

立体形状を有する音源との直接対話を可能にする 能動的音楽鑑賞デバイス

山崎 萌恵^{1,†1,a)} 永井 美央花^{1,†1} 福岡 美結^{1,†1} 中嶋 祐雅^{1,†1} 佐藤 俊樹^{†2,b)}

概要：本研究は、音楽鑑賞者が演奏者に近い感覚で音楽を楽しめる「能動的な音楽鑑賞」に着目し、「音源との物的な触れ合い」を取り入れた新しい「能動的な音楽鑑賞」の実現を目指す。この新たな鑑賞方法の実現に向けて、本研究は「宝石」のように見る角度に応じて色や輝きが様々に変化するようなインタラクション要素を持ち、手に持って様々な角度から指向性のある音の変化を、聴覚的および触覚的に楽しむことができる再生デバイスを提案する。本論文では、本研究が提案する新しい能動的音楽鑑賞手法と、それを実現する音声再生デバイスの試作について述べる。またいくつかのアプリケーション例を示し、これを実際に使用してもらった際のフィードバックや、提案手法の有効性等についての議論を行う。

1. 背景

一般的に音楽鑑賞は、受動的に音楽を聴く行為だと捉えられがちである。しかし、コンサートにおけるコールアンドレスポンス^{*1}や、音楽プレイヤーにおけるイコライザ機能^{*2}の操作など、音楽に対して能動的に働きかける鑑賞方法も存在する。

研究においては、例えば「既存の楽曲データを解析し、その構成要素をユーザの好みに合わせてリアルタイムに編集できるオーディオプレイヤー [1]」や、「自動推定とユーザによる訂正から楽曲構造を可視化し、ユーザの音楽理解を深め音楽鑑賞をより豊かにする Web サービス [2]」などの「能動的音楽鑑賞」を可能にする研究が行われてきた。これらの鑑賞方法や音楽インタフェースは鑑賞者が意図的に音を操作できるため、音を創出せずとも演奏者に近い感覚で音楽鑑賞を楽しめる利点があると考えられる。

ところで、「目の前に置かれた物を、ふと手に取りたいくなる感覚」を体験した人は多いのではないだろうか。立体物には一点から眺めただけでは分からない視覚的な情報や、触感、重量感といった触覚的な情報がある。これらを確かめるために、人は立体物を実際に手に取り、転がすようにして角度や位置を変えながら眺めようとする。そうした能

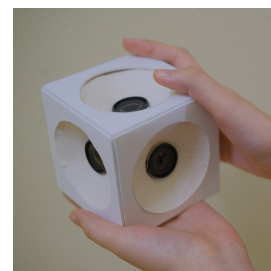


図 1 立体物を手に取る様子 図 2 立体型スピーカデバイス

動的な行為が、人の好奇心を満たし満足感を高めると考えた。また、制作者の立場で考えると、作品を制作する過程で生まれたこだわりや細部の工夫がユーザに伝わり、より深く理解されるきっかけになるとも思われる。

ここから本研究は、音源にユーザが実際に手に取れる「立体的な形状」をした実体を付与する、つまり視覚的・触覚的に感じられる立体感を付与することで、ユーザが音源と直接触れ合うことが可能になり、「能動的音楽鑑賞」が促されるのではないかと考えた。また、デジタルコンテンツを「モノ」と組み合わせることにより、ユーザが物理的に触れられる形でデジタル情報にアクセスできる事を可能とした Tangible User Interface(TUI)の研究においても、音楽鑑賞をはじめとした音との能動的なインタラクションが多く提案されている [3][4]。しかし、これらの研究は音源自体を「直接手に取る」ものではなく、能動的な音源との触れ合いを目的としたインタフェースではなかった。

