

# ブレイキン DJ 楽曲可視化システム

浜中 雅俊\*

**概要.** ブレイキンは、DJ（ディスクジョッキー）がプレイする曲で2名のダンサーが即興ダンスで対決する競技である。ブレイキンでは、ダンスと曲のシンクロすることが高く評価されるが、一般の鑑賞者の多くはその出来栄を判断することが難しい。また、テレビ放送の視聴者の中には、ろう・難聴者が一定数いるが、彼らがブレイキンの映像を見た場合には、出来栄を判断することが一層困難になる。そこで我々は、DJのパフォーマンスを可視化することで、シンクロ度合いの視覚的な理解を促進することを試みる。構築したDJ楽曲可視化システムは、全日本ブレイキン選手権で用いられ、日本放送協会により生収録された。

## 1 はじめに

ブレイキンは、DJ（ディスクジョッキー）がプレイする曲のリズムに合わせて2名のダンサーが交互にブレイクダンスで対決する。DJは、対決のラウンドごとに曲を切り替えたり、曲を流していない側のターンテーブルをスクラッチして曲のリズムにアクセントを加えたりする。

曲のリズムに合わせてダンサーが倒立などの技を決めることは「音ハメ」と呼ばれ、高い技術が必要であるため、競技のハイライトである。ブレイキン会場にいる多くのブレイキン経験者は、音ハメの成功を見て大いに盛り上がる。しかし、映像で初めてブレイキンに触れる初心者は、音ハメが成功しているか判断することは難しい。また、鑑賞者がろう・難聴者であった場合には、一層困難となる。そこで我々は、DJのパフォーマンスを可視化するシステムを構築し、音ハメの理解に寄与することを考えた。DJ楽曲可視化システムは、DJプレイする曲の強拍（表拍）、弱拍（裏拍）、スクラッチを可視化する（図1）。



図 1. ブレイキン DJ 楽曲可視化映像

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 理化学研究所

従来、DJがプレイの前に用意するセットリストを自動生成する手法が複数提案されていた [2, 9, 13]. また、自動でDJミキサーのミキシングを行うシステムが提案されていた [10]. さらに、ある曲から別の曲にスムーズにクロスフェードする手法が提案されていた [14]. これらのシステム [2, 9, 13, 10, 14] は、DJによる作業を自動化したりDJを支援することを目的としていたのに対し、我々は可視化によってブレイキンの視聴者を支援することを目的としている。

一方、Visual Rhythm and Beat [4] では、視覚的リズムと音楽的リズムのアライメントをとることで、ダンスのように見える動画の生成を行った。視覚的リズムと音楽的リズムの両方に着目している点で本研究の考え方に近い部分があるが、生成に使う場合と視聴者の支援を目的とした場合では実装が大きく異なる。放送で用いる場合には、放送事故を起こす可能性をできる限り低く抑える必要があるため、既存の安定した性能の技術を組み合わせることで実現することになる。そのため、本論文の内容はブレイキンの大会の映像について、ブレイキンになじみの薄い一般視聴者や、ろう・難聴が見る場合において、楽曲可視化により支援を行ったケーススタディとなっている。

我々が構築したDJ楽曲可視化システムは、2024年全日本ブレイキン選手権大会において使用され、日本放送協会（NHK）により収録された。収録された映像はNHKのホームページに掲載されている。

## 2 DJ 楽曲可視化システム

ブレイキンでは、DJがかける曲にダンサーは即興で合わせるが、どの曲が使用されるかは事前に公開されない。DJらが使う曲の多くは、昔の曲のリズムトラック等を再利用して作ったものであるため、局所的なテンポにゆらぎを含む場合が多い。また、DJミキサーの操作により楽曲のテンポは自由に変化させることができる。さらにDJはディスクを操

