

# ギターのための触弦認識システム

飛世 速光 竹川 佳成 寺田 努 塚本 昌彦\*

**概要.** ギター演奏において運指(指使い)は演奏に影響する重要な要素である。また、触弦(指が弦に触れている状態)や押弦、離弦(指と弦が離れている状態)といった状態や、複数の指が1つの弦上にあるなど、左手の指と弦との関係は多彩である。これらの情報を演奏支援システムが取得することで、ミュート(触弦により弦の振動を防ぎ消音すること)のために弦上に配置された指や、次の発音の準備のために弦上に配置されている指など、発音に関わらない運指情報を判別でき、効率的な独習支援や、細かい演奏技術が盛り込まれた楽譜の自動生成に応用できる。そこで本研究では、押弦、触弦、離弦を認識可能な、ギターのための触弦認識システムの構築を目的とする。本研究では弦やフレットの導電性に着目した電氣的な機構による触弦認識手法を新たに提案する。実装したプロトタイプを用いて、ギター習熟者に、運指やテンポの異なるフレーズを演奏してもらい、高精度に触弦認識できることを確認した。さらに、本研究の枠組みを利用したアプリケーションを提案した。

## 1 はじめに

ギター演奏における演奏技術の1つとして運指が存在する。本研究で対象とするギターにおいて、運指はフレーズの弾きやすさ、音色などといった音楽表現に大きく影響し、演奏家は作品の意図を考えた音楽的な運指を選ぶため、運指の種類は多様である。リアルタイムに運指情報が取得できれば、誤った運指を認識し、修正箇所を提示するといった独習支援や、演奏を行いながら運指を確認できる効率的な演奏学習を行える。これまでに筆者らの研究グループでは、弦楽器であるベースを対象とし、音響信号処理とカメラにから得られた画像を用いて高精度な運指検出を行うシステム [1] を構築してきた。しかし、このシステムでは、撥弦時に音高を決定した運指の情報しか取得できない。ギター演奏では、触弦や押弦、離弦といった状態や、複数の指が1つの弦上にあるなど、左手の指と弦との関係は多彩である。これらの情報を取得することで、ミュートや次の発音の準備のために弦上に配置される指など、発音に関わらない運指情報を取得し、ミュートや予備動作のための指の配置の確認を含んだ独習支援や、細かい演奏技術が盛り込まれた楽譜の自動生成が行える。

そこで本研究では、押弦、触弦、離弦が認識可能な、ギターのための触弦認識システムの構築を目的とする。提案システムは、弦やフレットの導電性に着目した電氣的な機構による触弦認識機構をもつ。この方式は楽器自体への改造を必要とせず、アタッチメントを取り付けるだけで既存の楽器に適用できる。また、弦と指の関係を体系化し、想定するアプ

リケーションの実現に必要な認識手法について検討した。

## 2 設計

本研究ではギターのための触弦認識システムを構築する。提案システムを用いたアプリケーションとしては、ギター初級者を対象として適切なミュートや予備動作が行われているかを確認するための独習支援や、楽譜の作成を行う指導者やプロの演奏者の発音、ミュート、予備動作における運指や指の配置情報の自動採譜などを想定している。

この目的や利用シーンを満たすために、本システムの設計方針として、(1) 演奏を妨げない認識 (2) 高い認識性能、の2点を挙げる。(1)に関しては、独習支援アプリケーションを使つての訓練や、コンサートやレッスンなど演奏者が演奏に集中していても利用できるようにできる限り演奏を妨げない、つまり指に余計なデバイスをつけずにシステムを実現することを目指した。(2)に関しては、本研究では初心者からプロフェッショナルな演奏家までさまざまなレベルの演奏者を対象としている。認識ミスはユーザビリティや信頼性の低下につながるため、高い精度で認識できる必要がある。

### 2.1 認識手法の検討

触弦認識を実現する手法として、音響信号とカメラによる画像処理を組み合わせる手法と、電気回路を用いる手法の2種類が主に考えられる。以下、両手法について説明する。

#### 2.1.1 音響信号とカメラを用いる手法

これは、筆者らの研究グループが構築した押弦している指を認識するシステム [1] で用いられた手法であるが、カメラを用いて取得した弦楽器の指板領域(ネック表面側の弦を指で押さえつける面)と指の

Copyright is held by the author(s).

