

# ギターの弦を正しく押さえるための初心者支援システム

古庄 優樹<sup>1,a)</sup> 北原 鉄朗<sup>1,b)</sup>

概要：コード演奏練習はギターの練習項目として重要であり、コード演奏では決められた指の形で各弦を十分に押さえる必要がある。また、その際に指が隣の弦に触れてしまうと、その弦がミュートされてしまい、それを防ぐ必要がある。そこで本研究では、ギターにセンサを取り付け、ギターの弦を押さえた時に正しくギターコードを押さえているかどうかを判定して、視覚的にユーザにフィードバックする支援システムを開発した。評価実験は短時間のものと一定期間貸与する2種類を行っており、通常のギターのみでの練習と比較して本システムのフィードバックが有用性であることが示された他、一定期間継続利用することで能力向上が確認できた。

## 1. はじめに

ギターは趣味として人気な楽器だが、ギターを始めたばかりの人にとって、ギターを正しい指の形で押さえられるようになるまでが特に難しい。そんなギターの練習支援となるようなゲーム [1], [2], [3], [4] や商品 [5] も多く存在していることから、多くの人がギターの練習支援となるようなものの存在を望んでいると考えられる。

ギター奏法の1つとしてコード演奏があり、ギター練習の項目として重要である。一般的にコード演奏を練習する際は、ギターコード表を見ながら独力で練習したり、ギターが上手な人の動画を見たり、ギター講師に教わったり、ギターの教則本を購入するなどの方法がある。しかし、ギターコード表を見たり、動画を見て実際に弦を押さえても、正しい形で押さえられていなかったり、触れていないつもりでも隣の弦に触れてしまっていたりして、正しい音で弾けないことも多い。また、講師に教わるのは、必ずしも常に講師のそばで練習できるわけではなく、独りでの練習も必須である。教則本は、弦の押さえ方が不適切なために正しい音が出ていない場合に、自身でそのことに気づかなければならない。

ギターの練習を支援するシステムとしての研究は他にもいくつか行われており、拡張現実表示技術を用いたもの [6], [7] や画像処理を用いたもの [8], 音の特徴量を比較して識別するもの [9], [10], 疑似演奏を実現するもの [11], 運指練習方を提案するもの [12], また、「楽器らしさとは」という題材でギターを取り扱っているもの [13] などが開発

されている。これらの研究では、ユーザは正しく押さえているつもりでも正しい音が弾けなかった場合に、何が原因でそのような状況になったのかわからないことが考えられる。特に、押さえるべき位置を押さえているにも関わらず音が正しく弾けないのは、隣の弦に誤って触れている可能性が考えられ、その状況をユーザにフィードバックできる研究はまだ行われていない。

そこで、本研究では、ギターの弦を正しく押さえられているかどうかを視覚的にフィードバックするシステムを開発する。ギターの弦を正しく押さえるには、ポイントが2つあり、正しい位置で押さえられていることと触れてはいけない弦に触れないことが挙げられる。本研究では、この2つのポイントを正確にユーザにフィードバックすることを実現する。このシステムを使用して練習をすると、正しく音が弾けない原因を視覚的に提示されることで正しく音を出せない原因が分かり、それを克服するように練習することにより、練習後で通常のギターを弾いた場合に正しい音で弾けるようになっていることが期待される。

## 2. 提案システムの概要

本研究で提案するシステムは、通常のアコースティックギターに搭載し、ギターの弦を押さえた時に正しく押さえられているかどうかを判定して、ユーザにフィードバックするシステムである。また、本物のギターに搭載しているが、ギターを弾いて音を鳴らすことは扱わない。

ギター奏法の1つにコード演奏があり、ギターの練習項目として重要である。コード演奏では、決められた指の形で各弦を確実に押さえる必要がある。どの指でどの弦を押さえるかは様々な教則本にも書かれていて、正しい指の形

<sup>1</sup> 日本大学文理学部  
<sup>a)</sup> furusho@kthrlab.jp  
<sup>b)</sup> kitahara@chs.nihon-u.ac.jp

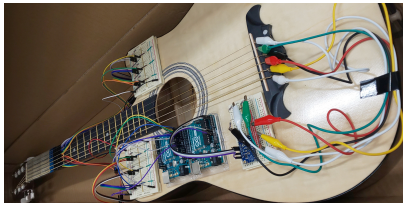


図 1 システム搭載ギター

で十分な圧力をかけて押さえることが重要である．その際に、指が隣の弦に触れてしまうと、その弦がミュートされてしまうので、それを防ぐ必要があり、ギターを始めたばかりの人にとっては特に難しい．そこで本研究では、このコード演奏の習得を扱った、ギターの弦を正しく押さえるための初心者支援システムを提案する．

このシステムには、以下の 3 つの機能が必要である．

- (1) 押さえられている位置を判定する機能
- (2) 各弦に触れているかどうかを判定する機能
- (3) 上記の情報から、ユーザにフィードバックする機能

3 つの機能を備えたシステムを使用する流れとしては、まず、ユーザはシステムが搭載されたギターの弦を指で押さえる．その時に、1 の機能により、指で押さえられたことによる圧力がかった位置を判定し、2 の機能により、その時に指が触れている弦と触れていない弦を判定する．1 と 2 の機能の実装には Arduino を用いる．そして、3 の機能では、1 と 2 の機能により検出された値を処理し、その結果を Processing の描画機能を用いてユーザにフィードバックする．また、これらの機能とは別に、正しく押さえられるまでに何秒かかり、どれくらいの試行回数になったかを計測する機能 (Experimental Mode) もある．このシステムの一連の流れを図 2 に示す．また、システムを搭載したギターの完成図を図 1 に示す．

