

## HMD を用いた鉄道騒音評価システムの構築

中央大学	学生員	伊原 諒平
中央大学	学生員	野坂 創一
中央大学大学院	学生員	木下 公二
中央大学	正会員	櫻山 和男
九州先端科学技術研究所	非会員	吉永 崇

### 1. はじめに

騒音とは快適な生活環境を阻害する，人にとって好ましくない音のことである．土木事業において事前にその影響をシミュレーションすることは重要なことであり，既往の研究では VR (Virtual Reality) 技術を用いて直感的な鉄道騒音評価システムの構築を行ってきた．しかし，従来システムで用いられてきた没入型 VR 装置は多人数が VR 空間を体験することができる反面，コストが高く持ち運びが困難であるため，利用が一部のみに限られている．一方，可搬性に優れ，比較的成本が低く一般人でも利用しやすい HMD (Head Mounted Display) が近年注目されている．

そこで本研究では没入型 VR 装置で再現されていた鉄道騒音評価システムの HMD への適用を行った．

### 2. 開発環境

本システムの開発には，Unity5.6.1f1 Personal 版を用いた．Unity は主にゲームや 3D コンテンツの作成において 3D モデルの描画に優れており，また簡単な動作に関してはノンプログラミングで開発を進めることができるのも特徴である．モデルの投影には図-1 の左に示す HMD を用いた．この HMD は VR コンテンツ向けに Oculus 社から発売されたもので，視野角が 110 度と広く高い没入感を得ることがきる．また，開発したシステムを HMD で表示するために PC 用 VR プラットフォームである Steam VR を利用した．

### 3. 本システムの概要

本システムのフローチャートを図-2 に示す．本システムは，前準備，可視化，可聴化及び投影から構成される．

#### (1) データの導入

##### a) 3D モデルの入手

既往の研究で用いられてきた 3D 都市モデルと鉄道車輛 (E231 系) のモデルのデータを FBX 形式で入手し，Unity のプロジェクトにインポートした．それぞれの入力データのスケールが異なっていたため縮尺を調整した上で位置合わせを行う．なお，Unity 上では 1 ユニット (副グリッドで囲まれた正方形) が 1 メートルであるため，鉄道車輛の車長と比較しながらスケールを合わせた．車輛の移動は C# で記載したプログラムを車輛に組み込むことにより可能とした．

##### b) 空間移動の導入とカメラの置き換え

任意の地点で騒音を聞くことができるように空間内での



図-1 Oculus Rift

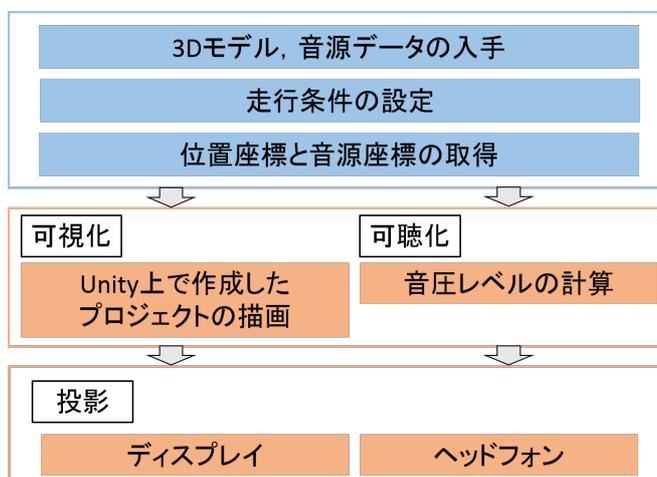


図-2 フローチャート

移動プログラムを導入した．移動デバイスは図-1 の右に示す両手による直感的な操作が可能な Oculus Touch を用いた．Unity Asset Store より入手したアセット (VRTK) により Touch のスティックを倒した方向へ平面移動するように設定した<sup>1)</sup>．なお，HMD の向いている方向が前と認識される．このアセットにはカメラが含まれているため，Unity のプロジェクト作成時にデフォルトで存在していたカメラは削除した．VR 空間からの視点を図-3 に示す．

#### (2) 鉄道騒音の導入

##### a) 音源データの取得

鉄道の騒音源は転動音 (レールと車輪の振動から発生する音)，構造物音 (高架橋などの構造物から発生する音)，車両機器音 (モーターやコンプレッサーなどの車体本体から発生する音が複合したもの)，打撃音 (レール継ぎ目などを通過したときに発生する音) に分類される<sup>2)</sup>．本研究ではこれらを複合した音を走行音として用いる．音源データは実際に鉄道車輛から測定した音源を基に作成した定常音を

