

VR 技術を用いた車両編成を考慮した鉄道騒音評価システムの構築

中央大学 学生員 ○ 木下 公二
JSOL(株) 正会員 吉町 徹
中央大学大学院 学生員 石田 安理
中央大学 正会員 櫻山 和男

1. はじめに

騒音とは人が騒がしくて不快と感じる音のことで典型七公害の一つとして定められており、人体に様々な影響を及ぼすことがわかっている。環境問題が注目されている昨今において騒音問題はますます重要視されており、騒音の影響を事前に予測し対処するために幾何音響理論や波動音響理論に基づく数値シミュレーションが数多く行われている。既往の研究では VR (Virtual Reality) 技術を用いて、視覚情報と聴覚情報を同時に提示し被体験者に臨場感のある疑似体験ができる鉄道騒音評価のシステム¹⁾の構築が行なわれているが、各車両に同じ音源データを用いており車両編成の考慮が行われていなかった。

そこで、本論文ではより精度の高いシステムの構築を目指して車両編成を考慮した音源の適用を行う。本システムの有効性を検討するため、従来システムと本システムとの比較を実測値との比較をもとに行なった。

2. 鉄道騒音評価システム

(1) VR 環境

本研究で用いる没入型 VR 装置 HoloStage は、前面と側面及び底面の 3 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、また VR 空間内の装置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及びそれらを制御する並列計算機から構成されている。

(2) システム概要

本システムは、可聴化部と可視化部の 2 つの構成を有する。可聴化部は、音響プログラミングソフト MAX 上に独自に構築したプログラムにより音響計算と立体音響信号を提示する。一方可視化部は、CAVELib と OpenGL を用いて C++ の独自のプログラミングにより列車と周辺環境の立体 CG を各スクリーンに描画する。本システムの処理工程を図-1 に示す。

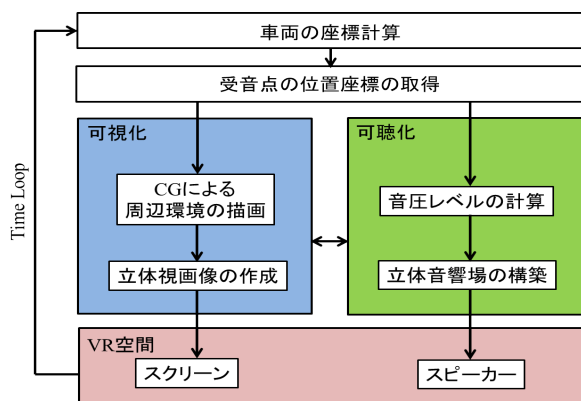


図-1 処理工程

(3) 鉄道騒音の発生源

本論文では、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計算式を使用する。鉄道の音源は車輪がレール上を回転する際の転動音、高架橋の振動による構造物音、冷却ファンやモーター等の車両機器音などの騒音が複合したもの（以下走行音とする）とレール継ぎ目などの不連続面によって生じる音（以下打撃音とする）がある²⁾。本論文では、騒音計を用いて実際に走行音を測定した音源データを用いて VR システムに適用する。

(4) 走行音測定と音源のモデル化

a) 走行音の測定・モーター音の考慮

VR 装置に実装するため実際に走行している鉄道の音源データの測定を行った。また、走行音の音源データから可聴化用の音源データを生成するため、距離減衰の影響を取り除いた定常音の作成を行う³⁾。

車両ごとの音源データの作成のために、走行音をモーター車（以下モハ）と非モーター車（以下サハ）に分ける必要がある。走行音の音源データのうちモハ・サハに相当する部分をそれぞれ取り出して定常化する。在来線の車両編成とモーターの配置を図-2 に示す。

モハ部分をトリミングするに当たって、可能な限りモーター音以外の影響を受けない部分を考慮して図の赤四角部分を選定した。同様にサハ部分では図の紫色部分を選定した。

b) 音源のモデル化

本研究では走行音を半自由空間における点音源として考慮し、観測点における音圧レベルを次式で表わす。

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

ここで、 L_A は観測点での音圧レベル [dB]、 L_{WA} は音源の音響パワーレベル [dB]、 r は音源から観測点までの距離 [m]、 L_{cor} は音源から受信点に至る音の伝播に影響を与える各種の減衰要素に関する補正量である。予測点における各音源

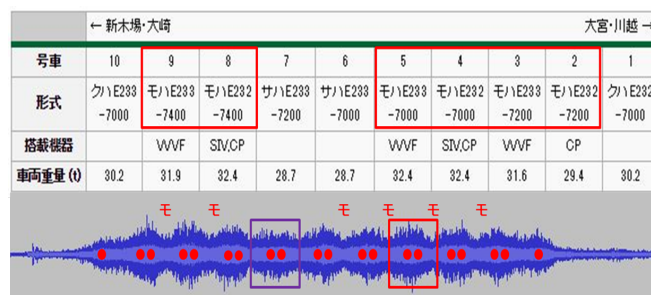


図-2 車両編成とモーター配置

KeyWords: 鉄道騒音, 幾何音響理論, VR 技術

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: koukiono.3721@civil.chuo-u.ac.jp

