

DirectionalGuitar: 指向性スピーカーを用いたギター演奏の拡張

滝谷和希¹ 沖真帆¹ 塚田浩二¹

概要: 近年、コンピューター技術を用いたライブ演出の拡張が盛んに行われている。一方、これらは大規模なステージを指向したものが多く、アマチュア演奏者が手軽に扱えるものは少ない。そこで本研究では、ギターと指向性スピーカーを組み合わせることで、ギター演奏者の姿勢をライブ演出に組み込み可能なシステム、「DirectionalGuitar」を提案する。ギター演奏者の姿勢に連動した指向性スピーカーと、通常のアンプの二系統の出力をインタラクティブに切り替えることで、音の指向性をライブ演出の一部として活用する。本稿では、システムのコンセプトと実装、及び演奏例を紹介する。さらに、評価実験を通して本システムの有効性を議論する。

キーワード: 指向性スピーカー, ギター, 拡張, ライブ演出, インタラクティブ

DirectionalGuitar: Expansion of Guitar Performance with Directional Speaker

KAZUKI TAKIYA^{†1} MAHO OKI^{†1} KOJI TSUKADA^{†1}

1. はじめに

近年、コンピューター技術を用いたライブ演出の拡張が盛んに行われている。これらはプロジェクション・マッピングやモーション・キャプチャ等を利用して大規模なステージを指向したものが多く、アマチュア演奏者が手軽に扱えるものは少ない。

そこで本研究では、ギタリストのライブ演出を手軽に拡張することに注目し、指向性スピーカーとエレクトリック・ギター（以下、ギター）を一体化したシステム「DirectionalGuitar」を提案する（図1）。



図1 DirectionalGuitar のイメージ図と装着例

2. 関連研究

本研究と関連の深い研究として、「ライブ演出支援」「楽器の技術習得支援」「指向性スピーカーを用いた拡張」の3つの項目から紹介するとともに、本研究の特徴について述べる。

2.1 ライブ演出支援

飯島ら[1]では、ギター演奏と映像表現を統合したライブ演出手法を提案している。ギタリストの指先にかかる圧力

をセンサで検出し、VJのように映像として視覚化することで、ライブ演出の拡張を目指している。JackTopGuitar[2]は、ギター・マイク・フットペダルを組み合わせたオーディオビジュアルパフォーマンスのためのインタフェースを提案している。ボイスコマンド・ボイスジェスチャ・ギタージェスチャ・ペダル操作を組み合わせることで、多様なパラメータをリアルタイムに操作し、即興性の高いパフォーマンスが可能になる。LanternFish[3]は、バルーンを利用したインタラクティブな照明演出システムを提案している。ライブ会場に来ている観客の頭上にバルーンを浮かせることで光が浮いているような、幻想的な空間を演出することができる。Control Manually[4]は、インターネット上での楽器の生演奏配信において、視聴者が演奏者の配信環境を制御して演出を行う、視聴者協力型ライブ支援システムを提案している。

2.2 楽器の技術習得支援

竹川ら[5]は、演奏初期段階における打鍵位置や運指の習熟を高めるピアノ演奏学習支援システムを提案している。鍵盤の上にプロジェクタを設置し、鍵盤やその周辺に演奏を補助する情報を提示することで、演奏に必要な情報を直感的に提示することができる。松下ら[6]は、手首装着型センサを使ったメタルギタリストのための高速ダウンピッキングのトレーニングシステムを提案している。ギター弦からの反発力をリアルタイムでチェックすることで、速いリズム領域での出音が改善されていることを確認している。齊藤ら[7]は、バイオリン初心者のためのマルチモーダル情報提示によるポジショニング学習支援システムを提案している。学習者に適切な押弦位置を記憶させたり、音感を育成させたりする多彩な学習補助機能を提供することで、ポ

