

## 動的に再構成可能なユニット型電子ギターの構築

丸山 裕太郎<sup>†1</sup> 竹川 佳成<sup>†2</sup>  
寺田 努<sup>†1</sup> 塚本 昌彦<sup>†1</sup>

ギターは長い歴史をもち、幅広い音楽のジャンルで用いられてきた。しかし、従来のギターはフレット数や弦数の固定された構造をしているため、求められる構造に柔軟に適応できなかった。そこで本研究では、弦の音高を制御する指板ユニットおよび発音のタイミングを制御するピックアップユニットを動的に組み合わせることでさまざまなギター構造に適応できるユニットギター (UnitGuitar) を構築する。UnitGuitar は各ユニットを組み合わせることでさまざまな構造のギターを構築できる。さらに、センサやアクチュエータなど入出力機器を搭載した拡張ユニットを用いて直観的な操作や特殊なエフェクトが実現できる。加えて、UnitGuitar は各ユニットが接続されると接続関係を認識し音色および音高の設定を自動で行う機能をもつ。UnitGuitar の有効性を検証するために 2008 年 12 月 13 日および 14 日に行われた、神戸ルミナリエのイベントステージにてプロトタイプを実運用した。

## Construction of a Configurable Unitized Electric Guitar

YUTARO MARUYAMA,<sup>†1</sup> YOSHINARI TAKEGAWA,<sup>†2</sup>  
TSUTOMU TERADA<sup>†1</sup> and MASAHICO TSUKAMOTO<sup>†1</sup>

The guitar has been used in various genre of music in its long history. Generally, a guitar lacks structural flexibility to cover variety of playing styles, which has been one of the limitations of performance using it. In this study, we propose UnitGuitar that can dynamically change the structure by dividing and combining finger-plate units that are used for controlling the pitch, and pick-up units that are used for controlling the timing as unit components. The system recognizes the connection relationships among units configure the settings. We developed a prototype of UnitGuitar and used it in the event stage of Kobe Luminarie on December 13 and 14, 2008, which showed the effectiveness of UnitGuitar.

### 1. はじめに

撥弦楽器であるギターは長い歴史をもち、クラシック音楽をはじめ幅広い音楽ジャンルで用いられ、用途に応じてフレット数や弦数が異なった構造のギターが開発されてきた。また、電子技術の発展に伴い、ピックアップとアンプを使用して電氣的に音を増幅して出力するエレクトリックギターなどさまざまなギターが開発されてきた。しかし、従来のギターはフレット数や弦数が固定されているため、「20 フレットのギターで 24 フレットまで使用する楽曲を演奏できない」「演奏中に異なる構造のギターに変更するためにはギターを持ち替えなければならない」など、求められる構造に柔軟に適応できなかった。また、音楽表現の追及やインパクトのあるパフォーマンスを行うためにマルチネックギターをはじめとする特殊な構造をもつギターも開発されてきたが、演奏者の要求に合わせて作りこまれているものが多く、汎用性に欠ける。

そこで本研究では、4 フレットを基本単位とし、弦の音高を制御する指板ユニットと発音のタイミングを制御するピックアップユニットを動的に組み合わせることでさまざまなギター構造に適応できるユニットギター (UnitGuitar) を構築する。UnitGuitar は指板ユニット、ピックアップユニットおよび拡張ユニットを組み合わせることでさまざまなギターを構築できる。また、UnitGuitar は各ユニットが接続されると、接続関係を認識し音色および音高を自動で設定できる。さらに、センサやアクチュエータなど入出力機器を搭載した拡張ユニットを用いることで直観的な操作や特殊なエフェクトが実現できる。加えて、UnitGuitar は先行研究である UnitKeyboard との統合を目指す。ギターと鍵盤という異なる楽器の特性を組み合わせることで、単一の楽器では実現できない演奏や、演奏しづらかった音楽表現を容易に行える。

以下、2 章で関連研究を説明し、3 章でシステムの設計について述べる。4 章でシステムの実装について説明し、5 章で実運用について述べ、最後に 6 章で本研究のまとめを行う。

### 2. 関連研究

限られた機能をもつユニットを組み合わせることでシステムとして高機能化を図る試みは

<sup>†1</sup> 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>†2</sup> 神戸大学自然科学系先端融合研究環

Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

国内外で行われている．例えば，LEGO 型のブロックを犬や飛行機などの形に組み立てて，その形状をゲーム内で表示させて利用することのできるシステム<sup>1)</sup>が報告されている．しかし，この研究はコンピュータとの直観的なインタラクションを目指しており，音楽利用を目的としたものではない．一方，音楽利用を目的とした研究に，ブロックに効果音などを割り当て，それをつないでさまざまな音楽を作り出すシステム<sup>2)</sup>がある．これは，音楽生成を目的とし，楽器演奏支援を目的としていない．既存のギター演奏スタイルを踏襲し，センサやアクチュエータを活用することで新機能を実現した試みとして，YAMAHA 社の電子ギター EZ-AG<sup>3)</sup>がある．EZ-AG は各フレットにスイッチを採用し，コード進行のナビゲートや半自動演奏を可能にしているが，楽器構造が固定されている．従来とは異なるギター構造をもつ楽器の事例として，TAKARA TOMY 社の AIR GUITAR PRO<sup>4)</sup>がある．AIR GUITAR PRO はスイッチと赤外線センサを搭載した指板部のみで構成され，赤外線が弦とみたて，それを遮ることで発音を行う．しかし，この楽器は演奏者が既存のギターで培った演奏スキルを活かせない．楽器のユニット化をコンセプトとする事例としては，竹川らが開発した UnitKeyboard<sup>5)</sup>がある．UnitKeyBoard は，1 オクターブを基本単位とする鍵盤を組み合わせることでさまざまな鍵盤構造に適應できる鍵盤楽器である．また，センサやアクチュエータなど入出力機器を搭載した拡張ユニットを用いており，直観的な操作を実現している．UnitKeyboard は鍵盤楽器の構築を対象としており，音高設定や発音処理など演奏スタイルの異なるギター構造の構築を目的とする本研究にそのまま適用できない．

### 3. 設 計

本研究で提案する UnitGuitar は以下の方針をもとに設計した．

- ギターの演奏方法を踏襲する．  
ギターは種類により異なる構造をもつが，基本的な演奏方法はすべて同じである．ギター演奏における発音処理は  
(1) 指板部で押弦し，音高を決定する．  
(2) ピックアップ部で弦を弾き，発音のタイミングおよび強さを決定する．  
というように，指板部とピックアップ部の 2 段階で行われる．そこで，演奏者が既存のギターで培った演奏スキルをできるだけ活かせるよう，UnitGuitar はギターの基本的な演奏方法を踏襲するように設計する．
- さまざまな演奏スタイルに適應できる．

図 1 に 4 フレットを基本単位とする指板ユニットおよびピックアップユニットを用いた

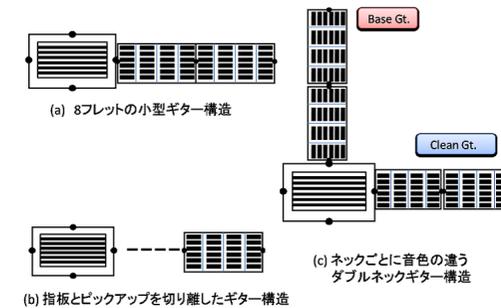


図 1 UnitGuitar の構成例

UnitGuitar の構成例を示す．図 1 - (a) に示すように，2 個の指板ユニットを横並びに接続し，ピックアップ部に接続することで，8 フレットの音域をもつウクレレのような小型ギターを構築できる．また，UnitGuitar は従来とは異なるギター構造を構築できる．図 1 - (b) に示すように，指板ユニットとピックアップユニットを切り離して使用できる．さらに，図 1 - (c) に示すように，指板ユニット群をピックアップユニットの上部および左部の接続ポートに接続することで，ネックごとに異なる音色をもつダブルネックギター構造を構築できる．