KeyWords: VR, 鉄道騒音, HMD, 3D モデル

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: a14.njea@g.chuo-u.ac.jp



図-3 VR空間からの視点

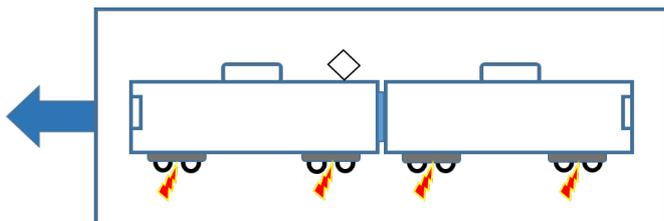


図-4 音源配置の概略図

走行音として使用する。既往の研究にならって走行音をモーター車と非モーター車の2種類に区別して音源を配置する<sup>3)</sup>。

#### b) 3Dモデルへの音の組み込み

鉄道の走行音のうち、車外騒音に影響を大きく及ぼす音源が車輻の下部から生じることやモーターが台車の中に配置されていることから、VR空間では音源は台車の中央に実装する<sup>4)</sup>。音源は音源データを組み込んだ新たなオブジェクトを作成し台車部分に配置した。このオブジェクトと車輻を同時に動かすことにより仮想的に台車部分に音源を組み込んだ。音源配置の概略図を図-4に示す。

#### (3) 音響計算

本研究では、走行音の計算に幾何音響理論に基づく計算モデル“ASJ RTN-Model 2013”を基にした式<sup>5)</sup>を用いた。観測点における各音源からの音圧レベルは次式で表される。

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{cor} \quad (1)$$

ここで、 $L_A$  は観測点での音圧レベル [dB] である。 $L_{WA}$  は音源の音響パワーレベル [dB] でありモーター車は 107dB、非モーター車は 103dB とする。 $r$  は音源からの観測点までの距離 [m]、 $\Delta L_{cor}$  は音源から受音点に至る音の伝搬に影響を与える各種の減衰要素に関する補正量である。(1) 式を Unity に適用するために図-5 に示すグラフを導入した。なお、横軸は受音点における音源からの距離 [m] であり、縦軸は dB とは異なる音量を表す無次元量で定められている。図-5 のグラフから音圧レベルの時刻歴データの作成を検討している。

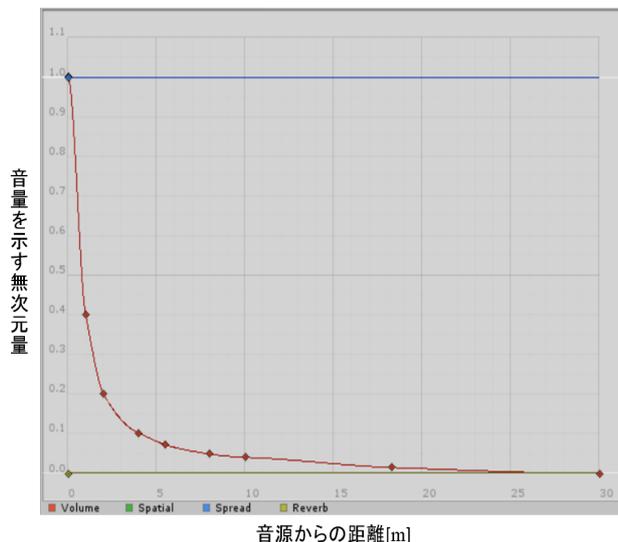


図-5 受音点での音量と音源からの距離の関係を表すグラフ

#### 4. 本システムの適用と評価

本システムの妥当性の検討のために VR 空間内での計算値と鉄道騒音の実測値を比較した。本シミュレーションの条件を実測と同じにするため、観測点は軌道の中心線から 7.0m、VR 空間における鉄道車輻の走行速度は 83km/h とした。VR 空間では複数の音源の音響設定を扱うコンポーネント (AudioMixer) を用いる<sup>6)</sup>。このコンポーネント上にリアルタイムに表示される観測点でのデシベル値を基に時刻歴データを作成する。なお、計算値と実測値の比較は発表当日に示す。

#### 5. おわりに

本研究では、没入型 VR 装置で再現されていた鉄道騒音評価システムの HMD への適用を行った。

今後の課題として、本システムの妥当性の評価、走行音の指向性の改善、打撃音の導入および遮音壁の音響計算式への導入などが挙げられる。

#### 参考文献

- 1) FRAME SYNTHESIS Unity + Oculus  
<https://framesynthesis.jp/tech/unity/touch/>
- 2) 松本嘉司, 小沢康人, 渡辺義則: 都市鉄道の騒音発生に関する研究, 土木学会論文報告集 (土木学会), Vol.262, pp. 101-112, 1977.
- 3) 吉町徹, 浦野宏太, 櫻山和男: 幾何音響理論に基づく鉄道騒音予測と VR 技術を用いた可聴化, 鉄道工学シンポジウム論文集 (土木学会 構造工学委員会), Vol. 20, pp. 49-52, 2016.
- 4) 木下公二, 吉町徹, 櫻山和男: VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集 (土木学会), Vol. 42, pp. 77-80, 2017.
- 5) 日本音響学会道路交通騒音調査委員会: 道路交通騒音の予測モデル "ASJ RTN-Model 2013", 日本音響学会誌  
<https://docs.unity3d.com/jp/530/Manual/index.html>
- 6) コンセプトと AudioMixer の概要  
<https://docs.unity3d.com/ja/current/Manual.html>

KeyWords: VR, 鉄道騒音, HMD, 3D モデル

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: a14.njea@g.chuo-u.ac.jp