

レスポンスミュージックコントロールシステム： 加速度センサーを使った演奏制御システム

吉澤 賢人¹ 清 雄一² 田原 康之² 大須賀 昭彦²

概要：近年、ストリーミングサービスの普及により手軽に大量の音楽にアクセスすることができる。しかし楽器経験のないユーザがもっと積極的に音楽に介入し、音楽に参加する体験ができるシステムは多くはない。ここではオーケストラなどの楽器陣を統率する指揮者に着目し、指揮者の動きの中で演奏制御できるように、指揮者に加速度センサーを取り付け、加速度を特徴量として観測し、テンポや音量変更などの演奏制御を感覚的に行うことのできるシステムを作ることによって音楽に参加する楽しさを得られるようにすること目標とした。

1. 序論

現在、ストリーミングサービスの充実などにより、手軽に大量の音楽を持ち運ぶことなく聴くことができるようになっていたり、新曲をレコードで発売されるなど、音楽聴く楽しみ方が増えてきている。また、音楽を聴くだけでなく、音楽へ参加する楽しみ方も増えている。例えば、DTMソフトなどの音楽制作環境の充実によって個人でも作業ができ、動画共有サイトの発達によって、手軽に自分の作品が発表ができる環境も整っている。加えて、作曲ができない人や音楽知識がなくても、自動でアレンジしてくれるシステム [1][2] や、目的に応じた音楽アレンジシステム [3]、音楽に参加して楽しむシステム [4][5] などについての研究も盛んである。このように、音楽知識や楽器経験がなくとも音楽に参加することのできるシステムの数は増えてきているが、そのほとんどがある楽曲に対し音を追加する方法や、決められた正しいリズムをユーザが入力することで決められた演奏が流れるシステムとなっている。これはユーザのアレンジではなく、正しいリズムを入力するシステムであると言える。

音楽に参加し、楽しむことのできるシステムは多いが、これまでより積極的に楽曲に対して介入する、インタラクティブなシステムの開発は新しい試みとしてとらえることができる。しかし、音楽知識や楽器経験の少ないユーザにとっては既存のシステムではユーザの入力に対し積極的に

介入している感覚を得るという点では不十分であるという問題点がある。しかし、既存のシステムでは音楽に介入するには音楽知識や楽器経験が必要となってくる。そこで音楽知識や楽器経験の少ないユーザでも感覚的に操作できるシステムを目標とした。そこで、オーケストラなどの楽器陣を統率する指揮者に着目し、指揮者の動きの中で演奏制御できるアプリケーションの開発を行った。指揮の動きの読み取りには加速度センサーを利用し、加速度を特徴量として、テンポや音量変更などの演奏制御をリアルタイムで感覚的に行うことにより音楽に参加する楽しさを得られるシステムの実現を図った。

また、Wii Music という音楽知識や楽器経験がなくとも楽曲のアレンジや音楽制御ができるシステムがある。しかし、Wii Music ではあらかじめ決められた少数の楽曲でしかアレンジや演奏制御ができないという問題点がある。そこで、本研究においては、現在でも一般的に利用されている MIDI データを利用し、様々な楽曲に適応した音楽制御を実現し、それぞれのユーザの好みの曲で利用することのできるシステムの提案を行う。

2. 関連研究

2.1 音楽経験を必要としないシステム

音楽知識や楽器経験を必要とせずに楽曲に介入できるシステムとして、任天堂株式会社より 2008 年に発売された Wii 専用ゲームソフトの Wii Music がある。このゲームでは Wii リモコンや Wii のヌンチャクなどを使い、様々な楽器の演奏を模した動きをすることで自由に演奏ができるシステムとなっている。

このゲームにはあらかじめ 50 曲収録されており、それ

¹ 電気通信大学 情報理工学部
The University of Electro-Communications
² 電気通信大学大学院情報理工学研究科
The University of Electro-Communications

