

壁の穴の形状の違いによる防音効果 ～ 音楽室の穴は丸でいいのか？ ～

佐野 春 鈴木 浩介 前谷 弥空 水田 陽菜

要旨

音楽室の穴に興味を持ち、インターネットで詳しく調べると音楽室の穴には防音効果があることを知った。しかし、防音に特化した構造ではない事が分かった。そこで、音楽室の穴を防音効果に特化させるために、空気層と穴の形状に着目した。研究には、物理ソフトの「振動数と音階（発音：はつね）シミュレーション」を用いて発生させる周波数を一定にした音を利用し、穴の形状を変えた時の防音効果を調べた。その結果、空気層が2cmの時に最も防音効果が高く、低周波（200Hz）では二等辺三角形のずらしの穴が、高周波（2000Hz）では正三角形のずらしの穴の防音効果が高かった。このことから、防音効果に特化すると音楽室の穴は必ずしも丸が最適とは言えない。

キーワード： 防音 ずらし 空気層 低周波 高周波 壁 壁の穴

1. 研究動機と目的

音楽室の穴の形が丸であることに疑問を持った。調べていくと音楽室の穴には防音効果があることが分かった。しかし、反響を考慮した構造になっているため、防音だけに着眼すると丸以外の形状のほうがいいのではないかと考え、形状の違いによる防音効果を調べることにした。

2. 先行研究について

①なぜ音楽室の壁に穴が開いているのか

「建築士になるまでに2018 音楽室の壁はなぜ穴だらけなのか」

< 音楽室の穴が開いている理由 >

- ・音楽室の壁は室外へもれる音を小さくするように空気層を用いた吸音構造になっている。
- ・音が穴を通るときに、穴の周りで音の媒質である空気と穴との間に摩擦が発生するため、音エネルギーが熱エネルギーにかわり吸音され、音が小さくなる。壁の背後に空気層がない場合は吸音されない。

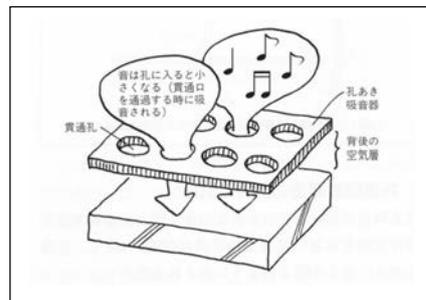


図1. 音楽室の壁の防音の仕組み

②吸音効果の高い壁を探る研究

「吸音効果の高い壁について（佐賀県立致遠館高等学校）」

壁にあけた穴縦1個横1個～縦9個横9個、音源の周波数（300Hz, 4000Hz）や空気層の有無を変えて実験を行った。その際、穴の総面積と発生させる音の大きさ（70 dB）を変えない。

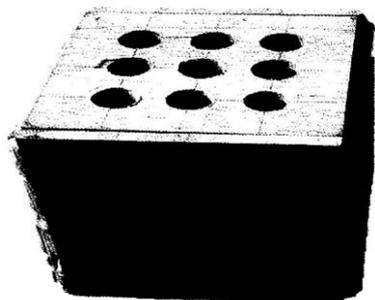


写真1. 先行研究の実験装置

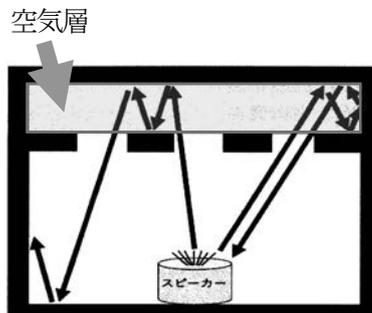


図2. 装置内における音の伝わり方のイメージ

< 結果 >

穴の数により吸音効果が変わること、低周波（300Hz）では空気層がない場合に吸音効果があること、高周波（4000Hz）では穴の数が増えるほど防音効果があることが判明している。

< 先行研究の利用 >

高周波では壁の穴が縦9個横9個では空気層がある場合に吸音効果が高いことを用いて本実験を行った。

3. 実験

< 準備物 >

ワイヤレススピーカー, プラダン製の箱 (縦 51cm×横 30cm×高さ 32cm), 遮音シート, PC1 台, 騒音計, 画用紙 (加工しやすいため使用), カuttingマシン CAMEO, スプレーのり, 発泡スチロール, 角材

