

地震時室内 AR 体験シミュレータのための要素技術開発

新名優大[†] 宮村倫司[†]

本研究では、地震時の室内の AR 体験シミュレータの実現を目的として以下の要素技術を開発する。(1) 現実空間のオブジェクトの形状モデル作成、(2) CG によるオブジェクトの現実空間への配置、(3) 家具配置を支援する補助機能開発、(4) 現実空間の地震による揺れと仮想空間の揺れを重ね合わせる手法の開発。これらの要素技術を基に、AR により現実の室内に CG による家具転倒のシミュレーションを重ね合わせた地震体験が可能なシミュレータを開発することができた。

Development of Elemental Technologies for an Indoor AR Earthquake Experience Simulator

Yudai Niina[†] and Tomoshi Miyamura[†]

In this study, we aim to realize an indoor AR earthquake experience simulator and develop the following elemental technologies. (1) generation of geometry models of real-world objects, (2) arrangement of CG objects in the real environment, (3) development of assistive functions to support furniture placement, and (4) development of a method to superimpose seismic motion in the real environment with motion in the virtual space. Based on these elemental technologies, it has become possible to provide an earthquake experience in which CG of a simulation of furniture overturning is overlaid onto a real indoor environment using AR.

1. はじめに

VR (Virtual Reality) はコンピュータ上に構築した仮想空間をあたかも現実のように体験できる技術である。また、AR (Augmented Reality) は現実空間を基にしながら、その上に CG (Computer Graphics) や文字などの仮想情報を重ねて表示する技術である。防災分野では実際に体験して学ぶことが重要であるものの、本物の災害を起こして体験することはできない。そこで VR や AR を使うことで、危険を伴わずに災害時の状況を仮想的に体験することができ、防災意識の向上や避難行動訓練に役立てることができる。地震防災における重要な課題として、地震時の室内における家具の転倒が挙げられる。家具の転倒に伴う人的被害も多くあるため、これに対する実験的および数値解析的な研究が多く行われている。福和等[1]は様々な家具の転倒の実験の動画を公開している。磯部等[2]は有限要素法を用いて地震時の家具の転倒および滑動挙動を解析し、実験結果との比較により数値シミュレーションの妥当性を確認した。宮村[3]は、CG 開発環境である Unity や CG ソフトの Blender を用いて地震時室内 VR 体験シミュレータを開発し、家具転倒などの危険性を仮想空間上で体験可能であることを示した。防災に関係した VR や AR のコンテンツが商品化された例もある[4]。しかし、地震時の室内被害の体験に対して AR を用いた例は、VR と比較して数が少ない。

本研究では AR 技術を活用して地震時の室内を仮想的に体験できるシミュレータの実現を目的とした要素技術の開発を行う。具体的には、部屋の中での家具の転倒の危険性や身の周りの環境で地震が発生した際の被害を体験できるように、AR 空間内の現実空間に家具オブジェクトを配置する機能の実装と、AR 環境の中の現実空間の地震による揺れと仮想空間の揺れを重ね合わせる手法の開発について説明する。

2. 開発する地震時室内 AR 体験シミュレータの概要

本研究では、AR・VR ゴーグル（以下、AR ゴーグル）として Meta Quest 3 を用いる。Meta Quest 3 は、AR と VR の両方に対応したスタンドアロン型の次世代 XR ヘッドセットであり、高解像度パススルーカメラと空間認識機能を備えている。Meta Quest 3 向けの AR アプリケーションの開発環境として、Unity (Version 6000.0.58f1) [5] および Meta XR SDK (Version 83.0.0) [6] を用いる。Meta XR SDK は、Meta 社が提供する Unity 向け XR 開発用 SDK 群の総称であり、Meta Quest 向け AR/VR アプリケーション

[†] 日本大学工学部情報工学科
Department of Computer Science, College of Engineering, Nihon University

ン開発を支援する C# API, コンポーネント, サンプル機能を提供している。本研究では、開発に必要な SDK を全て含む Meta XR All-in-One SDK (以下, Meta SDK) を導入し, Unity 上でのシーン構築および各種機能の実装を行う。作成したアプリケーションは, Meta Quest 3 本体の OS である Android 向けにビルドした後, Meta Quest 3 に転送し, 実機上で動作確認および検証を行う。

