

2009年度 卒業論文

AR技術を用いたギターの  
単音演奏システムの研究

指導教員：三上 浩司 講師，渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0106206

齋藤 慶太郎

**2009年度 卒業論文概要**

**論文題目**

AR技術を用いたギターの  
単音演奏システムの研究

**メディア学部**

**学籍番号：M0106206**

**氏名**

齋藤 慶太郎

**指導  
教員**

三上 浩司 講師  
渡辺 大地 講師

**キーワード**

ギター、単音弾き、AR、拡張現実、演奏支援

一般的に広く普及している娯楽の1つに音楽がある。音楽は娯楽の域を超え、学校の授業になるほど大衆に広まっている文化である。音楽の演奏では楽器を用いることがほとんどであり、不可欠なものになっている。しかし、楽器で楽曲を演奏するには楽器それぞれの技術が必要となり、訓練せずに行えるものではない。それらの問題を解決するために、いままで数々の演奏、練習支援の研究、開発がなされてきた。

演奏支援と言っても、支援の仕方は様々である。その方法は大きく分けて、奏者の実力を補うための支援と奏者への演奏指示の2つに分けられる。演奏指示は今まで様々な楽器で行われてきた。

本研究は演奏支援の方法の中でも楽器として人気の高いギターに着目した。ギターの演奏支援をする研究、製品は多く存在する。その中に奏者の弦を押える場所を視覚的に分かりやすく指示してくれる研究がいくつかある。しかし、それらは弾くタイミングを指示するのが不得手であるという問題点がある。

本研究では、楽曲をテンポよく演奏するため、奏者が演奏中に数小節先まで譜面を認識できるような演奏指示方法を提案する。その指示方法の実装には、コンピュータを使って現実世界に情報を付加する拡張現実という技術を用いた。演奏支援のために弾く場所、弾くタイミングを視覚的に分かりやすくするシステムを実装した。そして、従来の演奏支援と本研究のシステムをギター経験者、初心者の計20人を対象に比較してもらい、有用性を検証した。

その結果、本研究のシステムは同じ場所で連続する音が既存の演奏支援よりも認識しやすかったこと、演奏が従来手法よりも楽しくできることが示せた。これにより、本研究のシステムが従来の演奏支援がほぼ不可能である弾くタイミングの指示を可能にしたと言える。また、ギター経験者は慣れている従来の演奏指示の方が演奏しやすいという結果が出た。一方でギター初心者から、従来の演奏指示よりも本研究のシステムの方が演奏しやすく楽しいという回答が多かった。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景	1
1.2	論文の構成	2
<b>第2章</b>	<b>従来手法</b>	<b>3</b>
2.1	ギターとその練習方法	3
2.1.1	ギターの仕組み	3
2.1.2	ギターの奏法	4
2.1.3	従来の演奏支援	4
2.2	先行研究の現状	6
<b>第3章</b>	<b>提案手法と実装</b>	<b>8</b>
3.1	既存手法の問題点と本研究の目的	8
3.2	提案手法	8
3.2.1	弾く場所の指示	9
3.2.2	弾くタイミングの指示	9
3.3	実装	10
<b>第4章</b>	<b>検証</b>	<b>16</b>
4.1	検証方法	16
4.2	検証結果	21
4.2.1	全体の検証結果	21
4.2.2	初心者と経験者ごとの検証結果	22
<b>第5章</b>	<b>分析と考察</b>	<b>25</b>
<b>第6章</b>	<b>まとめ</b>	<b>27</b>
	謝辞	28
	参考文献	29
	付録	32

# 目 次

1.1	Tab 譜 . . . . .	2
2.1	ギターで実際に指を押える部分 . . . . .	4
2.2	5線譜と Tab 譜 . . . . .	5
3.1	本研究のシステムの構成 . . . . .	10
3.2	マーカを張り付けたギター . . . . .	11
3.3	本研究のシステム画面 . . . . .	12
3.4	ノート . . . . .	12
3.5	ユーザーとフレットの位置関係 . . . . .	13
3.6	回転する過程 . . . . .	15
4.1	「ドレミの歌」の楽譜 . . . . .	17
4.2	アンケート1枚目 . . . . .	19
4.3	アンケート2枚目 . . . . .	20

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景

一般的に広く普及している娯楽のひとつに音楽がある。音楽は娯楽の域を超え、学校の授業になるほど大衆に広まっている文化である。音楽の演奏では楽器を用いることがほとんどであり、楽器は音楽に不可欠なものになっている。しかし、楽器で楽曲を演奏するには楽器それぞれの技術が必要となり、訓練せずに行えるものではない。それらの問題を解決するために、今まで数々の演奏、練習支援の研究、開発がなされてきた。演奏支援と言っても、支援の仕方は様々である。楽器側が奏者の演奏のミスを補正してくれるシステム [1] や、即興演奏未習得者が即興演奏を行えるようにするシステム [2] などの奏者の実力を補うための支援 [3] がある。また、指の動きをアニメーションで表示するソフトウェア [4] や弾く場所を光によって指示するキーボード [5] など奏者への演奏指示 [6][7][8][9] などもある。演奏指示は奏者が楽譜を読めない場合、または譜面をより奏者に理解しやすくするための指示である。演奏指示は今まで様々な楽器で行われてきたが、本研究は中でも楽器として人気の高いギターに着目した。楽譜は5線譜で表記するが、5線譜を読めない人には演奏できず、また視覚的にも見難い。しかし、ギターには Tab 譜というギターの性質を考慮し、視覚的に見やすくした譜面がある。図 1.1 が Tab 譜である。

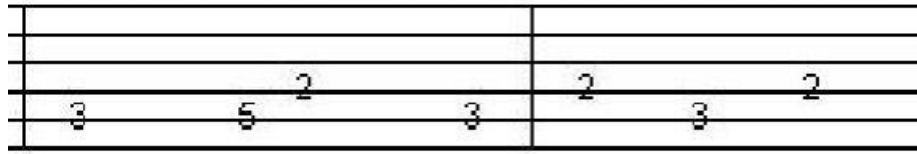


図 1.1: Tab 譜

現在ギターの手譜面では Tab 譜を使用することが多い。その他にも、様々な方面からギターの演奏支援についてアプローチがなされている [10][11]。EZ-AG は見やすさを追求し、弦を模したボタンが光り、奏者の演奏支援をする [12] という製品である。また、元川らは拡張現実という、コンピュータを使って現実世界に情報を付加する技術を用いて、奏者に演奏の指示をする手法 [13] を提案している。これらは演奏する場所を奏者に指示し、視覚的な演奏指示を可能にするものである。通常、奏者は演奏中、次に弾く場所を理解している必要がある。EZ-AG、元川らの研究は視覚的に分かりやすい演奏指示を可能にしたが、弾くタイミングなど時間軸の指示が不可能である。それにより、音程の変化が激しい譜面、同じ音程を連続で弾く譜面などでは、演奏の指示が不完全であり、奏者が次の瞬間演奏する譜面を理解することは難しかった。