\* Hiayami Tobise and Masahiko Tsukamoto, 神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻, Yoshinari Takegawa, はこだて未来大学システム情報科学部, Tsutomu Terada, 神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻 / 科学技術振興機構さきかけ

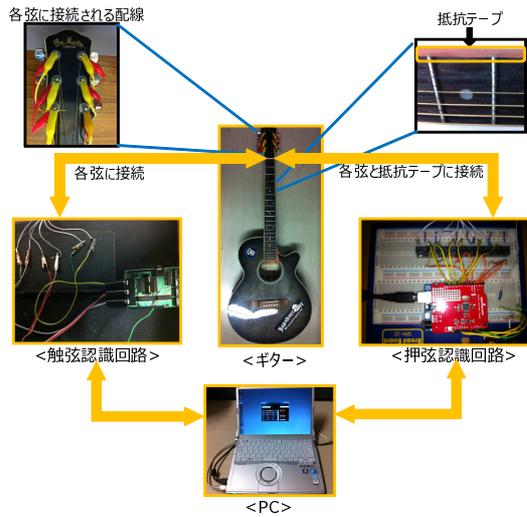


図 1. システム構成

爪に貼りつけたマーカの動画像データによって各指の指板上における位置情報を取得する。また、ピックアップから得られる音響信号から音高や発音タイミングなどの演奏情報を取得する。この手法は、指板の上にある指の位置の認識や指の特定には適しているが、触弦と押弦の区別のように数ミリメートル精度の細かな動きは認識できない。

2.1.2 電気回路を用いる手法

本手法は、本研究において新たに提案する方法であり、ギターの弦やフレットの導電性に着目したものである。この手法は大きく押弦認識回路および触弦認識回路という2つの回路から構成される。押弦認識回路は弦を導線とみだてて弦に電圧を印加し、触弦認識回路は弦を静電容量センサのアンテナとみだてている。したがって、各回路の入出力ポートと各弦を図1に示すように接続する。また、指板の側面に抵抗が含まれた導電性のテープを貼り付け、その抵抗テープと押弦認識回路の入力ポートが接続されている。弦と回路間の配線は、ギターのヘッドに接続されているため、演奏を妨げず、演奏で用いるギターの音に影響を与えない。また、指板に貼られた抵抗テープは、指板の片側に細いテープを貼るだけでよい。さらに、指に特殊なデバイスを接続する必要もない。

システム構成 図1に示すように、ギターのヘッド上の各弦と接続された触弦認識回路により指が弦に触れているかどうかを認識する。また、ギターの各弦および全フレット上にまたがるように貼られた抵抗テープと接続された押弦認識回路により押弦を認識する。各回路で検出された情報はシリアル通信によってPCに送信され、触弦認識回路および押弦認識回路のデータを組み合わせることで、押弦、触弦、離弦を認識する。