- 構造を手軽に構築できる．  
UnitGuitar を使用する場合，ユーザは曲に合わせてギター構造を変更できる．また，演奏しながらギター構造を変更する場合も考えられる．よってできる限りユニット間の脱着作業を負担とならないよう設計することでスムーズな接続操作を実現する．また，接続構造を変化させるたびに音色設定や音程設定を行うことは負担が大きいため，接続関係を自動的に認識し，適切な設定を自動で行う仕組みが必要となる．
- 直観的な操作ができる．  
センサやアクチュエータなど入出力機器を搭載した拡張ユニットを用いることで，動きに応じてエフェクトをかけるなどの直観的な演奏操作を実現する．
- 他のユニット楽器と接続できる．  
ユニット楽器のコンセプトは楽器をユニットの集合と捕え，それらのユニットを自由に組み合わせることで，音域や演奏スタイルの変化に柔軟に適應できる楽器の構築を目的としている．本研究ではユニット化された鍵盤楽器である UnitKeyboard<sup>5)</sup> との統合を目指す．構造の異なる楽器の特性を組み合わせることで，単一の楽器では表現できな

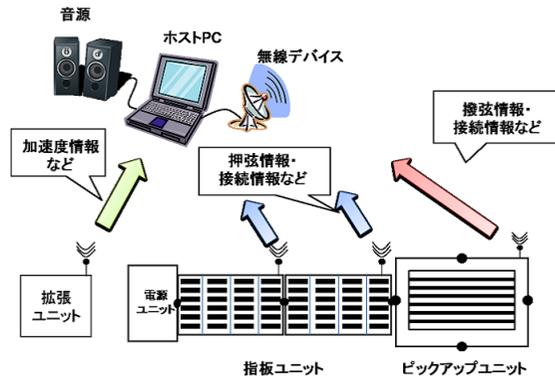


図 2 システム構成

かった演奏や、演奏しづらかった音楽表現を容易に行える新たな電子楽器を構築できる。

### 3.1 システム構成

図 2 に UnitGuitar のシステム構成を示す。システムはホスト、電源ユニット、拡張ユニット、指板ユニットおよびピックアップユニットから構成される。

### 3.2 要素技術

各ユニットに必要な要素技術に関して述べる。

#### 3.2.1 リアルタイム性

構造が演奏中や演奏の合間に変化するため、リアルタイムに構造の関係性の構築を行う必要がある。そこで、システム設計についてデータ管理およびネットワーク構成の観点から議論する。

##### (a) データ管理

図 2 に示すように、システム内でやりとりされるデータは、あるユニットが接続されたときに生成される接続データ、各ユニットのためのコンフィギュレーションデータ、各ユニットで生成される押弦データおよび撥弦データが考えられる。各ユニットにおけるコンフィギュレーションデータや接続データの管理において、ギター構造の構成に変更が生じた場合、全てのユニットに接続関係の更新情報を通知し、更新情報を受信したユニットは自身のコンフィギュレーションの再計算をする必要がある。一般に、ユニットは計算リソースの乏しいマイコンで動作するため、これら通信における処理が大きな負担となってしまうリアルタイム性にかけてしまう。プロトタイプではホストとして PC

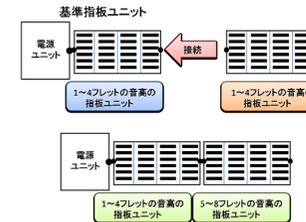


図 3 指板ユニット接続時の音高設定例

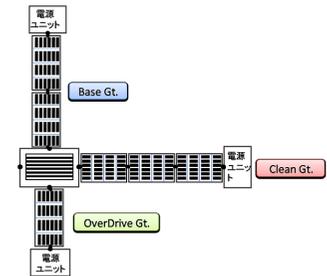


図 4 ピックアップユニット接続時の音色設定例

を用いているが、各ユニットに高機能なマイコンをもたせることでホスト機能を兼ねさせることも可能である。

##### (b) ネットワーク構成

本研究では各ユニットに通信モジュールを組み込み、ホストと直接通信可能にすることでユニット間でのデータのやりとりを少なくするよう設計する。

### 3.2.2 接続位置

#### (1) 指板ユニット

4 フレットの指板である指板ユニットは低音フレット側と高音フレット側にコネクタを搭載し、低音フレット側コネクタには指板ユニットまたは電源ユニットを接続でき、高音フレット側コネクタには指板ユニットあるいはピックアップユニットを直接接続できる。指板ユニット同士がどちらの側面で接続されたかで音域の設定が変化する。音高設定はピックアップ部に近い場所で弦を押弦すると音高が高くなる既存のギターモデルを採用する。図 3 に指板ユニットを接続したときの音高設定例を示す。なお、電源ユニットは指板ユニットの低音フレット側にのみ接続でき、高音フレット側には接続できないものとする。電源ユニットに接続されている指板ユニットを基準指板ユニットと呼び、高音フレット側に接続された指板は 4 フレットずつ高くなる。

