ピアノ運指を学ぶための振動提示鍵盤の試作

野崎 陽奈子 * 志築 文太郎 †

概要. 運指の習得はピアノ演奏において重要な要素であるが，ピアノ初心者が一度誤った運指を身につけると修正することが難しいため，早期に正しい運指を身につけることが重要となる．正しい運指を習得するためには反復した訓練が必要となるが，ピアノはその大きさおよび重量から持ち運びおよび設置が困難である．我々は，鍵盤自体を振動させることにより運指を提示するという運指の学習支援手法を検討している．また，今回，この手法に基づく振動提示鍵盤を試作した．ユーザは振動提示鍵盤に指を置き，振動に合わせて打鍵することにより対応する音が出力され，運指を学習することができる．また，本鍵盤は小型であるため，ピアノが置けないスペースおよび外出先における練習を可能にする．

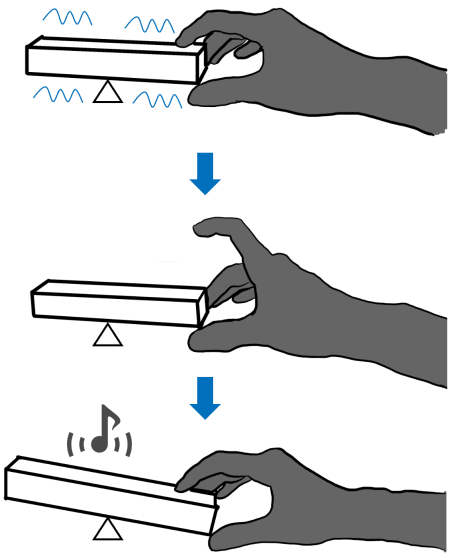

図 1. 提案手法の概要．ユーザが振動を感じた鍵の指を用いて打鍵すると，対応する音が出力される．

1 はじめに

ピアノ初心者にとっては，譜面上の音符および運指を読み，音符から鍵盤上の打鍵位置を想像し，指示された運指にて演奏するという一連のプロセスが最初の難関である [9]．運指には，音の流れをスムーズにする，テンポ，音量，および打鍵タイミングなどを自由にコントロールできる，そして手指に負担をかけないなどの役割があるため，運指の習得はピアノ演奏において重要な要素である．しかし，一度誤った運指を身につけると修正することが難しいため，早期に正しい運指を身につけることが重要となる [9]．

正しい運指を習得するためには反復した訓練が必要となる．しかし，ピアノはその大きさおよび重量から持ち運びおよび設置が困難である [4, 10, 6]．持ち運びが容易であるピアノの練習デバイスとして，フィンガトレーナ [7] があるが，これは指の筋力強化のみに焦点を当てており，運指の提示およびピアノ音のフィードバックがないため，運指の学習ができない．また，モバイルデバイス向けのピアノアプリケーションは，表示される鍵盤の大きさがピアノの鍵盤より小さく，正しい運指での打鍵が困難である．

そこで我々は，鍵盤自体を振動させることにより運指を提示するという運指の学習支援手法を検討している（図 1）．また，今回，この手法に基づく振動提示鍵盤を試作した．ユーザが鍵盤上に指を置き，振動に合わせて打鍵することにより対応する音が出力され，運指を学習することができる．本デバイスは両手を用いて持てるサイズであるため，ピアノが置けないスペースにおいても練習を可能にする．また，持ち運びが容易であるため，外出先においても使用が可能である．本稿では，提案手法に基づき試作したデバイスを報告する．

2 関連研究

本節では，ピアノ運指の学習支援，および触覚刺激を用いた学習支援に関する研究を述べる．

2.1 ピアノ運指の学習支援

視覚に基づきピアノ運指の学習支援を行う手法が研究されている．竹川ら [9] は，カメラを用いて各指の爪に貼り付けたカラーマーカの画像処理から運指を取得し，次に弾く鍵の輪郭および指番号などを鍵盤上に投影するという手法を提案した．ただし，この手法は，大掛かりな装置を必要とするため，設

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.

* 筑波大学情報理工学位プログラム
† 筑波大学システム情報系

置が困難であることに加え利用できる環境が限られる．CASIO および YAMAHA からも，次に弾くべき鍵を光によって指示するデバイス [1, 8] が販売されている．これらのデバイスを小型化するためには鍵数を少なくする必要があるが，それに伴い表現できる音数も少なくなる．本手法では 1 つの鍵が複数の音を表現できるため，必要な鍵数が少なく，持ち運びおよび設置が容易である．

また，触覚を用いて運指の学習支援を行う手法も研究されている．Huang ら [2] は，ユーザに小型振動モータを取り付けたグローブを装着してもらい，PC から流れる曲に合わせて，その音を弾く指に振動を提示する手法を提案した．ただしグローブを装着することが演奏の妨げになるとも報告されている [2]．本手法では，鍵盤自体に機能を持たせることにより，デバイスを装着する必要なく学習を行える．

2.2 触覚刺激を用いた学習支援

触覚刺激を用いた学習が研究されている．Nishida ら [5] は，触覚刺激を用いることにより，視覚に基づく反応と比較して動きに対する反応時間が短縮されることを示した．Kasahara ら [3] は，触覚刺激をある一定のタイミングにて与えることにより，視覚に基づく反応と比較して反応時間が短縮されること，およびデバイスを外した後でも反応時間が短縮されることを示した．

本研究では，これらの結果に基づき，打鍵すべき指に対して触覚刺激を与えることにより，初心者は楽譜を見て運指を確認するよりも短い時間および少ない負担にてピアノ運指を学習できると考えた．