< 実験で使用した壁の作り方 >

- ① Cuttingマシン CAMEO で画用紙に穴をあける。
*) 正確に穴を均等に配置するためCuttingマシンを用いた。
 - ② ①を 10 枚分繰り返す。
 - ③ 作った 10 枚を穴の位置がずれないようにスプレーのりで貼り合わせる。
- ①～③の過程を穴の形状を丸, 正三角形, 正方形, 正五角形, 正六角形, 二等辺三角形と変えて壁を作成した。ずらしの壁は③の過程で穴の位置を少しずらして製作した。

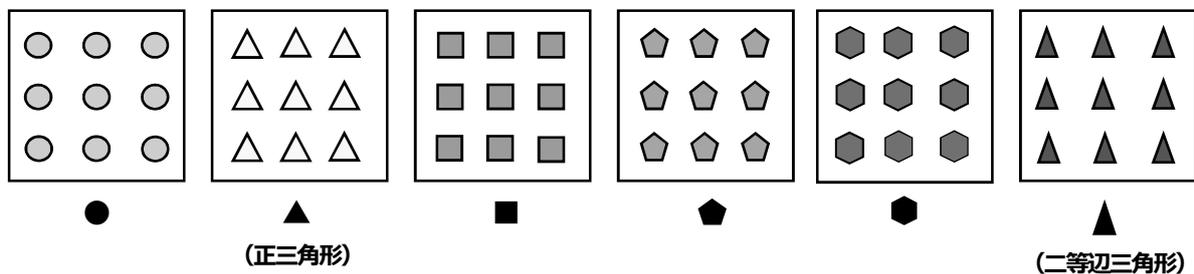


図3. 作成した壁のイメージ図 (穴の総面積を 38.4 cm²に統一する)

< ずらしの壁を作った動機 >

ずらした方が音の通る経路が狭まり, 通過する音の大きさが減少すると考えられるため, 防音効果が期待できると思った。また, 先行研究から穴の周りで摩擦が発生し, 音が熱エネルギーに変わるとあったので, ずらすことにより音の通る経路が長くなり, 音エネルギーが熱エネルギーへより多く変換されるのではないかと考えた。そのため, 穴の位置をずらさず作成した壁だけでなく, 穴の位置を少しずらした「ずらし」の壁を作成することにした。

