



追加黒鍵を持つ小型鍵盤楽器モバイルクラヴィーアIIの設計と実装

竹川, 佳成
寺田, 努
塚本, 昌彦
西尾, 章治郎

(Citation)

情報処理学会論文誌, 46(12):3163-3174

(Issue Date)

2005-12-15

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002121>



追加黒鍵を持つ小型鍵盤楽器モバイルクラヴィーア II の設計と実装

竹 川 佳 成[†] 寺 田 努[†]
塚 本 昌 彦^{††} 西 尾 章 治 郎[†]

楽器演奏者の多くは、自己表現やコミュニケーションのために自分の演奏をだれかに披露したいという欲求がある。したがって、路上や街角などでいつでもどこでも演奏を披露できれば、音楽によるコミュニケーションがより推進されるといえる。しかし、多くの楽器は大きく重いため持ち歩きに適しておらず、一方、持ち歩きに適した小型の楽器は音域が狭いという問題点がある。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。従来の電子鍵盤楽器では、鍵盤全体の音域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はじめとするいくつかの問題があった。そこで、本研究では、従来の鍵盤楽器で習得した技術を活かしながら、音域変更をスムーズに行える仕組みを備えた小型鍵盤楽器モバイルクラヴィーア II の構築を目的とする。モバイルクラヴィーア II は、白鍵間すべ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,[†]
MASAHICO TSUKAMOTO^{††} and SHOJIRO NISHIO[†]

There are many musical performers who want to demonstrate their performance anytime and anywhere by carrying with their musical instruments. Such kind of opportunities encourages the self-expression and the communication by music. Therefore, if they can perform anywhere, communication by music will be encouraged. However, many instruments are too big and too heavy to carry. On the other hand, portable instruments, which are suitable for carrying, have several limitations, such as a narrow range of diapason. In the case where we use such a portable clavier for playing music that has a wide diapason, playing notes frequently protrude from the diapason of the clavier. In the conventional portable claviers, it is common to use the key-transpose function, which shifts a diapason. 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 Mobile Clavier II, which can change the diapason smoothly and make good use of the technic acquired in a conventional clavier. 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 diapason.

1. はじめに

楽器演奏者の多くは、自己表現やコミュニケーションのために自分の演奏をだれかに披露したいという欲求がある。したがって、コンサートやライブハウスなど固定された場所に限らず、路上や街角などでいつで

もどこでも演奏を披露できれば、音楽によるコミュニケーションがより推進されるといえる^{1)~3)}。しかし、多くの楽器は大きく重いため持ち歩きに適しておらず、一方、持ち歩きに適した小型の楽器は音域が狭いという問題点がある。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（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ある。従来のキーボードでは、鍵盤全体の音域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

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{††} 神戸大学工学部電気電子工学科
Faculty of Engineering, Kobe University

る鍵とその出力音が異なる, 各鍵の割当て音が視覚的に判別できない, 音域変更操作がしにくい, 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ーア II を構築することを目的とする. モバイルクラヴィーア II では, 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によりキートランスポーズ機能の問題点を解決する. モバイルクラヴィーア II は従来の鍵盤楽器を改良した楽器であるため, 演奏する際にはこれまでの鍵盤と同様に演奏でき, 改良部分を活用することで音域の広い楽曲を演奏できるようになっている.

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ーア II の設計について述べる. 4 章でモバイルクラヴィーア II の実装について述べ, 5 章で評価を行う. 6 章で関連研究について説明し, 最後に 7 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ずらす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. また, 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, 一般に, 半音単位で最大 2 オクターブ分まで変化させられる. 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いるため, 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いえない.

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変化させる機能である. したがって, ピッチベンド機能のように連続的な音域変更はできない. また, 一度音域を変更すれば, 再設定を行わない限り音域は変わらない. キートランスポーズ +2 (各鍵の音高を半音 $\times$ 2 高くする) の操作をした場合, 鍵と出力音との関係は図 1 のようになる.

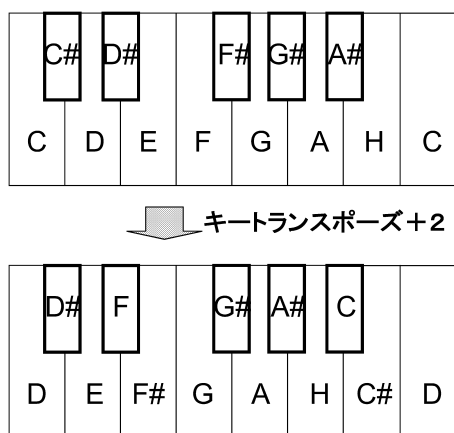


図 1 キートランスポーズによる音配置の変化

Fig. 1 An example of change in sound allocation by the key-transpose function.

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, さまざまな音域変更機能が存在する. しかし, これらの機能はいくつか問題点を持つ. まず, ピッチベンド機能, キートランスポーズ機能は次の 2 つの問題点を持つ.

