

場所を問わずピアノ練習が可能な グローブ型デバイスを用いた手の横移動を伴わない 片手フレーズの練習効果の調査

野崎 陽奈子^{1,a)} 志築 文太郎^{2,b)}

概要: ピアノ演奏は、老若男女問わず人気が高い。しかし、曲の習得には多大な時間および労力を必要とするため、習熟効率の低さから練習途中で挫折してしまう演奏者が多い。また、鍵盤楽器はその大きさおよび重量から持ち運びおよび設置に労力を必要とするため、練習場所が制限される。そこで我々は、場所を問わずにピアノの練習を行うためのグローブ型デバイスを作製した。そして、作製したグローブ型デバイスを用いて練習者に提示できる振動および光に加え、従来の練習に用いられてきたピアノ音および楽譜を組み合わせた練習方法を示した。さらに、練習者に対し、ピアノ音および楽譜を提示する従来の練習方法、ならびにピアノ音および楽譜に加えてグローブ型デバイスを用いて振動、光、またはその両方を提示した練習方法の練習効果を比較する調査を行った。その結果、ピアノ音、振動、光、および楽譜の全てを提示して練習した条件が最も練習効果が高く、練習者にも好まれることが分かった。

1. はじめに

ピアノは子どもの習い事として普及している [1] ほか、余暇にピアノを演奏することは老若男女問わず人気が高い [2]。しかし、ピアノの演奏には譜読み、指示された鍵への正確な打鍵、適切な運指、打鍵の強弱、およびテンポのコントロールなど様々な技術が要求され、これらの技術の習得には長期間の基礎的な練習が必要である。これにより、曲の習得には多大な時間および労力を必要とする。このため、習熟効率の低さから練習途中で挫折する演奏者が多い [3,4]。そこで、ピアノの練習を支援する様々な方法が行われてきた [5–18]。

ピアノの練習を支援する代表的な方法として、ピアノおよびキーボードなどの鍵盤楽器を実際に用いた方法がある [5–10]。しかし、鍵盤楽器はその大きさおよび重量から持ち運びおよび設置が容易ではない。このため、人々が練習を行える場所が制限される。そこで、場所を問わずピアノの練習を行えるようにするためには、鍵盤楽器を使わず練習を行える環境が必要となる [19–21]。

鍵盤楽器を使わないピアノの練習方法として、触覚刺激を用いた受動的練習に着目した研究が行われてきた [12–18]。

受動的練習とは、練習者が練習にはほとんど注意を払わないにもかかわらず、身体に繰り返し触覚刺激または聴覚刺激のような情報が与えられることにより行う受け身な練習である。この方法を用いることにより、人々は読書、ゲーム、および勉強など他の作業を行いながら運動技能を習得できる。触覚刺激を用いた受動的練習 [12–18] は、手にグローブを装着することにより練習することができるため、場所を問わず練習が可能である。これまでの研究から、触覚刺激を用いた受動的練習はピアノのフレーズの練習に役立つことが示されている [12–14]。しかし、これまでの研究では、鍵盤楽器を使わない能動的練習において触覚刺激を用いた場合の練習効果は調査されていない。能動的練習とは、受動的練習と異なり、自ら考え習得のために積極的に働きかける練習である。本研究では、鍵盤楽器を使わない能動的練習において触覚刺激を用いる。また、これまでのピアノの受動的練習においては、意識せずに刺激を受けることが可能である触覚刺激および聴覚刺激が用いられてきた [12–18]。一方、能動的練習ではこれらの刺激に加え視覚刺激を用いて練習情報を提示することが可能である。そこで本研究では、鍵盤楽器を使わない環境下において、触覚刺激、聴覚刺激、および視覚刺激の組み合わせによる練習効果の違いを調査する。

我々は、場所を問わず触覚刺激および視覚刺激を提示できるデバイスとして図 1 に示すグローブ型デバイスを作製

¹ 筑波大学 情報理工学位プログラム

² 筑波大学 システム情報系

^{a)} nozaki@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

^{b)} shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

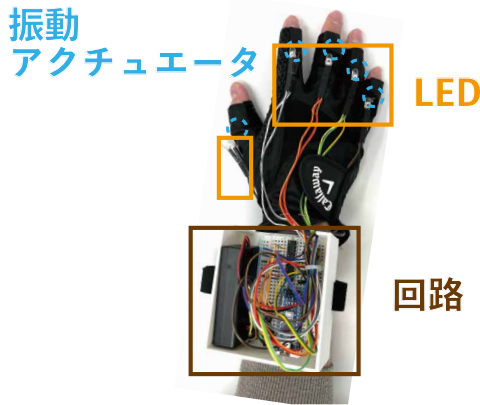


図 1 振動および光を提示するためのグローブ型デバイス。

した [22]. このグローブ型デバイスを含む我々の練習システムでは、ピアノ音、振動、光、および楽譜の 4 つの情報を練習に用いる。これにより、ピアノ演奏において必要な音、リズム、運指、ならびに指および鍵盤位置の対応の 4 つの情報のうち、音、リズム、および運指の 3 つの情報を提示できる。

