

映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討

米澤朋子, 間瀬健二

ATR 知能映像通信研究所

〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

{yone,mase}@mic.atr.co.jp

概要

Iamascope は、ユーザのダンス動作などによる映像入力型インタフェースを用いたインタラクティブダンス楽器である。このシステムではユーザの単純な動きを画像処理し、画像を分割した各領域毎に音を出すかを判断することによりメロディー生成をしていた。本研究では、従来の音楽生成手法に加え、ユーザが更に細かいかつ全体的な音楽生成を行うための音楽制御系を実装した。本稿では、身体動作を直接的に反映し、メロディー生成・コード生成・キー変調の3種の操作を行う新たな音楽生成手法を紹介し、音楽インタラクションにおける時間的階層構造を用いた新たな仮説を報告する。

A Method for Generating Music from Video Input

Tomoko Yonezawa, Kenji Mase

ATR Media Integration & Communications Research Laboratories

〒 619-0288 2-2-2, Hikari-dai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, JAPAN

{yone,mase}@mic.atr.co.jp

abstract

Iamascope is an interactive multimedia instrument. Using images captured by a camera, it generates kaleidoscopic images, which are projected on the wall. The performer stands in front of the camera and his movements generate music and images. Extending a first prototype, we investigated a novel method for transforming images into musical elements. We also redesigned the musical components of the system, considering hierarchical structures for generating melody, chord and keys.

1 はじめに

昨今インタラクティブアートやサウンドアートが様々な場面で発表されている。例えば、センサ入力による音楽演奏システムやカメラによるジェスチャ入力を利用した音楽制御システムなどが存在する。その中でもマルチメディア楽器は、今後のインタラクティブアートの中で深い没入感と多様なインタラクティブティが生まれる可能性があると考えられる。しかし、その多くはユーザにとって音楽インタラクションが思い通りであるとは限らない。ユーザ入力に対して非常に単純なフィードバックであったり、逆に多くの音楽要素へ反映させるための複雑な動作を要求される。

Felsらのインタラクティブダンス楽器「Iamascope」[1][2]は、万華鏡の画像生成と同時に、ユーザのダンス

動作などによる映像入力型インタフェースを用いたインタラクティブダンス楽器である。このシステムではユーザの単純な動きを画像処理し、画像を分割した各領域毎に音を出すというメロディー生成の手法が存在した。

本研究では、従来の Iamascope の音楽生成手法に加え、ユーザが更に細かい且つ全体的な音楽生成を行うための音楽制御系を実装した。その際、一人のユーザがマルチメディア楽器の演奏として楽しむために、直感的な身体動作を反映して音楽要素を生成できるようにすることを目標とした。ある程度音楽の法則によったコード生成と同時に Key 変更を行う音楽生成手法を検討し、メロディー生成・コード生成・キー変調の3種の操作を行う音楽生成手法を実装した。更に、音楽

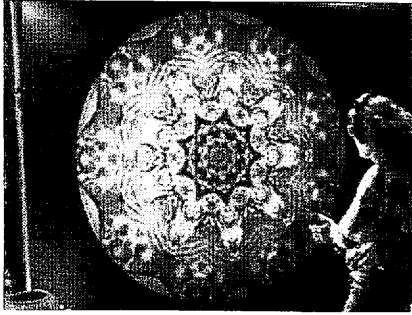


図 1: Iamascope 実行風景

インタラクションにおける、時間的階層構造を用いた新たな設計指針を導いた。

本論では、まず、2節において Iamascope の音楽生成手法を具体的に説明し、3節では、これまでに行われている幾つかのマルチメディア楽器における音楽生成部を例に挙げる。そして、4節では、我々が今回実装した新たな手法について具体的に記述し、最後に5節においてこれら音楽生成手法とカメラ入力のインタフェース、ひいてはインタラクティブアートにおける音楽生成手法についての考察をまとめる。

