

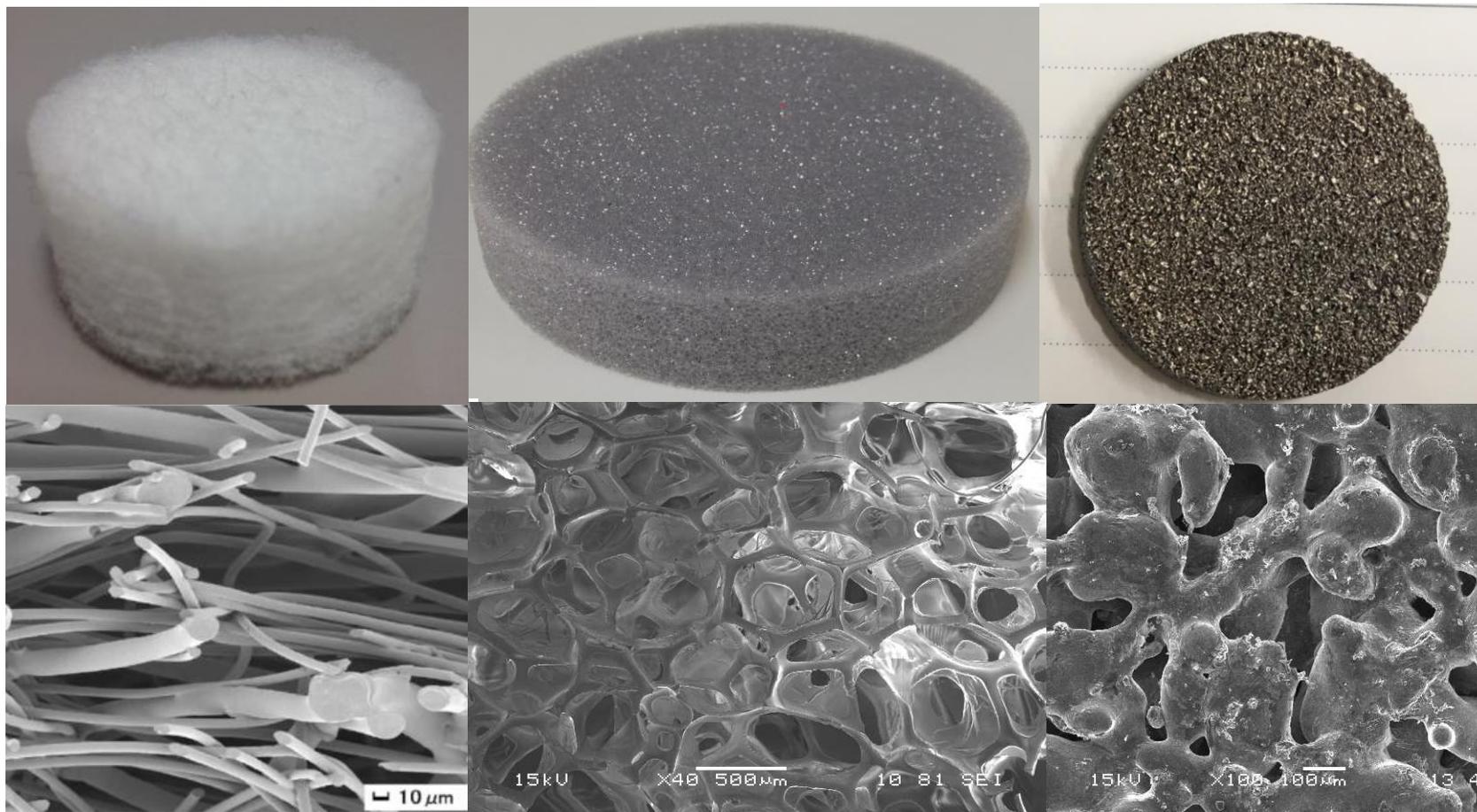
均質化法による多孔 質吸音材の音響性能 予測手法

工学院大学 工学部 機械工学科

教授 山本 崇史

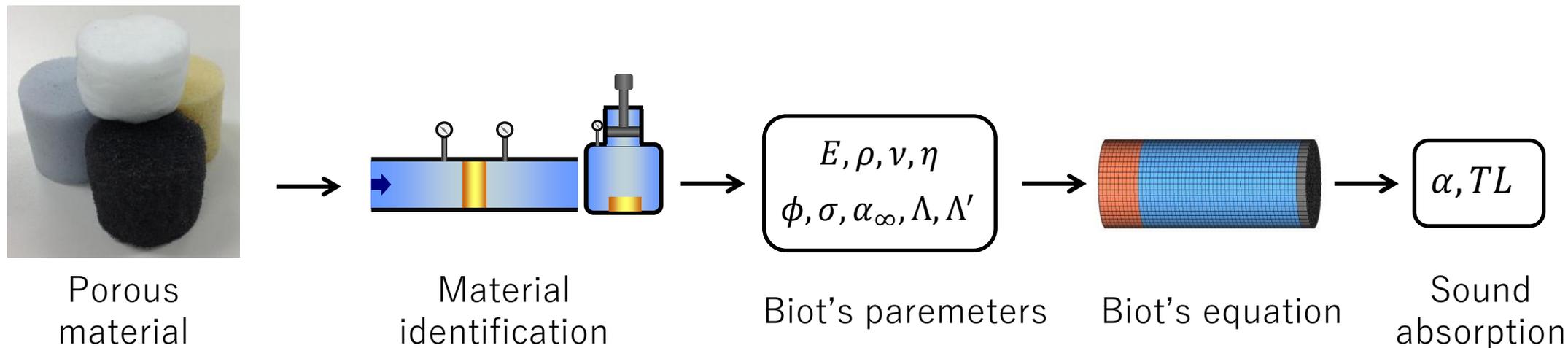
2022年12月1日

多孔質吸音材



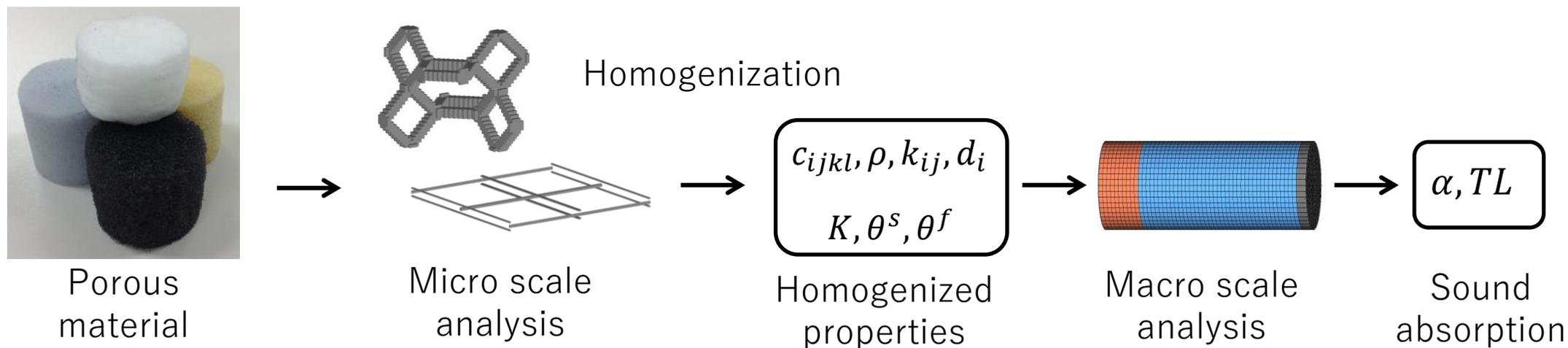
- 静粛性は付加価値・品質向上に直結
- 輸送用機器，住宅，家電などで不可欠な材料

