

令和2年度 卒業論文

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

指導教員 北原鉄朗教授

日本大学文理学部情報科学科

古庄優樹

2021年2月 提出

概 要

ギターは趣味として人気の楽器である．ギターに挑戦する人は多いが，いざ手に取ってみると，弦を正しく押さえることが難しく，ここで挫折してしまう人も多い．その要因としては，正しい位置で押さえていないことや，触れてはいけない弦に誤って触れてしまっていることが考えられる．初心者にとって，そのような状態になっていることに気付きにくく，正しく押さえることが難しく感じるものが課題になっていると考えられる．

本研究では，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，ユーザにフィードバックする支援システムを開発する．本システムは，弦を押さえた時に圧力のかかる位置と弦に触れているかどうかを判定し，その判定結果をユーザにフィードバックする．圧力のかかる位置の判定は接触位置センサをギター本体と各弦の間に挟み込み，弦に触れているかどうかの判定は静電容量センサを各弦に接続して静電容量を検出することで実現する．実装には，ギター本体にセンサと接続した Arduino を取り付け，その Arduino と Processing を連携することで，ユーザに Processing の描画機能を用いたフィードバックする．練習対象としては，ギターの主要コード 14 種類 (C,D,E,F,G,A,B,Cm,Dm,Em,Fm,Gm,Am,Bm) のうち，バレーコードの含まないものに限定している．

評価実験は，本システムを用いてギターの練習をしたときに，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実験を 2 種類を行った．片方は短時間の間での練習効果を確認する短期実験で，もう片方は一定期間本システムを使い続けた場合の効果を確認するための長期貸与実験を行った．短期実験では，3 名

の協力者に、指定したギターコードを 20 分間ずつ支援システムを搭載したアコースティックギターと通常のアコースティックギターで練習してもらった。また、それぞれの練習が終わったタイミングで通常のアコースティックギターで正しく押さえられているか、その時の押さえ方で正しい音が出るかの確認を行った。最後に、アンケートに回答してもらった。正しい音が出るかの確認を行った結果としては、いずれも有意な差が見られなかったが、アンケートの回答結果からは、触れてはいけない弦に触れてしまった時にすぐに分かったかどうかの質問において、平均点がシステム搭載ギターでは 5.00 点、通常のギターのみでは 2.67 点で大きな差があり、有用であると考えられた。長期貸与実験では、2 名の協力者に、2 週間の間、システムを搭載したアコースティックギターと通常のアコースティックギターを貸与し、ギターコード貸与期間中に 1 日に最低 15 分の練習実験を行ってもらった。その結果、実験開始から回収時までで、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ことが分かった。また、アンケートの結果からも、システム搭載ギターのフィードバック機能は有用であると考えられた。

目 次

目 次	iii
図 目 次	vii
表 目 次	ix
第 1 章 序 論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
第 2 章 既存製品や関連研究	3
2.1 既存製品	3
2.1.1 ギタトレ [1]	3
2.1.2 Yousician [2]	3
2.1.3 ギターコードベーシック – 音が聞けるギターコード表 [3, 4]	4
2.1.4 Pocket Guitar Digital Chord trainer [5]	4
2.2 ギターの支援システムの関連研究	4
2.2.1 拡張現実表示技術を用いたギターの演奏支援システム [6] . .	4
2.2.2 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 [7]	5
2.2.3 ギター初心者のための演奏練習支援システムの提案 [8] . . .	5
2.2.4 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 [9] .	5

2.2.5	モーションキャプチャ支援によるギター運指練習法について [10]	6
2.2.6	ギターの疑似演奏システムの開発 [11]	6
2.2.7	Magpick: an augmented guitar pick for nuanced control [14]	7
2.2.8	エレキギター演奏自動評価のための音響的特徴量の調査 [13]	7
2.3	その他の関連研究	8
2.3.1	When is a Guitar not a Guitar? Cultural Form, Input Modality and Expertise [15]	8
2.3.2	ドラム演奏支援のための動作生成 [12]	8
2.3.3	An Augmented Flute for Beginners [16]	9
2.4	本研究と関連研究の比較	10
第3章	提案システムの概要	13
3.1	システムの概要	13
3.2	押さえられている位置を判定する機能	16
3.3	各弦に触れているかどうかを判定する機能	16
3.4	ユーザにフィードバックする機能	18
3.5	その他の機能	19
3.6	ユーザの各動作ログ	22
第4章	評価実験	25
4.1	専門家による試用	25
4.2	実験協力者による短期実験	26
4.2.1	実験方法	26
4.2.2	実験協力者	28
4.2.3	実験結果	29
4.2.4	考察	33

4.3	実験協力者による長期貸与実験	34
4.3.1	実験方法	34
4.3.2	実験協力者	35
4.3.3	実験結果	36
4.3.4	考察	39
第5章	結 論	43
5.1	結論	43
5.2	今後の展望	44
参考文献		45

目 次

3.1 システム搭載ギター	14
3.2 システムの一連の流れのフロー図	15
3.3 Arduino	16
3.4 ThinPot	16
3.5 ThinPot を 6 本, 弦の下に挟み込んで接続	17
3.6 MPR121	17
3.7 MPR121 を各弦と接続	18
3.8 C の正解モデルの表示	19
3.9 正解モデルの表示を C のコードにした時の, 成功例	19
3.10 正解モデルの表示を C のコードにした時の, 失敗例	20
3.11 Select Mode	20
3.12 Experimental Mode : 初期画面	21
3.13 Experimental Mode	21
3.14 常時記録されるログファイル	23
3.15 Experimental Mode を終えた際に生成されるログファイル	23
3.16 システムを終了した際に生成されるログファイル	24
4.1 アンケート回答結果の平均 (短期実験)	31
4.2 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	38
4.3 アンケート回答結果の平均 (長期貸与実験)	38

表 目 次

4.1	専門家の方による試用	27
4.2	実験アンケート内容	29
4.3	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く音の 鳴った弦の割合	30
4.4	アンケート回答結果（短期実験）	31
4.5	LE01 の、毎日のログファイルから得られたデータ	36
4.6	LE02 の、毎日のログファイルから得られたデータ	37
4.7	アンケート回答結果（長期貸与実験）	37

