

# 追加黒鍵をもつ小型鍵盤楽器モバイルクラヴィア II の設計と実装

竹川佳成 寺田 努 塚本昌彦 西尾章治郎

大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻

筆者らの研究グループでは、いつでもどこでも楽器を演奏できるモバイル楽器の開発を行ってきた。モバイル楽器の1つであるモバイルクラヴィアは、常に小型鍵盤を持ち歩く環境を想定し、小型鍵盤を用いてPC操作や文字入力を行えるようにしたシステムである。モバイルクラヴィアは入力インタフェースであると同時に楽器でもあるため、その芸術性を損なうことなく華麗に入力できる。このような小型鍵盤を用いて音域が広い楽曲を演奏する場合、電子鍵盤楽器の音域内に存在しない音高が現れる場合がある。従来のキーボードでは、鍵盤全体の音高を指定した分だけずらすキートランスポーズ機能を用いることが一般的である。この機能により目的は達成できるものの、打鍵している鍵とその出力音の相違を始めとするいくつかの問題があった。そこで、本研究ではモバイルクラヴィアの演奏性向上のために、音域変更操作をスムーズに行える仕組みを備えたモバイルクラヴィア II の構築を目的とする。モバイルクラヴィア II は、白鍵間全てに黒鍵を挿入することでキートランスポーズの問題点を解決する。提案システムを用いることで違和感のないキートランスポーズが行えるため、音域の広い楽曲を演奏しやすくなる。

## Design and Implementation of Mobile Clavier II, which is a compact clavier with additional black keys

Yoshinari TAKEGAWA Tsutomu TERADA Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Our research group has proposed and developed mobile electronic musical instruments to enable users to play music anytime and anywhere. Mobile Clavier, which is one of the mobile electronic musical instruments, is a system to control a PC and to type the sentence in an environment where users carry on a portable clavier anywhere. Because Mobile Clavier is not only an input interface but also a musical instrument, users can input characters like playing music. In the case where we use such a portable clavier for playing music that has a wide range, playing notes frequently protrude from the diapason of the electronic clavier. In the conventional portable claviers, it is common to use the key-transpose function, which shifts a certain amount of pitch. However, this function has several problems such as uncomfortable feeling between the keying position and its output sound. Therefore, the goal of our study is to construct the Mobile Clavier II, which can change the diapason smoothly. Mobile Clavier II can adopt problems of the key-transpose by inserting black keys between any two side-by-side white keys. Using our system, it becomes easy to play music that has a wide range.

### 1 はじめに

筆者らの研究グループでは、いつでもどこでも楽器を演奏し音楽を能動的に楽しみたいという要求を満たすため、手軽に持ち歩いて利用できるモバイル楽器の開発を行ってきた [1, 2]。モバイル楽器の1つであるモバイルクラヴィア [3] は、常に小型鍵盤を持ち歩く環境を想定し、小型鍵盤を用いてPC操作や文字入力を行えるようにしたシステムである。モバイルクラヴィアは入力インタフェースであると同時に楽器でもあるため、その芸術性を損なうことなく華麗に入力操作が行える。

このような小型鍵盤を持ち歩くことが一般的になると、小型鍵盤を用いて音域が広い楽曲を演奏する機会も多くなり、電子鍵盤楽器(以降、キーボード)の音域内に存在しない音高が現れる場合が出てくる。従来のキーボードでは、鍵盤全体の音高を指定した分だけずらすキートランスポーズ機能などを用いて音域の狭さをカバーすることが一般的である。このような機能により目的は達成できるものの、打

鍵している鍵とその出力音の相違、どの鍵に何の音割り当てられているか視覚的に判別不可能、音域変更操作のしづらさといった問題があった。

そこで本研究では、小型鍵盤の演奏性向上のために、音域変更操作をスムーズに行える仕組みを備えたモバイルクラヴィア II の構築を目的とする。モバイルクラヴィア II は、キーボードの白鍵間において黒鍵がない部分に追加黒鍵を挿入することでキートランスポーズ機能の問題点を解決する。

以下、2章で既存の音域変更機能について説明し、3章でモバイルクラヴィア II の設計について述べ、4章でモバイルクラヴィア II の実装について述べ、5章で関連研究について説明する。最後に6章で本研究のまとめを行う。