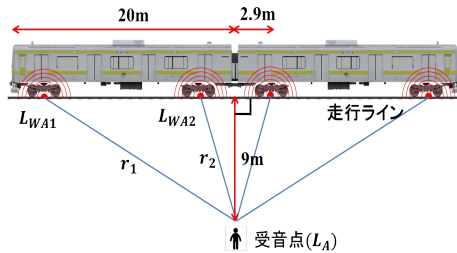


図-3 音源の配置方法及び走行ラインと受信点の位置関係

からの伝搬音の音圧レベルの合算値は次式で表わされる。

$$L_A = 10 \log_{10} \Sigma (10^{L_{A,i}/10}) \quad (2)$$

走行音は車両と共に移動する点音源として扱い、作成した定常音をそれぞれ車両モデルのモハ・サハに相当する各台車の中央部分に配置した。走行音の音源の配置方法及び走行ラインと受信点の位置関係を図-3に示す。

可聴化は、まずC++のプログラムで音源の位置座標、音圧レベルを計算し、MAXでこれらの情報を受信し立体音響場を構築することにより行われる。走行音は、作成した定常音を繰り返し再生し、受信した値に基づき音量及び立体音響を制御している。

3. VR空間への3Dモデル投影

本論文では、都市モデルと鉄道モデルを3DCGモデリングソフトウェアに読み込みMQOファイルに書き出しを行う。MQOファイルはOpenGLを用いて読み込み、VR空間への画像の投影はプログラムインターフェースであるCAVELibを使用する。OpenGLで定義された仮想世界をCAVELibによってVR空間に投影する(図-4)。

4. 適用例

本システムの妥当性の検証を行うため、実際の鉄道騒音の実測値と本手法による計算結果を比較した。観測は埼玉県川越市の南古谷駅周辺にて、JR川越線電車(E233系)の走行音を走行ラインから9mの地点に騒音計を設置して観測した。

本シミュレーションの条件を実測とほぼ同じにするため、走行速度は時速83km、走行ラインから9mの地点に観測点を設けた。走行速度はビデオカメラを用いて実測値から算定した。式(1)の L_{WA} の値はクハ、モハでそれぞれ103dB、107dBとし、補正值 L_{cor} は考慮しないものとする。図-5に実測値と計算値の車両編成考慮の有無における比較を示す。なお車両編成を考慮しない計算では、 L_{WA} は107dBで一定とした。

図-5中の、計測結果(車両編成考慮有)の20-21s前後のサハに該当する箇所、車両編成考慮無しには見られない音圧レベルの減少が確認できる。また、先頭車両の前部・最後尾車両の後部において実測値と計算値(車両編成考慮有)で定量的な一致を示しており、車両編成の考慮が反映されていることが確認できる。

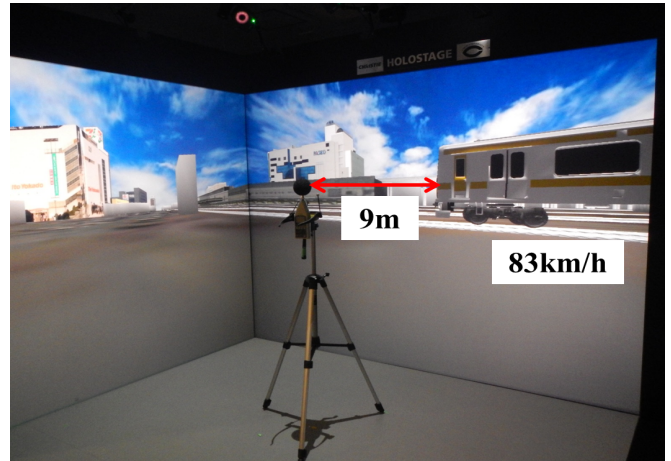


図-4 VR空間に投影している様子

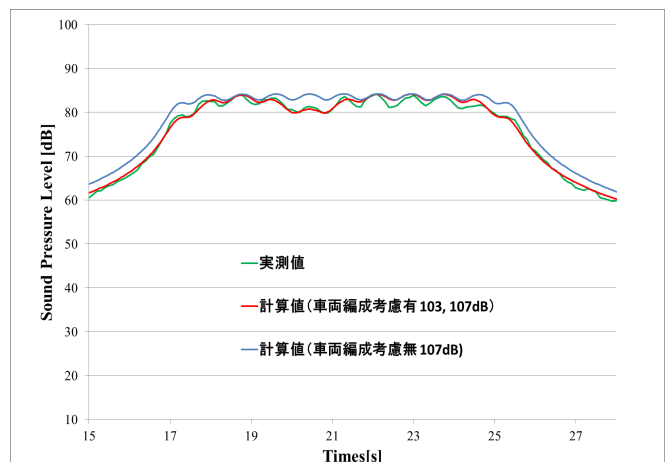


図-5 実測値と計算値の車両編成考慮の有無における比較

5. おわりに

本論文では、在来線の鉄道騒音評価システムに実際の車両編成を考慮した音源の適用を行った。計算結果において、車両編成考慮の有無の比較を通して以下の結論を得た。

- 車両編成の考慮を行うことでVR空間においてより精度の高い鉄道騒音の体験が可能となった
- 車両編成を考慮した計算結果は実測値に対して定性的な傾向は捉えているものの、車両の中間部(凹部)の音圧レベルなどで差異が見られた

今後の課題として音源配置方法のさらなる検討や幾何音響理論に基づく計算式の補正項の考慮を行う予定である。

参考文献

- 1) 浦野宏太, 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, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 土木学会, 2016.
- 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, Vol.262, pp.101-112, 1977.
- 3) 江嶋孝, 櫻山和男, 守屋陽平, 志村正孝, 谷川将規: 実車走行音を用いた道路交通騒音評価システムの構築, 土木学会論文集A2(応用力学) Vol.69, No.2, pp.155-162, 2013.