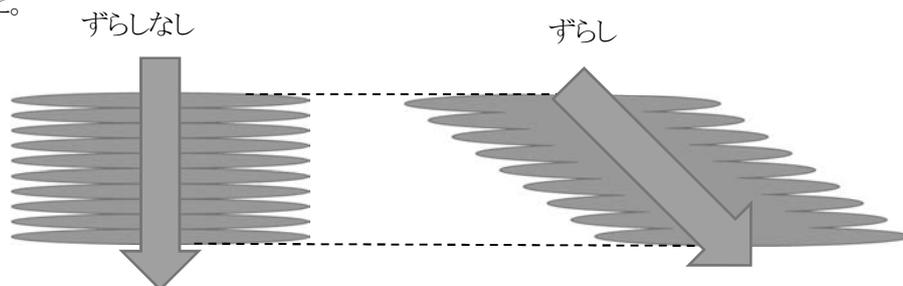


図4. 「ずらしなし」と「ずらし」との経路差 イメージ図

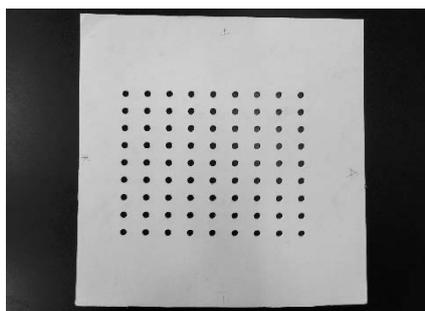


写真2. ずらしなしの壁

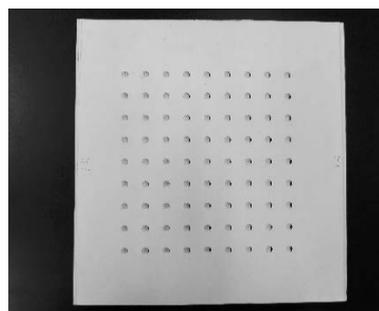


写真3. ずらしの壁



写真4. ずらしの壁の拡大写真

< 実験装置のセッティング >

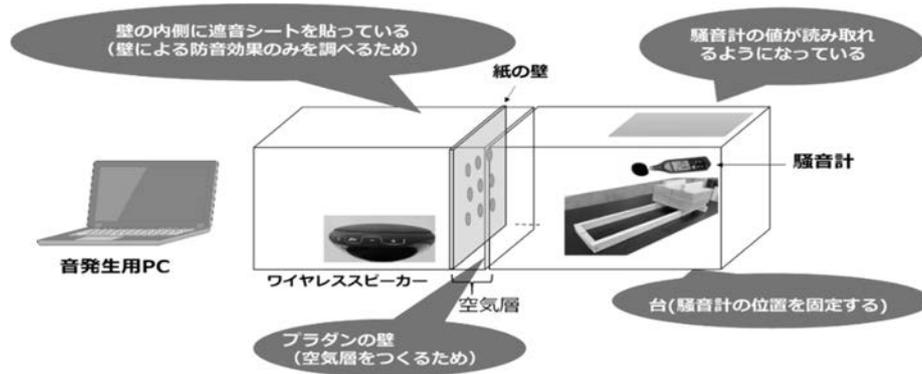


図5. 実験装置の模式図 (予備実験のときは遮音シートは貼っていない)

- ・ソフトウェア「振動数と音階 (発音：はつね) シミュレーション」を用いて音を発生させた。出力する音量は変えず、全ての実験を行った。
- ・プラダンの板1枚あたりの厚さは3mmであり、箱の壁はプラダンの板を2枚重ねで作っている。
- ・箱は縦51cm×横30cm×高さ32cmのものを用いた。
- ・台は発泡スチロールと角材で作っており、騒音計の位置を固定するために作った。
- ・騒音計を台の上に置き、箱の入り口から常に22.5cm、高さを14.5cmとなるように固定した。
- ・隙間からの音漏れを防ぐために、プラダンの接合部にエプトシーラーを貼った。



写真5. 「発音」の画面

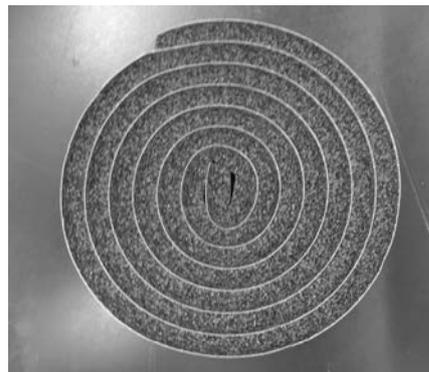


写真6. エプトシーラー

< 実験装置をセッティングするときに気を付けたこと >

- ・スピーカーと箱との間で発生する振動音をなくすため、スピーカーと箱との間に耐震マットを置いた (写真7中の黄色丸の所)。
- ・2つの箱を連結させる際に、隙間からの音もれを減らすために連結部分をテープで4か所をとめた (写真8中の黄色丸の所。反対側も同様の処理をしている)。

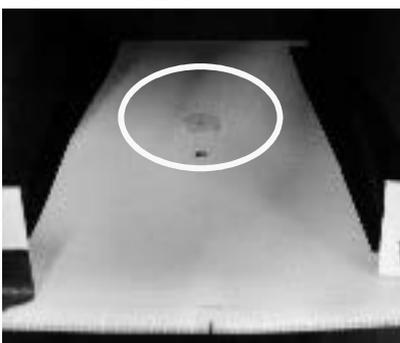


写真7. スピーカーを置く場所



写真8. 箱の連結部

予備実験 「空気層の厚さの違いによる防音効果」

< 実験の目的 >

空気層を 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm と変化させ、防音効果に変化があるのかを調べる。その結果から本実験①, ②で用いるのに最適な空気層の厚さを考える。

< 実験道具 >

- ・プラダン製の箱×2
- ・ワイヤレススピーカー
- ・丸の穴をあけた壁
- ・PC1 台
- ・騒音計
- ・騒音計の位置を固定する台

< 実験方法 >

1. 箱の中にワイヤレススピーカーを入れ、もう一方の箱に台と騒音計を入れる。
2. 紙の壁とプラダン製の壁をつけずに元の音源の音の大きさを測る。
3. プラダンの箱の端から留め具の位置を変えることで、丸の穴の壁をプラダン製の箱の端から 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm と移動させ (図 6), 空気層の厚さを変えて騒音計でそれぞれ 10 回測定し、記録する。
4. 1, 2, 3 の過程を、日を分けて、2 回繰り返す。

