慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

| | |
|---|---|
| Title | 日常生活に溶け込むグラス型音楽デバイスの提案 |
| Sub Title | Proposal for a glass-type music device that blends into everyday life |
| Author | 石, 孟晨(Shi, Mengchen)<br>山岡, 潤一(Yamaoka, Jun'ichi) |
| Publisher | 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 |
| Publication year | 2021 |
| Jtitle | |
| JaLC DOI | |
| Abstract | |
| Notes | 修士学位論文. 2021年度メディアデザイン学 第921号 |
| Genre | Thesis or Dissertation |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002021-0921 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2021年度

# 日常生活に溶け込むグラス型
# 音楽デバイスの提案

慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

石　孟晨

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士 (メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

石　孟晨

研究指導コミッティ：

山岡 潤一 専任講師　(主指導教員)

佐藤 千尋 専任講師　(副指導教員)

論文審査委員会：

山岡 潤一 専任講師　(主査)

佐藤 千尋 専任講師　(副査)

石戸 奈々子 教授　(副査)

修士論文 2021 年度

# 日常生活に溶け込むグラス型音楽デバイスの提案

カテゴリ：デザイン

## 論文要旨

音楽は人々の日常生活に欠かせないものである。人間は楽器を演奏することで感情を伝え、他の人とコミュニケーションする。近年、科学技術の発展に伴い、人間が音や楽器の探求は、伝統的な楽器の改良にとどまらず、多くのイノベーターが新しいマテリアルやコンピュータを用いたハードウェアとソフトウェアを利用してインタラクティブな新楽器を創造した。本研究では、複雑性を持つ従来の楽器を簡略化し、IT 技術を用いて「身近な容器と飲料水の機能」を拡張し、音楽プレイヤと楽器の間の音楽デバイスに再定義して、人々が音楽における知識と空間など要因に限らず、日常生活でも音楽のパフォーマンスを楽しめる新たなグラスハープでのグラス型音楽デバイスを作り、ユーザーから体験してもらい、楽器のプレイスタイルが変化するのかを考察することに目的とする。飲食という簡単的な日常生活の動作でこのグラス型音楽デバイスを使うことを通じて、人々の生活を豊かにさせることに目指す。検証実験では、身近な容器でのグラスの壁をを叩いた音の高さが変わるグラス型音楽デバイスのデザインやプロトタイプの実装を行い、ユーザーが実際にこのグラス型音楽デバイスを体験し、デバイス本体の性能と簡単で曲を楽しめるのかを確認する。

キーワード：

日常生活の音楽体験, 新しいグラスハープ , インタラクティブ音楽デバイス

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

石　孟晨

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2021

# Proposal for a Glass-Type Music Device that Blends into Everyday Life

Category: design

## Summary

Music is an integral part of people's daily lives. Humans communicate their emotions and communicate with others by playing musical instruments. In recent years, with the development of science and technology, human exploration of sound and musical instruments has not been limited to the improvement of traditional instruments, but many innovators have created interactive new instruments using new materials, computer-based hardware, and software. This research aims to simplify the complexity of traditional musical instruments, extend the "functions of familiar containers and drinking water" using information technology, and redefine them into musical devices between music players and musical instruments so that people can enjoy musical performances in their daily lives, without limited to factors such as knowledge and space in music. The purpose of this research is to create a new glass-type music device using a harp and to examine whether the style of playing the instrument will change after users experience it. This research aims to enrich people's lives through the use of this Glass-Type music device in the simple daily activities of eating and drinking. In the verification experiment, we will design and implement a prototype of a Glass-Type music device that changes the pitch of the sound made by tapping the wall of glass in a familiar container, and users will actually experience this glass-type music device to confirm the performance of the device itself and whether they can easily enjoy the music and try to play simple songs.

Keywords:

music experience in daily life, new glass harp, interactive music device

Keio University Graduate School of Media Design

Mengchen Shi

# 目　　次

**第 1 章　序論** **1**
1.1. 背景 . . . . . 1
1.1.1 水を活用した楽器 . . . . . 1
1.1.2 グラスハープとグラス楽器の発声原理 . . . . . 2
1.1.3 グラスハープの欠点 . . . . . 4
1.1.4 人の暮らしに溶け込むテクノロジーを用いた日常品 . . . . 5
1.1.5 未来へ向け、アンビエントテクノロージーの活用 . . . . . 5
1.1.6 身近な「グラス」と「液体」を利用するインタラクティビティとリアルタイム性 . . . . . 6
1.1.7 本研究の目的 . . . . . 6
1.1.8 論文構成 . . . . . 8

**第 2 章　関連研究** **9**
2.1. 新たな楽器や音楽デバイスの関連研究 . . . . . 9
2.1.1 インタラクティブアート . . . . . 9
2.1.2 他人と触れ合う電子楽器 . . . . . 9
2.2. ユニークなユーザーインターフェイス「ハイドローロフォン」 . . 10
2.3. デジタル情報を表す泡ディスプレイ . . . . . 11
2.4. IoT 技術を用いた日常品 . . . . . 12
2.5. アンビエントテクノロジー . . . . . 14
2.5.1 アンビエントアンビエントインテリジェンスの定義とシステム . . . . . 14
2.5.2 住宅内で特殊な空間でのインタラクティブな浴室 . . . . . 15

2.5.3 AmI を用いた smart home の事例 . . . . . 17

**第 3 章 デザイン 20**

3.1. コンセプト . . . . . 20
3.2. 音と各要素の関連性 . . . . . 22
3.2.1 水位と音の関係 . . . . . 22
3.2.2 液体の種類の違いと音色の関係 . . . . . 23
3.3. 演奏方法 . . . . . 24
3.3.1 演奏経験者に向ける演奏方法 . . . . . 24
3.3.2 初心者に向ける演奏方法 . . . . . 24
3.4. プログラミング及び音程を調律 . . . . . 25
3.4.1 ソフトウェアコード . . . . . 25
3.4.2 各要素の設定する方法 . . . . . 27
3.5. グラス型音楽デバイスの構造のデザイン . . . . . 29
3.6. グラス型音楽デバイスの部件 . . . . . 31
3.6.1 グラス . . . . . 31
3.6.2 折りたたみグラス . . . . . 31
3.6.3 伸縮装置：リニアモーター . . . . . 31
3.6.4 水位をコントロールするタッチセンサー . . . . . 32
3.6.5 3D Printing リニアモーターと折りたたみグラスをつながる部件 . . . . . 34
3.6.6 3D Printing グラス型音楽デバイスの外観 . . . . . 36
3.7. プロトタイプのプロセス . . . . . 37
3.7.1 Version 1 . . . . . 37
3.7.2 Version 2 . . . . . 37
3.7.3 Version 3 . . . . . 39
3.8. Limitation と Discussion . . . . . 41

**第 4 章 実験検証 42**

4.1. 検証の方法 . . . . . 43

4.2. 実験の目的 . . . . . 43
4.3. 実験の流れ . . . . . 43
4.3.1 実験の流れの表 . . . . . 44
4.3.2 体験の流れ . . . . . 44
4.3.3 実験で比較すること . . . . . 46
4.4. アンケートの質問のまとめ . . . . . 46
4.4.1 「アンケート 1」 . . . . . 46
4.4.2 「アンケート 2」 . . . . . 47
4.4.3 「アンケート 3」 . . . . . 47
4.5. 検証結果 . . . . . 47
4.5.1 「事前調査」の結果 . . . . . 48
4.5.2 「検証 1」の結果 . . . . . 50
4.5.3 「検証 2」の結果 . . . . . 58
4.6. 考察 . . . . . 59
4.6.1 検証結果の考察 . . . . . 59
4.6.2 結果のまとめ . . . . . 61
4.6.3 アンケートからのユーザーの意見と感想 . . . . . 61
4.6.4 改善点 . . . . . 63
4.7. インタービューの考察 . . . . . 63
4.7.1 良かった点 . . . . . 64
4.7.2 改善点 . . . . . 65

**第 5 章 結論** **66**
5.1. 本研究における結論 . . . . . 66
5.2. 今後の展望 . . . . . 67

**謝辞** **68**

**参考文献** **69**

# 図　目　次


1.1　アルモニ [1] より引用 . . . . . 2
1.2　グラス・ハープ . . . . . 3
1.3　ステージで使われたグラス・ハープ . . . . . 4
1.4　新型グラス型音楽デバイス . . . . . 7

2.1　シャボン玉のイメージ [2] より引用 . . . . . 10
2.2　人は「Freqtric Drums」を用いたインタラクション [3] より引用 . 10
2.3　ハイドローロフォン [4] より引用 . . . . . 11
2.4　泡ディスプレイによる表示の例 :「A」[5] より引用 . . . . . 12
2.5　スマートマットライト . . . . . 13
2.6　Aml システムの構成例 [6] より引用 . . . . . 14
2.7　住宅設備ネットワークベースの住環境知能システム [7] より引用 15
2.8　浴槽を利用したシステム [8] より引用 . . . . . 16
2.9　浴槽を利用したシステム [8] より引用 . . . . . 16
2.10　BathDrum のシステム [9] より引用 . . . . . 17
2.11　Xiaomi のプロダクト . . . . . 18
2.12　スマートデバイスとの連携 . . . . . 19

3.1　異なる水位の実験図 . . . . . 22
3.2　異なる種類の液体の実験図 . . . . . 23
3.3　ソフトウェアコード . . . . . 26
3.4　曲 *Little Star* のコード . . . . . 27
3.5　各要素の測量データ関係図 . . . . . 28
3.6　曲 *Little Star* を演奏する際に水の変化 . . . . . 29

3.7 構造イメージ図 . . . . . 30
3.8 上部のグラス . . . . . 32
3.9 伸縮できる折りたたみグラス . . . . . 33
3.10 伸縮装置：リニアモーター . . . . . 33
3.11 水位をコントロールするタッチセンサー . . . . . 34
3.12 3D モデリング構造の一部 . . . . . 34
3.13 3D モデリング：折りたたみグラスとモーターがつながる部分の底 35
3.14 3D モデリング：グラス型音楽デバイスの外観 . . . . . 36
3.15 Prototype Version 1 . . . . . 37
3.16 Prototype Version 2 . . . . . 38
3.17 Prototype Version 3 . . . . . 39
3.18 *Prototype Version 3* の全体像 . . . . . 40

4.1 実験のデバイスと場景 . . . . . 42
4.2 普通のコップを叩く体験する場景 . . . . . 44
4.3 グラス型音楽デバイスの体験 . . . . . 45
4.4 アンケート 1 質問 1 . . . . . 48
4.5 アンケート 1 質問 2 . . . . . 49
4.6 アンケート 2 質問 3 . . . . . 50
4.7 アンケート 2 質問 1 . . . . . 51
4.8 アンケート 2 質問 2 . . . . . 52
4.9 アンケート 2 質問 3 . . . . . 53
4.10 アンケート 2 質問 4 . . . . . 54
4.11 アンケート 2 質問 5 . . . . . 55
4.12 アンケート 2 質問 6 . . . . . 56
4.13 アンケート 2 質問 7 . . . . . 57
4.14 アンケート 3 質問 6 . . . . . 59

# 表　目　次

4.1　検証の方法 . . . . . 43

# 第 1 章
# 序　　論

## 1.1. 背景

### 1.1.1 水を活用した楽器

水は人間の生活に最も身近な物質であり、古代から現代に至るまで、水を演奏媒体とする楽器は数多く存在する。これら液体の水を活用した楽器は独特な音を出すことができる、音の強弱をコントロールしやすい、毎回同じ音ではないなど共通性がある。

風など自然要因を作用した水琴窟は地中に小洞窟を造り、その中に水滴を落し、そこから発生する滴水音を洞窟の壁面に反響せしめる [10]。鈴や和琴のような心地よい音を出す日本式の庭園装飾・楽器である。

最もよく知られている水を使った楽器はグラスハープと呼ばれ、複数のグラスに異なる量の水を注ぎ、濡れた指でグラスの縁を擦ると異なる音を出す。1761 年、ベンジャミンフランクリンは、ミュージカルグラスの演奏を簡単化にするために作られたアルモニカ（図 1.1）という楽器を発明した [1]。アルモニカは、フランクリンが発音部を背の高いグラスから底に穴の開いたボウル状のグラスに変更し、それを大から小へと順に張って、フットペダル（昔ながらのミシンのようなもの）で駆動するドライブシャフトにフレームを横付けしたもので、奏者は楽器の後ろに座り、ペダルを踏みながら濡れた指でグラスボウルの縁に触れ、グラスハープの音を奏でるというもので、グラスハープから派生している。 他の楽器に比べて習得が容易で、弦楽器のように頻繁に調律する必要がなく、グラスの縁を磨くことで永久に調律が可能である。水を活用した楽器グラスハープとアルモニカは指で縁に触れて澄んだ音を出す。しかし、演奏中に指に濡れた水が蒸発することを

起こし、乾燥した指でグラスの縁に擦ると、音は鋭くなったり、演奏に傷をつけてしまったり危険性があるため、指を常に濡らしておく必要がある。そのため、演奏に忙しさをつきまとわせた。この問題に対して本研究では、新たのハープを作り、新しいプレイスタイルを定義し、ユーザーが体験してもらい、楽器のプレイスタイルが変化するのかを考察する。また、本研究では水など液体を用いた音楽デバイスを作って液体の変化が音の変化に影響を与えるかを考察する。

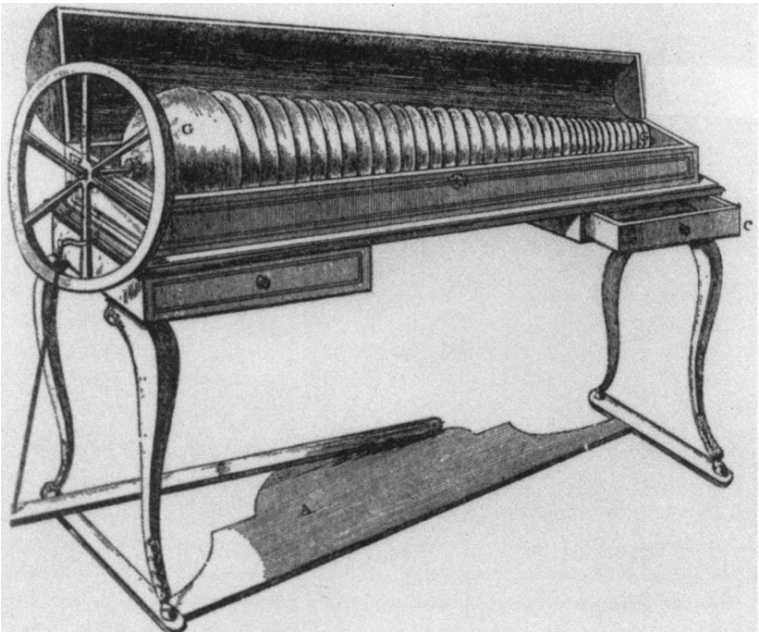


図 1.1 アルモニ [1] より引用

### 1.1.2 グラスハープとグラス楽器の発声原理

人々の生活に溶け込む日用品が楽器になるような音を出すものは世の中にたくさんあるだが、代表的なものにグラスハープがある。 グラスハープとは、ワイングラスなどの椀形のガ ラスを水で濡れた指で擦って音を出す楽器である [11]。 複数のグラスが大きさ順で並び、それらのグラスの中に異なる高さの水を入れ、グラスの縁を擦ると異なる音の高さが出し、澄んだ音で曲を演奏できる。グラスハープは独特な音色を出し、毎回同じ音ではなく、指先の強さを変えることで音色の

強弱が自由に増減でき、無限に伸ばすこともでき、豊かで心地よい音を生み出せる。また、ガラス製の楽器は、音楽が好きな人や演奏家によく使われており、オンラインで演奏されているのをよく見かける。グラス・ハープのイメージは（図1.2）に示す。[1]

図 1.2 グラス・ハープ

ここではグラス・ハープとグラス楽器の発声原理を解釈する。グラスハープバイオリンの弓を弦にこすりつけると振動するように、濡れた指でガラスの縁に触れさせる摩擦によって、振動が起こり、共鳴するガラスからの音で曲を演奏できる。ガラスの振動によって音符が作成される。音符は、ガラスの「厚さ」や「形状」、および「水量」によって異なる。グラス内の水量が異なるため、グラス内の気柱の長さが異なる。グラスを叩くと、グラス本体の振動がカップ内の気柱の振動を駆動する。振動周波数が音の高さを決定し、周波数が速いほど音の高さが高くなるため、高音と低音が異なる。グラス内の水が多いほど、叩いたときの音の高さが低くなり、グラス内の水が少ないほど、叩いた時音の高さが高くなる。こ

1 J. S. Bach - Badinerie on a glass harphttps://youtu.be/_zycKsgvCWQ

れは振動の周波数によるものであり、グラスの壁を叩くと、グラスで発生する共振が異なり、自然に発生する音も異なるため、よく楽器として使われている。

### 1.1.3 グラスハープの欠点

今までステージで使われているグラス楽器が、幾つの音調を出られるため、異なるサイズのグラスを沢山おく必要となり、その不便性と演奏家を複数のグラスにより音の高さを記憶することの難しさに直面する。神秘的な美しい音色を奏でる楽器だが、割れやすいガラス製のため持ち運びが難点である。 演奏者もこのガラスを詰めるのに苦労するだろう。 音程の基準を達成するため、楽器の音程を調節することには時間がかかる問題もある。現代の楽器の研究では、同じカップで水の量を変えずにピッチを変える技術がまだ出ていないので、本研究ではIT技術と組み合わせてこういうグラスを提案した。グラス・ハープを使って演奏するイメージは（図1.3）に示す。[2]

