

# VR騒音シミュレーションシステムの開発

宇野 昌利<sup>1</sup>・谷川 将規<sup>2</sup>・宮瀬 文裕<sup>3</sup>・一瀬 康弘<sup>4</sup>・早川 泰央<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 技術開発部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1)  
E-mail:uno@shimz.co.jp

<sup>2</sup>正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒104-8370 東京都江東区越中島三丁目4-17)  
E-mail:tanigawa@shimz.co.jp

<sup>3</sup>正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 基盤技術部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1)  
E-mail:f.miyase@shimz.co.jp

<sup>4</sup>正会員 清水建設株式会社 九州支店 土木部 (〒810-8607 福岡市中央区渡辺通三丁目6-11)  
E-mail:y.ichinose@shimz.co.jp

<sup>5</sup>正会員 清水建設株式会社 九州支店 土木部 (〒810-8607 福岡市中央区渡辺通三丁目6-11)  
E-mail:y.hayakawa@shimz.co.jp

住宅地が近接する工事現場では、工事に起因する騒音が原因で、苦情が発生する場合がある。騒音対策の効果を実際に自分の耳で体感し、住民に理解していただくことを目的に、タブレット端末 (iPad) とヘッドフォンで構成されるVR騒音シミュレーションシステムを開発した。VR騒音シミュレーションシステムは、タブレット端末 (iPad) のマルチメディア機能を駆使して、実際に自分の耳で騒音を聞いて、騒音低減効果をVR (バーチャルリアリティ) 的に体感できる。例えば、本システムを活用することで、コミュニケーションツールとなり住民とのお互いの理解が深まるため、工事について考えるきっかけとなる場合もあると考える。また、本システムは、様々な防音性能、騒音源、暗騒音を登録できるため、タブレット自体が騒音のデータベースとなる今までにない新しいシステムである。

**Key Words :** virtual reality, noise, soundproof wall, simulation, iPad

## 1. はじめに

工事現場では、大型重機やダンプトラックの走行などにより、様々な騒音が発生し、騒音に合わせた様々な騒音対策を実施している。

通常、施工者は工事騒音や対策効果を数値化して示すが、数値と実際の音とが直感的に結びつかず、十分な理解を得られにくいといった問題がある。

そこで、VR (バーチャルリアリティ) 技術を活用し、これまでになく小型で扱いやすく、可聴化に対応したVR騒音シミュレーションシステムを開発した (図-1)。これはタブレット (iPad) 上で稼働するため、発注者と施工者、住民と施工者などの協議の場でも騒音対策効果をお互いに自分の耳で聴いて体感することで、共通認識を持つことができる。

本報告では、今回開発した、騒音対策効果を耳で聞いて体感できる画期的な「VR騒音シミュレーションシステム」について述べる。



VR騒音シミュレーションシステム概観

図-1 開発したVR騒音シミュレーションシステム

## 2. 開発の背景

従来、騒音シミュレーションは、図-2 に示すように、騒音のコンター図を表示して、従来案と改善案をならべて表示し、その位置での騒音値（dB:デシベル表示）の変化で効果を確認していた。

しかし、騒音値（dB）は専門家以外にはなじみがなく、わかりにくいことが課題となっていた（表-1）。その結果、工事現場で、様々な騒音対策をしても、地域住民や発注者に対して工事騒音への理解が不十分である場合も多かった。

そこで、VR（バーチャルリアリティ）技術を活用し、これまでにない小型で扱いやすく、自分の耳で聴いて体感することができる騒音シミュレーションシステムを開発しようと考えた。

## 3. 開発のコンセプト

本システムは、「リアリティ」、「リーズナブル」、「リアルタイム」を開発のコンセプトとしている。

「リアリティ」を実現するために、リアルな音の再現を可能とするように、3通り（モノラル、パニング、バイノーラル）の方法があり、必要に応じて使い分けが可能となっている。パニングとは左右のスピーカー出力をそれぞれ制御することで音の方向感を出す方法であり、スピーカー再生に適している。バイノーラル<sup>1)2)3)</sup>は、3次元的に立体的に聞こえるため、高性能なヘッドホンでの使用が前提となっている（図-3）。