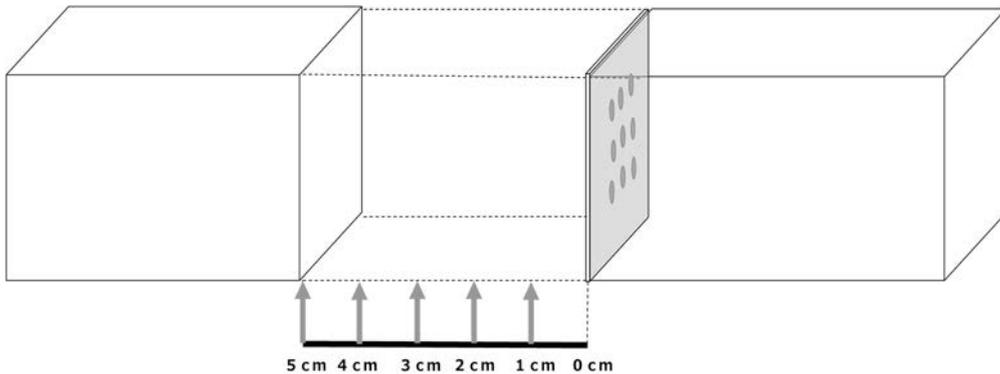


図 6. 空気層の様子

< 実験条件 >

- ・丸の壁を用いて 10 回測定し、実験の一回分とする。なお、これらに関しては同日に行うものとする。
- ・騒音計の値が、2~3 秒間止まったときの値を記録する。
- ・値を読み取る時、アクリル板が取り付けられているプラダン製の箱の後ろに 1 人立って値を測定する。人の立つ位置によって箱の中の音の大きさに影響するのを防ぐために、ほかの人は少し離れた場所で PC を操作や値の記録を行う。
- ・防音効果に天気や湿度が影響しないことを示すため、実験日をかえて実験を行う。

< 実験の仮説 >

音楽室の空気層は薄いので、空気層の厚さが薄くなるほど防音効果が高くなるのではないかと考えた。

< 実験結果 >

図 7 中の値は、(空気層の厚さを変えた時の測定値) - (音源の値) を表したものである。

マイナスの値が大きいほど音が小さくなっていることを表すので、防音効果が高いということが分かる。

空気層の厚さ	空気層なし	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
実験1回目	-0.650dB	-0.710dB	-0.950dB	-0.460dB	+0.210dB	-0.440dB
実験2回目	-0.910dB	-0.870dB	-0.650dB	-1.100dB	-0.650dB	+0.030dB
平均	-0.780dB	-0.790dB	-0.800dB	-0.780dB	-0.220dB	-0.205dB

図 7. 予備実験の結果をまとめた表

空気層の有無による防音効果

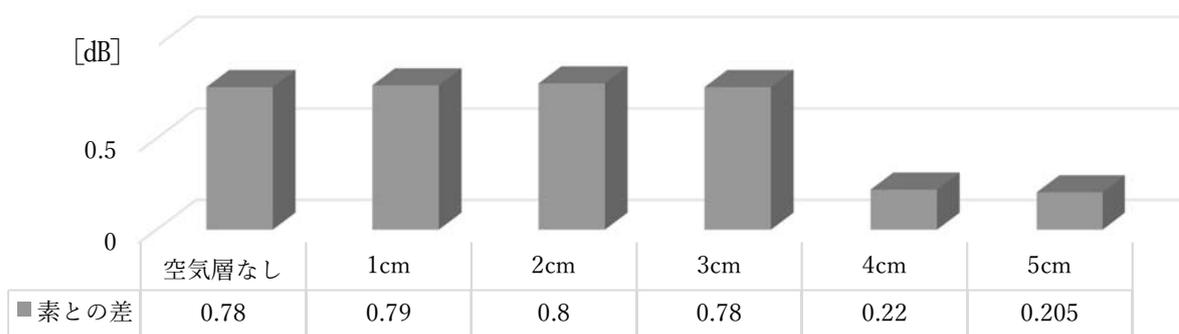


図8. 予備実験の結果をまとめたグラフ

- ・防音効果は2cmの時に1番高くなり、5cmの時に最も低くなった。
- ・空気層なし、1cm、2cm、3cmでは防音効果に大きな違いはなかった。
- ・4cmと5cmの効果は他の空気層の厚さと比べて防音効果が低かった。

