

# VR技術を用いた浮上式高速鉄道騒音評価システムの構築

中央大学 学生会員 ○田丸 ゆめ乃 中央大学 学生会員 江口 大智  
中央大学 正会員 榎山 和男

## 1. はじめに

著者らは、リアルタイムシミュレーションが可能な音響計算手法である幾何音響理論に基づく騒音手法に着目して、音の大きさを直感的に把握しやすくするため、VR(virtualReality)技術を用いた鉄道騒音評価システムの構築を行い、在来線を対象として、その妥当性と有効性を示してきた。<sup>1)</sup>

本研究では、著者らが構築した鉄道騒音評価システムを、空力音や指向性が卓越する浮上式の高速度鉄道に適用するための検討を行った。

## 2. 鉄道騒音評価システム

### (1) VR環境

本研究では、没入型VR装置Holostageを用いる。この装置は、3面(正面、側面、底面)の大型スクリーンとそれぞれに対応した高性能プロジェクター、VR空間内の利用者の動きを捉えるための、ワイヤレストラッキング装置およびそれらを制御する並列計算機から構成される。また、天井には7.1チャンネルの音響機器を備えており、立体音響場を構築することが可能である。

### (2) システム概要

本システムのフローチャートを図-1に示す。入力データとしては、車両の走行条件、音源の音響パワーレベル、構造物や軌道の幾何形状を設定する。また、時間ループ内において、車両の音源位置、VR空間内の利用者(受音点)の位置情報をトラッキング装置より取得する。そして、それらの情報を用いて幾何音響理論に基づくモデル(ASJ RTN Model2018, 以下ASJモデル)<sup>2)</sup>により、利用者の位置情報における騒音レベルを計算する。

可視化部では、CAVEライブラリとOpenGLを用いて鉄道車両と対象地域の立体CGを各スクリーンに描画する。一方、可聴化部では、音響プログラミングソフトMaxを用いて構築したプログラムにより計算結果に基づく立体音響信号をスピーカーに出力する。なお、立体音響場の構築には、球面調和関数展開法に基づくAmbisonics<sup>3)</sup>を用いている。また、可視化と可聴化との情報共有はOSC(Open Sound Control)プロトコルを用いたUDP/IP通信により行う。

### (3) 走行音の定常音化

VR技術を用いた可聴化において実装する音源データの品質は現実感を高める上で重要である。固定点における收音データをもとに、音源に実装する定常音の作成を行うが、收音データは距離減衰を含むため、距離減衰分を取り除く処理を行っている。

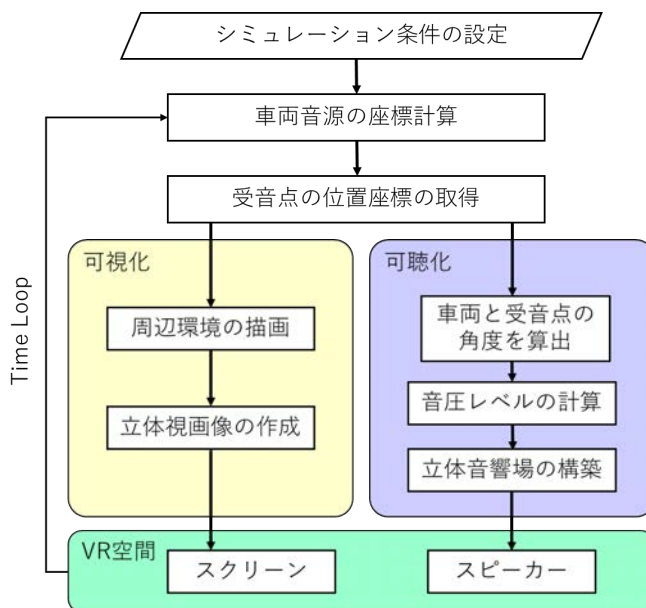


図-1 本システムのフローチャート

### (4) 対象地域のモデル化

対象地域のモデル化については、地形モデル作成には設計ソフトウェア(InfraWorks)を用い、国土地理院の地形データから航空写真、鉄道中心線データの読み込みを行った。また、建物モデル作成には3次元モデリングソフト(Google SketchUp)を用いた。

## 3. 音響計算手法

### (1) 幾何音響理論による音響計算

本システムでは、騒音レベルの時間的変化を算定するために幾何音響理論に基づくASJモデルを用いて、点音源の計算式を使用する。受音点での音響パワーレベルは以下の式で表すことができる。

$$L_p = L_W - 20\log_{10}r - 8 + \Delta L_{dir} + \Delta L_{dif} \quad (1)$$

ここで、 $L_p$ は受音点での音圧レベル、 $L_W$ は音源の音響パワーレベル、 $r$ は音源から受音点までの距離である。また、 $\Delta L_{dir}$ は指向性による補正量、 $\Delta L_{dif}$ は回折減衰による補正量である。