#### (2) ピックアップユニット

発音のタイミングを制御するピックアップユニットは上下左右側面にコネクタを搭載し、図 4 に示すように指板ユニットと直接接続できる。なお、各コネクタは電源ユニットを直接接続できないものとする。各コネクタに接続されている指板ユニット群の音色やチューニングはそれぞれ独立して割り当てられる。また、開放弦の音色およびチューニング設定は最後に押弦された指板ユニット群に割り当てられている設定に従う。

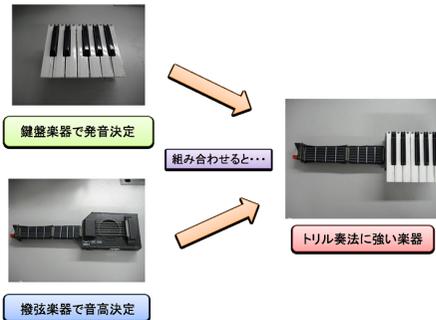


図 5 異なる特性を持つ楽器の組合せ

表 1 音高の決定に利用時の一例

処理番号	内容
1	UnitKeyboard の各鍵盤にオープンコードを割り当てる .
2	打鍵して音のコードを決定する .
3	ピックアップユニットの各弦には打鍵されたコードの各音を割り当てる .
4	発弦して発音のタイミングを決定する .

表 2 ピックアップ部利用時の一例

処理番号	内容
1	UnitKeyboard の C-A の白鍵を 1-6 弦に割り当てる .
2	UnitKeyboard の黒鍵をコード弾き用の鍵とする .
3	指板ユニットを押弦して音高を決定する .
4	打鍵して発音のタイミングを決定する .

### 3.3 他のユニット楽器との接続

ユニット楽器とは、楽器をユニットの集合であると捕え、それらのユニットを自由に組み合わせることで、音域や演奏スタイルの変化に柔軟に対応できる楽器と定義している。そこで本研究では先行研究である UnitKeyboard<sup>5)</sup> との統合を目指す。図 5 に示すように、異なる特性をもつ楽器を組み合わせることで、単一の楽器では実現できない演奏や、演奏しづらかった音楽表現を容易に行える。UnitKeyboard は鍵盤楽器の構築を対象としており、1つのユニットにより音高および発音タイミングを決定する。一方で、UnitGuitar はギター構造の構築を対象としており、指板ユニットとピックアップユニットの2つのユニットで音



図 6 ハードウェア構成

高および発音タイミングを決定するため、発音処理の異なるこれらの楽器をそのまま統合できない。そのため、ギターの発音処理の特性から新たな発音処理を提案する必要がある。ギターの発音処理は

- (1) 指板部で押弦し、音高を決定する。
- (2) ピックアップ部で弦を弾き、発音のタイミングおよび強さを決定する。

というように、指板部とピックアップ部の2段階で行われる。そこで、それぞれの役割を UnitKeyboard に置き換えた発音処理を提案する。

#### (1) 音高の決定に利用

UnitKeyboard を音高の決定に利用する場合の処理例を表 1 に示す。UnitKeyboard で音高を決定し、ピックアップユニットで発音タイミングを決定する。

#### (2) 発音タイミングの決定に利用

UnitKeyboard を発音タイミングの決定に利用する場合の例を表 2 に示す。指板ユニットで音高を決定し、UnitKeyboard の鍵盤で発音タイミングを決定する。

## 4. 実 装

UnitGuitar のプロトタイプを構成を図 6 に示す。システムはホスト、指板ユニット、ピックアップユニット、電源ユニットおよび拡張ユニットで構成される。ホストは ASUS 社のノートパソコン (Z91F, 1.66GHz, 1GB) を使用し、PC 上のソフトウェアの開発は Windows XP 上で Microsoft Visual C++ 2005 を用いて行った。ギターは YAMAHA 社の EZ-AG を 4 フレットごとに切断し、ネック部分の押弦スイッチやピックアップ部分の弦および振動センサを制御する回路を独自に製作して使用した。また、無線モジュールはアローセブン社の