そこで本研究では、音源に「立体的な形状」を付与し、ユーザが手の中の音源と直接対話することを通した新しい能動的音楽鑑賞手法を提案する。

¹ 情報処理学会
IPSJ, Chiyoda, Tokyo 101-0062, Japan

^{†1} 現在、電気通信大学

^{†2} 現在、北陸先端科学技術大学院大学

^{a)} iml@imedia-lab.net

^{b)} tsato@jaist.ac.jp

^{*1} コン서트などで、演奏者の呼びかけに対して観客が応えること

^{*2} 特定の周波数帯の音量を増幅・減衰させる機能

2. 提案と目的

本研究の目的は、ユーザの手の上で音源とユーザが直接触れ合うことを可能にする新しい能動的音楽鑑賞手法を提案し、その有効性を明らかにすることである。

これを行うため、図 1 のように、「立体形状を有する構造物を直接手に取り様々な角度から眺める」という我々が日常的に行う動作の、人と物との間のインタラクション要素を、図 2 のように提案デバイスを用いて能動的音楽鑑賞に取り入れる試みを行う。

まず本研究では、「角度により見え方が変化するもの」を手にとり鑑賞しているときの、人と物との間のインタラクション要素に着目した。例えば、表面にカットが施された装飾用の宝石は光が様々な方向へ反射するため、手に取り動かす動作に従って即座に輝き方が変化する。このような角度変化に対する応答性の高さが、本研究が提案する手の上での能動的な音楽鑑賞においても必要だと考えた。

それ以外にも、見る角度によって色や形が変化する宝石もある。このような見る角度による「表情」の違いは、様々な角度から見たいという思いをユーザに引き起こす。この「表情」の要素を音源との対話に取り入れ、聴覚的刺激として再現するため、提案デバイスの様々な位置や方向にスピーカを配置する必要があると考えた。

次に本研究が着目したのは、ユーザが立体的な形状を有する構造物を手の中で転がした時の、触覚を通して感じる物の立体感や、直接触れた面から得られる触覚的なフィードバックの変化である。これを能動的な音楽鑑賞に取り入れるためには、ユーザが手にする再生デバイスは手に取りやすい大きさ・重さでなければならない。加えて、聴覚的な刺激である音を発すると同時に、ユーザの手指を通してその振動を触覚的な刺激としてもフィードバックする機能が必要であると考えた。

以上を踏まえ、本論文では指向性のある複数のスピーカを多面体の各面に配置し、それぞれのスピーカから異なる音を出力することで、ユーザが手の上で自由に転がして、音源と能動的に対話しながら音楽を鑑賞することが出来る新しい音楽再生デバイス（図 3）を提案する。

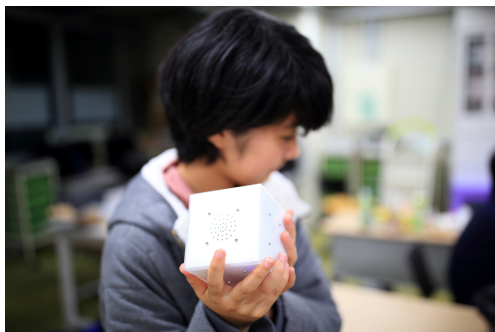


図 3 提案デバイスの使用例

本論文で提案するデバイスは 9cm 四方の立方体形状をしており、デバイスのそれぞれの面には独立した無線スピーカが埋め込まれている。ユーザは両手でデバイスを保持し、手の上で自由にデバイスを動かしながら各スピーカと耳との位置関係を能動的に変化させ、その音の変化を楽しむことができる。

以下に提案デバイスの具体的な実装とアプリケーション例について述べる。また、本デバイスの使用方法を説明しなかった場合どのように使用するかを調査する実験を複数人に行った。この実験結果を分析し、提案するインタラクションの可能性を述べる。