本研究では、奏者に新しい指示方法で演奏指示をする演奏支援システムを提案する。既存の視覚的に分かりやすい演奏指示を維持しつつ、奏者の数小節先までの譜面を理解できる時間軸の表示方法を確立することに重点を置く。

## 1.2 論文の構成

本論文の構成は次の通りである。第 2 章では、従来手法の現状とそこに発生している問題を解説する。第 3 章では、提案手法と実装した本研究のシステムについて述べる。第 4 章では、本研究のシステムの検証方法、またその結果について述べる。第 5 章では、検証の結果から考察を行う。第 6 章では、本研究をまとめる。

# 第 2 章

## 従来手法

本章では、従来のギターの練習方法、それに伴う問題を従来手法がどのようなアプローチで解決しているかを説明する。

### 2.1 ギターとその練習方法

#### 2.1.1 ギターの仕組み

ギターは、張ってある 6 本の弦を振動させて、音を発生させる楽器である。奏者が右利きの場合は、左手が主に音程のコントロールを行い、右手で弦を振動させ音を発生させる。音程のコントロールは、指板上に打ち込んであるフレットと 6 本張ってある弦の選択によって行う。フレットを押える位置で弦の振幅長を変えることで音程を変化させる。また、弦は奏者がギターを抱えたときに下から 1 弦、2 弦、3 弦、4 弦、5 弦、6 弦と呼ばれ、上にある弦ほど太く、低い音が出る。図 2.1 は指版とそこに打ち込んであるフレットの位置を示したものである。

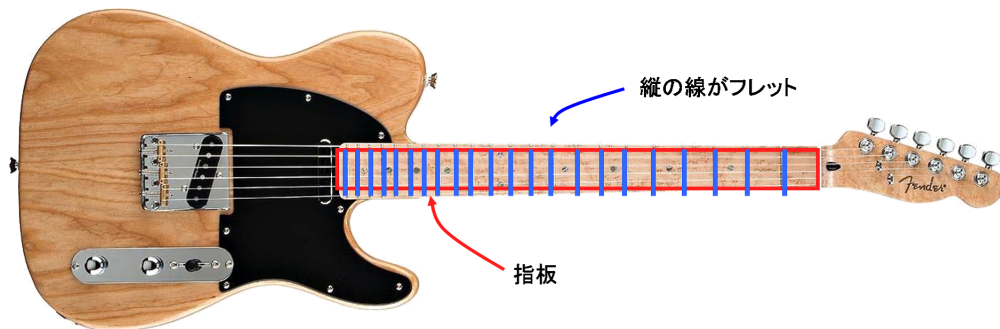


図 2.1: ギターで実際に指を押える部分

### 2.1.2 ギターの奏法

ギターの奏法は大きくコード弾きと単音弾きに分けられる。その特徴をそれぞれ以下に示す。

- コード弾き

コードとは和音のことを指し、和音とは音程の違う複数の音が同時に響く音のことである。複数の弦を振動させ、和音を鳴らすのがコード弾きである。このコードを弾くためには奏者は手の形、弦を押える場所を覚えておく必要がある。また曲の演奏において、コードというものは、ある程度長く弾くものであり、指の移動は比較的少ない。

- 単音弾き

1本の弦を振動させ、単音を鳴らすのが単音弾きである。コード弾きと比べて、指の移動が頻繁に起こることが多い。

### 2.1.3 従来の演奏支援

ギターを演奏する際には、演奏する弦が視覚的に分かりやすい Tab 譜というものを比較的よく用いる。図 2.2 は同じ譜面を、一般的な記譜法である 5 線譜と Tab 譜でそれぞれ記譜したものである。





図 2.2: 5線譜と Tab 譜

横の6本の線はギターの弦を表しており、上が1弦、下が6弦である。線上に記入してある数字は押えるフレットであり、同時に弾くタイミングを表している。ギターの教則本、楽譜集等にはこの Tab 譜が採用されており、5線譜が読めなくても楽譜の読解が可能である。しかし、押える場所が視覚的に理解しづらく、また、Tab 譜も読めない初心者は演奏ができないという問題がある。その問題点に対し、押える場所をアニメーションにして手の移動を指示したのがクラギチュータ [4] である。クラギチュータは楽譜データを入力すると、その楽譜を演奏した時の手の動きをアニメーションで表示し、ユーザーに対し演奏指示をする。Tab 譜では押えるフレットの位置が数字で視覚的に分かりづらかったが、クラギチュータは押えるフレットの位置をディスプレイ上のギターのグラフィックに表現し、手や指の動き方を支援した。

これら従来の手法は、数字やグラフィックでの演奏指示であり、ユーザーがフレット間の長さの感覚を掴んでいない限り、自分のギターとそのシステムを常に交互に見比べる必要があった。

## 2.2 先行研究の現状

それらの問題点を解決するために、YAMAHA は EZ-AG[12] というギターの演奏支援ツールを開発した。EZ-AG はボタンを弦に見立て、12×6（フレット×弦）の個数のボタンを配置しており、そのボタンが点灯することにより、奏者に視覚的に分かりやすい演奏の指示を実現している。曲の演奏中には、奏者が正しい場所を押えるまで、曲を止めてくれる機能が備わっている。しかし、EZ-AG は主にコード弾きを練習するためのシステムであり、YAMAHA の提供するパソコンのソフトを使えば擬似的に単音弾きの支援ができるが、それには MIDI の知識が必要になる。MIDI とは、Musical Instrument Digital Interface の略であり、電子楽器間で演奏データをやりとりする際の世界共通規格である。そして、EZ-AG は本物のギターでなく 12 フレットまでしか存在しない。本物のギターなら 21 フレット以上あるのが普通であり、演奏の幅が狭まってしまう。また、弦ではなくボタンであるため、チョーキングやビブラート等の弦を引っ張り音程を変える奏法が不可能である。つまり、ギターの技術向上には繋がりにくい。