作して、一時的に曲を止めたり、音を引き延ばしたり短縮することもできる。このようにDJのパフォーマンスによる曲において未来のリズムを可視化することは難しい。

そこで、競技会の前にDJが使用するすべての音源の提供を受け、それらを分析してリズム可視化元映像を作成する。リズム可視化元映像では、強拍（表拍）を表す長いバーと弱拍（裏拍）を表す短いバーからなり、時間とともに縦スクロールする。バーの間隔とスクロールする速度はテンポによって異なる。そして、音源とリズム可視化元映像のリンクを作成することで、音源と映像が同期再生されるようにする（図2）。DJが曲の再生テンポを上げると、映像の再生速度も上がるため、バーが縦スクロールする速度が速くなる。



図 2. 音源と可視化元映像の同期再生

## 2.1 映像や信号の遅延

NHKが制作する放送用の映像は、複数のカメラを統合するセレクターや、情報等をスーパーインポーズするためのスイッチャーを経由するため機材遅延を含む。また大会会場のNHKホールでは、カメラから放送室までは100メートル以上の距離があり、伝送遅延が生じる。一方、我々の構築したDJ楽曲可視化システムでもステージ最後方にあるDJブースから放送室へ映像や情報を送る必要があり、遅延が生じる。

したがって、これらの遅延により、テレビ局が作成するダンス映像と我々が作成するリズム可視化映像のタイミングがずれることになる。そこで、リズム可視化映像の上に、現在を示す白線をプログラムで後から書き足すことで、位置を調整可能とし、ダンス映像と音楽可視化映像のタイミングが合っているように見えるようにする（図3）。

## 2.2 現在のタイミングでのアニメーション

強拍や弱拍のバーが現在のタイミングを通過したときに、色を変化させたりアニメーションなどのエフェクトを加えると、視聴者にとってタイミングがわかりやすくなる。しかし、遅延によって現在のタイミングや位置は変化するため、あらかじめエフェクトが加わった映像を作成することができない。

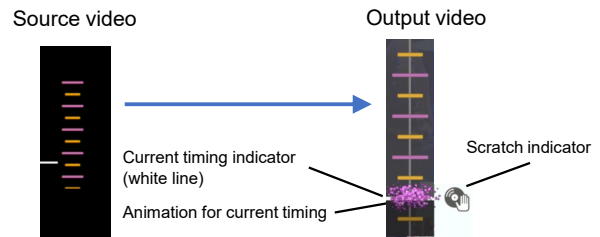


図 3. 可視化元映像と可視化出力映像

そこで、再生されているリズム可視化映像のピクセルを解析し、バーの位置を読み取り、適切なタイミングでエフェクトが付加されるプログラムを作成する。

### 2.2.1 ターンテーブルの回転検出

DJミキサーには、2つのターンテーブルが接続されておりDJソフトを使って各ターンテーブルに割り当てる曲の選択ができる。DJソフトを使う場合、左右で位相の異なる正弦波が録音されているビニルと呼ばれるレコードをターンテーブルに置く。そしてDJソフトウェアは、ビニルが発生するDVS(digital vinyl system)信号から、ターンテーブルの回転情報を受け取っている。

DVS信号はアナログ信号なので、我々はこれを分岐して、オーディオインターフェースで受け取り解析することで左右両方のターンテーブルの回転数がわかる。具体的には、ターンテーブルを加速させると周波数が高くなり、減速させると周波数が低くなる。DVS信号はステレオ信号で、左右で位相がずれているため、どちらの波形が先に到達するかで順回転であるか、逆回転であるか検出できる。

### 2.2.2 フェーダ位置の検出

DJミキサーには、クロスフェーダーがあり、再生する曲を入れ替えたり、スクラッチ音を入れるときに使われる。スクラッチは、片方のターンテーブルで曲の再生中に、もう片方のターテーブルをこするように操作して発生する音でリズムを強調するようなテクニックである。そのとき、クロスフェーダーを少しだけ、スクラッチしている側のターンテーブルに移動することで、曲の再生音とスクラッチ音の両方をミックスして出力することができる。

多くのDJは、クロスフェーダーを閉じて音が出てないターンテーブルでも常にスクラッチ動作を続けており、必要なタイミングでクロスフェーダーを開けてスクラッチ音を出力している。したがって、スクラッチの検出には、ターンテーブルの回転だけでなく、フェーダの位置も検出する必要がある。