3. 実装

次に、本研究で実際に行ったプロトタイプシステムの実装について述べる。

3.1 ハードウェア構成

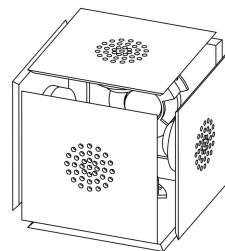


図 4 ハードウェア全体像

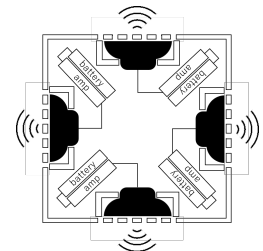


図 5 ハードウェア断面図

提案システムのハードウェアは 9cm 四方の立方体形状となっている（図 4）。今回の実装では、指向性を持たせやすく、かつ手に取りやすい形状である六面体形状を採用した。そして、デバイスのそれぞれの面に独立した 6 台のスピーカを配置する構造になっている（図 5）。スピーカは市販の Bluetooth スピーカ（EWA A106Pro）を分解して中身を取り出したものを使用した。各スピーカには基板及びバッテリーが一つずつ繋がっている。また、スピーカの開口部はメッシュ状の網でふさぎ、デバイスそのものは凹凸がない形状となっている。

3.2 ソフトウェア構成

提案デバイスで再生する音声は、各スピーカごとに別々のものである必要がある。また、楽曲を同時再生する場合、タイミングの同期が必要不可欠である。そこで今回、この二つの課題を実現するアプリケーションを作成した。

一つ目に、複数のスピーカから同時に異なる音声を再生する方法についてである。まず、提案デバイスを構成する独立した 6 台の Bluetooth スピーカを同時に制御するた

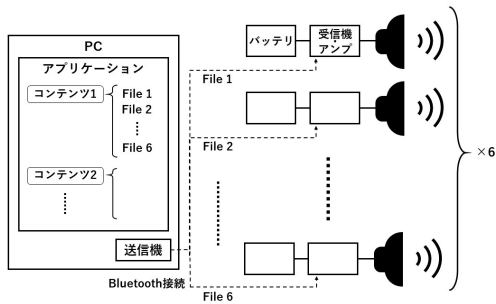


図6 ソフトウェア構成

め、図6のように同一PCに全スピーカをBluetooth接続する方式を取った。そして、個々のスピーカに個別の音声ファイルを割り当て、同時に再生命令を出す。これにより、提案デバイスの各面から異なる音声を同時に再生することを可能にした。なお、提案デバイスで再生する楽曲および音声は、1コンテンツにつき6つの音声ファイルから構成されている。（コンテンツとその音声ファイルの内容は、表1を参照して欲しい。）

二つ目に、タイミングの同期についてである。提案デバイスはBluetooth通信を使用するため、PCで再生の命令を出してから実際にスピーカで再生されるまでに遅延が生じる。この遅延時間はスピーカごとに異なり、再生命令を同時に出しただけではタイミングを同期出来なかった。加えて再生中にタイミングがずれていく問題もあった。これらを解決するため、楽曲の再生中、数秒毎に各スピーカの再生位置を取得し、基準としたスピーカの再生位置にそれ以外のスピーカを合わせるようにした。これにより、聞いていて不自然さを感じない程度にタイミングを同期させることが出来た。

ただしこれらの問題は有線接続のスピーカでは発生しなかったため、PCへのBluetooth機器の複数同時接続が原因と考えられる。タイミングの同期を実現する別の方法として、Raspberry Piなどの小型PCにスピーカを有線接続し提案デバイス内に組み込むことも検討している。

4. アプリケーション案

提案デバイスは複数のスピーカから異なる音を同時再生することができる。このようなデバイスで再生する音は、5章の実験の結果より、同時再生しても自然な音が、タイミングや意味が同期している音が適していると考えられる。

以下に、いくつかの具体例を挙げる。

4.1 曲の各楽器パートを分割して聴く手法

一つの楽曲を構成する楽器パートをそれぞれのパートに分割し、提案デバイスで再生する鑑賞手法もあると考える。例えば、Beckによる「Colors」という楽曲では、メインボーカル、リードボーカル、ギター、ベース、キーボード、ストリングスなどに分けて同時再生する楽しみ方があ

