

公立はこだて未来大学 2023 年度 システム情報科学実習
グループ報告書

Future University Hakodate 2023 Systems Information Science Practice
Group Report

プロジェクト名

コンピューテーショナルアップサイクリング

Project Name

Computational Upcycling

グループ名

アップサイクリング グループ B

Group Name

Upcycling GroupB

プロジェクト番号/Project No.

9-B

プロジェクトリーダー/Project Leader

丸山隆史 Takashi Maruyama

グループリーダー/Group Leader

森田弦慎 Kenshin Morita

グループメンバ/Group Member

岩谷星弥 Seiya Iwatani

萩野汰一 Taichi Hagino

水野蒼太 Sota Mizuno

山崎遥輝 Haruki Yamazaki

指導教員

イアンフランク 工藤充 角康之 吉田博則

Advisor

Ian Frank Mituru Kudo Yasuyuki Sumi Hironori Yoshida

提出日

2024 年 1 月 17 日

Date of Submission

January 17, 2024

概要

アップサイクルとは、廃棄物や不要な素材を再利用して新たな価値を生み出すプロセスやアプローチを指す。リサイクルのように素材を別のものに作り替えるのではなく、そのままの状態新たな価値を持つものにするを旨とする。我々は、このアップサイクルの流れに、コンピューターによる支援を入れて活動を行った。アップサイクリングの対象はフローリング材の生産工場の工程で出る端材を使用し、課題はその利用価値を増加させることである。解決策として、吸音効果のあるパネルを制作することを目標に活動している。プロセスは、道内のフローリング材を生産している企業から端材を入手し、これを用いて実際のプロトタイプを作成した。その後、このプロトタイプを用いて実験と3Dモデルからシミュレーションを行い、その比較実験を通じてシミュレーションの整合性を確認した。その結果、実験とシミュレーションで作成した吸音パネルが吸音されることが実証され、木材の端材を活用して吸音材を作るという目的を達成できた。

キーワード 木材, アップサイクル, 防音機能, シミュレーション, 比較実験

(※文責: 森田弦慎)

Abstract

Upcycling refers to the process or approach of reusing waste or unwanted materials to create new value. Unlike recycling, which typically involves breaking down and transforming materials, upcycling seeks to reimagine and transform these resources while preserving their original essence. We worked to include computer assistance in this upcycling process. The upcycling targets the use of the scraps from the flooring production process, and the challenge is to increase the value of their use. The solution is to produce sound-absorbing panels. Obtaining scrap wood from a company in Hokkaido that produces flooring materials, we created physical prototypes. Then, the prototypes were compared, via actual experiments using the prototypes and precise simulations, and the consistency of the simulations was ascertained. We were able to demonstrate the correlation of the sound-absorbing effects of the physical prototypes and the simulation, confirming the initial viability of our approach.

Keyword wood, upcycling, soundproofing, simulation, comparative experiment

(※文責: 森田弦慎)

目次

第 1 章	アップサイクルの背景と現状	1
1.1	背景	1
1.2	該当分野の現状と事例	2
1.2.1	日本のアップサイクルの事例	2
1.2.2	海外におけるアップサイクルの事例	2
1.3	現状のアップサイクルにおける問題点	3
1.4	課題の概要	3
第 2 章	到達目標	4
2.1	本プロジェクトにおける目的	4
2.1.1	通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点	4
2.1.2	松原産業について	4
2.2	具体的な手順・課題設定	4
2.3	課題の割り当て	5
第 3 章	活動内容	7
3.1	前期の活動	7
3.1.1	前期にでた案	7
3.2	後期の活動	8
3.3	企業訪問について	8
3.3.1	企業訪問準備	8
3.3.2	企業訪問	9
3.3.3	企業訪問を通じて	11
3.4	プロトタイプ作成	11
3.5	実験	12
3.5.1	実物を用いた実験	12
3.5.2	コンピュータ上での実験	13
3.5.3	実験結果のまとめ	13
第 4 章	課題解決のプロセスの詳細	14
4.1	それぞれのデザイン案の詳細	14
4.1.1	案 1	14
4.1.2	案 2	14
4.1.3	案 3	15
4.2	実物を用いた実験の詳細	16
4.3	コンピュータを用いたシミュレーション	17
4.3.1	準備	17
4.3.2	部屋のモデリング	17

4.3.3	吸音パネルのモデリング	18
4.3.4	音の可視化	19
4.3.5	残響時間の算出	20
第 5 章	結果	23
5.1	実物を用いた実験の結果	23
5.1.1	吸音材を置かずに音を流した結果	23
5.1.2	案 1 の吸音材を置いて音を流した結果	24
5.1.3	案 3 の吸音材を置いて音を流した結果	24
5.1.4	吸音材ではない板を置いて音を流した結果	25
5.2	シュミレーションの結果	25
5.2.1	音の流れを可視化した結果	25
5.2.2	残響時間を算出した結果	25
5.3	総合結果	26
5.4	考察	27
5.5	評価と問題点	27
5.5.1	評価	27
5.5.2	残された問題点	27
第 6 章	今後の課題と展望	29
6.1	今後の展望	29
付録 A	実験で用いたソースコード	30
付録 B	シミュレーションで用いたファイル	32
	参考文献	33

第 1 章 アップサイクルの背景と現状

1.1 背景

近年、アップサイクルが重要性を増している。森由夏（2023）は、物に対する根本的な向き合い方を問い直すことにおいて、アップサイクルは大きな力を持っているのだと述べている [1]。

アップサイクルは、本来であれば捨てられるべき廃棄物に、デザインやアイデアといった新たな「付加価値」を与え、別の新しい製品にアップグレードして、生まれ変わらせる手法である。これは別名、クリエイティブ・リユース（創造的再利用）とも呼ばれる。アップサイクルと類似した概念として、リユース（再利用）やリサイクルもあるが、これらの言葉が持つ意味は異なる。リユースは一度使用したものをごみにしないで繰り返し使用することを指し、リサイクルは廃棄物から再利用可能な部分を取り出し、原材料やエネルギーとして活用する手法である。アップサイクルは、リサイクルが原材料や素材に戻す際にエネルギーを消費するのに対し、できるだけ形状を変えずに再利用し、地球への負荷を抑えることができる。また、アップサイクルは製品を単なる再利用のリユースとは異なり、別の製品として生まれ変わらせることで、製品の寿命を延ばす可能性がある。要するに、アップサイクルはリサイクルが資源として再利用したり、リユースが再利用を繰り返すこととは異なり、元の製品の「素材」をそのまま活かす手法である。これにより、アップサイクルはリサイクルよりもサステナブルであると評価されている。

次に、なぜアップサイクルが重要視されているかについて考える。その理由は、アップサイクルの歴史と環境・社会への貢献が挙げられる。アップサイクルの歴史は 1994 年 10 月 11 日、レイナー・ピルツがドイツメディア『Salvo News』において初めて語ったことに始まるとされているが、実際には 1800 年代のアメリカ合衆国の思想家ラフル・ワルド・エマソンが、「自然界には寿命を迎えて捨てられるものはない。そこでは最大限利用された後も、それまで隠れていた全く新しい次のサービスに共される」と述べており、アップサイクルの概念はそれ以前から存在していた可能性がある。産業革命以降、「効率性」と「規模」の追求が進み、バージンマテリアルを使用した大量生産が一般的になる中で、「使い捨て」文化が根付いていった。しかし、最近ではサステナビリティの重要性が浸透し、サーキュラーエコノミーへの関心が高まっている。サステナビリティは持続可能性を指し、サーキュラーエコノミーは循環型経済を意味する。この中で、企業や個人の意識が変化し、「アップサイクル」の概念が再び注目されている。

次に、アップサイクルが重要視される理由として、その環境・社会への貢献度が挙げられる。現在の経済システムは「大量生産、大量消費、大量廃棄」が前提であり、これが気候危機、資源枯渇、生物多様性の減少、プラスチック汚染、貧困、格差など多くの負の外部性を引き起こしている。OECD によると、2060 年までに一人あたりの所得平均が現在の OECD 諸国の水準である 4 万米ドルに近づき、世界の資源利用量が 2018 年の 90 ギガトンから 2060 年には 167 ギガトンに増加すると推定されている [2]。このような世界の課題を解決するためには、より持続可能な政策やプログラムが必要である。国際連合経済社会局プレスリリースも、80 億の人々すべてが繁栄できる世界を迎えるために、私たちは、人権を優先させつつ、世界の課題を緩和し、SDGs を達成する、実績ある効果的な解決策に目を向けなければなりませんと述べている [3]。資源の利用量を削減し、廃棄物を減少させることが全世界の急務である中、アップサイクルの推進がこれらの課題に貢献す

る期待が寄せられている。こうした経緯から、アップサイクルは近年ますます重要視されている。

(※文責: 山崎遥輝)

1.2 該当分野の現状と事例

前述で述べたように、アップサイクルは重要だと考えられている。しかし、日本のアップサイクルの認知度が低いのが現状である。株式会社オレンジページが2021年に行った調査によると、日本のアップサイクルの認知度は30.9%であった[4]。ただし、鎌倉時代から人糞を発酵させ肥料に変えて取引を行っていたり、江戸時代には着古した綿布や絹布をアップサイクルして裂織と呼ばれる織物に生まれ変わらせるなど、アップサイクルは古くから行われてきた歴史がある。当事者たちは言葉にせずアップサイクルを実践していることもあり、日本の現状を見直すとアップサイクルが身近に行われていることが分かる。また、アップサイクルに取り組んでいる事例は、日本だけでなく、海外にも多く存在する。以下に、具体例を示す。