## 2.1 押さえられている位置を判定する機能

本システムでは、ギターの弦を指で押さえた時の位置を判定する．手法としては、オープンソースハードウェアである Arduino に薄膜型接触位置センサの ThinPot を接続することで実装する．

ThinPot は、圧力のかかった位置を判定することができるもので、これを 6 弦分の 6 本接続する．弦に対して平行でフレットに対して垂直になるように弦の下に 6 本とも挟み込み、Arduino と接続させる．この状態を、図 3 に示す．判定箇所としては、ギターの 1 フレット目から 3 フレット目までの間で、6 本 × 3 フレットの 18 箇所の位置を判定し取得する．Processing に Arduino ライブラリをインストールし、Arduino に Firmata ライブラリをインストールすることで、Processing から直接 Arduino の入出力を操作する．

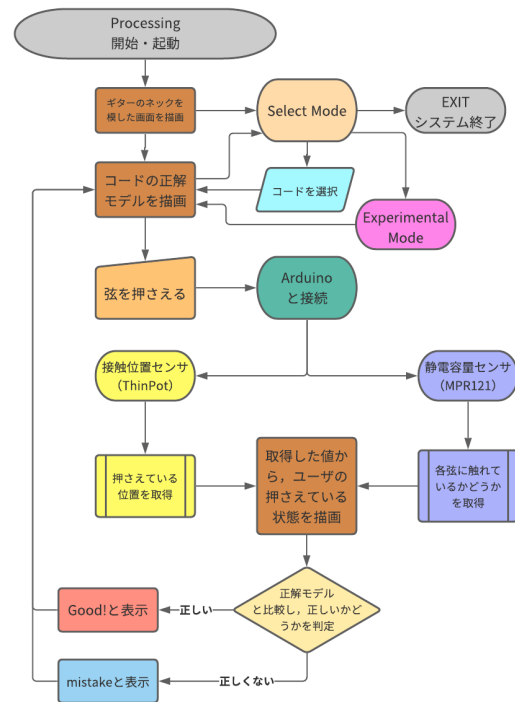


図 2 システムの一連の流れのフロー図



図 3 ThinPot を 6 本、弦の下に挟み込んで接続

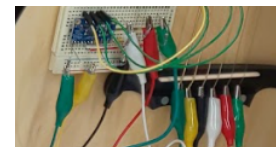


図 4 MPR121 を各弦と接続

## 2.2 各弦に触れているかどうかを判定する機能

本システムでは、ギターの各弦に触れているかどうかを判定する．手法としては、2.1 節と同じく Arduino を用いて、静電容量センサを接続することで実装する．ここで用いた静電容量センサは MPR121 であり、0 から 11 までの 12 チャンネル分それぞれと繋いだ先で静電容量を感知するとタッチの検出が可能になる．

今回は弦が 6 本なので、0 から 5 までの 6 チャンネル分を使用し、それぞれのチャンネルと各弦を接続することで触れているかどうかを判定し結果を取得する．この状態を図 4 に示す．Arduino のアナログピンの数が Arduino 1 台では足りないため、静電容量センサと接続する Arduino では Firmata ライブラリを用いず、Arduino 言語にて Arduino に直接プログラムを書き込み、取得した値は Processing とシリアル通信を行って値の送受信を行う．

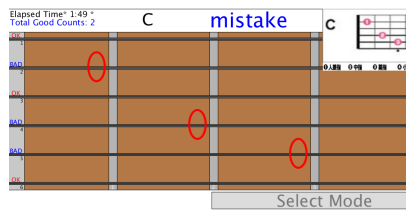


図 5 C の正解モデルの表示

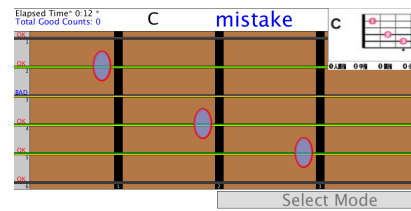


図 7 正解モデルの表示を C のコードにした時の、失敗例

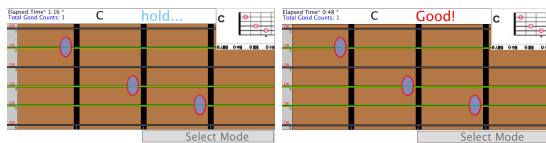


図 6 正解モデルの表示を C のコードにした時の、成功例

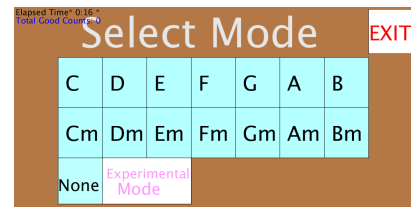


図 8 Select Mode

### 2.3 ユーザにフィードバックする機能

ユーザへのフィードバックは、Processing の描画機能を用いて行う。2.1, 2.2 節で取得した値を処理し、弦を指で押さえている時の状況をユーザに分かりやすいように視覚的に描画する。ユーザが弦を押さえると、画面に表示されている弦に緑色と黄色の線が引かれる。この時の緑色の線は、圧力がかかっていることを表し、黄色の線は指が触れていることを表す。押さえた位置によって、該当する箇所には青塗りされた楕円系のマークが表示され、押さえている指を表している。