USBケーブルでコンピュータと接続可能なDJミキサーは、MIDI信号を使って通信を行っている機種

が多い。また DJ の交代用に USB ポートが 2 つ搭載されている DJ ミキサーの機種では、使用中のポートを流れる USB 信号が、もう一つの USB ポートで受け取ることが可能であるものがある。そこで、その MIDI 信号を解析し、フェーダー位置を抽出する。

DJ 楽曲可視化システムでは、スクラッチを検出するとスクラッチインジケータが表示される。スクラッチのときのフェーダーの移動距離や、スクラッチのときの回転速度は DJ によって大きく異なるためスクラッチ判定の閾値は DJ ごとチューニングする。

### 3 実装

ここではブレイキン DJ 楽曲可視化システムの実装について述べる。また、可視化システムの動作に必要な可視化元映像を生成するシステムの実装についても述べる。

#### 3.1 可視化元映像生成システム

全日本ブレイキング選手権大会でパフォーマンスする DJ から、大会で使う可能性のある著作権フリーの楽曲 300 曲の提供を受け、すべての楽曲の可視化元映像を生成した。具体的には、ビートタイミングデータを作成しそれを映像化する。

音響信号を入力とした非リアルタイムでのビートトラッカーは多く提案されている [12, 17, 1, 3, 16]。それらの多くは、ビートタイミングデータの作成に使用することができる。我々は以下の 2 つの理由で、ビートトラッカーとして、市販されている Logic Pro の Smart Tempo 機能を用いた。一つ目の理由は、普及している DAW (Digital Audio Workstation) であり操作性が高いことである。ビートトラッカーによる分析結果は完全ではなく、誤っている部分がある。誤っている場合には、手作業による修正が必要になるが、Logic Pro を採用することで作業を効率的に進めることが可能となる。もう一つの理由は、タイミングコードを使ってテンポ情報を送出可能なためである。可視化ビデオを書きだすためには、記録したタイミングデータを正確なタイミングで送出する必要がある。Logic Pro では 4 分音符あたり 24 回のタイミングコードを出力する機能がある。

テンポ (BPM: beat per minute) が 130 より高い曲は、BPM を 0.5 倍にしてタイミングデータを作成する。また BPM が 64 以下の曲の場合には BPM を 2 倍にしてタイミングデータを作成する。これは、DJ がある曲から別の曲へスムーズに接続する際に、可視化結果のバーの速度が 2 倍や半分になるような大きな変化を防ぐためである。

そして、テンポ調整された各小節にアップビートとダウンビートを表す MIDI メッセージを書き込み、ビートタイミングデータを作成する。Logic Pro のスマート・テンポ分析で期待通りのテンポ調整結果が得られない場合は、手動でテンポ調整を行う。

ビートタイミングデータを Logic Pro で再生することで強拍、弱拍を表す MIDI メッセージと、MIDI タイミングコードが出力される。我々は、それらの信号を読み込み、可視化元映像を表示・記録するハードウェアおよびソフトウェアを構築した。

図 4 はそのソフトウェアとハードウェアの構成を示したものである。ハードウェアはできる限り汎用の機器を組み合わせ構成した。具体的には、コンピュータ (Mac Studio) で生成した可視化映像を、HDMI から出力し、それをコンピュータに USB-C で接続された HDMI キャプチャで録画する。

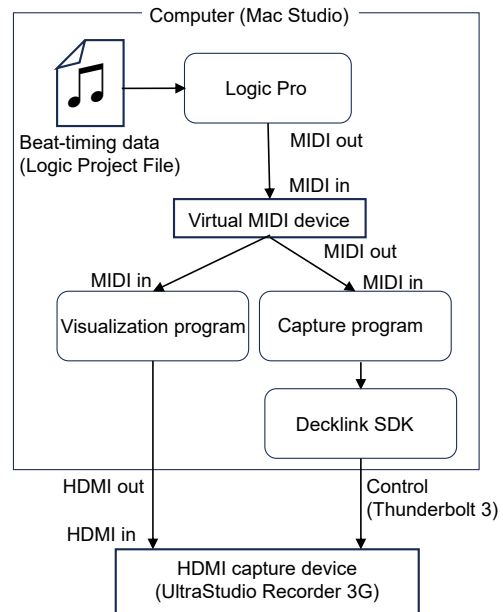


図 4. 可視化元映像録画システム

Logic Pro が再生する強拍、裏拍を表す MIDI メッセージと、MIDI タイミングコードが、Mac の標準機能である仮想 MIDI デバイスを介して、我々が構築したキャプチャプログラムと可視化プログラムに送られる。