^{†1} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

ジショニングをミスせずに演奏できることを目指している。

2.3 指向性スピーカーを用いた拡張

SpeechJammer[8]は、発話者の発話者の音声を指向性マイクで取得し、わずかな遅延を与えて指向性スピーカーで出力することで、発話を妨害することができる。石野ら[9]は、即興音楽を対象とし、操作者の指の方向を Web カメラで検知し指向性スピーカーの向きを変化させ、特定の方角へ音を放射するシステムを提案している。Sonoliards[10]は、空間内での音の反射を計算し、一台の指向性スピーカーを上下左右に動かすことで音の聞かせ方を最適化する音響システムである。聞かせたい相手の位置に合わせて天井や壁での反射を利用することで、物陰にいる相手にも音を届けることができる。Holographic Whisper[11]は、超音波の焦点をつくることで何もない空中から音を発生させる音響技術である。従来の指向性スピーカーでは、直線上であれば音が聞こえてしまうものを、特定の距離だけで聞かせることができる。

2.4 本研究の特徴

本研究では、ギタリストにできるだけ負担をかけないように配慮しつつ、指向性スピーカーとギターを組み合わせることで、新たな演奏表現ができるシステムを提案する。通常は環境に固定させる指向性スピーカーを、ギターと一体化をして自由に動かすことで独特な演出効果が期待できる。また、指向性スピーカーと通常のアンプの二系統の出力をインタラクティブに切り替えられる点も特徴である。

3. DirectionalGuitar

本章では、「DirectionalGuitar」のコンセプトと実装方式について説明する。

3.1 コンセプト

「DirectionalGuitar」のコンセプトを図2に示す。ギター演奏者の姿勢に連動した指向性スピーカーと、通常のアンプの二系統の出力をインタラクティブに切り替えることで、音の指向性をライブ演出の一部として活用する。指向性スピーカーを用いた場合、スポットライトのように演奏者の正面の聴衆のみに音を届けることができる。例えば、図3のように動かすことで特定の聴衆グループごとに順次演奏を聴かせたり、ギター自体を激しく動かすことで会場全体に音を振りまいたりできると考える。

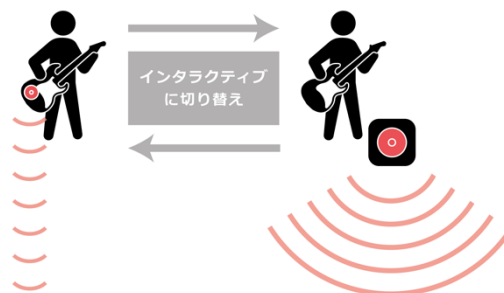


図 2 DirectionalGuitar のコンセプト



図 3 DirectionalGuitar の利用例。ギター自体を激しく動かし会場全体に音を振りまく。

3.2 実装方式

「DirectionalGuitar」の実装方式としては、ギターに直接指向性スピーカーを組み込んだ一体型と、ギターの向きをモーションセンサで認識し、ステージ上に別途設置した指向性スピーカーをサーボモーターで駆動する分離型の二種類を検討している（図4）。一体型はシステム構成がシンプルで扱いやすいが、大型の指向性スピーカーの搭載は困難なため、音量に制約がある。

一方で分離型は、指向性スピーカーのサイズに制約がないため、大型の会場等にも対応できるが、システム構成が複雑で扱いにくくなり、遅延等の問題も起こりうる。本稿ではシステムの基本的な効果を確認するために、シンプルな一体型を実装し、その効果を検証する。

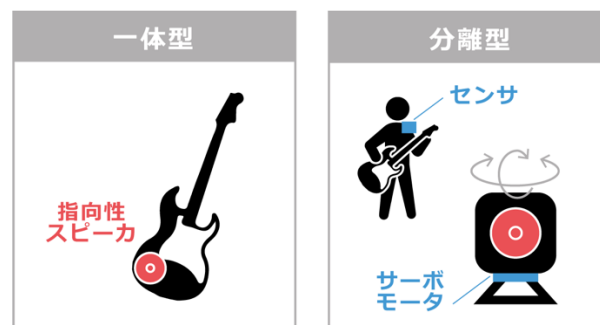


図 4 実装方式

4. 実装

本章では、DirectionalGuitar の実装として、対象とするギターやプロトタイプの構成、音のルーティング構成について述べる。

4.1 対象とするギター

本システムで対象とするギターは、世界屈指のギターメーカーのギブソンが出しているレスポールタイプと、それに並ぶギターメーカーのフェンダーが出しているストラトキャスタータイプとした（図 5）。これらは世界中で利用される代表的なギタータイプであり[12]，多くのギタリストが本システムを扱えると考えた。



