



# VR 空間内で授業を行うためのシステムの構築

Development of a System for Conducting Classes within a VR Environment

岩井 渉, 大累 鉄人, グエンヴァンドウック

Wataru IWAI, Tetsuhito ORUI, VanDuc NGUYEN

東北工業大学工学部情報通信工学科 (〒 982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

**概要:** 現代は、リモートワークなどの遠隔での業務の実施の需要が高まっているが、オンライン授業では実際に見て触れるという体験をすることが出来ない。そこで、教育の観点で、遠隔で見て触れる疑似体験をすることができないかと考え、VR 空間内で、リアルタイムに授業が実施できるシステムを開発した。ハンドトラッキングを導入して、疑似的に物を触ったりする体験をできるようにし、より仮想現実に入ることができるように目指した。

**キーワード:** 仮想現実, リアルタイム遠隔授業, ハンドトラッキング

## 1. はじめに

昨今、新型コロナウイルス等感染症の影響による屋外での活動の制限や、働き方改革の導入などにより、遠隔地からの業務・作業の実施の需要が高まっている。例として勤務の観点では、会社以外の場所で業務を実施するリモートワークが挙げられ、教育の観点では、オンライン授業が挙げられる。しかし、一般的なオンライン授業に関しては、あくまで座学の範囲であり、実際に見て触れるという体験を授業の中で行うことが出来ない。そこで、これらの体験を教育の観点でも導入することができないかと考え、離れた場所に居ても実際に物を見たり、操作したりする体験ができるようにすることを目的とし、VR 空間内で、リアルタイムに授業が実施できるシステムの開発を行った。また、感覚的に操作し、授業への没入感を高めるために、コントローラーではなく、利用者の手をトラッキングして操作できるようにした。実際の操作しているシーンを図 1 に示す。



図 1: 開発システムの画面。

## 2. 関連研究

先行研究により、教育を支援する VR システムが提案された。本間らは、授業で対象生徒が解剖生理学学習のための解説付き動画を Meta Quest 2 および VR アプリ Holoeyes XR を用いて作成した。動画の作成には Holoeyes XR のツールと肺と気管の 3D モデルを活用し、Meta Quest 2 で操作した [1]。笠井らは、人工心肺装置における医療技術教育に特化した VR トレーニングシステムである MVR - CPBS を、Unity を用いて開発した。VR 空間に心臓血管外科手術中を模擬した CG の手術内を再現し、訓練者は、VR 空間上の患者情報モニタを確認しながら操作訓練を行った。また、ネットワーク上で指導者と訓練者が同時に実施できるようにした [2]。

## 3. 提案システム構築について

### 3.1 基本操作とその仕組み

本システムでは、Meta quest 2 のハンドトラッキングを使用して VR 空間内の物体を操作する。仕組みとしてハンドトラッキングから手の関節のパラメータを読み取り、ジェスチャーを判定する。判定したジェスチャーが“握る”の場合、物体を掴むことができ、両手で掴みながら動かすことで、物体の拡大・縮小を行うことが出来る。また、VR 空間内に描画される自身の手からは常にレーザーポインタが出力されており、物体に当たると物体の輪郭にアウトラインが表示され、物体の部位名を記したポップアップが出現する。UI を操作する場合には、レーザーポインタを UI に当てピンチすることで、ボタンやトグルなどの目的の UI を操作することができる。

### 3.2 ネットワークサブシステム

地理的に離れた生徒と教師が VR 空間上で授業に参加するために、WebSocket と WebRTC を使用した通信システムを構築した。図 22 に提案システムのネットワーク構成を

示す。

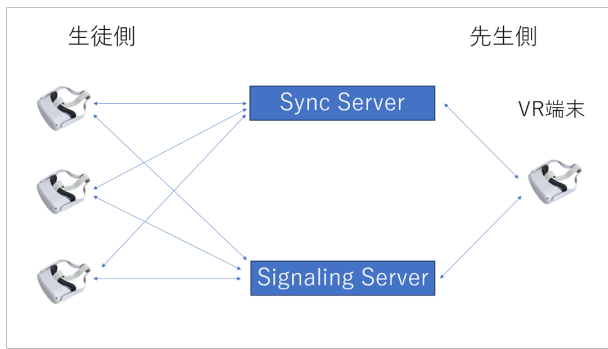


図 2: 提案システムのネットワークの構成。

2つの通信規格を併用したのは、教室に入室したときの各クライアント同士の P2P 接続の確立やオブジェクト操作の排他制御など、途中でロスしてはいけない重要なメッセージの送受信には WebSocket[3] を使用し、空間内のオブジェクトの同期など毎フレーム大量に送信する為に、いくつかのパケットのロスは許容できるパケットには WebRTC[4] を使用する為である。ネットワークの構成を図 2 に示す。図 2 では、VR 機器と構築したサーバーをインターネットで接続している。サーバーはユーザーの入退室・空間内のオブジェクトの操作を管理し、オブジェクトの空間情報をキャッシュする Sync Server と、VR 機器同士の P2P 接続を管理する Signaling Server の 2 つを構築した。ここで、先生と生徒が VR 教室のサーバーに参加した時の処理を説明する。処理の流れを図 3 に示す。