(※文責: 山崎遥輝)

1.2.1 日本のアップサイクルの事例

日本のアップサイクルの一例として、島村楽器株式会社が行っている「楽器アップサイクルプロジェクト」が挙げられる[5]。島村楽器株式会社は音楽教室や楽器販売を展開しており、このプロジェクトでは廃棄楽器や耐用年数を過ぎた部品を受け入れ、提携団体によってスタンドライトやテーブルなどのインテリア製品にアップサイクルされる。このプロジェクトで生まれた製品は島村楽器株式会社で販売され、売り上げから得た収益は楽器演奏の機会を得にくい子どもたちへ寄付されている。廃棄楽器や部品のアップサイクルは、環境への負荷軽減だけでなく、音楽教育の環境整備にも寄与している。

もう一つの日本のアップサイクル事例として、オイシックス・ラ・大地株式会社が推進している「Upcycle by Oisix」が挙げられる[6]。このプロジェクトでは、フードロスの削減を目指して製造された商品の一部が「ここも食べられるシリーズ」である。このシリーズでは、製造過程で廃棄される野菜や果物の皮や芯をアップサイクルしてチップスに変えている。具体的な例として、りんごの芯やだいこんの皮、ブロッコリーの茎などが挙げられ、2021年7月8日から9月22日時点での販売数は累計で14000個、フードロスの削減には3.5トンに達している。Upcycle by Oisixでは、「ここも食べられるシリーズ」以外にもジャムやお惣菜など様々なアップサイクル商品を製造・販売しており、2023年度にはグッドデザイン賞を受賞している。

(※文責: 山崎遥輝)

1.2.2 海外におけるアップサイクルの事例

海外におけるアップサイクルの一例として、ドイツのUpcycle Berlinが挙げられる[7]。この企業は建設現場で余剰となった木材を買い取り、それをアップサイクルして木製の家具に再生させている。木材は端材として燃やされることなく、新たな商品として再利用されることで、持続可能な

ビジネスモデルを提供している。Upcycle Berlin では、ユーザーの個性に合わせたオーダーメイドの家具も製造しており、環境に配慮した消費者のニーズに応じている。

また、オランダの Seenons は、企業の廃棄物を回収するアプリを開発している [8]。このアプリでは、企業の生ゴミや古紙などの廃棄物を回収し、必要とするユーザーとマッチングさせている。このアプローチにより、廃棄物が新たな価値を持つことで新しい経済が生まれ、循環型社会の実現に寄与している。Seenons は、廃棄物の理解を広げるための Web ページや専門家による学習の機会も提供しており、持続可能な消費を奨励している。

これらの例からも分かるように、アップサイクルは国内外でさまざまな形で取り組まれており、資源の有効活用と環境への負荷軽減に寄与している。

(※文責: 山崎遥輝)

1.3 現状のアップサイクルにおける問題点

アップサイクルは持続可能な資源利用の一環として注目されているが、現在、いくつかの問題点が存在する。まず、アップサイクルの認知度がまだまだ低いということが挙げられる。こちらは、先ほど、日本でのアップサイクルの認知度が低いことを述べたように、まだ多くの人々がアップサイクルの概念を理解しておらず、その重要性に気づいていない。このため、人々がアップサイクルをせずに、持続可能な社会の構築が進まない可能性がある。一方で、個人や企業が、アップサイクルするための、手助けやアドバイスをしてくれるような計算支援システムや Web サイトも現状、まだ少ないため、アップサイクルに使用する材料の、廃棄物や副産物を適切な場所で適切に利用することの難しさという問題点もある。そうすると、限られた廃棄物や副産物を適切にアップサイクルすることができなくなり、素材のポテンシャルをうまく引き出せずに無駄になってしまう可能性がある。

(※文責: 山崎遥輝)

1.4 課題の概要

上記の問題点を解決すべく、本プロジェクトでは、「アップサイクルにコンピュータを用いて、アップサイクルをサポートする技術を追加することで、環境問題の解決に貢献する」という課題を立ててプロジェクトを展開した。プロジェクト活動では、食材、木材、年輪、衣服という 4 つのグループに分かれて活動を行った。それぞれのグループが掲げた課題は以下の通りである。食材グループは、「ゲームを通して、食材のアップサイクルのアイデアを発信する」。木材グループは、「商品に加工されなかった木材を利用して、吸音材を作成する」。年輪グループは、「木の年輪を用いて、木材と情報を繋ぐシステムを開発する」。衣服グループでは、「布の価値を下げないことで、服の二次利用を促す」である。

(※文責: 山崎遥輝)

第2章 到達目標

2.1 本プロジェクトにおける目的

目的はコンピューターを用いて木材のアップサイクルを行うことである。課題としては端材の利用価値をあげることである。最終的には、吸音の効果が実証された吸音材をプロトタイプとして実際に制作すること。制作した吸音材には製品として利用されない木材が使用されていること。また、その吸音材にはどの状況でどの程度吸音の効果があるのかを具体的に示されていること。

(※文責: 萩野汰一)

2.1.1 通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点

本課題ではコンピューターを用いるため、多様な解決方法を考えることが可能である。複数にで実際の木材を用いて素材の特徴を考慮することでより多くの解決の方法を検討することが可能である。通常の授業では座学によって知識や技術の習得をするため、共同作業やフィールドワークによる実際の木に触れる解決方法の検討を行うことはできない。したがって、プロジェクト学習で行う利点は複数に作業を行うことで多様な解決策を考慮できること、実際に木に触れて木の特徴を利用することで問題の解決方法に多様性がうまれることである。

(※文責: 萩野汰一)

2.1.2 松原産業について

松原産業株式会社とはフローリングや合板、集成材、建材のような木製品の製造と販売だけでなくグラフィックスプリント事業、建設事業を行っている企業である。

(※文責: 萩野汰一)

2.2 具体的な手順・課題設定

松原産業株式会社への訪問から、サイズの微調整のために切り取られるもの、おざね、めざねと呼ばれている凹凸がついたもの、ひび割れやそりがある製品にならないものをアップサイクルすることを課題に設定した。また、アップサイクルを行う過程の中で、吸音材の吸音の効果を検証するためにコンピューターを用いる。吸音の効果とデザイン性を両立させるため、多様な吸音材の種類と素材ごとにおける吸音の効果について重点的に調査をすることになり以下のような手順を設定した。

1. 現在存在している木材を元に設計されている吸音材について調査する。

課題：吸音材に関する知識が不足しているため、吸音材についてインターネットで文献を調査しまとめる。

2. 吸音材の使用場面の検討
課題：吸音材が使われる場所が決まらなければ設計が困難であるため、グループ全員で検討した。
3. 松原産業株式会社からいただいた木材の大きさ、材質をまとめる
課題：吸音材を設計する上で実現可能な範囲を知る。
4. プロトタイプ制作
課題：実験に必要なプロトタイプがないため、デザインした吸音材のプロトタイプを制作した。
5. 3D シミュレーションの製作
課題：シミュレーションを行うためのデータが存在しないため、Rhinoceros と Grasshopper というソフトウェアを活用し、シミュレーションのデータを作成した。
6. 実験を行い、プロトタイプの吸音性能を確かめる
課題：デザインした吸音材の吸音性能が明らかではないため、制作したプロトタイプを用いて実験を行う。
7. 3D シミュレーションを実行し、デザインした吸音材が実際の部屋サイズのスケールで使用された場合の吸音性能を確かめる
課題：実際の使用を想定した際の吸音性能が明らかではないため、シミュレーションのデータを実行し、吸音性能を調査する。
8. プロトタイプの実験結果と 3D シミュレーションの結果をまとめる
課題：デザインした吸音材は吸音が可能であるのか吸音できる周波数には規則性があるのかどうか不明であるため、結果をまとめデータを可視化しデザインした吸音材は吸音可能かどうか、周波数には規則性があるのかどうか調査する。
9. 今後のプロセスについての検討
課題：デザインした吸音材が製品としての価値を生み出せるように制作プロセスを振り返る。

(※文責: 萩野汰一)

2.3 課題の割り当て

各人の得意分野及び関連性、時間軸のスケジュールを基準に以下のように割り当てた。

1. 現在存在している木材を元に設計されている吸音材について調査する。
森田弦慎 岩谷星弥 萩野汰一 水野蒼太 山崎遥輝
2. 吸音材の使用場面の検討
森田弦慎 岩谷星弥 萩野汰一 水野蒼太 山崎遥輝
3. 松原産業株式会社からいただいた木材の大きさ、材質をまとめる
森田弦慎 岩谷星弥 萩野汰一 水野蒼太 山崎遥輝
4. プロトタイプ制作
森田弦慎 岩谷星弥 山崎遥輝
5. 3D シミュレーション制作
水野蒼太
6. 実験を行い、プロトタイプの吸音性能を確かめる
森田弦慎 岩谷星弥 山崎遥輝 萩野汰一

Computational Upcycling

7. 3D シミュレーションを実行し、デザインした吸音材が実際の部屋サイズのスケールで使用された場合の吸音性能を確かめる

水野蒼太

8. プロトタイプの実験結果と 3D シミュレーションの結果をまとめる

森田弦慎 岩谷星弥 萩野汰一 水野蒼太 山崎遥輝

9. 今後のプロセスについての検討

森田弦慎 岩谷星弥 萩野汰一 水野蒼太 山崎遥輝

(※文責: 萩野汰一)