「リーズナブル」を実現するために、タブレット（iPad）を採用することで、スマートフォンと同様に扱うことができ、タップ、フリック、スワイプなど直感的な操作でシミュレーションが可能となっている。また、土木・建築現場での活用を想定しており、様々な騒音源、防音塀、ANC（アクティブノイズコントロール）などの騒音対策の性能をデータベース化してシステム化し、現場の状況に応じた設定が可能である。

「リアルタイム」を実現するために、計算負荷小さい騒音計算法である騒音予測モデル（ASJ RIN-Model, CN-Model）をベースとした高速な計算法<sup>4)</sup>を開発して適用している（図-4）。その結果、シミュレーション結果をただちに再生し、「自分の耳」で聴くことができる仕様となっている。

これらの特長を生かして、図-5に示すような活用ができると考える。工事騒音を住民と現場担当者のお互いが、耳で聞いて体感してもらうことで、住民との合意形成を図り、適切な騒音対策を実施することができる。

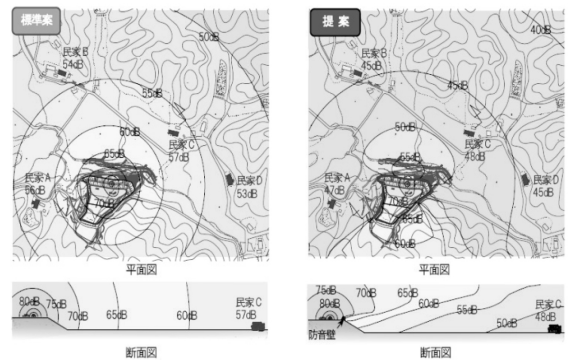


図-2 騒音のコンター図

表-1 騒音レベルと音の感じ方

騒音レベル	音の感じ方	参考
110 dB	自動車のクラクションより 2m	通常の会話の範囲は 50~70 dB 程度
100 dB	電車が通過する時のガード下	
90 dB	大声による独唱	
80 dB	電車・地下鉄の車内	
70 dB	掃除機、騒々しい事務所内	
60 dB	静かな乗用車(40km/h)、普通の会話	
50 dB	一般事務所内、都会の住宅地夜間	
40 dB	図書館	