元川らの研究 [13] では拡張現実感 (Augmented Reality:AR)[14] と呼ばれる技術を用いており、演奏指示を本物のギターで直観的な演奏が可能である。コード弾き、単音弾きのどちらも指示可能である。特にコード弾きは次に押えるべき手の形を 3DCG モデルでディスプレイの中のギター上に表示し、まだコードの手の形を覚えていない奏者の支援を行える。単音弾きの指示は、次に弾くべきギターの弦に CG の線が重ね合わさるようにディスプレイ上に表示する。その CG の線の色が変化することで、奏者に弾くタイミングを指示している。しかし、その指示方法は弾くタイミングでしか指示できないので、奏者は反応しにくい。これらの理由のため、テンポが速く、指の素早い移動が求められる楽曲、また、同じ音程の音が連続する部分がある楽曲には対応できないのが現状である。

曲をテンポよく演奏するためには、譜面を奏者が数小節先読みする必要がある。実際の楽器の演奏ではないが、KONAMI の GuitarFreaks シリーズ [15] というギ

ター演奏シミュレーションゲームがある。演奏する楽曲を選び、その楽曲に対応した譜面通りにギター型コントローラーで擬似演奏をする。画面にはレーンが3本表示してあり、ギター型コントローラーには、それぞれのレーンに対応した3つのボタンがある。ボタンを押す指示というのは、レーン上を移動するオブジェクトが示している。そのオブジェクトが、画面下から上昇し一定の高さまで来たときにそのレーンに対応するボタンを押し、曲を演奏する。このゲームでは、プレイヤーは演奏しながら演奏するボタンの場所を数小節分先まで認識することが可能である。このようなシステムなら、譜面の時間軸の表示が可能であり、演奏するタイミングも明確である。しかし、ギター型コントローラーはそのものから音が鳴らず、ボタンも3つしかないので、実際にギターの演奏をしているわけではない。よって、ギターの練習、上達には繋がらない。

# 第 3 章

## 提案手法と実装

本章では既存手法の弾くタイミングが認識しづらいという問題点、またその理由を述べ、それらを解決する演奏支援の手法を提案する。また、本研究手法を用いて実装したシステムについて述べる。

### 3.1 既存手法の問題点と本研究の目的

既存手法では視覚的に分かりやすい単音弾きの演奏支援を行うことができる。しかし、既存手法は奏者が弾くタイミングと同時、または直前に演奏指示を行う。つまり、奏者は譜面を先読みすることができず、弾くタイミングをその時になるまで認識することができない。そのため、単音弾きなどの弾く場所が次々と変化する譜面では、奏者は弾く場所の認識に追われ、テンポのよい演奏にはなりにくい。そこで、本研究では数小節先の譜面まで奏者が弾く場所とタイミングを理解できる演奏支援の表示方法を提案する。

### 3.2 提案手法

本手法では、弾く場所を視覚的に分かりやすく指示したまま、弾くタイミングを奏者に指示する手法を提案する。

### 3.2.1 弾く場所の指示

提案手法は弾く場所の指示を位置情報と、フレット数（文字情報）、色の3つの情報を用いて指示する。元川らの研究、EZ-AGと同じく弾く場所を位置情報によって視覚的に分かりやすく示す。同時に、フレット数を数字で指示し、弦は色で指示する。特に弦の場合は、弦同士の間隔が狭く、位置情報だけでは認識がしにくいため色による指示があることにより格段に認識しやすくなる。色による認識はGuitarFreaksだけでなく、同じ音楽シミュレーションであるDrammania[19]やpop'n music[20]でも用いられているため、今回の手法として取り入れる。この2つは色によりそれぞれ叩く場所、押すボタンを指示している。

### 3.2.2 弾くタイミングの指示

提案手法は弾くタイミングの指示、つまり演奏の時間軸の表現を位置情報と姿勢の回転の2つの情報を用いて指示する。元川ら[13]の研究では色の変化によって演奏のタイミングを指示していた。しかし、それでは演奏するタイミングがわかりにくく、その次に弾く場所と同時に指示することはできない。本研究では、弾く場所と同じく位置情報で弾くタイミングを指示する。一般的に使用する楽譜には弾くタイミングが位置情報で示してある。既存手法のGuitar Pro[18]では、演奏の現在位置が表示してあり、演奏が進むと譜面がスクロールし演奏指示をする。そのため、奏者は数小節先まで弾く場所やタイミングを理解することができる。演奏指示はGuitarProのように、位置情報を奏者が次々と認識出来るようにする。時間軸の情報というのは常に変化するものであり、奏者はその結果が予測できる必要がある。たとえば、ダイヤル式タイマーはある一定の時刻までの残り時間を視覚的に分かりやすく提示することができる。しかも、タイマーは同じ速度で回転するため、使用者はその時刻があとどれくらいで来るか予測できる。本研究では、位置情報の変化を直線移動、姿勢の変化を等速回転を用いて奏者が先の情報まで予測、理解できる情報提示をする。

### 3.3 実装

本研究では、譜面の表示を元川らの研究と同じく、ARを使用し、空間上に情報を出すことによって、演奏と先読みを支援できるシステムを実装する。図3.1は本研究のシステムの構成を図で表したものである。

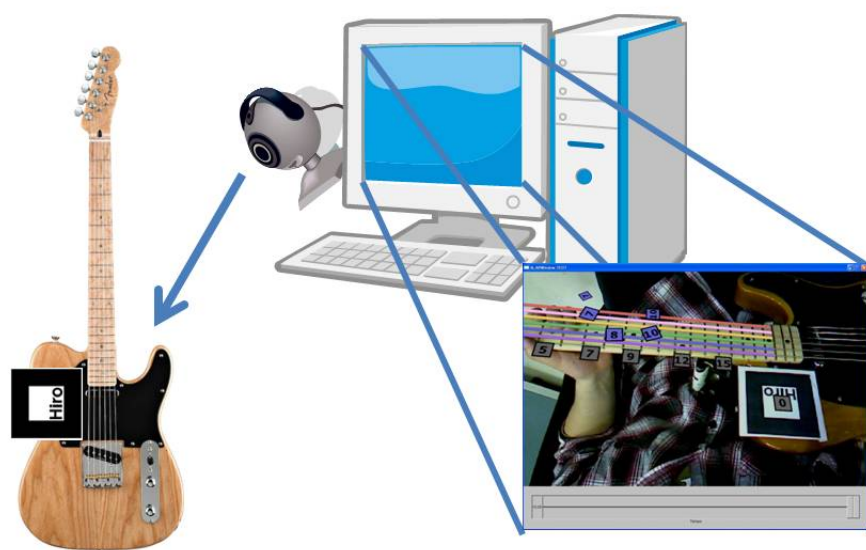


図 3.1: 本研究のシステムの構成

本システムは PC1 台とそこに接続した web カメラで構成される。ユーザーは ARToolKit[16] 用のマーカを張り付けたギターを持ち、web カメラでそれをディスプレイに映す。システムに譜面データを入力すると、ディスプレイに映ったギター上で、指で押さえるフレットと弦の情報を持ったモデルが表示される。これにより、ユーザーは演奏しながら次に押える弦、フレット、弾くタイミングを認識することができる。なお、ユーザーが任意で曲のテンポを変更することを可能にした。奏者が初心者の場合、演奏する曲が難しい場合に曲のテンポを遅くして譜面を読