また、ユーザには各コードの正しい指の位置を表す正解モデルを提示される。C のコードを選択している時の、画面例を図 5 に示す。コードの選択に関してはその他の機能にて後述する。図 5 で楕円形の赤枠で表示されているものが、正しい指の位置を表す正解モデルである。ユーザはその正解モデルに合わせて弦を押さえることで正しい押さえ方を練習する。弦を押さえて表示される青塗りされた楕円形のマークを赤枠に合わせることができ、かつ、何も表示されていない箇所は押さえても触れてもいなければ、正しい位置を押さえているということになる。この時、各弦の画面左側に“OK”または“BAD”と表示されており、正しく押さえられていると“OK”，正しくなければ“BAD”の表示になる。全ての弦で正しい入力できれば“hold...”という表示になり、この状態を 0.75 秒維持することで“Good!”という表示になる(図 6 を参照)。1 箇所でも正しくない入力があると、画面上部に“mistake”と表示される。例えば図 7 において正しい箇所を押さえられているのに“mistake”となっているのは、ギター の 3 弦目を触れてしまっているためである。

### 2.4 その他の機能

ここでは、本システムのその他の機能に関して記す。

まず、図 5 のような画面の時、画面左上にはシステムを起動してから経過時間と全コードを合わせた累計の成功 (Good!) 数を表示している。累計の成功数の表示は

ユーザのモチベーション維持のためである。画面右下には、“Select Mode”と書かれたボタンがあり、ここをクリックすることで Select Mode 画面に遷移することができる。図 8 は Select Mode の画面写真である。

Select Mode では、主に、練習するコードを変更する目的で利用する。選択できるコードは、C, D, E, F, G, A, B, Cm, Dm, Em, Fm, Gm, Am, Bm の 14 種類となっていて、選択したいコードのボタンをクリックすることで画面上に表示される正解モデルが選択したコードに変わる。ただし、F や B など、バレーコードの含むコードは正解モデルの表示および押弦の判定は実装しているものの、初心者向けであることを鑑み、本研究の対象外とする。

他にも、Select Mode には“Experimental Mode”というボタンがあり、このボタンをクリックすることで Experimental Mode というモードの画面に遷移する。左下に Experimental Mode と表示され、右下のボタンをクリックすることでスタートすることができ、左上の Back をクリックすることで Select Mode の画面に戻ることができる。

Experimental Mode は、主に被験者実験 (評価実験の章にて後述) において指定したコードを練習するための機能で、指定されたコードのみが順番に画面に表示され、制限時間を超える又は正しく押さえられると次のコードへと遷移していき、全て終わると各コードの成功にかかった時間と試行回数をコンソールに表示する。この時の設定としては、制限時間が各コード 90 秒で、試行回数のカウント条件が弦を 2 箇所以上押さえている状態が 1.5 秒キープされると 1 回分カウントされる。このモード中は、各コードの押さえ成功時又は制限時間を超えたタイミングで休憩時間が発生する。休憩時間はコードの押さえ成功時が 10 秒で制限時間を超えた場合が 5 秒発生する。

Select Mode(図 8) には、画面右上に“EXIT”と書かれたボタンがあり、このボタンをクリックすることでシステムを終了する。ここからシステムを終了すると、コン

ソールに、今回の各コードの成功数と全コード累計成功数、Experimental Mode の実施回数とシステムの起動経過時間が表示される。

### 3. 短期実験

本実験は、本システムを用いた練習と通常のギターのための練習を短時間、いずれも同じだけの長さで行ったときに、ギター演奏能力の向上に差が見られるかどうかを確認するためのものである。

#### 3.1 実験方法

短期実験は、パターンを A と B の 2 パターンに分けて実験を行った。

##### ● パターン A

本実験では、前半後半に分かれて 20 分ずつギターの練習を行ってもらう。

- (1) ギターコード“C, D, G”の3つを指定し、本システムを搭載したギターを使用して 20 分間の練習を行ってもらう。この時、通常のアコースティックギターも渡しており、適宜使用してもらい正しい音が出ているかどうかを確認しながら練習してもらう。
- (2) 通常のアコースティックギターを用いて、“C, D, G”の指の形にてもらい、各弦を順番に 1 本ずつ鳴らしてもらい、正しい音が出ているかどうかを筆者の目と耳で判断する。この音の確認の過程を 3 ループ行う。また、この時の音は録音をする。
- (3) 音の確認が済んだら、システム搭載ギターを用いた練習に関するアンケートに回答してもらう。
- (4) ギターコード“A, Dm, Am”の3つを指定し、通常のアコースティックギターのみを使用して 20 分間の練習を行ってもらう。この時、実験協力者が見ることのできるギターコード表は、システムの描画機能により表示されたものを利用する。
- (5) 3. と同様に、通常のアコースティックギターを用いて、“A, Dm, Am”の指の形にてもらい、各弦を順番に 1 本ずつ鳴らしてもらい、正しい音が出ているかどうかを筆者の目と耳で判断する。この音の確認の過程を 3 ループ行う。また、この時の音は録音をする。
- (6) 音の確認が済んだら、通常のアコースティックギターのみを用いた練習に関するアンケートに回答してもらう。
- (7) 実験全体に関するアンケートに回答してもらい、実験を終了する。

