイル構成を示している。主要なファイルは、video_map_v2.html、video_map_v2.js、video_map_controls_v2.js の 3 つである。また、Assets ディレクトリの一つとして keyframes ディレクトリがあり、keyframe_trajectory.csv ファイルが格納される。この csv ファイルは、keyframe_trajectory.txt ファイルの内容を csv 形式にしたものである。マイクロソフト Excel を使用して、テキストファイルから keyframe_trajectory.csv を手動で生成する。

図 5 は、中央図書館の新しく作成された Web ベース・ナビゲーション VR ツアー(上)とウォークスルーVR ツアー(下)のスクリーンショットである。図 2 に示される手動で作成したマップの代わりに、keyframe_trajectory.txt を変換した keyframe_trajectory.csv から抽出されたキーフレームが撮影された場所を示すオレンジ色の点を表示している。正確には、keyframe_trajectory.csv の位置情報から、video_map_v2.js プログラムがオレンジ色の点を表示している。

ウォークスルーVR ツアーの場合、ナビゲーション VR ツアーと同じ html および JavaScript ファイルが使用されるため、ナビゲーション VR ツアーの URL にパラメータ「WT=1」を追加すれば良い。ウォークスルーVR ツアーでは、学生モ

デルなどの 3D モデルや動画制御用コントロールパネルは表示されない。keyframe_trajectory.csv の位置情報から、video_map_v2.js プログラムがオレンジ色の点と灰色の円盤を表示している。灰色の円盤をマウスクリックすることで対話的に位置を変更しウォークスルーできる。

video_map_v2.html JS { video_map_v2.js, video_map_controls_v2.js } JSM { Several JS files from Three.js library }	Assets Images { optional images } Videos { 360VR videos } Keyframes { keyframe_trajectory.csv files } Models { optional 3D model files } Movies { optional movie files } Sounds { optional sound files }
--	--

図 4. OpenVSLAM ベースフレームワークのファイル構成

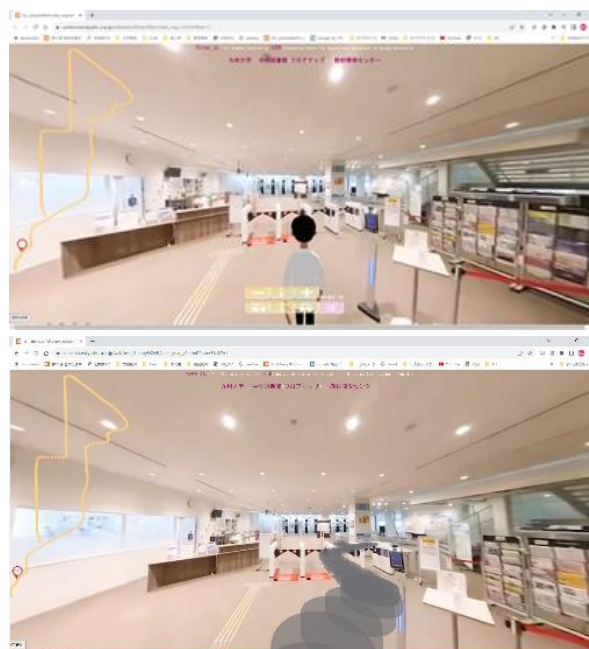


図 5. 再作成された九州大学中央図書館 VR ツアー

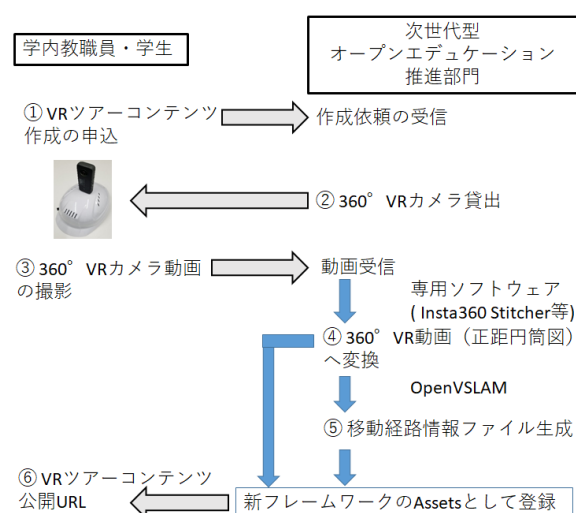


図 6. VR ツアー公開サービスの流れ

図 6 に示すように、NOE 部門の学内向けサービスとして、これらコンテンツ制作を行ってい

る。まず、コンテンツ制作の申請者へ 360° VR カメラとヘルメットのセットを貸し出す。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 Studio 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、OpenVSLAM を利用することで、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った。しかし、まだ手動で処理しなければならない部分があるため、それらを自動化するため OpenVSLAM をサーバ化した。