可視化プログラムでは、強拍、弱拍を表す MIDI メッセージを受け取ると画面上にバーを表示し、MIDI タイミングコードにより受け取った BPM 情報からスクロールの速度を変化させる。つまり、バーの間隔はテンポにより変化する。キャプチャプログラムでは、MIDI メッセージを受け取ると録画を開始し、MIDI メッセージが届かなくなると録画を停止する。

録画に用いる HDMI キャプチャデバイスは複数のものを試したが、Blackmagic Design 社 UltraStudio 4K Extream など、ビデオを取り込むときにハードウェアエンコードするものは録画の開始信号を受け取ってから実際に録画を開始するまでの遅延が一定ではなく、曲の開始と動画の開始タイミングを同期することが困難であった。一方、ソフトウェアエンコードする Blackmagic Design 社 UltraStudio

dio Recorder 3G は、完全にではないが遅延がほぼ一定であったため、それを用いることにした。キャプチャデバイスの制御には Blackmagic design 社の Decklink software development kit を用いた。

ビートタイミングデータから可視化元映像の作成には、Mac OS の標準機能である Automator を使い、すべてのビデオをバッチ処理で作成した。

### 3.2 DJ 楽曲可視化システム

図 5 に、DJ 楽曲可視化システムの概要を示す。

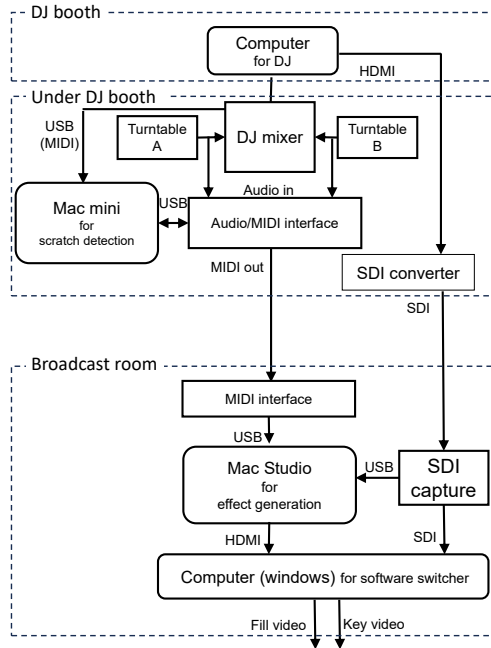


図 5. DJ 楽曲可視化システム

DJ ソフト Serato 上では、各曲と対応する可視化元映像のリンクを作成し「Latch 50」の設定をする。さらに、Serato 上で DJ ミキサーの物理的なクロスフェーダと、ビデオミキサーのソフトウェアクロスフェーダをリンクさせる。すると、物理的なクロスフェーダを左右に移動すると、クロスフェーダが近い側の可視化元ビデオが曲に同期して再生される。

DJ が使用するコンピュータから出力させるリズム可視化映像は、コンピュータ (Mac Studio) でキャプチャーされ、画像解析が行われ、バーが現在として設定したピクセルを通過するタイミングが検出される。そして Mac Studio ではスクラッチの描画と、バーが通過するときのアニメーションを描画する。

最後に、Mac Studio が描画したビデオと、リズム可視化映像が、Windows マシンにキャプチャされ、映像合成用の Fill ビデオと Key ビデオが生成される。