第1章 序 論

1.1 本研究の背景

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, 9] や画像処理を用いたもの [7]、音の特徴量を比較して識別するもの [8, 13]、疑似演奏を実現するもの [11] 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られ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が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られ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。

1.2 本研究の目的

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。

第2章 既存製品や関連研究

2.1 既存製品

2.1.1 ギタトレ [1]

「ギタトレ」とは、NTT ドコモの音響認識技術 API を使った、ギター練習を支援するアプリケーションで、特に利用者にギターを反復練習させることを目的としている。アドリブ練習モードや検定モード、用語解説や Q&A など機能も充実していて、楽しくギターの練習ができる。コード一覧表やコードを押さえるコツを参照することもできる。しかし、音響認識によって正誤を判定しているので、正しい指の押さえ方の練習をする場合には、正しい音が出るまで試行錯誤をする必要性が出てくるため、ユーザが正しい音を出せない原因がすぐには分からないと考えられる。

2.1.2 Yousician [2]

「Yousician」とは、楽曲に合わせてスコアを稼ぐ音楽ゲームのようなもので、プレイするためのコントローラとして本物のギターを使用するアプリケーションである。ギターを弾いたサウンドを内蔵マイクが拾い、ゲーム内に反映される。それにより、自ずとギターを使用する頻度をあげさせて反復練習をさせるといった目的がある。しかし、レクチャー機能としては簡易的なレクチャー動画がある程度で、ユーザに弾き方を指南するような機能がない。

2.1.3 ギターコードベーシック – 音が聞けるギターコード表 [3, 4]

12 キー , 32 コード , 3 タイプで $12 \times 32 \times 3 = 1152$ 種類ものコードダイアグラムがひとつのアプリケーションになったものである . スクリーン上に表示された弦をタップしたりストロークすることで音の確認もできる .

2.1.4 Pocket Guitar Digital Chord trainer [5]

本物のギターの左手で押さえる部分を模して作られたもので , 先端に小さなディスプレイがついており , そこで任意のコードの指の押さえる位置を確認できる . メトロノーム機能がついているので , テンポに合わせてコードの練習が可能になっている . 本物の弦を使用しているが , 音を鳴らすことはできない . また , 弦を押さえたときの判定や触れた弦の判定する機能はついていない .

2.2 ギターの支援システムの関連研究

2.2.1 拡張現実表示技術を用いたギターの演奏支援システム [6]

市販されている “光るギター” と呼ばれるものがあり , ギターのネック部分が赤く光ることで演奏支援をする . この研究は , その光るギターに拡張現実 (AR) 表示技術を利用して , ユーザにとって演奏支援となる情報をより分かりやすく演奏者に提示する支援システムとなっている . 演奏支援となる情報としては , AR コンテンツによる見本の手を表示する . ディスプレイを通してギター上に重ね合わせて見本の手を表示することで演奏者を支援する . 確かにコードの押さえ方は分かるが , その見本の手に指を重ねて押さえたつもりでいても , 誤って隣の弦に触れてしまっていた場合のことがわからないと考えられる . また , 拡張現実表示技術を用いるために大きな AR マーカをギターに貼り付けており , AR マーカに気をつけて演奏しなくてはならない .

2.2.2 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

[7]

この研究では、ギター初心者の運指練習支援を目的としていて、画像処理を用いた支援システムを提案している。このシステムでは、ギターの弦やフレット、左手の運指情報や右手によるかき鳴らす動作を Web カメラを用いて取得し、対応する音を出力するといったものである。このシステムを用いることで、ユーザは運指の練習をしながら音を確認することができるようになっている。ギターの画像から弦とフレットの位置を推定し、指先には青色のマーカを付けることで弦を押さえている位置を決定している。この支援システムでは、弦とフレットに対する指の位置で音が出てしまうが、実際のギターでは正しく押さえられていなかったり、隣の弦に触れてしまっていたりという問題が起こっている可能性が考えられる。

2.2.3 ギター初心者のための演奏練習支援システムの提案 [8]

この研究では、ギターに初めて触れる人を対象としたギター練習支援システムを構築することを目的としており、CG による見本の手の画像に合わせて弦を弾いた時の音の特徴量を分析し正しい音かどうかを自動判定する。この研究では、正しくない音が認識された場合に、失敗した可能性のあるものを 4 つ同時に画面上に表示する。しかし、その 4 つの中で本当の原因がユーザにはすぐにはわからないと考えられる。

2.2.4 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 [9]

近年、コンピュータの小型化やスマートフォンの普及により、ウェアラブルデバイス (WD) に注目が集まっている。メガネ型 WD の Google Glass や時計型 WD のスマートウォッチなど、様々な WD が製品化されている。この研究では、セン

サを組み込んだメガネ型 WD を用いて、ギターを対象とした学習支援システムを構築し、複数の WD を組み合わせて用いる学習支援システムの要素技術の確立を目指している。

このシステムは、[6] の研究と大きく関連していて、[6] で用いていた Web カメラの代わりにメガネ型 WD に内蔵されたカメラを使用するため、場所による制約が少なく、ギターを弾く姿勢に影響されることがない。また、このシステムではギター弦状にギターコードの 3D モデルを表示し、その時のギターコードの呼び出しには音声認識を用いているため、操作が単純化されている。

2.2.5 モーションキャプチャ支援によるギター運指練習法について [10]

この研究では「初心者のギター練習において、つまずくのはコード演奏に伴う運指である」ということ前提にしている。そこで、そのハードルを下げるため、モーションキャプチャを用いて上級者の運指を解析し、初心者がつまずきやすいコード演奏を簡単かつ正確に克服するための運指練習の一手法を提案している。

2.2.6 ギターの疑似演奏システムの開発 [11]

F コードのように、人差し指で 6 本の弦を全て押さえなければならず難しいコードがある。また、指が曲がっていたり指が短い等の身体的特徴によりギターを扱えない人も存在する。この研究では、F コードで諦めてしまった人や、身体的特徴によるギターを扱えないなどでギター演奏が難しいと感じる人にギターの演奏感を味わってもらうことを目的とした研究である。ギターの演奏感を味わうために、Wii リモコンを使用して、Wii リモコンを振る動作をピッキング動作に似せることで、演奏感を向上させている。このシステムに実際のギターコードを登録し、そのコードを演奏することが出来る他、演奏したい曲のピッキングをするタイミン

