

令和元年6月24日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06151

研究課題名(和文) バイオマスを利用した吸音材料の実験的・理論的研究

研究課題名(英文) Experimental and Theoretical Study on Sound-Absorbing Materials Made from Biomass

研究代表者

坂本 秀一 (Sakamoto, Shuichi)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：40211932

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：バイオマスを応用した多孔質吸音材料として、稲藁・古紙などの吸音特性の実験・理論的な解明を行った。

管状植物を斜め配置した場合の導波管効果の確認と、斜め入射吸音率の測定を行った。管状の植物により、導波管効果が表れて吸音材の見かけの厚さが増大する効果を、装置を製作して測定した。また斜め入射吸音率について理論的な検討も行った。

稲藁間の隙間、円管状の隙間、を統合した吸音特性の理論解析と実験を行った。さらに、古紙を束ねた構造については、積層した段ボール形状の断面に関する実験および理論解析を行った。これらについて、実験値と計算値を比較した結果、良い一致が得られ、計算モデルが検証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多孔質吸音材料は、連続気孔の内壁における空気粘性摩擦による音の減衰を利用している。イネ科などの被子植物では、死んだ細胞の壁の一部が無くなり、細胞壁が連続的な道管を形成する。この天然の連続気孔は、優れた吸音材料となる。

稲藁をこのような形態で吸音材料に応用した例はなく、また、段ボール形状の断面についても、系統立った研究はなく、学術的意義が大きい。

これらの知見は熱交換器や触媒など工業的に有用である。本研究は「低コストで製造に多くのエネルギーを要しない材料は、農業等の副産物に存在する」事に着目した。天然素材の活用は、農業と建設業、工業などとの共

研究成果の概要(英文)：This study elucidates the sound-absorbing characteristics of biomass, such as rice straw and wastepaper.

Experimental equipment was constructed and used to measure the phenomenon in which the waveguide effect appearance in the tubular plants caused an increase in the apparent thickness of the sound-absorbing material. Moreover, the theoretical investigation of the oblique incidence sound absorption coefficient was conducted.

Experiments and theoretical analysis were performed on the sound-absorbing characteristics of bundled rice straw, thereby integrally accounting for the clearance between the straw and cylindrical and the concentric clearance. Further, experiments and a theoretical analysis were performed on the cross-sections of the structures made from bundled wastepaper. These cross-sections resembled layered corrugated board. The experimental and calculated values were in good agreement, resulting in the verification of the calculation models.

研究分野：機械音響工学

キーワード：吸音材料 植物由来材料 建築構造・材料 公害防止・対策 廃棄物再資源化

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 連続気孔を持つ多孔質体は吸音材料として有用であることが知られている。天然物による多孔質体の吸音例としては、例えば鉄道スラブなどで碎石の吸音効果が知られている。植物由来材料による吸音効果に関する報告は、海外では麦藁に関するものが複数あり(文献①)、国内では畳床(文献②)に関するものなどもある。麦藁に関する試みではランダムに配置・圧縮しているため、吸音材料としての性能は十分ではない。畳は藁を横向きに配置しているため、これも吸音効果は大きくないことが判っている。

(2) 研究代表者は以前より、粒状材料や多孔質材料を扱っており、音響的な微細構造に関する研究も行っているため、稲藁や穀殻を吸音材料に利用する考えは、粒状体に関する業績(文献③④⑤)から着想が得られたものである。また、稲藁の利用については、業績(文献⑥⑦)における細管内における音波の減衰に関する知見から、着想に至ったものである。

### 2. 研究の目的

(1) 典型七公害の苦情件数において騒音によるものは大気汚染に次いで2番目に多い。生活の質の向上が叫ばれる昨今、産業界にとっても、騒音を受ける工場・現場等の作業者や住民にとっても、騒音制御技術は重要性を増してきている。