図 5 対象としたギタータイプ。レスポールタイプ（左），ストラトキャスタータイプ（右）。

4.2 プロトタイプ

レスポールタイプとストラトキャスタータイプ，それぞれのプロトタイプの外観を図 6，図 7 に示す。プロトタイプは，ギター本体，指向性スピーカーと制御基板，バッテリー，専用の固定具を中心に構成される。指向性スピーカーと制御基板はスイッチサイエンス社の超指向性超音波スピーカーキットを，バッテリーは単三電池 8 本（12V）を利用した。指向性スピーカー部やバッテリーは，3D プリンターで自作した固定具を用いてギターに装着する。ストラトキャスタータイプはギター左上の突起物付近に装着する。レスポールタイプは取り付けやすい部位が存在しないため，ボディのくびれ部分を両側からひも状の素材で挟み込み，その張力で固定する（図 8）。固定具はフレキシブル樹脂を用いることで，ギター本体を傷つけることなく脱着できるように配慮した。



図 6 レスポールタイプのプロトタイプ



図 7 ストラトキャスタータイプのプロトタイプ

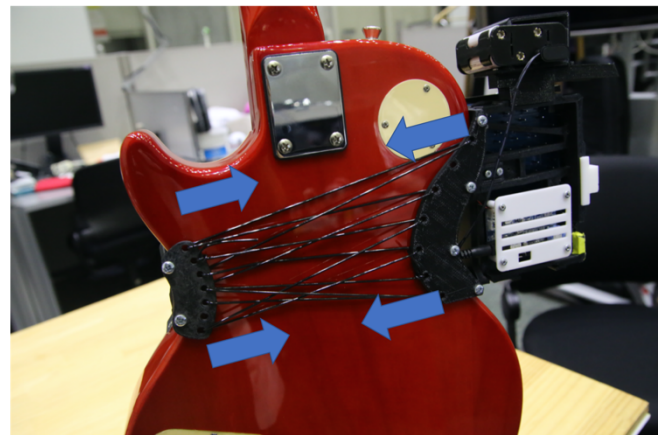


図 8 レスポールタイプのプロトタイプの固定方法（裏側）

プロトタイプを実際に演奏している様子を図 9 に示す。ちょうどギターのお腹付近に指向性スピーカーが位置する形になり，ギターの装着性やピッキングに影響が少ないことを確認した。また，指向性スピーカーのみを利用すると演奏者に演奏音が聞こえないため，指向性スピーカーの表面に反射板を取り付けることで，演奏音の一部が反射して演奏者に聞こえるように配慮している（図 10）。



図 9 プロトタイプを用いた演奏例

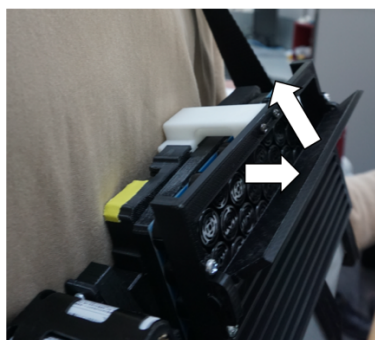


図 10 可動式の反射板で演奏音の一部を反射させる様子。

4.3 ルーティング構成

プロトタイプの音の経路を中心としたシステム構成を図 11 に示す。ギターからの出力はスイッチャーに入力され、それぞれエフェクター経由でギターアンプと指向性スピーカーに入力される。なお、指向性スピーカー側のエフェクターは、プリアンプとしても利用する。現時点では、スイッチャーはフットスイッチ付きの市販品を利用しており、図 12 のように演奏者自身が足で出力を個別に切り替えることができる。具体的には、(1)指向性スピーカーのみ、(2)ギターアンプのみ、(3)両方出力しないという 3 パターンを演奏中に切り替えて利用できる。指向性スピーカーのみにエフェクトをかけて、特定の聴衆のみに雰囲気異なる演奏を届ける等の演出も行えるように配慮している。

