

# 振動触覚フィードバックを用いた DJ サポートシステムの開発

西門亮†<sup>1</sup> 徳井直生†<sup>1</sup>

**概要：** クラブ DJ はパフォーマンス中に処理すべき視聴覚情報が非常に多い。流れる曲の音量調整や、次にかける曲のテンポ合わせは聴覚により処理を行い、曲選びや音量のツマミ操作は視覚により処理を行う。熟達した DJ は経験や場数から複雑な処理を適切に行うが、経験の浅い初心者の DJ の場合、情報量の多さに適切に情報を処理できず、アクシデントやミスの原因となってしまう。この問題に対し、上述した視聴覚に比べ意識されることの少ない触覚に着目し、振動触覚を用いたフィードバックシステムの開発を行う。それに加え、DJ が操作するコントローラー情報をリアルタイムで識別する独自システムを制作し、DJ パフォーマンス中の情報を触覚に共有し、アクシデントを防止する等の表現支援を行うシステムを提案する。

## 1. はじめに

ナイトクラブやイベントにて、その場の雰囲気や客層に合わせた選曲を行い、フロアに曲をミックスして流すことで場を盛り上げるクラブ DJ のパフォーマンスには、処理すべき視聴覚情報が非常に多い。フロアに流れる音や次にかける音の大きさの調整や、曲をミックスするためのテンポ合わせは聴覚により処理が行われ、曲選びや扱う機材のパラメーター操作を行うフェーダーやノブといったつまみの確認は視覚により処理が行われる。熟達した DJ は自身の経験や場数により、これらの情報を適切に扱い自身のパフォーマンスを行う。しかし初心者の DJ の場合、情報量の多さに適切に情報を処理できず、アクシデントやミスの原因となってしまう。

本研究では、上記の視聴覚情報に比べ意識されることのない触覚に着目し、パフォーマンスの際に必要なと考えられる情報をとりまとめ、それらを振動触覚により情報伝達を行うことで DJ パフォーマンスをサポートするデバイスおよびシステムの開発を行った。

## 2. 研究背景

クラブ DJ はパフォーマンスの際、ブースの中で何をしているのだろうか。一般的な DJ ブースには、DJ が曲を再生するためのレコードの再生機であるターンテーブルや、USB や CD 等の記憶媒体にある曲を読み込んで再生する CDJ と呼ばれる再生機、そして再生機から出力される音を混ぜてフロアに出力するためのミキサーが設置されている(図 1)。



図 1 一般的な DJ ブースにおける機材構成・配置

パフォーマンスではこれらの機材を用いて、まず 1 つ目のターンテーブルや CDJ から曲を流し、ミキサーで曲の音量や高音、中音、低音それぞれの帯域(以下「3 バンド EQ」)の強さを調整してフロアに音を流す。ある程度曲が流れたら自分のタイミングで次に流す曲を選び、2 つ目の再生機で現在流れている曲とのテンポを合わせ(以下「ビートマッチング」)、ミキサーで現在かかっている曲にアクセントになるように各音域や音量の上げ下げといった調節を行う。最後にキリがよいタイミングで、先に再生されていた曲の音と次に流す曲の存在感を逆転させるかのように、じっくりまたは素早く音量などを切り替えることで曲の「ミックス」を行う。自分の持ち時間の間、時間が許す限りこれらのフローを繰り返すことで DJ のパフォーマンスとなる。の起源から現在に至るまで、音楽を再生する媒体がレコードから CD や USB に変化しようとも、PC の出現や技術革新による機材の機能拡張があろうとも、「2 つ以上の再生機と一つのミキサー」という構成と「曲をミックスする」というパフォーマンスの形は、基本的に不変である。

クラブ DJ は曲を自在に操り、自らの表現へと昇華させて場を盛り上げるが、そのパフォーマンスは、ギターやピアノなどの楽器の演奏形態とは異なり、非常に複雑である。

クラブ DJ のパフォーマンスでは少なくとも 2 つの曲を同時に操るため、それぞれの曲の展開や BPM、それらを調整するための機材のパラメーター、さらにオーディエンスが今流れている曲に乗っているか常に把握する必要がある。これらの情報は視聴覚にて並列して処理されている。