表1 実装済みの楽曲・音声の六面への割り当て

タイトル	Colors	Turn On Me	
パート分け	メインボーカル リードボーカル ギター ベース キーボード ストリングス	ボーカル+フルート ウクレレ ギター ベース ドラム ハイハット	
タイトル	Tell Me Nice	Song Of India	
パート分け	男性 Vo. +女性 Cho. 女性 Vo. +男性 Cho. ギター ピアノ ベース リズム	トランペット トロンボーン サククス ギター ピアノ ドラム	
タイトル	Let It Go	鳥の声	朗読
パート分け	アラビア語 イタリア語 英語 中国語 日本語 ロシア語	ウグイス カクコウ カラス カルガモ スズメ フクロウ	アリとキリギリス かちかち山 三匹の子豚 どうして海の水は塩辛い？ 花咲かじいさん 一房のぶどう

る。提案デバイスを使用することにより、普段は聞こえにくいような楽器の音を聞いたり、音の混ざり合いを変化させて楽しむことができる。

4.2 異なる言語の歌詞を分割して聴く手法

歌詞が多言語に翻訳されている曲の場合、異なる言語で歌われた同一の歌を同時に再生する鑑賞手法もあると考える。それぞれの言語で歌われる各パートの音は一致していないが、同一の曲が流れており、曲に合わせて単語レベルでタイミングの一致がはかられている翻訳上の工夫もあり、これらを各言語比較しながら楽しむことも可能である。

例えば、「Let It Go」の場合、日本語以外にもアラビア語、イタリア語、英語、中国語、ロシア語等があり、これらを同時再生して楽しむことができる。この曲の場合、例えばサビの「ありのままの」という歌詞はどの言語でもほぼ同じタイミングで歌われており、提案デバイスで再生することで複数言語の歌い方の違いや共通点が比較可能である。

4.3 もともと一つだった音を分割して鑑賞する手法

もともと一つの音だったものを、その音を構成する複数の音要素に分割し、提案デバイスで再生する手法も考えられる。例えば、一つの楽器の演奏を異なる角度から録音し、提案デバイスの対応する角度の面から再生させることが考えられる。例えば、トランペットのような指向性の高い楽器を再生させた場合、回転させたりその振動を手で触れて感じることで、トランペットが実際に手の中にあるかのよ

うな臨場感を感じることができる。

また、和音を構成する一音一音を提案デバイスの一面ずつに振り分ける鑑賞方法も考えられる。ギターなどの弦楽器を例に挙げると、各弦の音を本デバイスの各面に割り当てることで、各弦ごとの振動を感じたり、音の響きを変化させて楽しむことも可能である。

4.4 非同期音の再生について

提案デバイスでの再生に適する音は以上のように、もともと一つの音だったものを分割した音や混ざり合っても不自然のない音などで、タイミングの同期がとれていたものであった。例えば「アリとキリギリス」や「三匹の子豚」のような朗読を本デバイス上で同時に再生した場合や全く別々の楽曲を同時再生する場合などは、各スピーカから出る音声の混ざり合い聞き取りにくくなってしまっただけだろう。しかし、例えば「様々な小鳥のさえずり」を同時再生する場合などは、ランダムな音の再生であったとしても不自然さを感じることはなく、まるで森の中にいるかのように自然に小鳥の声の混ざり合いの変化を楽しむことができる。これは、我々が森の中で自然に小鳥のさえずりを聴く状況がごく自然なものであるからであると考えている。

4.5 その他、考えられる音について

提案デバイスで再生させる音声として、他にも以下のようないものが想定される。

- テンポや調を統一した同一楽曲のアレンジ
- 同一の伴奏に異なるメロディを乗せた楽曲
- 同一楽曲の別歌手によるカバー曲

5. 実験

本実験は、被験者が操作方法について説明を受けずに使用した場合、どのように本デバイスを使用し、どのような印象を持つのか調査することを目的としている。

5.1 実験方法

被験者は4名で、10代女性二人と、40代男女一人ずつである。本実験はデバイスをPCにBluetoothで接続し、被験者の前には机を用意しておくという環境で行った。また、被験者には事前に「Colors」、「Turn On Me」の二曲をイヤホンで聴いてもらい、初めて聞いた楽曲に対する印象が本デバイスの評価に影響しないようにした。

