

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 ○ 江口 大智
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

著者らの研究では幾何音響理論手法を用いた航空機騒音評価システムの構築¹⁾を行い、民間航空機の騒音評価においてその妥当性と有効性を示してきた。

本研究では、従来のシステムを、騒音の苦情件数が多い基地周辺の超音速機の騒音評価に適用するための検討を行うものである。本発表では騒音の測定結果からシステムに実装する定常音の作成手法について検討を行った。

2. 超音速機騒音評価システム

(1) システム概要

本研究では、没入型 VR 装置 HoloStage を用いた交通騒音の可視化・可聴化システムの構築を行う。本システムは、利用者の位置情報と音源位置から幾何音響理論に基づく音響計算式により、音圧レベルをリアルタイムシミュレーションで計算して、VR 装置に視覚情報と聴覚情報を同時に提示するものである。図-1 に本システムのフローチャートを示す。システムの詳細は¹⁾を参照されたい。

(2) 音響計算

本システムでは、騒音レベルの時間変化を算定するために、幾何音響理論に基づく ASJ RTN-Model 2018(以下 ASJ モデル)を用いる²⁾。受信点での、音響パワーレベルは次式で算定される。

$$L_P = L_W - 20\log_{10}SD - 11 + \Delta L_{cor} \quad (1)$$

ここで、 L_P は利用者位置での音圧レベル、 ΔL_{cor} は指向性や空気吸収の補正項である。また、 SD (スラントディスタンス)は超音速機の発生源と受信点との直線距離である。

3. 音源データの作成

VR 技術を用いた可聴化において、航空機の音源に実装する音源データの品質は重要である。可聴用音源データの実装のための定常音作成の手順を次節に示す。

(1) 可聴音源の採取

茨城県小美玉市の航空自衛隊・百里基地にて、超音速機(F2)の離陸時の騒音測定を行った。測定は離陸する飛行機を正面に見る滑走路延長線上から約 100[m] 離れたところで実施した。

(2) 機体の速度とスラントディスタンスの測定

本手法では既往手法³⁾に倣い、距離減衰を考慮した音源データの作成を行うが、そのためには時刻ごとの航空機の速度と、スラントディスタンスを推定する必要がある。それらの算出は、騒音の測定位置からの撮影動画より推定を行った。その結果、最接近時の時速は 586[km/h] と推定した。図-2 中の黒字の数値は離陸地点からの水平距離、赤字

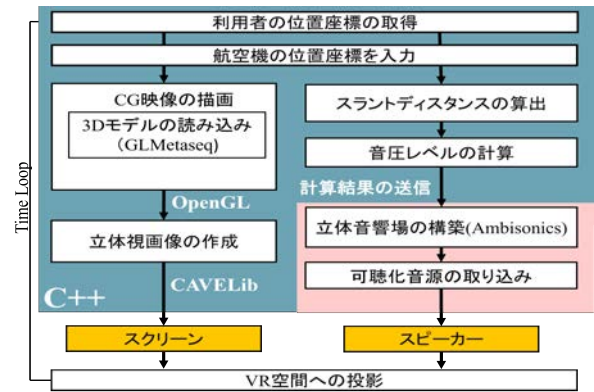


図-1 フローチャート

はスラントディスタンスである。

(3) 定常音の作成

離陸音の実測データから可聴化用の音源データを生成するには、距離減衰の影響の取り除く必要がある。図-3 に示すように滑走路から距離 r_0 にある観測点を設定する。この時航空機は一定速度 V で滑走するものとし、時刻 T_1 での飛行音の瞬時音圧を $S(T_1)$ とする。この発生音が時刻 $T'_1 (> T_1)$ に観測点に達したとき観測点における音圧 $S'(T'_1)$ は、距離減衰を考慮して次式で表されるものとする。

$$S'(T'_1) = \frac{1}{R(T_1)} \cdot S(T_1) + \alpha \quad (2)$$

ただし、

$$R(T_1) = \sqrt{r_0^2 + (VT_1)^2} \quad (3)$$

は時刻 T'_1 における音源・観測点間水平距離であり、 α は周辺からの反射音や音騒音の影響を表す。測定誤差やノイズを完全に取り除くことは不可能であるため、以下では $\alpha \approx 0$ として扱う。

一方、時刻 T'_1 は次式で表される。

$$T'_1 = T_1 + \frac{R(T_1)}{c_0} \quad (4)$$

なお、 c_0 は音速である。式 (1) および式 (2) から次式を得る。

$$T_1 = \frac{2T'_1 + \sqrt{4T_1'^2 - 4(1 - M_0^2)(T_1'^2 - Q_0^2)}}{2(1 - M_0^2)} = F(T'_1) \quad (5)$$

ここに、式中の変数は $M_0 = V/c_0, Q_0 = r_0/c_0$ である。したがって、 $S(T_1)$ は T'_1 の関数として次式で表される。

$$S(F(T'_1)) = \beta(T'_1)S'(T'_1) \quad (6)$$

このとき、

$$\beta(T'_1) = R(F(T'_1)) \quad (7)$$

KeyWords : 航空機騒音, 幾何音響理論, VR 技術, 可視化, 定常音化

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL: 03-3817-1808 E-mail: a17.kc8j@g.chuo-u.ac.jp