図 1.3 ステージで使われたグラス・ハープ

2 Sugar Plum Fairy by Tchaikovsky - GlassDuo LIVE (glass harp)`https://youtu.be/QdoTdG_VNV4`

### 1.1.4 人の暮らしに溶け込むテクノロジーを用いた日常品

テクノロジーの発展に伴い、多くの日用品がよりインテリジェントになり、これらの製品は人の生活に大きな利便性をもたらした。5G、VR、IoT、AI などの技術が普及し、より科学的・技術的要素を備えた日用品の私たちの生活への浸透は、私たちの生活においてより多様で便利であり、人々の生活の質を向上させる重要な手段でもある。 AI 技術を用いた音響に話しかけ、音声でコントロールする「Amazon Alexa」や、ドライバーレス技術を実現する「Tesla」などの登場により、人々の生活もインテリジェント化し、生活環境やライフスタイルも大きく変化している。具体的な IoT テクノロジーを用いた日用品の例として残量を計測して自動注文する IoT 重量計「スマートマットライト A4」は第二章の関連研究に挙げる。本研究では日用品でのグラスを用いて IT 技術と合わせたグラス型音楽デバイスを作ることに着目するので、日用品テクノロジーは本研究に参考した。

### 1.1.5 未来へ向け、アンビエントテクノロージーの活用

アンビエント (ambient) は「環境の」「周囲の」という意味で、アンビエントサウンド、コンピューティング、アンビエントテクノロージーとアンビエントメディア, アンビエント・インテリジェンス (AmI) など言葉がという言葉は耳にしたことがあると考える。近年アンビエントテクノロージーについての研究が盛り上がっている。以前では技術を理解していない一般の人々にとって、コンピューターは非常に複雑で理解しづらく、私たちが直接使用できる日常のツールではなかった。何十年にもわたる科学技術の発展に伴い、大型コンピュータはますます小型化され、私たちの日常生活に徐々に浸透してきた。今ラップトップ、タブレット、携帯電話などのデバイスは、人々の生活におけるなくてはならない日常品になっている。近年、居住環境、オフィス、車、また他の環境で使用されるアンビエントテクノロジーを登場した。アンビエントテクノロジーを登場はアンビエント・メディアとアンビエント・アートに大きいな影響をもたらした。住宅など環境での音楽演奏システムや新たの音楽デバイスの研究が盛り上がっている。具体的の研究の実例では第二章関連研究に述べる。

### 1.1.6 身近な「グラス」と「液体」を利用するインタラクティビティとリアルタイム性

日常生活では、高価で習得が難しい楽器を、身近なものに置き換えて、簡単な操作で直感的に音楽を奏でることが実現すると考える。本研究では、人々の生活の中で身近なグラスを選択した。その理由はグラスの音はとても美しいので、演奏家や作曲家が舞台で演奏し、楽曲を作る際に水盤楽器としてグラスよく使われている。グラスの長さ、形、直径によって出せる音に影響され、グラスに入れる水の量によって音量の大きさや音の高さが変わる。豊かな音程を得るためには、水の量を変えたカップをいくつも並べる必要がある。この研究では、水を加減することなく、1 つのグラスで複数のピッチ変更を実現させる。人々が面倒な事前設置を減らすことで、いつでもどこでも簡単に音楽を楽しむ体験を実現する。上記のような音楽デバイスを実現するために、私は身近な容器「グラス」と「液体」を使うことを提案する。「グラス」と「液体」が適している理由はグラスを叩いたり、グラスの縁を指で擦ったりすると、自然と物理的な音を発する、それが人の耳に直感的にわかる。即興とは、広辞苑によると「当座に起こる興味」、「その場の興にのって詩歌などを作ること」と示されている [12]。ユーザーが即興で乾杯や棒で叩く、グラスの口辺に触れるなどのやり方で曲の作りを試すし、乾杯を通じたコミュニケーションや飲み物の種類が変わると音が変わることの新たなプレースタイルを定義する。多様性があるプレースタイルからのユーザーと楽器の間のインタラクション体験を強化する。音は本来，一度発せられると消えてしまい，目で見ることも触れることもできない [13]。このグラス型音楽デバイスではグラスに入れた液体の水位の変化がユーザーの操作より変える。ユーザーがそう言った変化が裸眼で目える。音の変化を聞きながら、視覚的にも感じられる。さらにユーザーと楽器の間のインタラクション体験を強化することができる。

### 1.1.7 本研究の目的

本研究では、複雑性を持つ従来の楽器を簡略化し、IT 技術を用いて「身近な容器と飲料水の機能」を拡張し、音楽プレイヤと楽器の間の音楽デバイスに再定義

して、人々が音楽における知識と空間など要因に限らず、日常生活でも音楽のパフォーマンスを楽しめる新たなグラスハープでのグラス型音楽デバイスを作り、ユーザーから体験してもらって楽器のプレイスタイルが変化するのかを考察することに目的とする。人々が飲食という日常的な活動でも簡単に音楽を作れる楽しさを感じさせたいと考えている。乾杯や棒で叩く、グラスの口辺に触れるなどのやり方で曲の作りを試すし、乾杯を通じたコミュニケーションや飲み物の種類が変わると音が変わることを楽しむことで、人々がより楽しい生活を送ることが目的である。具体的なイメージは（図 1.4）に示す。

人々が音楽における知識と空間など要因に限らず、日常生活でも音楽のパフォーマンスを楽しめる新たなガラス・ハープでのグラス型音楽デバイスを作り、ユーザーから体験してもらって楽器のプレイスタイルが変化するのか仮説とし、この仮説を検証するためにユーザーテストを行い、第 4 章の実験検証で実験の過程や実験の結果など詳しく論じる。

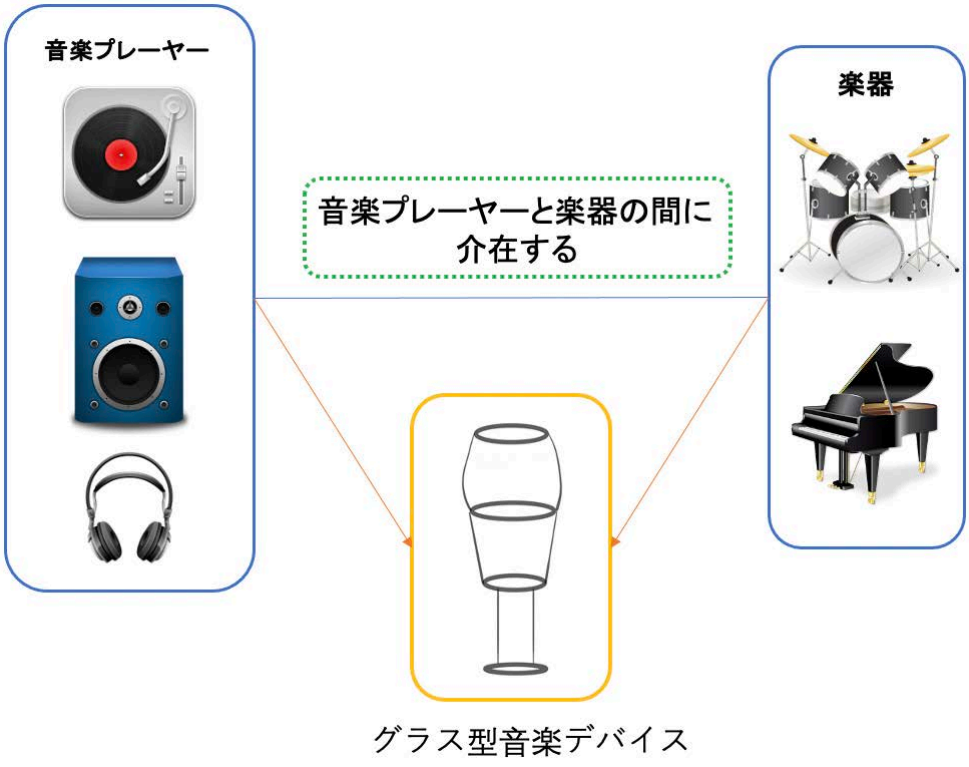



図 1.4 新型グラス型音楽デバイス

### 1.1.8 論文構成

本論文は本章を含めて５章で構成される。第１章ではアンビエントテクノロジーを用いた日用品の紹介と水を使ったグラス楽器の現状を考察し、本研究の目的について述べる。第二章では本研究に関連する先行研究と事例を紹介し、本研究との関連性を論じて本研究へ与える貢献を明らかにする。第３章では本研究におけるコンセプトデザインの過程、身近な容器を用いたプロトタイプのデザインや実装のプロセスについて述べる。第４章では日常生活で音と音楽を楽しめるグラス型音楽デバイスを作る過程、プロトタイプの改善と検証のためにユーザーテストの結果および考察を述べる。第５章では上記４章の結果のまとめ及び今後の展望を述べる。

# 第 2 章
# 関 連 研 究

## 2.1. 新たな楽器や音楽デバイスの関連研究

近年，DTM (Desktop Music) による音楽創造活動が盛んに行われている [14]。DTM ソフトウェアで音楽シートを創り出し、自動演奏機能をつける。こうしたシステムで作った曲は遠隔にいる人にも伝達することができる。他人との協調作曲にも役に立つ。

本研究ではボタンでコントロールに水位を調整できる機能がある。水位は自動的に変化することもできる。これは他の人とのインタラクティブなエンタテイメントの動作ことができると考えられる。この節では新たな音楽デバイスの実例を紹介する。

### 2.1.1 インタラクティブアート

鈴木莉紗氏 [2] のシャボン玉を用いた音楽デバイスでは風などの環境の要素を取り込み、人と環境を結び、アート作品を創り出した。作品は主にコンピュータによる制御されている。この研究のマテリアルはシャボン玉を使っている。シャボン玉の風まかせの動きが作品を制作する空間を絶えず変化させるなどことは作品の効果として期待された。シャボン玉のイメージは（図 2.1）に示す。

### 2.1.2 他人と触れ合う電子楽器

馬場哲晃氏 [3] の「Freqtric Drums」といった研究では聴覚と触覚を同時に利用する新たな電子楽器である。。この楽器が演奏者と聴衆との「触り合い」という触

図 2.1　シャボン玉のイメージ [2] より引用

覚的なインタラクションを提供する。人間の電気的特性を利用することで他人と触れ合うことにより演奏ができる。音楽本来のコミュニケーションの特徴と他人との触り合いでの触覚的な感覚を持ったコミュニケーションの特徴ではさらに楽器のインタラクティブ性を増えた。この電子楽器の構造と人がこのデバイスを使うシンは（図 2.1）に示す。

図 2.2　人は「Freqtric Drums」を用いたインタラクション [3] より引用

## 2.2. ユニークなユーザーインターフェイス「ハイドローロフォン」

ハイドローロフォンは、新しく発明された水の力を使って発音する大型な楽器である。水の列で構成されるユニークなユーザーインターフェイスを持ち、表現力豊かなアコースティック楽器でもある [15]。具体的なイメージは（図 2.4）に示す。

ハイドローロフォンは、マルチチャンネルの inputs 搭載したコンピュータで構成されており [16]、穴の並んだパイプのような形をしていて、指の穴はピアノの鍵盤のように配置され、それぞれの穴から水が流れ出るようになっている。演奏する人の指の間を流れ続けるジェット水流によって発声することを実現された [4]。水が特定の穴から出し演奏者は指で接触する、特定の音が生成する。今ハイドローロフォンは様々な公共区間に設置しており、イベントでもよく使われている。本研究ではアナログ音楽デバイスを作り、同じくアナログ楽器として使っているハイドローロフォンは本研究に参照した。ハイドローロフォンは液体の活用し、水の表現力の拡張も貢献できた。本研究では、ハイドローロフォンにおける水の表現力を参考する。液体の機能を拡張、様々な液体を試し、液体の粘度の変化や、飲み物の種類による音楽デバイスを発声した音色に影響されるのかを考察する。

図 2.3 ハイドローロフォン [4] より引用

## 2.3. デジタル情報を表す泡ディスプレイ

人と人とが直接コミュニケーションする際には言葉とその他に感情をともなうさまざまな伝達手段をもっている [17]。音楽を演奏することは、人おるいは演奏者の気分を伝えるのにとても良い方法である。

音楽は、強さ（ラウドネス）、速度、ピッチ、モダリティ、ピッチの高さ、タイミング、音色など、様々な合図によって感情を伝えることができる。[18]

近年デジタル情報で人の感情を表すの研究を盛り上がっている。石井綾郁らは表示媒体が飲用できる安全な電解液を利用した泡ディスプレイを創り出し、コーヒーや抹茶なの泡立ちやすい性質がある飲料の水面に泡の表情や文字で人の感情や言いたいことを表示する。[19] 彼らが研究した泡ディスプレイによる表示の例：「A」を（図 2.4）に示す。

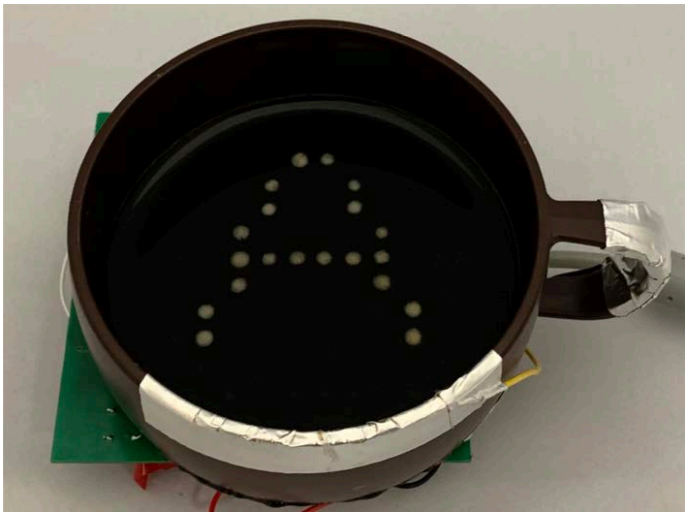


図 2.4 泡ディスプレイによる表示の例：「A」[5] より引用

## 2.4. IoT 技術を用いた日常品

IoT は、将来のテクノロジーにおける最も重要な分野の一つとして認識されており、幅広い業界から大きな注目を集めている [20]。センサーやアクチュエーターが周囲の環境とシームレスに融合し、その情報がプラットフォーム間で共有され、共通のオペレーティング・ピクチャー（COP）が構築されるのである。[21]IoT が様々な領域で応用されるようになり、スマートホームにも踏み込んでいる。[22] IoT テクノロジーを用いた日用品の例として残量を計測して自動注文する IoT 重量計「スマートマットライト A4」を挙げる。「スマートマットライト A4」[23] は、

日用品の重さを検知する重量計であり、日用品の残量を自動計測して Amazon に自動発注する機能が付いている。水やお米や洗洗剤など人々の生活に不可欠な日常品は毎日必要とし、定期的にチェックしてスーパーやオンラインで購入する必要があるものでる。注文するのが手間に感じたり、買い忘れてしまって急に必要になったときにしたりといったこともあるだろう。「スマートマットライト A4」は、そんな悩みを解決できる。日用品は本物に乗せるだけで残量が自動検知される。日用品の量がユーザーの設定した残量を下回ると、自動的に Amazon に注文をしてくれる。残量が簡単で専用サイトで確認できる。具体なイメージは（図 2.5）に示す。買い物の手間を減らしたことで人々簡単で生活することを促進することができた。[1]。

(a) 自動で再注文 (b) 簡単で残量をチェック

図 2.5 スマートマットライト

1 「スマートマットライト A4」https://smartmat-lite.io/

## 2.5. アンビエントテクノロジー

### 2.5.1 アンビエントアンビエントインテリジェンスの定義とシステム

奈良先端科学技術大学院大学の環境知能学研究室はより具体的に「環境知能とは、人々が実際に生活している日常環境において、モノ、コトに関する環境情報を計測・認識・構造化することで、環境そのものが持つ知能のことを意味する」と解釈できる。[24]Diane J.Cooka、Juan C.Augustob、Vikramaditya R.Jakkulaa 氏は「人々の身の回りの環境を柔軟に適応させることで、人間の日常生活に革命をもたらすことが期待されている。」と言える。[25] また、アンビエント・インテリジェンスの分野が発展・成熟していく中で、住環境の改善や家庭の自動化は、ユーザーにとって人気の高い選択肢となっている。AmI 典型的なシステム構成の一例を（図 2.6）に示す。センサ部は人及び人の動作、モノを含む環境を検知することでできる。コンテキストアウェア部はセンサ部から得られたデータを基づく人やモノのコンテキストを検知できる。アクチュエーション部は認識されたコンテキストから人とモノの情報を提示することができる。人に得られた情報を学習や推測ために AI 推論部が内蔵される。

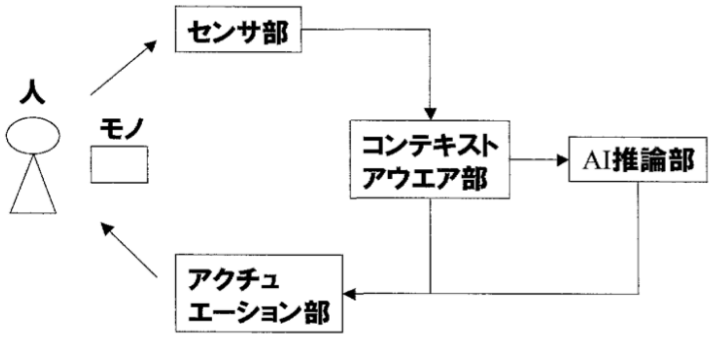



図 2.6 Aml システムの構成例 [6] より引用

住宅設備ネットワークをインフラとして活かして住宅環境知能システムを研究している。[26] テレビ、エアコンなどの家電や住宅設備がネットワークを繋がると。それらの動作状況や人の操作が検知して情報を収集することができる [7]。具