グを記憶させることが可能で、ピッキングするタイミングを可視化する機能が実装されている。また、実演奏タイミングを保存できるので、保存したタイミングと実際にユーザが入力したタイミングがどれくらい誤差が生じているのかを可視化することができる。

2.2.7 Magpick: an augmented guitar pick for nuanced control [14]

ピックアップは、エレキギターの心臓部とも言えるパーツである。弦の振動を電気に変える装置であり、弦の真下のボディに埋め込まれている。中身にはコイルが使われており、磁石 6 本にエナメル線が巻きついている。この、磁石とコイルの上で弦が動くと、弦の振動の回数だけ電流に変化が起こる。そこで、この研究では、エレキギターのピックアップに対するピックの動きを電磁誘導を利用して感知をする拡張ピックである “Magpick” を開発した。そして、ピックからの信号がギターの音を変化させる方法を紹介し、その新たな技術を用いて音楽を作成した。

2.2.8 エレキギター演奏自動評価のための音響的特徴量の調査 [13]

エレキギター練習支援のためのシステムは、これまでに数多く開発されてきた。例えば [2] は流れてくるギター譜面に合わせて実際にギターを弾くシステムであるが、演奏に対する評価が基本的には「正しいタイミングで正しい音高で弾けたか」のみしか存在しないため、十分に練習を支援できているとは言えない。実際には、楽器演奏の評価項目は音色や表現の質など多岐に渡り、その評価は人間が行う必要があるため、個人で練習をしているときにフィードバックを得る機会がない。この問題を解決すべく、この研究では、より多角的な観点から自動的にエレキギター演奏評価を行うシステムを実現することを目指し、エレキギター演奏の評価に活

用できる音響的特徴量を探った．その結果，エレキギター演奏の自動評価に利用できる音響的特徴量として，音の鳴り止み始めから次の音が鳴るまでの時間と，メル周波数ケプストラム係数を用いた音色の不安定さを表す指標が発見された．

2.3 その他の関連研究

2.3.1 When is a Guitar not a Guitar? Cultural Form, Input Modality and Expertise [15]

伝統的な楽器のデザインは，何世紀にも渡る過程で徐々に洗練されてきた．その結果，楽器の形状は十分に確立され，文化を超えて認識されている．そこで，「楽器らしさ」とはどういう意味か，という疑問を筆者が持ったことが研究の背景となっている．

デジタル楽器 (DMI) には形状の制約がないため，抽象的な形を取ることができる．そこで，この研究では，従来のギターに似せたボディと，そうでないボディに，弦又はタッチセンサを取り付けた場合の組み合わせを意図的に実験し，受容性を明確にした．

結果として，従来のギターに似せたボディに弦が取り付けられているものが，その形状自体が「何をするように」設計されているのかが明らかであり，「ギターらしさ」としての評価が最も高くなった．

2.3.2 ドラム演奏支援のための動作生成 [12]

今日では，初心者でも簡単に演奏ができるように，様々な演奏支援の方法が提案されている．例えば，キーボードでは，鍵盤を光らせることで弾く位置を提示する演奏支援がある．しかし，ドラムのように身体全体を使って演奏をする楽器は，身体全体の動きのイメージが重要であるため，叩く場所の指示だけでは演奏

は困難となる．ドラムを演奏する場合は，手本となる演奏動作を真似することが演奏上達の大きな要因となるが，独学で演奏をする場合には，演奏したい曲の手本となる演奏動作を客観的に見る機会が少ない．そこで，この研究では，面情報から手本となる演奏動作の表示を行い，ドラムの演奏支援を行う．

譜面情報の標準 MIDI ファイルからドラムの演奏情報を取得し，演奏情報から演奏手順を自動で決定する．そして，そのデータから演奏動作のモーションデータを自動で生成することで，客観的に演奏動作を見れて，演奏イメージを把握できるようにする．

2.3.3 An Augmented Flute for Beginners [16]

フルートの奏者は，フルートの演奏を学ぶ際に，適切なエアジェット（息）を生成するためのアンブシュア（唇の形）の位置を認識する必要がある．初心者にとって，エアジェットとアンブシュアの位置の視覚的な手掛かりや指標がないため，特に難しい．そこで，この研究では，様々なセンサを使用して，適切な音を生成するための問題を特定し，解決方法をフィードバックする拡張フルートヘッドジョイントの開発をすることを目的とした．

システムを提案する前に，YouTube にて，6 つのフルート演奏チュートリアルビデオを分析し，生徒がどのようなエラーを出すか分析した．また，その時に教師がどのようにそのエラーを修正したのかを分析した．それらの分析を経て，“唇の配置，エアジェットの角度，リップホールの形状”の3種のエラーを検出するフルートのヘッドジョイントと，フィードバックソフトウェアを提案することになった．また，この時に用いたセンサは Arduino と接続している．

2.4 本研究と関連研究の比較

本研究では、弦を押さえた場合の指の位置や形がどうなっているかに着目している。既存製品 [1, 2] と関連研究 [8] では、音響認識や音の特徴量からの判定であるため、正しい音として判定されれば表示上は成功といった扱いになるが、必ずしも正しい指の形になっているとは限らない。また、誤った音が判定された場合に、それが何故誤った音になったのかがユーザには分からないと考えられる。既存製品 [5] や関連研究 [6, 7, 9] では、指の押さえが正しい位置で判定されたとしても、隣の弦に触れてしまうような指の形であったとすれば、それは正しい音が鳴らない可能性が考えられる。また、そのような場合に原因がユーザには分からない。関連研究 [10] では、モーションキャプチャを用いて、上級者の運指を解析することにより運指練習法を見つけることが提案されているが、この論文では予備実験を行ったところまでの記述で、運指練習法が確立されていない。関連研究 [11] では、疑似演奏による演奏感を味わうことを目的としていて、本研究とは目的の方向性が異なっている。また、ピッキングを体感する動作や、そのタイミングに関する機能が実装されており、指の押さえ方に関しては着目していない。関連研究 [14] では、研究の方向性が異なるが、この研究では、ピックの感知に電磁誘導を利用するための機器を手の甲に装着して、演奏の妨げにならないように工夫して接続されている。