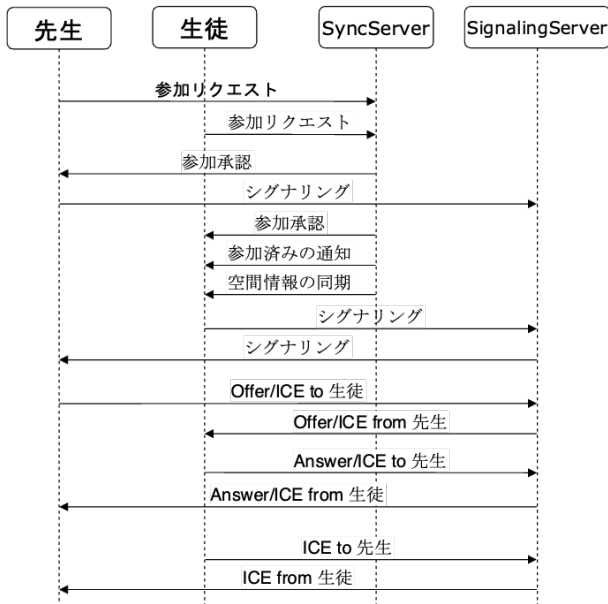


図 3: 先生と生徒が参加した時の処理。

はじめに、Sync Server に入室の認証を行い、入室の認証が通ると、Sync Server から新しい参加者に、現在の空間情報の同期を行う。その後新しい参加者は、Signaling Server に入室したことを通知するメッセージを送信し、Signaling Server で SDP や ICE を中継しながら、既存の参加者との

P2P 接続を確立する。また、Sync Server からは、重力などの物理演算を持つオブジェクトの参加者間での適切な同期を行うために、各参加者へ物理演算の計算処理を担当するオブジェクトの割り当てを行っている、次に、空間情報を同期する処理について説明する。処理の流れを図 4 に示す。

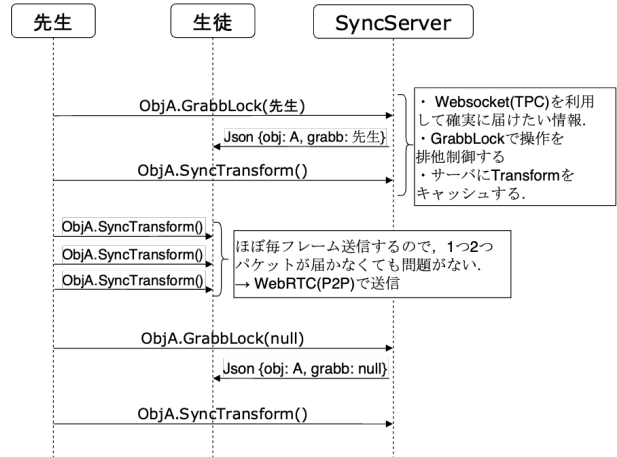


図 4: 空間同期の処理。

空間内のオブジェクトを操作しているユーザーは、物体を操作している間常に操作した結果の情報を他プレイヤーと同期し続ける。この操作は毎フレーム行われるため、すべてのパケットが確実に相手に届く必要はない。そのため、WebRTC の通信を用いて同期を行う。また、空間内のオブジェクトの操作を排他的に行うことができるよう、オブジェクトを掴む際、掴んだことをプレイヤー全体に通知するメッセージを送信する。これにより、メッセージを受け取った他プレイヤーは、対象のオブジェクトを掴んで操作することができなくなる。

### 3.3 オブジェクトの分割・結合

教師が概念を説明する際に支援するため、授業で使用する 3D オブジェクトを構成する各パーツの分解と結合を UI の操作から切り替えるシステムを開発した。図 5 に分割可能オブジェクトの構成を示す。

