VRを用いたピアノ教育支援システムの構築

非会員	大塚元太	(キャノン)
非会員	袖山和久	(関西大)
非会員	吉田知史	(関西大)
正員	村中徳明	(関西大)
非会員	今西茂	(関西大)

A Construction of a Piano Training System based on Virtual Reality
Genta Otsuka, Non-member, Kazuhisa Sodeyama, Non-member, Tomofumi Yoshida, Non-member,
Noriaki Muranaka, Member, and Shigeru Imanishi, Non-member
(Kansai University)

Today, the technique of virtual reality has become popular in various fields because of its technical progress. We focused on 'presence' - one of the three elements of virtual reality, and constructed a simple supporting system for piano education. The virtual world and the real world are overlapped by showing the visual information in this system. The purpose of this system is to use the realistic virtual image as an interface (or tool) of education.

The unity of the virtual image and the reality has been done with standing pictures by using, for example, 'See-through HMD'. In this research, however, we overlapped the virtual image and the real world with moving pictures. The overlapping is accomplished not by using HMD, but by using a half mirror. The virtual hands can automatically play a tune from a score so that learners can choose what they like without instructors. This is one example of the system which has a proven effectiveness.

キーワード：仮想像と実像の融合, ハーフミラー, 重ね合わせ演奏, 自動演奏動画

1. まえがき

近年, VR (Virtual Reality) 技術が進歩して様々な分野で利用されるようになってきた。そのひとつとして, 教育の分野でもVR技術の可能性が議論されている⁽¹⁾。我々はこのVR技術の3要素⁽²⁾ ("presence", "interaction", "autonomy") の一つである"presence"に着目し, 視覚情報を表示することにより, リアリティのある仮想世界を, 教育的インターフェイスとして用いる目的で, 簡易なピアノ教育支援システムを構築している^{(3) (4) (5)}。

リアリティのある仮想世界を視覚的に体験する場合, HMD (Head Mounted Display) など液晶ディスプレイを頭部に装着し体験しているケースが多いが⁽⁶⁾, これらの長時間使用は負担が多く, 仮想世界を体験するのに違和感が感じられる。また, 実世界が完全に切り離されるためリアリティのある教育的インターフェイスとして用いるには難しくなる。

また, ピアノ教育システムとして, いくつかの楽器メーカーおよびソフトメーカーが商品化を行っている。そのな

かに曲に合わせて, 弾く打鍵ポイントをLED等で表示するという楽器があるが, どの指で弾いたらよいかが表示されないので, 指の動きまで修得することができない。一方, 運指を映像表示する既存のソフトでは, 実像の鍵盤と空間的に切り離されたディスプレイ上に映像表示されるため, 視線を常に大きく移動させるか, ディスプレイの動きを覚えてから, ピアノを弾くことになる。

そこで, 本研究では, VR技術の中でもまだ未開発な部分である, 仮想の世界と現実の世界の時間的かつ空間的融合に重点を置いたピアノ教育システムの実現を目的としている。本システムの体験者は, コンピュータによる模範演奏の仮想の指の動きと自身の指の動きを同時に見ることができ, これらの像を重ね合わせることで, 効率よく練習することができる。また, 指のすぐ上に楽譜およびインジゲータも表示しているので, 視線を大きく移動させることなく, 楽譜を理解しながらリズムも習得することができる。また, 模範の演奏者が存在しなくても, 練習者が自由に選択した曲 (自作の曲でもよい) を習得できるように,

1枚の印刷楽譜から自動的に仮想演奏、楽譜表示を行えるようにする。仮想側には、コンピュータを用い、楽譜情報から手の動きを検出し、仮想の手形状をハーフミラー上に表示させる。現実側にはハーフミラーの下にMIDI (Musical Instrument Digital Interface) 鍵盤を設置し、演奏者の手も見えるように、本システムを構成している。なお、ここでは本ピアノ教育支援システムを演奏修得時間などで評価している。

2. システム構成の概要

〈2・1〉 システムの全体構成

図1 システム構成図

Fig. 1. A daigram of this system.