今回我々は、練習者に対し、ピアノ音および楽譜を提示する従来の練習方法、ならびにピアノ音および楽譜に加えて、作製したグローブ型デバイスを用いて振動、光、またはその両方を提示した練習方法の練習効果を比較した。本稿ではその結果を示す。

2. 関連研究

本研究では、場所を問わずピアノの練習を効果的に行える方法を提案するために、鍵盤楽器を使わないピアノ練習に着目する。そこで、本節ではピアノの練習支援および鍵盤楽器を用いないピアノ演奏に関する研究を示し、本研究を位置付ける。

2.1 鍵盤楽器によるピアノの練習支援

ピアノの練習支援を行う既存のデバイスとして、CASIO および YAMAHA などの楽器メーカーから、次に弾くべき鍵を光によって指示するキーボード [5, 6] が販売されている。しかし、これらの楽器は小さく収納することができないため、持ち運びが容易ではない。また、プロジェクトまたは Web カメラなどの外部機器を用いて鍵盤上に次に弾く鍵の輪郭、運指、または手本映像を表示することにより練習支援を行った研究がある [7–10]。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。さらに、プロジェクトまたはカメラなど大掛かりな装置が必要な場合は、持ち運びおよび設置はより困難となる。このため、これらの手法では人々が練習を行える場所が制限される。

本研究では手にグローブを装着することにより練習が可能になるため、練習者は場所を問わず練習が可能である。

2.2 鍵盤楽器を用いないピアノの演奏手法

場所を問わずピアノを演奏するために、バーチャルピアノが開発されてきた。バーチャルピアノとは、鍵盤楽器を用いずに演奏可能な、ピアノを模したデバイスである。バーチャルピアノには、投影型の装置 [23]、カメラを用いた手法 [7, 24–29]、およびタッチパネルを用いた手法 [20, 21] などがある。しかし、投影型の装置、およびカメラを用いた手法は検出精度が低い、ならびにタッチパネルを用いた手法は表示する鍵盤の領域を切り替えるために演奏時にない動作を行う必要がある。このため、バーチャルピアノは本格的な演奏や練習支援には向かず、演奏を楽しむためのデバイスとしての特色が強い。

本研究では、場所を制限しないためにピアノの代わりとなる演奏するためのデバイスではなく練習用の新たなデバイスを用いる。これは、鍵盤を用いた練習を行わないため、打鍵の検出精度および打鍵時の指先の感覚などによる影響を受けない。

2.3 触覚刺激を用いたピアノの練習支援

鍵盤楽器を用いずにピアノの練習支援を行う方法として、触覚刺激を用いた受動的練習に着目した研究が行われてきた。触覚刺激を用いたピアノの受動的練習では、練習者が小型振動モータを取り付けたグローブを装着し、ゲームまたは読書など他の作業を行いながら新しい曲を練習する [12–18]。練習者には、PC から流れる曲に合わせて、振動を用いて運指が提示される。この手法は、手にグローブを装着することにより練習することができるため、場所を問わず練習が可能である。これまでの触覚刺激を用いたピアノの受動的練習における研究では、触覚刺激を用いたピアノの練習における片手の短いフレーズの練習効果 [12–14]、両手および和音のメロディの練習効果 [15]、ピアノ音の有無による練習効果の違い [15]、および片手の短いフレーズの記憶性（一度習得したものをどれだけ覚えていたか） [17] などが調査されてきた。しかし、これまでは、鍵盤楽器を使わない受動的練習において触覚刺激を用いた際の練習効果は調査されてきたが、鍵盤楽器を使わない能動的練習において触覚刺激を用いた際の練習効果は調査されてこなかった。

本研究では、鍵盤楽器を使わない能動的なピアノ練習における効果的な練習方法を示す。そのために、聴覚、触覚、および視覚刺激の組み合わせによる能動的練習における練習効果を調査した。