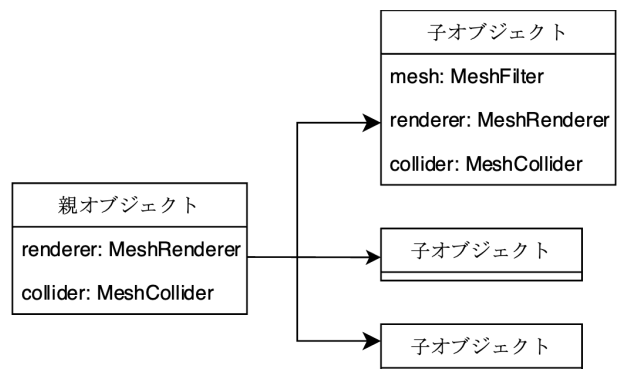


図 5: 分割可能オブジェクトの構成。

分割可能オブジェクトは、メッシュを持たないオブジェクトを親として用意し、メッシュを持つオブジェクトを各パーツとして、親オブジェクトの子階層に配置している。オ

プロジェクトの分割処理では、親オブジェクトの当たり判定を無効化し、子オブジェクトの当たり判定を有効化することで、各パーツをそれぞれで操作ができるようにしている。また、オブジェクトの結合処理では、子オブジェクトが持つメッシュをすべて結合したメッシュを親オブジェクトの当たり判定に設定し、子オブジェクトの当たり判定は同時に無効化することで親オブジェクトのみの操作を有効化し、各パーツが結合した1つのオブジェクトの操作を可能にしている。このように、親オブジェクトと子オブジェクトの当たり判定の有効化・無効化を切り替えることにより、オブジェクトを各パーツが分割されている状態と結合されている状態のそれぞれで操作をすることができるようにした。

### 3.4 ボイスチャット

生徒と教師の間で VR 空間上音声コミュニケーションを可能にするボイスチャットシステムを開発した。教師と生徒が入室時に、互いに P2P 接続の確立を行い、その後、毎フレームマイクからの入力を読み取って送信バッファにコピーし、20ms 分のバッファが溜まったら DataChannel でマイクから受け取った音を送信している。受信した音声データは、送信者の名前から対応するプレイヤーを取得し、プレイヤーの位置から音声を発生させることで、VR 空間上で声から相手の位置を意識できるようなコミュニケーションを可能にしている。

### 3.5 外部からのオブジェクトのダウンロード

授業の拡張性を高めるために、教室内で共有するオブジェクトは、外部からのダウンロードも行うことができるようにした。教師側の UI から操作を行い、VR 空間内の各プレイヤーがそれぞれの環境にオブジェクトのダウンロードを行うことで、外部からダウンロードしたオブジェクトの同期を行うことができるようにしている。オブジェクトは、外部に建てた Web サーバに配置し、URL を指定して AssetBundle 形式でダウンロードしている。

### 3.6 既存のオンライン学習システムの活用

WebClass などの既存のオンライン学習システムを VR 空間内で活用できるシステムを開発した。アプリケーション内でブラウザを作成・操作できるシステムである WebView を利用し、バックグラウンドで任意の Web ページを操作、WebView のレンダリング結果を Unity 内のテクスチャに読み込むことで 3D 空間内でのオンライン学習システムの利用を可能にした。図 5 に分割可能オブジェクトの構成を示す。

### 3.7 触覚機能

空間内でオブジェクトに触れた際、触れたことを触覚的に感知できるシステムを開発した。触覚グローブには Tact-Glove DK1 (bHaptics 社) を使用した (図 7)。Unity のハンドトラッキングを利用して手とオブジェクトの接触を検知しながらグローブの対応するモーターを衝突の強さに応じて振動させている。