視覚(図 2 黄丸)は再生機にてかける曲の選択(ターンテーブルであれば自身が持ち込んだレコードの中から、CDJ の場合は液晶に表示されている記憶媒体に保存されている曲プレイリストの中から)や曲の再生箇所を決めるため、ミキサーをはじめとする機材のフェーダーやボタンやつまみ

†1 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

の状態などを確認するため、またフロアにいるオーディエンスが現在流れている曲に対して乗れているか確認をするため、聴覚(図2 青丸)はフロアに流れている曲の音量の確認や、今流れている曲と次に流す曲のミックスがしやすいようにするためビートマッチング、音域の調整をするために使われる。



図2 DJパフォーマンスにおいて意識される視聴覚情報

熟達しているクラブDJらは場数や経験から、処理能力を高めることで問題なくパフォーマンスを行い、フロアにいるオーディエンスを盛り上げる。しかし、経験や場数が少ないクラブDJはどうだろうか。前述されたクラブDJのパフォーマンスの一連のフローを文章化するとシンプルな行為に見えるかもしれない。しかし、いざパフォーマンスをすとなった場合、大量の視聴覚情報を適宜処理しなければならない。経験や場数が少ないクラブDJからすると非常に複雑で難易度の高い行為であることがわかる。これらは、人間に備わる五感のうち、2つ以上、2つ以上の曲という同系統の情報が集約しているため複雑化しているというのが問題であると考えられる。

この問題に対し、視聴覚以外で意識されることが少ない触覚に着目し、パフォーマンスにおいて必要な情報をとりまとめ伝える。それにより、第2の視聴覚の役割を与えることで複雑性を取り除き、パフォーマンスにおけるサポートを可能とすることで解決できるのではないかと考えた。

### 3. 先行事例

上述の研究背景を基に、DJとHCIの組み合わせや音楽と触覚フィードバックの観点から、今現在研究やメーカーの立場からどのようなアプローチがあるか調査と分析を行った。

#### 3.1 DJとHCI

DJパフォーマンスを他の演奏行為と線引きをせず、HCIにおける人間と計算機の関係性を絡めることで、過去様々なアプローチが行われている。従来の機材に囚われず、開発されたソフトウェア上で簡素なUIを自身で組むことで直感的にDJが行えるようにするシステム[1](図3)や、ペンネウファブラ大学の音楽技術グループが開発した卓上型電子楽器であるReactable[2](図4)を用いてDJのような演奏

を可能としたシステム[3]などが発表されている。



図3 Multitouch interactive DJing surfaceのUI [1]



図4 More DJ techniques on the reactable [3]

その他にも、手首に加速度センサーを取り付けることで開発されたソフトと連携を行うことで、ジェスチャーで音のボリュームの操作やエフェクトをかけるデバイス[4](図5)や、DJブースに置かれているターンテーブル上のコントロールバイナル(専用のソフト上でDJを行うために時系列情報が音として記録されているレコード)にプロジェクションを行うことで曲の再生箇所や音の波形情報を視覚的に伝えるシステム[5](図6)などが発表されている。



図5 Wearable DJ system:

A new motion-controlled DJ system [4]



図6 DiskPlay: in-track navigation on turntables [5]

#### 3.2 音楽と触覚フィードバック

DJではない楽器などを用いて演奏をする際は、スイングなどを重視するようなジャズであったり、具体的な型がない即興音楽ではない場合、多くの演奏者はメトロノームを用いて自身の演奏速度が一定であることを確認しながら演

奏を行う。演奏のテンポを確認する、もしくは周りの楽器とのテンポの同期を図るためのデバイスの研究として、バイオリンの場合では肩当の中にテンポの情報伝達を行う振動子が内蔵され[6]、ギターの場合ではフレットを操作する腕の上腕[7]に装着するといった試みがある(図7)。



図7 楽器とそれぞれに適した振動子とその配置[6,7]

演奏に対する触覚フィードバックの他、単純に音楽における体験や理解度を高めるためのデバイスもある。ジャケットの中に数十個の小型スピーカーを仕込むことで音楽を体験するという取り組み[8](図8)や、「聴覚障害のある人と一緒に音楽を楽しむ」というのを目的に、振動スピーカーなどを用いることで視覚と触覚で感じられる球体型のスピーカー[9](図9)がある。