2 Iamascope の概要

インタラクティブダンス楽器 “Iamascope”(図1参照)は、画像処理とコンピュータグラフィクス技術を利用して、万華鏡のインタラクションを電子的に実現したものである。本システムは、インタラクティブアート作品であると同時に、グラフィクスと音楽フィードバックを含む新しい万華鏡であり、ダンス楽器としても用いたり、絵を書く技術や音楽演奏の技術がなくても実時間においてインタラクティブなマルチメディア創作を行うことができる。ビデオカメラで捉えたユーザの映像を原素材として扇形に画像を切り取り、万華鏡模様を生成しスクリーンに表示する。また画像処理を用いた動き検出により音楽を生成するサブシステムを接続し、映像と音楽が一体となった空間を作り出す。全体として、画像のフィードバックである万華鏡模様と、音楽生成の制御が一致することにより、非常に使いやすく、反応のよい、非接触の直接制御のマンマシンインタフェースを提供できていると考える。

Iamascope のシステム構成を図2に示す。150~170インチのプロジェクタ型スクリーンを表示用に用い、その中央下にビデオカメラを一台設置する。カメラか

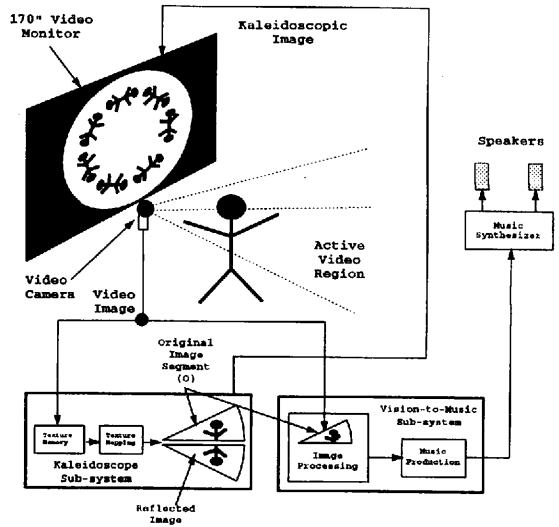


図 2: Iamascope のシステムブロック図

らの出力は、万華鏡画像生成用・音楽生成用それぞれのワークステーションに分配され、万華鏡サブシステムと音楽サブシステムにより処理される。万華鏡画像はプロジェクタに表示され、音楽情報は MIDI 音源を通じスピーカ出力される。両サブシステムとも、C言語で書かれフロントエンドとして Tcl, ユーザインタフェースを Tk で用意している。

万華鏡サブシステムでは、扇形・二等辺三角形などの画像を切り取り(この部分を素片と呼ぶこととする)、2枚以上の仮想鏡の相互反射の疑似シミュレーションにより万華鏡模様を生成する。中心角の全周360度を偶数分割するように素片の中心角を設定すると、すべての素片の辺位置では連続になっているように模様を生成することができる。例えば中心角30度の扇形状ならば、半分は半径にそって反転された12個の素片が円を形成し、ユーザはその模様を実時間で変化¹させることができる。

音楽サブシステムは、画像処理部と音楽生成部から成る。万華鏡サブシステムが切り取る素片を半径方向に N (通常 $N=10$) 個の小領域に分割し、それぞれの領域におけるフレーム間輝度差分の平均を計算し(図3参照)、音楽生成部に送る。ここで各小領域における輝度差分値があるしきい値を越えると、コンピュータ

¹ 万華鏡サブシステムと音楽サブシステムは SGIO2(R10000, 175MHz) で約 30 フレーム/秒で実行している

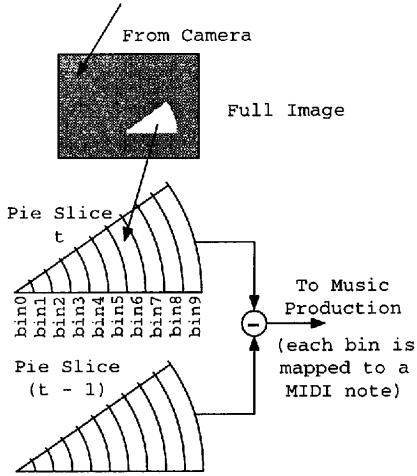


図 3: 音楽サブシステムの画像処理

のクロックにあわせて、あらかじめ設定してある各領域の音高において MIDI の “note-on/off” のコマンドを発生する。この領域ごとの音高は、和音構成をあらかじめ与えることによって決定する。現在は “C-F-G-Csus4” のそれぞれを 2.5 秒で循環していく、単純な循環和音進行を演奏・展示することが多い。