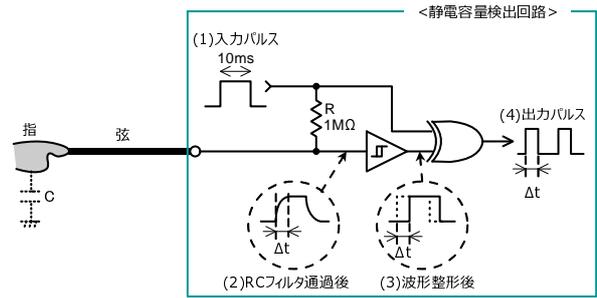


図 2. 触弦認識回路

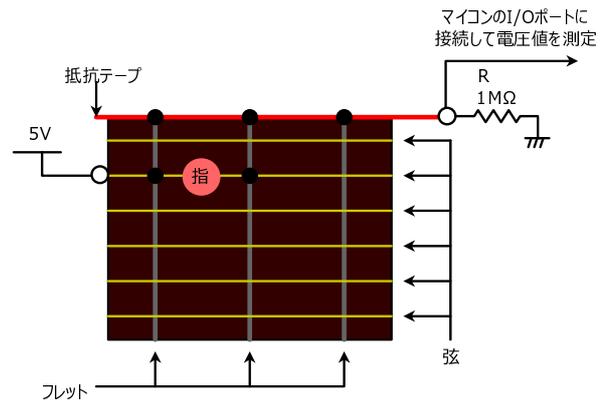


図 3. 押弦認識回路の例

触弦認識回路 触弦認識回路は、指が各弦に触れた際の各弦の静電容量変化を検出することで、触弦を認識する。ここでの触弦とは指が弦に触れることであり、押弦を含む。触弦認識回路を図2に示す。触弦認識回路は、人がもつ静電容量を利用したRCローパスフィルタを用い、入力パルスの応答から静電容量値  $C$  を推定する。図2(1)のパルスの波形は抵抗  $R$  と静電容量  $C$  によって図2(2)のように変化し、図2(2)の波形をシュミットトリガ入力バッファによって整えることにより、図2(3)のように遅延時間  $\Delta t$  をもつ波形に変化する。静電容量  $C$  が大きな場合、すなわちアンテナ(弦)に指が触れている場合はより長い遅延時間  $\Delta t$  が発生する。波形の遅延時間  $\Delta t$  は、図2(1)の波形と図2(3)の波形の排他的論理和を取ることで生成される2つの等しい値の一方を用いる。

押弦認識回路 押弦認識回路はギターの各弦と全フレットにまたがるように貼られた抵抗テープが回路の入出力ポートにそれぞれ接続されており、ギターの各弦には時分割で電圧が印加される。このとき、押弦状態であれば、フレットを通じて抵抗テープにも電圧が印加される。抵抗テープに印加された電圧値により印加されている弦が押弦状態にあるかどうかを認識する。この認識を第1弦から第6弦まで繰り返し高速に行うことによって、リアルタイムに押弦認識を行う。上から2番目の弦に対して押弦認識を行っている場合の回路図を図3に示す。

電気回路を用いる手法は、離弦、触弦、押弦の区別には適しているが、指板上にある離弦している指

ギターのための触弦認識システム

表 1. 表 2 および表 3 における各項目の説明

認識項目		各項目の説明
認識対象	押弦/触弦/離弦	押弦, 触弦, 離弦をそれぞれ区別して認識すること
	押弦	押弦を認識すること
	離弦	離弦を認識すること
	触弦	触弦を認識すること
	各指の位置	各指の位置を認識すること
	発音タイミング	発音されたタイミングを認識すること
	音高	発音された音の音高を認識すること
	認識タイミング	認識を行うタイミング
	弦の数	同時に認識する弦の数
	指の数	1本の弦に対して1本の指を認識する(注1) 1本の弦に対して配置されている2本以上の指をすべて認識する
指の特定	認識する指がどの指か特定すること	
弦の制限	弾かれた弦のみ認識すること	
指の位置制限	同一弦上に複数の指が配置されないこと	
指と音の関係	発音に関わる指 発音前に次の発音のために準備している指 各弦をミュートしている指	
表における記号や文字	x	その手法で認識できる項目である
	-	その手法では認識精度が低い項目である
	必要	その手法では認識できない項目である
	必要 1	結果に影響を与えない項目である
	必要 2	認識に必要な項目である
必要 3	各弦に対して複数の指を認識するときに必要である ハーモニクスが鳴るかどうかも考慮するときに必要である どの指をどこに配置するかまで考慮するときに必要である	

注1: 弦に対して複数の指が押弦または触弦状態にあるとき, 最もボディ側の指を認識する

の位置や発音タイミングは認識できない。

## 2.2 認識手法の選定

弦と指の関係は多彩であると同時に, 前節で述べたように弦と指の関係を認識する方法には利点, 欠点がある。そこで, 弦と指の関係を体系化し各認識手法で認識できる項目を分析する。また, 想定するアプリケーションに必要な認識項目も同時に分析し, これらをまとめることで, アプリケーションと認識手法との対応関係を明らかにする。ここで表1は, 表2および表3で使用される用語を説明している。また, 説明の都合上, 表3に示すように, 想定するアプリケーションの共通点をまとめ「指と音の関係」として抽象化した。