(2) また、バイオマスの再利用は炭素の固定にも繋がり、後に焼却処理されてもカーボンニュートラルである。

上記を踏まえて、本研究ではバイオマスを応用した多孔質吸音材料として、稲藁などを用いた研究を行うことにした。

### 3. 研究の方法

(1) 管状の植物を斜めに配置することにより導波管として働き、吸音材の実効厚さが増大する効果を明らかにする。また、音波が斜めに入射した場合の吸音率の変化の有無を明らかにする。

(2) 稲藁間の隙間、円管状の隙間、同心円状の隙間を統合して稲藁の吸音特性を理論的に明らかにする。また、実験結果との比較・検証を行う。

(3) 古紙を束ねた構造について、積層した段ボール形状の断面に関する吸音効果を明らかにする。

### 4. 研究成果

(1) 管状植物を斜め配置した場合の導波管効果の確認と、斜め入射吸音率の測定を行った。管状の植物を斜め配置することにより、導波管効果が表れて吸音材の見かけの厚さが増大する効果を、装置を製作して測定した。また斜め入射吸音率について理論的な検討も行った。斜め入射吸音率の測定では、半無響室において、大型の試料を用いて行った。その際には粒子速度プローブを用いて粒子速度と音圧を直接求めて、入射インピーダンスを測定した。

図1には、稲藁を角度 $\eta$ で配置し、音波入射角 $\theta$ を変化させた実験の概略を示す。図2には、稲藁を垂直( $\eta=0$ )で配置し、音波入射角 $\theta$ を変化させた実験結果を示す。 $\theta$ が0および30度の場合には、インピーダンス管による垂直入射吸音率(破線)と同様な結果を示している。 $\theta$ が60度の場合には、他と違う傾向が見られるが、束ねた稲藁の外周同士の隙間を音波が横方向に伝搬しているためと考えられる。

図3には、稲藁を $\eta=60^\circ$ で配置し、音波入射角 $\theta$ を変化させた実験結果を示す。 $\theta$ が0および30度の場合には、第一ピーク付近まではインピーダンス管(破線)と同様な結果を示しているが、それ以上の周波数では差異が見られる。 $\theta$ が60度の場合には、他と違う傾向が見られる。この原因は、先も述べたように束ねた稲藁の外周同士の隙間を音波が横方向に伝搬し、また、400Hz以上では試料の横方向の寸法300mmに対して平面波が成立しないためと考えられる。

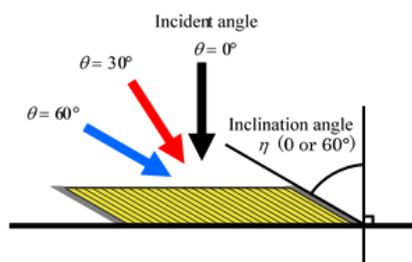


図1 稲藁を角度 $\eta$ で配置し、音波入射角 $\theta$ を変化させた実験の概略

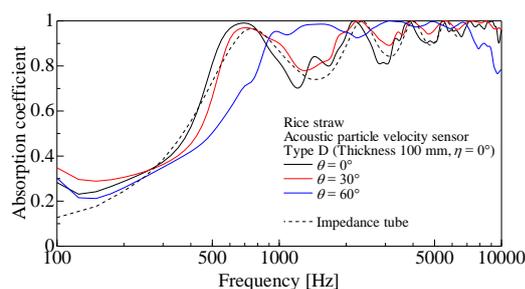


図2 稲藁を垂直 $\eta=0$ で配置し、音波入射角 $\theta$ を変化させた実験結果

図4には、音波入射角  $\theta=0$  の場合に  $\eta$  と試料厚さを変化させた実験結果を示す。

$\eta=0^\circ$  試料厚さ 100 mm の試料と  $\eta=60^\circ$  試料厚さ 50 mm の試料を比較すると、吸音率の第1ピークがほぼ一致し、 $\eta=60^\circ$  にすることで試料厚さが 50 mm にもかかわらず、低周波域での吸音が可能になることが判る。また、 $\eta=0^\circ$  試料厚さ 50 mm の試料と、 $\eta=60^\circ$  試料厚さ 50 mm の試料を比較すると、稲藁を  $\eta=60^\circ$  に斜め配置した厚さ 50 mm の試料が、低周波数域で吸音特性がよいことが判る(文献⑧)。