##### ● パターン B

パターン A の実験順序を入れ替えたもので、上記の 4 → 5 → 6 → 1 → 2 → 3 → 7 の順序で行う。

表 1 短期実験において、弦ごとに発音の成否を判定した際に正しい音の鳴った弦の割合

		平均								
		C	D	G	A	Dm	Am	システム有	システム無	T検定
AM01		0.40	0.60	0.17	0.75	0.50	0.40	0.389	0.550	0.84342
		0.40	0.40	0.33	0.25	0.50	0.40	0.378	0.383	
BM01		0.40	0.60	0.33	0.25	0.25	0.20	0.444	0.233	0.141522
		1.00	0.60	0.50	0.75	0.75	0.40	0.700	0.633	
AM02		0.80	0.60	0.50	0.75	0.25	0.40	0.633	0.467	0.851875
		1.00	0.40	0.33	0.25	0.25	0.40	0.578	0.300	
		0.20	0.40	0.17	0.75	0.50	0.40	0.256	0.550	
		0.60	0.80	0.67	0.50	0.50	0.60	0.689	0.533	
		0.60	0.60	0.83	0.75	0.50	0.20	0.678	0.483	

表 2 アンケート回答結果 (短期実験)

アンケート回答結果 (短期実験) (尺度: 悪 0 - 良 6)	AM01	BM01	AM02
1 弦を押さえるための指の力の判断はできましたか?	3	5	5
2 触れてはいけない弦に触れてしまった時、すぐに分りましたか?	5	3	4
3 正しく押さえられているかどうかの判断はできましたか?	4	2	5
4 今回の練習で上達していると感じますか?	4	5	5
5 本システムの画面によるフィードバックは分かりやすかったですか?	5	5	5
6 本システムは楽しいと感じましたか?	6	5	5

赤字: システム搭載ギター、黒字: 通常のギターのみ

#### 3.2 実験協力者

実験協力者は 3 名で、ここでは、AM01, AM02, BM01 と記す。年齢はそれぞれ、AM01 が 20 歳、AM02 が 22 歳、BM01 が 19 歳であり、いずれも男性で、ギター未経験者である。また、AM01 は小さい頃にドラムの経験があるが、AM02 と BM01 はリコーダーや鍵盤ハーモニカなどの教育過程で扱う楽器以外の楽器経験はない。実験は、AM01 と AM02 の 2 名はパターン A, BM01 はパターン B で行った。

#### 3.3 実験結果と考察

短期実験での音の確認を行った結果を、表 1 に示す。

実験協力者のそれぞれが、本システムを搭載したギターを用いて練習した場合と、通常のアコースティックギターのみで練習した場合の演奏能力の向上結果を比較するに辺り、帰無仮説を「2 種類の練習方法で正しい音の鳴った弦の割合に差がない」と立てて T 検定を行った。その結果、AM01 の p 値は 0.84342 で、BM01 の p 値は 0.141522、AM02 の p 値は 0.851875 であった。このことから、いずれも有意差が認められるとは言えないという結果になった。その理由として考えられるのは、ギター未経験者にとって、練習時間が 20 分ずつなのが短すぎたことがあげられる。音の確認の際、筆者の目で 1 つのコードの形を作るのにどのくらいかかっているかを見ていたところ、3 名ともスムーズに弦を押さえている姿は見られなかった。よって、音が綺麗になっていても、習得しているとは言えないと判断できたため、20 分ずつの練習では有意差が認められなかったと考えられる。

アンケートの内容と回答結果を表 2 に示す。赤字がシステム搭載ギターに関するもので、黒字が通常ギターのみに関するものである。また、アンケートの回答結果の平均をグラフ化したものを図 9 に示す。