### 2.2.1 各認識手法で認識できる項目

表2においてカメラや音響信号を利用して認識できる項目について説明する。カメラは指の位置を, 音響信号は音高や発音タイミングをそれぞれ認識するために用いられる。撥弦したとき, 指と弦の関係が離弦であれば開放弦の音高の音が鳴り, 触弦であればアタック音が鳴り, 押弦であれば押弦したフレットの音高の音が鳴る。したがって, 音響信号を利用することによって, 弾かれた弦については, 1本の指と弦の関係が, 押弦, 触弦, 離弦を区別でき, カメラと音響信号を組み合わせることで指の特定もできる。しかし, 発音前の運指の認識や, 発音と関係のない弦については運指の認識ができない。このため, 発音前に次の発音のために準備している指(予備動作のための指)の運指は認識できず, ミュートのための指(弦に触れて弦の振動を止め, 消音するための指)の運指についても認識できない。また, ミュートを確認するアプリケーションを構築する場

合, 発音前にミュートができていのかどうかという情報を提示できない。さらに, 触弦の認識について, 弦に触れている状態で弦を弾いた場合に発生するアタック音を検出して認識する必要があるため, 認識精度の低下が考えられる。

電気回路を利用した手法は, 発音前の認識や, 発音に関わっていない指の認識に有効であるが, 各弦に対して複数の指の運指や指と弦の関係は認識できない。電気回路を利用した手法では, 音響信号を用いずに1本の指と弦の関係を押弦, 触弦, 離弦を区別して認識できるため, 発音前での認識や, 弾かれていない弦に対する認識を行える。したがって, 電気回路を利用した手法のみで, 各弦がミュートされているかどうかの認識を行え, この手法をカメラおよび音響信号と組み合わせることで, 各弦に対して1本の指のみではあるが, 予備動作のための指の運指を認識できる。

### 2.2.2 各アプリケーションで認識すべき項目

想定するアプリケーションを実現するために必要な認識手法について表3をもとに説明する。発音に関わる運指情報を含んだ楽譜を演奏から自動で生成するアプリケーションは, 発音に関わる指の運指のみ認識できれば良く, カメラと音響信号を使う従来手法[1]で対応できる。次の発音のために配置しておく指の確認をするアプリケーションは, 予備動作に関わる指の運指を認識する必要があり, 各弦に対して最もボディ側の指のみに限定すれば, 従来手法と電気回路を用いる手法を組み合わせることによって実現できる。ミュートの確認をするアプリケーションについては, 各弦がミュートされているかどうかを認識できれば良く, 電気回路を用いる手法によって実現できる。発音に関わる運指情報だけでなく予

表 2. 電気回路を用いる手法により認識できる認識項目

認識項目							認識手法						指と音の関係				
							従来手法のみ			提案手法含む							
認識 タイミング	弦の数	指の数	指の特定	弦の制限	指の 位置制限	カメラ	音響信号	カメラ 音響信号	電気回路	カメラ 電気回路	音響信号 電気回路	カメラ 音響信号 電気回路	発音に 関わる 指	発音に関わらない指			
													予備動作	ミュート			
押弦/触弦/離弦	発音前	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3			
			1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
			無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
		1本	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3		
			1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
			無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
	発音後	2本以上	1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 3		
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
			1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3	
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3		
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3		
		2本以上	1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x	x		必要 3	
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3		
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3		
			1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3	
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3		
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3		
		押弦	発音前	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3	
					1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3	
					無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3	
				1本	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3
					1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3	
					無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3	
発音後	2本以上		1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3		
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
	2本以上		1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3		
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
触弦	発音前	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3			
			1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
			無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
	1本	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3			
		1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3				
		無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3				
発音後	2本以上	1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3			
			無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3				
			-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3				
	2本以上	1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3			
			無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3				
			-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3				
離弦	発音前	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3			
			1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
			無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
		1本	2本以上	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x		必要 3		
			1本	有	-	有	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
			無	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
	発音後	2本以上	1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3		
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
		2本以上	1本	有	有	有	x	x	x	x	x	x	x		必要 2,3		
				無	無	無	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
				-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	必要 2,3			
各指の位置	-	-	-	-	-	x		x	x			必要	必要 2,3				
発音タイミング	-	-	-	-	-			x	x			必要	必要				
音高	-	-	-	-	-	x		x	x			必要	必要				