らの曲を 60 種類の楽器で自由に演奏できる。このゲームにおける演奏は、実際に楽器を演奏するような動きを Wii の様々なコントローラを使って再現することでゲーム内での演奏として認識される。このゲームはユーザが好きなタイミングで音を出せることに加え、演奏で出る音の音程は曲に合わせてゲームが自動で調整するため、楽器経験や音楽知識がないユーザでも音を外さずにオリジナルの演奏をすることができる。また、指揮者になりきってオーケストラを指揮するゲームモードも用意されており、同じ楽曲の中でテンポを速くしたり、遅くしたり、音量を上げたり、下げたりすることが可能である。

このシステムでは様々な楽器を経験や知識がなくとも演奏できるように工夫されている。さらに、適当に演奏してもある程度音楽として成り立つようになっているため、音楽経験がなくとも楽曲に介入し、楽しさを得られるシステムとなっている。しかし、あらかじめ収録された 50 曲しか演奏できないため、ユーザの好みの曲で演奏や音楽制御が適応できないという欠点がある。

2.2 既存研究

澤田ら [6] の研究では、加速度センサーを用いてジェスチャーを認識し、ジェスチャーを使うことで音楽の演奏制御を試みた。澤田らの試作システムではリズムの認識は指揮者のような動きで読み取り、ユーザとシステムとの相互作用を考慮し、人間と機関のそれぞれの影響する程度をパラメータとして人間のテンポを予測している。音量変更や演奏楽器の選択などは横振り、縦振り、時計回りに円を描くなどの 10 種類のジェスチャーを用いて行っている。

このシステムではジェスチャーを用いて音量変更などの演奏制御を行っているが、あらかじめジェスチャーを覚えなければいけない点や、リズムを取りながらジェスチャーを行うことが音楽知識や楽器経験の少ないユーザの負担になることが考えられる。そこで、本システムにおいては、ジェスチャーなどを使わず、リズムを取る指揮棒の振りの動きのみで演奏制御を行うことを目標とした。

3. 提案システム

3.1 システムの構成

本システムの概要を図 1 に示す。本システムは楽曲再生部で MIDI データを楽曲を再生する。そして、楽曲再生中に加速度センサーを手に持ったユーザが再生してほしいテンポで指揮棒を振る動きをすることでシステムがユーザの動きに合わせて演奏制御を行う。

本システムは加速度処理部と楽曲再生部の 2 部に分かれている。

今回使用した加速度センサーは図 2 に示した Code Mercenaries Hard und Software GmbH 社の Joy Warrior56FR1-WP である。この加速度センサーを図 3

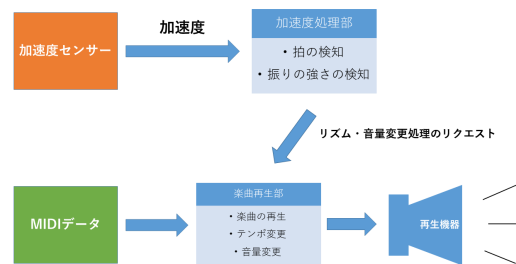


図 1 提案システムの概要



図 2 使用した加速度センサー
Joy Warrior56FR1-WP



図 3 加速度センサーの持ち方

のように手のひらで持ち、z 成分加速度が地面と垂直になるように持ち、指揮棒を振る動きをする。加速度処理部は音楽の再生中ずっと 3 次元の加速度を加速度センサーから読み込んでいる。加速度処理部は、受け取った加速度からユーザの入力したリズムの計算する。また、ふりの強さをもとにした音量変更の検知を行い、楽曲再生部にテンポの変更と音量の変更を行うための処理のリクエストをする。楽曲再生部では、楽曲を再生しながら加速度処理部がリズムの変更と音量の変更を検知した際に呼び出される楽曲の再生とリズムの変更、音量の変更の二つの処理を行っている。

3.2 加速度処理部

本来、指揮者はオーケストラの演奏中、右手では指揮棒を持ち、テンポと拍子を表現し、左手ではそれに加えてジェスチャーなどを利用し、各楽器演奏者達に演奏の指示を送っている。本来は拍子によって指揮棒の動かし方が変わってくることに加え、ジェスチャーのやり方とその意味

は指揮者によって変わってることがある。リズム知覚は生活年齢よりも音楽の学習経験に影響されることがわかっている [7] ことに加え、本システムには音楽知識や楽器経験の少ないユーザを想定しているため、ジェスチャーなどは利用せず、どの拍子であっても指揮棒の振り方は上下運動のみとすることでユーザがリズムを取る動きに集中できるようにした。