被験者にはデバイスの各面から異なる音声が出力されること、触れてもいいということのみを伝えた。その後デバイスを机の上に置いて渡し、表2の順番で音楽を鑑賞させ、その様子をビデオで記録した。

「Colors」は明るくアップテンポの曲であり、「Turn On Me」は落ち着いた曲である。今回この二曲を使用したのは、楽曲の雰囲気による使用方法の違いを考慮するため

ある。「Let It Go」は複数の言語で歌われているものを使用した。実験後は表3のアンケートを行った。

表2 実験で使用した楽曲

順番	曲名	分数
1	Colors	4:22
2	Turn On Me	4:29
3	Let It Go	3:39
4	鳥の鳴き声	1:00
5	朗読	3:00

表3 アンケートの内容

	設問	回答方法
	(以下、被験者自身について)	
1	性別を教えてください	男/女/他
2	年齢を教えてください	年代別
3	音楽経験はありますか	五段階評価
	(以下、各曲ごとに質問した)	
4	このデバイスでの音楽鑑賞を面白いと思いましたか	五段階評価
5	このデバイスを使用したことにより新たな発見はありましたか	五段階評価
6	音の指向性は感じられましたか	五段階評価
7	この曲をこのデバイスで聴いた感想を自由にお書き下さい	自由記述
	(以下、提案デバイスについて)	
8	このデバイスの使い方はわかりやすかったですか	五段階評価
9	このデバイスを使用することでイヤホンやスピーカでの音楽鑑賞との違いを感じましたか	五段階評価
10	今後このデバイスに追加してほしい機能や課題点などはありましたか	自由記述
11	このデバイスで聴いてみたいコンテンツなどはありますか	自由記述
12	ご自由にお書きください	自由記述

5.2 アンケートの結果

実験後、被験者に行ったアンケートの回答を表4から表10にまとめた。

なお、五段階評価は1が最低評価、5が最高評価である。(例：設問3「音楽経験はありますか」の場合、1は音楽経験が全くないこと、5は音楽経験に富んでいることを表す。)

また、設問10、11、12については見易さを考慮して表ではなく文章として以下に記す。

5.2.1 設問10：追加してほしい機能や課題点について

- ・一人目 文字を映し出す。再生ボタンを作る。
- ・二人目 デバイスを置いたときに下になった面の音が聞こえなくなる気がしてなんとなくいろんな面に置き換

表 4 アンケートの結果：被験者について

	性別	年齢	音楽経験
一人目	女	10 代	5
二人目	女	40 代	2
三人目	女	10 代	5
四人目	男	40 代	2

えて聞きたくなる。下の面が塞がらないような形にするか吊るすのも楽しいかも。光の点滅をもっといろいろな色にしたり光り方が変わると飽きないかも。

・四人目 音の同期，音質向上

5.2.2 設問 11：聴いてみたいコンテンツについて

- ・一人目 海の音（砂，波，海の中の音），ハモリ。
- ・二人目 四重奏みたいなのや合唱
- ・四人目 芸能山城組^{*3}の音楽

5.2.3 設問 12：自由記述欄へ寄せられた意見

- ・一人目 Let It Go はいろんな言語があつてすごいと思った。でも朗読はこのデバイスには向いていないと思う。ただのスピーカーでは聞けないような特別な立体感があるのでそれを活かせるような音楽だと，もっと良くなると思う。

5.3 実験結果と考察

本章では，まず全体で主にみられた動作について述べ，次にその他にみられた動作について述べる。4人中3人はどの曲を聴く際にも手に取って様々な角度に回転させながら聞くことが多く，手に取ったときは顔から本デバイスまでの距離を変化させたり，本デバイスの角度を傾ける，回転させるといった動作をしていた。しかし1人はときどき手に取るが基本的には机に置いたまま鑑賞をしていた。

この他にも，本デバイスを空中に投げたり手でスピーカーの面を押さえて音を変化させる動作がみられた。また，「Let It Go」では一つの音を探すため耳に近づけながら様々な向きに回転させている動作もみられた。「鳥の鳴き声」では全員がゆっくりとした動作で動かしており，「朗読」では過半数の人が他の面を手でふさいだり耳に近づけるなど，一面の音に集中している様子が見られた。