図1に本システムの構成を示す。イメージスキャナでは、印刷楽譜を楽譜画像として取り込む。楽譜画像から自動認識した音高、音価をもとにデータ変換用コンピュータでは、鍵盤をどの指で弾くかという演奏動画に必要な指番号を作成プログラムを用いて自動的に得る。フレーム制御用コンピュータでは指番号を加えた3つのデータ列より手形状の演奏動画及び楽譜画像の再生を行う。フレーム制御用コンピュータで作成された画像は、半透明スクリーン、ハーフミラーを用いた仮想像と実像の融合システムに用いる。図2にシステムの外観を示す。

図2 システムの外観

Fig. 2. An appearance of this system.

〈2・2〉 仮想像と実像の融合システム

フレーム制御用コンピュータで作成された一連の演奏動画はビデオプロジェクターによりMIDI鍵盤の手前に設置された半透明スクリーン上に映し出す。スクリーンは半透明であるためその反対側からも同様の像が確認できる。従って、映し出される面と反対側にMIDI鍵盤とハーフミラーを図3のように設置する。

図3 仮想像と実像の重ね合わせ

Fig. 3. The overlapping of virtual image and real image.

このようにハーフミラーはMIDI鍵盤およびスクリーンの両方に対して45度の位置に設置すると練習者の視線からはスクリーンに映し出された像はハーフミラーの鏡像として鍵盤上に確認することが出来る(仮想像)。また、ハーフミラーを通して自分の手(実像)も同時に仮想の手形状の下に重なって、鍵盤上に確認することが出来る。また、ハーフミラーの半分を全反射ミラーとし、そこで重ね合わせの必要のない楽譜の提示を行う。図4に実際のハーフミラー上からみた映像を示す。

図4 仮想の手形状と楽譜

Fig. 4. The virtual hand form and piano score.

3. 印刷楽譜のデータ化⁽⁷⁾

印刷楽譜は、イメージスキャナ(EPSON GT-8000)によりPICT FILEとして自動的にコンピュータに取り込まれ、SCORE REDER(市販ソフト)により、標準MIDIファイルに変換され、更に音の高さを示す音高と、音の長さを示す音価のバイナリファイルに変換される。この2つのデータを持つ

たバイナリファイルより、1つの鍵盤をどの指で弾くかという指番号の作成を自動的に行い、動画用ファイルを得る。図5には指番号を含めた楽譜のデータ化の方法を示す。

図5 データ化された楽譜
Fig.5. A piano score transformed into data.

音高は、鍵盤数が全体で36鍵あり、最下位を0として白鍵1つ上がる度にデータが2つ上がるようにする。間に黒鍵がある場合は白鍵間の番号を使用する。つまり、白鍵が偶数番号、黒鍵が奇数番号となる。

また、本システムは初心者を対象としているため、16分音符以上の短い音符が存在する曲は使用していない。従って、音価は8分音符より長い音であり、8分音符を最短基準音符と定める。この最短基準音符の音価を1と定め、他の音符はこの音の倍数分がデータ番号となる。指番号については、左右両手の区別をするためRとLの頭文字を付け親指から番号付けを行っている。動画作成上データ列は最短規準音符で1行のデータ単位とする。例として、図6に示す楽譜の1小節分をデータ化したものを表1に示す。

図6 サンプル楽譜
Fig.6 A sample of piano score.

表1 楽譜のデータ化
Table 1. The data of sample score.