Meta Quest 3 を用いて本研究で開発中の地震時室内 AR 体験シミュレータを実行すると, AR ゴーグルからは図 1 のように見える。現実の室内に重ねて CG による家具等のオブジェクトが配置されており, 地震が発生すると CG の家具が現実の壁と衝突して倒れるというような, 仮想的なオブジェクトと現実空間の相互作用が発生し, その様子を没入感がある状態で観察できるため, 現実的な体験であるかのように認識できる。



図 1 AR ゴーグルから見た室内

3. 室内空間の AR モデルの作成

3.1 部屋の空間データの取得と Collider の追加

AR ゴーグルを通して見える現実空間の壁, 床, 天井, 家具などのオブジェクトと CG の仮想的なオブジェクトの相互作用である衝突を実現するためには, 現実空間のオブジェクトの形状モデルが必要である。そこで, Meta Quest 3 の内蔵カメラ・セン

サーを用いて, 現実空間の形状のスキャンを行う。部屋スキャンによって生成される環境の形状情報は, Meta Quest 3 内部にシーンモデルとして保存される。このシーンモデルには, 空間内の構成要素(床, 壁, 机など)を表すシーンアンカー(Scene Anchor)が含まれており, 各シーンアンカーには位置, 向き, 範囲といった幾何情報に加え, それが現実空間のどの構成要素を表しているかを示すセマンティックラベル(PLANE, WALL, TABLE など)が付与されている。これらのシーンアンカーは Meta SDK の機能によりアプリの起動時に取得される。当たり判定を有効にしたい構成要素については, そのシーンアンカーに付与されたセマンティックラベルを選択し, Unity の Collider を設定する。その際, 空間全体を表すセマンティックラベルである GLOBAL_MESH を選択した場合は, 3D メッシュに対する当たり判定機能を有効にするための Mesh Collider を追加する。一方, WALL や TABLE などのセマンティックラベルを選択した場合には, 物体を完全に包み込む最小限の直方体である Bounding Box が生成され, それには Box Collider が設定される。これらの 3D メッシュおよび Bounding Box は当たり判定にのみ使用するため, 非表示とすることで, 現実空間のオブジェクトと CG のオブジェクトが衝突しているように見える。図 2 では Collider を設定した 3D メッシュと Bounding Box を表示している。

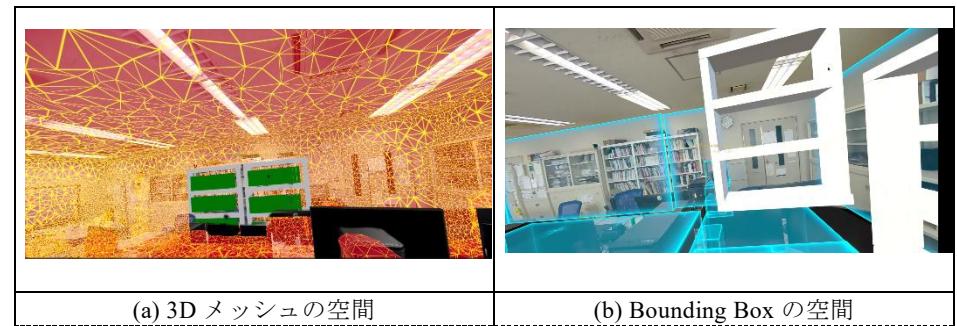


図 2 現実空間の当たり判定

3.2 空間アンカーを用いたオブジェクトの配置

空間アンカーとは, 実世界の床, 机, 壁などのオブジェクト上の点の座標に対して, CG の家具等のオブジェクトの位置や向きを固定しておく仕組みのことである。これによりアプリケーションを再起動しても, 家具オブジェクトを以前と同じ配置に復元

できる。家具等の CG オブジェクトの初期配置をアプリケーション内でコントローラー操作によって調整する機能や、空間アンカーの位置情報を基準とした CG オブジェクトの位置情報と、家具等の種類の属性情報を紐付けした上で JSON ファイルに記録する機能を C# で開発した。この JSON ファイルはアプリケーションを終了・再起動してもデータが保持される記憶領域である永続ストレージに保存されているため、アプリを起動するときにこのファイルを参照して CG オブジェクトを再配置することができる。