体的なイメージは（図 2.7) に示す。

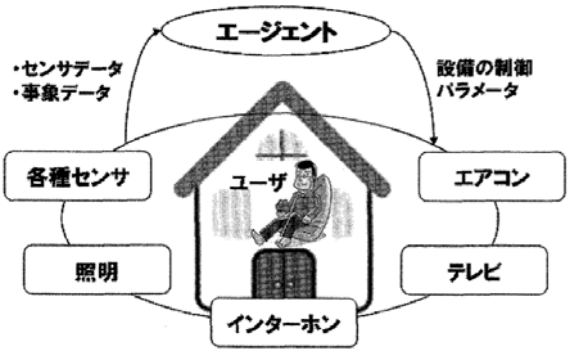



図 2.7 住宅設備ネットワークベースの住環境知能システム [7] より引用

### 2.5.2 住宅内で特殊な空間でのインタラクティブな浴室

平井重行氏は住宅内で特殊な空間といえるインタラクティブな浴室を研究してきている [8]。この論文には 2 つの新しいインタラクティブなエンタテインメント浴室環境システムを実現した。一つ目は Ambient Media である [27] 浴槽を利用したシステムである。入浴者が浴槽内の水を回すなどの動作を通じて、浴槽内の水位変化や水面の振動に応じて，安静状態の場合は湯水を介した心拍・呼吸の計測結果に応じて，効果音や音楽を含むインタラクティブな音をを生成する. システムイメージは（図 2.8) に示す。

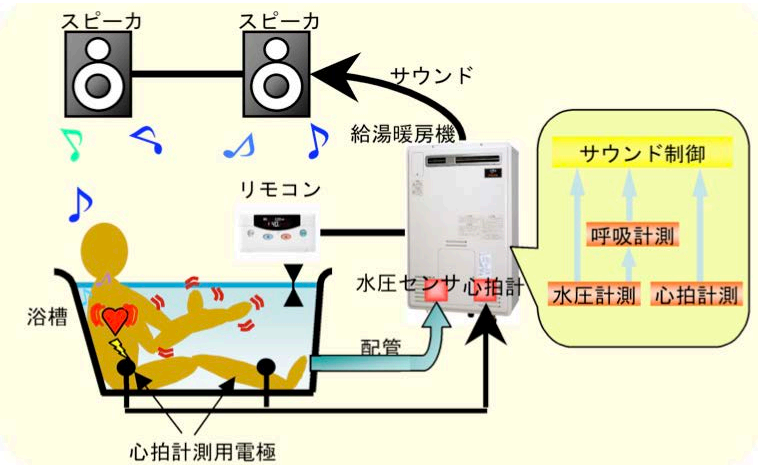



図 2.8 浴槽を利用したシステム [8] より引用

2 つ目の システムでは浴室内にある，カラン，シャワー (シャワーヘッド)，洗面器などの物品の位置を計測するものであり，計測した入浴者の行動を入力としている. どちらのシステムも，従来の環境にあるものを入力インタフェースに利用しており，ユーザーの自然な行為をそのままの形でサウンド制御に利用している. システムイメージは（図 2.9) に示す。こうした浴室では日常生活的に、より楽しめるの入浴行動できると考えられる。

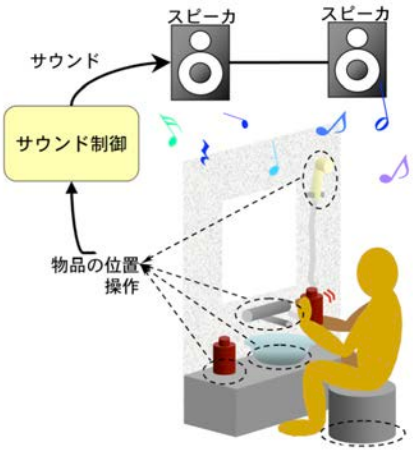



図 2.9 浴槽を利用したシステム [8] より引用

また平井重行氏は浴槽叩打音を利用したお風呂ドラム BathDrum [9] の研究では浴槽を「叩く」インタフェースを提案した。BathDrum は，一般的な浴槽の縁裏側にピエゾセンサを取り付け，浴槽縁の叩打を基に打楽器として動作システムである. 叩打位置検出と叩打音色が認識をリアルタイムで行い、情報に基づいて打楽器としての音がスピーカーから流すことができる。システムイメージは（図 2.10) に示す

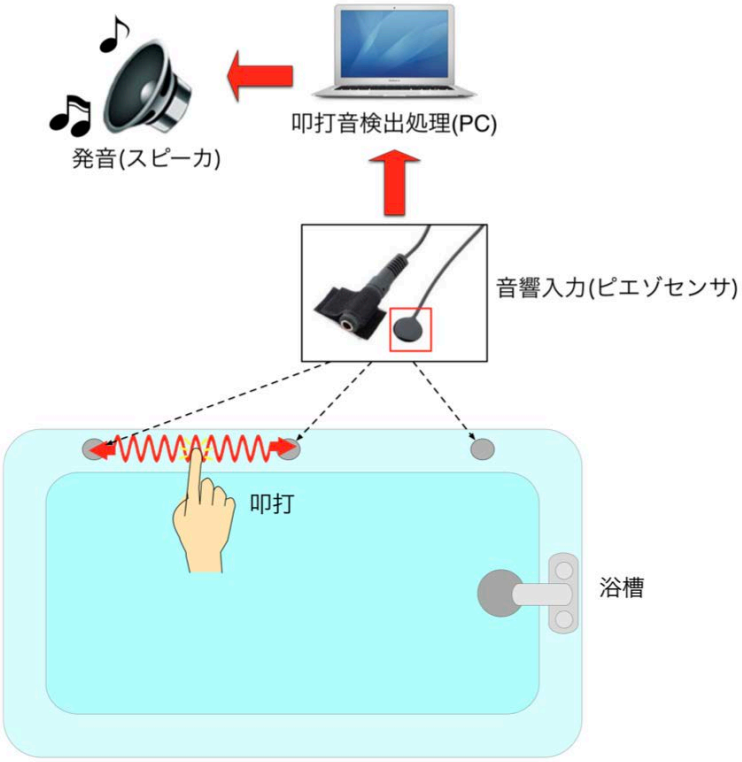



図 1　BathDrum 処理概要

図 2.10　BathDrum のシステム [9] より引用

### 2.5.3 AmI を用いた smart home の事例

近年では、中国ブランド“Xiaomi”のスマートホームの製品徐々に人々の家庭に浸透してきておる。Xiaomi の製品が（図 2.11）に示す。スマートホームシステムを導入した後は、居住者が機器のメンテナンスを行う必要がある [28]。

図 2.11 Xiaomi のプロダクト

ユーザーがドアを開けた瞬間から、Xiaomi Home がもたらす利便なサービスを享受することができる。 ユーザーの設定に応じて、暖かい照明で自然に照らされたドアホワイエに入り、Xiaomi 音響が音楽を流し始め、リビングに入ると、ホワイエの照明が消え、リビングの照明が点灯し、カーテンがゆっくりと自動的に引き出される。 ユーザがソファに座ると、音響で流れる音楽が消え、メインライトの明るさが低くなり、テレビが自動的にオンになり、ユーザーが普段よく見ているチャンネルにジャンプし、ユーザーはソファに座るから、一日の疲れやストレスも一緒に解消できるだろう。アンビエントインテリジェンスが IoT(モノのインターネット) を通じて情報やユーザーの行動を収集してくれる。Xiaomi の各スマートデバイスが連携するイメージは（図 2.12）に示す。[2] ユーザーの言葉や行動に基づいて、ユーザーが何かをするのを手助けする。こういう環境にいると居住者の行動が予測される [29] 。ユーザーが何もしなくても、アンビエントインテリジェンスが予測機能によってユーザーのやりたいことや次の行動を理解し、代わりにやってくれる。[3]。

2 「Tencent：インテリジェントホーム」http://new.qq.com/omn/20210322/20210322a03l0t00.html

3 「Xiaomi のホームページ」https://www.mi.com/index.html

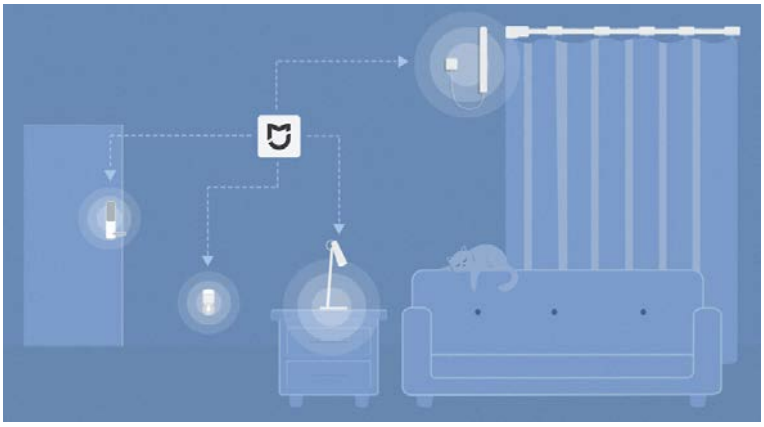


図 2.12 スマートデバイスとの連携

# 第 3 章
# デ ザ イ ン

第 3 章では、コンセプト、システム構造の設計、実装する際に組み立つ過程を論じる。本研究のコンセプトでは、IT 技術を駆使して人々の身近なモノに付加価値を与えることで、日常生活でも音楽の楽しさを感じられる。

本研究では、複雑性を持つ従来の楽器を簡略化し、IT 技術を用いて「身近な容器と飲料水の機能」を拡張し、音楽プレイヤと楽器の間の音楽デバイスに再定義して、人々が音楽における知識と空間など要因に限らず、日常生活でも音楽のパフォーマンスを楽しめる新たなグラスハープでのグラス型音楽デバイスを作り、ユーザーから体験してもらって楽器のプレイスタイルが変化するのかを考察することに目的とする。飲食という簡単的な日常生活の動作でこのグラス型音楽デバイスを使うことを通じて、乾杯や棒で叩く、グラスの口辺に触れるなどのやり方で曲の作りを試すし、乾杯を通じたコミュニケーションや飲み物の種類が変わると音が変わることを楽しむことで、人々の生活を豊かにさせることに目指す。このコンセプトを実現するために、幾つの構造を設計し、素材を試したことがあったため、この章には、筆者の試行錯誤の経験や実験する際に発見した遊び方の詳細についても述べる。

## 3.1. コンセプト

本研究でデザインした「日常生活に溶け込む容器と液体を用いた音楽デバイス」は音楽や楽器がもっと身近にと思いで、時間や場所に関わらず、簡単で「叩く」「触れる」を操作し、身近な容器を加工することで音楽プレヤーと楽器の間の音楽デバイスに再定義して、音楽を楽しめることが実現できる。

楽器の歴史は何千年も前にさかのぼり、楽器のイノベションと発展は現在までは様々な種類の楽器が存在し、その表現も多様化している。 近現代では、電子楽器の発明されることにより、従来の大型の楽器は徐々に小型化され、持ち運びや音楽制作が容易になった。電子楽器を使うための「技術」が必要であり，その「技術習得」の鍛練が前提となる。[30]。しかし、楽器の習得には、音楽性を身につけるだけでなく、音楽理論を学ぶためにも、時間をかけて日々の練習を重ねる必要がある IT 技術の IT 技術の急速な発展と伴い、楽器がなくても、Logic pro x や Cubase などの音楽制作ソフトを使うだけで、メロディや曲を作ることができるようになった。日常生活の中で、趣味として音楽でリラックスしたい人にとって、仕事や学校でストレスを溜まった後や疲れた後、せっかくの自由時間に楽器の練習に多くの時間を費やすことは難しいだろう。日常生活では、高価で習得が難しい楽器を身近なものに置き換えて、簡単な操作で直感的に音楽を奏でることが実現すると考える。本研究では、人々の生活の中で身近なグラスを選んだ。その理由はグラス音はとても美しいので、演奏家や作曲家が舞台で演奏し、楽曲を作る際に水盤楽器としてグラスがよく使われている。グラスの長さ、形、直径によって出せる音に影響され、グラスに入れる水の量によって音量の大きさや音の高さが変わる。豊かな音程を得るためには、水の量を変えたグラスをいくつも並べる必要がある。この研究では、水を加減することなく、1 つのグラスで複数のピッチ変更を実現させる。人々が面倒な事前設置を減らすことで、いつでもどこでも簡単に音楽を楽しむ体験を実現する。上記のような音楽デバイスを実現するために、私は身近な容器「グラス」と「液体」を使うことを提案する。「グラス」と「液体」が適している理由は

- グラスを叩いたり、グラスの縁を指で擦ったりすると、自然と物理的な音を発する、それが人の耳に直感的にわかること
- 人がグラスを叩くと、グラスがすぐに［音］で反応してくれる。 これは、人とグラスのインタラクションと言えること
- グラスを叩いたり縁を指で擦ったりしたときの音の変化が、グラスの中の液体の変化と水位の変化としてはっきりとわかること

と挙げられる。

## 3.2. 音と各要素の関連性

このグラス型音楽デバイスを演奏した音色は液体の種類に影響され、音の高さはグラスに注水した水位の変化で、音の高さがわわる。また、叩く棒の違いによる音色も違うと考えられる。この節では音と各要素の関連性について述べる。

### 3.2.1 水位と音の関係

本研究におけるグラス型音楽デバイスはグラス・ハープと同じく発声原理である。グラス内の水量が異なるため、グラス内の気柱の長さが異なる。グラスを叩くと、グラス本体の振動がグラス内の気柱の振動を駆動する。振動周波数が音の高さを決定し、周波数が速いほど音の高さが高くなるため、高音と低音が異なる。グラス内の水が多いほど、叩いたときの音の高さが低くなり、グラス内の水が少ないほど、叩いた時音の高さが高くなるとこうする。実験の図は（図 3.1）に示す。本研究で作った音楽デバイスはタッチセンサーを触れると折りたたみグラス

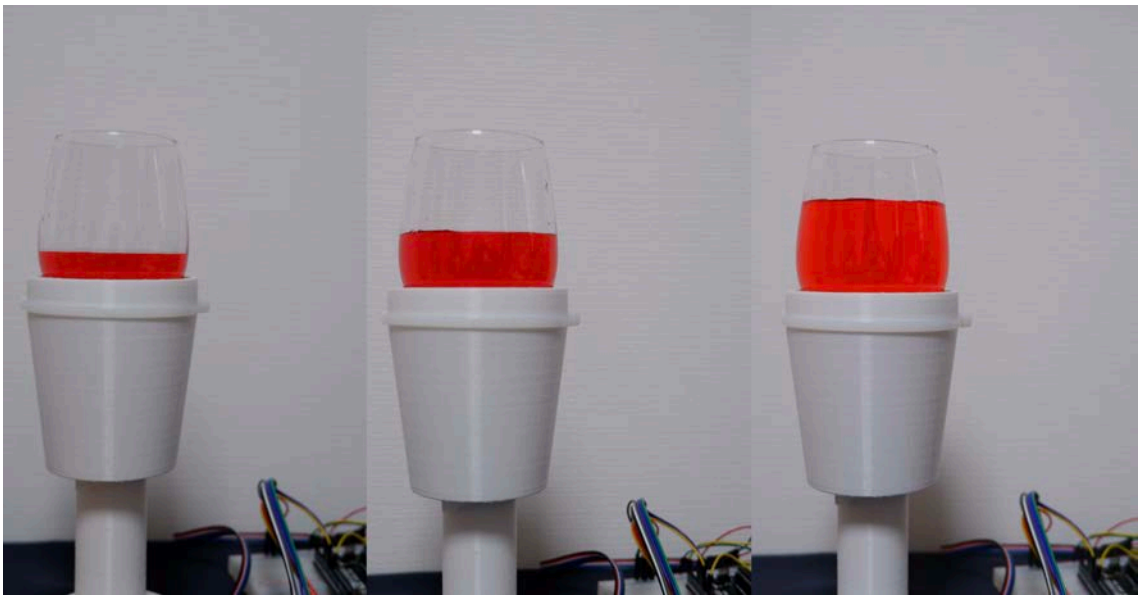


図 3.1 異なる水位の実験図

を伸縮することをコントロールすることによりグラス内の液体の水位を変化できる。そうしたグラスがリアルタイムで水位をコントロールしながら、ユーザーが「叩く」、「触れる」とこにより異なる音の高さがコントロールできる。

### 3.2.2 液体の種類の違いと音色の関係

本研究のグラス型音楽デバイスにおける発声することに身近な液体は不可欠な要素であり、液体の粘度や密度より音色に影響されると考えられる。粘度が高い液体では音色が鋭く、粘度が低い液体では音色が低くことが考える。この考えを検証のためにはバージョン２のプロトタイプを利用して実験した。上記の予想を検証できた。この実験では水、ビール、ヨーグルト、コーラをデバイスに入れて叩き、液体の粘度や密度は音色に影響を与えるのかを検証した。実験の図は（図3.2）に示した。ヨーグルトと水の粘度はビールとコーラの粘度より高く、音色もより鋭かった。本研究で作ったグラス音楽デバイスに異なる粘度の液体を入れたら、音色が変わられる。