む時間を長くすることができる。

実装には、3DCG ツールキットシステムである FK ToolKit System[17] を用いた。AR で情報を付加するために印刷した ARToolKit[16] 用のマーカをギターのパネー上に張り付ける。図 3.2 はマーカを張り付けたギターである。

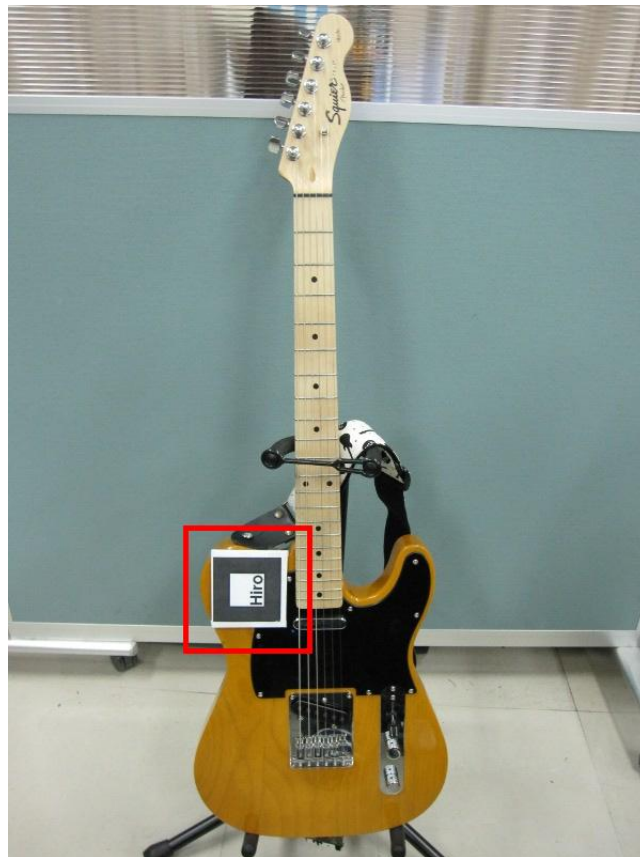


図 3.2: マーカを張り付けたギター

赤い 4 角で囲まれた部分にマーカを張り付ける。ユーザーはそのギターを持ち、web カメラに写る。ディスプレイにはカメラからの映像を上下反転して映す。そうすることにより、普段奏者がギターを演奏する視点に近づけることができる。図 3.3 は本研究のシステムの画面である。

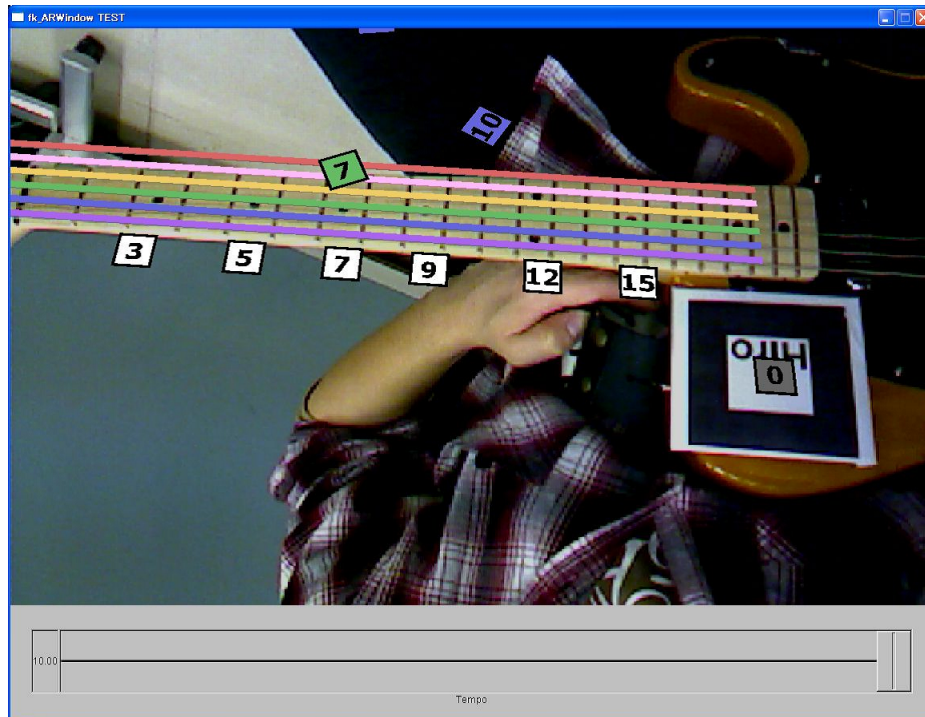


図 3.3: 本研究のシステム画面

6色のラインはそれぞれギターのコ弦に対応している。ラインと同じ色をした、数字が記入してあるものをノートという。図 3.4 がノートの画像である。



図 3.4: ノート

ノートは以下の情報を表している。

- フレット (数字)
- 弦 (色)



- 押える位置（ノートの位置）

ノートの空間上での位置が、指が弦を押える位置を指板上で視覚的に分かりやすく示す。また、数字でフレット数、色で弦を示している。図3.4は色が紫なので6弦、数字は7なので7フレットを意味している。

ギターはピアノのように音階がすべて横一列で並んでいるわけではなく、横にも縦にも音階が並んでいる。従来手法では、演奏指示の表現は指板上の2次元空間で行われていた。本研究のシステムでは、そこに高さの概念を追加し、時間軸を表現している。図3.5はユーザーとフレットの位置関係を横から見たイメージである。