3.3 オクルージョン処理による前後関係の再現

オクルージョンとは、物体同士の前後関係に基づいて、奥に存在する物体が手前の物体によって隠れて見えるように表現する描画手法である。AR 環境において仮想オブジェクトを現実空間内に自然に表示するためには、現実空間の物体と CG オブジェクトとの前後関係を正しく再現することが重要である。Meta Quest 3 は深度センサーおよびカメラ情報を用いて、現実空間の奥行き情報（深度情報）を取得することができる。Meta SDK の機能により深度情報を利用し、図 3 に示すように現実空間の物体が CG オブジェクトよりも手前に存在する場合には、CG オブジェクトの該当部分を描画しないことで、現実の物体によって隠れているように見せる。

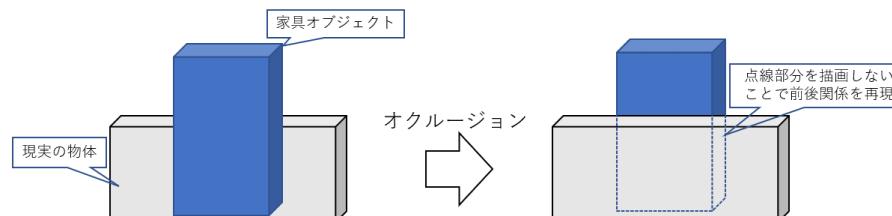


図 3 オクルージョン

3.4 家具配置を支援する補助機能

家具を空間内に適切に配置するための補助機能として、家具を床面に対して平行に設置する機能や配置予定の家具を事前に確認するためのプレビュー機能を実装する。また、複数の家具を連続して配置できるようにすることで、室内環境の再現作業を効率化する。さらに、地震シミュレーションによって移動または転倒した家具について、初期配置時の位置・姿勢に戻す機能を追加し、繰り返し体験を行えるようにする。こ

れらの補助機能により、利用者は図 4 のように簡単に家具を配置することができるため、様々な地震時の室内挙動を体験し、比較することが可能となる。

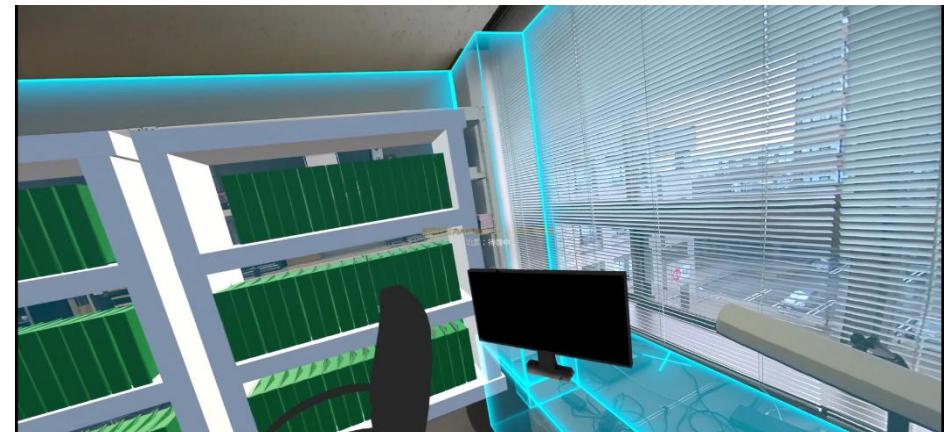


図 4 空間アンカーと補助機能を使って家具を配置する様子

4. AR における地震の揺れの再現

4.1 VR と AR における地震動の見え方

地震が発生すると、地震動によって床が移動し、それに伴う物理現象として家具の転倒や滑動が生じる。しかし、図 5 のように観測者である人間も床と共に運動するため、観測者から見た床の相対的な揺れはほとんど知覚されない。これは AR ゴーグルを通して見た現実世界においても同様である。

VR では仮想環境全体が CG として構成されているため、カメラの配置や挙動は自由に設定できる。一人称視点においてカメラを床の子オブジェクトに配置した場合には、床や家具の移動に伴って観測者も移動し、AR と同様に実際の地震と同様の見え方となる。室内を俯瞰する三人称視点としてカメラを絶対的な位置に固定すれば、部屋全体が揺れる様子を観察することもできる。