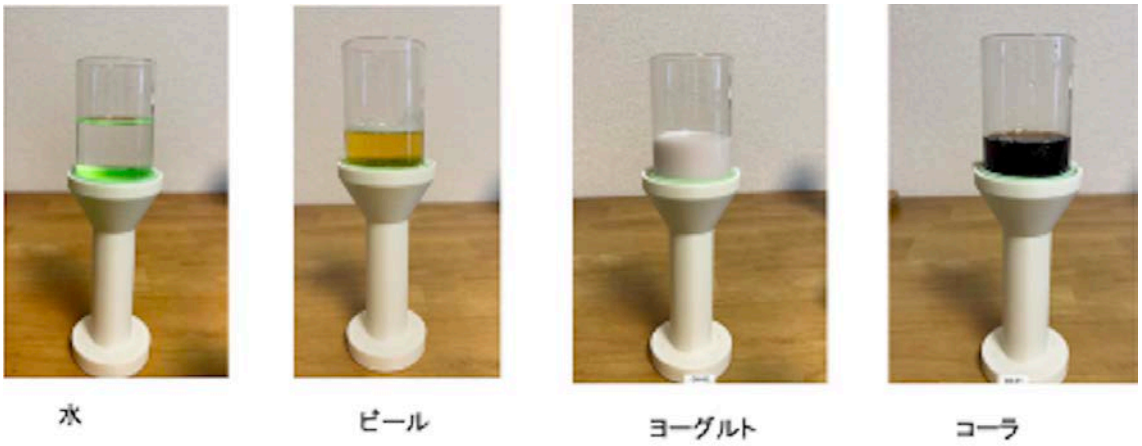



図 3.2 異なる種類の液体の実験図

## 3.3. 演奏方法

このグラス型音楽デバイスは主に 2 つのプレーする方法で音楽を楽しめる。一つ目はタッチセンサーをコントロールしながら、グラス内の水位を変更し、音の高さを変わって、身近な箸や金属のストローなどの「棒」でグラス型音楽デバイス自体にタイミングでよく叩くこと。二つ目はタッチセンサーをコントロールしながら、グラス内の水位を変更し、音の高さを変わって、水で濡れた指でグラスの口の縁に擦って発声した音で音楽を楽しめる。

また、音楽の経験者と初心者が音楽における知識や音感が異なるので、演奏経験者と初心者に向ける異なる演奏方法が考えた。

### 3.3.1 演奏経験者に向ける演奏方法

演奏経験者は音楽の経験したことがあり、予め自分でメロディをパソコンで作られる。パソコンでプログラムソフトウェア通じて、簡単にメロディをプログラムで作られ、作った曲がミュージックライブラリとして保存できる。具体的な事例のコードは図（図 3.3）に示した。

また、演奏経験者はメロディをタッチセンサーでリアルタイムで作られる。演奏経験者が少なくとも音符などの音楽の知識があり、本研究で作ったグラス型音楽デバイスはピアノ鍵盤に似ている三つタッチセンサーが設置しており、ユーザーが作りたい音のセンサーに触れると、水位をその音のステージに変更し、ユーザーが簡単でリアルタイムで好きなタイミングによる「叩く」、「触れる」リズムと合わせてメロディを作られる。

### 3.3.2 初心者に向ける演奏方法

初心者は直感的なゲームの感じでタイミングを把握して「叩く」、「触れる」ことができる。初体験の時はオープンリソースからメロディをダウンロードし、「叩く」リズムで音楽を楽しめることが可能である。

## 3.4. プログラミング及び音程を調律

### 3.4.1 ソフトウェアコード

このデバイスが楽譜を読む必要がない。音楽の知識がない人も直感的なゲーム感覚で楽しめる。プログラムソフトウェア通じて、簡単にメロディがプログラムで作られ、作った曲がミュージックライブラリとして保存できる。例として、本研究の実験検証における体験 2 で被験者体験してもらった曲「Little Star」のコードは（図 3.3) に示した。

little_star §

```
#include <Servo.h>

Servo myservo;  // create servo object to control a servo

// this constant won't change:
const int  buttonPin = 5;    // the pin that the pushbutton is attached to
const int ledPin = 13;       // the pin that the LED is attached to

// Variables will change:
int buttonPushCounter = 0;   // counter for the number of button presses
int buttonState = 0;         // current state of the button
int lastButtonState = 0;     // previous state of the button

void setup() {
  // initialize the button pin as a input:
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  // initialize the LED as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  // initialize serial communication:
  Serial.begin(9600);

     myservo.attach(9);
}

void loop() {
  // read the pushbutton input pin:
  buttonState = digitalRead(buttonPin);

  // compare the buttonState to its previous state
  if (buttonState != lastButtonState) {
    // if the state has changed, increment the counter
    if (buttonState == HIGH) {
      // if the current state is HIGH then the button went from off to on:
      buttonPushCounter++;
      Serial.println("on");
      Serial.print("number of button pushes: ");
      Serial.println(buttonPushCounter);
    } else {
      // if the current state is LOW then the button went from on to off:
      Serial.println("off");
    }
    // Delay a little bit to avoid bouncing
    delay(50);
  }
  // save the current state as the last state, for next time through the loop
  lastButtonState = buttonState;

  if (buttonPushCounter == 1) {

    myservo.write(135);
  }
  if (buttonPushCounter == 2) {

    myservo.write(40);
  }
  if (buttonPushCounter == 3) {

    myservo.write(65);
  }
  if (buttonPushCounter == 4) {

    myservo.write(80);
  }
  if (buttonPushCounter == 5) {

    myservo.write(90);
  }
  if (buttonPushCounter == 6) {

    myservo.write(100);
  }
  if (buttonPushCounter == 7) {
    myservo.write(120);
  }
  if (buttonPushCounter == 8) {

    myservo.write(135);
  }
}
```



図 3.3 ソフトウェアコード

### 3.4.2 各要素の設定する方法

このグラス型音楽デバイスではプログラムソフトウェアを通じて、メロディや曲の再生するためプログラムで作られる。ここでは本研究で実験した曲「Little Star」を例として解説する。曲「Little Star」のソフトコードは（図??）に示した。

```
little_star
  // save the current state as the last state, for next time through the loop
  lastButtonState = buttonState;

  if (buttonPushCounter == 1) {

    myservo.write(135);
  }
  if (buttonPushCounter == 2) {

    myservo.write(80);
  }
  if (buttonPushCounter == 3) {

    myservo.write(40);
  }
  if (buttonPushCounter == 4) {

    myservo.write(80);
  }
  if (buttonPushCounter == 5) {

    myservo.write(90);
  }
  if (buttonPushCounter == 6) {

    myservo.write(100);
  }
  if (buttonPushCounter == 7) {

    myservo.write(120);
  }
  if (buttonPushCounter == 8) {

    myservo.write(135);
  }
}
```

図 3.4　曲 *Little Star* のコード

プログラムでモーターの長さをコントロールでき、コードを書くと水位は特定な位置に固定できる。音は本研究におけるデザインした音楽デバイス自体のサイズに限られ、音階が大幅に変化できらず、曲の一部のメロデイをプログラムで編集したが、音の高さは不正確な可能性がある。曲「Little Star」を編集する際に考えた変量のでは水量、引っ張る部分モーターの長さ、プログラム数字、水位の深さである。その中で、水量は一度確定したら、二度目の変更は必要がない。プログ

ラム数字は引っ張る部分モーターの長さ及び水位の深さに変化され、音の高さもプログラム数字で決められる。各要素の測量データ関係図は（図 3.5）に示した。

| 音符 | Do | Sol | La | Sol | Fa | Me | Re | Do |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水の深さ | 14.5cm | 13.2cm | 12.5cm | 13.2cm | 13.5cm | 13.8cm | 14.1cm | 14.5cm |
| 水量 | 0.5kg | 0.5kg | 0.5kg | 0.5kg | 0.5kg | 0.5kg | 0.5kg | 0.5kg |
| 引っ張る部分<br>モーターの長さ | 3.0cm | 1.2cm | 0.1cm | 1.2cm | 1.6cm | 1.9cm | 2.1cm | 3.0cm |
| プログラム数字 | 135 | 80 | 40 | 80 | 90 | 100 | 120 | 135 |

図 3.5　各要素の測量データ関係図

一部曲「Little Star」のメロデイを演奏する際に水位の変化図は（図 3.6）に示した。

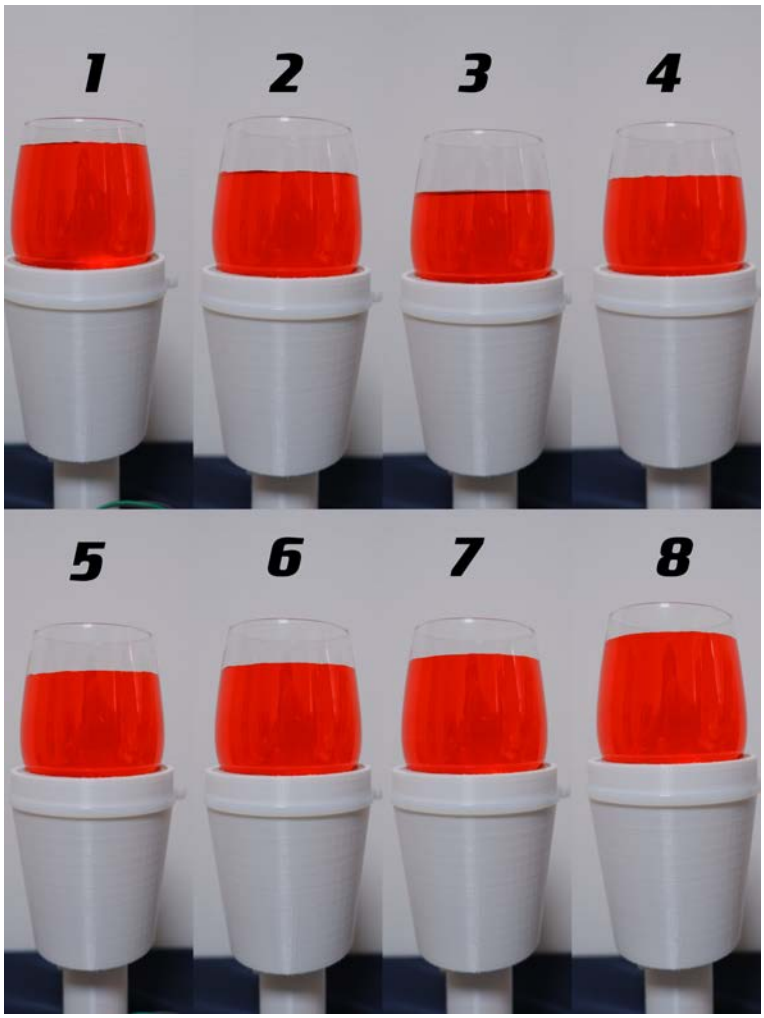



図 3.6　曲 *Little Star* を演奏する際に水の変化

## 3.5. グラス型音楽デバイスの構造のデザイン

この節では装置の構成について述べる。このグラス型音楽デバイスには、ガラス製グラス、折りたたみ式ラバーグラス、Arduino　Uno 基盤、リニアアクチュ

エータというモーター（伸縮装置）、タッチセンサー、3D プリントした外観を含めている。グラスには底がなく（ガラス管ともいう）、グラスの下側には折りたたみ式のラバーグラスが取り付けられており、伸縮装置がしっかりと接続されている。Arduino　Uno 基盤で伸縮装置とタッチセンサーに接続されており、タッチセンサーがモーターを制御するという効果を得ることができる。タッチセンサーに触れると、折りたたみ式ラバーグラスが伸縮できる。グラスの下には、折り畳み式のラバーグラスやモーター搭載したため、3D プリンターでこれらのデバイスを包み込むような外観がある。このグラス型音楽デバイスに水を入れた後、ユーザーはタッチセンサーに触れることで水位の変化をコントロールすることができる。構造イメージ図は（図 3.7）に示す。

図 3.7　構造イメージ図

## 3.6. グラス型音楽デバイスの部件

### 3.6.1 グラス

本研究ではワイングラスの形と相似しているカーブがつけるガラス製グラス（図3.8）を選択した。グラスのサイズは 7.7cm × 7.7cm × 8.9cm 、グラスの容量は300ml である。このグラスは、口あたりの上質感を追求し、薄く設計されておる。グラス壁の厚みや容量は音色や音程の変化に影響される。前のバージョンのプロトタイプで使用したストレートなガラス管は壁が厚く、叩く音が鈍くなった。また、ストレートなガラス管なので、グラス口の縁を濡れた指でこすって音を出すことはできなかった。最終バージョン実装したプロトタイプでは、上記の問題点を改善するためには薄壁のグラスが選択された。結果は音がクリアになり、耳に心地よく響くようになった、「叩く」や「摩擦」のプレースタイルで出した音のピッチが著しく高くなったこともできた。赤ワイングラスに似た形の曲げグラスを選ぶことで、濡れた指でグラスの口をこするプレースタイルも実現し、プレースタイルの多様化に豊富した。この装置では、グラスの底に穴を開け、グラスと折りたたみグラスを組み合わせて連結し、水位調節がしやすいようにしている。

### 3.6.2 折りたたみグラス

本研究で使用した折りたたみグラス（図 3.9）の容量は 200 ml、材質は食品級シリコーングラスである。この折りたたみ式グラスは壁が厚く、以前のバージョンのプロトタイプよりも多く音の音程が幅広く調整できることになった、装置自体もより調整しやすく、頑強なものになっている。

### 3.6.3 伸縮装置：リニアモーター

（図 3.10）モーター名：Actuonix L12 リニアアクチュエータ 30mm
製品のハイライト；

- ピークパワーポイント：23 N @ 6 mm / 秒

図 3.8 上部のグラス

- ギア比：100：1
- 最大速度（無負荷）: 12 mm / 秒
- 入力電圧：12V
- ストール電流：5 V および 6 V で 450 mA、12 V で 200 mA
- ストローク：30mm

音楽デバイスにおける作用では、リニアモーターが折り畳みを伸ばしたり折り込んだりしてグラスに注がれた水位の高さを変える。

### 3.6.4 水位をコントロールするタッチセンサー

ユーザーはタッチセンサー（図 3.11）をタッチするとグラスの水位を高くなったり、低くなったりすることをコントロールをできる。Ardiuno Uno 基盤を通じて上述のリニアモーターと繋がって折り畳みグラスを伸縮することが可能になる。

TTP223B スイッチモジュールデジタルタッチセンサー静電容量式タッチこれ

図 3.9 伸縮できる折りたたみグラス

図 3.10 伸縮装置：リニアモーター

はタッチセンサーの「瞬間的な」種類である。 タッチするとオンになり、放すとオフになる。正と負をタッチ面として使用でき、従来のタッチボタンを置き換えることができる。モジュールの表面を覆う薄い紙（非金属）に加えて、正しいタッチ位置である限り、ボタン、壁、デスクトップ、およびその他の部分に隠すことができる。このモジュールは、タッチセンシング IC（TTP223B）静電容量式タッチスイッチモジュールに基づいている。 通常状態では、モジュールはロー、ローパワー消費を出力する。 指が対応する位置に触れると、モジュール出力がハイになる。12 秒間触れないと、ローパワーモードに切り替わる。

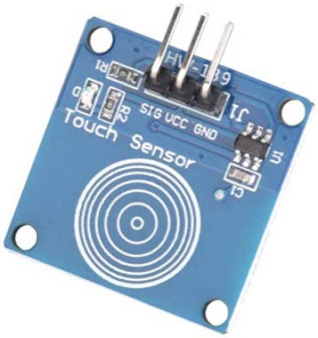



図 3.11 水位をコントロールするタッチセンサー

### 3.6.5 3D Printing リニアモーターと折りたたみグラスをつながる部件

3D 技術を活用してリニアモーターと折りたたみグラスをつながる部分は 3D プリンティングした（図 3.12）。この小さなパーツは、グラスの 2 つの部分をつなぐ役割を果たしている。 上部は空洞になっており、折り畳み式のグラスを円形に回転させてこの部分に固定できるようになっている。

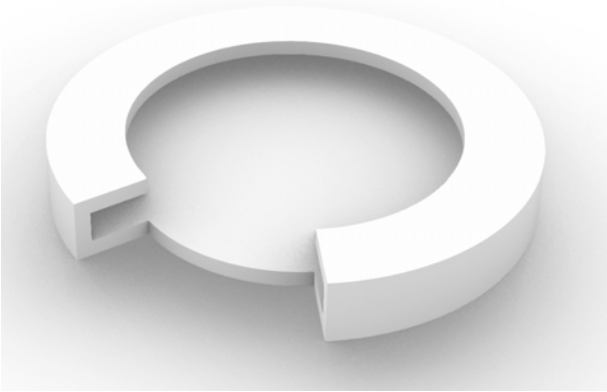


図 3.12 3D モデリング構造の一部

下の部分は、この立方体穴の部分にモーターの頭を差し込めるようにして、小さな釘でモーターを固定するためのものである。素材は外観と同じく PLA 素材を

使用しており、より堅固的に各部件をつなげる（図 3.13）。

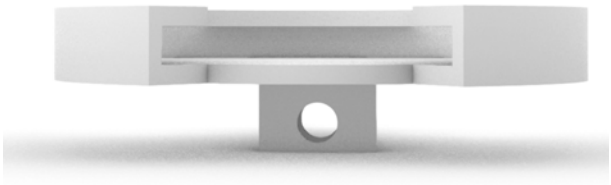


図 3.13 3D モデリング：折りたたみグラスとモーターがつながる部分の底

### 3.6.6 3D Printing グラス型音楽デバイスの外観

この部分では 3D プリンティング技術を用いて印刷された音楽デバイスの外観である。折り畳みグラスとモーターを包み込むような外観であり、モーターや折りたたみグラスの動作を隠すことで、水位の変化だけを見ることができ、内部の動作は見えないようになっている。 これにより、視覚的な感覚効果とグラスの神秘性を高める。3D プリントには PLA 素材を使用しており、内部に設置する容器とデバイスが一緒によりしっかりと包み込むことで、よりスムーズな設置と滑らかな外観を実現している（図 3.14）。