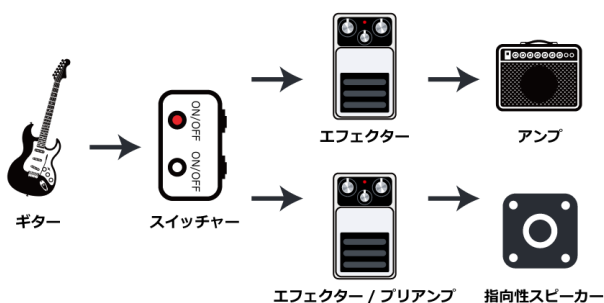


図 11 音のルーティング構成



図 12 スイッチャーで出力を切り替える方法

5. 奏法例

本章では、DirectionalGuitar によるライブ演出を前提とした、奏法例について紹介する。

5.1 基本操作：単純な上下／左右移動

図 13 のように、ギターの向きを上下／左右に変化させることで、音が空間を移動するような演出効果が期待できる。ギターを左右に動かすことにより、定位が左右に動いているように音聞こえる。そしてギターを上下に動かすことにより音が天井や床で反射することもあり、定位が上下に動いているように聞こえる。



図 13 単純な移動例。上下移動（上段）、左右移動（下段）

5.2 環境の活用：音の跳ね返り

会場の環境を活用した例として、指向性スピーカーから出る音は壁や天井で反射するため、跳ね返りを考慮して特定の場所に音を届けたり、狭い部屋で複雑に反響させるような演出ができると考える。例えば、図 14 のように天井に向けて演奏すると、天井から音が跳ね返り、音が上から落ちてくるような聞こえ方になると考える。



図 14 音の跳ね返りを使ったイメージ図

5.3 演奏技術との併用：ブリッジミュート

ギターの演奏技術と組み合わせる例として、ブリッジミュートに注目した。ブリッジミュートとは、図 15 のようにブリッジにピッキングする手の側面を軽く乗せ、弦をミュートしながら弾くテクニックであり、短くて歯切れのいい音を出すことができる。この演奏技術は、今回利用する指向性スピーカーのやや低音質でノイズなサウンドと相性がよいと考えた。



図 15 ブリッジミュートを用いた演奏例

5.4 エフェクターの併用：曲の場面毎の切り替え

エフェクター組み合わせた例として、ディレイを紹介する。ディレイでは演奏音を周期的に繰り返すため、空間的な音の移動と相性がよいと考えた。例えば、短い単純なフレーズを演奏して、ギターを左右に動かす。この際、ディレイの周期と移動の周期を合わせることで、ディレイ音が左右交互に聞こえるような独特の演出ができる可能性がある。

5.5 通常アンプの併用：曲の場面に合わせた切り替え

一曲を通した利用例として、リードギターとリズムギターのパートで指向性の有無を切り替える例が考えられる。ここで、リードギターはギターソロやリフ等の目立つ部分を弾くパート、リズムギターはコードやリズムキープといった目立たない部分を弾くパートである。リズムギターのパートを引くときは通常のアンプで演奏し、リードギターのパートを引く際に指向性スピーカーに切り替えつつ、ギターを動かしながら演奏することで、個性的な演奏体験を作り出せると考える。

6. 評価実験

本章では、音の到達範囲を調べる予備実験、聴衆に対す

る評価実験、及び演奏者に対する評価実験について述べる。

6.1 予備実験

6.1.1 目的と手法

本システムの利用可能範囲を調べるため、指向性スピーカーの音が届く範囲を調査した。場所は数百メートル先まで障害物のない大学敷地内で行った（図 16）。環境音は風のみであった。演奏者と聴者の 2 名で行い、演奏者は始点から一弦開放弦の音 E（330Hz）を約 1 秒間隔で弾き、聴者はその音を聞こえなくなる位置まで離れてもらう。なお、演奏者は常に真正面を向いて弾いている。手順は、(1) 始点から音が聞こえなくなる位置まで真っ直ぐに後退する、(2) 演奏者の近くに帰り、そのまま音が聞こえなくなる位置まで横に移動する、(3) 横位置から音が聞こえなくなる位置まで後退する、とした。