図8 Live Jacket[8]



図9 Sound Hug[9]

### 3.3 DJ 機材における触覚

近年、DJ の機材やソフトウェアを提供するメーカーがプロトタイプではなく、既製品として触覚的なアプローチを行っているものが増えてきている。Native Instruments 社の Traktor Kontrol S4 MK3[10]と呼ばれる DJ 機材では、ターンテーブルのプラッターを模したホイール部分が曲の流れるスピードに追従し回転したり、自分があらかじめ設定してある曲の頭出し再生する箇所が流れそうになったときに振動することで DJ に対してフィードバックするという機能が内蔵されている。



図10 Traktor Kontrol S4 MK3[10]

また、Denon 社の SC5000M Prime[11]や Rane 社 ONE[12]ではホイール部分が回転するのとともに、ホイール上部にレコードを模したパーツがあることによりターンテーブルでのレコードを扱うかのような触覚フィードバックを得ることを可能としている。



図11 SC5000M Prime[11]



図12 ONE[12]

### 3.4 分析

本節では DJ と HCI、音楽と触覚フィードバック、DJ 機材における触覚の 3 つの観点から先行事例を調査した。調査の結果、研究背景にて述べた問題の解決のため以下のことが述べられると考える。

DJ と HCI の文脈では、デバイスやシステムを様々な観点からアプローチが試みられているが、技術が先行しているがため、今あるクラブにおける DJ ブースへの導入が難しいものが多い。平面にプロジェクションされた UI での操作をするシステムや、ある程度の広い平面の確保を前提としたデバイス、機材へのプロジェクションを行うために天井にプロジェクターを設置する必要があるものなど。実際のクラブ現場でこのシステムを使用することができるかと問われた場合、現場での裁量権がイベントの主催者と同等かそれ以上でない限り導入が非常に難しいものがほとんどである。そのため、本研究の問題を解決するのであれば、クラブの現場の機材や構成などを大きく変えることなく運用することができるのを前提に設計する必要がある。

音楽と触覚フィードバックについては、各楽器や演奏、パフォーマンスにより、フィードバックを最大限生かせることができる人間の部位が異なっていることに加え、伝達すべき、もしくはするとよい情報も一定ではない。そのため、ユーザーが潜在的に必要であると考えられる情報を選定し、生かすことでよい触覚フィードバックができるのではないかと考えられる。

最後に DJ 機材における触覚にて取り上げた機材についてだが、個々人がホームパーティーや小規模のイベントで使

用するのであれば特に述べることはないが、こちらでも DJ と HCI と同様、機材の裁量権は基本的にイベント主催者および会場の人間が取り仕切るため導入は難しい。また、触覚フィードバックとして、パフォーマンスのサポートという面では機能が限定的すぎるため、幅広い情報を伝達することで本研究の問題の解決に導けるのではないかと考える。

## 4. 設計

研究背景や先行事例を踏まえ、本研究の問題に対しどのようなデバイスやシステムを用い、開発することにより解決することができるか考察を行った。

まず考察するにあたり、HCI コミュニティに向けた DJ 技術開発における 10 原則[13]を参考し、HCI や学術面のみならず、実際にクラブで活動を行うクラブ DJ に対しアンケート調査を行った。質問内容としては DJ 経験年数や主にプレイするジャンル、DJ を行う頻度や具体的な機材構成、パフォーマンス中によく起こしてしまうミスやその頻度、それらのミスをどのような触覚フィードバックがあれば防ぐサポートをすることができるかといった項目を設けた。

HCI コミュニティに対する DJ 研究の 10 の提言(意識)[13]

1. 人間である DJ よりも技術的に優位に立たなければならない
2. DJ が知覚できない感覚を表面化する
3. オーディエンスに最終決定権はゆだねてはならない
4. 瞬間的ではなく全体の流れを基にすべし
5. 選曲は経験とその背景も基づいている
6. フロアで踊っている人だけではなく全体を俯瞰すべし
7. 生体情報の取り扱いにはストーリーを再考せよ
8. DJ がもつ権利とプライバシーを尊重しなければならない
9. DJ 本来の行為を大きく阻害してはいけない
10. 情報は与えても何をすべきかを伝えてはいけない

