

VR 技術を用いた車両編成を考慮した新幹線鉄道騒音評価システムの構築

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

1. はじめに

著者らの既往の研究では、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) 2)}の構築が行なわれている。しかし、従来システムにおいては在来線に対しては車両編成の考慮がなされているが、新幹線については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。特に、新幹線のように速度が速くなれば、パンタグラフによる集電摩擦音や空力音を考慮する必要がある。

そこで、本論文ではより品質の高いシステムの構築を目指して新幹線に対して車両編成を考慮した音源の実装を行う。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。また、VR 空間における計算値と実測値との比較を行った。

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 空間内において操作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。

(3) 走行音測定と音源のモデル化

a) 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。新幹線の走行音は発生源別に、(1) 転動音 (レールと車輪の振動から発生する音)、(2) 構造物音 (高架橋などの構造物から発生する音)、(3) 集電系音 (架線・パンタグラフ系の機械的振動による摺動音、離線アークによるスパーク音、パンタグラフの風切り音)、(4) 車両空力音 (車体表面を流れる空気流が原因で発生する音)、(5) 打撃音 (レール継目などの不連続面によって生じる音) に分類される³⁾。本論文では、騒音計を用いて上記の音を含む走行音を測定した音源データを用いて本 VR システムに実装する。

b) 走行音の測定・車両編成の考慮

VR 装置に車両ごとの走行音を実装するために、JR 小山駅にて実際に走行している新幹線 (E2 系) 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⁴⁾。新幹線 (E2 系) の車両編成とパンタグラフの配置及び実測値の音圧波形を図-2 に示す。

VR システムに音源を実装するにあたって走行音を車両ごとに区別する必要があるため、測定した音源データをモーター車と非モーター車及びパンタグラフ搭載車、さらに先頭車両の 4 種類に区別した。走行音の音源データのうちそれぞれの車両に該当する部分のみを取り出して定常化を行い実装音源の作成を行った。

c) 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、観測点における各音源からの音圧レベルを次式で表

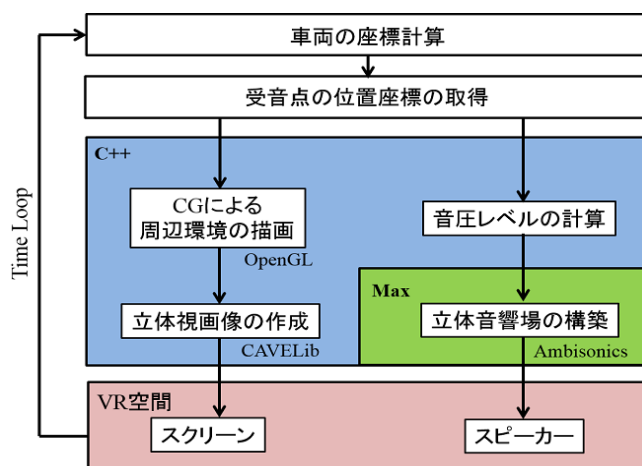


図-1 処理工程

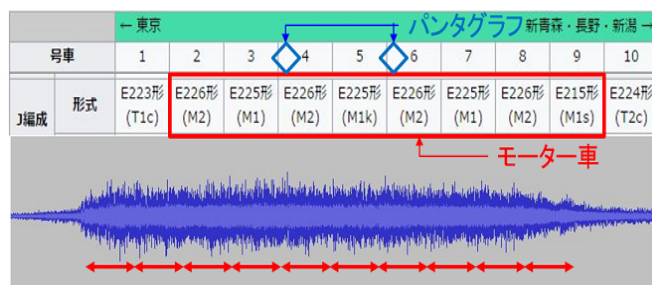


図-2 車両編成と実測値の音圧波形

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 TEL. 03-3817-1808 Email: koukino.3721@civil.chuo-u.ac.jp

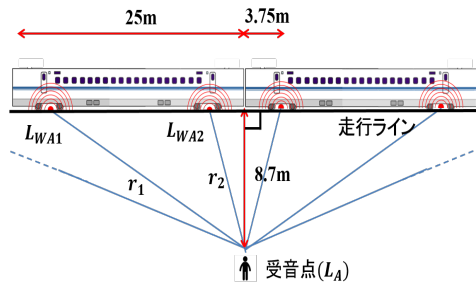


図-3 音源の配置方法及び走行ラインと受音点の位置関係

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} は音源から受音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。本論文では補正項は音源の指向性についてのみ考慮している。なお、モーター車、非モーター車、パンタグラフ搭載車、先頭車両の特徴を有する箇所を通過した際の、受音点の音圧レベルと図-3に示す幾何形状からモーター車、非モーター車、パンタグラフ車、先頭車両の音響パワーレベルはそれぞれ 125dB, 123dB, 128dB, 125dB と計算された。