アンケート結果（短期実験）

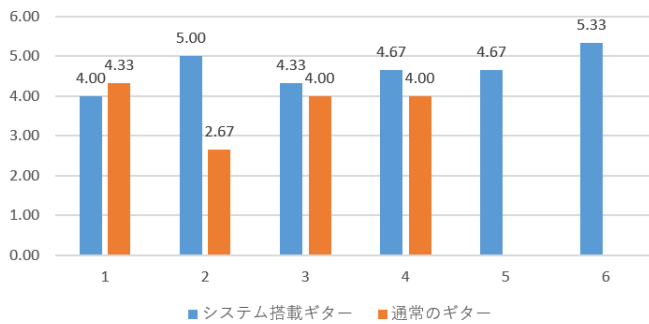


図9 アンケート回答結果の平均（短期実験）

アンケートの回答（表2）には、理由の記述欄を設けており、質問1では、評価に大きな差は現れていない。理由としては、本システムでは、十分な強さで押さえないと画面に反映されないため、反映されることで分かったという回答が目立った。また、通常のギターでは、弦を弾いてみた時に、音がおかしい場合には力が足りてないという判断ができたという回答が目立った。質問2では、評価に大きく差が現れている。理由としては、本システムを通すことで、自分自身触れていないと思っていても触れていることが確認できたという回答や、画面を見ることで触れている弦を判断できるため意図せず触れることが少なくなったという回答があった。対して、通常のギターでは、実際に弾いてみないと判断ができないという回答や、押さえられている弦を目で確認しないと状態が分からないという回答があった。質問3では、評価に大きな差は現れていない。理由としては、本システムの画面を見ることで、自分の触れるべき位置が判断できたという回答や、押さえた時にその表示を確認することで押さえられていると確認することができたという回答があった。通常のギターでは、どこが正しいのかを確認できないという回答や、「多分大丈夫だろう」という判断で押さえたので自信がないという回答があった。質問4では、評価に大きな差は現れていない。理由としては、本システムの練習を通してコードの形を覚えることができたから、という回答や、通常ギターを弾いた時に綺麗な音が鳴らせたという体験ができたから、という回答があった。また、質問5と6では、システム搭載ギターを用いた練習でのみの回答だが、評価が高い。その理由として、質問5では、どこで押すのか、またはどの弦で押すのかが分かりやすいという回答や、自分が触れている弦を示す描画が分かりやすく、コードを見ながら指の位置を調整できることが練習しやすかったという回答があった。一方、システムの画面や文字のサイズが小さく、もう少し大きい方がよいという回答もあった。質問6では、画面を見て、正しく押さえられていると実感できることや、正しい指の形に修正することが音楽ゲームと似たような楽しさを感じられたと

いう回答があった。また、他の人の指を見て真似するよりも、システムを通してコードを見る方が分かりやすいという回答もあった。

アンケート結果（表2、図9）からは、1,3,4の評価は僅差となったが、2では差が大きく現れていて、システム搭載ギターに対する評価が通常のギターのみに対する評価よりも高い。1,2,3に関しての回答では、システム搭載ギターではフィードバックに関する回答が多く、通常のギターでは、正しいかどうかを判断するのに音を鳴らしてみないと分からないといった回答が多い。また、回答者によっては、むしろ音を鳴らせるから分かるといった理由で通常のギターに高評価を付けている。このことから、本システムによるフィードバック機能と通常のギターで音を鳴らすことによる確認では、有意な差があるとはいえないと考えられる。2は、触れてはいけない弦に触れてしまった時にすぐに分かるかどうかは、画面を見ることで触れている弦を確認でき、触れていないと思っても触れていることが分かるということから、本システムのフィードバックの方が評価が高い。対して、通常のギターでは音を鳴らすか押さえられている弦を目視しないと状態が分からないという回答もあることから評価が低い。このことから、触れてはいけない弦に触れていないかどうかに関しては、本システムは効果的であると考えられる。

全体に関するアンケートは、尺度無しの記述式回答であり、該当するものは以下の4つである。

- システム搭載ギターを用いた練習では、どのような点が良いと思いましたか？
- システム搭載ギターを用いた練習ではどのような点で効果的でないと思いましたか？
- 通常ギターのみを用いた練習では、どのような点が良いと思いましたか？
- 通常ギターのみを用いた練習ではどのような点で効果的でないと思いましたか？

その回答を以下に記す。

- 「コードと触れている指の位置を、目線を動かさずに確認できること」や、「押さえる強さと他の弦に触れているかどうか分かること」、「その指の位置が正しいかどうか分かること」。
- 「実際に音を鳴らせないこと」、「修正案の提示がないこと」。
- 「実際に音を出して確認しながら練習できること」。
- 「コードを確認してから指の位置を合わせるために、どこを押さえるべきなのかを忘れることがあること」や、「正しいかどうか判断しにくい」、「他の弦に触れているかどうか分からない」。

記述式のアンケートの結果から、システム搭載ギターでは、押さえられている指の位置や他の弦に触れているかどうか分かることが評価されており、対して、通常のギターで

は音を鳴らして確認しながら練習できることが評価されている。このことから、システム搭載ギターでは音を鳴らすことが求められていることが感じられる。しかし、通常のギターでは触れてはいけない弦に触れた時に分かりにくく、システム搭載ギターのフィードバックの機能は有用であると考えられる。

#### 4. 長期貸与実験

本実験は、一定期間本システムを使い続けたときに、ギター演奏能力に向上が見られるかどうかを確認するためのものであり、限られた実験協力者に長期間の貸与を行って、システムの有用性を評価する。

##### 4.1 実験方法

長期貸与実験の概要は、以下に示す。

- 貸与期間は2週間とする。
- 貸与期間中には1日に最低15分のシステム搭載ギターを利用した練習実験を行ってもらう。また、同時に通常のアコースティックギターも貸与し、適宜音の確認のために利用してもらっても構わないとする。
- 期間内に練習してもらおうギターコードは、“C, D, G”の3つに限定する。それ以外のギターコードに関しては、基本的には実験対象外であるため、15分の練習実験の時間中は触らないでもらう。それ以外の時間に、本人が個人的に選択して触ってみることは認める。
- システム評価のため、内蔵 Mode の Experimental Mode を1日に最低1回は実行してもらう。
- 毎日の練習後、貸与しているアコースティックギターを用いて、練習指定コード“C, D, G”をそれぞれ弾いてもらい、この時の音を録音してもらう。
- システム評価のため、練習終了時、システムを終了する際には、必ず Select Mode → Exit の手順で終了してもらう。
- 回収時に、システム搭載ギターに関するアンケートと全体に関するアンケートに回答してもらう。

また、貸与期間中には、ログファイルが自動的に php プログラムに POST 送信され、POST 処理によって Web サーバ上に保存されるようになっている。

##### 4.2 実験協力者

実験協力者は、21歳と22歳の男性2名であり、いずれも過去にギターの経験はなかった。実験協力者は2名で、ここでは、LE01, LE02と記す。年齢はそれぞれ、LE01が21歳、LE02が22歳であり、いずれも男性で、ギター未経験者である。また、LE02は3歳~10歳までピアノの経験があり、LE01はリコーダーや鍵盤ハーモニカなどの教育過程で扱う楽器以外の楽器経験はない。

