

VR 技術を用いた超音速機騒音評価システムの構築

中央大学 学生会員 ○ 中田 裕徳
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

飛行場の新設・拡張工事において、周辺住民の理解を得るための取り組みとして航空機騒音の環境アセスメントは重要である。近年ではコンピュータ技術の向上により、騒音影響の予測には数値シミュレーションが数多く用いられている。著者らは、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(Virtual Reality) 技術を用いて可視化及び可聴化することで、視覚情報と聴覚情報を同時に提示することが可能な航空機騒音評価システムの構築を行ってきた¹⁾。

本報告は、従来システムを航空機騒音で問題となっている超音速機の騒音シミュレーションに適用可能とする検討を行うものである。

2. 航空機騒音評価システム

(1) VR システムの概要

VR 技術とは、コンピュータグラフィックスを用いてコンピュータ上に仮想空間を作り出し、実際の現象を疑似体験できる技術のことを指す。VR 技術は利用者に対し、視覚情報と聴覚情報を同時に提示することが可能なため、各分野の専門家でない人でも現象を直感的に理解することができる。本報告で用いる没入型 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のトラッキング装置、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) 航空機騒音評価システム概要

本システムは、航空機騒音を正確かつ直感的に理解・把握することを目的として、騒音の可聴化機能と可視化機能を有する。可聴化機能とは、機体の周辺環境を立体 CG で再現するとともに騒音伝播解析結果を航空機のエンジン音を用いて可聴化し、聴覚情報として利用者に提示するものである。一方で可視化機能とは、音圧分布の空間的な広がりを正確に把握するために音圧レベルの等値面を立体 CG で提示するものである。VR 空間の構築及び CG 映像の作成には CAVELib が用いられており、プログラムは C++ が用いられている²⁾。本システムの処理工程を図-1 に示す。

(3) 都市モデル作成

超音速機を含む航空機騒音評価システムの構築に向けて本報告では、茨城県小美玉市に位置する茨城空港及び航空自衛隊百里基地周辺地域を対象として、Autodesk InfraWorks を使用し都市モデルの作成を行った。

本報告では空港周辺エリアにおける再現度を上げるため、基盤地図情報から出力した建物データのうち、茨城空港や航空自衛隊百里基地に関連する一部構造物を、Sketch Up

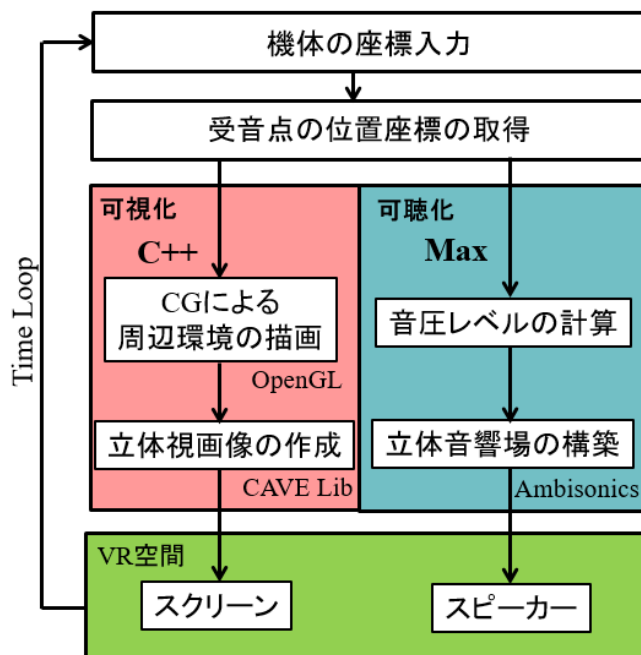


図-1 本システムの構成



図-2 VR空間上で飛行するF-4戦闘機の様子

を用いて作成した3Dモデルに置き換えた。以上の修正を行った後、完成した都市モデルをAutodesk 3dsMaxに出力し、objファイルへ変換を行った。

(4) VR空間への投影

VR空間の構築及びCG映像の作成に向け、前述の調整を施した都市モデルのobjファイルをCAVELibおよびOpenGLで読み取るためにMetasequoia4へ出力し、mqoファイルに変換を行ってからHolostageへ投影した。対象地域の都市モデル上において、航空自衛隊F-4戦闘機が飛行する様子を図-2に示す。

KeyWords： 航空機騒音、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: a18.cty8@g.chuo-u.ac.jp

3. 音響計算手法

本システムはリアルタイムに観測者の位置などの条件を変更することで、利用者がその時々騒音の大きさを体感し、騒音についてより理解を深めることができるシステムの構築を目的とするため、非定常に変化する騒音レベルの算出及び可聴化を行う必要がある。

そこで本報告では、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用いて、非定常の音圧レベルの算出を行う。具体的には、点音源の半自由音場での距離減衰式を基に騒音レベルの算出式を設定した³⁾。