関連研究 [13] は、既存のシステムと比べて、より多角的な観点からエレキギターの演奏評価に活用できる音響的特徴量を探っている。本研究とは取り扱っている評価材料が違うものの、単に「正しいタイミングで正しい音程で弾けたか」で済まらずに、より細かく評価しようとしているという点で、本研究と方向性が似ている。

関連研究 [15] は、支援システムの研究ではないが、「楽器らしさ」とはどういったものかを研究するのにあたって、題材としてギターの形状を取り扱っている。自身の研究でも、ギターに搭載することでギターのボディを維持するのか、ギター

のネック部分だけを模した物を作成するのかといったところで、「楽器らしさ」のあるギターのボディをそのまま用いることを選択した。

関連研究 [12, 16] は、ギターではない楽器の支援研究となっている。[12] はドラムの演奏支援で、MIDI ファイルから演奏情報を取得し、演奏支援に繋げているが、実機としてシステムを開発しているわけではない。[16] はフルートの演奏支援で、様々なセンサを用いて、専用のシステム搭載ヘッドジョイントを作成し、取得したデータをソフトウェアを通してユーザにフィードバックするシステムを開発しており、自身の研究と似ている研究である。

先にあげた既存製品や関連研究の中には、弦を押さえた場合の指の位置に関するもの [5, 6, 7, 9] は存在したが、各弦に触れているか触れていないかの判定を行っているものは存在しなかった。認識に成功した場合のフィードバックのあるシステムは多いが、正しくなかった場合の原因がすぐに分かるシステムは存在していない。しかし、[13] のように、それを目指しているとも考えられる研究は存在している。そこで、本研究ではユーザがシステムを利用している時に、正しく押さえられているかどうか、また、触れてはいけない弦に触れてしまっていないかが視覚的に表示することで、正しくなかった場合の原因がすぐに分かるシステムを提案する。

第3章 提案システムの概要

3.1 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. 上記の情報を処理し、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 3.2 に示す。また、システムを搭載したギターの完成図を図 3.1 に示す。

それぞれの機能の詳細と、その他の機能を以下の節で述べる。

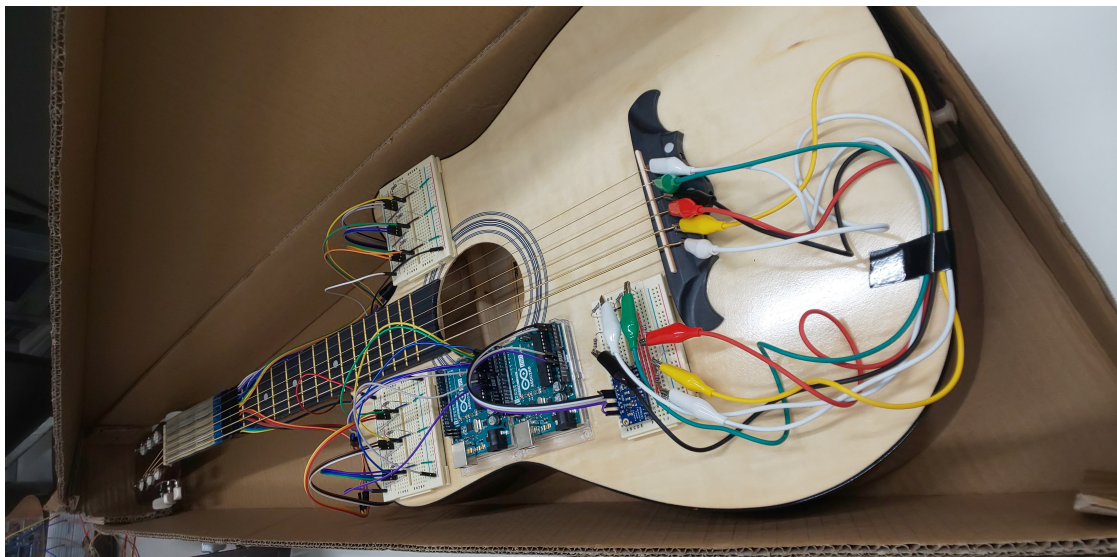


図 3.1: システム搭載ギター

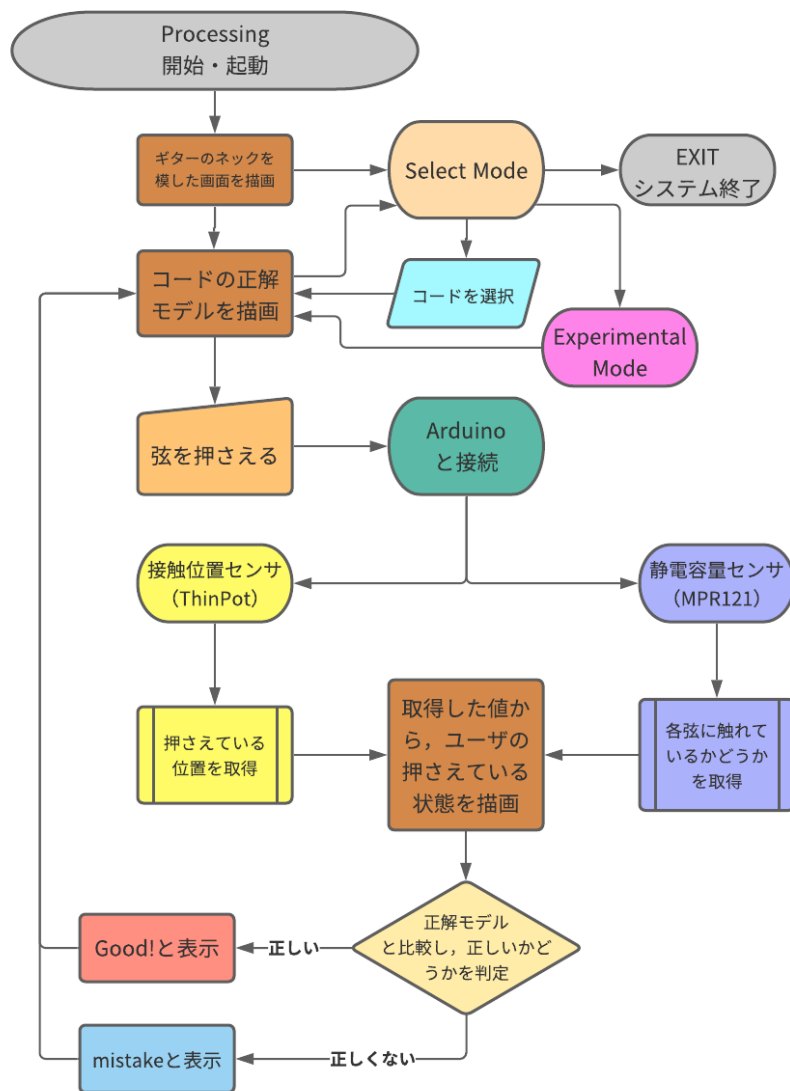


図 3.2: システムの一連の流れのフロー図

3.2 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(図 3.3 を参照) に薄膜型接触位置センサの ThinPot(図 3.4 を参照) 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 3.5 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 \times 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 3.3: Arduino