DJ ブースから NHK ホールの放送室 (図 6) まででは 100 メートル以上あったが、その間の回線の詳細は図 5 では省略している。SDI (serial digital interface) 映像の伝送には NHK ホールに備え付けの光伝送装置を使ったが、解像度が HD までの SDI (3G-SDI) であった。SDI Converter の出力は、4K-SDI (12G SDI) であるため、SDI Down コンバータを用いて 12G から 3G へ変換した後に伝送した。MIDI の伝送は、カメラ用の LEMO 規格 [11] の光ファイバーケーブルに SFP (small-form-factor) トランシーバを接続することで 10G-Base のネットワークを構築し、Mac の標準機能であるネットワーク MIDI を用いて行った。

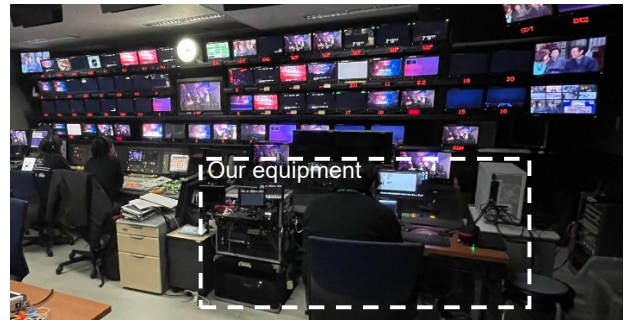


図 6. NHK ホール放送室に設置した機材

## 4 実験結果

我々が構築したブレイキン DJ 楽曲可視化システムが 2024 年全国ブレイキン選手権で使用され、可視化映像をスーパーインポーズした映像が NHK により生収録された。

### 4.1 映像のスクリーニング

図 4 で説明した可視化元映像録画システムを用い、バッチ処理により 300 曲の可視化元映像の書き出しを行った。書き出した映像を人手によってスクリーニングしたところ、半数に問題があった。異常の原因は、録画開始のタイミングがずれることと、画像の乱れの 2 つである。録画開始のタイミングエラーの場合には、映像の先頭に空白がでたり、映像が途中から始まっていた。画像の乱れは、バーの色が均一でなく不要な線が入っていた。異常のあった映像の書き出しと人手によるスクリーニング繰り返したところ、8 回目の書き出しで異常のないすべての映像が生成できた。これらのエラーの本質的な原因は、映像の出力も録画もフレーム単位で行われており、出力と録画のそれぞれでフレームを切り替えるタイミングを一致させることが難しかったためと考えられる。タイミングコード入力のある機器などの入力がある機器を使うことで改善される可能性がある。

#### 4.2 タイミングのスクリーニング

書き出した映像のタイミングは原理的には正しいはずであるが、人手により確認した。300曲のなかから任意の10曲を選び、Logicのプロジェクト上にその曲の可視化元映像を張り付けて、音楽と映像の専門家が目視で確認した。その結果、スロー再生などをして10曲すべてでタイミングが正しいことが確認できた。そして、それとは異なる任意の10曲についてDJソフトSeratoで、楽曲とビデオのリンクを作成し、回転数を変化させながら目視確認したところ、すべての曲でタイミングが正しいことが確認された。

#### 4.3 伝送・機材遅延の吸収

伝送遅延の吸収は、ホールの設備に依存するため現場で調整を行った。NHKから受け取ったブレイキンの映像は、タイムコード同期された複数のカメラ映像をスイッチングしたものである。一方、ステージ上の音や、ステージ上の司会者の声やDJがパフォーマンスした曲の音響信号はマイクで収録されたものである。映像とサウンドの同期は、リハーサル中の司会者の声と映像を使ってNHKによってリップシンクされている。その映像にリズム可視化映像をスーパーインポーズした後の映像を録画した。録画した映像をスロー再生しながら、音響信号のビートタイミングとバーが現在を表す白線を通るタイミングを確認したところ、可視化映像のほうが2フレーム遅れていることがわかった。そこで現在を表す白線を20ピクセル下方に移動して再度録画した、その結果、可視化映像とNHKのダンス映像の音響信号が同期した。

#### 4.4 システムの操作体験

ブレイキンDJ楽曲可視化システムを体験した学生を対象にアンケートを行った。回答者は、ろう・難聴学生13名、一般学生68名であり、体験およびアンケートは授業時間内に行った。