従来技術による多孔質吸音材の評価



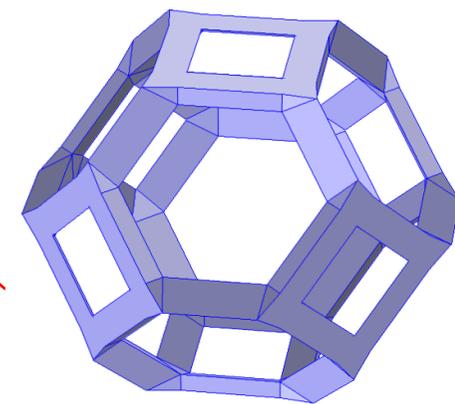
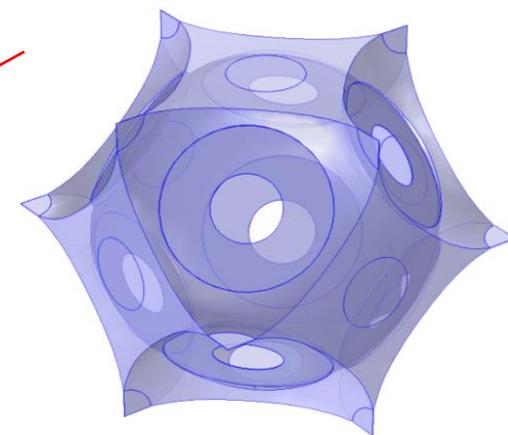
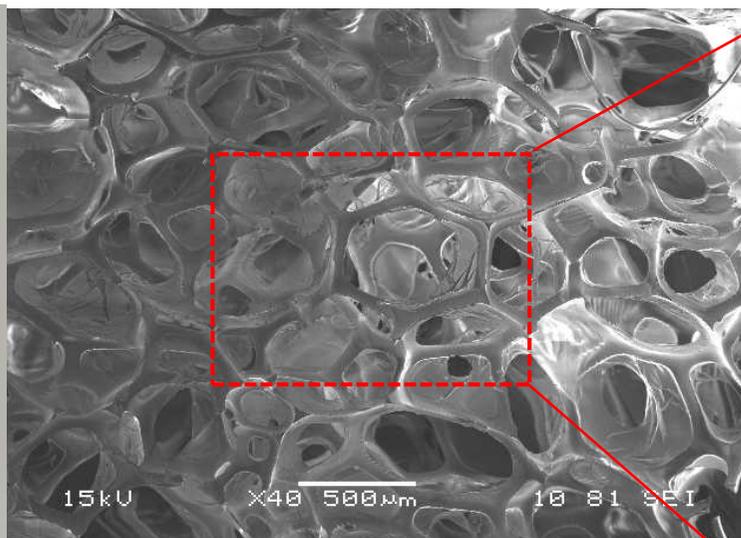
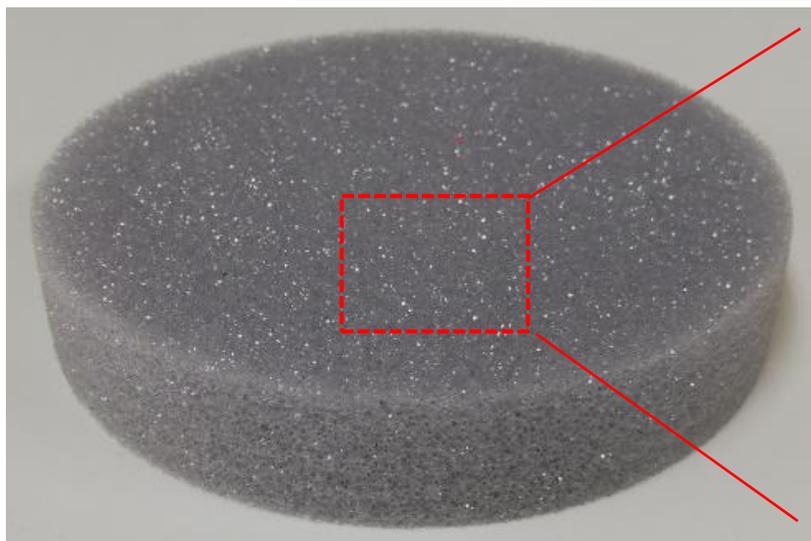
- Biot モデルが適用されている
- 二相材料（基材 + 空気）マクロモデル
- 物性値（Biotパラメータ）を実験で同定
- 供試体が必要，同定実験が必要

新技術による多孔質吸音材の評価



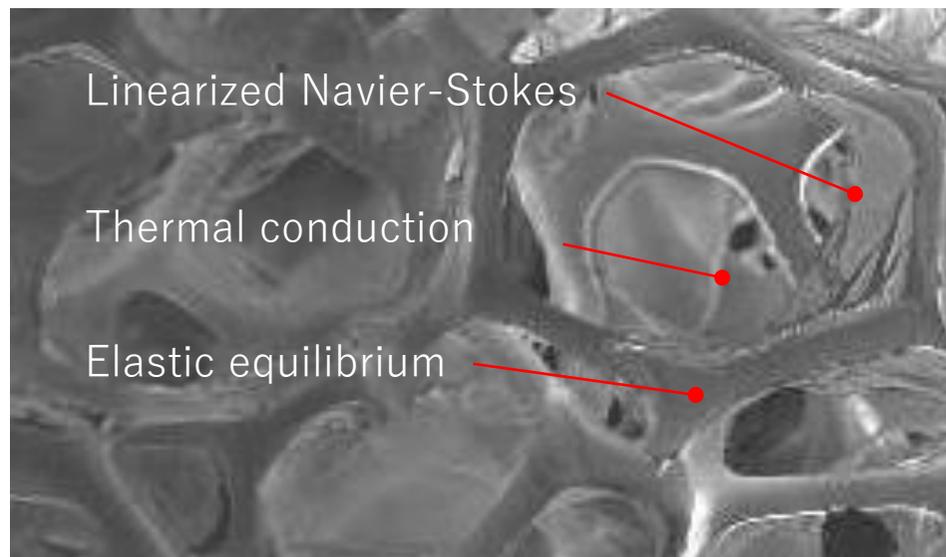
- Biot モデル という二相材料マクロモデル
- 物性値 (Biotパラメータ) を実験で同定
- 供試体が必要, 同定実験が必要

多孔質吸音材料の微視構造

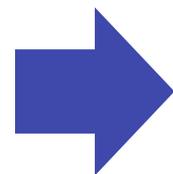


- 走査電子顕微鏡で観察し画像分析
- 微視構造モデルを構築
 - セルサイズ・連通孔径・材料特性
 - セル間膜の有無，連通孔の数など

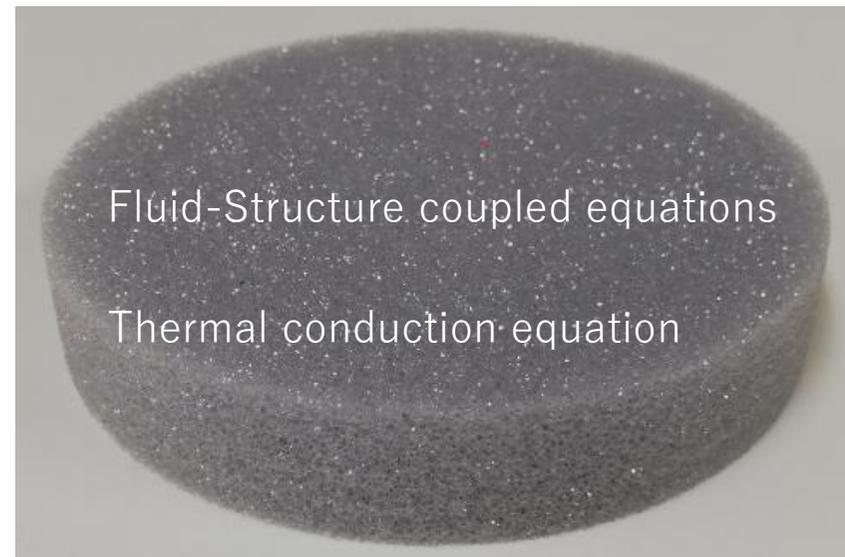
均質化法によるマルチスケール解析



Microscale



Homogenization
(Upscale)



