

(69) VR技術を用いた幾何音響理論に基づく航空機騒音予測システムの構築

石田 安理¹・吉町 徹²・樫山 和男³・志村 正幸⁴・坂崎 友美⁵

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: ishida@civil.chuo-u.ac.jp

²学生会員 中央大学大学院 理工学研究科都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: yoshimachi@civil.chuo-u.ac.jp

³正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

⁴正会員 株式会社建設環境研究所 技術本部 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-23-2)
E-mail: shimura@kensetsukankyo.co.jp

⁵正会員 株式会社建設環境研究所 都市環境部 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-23-2)
E-mail: sakazaki@kensetsukankyo.co.jp

本論文は、VR(バーチャルリアリティ)技術を用いた幾何音響理論に基づく航空機騒音予測システムの構築を行ったものである。本システムは、VR空間内の利用者の位置情報を用いて、VR空間内においてリアルタイムに騒音レベル算出し、航空機の飛行CG映像とともに騒音レベルを実際の音源データを用いて可聴化することで、航空機騒音を視覚と聴覚の両面から体験可能なシステムである。本システムの妥当性を検討するために、東京国際空港から離陸する航空機の事例に適用し、VR空間内での観測結果と計算結果の騒音レベルの比較を行った。

Key Words: virtual reality, geometrical acoustics, aircraft noise

1. はじめに

わが国の空港周辺では、航空機騒音問題は大きな社会問題として益々深刻化している。近年の計算機の向上に伴い、これらの騒音レベルを把握するために、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。いずれの方法においても、計算結果の騒音レベルの提示は、等値線や等値面を用いた可視化により行われるのが一般的である。しかし、CGによる可視化は騒音の影響範囲の把握には有効であるが、実際に人間の耳にする聴覚情報の提示が行われないため、騒音の大きさを直観的に理解・把握することは困難である。そこで、既往の研究では著者らによって近年発展・普及の著しいVR技術を用いて計算結果を聴覚情報として提示する道路交通騒音評価システム¹⁾²⁾の構築がされてきた。VR技術の適用は、これまで専門家以外は困難であった音圧レベルの理解を容易にし、新規の計画や設計、防音対策などの音環境の改善、合意形成などを講じる上で有用なツールとなることが期待されている。

そこで本研究では、この道路交通騒音評価システムをベースとして、新たに幾何音響理論に基づく航空機騒音予測システムの構築を行った。実測データを用いた幾何音響理論に基づく騒音レベルの計算式³⁾を用いて

リアルタイム計算を行うとともに、その騒音レベルを実際の音源データを用いて可聴化を行った。本システムの妥当性を検討するために、東京国際空港から離陸する航空機騒音の事例をVR空間内で再現するとともに、騒音レベルについてVR空間内での計算結果と測定結果との比較を行った。

2. 航空機騒音予測システム

(1) VR環境

本研究で用いる没入型VR装置HoloStage(図-1)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。本装置は、1台のMaster-PCと4台のSlave-PCから構成されている。4台のSlave-PCのうち1台はヘッドトラッキングにより計測された視点位置やコントローラーの位置を逐次計算し、残りの3台は各プロジェクターと接続されており各スクリーンが担当する領域の映像を配信している。