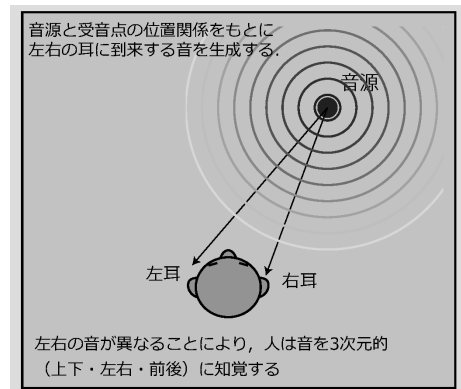


図-3 バイノーラル再生のイメージ

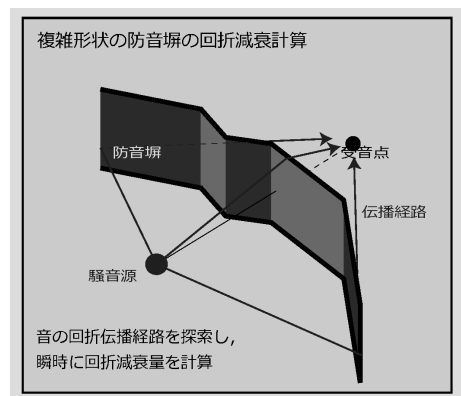


図-4 音響計算アルゴリズムの例

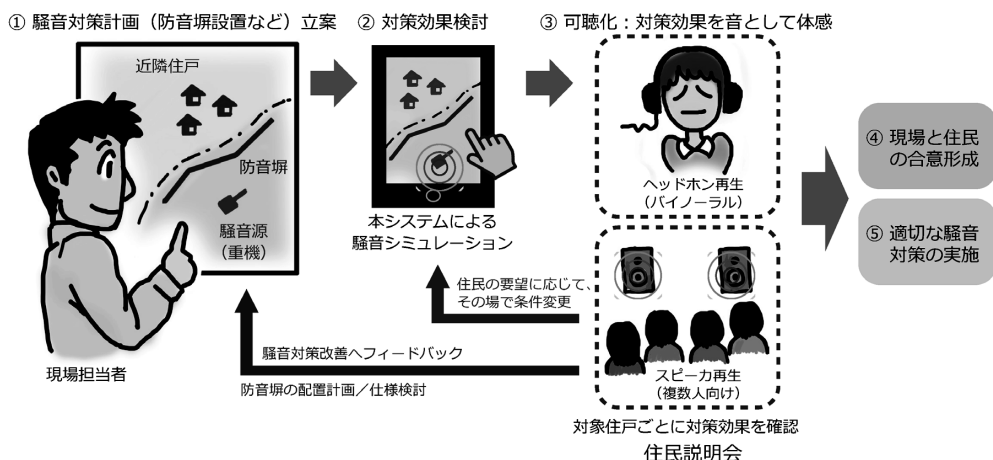


図-5 活用のイメージ

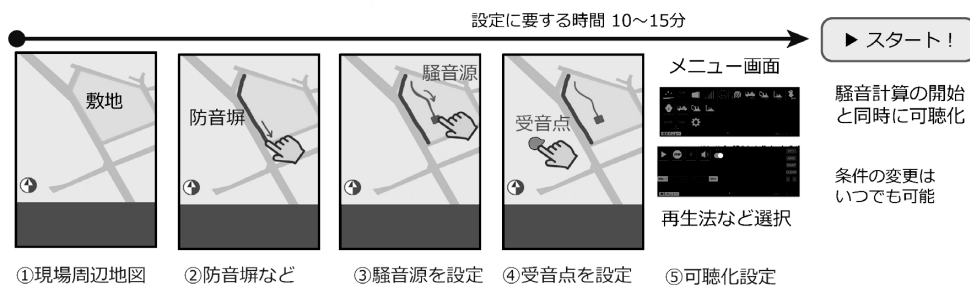


図-6 シミュレーション手順

#### 4. 技術の詳細

本システムのシミュレーションまでの手順を以下に示す（図-6）。

- ①現場周辺の地図画像の表示
- ②防音堀など騒音対策の設定
- ③騒音源を設定
- ④受音点（住居）を設定

以上で設定は完了となり、後はヘッドホンを装着して自分の耳で工事騒音と対策効果を確認するだけである。

タブレットを指先でなぞるだけで設定できるため、スマートフォンユーザーであれば違和感なく利用できる。

最近のスマートフォンと同様に、分厚いマニュアル類は必要なく、ユーザーが感覚的に使っていくうちに、容易に使い方をマスターできる。新たなシミュレーションの設定に要する時間は、10分～15分程度で済み、繁忙な現場においても活用できる。

図-7にシステムの設定画面を示す。アイコンの左上から順番に設定していくだけで簡単に入力できる。

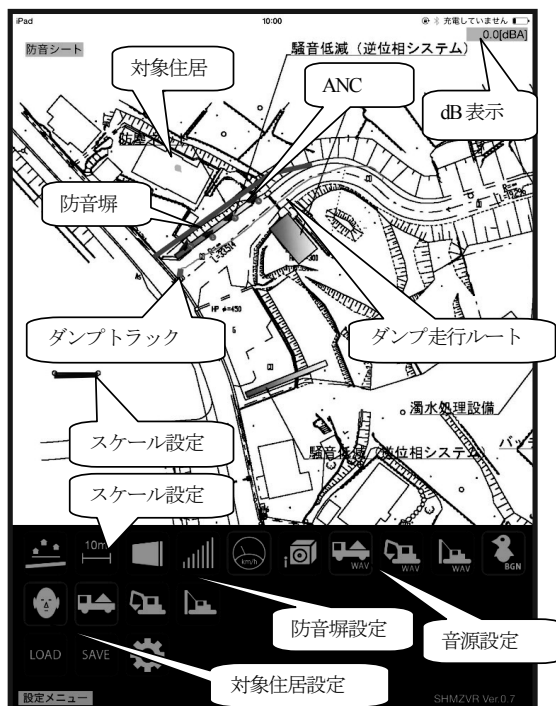


図-7 システム設定の画面

入力作業が終了したら、スマートフォンと同様に、フリックするだけで、再生メニュー画面に変更できる（図-8）。再生メニュー画面では、再生のボタンをクリックするとシミュレーションが開始するなど、インターフェースが直感的にわかるように工夫している。また、シミュレーションしながら、防音塀の変更や、ANC の ON/OFF による効果の確認、MONO（モノラル）、PAN（パニング）、HRTF（バイノーラル）などの VR の手法の選択ができる。