表3 LE01の、毎日のログファイルから得られたデータ

ID	LE01										
	FILE	EXIT			Exp Mode (秒, 試行回数)					TIME	N/min
Chord	C	D	G	C	D	G	Ct	Dt	Gt		
1	12	15	0		53		15	13	13	17:11	1.6
2	6	13	0							14:31	1.3
3	10	10	2	10	4		2	1	22	12:42	1.7
4	9	11	0	42	7		11	3	14	12:38	1.6
5	8	14	6		15	20	21	9	7	13:8	2.1
6	20	20	17	20	3	16	8	1	7	12:53	4.4
7	9	12	10	41	2	30	8	2	8	12:27	2.5
8	24	23	17	48	5	9	7	3	4	12:23	5.2
9	75	56	51	6	2	9	2	2	5	10:10	17.9
10	74	71	68	10	1	4	5	1	3	13:44	15.5
11	45	42	35	8	1	8	3	2	5	11:15	10.8
12	68	66	52	6	0	19	2	1	10	14:25	12.9
13	78	81	68	4	14	5	1	7	2	13:61	16.2
14	84	75	64	17	3	5	8	1	2	11:56	18.7
平均	37回	36回	27回	19秒	8秒	12秒	7回	3回	7回		8.03
	: 各成功数			: 各何秒かかるか			: 各試行回数				
1~14: 貸与から何日目か、TIME: 入力のある状態での累計経過時間											
N/min: 1分辺りにコードを何回正しく押さえられているか											

表4 LE02の、毎日のログファイルから得られたデータ

ID	LE02										
	FILE	EXIT			Exp Mode (秒, 試行回数)					TIME	N/min
Chord	C	D	G	C	D	G	Ct	Dt	Gt		
1	14	4	2	10	23	63	3	6	10	22:27	0.9
2	19	14	11	14	4	4	4	2	2	14:37	3.0
3	21	15	24	4	1	3	3	1	2	11:53	5.0
4	49	129	5	1	1	4	1	1	2	14:9	12.9
5	90	83	18	1	1	7	1	1	4	13:51	13.8
6	55	105	18	1	0	17	1	1	7	12:21	14.4
7	37	3	35	1	7	4	1	5	3	15:16	4.9
8	58	19	132	1	1	5	1	1	3	13:17	15.7
9	65	1	108	1	2	10	1	1	7	11:58	14.5
10	84	3	50	1	1	1	1	1	1	13:52	9.9
11	48	11	179	1	1	4	1	1	3	12:20	19.3
12	41	2	95	1	1	2	1	1	2	15:9	9.1
13	9	1	250	1	1	8	1	1	5	14:21	18.1
14	26	1	56	2	1	9	1	1	5	17:30	4.7
平均	44回	27回	70回	2秒	3秒	10秒	1回	1回	4回		10.46
	: 各成功数			: 各何秒かかるか			: 各試行回数				
1~14: 貸与から何日目か、TIME: 入力のある状態での累計経過時間											
N/min: 1分辺りにコードを何回正しく押さえられているか											

##### 4.3 実験結果と考察

長期貸与期間中、LE01とLE02のログファイルから得られたデータを表3, 4に示す。Exp Modeの空値は、制限時間内に正しく押さえられていない状態を示す。また、表3, 4のN/minの値をグラフ化したものを図10に示す。

結果としては、表3, 4によると、実験を開始した日と比べて、日数が経った頃には1日に成功させるコードの数が増えている。また、Experimental Modeを行ったときの、コードを成功させるまでにかかる時間が短く、試行回数が少なくなっている。そして、LE01とLE02のいずれも、図10の折れ線グラフに上下は見られるが、近似直線が上向きに傾いていることから、日数を重ねるごとに、1分辺りにコードを正しく成功させる数が増えていると考えられる。

LE01は、表3によると、1日目から最終日までC, D, Gを均等に練習し続けているように読み取れる。しかし、5日目まではGの成功数が最大でも6で、CやDと比べると、ややGの成功に苦戦しているのが見られる。6日目か

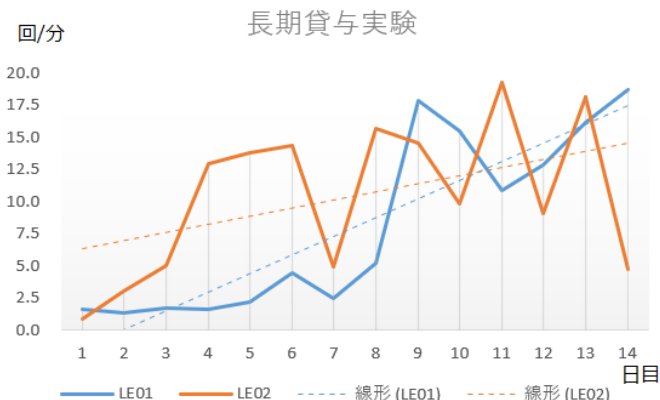


図 10 長期貸与実験ログデータの、 $N/min$  の値をグラフ化したもの

らは、G も C や D と同程度ずつの成功数を記録するようになり、最終日まで各成功数の比率に大きな差が見られることは少ない。特に、9 日目以降はそれ以前と比べて飛躍的に成功数が増えており、8 日間の継続練習の成果が現れていると考えられる。Experimental Mode の結果からは、C は 8 日目までは 40 秒以上、G は 7 日目までは 15 秒以上の時間が押さえるのにかかる日が目立つ。また、D は 5 秒以下で押さえられる日が多く、C や G と比べて短い。特に D は、9 日目から 12 日目の結果が 0, 1, 2 秒となっており、試行回数も 1 回または 2 回となっているため、既にこの時点で D はスムーズに押さえられるようになっていると考えられる。12 日目以降には、C では 6, 4 秒、G では 4, 5 秒などを記録しており、序盤と比べて大幅に時間を短縮できていると考えられる。