結果としては 30 名の DJ から回答があり、その中でもどのような触覚フィードバックが DJ パフォーマンスのサポートになるかという質問に対しては以下のようにデバイスやシステムの設計に大きなヒントとなる意見もあった。

アンケート回答の一部

- ・ミキシング時に、片側と比較してどれだけ音量が出ているかのフィードバックがあるといい。
- ・音割れやハウリングの危険性があるときに振動で知らせる。
- ・フィルターのかけ間違いで音が出ないことがあるので、音量がどれくらい出ているかフィードバックがあると良い。
- ・縦フェーダーとクロスフェーダーが正しく機能しているかどうかを教えてくれるもの。
- ・キックの振動が触覚的にわかるとミックスの質が上がる (ボタンに触れると、Mix する 2 曲のキックが感じられる etc).

行ったアンケートや先行事例の調査を基に、触覚フィードバックを行うデバイスのイメージ図を制作した(図 13)。

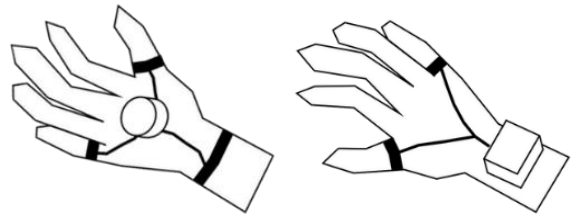


図 13 触覚デバイスイメージ図(左:掌側, 右:手の甲側)

デバイスの形状としては、掌に情報伝達を行うための振動子を装着し、手の甲側に無線通信でシステムからの情報を受信するためのレシーバが来る形を想定した。

手に装着する形のデバイスにした理由として、人間の体の中で触覚を感じる感覚器において、手がほかの部位よりも多いのに加え、クラブ DJ が DJ 機材を扱う際に触れるほぼすべての接点の手であるからである。機材と人間の接点に近い距離からフィードバックすることにより、直感的な情報伝達を可能として、他感覚とすみ分けた状態で情報処理ができると考察した。

また、振動触覚として伝達する情報はアンケートや先行事例の調査を基に、以下の 4 つフィードバックする。

音量の大きさ(各 ch):

フェーダーの上がり下がり関係なく、音が入力されてない時があるので、入出力される音を振動としてフィードバックする。

3 バンド EQ のかかり具合(各 ch):

ミキサーで処理された各帯域の音を個別に振動に変換し、聴覚ではできない帯域ごとの音を振動としてフィードバックする。

曲のテンポ(各 ch):

聴覚で感じるテンポとすみ分けをするため、入力された曲のテンポをパルスとして振動してフィードバックする。

ミキシングする 2 つの曲の BPM が離れていた際のアラート:

2 つの曲をミックスしているとだんだんと気づかずに BPM がずれていくので、三連符の音を振動に変換しアラートする。

## 5. 実装

前節の設計を基に、振動触覚フィードバックを行うデバイスと、それを制御するためのシステム開発を行った。

### 5.1 デバイス

振動触覚フィードバックを行うデバイスの実装において、M5Stack 社が発売する開発ボードである M5Atom Lite[14](以下「M5Atom」)に加え、BitTradeOne 社が発売する hapStak[15]を用いてデバイスの開発を行った(図 14)。



図 14 制作したデバイス

M5Atom(図 15)は Wi-Fi と Bluetooth を内蔵した ESP32 が搭載されており、無線通信を可能としている。その特性を生かし、M5Atom を 1 つのオーディオユニットとして組み込むことにより、Bluetooth で接続可能な仮想スピーカーとして PC から扱うことが可能である。



図 15 M5Atom Lite

また、hapStak は一般的な振動モーターに比べ、再現可能な周波数帯域が広い。そのため本来であれば複数の振動モーター(ERM)やリニア振動子(LRA)を使用しなければできなかった周波数での振動を hapStak 単体でカバーすることが可能である(図 16)。

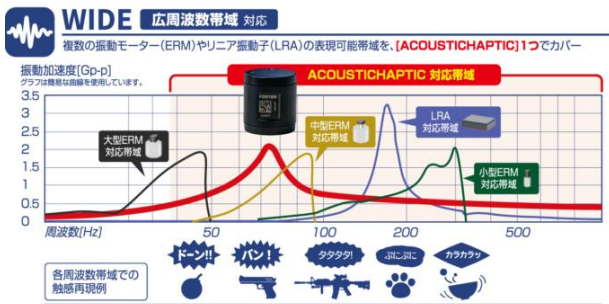


図 16 hapStak の再現可能な周波数帯域[15]