(1) 屋外における音響計算

屋外における観測者位置における騒音評価式は、次式 (1) により算定した。

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

ここで、 L_P は屋外での観測者位置での音圧レベル (dB)、 L_W は航空機の音響パワーレベル、 ΔL_{cor} は補正項である⁴⁾。本研究では補正項として、後に述べる指向性のみを適用している。

(2) 指向性

航空機騒音の場合には、機体の周囲に強い指向性を持つことが知られている⁵⁾。本報告では指向性モデルとして、以下の式 (2) によって表される Dipole モデル及び式 (3) が示す cardioid モデルの 2 種類を用いて比較を行う。それぞれを可視化すると図-3 のように表される。また、音源（航空機）と受音点（観測者）との位置関係を図-4 に示すように仮定し、適用している。

$$Q = 4\sin^2\theta\cos^2\left(\frac{\pi}{4}\sin\theta\cos\phi + \frac{\pi}{4}\right) \quad (2)$$

$$Q = 1 + \cos\theta \quad (3)$$

ここで、 Q は指向係数、 ϕ は音源と受音点における鉛直方向のベクトルが成す角度であり、 θ は進行方向のベクトルが成す角度を表す。上式により得られた指向係数 Q はレベル変換し、式 (1) に加算することで指向性を考慮した音圧レベルが得られる。

またこのとき、音源から受音点までの直線距離 r を SD (スラントディスタンス) とする。本報告では三平方の定理を用いて、次式 (4) により算出している。

$$SD = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (4)$$

指向係数 Q と直線距離 SD を用いて、(1) 式を書き換えると次式になる。

$$L_A = L_{WA} - 20\log_{10}SD - 8 + 10\log_{10}Q \quad (5)$$

上式により VR 空間内において刻々と変化する航空機的位置情報を入力し、観測者位置における非定常の音圧レベルを評価することが可能である。また、VR 空間の観測者（システム利用者）は、歩行およびコントローラを用いて

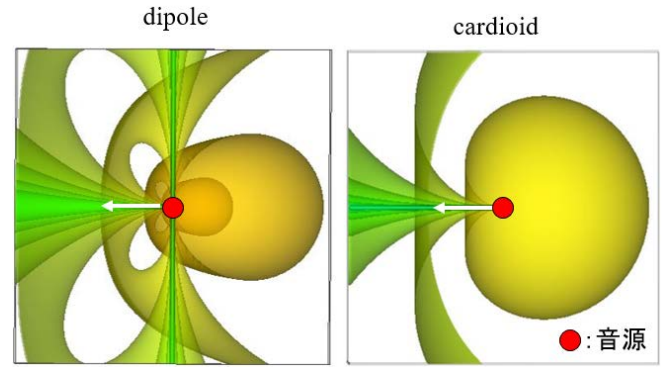


図-3 指向性モデルの可視化

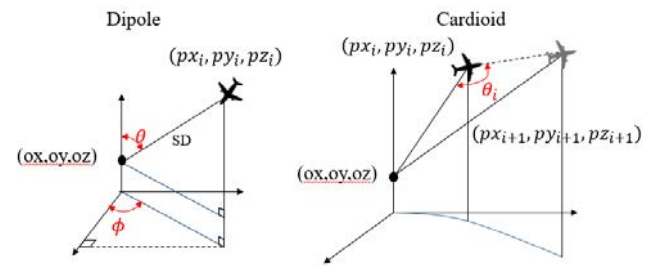


図-4 観測者と航空機との位置関係

VR 空間内を自由に移動可能であり、その座標位置はトラッキング装置により瞬時に捕捉されるため、リアルタイムに騒音を体験することができる。

4. 騒音シミュレーション

前述の計算手法を用いて騒音シミュレーションを行うにあたり、その妥当性を検証するため装置内に騒音計を設置し、実際に測定した音圧レベルの推移と VR 空間内における騒音シミュレーションによる計算結果の比較を行った。その詳細については講演時に示す。

5. おわりに

本報告では、VR 技術に基づく従来システムを超音速機の騒音シミュレーションに適用可能とする検討を行った。シミュレーション結果の妥当性を検証するため、VR 空間内において騒音計で測定した結果との比較を行った。

今後は、防音対策を講じた際の影響の考慮を行う予定である。

参考文献

- 1) 石田安理, 吉町徹, 樫山和男, 志村正幸, 坂崎友美: VR 技術を用いた幾何音響理論に基づく航空機騒音評価システムの構築, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.40, 2015
- 2) 石田安理, 山本恭平, 吉町徹, 樫山和男, 志村正幸: VR 技術を用いた体験型航空機騒音評価システムの構築, 第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会, VII-15, 2016.
- 3) 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
- 4) 木村翔: 建築音響と騒音防止計画, 影国社, 1994
- 5) 磯部正臣, 篠原直明, 吉岡序, 山田一郎: 離陸滑走時の航空機騒音の指向性, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 2002