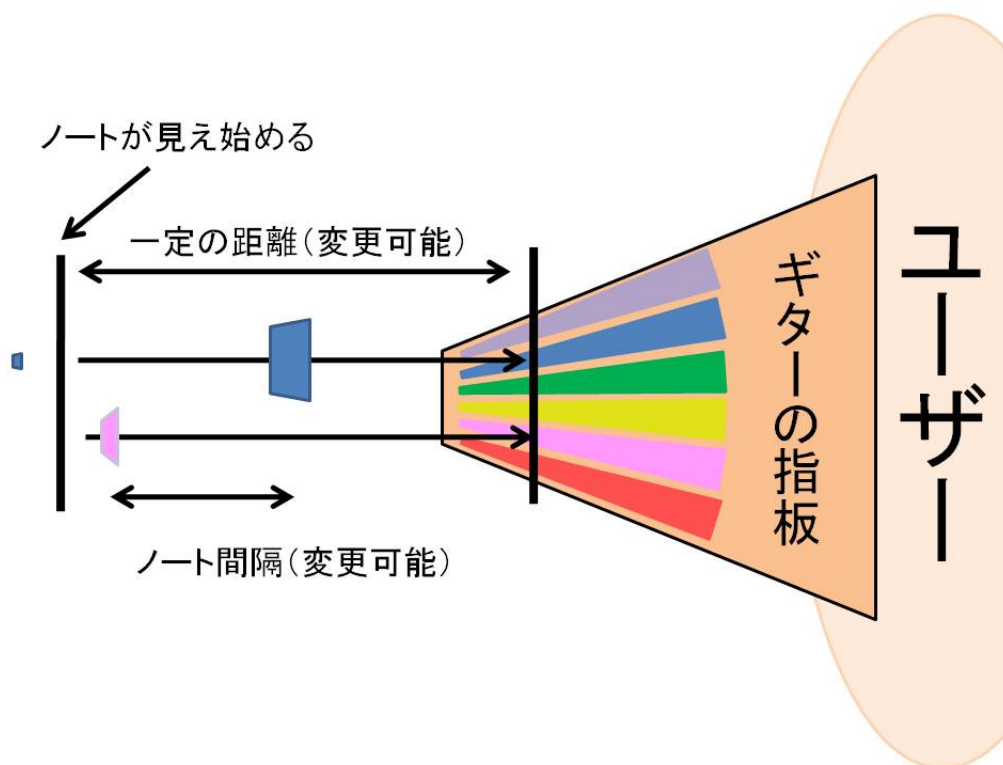


図3.5: ユーザーとフレットの位置関係

6色のラインはギターの弦を表しており、移動するノートがラインに接触した瞬間が弾くタイミングである。ノートはラインから遠いときは、ラインに近いノー

トの妨げになってはいけないので、とても小さくし見えないようにしてある。指板から一定の距離まで近づくと大きくなり始め、奏者はノートを確認することができるようになる。なお、その一定の距離はユーザーが任意で変更可能である。一定の距離を大きくすれば、ノートがより早く現れるため、奏者は先の譜面を認識する時間が増えることになる。また、ノート同士の間隔もユーザーの任意で変更可能である。その際、曲のテンポは変わらないので、ノート同士の間隔が広がるとノートの移動は速くなる。ノートの間隔を広げると奏者はノートひとつひとつの情報が見やすくなるが、ノートの移動が速くなるため、認識を速めなければならぬ。一方、ノートの間隔を狭めると奏者は譜面のより先の方まで認識できるようになるが、ノートが多く表示され奏者はノートひとつひとつを認識しにくくなる。ノートの間隔は、奏者が本研究のシステムの表示方法にどれくらい慣れているかで最も使いやすい大きさが決まる。

また、ノートは最初ユーザーから見て上下逆さまであるが、弾くタイミングのときに正しい姿勢になるように回転する。これにより、カメラがギターの正面をとらえ、ノートが重なってしまうときや、ノートと指板との距離感が掴みにくいときなどユーザーにとって演奏の妨げが発生する場合でも、ユーザーは弾くタイミングを認識することができる。図 3.6 はノートの回転する過程を表している。

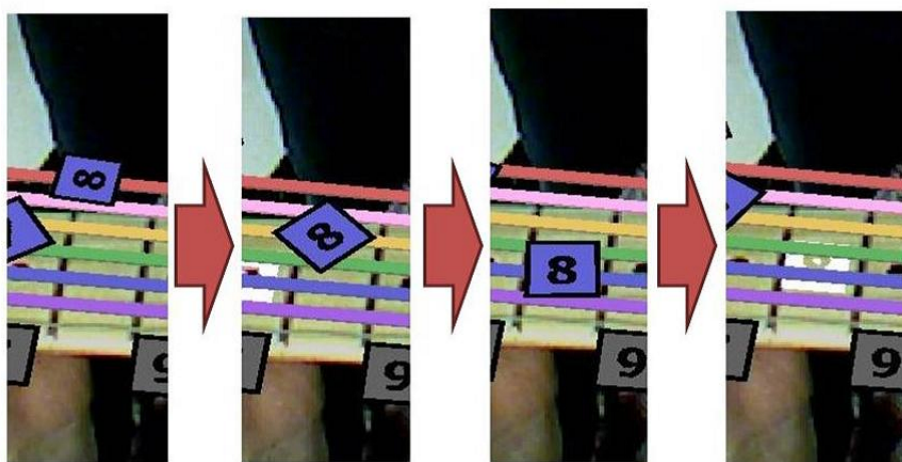


図 3.6: 回転する過程

# 第 4 章

## 検証

### 4.1 検証方法

本研究のシステム、EZ-AG、Tab 譜の 3 つの演奏支援手法で同一曲の演奏指示を比較する。これらを用いて実験参加者に曲を演奏してもらい、アンケートに答えてもらう。演奏する曲は「ドレミの歌」に多少アレンジを加えたものである。図 4.1 はその楽譜である。

♩ = 150

図 4.1: 「ドレミの歌」の楽譜

これをギター経験者 10 人、ギター初心者 10 人の計 20 人を対象に行う。しかし、順番にシステムを使っていく際、後に使うシステムでは楽譜を覚えてしまっている可能性がある。そのため、システム 3 つの公平性を保つため、実験参加者を 6 つのグループに分け、それぞれ異なる順番でシステムを使用してもらった。グループ分けの仕方、またそれぞれの人数は次の通りである。