また、天井にある7.1チャンネルまで再生可能なスピーカーにより聴覚情報を提示することができる。



図-1 没入型 VR 装置 HoloStage

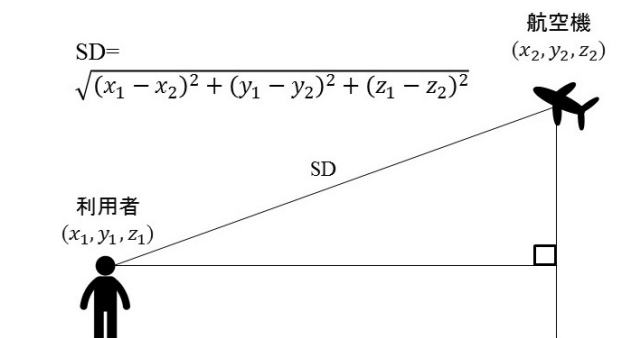


図-3 スラントディスタンス (SD) の求め方

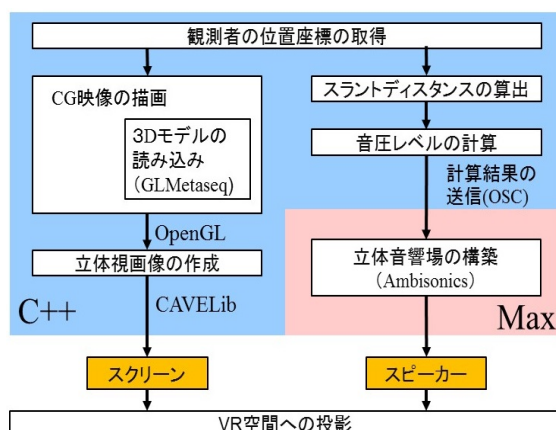


図-2 処理工程

(2) システム概要

本システムは、航空機騒音を直感的に理解・把握することを目的として、騒音の可聴化機能を有する。可聴化機能とは、航空機や観測地点の周辺環境を立体CGで再現するとともに、騒音伝搬の解析結果を航空機の飛行音を用いて可聴化し、聴覚情報として利用者に提示する機能である。

図-2に本システムの処理工程を示す。プログラミング言語としてはC++を用い、CG描画はOpenGLにより行われており、音響ソフトMaxを用いることで立体音響との同期がされている。また、利用者の視点からの立体映像の生成、スクリーン間の映像の同期、コントローラの操作など没入型VR環境を構築するためにCAVELibを使用している。なお、本システムでは航空機および観測地点の周辺環境は、C++用のライブラリ「GLMetaseq」⁴⁾⁵⁾を用いることにより自作の3Dモデルを直接投影することで再現している。また立体音響場の構築には球面調和関数展開法に基づくAmbisonics手法を用いている。

(3) 音響計算

わが国では従来、航空機騒音の予測にはWECPNL(加重等価継続感覚騒音レベル)⁶⁾や L_{den} (時間帯補正等価騒音レベル)⁷⁾などの評価量が用いられてきた。しかし、これらの予測式はそれぞれ、航空機の最大騒音レベルの平均をもとに評価値を算出するものや時間帯別の重み付けをした等価騒音レベルを求めるものであるため、本システムで必要とする非通常の音圧レベルの算出には適さない。

そこで本研究では、騒音レベルの時間的変化が算定できるように、実測データを用いた幾何音響理論に基づく計算式を使用した。具体的には、航空機の音響パワーレベル L_W は、空気吸収や地表面減衰などの超過減衰は考慮せず点音源の距離減衰式を用いた次の式(1)より求めた³⁾。

$$L_W = \overline{L_{PA}} + 20\log_{10}SD + 11 \quad (1)$$

ここで、 $\overline{L_{PA}}$ はエネルギー平均値、 SD はスラントディスタンス(m)である。エネルギー平均値 $\overline{L_{PA}}$ については、観測点へ向かって離陸する1分間の騒音レベルの平均を使用した。VR装置へ実装する際に使用した式は次式(2)である。

$$L_P = 141 - 20\log_{10}SD - 11 \quad (2)$$

ここで、 L_P は音圧レベルである。

上式により、その時々々の音圧レベルはスラントディスタンスのみに依存するので、利用者がVR空間内を自由に移動した場合でもその場所での騒音をリアルタイムに体験することができる。またスラントディスタンス SD については、航空機の x, y, z 座標および利用者の x, y, z 座標より三平方の定理で算出している(図-3)。なお、簡単のため、直線上に航空機を上昇させているが、離陸前を含めた正確な滑走・飛行経路の実装については今後の課題とする。