LE02 は、図 10 の近似直線の傾きが LE01 と比べて緩やかになっている。これは、表 3, 4 によると、序盤から成功数が LE01 よりも多かったことが影響していると考えられる。また、7 日目に折れ線グラフが大きく下降している。4 によると、D の成功数が、4 日目は 129, 5 日目は 83, 6 日目では 105 となっており、C と G と比べて突出して多い。しかし、7 日目では少なくなっており、6 日目の時点までの G の成功数は最大でも 3 日目の 24 であり少なかったが、7 日目以降からは多くなっている。上記より、7 日目に折れ線グラフが大きく下降しているのは、6 日目までの時点で D を習得したため、D の練習量を減らし、C と G をメインに切り替えて練習しているからだと考えられる。

長期貸与実験の回収時に行ったアンケートの内容と回答結果を表 5 に、アンケートの回答結果の平均をグラフ化したものを図 11 に示す。該当する質問は、3, 3(短期実験の実験結果)と同じである。ただし、長期貸与実験では通常ギターのみでの練習の項目がないため、システム搭載ギターに関するアンケートの回答結果のみである。

質問 1~5 の評価は高く、特に質問 1, 2, 3, 5 は 2 名から最大値の評価を得られている。その理由として、質問 1 では、弱いとうまく反応しなかったからという回答や、システム

表 5 アンケート回答結果 (長期貸与実験)

アンケート回答結果 (長期貸与実験) (尺度: 悪 0 ~ 6 良)	LE01	LE02
1 弦を押さえるための指の力の判断はできましたか?	6	6
2 触れてはいけない弦に触れてしまった時、すぐに分かりましたか?	6	6
3 正しく押さえられているかどうかの判断はできましたか?	6	6
4 今回の練習で上達していると感じますか?	5	6
5 本システムの画面によるフィードバックは分かりやすかったですか?	6	6
6 本システムは楽しいと感じましたか?	4	4

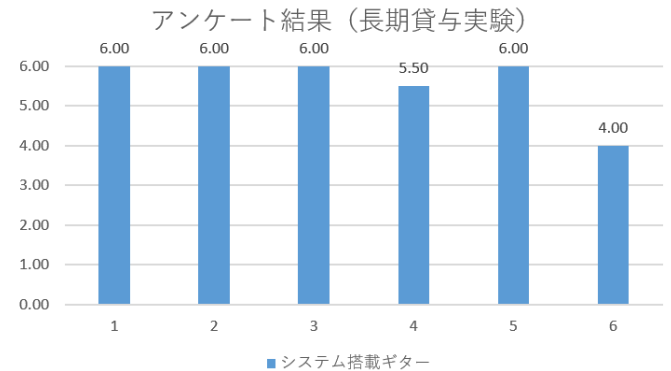


図 11 アンケート回答結果の平均 (長期貸与実験)

の描画で弦に OK サインが表示されるからという回答があった。質問 2 では、触れてはいけない弦に触れると光ってくれるからという回答やシステムの描画で弦に BAD サインが表示されるからという回答があった。質問 3 では、正しく押さえられれば、hold... と表示されるからという回答や、弦を押さえた時にリアルタイムに判定してくれるからという回答があった。質問 4 では、無の状態だったので確実に上達したと感じるという回答や、実際に通常のギターに持ち替えた時に音が綺麗に鳴らせたと感じたからという回答があった。質問 5 では、hold... のおかげで正しく押さえられているかが分かりやすかったという回答や、弦を押さえた時にリアルタイムにフィードバックを示してくれたからという回答があった。質問 6 では質問 1~5 と比べてやや低い評価となった。その理由として、途中から面倒臭さが垣間見えたという回答や、指が痛くなるため負担が大きかったという回答があった。一方、実際に成績が数値で現れることで成長が実感できたというポジティブな回答もあった。

アンケートの結果より、1, 2, 3, 4, 5 の評価は高く、特に 1, 2, 3, 5 は 2 名から最大値の評価を得られている。その理由として本システムのフィードバックが分かりやすいという旨の回答が多く、本システムによる視覚的フィードバックは効果的であったと考えられる。6 の評価がやや低いのは、途中から面倒臭さが垣間見えたという回答や指が痛くなるため負担が大きかったという回答があることから、継続して使い続けるとなると抵抗があるように感じたのだと考えられる。一方、成績が数値で記録されるため成長が実感できたという回答もあったため、モチベーションの維持

には少なからず良い影響を与えていたと考えられる。

また、記述式回答のアンケートも該当する質問は、3.3(短期実験の実験結果)と同じであるが、通常のギターのみを用いた練習の項目がないため、c.d. は除いている。その回答を以下に記す。