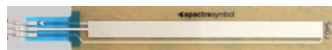


図 3.4: ThinPot

3.3 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、3.1 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。



図 3.5: ThinPot を 6 本，弦の下に挟み込んで接続

ここで用いた静電容量センサは MPR121(図 3.6 を参照) 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 3.7 に示す．Arduino のアナログピンの数が Arduino1 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 3.6: MPR121

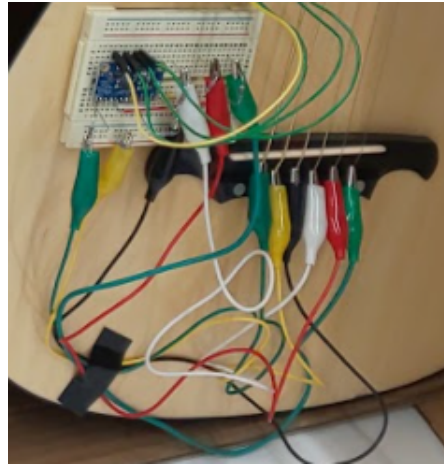


図 3.7: MPR121 を各弦と接続

3.4 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。3.1, 3.2 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 3.8 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 3.8 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 3.9 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 3.10 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．

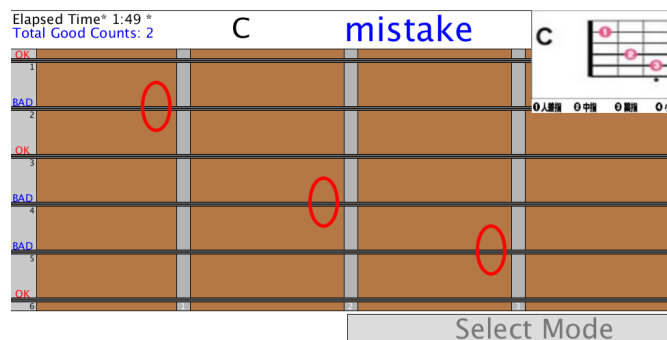


図 3.8: C の正解モデルの表示

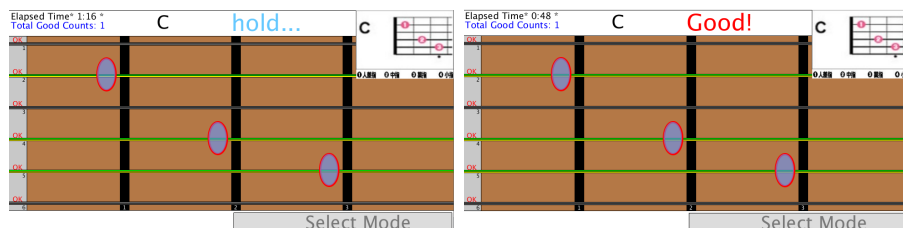


図 3.9: 正解モデルの表示を C のコードにした時の，成功例

3.5 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 3.8 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の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”

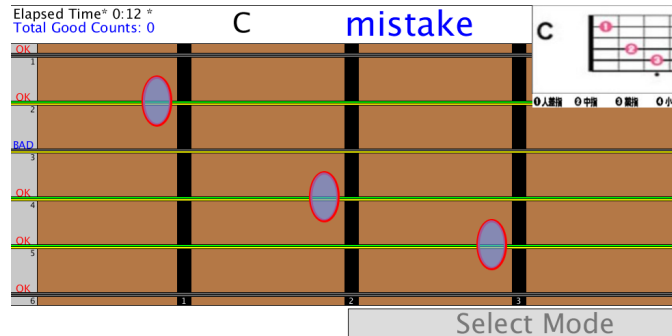


図 3.10: 正解モデルの表示を C のコードにした時の，失敗例

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 3.11 は Select Mode の画面写真である．

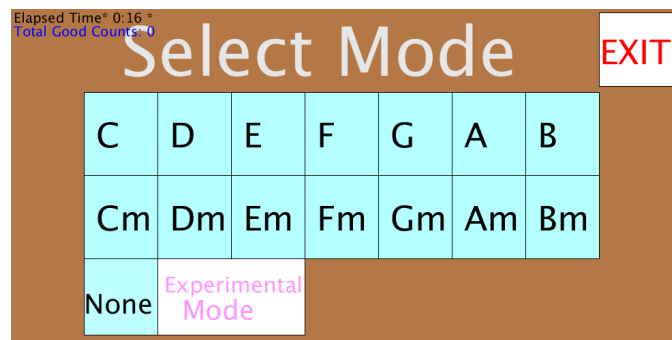


図 3.11: Select Mode

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図 3.12 のような画面に遷移する．左下に Experimen-

tal 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 をスタートした時の画面例を図 3.13 に示す．