Macroscale

- ミクروسケールでの解析から均質化特性
 - 等価密度, 等価体積弾性率, 熱伝導率
- マクروسケールでの解析から目標特性
 - 吸音率, 音響透過損失, 温度分布

支配方程式

Sound propagation in poro elastic material

$$\begin{aligned} -\rho^s \omega^2 u_i^s &= \frac{\partial \sigma_{ij}^s}{\partial x_j} & \sigma_{ij}^s &= c_{ijkl}^s \varepsilon_{kl}^s \\ \rho^f j \omega v_i^f &= \frac{\partial \sigma_{ij}^f}{\partial x_j} & \sigma_{ij}^f &= -p^f \delta_{ij} + 2\mu^f \dot{\varepsilon}_{ij}^f - \frac{2}{3}\mu^f \delta_{ij} \dot{\varepsilon}_{kk}^f \end{aligned}$$

Heat conduction

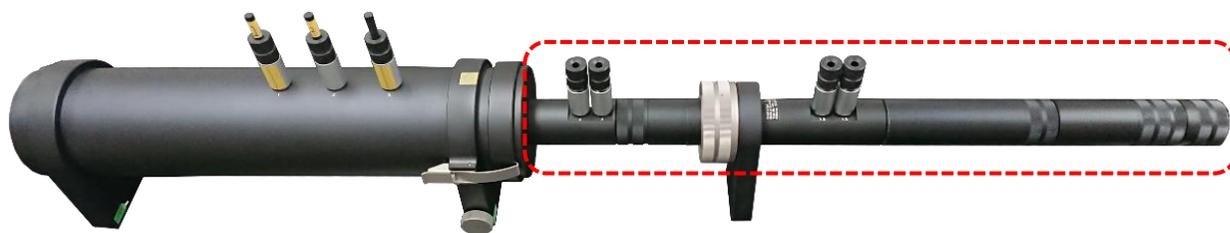
$$\begin{aligned} -\frac{\partial q_i}{\partial x_i} &= \rho C \frac{\partial \tau}{\partial t} & q_i &= -\kappa_{ij} \frac{\partial \tau}{\partial x_j} \end{aligned}$$

- 多孔質材中の音波
 - 線形弾性体の運動方程式・構成則
 - 線形化Navier-Stokesの方程式
- 伝熱
 - 熱伝導方程式

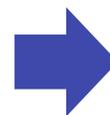
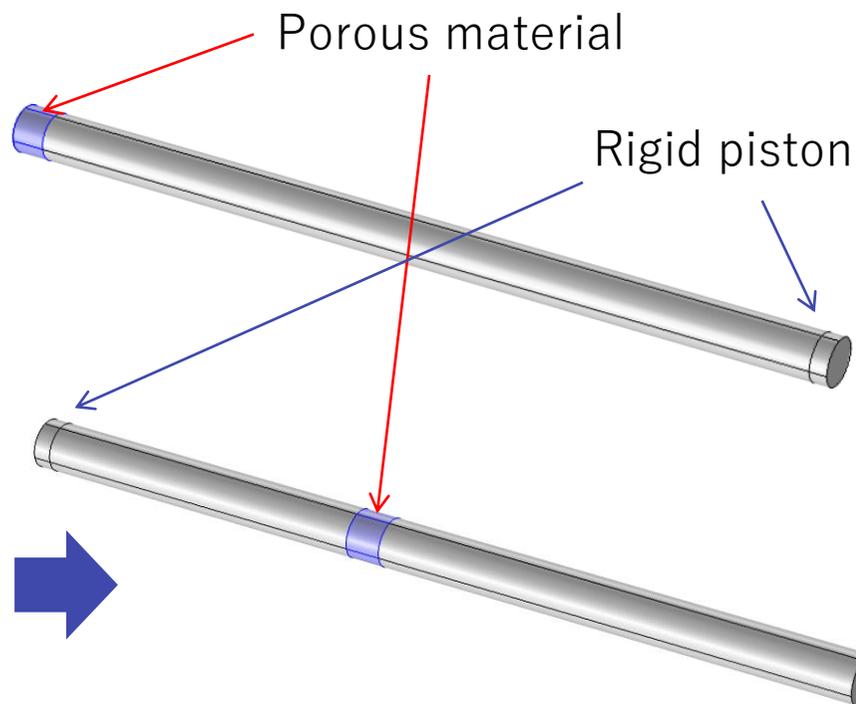
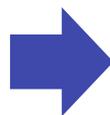
音響特性算出