6. 考察と展望

6.1 各スピーカの指向性について

今回の実装において使用したスピーカは一般的なもので，指向性の高いスピーカではなかった。そのため，例えば今回行ったユーザ実験においては，被験者は一つの面から出る音を集中的に聞きたい場合はその面を耳元に持っていく動作（図 3）を行っていた。また，複数の面から出る音を混ぜて聞きたい場合は腕を伸ばしてデバイスと耳との距離を離す動作を行うなどが見られた。このように，各ユーザ

はデバイスを持った手を動かし，デバイスと顔との距離を変化させることで各面から出る音の聞こえる範囲を調整する動きがみられた。

6.2 六面体以外の形状について

今回の実装では，6 個のスピーカを用いて六面体形状の再生デバイスを試作したが，多面体形状を用いることで，同時に再生可能な音の数を増やすことができ，デバイスの角度変化に対する音の変化の応答性を高めることができる。ただ，再生する音の数を増やす場合，各スピーカの指向性を高める必要があると考える。また，デバイスの形状を再生する音声コンテンツに関連する形状にすることも考えられる。さらに，例えばレゴブロックを組み合わせて自由な形状を作るように，ユーザが再生する音に合わせてより自由な形状を持つ再生デバイスを構成できるようにすることも今後検討したい。

また，今回の実装において，六面体上の各スピーカへの音の割り当ては，特に意味を持たせずランダムに振り分けた。しかし，例えば対面する面の音は同時に聞くことが難しくなってしまう等が発生するため，再生デバイスの形状的な特徴を考慮した音の配置にする必要があると考える。

6.3 入出力要素の追加の可能性について

今回のデバイスはユーザがスピーカに直接手でふれることから，スピーカの振動を直接手で感じる事が可能で，触覚を通して音を感じることも可能である。これは生物や動いている機械等を手に取り，様々な部位を触りながらその動きや振動を手で感じる体験に近いと考えられる。また独立した振動子等を用いて，橋本らの研究 [5] のように音に関連した触覚提示を行うことも考えられる。

次に，デバイスにボタンのような入力装置や IML 等のセンサを内蔵し，それらを用いた音の変化を可能にする応用的な機能も考えられる。また，デバイスに小型の液晶ディスプレイや LED の内蔵，プロジェクション等を行うことで視覚的な要素を加えることも考えられる。今回の実装ではあえてそれらを排除し，純粋に手の中で転がすことでの物理的な音の変化のみを体験できるようにしているが，今後様々な応用的な可能性を広げるうえで，これらの追加機能についても必要であれば慎重に検討していきたい。

6.4 複数人の使用はどうするかについて

今回の実装においては，一人の体験者が使用することを想定したが，複数人で1台のデバイスを共有しながら使うことも考えられる。その場合，ユーザごとに聞こえる音が異なる状況を作り出すことが可能であるため，ある場所で聞こえる音が面白かった場合，それを他のユーザに教えたりすることで，対面的なコミュニケーションが促進される可能性がある。また，デバイスにマイクを追加し，複数台

^{*3} 民族音楽を主題にした日本のアーティストグループ

表 5 アンケートの結果：楽曲”Colors”について

	面白さ	発見	指向性	感想
一人目	4	4	4	歌手の人の声を主に聞きたかったらそこに傾け、違うのを主に聞きたかったらそこに傾ければ良いのでとてもいいと思った。
二人目	3	1	4	—
三人目	4	4	4	それぞれの楽器の音を聴くことができた。
四人目	1	3	2	—

