

建築数理工学

第15回 (2009年8月6日)

建築学コース2年次第1学期

担当: 大嶋拓也

本日の内容

- 残響室の音響解析(2) 可聴化

残響室の音響伝搬問題について、以下の解析と課題を行え。

- (1) 時刻0.01秒までの音響伝搬の様子を判りやすく可視化し、4～6枚の連続した画像で表現せよ。
- (2) 残響時間が1秒～2秒となるよう壁面の吸音率を設定し、時刻1秒以上の解析と可聴化を行え。吸音率の設定と可聴化した音データをExcelワークシートに添付せよ。[方法](#)は次回に説明する。
- (3) 簡単に考察を書け。(例: 前回講義で聴いた音との比較、友人と異なる設定で可聴化した場合は、その比較等)

注意: 数値の単位、画像・表のキャプション、在籍番号・氏名などを必ず記載すること。

・音データの添付: 「挿入」→「オブジェクト...」→「ファイルから」→「参照...」

・(2)ではデータの書き出し間隔を長くしないと、ディスクが溢れるので注意せよ(後述)。

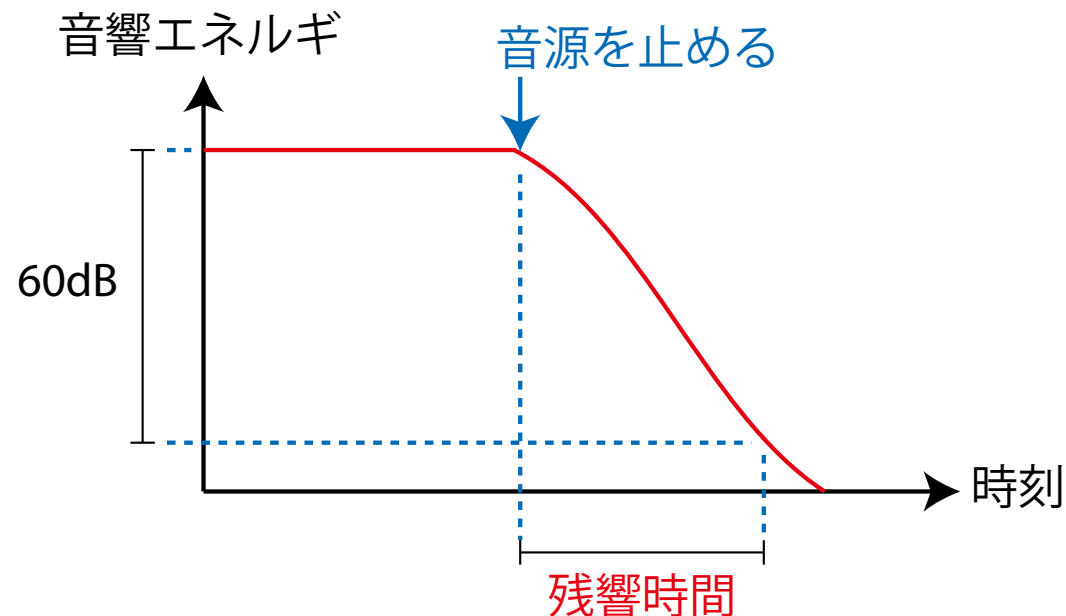
・計算の待ち時間にwebの閲覧は構わないが、動画サイトは不可！！

締切: 8月10日(月) 23:55

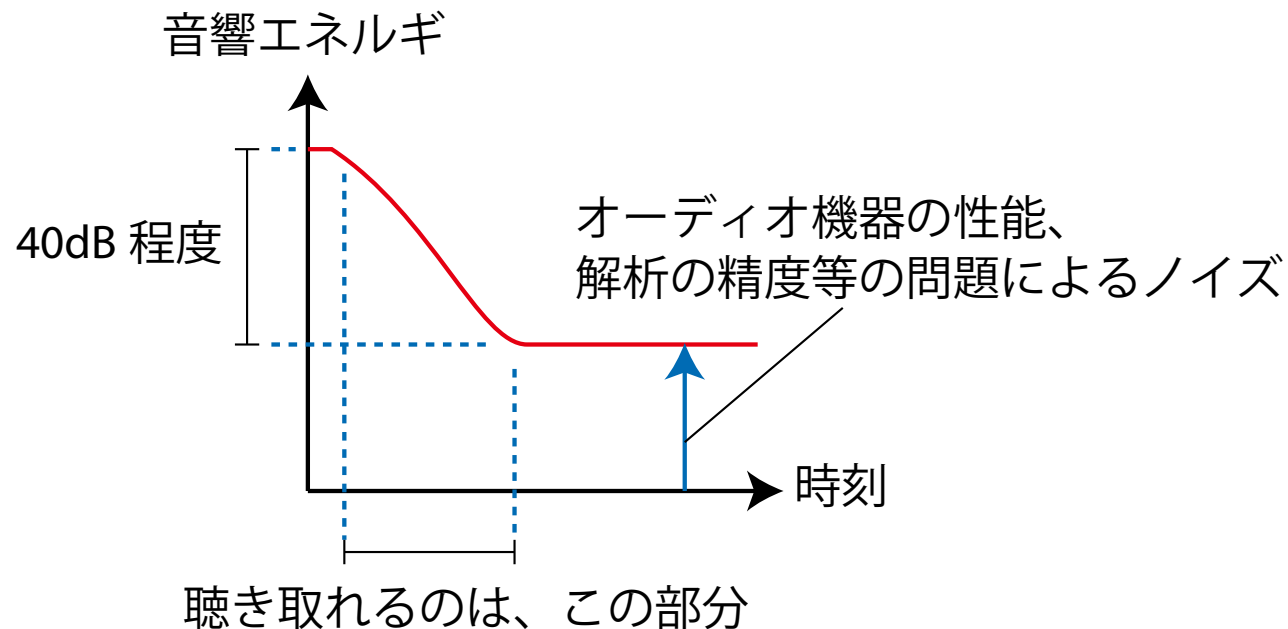
- 残響時間とは、「定常音源を止めてから音響エネルギーが60 dB(デシベル: 音の大きさの単位)減衰するまでの時間」であり、概ね以下の式に従う。

$$T \approx \frac{0.16V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

T : 残響時間[s]、 V : 室容積[m³]、 i : 壁面の番号、 α_i : 壁面 i の吸音率、 S_i : 壁面 i の面積[m²]



- 実際には、解析の精度、音響機器の性能の問題で、60 dB減衰させらず、40 dB程度である。
- したがって聴いた感じではほぼ1秒となるよう、残響時間を少し長め(1~1.5秒)に取る。
- 設定した残響時間となるよう、各壁面の吸音率を調整し、その吸音率に対応する移流速度を境界条件として設定する。
- 計算は、Excelワークシートをホームページからダウンロードして利用されたい。