Sound absorption

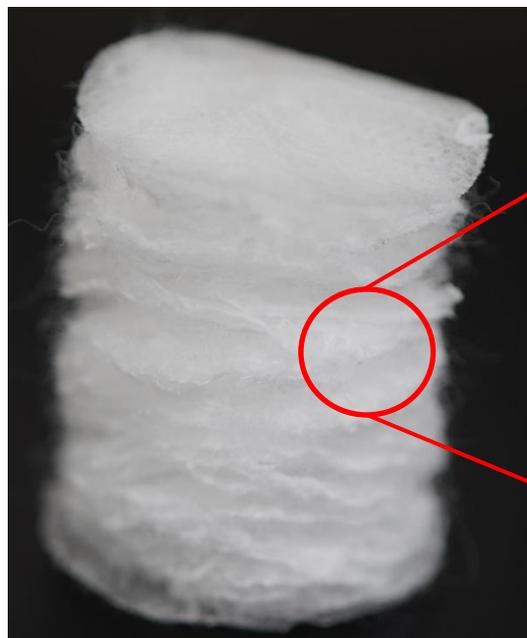


Sound transmission loss

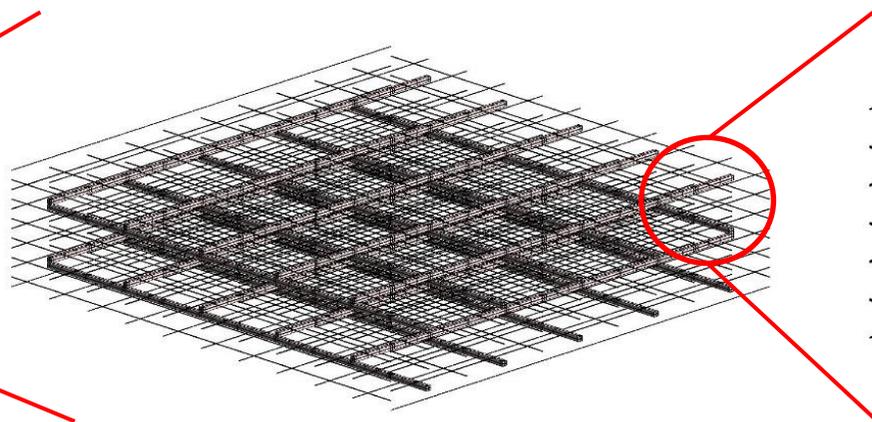


- 垂直入射時の吸音率・音響透過損失
- 市販の音響管を模したモデル
- 熱伝導率

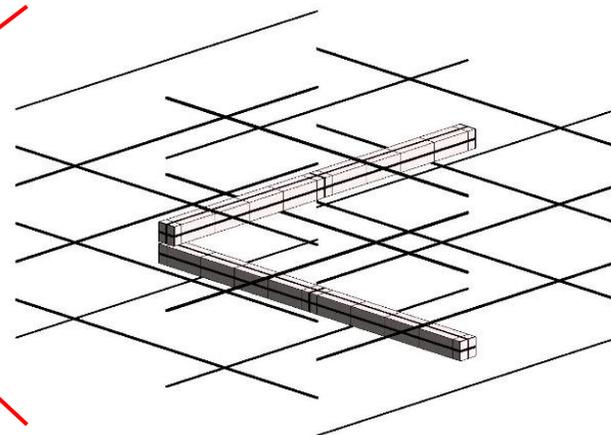
繊維系吸音材への適用事例



Sound absorbing material



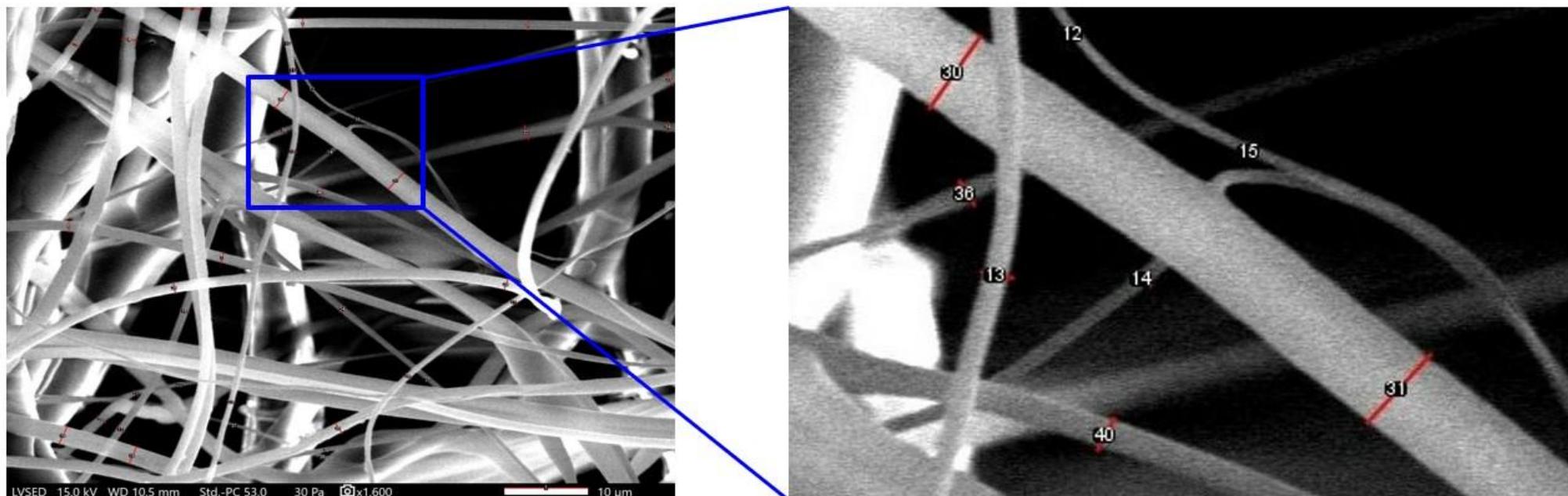
Periodic structure model



Microscopic structure model

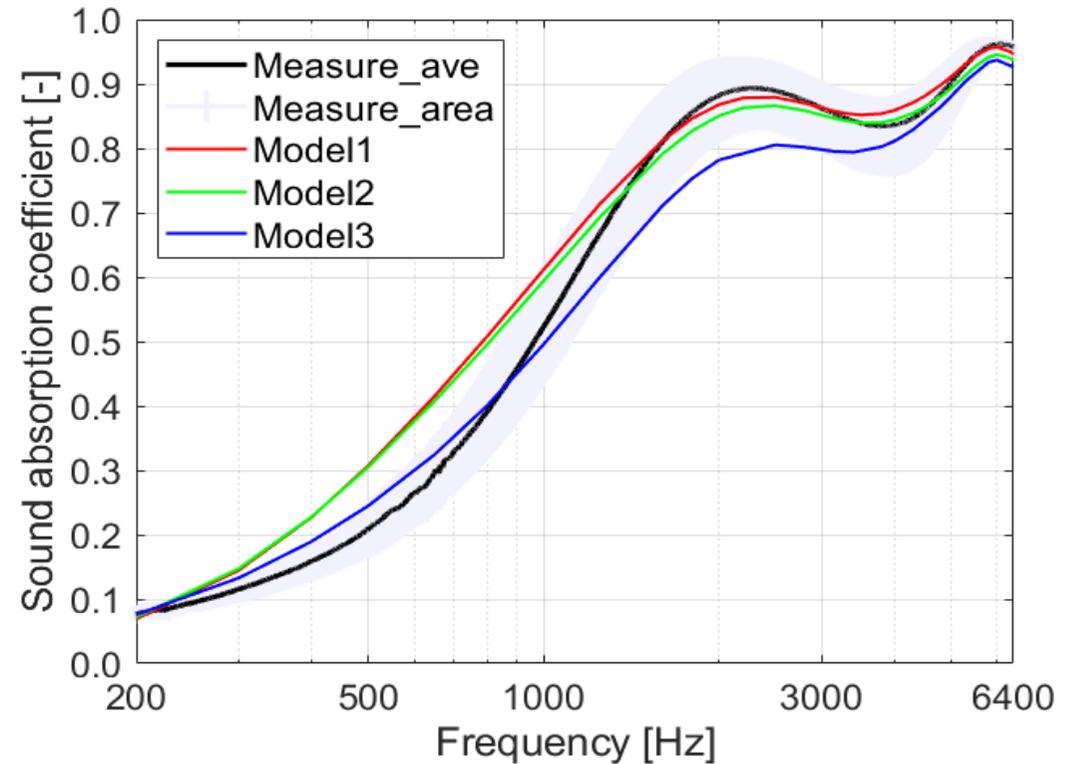
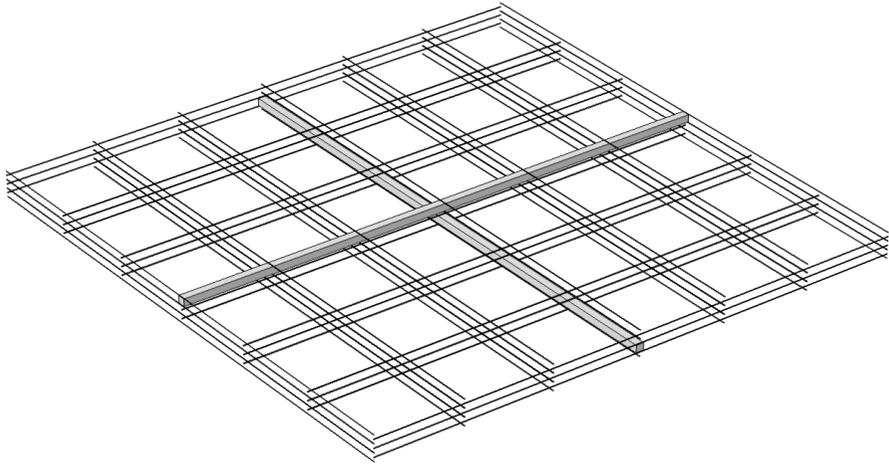
- 微細繊維による吸音材
- 繊維系が異なる複数の繊維
- 現象を再現する最小の 0° / 90° 配向モデル

