

FDTD 法を用いた波動音響シミュレーションの基礎検討

-生活空間内における音の響き-

Basis Study of Wave Motion Sound Simulation Method Using Finite Difference Time Domain Method

-Echo in Living Space-

椿 英駿[†] 岸本 誠也[†] 大貫 進一郎[†]

Hidetoshi TSUBAKI[†] Seiya KISHIMOTO[†] Shinichiro OHNUKI[†]

[†] 日本大学工学部電気工学科

[†] College of Science & Technology, Nihon University

1. はじめに

コンサートやライブ等のオンライン配信が増加しており、自宅で音楽を楽しむ機会が増加している。コンサートホールにいるような環境を自宅で再現するために、生活空間における音場の評価方法が必要である。コンサートホール等の音響施設を設計する際には、残響時間などを用いて音の響きを評価する。今回は基礎検討として、ワンルームの部屋内における音の響きについて評価を行う。

2. 解析手法

本報告では音波の時間発展を見るため波動方程式を用いたFDTD(Finite Difference Time Domain)法を用いて解析を行った。音圧に関する運動方程式については式(1)、連続の方程式は式(2)を用いた。次式において p :音圧、 \mathbf{v} :粒子速度、 ρ :密度、 V :体積、 κ :体積弾性率、 c :音速、 a_n :吸音率、 n :計算ステップ数とする。

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\nabla p \quad (1) \quad \frac{\partial p}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$v^n(i, j, k) = \frac{p^n(i, j, k)}{\rho c \frac{1 + \sqrt{1 - a_n}}{1 - \sqrt{1 - a_n}}} \quad (3)$$

音圧分布を確認するために用いた解析モデルを図1に示す。解析領域は一般的なワンルームサイズより7畳の部屋を考慮し、 x 軸方向4.2 m、 y 軸方向2.8 m、 z 軸方向2.4 mの空気を媒質とした空間を用いる。一般の部屋の壁素材を模擬するため、空間を囲うように吸音率0.2の境界を想定した。壁に反射した際の計算は式(3)を用いた。また、家具等の障害物を青色で示すように配置し、この材質も壁の素材と同様として解析を行った。音源となる入射波は中心時間 $t_0 = 3.0$ msのガウシアンパルスを印加した。

3. 解析結果

音の響きの評価として、図1におけるAの y - z 平面を用いて音圧を評価する。図2に音圧がA地点に到着する時刻である、音源入射後1.6 ms後の音圧分布を示す。2つの音源を想定しているため、障害物上部の $z = 0.7$ m付近で、合成波が大きくなる。

図3に音源入射後10.1 ms後の音圧分布を示す。壁や障害物に音波が吸収され低減している様子が得られた。この音圧低減の程度を調査することで、コンサートホールなどで評価されている、残響時間を評価することができると思われる。

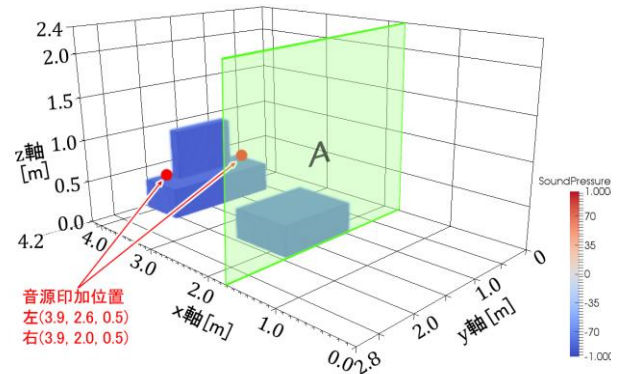


図1. 解析モデル

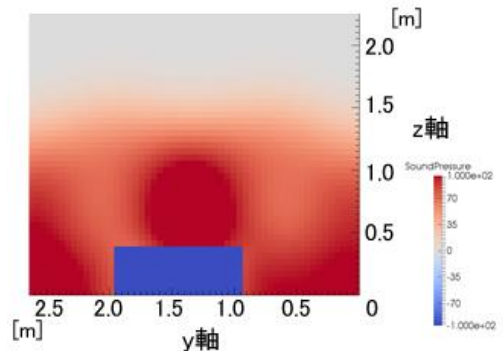


図2. 音源入射後1.6 ms後の音圧分布

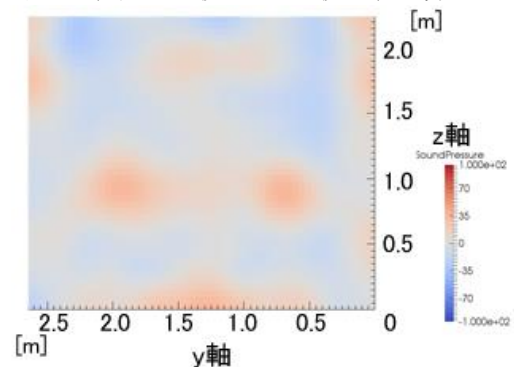


図3. 音源入射後10.1 ms後の音圧分布

4. 今後の課題

今後、解析空間や音源等の条件変更を行い、より生活空間に近い音場を再現した解析を行う。また残響時間の評価や電氣的制御による音場制御を検討する。

参考文献

- [1] 日本音響学会“FDTD法で見る音の世界”，コロナ社，pp.221-232，2015
- [2] 喜入“建築材料が一番わかる”，技術評論社出版，pp.164-165，2014
- [3] 建築資料研究社，“コンサートホール —巨大な楽器づくり—”，pp.28-32，1994