- OpenFOAM Terminalを開いてケースフォルダに移動後、以下の手順を行う。

```
rm -rf 0
```

初期時刻フォルダを一旦消去する。

```
cp -a 0.org 0
```

元の初期時刻ファイルを、フォルダごと初期時刻フォルダにコピーする。

- 0¥phiファイルを秀丸で開いて、移流速度の設定を変更する。(前回資料参照)
- system¥controlDictファイルを開いて、解析終了時刻を**1秒以上**に設定し、解析結果データが保存**されない**よう実行条件を変更する。(あっという間にディスクがあふれるため。可聴化用のデータは別途保存される)

```
funkySetFields . . -time 0
```

初期条件を再度、設定する。

```
potentialWaveFoam . .
```

解析の実行。

- 今回のケースは音響シミュレーションであるから、結果を「耳で聴く」ことができる。
- probes¥0フォルダ内の「p」というファイルに、残響室内の点(0.87, 0.99, 2.05)におけるシミュレーション結果の音の波形が保存される。

```
probeToAudio . . probes/0/p
```

波形データを、メディアプレーヤ等で再生可能な形式に変換する。
変換結果は、probes¥0内に「p_1.wav」というファイル名で保存される。

```
probeToAudio . . probes/0/p -play
```

波形データを保存せず、直接再生する。ヘッドホンで聴くことができる。

- 上手く走っていたシミュレーションが突然止まった場合は、ディスクの容量が一杯になったことが考えられる。
- 一旦、不要なファイルや不要なシミュレーション結果を消去して容量を空け、再度解析を実施されたい。
- 可視化の時にparaFoamで保存したスクリーンショットの色がおかしい場合は、paraFoamの“Edit”→“Settings”→画面左のリストから“Render View”を選択→“Use Offscreen Rendering for Screenshots”のチェックを外す→“OK”を実行後、再度“Save Screenshots”にて保存を試されたい。