左手			右手		
音高	音価	指番号	音高	音価	指番号
16	2	L5	48	4	R3
16	2	L5	48	4	R3
26	1	L1	48	4	R3
24	1	L2	48	4	R3
22	2	L3	52	2	R5
22	2	L3	52	2	R5
26	2	L1	52	2	R5
26	2	L1	52	2	R5

4. 仮想演奏動画と楽譜表示⁽⁸⁾

＜4・1＞ 手形状予測先行フレーム方式

実際のピアノの演奏における手の動きには、かなりのスピードが要求される。従って、動画像を作り出す際には、画質よりもむしろ秒間のフレーム数に重点を置かなくてはならない。しかし、市販のグラフィックハードウェアは非常に高価である。そこで、動画方式としては、あらかじめコンピュータのメインバッファを拡大し、数多くの手形状のシーンをそのメインバッファに蓄積する。さらに、その蓄積されたシーンを、データ化された楽譜からの信号を使用して選び出し、直接フレームメモリに書き出すといった方式で表示する⁽⁹⁾。

＜4・2＞ 手形状シーンの作成と格納

図7 手形状パターンの蓄積
Fig.7. The accumulation of patterns for hand form.

手形状の演奏動画には、多数の手形状のパターンが必要になるので、手形状シーンは、図7のように各指が鍵盤を押さえる様子を練習者の視線と同じ位置にビデオカメラを設置し、指が鍵盤を押す様子を動画として取り込む。さらに、その動画はビデオデッキにより編集し、動画に必要なフレームを静止画として取り出し、コンピュータに蓄積する。画像の大きさは手の大きさに対して必要最小限の四辺形の大きさに1枚あたり約9Kbyteの容量である。蓄積画像のパターンとしては、図8（人差し指でのサンプル画像）に示すように、1本の指が鍵盤を押さえるのに7枚の画像を用意した。これは、7枚の画像が演奏動画を表現するのに必要十分の枚数であることが実験により確かめられたからである。また、7枚の中間となる4枚目には、鍵盤を押している指先にマーカー付けをした。蓄積画像枚数は、左右両手で10本の指があるため、全体で70枚の画像を格納することになる。

＜4・3＞ 1音符における動画の生成

図9に示されるように、メインバッファに格納された多数のシーンは、左右両手の各指ごとにグループ化される。つまり、このグループとは楽譜における1つの音符に相当する。この1音符の動画を生成する手順として、まず楽譜データの指番号により、手形状グループを選択する。次に音価によりグループ内での4枚目のシーンの重複数の決定

を行い、更に、選択されたシーンは、音高によりグラフィック画面上の左右の計算された位置へグループの画像枚数分表示される。

図8 1 音符の動画に必要な手形状
Fig.8. Hand forms needed for animation to a note.

図9 データからのフレーム制御
Fig.9. Frame control by data of piano score.

＜4・4＞ 曲全体における動画の構成

曲を構成するために、コンピュータの画面上には、左右両手の手形状の演奏動画および2小節ずつの楽譜画像が表示される。その両者の表示について個別に述べる。

・手形状の演奏動画

基本的には、＜4・3＞で述べた1音符ごとの動画をつなぎ合わせて、1曲の演奏動画を作成するわけであるが、左右両手の演奏動画は、コンピュータの並列化を行っていないため、左右交互に表示し、動画の作成を行っている。

先述したように本システムでは8分音符を最短音符としているため。この音符を基準音符とし7枚の画像で動画を構成する。従って、4分音符、2分音符などは14枚、28枚で構成されることになる。

動画は基本的に上書きで行うが、1枚の静止画は、手形状の必要最小限の大きさの四辺形であるため、音符が変わ

るごとに、位置が変化し、前の音符の手形状が残ったままとなる。そこで、基準音符の7枚ごとにclear画像を挿入することにより、表示位置が変化しても、前の音符の手形状を消すことができ、上書きでの動画を可能にすることができた。

・楽譜画像

本システムは、ピアノ教育の一環として必要となる楽譜の修得にも着目し、模範演奏の仮想画像に演奏者の手を重ね合わせながら、実際に練習演奏を行わせるだけでなく、同時に演奏に対応する楽譜の表示を行う。従って、ミラーのうち楽譜表示領域を全反射ミラー、手形状の表示領域をハーフミラーにする。