繊維系吸音材への適用事例



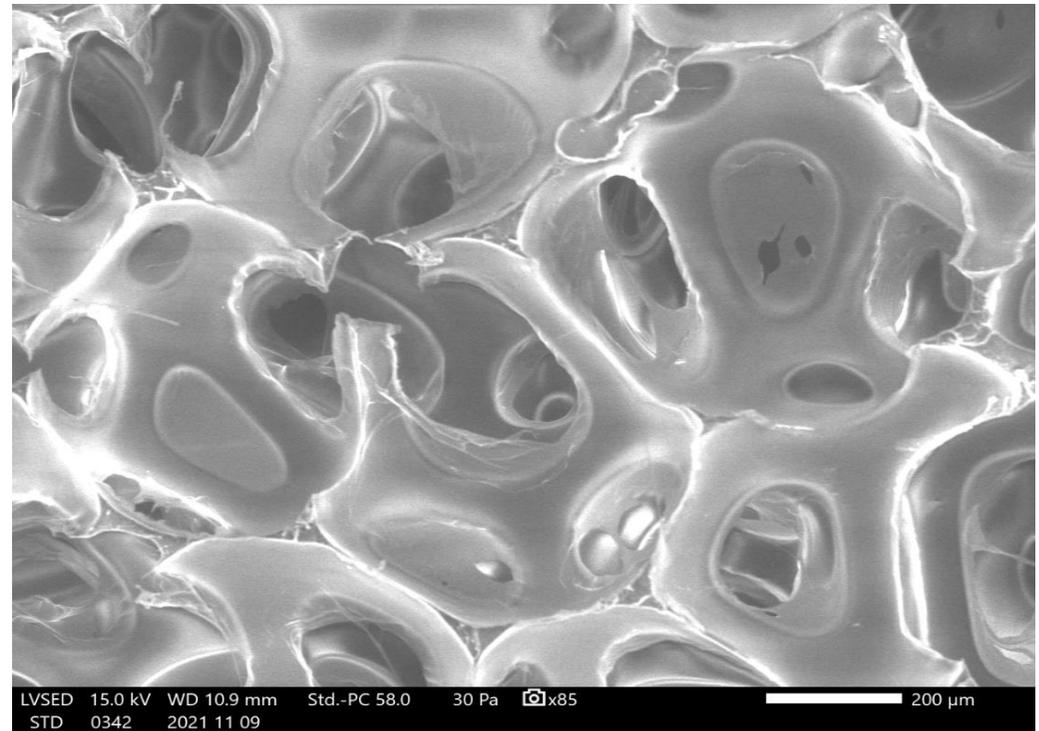
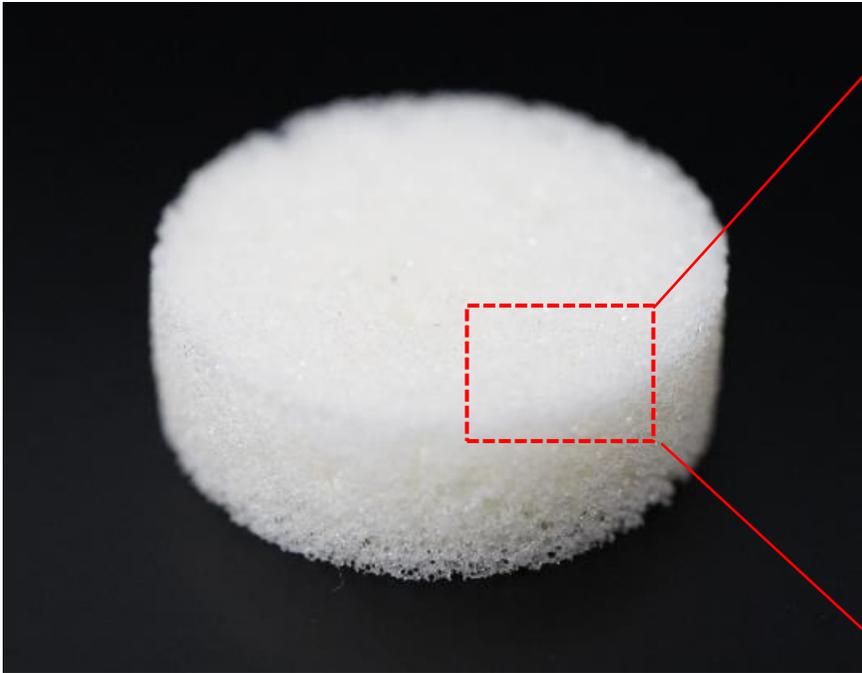
- ソフトウェア「ImageJ」 (米NIH) 適用
- 繊維径や繊維間距離
- 測定結果をもとに微視構造モデルを構築

繊維系吸音材への適用事例



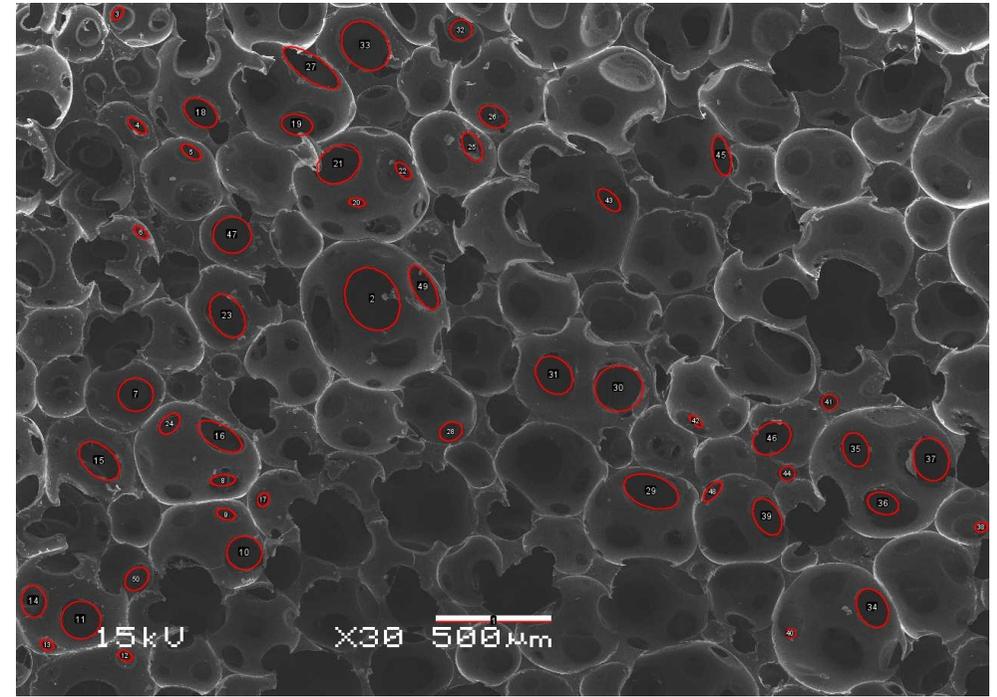
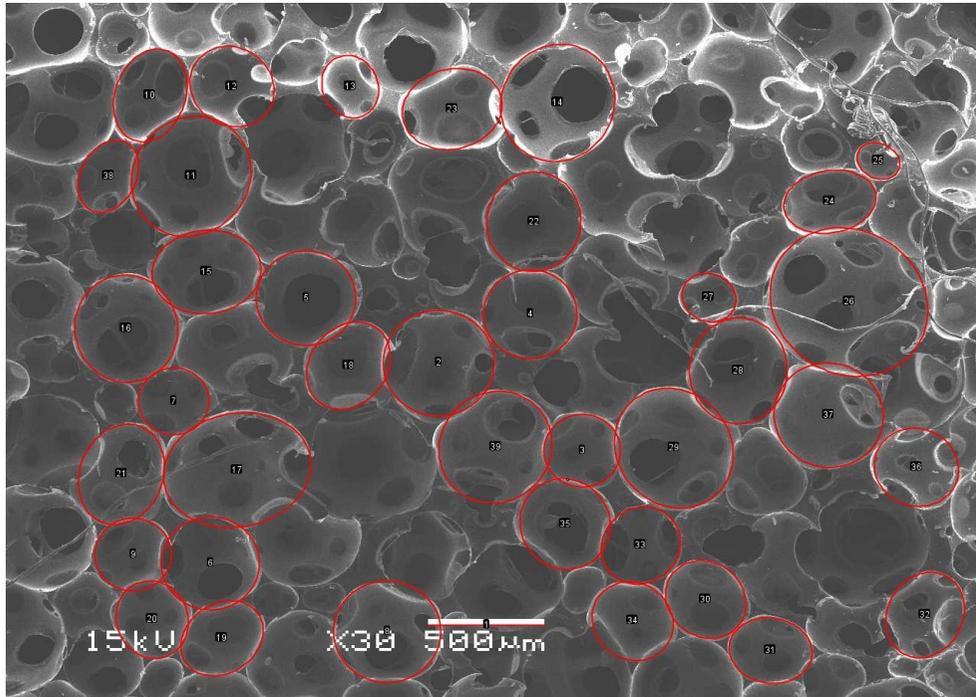
- 太い繊維と細い繊維の2種類
- 実測した吸音率の周波数特性をおおむね再現