3.2.1 MIDI データ

MIDI データは音楽の演奏情報をデータとして記録されているものである。MIDI データは WAV ファイルや PM3 ファイルなどの音声データと違い、演奏情報を記録しているため、再生する環境で再生する BPM の変更や、楽曲の演奏楽器ごとの音量などの楽曲のコントロールを行うことができる。また、MIDI データは、再生時に 1 小節の解像度が Tick という単位で設定されるため、Tick を観測することで現在の再生位置を、時間だけではなく何小節目のどの位置かもを調べることができる。よって拍の位置、つまり小節の切れ目をこれによって拍の再生時管理がオーディオデータよりも手軽になる。よって今回、本システムで利用することにした。

3.2.2 リズムの検知

実際の演奏中に指揮者は楽器演奏者に対して指揮棒を振る動きの打点で拍を取ることで楽器演奏者たちのテンポを制御している。この指揮者の打点を加速度を利用して検出する。指揮棒の打点を取る動きでは加速度が逆方向に大きく変わると考えられるため、加速度が極大値を取る点として現れると考えられる。第 3.1 節で述べたように、地面に対し z 軸が垂直になるように加速度センサーを手を持っていることから、 z 成分加速度の極大値を検出した時点ユーザの打点の位置とした。加速度の極大値の検知は打点を認識する加速度の閾値を設定し、その閾値を一度超えた後で再度閾値を下回った時点を超え極大値として検知している。

打点が認識されると次に楽曲の拍とあっているか判定する。楽曲の拍とユーザの打点があっているかの判定は MIDI データの再生位置を確認し、打点が現在の小節のどの付近で行われたかを確認する。打点が拍とあっている場合、小節の最初か終わりに近いはずである。常に正確に打点と拍を合わせることは難しいため、長尾らの研究結果 [8] を参考に、拍から前後 30ms 以内に打点が入れば打点と拍が一致したとした。

次に、打点と楽曲の拍が合っていない場合、テンポの変更が起こったとし、前回観測した打点と今回の打点との間の時間を単位を秒として検出し、その時間の逆数と 60 をかけることで一分間あたりの拍の数、つまり、BPM を計算し使用者の意図するテンポを検出する。

人間と機械の同期演奏はお互いが影響を与えあって構成されている。[9] また、お互いの影響を考慮することでテンポ予測をする研究は多い。[10] しかし、ここでは人間と

機械がお互いに影響し合っているが、人間側にはその影響を感じさせない仕組みを作ることで音楽制御の楽しさをより味わえると考えた。そこで本システムでは、人間の打点のテンポが変わっても、機械が楽曲の拍を人間の打点に合わせることで人間側は楽曲の拍を目印にしてスムーズにテンポ変更ができると考えた。しかし、テンポ変更の際、変更前のテンポで楽曲が再生され続けているため、テンポの変更を検出した時点では楽曲の拍と指揮棒の打点が一致してないと考えられる。そのまま同じテンポで指揮棒を振ると楽曲と指揮棒のテンポは一致しているが指揮棒の打点と楽曲の拍の位置が一致しないままになる。そこで、テンポの変更を検出した際、次に来る指揮棒の打点の時間を計算し、その時間に楽曲の次の拍が合うように一時的な BPM に変更し、その後検出したテンポに変更することで指揮棒の打点と楽曲の拍を合わせている。

3.2.3 音量変更

実際の演奏において、指揮者は演奏中に左手のジェスチャーを用いて楽器演奏者とのコミュニケーションを図っているが、それに加えて、楽曲の雰囲気に合わせて右手の振りの強さを変えている。例えば、静かに演奏する場合には落ち着いて、穏やかに指揮棒を振ったり、盛り上がる場面では体を大きく使い、力強く指揮棒を振る。本システムにおいては、この指揮者の指揮棒を振る強さの変化を加速度を観測することで実際に指揮者が行っているような形で表現する音量変更を検出する。テンポの検出は加速度の極大値が現れた時点打点として検出し利用するが、音量変更の処理においてはその極大値の大きさによって音量を変更する。極大値を検知するまでの z 成分の加速度の最大値を極大値の大きさとした。