< 考察 >

- ・3cmと4cmの間に空気層の効果が大きく変化する空気層の厚さがあるのではないかと考えた。
- ・空気層の厚さによって防音効果に違いが出たのは、空気層が厚くなると箱内で共鳴が起こりやすいという可能性も考えられるが、特定の原因は分からなかった。
- ・防音効果が一番高かった空気層の厚さ2cmを実験①、②で採用することにした。

【本実験①】

200Hzにおいて、壁の穴の形状の違いによる防音効果を検証する。

< 実験条件 >

予備実験の実験条件に以下のものを付け加えて行う。

- ・本実験①、②では壁による防音効果のみを調べるために遮音シートを用い、壁には丸、正三角形、正方形、正五角形、正六角形、二等辺三角形とそれぞれのずらしを使用する。
- ・穴の形ごとにそれぞれ10回測定し、実験の1回分とする。なお、これらは同日に行うものとする。

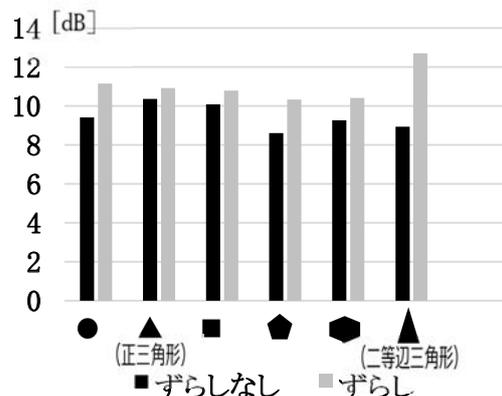
< 予想 >

正六角形の効果が一番高くなり、正五角形の効果が一番低くなる。

図4のように、ずらしの方は音が通る経路がずらさないものと比べて長く狭いので、ずらしなしよりもずらしの方に効果がある。

< 結果 >

図9は穴の形別に防音効果を表しており、黒色の棒はずらしなしの時、灰色の棒はずらしの時を示している。また右の表はずらしなし、ずらし別に防音効果が高かったものから順位をつけたものである。ずらしなしでは正三角形の効果が一番高く、正五角形の効果が一番低くなり、ずらしでは二等辺三角形の効果が一番高く、正五角形の効果の一番効果が低くなった。ゆえに、ずらしなしとずらしでは、防音に適する穴の形が異なっていることが分かる。



穴の形状	●	▲	■	⬠	⬡	▲
三角の種類		正三角形				二等辺三角形
ずらしなし	3	1	2	6	4	5
ずらし	2	3	4	6	5	1

図9. 200Hzの時の防音効果 (左図, 上図)

< 考察 >

- ・ずらしなしとずらしによる防音効果の違いについて

防音効果がずらしなしよりずらしの方が高くなったのは、音の通過する経路が長くなったことにより音の持つエネルギーがより多く熱エネルギーに変化したためと考えられる。

- ・形状による防音効果の違いについて

正三角形や正方形の防音効果が高くなり正六角形や正五角形の防音効果が低くなったのは角から音が広がっていると考え、角の数が多くなるほど音が増大した可能性がある。

【本実験②】

2000Hzでの防音効果を検証する。

< 実験条件 >

本実験①と同様にして行う。

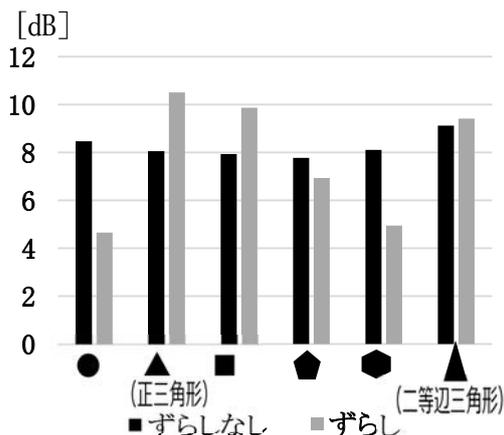
< 予想 >

各穴の形の効果は200Hzの時と同じ順番である。

ずらしの方は音を通る経路が長いので、音エネルギーが熱エネルギーへより多く変換され、ずらしなしよりもずらしの方に効果がある。

< 結果 >

ずらしなしでは二等辺三角形の効果が一番高く、正五角形の効果が一番低くなり、ずらしでは正三角形の効果が一番高くなり、丸の効果が一番低くなった。



穴の形状	●	▲	■	⬠	⬡	▲
三角の種類		正三角形				二等辺三角形
ずらしなし	2	3	4	6	4	1
ずらし	6	1	2	4	5	3

図 10. 2000Hz の時の防音効果 (左図, 上図)