表 3. 想定されるアプリケーションと指と音の関係

想定されるアプリケーション	発音に 関わる指	認識したい指と音の関係	
		発音に関わらない指	予備動作
楽譜の採譜 (撥弦時の運指情報のみ) 次の発音のための指の配置のチェック ミュートのチェック 楽譜の採譜 (発音に関わらない運指情報を含む)		(必要 1の項目の認識によって各弦に対して複数の指も認識可能)	(必要 2の項目によってハーモニクスの認識も可能) (必要 3の項目の認識が必要)

## ギターのための触弦認識システム

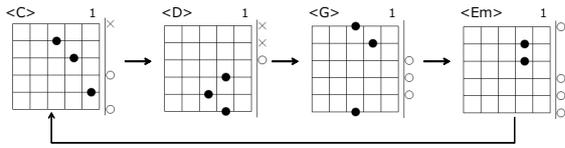


図 4. フレーズ A の和音進行

備動作やミュートのための運指情報も含んだ楽譜を自動生成するアプリケーションは、弦に対して複数指の押弦、触弦、離弦の区別ができないため、现阶段では構築できない。したがって、電気回路を用いる手法によって、発音前に次の発音のために配置しておく指の確認をするアプリケーションやミュートの確認をするアプリケーションの構築が行える。

### 3 評価

2章で述べた触弦認識システムのプロトタイプを実装した。実装したプロトタイプの有効性を示すために、ギター習熟者3名に2種類の基本的なフレーズを演奏させ、押弦、触弦、離弦を正しく区別して認識できているかを調査した。

#### 3.1 実験の手続き

**課題フレーズ** 課題フレーズは和音演奏のみを行うフレーズ A、単音での演奏のみを行うフレーズ B の2種類とした。フレーズ A は小節ごとに演奏する和音を変えていく4小節のフレーズを4回繰り返す計16小節のフレーズであり、押弦だけでなく触弦や離弦することも必要になるような和音を選んだ。フレーズ A の和音進行を図4に示す。図4は、ギターの指板の一部を模しており、図中の記号は が指による押弦箇所を、 が離弦により開放弦を使用する弦を、 x が触弦によりミュートし発音させない弦をそれぞれ表す。フレーズ B は第5フレットを第6弦から第1弦まで各弦で1小節ずつ演奏していき、第1弦まで演奏した後、第1弦から第6弦まで各弦で1小節ずつ演奏していき計12小節のフレーズである。フレーズ A は6本の弦を全て撥弦させ、フレーズ B は演奏したい1本の弦のみを撥弦させた。2種類のフレーズはいずれも1分当たりの4分音符数が100, 120, 140, 160, 180, 200の計6種類のテンポで演奏させた。

**被験者** 被験者は課題曲を楽譜に指定されたテンポで十分に弾きこなせるギター歴3年の大学生1名、ギター歴6年の大学生1名、ギター歴5年の大学生1名の計3名である。

**システム構成** プロトタイプシステムを用い、各弦と指との関係(押弦、触弦、離弦)を認識した。被験者の手元をデジタルビデオカメラで撮影した動画より正解データを得た。動画において視覚的に正解データを判断しにくい箇所は被験者にヒアリングを行い、正解データを取得した。