第3章 活動内容

3.1 前期の活動

初めに、プロジェクトメンバーごとに興味のある素材ごとにグループ分けを行った。その結果、木材をアップサイクルすることに興味を持ったメンバーが集まって木材班として活動を始めた。

最初の活動として、まず自分たちの手でアップサイクルを行ってみることになった。実際にアップサイクルのプロセスを踏むことでアップサイクルへの理解を深め、具体的なビジョンと問題点を見つけやすくなると考えた。実際にアップサイクリングを行う木材として、流木に注目し函館市の海岸からいくつかの流木を直接拾い集めてきた。そうして拾ってきた流木のサイズの測定や特徴調べを行った。そうするとサイズがバラバラなこと、自然物であることから形が複雑であり大きさを測定することが難しいとわかった。特徴としては、長期にわたって自然環境に放置されていたので脆くなっていることがわかった。このことから複雑な加工を必要とせずに、大学の工房でインテリアとして使える花瓶を作成した。実際に作成してみて、木材の加工は簡単ではなく、大学の工房にある道具だけでは、複雑な形をした流木の加工を行うのは難しいという結論になった。

アップサイクルを自分たちの手で行ってみてどこにコンピュータを取り込むことができるのかを考えた。する際に面倒に感じたサイズの測定や複数の木材をもし組み合わせるとしたらそれをどう組み合わせるかなどをコンピュータに任せられるといいのではないかということになった。このことを踏まえてこれからの活動を考えた。

(※文責: 岩谷星弥)

3.1.1 前期にてた案

木材のアップサイクル先として楽器という案も出た。音楽をコンピュータを用いて解析するというのはやりやすく、コンピューショナルアップサイクリングという活動にも合っているのではないかということからこの案が出た。その後、流木を楽器に用いることで普通の木材と比べてどのような利点があるのかを調査した。その結果、独自のデザイン性やアートとしての価値が一般的な楽器より価値が高いことが分かった。しかし、楽器に関する知識がないことが主な理由で実際に作るのは難しく、断念となった。

別案としてここまでどのようにアップサイクルを行うかに目をつけていたが、そもそもアップサイクルを行ったことがない、知らないという人たちにアップサイクルを行う様に促していくことも大切ではないかという意見も出た。今までは、主に民間の人がアップサイクルを行うことを想定して活動していた。しかし、一般の人は、そもそもアップサイクルを行ってみようと思っても材料を入手することが難しいのではないかという考えになった。入手しやすい木材を皿べていると流木が比較的容易であるということがわかり、フリマアプリ上で売買されていることが分かった。そこからフリマアプリにどのような流木が出品されているのか、どのような流木が買われているのかを調査した。調査の結果、丁寧にした処理を行っていること、形が複雑で美しいものが特に買われているということがわかった。ここから価値のない流木の価値を調べてメルカリで販売したときの価値を簡単に調べることでできるアプリなどがあつたらいいのではないかという案が出た。しか

し、この案はメルカリに出品されている商品の画像の著作権の取り扱いが難しいことやノウハウがないなかでの画像処理を用いたアプリ開発の難易度の高さを理由に断念した。

別の案として、アップサイクルに現在興味のない人に興味を持ってもらうことや、アップサイクルの概念や考え方をユーザに理解させることを目的としてアップサイクルをテーマにしたゲームアプリを開発するという案も出てきた。想定したユーザはアップサイクルの基本的な概念や実践方法をあまり知らない人とした。ゲームの内容は、お題をランダムで3D スキャンした木材を5秒だけ見られる、その間に特徴を見つけて覚えておく、無造作に置かれた木材の中から、お題の木材を見つけるという内容だった。しかし、この案は価値の低いものの価値を上昇させるアップサイクルとゲームの内容をうまく結びつけることができているという結論になり、断念することとなった。

他の案としては、アップサイクルの素材をどこで集めるのが適しているのかユーザが書き込んでいくアップサイクルマップや流木を楽器として活用するという案も出ていた。しかし、それらもそれぞれ、あまりにもユーザ任せすぎること、楽器作成は問題解決に結びつけにくいということを理由に断念することになった。

(※文責: 岩谷星弥)

3.2 後期の活動

後期の活動では前期の活動の結局でた案を少し進めては断念を繰り返して結局成果を残すことができなかつたことを反省し、今までやっていたことをリセットして新たに案を出していくことから始めた。

(※文責: 岩谷星弥)

3.3 企業訪問について

担当教員が栗山町にある松原産業株式会社に研究を発表しに行く付き添いで企業訪問を行うこととなった。このことから、企業訪問に向けての準備を進め、その後、実際に企業の活動内容を見てアップサイクルを行うためのヒントを得て、自分たちの活動に活かすことを今後の方針とした。

(※文責: 岩谷星弥)

3.3.1 企業訪問準備

10月19日に木材を加工して様々なデザインの床材を製作している松原産業株式会社に訪問することが決まったので、企業訪問することで実際の現場からどのような廃材が出てくるのかを知りそこからどうアップサイクルを行うのかを考えることを基本の方針とした。企業訪問するにあたって、どのようにすれば不要になった木材の価値を高めることができるのかという案を企業の方々に発表する準備を行った。始めは、使えない木もフローリングにするために、それらを使ったフローリングのデザインを作成するプログラムを開発する、という案も出ていた。しかし、プログラム開発のノウハウがなかったことや決められた面積に図形を敷き詰めるというシステムはもうすでに存在していることがわかりこれは断念した。

どのような木材が床材加工の際に廃材になのか調べてみると節の多い部分や長さをそろえる際の

切れ端などが多いことがわかった。それらの活用方法として吸音材という案が出た。その理由としては、木材には音を吸収する性質があること、使われない木材特有の形を活かしやすいこと、木材を吸音壁として使用している事例が多くあることなどがある。訪問準備として大学の工房にある廃材を利用して吸音材のデザインのプロトタイプを作成した。さらに、これまでの活動からでた疑問点をまとめて企業訪問の際に質問する内容をまとめることなどを行った。

(※文責: 岩谷星弥)

3.3.2 企業訪問

企業に到着してまず初めに、教員の研究発表が行われた。その後に、学生側から現在どのようなアップサイクルの案を考えているのか、まとめてきた質問についての発表を行った。次に、企業側から松原産業株式会社の活動内容や成り立ちなどについての説明が行われた。一通りの説明が済んだ後に、実際に木材の加工が行われている工場の見学を行った。最初に見学したのは、木材を自然乾燥させて反り具合を均等にする現場だった。



図 3.1 木材を自然乾燥する様子

その後に、床材を作成する際に反ってしまっていたり、長さが余ったので切り落とされた木材が集められていたのを発見した。これらの木材は、床材にするには形が悪いが、ただ捨てるには形が整っているものが多かったのでアップサイクルの材料に適していると判断した。



図 3.2 廃棄されていた木材

そして次に、木材を乾燥させる専用の部屋を見学した。自然乾燥だけではなく高温の部屋でより乾燥させ、木材の中の水分を減らすことで加工後に反りが出るのを防ぐことができる。現在、余った切れ端や製品にならなかった木材はこの部屋を暖めるための燃料になっているとのことだった。その後に、乾燥させた後の木材を実際に床材に加工する作業を行う現場を見学した。ここで複数の



図 3.3 木材をより乾燥させるための部屋

木材同士を接合するための凹凸である「めざね」、「おざね」というものを木材の端に加工してつけていることが分かった。この加工が上手くいかなかったものはその部分を切り落として再びきれいな面を作ってから凹凸をつけるための加工を再度行う。これによって出てきた廃材もアップサイクルの材料として使えるのではないかと考えた。こうしてできた凹凸を組み合わせて複数の板を接合することで一つの板を作成する。こうして作成した板を敷き詰めることで普段よく目にする床が作られているとのことだった。



図 3.4 おざね

最後に、特殊な形に木材を加工して特徴的なデザインを作成するための NC ルータの見学も行った。波線のようなデザインや、ひし形を組み合わせて六角形を作ったもの、平行四辺形の板で V 字を作ったものなど普段あまり見かけない、面白いデザインの床材が作られていた。



図 3.5 NC ルータで作成されたもの

3.3.3 企業訪問を通じて

訪問を通じて実際の現場で加工の際に出る廃材は、サイズの微調整のために切り取られるもの、「おざね」、「めざね」と呼ばれている凹凸がついたもの、ひび割れやそりがある製品にならないものが主だということがわかった。そしてそれは、今のところ燃やして燃料にするくらいしか活用方法がないということがわかった。燃やす以外の活用方法を企業側としても求めているとのことだったのでこの端材を使ってアップサイクルを行っていくことにした。理由は、音を吸音するには凹凸があることが重要だということが調べた結果わかっていたので、サイズの調整のために長さは異なるが幅がそろえられた端材やおざね、めざねなどの凹凸のある木材は吸音材としてとても適していること、元の形をあまり加工しないで価値を高めることができるのであればアップサイクルとして適していたからだ。元の形をなるべくそのまま使うことができれば企業側にとっても余計な加工の手間が増えないので良いと考えた。

(※文責: 岩谷星弥)