3. グローブ型デバイスおよび練習方法

我々は、ピアノ音、振動、光、および楽譜の 4 つの情報をを用いたピアノの練習方法を提案する。本節では、これら 4 つの情報を採用した理由、練習システム、および練習方法を述べる。

3.1 練習に用いる情報

ピアノ音は、聴覚を通じた練習支援を可能とする。練習する曲の音を再生することにより、自分が演奏する際のイメージトレーニングを行うことができる。ピアノ音は音声を再生する機器があれば聴くことができるため、ピアノ奏者も外出時のピアノの練習として用いる情報である。我々はピアノ音により、音およびリズムを聴覚を通して提示する。

振動は、触覚を通じた練習支援を可能とする。これまでの研究 [12–18] により、振動を用いた運指およびリズムの提示はピアノの受動的練習に効果的であることが示されている。そのため我々は、能動的練習においては振動がより役立つと考えた。我々は振動により、運指およびリズムを触覚を通して提示する。

光は、視覚を通じた練習支援を可能とする。これまでの手法 [5–7,9,10] により、鍵盤を光らせることによる鍵盤位置および運指の提示はピアノの練習に効果的であることが示されている。我々は鍵盤ではなく指先を光らせることにより、運指およびリズムを視覚的に提示する。

楽譜は光と同様に、視覚を通じた練習支援を可能とする。我々は楽譜により、曲全体の情報（音、リズム、および運指）を視覚を通して提示する。

3.2 練習システム

Huang ら [12,13] の実験にて用いられた触覚刺激提示グローブをもとに作製した練習用グローブ型デバイスを図1に示す。デバイスは、振動および光を提示する。また、デバイスは、ゴルフグローブ、マイクロコントローラ（Arduino Nano）を含む回路、5つの振動アクチュエータ、および5つのLEDから構成される。振動アクチュエータおよびLEDは、PCとUSB接続されたマイクロコントローラにより制御される。なお、Huang ら [12,13] が用いた触覚刺激提示グローブと同様に、ユーザがグローブを装着した状態においても指先の感覚を保つため、および指先を動かしやすくするために指先部分の空いたゴルフグローブを使用した。それぞれの振動アクチュエータはグローブの各指の第1関節および第2関節の間に、LEDはグローブの各指の第2関節に取り付けた。手が動かしにくくなることを防ぐため、回路はリストバンド型のケースに収納し、腕に装着した。触覚刺激をユーザの指に提示するための振動アクチュエータとして、標準電圧が3Vである偏心モータ（T.P.C, FM34F）を用いた。また、視覚刺激を提示するために黄色のLED（OptoSupply, OSY5RU5A31E-NO）を使用した。

ピアノ音は、音声を再生可能な機器により提示する。楽譜は、紙媒体または情報端末から提示する。本練習システムにおいては、ピアノ音の提示にはPC（MacBook Pro (13-inch, M1, 2020)）、および楽譜の提示には紙を用いる。

表 1 各条件において提示する情報。

	ピアノ音	振動	光	楽譜
条件 1	○			○
条件 2	○	○		○
条件 3	○		○	○
条件 4	○	○	○	○

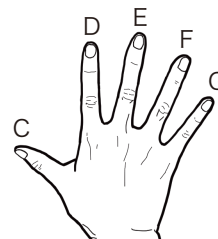


図 2 指および音の対応。

3.3 練習方法

練習者は、演奏する手にグローブ型デバイスを装着し、楽譜を手元に置く。また、練習者は、音声を再生可能な機器から、練習したい曲のピアノ音を繰り返し再生できる。グローブに装着された振動アクチュエータおよびLEDは、ピアノ音に応じて振動および光を練習者に提示する。このように練習者に対し、ピアノ音、振動、光、および楽譜の4つの情報の組み合わせにより、練習したい曲の音、リズム、および運指が同時に繰り返し提示される。練習者は、これらの情報をもとに指および手などの身体の一部を自由に動かし、能動的に練習を行う。

4. 実験

鍵盤楽器がない環境において、片手のみを用いて演奏可能な短いフレーズを短期間においてより正確に習得できる方法を調査するための実験を行った。

4.1 参加者

参加者は、研究室の学生4名であった（男性4名、平均年齢22.5歳、全員右利き）。ピアノおよびその他の楽器の演奏経験を問うアンケートを行ったところ、2名は中学校までの音楽の授業での経験のみ、1名はそれに加えギターおよびピアノを趣味で1–2年前に約1ヶ月、および1名は中学生の時にピアノを習い事として約10ヶ月演奏していたと回答した。また、譜読みのレベルは、4名とも時間をかければ読めるが演奏しながらは読めないと回答した。

