足位置の視覚的提示による電子オルガンのペダル鍵盤演奏学習支援システムの開発と評価

寶金 和志[1,a)]　湯村 翼[1,b)]

概要：ペダル鍵盤を有する電子オルガンでは，演奏姿勢を維持するために足元を見ずに演奏することが求められるが，初心者にとっては困難である．そこで本研究では，電子オルガンを練習する初心者に向けて，目線を落とさずに足の位置を視認できるシステムの開発を行う．足とペダル鍵盤の位置関係を映像，イラスト，文字で目前のモニタに提示する．位置関係の取得には 2 次元マーカを用いる．これにより，電子オルガン初心者のペダル鍵盤習得時の負担を軽減する．本研究では，設計と実装を行い，評価実験を実施した．本システムの有無を比較し，姿勢を崩さず演奏をできるという結果を得た．一方，2 次元マーカの認識性の改善が必要という課題も明らかとなった．

キーワード：演奏学習支援，電子オルガン，2 次元マーカ

1. はじめに

電子楽器の一種に電子オルガンがある．電子オルガンは，鍵盤の操作によって電子回路から発生した信号を用い，音を生成しスピーカーから出力する楽器である．電子オルガンは，ピアノやキーボードなどの一般的な鍵盤楽器と異なり，足で演奏するためのペダル鍵盤を備えている点が特徴である．ペダル鍵盤は基本的にベースラインを演奏し，楽曲の安定感を与えるため，ミスのない演奏が求められる．同時に，ペダル鍵盤の演奏時に足元を見ると演奏姿勢が崩れてしまうため，視線を下げずに演奏することが求められる．

しかし，電子オルガン初心者にとっては足の位置を確認せずにペダル鍵盤を操作することは難しい．演奏時に足元を確認せずに演奏してしまうと，ミスタッチが増え，曲の安定感が損なわれる．そのためペダル鍵盤の習得の難易度が，電子オルガンの演奏を習得する敷居の高さになり，利用を断念したり，途中で挫折してしまう人が多い．

また，一般的なペダル鍵盤の練習方法として，最初のうちは鍵盤を見ながら練習をし，徐々に足元を見る量を減らしていく．しかしこの方法では，姿勢が悪い状態での演奏が癖になってしまい，あまり良い練習方法であるとは言えない．

そこで本研究では，正しい姿勢でのペダル鍵盤演奏の学習支援を目的として，姿勢を維持したまま足の位置を視認できるシステムを開発する．

2. 関連研究

鍵盤楽器における演奏支援システム

竹川ら [1] は，鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて，打鍵位置などの演奏補助情報を鍵盤やその周囲に投影し，視覚的に演奏を支援するシステムを開発した．大河原ら [2] は，鍵盤を光らせることにより，演奏の学習支援を行っている．これらのシステムは視覚情報による演奏支援という点で本研究と共通しているが，対象としているのは手による鍵盤演奏であり，自分の目で直接見ることによりうまく機能する．そのため，足で操作するペダル鍵盤には対応していない．

2 次元マーカを使用した演奏支援システム

元川洋一ら [3] は，ギターに 2 次元マーカを付け追跡することで演奏支援を行っている．このシステムとは 2 次元マーカを使い演奏支援を行っている点で本研究と共通しているが，楽器が違うためペダル鍵盤に対応していない．

[1] 北海道情報大学
Hokkaido Information University
[a)] s2221047@s.do-johodai.ac.jp
[b)] yumu@yumulab.org

© 2018 Information Processing Society of Japan

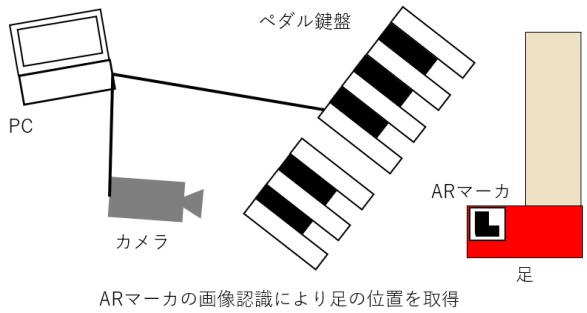


図 1: システム構成



図 2: システム概観．前方のモニタに情報を表示する．

3. 設計と実装

3.1 概要

提案するペダル鍵盤演奏学習支援システムのシステム構成を図 1 に示す．学習者は，靴に 2 次元マーカを装着する．ペダル鍵盤の横に Web カメラを設置し，2 次元マーカを読み取る．Web カメラの映像，2 次元マーカの座標，鍵盤から出る MIDI 信号はリアルタイムで PC に送られる．その情報を，学習者に見やすい手鍵盤の上部付近のディスプレイに表示する (図 2)．