はじめに、極大値の大きさによって音量を 100%, 80%, 60%, 40%, 20% の 5 段階で設定し、拍が検出した時に同時に音量も変更するように設定した。しかし、開発段階で実際に観測された加速度の極大値の幅が狭いことに加え、安定した値を手の振りで出すことが難しかったため、意図せずに音量が大きく変更されることが多々起こった。そこで楽曲の音量が大きく変更されないように音量の変更前と変更後で差が大きくなるように設定することと、加速度の極大値が安定しないことを考慮し、強く振ると 10% 音量を上げ、弱く振ると 10% 音量を下げ、通常強さで振ると音量が変化しないという 3 段階の音量変更を設定した。

4. 評価実験

4.1 実験内容

提案システムが正しくユーザのリズム変更に従ってユーザの打点に楽曲の拍を合わせられているかの客観評価実験を被験者 20 名に協力してもらい行った。被験者にはあらかじめ操作方法を説明し提案するシステムを、数回使用してもらった後、被験者に体験してもらった時の楽曲の

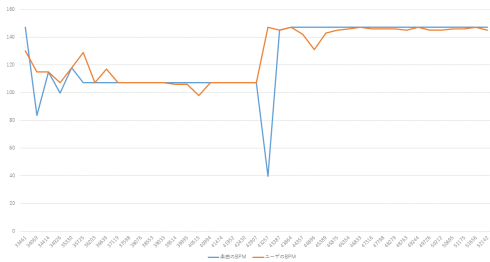


図 4 テンポ変更成功時のグラフ

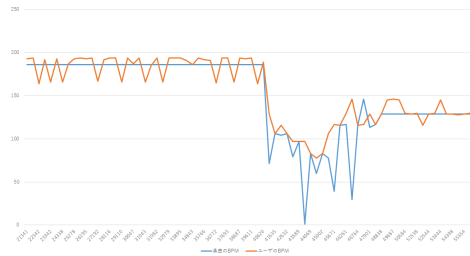


図 5 テンポ変更失敗時のグラフ

再生データと打点についてのデータを収集した，そのデータをもとに，ユーザのテンポ変更が実際にあった際にシステムが正しくテンポ変更しているか検証した．その後，同じ被験者達 20 人にテンポを音量をマウス操作で変更できるアプリケーションを利用してもらい，アンケートにて提案システムとマウス操作のシステムの両方の評価を得た．

4.2 客観評価実験

被験者には実験をする前にテンポの変更についての操作説明と実際に手に取ってもらいながらの練習を 5 分ほど行った後に本システムを利用してテンポの変更の操作を 4 回以上してもらい，実際に再生された楽曲の BPM の推移と，ユーザの打点の位置を記録した．そのデータをもとに，テンポの変更が行われた際に，第 3.2.2 節にある，打点合わせが正しく行われ，ユーザーの次の打点のテンポに影響していないかを調べることで，打点を合わせながらテンポの変更ができていないかを評価した．テンポの変更が行われた際に，次の打点が楽曲の拍と合っていなかった場合，再度テンポの変更処理が行われる．よってテンポの変更が連続で 2 回以上行われなかった場合をテンポの変更が成功したとした．例として図 4 はリズムの変更が成功していた時のユーザの打点から計算した BPM と実際に再生された楽曲の BPM のグラフである．縦軸が BPM，横軸が Tick である．また，図 5 はテンポ変更失敗したとした例である．テンポの変更をした後に楽曲の BPM が大きく上下に変化し，それにつられてユーザの入力も安定していないことがわかる．各被験者全員のテンポ変更が行われた回数，テンポ変更の成功回数，テンポ変更の成功率は表 1

