

林 蘭 祥里\*, 内山 大智\*\*, 武居 周\*\*\*

(\*宮崎大学工学部)

## 1. はじめに

我々が気軽に音楽を楽しむ場として利用するのはライブハウス等の室内空間であるが、しばしば人体等の様々な室内環境に左右され、演奏者を含めた聴き手に対し一様に音が届くことはない。

よって、室内空間における楽器音響の音響特性を解析し、簡単かつ最適な室内音環境を実現することを目的とした、有限要素法に基づく数値音響解析手法を確立することで、最適な音環境の構築を目指す。

## 2. 有限要素定式化

音源のある解析領域 $\Omega$ において、波動方程式による速度ポテンシャル $\Phi$ を未知関数とした Helmholtz 方程式を考え、弱形式化し、有限要素近似した式(1)を解くべき方程式とする。このとき、 $\omega$ は角周波数、 $\rho$ は媒質の密度である。

$$\left(-\frac{\omega^2}{c^2}[M] + [A] - j\omega\rho[C]\right)\{\Phi\} = \{q\} \quad (1)$$

式(1)の要素剛性行列を $[M]_e$ 、 $[A]_e$ 、 $[C]_e$ とすると、要素の形状関数 $\{N\}$ 、その転置 $\{N\}^T$ を用いてそれぞれ以下のように与える。

$$[M]_e = \iiint_{\Omega_e} \{N\}\{N\}^T d\Omega_e \quad (2)$$

$$[A]_e = \iiint_{\Omega_e} \nabla\{N\}\nabla\{N\}^T d\Omega_e \quad (3)$$

$$[C]_e = \frac{1}{Z_n} \iint_{S_e} \{N\}\{N\}^T dS_e \quad (4)$$

ただし、 $[C]_e$ は吸音境界面に対する面積分であり、 $Z_n$ は比音響インピーダンスである[1]。

## 3. 並列有限要素法

## 3.1 ADVENTURE Sound

本実験に用いる解析コードは、ADVENTURE Projectにおいて開発・公開しているの波動音響解析ソルバ、ADVENTURE Soundである[2]。

## 3.2 並列化手法

本解析で用いるコードは、階層型領域分割法(Hierarchical Domain Decomposition Method:HDDM)による並列処理を実現しており、図1は階層型領域分割法の模式図である。一階層目の分割単位を“Part”，二階層目の分割単位を“Subdomain”と呼ぶ。基本的に、部分領域(Part)数は並列処理の手法、使用するノード数や計算機環境に基づいており、領域(Domain)数は、計算処理に必要なとされるメモリにより決定される。

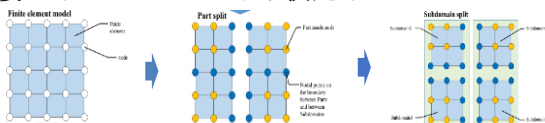


図1 階層型領域分割法(HDDM)

## 4. 解析モデルの説明

本研究では、縦5[m]、横8[m]、高さ3[m]の室内空間内に、側壁から0.5[m]、高さ0.6[m]の位置に縦2[m]、横1.5[m]、厚さ0.4[m]のグランドピアノを模した簡易モデルを設置

し、モデルに対して天盤を模した厚さ0.007[m]の横1.5[m]、縦2[m]の板をモデルの上面から0.01[m]上、ピアノ上面に対し45°の角度で取り付け付けた(図2)。解析条件として解析周波数125[Hz]、音速343[m/s]、解析領域は密度1.3[kg/m<sup>3</sup>]の空気領域とし、振動境界条件は $4.485 \times 10^{-3}$ [m/s]、完全吸音境界条件を445.9[kg/m<sup>2</sup>s]とする。このときピアノの上面に振動境界条件を与え(図2の黄色の面)、室内空間の全面に完全吸音境界条件を与えそれ以外の面は全反射するものとした。解析の開始時間を0.001[s]、時間刻みを0.000001、時間ステップを12000[回]とし0.001~0.013[s]までの非定常解析を実行した。

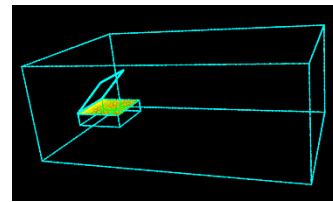


図2 解析モデル

## 5. 非定常解析の可視化結果

以下に示す図3が、非定常解析の可視化結果である。今回は、部屋の底面の横をx軸、縦をy軸、高さをz軸として、 $y=1.5$ のxz平面の断面図を示している。

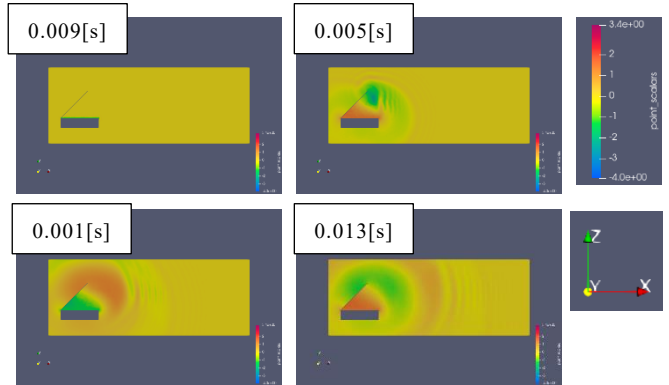


図3 音圧による非定常解析の可視化結果

## 6. まとめ

本解析において、解析周波数125[Hz]における非定常解析の音圧分布の可視化結果を確認した。定常解析の結果に関しては発表スライドにて示す。

## 謝辞

本研究は科研費・JP22K19779の助成を受けたものである。

## 参考文献

[1]武居 周, 工藤 彰洋, ”並列有限要素法に基づく1億自由度超の波動音響解析”日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 12, No. 2, pp. 76-84, 2020.

[2] ADVENTURE\_Project home page:

<https://adventure.sys.t.utokyo.ac.jp/jp/project/>  
Access on 22/08/2025.