図-8 再生メニューの画面

## 5. 騒音データベースとしての整備

本システムは、万能鋼板、防音シートなど、実計測に基づく防音性能を示すデータを登録できるシステムとなっている。図-9に防音シートの透過損失、図-10に万能鋼板の透過損失を示す。万能鋼板と防音シートを比較すると性能の差が確認できる。防音シートに比べて万能鋼板の方が、全般的にみて防音性能が高いことがわかる。その結果、防音塀を計画する場合、万能鋼板の方が防音シートと比べて騒音低減効果が高いことがわかる。このように、様々な防音塀の特性を登録しておくことで、その場でシミュレーションが実施できることが特長である。また、当社で開発した、アコーディオン防音壁や段ボール防音パネルなども、簡単に登録できるため、今後、整備を進めていく計画となっている。

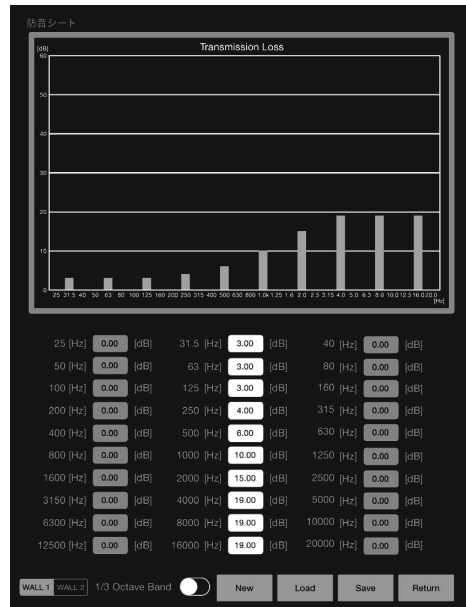


図-9 防音シートの透過損失

騒音源については、移動するダンプトラック、バックホウ、杭打機、コンクリートポンプ車、はつり作業など、あらゆる工事騒音に対応できるシステムである。騒音データは一般的に利用されている WAV 形式であり、様々な工事現場での騒音をレコーダーで容易に収録できる。今後、より多くの工事騒音を収集していく予定である。騒音解析能力は、移動体の騒音源 1 台と動かない騒音源 2 台の計 3 台を同時に実施できる。本システムで利用している iPad の能力を最大限利用している。

図-11 に WAV 形式で保存されている騒音データを示す。騒音データ自体は、利用する音源のみ、iTunes を利用してパソコンからダウンロードすることで、iPad 自体に大容量のディスクを必要としない（図-12）。全てのデータはパソコンに保存しておくことで、音源データのバックアップも同時に行っている。

本システムは、川のせせらぎ、滝の音、カエルの鳴き声などの暗騒音（BGN）も同時に再生できる。その結果、実際の現場にいるような騒音となるように工夫をしている。データ形式は、騒音源と同じ WAV 形式を利用しており、騒音源と同じように管理できる。

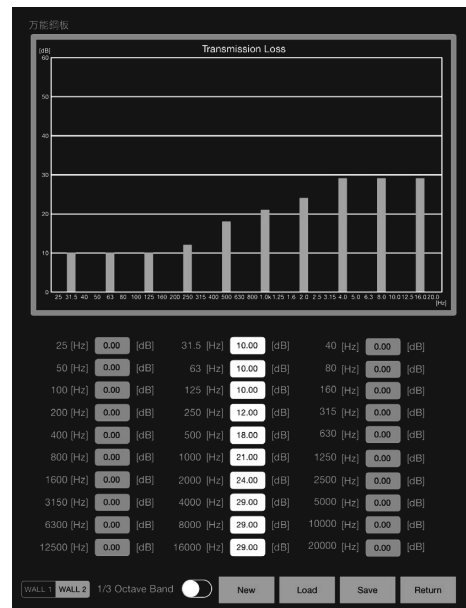


図-10 万能鋼板の透過損失

このように、防音シート、万能鋼板などの防音屏の防音性能データ、ダンプトラック、バックホウなどの様々な騒音データ、川のせせらぎなどの暗騒音データなどを、まとめて一元管理できるシステムとなっている。