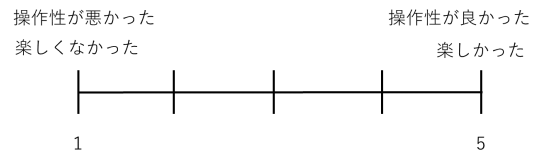


図 6 5 段階評価

のようになった．

表 1 各被験者のテンポ変更成功率

被験者 No	テンポ変更回数	成功回数	成功率
1	9 回	6 回	66.7%
2	4 回	3 回	75.0%
3	6 回	3 回	50.0%
4	5 回	4 回	80.0%
5	5 回	1 回	20.0%
6	6 回	2 回	33.3%
7	9 回	7 回	77.7%
8	8 回	5 回	62.5%
9	8 回	5 回	62.5%
10	6 回	1 回	16.7%
11	5 回	3 回	60.0%
12	5 回	3 回	60.0%
13	4 回	2 回	50.0%
14	4 回	3 回	75.0%
15	7 回	3 回	42.9%
16	6 回	4 回	66.7%
17	10 回	7 回	70.0%
18	4 回	2 回	50.0%
19	6 回	5 回	83.3%
20	7 回	4 回	57.1%

結果を見てみると，成功率 60%前後のユーザが多く，また，成功率が高いユーザと極端に低いユーザも存在していることから，操作感に一定のコツがあると考えられる．音楽経験のないユーザが，感覚で音楽制御を行うという目標に対しては，現段階ではリズム変更の処理に大きな課題点があると考えられる．

4.3 主観評価実験

被験者 20 名に提案システムとテンポと音量を数値やスライダーバーで変更できるアプリケーションの二つのそれぞれについてリズムの変更と音量の変更について楽しかったか，またテンポの変更と音量の変更の操作感について，ユーザの思った通りに変更できたかを図 6 のような 5 段階で評価してもらった．結果は，表 2 のようになった．

アンケートの結果，リズムの変更機能の楽しさについての評価は比較用のアプリケーションよりも高い評価を得る

表 2 主観評価実験の結果

質問	提案システムの平均評価	比較用アプリケーションの平均評価
リズム変更の機能の楽しさについて	3.80	3.20
音量変更の機能の楽しさについて	2.50	2.65
リズム変更機能の操作感について	3.00	2.95
音量変更機能の操作感について	2.30	3.95

ことができた。また、リズムの変更機能の操作感についても比較用アプリケーションと同等の評価を得ていることから、提案するシステムのリズム変更機能を使うことによって、楽曲に対して介入し、楽しさを感じられていると言える。しかし、音量変更機能についての楽しさと操作感については比較用のアプリケーションよりも低い評価を得ており、ユーザは音量変更の機能に満足できなかつたと言える。

5. 考察

第 4.2 節にある拍合わせの機能についての客観評価ではテンポ変更の成功率を被験者 20 人に対して検証した。提案システムにおいてリズムの変更はユーザによって大きなばらつきがあることが確認された。成功率の高い被験者の主観評価実験でのアンケートの自由記述で「リズム変更のコツが必要だった」とあったことから、ユーザは依然として機械からの影響を感じてしまっていると言える。これは主にリズムを変更する前の拍合わせのための BPM がテンポ変更前の BPM やテンポ変更後の BPM との差が大きすぎることがユーザに違和感を感じさせている原因だと考えられる。この拍合わせのためのテンポについて、現在よりもより違和感を感じさせないため、テンポ変更前と変更後の BPM を考慮したテンポにするなど、違和感に他する対策を行わなければならないと言える。

また、第 4.3 節の主観評価で、被験者は比較用のアプリケーションでのリズム変更より提案システムでのリズム変更の方が楽しさを感じていることがわかる。リズム変更機能の操作感についての質問の評価もまた、比較用のアプリケーションと同じくらいの評価を得ている。これは、比較用のアプリケーションでは BPM を数値で入力することでテンポの変更を行ったが、自分の変更したいテンポを数値ではなく感覚で行えるため、音楽知識や、経験がないユーザにとって扱いやすいシステムになっていると考えられる。評価に大きく差がついた音量変更の操作感については、比較用のアプリケーションの音量変更のシステムがが一般にスマートフォンなどで用いられている音量変更のシステムと似た作りであったため、使い慣れたほうを高く評価することは当然であると考えられるが、「音量の変更が難しかった」「一定の音量に保つのが難しかった」とコメントする被験者もいたため音量変更の処理の再考が必要であると考え