図 16 予備実験の様子

6.1.2 結果と考察

結果を図 17 に示す。音を認識可能な直線距離が約 100m であった。横方向には約 30 度の範囲まで広がり、約 80m まで音を認識できた。一方、これは音が聞こえるかどうかを判断しており、演奏を楽しめる実用的な範囲はやや小さくなると考える。

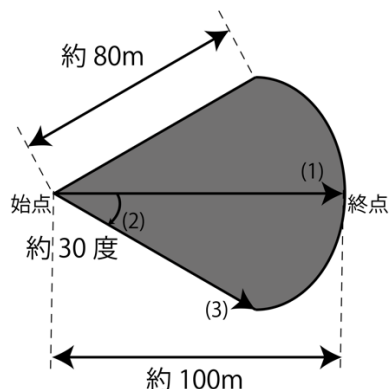


図 17 予備実験における音の到着範囲

6.2 聴衆に対する評価

6.2.1 目的と手法

本システムを使った演出手法の聴衆に対する効果を測る実験を実施した。場所は大学内の音響スタジオを利用した（図 18）。11 名の被験者に対して本システムを使った 5 つの奏法を一人ずつ聞いてもらい、アンケートに回答しても

らった。奏法の一覧を表1に、被験者の属性を表2に示す。アンケートでは各奏法に対して、(1)魅力的だと感じたか、(2)新しい体験だと感じたか、(3)音楽ライブの中で体験してみたいですかという3つの質問を行い、5段階で回答してもらった。



図 18 聴衆への演出評価実験の様子

表 1 奏法の詳細

奏法 1	メロディを弾きながら左右移動
奏法 2	メロディを弾きながら上下移動
奏法 3	曲の場面に応じた切り替えと移動
奏法 4	ブリッジミュートしながら左右移動
奏法 5	ディレイを使った左右移動

表 2 被験者の詳細

年齢	性別	音楽の関心度 (1-5)	音楽ライブに 行く頻度
21	男	5	年に数回
22	男	3	経験あり
21	男	4	経験なし
23	男	4	年に数回
22	男	4	経験あり
22	男	4	経験なし
22	男	3	経験あり
22	男	3	経験あり
21	女	4	年に数回
21	女	3	経験あり
22	女	5	年に数回

6.2.2 結果と考察

奏法1から奏法5までのアンケート結果の平均値を図19に示す。奏法2(上下移動)は全体的に他の奏法より低い結果であり、特に魅力は平均2.82と最も低かった。理由として、「音量が変わっただけに思えた」、「音が聞き取りにくい」等の回答があった。奏法1は音が左右に移動しているように感じたが、奏法2は上下に音が移動しているように聞こえず、音量の変化しか感じられなかった様子であった。

一方、奏法3(切り替え)と奏法5(ディレイ)の平均値はどれも4以上と高い評価となった。回答理由に「指向性スピーカーとの組み合わせが合っている」といった意見が多くあった。また、奏法3(切り替え)は「ソロパート時に際立てるのによかった」、奏法5(ディレイ)は「音量だけではなく音の方向も動いて面白い」等の回答があった。こうした、曲のパートごとの指向性の切り替えや、ディレイエフェクトとの組み合わせは、新しい演出効果として有効だと考えられる。

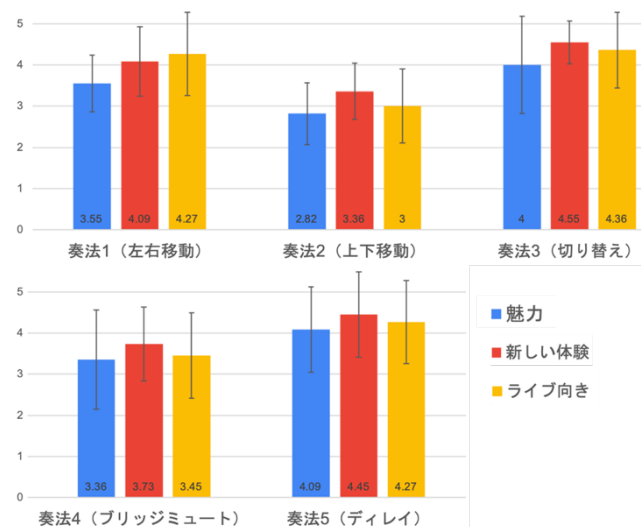


図 19 聴衆への演出評価実験の結果。(平均値、エラーバーは標準偏差。)