3.2 提示コンテンツ

システムが表示する情報について 3 つの情報を図 3, 図 4 のとおりに 2 つのパターンで表示する．パターン 1 は，カメラ映像と文字情報によって表示する．カメラ映像は，ペダル鍵盤に設置した Web カメラの映像を描画する．2 次元マーカを認識して青色の矩形を描画し，強調表示を行う．文字情報は，足の位置にある鍵盤の音階を提示する．

パターン 2 は，イラストと文字情報によって表示する．イラストでの表示によって，鍵盤を見やすくすることにより, 自分の足がどの鍵盤にあるのかをすばやく確認することができる．

どちらも 2 つの提示コンテンツを組み合わせることにより，初心者でも自分の足の位置を正確に認識できる．そのため，次に踏む鍵盤までの足の移動距離を推定しやすくなる．



図 3: 提示コンテンツ パターン 1

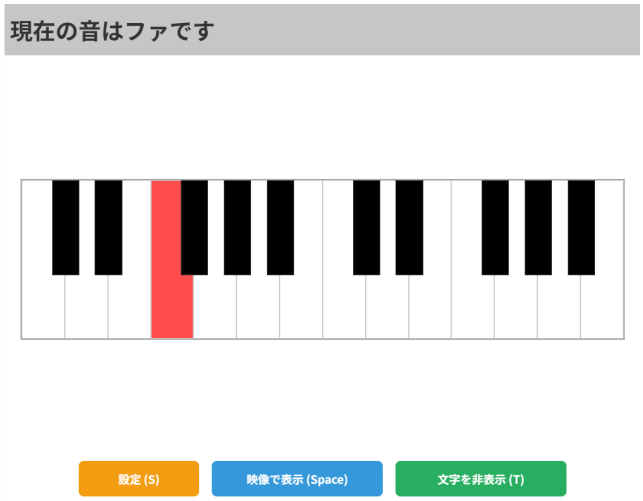


図 4: 提示コンテンツ パターン 2

3.3 実装

本研究では p5.js を用いて実装した．p5.js とは JavaScript のライブラリの一種で，Processing と同じプログラミング言語を Web ブラウザ上で実行できるようにしたものである．また，2 次元マーカの座標読み取りは,p5.simpleAR[4] を使用した．p5.simpleAR とは，p5.js で簡単に AR を扱うためのオープンソースライブラリである．MIDI 信号の処理は，p5.sound.js[5] を使用した．p5.sound.js とは，p5.js で簡単にサウンド操作を扱うためのオープンソースライブラリである．ペダル鍵盤はヤマハ社の ELS-01[6] を使用した．カメラは logicool 社の HDProWebcamC920r[7] を使用した．

© 2018 Information Processing Society of Japan
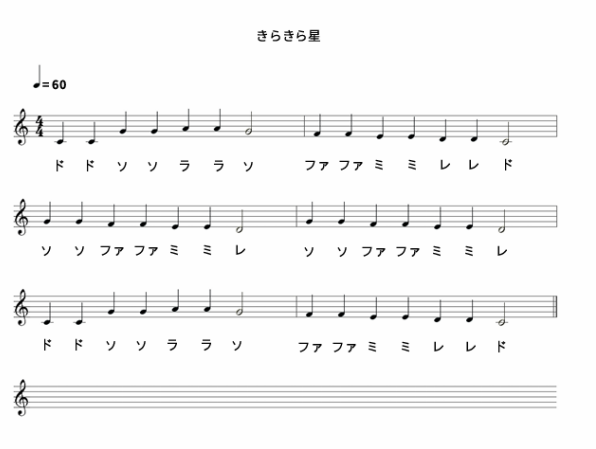


図 5: 評価実験に使用した楽譜

4. 評価実験

4.1 概要

実装したシステムの実用性を調べるために，9 名の被験者を対象に評価実験を行った．実験は，2 パターンの表示方法を比較するとともに，有用性を問うアンケート調査を実施した．被験者には, 本システムを見ながら，きらきら星（図 5）を演奏してもらった．その際，足位置の感覚による練度差を防ぐため，どちらを先に試すかは被験者ごとに調整した．また，演奏時にどのくらい下を向いて演奏しているかを判断するために首角度判定システムを使い，演奏時の姿勢を判定した．9 名の被験者は，いずれも北海道在住の大学生である．アンケート項目を表 1 に示す．