図-4 観測地点

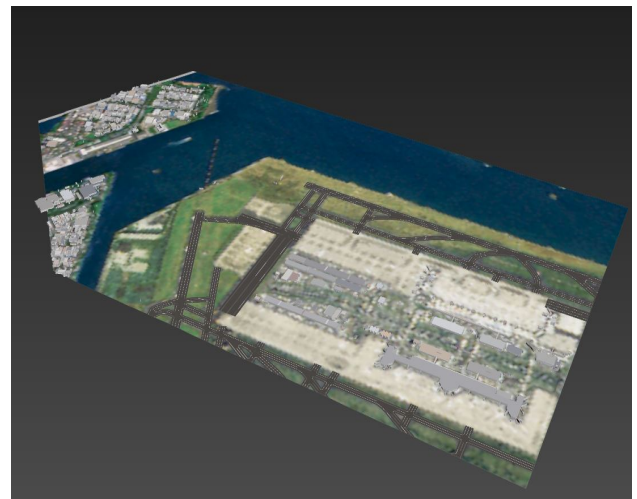


図-6 東京国際空港のモデル

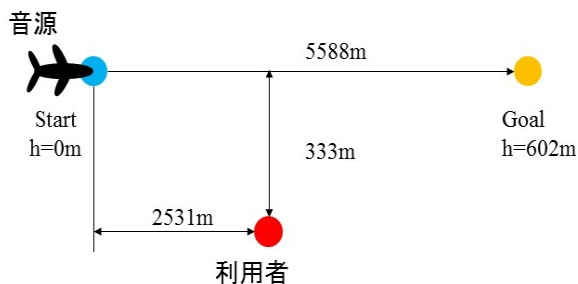


図-5 航空機と利用者の位置関係



図-7 本システムを体験している様子

3. 適用例について

(1) 概要

本研究では適用例として、東京国際空港(羽田空港)C滑走路から内陸方面へ向かって離陸した航空機の様子を再現した(図-4)。なお、騒音レベルおよびスラントディスタンスのデータは、東京国際空港 C 滑走路を内陸側へ向かって離陸した航空機の騒音を、城南島海浜公園内において計測した際に得たデータを用いた。なお、航空機の機種は Boeing737-800 である。

また、スラントディスタンスのデータを用いて算出した航空機の離陸地点、経路および利用者の位置関係を図-5 に示す。

(2) 空港のモデルの作成

本研究では VR 空間内において、解析対象を正確に CG 表示するために、3DCG モデリングソフト (InfraWorks および 3dsMax:Autodesk 社) を使用し東京国際空港およ

び観測点である城南島海浜公園の一区画周辺のモデルを作成した。用いた地形データおよび建物データは国土地理院にて公開されている基盤地図情報を、テクスチャとして用いた衛星写真は日本地図センターのものを使用した。図-6 に完成したモデルを示す。

(3) VR 装置への実装

適用例に対して、本システムを VR 装置に実装した結果について述べる。なお、3D モデルの投影には C++ 用のライブラリ「GLMetaseq」を用いている。また可視化の際の表示は、利用者からの視点において空港および航空機のモデルをほぼ実寸大となるように投影を行っている。図-7 に、実際にシステムを使用して航空機騒音を体感している様子を示す。