### 2 音域変更機能

演奏中にキーボードの音域内に存在しない音高が現れた場合、キーボードの音域を指定した分だけ

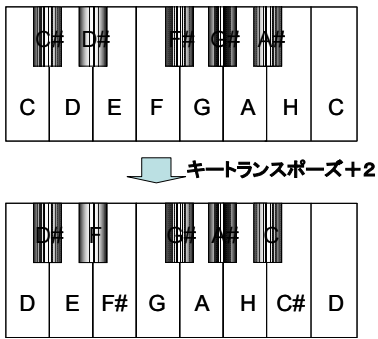


図 1: キートランスポーズによる音配置の変化

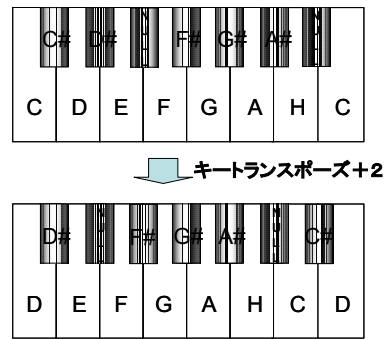


図 2: モバイルクラヴィーア II のキートランスポーズ

ずらず音域変更機能を用いることが一般的である。既存の音域変更機能としては、ピッチベンド機能、キートランスポーズ機能、オクターブシフト機能の3つがある。

#### ピッチベンド機能

ピッチベンド機能は、キーボードに搭載されているピッチ・ホイールを回転させることで、音域を滑らかに変化させる機能である。ピッチ・ホイールを目一杯回したときの最大音域変化量も自由に設定でき、半音ステップで最大2オクターブ分まで可能である。ピッチ・ホイールはスプリングの力で中央に戻るようになっており、手を離せば自動的に音域も初期状態に戻る。ピッチベンド機能は、本来はギターなど音高を滑らかに変化させられる楽器をシミュレートするときに用いる機能であるため、音域変更に適した機能であるとは言えない。

#### キートランスポーズ機能

キートランスポーズ機能は、キーボードに搭載されているボタンにより半音単位で音域をスライドさせる機能である。ピッチベンド機能のように連続的に音域を変更することはできないが、一度音域を変更すれば再設定を行わない限り音域は変化しない。図1に、キートランスポーズ+2(各鍵の音高を半音×2高くする)の設定をした場合の鍵とその出力音との関係を示す。

#### オクターブシフト機能

オクターブシフト機能は、キートランスポーズ機能の音域移動単位を、1オクターブにしたものである。つまり、オクターブシフト機能は、キートランスポーズ+12と同等である。

このように、音域を変更する機能は存在するが、これらの機能はいくつかの問題点をもつ。まず、ピッチベンド機能、キートランスポーズ機能には以下の2つの問題点がある。

1. 打鍵した鍵とその出力音との違和感
2. 各鍵の出力音が視覚的に理解困難

最初の問題点は絶対音感をもつ者に特に見られ、Cの鍵からはC音以外の音が出ることは気持ち悪いと感じるものである。特に鍵盤演奏者は、次に弾く鍵を鍵盤の物理的な位置ではなく音情報で記憶している場合が多いため、音域変更していない状態の音配置の癖で弾いてミスタッチを引き起こしてしまう。従って、通常ならば演奏できる楽曲であっても、その出力音を聴かないようにするといった何らかの意識や訓練をしないと、途中で混乱が生じスムーズに演奏できなくなる。2番目の問題点は、現在の音の割り当て状況が視覚的にわからないため、音域変更を幾度となく行った場合など、どの鍵に何の音が割り当てられているかわからなくなるというものである。

また、3つの音域変更機能すべてにあてはまる問題として、音域変更時の操作性の悪さがある。例えば、ピッチ・ホイールの音域変更には、微妙な力加減が必要であり、他の2つの方法では移調が半音/1オクターブ単位に限られているため音域変更回数が増加する。これらの操作性の悪さが演奏に影響することは必至である。

### 3 モバイルクラヴィーア II の設計

前章で述べたように、既存の音域変更機能にはいくつかの問題点がある。そこで、それらの問題点を解決する小型鍵盤楽器であるモバイルクラヴィーア II を提案する。小型鍵盤において、白鍵間に黒鍵がない部分(図1上における鍵Eと鍵F間、鍵Hと鍵C間)に黒鍵を挿入することで、違和感のない音域変更を実現する。以下提案方式について詳細に説明する。