発泡系吸音材への適用事例



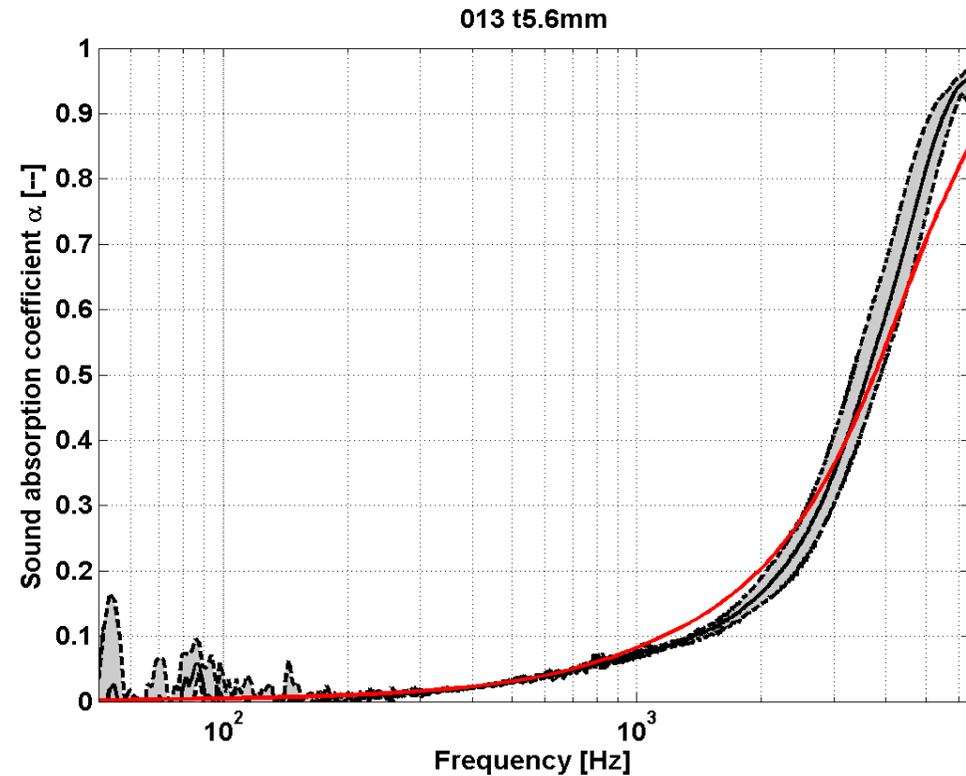
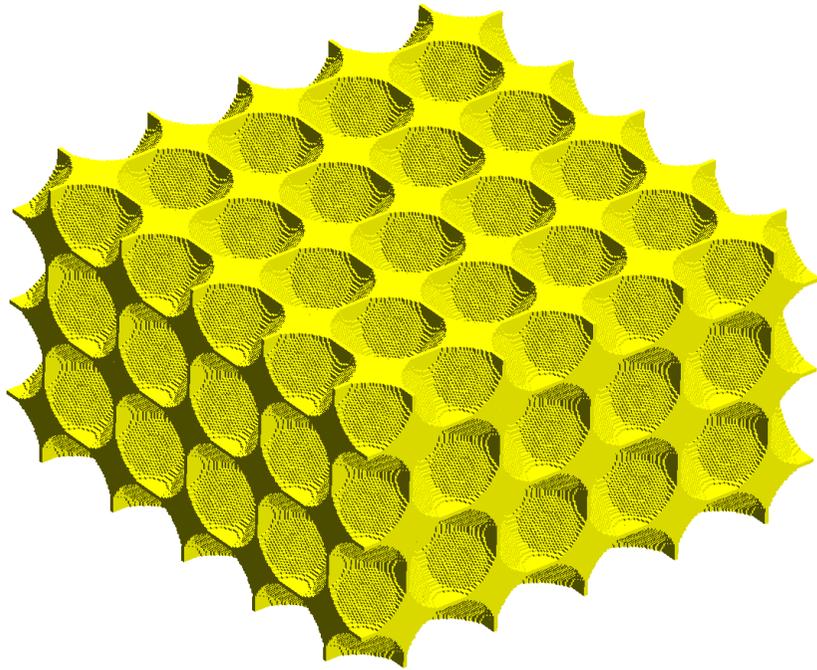
- 代表的な発泡材であるポリウレタンフォーム
- 発泡により球形状のセル
- オーバーラップ部に連通路