- (1) 打鍵した鍵とその出力音に違和感がある.
- (2) 各鍵の出力音が視覚的に理解できない.

最初の問題点は絶対音感を持つ者に多く見られ, たとえば C の鍵から C 音以外の音が出ることに對し違和感を持つという問題である. 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音配置の癖で弾いてミスタッチをしてしまう. したがって, 音域変更を行った場合, 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ければ, 演奏の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, 現在の音の割当て状況が視覚的に分からないため, 音域変更を幾度となく行った場合など打鍵すべき鍵が分からなくなる問題である.

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, 音域変更の操作性の悪さがある. たとえば, ピッチ・ホイールを使った音域変更操作は, 微妙な力加減を必要とする. 他の 2 つの方法は移調が半音/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. このような操作性の悪さが演奏に影響することは必至である.

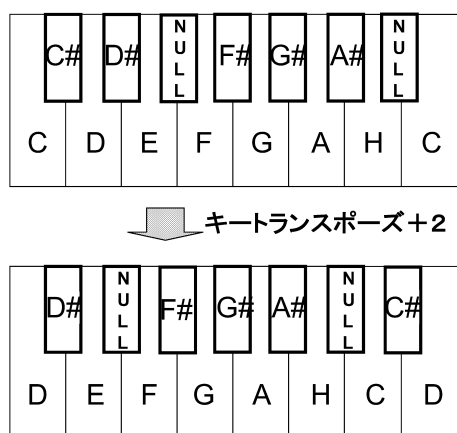


図2 モバイルクラヴィア II のキートランスポーズ
Fig.2 The key-transpose function in Mobile Clavier II.

3. モバイルクラヴィア 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ア II を提案する。モバイルクラヴィア II では、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楽器である。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。さらに、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する場合、NULL 音を含めた音域全体が移動する。たとえば、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、鍵と音配置との関係は図2下のようにになる。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と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見なすことで、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。したがって、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。

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度数単位となる。なぜなら、半音単位で

の設定を許容すると、キートランスポーズは、すべての黒鍵に白鍵の音、すべての白鍵に黒鍵の音を割り当てることがあるからである。また、打鍵しても音が出ない鍵を NULL 鍵と定義したが、NULL 鍵に補助音や特殊な機能を割り当てることができる。たとえば、一般の成人男性でも指が届かない（届きにくい）和音が楽曲に記譜されている場合、補助音を NULL 鍵に割り当てるといった活用法が考えられる。

3.2 NULL 鍵表示方法

モバイルクラヴィア II において、音域を変更しても違和感なく演奏するためには、NULL 鍵を視覚的に判別できなければならない。判別方法として NULL 鍵と NULL 鍵以外の黒鍵とを異なった色で光らせる方法や NULL 鍵の間にある複数の白鍵をまとまりごとに異なった色で光らせる（たとえば、C 鍵、D 鍵、E 鍵と F 鍵、G 鍵、A 鍵、H 鍵をそれぞれグループとし、グループ単位で異なる色を光らせると、色の境目の黒鍵が NULL 鍵となる）方法がある。また、物理的に NULL 鍵をへこませ（打鍵状態）、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・欠点を持つため、実際にいくつかの手法を実装して有効性を確かめた。このように NULL 鍵の位置を視覚的に分かりやすくすることで、音高情報を視覚的に理解できない、というキートランスポーズ機能の問題を解決している。

3.3 音域変更操作

小型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機能は、半音またはオクターブごとの音域変更しかできないため、求める音域に素早く設定できない。また、キートランスポーズ機能は、本来モバイルクラヴィア II のように頻繁な音域変更を想定していないため、片手で演奏している状況なら空いている手で音域変更を操作できるが、両手で演奏している状況で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機能の違和感を取り除いた。しかし、スムーズに音域変更を操作できないと広い音域の楽曲をスムーズに演奏できない。

演奏を中断することなくスムーズに音域変更を操作する方法として、新たに音域変更操作用インタフェースを開発するハードウェア的な解決方法と、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。後者の解決方法は演奏者に負担をかけないが、あらかじめ音域を変更するポイントや音域変化量などを設定しなければならないため、演奏者は自由に演奏

できない．また，見物人は演奏者の音域変更操作を視覚的に理解できない．したがって，本研究ではハードウェア的な方法により解決を図る．

以下に，4つの音域変更操作を提案する．

1. キーボード付属部品を使用

キーボードに搭載されているスイッチやホイールといった操作子を用いて音域を変更する．利用できる操作子が複数あれば，それぞれに異なった音域の変化量を割り当てられる．

この方法は，キーボードに搭載されているハードウェアを用いるため，新たな付属のハードウェアは不要である．また，音域変化量の種類は，操作子の数だけ増やせるため効率的な音域変更を行える．

一方，操作子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．また，鍵盤上から少し離れたところにある操作子を手で操作しなければならないため，音域変更操作時は鍵盤から手を離さなければならない．したがって，演奏者は，特に両手演奏中において一時的に演奏を中断しなければならない場合がある．