### 3.1 追加黒鍵

モバイルクラヴィア II は、図 2 上に示すように、白鍵間に黒鍵がない部分に追加黒鍵を挿入した小型鍵盤である。また、モバイルクラヴィア II の音階には、無音を意味する NULL 音を新たに導入する。初期状態では図 2 上に示すように、NULL 音は鍵 E と鍵 F 間、鍵 H と鍵 C 間に設定されている。NULL 音が割り当てられている鍵を NULL 鍵と呼ぶ。

モバイルクラヴィア II でキートランスポーズ機能を用いる場合、NULL 鍵を移動させることでキートランスポーズさせる。例えば、図 2 上の状態からキートランスポーズ+2 の操作を行ったときの鍵と音配置の関係を図 2 下に示す。図 1 に示す通常の鍵盤でキートランスポーズ機能を用いた場合、打鍵する鍵と出力音の違いによる違和感がある。しかし、モバイルクラヴィア II は、NULL 鍵を存在しない鍵であるとみなすことであたかも最左端が D 音から始まる通常の鍵盤のように見えるため、打鍵している鍵とその出力音との違いによる違和感がない。

また、モバイルクラヴィア II は、その特性から音域設定の最小単位は全音となる。これは、半音単位での設定を許容すると、全ての黒鍵に白鍵の音、全ての白鍵に黒鍵の音が割り当てられる場合が存在してしまうためである。また、NULL 鍵を打鍵しても音が出力されない鍵と定義したが、補助音や特殊な機能を割り当てることもできる。楽曲によっては一般の成人男性でも指が届かない(届きにくい)和音が記譜されている場合があるため、補助音としてその音を NULL 鍵に割り当てるといった活用方法も考えられる。

### 3.2 NULL 鍵判別方法

モバイルクラヴィア II において、移調しても違和感なく演奏するには、NULL 鍵が現在どこに配置されているかが視覚的に判別できなくてはならない。判別方法としては、黒鍵全体もしくは一部を光らせ、その ON/OFF で判別する方法や、白鍵を光らせる方法(例えば、C 鍵、D 鍵、E 鍵で 1 つのグループ、F 鍵、G 鍵、A 鍵、H 鍵で 1 つのグループとし、グループごとに違う色を光らせると、色の境目の黒鍵が NULL 鍵となり判別できる)、また、物理的に NULL 鍵をへこませる(打鍵状態にする)ことで、NULL 鍵そのものを目立たなくする方法も考えられる。

これらの判別方法はそれぞれ利点・欠点をもつため、実際にいくつかの手法を実装して有効性を確かめた。実装の詳細については 4 章で述べる。このようにすることで、各鍵に割り当てられている音高情報を視覚的に理解できないという問題を解決してい

る。一方、現状ではオクターブ位置を視覚的に知ることはできないため、今後はオクターブ情報の提示についても考える必要がある。

### 3.3 音域変更操作

基本的に小さな鍵盤楽器であるほど音域変更操作の回数が増加する。従来のキートランスポーズでは、半音またはオクターブごとの音域変更操作しかできないため、求める音域に素早く設定することは困難である。片手で演奏している状況なら空いている手で音域変更操作ができるが、両手で演奏している場合は、音域変更操作のために一時的に演奏を中断しなければならない。モバイルクラヴィア II では追加黒鍵によりキートランスポーズの違和感を取り除いたが、スムーズに音域変更操作が行えないと広い音域の楽曲を演奏しづらい。

演奏を中断することなくスムーズに音域変更操作を行う方法としては、電子鍵盤楽器に搭載されているボタン等を用いるハードウェア的な解決方法と、あらかじめ演奏する楽曲に音域変更ポイントを設定し、音域変更ポイントを通過したら自動的に音域を変更するといったソフトウェア的な解決方法がある。ソフトウェア的な解決は、システム側で自動的に音域を変更してくれるため演奏者に負担がかからないが、あらかじめ演奏する楽曲に応じた音域変更ポイント、変化量などを設定しておく必要があるため、演奏者が自由に音域を変更することができない。また、視聴者は視覚的に音域操作が行われていることを理解できない。そこで本研究ではハードウェア的な方法により解決を図る。

音域変更操作方法としては以下の 4 つの方法を提案する。

#### 1. キーボード付属部品を使用

一般に、キーボードにはいくつかのスイッチ/ホイールが搭載されているため、それらに音域変更操作を割り当てる。利用できるスイッチ/ホイールが複数あれば、それぞれに異なった音域の変化量を割り当てる。