4.2 首角度判定システム

首角度判定システムは p5.js にて MediaPipe[8] を使い骨格認識をすることによって，下を向いているかを判断できるシステムである．被験者には最初に下を向いてもらい，下を向いた時の座標を保存する．その後，システムを起動することにより, 下を向いているか，それとも正面を向いているかが判定できる．終了後，下を向いた回数，下を向いていた時間，下を向いていた割合が結果として出る．

4.3 結果

Q1 では，「なし」「初心者（簡単な曲を、片手ずつやゆっくりなら演奏できる）」という回答が多かった（図??）．Q2 では，「なし」という回答が多かった．Q3 では，「そう思う」といった回答が多かった．Q4 では，「そう思う」といった回答が多かった．Q5 では，「非常にそう思う」といった回答が多かった．Q6 では，「そう思わない」といった回答が多かった．Q7 では，「非常にそう思う」「そう思う」といった回答が多かった．Q8 では，「そう思わない」といった回答が多かった．Q9 では，「そう思う」といった回答が多かった．

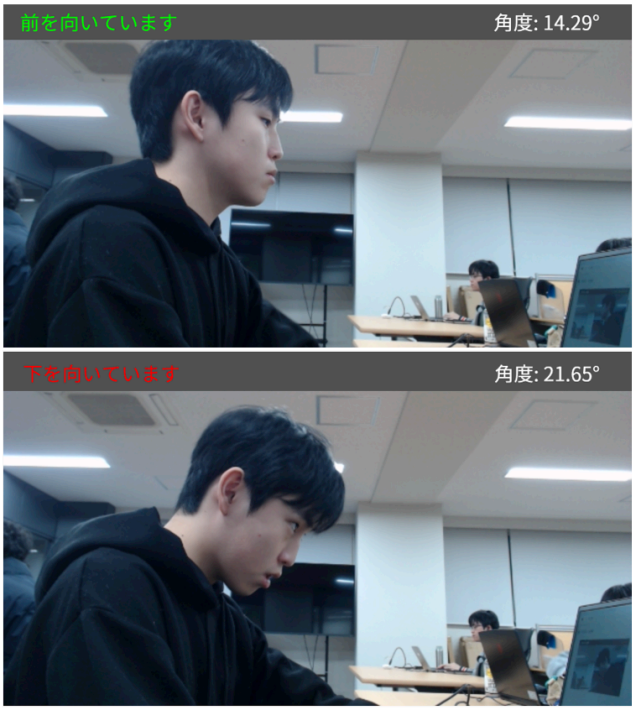


図 6: 首角度判定システムの画面

Q10 では，良かった点として，

- 足の位置を掴むヒントになった
- 下を見ないことで，手元や楽譜に集中できる
- 鍵盤の位置を楽譜を見ながらでも探ることができた

といった回答があった．

Q11 では，改善点として，

- 検出しないときがあった
- イラストで表示される鍵盤の時に上に鍵盤の音を書いた方がいい
- ペダル鍵盤に足をかけた時に表示されていなかった
- 判定が微妙にずれている

といった回答があった．

首角度判定システムでは，下を向いている時間及び回数が，本システムを使用していないときに比べて減っていた．

このことから，本システムを使用することで姿勢を崩さず演奏をすることができるとわかった．一方で，2 次元マーカの認識性に課題があるとわかった．

4.4 考察

本システム使用時の演奏姿勢は，使用しないときに比べて改善していたと考える．

一方，あまり芳しくない結果も出ていた. 考えられる大きな要因として，2 次元の認識性が悪く，表示が不安定だったと考える．2 次元マーカの認識性の悪い理由して，次のようなことを考える．1 つ目は，2 次元マーカを絶対座標で読み取っているため，不慮の事故によりカメラ位置がずれてしまうことにより，想定していた座標とずれることがあると考える．2 つ目は，衣類によってマーカが隠れてし