体験者は、数名ずつディスクの停止、逆回転、スクラッチなど基本的な操作の方法について説明を受けたあと、一人あたり2分程度操作体験を行う。アンケートは無記名式で、以下の6つの選択式質問をした。

表 1. 可視化によって強拍と弱拍のリズムが感じられましたか？

	ろう・難聴学生	一般学生
とても感じられた	1(7.7%)	16(23.5%)
感じられた	6(46.2%)	45(66.2%)
どちらともいえない	6(46.2%)	6(8.8%)
感じられない	0(0%)	1(1.5%)
全く感じられない	0(0%)	0(0%)

一般学生は、とても感じられた、もしくは、感じられたと回答した人が多く、ろう・難聴学生は、どちらともいえないと回答した人も多かった(表1)。ろう・難聴学生の難聴のレベルは個人によって違いが大きいため可視化をしても強拍と弱拍の違いが充分感じられなかった人も多かったのだと考えられる。

表 2. スクラッチでリズムの強調が感じられましたか？

	ろう・難聴学生	一般学生
とても感じられた	1(7.7%)	26(38.2%)
感じられた	8(61.5%)	31(45.6%)
どちらともいえない	1(7.7%)	9(13.2%)
感じられない	3(23.1%)	2(2.9%)
全く感じられない	0(0%)	0(0%)

一般学生は、とても感じられた、もしくは、感じられたと回答した人が多く、ろう・難聴学生は、感じられないと回答した人も多かった(表2)。ブレイキンの映像の主演であるダンサーが見えなくなることを避けるため、スクラッチの描画を必要最小限でコンパクトなものにしたが、小さすぎたために視認性が悪くリズムの強調が感じられなかった可能性がある。また、強拍や弱拍にはアニメーションによる強調が行われているが、スクラッチの描画では強調をしていないために比較的地味になってしまい、スクラッチによる強調が感じられにくかった可能性がある。

表 3. 強拍と弱拍のリズム表示をどう感じましたか？

	ろう・難聴学生	一般学生
シンプルにすべき	1(7.7%)	8(12.1%)
このままで良い	8(61.5%)	46(69.7%)
複雑にすべき	4(30.8%)	12(18.2%)

多くの人がこのままで良いと回答したが、シンプルにすべき、あるいは、複雑にすべきと回答した人もいた(表3)。

表 4. リズムに合わせてスクラッチをいれられましたか？

	ろう・難聴学生	一般学生
たくさんできた	1(7.7%)	5(7.6%)
できた	0(0%)	28(42.4%)
どちらともいえない	4(30.8%)	17(25.8%)
できなかった	6(46.2%)	14(21.2%)
全くできなかった	2(15.4%)	2(3.0%)

一般学生は回答がわかれたが、ろう・難聴学生は、どちらともいえない、できなかった、全くできなかったと回答して人がほとんどであった(表4)。強拍・弱拍の可視化映像を見てリズムを理解することも、スクラッチをすることも初めての体験であったために難易度が高かったと考えられる。

表 5. 可視化により音楽鑑賞が楽しくなりますか？

	ろう・難聴学生	一般学生
とてもなる	6(46.2%)	28(41.2%)
なる	5(38.5%)	29(42.6%)
どちらともいえない	2(15.4%)	8(11.8%)
ならない	0(0%)	3(4.4%)
全くならない	0(0%)	0(0%)

とてもなる, なると回答した人が多かった (表 5). 一般学生でならないと答えた人は, アンケート用紙の余白に, 音楽を聴くときにあまりリズムを意識しない, という内容が書かれていた.

表 6. ダンスを踊るのに使えると思いますか？

	ろう・難聴学生	一般学生
とても使える	0(0%)	23(33.8%)
使える	8(61.5%)	35(51.5%)
どちらともいえない	5(38.5%)	9(13.2%)
使えない	0(0%)	1(1.5%)
全く使えない	0(0%)	0(0%)

ダンスの経験によって回答がわかる可能性のある設問であったが, 使えない, 全く使えないと回答した人はほとんどいなかった (表 6).