- a. 「成績が日々数値化されることで成長を感じる」や、「ある程度長く押さえる必要があるため練習になると感じられる」、「押さえている箇所がわかる」。
- b. 「出来のよし悪しがセンサの誤作動で判断できないことがあった」、「正しく指を押さえてもシステム搭載ギターでそのまま音を鳴らすことができないこと」。

記述式のアンケートの回答結果からは、システム搭載ギターの良い点は本システムによるフィードバックと成績の記録であり、本システムのユーザに与える情報は効果的であったと考えられる。一方、悪い点として、長期間使い続けていると、センサの誤作動で判断できないことがあったという回答があったことから、システムの耐久性を高める必要があると考えられる。システムの耐久性を上げるには、配線の接続部の全ての部分をはんだ付けし、線に何らかの要因で衝撃が加えられないように、カバーで覆う必要があると考えられる。また、正しく指を押さえてもシステム搭載ギターでそのまま音を鳴らせないという回答がある通り、ギターに搭載しているのであれば、そのまま音を鳴らせるように作成することができればより良いシステム搭載ギターになると考えられる。そのまま音を鳴らすには、センサと弦の接触を避けなければならないため、更に薄型なセンサを特注したり、センサとの接続に用いるワイヤの配線の仕方を改めて考え直す必要があると考えられる。

## 5. おわりに

コード演奏練習はギターの練習項目として重要であり、コード演奏では決められた指の形で各弦を十分に押さえる必要がある。また、その際に指が隣の弦に触れてしまうと、その弦がミュートされてしまい、それを防ぐ必要がある。そこで、本研究では、ギターにセンサを取り付け、ギターの弦を押さえた時に、正しくギターコードを押さえられているかどうかを判定して、視覚的にユーザにフィードバックする支援システムを開発した。本システムを用いて、演奏能力が向上するのかどうかを評価するため、短期実験と長期貸与実験の2種類の実験を行った。

短期実験では、音の確認を行った結果からは有意差は見られなかったが、アンケートの回答結果からは本システムのフィードバック機能は有用であると考えられた。

長期貸与実験では、実験協力者2名とも、実験開始から回収時まで、日数を重ねるごとに1分辺りにコードを正しく成功させる数が増えており、演奏能力が向上したと考えられる。また、アンケートの回答結果からも、本システムのフィードバック機能に関する評価は高く、本システム

を用いた練習は、ギターの演奏能力向上に効果的であると考えられる。

実験でのアンケートにも多数回答があったように、本システム搭載ギターからそのまま音を鳴らせないことが何よりももったいないと感じられる。センサをコンパクトにしつつ耐久性をあげ、弦とセンサが接触することのないように本システムを搭載することができれば、音を鳴らすことも実現したい。また、音を鳴らすことができなかったとしても、本システムで正しい指の形で押さえられた場合には本システムから該当するコードの音源を再生して、さらにユーザの期待に応えられるシステムにしたい。

謝辞 本研究を進めるにあたって、飯野なみさんから、専門家として貴重なご意見を賜った。

本研究は、JSPS 科研費 19K12288 から支援を受けた。

## 参考文献

- [1] 島村楽器, “ギタトレ”, 2018 年.
- [2] Yousician, “Yousician”, 2010 年.
- [3] AMGAMES Inc., “ギターコードベーシック”, 2010 年.
- [4] AMGAMES Inc., “ギターコードベーシック – 音が聞けるギターコード表”, 2019 年.
- [5] UETETO, “Pocket Guitar Digital Chord trainer”, 2019 年.
- [6] 元川洋一, 齋藤英雄, “拡張現実表示技術を用いたギターの演奏支援システム”, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.6, pp.789–796, 2007 年.
- [7] 松岡慶一, 小原大, 久保田稔, “ウェアラブル機器を用いたギター演奏学習支援システム”, 第 77 回全国大会講演論文集, Vol.2015, No.1, pp.203–204, 2015 年.
- [8] 坂牛和里, 植村あい子, 村岡眞伍, 甲藤二郎, “画像処理を用いた初心者のためのギター演奏支援システム”, 映像情報メディア学会 2015 年冬季大会, pp.13B–4–, 2015 年.
- [9] 宇田川真唯, 植村あい子, 北原鉄朗, “ギター初心者のための演奏練習支援システムの提案”, 第 80 回全国大会講演論文集, Vol.2018, No.1, pp.125–126, 2018 年.
- [10] 下尾波輝, 矢谷浩司, “エレキギター演奏自動評価のための音響的特徴の調査”, 情報処理学科研究報告, Vol.2017–MUS–117, No.3, pp.1–6, 2017 年.
- [11] 井奈波和也, 松下容輔, ランキアジョージ, “ギターの疑似演奏システムの開発”, 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol.2010-EC-15, No.16, pp.1–6, 2010 年.
- [12] 河村辰也, 塩澤隆允, 綾井環, 市村洋, 吉野純一, “モーショントラッキング支援によるギター運指練習法について”, 第 70 回全国大会講演論文集, Vol. 第 70 回, No. コンピュータと人間社会, pp.751–752, 2008 年.
- [13] Jacob Harrison, Robert H. Jack, Fabio Morreale, Andrew McPherson, “When is a Guitar not a Guitar? Cultural Form, Input Modality and Expertise”, NIME, Vol.2018, No.0063.