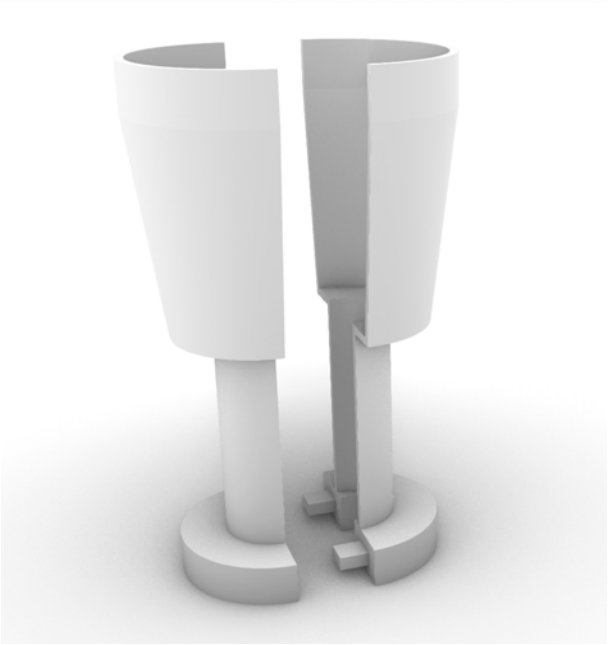


図 3.14 3D モデリング：グラス型音楽デバイスの外観

## 3.7. プロトタイプのプロセス

### 3.7.1 Version 1

これが本研究で創造した最初のプロトタイプである。イメージ図は （図 3.15）に示した。このプロトタイプでは、2 つのグラスに蓄えられた水の間にポンプを使って水を送り出し、排出することができ、 グラスの水位を変化させる効果がある。このバージョンのモデルの面白いところは、ポンピングの際に液体を変化させることができ、音のピッチが変わるだけでなく、液体（濃度など要因）によって音色が変化することもできる。 しかし、ポンプの騒音が大きすぎること、ポンプの速度が遅いこと、チューブの固定が不安定なことなどから、プロトタイプの改善を行った。

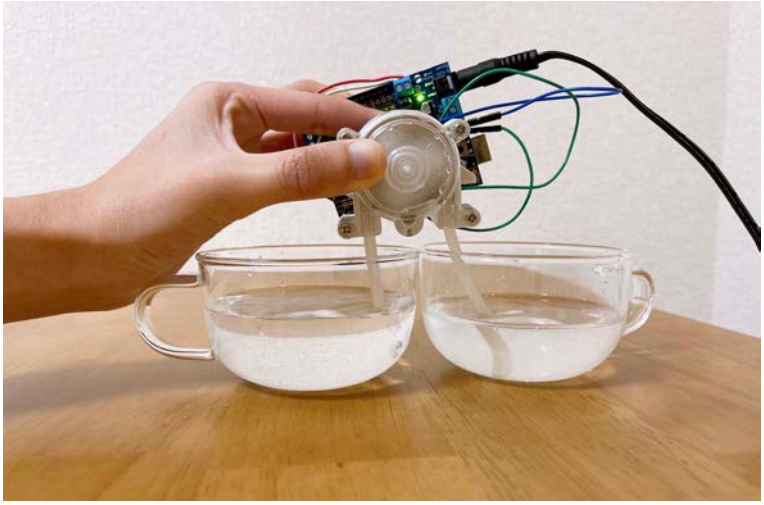


図 3.15 Prototype Version 1

### 3.7.2 Version 2

最初のバージョンから改善された 2 番目のバージョンでは、ポンプの代わりに折りたたみグラスとリニアモーターを採用し、グラスの水位を変更するためにグラスを格納することができる。イメージ図は （図 3.16）に示した。 最初のバー

ジョンでは、水位があらかじめ設定されており、水位の変化の時間や高さをユーザーがコントロールすることはできなかった。 第 2 バージョンでは、タッチセンサーが追加され、ユーザーがタッチすることで水位をコントロールできるようになった。当初の 2 つのグラスの代わりにガラス管でゴム製の折り畳み式グラスに接続される。 ユーザーは、ガラス管を通してグラス内の水位の変化を見ることができる。このバージョンでは、水位の変化がよりスムーズかつスピーディになっている。 また、ユーザーがタッチセンサーに触れて水位をコントロールすることで、グラスとユーザーのインタラクションを高めることができた。 しかし、ガラス管の壁が厚いため、叩いたときの音が少し鈍くなっていたので、またプロトタイプの改善を行った。

図 3.16 Prototype Version 2

### 3.7.3 Version 3

このバージョンは最後のバージョンで、2 番目のバージョンの直線的なガラス管を曲面グラスに変更、壁が薄くなり、叩いたときの音がより鮮明になった。このグラスを折り畳み式のグラスに取り付けられるように、グラスの底には研磨器で穴が開けられた。前のバージョンでは叩くだけでしたが、今回はグラスの口元をこすることで演奏することができる。これまでグラス型音楽デバイス底の外観では一体型だったが、今回のプロトタイプでは 2 つに分割して組み立てることができる。これにより、このグラス型音楽デバイスの組み立てが容易になった。イメージ図は （図 3.17）と（図 3.18）とに示した。

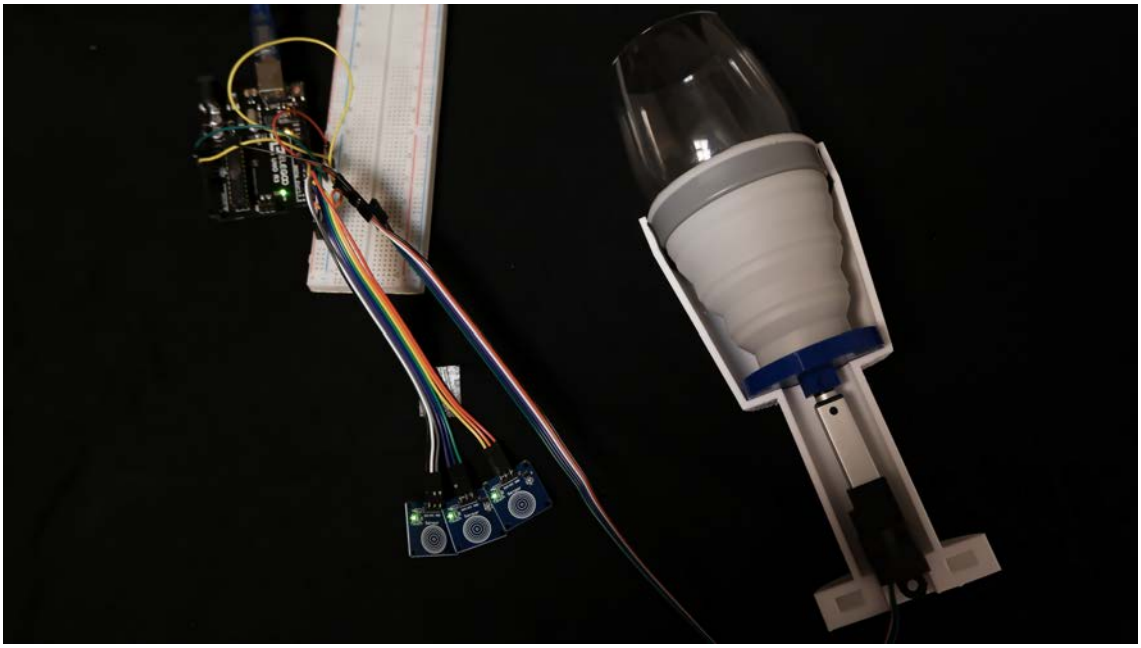


図 3.17 Prototype Version 3

図 3.18 *Prototype Version 3* の全体像

## 3.8. Limitation と Discussion

本研究のプロトタイプを実装した後、構造の適切性、デバイス自体の性能、操作しやすさなど要素をテストする必要があり、また演奏体験者と初心者に向けるプレイスタイルの確定するために、実験を行った。筆者は「Little Star」というよく知られている曲を事前にソフトウェアでプログラミングした。筆者は演奏体験者のため、本人でグラス型音楽デバイスをこの曲を演奏して試した。音楽の知識及び演奏体験がない同期の A さんを初心者の対象として体験してくれた。筆者と A さんは 2 人とも住宅の環境で実験を行い、プデバイス自体とプレイスタイルに考察した。検討する上で実験のプロセスでは以下のとおりの問題を発見した。

モーター自体が変われる長さは 3cm であり、その制約では、グラス内に入れた液体の水位の変化が限られていて、叩いたり、触れたりした音の変化もその影響で音程の変化も限られている。本研究で使用したリニアモーターは動かすと騒音が出る。グラスを叩いたり、指で擦ったりした音の響きに影響され、はっきり聞こえないことが起こした。モーターのスピードが早くないので、早く動かせると曲の演奏やメロディを作る時の方が楽しいと考えられる。今回今回のデバイスで演奏できる曲が緩やかな曲しかできなく、早い曲だと、叩くタイミングや水位を調達するコントロールするタイミングの把握が難しい。以上の制約は今後のフューチャーワークとして、いいユーザーの体験を送るように、改善すべくことと考える。

この時点では演奏体験者と初心者に向けるプレイスタイルについて難しいことや特に制約なの問題がなかった。

# 第 4 章
# 実 験 検 証

3 日間、トータル 25 名大学院生が被験者にとして、ユーザーテスト及びアンケート調査し、この研究の価値検証を行った。実験を行う間でアンケートに設置した質問が変わったことがあるので、ある質問が 25 個回答に至ってなかった。この章では検証の方法、実験の流れ、検証の目的、アンケート調査についてこと、検証結果などのことをこの章で論じる。実験で使用するデバイス及び実験の場景のイメージは（図 4.1）に示した。

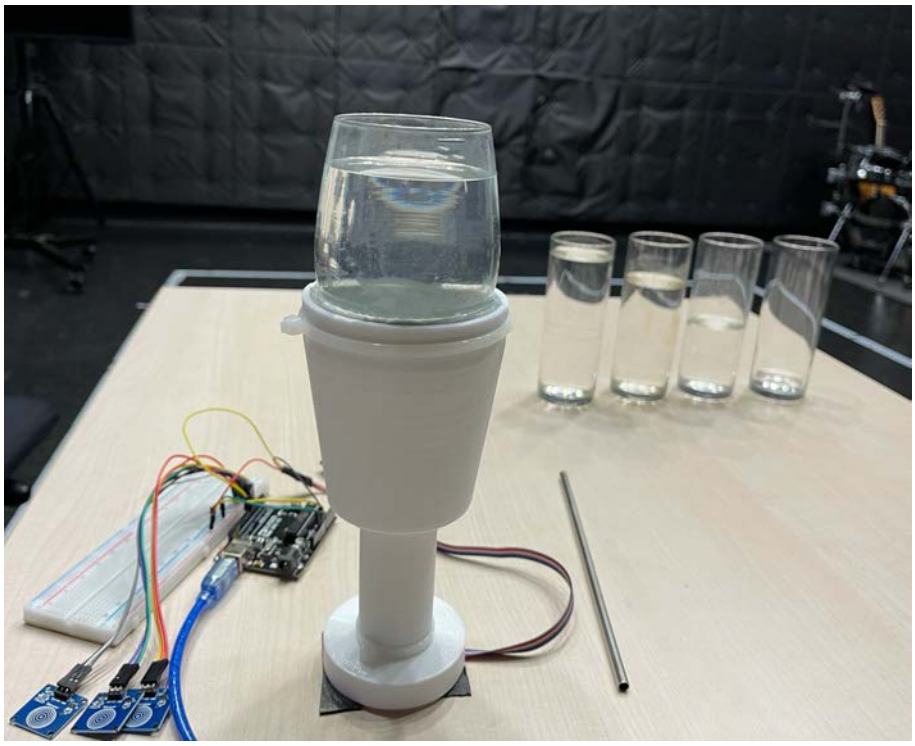


図 4.1 実験のデバイスと場景

## 4.1. 検証の方法

表 4.1 検証の方法

| | |
|---|---|
| 実施期間 | 2021 年 11 月 30 日〜12 月 2 日 |
| 所要時間 | 一人:25 分〜30 分 |
| 参加人数 | 25 人 |
| 参加者年齢 | 大学院生 |
| 方法 | インターネットによるアンケート |

## 4.2. 実験の目的

- 本研究でデザインしたグラス音楽デバイスの性能や操作のしやすさについて検証し、このグラス音楽デバイスが音楽の知識や空間などの要因に関わらずにも簡単で音楽を楽しめるのかを検証する。また、スピーカーから流れた曲と自分で演奏した曲の楽しさについてを検証する。
- 「検証 1: グラス型音楽デバイスを体験する」

  検証 1 ではグラス音楽デバイスの性能や操作のしやすさについて検証する。ユーザーがスムーズに水位をコントロールしながら「叩く」、「触れる」ことで自由にリズムとメロディを作られるのかを検証する。

- 「検証 2 : 音楽聞く体験及びする体験を行う」

  検証 2 では同じ曲がスピーカーで音楽を流れる効果とグラス型音楽デバイスを遊ぶ効果を検証する。

## 4.3. 実験の流れ

本研究でデザインした音楽デバイスの価値検証するために、ユーザーテストを行った。実験全体を通して、このデバイスの使用体験を評価および比較するため

に、実験前、各検証体験後にユーザーに対してアンケート調査及びインタビューを実施した。

### 4.3.1 実験の流れの表

| | |
|---|---|
| 事前調査 | アンケート 1 を書く |
| 体験検証 1 | アンケート 2 を書く |
| 体験検証 2 | アンケート 3 を書く |

### 4.3.2 体験の流れ

- 「体験検証 1 を行う」

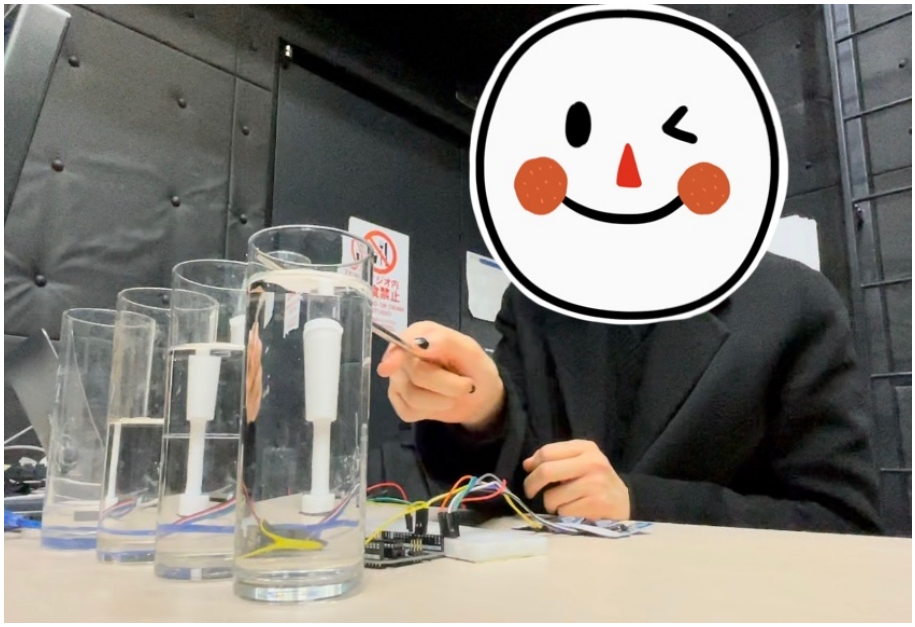


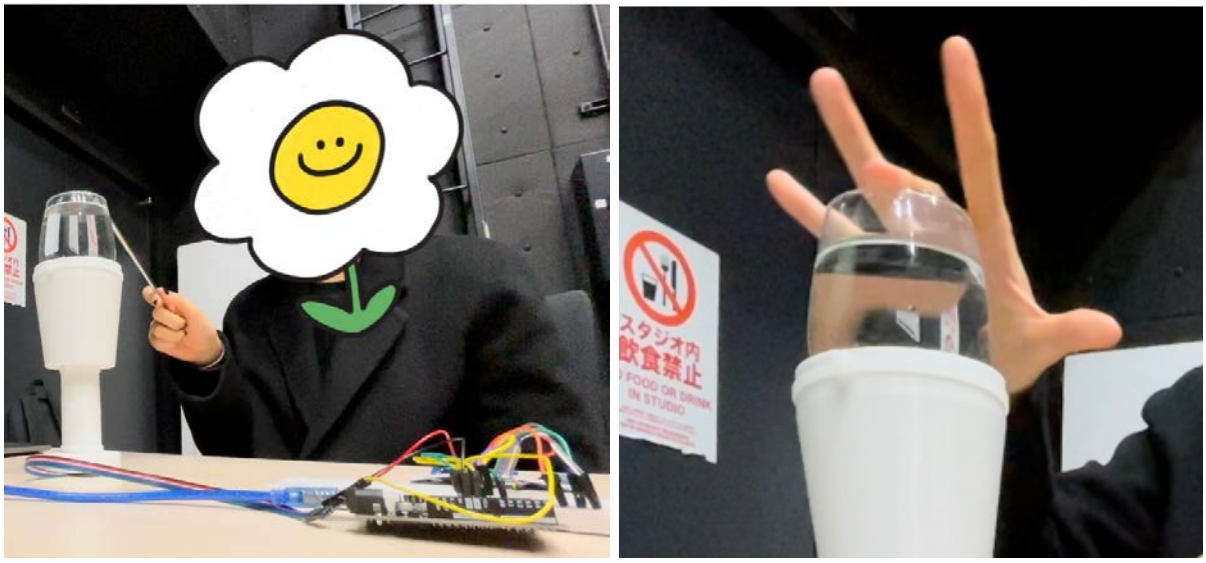
図 4.2 普通のコップを叩く体験する場景

1: 普通の 4 つのコップで叩いてもらう（4 つのコップにそれぞれ異なる水位に注水した）。ユーザー体験の場景は（図 4.2）に示した。

2: グラス型音楽デバイスを体験する。（この体験では 2 つ項目を含む） ユーザー体験の場景は（図 4.3）に示した。

a: ランダムで自動調整ステージ設置した上で、ユーザが自由でコップを叩く、口辺を指で擦る。

b: 3 つのボタンで自分で水位を調整できることに設置し、ユーザーにコップを叩くや口辺に触れる。




(a) 音楽デバイスを叩く場景 (b) 口辺を指で擦る場景

図 4.3 グラス型音楽デバイスの体験

- 「体験検証 2 を行う」

  a: スピーカーから曲 Little Star を流す。被験者に聞いてもらう

  b:little star が被験者から自身で叩いてもらう

  c: スピーカーで事前に録音した筆者が自身で BGM と合わせて叩いた曲を流す

  d: 被験者 BGM と事前に用意した自動的に水位を変更できるリズムを合わせ

てただく（a と b は全く同じ BGM や水位のステージやリズムを使う、ただ自分で叩く感じと、同じ曲で他人叩いたものをスピーカーで流す感じを比較するため）

### 4.3.3 実験で比較すること

1: 普通の 4 つのコップで叩く体験とグラス型音楽デバイスを叩く体験を比較
2: ランダムで水をかわる叩くことと自分で水をコントロールすることを比較
3: 同じ曲をスピーカーから聞くと曲自分で叩いて聞くことを比較
4: この音楽デバイスを体験する前の気持ちと体験した後の気持ちを比較