**実験の手続き** 被験者にフレーズ A、フレーズ B の順に全てのテンポで演奏させた。テンポの提示は電子メトロノームを用いた。

表 4. システムの認識正答率

演奏テンポ	認識正答率(正解データ数/総データ数)		
	被験者 A	被験者 B	被験者 C
	フレーズ A(和音演奏)		
100	99.4 % (1987/2001)	98.5 % (1866/1894)	99.3 % (1925/1938)
120	98.6 % (1616/1639)	99.2 % (1367/1379)	99.6 % (1522/1528)
140	97.3 % (1367/1405)	94.1 % (1064/1131)	98.5 % (1237/1256)
160	97.2 % (1428/1469)	98.9 % (1125/1137)	98.9 % (991/1002)
180	96.3 % (1071/1113)	98.3 % (923/939)	99.2 % (1212/1221)
200	97.2 % (1151/1184)	99.6 % (678/681)	99.6 % (837/841)
	フレーズ B(単音演奏)		
100	99.1 % (820/827)	99.9 % (1966/1986)	98.0 % (1715/1749)
120	99.6 % (1545/1550)	99.9 % (1684/1701)	98.4 % (1722/1749)
140	99.9 % (1286/1287)	99.9 % (1493/1508)	99.5 % (1312/1318)
160	99.3 % (1215/1224)	99.3 % (1327/1333)	99.6 % (1229/1233)
180	98.7 % (900/912)	99.9 % (1259/1260)	99.9 % (1257/1258)
200	99.1 % (921/929)	99.8 % (961/963)	99.4 % (923/928)

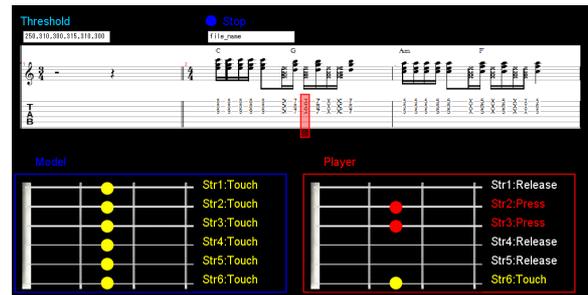


図 5. ミュートチェックアプリケーションのスクリーンショット

#### 3.2 評価結果および考察

表4に触弦認識システムの認識正答率を示す。認識正答率は平均して約98%と高く、フレーズやテンポに関わらず高精度な認識を行えた。被験者Aの正答率は被験者Bおよび被験者Cと比べてわずかに低くなっている傾向があるが、これは被験者Aが他の被験者より触弦や押弦の動作が多かったため、誤認識が増加したと考えられる。また、他の弦と比べ、第3弦と第4弦に誤認識が多かった。これは離弦と触弦を区別する静電容量の閾値の設定が、第3弦と第4弦に対して適切でなかったためだと考えられる。今後、最適な閾値を求める調査する必要がある。

### 4 実装

提案システムの実用例として、電気回路による手法によって構築できるミュートの確認をする独習支援アプリケーションを実装した。このアプリケーションではマイクを使って発音タイミングを認識している。図5に実装したアプリケーションのスクリーンショットを示す。アプリケーションでは、楽譜と現在の演奏箇所、演奏箇所に対応した正しい各弦と指の関係(図5左下)、演奏者の各弦と指の関係(図5右下)を表示する。演奏者の各弦と指の関係が正しい状態で演奏された場合のみ、楽譜上に示した演奏箇所が次の箇所に移動する。特に初心者は、ミュートが正しくできているかどうかを撥弦された音だけで判断することは難しい。本アプリケーションを利用することで、ミュートし忘れや過度なミュートを防止できギター演奏を効率的に学習できる。

## 5 発展

2.2.2 で述べたアプリケーション以外に、楽器の導電部に電流を流すという提案システムの枠組みを活用することでさまざまなアプリケーションを構築できる。

演奏の分析：発音に関わらない運指の情報を含んだ運指情報を取得し分析することで、異なる演奏レベル者間、手の大きさなど異なる身体特性、平常時や緊張時といった異なる精神状態における演奏を比較でき、新たな特徴量を用いた演奏分析を行える。