3.4 プロトタイプ作成

訪問した松原産業株式会社から加工の際に、長さを調整するときに出る端材を送ってもらい、それらを活用して吸音材の製作に取り組んだ。ただの吸音材ではなくその機能を持ちながらも部屋の中に馴染む装飾品としても使うことができるようなデザインを目指した。実際に使われている吸音材のデザインを参考に3つの異なるデザインを考えそれぞれを案1、案2、案3とした。大きさはすべて縦 500mm 横 500mm で製作した。このサイズの正方形の木の板を別で用意し、そこに送っていただいた木材を木工用ボンドを用いて貼り付けるという方法で製作を進めていった。案1、案3については送っていただいた素材で実際に製作することが可能だったので、実物の製作とコンピュータ上で3Dモデリングを行った。案2には、先ほど説明した「おざね」、「めざね」を活用するという案だったが、今回はそれらを入手することができなかったので実際には製作せずに、コンピュータ上で3Dモデリングを行うのみとした。



図 3.6 案1のデザインによるプロトタイプ



図 3.7 案2を3Dモデリングで作成した図



図 3.8 案3のデザインによるプロトタイプ

(※文責: 岩谷星弥)

3.5 実験

実際に製作した吸音材とコンピュータ上の3Dモデリングで作成したものを使って吸音効果を調べるために残響時間を調べる実験を行った。実物を用いた実験と3Dモデリングを使用し、コンピュータ上で行う実験の2通りの方法を行い、結果を比較することでより正確な実験結果を出す方法をとった。

(※文責: 岩谷星弥)

3.5.1 実物を用いた実験

まず実物を用いた実験についてだが、実験はサークル室で行った。これはモノが少なく、部屋に凹凸が少なく、さらに音が反響しやすいので実験を行うのに適した部屋であったからである。当初は音が反響しない無響室で実験を行う予定だったが、これでは吸音材の性能を正しく評価できないことがわかったので、音が反響するサークル室で実験を行うこととなった。実験では案1、案3の吸音材、何もつけていない同じ大きさの木の板、なにも置かなかった場合の4パターンを行った。実験に用いた音源は120Hzの低音、300Hzの高音、人ごみの中の雑音の3つの音源を使用した。これは、音の種類と吸音材のデザインによってどのような性能差が出るのかを調べるためである。マイクと吸音材、スピーカーの設置位置を変えて2パターン（以後位置A、位置Bとする）で実験を行った。マイク、吸音材、スピーカーをそれぞれ台の上に乗せて音の測定開始から2.5秒後に音源を5秒間再生し、音を止めてから2.5秒間測定することで残響時間を調べた。Pythonで0.01秒ごとのデシベル数を測定するプログラムを作成し、吸音率を求めた。詳しい内容については第4章にて説明する。

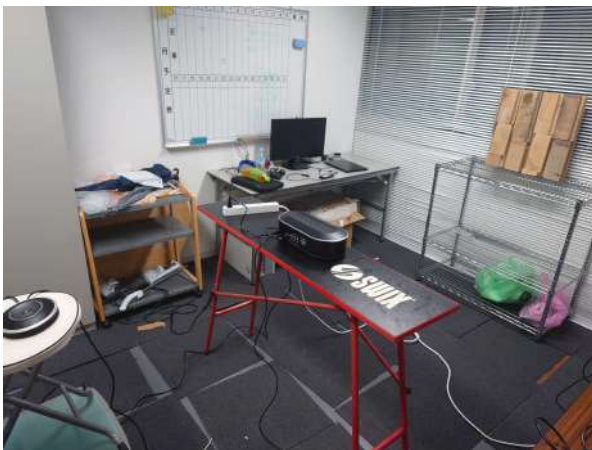


図 3.9 実験風景



図 3.10 実験で使用した何も加工していない板

(※文責: 岩谷星弥)

3.5.2 コンピュータ上での実験

この実験方法では、コンピュータ上で先ほどの実験を行ったサークル室と使用した吸音材の案1、案2、案3を3Dモデリングで作成してシミュレーションを行った。実験方法は、周波数ごとの音の残響時間を算出し、吸音効果がどの程度あるかを検証した。残響時間の算出は音が止まってから60db減衰するまでの時間を調べた。使用した音源は、最も低音が62.5Hz、最も高音で8000Hzと様々な音域の音源を使用した。詳しい内容については第4章にて説明する。

(※文責: 岩谷星弥)

3.5.3 実験結果のまとめ

2つの実験方法の結果をまとめ、比較することでそれぞれの吸音材の性能を評価した。実物を用いた実験とコンピュータ上で行った実験の結果は概ね一致しており今回の実験により作成した吸音材の性能を正しく調べることができた。それぞれの実験結果については、第5章にて詳しく説明する。

(※文責: 岩谷星弥)

第 4 章 課題解決のプロセスの詳細

4.1 それぞれのデザイン案の詳細

それぞれの吸音板のデザインの基盤として、工場で発生する端材の特徴を活かすことを考えた。木の種類は主に、ブナ、ナラを使用している。これらの端材は、長さが短いものから長いものまで幅広く、個々に独自の特徴がある。また、それぞれの材質が頑丈で耐久性があることが特筆される。この特性を生かして、以下の 3 つのデザインコンセプトを考えた。

(※文責: 森田弦慎)

4.1.1 案 1

一つ目の案として、「おざね」、「めざね」がない端材を使用してデザインを考えた。大きいコンセプトとしては、材質のしっかりとした特性を活かし、各端材を堅固に結合して頑丈な吸音板を構築させることである。端材を重ねて接着することで耐久性を向上させ、重ね方を少しずつすることで、表面積を増加させ、より吸音効果が見込めると考えた。



図 4.1 案 1 のデザインによるプロトタイプ

(※文責: 森田弦慎)

4.1.2 案 2

2 つ目の案として、床材に使用する「おざね」や「めざね」と呼ばれる側面に凹凸がついた端材を採用した。このデザインは、音楽室やオフィスで一般的に使用されている「有孔ボード」とウレタン素材の凹凸吸音材を組み合わせるアイデアに基づいている。そのように考えた理由としては、端材も様々な長さがあり吸音材特有の凹凸を表現できると考えた。また、複数の端材を凸と凸、凹と凹にして並べると等間隔に穴が開いているデザインになり有孔ボードととても似ていた。そし

て、有孔ボードの吸音効果をもたらす具体的な要因として、一つ目に音の吸収がある。有孔ボードは、表面に穴や孔があることが特徴であり、これにより音が表面に当たった際に一部が吸収される。これにより、音の反射や反響を抑制し、室内の音響環境を改善する。二つ目に周波数の調整である。有孔ボードは、孔の大きさや配置によって異なる周波数の音を異なる程度で吸収する。これにより、広い周波数範囲での効果的な吸音が可能となる。三つ目に室内響きの軽減である。室内で音が反響しやすい場合、有孔ボードを使用することで反射を減少させ、室内の残響を軽減する。四つ目にデザインの柔軟性である。有孔ボードは様々なデザインやパターンで作られることがあり、これにより室内の装飾やデザインにも適用することができる。吸音材料としての機能だけでなく、視覚的な面でも面白いデザインができる。よって、吸音効果が見込めるデザインになるのではないかと考えた。



図 4.2 案 2 を 3D モデルで作成した図

(※文責: 森田弦慎)

4.1.3 案 3

3つ目の案として、提案 1 と同じ端材を使用してデザインを考えた。デザインの参考としては基本的には提案 2 と同じである。ただ、円を作れる端材ではなかったため、それぞれの端材に間隔を開け、孔のような部分をデザインした。ただし、有孔ボードと異なる点は孔が等間隔ではないことである。端材を加工して等間隔の孔を作ってしまうと、アップサイクルではなくなるため、加工せずそれぞれの素材の長さを活かしつつ、より有孔ボードに近づけることが優先と考えた。



図 4.3 案 3 のデザインによるプロトタイプ

4.2 実物を用いた実験の詳細

実験に使用したサークル室は、4300 × 1970 × 2190mm の大きさであった。また、吸音材を置くための台は 305 × 1205 × 850mm であった。実験に使用したパネルのサイズは統一して 500 × 500mm であり、スピーカー・マイクは YAMAHA のユニファイドコミュニケーションマイクスピーカーシステム YVC-1000 および YAMAHA の拡張マイク YVC-MIC1000EX を使用した。これらの機器を使用して実験を行った。実験の配置方法には、図 4.4、4.5 のように二つのパターンが



図 4.4 実験で使用したスピーカー



図 4.5 実験で使用したマイク

考えられた。位置 A では、室内の中央にパネルを置き、その両側にスピーカーとマイクを配置した。スピーカーは単一指向性であるため、マイクとパネルが向いている方向に音源を流した。これにより、音の伝播と吸音効果を検証した。位置 B では、室内の中央にスピーカーを配置し、その両側にマイクとパネルを配置した。この配置では、スピーカーが音源をパネルが向いている方向に流し、反射した音をマイクが拾うようにした。これにより、反射音の影響を評価した。そして、残響時間の時間を計測するために Python で 0.01 秒ごとのデシベル数を測定するコード [付録 A] を作成した。それを用いてスピーカーに PC をつなげ測定した。