## 4.4. アンケートの質問のまとめ

### 4.4.1 「アンケート 1」

| | |
|---|---|
| 1 | 何か楽器を演奏できますか？ 音楽について学んだことはありますか？ |
| 2 | 生活の中で周囲からのリズミカルな音が好きですか？ |
| 3 | カップを叩いたときの音の印象はどうですか？ |
| 4 | もともとグラスカップ楽器のことはご存知でしたか？<br>グラス楽器の演奏を見たことがありますか？ |

### 4.4.2 「アンケート 2」

| | |
|---|---|
| 1 | グラス型音楽デバイスを叩くリズムが音を出すことが簡単でコントロールできましたか？ |
| 2 | 机に並んでいる 4 つのコップを叩くリズムが簡単でコントロールかできましたか？ |
| 3 | グラス型音楽デバイスのグラスの縁を指で擦る音が簡単でコントロールできると思いますか？ |
| 4 | コップを叩く音の音色の印象はどうでしたか？ |
| 5 | コップの縁を触れる音の音色の印象はどうでしたか？ |
| 6 | カップの口辺を触れる体験が楽しかったですか？ |
| 7 | カップを叩く体験が楽しかったですか？ |
| 8 | 自分で水位をコントロールするという体験は面白かったですか？ |
| 9 | 一つのボタンで自動的に水位を調整できるという体験は面白かったですか？ |

### 4.4.3 「アンケート 3」

| | |
|---|---|
| 1 | スピーカーで再生する音楽と、自分で叩いて出す音と、どちらが面白いと思いますか？ |
| 2 | このグラス型音楽デバイスや実験についての感想やご意見がありましたらこちらにお書きください。 |

## 4.5. 検証結果

3 日間トータル 25 名被験者にアンケート調査してこの研究の価値検証を行った。実験を行う間でアンケートに設置した質問が変わったことがあるので、ある質問が 25 個回答に至ってなかった。アンケート調査における検証結果をまとめる。

### 4.5.1 「事前調査」の結果

1-3 の質問は被験者が「検証 1」と「検証 2」を体験する前に、音楽の経験やリズミカルな音に関するの質問である。

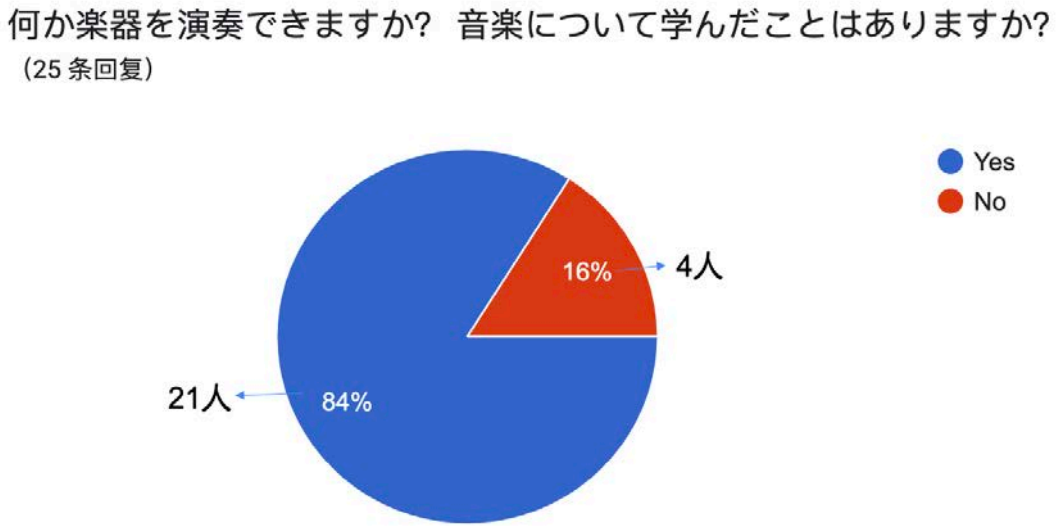



図 4.4 アンケート 1 質問 1

質問 1 :「何か楽器を演奏できますか？ 音楽について学んだことはありますか？」（図 4.4）の結果は 25 人の中で 21 人が楽器の演奏或いは音楽について学んだことがあるとわかった。

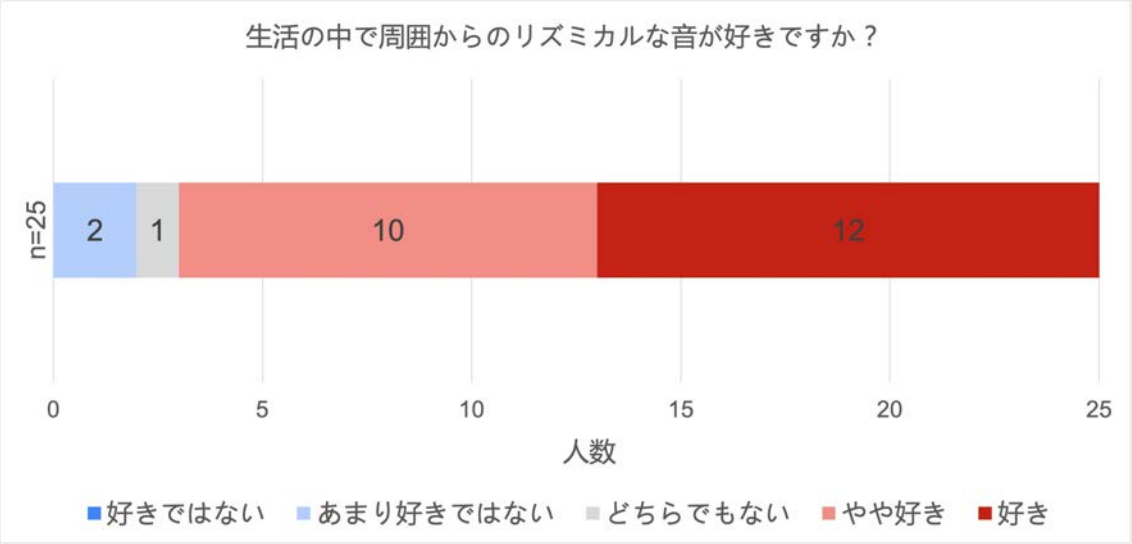



図 4.5 アンケート 1 質問 2

質問 2 :「生活の中で周囲からのリズミカルな音が好きですか？」の結果（図 4.5）は 25 人の中では周囲からのリズミカルな音が好きな人が 12 人、やや好きな人が 10 人、どちらでもない人は 1 人、あまり好きではない人が 2 人である。25 名の参加者は 88 %の 22 人が好きの選択したことがわかった。多数の被験者はリズミカルな音が好きのことがわかった。

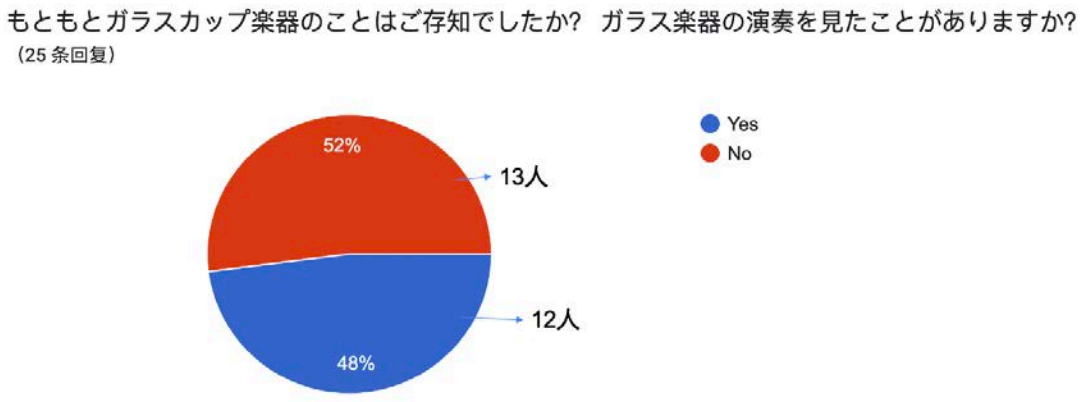



図 4.6 アンケート 2 質問 3

質問 3 :「もともとグラスカップ楽器のことはご存知でしたか？ グラス楽器の演奏を見たことがありますか？」の結果（図 4.6）はガグラスハープを知った或いはグラス楽器の演奏を見たことがある人は 12 人、知らなかった或いは演奏を見たことがない人は 13 人だった。知った或いはグラス楽器の演奏を見たことがある人は半分も至ってないこと、知らなかった或いは演奏を見たことがない人の方が多いとわかった。

### 4.5.2 「検証 1」の結果

検証 1」の結果ではグラス音楽デバイスの性能や操作のしやすさについて質問の結果、ユーザーがスムーズに水位をコントロールしながら「叩く」、「触れる」ことで自由にリズムとメロディを作られるのかを検証する結果である。

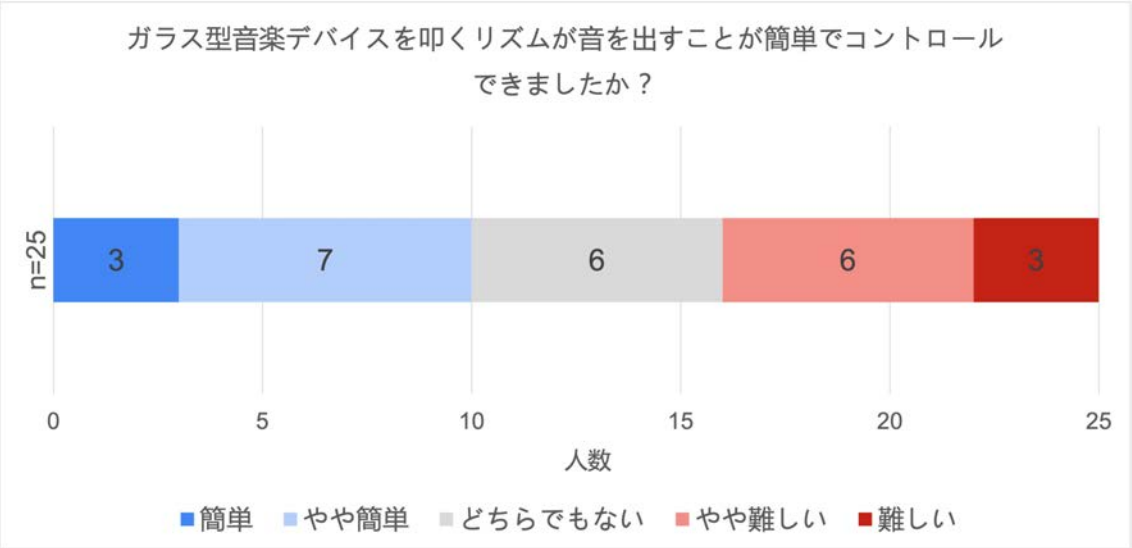



図 4.7 アンケート 2 質問 1

質問 1 :「グラス型音楽デバイスを叩くリズムが音を出すことが簡単でコントロールできましたか？」の結果（図 4.7）は「簡単」を選んだ人が 3 人、「やや簡単」を選んだ人が 7 人、「どちらでもない」を選んだ人が 6 人、「やや難しい」を選んだ人が 6 人、「難しい」を選んだ人が 3 人だった。「簡単」に関する選択を選んだ人は 10 人で、総数の 40 %であり、「難しい」に関する選択を選んだ人は 9 人で、総数の 36 %であり、コップ音楽デバイスを叩くリズムが音を出すことが簡単でコントロールできたとわかった。

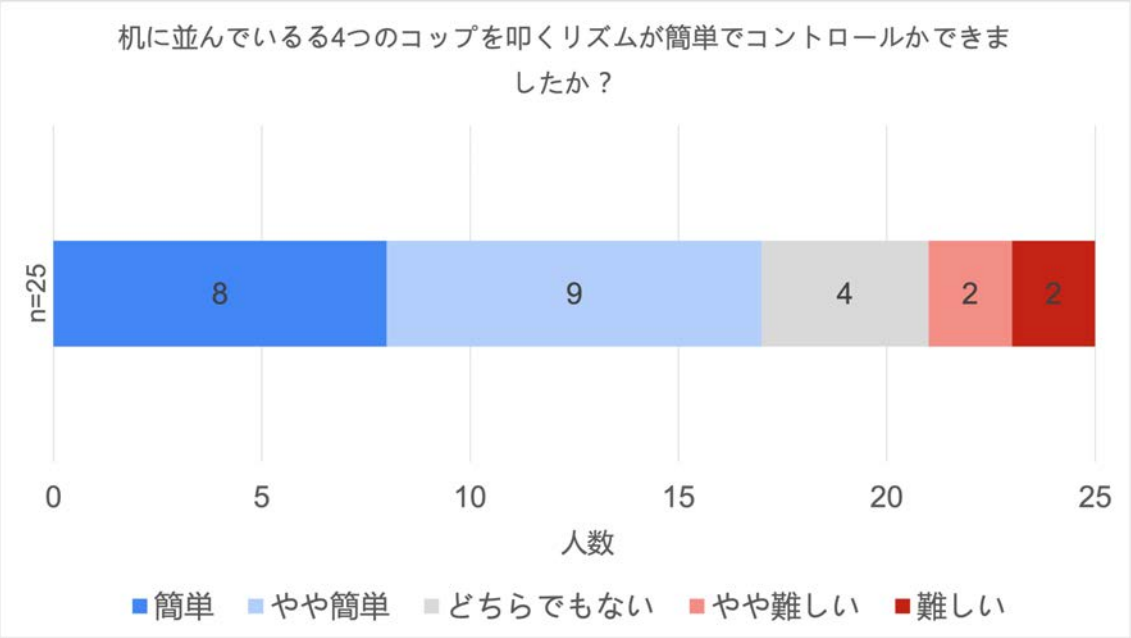



図 4.8 アンケート 2 質問 2

質問 2 :「机に並んでいるる 4 つのコップを叩くリズムが簡単でコントロールかできましたか？」の結果（図 4.8 は「簡単」を選んだ人が 8 人、「やや簡単」を選んだ人が 9 人、「どちらでもない」を選んだ人が 4 人、「やや難しい」を選んだ人が 2 人、「難しい」を選んだ人が 2 人だった。「簡単」に関する選択を選んだ人は 17 人で、総数の 68 %であり、「難しい」に関する選択を選んだ人は 4 人で、総数の 16 %であり、机に並んでいるる 4 つのコップを叩くリズムが簡単でコントロールかできたとわかった。

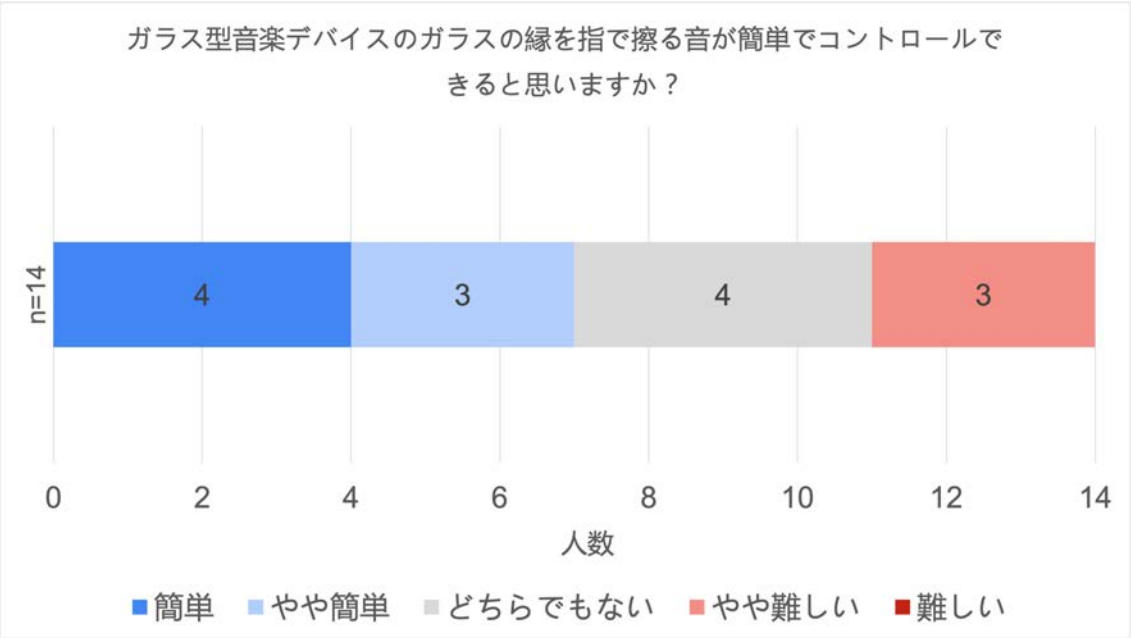



図 4.9 アンケート 2 質問 3

質問 3 :「グラス型音楽デバイスのグラスの縁を指で擦る音が簡単でコントロールできると思いますか？」は 14 個回答を集計した。結果（図 4.9 は「簡単」を選んだ人が 4 人、「やや簡単」を選んだ人が 3 人、「どちらでもない」を選んだ人が 4 人、「やや難しい」を選んだ人が 3 人、「難しい」を選んだだ人が 0 人だった。「簡単」に関する選択を選んだ人は 7 人で、総数の半分 50 %であり、「難しい」に関する選択を選んだ人は 3 人で、約総数の 21 %であり、グラス型音楽デバイスのグラスの縁を指で擦る音が簡単でコントロールできるとわかった。