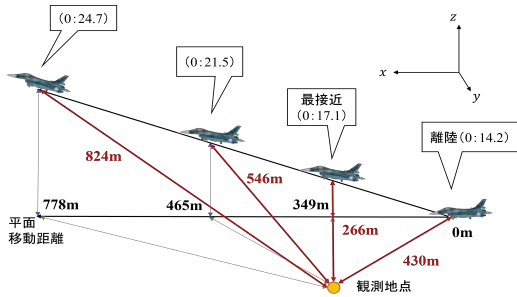


図-2 各時刻における機体位置の推定図

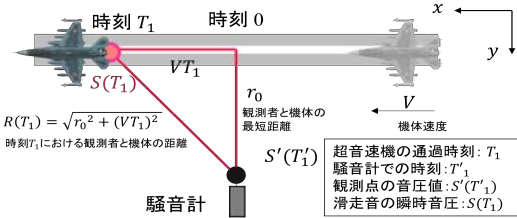


図-3 騒音測定及び平滑化計算の模式図

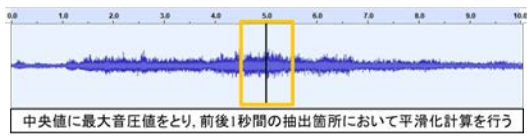


図-4 時刻歴音圧値の抽出箇所

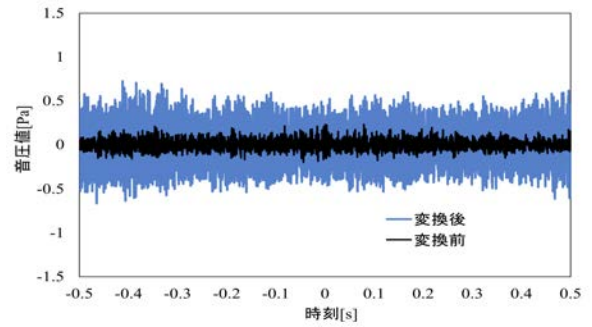


図-5 距離減衰式による変換前後の音圧値の比較

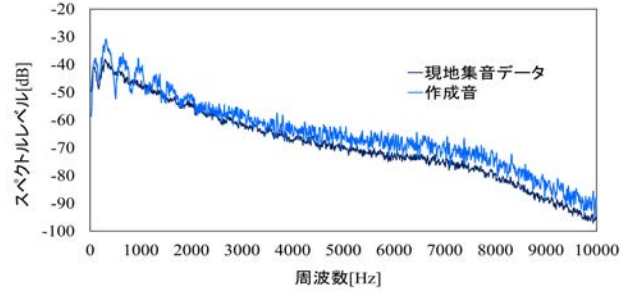


図-6 作成音と音源による周波数分析

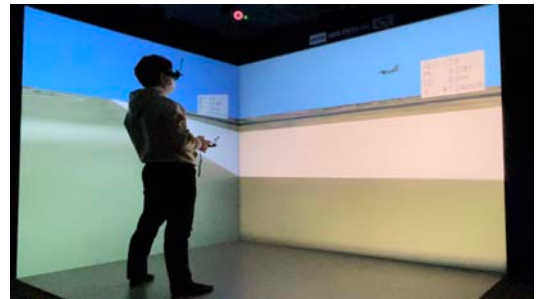


図-7 システムを体験している様子

である。

また、各入力数値の値は、観測者と機体の最短距離 $r_0 = 79.5[m]$ 、観測者通過時の機体速度 $V = 586[km/h]$ 、抽出時間を $1[s]$ として図-4 に示す音圧最大値の前後1秒間の抽出箇所を用いて定常音の作成を行った。

実際の計算例との結果を図-5 に示す。変換後の音圧値は、変換前の値よりも大きくなり、任意の時刻における振幅値がほぼ一樣になることを確認した。

その後、ドップラー効果により観測者通過前後で音の高低が異なるため、定常音化を行う。変換後の時刻歴音圧値データを用い、観測者通過時間幅を設定し、音源抽出・作成を行う。なお、本編では平滑化計算により再変換した音データに対し抽出幅 $1[s]$ とした波形をつなぎ合わせて作成した定常音と実音源の比較とする。

(4) 作成音の評価

作成音の妥当性を確認するべく、実測音と作成音の周波数分析を行い、その結果を図-6 に示す。特定の値のみ卓越している周波数帯はあるが、周波数が高くなるにつれてスペクトルレベルの低減を示したことから、音の特性を変えることなく定常音化ができてることが確認できる。

4. 適用例

構築したシステムを、超音速機 (F2) が百里基地を離陸する事例に適用する検討を現在行っている。図-7 はシステムを VR 空間上で投影している様子である。VR 空間において、計算結果通りの音場が再現されているのかの確認を行うために、VR 空間内で騒音計を設置して両者の比較を行った。その結果については講演時に示す。

5. おわりに

本報告では、著者らが構築した幾何音響理論に基づく航空機騒音評価システムを超音速機に適用するため、超音速機の離陸時の測定データを用いて、システムに実装する定常音の作成を行った。作成した定常音の妥当性について、周波数分析を行い、測定データとの比較を行った。その結果、各周波数帯ではほぼ同様なスペクトル分布が得られたことから妥当性を確認できた。本システムは、リアルタイムシミュレーションに計算結果を可聴化して VR 空間に提示することが可能であり、防音対策等の計画支援ツールとして、有効な手段となることが期待できる。

今後は、実測結果との比較をもとに、指向性等のモデル化を行い実装する予定である。

参考文献

- 1) 石田安理, 吉町徹, 榎山和男, 志村正幸: VR 技術を用いた幾何音響理論に基づく航空機騒音強化システムの構築, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.40, pp.243-246, 2015.
- 2) 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
- 3) 谷川将規, 守屋陽平, 江嶋孝, 榎山和男, 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, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.16, pp.I.155-I.162, 2013.