本講義で実施した内容

- ・拡散方程式、対流方程式
 - シミュレーション手法の基礎、Excelで計算
- ・CFD (キャビティ流れ)
 - ソフトウェアの使い方
 - メッシュの分割数・時間刻みと精度、不等間隔メッシュ分割
- ・構造解析(穴あき板)
 - 非直交格子でのメッシュの分割数と精度
- ・構造解析(鉄骨フレーム)
 - 多数のケースを解析した結果の読み方・考察の方法
- ・音響解析(残響室)
 - 三次元解析、結果の可視化、可聴化

本講義で実施しなかった内容

・形状の作成、メッシュ分割方法の定義

- 本講義では、解析する物体の形状、基本的なメッシュ分割は全て作成済み
- 実際には、CAD等も併用
- 本当は、ここが一番大変！

・シミュレーションソフトウェアのプログラミング

- 本講義は、シミュレーションソフトウェアのユーザになるための授業
- 最初に実施したExcel計算の延長上(方程式の離散化、コンピュータへの入力)
- 作り手になるには、計算手法・プログラミング言語など、多くの知識が必要
- 第2学期の建築応用数理で実習予定

- ・差分法 Finite Difference Method (FDM): **最初にExcelでやってもらった方法**
 - 基本的に直交メッシュのみ→純粋に差分法のソフトウェアは少ない
 - 数学的には最もシンプル
 - 高速
- ・有限体積法 Finite Volume Method (FVM)
 - 任意の形状のメッシュを作成可能→多くのソフトウェアで採用(**OpenFOAM**等)
 - 数学的に比較的シンプル
- ・有限要素法 Finite Element Method (FEM)
 - 任意の形状のメッシュを作成可能、メッシュ分割数が比較的少なくて済む
 - 固有振動周期などの解析が可能→構造解析ソフトウェアで使用される
 - 数学的にやや難しい
- ・境界要素法 Boundary Element Method (BEM)
 - 境界面のみメッシュ分割が良い

ソフトウェアによって使い方は異なるが、メッシュ作成、境界条件設定、初期値設定、実行条件設定、解析実行、結果の処理といった基本は同じと考えてよい。

商用(一般に高価、概ね100万円～)

・CFD

- FLUENT (米国、有限体積法、アンシス・ジャパン株式会社)
- STAR-CD (英国、有限体積法、株式会社シーディー・アダプコ・ジャパン)
- CFD2000 (米国、有限体積法、株式会社CAEソリューションズ、赤林研で使用)
- STREAM (日本、有限体積法、株式会社ソフトウェアクレイドル、赤林研で使用)

・構造解析

- MSC NASTRAN (米国、有限要素法、エムエスシーソフトウェア株式会社)
- ANSYS (米国、有限要素法、アンシス・ジャパン株式会社)

・音響解析

- Virtual.Lab Acoustics (ベルギー、境界要素法、エルエムエスジャパン株式会社)
- WAON (日本、境界要素法、サイバネットシステム株式会社、大嶋も開発に参加)

・可視化ソフトウェア

- EnSight (米国、株式会社ウェーブフロント)
- FieldView (米国、株式会社ヴァイナス)
- MicroAVS (日本、株式会社ケイ・ジー・ティー、商用可視化ソフトとしては安価)

フリー、オープンソース(一般に無料、各サイトから誰でもダウンロード可能)

- ・マルチフィジックス(CFD、構造解析、それらの組合せなど、色々解ける)
 - OpenFOAM (英国、有限体積法、OpenCFD Ltd.、もとは商用)
 - Elmer (フィンランド、有限要素法、フィンランド科学ITセンター)
 - Code_Aster (フランス、有限要素法、フランス電力公社)
 - ADVENTURE SYSTEM (日本、有限要素法、東京大学)
- ・可視化ソフトウェア
 - Gmsh (ベルギー、リージュ大学ほか、メッシュ作成機能も有り)
 - ParaView (米国、Kitware Inc.)
 - VisIt (米国、ローレンスリヴァモア国立研究所ほか)
 - OpenDX (米国、IBM Inc.)