4.2 実験条件および実験環境

実験において、ピアノ音はPC、振動および光はグローブ型デバイス、および楽譜は紙を用いて提示する。実験参加者には、表1に示す4条件での練習を行うように指示した。条件1はデバイスを装着せずに楽譜を見て行う従来の練習方法であり、条件2–4はデバイスを右手に装着して練



図 3 実験において練習するフレーズ。

習する。

実験に使用するフレーズは、図 3 に示す 4 種類である。なお、参加者のフレーズへの親しみやすさを均等にするため、Donchev ら [17] の実験を参考に、フレーズは初見のものとなるように著者が作成した。各フレーズは、初心者向けの難易度かつ長さが同じ（20 音）でありながら、互いが練習に影響を与えないために、音の流れおよびリズムが類似しないように設計された。手の横移動により練習の難易度が高まることを防ぐため、フレーズは C（ド）、D（レ）、E（ミ）、F（ファ）、および G（ソ）の 5 つのキーのみを用いた。これらのキーを図 2 に示すように各指に割り当てた。ピアノでは右手がメロディを演奏することが多いため、右手用のフレーズとした。

4.3 手順

まず参加者に、今回練習するフレーズに登場する音およびリズムを説明し、譜読みの方法を覚えてもらった。

次に、条件ごとにフレーズの練習を行う。まず、実験者がメトロノームに合わせてフレーズを弾いたデモ演奏動画を参加者に 1 度見てもらうことにより、フレーズのイメージ付けおよび鍵盤の位置の確認を行うよう指示した。その際、参加者には、楽譜を見ながら自由に指を動かしてもらった。次に、最初のレベルを計測するために、プレテストとして、電子キーボードを用いて楽譜を見ずにフレーズを 1 回演奏するよう指示した。プレテストの後、参加者は、電子キーボードから指を外し、電子キーボードのない状態で練習を開始する。参加者には練習として各条件において 3 度フレーズを提示した。練習の間、参加者は自由に身体を動かすことができた。3 度のフレーズの提示後、練習終了からテスト開始までの時間およびフレーズへの集中度を条件間で統一するため、与えられたテーマについて 2 分間、参加者 1 名でしりとりを行ってもらった。その間に条件 2-4 ではグローブを外してもらった。その後、テストとして、電子キーボードを用いて楽譜を見ずに各条件において練習したフレーズを 1 回演奏するよう指示した。

表 2 各テストにおける条件ごとの音の正解数の平均。

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目
条件 1	4.25	7	10.25	15.50	19.50	19.75
条件 2	3.00	6.25	9.00	10.25	12.50	17.50
条件 3	2.75	7.00	10.50	17.00	19.50	19.50
条件 4	2.75	6.25	15.00	16.75	20.00	20.00

表 3 条件ごとの音の正解数の平均の変化量。

	1-2 回目	2-3 回目	3-4 回目	4-5 回目	5-6 回目
条件 1	1.65	1.46	1.51	1.26	1.01
条件 2	2.08	1.44	1.14	1.22	1.40
条件 3	2.55	1.50	1.62	1.15	1.00
条件 4	2.27	2.40	1.12	1.19	1.00

練習およびテストから成るセッションを 5 回繰り返す。5 セッション終了後、実験参加者には実行した条件に対して、NASA-TLX [30] および自由記述からなるアンケートの回答を指示した。回答終了後、3 分以上の休憩を挟み次の条件へ移行した。条件およびフレーズの組み合わせならびに実行順は、ラテン方格に従い実験参加者ごとに決定した。

全条件終了後、参加者には、年齢、性別、および音楽経験などの参加者情報、ならびに練習しやすかった条件および好みの条件など条件間の比較を行うアンケートを回答するよう指示した。実験の所要時間は、平均約 180 分であった。