2. 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を変更するために，手以外の身体部分を用いて操作する方法を提案する．たとえば，首の上下運動，呼吸，足で操作する方法などがある．手は音域変更操作のために余計な操作をしなくてもよく演奏に専念できるため，標準鍵盤（追加黒鍵が挿入されていない通常の鍵盤）で習得した技術を適用しやすい．特に普段の演奏では足を使ってペダル操作を行っているため，足を使った操作は敷居が低く有効である．しかし，いずれも新たなハードウェアを持ち歩くまたは身に着けなければならない．

3. NULL 鍵を使用

NULL 鍵は NULL 音が設定されているため，打鍵しても音が出力されない．そこで，NULL 鍵で音域を変更する．

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を変更できる．しかし，音域変更する度に NULL 鍵の位置が変化するため，操作部が固定されない．

4. 移動センサを使用

キーボード本体の移動と音域変更とを対応付ける．具体的には，キーボード本体に移動センサを組み込み，キーボードの移動量と音域変化量とを対応付ける．

この方法は，新たにハードウェアを持ち歩かなくてもよく，両手演奏中に音域を変更できる．また，キーボード本体が移動するため，打鍵の位置とそこから出



図 3 OXYGEN8 の外観

Fig. 3 A snapshot of OXYGEN8.

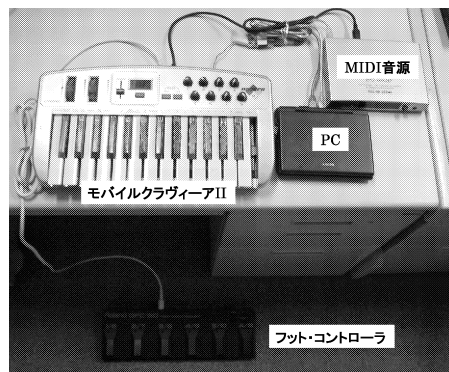


図 4 システム構成

Fig. 4 The system structure.

力される音高との関係が，88 鍵の標準鍵盤と同じになる．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）を作らなければならないため，使用できる場所が限られる．

提案手法はそれぞれ特徴を持ち，どれが最適か決めることは困難である．提案した音域変更操作のユーザビリティに関する評価は今後の課題である．

4. システムの実装

以上に述べたモバイルクラヴィア II のプロトタイプを実装した．モバイルクラヴィア II のハードウェアは，M-audio 社の OXYGEN8（図 3）を改造して製作した．OXYGEN8 は，フルサイズ 25 鍵盤を搭載し，MIDI OUT，MIDI コントロールナンバーのアサインが可能な 8 系統のロータリーコントローラなどを備える．鍵盤の持ち歩きを想定しているため，鍵盤のサイズが小型な鍵盤の利用も考えられる．フルサイズの鍵盤を選択した理由は，フルサイズの鍵盤を使っている人にとって小型サイズの鍵盤は感覚が異なるため，ミスタッチをしやすくベロシティをコントロールしにくいなど上手く演奏できないためである．

プロトタイプシステムの構成を図 4 に示す．図 4 では，音域変更操作インタフェースの一例としてフット・



図 5 改造した OXYGEN8 の外観

Fig. 5 The modified OXYGEN8 as Mobile Clavier II.

コントローラ⁵⁾を用いている。フット・コントローラの詳細については後述する。音域変更操作インタフェースから送られてくる音域変更情報やキーボードから送られてくるノートオンは MIDI 音源を経由し PC に送られる。PC は、それらを解析し出力音と黒鍵制御情報を生成する。黒鍵制御情報は鍵盤上の NULL 鍵の位置を示す。次いで、PC は黒鍵制御情報をモバイルクラヴィア II 内にある PIC マイコンにシリアル通信で送信する。PC 上ソフトウェアの開発は、Windows XP 上で Microsoft Visual C++ 6.0 を用いた。PIC のプログラミングは、MICROCHIP 社の MPLAB⁶⁾上で CCS 社の PIC C コンパイラ⁷⁾を用いた。

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や取り付けができる。黒鍵を無理やり白鍵の間に挿入せず、鍵をすべて取り外し白鍵と黒鍵を交互に並べていった。最終的に外観は、図 5 のようになり、鍵盤数は同じ 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 つ分大きくなった。さらに、最適な幅を持つ白鍵がなかったため白鍵間で隙間ができてしまった。普段使い慣れている鍵盤楽器と感覚（特に 1 オクターブ幅）が異なるため、慣れるまでにミスタッチが目立った。しかし理想的には、標準鍵盤と同じ 1 オクターブ幅で黒鍵を挿入した鍵盤楽器が作れるため、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 鍵表示方法

本プロトタイプではウレタン樹脂に LED を埋め込んだ透明黒鍵（図 6）を作成し、黒鍵全体を光らせることで NULL 鍵判別を実現した。

透明黒鍵の側面と底を黒く着色し、内部に白色 LED を挿入した。そして、LED 点灯時には鍵が白く光り、非点灯時には鍵が黒くなるようにした。これにより、視覚的に NULL 鍵を判別できるようになった。しか



図 6 全体を光らせた黒鍵

Fig. 6 A wholly-lighted black key.