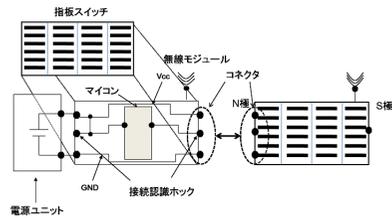


図 7 指板ユニットの構成

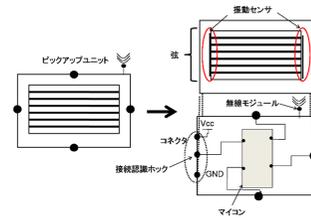


図 8 ピックアップユニットの構成



図 9 エフェクトをかける動作

UM-100 を使用した．指板ユニットおよびピックアップユニットの制御には MICROCHIP 社の PIC16F877A を用いて行った．PIC のプログラミングは MICROCHIP 社の MPLAB 上で CCS 社の PIC C コンパイラを用いた．拡張ユニットに搭載した加速度センサはワイヤレステクノロジー社の WAA-001 を使用した．以下，各構成要素について詳細を説明する．

#### 4.1 指板ユニット

指板ユニットのハードウェア構成を図 7 に示す．指板ユニットは，マイコン，24 個の押弦スイッチ，左右側面に接続関係を構築するためのコネクタ，ホストコンピュータと通信するための無線モジュールで構成される．また，スムーズな脱着操作を実現するために，コネクタはマグネット式コネクタを自作した．図 7 に示すように，各コネクタの極性は，左右でそれぞれ極性が異なるように配置した．これにより，一般的なギター構造に従って接続した場合，引力が働き接続を助長し，ギター構造に反する場合，斥力が働き接続を拒否する．以下，指板ユニットの機能を示す．

- ホストコンピュータとの接続の確立

指板ユニットは電源の接続直後，自身の ID とコネクタに関する情報を送信して接続を確立する．

- 押弦情報の通知

押弦イベントが発生している間，ホストコンピュータに押弦情報を送信し続ける．

- 接続の監視および通知

指板ユニットは，コネクタを用いて接続関係を構築する．ユニットの脱着は指板ユニット内のマイコンが，コネクタ内の接続認識ホックの電圧を測定することで検出する．また，接続認識ホックの変化を検出したユニットは，「状態変化があった接続認識ホックのコネクタ」をホストに通知する．このように物理的な接続関係を築くことで，指板ユニット同士の接続関係として視覚的に理解できる．また，指板ユニットはホストとのみ

通信し，指板ユニット同士では通信しない．

#### 4.2 ピックアップユニット

ピックアップユニットのハードウェア構成を図 8 に示す．ピックアップユニットは，マイコン，振動を検出する 6 つの振動センサおよび弦，上下左右側面に接続関係を構築するためのコネクタ，ホストコンピュータと通信するための無線モジュールで構成される．また，指板ユニットと同様に，コネクタはマグネット式コネクタを自作した．以下，ピックアップユニットの機能を示す．

- ホストコンピュータとの接続の確立

ピックアップユニットは電源投入直後，自身の ID とコネクタに関する情報を送信して接続を確立する．

- 撥弦情報の通知

振動センサが接続されている弦を弾くことで，振動センサの電圧値が変化する．変化した電圧値をユニット内のマイコンが A/D 変換により測定することで撥弦イベントを検出し，撥弦情報をホストコンピュータに送信する．

- 接続の監視および通知

ピックアップユニットは指板ユニットと同様に，コネクタを用いて接続関係を構築する．上下左右側面のコネクタに指板ユニットが接続されると，コネクタ内の接続認識ホックの電圧が変化する．これをピックアップユニット内のマイコンが測定し，ホストコンピュータに送信する．

#### 4.3 拡張ユニット

図 9 のように加速度センサを搭載した拡張ユニットを用いて，発音した音色に動きでエフェクトをかける機能を実現した．3 軸方向にしきい値を設け，その値を超えた動作を行う