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．

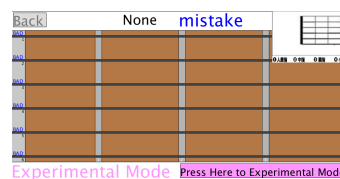


図 3.12: Experimental Mode：初期画面

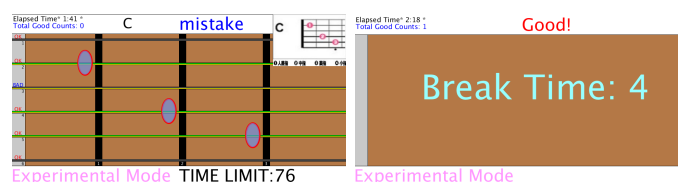


図 3.13: Experimental Mode

Select Mode(図 3.11) 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．

3.6 ユーザの各動作ログ

本システムでは、常にユーザが何を行っているかのログデータを取得し、ファイルに出力する。具体的には、Select Mode でない時、各弦ごとに

1. 圧力がかかっているか
2. 圧力のかかっている場合、どのフレットに該当するか
3. 弦に触れているか触れていないか

の3つを、また、その時に選択しているコードがどのコードか、そのコードを押さえるのに成功しているかどうかの情報を0.5秒おきに取得し続ける。Select Mode に遷移している間は、Select Mode 画面を開いている時間を計測し、練習画面に戻るまでに何秒かかったかを記録したファイルを出力する。出力例を図3.14に示す。

Experimental Mode に遷移すると、Experimental Mode 専用のログファイルを生成し、上記と同じようにログデータを取得する。ただし、このモードでは、各指定コードが成功するまでの試行回数や経過時間、成功したか未成功だったかの情報も取得し記録したファイルを出力する。出力例を図3.15に示す。また、その情報をコンピュータで分析するためのログファイルも同時に生成する。

また、EXIT をクリックしてシステムを終了した時も、EXIT 専用のログファイルを生成する。この時に記録される情報は、3.5 節の EXIT に関して記したものに加えて、システムの起動時間と終了時間、システムに一切触っていない間の累計時間と何かしらシステムに触っている累計時間も取得し記録したファイルを出力する。出力例を図3.16に示す。

2020/12/4 - 13:10:54	-----
t: 0 0 0 0 0 0	2020/12/4 - 13:13:1
p: 0 0 0 0 0 0	>> select mode <<
f: 0 0 0 0 0 0	(thinking...) - 7 seconds
-----	【select chord : G】
2020/12/4 - 13:10:55	-----
t: 1 0 1 0 0 0	2020/12/4 - 13:13:8
p: 1 0 1 0 0 0	t: 1 1 1 1 0 0
f: 2 0 2 0 0 0	p: 0 0 0 0 0 0
-----	f: 0 0 0 0 0 0
2020/12/4 - 13:10:55	-----
t: 0 0 0 0 0 0	2020/12/4 - 13:13:8
p: 1 1 1 0 0 0	t: 1 1 1 1 0 0
f: 2 3 2 0 0 0	p: 0 0 0 0 0 0
-----	f: 0 0 0 0 0 0
2020/12/4 - 13:10:56	-----
t: 1 1 1 0 0 0	2020/12/4 - 13:13:9
p: 1 1 1 0 0 0	t: 0 1 0 0 0 0
f: 2 3 2 0 0 0	p: 1 0 0 0 0 0
-----	f: 0 0 0 0 0 0
2020/12/4 - 13:10:56	-----
t: 1 1 1 0 0 0	2020/12/4 - 13:13:9
p: 1 1 1 0 0 0	t: 1 0 0 0 0 0
f: 2 3 2 0 0 0	p: 0 0 0 0 0 0
【D】 success	f: 0 0 0 0 0 0
-----	-----
2020/12/4 - 13:10:57	2020/12/4 - 13:13:10
t: 0 0 0 0 0 0	t: 1 1 0 0 0 0
p: 1 1 1 0 0 0	p: 0 0 0 0 0 0

図 3.14: 常時記録されるログファイル

```

2020/12/4 - 13:18:2 start
User:  
習得コード: D G
習得数: 2 , 習得率: 0.6666667
- 試行回数 -
C : 20 trials - 未成功
D : 2 trials - 成功 (6秒)
G : 6 trials - 成功 (18秒)
-----

```

図 3.15: Experimental Mode を終了した際に生成されるログファイル

```
User:   
-----  
2020/12/4 - 13:0:15 【System Start】  
2020/12/4 - 13:30:35 【System Exit】  
-----  
今回の各コードの成功回数  
C :1  
D :9  
E :0  
F :0  
G :3  
A :0  
B :0  
Cm:0  
Dm:0  
Em:0  
Fm:0  
Gm:0  
Am:0  
Bm:0  
Total Good Counts :13 回 (合計数)  
Experimental Mode Trials :1 回 (試験モード実施回数)  
Elapsed Time - 30:3 (経過時間)  
NoPlaying Time - 10:49 (ALL ZERO)  
Differ Time - 19:14 (DIFFER)
```

図 3.16: システムを終了した際に生成されるログファイル

第4章 評価実験

評価実験を実施する前に，専門家による本システムの試用を行った．試用を終え，システムの改善をした後，本研究では大きく分けて2種類の評価実験を行った．

1. 専門家による試用
2. 実験協力者による短期実験
3. 実験協力者による長期貸与実験

以下の節にて，それぞれの詳細について述べる．

4.1 専門家による試用

実験協力者を募って評価実験を行う前に，2020年12月3日にてプロのクラシックギター奏者にシステム搭載ギターの試用を行っていただいた．この奏者（以下，専門家）は，3歳からクラシックギターを演奏しており，複数のコンクールで入賞したり，大学やギター教室でギター演奏の指導を行うなど，本システムを評価するうえで十分な能力を持った方である．

専門家には，いくつかの質問や，実際にシステムを試用して思ったことを尋ねた．その時の質問内容とその回答，戴いた意見や感想を表4.1に示す．まず，このシステム自体が楽しい・面白いかどうかを尋ねたら，“面白い”という回答を得られた．また，システムによる画面のフィードバック（描画）は分かりやすいかどうかを尋ねたら，“視覚的に分かりやすいと思う”という感想を得られた．次に，シ

システムを搭載しているギターと通常のアコースティックギターを比べて、押さえた時に何か違いを感じるかどうかを尋ねたら、「通常のギターと比べて押さえが硬いと感じるが、指の形という点においては問題ないと思う」という意見を戴いた。このシステムは、圧力を感知した位置を扱うが、圧力の強さ自体を扱いわけではないため、指の形という点においては問題ないという意見を受けた。そして、このシステムを用いて練習をしたいと感じるか尋ねたところ、「音を出せない時や、音を出せない場所でなら練習に使いたいとも思う」と回答があった。