図 7 GFC-50 の外観

Fig. 7 The snapshot of GFC-50.

し、擬似的に白く光らせた NULL 鍵の色と本物の白鍵の色とは隔たりがないとはいいきれない。さらに分かりやすい NULL 鍵判別方法は今後の課題である。

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。本論文では両手演奏が行え、標準鍵盤で習得した技術をもっと適用しやすいフット・コントローラを用いた音域変更操作について詳細に説明する。

フット・コントローラは、Roland 社の GFC-50（図 7）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。各ペダルは 2 つの状態を持つ。また、シフトペダルがナンバーペダルの状態を決める。したがって、GFC-50 は、最大 10 パターンの音域変化量を割り当てられる。実装では各パターンに対応する音域変化量を任意に設定できるようにした。

しばらく操作に慣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できた。

各操作部分に割り当てる音域変化量や音域変更タイミングを経験的に求めている。今後は、楽曲解析による最適な音域変化量や音域変更ポイントの自動化を行い、ユーザの労力を軽減したい。

表 1 訓練した楽曲

Table 1 The test pieces.

楽曲名	作曲者名	音域	略称
トッカータとフーガ 二短調より	J.S. バッハ	4 オクターブ 7 度	曲 A
平均律クラヴィーア曲集第 1 巻 BWV846 プレリュード	J.S. バッハ	3 オクターブ 4 度	曲 B



図 8 曲 B の楽譜 (一部)

Fig. 8 A part of the score for Music B.

5. 評価

モバイルクラヴィーア II の有効性を示すために、筆者自身が使用した主観評価、見物人によるアンケートをもとにしたパフォーマンス性の評価、鍵盤習熟者数名による有効性の評価を行った。

5.1 主観評価

ここでは、筆者自身がモバイルクラヴィーア II で演奏し、その使用感について考察する。表 1 に練習した楽曲のプロファイルを示す。プロトタイプの音域は 1 オクターブ 5 度 (1 オクターブ = 8 度) である。したがって、練習した楽曲の音域はプロトタイプ

の音域より 2 倍以上広い。音域変更操作方法としてはフット・コントローラを用いた。

一例として曲 B の楽譜とナンバーペダルを踏むポイント、および、そのときのペダル番号を図 8 に示す。また、各曲において各ナンバーペダルに割り当てた音域変化量を表 2 に示す。表中の語句について説明する。右または左と数字の組合せは、音域を数字分だけ右もしくは左にずらすことを意味している。たとえば「右 1」は音域 1 つ分右にずれる。フット・コントローラは、10 パターンの音域変化量を割り当てられるため、1 回もしくは 2 回の操作で目的の音域に設定できる。

表 2 各曲における音域変化量の設定

Table 2 The setting of diapason variations in the songs.

ペダル番号	曲 A	曲 B
1	左 8	左 1
2	右 8	左 2
3	×	左 5
4	左 1	右 2
5	右 1	右 1
6	×	左 4
7	×	左 6
8	×	右 13
9	×	右 6
10	×	右 4

88 鍵の標準鍵盤と比べて 1 オクターブ幅や打鍵位置が異なるというモバイルクラヴィア II の問題は、演奏に習熟するにつれ解消された。各ペダルに音域変更設定を行ってから指示どおりのテンポで弾けるまでに曲 A はおよそ 30 分、曲 B はおよそ 60 分程度かかった。なお筆者は、88 鍵の標準鍵盤でこれら 2 曲に十分に習熟している。

習熟において最も難しかった部分は、音域変更操作であった。その原因には音域変更操作のタイミングとペダルの踏み間違いが考えられる。音域変更操作のタイミングは、演奏中の一瞬を狙わなければならない。また、ピアノ演奏ではペダル操作を打鍵と同時にを行うが、モバイルクラヴィア II の音域変更操作では打鍵前に行わなければならない。ペダルの踏み間違いに関しては、演奏者は 6 つのペダルを使い分けなければならない。ピアノ演奏ではソフトペダルとダンパペダルの 2 つしか操作しないが、モバイルクラヴィア II では普段使っている 3 倍の数のペダルを操作しなければならない。また、演奏は常に進行しているためペダル操作を誤ると修正できない。

タイミングや選択ミスといった問題は、フット・コントローラに限らずその他のインタフェースを用いても同様である。今後は、操作しやすいインタフェースを構築すると同時に、タイミングを補正する工夫や選択ミスをしたときの対処について考えていきたい。