これまでに本システムは SIGGRAPH97 の Electric Garden を始めとし (図 4 参照), Ars Electronica Center や Petrobras Exhibition of Virtual Reality にて展示している他、ダンサーによるライブパフォーマンスを行うなど多くの発表の機会があった (図 5 参照)。南紀熊野体験博 (1999 年 4 月 28 日～9 月 19 日) の NTT パビリオンでは、本システムにおける万華鏡模様の生成方法を応用し、和歌山の名産である手鞠にちなんだ図 5 のような形状を生成し好評であった。現在は UK Millennium Experience, Play Zone (Greenwich, UK) において 2001 年 3 月 31 日まで展示中である。

上のような展示・発表の経験より、本システムは、

1. 非接触のインタフェース
2. 実時間のインタラクション
3. 対象を限定しない
4. 音楽と映像の一致と適度なバランス

といった点において優れていると考察している [3][4]。

3 関連研究

これまでコンピュータを利用した万華鏡画像生成では軸対称図形を描くプログラムが提案されている [5]

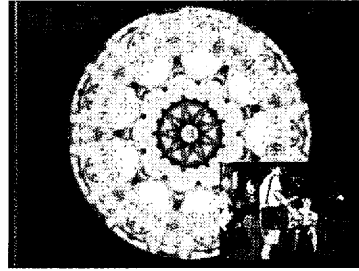


図 4: SIGGRAPH97 における展示

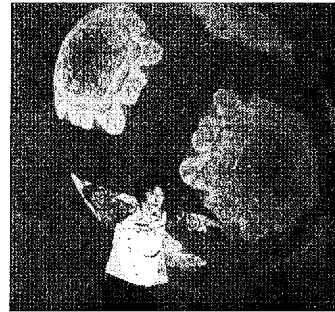


図 5: ダンサーによるパフォーマンス

が、実時間生成することに着目されていなかった。本システムの音楽サブシステムは、こうした実時間処理の特性を活かし楽器に応用したものである。

Iamascope においても、より細部に至る音楽操作のため、他のセンサを用いるなどユーザインタフェースにこれまでも改変が試みられてきている。まず本システムを構成する前に、万華鏡映像生成システムに、磁気位置センサを利用した音楽サブシステムを組み合わせ、MusiKalScope という画像と音楽生成が独立なシステムが制作された [6]。音楽と映像を描画演奏するシステムとして高揚感を生むことができたが、位置センサの時間的検出精度は音楽演奏に十分ではなかった。

MusiKalScope2[7] では複数ユーザによる演奏を想定し、他のセンサとの併用も試みられている。ここでは YAMAHA の MIBURI というジェスチャーセンサ楽器、両足の靴の裏に設置したタッチスイッチ、Iamascope の画像処理部を用いた音楽生成部を複合的に構成している。演奏者の緊張を画像と音楽の両方に反映するとともに、キーボードと電子ドラムといった他の種類の楽器奏者とのコラボレーションを可能にしている。

本研究においては、Iamascope における、ユーザを限定しない簡単な入力という利点を活かすことを重視

した。そのため、エンドユーザにとって簡単に参加できるシステムとして、我々はカメラ入力のみを用いた本システムを採用した。よって、本研究においては、一つの情報からより多くのユーザ行動に関する情報を発見し、楽器として音に反映させるような拡張を検討する。

次に、万華鏡インタフェース以外のマルチメディア楽器における制御方法とその実時間音楽生成の例をいくつか取り上げる。

岩館ら [8] は非接触のカメラ入力を用いてユーザのアクションから感情抽出を行い、ユーザのパフォーマンスにより映像・音楽データベースからマルチメディア制御を行うインタラクティブダンスシステム “MIDAS” を提案している。カメラ入力型のマルチメディアインタラクションとして注目できるが、楽器としての発音とユーザ行動との直接的なつながりには言及していない。