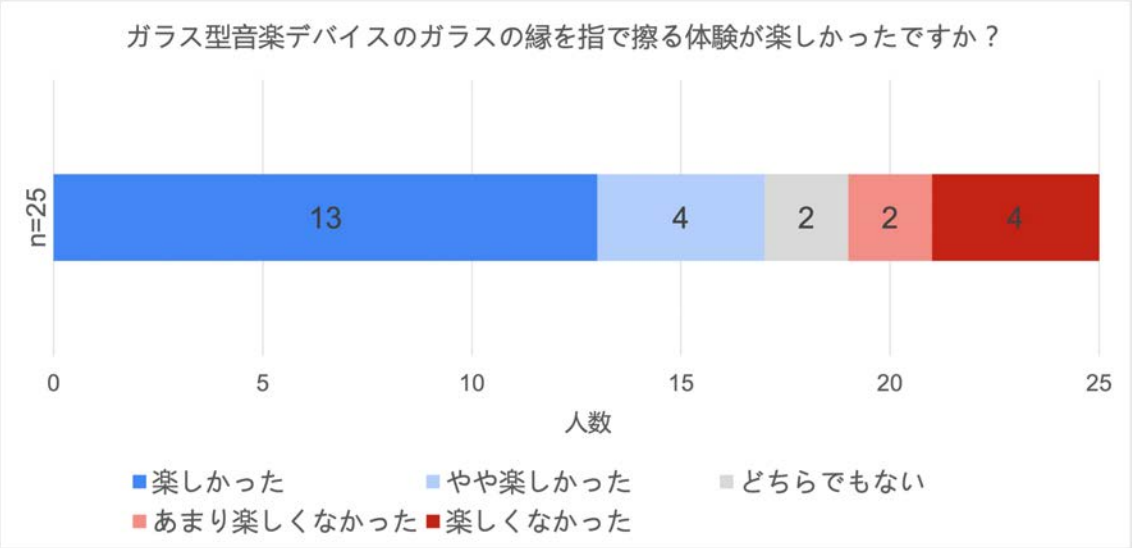



図 4.10 アンケート 2 質問 4

質問 4 :「グラス型音楽デバイスのグラスの縁を指で擦る体験が楽しかったですか？」の結果（図 4.10 は「楽しかった」を選んだ人が 13 人、「やや楽しかった」を選んだ人が 4 人、「どちらでもない」を選んだ人が 2 人、「あまり楽しくなかっ」を選んだ人が 2 人、「楽しくなかった」を選んだ人が 4 人だった。「楽しい」に関する選択を選んだ人は 17 人で、総数の 68 %であり、「楽しくなかっ」に関する選択を選んだ人は 6 人で、総数の 24 %であり、半分以上の人はグラス型音楽デバイスのグラスの縁を指で擦る体験が楽しかったと思うこととわかった。

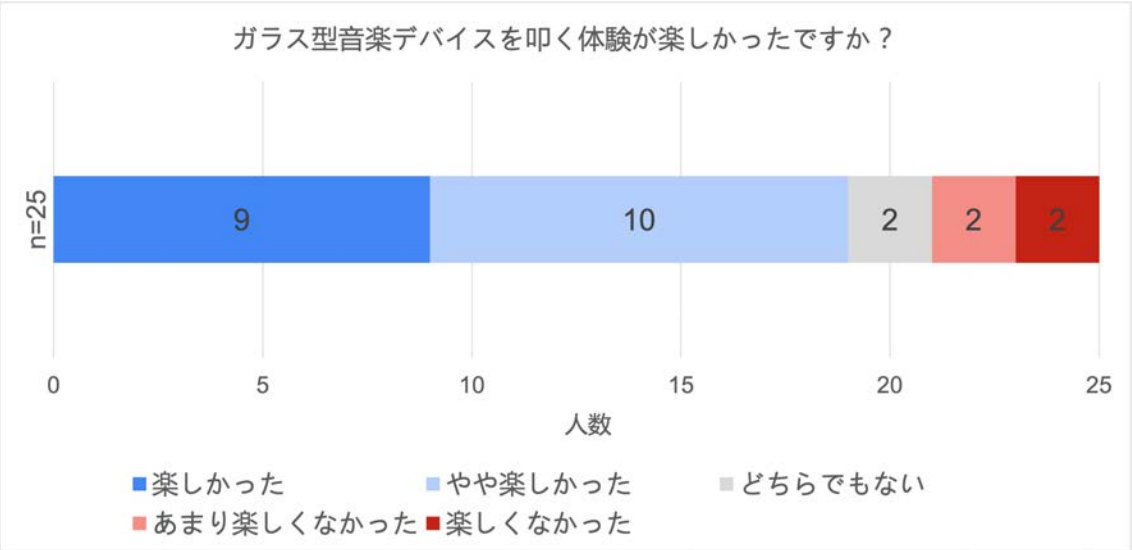



図 4.11 アンケート 2 質問 5

質問 5 :「グラス型音楽デバイスを叩く体験が楽しかったですか？」の結果（図 4.11 は「楽しかった」を選んだ人が 9 人、「やや楽しかった」を選んだ人が 10 人、「どちらでもない」を選んだ人が 2 人、「あまり楽しくなかった」を選んだ人が 2 人、「楽しくなかった」を選んだ人が 2 人だった。「楽しい」に関する選択を選んだ人は 19 人で、総数の 76 %であり、「楽しくなかった」に関する選択を選んだ人は 4 人で、総数の 16 %であり、半分以上の人はグラス型音楽デバイスを叩く体験が楽しかったと思うこととわかった。

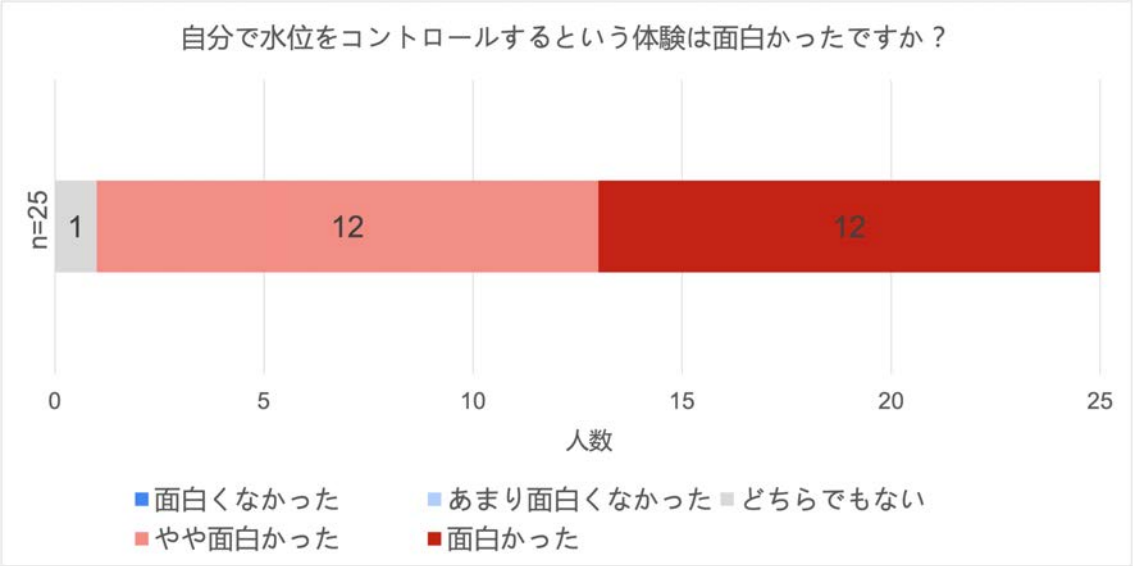



図 4.12 アンケート 2 質問 6

質問 6 :「自分で水位をコントロールするという体験は面白かったですか？」の結果（図 4.12 は「面白かった」を選んだ人が 12 人、「やや楽しかった」を選んだ人が 12 人、「どちらでもない」を選んだ人が 1 人、「あまり面白くなかった」と「面白くなかった」を選んだ人が 0 人だった。「楽しい」に関する選択を選んだ人は 24 人で、総数の 96 %であり、「面白くなかった」に関する選択を選んだ人は 0 人で、ほぼ全参加者は自分で水位をコントロールするという体験は面白かったと思うこととわかった。

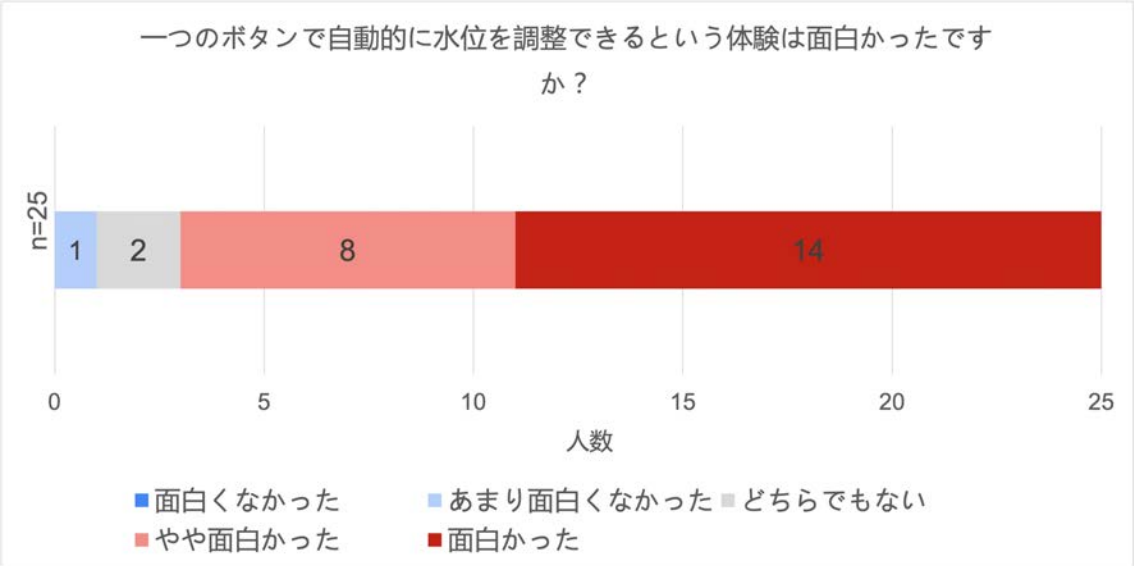



図 4.13 アンケート 2 質問 7

質問 7 :「一つのボタンで自動的に水位を調整できるという体験は面白かったですか？」の結果（図 4.13 は「面白かった」を選んだ人が 14 人、「やや楽しかった」を選んだ人が 8 人、「どちらでもない」を選んだ人が 2 人、「あまりたのしくなかったと「楽しくなかった」を選んだ人が 1 人だった。「楽しい」に関する選択を選んだ人は 22 人で、総数の 88 %であり、「面白くなかった」に関する選択を選んだ人は 1 人で、ほぼ全参加者は一つのボタンで自動的に水位を調整できるという体験は面白かったと思うこととわかった。

### 4.5.3 「検証 2」の結果

「検証 2」ではスピーカーから流す音楽と自分で叩く音楽を比較する結果である。質問 :「スピーカーから流す音楽と、自分で叩いて出す音と、どちらが面白いと思いますか？」の結果は（図 4.14) に示す。表から結果を見ると自分で叩いて出す音が「面白い」を選択したのは 19 個があり、約全体の 80 %を占めしている。自分で叩いて出す音が「普通に面白い」を選択したのは 4 個があり、約全体の 17 %を占めしている。自分で叩いて出す音が「面白くない」を選択したのは 1 個があり、約全体の 4 %を占めしている。スピーカーから流す音楽「が面白い」を選択したのは 5 個があり、全体の 20 %を占めしている。「普通に面白い」を選択したのは 10 個があり、よく全体の 48 %を占めしている。「面白くない」を選択したのは 7 個があり、約全体の 33 %を占めしている。被験者は自分で叩いて出す音の方が面白い傾向があると見られる。

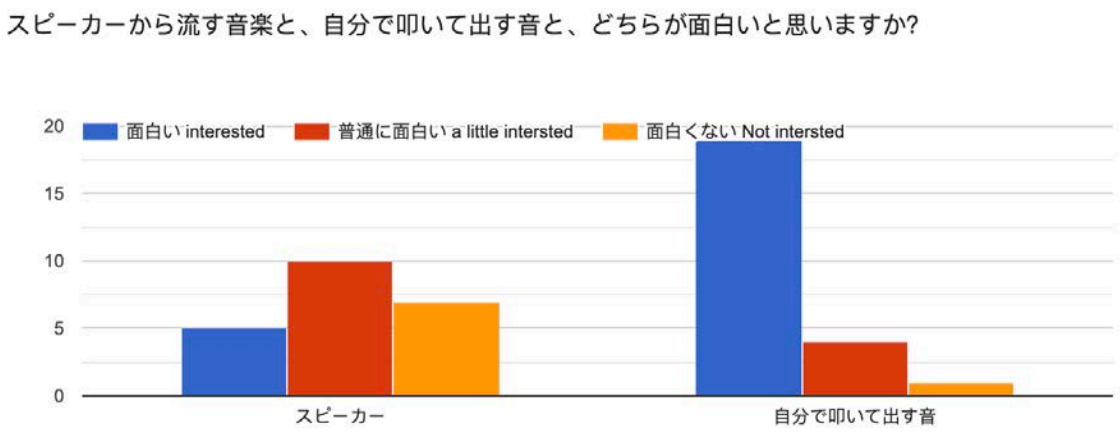



図 4.14 アンケート 3 質問 6

## 4.6. 考察

### 4.6.1 検証結果の考察

実験検証を通じて、本研究のコンセプトを検証した。

「検証 1 」では本研究でデザインしたグラス型音楽デバイスの性能やデバイスの操作の難易程度について検証し、グラス型音楽デバイスを使う通じて人々が音楽の楽しさを感じられるのか、また曲やメロディを演奏できるのかを検証した。「検証 2 」では同じく曲をスピーカーから流れて聞く体験及び自分でその曲を演奏体験を行い、 同じ曲がスピーカーで音楽を流れる効果とグラス型音楽デバイスを遊ぶ効果を検証した。

「事前調査」の結果では多数の人（被験者の 84 %、25 人中の 21 人）が音楽について学んだことがある、或いは楽器を演奏ことができる。生活の中で周囲からのリズミカルな音が好きの参加者も 23 人にいたっている。しかし、もともともグラス・ハープを知った或いはグラス・ハープの演奏をみったことがある人が半分に占めしてなく、25 人中の 12 である。このような参加者の音楽の経験を持って、「検証 1」と「検証 2」を行った。次は検証の結果と考察を述べる。

「検証１」の結果を見るとグラス型音楽デバイス「リズム」のコントロールが「簡単」に関する選択を選んだ人は10人で、総数の40％であり、「難しい」に関する選択を選んだ人は9人で、総数の36％であり、グラス型音楽デバイスを叩くリズムが音を出すことが簡単でコントロールできることはわかっるが、結果を考察すると多数の参加者に対して「リズム」のコントロールが難しいこともわかった。

普通のコップを叩くリズムのコントロールとグラス型音楽デバイスを叩くリズムのコントロールの比較体験の結果を考察すると、普通のコップの方が叩くリズムと音のコントロールしやすく、グラス型音楽デバイスの方がコントロールし難しいとわかった。普通のコップでメロディをプレーする際にはデバイスの操作がなく、視覚的に水位の違いのみで把握してプレーできる。グラス型音楽デバイスではリズムとメロディを合わせるためにタイミングよく把握する必要なので、普通のコップよりコントロールし難しいと考えられる。

グラス型音楽デバイスを「叩く」「濡れた指で擦る」体験の楽しさについて質問の結果を見るとどちらでも楽しかったを選んだ人が多かった。このグラス型音楽デバイスは人に楽しい音楽を試す体験が与えることがわかった。楽しくなかったを選んだ人もそれぞれ4人と2人がいったので、インタビューの考察でその理由を述べる。

「一つのボタンで自動的に水位を調整できるという体験」と「自分で水位をコントロールするという体験」の面白さについての質問ではどちらもほぼ回答した全員を面白かったと選択した。結果を分析すると「一つのボタンで自動的に水位を調整できるという体験」が面白かったを選んだ人が14人、「自分で水位をコントロールするという体験」が面白かったを選んだ人が12人だった。一つのボタンで自動的に水位を調整できるの方が面白いと考えられる。自分で水位をコントロールする体験では、タッチセンサーを触れると水位の調整は事前にプログラムを編集したので、参加者は音の高さを考えらず、叩くや指で擦るだけで音楽のリズムとメロディを試すことができ、グラス・ハープと音楽の初心者にわかりやすく、操作しやすいと考えられる。