5.2 パフォーマンス性の評価

情報処理学会が主催する第 56 回音楽情報科学研究会や、ウェアラブルコンピューティングに興味を持つ 20 代～60 代の学生・社会人が集う会合で、上記 2 曲を演奏する機会を得た。本会合では筆者が演奏した。また、演奏者の手元をカメラで撮影し、プロジェクタを用いてスクリーンに投影した。そのため、見物人は光っている黒鍵の位置が変化する様子などを観察できた。

第 56 回音楽情報科学研究会ではピアノ経験者に試

奏してもらうこともできた。その方を含め 7 名の識者から以下のようなコメントを得た。

- 1 オクターブの大きさに問題がある。
- フット・コントローラの使い方について一考を要する。
- 楽器としての可能性は大いにある。
- 面白いと思う。
- 非常に感銘をうけた。

これらのコメントから、5.1 節で筆者が感じた同様の問題点を指摘された。しかし、楽器自体の面白さやモバイルクラヴィア II の演奏に興味や関心を持ってもらえた。

上記会合では参加者 27 名にアンケートを実施した。図 9 にアンケート結果を示す。なお、すべての質問は 5 段階で回答してもらった。また、標準偏差の値から多少のばらつきはあるものの、ほとんどの人が同じあるいは近い回答を示した。

アンケート結果より、見物人に興味や没入を与える“驚き”や“面白さ”はいずれも良い結果を得た。また、見物人の興奮や緊張を刺激する“難しさ”も感じてもらえた。見物人に難しそうに見えることはパフォーマンスにおいて重要だと考えている。なぜなら、随所に技術が必要(そう)なパフォーマンスを見せることで、見物人の興味や期待を保たせ、「もっと見ていたい」、「もう一度見たい」と思わせられるからである。さらに、演奏者にとって「自分のカッコいい演奏を他人に見てもらう」ということは、演奏を楽しむにあたって重要である。見た目のインパクトは、見物人がパフォーマンスに慣れ親しむにつれ薄れていくため、このように、技術的に難しく見えるという評価を与えたことでモバイルクラヴィア II は高いパフォーマンス性を持っているといえる。

5.3 客観評価

鍵盤習熟者にモバイルクラヴィア II を使ってもらい、評価実験を行った。本実験では、小型な標準鍵盤と追加黒鍵付き鍵盤を用いてキートランスポーズ操作を行ったときの敷居や習熟について調査する。

5.3.1 実験の手続き

課題曲、被験者、システム構成、手続き、実験内容は以下のとおりである。

課題曲

曲 B (BWV846 プレリュード) の前半

被験者

曲 B を十分に弾きこなせる音楽大学ピアノ科学生 4 名、音楽大学卒のプロピアニストとして活動している 2 名に実験をしてもらった。被験者は、普段 88 鍵

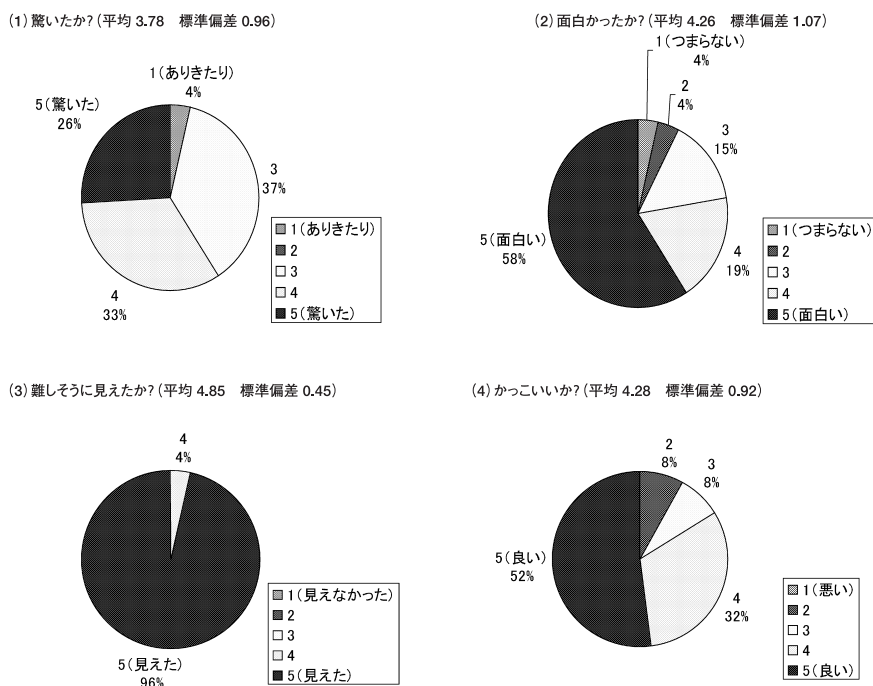


図 9 アンケート結果

Fig. 9 The evaluation result from the questionnaire.