4.4 結果

実験により明らかになった各条件の音およびリズムの正解数、NASA-TLX のスコア、およびアンケートの結果を示す。

4.4.1 音の正解数

プレテストを含む計 6 回のテストでの演奏における音の正解数を計測した。4 人の参加者および平均の成績の推移を図 4 に示す。また、各テストにおける条件ごとの音の正解数の平均を表 2 に示す。表 2 より、3、5、および 6 回目の音の正解数の平均は条件 4 が最も高く、条件 2 が最も低かった。これより、振動および光の提示は音の習得に効果があるが、振動のみでは妨げになる可能性が示唆された。また、図 4 の各条件における平均の成績の変化量をテスト 1-2、テスト 2-3、テスト 3-4、テスト 4-5、テスト 5-6 の間において算出した（表 3）。表 3 より、1-2 回目では条件 3、および 2-3 回目では条件 4 の変化量が最も大きい。これより、光または振動および光の提示により音の習得を早める効果がある可能性が示唆された。

4.4.2 リズムの正解数

プレテストを含む計 6 回のテストでの演奏におけるリズムの正解数を計測した。4 人の参加者および平均の成績の推移を図 5 に示す。また、各テストにおける条件ごとのリズムの正解数の平均を表 4 に示す。表 4 より、3、4、およ

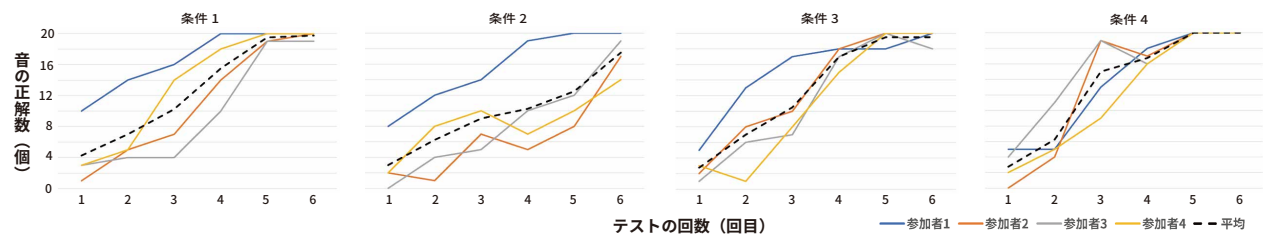


図 4 条件ごとの音の正解数の推移.

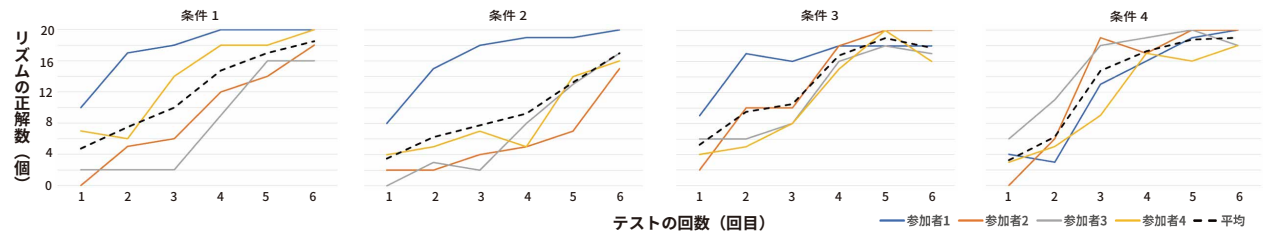


図 5 条件ごとのリズムの正解数の推移.

表 4 各テストにおける条件ごとのリズムの正解数の平均.

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目
条件 1	4.75	7.50	10.00	14.75	17.00	18.50
条件 2	3.50	6.25	7.75	9.25	13.25	17.00
条件 3	5.25	9.50	10.50	16.75	19.00	17.75
条件 4	3.25	6.25	14.75	17.35	18.75	19.00

表 5 条件ごとのリズムの正解数の平均の変化量.

	1-2 回目	2-3 回目	3-4 回目	4-5 回目	5-6 回目
条件 1	1.58	1.33	1.48	1.15	1.09
条件 2	1.79	1.24	1.19	1.43	1.28
条件 3	1.81	1.11	1.60	1.34	0.93
条件 4	1.92	2.36	1.17	1.09	1.01

び 6 回目の音の正解数の平均は条件 4 が最も高く、条件 2 が最も低かった。これより、振動および光の提示はリズムの習得に効果があるが、振動のみでは妨げになる可能性が示唆された。また、図 5 の各条件における平均の成績の変化量をテスト 1-2、テスト 2-3、テスト 3-4、テスト 4-5、テスト 5-6 の間において算出した (表 5)。表 5 より、1-2 回目および 2-3 回目では条件 4 の変化量が最も大きい。これより、振動および光の提示により音の習得を早める効果がある可能性が示唆された。