また、興味深い意見として、例えばCコードを押さえるとき、ちょうどギターの3弦や4弦の辺りの真下に親指がくる。この指の位置によって、「安定感」や「力が入る向き」は変わるので、その辺りも考慮して考察すると良いという意見が得られた。

そして、このシステムを使っていると、普段ギターを押さえているときの力の入り具合が、思っている以上に、如何にフラフラであることが、システムの描画を通じて感じられたようで、面白いという意見が得られた。

ログファイルの出力のことで、現在は0.5秒おきに記録されているが、もっと小刻みに取った方が、段階的に押さえたのか、瞬時に押さえられたのかが分かるので良いと思うという意見が得られた。

4.2 実験協力者による短期実験

本実験は、本システムを用いた練習と通常の子ターのみの練習を短時間、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。

4.2.1 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。

表 4.1: 専門家の方による試用

専門家の方への質問と回答	
質問	専門家の方の回答
このシステムは楽しい・面白いですか？	面白い.
画面のフィードバック(描画)は分かりやすいですか？	分かりやすい.
本物のギターと比べて押さえ心地の違いは感じますか？	本物のギターと比べて硬いとは感じるが、指の形という点においては問題ない.
このシステムを使って練習したいと思えますか？	音を出せないような時や場所だったら、練習にしたい.
専門家の方からいただいた意見や感想	
hold... の0.75秒維持に関して	0.75秒でも、1秒でも、2秒でも、指の形を正しく維持するのに長い分には問題ない.
ネック上部(1~3フレット辺り)に着目していることに関して	弦からセンサまでの距離が近い分、より押さえなくていいので、システム搭載ギターの中で押さえる位置の選択としては正しい.
〃	もっとネックの真ん中辺りを押さえるとすると、弦高が高くなってくるので、その分弦からセンサまでの距離が遠くなって、もっと硬くなっていたかもしれない.
〃	仮に、このシステム搭載ギターで音を鳴らしたいと考えるのであれば、ネックの弦高の高い部分に着目すれば、音を鳴らせるかもしれない.
圧力を感知する位置に関して	本システムでは、ThinPotをギター本体と弦の間に挟み込み、接触位置を取得して判定をしている。専門家の方の考えでは、フレット部分の圧力を取れば、それだけで位置が取れるかもしれない.
値の判定の調整	例えば、Cコードの指の形を作るとき、丁度ギターの3,4弦の真下辺りに親指がくる。この親指の位置によって、「安定感」や「力の入る向き」が変わったりするので、その辺りも考慮して調整するといいかも.
張弦	実験毎に張弦をした方がよい.
システムに用いているギターに関して	このシステムに用いているアコースティックギターは、比較的「小さめ」で、一般的に「押さえやすい」とされる方だが、「他の弦に誤って触れやすいサイズ」でもある。極端に指が太い人は実験に向かないかも.
システム搭載ギターを使用して感じたこと	このシステムを使っていると、普段ギターを押さえている時の力の入り具合が如何にフラフラなのかが分かって面白い. (Good!を維持している時にたまに力が抜けたりするタイミングが視覚的に分かる)

● 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” の指の形にしてもらい、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”の指の形にしてもらい，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．

各アンケートの内容を，表4.2に示す．

- 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．

4.2.2 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

表 4.2: 実験アンケート内容

被験者用アンケート ★：0~6 の7段階評価とその理由を記述， ●：記述のみ		
システム搭載ギターでの練習に関する	通常のギターでの練習に関する	実験全体に関する
★弦を押さえるための指の力の判断はできましたか？	★弦を押さえるための指の力の判断はできましたか？	ギターの経験はありましたか？(2択)
★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？	★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？	経験ありの場合、経験年数を記入
★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？	★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？	本システム搭載のギターと通常のアコースティックギターを比べた場合、弦を押さえる上で違いを感じましたか？(2択)
★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？	★今回の練習で上達していると感じますか？	●違いを感じた場合、どのような違いを感じましたか？
★今回の練習で上達していると感じますか？	Aのコードの形を覚えていますか？(3択)	●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？
★本システムは楽しいと感じましたか？	Dmのコードの形を覚えていますか？(3択)	●また、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？
Cのコードの形を覚えていますか？(3択)	Amのコードの形を覚えていますか？(3択)	●通常のギターのみでの練習では、どのような点が良いと思いましたか？
Dのコードの形を覚えていますか？(3択)	その他に何かコメントや意見があれば記入	●また、通常の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？
Gのコードの形を覚えていますか？(3択)		その他に何かコメントや意見があれば記入
その他に何かコメントや意見があれば記入		

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。

4.2.3 実験結果

短期実験での音の確認を行った結果を、表 4.3 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。

表 4.3: 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く音の鳴った弦の割合

		平均						システム有	システム無	T検定
		C	D	G	A	Dm	Am			
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	
		0.40	0.60	0.33	0.25	0.25	0.20	0.444	0.233	
BM01		1.00	0.60	0.50	0.75	0.75	0.40	0.700	0.633	0.141522
		0.80	0.60	0.50	0.75	0.25	0.40	0.633	0.467	
		1.00	0.40	0.33	0.25	0.25	0.40	0.578	0.300	
AM02		0.20	0.40	0.17	0.75	0.50	0.40	0.256	0.550	0.851875
		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	

また，アンケートの回答を表 4.4 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 4.1 に示す．該当する質問は，

1. 弦を押さえるための指の力の判断はできましたか？
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？
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. 今回の練習で上達していると感じますか？
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？（システム搭載ギターのみ）
6. 本システムは楽しいと感じましたか？（システム搭載ギターのみ）

となっている．それぞれ，各質問に回答された尺度（0～6）が示されており，数値が高いほど，良い評価が得られている．

表 4.4: 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 ～ 6 良）		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	4	5	5
2	触れてはいけない弦に触れてしまった時、すぐに分かりましたか？	3	6	4	4	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	5	4
4	今回の練習で上達していると感じますか？	4	5	5	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？	6	5	5	4	5
6	本システムは楽しいと感じましたか？	6	5	5	5	5