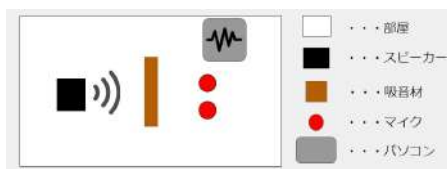


図 4.6 位置 A

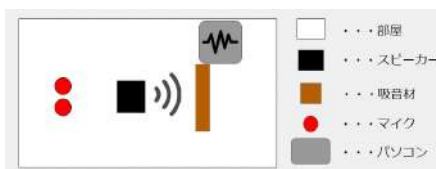


図 4.7 位置 B

さらに、吸音効果を検証するため、計測した残響時間を用いて、吸音率を計算式で求めた。計算式は日本産業規格で示されていたものを用いた [9]。吸音率を求めるうえで、まず、等価吸音面積を計算式 (4.1) を用いて、求めた。ここで、 A は等価吸音面積 m^2 、 v は、実験で使ったサークル室の容積 m^3 、 c は空気中の音速 m/s 、 T は実験で測った残響時間 s を示す。

$$A = \frac{55.3v}{cT} \quad (4.1)$$

なお、 c に関しては、計算式 (4.2) を用いて、求めた。ここで、 t は実験を行ったときのサークル室

内の温度 $^{\circ}\text{C}$ を示す。

$$c = 331 + 0.6t \quad (4.2)$$

そして、計算式 (4.1) で求めた等価吸音面積 A を用いて、吸音率を計算式 (4.3) を用いて、求めた。ここで、 S は実験で使用した吸音材のプロトタイプの面積 m^2 を示す。

$$as = \frac{A}{S} \quad (4.3)$$

求めた吸音率は、小数点第三位を四捨五入し、小数点第二位までの値として求めた。

(※文責: 森田弦慎)

4.3 コンピュータを用いたシミュレーション

今回の研究では、シミュレーションを実施するにあたり、Rhinoceros と Grasshopper というソフトウェアを活用した。Rhinoceros は 3D モデルの作成やレンダリングが可能なソフトウェアであり、その適用範囲は自動車や建築など、多岐にわたるデザイン業務で広く使用されている。一方で、Grasshopper は Rhinoceros 上で動作するビジュアルプログラミング言語であり、人力では扱いきれない大規模なシミュレーションを容易に実行することができる。

このセクションでは、シミュレーションの準備から実施までの具体的な手順に焦点を当て、以下にその詳細を述べていく。

(※文責: 水野蒼太)

4.3.1 準備

Windows 環境において、Rhinoceros の Rhino7 を選択してインストールした。最新の Rhino8 を選択しなかった背景には、必要な Grasshopper のプラグインが最新版に対応していないことがあった。また、Grasshopper を効果的に使用するために、「Pachyderm Acoustic」と「Pufferfish」という 2 つのプラグインをインストールする必要があることがあった。これらのプラグインには、音源やマイクの位置設定、および残響時間を算出するためのコンポーネントなどが含まれている。さらに、Rhinoceros の単位はメートルとした。この選択の背景として、「Pachyderm Acoustic」を使用する際には、寸法がメートルである必要があるためだ。このような準備を整え、実験を進めていく。

(※文責: 水野蒼太)

4.3.2 部屋のモデリング

Rhinoceros を使用して、実験で使用する部屋のモデリングを行った。まず、床を作成する。[Top ビュー] を選択し、[Plane] コマンドを入力する。始点の座標を求められるため、(0,0) と入力し、横と縦の長さである 4.3m と 1.97m を入力し、Enter で決定する。次に、天井を作成する。先ほど作成した床を選択し、[Array] コマンドを入力する。X 方向の数:1、Y 方向の数:1、Z 方向の数:2 と入力し、「Z 方向の間隔または 1 つ目の参照点」は、2.19m と入力し Enter で決定する。最後に、壁を作成する。[Front ビュー] を選択し、[Plane] コマンドを入力する。始点の座標は、(0,0) で、横は 4.3m、高さは 2.19m で入力する。[Top ビュー] を選択し、先ほどと同様 [Array] コマンドを

入力する、X方向の数:1、Y方向の数:2、Z方向の数:1と設定し、「Y方向の間隔または1つ目の参照点」は、1.97mと入力しEnterで決定する。さらに、[Rightビュー]を選択し、[Plane]コマンドを入力する。始点の座標は、(0,0)で、横は1.97m、高さは2.19mで入力する。[Topビュー]を選択し、[Array]コマンドを入力する、X方向の数:2、Y方向の数:1、Z方向の数:1で、「X方向の間隔または1つ目の参照点」は、4.3mと入力しEnterで決定する。

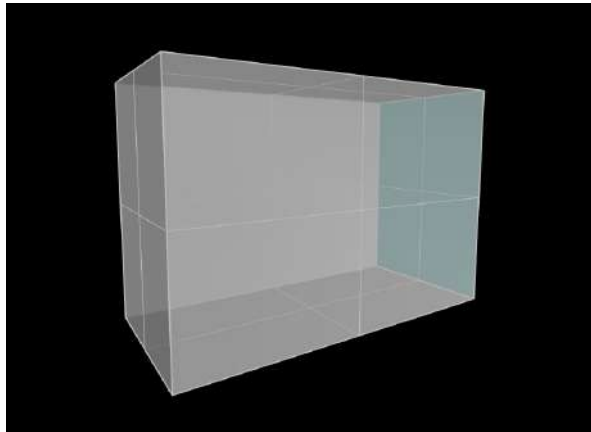


図 4.8 モデリングした部屋

(※文責: 水野蒼太)

4.3.3 吸音パネルのモデリング

Rhinoceros を使用して、3つの吸音パネルをモデリングした。最初に、土台を作成する。[Box]コマンドを入力し、始点の座標を(0,0)と設定し、横0.5m、縦0.5m、高さ0.015mとし、Enterを押して決定する。これを案1~3同様に作成する。

最初に、案1の吸音パネルをモデリングする。[Box]コマンドを使用して端材を作成していく。端材の横の長さは0.085m、高さは0.02mで統一した。縦の長さは端材によって違うため、個別に作成する。使用する端材を土台の上に並べる方法として、[Box]コマンドを使用した際に、最初の始点を(0,0,0.015)と設定することで可能である。一段目の端材と端材の間隔は0.02mとし、二段目の端材は、一段目の端材と0.015mずらして並べる。完成した吸音パネルは、図4.9に示す。

次に、案2の吸音パネルをモデリングする。まず、おざねとめざねがある端材を作成する。[Plane]コマンドを入力し、始点の座標を(0,0,0.015)と設定する。横は0.02mで、縦は0.08mと入力する。次に、おざねとめざねの部分を作成する。[Hide]コマンドで土台を非表示にしてから、[Plane]コマンドを入力する。「平面の一つ目のコーナー」で、中心点を選択し(0.01,0,0.015)と設定する。「もう一方のコーナーまたは長さ」は0.005m、「幅」は0.004mと入力し決定する。さらに、[BooleanDifference]コマンドを入力し、2つのオブジェクトの差を取ることでめざねを作成する。続いて、[Plane]コマンドを入力し、「平面の一つ目のコーナー」で、中心点を選択し(0.01,0.08,0.015)と設定する。もう一方のコーナーまたは長さは0.005m、「幅」は0.004mと入力し決定する。[BooleanUnion]コマンドを入力し、2つのオブジェクトの和を取ることでおざねを作成する。端材は、おざね同士とめざね同士を向かい合わせて並べる。一列目に、高さを0.023mから0.035mの範囲でランダムに設定した端材を並べ、二列目に、高さを0.01mから0.021mの範囲でランダムに設定した端材を並べる。これらを交互に並べることで凹凸を作る。先ほど作成した

オブジェクトを選択し、[Array] コマンドを入力する。X 方向の数:1、Y 方向の数:6、Z 方向の数:1 と設定し、「Y 方向の間隔または 1 つ目の参照点」は、0.084 と入力し Enter で決定する。そして、出来た 6 つのオブジェクトをすべて選択してから、[Array] コマンドを入力し、X 方向の数:25、Y 方向の数: 1、Z 方向の数:1 で、「X 方向の間隔または 1 つ目の参照点」は、0.02 と入力し Enter で決定する。高さは、[ExtrudeSrf] コマンドを使用して、平面を押し出す。モデリングした吸音パネルは、図 4.2 に示す。

最後に、案 3 の吸音パネルをモデリングする。まず、立てている端材は 0.02m の間隔で並べて、寝かせている端材は 0.01m の間隔で並べる。端材は、[Box] コマンドを使用して作成する。立てている端材は、横 0.02m、高さは 0.085m で統一した。また、寝かせている端材は、横 0.085m、高さは 0.02m で統一した。完成した吸音パネルは、図 4.10 に示す。

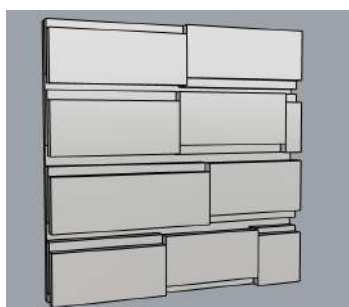


図 4.9 案1

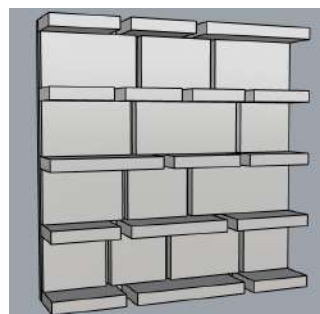


図 4.10 案3

4.3.4 音の可視化

Grasshopper を用いて、音を粒子で表現し、部屋内の音の流れを可視化した。この手法の背後には、部屋内での音の動きを視覚的に理解することで、残響時間の算出においてマイクや吸音パネルの適切な位置を最適化することが可能となるという理由がある。このアプローチにより、実際の音の挙動を視覚的に捉え、実験環境を最適化する手助けとなる。さらに、部屋内の音の数に応じて粒子の色を変化させることで、吸音パネルの効果を直感的に視覚化することも可能である。以下に、この手法を実現する具体的な方法を示す。