「検証2」の体験では音楽プレーヤーから流れる音楽聴く体験と自分でグラス型の体験を行い、どちらのほうが」、「おもしおい」比較する。結果は（図??）と（図

4.14) に示しす。前の節で論じた結果を踏まえて自分でグラス型音楽デバイスを叩く体験の方が「リラックスできる」、「面白い」を選択した人が多かったとわかった。同じ曲がグラス型音楽デバイスを遊ぶ効果の方が良かったことを証明した。

### 4.6.2 結果のまとめ

検証実験では、音楽の知識がある演奏体験者と音楽の知識がない初心者が成功に曲を演奏でき結果となったため、音楽における知識と空間など要因に限らず、日常生活でも音楽のパフォーマンスを楽しめるに有効と言える。また、インタビュー調査では、多数の被験者から「操作しやすい」、「水位の変化が見えて、音調の変化もヒアリングでわかりやすい」、「このような曲を演奏するのは楽しかった」、「プレイスタイルが面白い」、という感想を得られた。このような感想から音調の変化がやわかりやすく、ユーザーが水位をコントロールするという音楽デバイスを操作しやすいと言える。また実験を通じて外部の壁にゴムテープを貼って、棒そこの壁をかすめるという新たなプレイスタイルも発見した。ユーザーから体験してもらって楽器のプレイスタイルが変化することにも寄与できたと言える。

### 4.6.3 アンケートからのユーザーの意見と感想

ユーザーの意見と感想をまとめてこの節に述べる。

1：音楽が苦手な方にも挑戦でき、手軽で楽しい装置である。

2：いろいろな曲を設置して音楽ゲームにするのも楽しそう。

3：このフィードバックは４つの視点から着眼する。

- カップの壁に突起したボタンや引っ掻けるようなテクスチャーを追加して、遊び方をもう少し増やしたらどうなるだろう。
- 同じ水位でも、飲み物によってピッチが変わるかどうか実験ができそう
- ステンレス製の箸で叩く。他の素材や形の箸（四角い使い捨ての木製の箸/丸い頭の使い捨ての木製の箸/無垢材の箸/竹製の箸/プラスチック製の箸）を使用すると、どのような効果が持っていると期待する。カップの素材を変更し、ステンレス製のコップやプラスチック製のコップを試す。

- こうすると箸と異なる素材のカップがテーブルバンドのような「交響曲」を形成することが期待する。遊び方はたくさんあると考える。

4 : 自動水位調整がもう少し早く、モーターの音がもう少し静かであれば、さらに使い勝手が良くなると考える。

5 : このタッチのセンサーをボタンに置き換えることができればもっと良い。水に手を浸して演奏すると、水位に影響を与えたり、音が不正確になったりするのかと疑う。

6 : 同時に起こる 2 つの出来事に注意を向けるのはより困難である。

7 : 最後の質問についてのランダムな考え : グラスやボトルのパッケージの壁にある水位線との組み合わせで、ある水位まで飲むとより多くの経験ができることが事前に分かっていれば、飲み干したくなる。ブレインストーミングのシナリオは、健康ではある美味しくない果物・野菜ジュースである。

8 : このフィードバックは 4 つの視点から着眼する。

- 音色を変える過程で一定の遅れがあり、カップを弾くのにある程度の熟練が必要ですが、全体としては非常に使いやすい “ 楽器 ” である。
- 体験ではカップの中の水を飲むことは想定していなかったが、普段使っているゴブレットが音楽の雰囲気も演出してくれるなら、友人といるときや一人の時間をより楽しく、よりリラックスして過ごせそう。
- 複数の鍵盤を連続して操作できるように設計されており、ピアノの基礎知識がある方にはより適していると考える。
- 生活シーンで使用する外部センサーを隠すために、ボタン部分に何らかの固定されたハウジングがあるデザインだと、より安心感がある。

9 : このフィードバックは 4 つの視点から着眼する。

- 多様な音程が表現できたら良いと思った。
- モーターの音に叩く音が被ってよく聞けない時があったので、改善できたらもっと快適な体験ができると思う。
- コップの口に指で触る体験は素材皿ではの面白さが感じられて印象的だった。

- 今後の研究として、コップの音をデジタルに変造する試みができても面白いと思った。

10：やっぱ子友達にもやってもらいたいと思うようになった。
11：グラスのコップを叩くのはちょっと怖かった。もっと高い音だと、冷たい感が出て飲みたくなるかもしれない。叩くのはどちらかというと食欲増進の方かな。擦るのは結構楽しいし、飲み物感が増進された気がする。
12：カップを叩く音が非常に短く、後味もほとんどないため、楽しめない感じがあります。エコーを発生させたり、連打ができたり聴覚的に後味の良さを演出する方法があれば、もっとリラックスできるような気がする。

### 4.6.4 改善点

前の節に述べたユーザーに得られたフィードバックを踏まえて本研究にデザインしたグラス型音楽デバイスの改善すべき点を論じる。

- 今のリニアモーターが短くてグラスを引っ張る長さが、音階を大幅に変えることができず、今後は長い方のリニアモーターで試すべきこと
- リニアモーターを引っ張る動作する際には、モーター本体動く音がする。この音は、グラスで発生した声に影響され、マナーモードにすべきこと
- ユーザーがタッチセンサーを触れると水位をコントロールする。現時点ではタッチセンーがそのままで使われている、パッケージなどの外観にすべきこと

## 4.7. インタービューの考察

インタビューをしたことでこのデバイスの良かった点と改善点が様々な声が参加者から聞いた、この節ではインタービューの考察について述べる。

### 4.7.1 良かった点

インタビューをしたことで、参加者はこのグラス型音楽デバイスが曲をプレーすることを試した上で、音楽の楽しさを感じられたとわかった。またグラス型音楽デバイス自体も面白く、体験がさらに楽しかったと感じたの声も多かった。参加者は楽器の初心者或いはグラス・ハープの初心者が何人いった。その中の１人は全然音楽の知識がなく、普段の生活にもあまり音楽に関心を抱えてない方である。この参加者とインタビューしたことを通じて、この方はグラス型音楽デバイスが初めて曲を演奏する体験し、このデバイスは簡単で操作でき、曲を演奏も難しくなかったと言った。

参加者の中では最近ストレスを溜まって、どうしてもテンション上が上がられなく、気持ちがよく落ち込んでいる人もいった。この体験を通じて、テンションが上がられて、気分が楽しく転換できてストレスを軽減したと言う話も聞いた。このデバイスが人のストレス発散に関する作用を支えられていると考えられる。

このグラス型音楽デバイスを使うつじて「ドリンクもっと飲みたい」と思う、「嫌いなドリンクも飲みたくなる」と言う観点も得られた。なぜなら、多くの人は、より多くの音を聞くために、より多くのドリングを飲みたいと思うからだ。嫌いなお酒を飲むことが促進されるかどうかという点では、ほとんどの参加者が「ゲームやその場の雰囲気で飲む」と答えられた。しかし、本当に嫌いな飲み物であれば、たとえそのカップでピッチが変わったり、ゲームの次のレベルが開かれたりしても、とりあえず飲まないという思いが持ったようとわかった。

このグラス型音楽デバイスを使って、コミュニケーションを円滑にしたり、パーティーゲームの一部にしたりすることができるかという点については、参加者の答えから見ると大多数が「このグラス型音楽デバイスはコミュニケーションを円滑にすることができる」わかった。 参加者の中には、「マグカップがあれば、知らない人同士が初対面でもすぐに仲良くなれて、共通点を見つけるためのゲームができるのではないか」と考える人もいた。

### 4.7.2 改善点

インタビューをした内容を考察すると、グラス型音楽デバイス自体は面白いだが、ユーザーから頂いたフィードバックから幾つの改善すべきことを考えた。一つ目はモーターに関すること、本研究で使用したリニアモーターは動かすと騒音が出る。これは参加者がグラスを叩いたり、指で擦ったりした音の響きに影響され、はっきり聞こえないことが起こした。モーターのスピードが早くないので、早く動かせると曲の演奏やメロディを作る時の方が楽しいと考えられる。

二つ目はプレースタイルに関すること、グラス型音楽デバイスの操作をしやすいと思った参加者が多かったが、その反面、叩くタイミングと水位をコントロールする際にタッチセンサー を触れるタイミングよく合わせる二つできこと同時に注力することが難しいと感じた参加者もいった。このフィードバックをよく考えると、リズムの把握することにまだ上手でない方に新たのプレースタイルに改善すべきと考えられる。このように改善するともっとユーザーに快適な音楽を楽しめる体験を与えられると示唆した。

# 第 5 章
# 結　　論

本章では、第 4 章の検証実験を踏まえて、本研究における結論などを述べる。また、本研究の将来的な展望についても論じる。

## 5.1. 本研究における結論

検証実験をつじて本研究のコンセプトを検証した。元々音楽の知識が必要、楽器置く空間が必要な複雑な伝統的な楽器から複雑性を持つ従来の楽器を簡略化し、IT 技術を用いて「身近な容器 (グラス) と飲料水の機能」を拡張し、そういた複雑性を持った要因に限らず、乾杯や棒で叩く、コップの口辺に触れるなどのやり方で曲の作りを試すし、乾杯を通じたコミュニケーションや飲み物の種類が変わると音が変わることを楽しむことで、人々がより楽しい生活を送ることが目的である。本研究の目的を実現するために、新たなグラスハーブを作った、従来のグラス・ハーブはグラス製なので持ち運ぶことが難しい、グラスも沢山置く必要があり、演奏者が各グラスの音程を覚えることも難しく、更に演奏する際にミスを起こしやすい。色々の従来のグラス・ハーブ問題点に直面して、本研究では複数のグラスで音を発声できること、一つのグラスにまとめ、このグラスに、同じの水量で沢山音程を出すことが実現できた。演奏者は簡単でグラス型音楽デバイス内の水位をコントロールでき、一つのグラス型音楽デバイスに曲を演奏やメロディーとリズムを作ることが実現できた。IT 技術と身近なグラスと合わせた新たなグラスハープを作り、ユーザーから体験してもらって楽器のプレイスタイルが変化することに寄与した。

## 5.2. 今後の展望

この研究では、実験検証の過程で多くの知見を得ることができまた。将来的には、新しい打楽器の演奏方法に関する研究を続けていきたいと考える。今回の実験では、グラスを叩くためのスティックは鉄製だった。違う素材でカップを叩くと、また違った音が出るのではないかと考えられる。 そこで今後は、木やプラスチックなどの素材を使ったスティックを試すことを考える。 将来的には、グラスの壁に模様をつけて、スティックを滑らせたときに面白い音が出るようにすることもできる可能になる。

このグラス型音楽デバイスを使えば、将来的には、曲をタップした後に一部のドリンクを飲まないと、次のレベルの仕組みが起動して次のステップに進めないといったゲームを設定することもできると考える。 これは、人々がより多くの飲み物を飲むことを促進することができるだろう。また、複数の人が一緒に遊べるモードを設定する。一緒にこのグラス型音楽デバイスを遊びたい人であれば、例えば 1 人が水位をコントロールし、1 人がカップを叩いたり注ぎ口をこすったりして音を出すなど方法で音を出される。2 人、あるいはそれ以上の人が協力して完成させ、お互いの交流を深めることができるようにする。

# 謝　　辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見から的確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の山岡潤一専任講師に心から感謝いたします。先生からいろんな最新技術を共有していただき、プロトタイプの構成の設計と実装に手伝っていただき、ありがとうございました。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の佐藤千尋専任講師に心から感謝いたします。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の石戸奈々子教授に心から感謝いたします。新型コロナウイルスの影響され、修士１年間では日本へ渡航ができず、その時期に遠隔から先生達と同期達のサポートに大感謝します。

また、本研究において実験に協力してくださった方々に深くお礼申し上げます。

# 参 考 文 献


[1] David A Gallo and Stanley Finger. The power of a musical instrument: Franklin, the mozarts, mesmer, and the glass armonica. *History of psychology*, Vol. 3, No. 4, p. 326, 2000.

[2] 鈴木莉紗, 鈴木太朗, 飯田誠, 荒川忠一. シャボン玉を用いたインタラクティブアート: 環境と人を結ぶインタラクティブアート. 環境芸術, Vol. 8, pp. 17–20, 2009.

[3] 馬場哲晃, 牛尼剛聡, 富松潔ほか. Freqtric drums: 他人と触れ合う電子楽器. 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1240–1250, 2007.

[4] Steve Mann, Ryan E Janzen, and James Meier. The electric hydraulophone: A hyperacoustic instrument with acoustic feedback. In *ICMC*, 2007.

[5] 石井綾郁. Bubbowl: 電気分解を利用したカップ型泡ディスプレイ. In *IEICE Conferences Archives*. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2020.

[6] 西山高史, 仲島了治. アンビエントインテリジェンス技術とその応用 (¡ 特集¿ アンビエントインテリジェンス技術とその応用). システム/制御/情報, Vol. 56, No. 1, pp. 2–7, 2012.

[7] 西山高史, 仲島了治, 中原智治, 見市伸裕, 椹木哲夫. アンビエントテクノロジーの住宅分野への応用の試み (¡ 特集¿ アンビエントインテリジェンス技術とその応用). システム/制御/情報, Vol. 56, No. 1, pp. 21–26, 2012.

[8] 平井重行, 欅文喜, 藤井元ほか. 日常生活の入浴行動をより楽しめる浴室を目指して. 情報処理学会研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol. 2006, No. 24 (2006-EC-003), pp. 1–8, 2006.

[9] 伊藤大毅, 平井重行ほか. 浴槽叩打音を利用したお風呂ドラム bathdrum の叩打位置検出. 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol. 2013, No. 1, pp. 1–6, 2013.

[10] 平山勝蔵. 庭園の水琴窟について. 造園雑誌, Vol. 22, No. 3, pp. 14–17, 1959.

[11] 冨田晃. グラスハープとグラスハーモニカの概略史. 2010.

[12] 陽一郎森部, MORIBE Yoichiro. To improve to build an interface with the draft. 宮崎公立大学人文学部紀要, Vol. 16, No. 2, pp. 21–37, mar 2009. URL: https://ci.nii.ac.jp/naid/120005496249/en/.

[13] 村田直紀, 外村佳伸ほか. Soundpond: 音を可視化し直感的に操作できる環境の提案. 2017 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2017, , 2017.

[14] MASAKI KIMURA, MASAO OHIRA, and MATSUMOTO KEN-ICHI. Marble : A communication support system for real-time collaborative music creation. 情報処理学会研究報告. GN, [グループウェアとネットワークサービス], Vol. 75, pp. L1–L8, mar 2010. URL: https://ci.nii.ac.jp/naid/110007993362/en/.

[15] Steve Mann, Ryan Janzen, and Mark Post. Hydraulophone design considerations: Absement, displacement, and velocity-sensitive music keyboard in which each key is a water jet. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimedia*, pp. 519–528, 2006.

[16] Ryan E Janzen and Steve Mann. Arrays of water jets as user interfaces: Detection and estimation of flow by listening to turbulence signatures using

hydrophones. In *Proceedings of the 15th ACM international conference on Multimedia*, pp. 505–508, 2007.

[17] 近藤研二ほか. 感性情報を利用した ヒューマンインターフェイスモデルの研究. 倉敷芸術科学大学紀要, No. 10, pp. 15–22, 2005.

[18] Patrik N Juslin. Cue utilization in communication of emotion in music performance: Relating performance to perception. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, Vol. 26, No. 6, p. 1797, 2000.

[19] 石井綾郁, 椎尾一郎. 電気分解気泡による液体表面への情報表示. コンピュータ ソフトウェア, Vol. 37, No. 4, pp. 4_64–4_75, 2020.

[20] In Lee and Kyoochun Lee. The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, Vol. 58, No. 4, pp. 431–440, 2015.

[21] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, Vol. 29, No. 7, pp. 1645–1660, 2013.

[22] Kang Bing, Liu Fu, Yun Zhuo, and Liang Yanlei. Design of an internet of things-based smart home system. In *2011 2nd International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, Vol. 2, pp. 921–924, 2011. `doi:10.1109/ICICIP.2011.6008384`.

[23] SmartMat Lite. スマートマットライト. `https://smartmat-lite.io`, 2021.

[24] 環境知能学研究室. 奈良先端科学技術大学院大学の環境知能学研究室. `http://ambient.naist.jp/`, 2019.

[25] Diane J Cook, Juan C Augusto, and Vikramaditya R Jakkula. Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 5, No. 4, pp. 277–298, 2009.

[26] T. Nishiyama, A. Baba, T. Sekine, A. Terasawa, S. Hibiya, F. Obayashi, and R. Nakajima. Development of humanoid agent system employing the knowledge on transactional analysis. In *RO-MAN 2004. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Catalog No.04TH8759)*, pp. 455–460, 2004. doi:10.1109/ROMAN.2004.1374803.

[27] Hiroshi ISHII. Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bit and atoms. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 1997*, pp. 234–241, 1997. URL: https://ci.nii.ac.jp/naid/10024233434/en/.

[28] Diane J Cook, Aaron S Crandall, Brian L Thomas, and Narayanan C Krishnan. Casas: A smart home in a box. *Computer*, Vol. 46, No. 7, pp. 62–69, 2012.

[29] M Javad Akhlaghinia, Ahmad Lotfi, Caroline Langensiepen, and Nasser Sherkat. Occupant behaviour prediction in ambient intelligence computing environment. *Journal of Uncertain Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 85–100, 2008.

[30] 健次田中. 近現代日本における洋楽器産業と音楽文化. PhD thesis, 大阪大学, 1998. URL: https://ci.nii.ac.jp/naid/500000171947.