4.4.3 主観評価

各条件における NASA-TLX スコアの平均は、条件 1 が 64.67 (SD=11.89)、条件 2 が 66.5 (SD=3.78)、条件 3 が 59.67 (SD=8.03)、条件 4 が 53.08 (SD=7.59) であった (図 6)。これより、光または振動および光の提示により練習の際の作業負担を軽減する一方、振動のみでは作業負担を増加させる可能性が示唆された。

実験の最後のアンケートにおいて、各条件を練習しやす

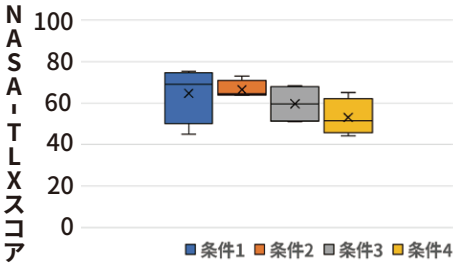


図 6 条件ごとの NASA-TLX のスコアの平均.

表 6 各条件を練習しやすかった順に回答してもらった際の順位および人数.

	1 番目	2 番目	3 番目	4 番目
条件 1	0 人	1 人	1 人	2 人
条件 2	0 人	1 人	1 人	2 人
条件 3	1 人	2 人	1 人	0 人
条件 4	3 人	0 人	1 人	0 人

かった順に回答してもらった。練習しやすいと回答した人数が最も多かったのは条件 4 (3 名) であり、練習しにくいと回答した人数が最も多かったのは条件 1 および 2 (各 2 名) であった (表 6)。

実験の最後のアンケートにおいて、今後ピアノの練習を行う際に最も用いたい条件および最も用いたくない条件を回答してもらった。練習に用いたいと回答した人数が最も多かったのは条件 4 (2 名) であり、練習に用いたくないと回答した人数が最も多かったのは条件 1 (3 名) であった (表 7)。

表 7 各条件を今後練習に用いたい順に回答してもらった際の順位および人数.

	1 番目	2 番目	3 番目	4 番目
条件 1	0 人	0 人	1 人	3 人
条件 2	1 人	1 人	1 人	1 人
条件 3	1 人	1 人	2 人	0 人
条件 4	2 人	2 人	0 人	0 人

4.5 考察

本節では、実験結果より考えられる考察を述べる.

4.5.1 成績

4.4.1 節および 4.4.2 節より、振動および光の提示は音およびリズムの習得に効果があるが、振動のみでは妨げになる可能性が示唆された. さらに、光、または振動および光の提示により音の習得を、振動および光の提示によりリズムの習得を早める効果がある可能性が示唆された. アンケートにおいて、「振動だけではどの指が振動したかわからないことがあったが、光もあることにより動かすべき指が分かった」とのコメントがあったように、光により楽譜が瞬時に読めない練習者でもフレーズを正確に理解できるため、光は運指の理解に役立ったと考えられる. また、振動は受動的練習でも使われるように、提示された 4 つの情報の中で最も少ない意識で感じられ、身体に残るため、リズムの練習に役立ったと考える.

4.5.2 主観評価

4.4.3 節より、光または振動および光の提示により練習の際の作業負担を軽減する一方、振動のみでは作業負担を増加させる可能性が示唆された. アンケートから、「振動があると目で見なくても動かす指がわかり、光もあったので目で見て分かった.」、「光があると譜面を読む努力量が少なかった.」、「自分の譜読みが正しいかすぐに確認でき、あまり音符を読まなくても正解の音が分かる」という意見があったため、光および振動は、譜読みに不慣れた練習者の譜読みのサポートに繋がり、譜読みの負担を軽減できたと考えられる. また、「どの指に振動が起きているのか分からない時があった」とのコメントがあったことから、振動した指を把握できない場合には振動が逆にストレスになってしまい作業負担を増加させたと考えられる.

練習しやすかった条件および今後練習に用いたい条件は条件 4 と回答した人が最も多く、グローブ型デバイスが練習において好まれる可能性が示唆された. アンケートでは、譜読みのサポートになったという意見以外に「正しい運指のフィードバックを得られた」という意見があったことから、振動および光は譜読みのサポートだけでなくフィードバックとして暗譜のサポートにもつながることが分かった.

5. 議論および今後の予定

今回の実験における実験参加者数は、4 名と少なかった.

このため、結果に対する信頼度が高いとは言えない. 実験参加者数を増やすことにより、実験結果の精度が向上すると考えられる. 今後、実験参加者を追加して、同実験を行う.