の標準鍵盤で練習し小型な標準鍵盤や追加黒鍵付き鍵盤、キートランスポート機能に慣れていない。システム構成

実験で用いたシステムの機器構成は図 4 と同じである。実験では Windows XP が動作するノートパソコン (IBM ThinkPad X30) を利用し, MIDI 音源は Roland 社の SC-8820 を, フット・コントローラは M-AUDIO JAPAN 社の SP-1 を, 出力スピーカは BOSE 社の小型スピーカ (MM-1), 標準鍵盤は EDIROL 社の OXYGEN 8, 追加黒鍵付き鍵盤は OXYGEN8 を改良したプロトタイプを用いた。また, 追加黒鍵付き鍵盤と標準鍵盤の音域幅を同じにするために, 標準鍵盤の右端の白鍵を 2 個, 黒鍵を 1 個取り除いた。

また, 実験を円滑に進めるために図 10 に示す評価実験アプリケーションを構築した。画面左に実験で演奏する楽譜や音域変更操作を行うタイミング, 音域変更番号, 音域変更を行ったときに鍵盤の左端に割り当てられる音名を表示する。また, 画面右上に現在の音域変更番号を表示する。さらに, 本実験では, 被験者の音域変更負荷を軽減するために, 音域変更は音域変化量をあらかじめ設定しタイミングだけを操作することで行うようにした。具体的には, 画面右中央にある 2 つのボタン (1 つ前の音域変更番号に戻る, 1 つ前に進む) をクリックする, もしくは, 1 つペダルの

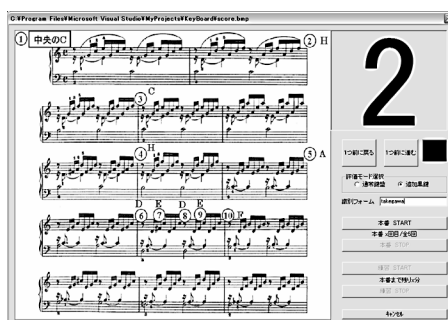


図 10 評価実験アプリケーション

Fig. 10 A snapshot of the application for the evaluation.

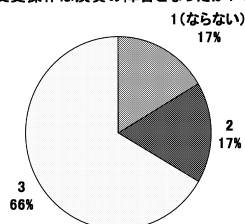
フット・コントローラ⁸⁾を踏む (音域変更番号が 1 つ増加する) という 2 通りの方法を用意した。

手続き

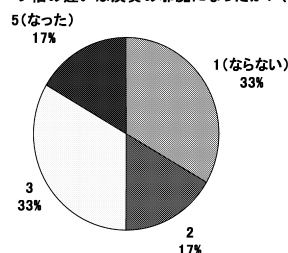
キートランスポートの敷居を調査するために, 被験者はまったく課題曲を練習していない状態で各楽器を演奏する。また, 習熟を調査するために, 被験者は 2 種類の鍵盤楽器のうち 1 つを選択し練習する。

具体的な実験の手続きについて説明する。最初に, 被験者へ評価実験に関する説明を行い, 各楽器について 5 分間試奏させてキートランスポートの仕組みを理解してもらう。ここでの音域変更操作は, キーボードの付属部品であるモジュレーションホイールを使用し

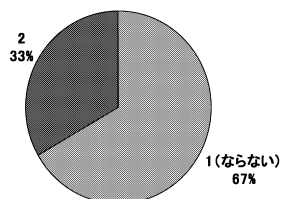
音域変更操作は演奏の障害となったか? (平均 2.5 標準偏差 0.7)



1オクターブ幅の違いは演奏の邪魔になったか? (平均 3.3 標準偏差 1.1)



白鍵間にある溝は演奏の邪魔になったか? (平均 1.3 標準偏差 0.4)



余分についている黒鍵は演奏の邪魔になったか? (平均 3 標準偏差 1.5)

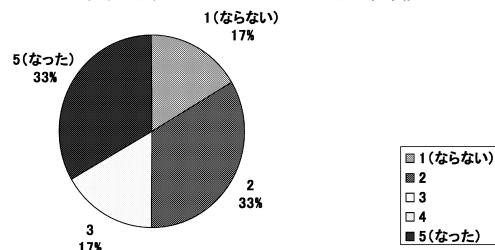


図 11 アンケート結果

Fig. 11 The evaluation result from the questionnaire.