表 6 アンケートの結果：楽曲”Turn On Me”について

	面白さ	発見	指向性	感想
一人目	4	4	4	フルートの音がきれいだった。低い音のときに指で振動を感じることができてスマホでは感じられないような感じだった。フルートメインのところでは他のパートをあえて聞いてみるとそれはそれで面白かった。
二人目	2	2	3	—
三人目	5	4	5	全体を手で塞ぐと、どの楽器がどんな演奏をしているのかが振動でも伝わってくるようだった。手でふさいだり話したりすることで音に変化して楽しかった。イヤホンで聞いた時には気づかなかった楽器の音に気付くことができた。
四人目	4	4	4	右耳で一音を集中して聴くと左耳から他の音が入って来て拮据を感じた。

表 7 アンケートの結果：楽曲”Let It Go”について

	面白さ	発見	指向性	感想
一人目	5	5	5	いろんな言語があるので日本語を聞きつつ他の言語でもどこを歌っているのかがわかった。言語の勉強に使用することも出来たと思った。
二人目	4	1	5	各国の音声が混ざり合って面白かった。
三人目	4	3	4	母音がきちんとそろえられていること、声が似ていることが確認できて面白かった。様々な言語の違いを同時に聞いたりそれぞれ聞いたりできて楽しかった。
四人目	4	4	4	松たか子の声が探せなかった。

表 8 アンケートの結果：音声”鳥の鳴き声”について

	面白さ	発見	指向性	感想
一人目	4	5	4	いろんな鳥の音が聞けて面白かった。フクロウの音が落ち着くような感じだった。なんの鳥かを書いてほしい。
二人目	2	4	5	実際に自然の中にいるかのような感覚で面白かった。
三人目	3	3	3	森の中にいるようだった。結構他の面からの鳴き声も聞こえてきた気がする。
四人目	2	4	3	—

表 9 アンケートの結果：音声”朗読”について

	面白さ	発見	指向性	感想
一人目	4	2	3	いろんな物語があって他のところを聞いてまた他のところを聞くことはできない。理由は他のところを聞いている間に話がどんどん進んでしまっただけで戻るともうどこを話しているのかわからないから。なんの物語なのかを書いてほしい。再生ボタンとかを用意して聞きたいやつだけを再生して全部聞きたかったら全部の再生を押せばいいと思う。
二人目	3	4	3	シュールだった。
三人目	2	2	3	ごちゃついていてわかりにくかった。朗読のいか所ずつを切り取ってそれをつなぎ合わせて変なストーリーとして聞くのは面白かった。
四人目	3	3	3	聖徳太子には、なれないと思った。

表 10 アンケートの結果：提案デバイスについて

	使用方法	違い	違いの記述
一人目	3	5	聞きたい音をデバイスを使用することで聞くことができた点。
二人目	3	5	イヤホンで聞くより音の立体感を感じた。
三人目	3	5	普通に聞いていたらあまり聞こえないような音も聞くことができた。自分で操作しながら音楽を楽しめた。
四人目	1	4	一音に集中した時に他の音が別方向から聞こえてくる、臨場感のようなモノを感じた。

のデバイスを用いて、遠隔コミュニケーションを行うことも考えられる。今後はこれらのような複数人で使用する可能性についても検討していきたい。

7. 関連研究

複数のスピーカを立体的に配置し、立体的な形状を有するデバイスを実現している研究がある。羽田らは、正十二面体と正二十面体のスピーカアレイを用いて狭指向性スピーカを実現することで、小型な装置での高精細な音響再生を試みている [6]。また牧らは 26 チャンネルの球形スピーカにより、生演奏をその場で聞いているかのような自然でリアルな音を作り出す試みを行っている [7]。また森勢らは複数の超音波スピーカを用いて音を壁、床、天井などに反射させ、目的の方向に音像を定位させる試みを行っている [8]。これらの研究ではスピーカを立体的に配置したデバイスを用いているが、立体的な音響を作り出す等の目的でなされており、本研究のようにそれを直接手に取り、能動的に動かすことでインタラクティブな音の変化を発生させる試みはなされていない。

次に、複数の音源を空間の様々な場所に配置し、その空間の中に体験者が入ることで立体的な音響を実現する研究がなされている。小川らは、空間中の複数の音源オブジェクトをユーザが掴んで動かすことで、能動的に音源の再配置を可能にするシステムを開発した [4]。一方、本研究でユーザが対話するのは立体的な形状を持つ一つの音源オブジェクト（実体）であり、ユーザと形状を持つオブジェクトのより密な対話に着目している点が異なる。