Chen, 西本ら [9] は、音楽要素を “discrete, indiscrete” の二つに分類し、マルチメディア楽器における操作と音楽生成手法の一般的な関連付けを検討している。MusicBrush は MusiKalScope2 と同様の MIBURI を用いた音楽演奏・描画を同時に行うためのマルチメディア楽器である。MIBURI に付属する両手に持つタイプの仮想鍵盤を discrete な要素として音階を持つメロディー演奏に用いている。ここでは非連続なデータ入力と連続的なデータの制御を別々の制御系から入力するという方略を採っている。しかしこれと比べて、Iamascope システムでは画像処理から音楽要素入力判断は、しきい値を越える画像変化量によって為されているため、明確で安定したメロディーの操作等を行うには、多少難儀を要求される。

また、水流をインタフェースに用いた楽器 “Tangible Sound” [10] における音楽要素生成手法では、音の源としてのメタファを持つ水源 (Source) を、蛇口から 4 つの Drain に流し込むという選択が可能になっている。“Source & Drain” のメタファによるインタラクションと音楽生成手法を Iamascope へ応用する試みも考慮された [11]。しかしカメラに捉えられるユーザの動きを音楽操作の源 (Source) とし、分割された領域を Drain と見なすためには、音楽要素操作に十分な制御レベルにより自由な入力を行うことができるかが課題である。発音タイミングを決定する機構において、ハードウェアのクロックによりそれぞれの Drain が受けた流量を音程とするため MIDI の note-number を決定し、流量に変化が生じたときに発音する仕組みは、Iamascope のそれと類似している。

4 音楽生成の実装手法

我々は従来の Iamascope の音楽サブシステムを拡張し、より表情豊かな音楽インタラクションを生むため、音楽生成手法を再検討した。音楽要素制御には、音楽要素と操作システムとのマッピングが様々に考えられる。しかしここでは、1 節に述べたように、基本的に画像による入力のみにより音楽要素生成を行うこととする。特に、本論文では従来の音楽生成部に新たに付加した、和音進行に関するインタラクションを中心に、改善した点について述べる。

また、一人のユーザによる操作を前提として、どんなユーザでも簡単に楽しめるという操作性の目標は継続して保持するものとする。そのため、従来の音楽サブシステムにおける、それぞれの画像の分割領域ごとにおける note 演奏の制御方法は継続して採用する。尚、万華鏡サブシステムでは扇形を用いた画像生成を用いる。

4.1 和音進行のタイミング制御

まず、従来の Iamascope における、和音に沿って画像領域に割り当てられた音を鳴らすという操作方法を維持しつつ、その動作と同時に行うことのできる操作を検討した。そこで、ユーザが大きく動くことや早く多くの音を鳴らすことで和音を進行させるという新しい演奏形態を Iamascope に付加し、簡単でより表情豊かな演奏を楽しむことを狙った。我々はここでこの操作を “タイミング制御” と呼ぶこととする。

これは、オーケストラの指揮者のように体を使ってリズムを作り、テンポを早めたり遅くしたりすることを参考にしている。そのため本システムにおいては 10 等分した扇形の各領域において、

1. 同時に note-on の信号が出力される領域が合計 8 個以上である
2. 同時に note-on の信号が出力される領域が合計 5 個以上であることが 2 フレーム以上連続となる

うちのどちらかを満たしたとき、和音進行を行うタイミングを出力するシステムとした。また、和音進行の信号出力直後に再び和音進行の信号を受け取った場合に、すぐに和音進行を行う意図のない入力雑音と見なすため、500ms の間、和音進行を受け付けないこととした。これは予備実験における経験的な値から決定した。

4.2 4和音進行列の選択

従来の音楽サブシステムにおける演奏では、あらかじめ決められた和音進行を、一定時間毎に行っている(2節参照)。本研究では、よりインタラクティブな音楽操作を行うための一歩として、和音進行をユーザの行動によって制御する方法を検討した。この操作を“和音列選択”と呼ぶ。