最初に、Rhinceros 上で [Grasshopper] コマンドを実行して Grasshopper を起動する。Grasshopper では、様々なコンポーネントを組み合わせて繋ぎ合わせるによりシミュレーションを行う。そして、Grasshopper 上でコンポーネントを使用するには、画面をダブルクリックしてコンポーネント名を入力することにより可能となる。これにより、シミュレーションに必要なパラメータや機能を指定できる。図 4.11 は、実際に音の可視化を行った際の Grasshopper の画面である。ここでは、重要なコンポーネントについてのみ説明する。

はじめに [Visualize Pachyderm Rays] について説明する。このコンポーネントは、「Room」として入力されたパラメータにおいての光線の動きをシミュレーションし、その光線をポリラインとして返すものである。ポリラインとは、線データのことを指す。つまり、部屋内での音の動きを計測して線としてのデータとして返すものである。他の入力パラメータについては、「Src」(音源データの読み込み)、「_X」(端面の指定)、「Bs」(反射回数)の設定がある。「Bs」に関して、本実験では、 $0 < 5 < 10$ の [Number Slider] を入力している。出力パラメータに関しては、「RC」(ポリラインとして返される光線)、「X。」(各光線の終了点)、「t」(遅延)である。

次に、[GeodesicSource] について説明する。このコンポーネントは、音源の情報を設定してい

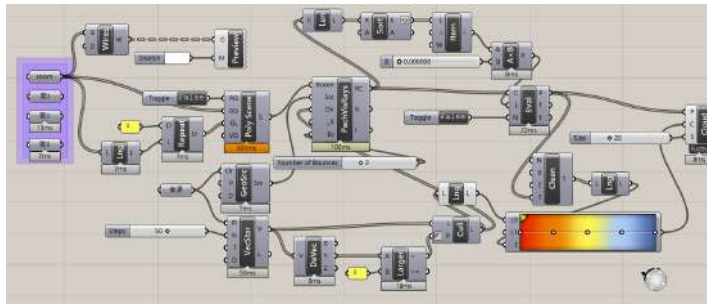


図 4.11 4.3.4 での Grasshopper の画面

る。入力パラメータとして、「Or」は音源位置の設定をするもので、今回は (0.9,0.985,1.1) で指定した。さらに、「P」は周波数の指定をするもので、今回は特に指定はしないがデフォルトで 120db として設定されている。出力パラメータは「Src」で、音源のデータとして出力する。

さらに、[Vector Star] について説明する。このコンポーネントは、音源のベクトルを設定する機能を持つ。特に重要な入力パラメータとして、「PL」と「N」を挙げる。「PL」については、音源ベクトルの向きと位置を定義するものである。また、「N」は再帰的な分割ステップ数を指定するものであり、今回は $0 < 50 < 100$ の「Number Slider」を用いて指定する。出力パラメータの「V」は、分割された結果がリストとして表現される。

続いて、[Polygon Scene] について説明する。このコンポーネントは、音響モデルの表現を行うものである。入力パラメータである「RG」と「GG」の違いについて、「RG」は Rhinoceros のモデルからジオメトリを取得するもので、「GG」は Grasshopper のジオメトリを追加するものである。今回は、Rhinoceros のモデルを [Brep] として Grasshopper 上で設定しているため、「GG」に繋いで使用する。

最後に、[Gradient] について説明する。このコンポーネントは、部屋内の音の粒子数によって色を変化させる機能を持つ。入力パラメータの「L0」は、部屋内での最大の粒子数を指定し、逆に「t」は、最小の粒子数を指定する。結果として、図 4.12-15 のように色が赤から青に変化ようになっていく。

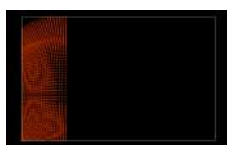


図 4.12 色の変化-1

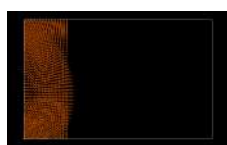


図 4.13 色の変化-2



図 4.14 色の変化-3



図 4.15 色の変化-4

(※文責: 水野蒼太)

4.3.5 残響時間の算出

Grasshopper を用いて残響時間の算出を行う。方法として、まず、吸音パネルが無い部屋の残響時間を算出する。次に、案 1 から案 3 の吸音パネルがある部屋の残響時間をそれぞれ算出する。そして、(吸音パネルが無い部屋の残響時間)-(吸音パネルがある部屋の残響時間) を計算することで、案 1 から案 3 の吸音効果を調べた。周波数は、62.5Hz、125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz、8000Hz で設定し残響時間を調べた。結果は、図 4.16 のように表示される。0

から7はそれぞれの周波数に対応していて、残響時間は秒で算出される。以下に、残響時間を算出するプロセスを示す。

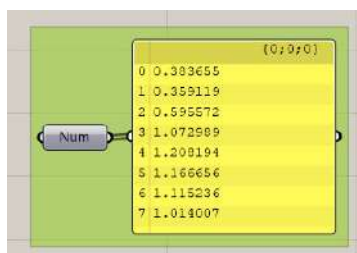


図 4.16 残響時間の差の表

新しい Rhinoceros のファイルを開く。この際、単位はメートルで設定する。最初に、吸音パネルが無い部屋の残響時間を算出する。そのため、4.3.2 でモデリングした部屋をコピーして、ペーストする。ここで、部屋の要素をレイヤーで区別する必要がある。よって、壁、天井、床をそれぞれ名前を付けてレイヤーを設定する。次に、音源とマイクの位置を設定する。[Point] コマンドを入力し、4.3.4 で設定した音源の位置と同じく (0.9,0.985,1.1) で設定する。マイクの位置は、[Point] コマンドを入力し、第五章の 5.2.1 で説明する (3,0.985,1.1) で設定する。次に、部屋の要素それぞれの吸音率を設定する必要がある。しかし、本実験はあくまで吸音パネルのデザインによる吸音効果を調べるためにあるため、部屋内の素材を考慮した詳細な吸音率の設定はしないこととする。[PachyDerm __ Acoustic] コマンドを入力し、「Materials」タブを選択する。「For Layer:」の選択プルダウンから、先ほど設定したレイヤーごとに、62.5Hz から 8kHz それぞれの吸音率を設定する。しかし、前述したとおり詳細な吸音率の設定はしないこととするため、すべてのレイヤーで吸音率を 10 で設定する。

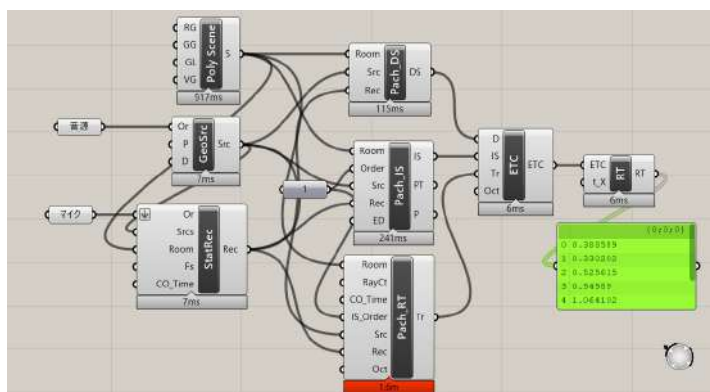


図 4.17 4.3.5 での Grasshopper の画面

次に、Grasshopper を用いて残響時間の算出を行う。図 4.17 は、Grasshopper の画面であり、重要なコンポーネントについて説明する。重要なコンポーネントの一つの [Stationary Receiver] については、マイクの位置を設定するものである。マイクの位置は「Or」で指定する。本実験では、5.2.1 で説明するが (3,0.985,1.1) で設定する。

他に、[Reverbration Time] について説明する。このコンポーネントは、残響時間の算出を行う。入力パラメータについて、「ETC」がエネルギー時間曲線を入力するもので、「t __ X」が定められたデシベル数まで減衰するまで計算を行うものである。

さらに、算出された値を保存する必要があるため、[Number] を呼び出し [Reverbration Time] を [Number] に、[Number] を [Panel] に繋ぐ。それぞれ繋いでから、[Number] を右クリックし

「Internalise data」を選択する。これで、吸音パネルが無い部屋の残響時間を求めることが出来た。

続いて、案1から案3の吸音パネルがある部屋の残響時間をそれぞれ算出する。残響時間の算出方法は、案1から案3まで同様のプロセスであるため、案1の場合のみ説明する。4.2.3でモデリングした案1の吸音パネルをコピーしてRhino上にペーストする。パネルの位置は、第五章の5.2.1で説明する(0,0.985,1.1)で設定する。よって、吸音パネル全体を選択してから[Move]コマンドを入力し、土台の中心点を参照する。そして(0,0.985,1.1)を入力して、吸音パネルの位置を決定する。Grasshopperの画面に戻り、[Reverberation Time]に新たな[Panel]を接続する。そして、計算をリセットするために[Polygon Scene]の[Boolean Toggle]をFalseにしてからTrueする。そうすると、案1の吸音パネルがある部屋の残響時間を計算して算出する。結果として[Panel]に表示された値は、前述した通りに値を保存する。この一連のプロセスを、案2と案3でも同様に行う。