この方法は、既にキーボードに搭載されているハードウェアを用いているため、新たに付属のハードウェアを取り付ける必要がない。また、音域変化量の種類は、スイッチ/ホイールの数だけ増やすことができるため、効率的な音域変更操作を行うことができる。

一方、スイッチ/ホイールに割り当てられていた機能を削らなければならないというトレードオフが発生する。さらに、操作は手を使って行い、しかも鍵盤上から少し離れたところにあるため、操作時は鍵盤から手を離して音域変更操作部分まで腕を伸ばさなければならない。従って、両手演奏中は一時的



図 3: OXYGEN8 の外観

に演奏を中断しなければならないときもある。

## 2. NULL 鍵を使用

NULL 鍵は、打鍵してもそこから何も音が出力されない NULL 音が設定されている。そこで、NULL 鍵に音域変更操作機能を割り当てる。

この方法は、操作を行うときに、鍵盤から手を離さなくても音域変更操作が可能である。しかし、音域変更する度に NULL 鍵の位置が変化するため操作部分が固定されない。

## 3. 新たなハードウェアを使用

両手演奏中でもスムーズに音域変更をするために、足で音域を操作する方法を提案する。自作の足用スイッチ、足で操作できるフット・マウス [4]、フット・コントローラ [6] などが考えられる。しかし、いずれも新たなハードウェアを持ち歩かなければならない。

## 4. 移動センサを使用

キーボード本体に移動センサを内蔵させ、キーボードを移動させたときの移動量を音域変化量と対応付ける。

この手法は、新たにハードウェアを持ち歩く必要もなく、両手演奏中の音域変更が可能である。また、鍵盤その物が移動するため、音域変更したときの出力音とその鍵と物理的な位置関係が実鍵盤と同じになる。故に、演奏者は、腕や手の位置がアナログピアノと同じ感覚で演奏できる。一方、センサがキーボードの移動を正確に検知できる環境（机上など）作りをしなければならないため、使える場所が限られる。

## 4 システムの実装

以上に述べたモバイルクラヴィーア II のプロトタイプを実装した。モバイルクラヴィーア II のハードウェアは、モバイルクラヴィーアと同じ M-AUDIO JAPAN 社の OXYGEN8 (図 3) をベースに改良を行った。OXYGEN8 は、フルサイズ 25 鍵盤を搭載し、MIDI 出力、MIDI コントロールナンバーのアサイ

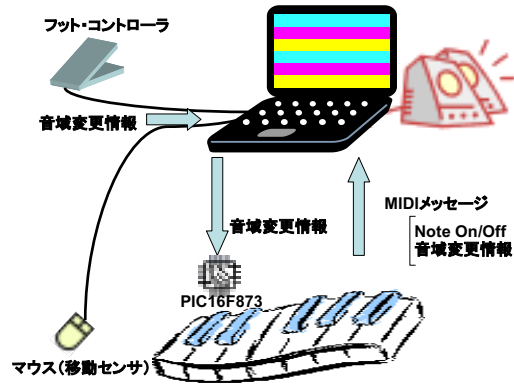


図 4: システム構成図



図 5: 改良した OXYGEN8 の外観

ンが可能な 8 系統のロータリーコントローラなどを備える。プロトタイプシステムの構成図を図 4 に示す。各デバイスから送られてくる音域変更情報は、PC が一括して管理し、受信した音域変更情報と、キーボードから受信する MIDI メッセージをもとに出力音を決定する。さらに、鍵盤に付加した PIC マイコンに音域変更情報をシリアル通信を用いて送信し、PIC は受信した音域変更情報に従って NULL 鍵を制御する。PC 上ソフトウェアの開発は Windows XP 上で Microsoft Visual C++ 6.0 を用いて行った。PIC のプログラミングは、MICROCHIP 社の MPLAB 上で C 言語を用いて行った。

### 4.1 追加黒鍵

OXYGEN8 は、各鍵が独立して設置されており、容易に鍵の取り外し/取り付けができる。黒鍵を無理やり白鍵の間に挿入するのではなく、一度鍵を全て取り外し白鍵と黒鍵を交互に並べていった。最終的に図 5 に示すような外観になった。従って鍵盤数は当初と同じ 25 鍵のままである。また、白鍵が配置されている箇所を黒鍵に置き換えずらしていったため、1 オクターブの間隔が、通常の鍵盤楽器の間隔より黒鍵 2 つ分大きくなってしまった。さらに、最適な幅をもつ白鍵がなかったため白鍵間で隙間が