発泡系吸音材への適用事例



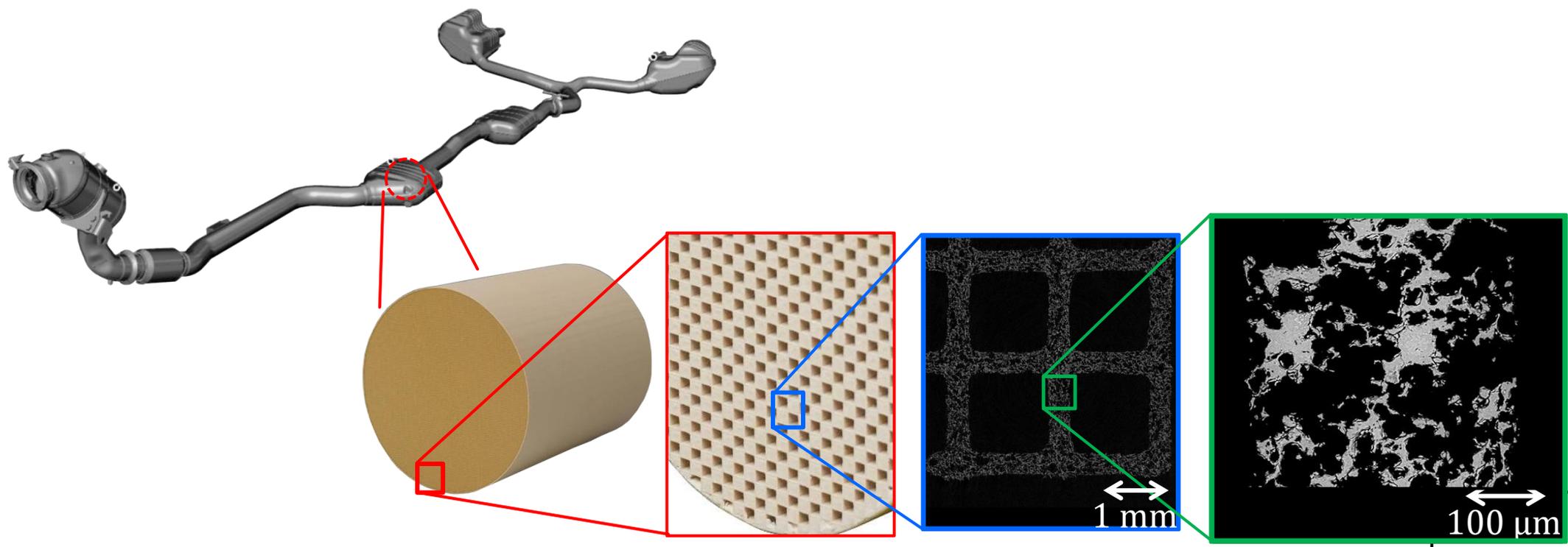
- セル直径と連通孔直径を画像分析により推定
- 多数分析し統計的処理
- 正規分布近似し期待値を推定

発泡系吸音材への適用事例



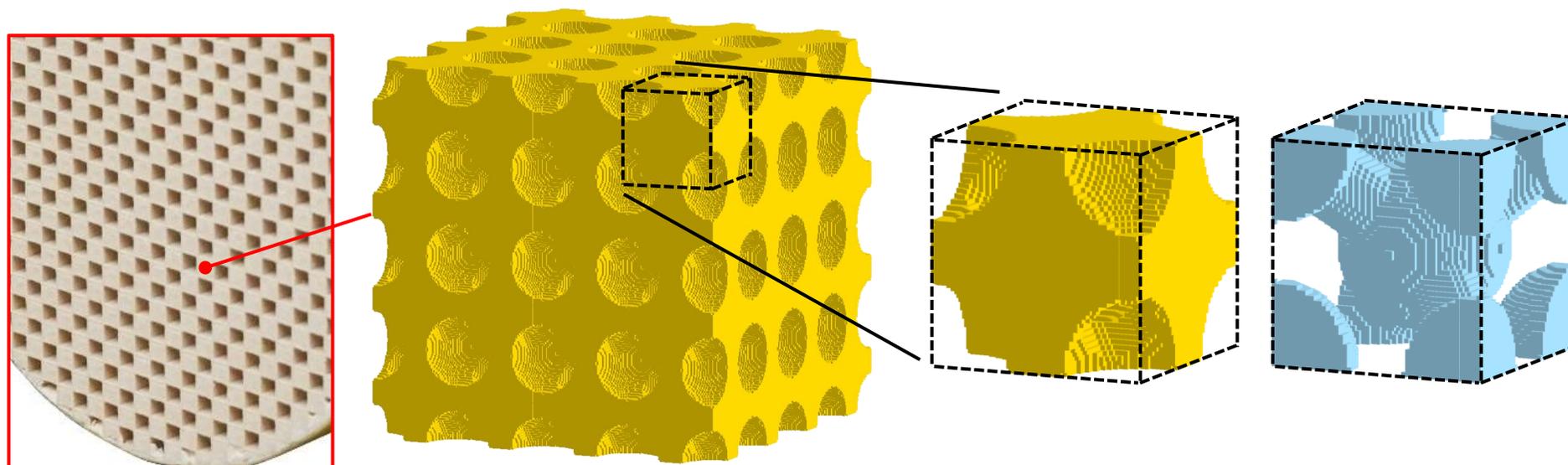
- 球形セルを体心立方格子状に配置したモデル
- 実測した吸音率の周波数特性をおおむね再現

セラミック材への適用事例



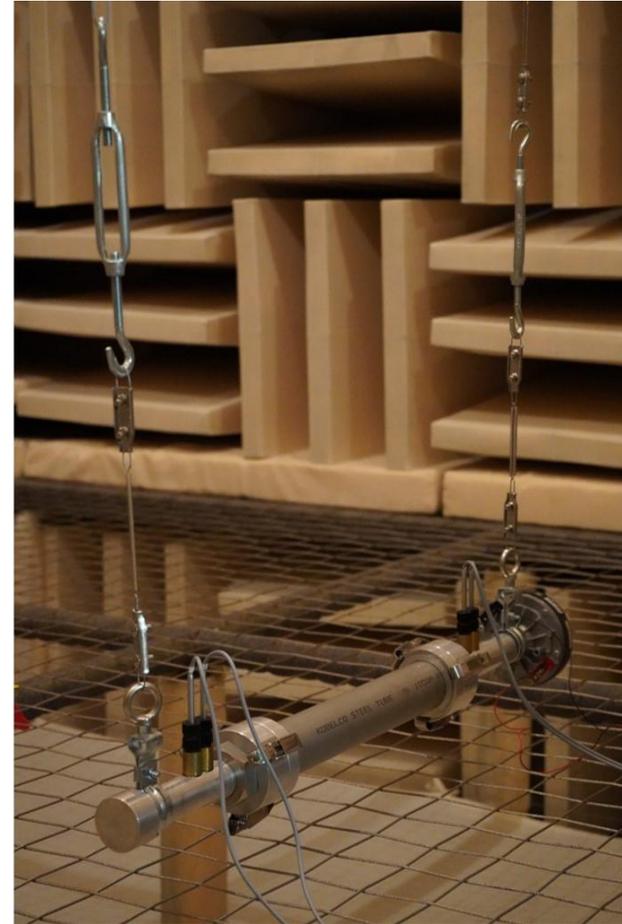
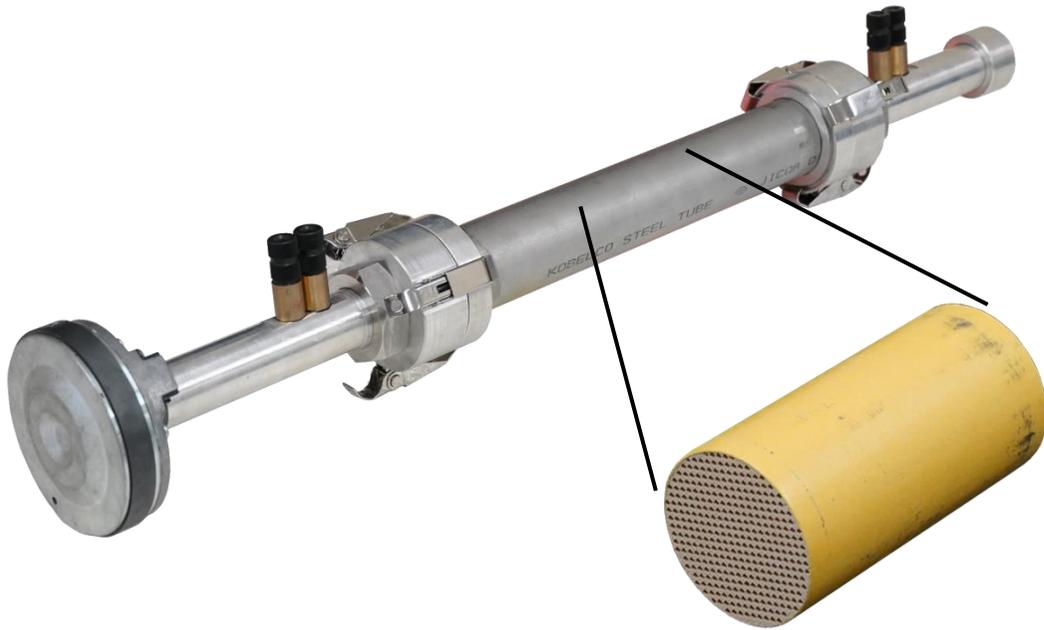
- 自動車の微粒子捕集フィルター（DPF/GPF）
- 焼結時に造孔材が蒸散し空孔ができる
- 音波の伝播を抑制する効果もある