3 提案手法

本節では，提案手法の概要，試作したデバイス，および現状の課題を述べる．

3.1 概要

提案手法による運指の学習の手順を図 1 に示す．デバイスは，5 つの鍵から成る鍵盤である．ユーザは，練習を行いたい方の手の各指を各鍵の上に置く．学習したい曲の運指に合わせて，鍵盤の内部に配置された振動子が順に短く振動し，触覚刺激を与える．振動を感じたユーザは，振動が提示された鍵上にある指を用いて打鍵する．ユーザは打鍵を振動が提示された鍵と同じ鍵に対して行う．ピアノ演奏における打鍵では，指を下ろす前に上げる動作を伴う．そのため，鍵盤上部の指を置く箇所に圧力センサを設置した．圧力センサが打鍵を感知すると，PC はその指に対応するピアノ音を出力する．

3.2 試作デバイス

試作したデバイスを図 2 に示す．デバイスは，PC に USB 接続される．振動子には，偏心モータである LBV10B-009（日本電産コパル電子株式会社）を用いた．振動提示時には，振動子に 5 V を印加し，提示時間を 250 ms とした．また鍵盤を 3D プリンタ（Ultimaker3 Extended）にて PLA フィラメントを用いて作製した．各鍵の大きさは，ピアノの白鍵と同じ大きさ（23 mm × 150 mm × 25 mm）とした．振動子を配置するために，中を縁 3 mm の空洞にした．圧力センサには MF01A-N-221-A11（TAIWAN ALPHA ELECTRONIC CO., LTD.）を用いた．回路の制御には Arduino Uno を用いた．

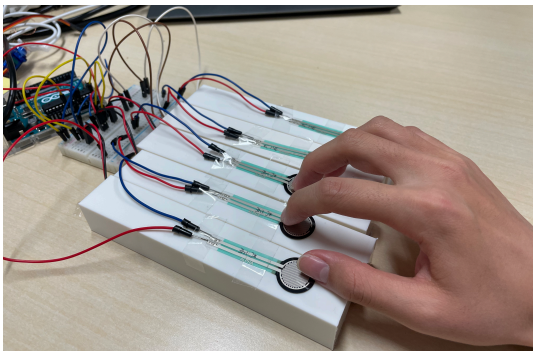

図 2．作製したデバイス．

3.3 現状の課題

今回作製したデバイスは，圧力センサが鍵盤上に配置されているため，指を置く位置が固定される．また，ピアノとは異なり鍵を押し込むことができない．今後，鍵盤の下に支点となる台および圧力センサを設置することにより，ユーザが鍵上のどの位置にて打鍵を行っても打鍵を認識することができ，加えて押し込みが可能な鍵盤へと改良する．

4 まとめと今後の課題

本稿では，持ち運びが容易であり，ピアノ初心者が日常的に少ない負担および短い時間にてスムーズに運指の学習を行うための手法を提案した．また，鍵盤自体を振動させ運指を提示するという提案手法に基づく振動提示鍵盤を試作した．今後，よりピアノに近い打鍵感を得られるようデバイスを改良する．また，一般的な方法による運指の学習と提案手法に基づく運指の学習の効果の比較，およびユーザビリティを調査するための実験を行う．さらに，今後和音および両手の演奏にも対応することを予定している．しかし，複数の鍵を同時に振動させることにより，振動した鍵をユーザが正しく認識できなくなる可能性がある．そのため，複数の鍵を同時に振動させた際にユーザがどのように振動を感じるかに関しても調査する．

参考文献

[1] CASIO. 光ナビゲーションキーボード. https://www.casio.com/jp/electronic-musical-instruments/product.LK-320 （最終閲覧日：2021 年 11 月 19 日）.

[2] K. Huang, E. Y.-L. Do, and T. Starner. PianoTouch: a Wearable Haptic Piano Instruction System for Passive Learning of Piano Skills. In *Proceedings of International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '08, pp. 41–44. IEEE, 2008.

[3] S. Kasahara, K. Takada, J. Nishida, K. Shibata, S. Shimojo, and P. Lopes. Preserving Agency During Electrical Muscle Stimulation Training Speeds up Reaction Time Directly After Removing EMS. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, pp. 1–9. Association for Computing Machinery, 2021.

[4] C. Matsusue, K. Funahashi, and S. Mizuno. Touch-Typable VR Piano That Corrects Positional Deviation of Fingering Based on Music Theory. In *ACM SIGGRAPH 2017 Posters*, SIGGRAPH '17, pp. 1–2. Association for Computing Machinery, 2017.

[5] J. Nishida, S. Kasahara, and K. Suzuki. Wired Muscle: Generating Faster Kinesthetic Reaction by Inter-Personally Connecting Muscles. In *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '17, pp. 1–2. Association for Computing Machinery, 2017.

[6] H. Nozaki, K. Minawa, R. Takakura, and B. Shizuki. Investigating Reaction Accuracy of Extended Touchscreen with Conductive Ink for Mobile Virtual Piano. In *Asian CHI Symposium 2021*, Asian CHI Symposium 2021, pp. 111–113. Association for Computing Machinery, 2021.

[7] OTraki. OTraki フィンガートレーナー AROMA AHF-03. http://otraki.com/module/mi/oga/details.html?id=0（最終閲覧日：2021 年 11 月 19 日）.

[8] YAMAHA. ヤマハ電子キーボード「EZ-300」. https://www.yamaha.com/ja/news_release/2020/20111601/（最終閲覧日：2021 年 11 月 19 日）.

[9] 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, 52(2):917–927, 2011.

[10] 金杉 季実果, 宮下 芳明. マルチタッチジェスチャによって変形可能な鍵盤インタフェースの試作. 第 26 回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 (WISS2018) 論文集, 2 pages. 日本ソフトウェア科学会, 2018.