また、石井らの musicBottles[3] は、複数のボトル型タンジブルインタフェースにそれぞれ割り当てられたオーディオトラックを、ボトルの蓋の開け閉めにより再生可能にしたインスタレーションである。本研究もタンジブルな音楽インタフェースであるが、本研究が提案するインタラクションは、一つの物体が持つ形状の特徴をユーザが直接手に取って感じ取る動作に着目しており、その所作によって音の変化を発生させている点が特徴である。

8. まとめ

本研究では、「立体形状を有する音源との直接対話により能動的な音楽鑑賞を実現する」音楽再生デバイスを提案し、これを実現するために 6 台の Bluetooth スピーカを各面に配置した六面体型音楽再生デバイスを実装した。またアプリケーション案を示し、提案手法の有効性、特に提案デバイスを最初に手にしたユーザがどのような印象を持ち、提案デバイスをどのように使用するかについて調査するユーザ実験を行った。

今回行った実験では、朗読等の特殊な例を除いて多くの被験者が提案デバイスを楽しみながら使用し、能動的な音楽鑑賞を行えることが分かった。一方で、操作方法の説明

を受けずに提案デバイスを使用した場合、デバイスを手に取り角度を変化させながら能動的に音楽鑑賞を行うが、置いたまま鑑賞するケースも確かめられた。そのため、今後形状の改良や、音源データの制御方法、各スピーカの指向性についても検討を進めていき、今後被験者数を増やして実験を行う事で、本デバイスに対する客観的な意見をより多く取り入れた改良も行っていきたい。

さらに将来的には、振動子による音触提示、液晶ディスプレイや LED の内蔵、プロジェクション等の視覚的な要素を伴う入出力要素の追加、複数のユーザでの同時使用等の応用的な拡張についても検討し、これらの必要性や有効性の検証についても行っていきたい。

参考文献

- [1] Kazuyoshi, Y., Masataka, G., Kazunori, K., Tetsuya, O. and Hiroshi G. Okuno: Drumix: An Audio Player with Real-time Drum-part Rearrangement Functions for Active Music Listening, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1229–1239 (2007).
- [2] 後藤真孝, 吉井和佳, 藤原弘将, Matthias, M., 中野倫靖: Songle: 音楽音響信号理解技術とユーザによる誤り訂正に基づく能動的音楽鑑賞サービス, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1363–1372 (2013).
- [3] Ishii, H., Mazalek, A. and Lee, J.: Bottles as a Minimal Interface to Access Digital Information, CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 187–188 (online), DOI: 10.1145/634067.634180 (2001).
- [4] 小川景子, 塚田 学, 江崎 浩, 砂原秀樹: Tangible Sound Object: オブジェクトベースの音響システムのためのタンジブルインタフェース, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 1374–1381 (2016).
- [5] Hashimoto, Y., Nakata, S. and Kajimoto, H.: Novel Tactile Display for Emotional Tactile Experience, *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 124–131 (online), DOI: 10.1145/1690388.1690410 (2009).
- [6] Bando, K. and Haneda, Y.: Interactive Directivity Control Using Dodecahedron Loudspeaker Array, *Journal of Signal Processing*, Vol. 20, No. 4, pp. 209–212 (online), DOI: 10.2299/jsp.20.209 (2016).
- [7] Maki, K., Kimura, T. and Katsumoto, M.: Reproduction of Sound Radiation Directivities of Musical Instruments by a Spherical Loudspeaker with Multiple Transducers, *Proceedings of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 85–88 (online), available from (<https://doi.org/10.1145/1900179.1900197>) (2010).
- [8] 森勢将雅, 杉林裕太郎, 栗元総太, 西浦敬信: 音像ブラネタリウム: 超音波スピーカを利用した 3 次元音場再生方式, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 687–693 (2011).