この2つを組み合わせることにより、一つの Bluetooth で接続可能なウーファーユニットのようなものになる。デバイスと PC と接続を行い曲などの音を再生することによって、hapStak が入力される音を再生し振動としてフィードバックすることを可能とした。そして、hapStak を掌に、M5Atom を手の甲に配置してベルトに固定し、左右それぞれの手に装着することで(図 17)、それぞれの手で操作するパラメーターの情報を振動触覚としてフィードバック可能とする。



図 17 制作したデバイスを装着している様子

## 5.2 システム

デバイスにフィードバックする情報の管理や制御するシステムとして、Cycling '74 社の Max8 にて実装を行った(図 18)。

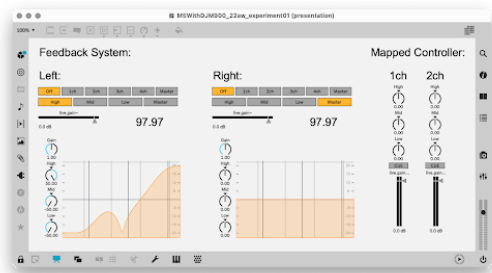


図 18 制作したシステム UI

本システムは大きく分けて2つのパートに分かれており、「Feedback System」と「Mapped Controller」となっている。

「Mapped Controller」のパートでは、接続されている DJ 機材の MIDI 情報を取得し、UI 上に再現したミキサーにマッピングをすることで、現在操作されているパラメーターの識別を行い、フィードバックする情報の種類を決定する。

「Feedback System」のパートでは、前節の振動触覚として伝達する情報にて述べた 4 つの情報の処理を行い、入出力される音、処理される音、曲のテンポがパルスとして変換された音、アラート音をデバイスに送信できるようにする。

システム内でこの 2 つのパートが連携し、処理した情報をデバイスに送信することによって、フィードバックする情報の切り替えを行い、触覚フィードバックを可能とする(図 19)。

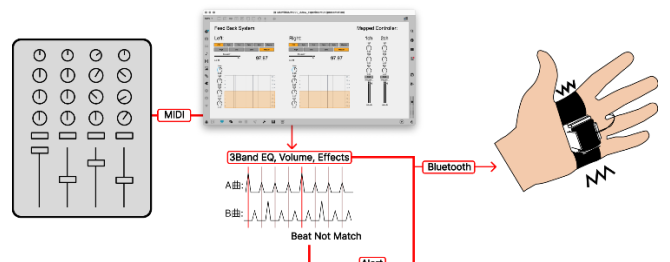


図 19 システムフローイメージ図

## 6. 評価

デバイスやシステムを制作したのち、現役でクラブ DJ 数人に対して装着してパフォーマンスをさせたところ、「テンポを耳だけではなく触覚として提示されることにより、心理的な安心感がえられた」「フロアが盛り上がりすぎてヘッドフォンからの音が確認できない場合にサポートとなる」といった好印象のフィードバックがあった。また、経験の浅い DJ にもデバイスを装着してパフォーマンスをしてももらった際、「今流れている曲のテンポを触覚情報として処理し、次に流す曲をヘッドフォンで聞きながら触覚情報に合わせる形で合わせるによりミックスが簡単にできるようになった」「可能であればこれを使って実際に現場でパフォーマンスがしたい」といった評価を得た。

しかし、これらはあくまで定性的な評価であり、定量的な評価として本研究の問題を解決したとは述べられない。そのため、デバイス装着時(聴触覚)と非装着時(聴覚)による触覚フィードバックが DJ ミックス与える有意差を検証することを予定している。フローとしては以下のとおりである。