4和音の進行を単純に繰り返すのではなく、またある程度音楽的なレベルを保ちながら進行にバリエーションを持たせるため、複数の「4和音進行セット」をあらかじめ準備し、ユーザの入力と和音進行の規則の両方によって4和音毎に次のセットを選択していくシステムとした。具体的には、前の4和音進行の終止和音に対し和音進行の規則[13]に従って次の4和音進行の開始和音を決定し、ユーザ動作の激しさにより次の4和音進行の終止和音を決定することで、4和音進行の流れを選択する仕組みとした。

和音の種類を T (Tonal) = {I, VI}, S (SubDominant) = {II, IV}, D (Dominant) = {III, V} に分類し、各和音の機能とユーザ入力を反映した和音進行を行うよう、以下の手続きを踏むサブシステムとした。

1. T, S, D のそれぞれから始まり T, S, D のそれぞれに終止する 4 和音進行の 3 * 3 種類のセットを準備する。
2. ある 4 和音進行の期間のユーザの動きを蓄積するため、note-on の回数を累計する。(ただしこれは単純な蓄積ではなく、無入力の間には蓄積から減算する)
3. その和音進行が完了したときに、
 - (a) 和音進行の終止和音が T, S, D のどれであるかにより次の開始和音の種類を決定し、
 - (b) note-on の累計数に表されるユーザの動きの激しさにより、T, S, D の順に次の和音進行の終止和音の種類を決定すること、次に来る 4 和音進行を選択する。
4. 4 和音進行が完了したことによる仮終止の効果だけでなく、音楽的な区切りの感覚を与えるため、MIDI 楽器の変更を行う。

4.3 Key 変換の制御

最後に、和音進行のタイミング制御における和音変更のユーザインタラクションと、4和音進行選択による多様な音楽処理に加え、長時間単位の音楽をコントロールするため、ユーザにより調制を制御することを狙

いとし、“Key 変換”を行うようシステムを拡張した。

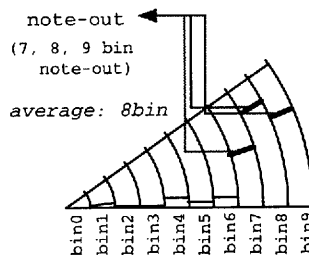


図 6: 音楽制御部からの重心変化領域検出例

ここでは、画像によるフィードバックが比較的大きい、万華鏡模様が外側へ動いたり内側へ動く動きを取り上げ、それと同時に行われる音楽操作が必要であると考えた。そして、その画像変化と Key 上昇・下降に類似性があると考え、画像の広がり・収縮と同時に、Key 変換が行われるようにした。万華鏡模様が外側へ広がるとき、従来音楽サブシステムのフィードバックでは発音音程が高くなることを認識できた。これを用い、同時にしきい値を越える画像分割領域 (note-on 信号を発する領域) の変化領域重心と (図 6 参照) して、その直前フレームの値との差分を計算することで、移動の有無を推測することとした。

その際安定した動きのみを抽出するため、前フレームとの差分をスムーズフィルタリングする処理を行った。

各フレーム n における変化領域重心 bin 番号を X_n 、そのフィルタリングした値 \widetilde{X}_n は次式 (1) で計算する。

$$\widetilde{X}_n = \frac{1}{4}(X_n + 2X_{n-1} + X_{n-2}) \quad (1)$$

$$\widetilde{X}_n > \widetilde{X}_{n-1} \quad (2)$$

次に \widetilde{X}_n のフレーム間差分を式 (2) で判定し、動きがあったときにカウンタを一つ増やす。

このカウンタの値がしきい値で指定する回数以上になれば連続的に変化領域重心の位置が外側に変化したと判断し、移動を検出すると同時にカウンタをリセットするようにした。また同様に変化領域重心が連続的に中心側に移動したときも検出し、どちらでもなく動きがないときはカウンタをリセットする。この移動方向検出により、ユーザは、模様を広がり・収縮を作るのに伴わせて Key 変換の制御が可能となる。ユーザが比較的長いタームで模様を広がりや収縮を作る時のみ Key 変換を行うため、カウンタのしきい値を上げることにした。