4. OpenVSLAM のサーバ化による VR ツアーコンテンツ公開サービス

OpenVSLAM をサーバとして動作させるために、まず Windows の Web サーバ上で動作する C 言語のプログラム space2comma.exe を作成した。これは、keyframe_trajectory.txt から keyframe_trajectory.csv を生成する。これまでは、マイクロソフト Excel を使用した手作業であった。また、WSL2 の Ubuntu OS にインストールされた OpenVSLAM を Windows のコマンドラインウィンドウから実行できることを確認した。以下のように wsl.exe を使用して、Windows のコマンドラインウィンドウから Ubuntu コマンドを実行できる。

>wsl.exe any Ubuntu commands

さらに、OpenVSLAM ベースフレームワークを Web サービスとして機能させるために、360° VR 動画を Web サーバにアップロードする 2 つのファイル、upload_360VR_video.html と upload_360VR_video.php を作成した。図 7 上段

は、アップローダの Web ページ画面である。アップロード後、図 7 中段の Web ページ画面となり、VR ツアーの URL が表示される。

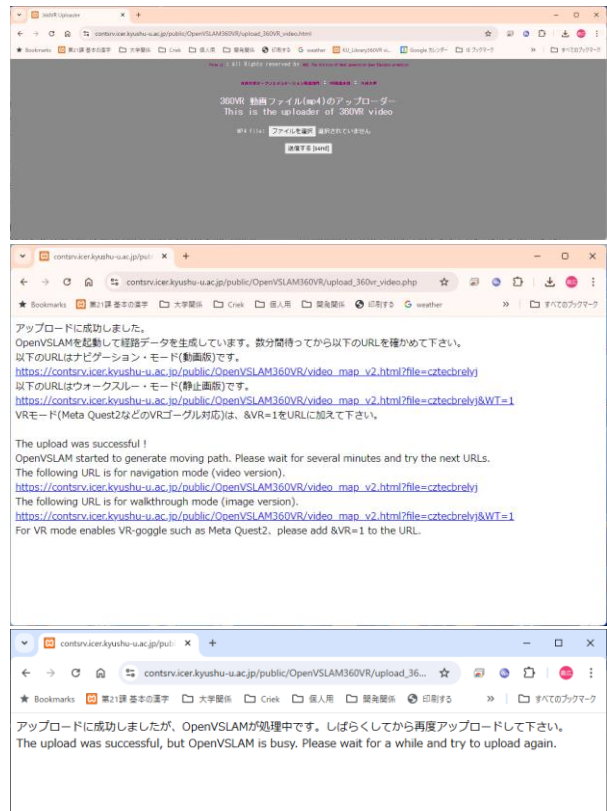


図 7. VR ツアー公開サービスの Web ページ

アップロードされた動画には、重複を防ぐためにランダムな文字列からなる一意のファイル名が付けられ、Assets/Videos ディレクトリに格納される。同時に、この動画ファイル名を指定して、Windows OS から Ubuntu OS 上の OpenVSLAM を実行するためのバッチファイル OpenVSLAM.bat が作成され、Commands ディレクトリに保存される。filename は、アップロードされた 360° VR 動画のファイル名を意味する。このバッチファイルは、wsl.exe によって、Ubuntu OS 上でシェルスクリプト OpenVSLAM360VR.sh を実行する。

```
----- OpenVSLAM.bat -----
wsl.exe sh /home/.../OpenVSLAM360VR.sh filename
space2comma.exe /mnt/e/public/OpenVSLAM360VR/Assets/Keyframes/filename.txt
/mnt/e/public/OpenVSLAM360VR/Assets/Keyframes/filename.csv
-----

----- OpenVSLAM.sh -----
#!/bin/bash

echo 'Start OpenVSLAM!'
cd /home/.../.../build
./run_video_slam -v ./orb_vocab.fbow -m /mnt/e/public/OpenVSLAM360VR/Assets/Videos/
$I1.mp4 -c ./.../.../example/aist/equirectangular.vam1 --frame-skip 3 --no-sleep --
map-od-out map.msg --auto-term --eval-log-dir log
cp ./log/keyframe_trajectory.txt /mnt/e/public/OpenVSLAM360VR/Assets/Keyframes/
$I1.txt
cp ./map.msg /mnt/e/public/OpenVSLAM360VR/Assets/msg_data/$I1.msg
-----
|
```