VR では前述のようにカメラを床の子オブジェクトとすることで、床と共に移動する観測者からの視点を簡単に実装できる。一方、AR では現実世界がカメラ映像とし

て映されており、Meta SDK にはこれを CG の床の子オブジェクトとする機能はない。

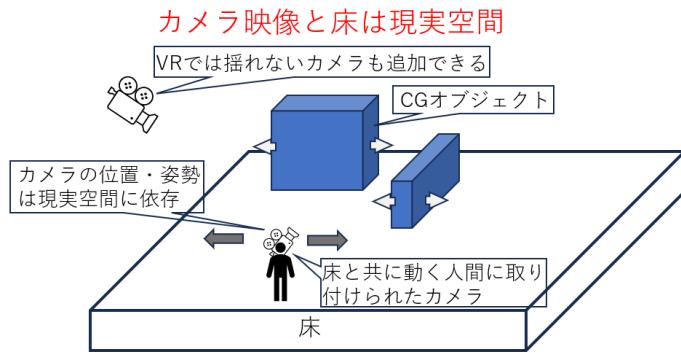


図 5 地震動の見え方

4.2 AR での地震の再現手法

地震の揺れによる時刻 t においては床の移動量（変位）を $\mathbf{u}_F(t)$ 、剛体と仮定した家具の床に対する相対変位を $\bar{\mathbf{u}}_O(t)$ 、回転量を $\Theta(t)$ とすると、例えば剛体の重心においては絶対的な変位 $\mathbf{u}(t)$ は

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}_F(t) + \bar{\mathbf{u}}_O(t)$$

となる。この時、床と共に移動する観測者から見た変位は $\bar{\mathbf{u}}_O(t)$ となる。しかし、 $\bar{\mathbf{u}}_O(t)$ や $\Theta(t)$ は図 6 に示すように $\mathbf{u}_F(t)$ に依存する運動方程式に基づく Unity の物理エンジンにより求められるため、床を $\mathbf{u}_F(t)$ により移動させる必要がある。前述のように VR の場合には観測者が床と共に移動するような実装は簡単に出来るのに対し、Meta SDK による AR では工夫が必要である。

そこで本研究では、床の移動によって観測者の位置が変化しないように、床が地震動によって移動した際に、フレーム毎に CG による部屋全体を視覚的には初期位置へ引き戻すものとする。家具 CG オブジェクトを床の子オブジェクトとして配置することで、床の移動に合わせて家具も引き戻す。本手法の概念図を図 7 に示す。

$$\text{運動方程式 } M(\ddot{\mathbf{u}}_O(t) + \ddot{\mathbf{u}}_F(t)) + F(\mathbf{u}_O(t), \Theta(t)) = 0$$

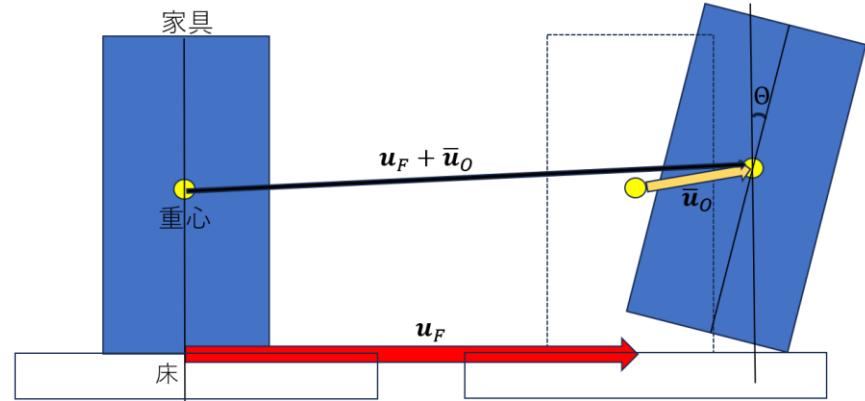


図 6 床の上のオブジェクトの運動

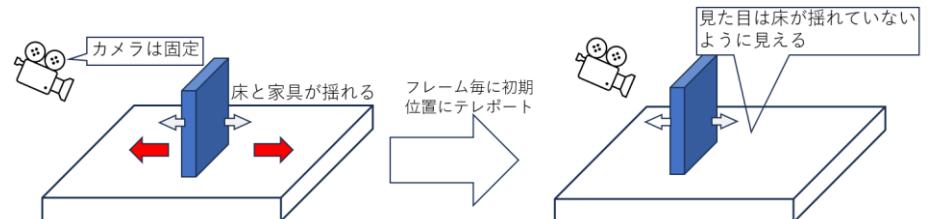


図 7 再現手法のイメージ図

4.3 再現手法の実装

地震の揺れは、あらかじめ用意した地震動データを CSV ファイルとして読み込み、その時系列データに基づいて再現する。読み込んだ地震動データに基づく揺れを家具オブジェクトに反映させるために、Unity の物理エンジンを用いて壁との衝突や床に対する摩擦力を計算する。そのために家具オブジェクトには Rigidbody コンポーネントを付与する。C#スクリプトにより、一定の時間間隔で地震動データに基づいて床を移動させる。このとき、Rigidbody の Move.Position 関数により移動させると物理演算が行われる運動を表現できる。一方、AR において床が移動しないように見えるよう