演奏楽譜は、手形状の演奏動画と同時に表示を行うが、画面上には2小節ずつで、固定位置に上書きを繰り返すことで、表示を切り替える。また、楽譜における現在の演奏位置を示すために、インジケータを楽譜上に左右にスクロールさせる。以下に曲全体を構成した場合のフレーム列を示す。なお、図10は最短音符に対し5枚の例である。

5. システムを用いての実験

＜5・1＞ 実験目的

VR技術において、実像と仮想像の重ね合わせにおける利用の1つとして、シースルー型HMDを用いて医用MRIからのデータを想定して、計算機内に合成された3次元の脳のモデルを被験者に合成するなどが挙げられる⁽¹⁰⁾。このように視覚的情報提示における実像と仮想像の重ね合わせの有効性を確かめることは非常に重要である。

本実験は、ある程度スピードを持った動画での仮想像と実像の重ね合わせをピアノ演奏に応用しその有効性を確かめるものであり、このピアノ練習システムが初心者に対して、初級者レベルの曲を短期間で修得させることが可能かを確かめることが第1の目的である。また、この有効性が確かめられたうえで、このシステムを練習者に対しどのような体型で用いれば、より効率的に演奏を修得できるかを探ることが第2の目的となる。ここでの初心者とは、楽譜がよく理解できない、ピアノ教師によるレッスンを受けたことのない人、楽譜が理解できてもほとんど弾けない人、あるいは独学である程度修得した人でも、運指など基本のできていない人。すなわち、ピアノの模範演奏を見ながら練習する必要がある人を指す。

＜5・2＞ 実験方法

実験として、これからピアノを学ぶ、楽譜も理解できないような初心者11人を対象に、このシステムを体験させ、最終的に楽譜のみの情報提示で1曲の修得状況を調べる。また、練習者が実際に演奏可能となるまでの時間を計測する。演奏可能か否かの目安として、MIDIデータにより、練習者が模範演奏に対し、2小節内で誤鍵盤の位置を2度以上触れた場合には失格とする。

また、練習曲には、初心者レベルの曲で知名度のある

図 10 1 曲を構成するフレーム列

Fig. 10. A frame row to construct a turn.

リュウリの“月の光に”を用い、次の実験手順に従って行う。

- 1) イメージ演奏
- 2) 楽譜提示と演奏画像との重ね合わせ演奏 (右手)
- 3) 楽譜提示と演奏画像との重ね合わせ演奏 (左手)
- 4) 楽譜提示と演奏画像との重ね合わせ演奏 (両手)
- 5) 楽譜提示のみの演奏
- 6) 演奏評価

初めのイメージ演奏とは、練習者に対しその曲がどのような曲かを示すために、視覚情報 (仮想演奏) と聴覚情報 (演奏音) を同期させ練習者に提示するものである。2 番目～4 番目までの演奏画像との重ね合わせ演奏においては、実際に練習者がシステムを体験し、仮想の演奏に自分の手を重ね合わせながら演奏を行う。また、同時に表示された楽譜も確認しながら演奏を行う。2 番目と3 番目の右手・左手とはその手のみでの演奏である。ただし、右手演奏時には左手の音、左手演奏時には、右手の音を加える。5 番目の両手とは、実際に両手で重ね合わせ演奏を行うものである。

仮想の演奏スピードは1 分間に流れる4 分音符の個数で表すと、イメージ演奏時には標準スピードである120 (個/分)、片手演奏時にはその1/4 の30 (個/分) 程度で行う。その30 (個/分) 程度のスピードで両手の重ね合わせが可能となった段階で、徐々に標準スピードに近づけていく。

そして、ある程度演奏可能となった段階で、楽譜のみの情報提示による演奏を MIDI データによりコンピュータに取り込み、MIDI ソフトを用いて評価する。

<5・3> 演奏実験の結果

ここでは、<5・2> で述べた実験手順によって行った練習者の演奏結果を示す。図 11 は、練習曲の模範演奏、図 12、図 13 は11 人の練習者のうち2 人を適当に Pick up した練習者の演奏結果であり、<5・2> で述べた基準での演奏可能と判断できる結果を示している。両演奏者とも20 代前半の男性で楽譜がよく理解できない初心者である。