© 2018 Information Processing Society of Japan

表 1: アンケート項目

番号	質問	選択肢
Q1	鍵盤楽器（ピアノ・オルガン等）の演奏経験はありますか？	なし/初心者（簡単な曲を，片手ずつやゆっくりなら演奏できる)/中級者（流行りの曲などを，両手で一通り演奏できる）/上級者（難しい楽曲や，複雑なアレンジでも演奏できる）
Q2	ペダル鍵盤（電子オルガンの足鍵盤）の演奏経験はありますか？	なし/初心者（数回触ったことがある）/中級者（ペダル鍵盤を使った演奏ができる）/ 上級者（ペダル鍵盤を使った高難易度の演奏ができる）
Q3	映像での足位置の表示は見やすかったですか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q4	イラストでの足位置の表示は見やすかったですか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q5	映像によって足元を直接見なくても，足の位置が把握しやすくなりましたか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q6	イラストによって足元を直接見なくても，足の位置が把握しやすくなりましたか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q7	映像によって姿勢を崩さず（下を向かずに）演奏することに役立ちましたか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q8	イラストによって姿勢を崩さず（下を向かずに）演奏することに役立ちましたか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q9	今後，ペダル鍵盤を練習する際にこのシステムを活用したいですか？	1: 全くそう思わない 〜 5: 非常にそう思う
Q10	このシステムの良かった点があればご記入ください	自由記述
Q11	このシステムの改善した方が良いところ（使いにくい点）があればご記入ください	自由記述
Q12	その他、ご意見があればご記入ください	自由記述

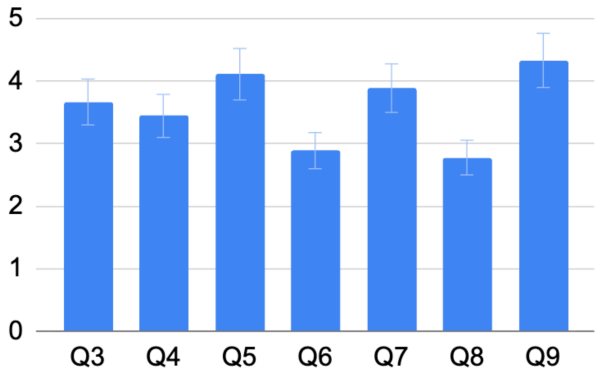


図 7: アンケート結果

まい，認識されないときがあると考える．そこで鍵盤側にも 2 次元マーカを付与し，絶対座標ではなく，相対座標で読み取るようにするとともに，複数の視点からの映像を使い，2 次元マーカが隠れて見えないという事象をなくす必要があると考える．

5. おわりに

本論文では，演奏姿勢を保ったまま足の位置を視認できるシステムを開発し，評価実験を通してその有用性を確認した．評価実験では，本システムを使用することで姿勢を崩さず演奏をすることができるとわかった．一方で，2 次元マーカの認識性に課題があるとわかった．今後は，鍵盤にも 2 次元マーカを付与し，2 次元マーカの認識性を上昇させるためにするとともに，初心者にとってより使いやすいものに改良していきたい．

参考文献

[1] 竹川佳成，椿本弥生，田柳恵美子，平田圭二ほか：鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムにおける熟達化プロセスの調査，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. 7, pp. 1–8 (2013).

[2] 大河原正憲，武田正之：演奏者に合う指使いを学習できる光と振動を活用したピアノ独習支援システム，第 15 回日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2007)，pp. 153–154 (2007).

[3] 元川洋一，斎藤英雄：AR Guitar: 拡張現実感を用いたギターの演奏支援システム，日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集，pp. 73–76 (2006).

[4] tetunori: GitHub - tetunori/p5.simpleAR: Simple AR supplement for p5.js, GitHub (online), available from ⟨https://github.com/tetunori/p5.simpleAR⟩ (accessed 2025-07-17).

[5] processing: GitHub - processing/p5.js-sound: p5.sound brings the Processing approach to Web Audio and p5.js. Demos:, GitHub (online), available from ⟨https://github.com/processing/p5.js-sound⟩ (accessed 2026-01-31).

[6] ヤマハ株式会社：Electone STAGEA スタンダードモデル，Yamaha Music Japan（オンライン），入手先 ⟨https://jp.yamaha.com/products/musical_instruments/keyboards/electone/els-01/index.html⟩ （参照 2025-07-17).

[7] logicool: ロジクール日本，logicool（オンライン），入手先 ⟨https://www.logicool.co.jp/ja-jp⟩ （参照 2025-07-17).

[8] google-ai edge: GitHub - google-ai-edge/mediapipe: Cross-platform, customizable ML solutions for live and streaming media., GitHub (online), available from ⟨https://github.com/google-ai-edge/mediapipe⟩ (accessed 2026-01-31).

© 2018 Information Processing Society of Japan