その結果、本システムを活用してデータを登録していくことで、簡単に騒音のデータベースを構築できるしくみとなっている。このデータベースの充実が、より精度の高い騒音シミュレーションの実現につながると考える(図-13)。

このように、小さなタブレット(iPad)があらゆる騒音のデータベースの中心となるシステムは今までにない新しいシステムであると考えられる。

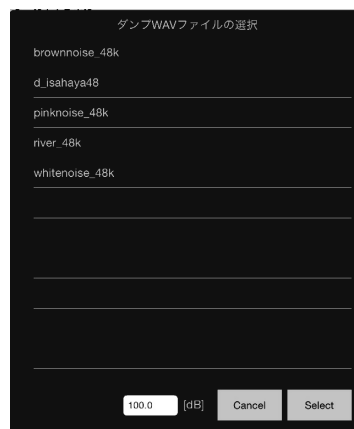


図-11 音源 WAV 形式データ



図-12 iTunes によるパソコンとの連携



図-13 騒音データベースイメージ

## 6. まとめ

従来では、考えられなかったことが、技術の進歩ともに、実現できるようになってきた。タブレットは単に、従来のパソコンを持ち運べるように小さくしたものといった使い方ではなく、タブレット独自のマルチメディア的な機能から、今回のように、「音を耳で聞いて体感する」、「簡単に設定でき活用できる」といった新しい使い方が生まれたと考えている。

今後、より多くの方に本システムを使っていただき、使用後にアンケートをとって、フィードバックすることで、さらにより使いやすいシステムに改善していくことを目指している。

今回の報告が新しい技術開発のきっかけになることを期待したい。

係者には、システムの開発テストなどでご協力いただいた。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 谷川将規, 守屋陽平, 江嶋孝, 樫山和男, 志村正幸: VR 技術を利用した道路交通騒音評価システムの立体音響化と現実感向上に関する研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学) 69(2), I\_155-I\_162, 2013.
- 2) 谷川将規, 江嶋孝, 樫山和男, 志村正幸: 混合交通を考慮した VR 技術に基づく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) 70(2), I\_195-I\_202, 2014.
- 3) 江嶋孝, 樫山和男, 柴田啓輔, 谷川将規: VR 技術を用いた道路交通騒音評価システム, pp.113-116, 土木情報学シンポジウム vol.37, 2012.
- 4) 日本音響学会(編): 音環境の数値シミュレーションー波動音響解析の技法と応用一, 丸善, 2011.

(2015. 7. 16 受付)

謝辞: 中央大学 樫山和男教授より回折計算をはじめ、音響計算手法を利用したVR技術のご指導を受けた。また、長崎諫早4号トンネル、東京外環 大泉立坑の工事関

## DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY NOISE SIMULATION SYSTEM

Masatoshi UNO, Masaki TANIGAWA, Fumihiro MIYASE, Yasuhiro ICHINOSE  
and Yasuo HAYAKAWA

In the construction site of residential areas are in close proximity, because of the noise due to construction work, there is a case in which complaints may occur. And to experience in actually my ear the effect of noise measures, the purpose of that for you to understand, we have developed a VR (Virtual Reality) noise simulation system composed of tablet terminal (iPad) with headphones. VR noise simulation system, by making full use of multi-media functions of the tablet (iPad), actually listening to the noise in my ear, is that the noise reduction effect can VR(Virtual Reality) manner experience. For example, by utilizing this system, since the deeper understanding of each other is a communication tool, it is considered to sometimes become opportunity to think about construction. Moreover, the system, various soundproofing performance, the noise source, it is possible to register the background noise, a new system ever the tablet itself is a database of the noise.