にするため、物理演算のために床を移動させた後に、床の座標を Transform コンポーネントにより初期位置へ引き戻す。Transform は図 7 のようにオブジェクトを瞬時に移動（テレポート）させる機能であり、物理演算に影響しない。以上により、観測者は床の揺れを視認することなく、相対変位および回転 \bar{u}_0 , Θ で表される家具の転倒等の挙動のみを観察できる。

5. 実行結果

図 8 に作成したアプリケーションの実行結果を示す。AR での体験では、現実空間と CG による床は地震の揺れにはユーザからは視認されず、一方、家具等は地震の揺れに伴って転倒する様子を見ることができる。また、現実空間との当たり判定によって、家具オブジェクトが現実空間の壁や机などに倒れかかっている状況を再現できている。

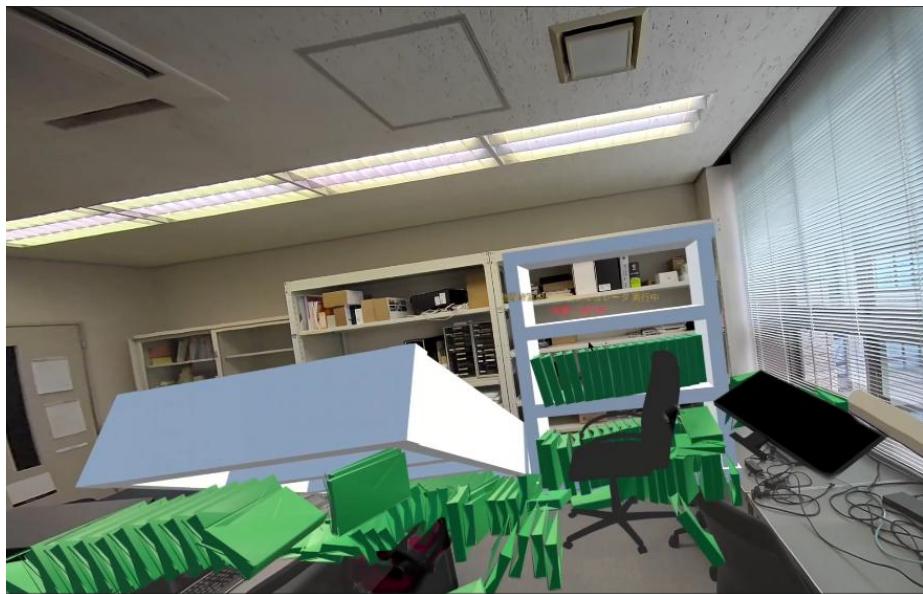


図 8 作成した AR 体験シミュレータの実行結果

6. おわりに

本研究では、AR 技術を活用して地震時の室内を仮想的に体験できるシミュレータの実現を目的とした要素技術の開発を行った。これらにより、現実の部屋の中で、地震時の揺れに伴う家具転倒や物の落下等の物理演算と CG により再現された事象を体験できる AR 体験シミュレータを実現できた。また家具を自由に配置することにより、ユーザが様々な状況のシミュレーションを行うこともできるようになった。

参考文献

- 1) 名古屋大学福和研究室, 家具転倒実験動画集,
http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/data/labofT/fall_furniture/
- 2) 磯部大吾郎, 山下拓三, 田川浩之, 金子美香, 高橋徹, 元結正次郎: 有限要素法を用いた地震における家具の挙動解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 卷, 第 718 号, (2015), pp.1891-1900.
- 3) 宮村倫司: Unity や Blender による地震時室内 VR 体験シミュレータの制作, 計算工学講演会論文集, Vol.27 (2022 年 6 月 1-3 日 (発表 3 日)), 秋田 (にぎわい交流館 AU), E-11-02.
- 4) AR と VR を活用した防災訓練, AR 防災, <https://arbosai.org/>
- 5) Unity Technologies, Unity Manual (Version 6000.0) ,
<https://docs.unity3d.com/6000.0/Documentation/Manual/UnityManual.html>
- 6) Meta Platforms, Unity 用 Meta XR SDK,
<https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-sdks-overview/>