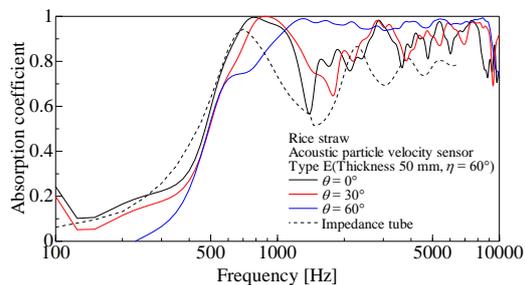


図3 稲藁を  $\eta=60^\circ$  で配置し、音波入射角  $\theta$  を変化させた実験結果

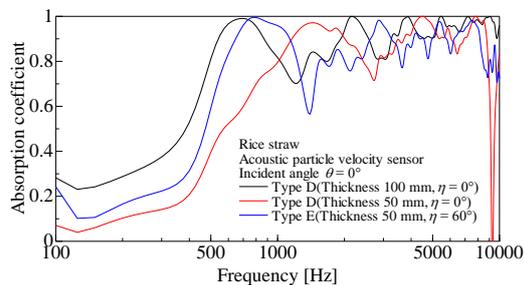


図4 音波入射角  $\theta=0$  の場合に  $\eta$  と試料厚さを変化させた実験結果

(2) 稲藁間の隙間、円管状の隙間、同心円状の隙間、を統合した吸音特性の理論解析と実験を行った。束ねた稲藁に存在する三種類の隙間の形状における個別の解析方法を用いて、三種類の隙間の寸法と数を考慮して統合した(図5)。これにより、束ねた稲藁モデルのシミュレーションを行った。また、計算モデルと等しい寸法の稲藁モデルを樹脂材料で製作し(図6)実験を行った。実験値と計算値を比較した結果、良い一致が得られ(図7)、計算モデルが検証された(文献⑨)。