- グループ A:本研究 → EZ-AG → Tab 譜 3 人
- グループ B:本研究 → Tab 譜 → EZ-AG 4 人
- グループ C:EZ-AG → 本研究 → Tab 譜 3 人
- グループ D:EZ-AG → Tab 譜 → 本研究 4 人
- グループ E:Tab 譜 → 本研究 → EZ-AG 3 人

- グループ F:Tab 譜→EZ-AG →本研究 3 人

本実験の動作環境は次の通りである。

- OS:Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 3
- CPU:Intel Xeon 3.00GHz
- メモリ:1.00GB
- 使用カメラ:Logicool Qcam S7500
- カメラ FPS:30fps

なお、EZ-AG の演奏指示は、PC からボタンを光らせるためデータを EZ-AG に送信し、弾くタイミングと同時にボタンを点灯した。

アンケートはまずギター歴と性別で実験参加者の属性を答えてもらう。その後、3つそれぞれのシステムに対して質問をし、実験参加者には「まったくそう思わない」から「とてもそう思う」まで、7段階評価で答えてもらう。図 4.2 は実験で使  
用したアンケートの 1 枚目、図 4.3 は 2 枚目である。

## ギターの単音演奏システムの研究:アンケート

メディア学部 4年  
齋藤 慶太郎

ギター歴(月単位) \_\_\_\_\_

性別 \_\_\_\_\_

今回の実験でどのように感じたか、それぞれの練習方法についてお答えください。  
該当する番号に○をつけてください。

・演奏が全体的にスムーズにできたと思いますか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う

・演奏が楽しく感じられましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う

・演奏しやすく感じましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う

・今後積極的に使用したいと感じましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う

・楽譜を覚えやすいと感じましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とてもそう思う

図 4.2: アンケート 1 枚目

・表示方法が見やすいと思えましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う

・同じ場所で連続する音が認識しやすいと思えましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う

・テンポよく演奏できましたか？

本研究	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う
EZ-AG	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う
Tab 譜	まったくそう思わない( 1 2 3 4 5 6 7 )とても思う

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。

図 4.3: アンケート 2 枚目



## 4.2 検証結果

### 4.2.1 全体の検証結果

実験参加者のそれぞれのシステムに対する質問の回答を表 4.1 にまとめた。表の中の数字は実験参加者が回答したそれぞれのシステムに対しての評価点である。それぞれの質問に対し、7段階評価で答えてもらっており、その平均値である。数値の高いほど実験参加者はそう思うと回答したということの意味している。演奏順で6つグループごとに分け公平性を保ったため、すべてのグループの結果を1つの表にまとめた。また、演奏順によって結果に差異が見られなかった。演奏順で分けたグループごとのアンケート結果は本論文の付録に収録した。

表 4.1: 各評価点の平均点

実験参加者人数:20人			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできましたか？	4.30	2.20	4.55
演奏が楽しく感じられましたか？	5.40	2.90	4.05
演奏しやすく感じられましたか？	4.55	2.10	4.50
今後積極的に使用したいと感じましたか？	4.55	2.65	4.95
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	3.50	2.20	4.85
表示方法が見やすいと感じましたか？	4.40	2.70	4.80
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	4.55	2.10	5.30
テンポよく演奏できましたか？	4.35	2.35	4.15

なお、このアンケート結果に有意差があるか調査するため、それぞれのシステムに対しての評価点を質問ごとに検定を行った。今回の実験では本研究と EZ-AG の平均評価点、本研究と Tab 譜の平均評価点を比較し、2つのシステム間に有意差があるか調査するため、それぞれに t 検定を行った。算出された有意確率が 0.05 以下ならアンケートの評価点に有意差があるということが言える。

表 4.2 は本研究と EZ-AG、本研究と Tab 譜のそれぞれの有意確率を質問ごとにまとめたものである。有意確率は小数第 6 位を四捨五入してある。

表 4.2: 全体:本研究と EZ-AG 間、本研究と Tab 譜間で t 検定によって算出した有意確率 (表内の太字は有意差が見られた際の有意確率)

質問	本研究と EZ-AG	本研究と Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできましたか?	<b>0.00000</b>	0.59631
演奏が楽しく感じられましたか?	<b>0.00001</b>	<b>0.00550</b>
演奏しやすく感じられましたか?	<b>0.00000</b>	0.91047
今後積極的に使用したいと感じましたか?	<b>0.00013</b>	0.35737
楽譜を覚えやすいと感じましたか?	<b>0.01056</b>	<b>0.01628</b>
表示方法が見やすいと感じましたか?	<b>0.00133</b>	0.40031
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか?	<b>0.00001</b>	0.15437
テンポよく演奏できましたか?	<b>0.00045</b>	0.70586

表 4.2 の実験参加者全員の手法の比較は、本研究と EZ-AG にはすべての質問で有意差が認められた。すべての質問で、本研究は EZ-AG よりも高い評価点を得た。

本研究と Tab 譜では「演奏が楽しく感じられましたか?」と「楽譜を覚えやすいと感じましたか?」という質問で有意差が認められた。これにより本研究のシステムは Tab 譜よりも演奏が楽しく感じられたという結果が得られた。また、本研究のシステムよりも Tab 譜の方が楽譜を覚えやすいという結果が得られた。

#### 4.2.2 初心者と経験者ごとの検証結果

表 4.3 は平均評価点を初心者グループと経験者グループ別に記したものである。

表 4.3: 経験別の平均評価点

実験参加者人数 初心者:10人 経験者 10人				
質問	経験	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできましたか？	初心者	4.2	2.3	3.9
	経験者	4.4	2.1	5.2
演奏が楽しく感じられましたか？	初心者	5.1	3	4.1
	経験者	5.7	2.8	4
演奏しやすく感じられましたか？	初心者	4.7	2.2	3.8
	経験者	4.4	2	5.2
今後積極的に使用したいと感じましたか？	初心者	4.5	2.5	4.3
	経験者	4.6	2.8	5.6
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	初心者	3.5	1.9	4.6
	経験者	3.5	2.5	5.1
表示方法が見やすいと感じましたか？	初心者	4.9	2.7	5.6
	経験者	3.9	2.7	5.6
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	初心者	4.5	2.1	4.7
	経験者	4.6	2.1	5.9
テンポよく演奏できましたか？	初心者	4.4	2.5	3.8
	経験者	4.3	2.2	4.5

表 4.4 はギター初心者だけ、表 4.5 はギター経験者だけの有意確率をまとめたものである。

表 4.4: 初心者:本研究と EZ-AG 間、本研究と Tab 譜間で t 検定によって算出した有意確率 (表内の太字は有意差が見られた際の有意確率)