6.3 演奏者に対する評価

6.3.1 目的と手法

本システムの操作性や装着感について、演奏者の視点から評価する。場所は前節と同じ大学内の音響スタジオを利用した。被験者は本システムを用いて、表1の奏法を含む様々な奏法を試奏した後、アンケートに答えてもらう。被験者はギター経験のある男性4名であり、属性を表3に示す。ギターでのライブ演奏の経験が豊富な被験者を選んだ。アンケート内容は(1)狙った場所に音を届けられるか、(2)普段と変わらずに演奏ができたか、(3)アンプと指向性スピーカーをスムーズに切り替えられたかという3つである。

ここで、狙った場所に音が届いたかを判断するためには音のフィードバックが必要である。そこでバイノーラルマイクと接続されている iPod touch と Bluetooth ヘッドホンを利用した(図20)。バイノーラルマイクに狙って演奏すると、マイクで拾った音がヘッドホンにほぼリアルタイムに転送され、演奏者へのフィードバックが可能である。

表 3 被験者の属性

年齢	性別	ギター経験	ギター練習の頻度	ライブ演奏の頻度
22	男	4年以上	週に数回	月に1回以上
19	男	1年	週に数回	月に1回以上
20	男	1年	週に1回	月に2,3回
18	男	3年	ほぼ毎日	半年に1回

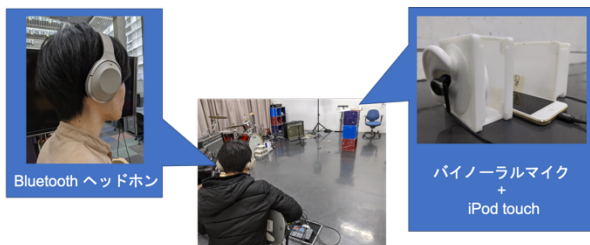


図 20 演奏者へのフィードバックの様子。

6.3.2 結果と考察

演奏評価の結果を図 21 に示す。どの項目も平均が 4 以上と高い結果となった。音の指向性に関しては、多くの人が狙ったところに音を届けることができた。指向性スピーカーの装着位置等が適切であり、ギターや身体の向きに合わせて音を操作できたと考えられる。楽器の演奏性に関しては、普段と変わらずに演奏ができた人が多かった。しかし狙った場所に届けようとすると、いつも通り弾けなく人が 1 名おり、標準偏差が大きい結果となった。演奏しながら音の方向を動かす操作は普段の演奏とは異なるため、ある程度慣れが必要だと考えられる。スイッチャーに関しては、全員が 5 と答えており、直感的にアンプと指向性スピーカーを切り替えることができた。これはギタリストが普段使うエフェクターの切り替え操作と同じ感覚だからと考えられる。このように、音の向きを操作しながらの演奏には慣れが必要だが、本システムは一定の操作性や装着感を実現できていると考えられる。

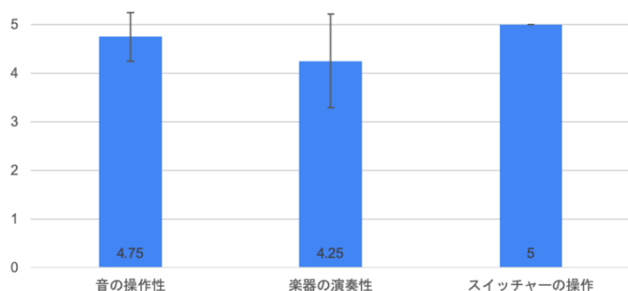


図 21 演奏者への評価実験の結果。(平均値、エラーバーは標準偏差。)