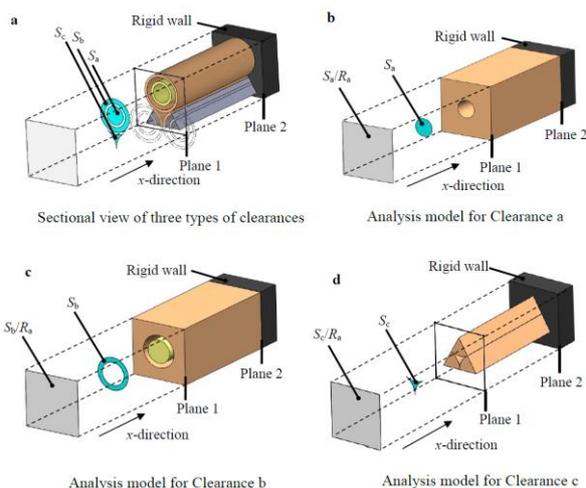


図5 a: 藁の3種類の隙間を統合した計算モデル  
b, c, d: 藁の3種類の各隙間の計算モデル

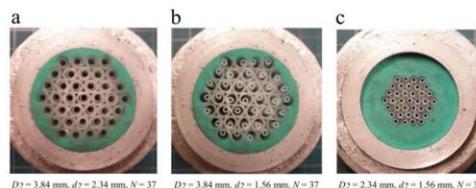


図6 稲藁を模した実験用試料

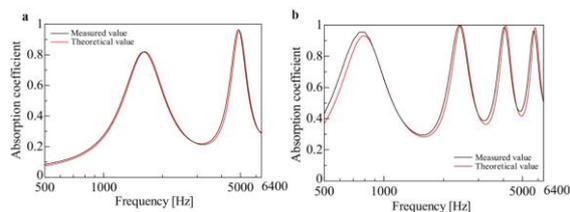


図7 試料(図6b)における実験結果と計算結果の比較 試料厚さ左 50, 右 100mm

(3) 古紙を束ねた構造について、積層した段ボール形状の断面に関する実験および理論解析を行った。積層した段ボール形状は、目の細かいものは有意な吸音性能が実験により確認された。また、積層した段ボール形状に関する音響特性について理論解析を行い計算値を求めた。実験値と計算値を比較した結果、良い一致が得られ(図10, 11)、計算モデルが検証された(文献⑩)。

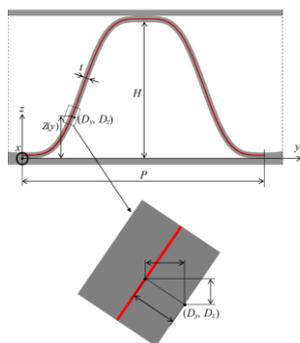


図8 計算に用いたコルゲートの関数曲線  
実験試料の画像により関数を導いた

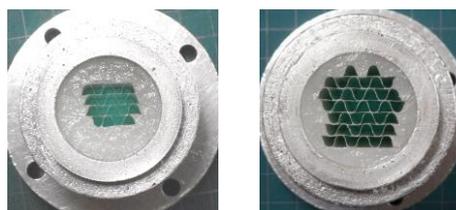


図9 実験に用いた試料の一例  
縦隙間内寸 2.801 mm, 横ピッチ 5.72 mm  
左: 穴数 19, 右: 穴数 38

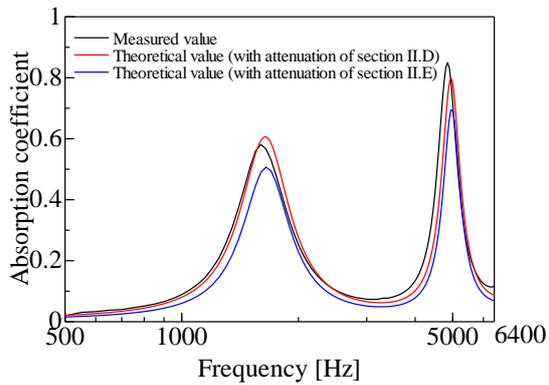


図 10 試料(図 9 左)における実験結果(黒)と計算結果(赤)の比較 (試料厚さ: 50mm)

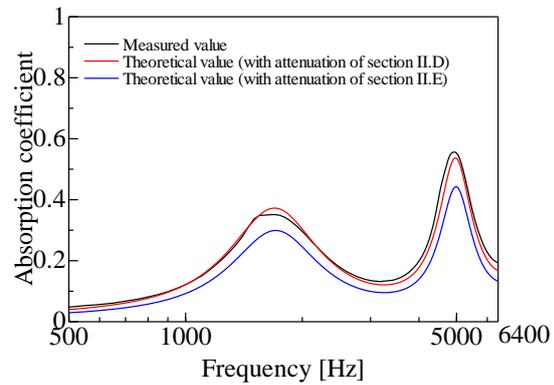


図 11 試料(図 9 右)における実験結果(黒)と計算結果(赤)の比較 (試料厚さ: 50mm)