## 5 おわりに

我々は, ブレイキンでの DJ パフォーマンスを可視化するシステムを構築した. 本研究の主な貢献は以下の 3 つである.

### DJ による楽曲の可視化を提案

ビートトラッキングの応用アプリケーションとなるブレイキン DJ による楽曲の可視化を提案した. ビート分析には, さまざまなアプリケーションが考えられるが, その一つがろう・難聴者のリズム理解の支援である. 我々は, 多様な色覚であっても強拍と弱拍の色の違いがわかりやすいよう, バーの色は東京都ユニバーサルデザインガイドラインを参考に選定した [15]. 今後より多くの視聴者がブレイキンを楽しめるよう, ユニバーサルデザインの観点で改良をしていく.

### システムを実装

特殊な機材を使わず, 汎用の機材を多数組み合わせ, DJ 楽曲可視化システムを構築した. DJ が使う可能性のあるすべての曲の可視化元映像をあらかじめ作成する事前の作業と, スクラッチの検出・描画やアニメーションの表示などリアルタイムの処理に分けることで, 大きな間違いが生じにくい設計とした. 可視化元映像録画システムによる映像の生成

は書き出した約半数の映像にエラーがあり, 今後システムを改善する予定である.

### 可視化システムを本番環境で稼働

NHK ホールでは, ステージから放送室までの距離が 100m 以上あり, 通路は非常に狭いため, 新たにケーブルを通すことが困難である. したがって, 備え付けの伝送ケーブルに合わせて構築したシステムをアジャストしていくチャレンジングな作業が必要となった. 今回は, カメラ用の光ケーブルを利用してネットワークを構築し, MIDI や映像の伝送を行った. MIDI は, MIDI ケーブルでも USB ケーブルでも LAN ケーブルでも伝送が可能な汎用的な規格であり, 現場に合わせて柔軟な対応が可能であった. 今後も様々な会場にアジャストできるよう改良していく.

### 映像が生収録され配信された

NHK ホールにある放送室でリアルタイム CG 合成を行い, 生収録が行われたのは初の例である. 収録された映像は以下の URL で視聴することができる.

<https://www.nhk.jp/p/ts/9WXX8RKJVY/movie/>

### システムの操作体験の実施

システムの操作体験を実施し, ろう・難聴学生および一般学生がアンケートに回答した. ろう・難聴者にはスクラッチによる強調が感じづらく, 今後スクラッチの描画を改善する予定である. 多くの人が可視化により音楽体験が楽しくなる, ダンスを踊るのに使えると回答した. 今後さらに詳細な調査を行う.

### 謝辞

操作体験の機会をいただいた筑波技術大学 平賀瑠美教授, 北里大学 鎌田真由美教授に感謝します. 本研究は JSPS 科研費 24H00748, 21H03572 の助成を受けたものです.

### 参考文献

- [1] S. Böck and M. Schedl. Enhanced Beat Tracking with Context-Aware Neural Networks. In *Proceedings of the 14th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx 2011)*, 2011.
- [2] R. M. Bittner, M. Gu, G. Hernandez, E. J. Humphrey, T. Jehan, H. McCurry, and N. Montecchio. Automatic Playlist Sequencing and Transitions. In *Proceedings of the 18th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR2017)*, pp. 442–448, 2017.
- [3] Y.-C. Chuang and L. Su. Beat and Downbeat Tracking of Symbolic Music Data Using Deep Recurrent Neural Networks. In *2020 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (AP-SIPA ASC)*, pp. 346–352, 2020.