赤字：システム搭載ギター、黒字：通常のギターのみ

赤字：システム搭載ギター、黒字：通常のギターのみ

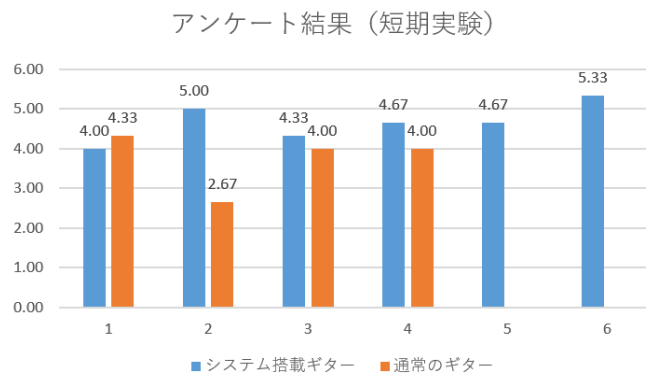


図 4.1: アンケート回答結果の平均（短期実験）

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。

また、尺度無しで記述式回答のアンケートに該当するものは以下の4つである。

- a. 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われましたか？
- b. 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われましたか？
- c. 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われましたか？
- d. 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われましたか？

その回答を以下に記す。

- a. 「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」。

- b. 「実際に音を鳴らせないこと」, 「修正案の提示がないこと」.
- c. 「実際に音を出して確認しながら練習できること」.
- d. 「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」.

4.2.4 考察

4.2.3 節で述べたように, 音の確認の結果 (表 4.3) に有意差は認められなかった. 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.

アンケート結果 (表 4.4, 図 4.1) 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 に関する回答では, 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。

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。

4.3 実験協力者による長期貸与実験

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。

4.3.1 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、表 4.2 の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、3.6 節で記した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。

4.3.2 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。

4.3.3 実験結果

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 4.5，4.6 に示す．また，Exp Mode の空値は，制限時間の 90 秒以内に正しく押さえられていない状態を示す．

表 4.5: 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）							
Chord	C	D	G	C	D	G	Ct	Dt	Gt	TIME	N/min
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 4.5，4.6 のデータの， N/min の値をグラフ化したものを図 4.2 に示す．

結果としては，表 4.5，4.6 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 4.2 の近似直線から，実験を開始した日と比べて，実験終了時まで 1 分辺りにコードを正しく成功させる数が増えていることが分かる．

表 4.6: 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)							
Chord	C	D	G	C	D	G	Ct	Dt	Gt	TIME	N/min
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											

長期貸与実験の回収時に行ったアンケートの回答を表 4.7 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 4.3 に示す．該当する質問は，4.2.3(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．

表 4.7: 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 ～ 良 6)		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

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

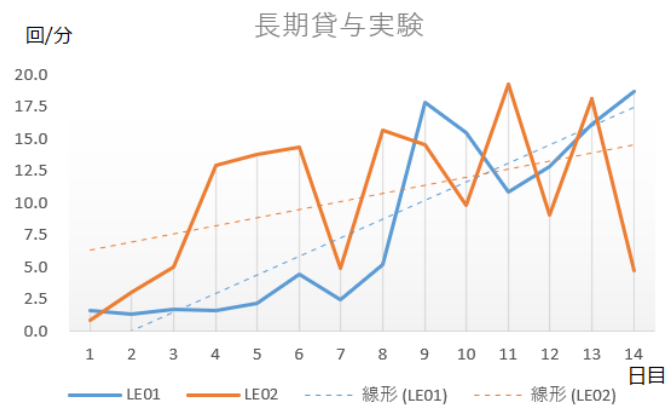


図 4.2: 長期貸与実験ログデータの, N/min の値をグラフ化したもの

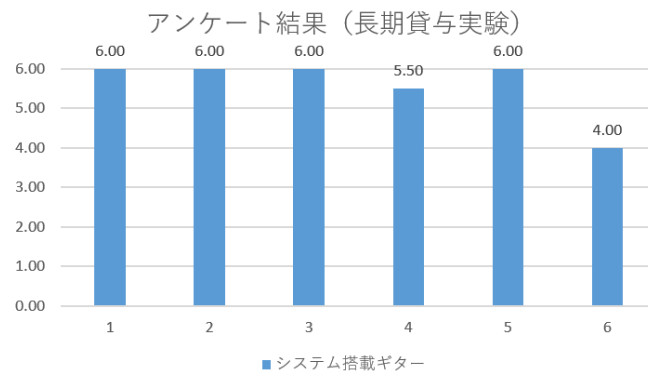


図 4.3: アンケート回答結果の平均 (長期貸与実験)

や, システムの描画で弦に 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ずるという回答や, 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どうか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。

また、記述式回答のアンケートも該当する質問は、4.2.3(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. 「出来の良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」。

4.3.4 考察

表4.5, 4.6より, 1日目(実験を開始した日)と比べて, 日数が経つと1日に成功させるコードの数が増えている。また, Experimental Modeにおいて, コードを成功させるまでにかかる時間が短く, それまでの試行回数も少なくなっている。そして, 図4.2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4.5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4.2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4.5, 4.6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。4.6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。

アンケートの結果、4.3.3節で述べた通り、1~5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．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．

第5章 結 論

5.1 結論

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．

5.2 今後の展望

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．

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, 斎藤英雄, “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] 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 .
- [8] 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 .
- [9] 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 .

- [10] 河村辰也, 塩澤隆允, 綾井環, 市村洋, 吉野純一, “モーションキャプチャ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.
- [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] 栗井修司, 伊勢朋実, 小堀研一, “ドラム演奏支援のための動作生成”, 第 74 回全国大会講演論文集, Vol.2012, No.1, pp.121–122, 2012 年.
- [13] 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.
- [14] F.Morreale, A.Guidi, A.P.McPherson, “Magpick: an augmented guitar pick for nuanced control”, Porto Alegre, Vol.2019, pp.65–70.
- [15] 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.
- [16] Florian Heller, Irene Meying Cheung Ruiz, Jan Borchers, “An Augmented Flute for Beginners”, NIME, Vol.2017, No.0007.

謝 辞

北原鉄朗教授には，本研究を進めるにあたり，手厚いご指導をいただきました．
深く感謝いたします．

また，本システムの試用をしていただき，専門家として貴重なご意見をくださった飯野なみさん，評価実験にご協力していただいた方々に感謝いたします．

最後に，温かいご意見をたくさん賜りました，北原研究室の皆様に心より感謝いたします．ありがとうございました．