いった音楽要素を一瞬で制御する機構を導入することによって、「ある空間内を動けば音が鳴る」という簡単な発見に留まらず、ユーザは大きな動作をすること、左右に動くことなど単純な動きのパターンから音楽要素が生まれることを体験し、学ぶことができるようなシステムとすることができた。尚、和音進行のための入力方法はフィードバックが遅いので今後更に再考されるべき点である。

以上より、本研究によって非接触な楽器インタフェースにおいても、note-on/off、タイミング制御、及びKey変換等の制御を瞬時の操作で実現することで、「手探り」と同時に直接操作感を伴う音楽制御を提供できた。新しい音楽体験を生み出すことが出来たので、p1、p2を満たしたと考える。

次に、カメラ入力について考えると、ユーザにとっては時には一種類、時には多種類の意図を伴う入力の可能性がある。これらの入力を異なる音楽要素の制御に用いることを考慮して、ユーザに混乱が生じないようシステム設計するべきである。一つの方法として、制御系として他のセンサを導入することを議論する。例えばより多くの種類の音楽インタラクションをコントロールする楽器を実現するために、MusiKalScope[6]のように空間座標を用いて他のセンサを導入することも考えられる。しかし本システムの目標は、高度な音楽要素演奏を取り入れることではなく、どんなユーザでも気軽に画像と音楽のフィードバックを楽しむことである。

また、非接触のインタフェースを保持しつつ、細かい演奏の使い分けを容易にするには、例えば針金などによって空間の中に画像領域を示す道具を用い、ピアノのように決められた分割領域を示す方法がある。これは、自由な万華鏡画像生成を生み出すきっかけとしてp1に有効だと考え、今後導入を予定している。また、この方法は3節に挙げたSource & Drainのメタファを導入する際にも有効であると考えられる。

5.2 音楽要素の操作による効果

ユーザが、同時に演奏者でありかつ聴衆・観衆でもある状態(p3)という独特の楽しみ方が可能であるためには、ユーザ行動とフィードバックの対応付けが為され、親しみやすくかつ簡単な奏法であることが必要である。まず親しみ易さという点で、本システムの万華鏡模様サブシステムによるインタラクティブな画像生成は重要な役割を果たしている。また、従来の音楽サブシステムにおける単純なnote-onの信号出力によ

り、p1、p2に記したように画像と音楽とのほどよいバランスが出来、親しみやすさと同時に分かりやすく簡単な操作方法を提供している(2節参照)。

ここで、従来の音楽処理部と、なるべく多くの楽しみ方を持つために新たに付加した(p2)音楽制御システムについて、それぞれ考察する。

まず、従来通りの音楽処理部について述べる。Tangible Sound[10]における発音システムと同様に、コンピュータなどのハードウェアのクロックによりMIDIの“note-on/off”のコマンドを発生する。それにより、演奏タイミングにクオンタイズのような効果を生むことができる。よってリズム通りにうまく演奏できないユーザでもある程度音楽的なタイミングを演奏したような感覚を得ることができる。和音構成音以外の演奏が4.4節に述べた機構によって可能になり、ユーザは簡単により表情豊かな演奏を作り出せる。今後はユーザの音楽レベルに応じさせて、聴取・演奏ともに楽しめるようソフトウェアを構成していきたいと考えている。

ここで今回追加した2種の操作を検討する。

まず、時間にそって自動的に行われていた和音進行を、ユーザがタイミング制御できるようになった。これにより指揮者のような音楽における時間の進行をユーザが司るような感覚を生成し、流れている音楽とユーザとのインタラクションを強めることができたと考えられる。

次にKey変換の制御について述べる。Keyの変換は、音楽演奏の中で長いタームで行うものである。Keyの上昇・下降により音楽の大きくイメージを変えることができるが、頻繁に行くと逆に和音構造に準じた音楽生成部が崩れてしまう。よって、カウンタのしきい値を調整してユーザの意図レベルが高い場合のみKey変換を行うようにするしくみは有効であったと考える。