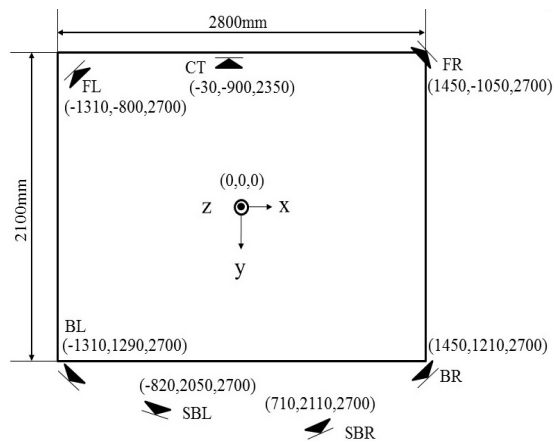


図-8 スピーカーおよび騒音計の位置

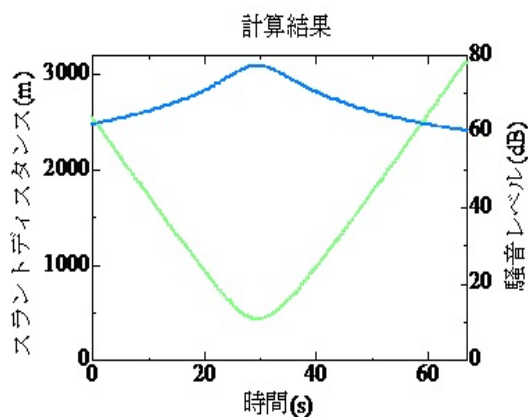


図-9 騒音レベルおよびスラントディスタンス

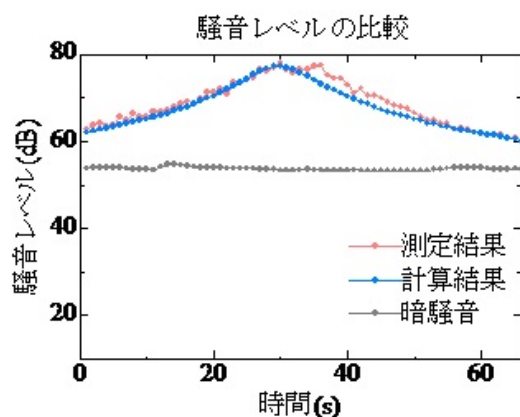


図-10 測定結果と計算結果の音圧レベル

図-8 に示す座標原点位置の高さ 1.5 m の位置を利用者の位置とし、騒音レベルとスラントディスタンスを計測した結果を図-9 に示す。図-9 より、スラントディスタンスが小さくなるにつれ騒音レベルが大きくなっていく状況を再現できていることがわかる。また、図-10 に利用者位置での騒音レベルの計算値および VR 空間内で騒音計により測定した値の比較を示す。計算結果

は、スラントディスタンスが 435.9 m の時に最大騒音レベル 77.2 dB であったのに対して、VR 空間内で計測した際の最大騒音レベルは 78.8 dB であり、差が 1.6 dB であることから両者は良く一致していることがわかる。また図-10 より、騒音レベルがピークを迎える頃からずれが生じているのがわかる。図中に VR 空間内の暗騒音を計測したものを示しているが、暗騒音自体も一定でなく変動が見られることからこれらのずれや変動は、PC やプロジェクタの駆動音の影響および室内の音の反射などが原因であると考えられる。

4. おわりに

本論文では、幾何音響理論に基づく航空機騒音予測システムの構築を行った。本システムの妥当性を検討するために、東京国際空港から離陸する航空機騒音の事例を VR 空間内で再現するとともに、騒音レベルについて VR 空間内での計算結果と測定結果との比較を行った。その結果、以下の結論を得た。

- VR 空間において、実寸大の可視化映像とともに騒音の聴覚情報をリアルタイムに提示することで、臨場感の高い航空機騒音の体感が可能となった。
- 騒音計を用いてキャリブレーションを行ったことにより、観測点(受音点)においてほぼ計算結果どおりの騒音レベルを提示することが可能となった。

今後の課題としては、より現実に近い航空機の飛行経路の実装、実地域での騒音の計測結果と本システムの予測結果の定量的な比較に基づくシステムの妥当性の検証と改良、屋外のみではなく住宅地上空を飛行する航空機騒音の建物内での騒音のシミュレーションモデルの実装を行うことなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 田近伸二, 樫山和男, 志村正幸:VR 技術を用いた対話型道路交通騒音評価システムの構築, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.13, pp.231-240, 2010.
- 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, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.70[No.2], pp.195-202, 2014.
- 3) 成田市空港部空港対策課:平成 25 年度 成田国際空港周辺航空機騒音測定結果 (年報), <<http://www.city.narita.chiba.jp/sisei/sosiki/kutai/houkokusho25.html>>, (入手 2015.5.2).
- 4) 橋本直:工学ナビ ARTToolKit を使った拡張現実感プログラミング, <<http://kougaku-navi.net/ARTToolKit/>>, (入手 2015.5.2).
- 5) Akira Kageyama, Youhei Masada:Applications and a three-dimensional desktop environment for an immersive virtual reality system, *Journal of Physics:Conference Series*, Vol.454, 2013.
- 6) 木村翔・井上勝夫:航空機騒音の予測手法について, 騒音制御, 日本騒音制御工学会, Vol.4[No.2], pp.71-78, 1980.
- 7) 環境省:航空機騒音測定・評価マニュアル, 2014.