られる。音量変更についての楽しさに関しても、操作感の評価が低いため、音量変更の操作感を改善することで楽しさの評価にもつながると考えられる。また、比較用のアプリケーションの方が評価が高い。面白さについては、楽曲の雰囲気が変わらない童謡を用いて実験したため、音量変更の必要性がなかったとも考えられるため、様々な曲で試してみる必要があると考えられる。

6. おわりに

本研究では、加速度センサーを利用し、指揮のリズムを取る動きを読み取ることでテンポ変更と音量変更の音楽制御を行い、音楽知識や楽器経験がない人でも音楽の知識をそれほど必要とせず感覚で操作することで楽曲に対して参加する楽しさを得られるシステムを提案した。提案システムを利用したユースタディにより音楽に介入し楽しさを得ることが分かった。しかし、現在の提案システムではユーザの楽曲に対する制御の意図をくみ取り切れてないことが課題点としてある。リズム変更については、依然としてテンポ変更の際の違和感を感じるユーザがいる。また音量変更については音量変更のしにくさなどが気になって演奏制御がうまくできない被験者も少なくなかつた。よってリズム変更と音量変更の両方の処理の改善が今後の具体的な課題点となってくる。

しかし、主観評価の結果から、指揮の動きを加速度センサーを使って演奏制御をすることは、音楽に参加する新たな楽しみ方になりうることを示された。よって、音楽制御の精度を上げることで操作感を改善し、さらにリズム変更や音量変更という演奏制御だけではなく、MIDI を活用したメロディやハーモニー、伴奏まで介入し、アレンジメントができるインターフェースが実現できれば音楽へ参加することの形が増えると思われる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16K00419,16K12411,17H04705,18H03229,18H03340 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 啓史高森, 貴之中塚, 覚 深山, 真孝後藤, 繁生森島: 楽曲構造を考慮した音楽音響信号からの自動ピアノアレンジ, 技術報告 11, 早稲田大学, 早稲田大学, 産業技術総合研究所, 産業技術総合研究所, 早稲田大学理工学術院総合研究所 (2018).
- [2] 卓知 柳, 一志西本: Humming ComposTer : 既存曲に合わせて口ずさまれる即興歌唱を利用した音楽の一次創作支援システム, インタラクシオン 2017 論文集, pp. 274-279 (2017).
- [3] 大山喜冴, 伊藤貴之: DIVA : 画像の印象に合わせた音楽自動アレンジの一手法の提案, 芸術科学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 126-135 (オンライン), DOI: 10.3756/artsci.6.126 (2007).
- [4] 隆 馬場, Sergio, C., Antonio, R., 晴弘片寄, GiovanniDePoli : テンポ・音量・音色の実時間制御を目的とした表情付けシステム, 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. 22, pp. 1-5 (オンラ

- イン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/110009551883/>) (2013).
- [5] 拓也栗原, 尚洋木下, 竜之介山口, 有希子横溝, 美夏竹腰, 哲晃馬場, 鉄朗北原: カラオケを盛り上げるためのタンバリン演奏支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 5, pp. 1073–1092 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/170000148591/>) (2017).
- [6] 秀之澤田, 周司橋本: 加速度センサを用いたジェスチャー認識と音楽制御への応用, 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, Vol. 79, No. 2, pp. 452–459 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/110003312393/>) (1996).
- [7] 修次森下: 音楽のリズムの知覚と音楽経験, 日本音響学会誌, Vol. 51, No. 2, pp. 96–102 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/110003106666/>) (1995).
- [8] 翼 長尾, 珠希渡辺, 雄介池田, 佳奈子上野, 史郎伊勢: 音の遅延条件がアンサンブル演奏に与える影響に関する検討, 日本音響学会講演論文集, pp. 997–998 (2012).
- [9] 秀之澤田, 昌幸磯貝, 周司橋本, 完 大照: 音楽演奏における人間と機械の協調動作について, 全国大会講演論文集, Vol. 第44回, No. 応用, pp. 389–390 (1992).
- [10] 陽 前澤: 自動合奏のための演奏タイミング結合モデル, 技術報告 19, ヤマハ株式会社 (2016).