質問	本研究と EZ-AG	本研究と Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできましたか？	<b>0.00655</b>	0.66762
演奏が楽しく感じられましたか？	<b>0.01826</b>	0.22028
演奏しやすく感じられましたか？	<b>0.00058</b>	0.17188
今後積極的に使用したいと感じましたか？	<b>0.00839</b>	0.76358
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	<b>0.03261</b>	0.18354
表示方法が見やすいと感じましたか？	<b>0.00705</b>	0.178397
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	<b>0.00558</b>	0.81021
テンポよく演奏できましたか？	<b>0.03835</b>	0.44027

初心者だけのグループでは本研究と EZ-AG にはすべての質問において有意差が認められた。すべての質問で、本研究は EZ-AG よりも高い評価点を得た。本研究

と Tab 譜には有意差は見られなかった。

表 4.5: 経験者:本研究と EZ-AG 間、本研究と Tab 譜間で t 検定によって算出した有意確率 (表内の太字は有意差が見られた際の有意確率)

質問	本研究と EZ-AG	本研究と Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできましたか?	<b>0.00010</b>	0.19840
演奏が楽しく感じられましたか?	<b>0.00030</b>	<b>0.00452</b>
演奏しやすく感じられましたか?	<b>0.00063</b>	0.17134
今後積極的に使用したいと感じましたか?	<b>0.009708</b>	0.06541
楽譜を覚えやすいと感じましたか?	0.17450	<b>0.04846</b>
表示方法が見やすいと感じましたか?	0.09242	<b>0.00858</b>
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか?	<b>0.00148</b>	<b>0.04970</b>
テンポよく演奏できましたか?	<b>0.00452</b>	0.79283

経験者だけのグループでは本研究と EZ-AG で「楽譜を覚えやすいと感じましたか?」と「表示方法が見やすいと感じましたか?」以外で有意差が認められた。有意差が認められたすべての質問で、本研究は EZ-AG よりも評価点が高かった。本研究と Tab 譜では「演奏が全体的にスムーズにできましたか?」と「演奏しやすく感じられましたか?」、「今後積極的に使用したいと感じましたか?」、「テンポよく演奏できましたか?」以外の質問で有意差が認められた。本研究と Tab 譜で有意差が認められた質問の中でほとんどが Tab 譜の方が評価点が高かったが、唯一「演奏が楽しく感じられましたか?」という質問だけ本研究のシステムが Tab 譜より高い評価点を得た。

# 第 5 章

## 分析と考察

本研究は視覚的に分かりやすい演奏支援を目的として、位置情報や色、姿勢によりギターの弾く場所とタイミングを指示する手法を提案・実装した。本研究のシステムと従来手法の比較実験を行い、実験結果を検定した結果、「同じ場所で連続する音が認識しやすいと思いませんか？」という質問で、本研究のシステムの方がEZ-AGよりも高い評価点を得ることができた。この結果から、本研究のシステムは既存手法では時間軸の表現がほぼ無いため不可能だった同じ場所で連続する音の認識を可能にしたと言える。同時に、「演奏が全体的にスムーズにできましたか？」、「テンポよく演奏できましたか？」の質問でEZ-AGより高い評価点を得ることができた。これは今回実現した時間軸の表現が、ユーザーの先読みを可能にし、演奏支援に繋がったことを示している。

ギター初心者では、「演奏がスムーズにできましたか？」、「演奏が楽しく感じられましたか？」、「演奏しやすく感じられましたか？」、「今後積極的に使用したいと感じましたか？」、「テンポよく演奏できましたか？」の質問で本研究のシステムに Tab 譜よりも高い評価点をつけた人の人数が多く見られた。しかし、初心者グループの検定の結果は有意差が確認できなかった。

奏者がギター経験者の場合、本研究のシステムの方が演奏が楽しいという評価点を得られた。「楽譜を覚えやすいと感じましたか？」、「表示方法が見やすいと思いませんか？」、「同じ場所で連続する音が認識しやすいと思いませんか？」の質

問では本研究のシステムより Tab 譜の方が高い評価点を得ている。その一方、ギター初心者にとっては本研究のシステムの方が Tab 譜を読むことよりも演奏支援に繋がりやすい傾向が出ている。ギター経験者は Tab 譜に慣れており、Tab 譜を見ながらの演奏の方がやりやすいことがわかった。

## 第 6 章

### まとめ

本研究では、位置情報や色情報、姿勢などからギターを弾く場所とタイミングを指示する独自の時間軸表現を考案した。その時間軸表現を利用し、奏者に譜面の先読みを支援する演奏支援システムを AR を用いて実装した。

評価実験において、20 人の奏者を対象に、本研究のシステムと他の演奏支援システムとを実際に使用してもらい比較したところ、本研究のシステムは EZ-AG に比べ同じ音程で連続する音のタイミングの指示が見やすいと示せた。このことから、本研究のシステムでは従来手法は不可能だった同じ音程で連続する譜面のタイミングの演奏指示を実現させ、譜面の時間軸表現を可能にした。また、本研究の手法はギター初心者にとって、従来手法である Tab 譜よりも演奏しやすく楽しいということが言え、初心者がギターを始める際の手助けになることができる。

今後の展望として、本研究では奏者は演奏の際、弾く弦を理解するにはどの色がどの弦に対応しているかを覚えていなければならないので、そのような準備の必要のない指示方法を模索しなければならない。また、今回は単音弾きのみを対象にしたが、楽曲の演奏はコード弾きもするので、本提案手法をコード弾きの先読みの支援に利用することが求められる。

# 謝辞

本論文を締めくくるにあたり、多くのご指導をいただきました東京工科大学メディア学部の三上浩司講師と渡辺大地講師に心より深く感謝いたします。また、様々な面でサポートしていただいた学友の皆様、本研究の評価をするため実験に参加していただいた皆様に感謝します。特に学部生に夜遅くまで付き合い、数多くの助言をしていただいたゲームサイエンスプロジェクトの先輩方には厚くお礼を申し上げます。先輩方なくして、この論文の完成はありえませんでした。最後に私の気力となった、私と関わったすべての方に感謝します。本当にありがとうございました。



## 参考文献

- [1] 谷井 章夫, 片寄 晴弘, ”音楽知識と技能を補うピアノ演奏システム”INSPIRATION””, 情報処理学会論文誌 43(2) pp.256-259 20020215.
- [2] 石田克久, 北原鉄朗, 武田正之”N-gram による旋律の音楽的適否判定に基づいた即興演奏支援システム”, 情報処理学会論文誌, 2005.
- [3] 鈴木 秀一, 楽譜認識を活用した演奏支援ソフトウェア演奏支援部分, 2004 年.
- [4] mdfine, クラギチュータ,  
<<http://ww7.tiki.ne.jp/~mdfine/subdir/instruments.htm>>.
- [5] casio, <[http://casio.jp/emi/key\\_lighting/](http://casio.jp/emi/key_lighting/)>.
- [6] Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito: ”Guitarist Fingertip Tracking by Integrating a Bayesian Classifier into Particle Filters”, Hindawi Publishing Corporation Advances in Human-Computer Interaction Volume 2008, Article ID 384749, 10 pages doi:10.1155/2008/384749
- [7] 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”, Workshop on Interactive Systems and Software 2007 (WISS2007).