また、これらの図は縦軸が鍵盤、横軸が演奏時間で6 小節分を示しており、黒く塗りつぶされている部分が鍵盤を押している状態である。

<5・4> 評価

<5・3> の実験結果は、初心者11 人のうち2 人の結果であり、いずれも演奏可能 (修得) と判断したものであるが多少の違いが見られる。

鍵盤の位置に関しては、合格基準を上回った結果を記載しているため問題ないが、音価に対してはばらつきがよく目立っている。特に、曲の流れで音価に変動がある場合 (1 小節から2 小節への移り変わり時) に正しく弾けていないのがわかる。このようなずれは人によってさまざまであるが、これは一定の流れから変化が起こったときの人間の対応能力の問題になる。しかし、練習回数を増やすことにより、この問題は解消できる。

また、表 2 にシステム体験者全員 (20 代前半の大学4 年生および院生、うち女性1 人) の1 曲の修得時間を示す。この表から、全員が3 時間半以内でこの曲を修得しているのがわかる。

従って、当初の目的である仮想像と実像の時間的かつ空間的融合は達成できた。更に、ピアノ教育システムとしても、一般に少し弾ける人が楽譜からピアノ曲を練習する時、10 時間以上かかることから、このシステムの有効性は認められる。また、初心者でなくとも更に高度な指使いは、ピアノ教師によるレッスンが必要であり、このシステムをピアノ教師の代わりに用いる有用性はあると考えられるが、現在のシステムはまだそのレベルに達していない。また、もう1 つの目的であったこのシステムを用いた効率的な練習体系については、今後、更に追求する必要がある。

表 2 システム使用時の演奏修得時間

Table 2. The musical performance acquirement time using this system.

修得時間	人数
1 時間以内	1
1 時間以上 1 時間半以内	2
1 時間半以上 2 時間以内	1
2 時間以上 2 時間半以内	2
2 時間半以上 3 時間以内	3
3 時間以上 3 時間半以内	1

図 1 1 模範演奏
Fig. 11. An exhibition performance.

図 1 2 練習者 1 の結果
Fig. 12. A result of apprentice 1.

図 1 3 練習者 2 の結果
Fig. 13. A result of apprentice 2.

6. むすび

ここでは、仮想空間と現実空間の融合によるピアノ教育支援システムを構築した。このような仮想像と実像の重ね合わせにおける研究は、多方面で研究されているもののピアノ演奏のようなある程度の動きをもったものの融合は殆どなされていない。我々はある程度の動きのあるものとして

ピアノ演奏を選び、このようなシステムを用いて仮想像と実像の融合を図った。

5章での結果から分かるように、ピアノの初心者に対しては、視覚的に模範の演奏をとらえながら演奏する事が可能であるため、楽譜を理解しなくとも感覚的に短時間で演奏を修得する事が出来た。当然、演奏画像はコンピュータにより制御されているため任意のスピードで練習することも出来る。

また、1枚の印刷楽譜から演奏動画を自動的に作ることが可能であるため、練習者の希望する曲を修得することができる。ただ、最終的に個人で演奏を行うときは楽譜を理解する必要性に迫られるため、楽譜無くしての演奏はさけることが出来ない。このことは、ピアノ教育における覆すことの出来ない事実である。

現在このシステムでは、曲の強弱など細かな要素に対しては、不十分である。また、初心者を対象としているため楽譜の中での最短音符が8分音符である。今後は、曲の細かな要素を補い、現在の最短音符よりも短い音符が存在する曲への対応を図り、どの程度のスピードまでの重ね合わせ演奏が可能であるかを追求していく予定である。