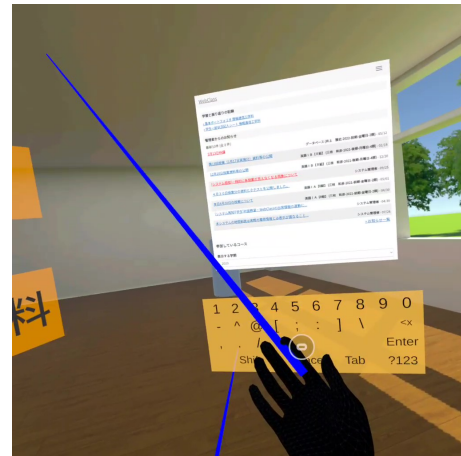


図 6: VR 内での WebClass の操作画面。

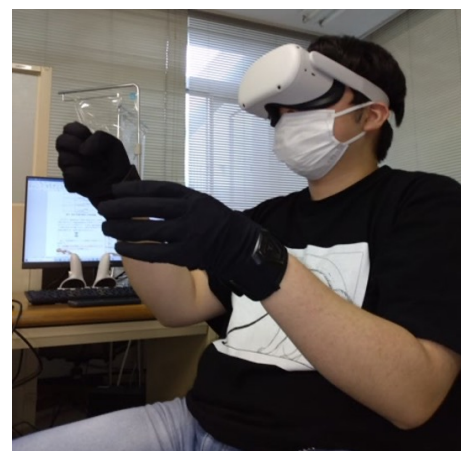


図 7: 触覚グローブ。

## 4. システムの使い方

まず、教師側と生徒側での 3D モデルの操作について説明する。教師側は、左上のパネルに表示されたボタンを操作することで、生徒に 3D モデルやテストを共有したり、生徒の前で 3D モデルを操作したりすることが出来る。今回使用する 3D モデルは、肺のモデル [6]、心臓のモデル [5]、胃のモデル [7] とした。ボタンの動作としては、「取り出す」で 3D モデルを教師側に表示する、「戻す」で 3D モデルを消す、「共有」で生徒側に 3D モデルを表示する、「回収」で生徒側の 3D モデルを消すことができる。3D モデルの操作としては、「分割/結合」で 3D モデルが分割された状態と、結合された状態を切り替える、「リセット」で 3D モデルを元の状態に戻すことができる (図 8)。

生徒側では、共有された 3D モデルの操作のみを行うことが出来る。3D モデルの操作としては、教師と同様に、「分割/結合」で 3D モデルが分割された状態と、結合された状態を切り替える、「リセット」で 3D モデルを元の状態に戻すことができる。(図 9)

次に、小テストの機能について説明する。本システムでは、授業の理解度を確かめるために、小テストを VR 教室内で実施することにした。小テストは、生徒に共有する 3D モデルと同様に、教師側のパネルから選択して共有するこ



図 8: 教師側の操作画面.



図 9: 生徒側の操作画面.

とができる。出題される問題は選択式で、生徒はピンチすることで解答を選択し、「答え合わせ」を押すことで、解答の正誤が表示される(図 10a)。その後、「集計」を押すと、生徒が何点取れたかを集計したグラフが表示される(図 10b)。教師側では、「集計」を押すことで、生徒側と同様の集計画面を確認することが出来る。

## 5. まとめと今後の展望

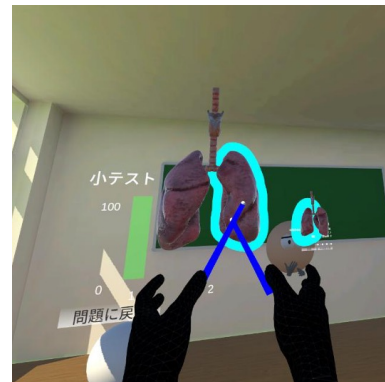
本研究では、生徒と教師が離れた場所に居ても、実際に物を見たり、触ったりする経験ができるようにすることを目的とし、VR 空間内で、リアルタイムに授業が実施できるシステムの開発を行った。システムにハンドトラッキングを導入することで、感覚的に操作できるようになり、VR 空間への没入感を向上させることが出来た。また、利便性を考え、ボイスチャットや外部からのオブジェクトのダウンロードを可能にした。以上より、このシステムは、今までの教育方法とは異なる、VR 技術を用いた新しい授業体制を築くことが出来ると考えられる。今後の展望としては、より優れた触覚の再現を目指したい。

## 参考文献

[1] 本間典子:看護学生による VR アプリ【Holoeyes XR】



(a) 生徒側のテスト画面.



(b) 生徒側の集計画面.

図 10: 小テスト機能

- を用いた 解剖生理学のアクティブラーニング, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, pp. 1-2, 2022.
- [2] 笠井亮佑, 田中裕香子, 安藤ゆうき, 島峰徹也, 上條史記, 加納敬, 萩野稔, 篠原一彦, 田仲浩平:体外循環装置における医療技術教育に特化した VR 訓練システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, pp. 1-3, 2022.
- [3] NativeWebSocket,2022,<https://github.com/endeel/NativeWebSocket/tree/master>
- [4] WebRTC for Unity,2022,<https://github.com/Unity-Technologies/com.unity.webrtc>
- [5] human-heart-c,<https://sketchfab.com/3d-models/human-heart-c8bd4937da054ba399dc75fdc8b737d0>
- [6] realistic-human-lungs,<https://sketchfab.com/3d-models/realistic-human-lungs-ce09f4099a68467880f46e61eb9a3531>
- [7] realistic-human-stomach,<https://sketchfab.com/3d-models/realistic-human-stomach-e0f1952de7204654ba469c3e887a029b>