セラミック材への適用事例



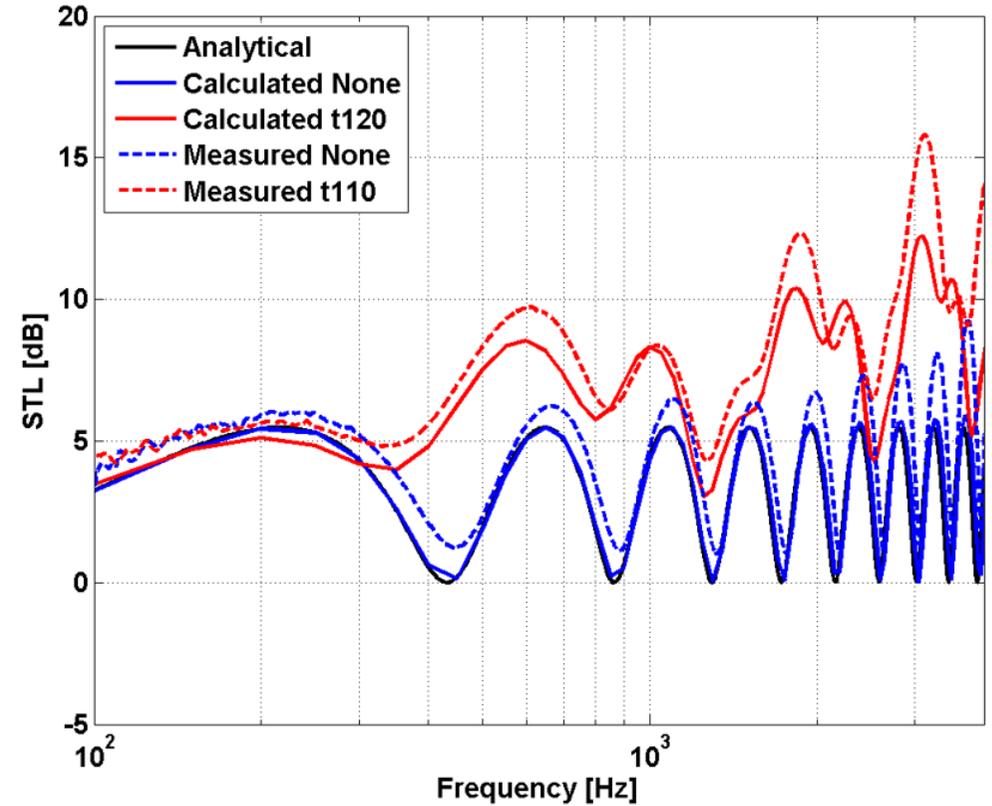
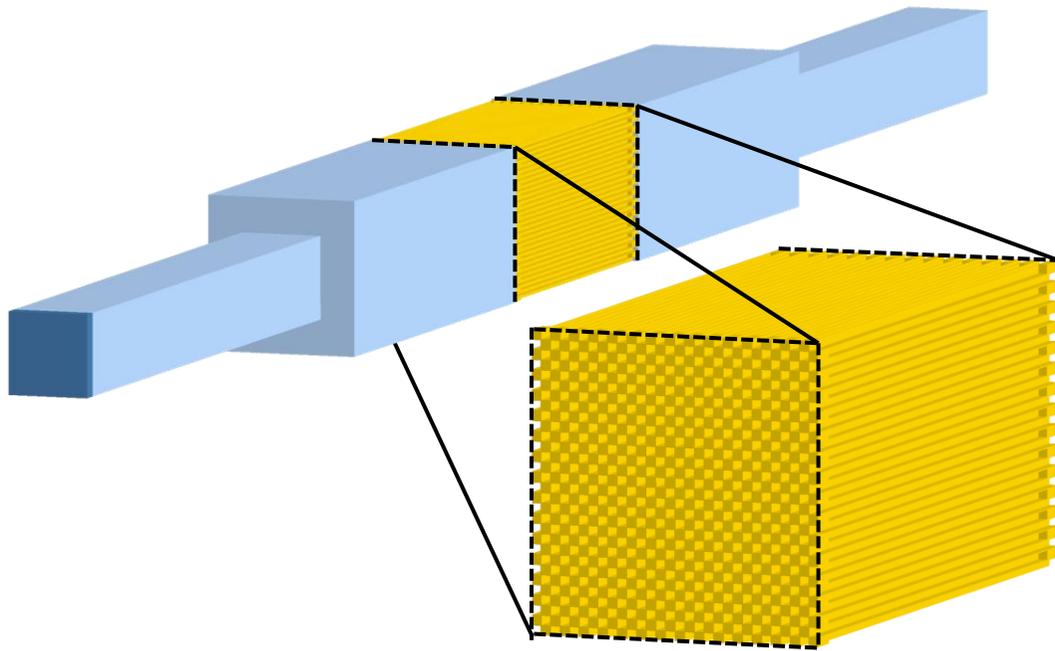
- 造孔材により生成された空孔を体心立方格子状に
- 隣接する1/2の空孔を結合する流路

セラミック材への適用事例



- 排気系を簡略化した治具
- 管の中央にフィルター
- 音響透過損失を無響室で実測

セラミック材への適用事例



- 等断面積の矩形管で代替
- 実測した周波数特性をおおむね再現

想定される用途

- 多孔質吸音材の微視構造を計算機上で直接扱い、材料試作・実験評価の材料実験プロセスを計算機上で行う
- 微視構造の方向性検討やスクリーニング
- 要求性能を実現するための材料開発
- 最適化手法を組み合わせ、最適な微視構造を創出

実用化に向けた課題

- 研究用コードからソフトウェアとしてのコード化
- テキストベースの入力ファイルからGUI化
- プリ・ポストプロセスの専用化・一体化

企業への期待

- 多孔質吸音材の吸音性能向上やコンポーネントへの展開を考えている企業には、本技術の導入が有効
- トライアンドエラーになりがちな材料開発において、微視構造の方向性の検討やスクリーニングを効率化したい場合に有効
- 有効な微視構造を実現する化学反応プロセス

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 多孔質吸音材の音響性能
算出装置, 方法, 及びプログラム
- 出願番号 : 特願2020-139455
- 出願人 : 工学院大学
- 発明者 : 山本崇史

産学連携の経歴

- 2018年～2019年：帝人株式会社
- 2019年～2022年：株式会社AGC
- 2018年～2021年：マツダ株式会社
- 2018年～2022年：東京理科大学
- 2019年～2022年：広島大学
- 2021年～2023年：株式会社イノアック
コーポレーション

お問い合わせ先

工学院大学

総合企画部 産学連携室

T E L 042 - 628 - 4928

F A X 042 - 626 - 6726

e-mail sangaku@sc.kogakuin.ac.jp