1. 被験予約日確定後、使用する DJ 機材と操作方法の説明ドキュメントと音楽経験等のアンケート、使用する楽曲のデータを送付
2. 当日改めてミキサーや再生機の説明+使用するデバイスに関する説明
3. 機材の慣らしとして 10 分の練習
4. デバイスを非装着時と装着時のミックス(約 10 分\*2 回)を 2 回(計 40 分ほど/各試行ごとに任意休憩)
5. 終了後、操作感のアンケートを実施
6. デバイス装着時非装着時に録音したそれぞれのミックス音源のミックスポイントを経験者 DJ に聞いてもらい、どちらのミックスの方が違和感ないか評価

以上の検証を踏まえ、検証フローの 6 番にて経験者 DJ がデバイス装着時のミックスポイントが優れているという回答が非装着時のものよりも多ければ、本研究の問題を解決したと述べるができる。

## 7. まとめ

クラブ DJ のパフォーマンスにおける視聴覚情報の複雑性に対し、振動触覚フィードバックを用いることで、パフォーマンスのサポートを行うデバイスおよびシステムの開発を行った。従来の実際の現場での使用が難しいものや、DJ ブースの機材構成を大きく変えることのない、直感的にフィードバックをうけられるデバイスおよびシステムしたことにより、クラブ DJ のパフォーマンスを変えことなく振動触覚フィードバックによるサポートを実現している。

今後はさらに現役のクラブ DJ や経験の浅い DJ の意見や様々な DJ システムの意匠をくみ取り、クラブ DJ のサポートとなるよう研究を行い、デバイスやシステムの開発・改良を進めたい。

**謝辞** 本研究は森泰吉郎記念研究振興基金研究助成金より支援を受け、機材やソフトウェア等の支出をした。謹んで感謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] Lopes, Pedro & Ferreira, Alfredo & Madeiras Pereira, Joao. (2010). Multitouch interactive DJing surface.
- [2] "reactable", <http://reactable.com/>, (参照 2022-12-19).
- [3] Hansen, K. F., & Alonso, M. (2008). More Dj Techniques On The Reactable. Zenodo.
- [4] Tomibayashi, Y., Takegawa, Y., Terada, T., & Tsukamoto, M. (2009). Wearable DJ System: A New Motion-Controlled DJ System. Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 132–139. Athens, Greece: Association for Computing Machinery.
- [5] Heller, F., & Borchers, J. (2012). DiskPlay: In-Track Navigation on Turntables. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1829–1832. Austin, Texas, USA: Association for Computing Machinery.
- [6] Thorn, Seth & Lahey, Byron. (2019). A Haptic-Feedback Shoulder Rest for the Hybrid Violin.
- [7] Giordano, Marcello & Wanderley, Marcelo. (2015). Follow the Tactile Metronome: Vibrotactile Stimulation for Tempo Synchronization in Music Performance.
- [8] 博報堂, “博報堂, 音楽を“身体”に着ることで、どこでもライブ体験を実現する ジャケット型ウェアラブルデバイス「LIVE JACKET」を開発 ~メディアアーティスト/筑波大助教 落合陽一氏・株式会社 GO との協業で実現~”. <https://www.hakuhodo.co.jp/news/info/38600/>, (参照 2022-12-19).
- [9] Pixie Dust Technologies, Inc. “SOUND HUG”, <https://pixiedusttech.com/technologies/sound-hug/>, (参照 2022-12-19).
- [10] Native Instruments, “Traktor Kontrol S4”, <https://www.native-instruments.com/jp/products/traktor/dj-controllers/traktor-kontrol-s4/>, (参照 2022-12-19).
- [11] Denon DJ, “SC5000M Prime”, <https://www.denondj.com/jp/sc5000m-prime-sc5000mprimexjp/>, (参照 2022-12-19).
- [12] RANE, “ONE”, <http://rane-dj.jp/products/8-products/36-one/>, (参照 2022-12-19).
- [13] Gates, C., Subramanian, S., & Gutwin, C. (2006). DJs’ perspectives on interaction and awareness in nightclubs. Proceedings of the 6th ACM Conference on Designing Interactive Systems - DIS '06. Presented at the the 6th ACM conference.
- [14] M5STACK, “ATOM Lite ESP32 IoT Development Kit”, <https://shop.m5stack.com/products/atom-lite-esp32-development-kit/>, (参照 2022-12-20).
- [15] BitTradeOne, “触覚デバイス開発/体感モジュール”hapStak™”, <https://bit-trade-one.co.jp/hapstak/>, (参照 2022-12-20).