- [4] A. Davis and M. Agrawala. Visual rhythm and beat. *ACM Trans. Graph.*, 37(4), July 2018.
- [5] M. Hamanaka. Melody Slot Machine: A Controllable Holographic Virtual Performer. In *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, MM '19, p. 2468–2477, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [6] M. Hamanaka. Sound Scope Phone: Focusing Parts by Natural Movement. In *ACM SIGGRAPH 2022 Appy Hour*, SIGGRAPH '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [7] M. Hamanaka. Melody Slot Machine HD. In *ACM SIGGRAPH 2023 Appy Hour*, SIGGRAPH '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [8] M. Hamanaka, T. Nakatsuka, and S. Morishima. Melody slot machine. In *ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [9] T. Hirai, H. Doi, and S. Morishima. MusicMixer: Automatic DJ System Considering Beat and Latent Topic Similarity. In *Proceedings of 22nd International Conference of Multimedia Modeling (MMM2016)*, pp. 698–709, Cham, 2016. Springer International Publishing.
- [10] Y. T. Hiromi Ishizaki, Keiichiro Hoashi. Full-automatic DJ Mixing System with Optimal Tempo Adjustment Based on Measurement Function of User Discomfort. In *Proceedings of the 10th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR2009)*, pp. 135–140, 2009.
- [11] LEMO. About us — LEMO Connectors and cables — lemo.com. <https://www.lemo.com/our-world/company/about-us>. [Accessed 07-03-2024].
- [12] M. F. McKinney, D. Moelants, M. E. P. Davies, and A. Klapuri. Evaluation of Audio Beat Tracking and Music Tempo Extraction Algorithms. *Journal of New Music Research*, 36(1):1–16, 2007.
- [13] J. Parera. DJ codo nudo: a novel method for seamless transition between songs for electronic music. Master 's thesis, Universitat Pompeu-Fabra, Barcelona, 2016.
- [14] K. Robinson and D. Brown. Automated Time-frequency Domain Audio Crossfades using Graph Cuts. In *Proceedings of the 20th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR2019) Late-Breaking/Demo*, 2019.
- [15] Tokyo Metropolitan Government Bureau of Social Bureau of Social Welfare. Tokyo Metropolitan Government Color Universal Design Guidelines. <https://www.fukushi.metro.tokyo.lg.jp/kiban/machizukuri/kanren/>. [Accessed 01-03-2024](in Japanese).
- [16] F.-H. F. Wu, T.-C. Lee, J.-S. R. Jang, K. K. Chang, C.-H. Lu, and W.-N. Wang. A Two-Fold Dynamic Programming Approach to Beat Tracking for Audio Music with Time-Varying Tempo. In *Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR2018)*, pp. 191–196, Sept. 2018.
- [17] J. R. Zapata, M. E. P. Davies, and E. Gómez. Multi-Feature Beat Tracking. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 22(4):816–825, 2014.

## 未来ビジョン

本研究を開始するきっかけは、CEATEC2022でメロディスロットマシン [5, 8] の展示に訪問されたNHK中継部の技術プロデューサーと、NHKと理研でお互い協力できないことがないか会話したことである。結果的に3か月後に迫った全日本ブレイキン選手権大会でのDJパフォーマンスの可視化映像を担当することになった。

前出のメロディスロットマシンは、3台の最新の汎用マシンを用いて、MIDI信号で連携・同期した複数のプログラムを稼働し、各マシンの性能限界まで活かしきることで、音楽および映像ともに高度な処理を実現した研究デモンストレーションのためのシステムである。作曲の経験のない初心者でもメロディを組み合わせて作曲をしたかのような体験ができ、その曲を演奏者が演奏する様子をペッパーズゴーストホログラムでリアルタイムで確認できる。

メロディスロットマシンの完成後は、コロナ禍となり多くの学会がオンラインとなり、研究の中心をiPhone/iPadアプリ [6, 7] にシフトしたため、汎用マシンで高度な処理を実現する我々の特長を活かす機会がなくなっていた。

今回、再び汎用マシンを使い大規模なシステムを構築した。2023年の大会では一般視聴者を対象と考えていたが、2024年は、強拍・弱拍のバーの色をユニバーサルカラーにするなど、ダイバーシティを意識してシステム構築をするようになった。完成後には、可視化によりリズム理解が促進されると期待して操作体験を実施した。アンケート結果にネガティブな回答は少なかったが、ろう・難聴者がブレイキンの映像を楽しむためには、まだ改善すべき点が多くあることを理解した。汎用機器を駆使し長期的に改善を続け、ブレイキンやDJパフォーマンスを楽しめる人の裾野を広げていきたい。