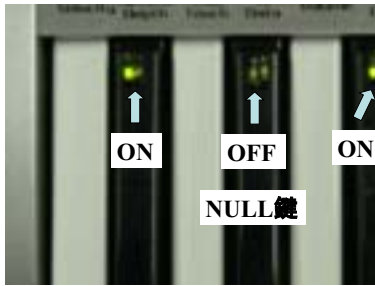


図 6: 局所的にに光らせた黒鍵



図 7: 全体を光らせた黒鍵

できてしまった。普段使い慣れている鍵盤楽器と感覚が異なるため、馴れるまでにミスタッチが目立った。しかし、理想的には、現在の鍵盤楽器の1オクターブと同様の大きさで黒鍵挿入した鍵盤楽器を作成できるため、専用の鍵盤楽器を製作すればこれらの問題は解決できる。

#### 4.2 NULL 鍵判別方法

NULL 鍵とそれ以外の黒鍵との区別をつけるために、何らかの方法で NULL 鍵を判別する仕組みが必要となる。本プロトタイプではそのような判別機構として、Chip LED を用いたものとエポキシ系樹脂を用いたものの2パターンを製作した。

Chip LED を用いたものは、黒鍵上に赤と緑の Chip LED を配置し、小型マイコンである PIC16F873 を用いて Chip LED の色を制御し視覚的に NULL 鍵が判別できるようにした(図 6)。表 1 に示すように、いくつかのパターンで Chip LED を光らせて実際に演奏を行ったところ、筆者の主観であるが、最も演奏しやすかったのはパターン F であった。多数の被験者による評価実験は今後の課題である。

また、Chip LED はそれほど存在感がないため、即座にどの鍵に何の音が配置されているかを把握しにくかった。弾きなれている(演奏に余裕がある)

表 1: LED の光り方のパターン

パターン	NULL 鍵	NULL 鍵以外
A	赤点灯	緑点灯
B	緑点灯	赤点灯
C	赤点灯	消灯
D	緑点灯	消灯
E	消灯	赤点灯
F	消灯	緑点灯



図 8: フット・コントローラの外観

曲であれば、演奏に支障を来すことはなかったが、余裕がない曲の場合はミスタッチが多くなった。

次に、図 7 に示すようにエポキシ系樹脂を用いて黒鍵と同じ形の無着色な透明黒鍵を作成し、黒鍵全体を光らせることで、より視覚的にわかりやすく NULL 鍵判別ができるようにした。透明黒鍵の側面と底を黒く着色して、内部に白色 LED を挿入することで、LED 点灯時には LED の光により鍵が白くなり、非点灯時には鍵が黒く見えるようにした。このように鍵盤全体の色が変化することで、一部分だけを光らせた場合に比べて演奏性が向上した。しかし、擬似的に白く着色した黒鍵の色と本物の白鍵の色は、まだ隔たりがあるためさらにわかりやすい NULL 鍵判別方法の構築が今後の課題である。

#### 4.3 音域変更操作

3.3 節で述べた音域変更操作をそれぞれ実装した。

##### 1. キーボード付属部品を使用

キーボード付属部品として OXYGEN8 に搭載されているピッチ・ホイール、モジュレーション・ホイール、オクターブシフトスイッチを用いた。ホイール系部品は、上下に動かすことができるので2パターン、オクターブスイッチも2つ(上シフト用、下シフト用)あるため、計6パターンの音域変化量を割り当てることができる。各操作に対応する変化量は、ユーザの好みに合わせ任意の量を設定できる。

##### 2. NULL 鍵を使用

各 NULL 鍵の音域変化量は、任意に設定できるようにした。また、キーボードの音域に応じて、NULL 鍵の数が3個もしくは4個の間で移り変わるため、



各々について音域変化量を設定するようにした。また、NULL 鍵の打鍵前後 50msec 以内に NULL 鍵以外の鍵が打鍵された場合、または NULL 鍵のペロシティが任意の閾値以上でない場合は NULL 鍵打鍵をミスタッチとして処理するようにしてある。