受音点における音圧レベルは各音源からの伝搬音の音圧レベルの合成値であり、次式で表わされる。

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

ここで、 i は合成する音源の数（音線の数）である。作成した定常音はそれぞれ車両モデルの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音点の位置関係を図-3に示す。

3. 適用例

本システムの妥当性の検証を行うため、実際の新幹線の騒音の実測値と本手法による計算結果を比較した。観測は栃木県小山市の JR 小山駅のホームにて、東北新幹線（E2系）の走行音を走行ラインから 8.7m の地点にて騒音計を用いて観測した。

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 256km、走行ラインから 8.7m の地点に観測点を設けた（図-4）。走行速度はビデオカメラを用いて実測値から算定した。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値では、音響パワーレベルをモーター車・パンタグラフ搭載車の音響パワーレベルである 125dB, 128dB でそれぞれ統一した。

図-5 中において車両編成を考慮している計算値と実測値を比較すると、車両編成を考慮していない計算値には見られないパンタグラフにあたる部分の音圧レベルの一致が確認できる。一方、車両接近時から通過中にかけて実測値と定性的な一致が見られるものの、先頭車両やモーター搭載

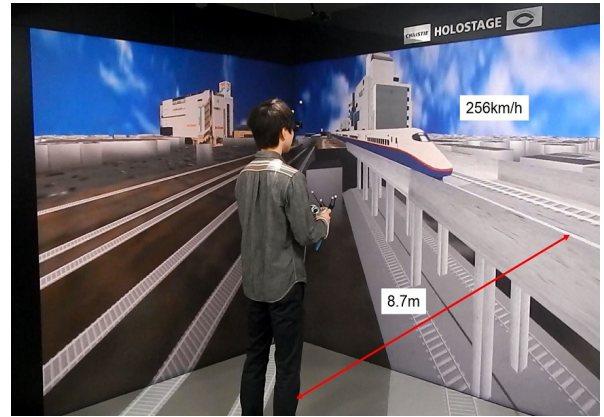


図-4 システムを投影している様子

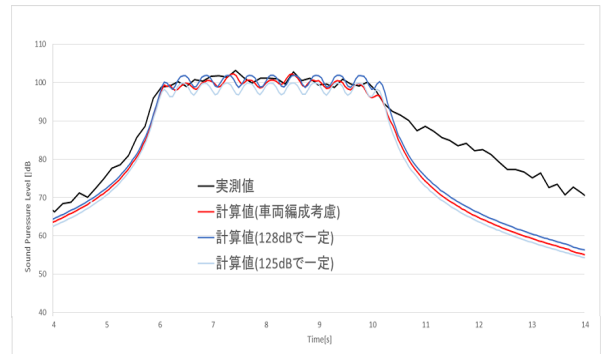


図-5 実測値と計算値の車両編成考慮の有無における比較

の有無による有効な特徴は確認できなかった。計算結果においては音源は台車に実装しているが、高速走行している新幹線は台車だけでなく車両全体から騒音が発生しているため、定量的な一致が図れなかったと考えられる。また、車両通過後において音圧レベルに差異が生じている。これは走行音の測定を駅のホームで行ったために、ホーム外壁からの反射音やレールなどの構造物的な音の考慮が必要であると考えられ今後の課題である。

4. おわりに

本論文では、より品質の高いシステムの構築を目指して新幹線に対して車両編成を考慮した音源の実装を行った。また、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。

車両編成の考慮を行うことにより、パンタグラフ搭載車が通行する際の空力特性の特性を確認することができた。

今後の課題として、音源の配置方法及び橋梁などの各種構造物音の実装を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 吉町徹, 榎山和男: 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, 第 20 回鉄道工学シンポジウム, 2016.
- 2) 木下公二, 吉町徹, 石田安理, 榎山和男: VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究, 第 44 回土木学会関東支部技術研究発表会, 土木学会, 2017.
- 3) 小澤智: 高速列車の空気力学的諸問題, 日本流体学会誌「ながれ」, Vol.21, No.4, p.346-353, 2002.
- 4) 江嶋孝, 榎山和男, 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.