< 考察 >

- ・ずらしなしとずらしによる防音効果の違いについて

この点についても考えたが、結果にばらつきが多いため、ずらしなしよりもずらしの方が値が大きくなったり小さくなったりする理由については分からなかった。

- ・形状の比較

本実験①と同様のことが言える。

【200Hz と 2000Hz における防音効果の比較】

本実験全体でのずらしなしとずらしの防音効果を表したものが下のグラフである。黒色、ストライプ柄が200Hz、チェック柄、市松模様が2000Hzの時の結果を表したものである。全体的にみると、200Hzの時に防音効果が高いと分かる。

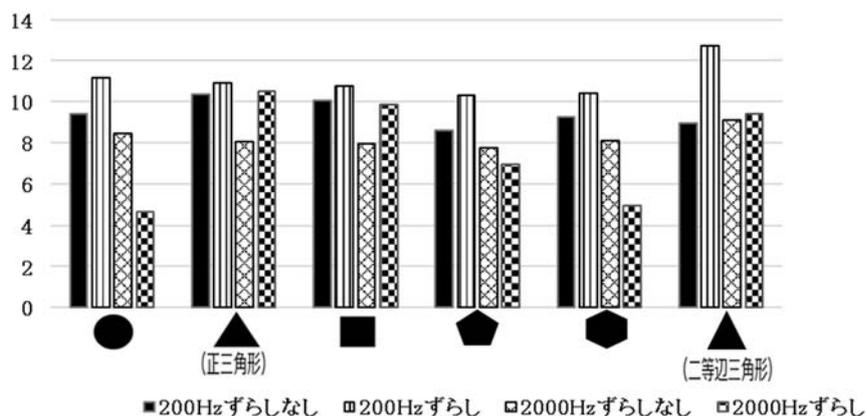


図 11. ずらしなしとずらしの防音効果を比較したグラフ

< 考察 >

・周波数の比較

2000Hz でも 200Hz と同じ傾向が見られ、2000Hz においても 200Hz のときと同様の理由により音の大きさには角の数に関係しているのではないかと考えられる。

4. 結論

本研究では、音楽室の穴は丸ではなく、三角形のずらしの穴が最も外へ漏れる音を防音することができることを発見した。そのメカニズムは、一つの角の大きさが小さいので音が通過する際に広がりにくいことから、音をより減衰させることができると考えられる。

更に、以下のように条件を変えたときの最適な形を発見した。

(1) 低周波の時、二等辺三角形のずらしの穴が最も防音効果が高くなる。

(2) 高周波の時、正三角形のずらしの穴が最も防音効果が高くなる。

また、本研究では以下のようなことも分かった。

(1) 低周波の時、防音効果はずらしなしよりずらしの方が高くなる。

(2) 高周波の時、防音効果は形状が三角形から角を増やして丸に近づくほどずらしよりずらしなしの方が高くなる。

(3) 実験①と実験②の結果から、防音効果は平均的に正三角形が高く、正五角形と正六角形が低くなる傾向が見られた。しかし、結果にばらつきが大きく、法則性を見出すことは出来なかった。

5. 今後の課題

高周波の場合、防音効果がずらしよりずらしなしの方が高くなった原因を明確にする。この解決策として、シミュレーション等を用いて穴を通るときの三次元における干渉の様子を知ることができれば原因の解明につながるだろう。周波数を細かく設定して、防音効果に周波数がどのように影響しているかを詳しく調べる。また、本研究では予備実験では 20 回、本実験①、②ではより正確な結果を得るために 30 回試行しているが、より信頼性を高めるため実験回数をさらに増やす。今回は、透過音について調べてきたが反射音についても調べていく。

6. 謝辞

この研究にあたって、貴重な時間を割いていただいた秋田県立大学システム科学技術学部准教授の込山敦司先生、一緒に考えたくさんのアドバイスをいただいた増田裕明先生、この場をお借りして御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

7. 参考文献

I 「建築士になるまでに 2018 音楽室の壁はなぜ穴だらけなのか」(2021 年 7 月 8 日)

<https://www.architegg.com/entry/2018/04/17/>

II 「吸音効果の高い壁について」(佐賀県立致遠館高等学校 令和元年度)