た．モジュレーションホイールの上下により音域が 1 つずつずれていく．

次にくじ引きを行い各被験者が担当する楽器を決めた．その後，以下の流れに添って実際に演奏を行ってもらった．

1. 担当楽器でない楽器で演奏 (本番タイム)
2. 担当楽器で演奏 (本番タイム, 本番 1 回目)
3. 担当楽器で 5 分間の練習 (練習タイム)
4. 担当楽器で演奏 (本番タイム, 本番 2 回目)
5. 担当楽器で 5 分間の練習 (練習タイム)
6. 担当楽器で演奏 (本番タイム, 本番 3 回目)

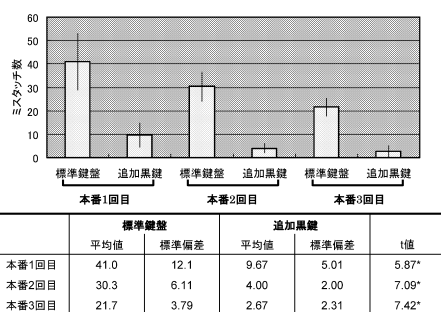
被験者に課題曲を最初から最後まで演奏してもらいミスタッチを計測する本番タイムでは「流れのあるテンポ (四分音符 = 70 以上) で，弾き直しを避けるように」と指示した．一方，練習スタイルは個人で異なるため，練習タイムにおいては「自由に演奏してよい」と指示した．また，実験では，ノートオンおよび音域変更のタイミングを記録した．さらに，実験終了後にアンケートを行った．図 11 にアンケート項目を示す．

5.3.2 結果と考察

追加黒鍵付き鍵盤を使って練習した被験者は，練習を開始してから約 15 分後の本番第 3 回目の演奏ではミスタッチが少なく指示どおりのテンポで粒のそろった演奏ができていた．以下，評価結果の詳細について述べる．

ミスタッチ

本番タイムで計測したミスタッチの数を図 12 に示す．図 12 において，本番タイムの回数を横軸，ミス



* は有意水準1%で有効

図 12 本番タイムにおけるミスタッチ数の平均と標準偏差

Fig. 12 The evaluation result for mistouches.

タッチ数を縦軸，平均値を棒グラフ，平均値 ± 標準偏差の幅を線分で示している．また，本番 1 回目は 6 名の平均，2, 3 回目は 3 名の平均である．

図 12 から明らかなように，ミスタッチ数は追加黒鍵付き鍵盤の方が少なかった．また，両方の鍵盤楽器とも反復練習によりミスタッチ数が減少した．標準鍵盤においてミスタッチ数が増える主要因として，音域変更直後の割当て音が判別できないことがあげられる．音域を変更したとき，瞬時に頭の中で音域変換ができず憶測で打鍵するケースが多くなったため，半音だけずれているミスタッチが目立った．しかし，習熟するにつれ打鍵箇所を体で記憶したため，ミスタッチ数も減少している．また，音域変化量が小さいときの方がミスタッチは少なかった．これは，音域変化量の小さい方が頭の中での音域変換を行いやすいためである．

一方、追加黒鍵付き鍵盤では、割当て音を視覚的に判別できるため、標準鍵盤と比較してミスタッチ数は少なかった。追加黒鍵付き鍵盤のミスタッチを解析すると、密な音域変更（音域変更番号 6～10）部分と音域を変更して 2, 3 音弾いた後の 2 つに分類できた。前者におけるミスタッチの原因は、標準鍵盤と同様に大きな音域変化と密な音域変更にもない打鍵箇所が瞬時に定まらないためである。後者の原因としては、1 オクターブ幅の違いが考えられる。しかし、いずれも習熟を重ねるにつれ解消されていった。2 回目の本番タイムではまったくミスタッチをしなかった被験者もいた。

ペロシティやテンポの乱れ

ミスタッチ以外に評価の指標となるデータとして、ペロシティやテンポの乱れがある。これらの乱れは、標準鍵盤の方が多かった。特に、音域変更直後は、音域変換を瞬時にできず「間」が生じたりテンポが極端に遅くなったりした。また、正確な打鍵に神経を費やす、または、思うように弾けないフラストレーションから演奏の一部で打鍵の強さをコントロールできない被験者もいた。一方、追加黒鍵付き鍵盤ではペロシティの乱れは見られなかった。音域変更操作のために若干の「間」が最初は見られたが、最終的には粒のそろった演奏ができていた。

アンケート結果

図 11 にアンケート結果を示す。なお、すべての質問は 5 段階で回答してもらった。

アンケート結果から 1 オクターブ幅の違いや追加黒鍵の存在、音域変更操作が演奏に支障をもたらしていることは否めない。しかし、自由意見として、さらに習熟を重ねればこれらの違和感はなくなると思う、音域変更操作が上手くかみ合ったときは嬉しい、追加黒鍵付き鍵盤でもっと演奏（練習）したい、といった意見を得た。「1 回目の演奏でどちらが演奏しやすいか？」という質問には、全員が追加黒鍵付き鍵盤の方が演奏しやすいという回答であった。

上記で示した結果と考察から、追加黒鍵付き鍵盤の有効性が明らかとなった。一方、NULL 鍵を目立たなくするためのさらなる工夫や、音域変更操作の操作性改良が必要であることが明らかとなった。

6. 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、キートランスポート機能や PocketMusician¹⁾ の両手入力機能、TP65S⁹⁾ の複数アサイン機能などがある。キートランスポート機能は、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に音域を移動させる機能である。本研究は、このキートランスポートの概念を拡張したものである。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、少ない入力キー数（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、両手による組合せ入力で複雑なコードを表現している。PocketMusician のようにまったく新しい楽器を作る場合には、従来楽器の入力方法にとらわれず演奏性の高い入力方式を採用することが有効である。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。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。たとえば、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。