また、本システムにおいて、教育効果のみを追及するのであれば、仮想の手をビデオカメラでとらえたピアノ教師の手（ビデオやCDに記録したものも含む）とすれば、高度な指の動きも習得することができる。更に、1人のピアノ教師による多人数レッスンに応用することができる。ピアノ教師の模範演奏を直接、ビデオカメラでとらえて、各生徒のシステムに送り、ヘッドホンの左右で教師と生徒のそれぞれの音を聞き比べることもでき、各生徒の演奏データを記憶して置いて、個人にあった指導を行うこともできる。これらについても、今後検討する予定である。本システムがこのような効率の良いピアノ教育の支援に少しでも役立つものと考えている。

（平成8年2月26日受付、同8年7月17日再受付）

文 献

- (1) 廣瀬通孝：「人工現実感の教育応用」，計測と制御 Vol. 31, No. 12
- (2) 廣瀬通孝：「バーチャル・リアリティ」，産業図書(1993)
- (3) 大塚元太，椿野禎三，村中徳明，今西茂：「バーチャル・リアリティを用いたピアノ教育支援システムの一考察」，電気関係学会関西支部連合大会，G10-16(1994)
- (4) 大塚元太，椿野禎三，村中徳明，今西茂：「VRを用いたピアノ教育支援システムの構築Ⅱ」 信学会春季大会，A-266(1995)
- (5) 大塚元太，袖山和久，吉田知史，村中徳明，今西茂：「VRを用いたピアノ教育支援システムの構築Ⅲ」，電気関係学会関西支部連合大会，G12-60(1995)
- (6) 廣瀬通孝：「バーチャルリアリティの応用戦略」 オーム社(1992)
- (7) 袖山和久，吉田知史，大塚元太，村中徳明，今西茂：「ピアノ教育支援システムにおける印刷楽譜からの動画用ファイルの作成」 電子情報通信学会関西支部学生研究発表会，G-2 (1996)
- (8) 吉田知史，袖山和久，大塚元太，村中徳明，今西茂：「ピアノ教育支援システムにおける手動作の作成および動画用ファイルからの楽譜作成」 電子情報通信学会関西支部学生研究発表会，G-3(1996)
- (9) 横山篤史：「精密な仮想物体操作のための簡易な人工現実感システム」 電子情報通信学会春季大会SA-6-3(1994)
- (10) 廣瀬通孝，木島竜吾，佐藤洋一：「シースルー型HMDを用

いた仮想空間による実空間の修飾の研究」，第6回 ヒューマンインターフェイスシンポジウム論文集，pp1-8(1990)

大塚 元太 （非会員）1970年6月15日生まれ。1994年3月関西大学工学部電子工学科卒業。1996年3月同大学大学院博士課程前期課程電子工学専攻修了。同年キャノン(株)入社。在学中は、主としてVR技術の応用について研究。現在カメラ事業部所属。カメラ開発設計に従事。電子情報通信学会会員。

袖山 和久 （非会員）1973年4月11日生まれ。1996年3月関西大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院博士課程前期課程電子工学専攻に進学。現在在学中。主として、VR技術の応用について研究中。電子情報通信学会会員。

吉田 知史 （非会員）1974年3月4日生まれ。1996年3月関西大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院博士課程前期課程電子工学専攻に進学。現在在学中。主として、VR技術の応用について研究中。電子情報通信学会会員。

村中 徳明 （正員）1949年12月17日生まれ。1972年3月関西大学工学部電子工学科卒業。1974年3月同大学大学院修士課程修了。同年同大学工学部助手。専任講師を経て、現在同助教授。工学博士。主として、3値論理回路、ファジィ論理回路に関する研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、システム制御情報学会、日本ファジィ学会、IEEE各会員。

今西 茂 （非会員）1934年4月22日生まれ。1958年3月大阪市立大学理工学部電気工学科卒業。1960年3月同大学大学院修士課程修了。同年関西大学工学部助手。専任講師および助教授を経て、現在教授。工学博士。主として、論理回路、符号化回路、マルチマイクロプロセッサシステムなどの研究に従事。著書「電子計算機基礎論」，「マイコンインターフェースのための電子回路」・訳書「デジタル回路入門」：（以上分担）。電子情報通信学会、情報処理学会、システム制御情報学会、IEEE各会員。