また、今回の実験では、ピアノ初心者を対象とし、手の横移動および和音のない片手のみを用いて演奏可能な短いフレーズを用いた. しかし、実際のピアノの曲は、手の横移動および和音を含む両手の曲が多い. このため、このような曲の練習においても提案手法が役立つ今後調査する必要がある. これにより生じるデバイスの課題として、複数の指が振動することによりどの指が振動したか知覚しにくくなること、複数の指の光を同時に追うことができないこと、ならびに運指および音が分かっても鍵盤の位置が分からないために弾けないことが考えられる. まずはこのような現象が実際に生じるのかを確認し、対応を検討する必要がある.

さらに、現在は練習のために PC、グローブ型デバイス、および紙媒体の楽譜を使用しているが、利便性を高めるためには機材をより小型化することが望まれる. 現在検討している案としては、楽譜を紙ではなくスマートフォンにより提示すること、グローブおよび PC 間の有線による USB 接続をグローブおよびスマートフォン間の Bluetooth による無線接続に変更すること、ならびにピアノ音、振動、および光の制御を PC ではなくスマートフォンにより行うことなどがあげられる. これにより、システムを小型化できる.

6. まとめ

本研究では、場所問わずピアノの練習を行える方法を開発するため、鍵盤楽器を使わないピアノ学習における効果的な練習方法を示す. そのために、鍵盤楽器を使わない触覚刺激を用いた受動的学習に着目し、振動および光を提示する練習用グローブを作製した. また、片手の短いフレーズの練習に効果的な方法を調査するための実験を行った. 実験より、振動および光を提示した条件は練習効果が高いこと、および練習者に好まれることが分かった. 今後は、実験参加者を追加して、同実験を行う. また、長い曲、ならびに両手および和音の曲などより複雑な曲における練習効果の調査、および練習後の記憶性の調査も行っていく. さらに、練習用グローブを数日間持ち運んで使用してもらうことにより、場所を問わず練習できるか調査する.

参考文献

- [1] 文部科学省: 子どもの学校外での学習活動に関する実態調査報告, https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/08/08080710/001.pdf (最終閲覧日:2022 年 12 月 13 日).
- [2] 大和田茂: ピアノ演奏・学習支援ソフト, IPA 未踏ソフトウェア報告会 (2003).
- [3] 福家悠人, 竹川佳成, 柳英克: モチベーションを考慮したピアノ学習支援システムの設計と実