### 3. 新たなハードウェアを使用

新たなハードウェアとしてフット・コントローラを用いたものを実装した。フット・コントローラとしては、Roland 社の GFC-50(図 8) を用いた。GFC-50 は、5 つのナンバーペダルと 1 つのシフトペダルを備える。シフトペダルの ON/OFF によりナンバーペダルは 2 つの状態をもつため、GFC-50 は最大 10 パターンの音域変化量を割り当てられる。各操作に対する変化量は、任意に設定できるようにした。

しばらく操作に馴れるのに時間がかかったが、両手演奏中でもスムーズに音域変更が可能であった。しかし、余分なハードウェアを持ち歩かなければならないという問題がある。

### 4. 移動センサを使用

移動センサとして、マウスを用いた音域変更機能を実装した。鍵盤に固定したマウスが白鍵 1 つ分横に移動したときに 2 度移動するように設定し、上下の移動でオクターブ単位の音域変更ができるようにした。

各方法はそれぞれ特徴をもち、どれが最適か決めることは困難であるため、本システムではこれらの方法を、選択的に組み合わせる利用できるようにした。

プロトタイプでは、操作部分に割り当てられる音域変化量は、ユーザが経験則から任意に割り当てている。また、演奏中のどのタイミングで音域変更操作を行うかも経験的に決定している。今後は、楽曲解析による最適な音域変化量の算出や、音域変更回数を最小にする音域変更ポイントを自動的に求め、そのようなユーザの手間を省けるようにしていきたい。

## 5 関連研究

小型化による演奏性の低下を克服するための取り組みとしては、キートランスポーズ機能や、PocketMusician の両手入力機能、TP65S の複数アサイン機能などがある。キートランスポーズ機能は、2 章で述べたように、鍵盤の小型化による鍵盤数の減少をカバーするため音域を移動させる機能であり、本研究はこのキートランスポーズの概念を拡張したものであるといえる。また、PocketMusician は小型ゲーム機を用いたコード楽器である。小型の筐体を用いているため、入力キー数 (8 ボタン) では多様

なコードを表現できない。そこで PocketMusician では、両手による組み合わせ入力で複雑なコードを表現している。PocketMusician のように全く新しい楽器を作る場合には、最初から小型でも演奏性の高い入力方式を用いることが有効であるといえる。一方、モバイルクラヴィア II のように、演奏方法があらかじめ決まっているような場合は、本研究のように付加的な機構を用いて演奏性を高めることが有効である。また、TP65S は、電子ドラムの一部品であるスネアパッドを拡張したものである。これは、パッドのヘッド部、上リム部、下リム部それぞれ別の音をアサインできる。例えば、ヘッド部を叩いたときはヘッドを叩いた音を、上リム部を叩いたときはリムだけ叩いた音を、下リム部を叩いたときはヘッドとリムを同時に叩いた音をとすることでスネアドラムとしての演奏性が広がり生ドラムに近い表現が可能になる。

## 6 おわりに

本研究では、小型鍵盤の演奏性向上を目指したモバイルクラヴィア II について述べた。モバイルクラヴィア II は、白鍵間において黒鍵がない部分に追加黒鍵を挿入することでキートランスポーズの問題点を解消した。提案システムを用いることで、違和感のないキートランスポーズができ、音域の広い楽曲を演奏しやすくなる。

今後の課題としては、モバイルクラヴィア II に PC 操作機能をもたせた統合システムの開発や、よりスムーズな音域変更操作の提案などが挙げられる。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 塚本昌彦: “PocketMusician: 両手入力による携帯型コード演奏システム,” 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2001-MUS-40), Vol. 2001, No. 3, pp. 15-20 (May 2001).
- [2] 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “二つの PDA を用いた携帯型エレキベースの設計と実装,” 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 2, pp. 266-275 (Feb 2003).
- [3] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “鍵盤を用いた PC 用入力インタフェースの設計と実装,” 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2004-MUS-55), Vol. 2004, No. 41, pp. 27-32 (May 2004).
- [4] <http://www.edikun.co.jp/footmouse/footmouse.htm>
- [5] <http://www.roland.co.jp/products/mi/GFC-50.html>
- [6] [http://www.yamaha.co.jp/gateway/goods/0000001022/0000001022\\_D1.html](http://www.yamaha.co.jp/gateway/goods/0000001022/0000001022_D1.html)