<引用文献>

- ① C. McGinnes, M. Kleiner, N. Xiang, An Environmental and Economical Solution to Sound Absorption Using Straw, J. Acoust. Soc. Am. 118, (3) 1869-1869 (2005).
- ② 戸田建設 技術研究報告 第 31 号 (2005).
- ③ 坂本秀一, 佐々木勝, 小浦方格, 柳本憲作, 渡部誠二, 柔らかく軽量の粒状材料の吸音特性に関する基礎的研究 (発泡スチロールビーズにおける基礎的特性), 日本機械学会論文集 C 編, 76 巻 770 号, 2545-2551 頁, 2010 年.
- ④ 坂本秀一, 堤 雄二, 柳本憲作, 渡部誠二, 粒状材料の含水率による音響特性変化に関する研究, 日本機械学会論文集 C 編, 75 巻 757 号, 2515-2520 頁, 2009 年.
- ⑤ 坂本秀一, 佐久間陽介, 柳本憲作, 渡部誠二, 粒状材料の音響特性に関する基礎的研究 (粒径の異なる層が重なる場合の垂直入射吸音率), 日本機械学会論文集 C 編, 74 巻 745 号, 2240-2245 頁, 2008 年.
- ⑥ 坂本 秀一, 長瀬功育, 中川雅哉, 新田 勇, 柳本憲作, 渡部誠二, 音響を利用した中空光ファイバにおける漏洩検出 (実験および理論解析), 日本機械学会論文集 C 編, 77 巻 777 号, pp. 2096-2106, 2011 年.
- ⑦ 特許取得 第 4719894 号, 光ファイバの欠損や詰りを検出する方法及びその装置, 発明者: 坂本秀一, 2011 年.
- ⑧ 本報告 5. [雑誌論文]③, [学会発表]①, [図書]①
- ⑨ 本報告 5. [雑誌論文]②, [図書]①
- ⑩ 本報告 5. [雑誌論文]①, [学会発表]②, [図書]①

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Shuichi SAKAMOTO, Yuki MARUYAMA, Kohei YAMAGUCHI, Kohei II, Experiment and estimation of the sound absorption coefficient for clearance of corrugated honeycomb, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 145, No. 2, pp. 724-733 (2019).  
<https://doi.org/10.1121/1.5089427>
- ② Shuichi SAKAMOTO, Hirohiko TANIKAWA, Yuki MARUYAMA, Kohei YAMAGUCHI, Kohei II, Estimation and experiment for sound absorption coefficient of three clearance types using a bundle of nested tubes, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 144, No. 4, pp. 2281-2293 (2018).  
<https://doi.org/10.1121/1.5063348>
- ③ 坂本秀一, 鶴巻太盛, 藤澤洗平, 山宮弘毅, バイオマスを応用した吸音材料に関する研究 (音響粒子速度センサを用いた稲藁の斜め入射吸音率の測定), 日本機械学会論文集, 83 巻 845 号 (2017), transjsme.16-00344, 14 pages.  
<https://doi.org/10.1299/transjsme.16-00344>

[学会発表] (計 2 件)

- ① Shuichi Sakamoto, Taisei Tsurumaki, Kohei Fujisawa, Koki Yamamiya, Sound-absorbing materials using of rice straws (Oblique incident sound-absorption coefficient of

oblique arrangement of hollow cylindrical biomass), Proceedings of INTER-NOISE 2018 (47th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering), Chicago, Illinois, USA, Paper No. 1775, 13 pages, 26-29 August 2018.

- ② 丸山裕貴, 坂本秀一, 山口紘平, 井伊恒平, 橋本歩弥, コルゲート板の隙間における吸音率の推定と実験, 日本機械学会北陸信越支部第 54 期総会・講演会講演論文集, No. 177-1, Paper No. L021, 4 pages, 2017. 03. 09, 金沢大.

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 坂本慎一, 山本崇史, 坂本秀一ほか 60 名, 「吸音・遮音材料の開発、評価と騒音低減技術」, 3. 4 節「バイオマスを利用した吸音材料に関する研究」 pp. 95-107 を執筆, 技術情報協会, 2018 年 7 月 31 日, 全 721 頁.  
ISBN-10: 4861047196

〔その他〕

ホームページ等

<http://sakamoto.eng.niigata-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者 なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。