- 装, インタラクション 2015, 情報処理学会, pp. 118–127 (オンライン), 入手先 <http://www.interaction-ipsj.org/proceedings/2015/data/20150226/15INT014.pdf> (2015).
- [4] 竹川佳成, 福家悠人, 柳英克: モチベーションを考慮したピアノ学習支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 4, pp. 1193–1206 (2016).
- [5] 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: 2022 年 12 月 13 日).
- [6] 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: 2022 年 12 月 13 日).
- [7] 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, Vol. 52, No. 2, pp. 917–927 (オンライン), 入手先 <https://ci.nii.ac.jp/naid/110008507930/> (2011).
- [8] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀: The Phantom of the Piano: 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2006, No. 4, pp. 69–70 (オンライン), 入手先 <https://cir.nii.ac.jp/crid/1572824501327940864> (2006).
- [9] Rogers, K., Röhlig, A., Weing, M., Gugenheimer, J., Könings, B., Klepsch, M., Schaub, F., Rukzio, E., Seufert, T. and Weber, M.: P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection, *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 149–158 (online), DOI: 10.1145/2669485.2669514 (2014).
- [10] 山田和毅, 山本邦雄, 乃万司: 音階と鍵盤の視覚的対応付けによるピアノ学習支援システム, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, Vol. 2015, pp. 378–385 (2015).
- [11] 大島千佳, 井ノ上直己: 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて, 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2007, No. 81 (2007-MUS-071), pp. 185–190 (2007).
- [12] Huang, K., Do, E. Y.-L. and Starner, T.: PianoTouch: a Wearable Haptic Piano Instruction System for Passive Learning of Piano Skills, *Proceedings of International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '08, pp. 41–44 (online), DOI: 10.1109/ISWC.2008.4911582 (2008).
- [13] Huang, K., Starner, T., Do, E., Weinberg, G., Kohlsdorf, D., Ahlrichs, C. and Leibbrandt, R.: Mobile Music Touch: Mobile Tactile Stimulation for Passive Learning, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 791–800 (online), DOI: 10.1145/1753326.1753443 (2010).
- [14] Kohlsdorf, D. and Starner, T.: Mobile Music Touch: The effect of primary tasks on passively learning piano sequences, *International Symposium on Wearable Computers (ISWC) 2010*, pp. 1–8 (online), DOI: 10.1109/ISWC.2010.5665877 (2010).
- [15] Seim, C., Estes, T. and Starner, T.: Towards Passive Haptic Learning of piano songs, *2015 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 445–450 (online), DOI: 10.1109/WHC.2015.7177752 (2015).
- [16] Pala, F. and Türker, P.: Developing a Haptic Glove for Basic Piano Education, *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, Vol. 11, pp. 38–47 (online), DOI: 10.18844/wjet.v11i1.4008 (2019).
- [17] Donchev, R., Pescara, E. and Beigl, M.: Investigating Retention in Passive Haptic Learning of Piano Songs, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 5, No. 2, pp. 60:1–60:14 (online), DOI: 10.1145/3463513 (2021).
- [18] Gemicioglu, T., Teuscher, N., Dwivedi, B., Park, S., Miller, E., Mason, C., Seim, C. and Starner, T.: Passive Haptic Rehearsal for Accelerated Piano Skill Acquisition, *arXiv e-prints*, pp. arXiv–2203 (2022).
- [19] Matsusue, C., Funahashi, K. and Mizuno, S.: Touch-Typable VR Piano That Corrects Positional Deviation of Fingering Based on Music Theory, *ACM SIGGRAPH 2017 Posters*, SIGGRAPH '17, Association for Computing Machinery, pp. 33:1–33:2 (online), DOI: 10.1145/3102163.3102223 (2017).
- [20] 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) 予稿集. 2 pages (2018).
- [21] Nozaki, H., Minawa, K., Takakura, R. and Shizuki, B.: Investigating Reaction Accuracy of Extended Touchscreen with Conductive Ink for Mobile Virtual Piano, *Asian CHI Symposium 2021*, Asian CHI Symposium 2021, Association for Computing Machinery, pp. 111–113 (online), DOI: 10.1145/3429360.3468191 (2021).
- [22] 野崎陽奈子, 志築文太郎: いつでもどこでもピアノ練習が可能なグローブ型デバイスを用いた練習方法の提案, 第 30 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 (WISS2022) 予稿集. 4 pages (2022).
- [23] SONY: Xperia Touch G1109, <https://www.sonymobile.co.jp/product/smartproducts/g1109/> (最終参照日: 2022 年 12 月 13 日).
- [24] 村上裕美, 中島克人: 深度センサを用いたバーチャル楽器演奏システム, 第 79 回全国大会講演論文集, Vol. 2017, No. 1, pp. 983–984 (2017).
- [25] Liang, H., Wang, J., Sun, Q., Liu, Y.-J., Yuan, J., Luo, J. and He, Y.: Barehanded Music: Real-Time Hand Interaction for Virtual Piano, *Proceedings of the 20th ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, I3D '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 87–94 (online), DOI: 10.1145/2856400.2856411 (2016).
- [26] Togootogtokh, E., Shih, T. K., Kumara, W. G., Wu, S.-J., Sun, S.-W. and Chang, H.-H.: 3D Finger Tracking and Recognition Image Processing for Real-Time Music Playing with Depth Sensors, *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 77, No. 8, pp. 9233–9248 (online), DOI: 10.1007/s11042-017-4784-9 (2018).
- [27] Hwang, I., Son, H. and Kim, J. R.: AirPiano: Enhancing Music Playing Experience in Virtual Reality with Mid-Air Haptic Feedback, *Proceedings of 2017 IEEE World Haptics Conference*, WHC '17, pp. 213–218 (online), DOI: 10.1109/WHC.2017.7989903 (2017).
- [28] 丁慶松, 笠原信一, 安藤大地: AR による「紙のピアノ」の提案, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol. 2011, No. 3, pp. 633–636 (2011).
- [29] 田中純之介, 勝間亮: カメラを用いたバーチャル楽器におけるフレームレートによる演奏制限の解決法, 2018 年度情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2018, pp. ROMBUNNO.G-30 (オンライン), 入手先 <https://cir.nii.ac.jp/crid/1050011097169836800> (2018).
- [30] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Human Mental Workload* (Hancock, P. A. and Meshkati, N., eds.), Advances in Psychol-

ogy, Vol. 52, North-Holland, pp. 139–183 (online), DOI:
[https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9) (1988).