- [8] 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,” 情報処理学会研究報告 (2009-MUS-81), Vol. 2009, No. 25, pp. 1-6 (2009年7月).
- [9] 岩見 直樹, 三浦 雅展, ”MIDI 楽器を用いたドラム演奏練習支援システムの提案 (コンテンツ生成, 音楽インタフェース) ”, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学] 2007(102) pp.85-90 20071011.
- [10] 三浦 雅展, 廣田 勲, 浜 将彦, 柳田 益造, ”単旋律ギター演奏における最適押弦位置決定システムの構築”, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J86-D2 No.6 pp.755-763 2003.
- [11] 数森康弘, 此木康至, 江村伯夫, 三浦雅展, ”協調演奏機能及び演奏評価機能を用いたギターコード演奏支援の試み”, 日本音響学会研究発表会講演論文集 巻: 2008 頁:ROMBUNNO.2-9-8 特殊号:秋季 20080903
- [12] YAMAHA, <<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-ag/index.php>>
- [13] 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, 61, 6, pp.789-796 (2007) .
- [14] R. Azuma: ”A Survey of Augmented Reality”, Presence:Teleoperations and Environments, 6, 4, pp.355-385,1997.
- [15] KONAMI, ”Guitar Freaks”,  
<<http://www.konami.jp/bemani/gfdm/howto/howto101.html>>
- [16] 加藤博一他: “マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.607-616, 1999.
- [17] 渡辺大地, FK ToolKit System , <<http://fktoolkit.sourceforge.jp/>>.
- [18] e frontier, ”Guitar Pro”, <<http://music.e-frontier.co.jp/product/gp5/>>

[19] KONAMI,"DrumMania",

<<http://www.konami.jp/bemani/gfdm/howto/howto102.html>>

[20] KONAMI,"pop'n music",<<http://www.konami.jp/bemani/popn/>>

# 付録

演奏順に分けたグループごとのアンケート結果表をここに付録する。

表 6.1: 各評価の平均点 1

グループ A: 順番 本研究 → EZ-AG → Tab 譜 人数: 3 人			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできたと思いますか？	5.33	2	6.33
演奏が楽しく感じられましたか？	6	2	5
演奏しやすく感じられましたか？	4.67	1.67	6.33
今後積極的に使用したいと感じましたか？	4.33	2	6
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	3.33	1.67	7
表示方法が見やすいと感じましたか？	4.67	3	6.33
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	4	1.67	6.67
テンポよく演奏できましたか？	4	1	6.33

表 6.2: 各評価の平均点 2

グループ B: 順番 本研究 → Tab 譜 → EZ-AG 人数: 4 人			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできたと思いますか？	3.75	2	3.5
演奏が楽しく感じられましたか？	4.75	3	2.75
演奏しやすく感じられましたか？	4.75	2.5	2.5
今後積極的に使用したいと感じましたか？	4	2.75	3.5
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	3.5	2.25	4.25
表示方法が見やすいと感じましたか？	5	3.25	3.75
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	5.25	2.5	3.75
テンポよく演奏できましたか？	4.25	2.5	3

表 6.3: 各評価の平均点 3

<b>グループ C: 順番 EZ-AG → 本研究 → Tab 譜 人数: 3 人</b>			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできたと思いますか？	4.33	2.33	4
演奏が楽しく感じられましたか？	6	2.67	4.33
演奏しやすく感じられましたか？	4.67	1.67	4.67
今後積極的に使用したいと感じましたか？	4.67	1.67	4.67
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	3	2	4.33
表示方法が見やすいと感じましたか？	4.33	1.33	4.33
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	5	2	5.33
テンポよく演奏できましたか？	5	2.33	4

表 6.4: 各評価の平均点 4

<b>グループ D: 順番 EZ-AG → Tab 譜 → 本研究 人数: 4 人</b>			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできたと思いますか？	4	1.75	4.25
演奏が楽しく感じられましたか？	5	1.75	4.25
演奏しやすく感じられましたか？	3.5	1.75	4.75
今後積極的に使用したいと感じましたか？	4.75	1.75	5.75
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	2.5	1.5	4.5
表示方法が見やすいと感じましたか？	3	2	5
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	3.5	1.25	5.25
テンポよく演奏できましたか？	3.75	1.5	4

表 6.5: 各評価の平均点 5

<b>グループ E: 順番 Tab 譜 → 本研究 → EZ-AG 人数: 3 人</b>			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできたと思いますか？	5	3.67	4.67
演奏が楽しく感じられましたか？	5	4.33	4.33
演奏しやすく感じられましたか？	5	3.67	4.33
今後積極的に使用したいと感じましたか？	5	4.67	4.67
楽譜を覚えやすいと感じましたか？	4	3.33	4
表示方法が見やすいと感じましたか？	4.67	3.33	5.33
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか？	4.67	4	4.67
テンポよく演奏できましたか？	4.67	4	3.33

表 6.6: 各評価の平均点 6

グループ F: 順番 Tab 譜 → EZ-AG → 本研究 人数: 3 人			
質問	本研究	EZ-AG	Tab 譜
演奏が全体的にスムーズにできましたか?	3.67	1.67	5
演奏が楽しく感じられましたか?	6	4	4
演奏しやすく感じられましたか?	5	1.33	5
今後積極的に使用したいと感じましたか?	4.67	3.33	5.33
楽譜を覚えやすいと感じましたか?	5	2.67	5.33
表示方法が見やすいと感じましたか?	5	3.33	4.33
同じ場所で連続する音が認識しやすいと感じましたか?	5	1.33	6.67
テンポよく演奏できましたか?	4.67	3	4.67