7. 議論

現時点ではギター単体を用いた検証しか行っていないが、今後はドラムやベース等と一緒に演奏するバンド形態でも使えるシステムにしたいと考えている。しかし現在のプロトタイプでは、指向性スピーカーの音量が相対的に小さいため、特にドラムのような生音の大きい楽器にかき消されてしまう懸念がある。指向性スピーカーのサイズを大きくすれば音量自体は上げることができるため、3.2 章で述べた分離型の実装等と併せて検証していきたい。

8. まとめと今後の展望

本研究では、ギターと指向性スピーカーを組み合わせることで、ギター演奏者の姿勢をライブ演出に組み込み可能なシステム、「DirectionalGuitar」を提案した。通常は環境に固定させる指向性スピーカーを、ギターと一体化をして自由に動かすことで独特な演出効果が期待できる。さらに、本システムを用いた様々な演奏例を紹介し、評価実験を通して音の到達範囲、聴衆の持つ印象、演奏者の持つ印象を評価した。

今後は、前述したライブ形態での活用に加えて、ベースやキーボード等さまざまな楽器にも応用し、複数の同時利用等の斬新な演出効果を模索していきたい。

謝辞

筐体の作成に協力頂いた新山大翔氏、及び BlueBacks Outreach を通して支援いただいた、久池井淳氏、長尾恭子氏、丸山泰史氏、ユカイ工学株式会社、mizuhara 氏、△×△番長氏に感謝します。

参考文献

- [1] 飯島 祥, 平林 真実, 小林 孝浩. 音楽ライブパフォーマンスにおける奏者の運指に着目した映像表現システムの開発. 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング 2017, pp.246-249, 2017.
- [2] 大谷泰斗, 越智景子, 大淵康成. JackTopGuitar: オーディオビジュアルパフォーマンスのためのギターと音声入力を使用したライブインタフェース. 芸術科学会論文誌 Vol.17, No.4, pp.83-93, 2018.
- [3] 室崎 之典, 小野 龍一, 羽田 久一. LanternFish: ライブエンタテインメントにおけるインタラクティブ照明演出の拡張. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, pp.143-147, 2016.
- [4] 米澤拓郎, 徳田英幸. Control Manually: 視聴者協力型ライブ演出システムによるコミュニケーションと演出効果の拡張. 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) 2012-EC-25, pp.1-9, 2012.
- [5] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦. 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 917-927 (Feb. 2011).
- [6] 松下宗一郎, 幸田有里, 近藤百佳, 溝上大輝, 甲斐美月. メタルギタリストのための高速ダウンピッキングトレーニングシステム. 情報処理学会 インタラクショナル 2018 論文集, pp.312-313, 2018.
- [7] 齊藤 豊, 竹川 佳成, 平田 圭二. バイオリン初心者のための

マルチモーダル情報提示によるポジショニング学習支援システムの設計と実装. 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , 2018-HCI-176, pp.1-7, 2018.

- [8] 栗原 一貴, 塚田 浩二: SpeechJammer: 聴覚遅延フィードバックを利用した発話阻害の応用システム, ソフトウェア科学会 WISS2010 論文集, pp.77-82 (Dec, 2010).
- [9] 石野 力, 中 裕介, 吉田 侑矢, 松井 雄佑, 米澤 朋子. 空間指向性を含む音楽構成の検討. 情報処理学会研究報告書 Vol.2014-MUS-104 No.18, pp1-6, 2014.
- [10] Naoya Muramatsu, Kazuki Ohshima, Ryota Kawamura, Ooi Chun Wei, Yuta Sato, Yoichi Ochiai. Sonoliards: Rendering Audible Sound Spots by Reflecting the Ultrasound Beams. In Adjunct Publication of ACM UIST'17, pp.57-59 (2017).
- [11] Yoichi Ochiai, Takayuki Hoshi, Ippei Suzuki. Holographic Whisper: Rendering audible sound spots in three-dimensional space by focusing ultrasonic waves. In Proceedings of ACM CHI'17, pp4314-4325 (2017) .
- [12] 「なぜレス・ポールとストラトキャスターは愛され続けるのか。」,『ヴィンテージ・ギター Vol.15』,2004 年 12 月 2 日, p.4, 樫出版社.