ことにより認識を行っている。

#### 4.4 ホスト

ホストは、各ユニットのコンフィギュレーションデータの管理などを行うための CPU やメモリ、各ユニットと通信するための無線モジュール、発音を行うための音源モジュールをもつ。ホストの機能は以下に示すように3つある。なお、ホストにユニットのコンフィギュレーションなどシステムステータスを表示する機能を必須としない。したがって、プロトタイプではホストとして PC を用いているが、各ユニットに高機能なマイコンをもたせることでホスト機能を兼ねさせることも可能である。

- デバイス情報の管理  
各ユニットのデバイス情報を管理する。
- 発音処理  
ユニットのデバイス情報と受信した押弦情報および撥弦情報をもとに、音源モジュールを用いて発音する。
- 音色設定およびチューニング設定  
ピックアップユニットの各コネクタに接続された指板ユニットの音色およびチューニングを設定する。

#### 5. 実 用

UnitGuitar の有効性を検証するために 2008 年 12 月 13 日および 14 日に行われた、神戸ルミナリエのイベントステージにてプロトタイプを実運用した。ステージでは、UnitGuitar を用いて、先行研究の UnitKeyboard<sup>5)</sup> とともに歌と演奏によるショーパフォーマンスを行った。ピックアップユニットと指板ユニットが独立している UnitGuitar の特性を活かすことで、左手を動かしながら演奏するというこれまでにないパフォーマンスを行えた。一方で、押弦するコードによって指板ユニットを持ち換えなければならないことがあり、演奏しづらいことがあった。また、指板ユニットおよびピックアップユニットの各データをホストに送信するときに、パケットが衝突し、ホスト・ユニット間でのデータのやりとりがうまくできず音が鳴らないといったトラブルが起きた。これは、演奏において致命的であるため、ユニットの構成によって最適な通信方式を動的に選択する仕組みや、コード演奏においては各和音の押弦・撥弦データを補完するなど、トラブル時に演奏をスムーズに行える機能を構築していきたい。

#### 6. おわりに

本研究では、4 フレットを基本単位とし、弦の音高を制御する指板ユニットおよび発音のタイミングを制御するピックアップユニットを動的に組み合わせることでさまざまなギター構造に適用できる UnitGuitar を構築した。UnitGuitar の接続構造はリアルタイムに認識され、設定を自動的に行う機能をもつ。また、センサやアクチュエータなど入出力機器を搭載した拡張ユニットを用いることで直観的な操作を実現した。UnitGuitar のプロトタイプを作成し、2008 年 12 月に行われた神戸ルミナリエのイベントステージにてパフォーマンスを行った。ピックアップユニットと指板ユニットが独立している UnitGuitar の特性を活かすことで、左手を動かしながら演奏するといったこれまでにないパフォーマンスを行えることを確認した。

今後の課題としては、演奏によって最適な通信方式を動的に設定できる機能の構築や UnitKeyboard との接続および音色設定アルゴリズムの実装を目指したい。

#### 7. 謝 辞

本研究の一部は、中山隼雄科学技術文化財団研究助成の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) D. Anderson, J. Frankel, J. Marks, A. Agarwala, P. Beardsley, J. Hodgins, D. Leigh, K. Ryall, E. Sullivan, and J. Yedida: Tangible Interaction Graphical Interpretation: A New Approach to 3D Modeling, *Proceedings of Special Interest Group on Computer GRAPHics (SIGGRAPH2000)*, pp. 393-402, 2000.
- 2) M. Kaltenbrunner, S. Jorda, G. Geiger, and M. Alonso: The reacTable: A Collaborative Musical Instrument, *Proceedings of Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprise (WETICE2006)*, pp. 406-411, 2006.
- 3) YAMAHA EZ-AG ホームページ:  
<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-ag/index.php>.
- 4) TAKARA TOMY AIR GUITAR PRO ホームページ:  
<http://www.takaratomy.co.jp/products/airguitar>.
- 5) 竹川佳成, 寺田 努, 西尾章治郎: さまざまな演奏スタイルに適用可能な電子鍵盤楽器 UnitKeyboard の設計と実装, *日本ソフトウェア科学会論文誌, インタラクティブソフトウェア特集*, Vol. 26, No. 1, pp. 38-50, 2009.