### (2) 指向性による補正

鉄道の走行音は走行ライン及び上方には音が伝播しづらく、側面方向に伝播しやすい双指向性の特徴を持つことが知られている。本研究では、音源を指向性を有する点音源として扱い、以下に示す指向性モデル<sup>4)</sup>を適用する。

$$L_{dir} = 10\log_{10}(\cos^n\theta \cdot (0.1 + 0.9\varphi)) \quad (2)$$

**KeyWords:** 超高速鉄道騒音, 騒音, 幾何音響理論, VR技術, 可視化

**連絡先:** 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL: 03-3817-1808 E-mail: a19.8wmt@g.chuo-u.ac.jp

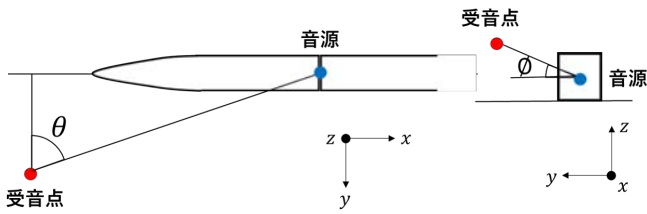


図-2 音源と受信点の角度

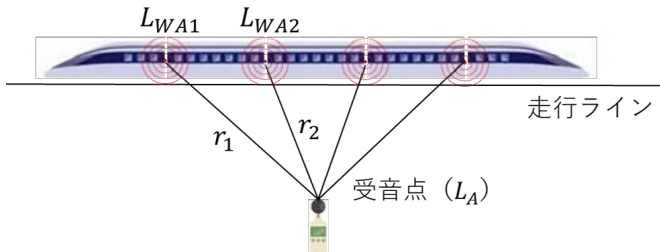


図-3 音源と受信点の位置関係

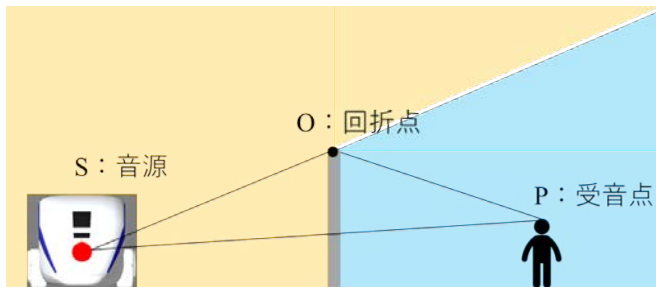


図-4 回折経路差の定義

ここで、 $\theta$  は受信点から見た走行ラインへの最短地点を基点とした音源への角度、 $\varphi$  は音源から見た受信点への仰角、 $n$  は指向性係数である (図-2 参照)。 $\theta$  及び  $\varphi$  の値は音源と受信点の位置座標から算出をしている。また、受信点における各音源からの伝搬音の圧力レベルの合成値は次式で表される。

$$L_A = 10 \log_{10} \sum (10^{L_{Ai}/10}) \quad (3)$$

ここに、 $i$  は合成する音源の数 (音線の数) である。なお、音源の設定位置<sup>5)</sup> は、空力音が支配的になるが、その代表点として、本報告では、車両の連結部の断面中心に設定した。音源と受信点の位置関係を図-3 に示す。

(3) 回折減衰による補正<sup>2)</sup>

遮音壁の設置は騒音が沿線に直接伝わることを防ぐことができるため、鉄道の騒音対策の中でも有効な対策のひとつであるといえる。本研究では、音響計算式に回折補正量を導入することで遮音壁の考慮を行った。遮音壁などの音響障害物による回折補正量  $\Delta L_{dif}$  は、点音源 S、回折点 O、観測点 P に関する回折経路差  $\delta$  [m] を用いて式 (4) で計算を行う。回折経路差の定義を図-4 に示す。

$$\Delta L_{dif} = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10}(C_{spec} \delta) & (C_{spec} \delta \geq 1) \\ -5 - 17.0 \cdot \sinh^{-1}(C_{spec} \delta)^{0.414} & (0 \leq C_{spec} \delta < 1) \\ \min[0, -5 + 17.0 \cdot \sinh^{-1}(C_{spec} |\delta|)^{0.414}] & (C_{spec} \delta < 0) \end{cases} \quad (4)$$



図-5 システムを体験する様子

ここで、 $C_{spec}$  は騒音の分類によって変化する係数であり、 $\min[a,b]$  は数値  $a, b$  のうち小さい値を表す。

4. 適用例

構築したシステムを、浮上式の高速度鉄道に適用する検討を現在行っている。図-5 はシステムを VR 空間上で投影している様子である。なお、車両の CAD データは旧型の試験車両 MLX01 系を用いている。また VR 空間において、計算結果通りの音場が再現されているかの確認を行うために、VR 空間内で騒音計を設置して両者の比較を行う。その結果については講演時に示す。

5. おわりに

本報告では、著者らが構築した幾何音響理論に基づく鉄道騒音評価システムを、浮上式の高速度鉄道に適用するための検討を行った。本システムは、リアルタイムに計算結果を可聴化して VR 空間に提示することが可能であり、防音対策等の計画支援ツールとして、有効な手段となることが期待できる。

今後の課題は、実測結果との比較のもとに、音源の設定方法や各種補正項の検討があげられる。また、合意形成ツールとしての使用性の向上のため、ヘッドマウントディスプレイに基づくシステムの構築を行う予定である。

参考文献

- 1) 木下公二, 吉町徹, 檜山和男, 志村正幸: VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.73, No.2, pp.1 372- I 379, 2017.
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル”ASJ RTN-Model 2018”, 日本音響学会誌, 2018.
- 3) D.B.Ward,T.D. Abhayapala: Reproduction of a Plane Wave Sound Field Using an Array of Loudspeakers, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, Vol.9, pp.697-707 (2001).
- 4) 長倉清, 安部由布子, 小方幸恵: 高所空間における鉄道騒音予測手法に関する検討, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-2008-6, 2008.
- 5) 北川敏樹, 鉄道騒音における最近の話題 - 音源側, 日本音響学会誌, Vol.73, pp.710-717, 2017.