鍵盤の構造そのものを変化させた例として、CHROMA 社が開発した CHROMATONE¹⁰⁾ は鍵盤楽器の黒鍵と白鍵の区別をなくし、1 オクターブの 12 音を敷き詰める、すなわち白鍵だけを使って 12 音を敷き詰めることで鍵盤楽器の敷居を低くした楽器である。これは、従来の鍵盤楽器の構造から大きく離れている。一方、同じ考え方で従来の鍵盤楽器の構造にのっとったタイプとして、特許公開 2001-290473¹¹⁾ は、すべての白鍵間に黒鍵を敷き詰め 1 オクターブの各 12 音を敷き詰めた鍵盤楽器がある。これらは、どの調でも対等なフォームで演奏できる。ゆえに音域変更操作による問題は生じない。また、モバイルクラヴィア II の NULL 音のように、1 オクターブの音階を増やした例として Harry Partch 氏の Chromelodeon I¹²⁾ がある。通常鍵盤楽器では 1 オクターブを 12 個の音程に均等に分割し、それを半音と呼んでいる。Chromelodeon I は、1 オクターブの分割数を 43 個にした楽器である。これらは、いずれも個々に特長を持つが、標準鍵盤とはまったく異なった奏法で演奏を行うため、演奏技術を適用できないという欠点がある。

7. 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

ヴィーア 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機能の問題点を解消した。また、鍵盤習熟者による評価実験からこれらの有効性を示した。さらに、モバイルクラヴィーア II の演奏は、パフォーマンス性に富みエンタテインメントとしての可能性を十分に秘めていることが分かった。

今後の課題としては、これまでの章で述べたもの以外に、音域分割機能の搭載という課題がある。モバイルクラヴィーア II は音域幅以上の音を同時に打鍵できない。今後は、モバイルクラヴィーア II の音域を分割することで、より多くの楽曲を演奏できるようにしていきたい。

謝辞 末筆ながら、本研究を進めるにあたって評価実験を引き受けてくださった諸氏には有益なコメントを多数いただいた。ここに衷心より感謝の意を表す。なお、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 (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 (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) フット・マウスホームページ.
<http://www.edikun.co.jp/footmouse/footmouse.htm>
- 5) フット・コントローラ GFG-50 ホームページ.
<http://www.roland.co.jp/products/mi/GFC-50.html>
- 6) MPLAB ホームページ.
<http://www.microchip.co.jp/tools.html>
- 7) PIC C コンパイラホームページ.
<http://www.ccsinfo.com/picc.shtml>
- 8) フット・コントローラ SP-1 ホームページ.
<http://www.m-audio.co.jp/products/M-Gear/M-Gear.html>
- 9) TP65S ホームページ.
<http://www.yamaha.co.jp>
- 10) CHROMATONE ホームページ.
<http://www.chroma.jp/chroma312/main.jsp>
- 11) 特許庁ホームページ.
<http://www.jpo.go.jp/indexj.htm>
- 12) Chromelodeon ホームページ.
http://musicmavericks.publicradio.org/features/feature_partch.html

(平成 16 年 11 月 22 日受付)

(平成 17 年 10 月 11 日採録)



竹川 佳成(学生会員)

2003 年三重大学工学部情報工学科卒業。2005 年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。現在、同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程に在籍。音楽情報科学、ウェアラブルコンピューティングに興味を持つ。



寺田 努(正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学大学院工学研究科修士課程修了。2000 年同大学院退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。現在に至る。2002 年より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助手, 2005 年より同講師を併任。工学博士。アクティブデータベース、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。本会 2003 年度論文賞受賞。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会の各会員。



塚本 昌彦(正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年シャープ(株)入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996 年同専攻助教授, 2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授, 2004 年神戸大学工学部電気電子工学科教授となり, 現在に至る。工学博士。ウェアラブルコンピューティング・ユビキタスコンピューティングに興味を持つ。ACM, IEEE 等 8 学会の会員。



西尾章治郎（正会員）

1975 年京都大学工学部数理工学科
卒業，1980 年同大学大学院工学研究
科博士後期課程修了，工学博士，京
都大学工学部助手，大阪大学基礎工
学部および情報処理教育センター助

教授，大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専
攻教授を経て，2002 年より同大学院情報科学研究科マ
ルチメディア工学専攻教授となり，現在に至る．2000
年より大阪大学サイバーメディアセンター長，2003 年
より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任．この間，
カナダ・ウォータールー大学，ビクトリア大学客員，
データベース，マルチメディアシステムの研究に従事．
現在，Data & Knowledge Engineering 等の論文誌編
集委員，本会理事を歴任．電子情報通信学会フェロー
を含め，ACM，IEEE 等 8 学会の会員．