遠隔レッスンへの演奏情報の提供：地理的に離れた教師と生徒がレッスンを行う遠隔レッスンにおいても、映像から判断できない詳細な運指情報を、指導者がリアルタイムで取得することで、生徒の演奏状況を十分に確認でき、より適切な指導が可能になると考えられる。

他の楽器への適用：ウッドベースはフレットをもたない弦楽器であるが、導電テープでフレットを作成することで、本研究で提案したギターと同様のことができる。また、クラリネット、トランペットなどの金管楽器においても「口をマウス部につけているか」、「ピストン部に指が設置しているか」といった細やかな動作を認識できる。

電気ショックによる教示：例えば、誤った演奏をしたときに瞬間的に弦に大電流を流し電気ショックを学習者に提示することで、演奏が間違っていることを提示できる。

触弦によるコマンド入力：譜めくりやエフェクトの適用などのコマンドを、触弦により操作する。押弦と離弦の組み合わせでも同種のことができるが、この操作により不要な音が発生する可能性があるため、触弦の方が適切であると思われる。

## 6 関連研究

指の位置を計測するデバイスの事例として、Lightglove [2] およびデータグローブ [3] があげられる。Lightglove は光センサと LED を用いて、データグローブは手袋に内蔵された光ファイバや磁気センサを用いて、それぞれ各指の位置を認識している。これらのデバイスから出力される指先の位置のデータを用いることで運指を取得する。特にデータグローブは触覚の認識を行えるため、触弦の認識に適用できる。しかし、これらのデバイスは弦楽器演奏を想定していないため、指を覆うセンサや手首に固定する回路などが演奏を妨げる。

運指キャプチャギター [4] は、フォトリフレクタ方式による撮像システムをギター本体に組み込み、楽器側から運指を認識している。しかし、運指キャプチャギターは楽器本体に特別な装置を埋め込む必要があり、個人が所有している楽器をそのまま使用して運指を認識できず、また触弦状態を識別できない。

TDR(Time Domain Reflectometry) を用いて、線状の導電物質を組み換えが可能なタッチセンサに

するシステム [5] では、弦楽器の弦をタッチセンサとし、各弦に対して、指 2 本までの触弦位置の認識を実現している。しかし、TDR メータは感度が非常に高く、無線通信などによりノイズが入り認識精度が高くない。また、TDR メータは高価かつ大型のため、一般の利用には適していない。

また、静電容量センサを用いたシステムとして SmartSkin [6] やテルミンなどがあげられる。これらのシステムは人が持つ静電容量を利用しており、接触認識には本研究と同種の技術が使われているが、押弦と触弦を区別する機構がなく、これらの技術をそのまま利用することは難しい。

## 7 おわりに

本研究では、ギターにおける弦やフレットの導電性を利用した触弦認識システムを構築した。提案システムは弦とフレットの導電性や、人が弦に触れた場合の弦の静電容量の変化を利用して押弦、触弦、離弦を認識している。また、触弦を考慮した運指認識技術のアプリケーションについて考察し、カメラと音響信号を組み合わせる従来手法と提案手法との違いを分析した。プロトタイプシステムの評価実験から高精度な触弦認識をできることが明らかになった。

## 参考文献

- [1] 澤 光映, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: 演奏ルールを用いたウッドベースのための実時間運指取得システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブとソフトウェア特集, Vol. 27, No. 1, pp. 56-66 (2010).
- [2] B. Howard and S. Howard: Lightglove: Wrist-Worn Virtual Typing and Pointing, *Proc. of the 5th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2001)*, pp. 172-173 (2001).
- [3] データグローブ, <http://www.nihonbinary.co.jp/124CyberGlove.html>.
- [4] 青木直史, 棚橋 真, 岸本英一, 安田星季, 岩越睦郎: 画像処理によるギター運指動作のキャプチャリング, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. 110 (2005).
- [5] R. Wimmer and P. Baudisch: Modular and Deformable Touch-Sensitive Surfaces Based on Time Domain Reflectometry, *Proc. of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2011)*, pp. 517-526 (2011).
- [6] K. Fukuchi and J. Rekimoto: Interaction Techniques for SmartSkin, *Proc. of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2002)*, demonstration paper (2002).