図 8. OpenVSLAM.bat と OpenVSLAM.sh の内容

Ubuntu OS では、このシェルスクリプトによって OpenVSLAM が実行され、その出力として keyframe_trajectory.txt の代わりに filename.txt を生成する。この filename もアップロードされた 360° VR 動画のファイル名を意味する。filename.txt は ./Assets/Keyframes/ ディレクトリに保存される。バッチ ファイルの残りの部分で、space2comma.exe を実行して、filename.txt から csv 形式のファイル filename.csv を生成し、それを ./Assets/Keyframes ディレクトリに保存する。さらに、OpenVSLAM.bat が生成されたかどうかを常時監視するスタンバイモードにあり、生成された場合にそのバッチファイルを実行するプログラム repeat.exe を作成した。バッチファイルの実行が終了すると、repeat.exe プログラムは OpenVSLAM.bat ファイルを削除し、スタンバイモードに戻る。バッチファイル OpenVSLAM.bat がまだ実行されている間に、新しく 360° VR 動画のアップロードが開始された場合、OpenVSLAM は実行できない。これは、同時に実行できる OpenVSLAM は 1 つに制限されるためである。この場合、図 7 下段の Web ページが表示され、しばらく待った後に再度 360° VR 動画をアップロードする必要がある旨が通知される。

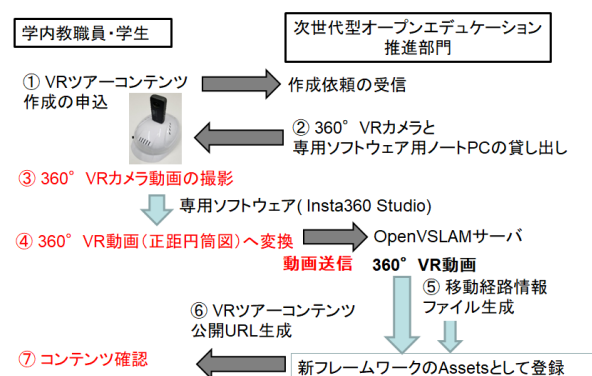


図 9. 新たな VR ツアー公開サービスの流れ

図 9 に示すように OpenVSLAM の実行と出力されるファイルの変換や格納を自動化したことにより、VR ツアー公開サービスに関して NOE 部門の人的負担はほぼゼロとなった。

6. おわりに

LiDAR 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。これらによって、3D ポリゴンモデルや PCD：点群

データ、360° VR 画像/動画などの 3D データを取得できる。これらデータを活用した教育用 XR コンテンツの制作に向けて、著者らはすでに 360° VR 動画から位置情報や移動経路情報を自動取得する OpenVSLAM ベースの VR ツアー開発フレームワークを提案している。提案する OpenVSLAM ベースのフレームワークの利便性をさらに高めるために、今回それを Web サービスとして提供する仕組みを作った。

提案するフレームワークを利用して、その有用性を明らかにするために、より多くの VR ツアーを作成する予定である。また、OpenVSLAM を複数同時実行できるようにシステム構成を変更する予定である。さらに、RICOH サービスの Web ベースの編集機能と同様の編集機能の実装も検討している。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22H03705、JP23K24960 および九州大学 VISION EXPO プロジェクトの支援を受けました。

参考文献

- [1] Okada, Y., Kaneko, K., Shi, W. (2023). Development Framework for Web-based VR Tours and Its Examples. 27th International Conference Information Visualisation (IV), pp. 420-425.
- [2] 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, pp. 2292-2295.
- [3] Okada, Y., Kaneko, K., Shi, W. (2023) DEVELOPMENT FRAMEWORK BASED ON OPENVSLAM FOR WEB-BASED VR TOURS USING 360°VR VIDEOS, International Conference on WWW/Internet 2023, pp. 109-116.
- [4] Okada, Y., Shi, W., Kaneko, K. (2024), OpenVSLAM-Based Development Framework for Web-Based VR Tours Using 360°VR Videos and Its Extensions. Proc. of 12th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT 2024), pp. 31-42.
- [5] Ryo Sugimura, et. al. (2014), MOBILE GAME FOR LEARNING BACTERIOLOGY, Proc. of IADIS 10th Int. Conf. on Mobile Learning 2014, pp.285-289, February 28-March 2, 2014.