最後に、(吸音パネルが無い部屋の残響時間)-(吸音パネルがある部屋の残響時間)を行う方法を説明する。このプロセスについても案1の場合のみ説明し、案2と案3は同様に行う。[Subtraction]を呼び出し、「A」には吸音パネルが無い部屋の残響時間である[Panel]を繋ぐ。また、「B」には案1の吸音パネルがある部屋の残響時間である[Panel]を繋ぐ。[Panel]を呼び出し、[Subtraction]を繋ぐ。結果として出た値は、図4.18-20に示す。

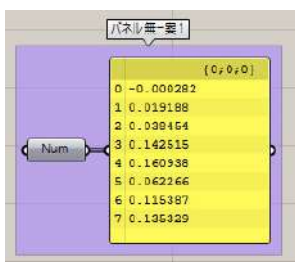


図 4.18 案1の残響時間の差

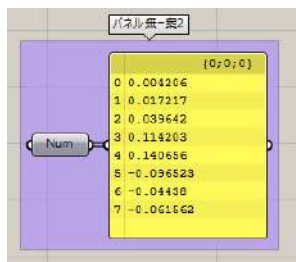


図 4.19 案2の残響時間の差

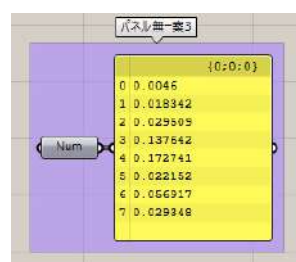


図 4.20 案3の残響時間の差

(※文責: 水野蒼太)

第 5 章 結果

5.1 実物を用いた実験の結果

サークル室で行った実験において、吸音材を置かずに音を流した際、案 1 の吸音材を置いて音を流した際、案 3 の吸音材を置いて音を流した際、吸音材ではない板を置いて音を流した際の結果は図 5.1、5.2 のようになった。

状況	流した音源	-5(dB)から-35(dB)まで下がった時間(s)	吸音率
吸音材無し	120Hz	0.09	132.36
	300Hz	0.02	595.64
	人混みの雑音	0.09	132.36
案1	120Hz	0.04	297.82
	300Hz	0.02	595.64
	人混みの雑音	0.07	170.18
案3	120Hz	0.08	148.91
	300Hz	0.03	397.09
	人混みの雑音	0.05	238.26
吸音材でない板	120Hz	0.08	148.91
	300Hz	0.01	1191.28
	人混みの雑音	0.07	170.18

図 5.1 位置 A の結果

状況	流した音源	-5(dB)から-35(dB)まで下がった時間(s)	吸音率
吸音材無し	120Hz	0.02	595.64
	300Hz	0.02	595.64
	人混みの雑音	0.12	99.27
案1	120Hz	0.03	397.09
	300Hz	0.02	595.64
	人混みの雑音	0.04	297.82
案3	120Hz	0.04	297.82
	300Hz	0.02	595.64
	人混みの雑音	0.16	74.46
吸音材でない板	120Hz	0.02	595.64
	300Hz	0.02	595.64
	人混みの雑音	0.06	198.54

図 5.2 位置 B の結果

(※文責: 山崎遥輝)

5.1.1 吸音材を置かずに音を流した結果

位置 A において、120 Hz の音源で行った実験では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間は 0.09 s であり、吸音率は 132.36 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果では、音

の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。また、人混みの雑音の音源で行った実験結果も位置 A と同じく、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.09 s であり、吸音率は 132.36 であった。

位置 B において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果も音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。一方で、人混みの雑音の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.12 s であり、吸音率は 99.27 であった。

(※文責: 山崎遥輝)

5.1.2 案 1 の吸音材を置いて音を流した結果

位置 A において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.04 s であり、吸音率は 297.82 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。また、人混みの雑音の音源で行った実験結果も位置 A と同じく、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.07 s であり、吸音率は 170.18 であった。

位置 B において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.03 s であり、吸音率は 397.09 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果も音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。一方で、人混みの雑音の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.04 s であり、吸音率は 297.82 であった。

(※文責: 山崎遥輝)

5.1.3 案 3 の吸音材を置いて音を流した結果

位置 A において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.08 s であり、吸音率は 148.91 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.03 s であり、吸音率は 397.09 であった。また、人混みの雑音の音源で行った実験結果も位置 A と同じく、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.05 s であり、吸音率は 238.26 であった。

位置 B において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.04 s であり、吸音率は 297.82 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果も音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。一方で、人混みの雑音の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.16 s であり、吸音率は 74.46 であった。

(※文責: 山崎遥輝)

5.1.4 吸音材ではない板を置いて音を流した結果

位置 A において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間は 0.08 s であり、吸音率は 148.91 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間は 0.01 s であり、吸音率は 1191.28 であった。また、人混みの雑音の音源で行った実験結果も位置 A と同じく、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.07 s であり、吸音率は 170.18 であった。

位置 B において、120 Hz の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間は 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。同様に、300 Hz の音源での実験結果も音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.02 s であり、吸音率は 595.64 であった。一方で、人混みの雑音の音源で行った実験結果では、音の大きさが-5 dB から-35 dB まで下がった時間が 0.06 s であり、吸音率は 198.55 であった。

(※文責: 山崎遥輝)

5.2 シミュレーションの結果

Rhinoceros と Grasshopper を用いてシミュレーションした結果を以下に示す。

(※文責: 水野蒼太)

5.2.1 音の流れを可視化した結果

音の流れを可視化した結果、音は音源から壁に向かって発生し、壁に反射することで減少しながら反対側の壁に向かうことが確認された。この結果に基づき、吸音パネルの最適な配置位置は座標 (0, 0.985, 1.1) であると判断した。また、マイクは吸音パネルに反射した後の音を適切に拾うため、座標 (3, 0.985, 1.1) に配置した。吸音パネルとマイクの配置高さは、どちらも音源の高さに合わせて調整した。

(※文責: 水野蒼太)

5.2.2 残響時間を算出した結果

吸音パネルがない部屋と吸音パネルがある部屋の残響時間の差を、案 1 から案 3 それぞれについて周波数ごとに算出した結果を示すグラフが図 5.3 である。このグラフでは、縦軸が残響時間の差、横軸が周波数を表している。グラフの解釈においては、残響時間の差が正の値である場合は吸音が行われていることを示し、逆に負の値である場合は吸音が行われていないことを示す。この差の詳細な分析により、各案の吸音効果が周波数によってどのように変動するかを明確に把握できる。具体的には、62.5Hz から 250Hz の範囲では、案 1 から案 3 まで吸音効果が確認されたが、その効果は多少の吸音にとどまった。次に、500Hz から 1000Hz の範囲では、すべての案において大きな吸音効果が見られた。最後に、2000Hz から 8000Hz の範囲では特筆すべき結果が観察された。具体的には、案 1 は高い吸音効果があり、特に高い周波数において効果的なデザインであるこ

とが明確となった。逆に、案2では負の値が得られ、パネルがない場合のほうが吸音の効果があるため、高い周波数では吸音効果を得られないデザインであることが示唆されている。

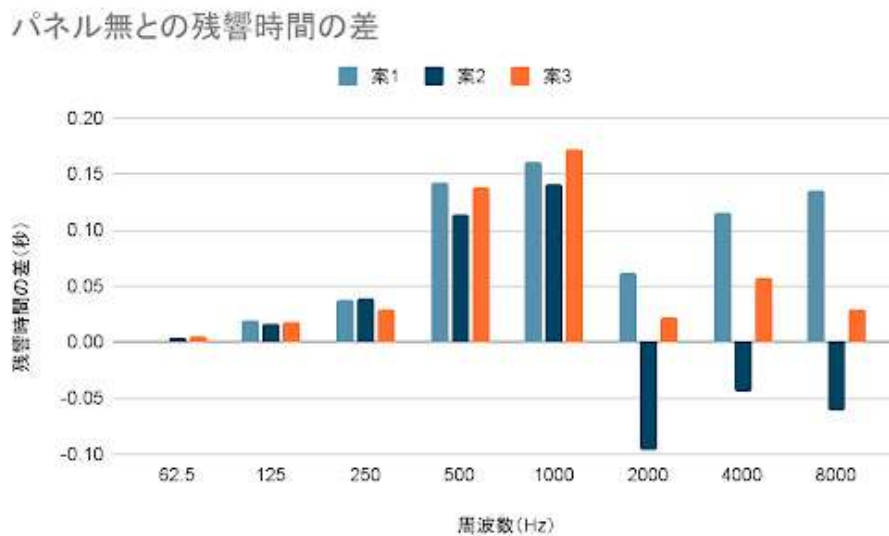


図 5.3 残響時間の差

(※文責: 水野蒼太)

5.3 総合結果

実物を用いた実験とシミュレーションの結果から得られた情報によれば、木材は吸音材としての役割を果たすことが確認された。ただし、周波数の大きさによって残響時間の差や吸音率が大きく変化し、特徴的な結果が得られた。実物を用いた実験結果とシミュレーションの結果比較する。120Hz の音源において、実際の実験では位置 A および位置 B において案 1 が最も吸音性能が高かった。シミュレーションでは、最も近い周波数である 125Hz でも同様に案 1 が最も吸音性能が高かった。次に、実験での 300Hz の音源において、位置 A では案 1 が最も優れた結果を示した。一方で、位置 B では案 1 と案 3 の結果は同等だった。シミュレーションでは 300Hz での検証は行っていないが、周波数の近い 250Hz では案 2 が最も優れていたが、案 1 もかなり近い値を示している。この結果から、実物を用いた実験結果とシミュレーションの結果は概ね一致していると言える。同じ素材を使用しているにもかかわらず、吸音材の形状が吸音される周波数に影響を与えることが明らかとなった。このことから、パネルを配置する環境においてどのような音が発生するかを考慮しないと、吸音の効果が十分に得られない可能性があるだろう。

周波数(Hz)	実験で優れた結果を出した吸音材		シミュレーションで優れた結果を出した吸音材
	位置A	位置B	
120~125	案1	案1	案1
250~300	案1	案1、案3	案1、案2

図 5.4 総合結果

5.4 考察

結果から、120Hz から 125Hz の音源が発せられる場では、案 1 のような表面積が大きい吸音材が最も優れていると考えられる。また、250Hz の音源が発せられる場では、案 1 のような表面積が大きい吸音材と案 2 のような凹凸吸音材が優れていると考えられる。さらに、300Hz の音源を使った実験では、位置 A では案 1 が、位置 B では案 1 と案 3 が優れた結果を出していた。よって、300Hz の音源が発せられる場では、吸音性能が優れているのは案 1 のような表面積が大きい吸音材であり、遮音性能が優れているのは案 1 のような表面積が大きい吸音材と案 3 のような孔のような部分をもつ吸音材が優れていると考えられる。

(※文責: 山崎遥輝)

5.5 評価と問題点

5.5.1 評価

プロジェクトの成果として、現在までほとんど利用されていなかった木材に新たな価値を見出し、それを吸音材としてアップサイクルできたことは非常に良い結果であった。企業から発生する廃材に価値を与えるという課題に関しては、今回開発した吸音材が廃材に対する価値を引き上げる一歩となった。ただし、現時点では企業が利益を上げられるクオリティには達していないため、今後の改良が必要である。今回のプロジェクトでは手作業と限られた素材で吸音材を製作したため、サイズが小さく、クオリティも限定的であった。今後は市販の吸音パネルに近い実用的なものを製作し、それを実際の使用状況でテストする必要がある。これにより、性能の向上と実用性の確認が可能になるだろう。

(※文責: 岩谷星弥)

5.5.2 残された問題点

企業から出る廃材から吸音材を制作した。しかし、私たちは実際に吸音の効果があるかどうか確かめる前に調査した吸音材や文献のデザインや吸音の構造を参考にし、推測のみでデザインの作成を行なった。つまり、プロトタイプ制作と 3D シミュレーションを同時並行で行い、吸音の効果を検証するよりも前にデザインをし、プロトタイプ制作を行っていた。シミュレーションを実施し吸音の効果を検証したのちに、デザインを決めていくことで吸音の効果を高めることが可能であるため、制作プロセスにおいては改善の余地がある。また、デザインした吸音材が実際に製品として販売できるほどの価値はあるのかどうかという問題点もある。松原産業株式会社からいただいた製品に加工されない木材のようにアップサイクルに使われるものには個体差が存在する。個体差があるということは製品の品質を維持することは可能であるかが不明である。私たちが制作した吸音材は木材一つ一つの個体差が吸音の効果にも関わる上に、製造の工程の中で木材の加工も必要になる。したがって、製造を行う企業にとっては加工の工程だけでなく品質の維持にも力を注がなければならない。制作プロセスの再考と実際に製品として企業にとって製造工程を増やしてまで製造

Computational Upcycling

する価値のあるものになるのかは問題点として残されている。

(※文責: 萩野汰一)

第 6 章 今後の課題と展望

6.1 今後の展望

今後の展望として、使用する端材を 3D スキャンして PC 上に読み込ませ、端材の配置を最適化させ、吸音効果が見込めるデザインを提案するという方法が有望だと考えている。ただし、これはソートするだけでなく、吸音の基本原理や吸音材のデザインに関する概念を機械学習させる必要がある。機械学習を活用することで、どのようなデザインが効果的かを理解し、吸音効果の高い配置や形状を提案できるようになる。また、視覚的な多様性も考慮され、唯一無二の吸音材が生まれることが期待される。このアプローチにより、より効果的で個性的な吸音材の開発が可能になり、環境に合わせた最適な吸音効果を実現できるだろう。さらに、機械学習によって新たな吸音デザインの可能性を発見することができ、革新的な吸音ソリューションが生まれることが期待される。

(※文責: 森田弦慎)

付録 A 実験で用いたソースコード

Listing A.1 実験で用いたソースコード

```
pip install sounddevice numpy

import sounddevice as sd
import numpy as np
import csv
import time

def record_sound(duration, interval):
    # 音のデータを保存するリスト
    sound_data = []

    # サンプリングレートとチャンネル数の設定
    sample_rate = 44100
    channels = 1

    # 音のデータを取得するコールバック関数
    def callback(indata, frames, time, status):
        if status:
            print(f"Error: {status}")
        # 音のデータをリストに追加
        sound_data.extend(indata.flatten())

    # 音のデータを録音
    with sd.InputStream(callback=callback, channels=channels,
        samplerate=sample_rate):
        print("Recording...")
        time.sleep(duration)
        print("Recording complete.")

    # データを秒ごとに区切って0.1ファイルに保存CSV
    with open('sound_data.csv', 'w', newline='') as csvfile:
        csvwriter = csv.writer(csvfile)
        csvwriter.writerow(['Time', 'Loudness (dB)'])
```

Computational Upcycling

```
# 秒ごとにデータを処理して書き込む0.1
for i in range(0, len(sound_data), int(sample_rate * interval)):
    segment = sound_data[i:i + int(sample_rate * interval)]
    loudness = 20 * np.log10(np.sqrt(np.mean(np.square(segment))))
    csvwriter.writerow([i / sample_rate, loudness*-1])

if __name__ == "__main__":
    # 測定時間とデータ保存の間隔を設定
    duration = 30 # 測定時間 (秒)
    interval = 0.1 # 保存の間隔 (秒)

    # 音の測定とデータ保存を実行
    record_sound(duration, interval)
```

付録 B シミュレーションで用いたファイル

シミュレーションで用いた Rhinoceros と Grasshopper のファイルを、Google Drive として以下の URL に示す。

<https://drive.google.com/drive/folders/1Jw7seQa5BwHu9Gjb60Ud238Rnow1PX4r?usp=sharing>

参考文献

- [1] 森由夏 (2023) . 日本人が持つ“物に宿るもの”の感覚は日本におけるアップサイクルにどのような影響を与えているのか. 京都精華大学紀要, 56, 195-202.
- [2] OECD. ”原材料資源の利用は 2060 年までに 2 倍増加し、環境に深刻な影響を及ぼす”. OECD より良い政策より 良い暮らし. 2023-03-23. <https://www.oecd.org/tokyo/newsroom/raw-materials-use-to-double-by-2060-with-severe-environmental-consequences-says-oecd-japanese-version.htm>, (参照 2024-01-10).
- [3] 国連経済社会局プレスリリース. ”～持続可能な開発目標 (SDGs) を達成し、人権を実現し、「誰一人取り残さない」ことで、私たちは 80 億人すべてが繁栄する世界を迎えることができる～”. 国際連合広報センター. 2022-11-22. https://www.unic.or.jp/news_press/info/45545/, (参照 2024-01-10).
- [4] 株式会社オレンジページ. ”コロナ禍で、ごみへの意識が変わった!? 「アップサイクル」に興味のある人 65.3 % 日本人の「もったいない精神」に響いている!?”. ニュースリリース. 2021-12-21. https://www.orangepage.co.jp/wp-content/uploads/2023/02/211217kurashi_reliese.pdf, (参照 2024-01-10).
- [5] スペースシップアース編集部. ”島村楽器 | 楽器アップサイクルインテリアで日常に彩りを！誰もが音楽を楽しめる社会をつくりたい”. Spaceship Earth. 2023-04-01. <https://spaceshipearth.jp/shimamura/>, (参照 2024-01-10).
- [6] Oisix ra daichi. ”Upcycle by Oisix フードロスに、新たな価値を”. Upcycle by Oisix. 2023-12-15. <https://upcyclebyoisix.jp/>, (参照 2024-01-10).
- [7] ”UpCycle BERLIN”. UpCycle BERLIN. 2018-05-22. <https://upcycle.berlin/>, (参照 2024-01-10).
- [8] ”STOP WASTING STOP WASTING”. seenons. 2023-08-14. <https://seenons.com/>, (参照 2024-01-10).
- [9] 日本産業規格 (1985) . ”残響室法吸音率の測定方法”, 7-8. <https://kikakurui.com/a1/A1409-1998-01.html> (参照 2024-01-10)
- [10] Gediminas Kirdeikis. (2021, Feb 11). Simulating Accoustics with Rhino and Grasshopper (AAHN15 2021-3) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=t9t5jnw6XTk>.
- [11] Gediminas Kirdeikis. (2021, Mar 17). Calculate sound with Rhino and Grasshopper [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=r9Wol5QKnRA>.
- [12] Sonic Electronix. (2016, Jan 01). 120 Hz Test Tone [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pf-vULfjYK8>.
- [13] Soto Sound. (2018, Apr 13). 【人の話し声 BGM】カフェ (喫茶店) 勉強用や作業用など [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=z6CGT6K5CW0>.
- [14] Test Tone. (2020, Oct 01). 300 Hz Test Tone 1 Hour [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pnKzLK5PuQo>.