以上より、ユーザは和音進行の“タイミング制御”と同時に、クオンタイズの効果で心地よく演奏し、表情づけを行いながら、時々“Key変換”を楽しむことができる。演奏者が子供であったり、自由に体が動かせない人であっても、道具などを用い工夫することで、映像を動かして同時に多くの音を鳴らし、タイミング制御することができる。またこれに加えて、4.4節に述べた和音構成音以外の音を出す機構を組み合わせることで、より表情豊かな演奏ができる可能性がある。

5.3 インタラクティブアートと楽器設計指針

最後に、“note-on/off”・“タイミング制御”・“Key変換”の3種類の操作における音楽的階層構造に関し

て考察する。音楽の要素は幾つかある。音の強さ、音の高さ、音色といった3性質が基本となり音を決定する他、それら音のまとまりとして、和音や、アルペジオの並び、楽曲全体の強弱、調制など様々な要素がある。

これら音楽の要素は時系列上で常に変化しているものである。特に本システムはリアルタイムに音楽生成しているため、前田[12]の一般的なインタラクティブアートにおける設計指針と同様ではないと考えられ、類似性を持つ操作要素を同時に与えるのは難しい。

そこで、前田の仮説に加え、『インタラクティブアートの要素を持つ楽器において、音楽的な操作として分かりやすく提示された方法によって簡単に操作の組み合わせを行うためには、時間的なレベル(操作のターン)の違いを持つ操作対象と、そのインタラクションのための操作を準備し、提示されるべきである。』という設計指針を提案する。

前田の仮説における、有り得るすべての操作方法・組み合わせの提示という意味では、ユーザのレベルや目的・対象に応じた時系列レベルを考慮した上での操作設計が必要である。今回は求められるレベルの操作として単純な動きによる音楽要素入力を3種類準備した点で操作方法の提示をたやすくしていると考えられる。また、組み合わせの提示という意味で、音楽における異なる種類の操作を可能にするために、時系列でのレベルの異なる操作として3種類の操作を提示したことが有効であったと捉えることができる。

6 おわりに

本論文では、インタラクティブダンス楽器“Iamascope”において、カメラからの非接触な画像入力を使った、種類の異なる音楽要素の操作を行う手法を紹介した。また、本システムを検討し、『インタラクティブアートの要素を持つ楽器において、音楽的な操作として分かりやすく提示された方法によって簡単に操作の組み合わせを行うためには、時間的なレベル(操作のターン)の違いを持つ操作対象と、そのインタラクションのための操作を準備し、提示されるべきである。』という設計指針を提案をした。

今後は、開発した音楽生成手法や上の指針を新たな楽器システムのインタフェース構築に応用することを目標とする。またそれと同時に評価実験を行うなどシステムの検証を行っていく予定である。そして、どのような目的を持つユーザ層を対象とするのかを考慮し、付随させる機能とインタフェースを取捨選択していくための、指標を確立したい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、ATR 知能映像通信研究所の中津良平社長を始めとし、Timothy Chen氏、Sidney Fels氏、西本一志氏、前田篤彦氏、角康之氏、岩館祐一氏、CSK(株)の宅見正氏、他多くの方々にご協力頂いたことをここに感謝する。

参考文献

- [1] 間瀬健二, シドニー・フェルス, ダーク・ライナース, “Iamascope (インタラクティブ万華鏡): グラフィックな楽器の提案”, Visual Computing グラフィクスとCAD 合同シンポジウム, pp. 91-96, 1998.
- [2] Sidney Fels, Kenji Mase, “Iamascope: a graphical musical instrument”, Computers & Graphics 23, pp. 277-286, 1999.
- [3] 間瀬健二, “サイバーコミュニケーションとアミューズメント”, 精密工学会誌, Vol. 66, No. 2, pp. 205-208, 2000.
- [4] 中津良平, “新しいコミュニケーションの実現を目指して”, 情報処理, Vol. 39, No. 12, pp. 1209-1214, 1998.
- [5] Pickover, C.A.: Mazes for the Mind, Brockman Inc., New York, 1992.
- [6] Fels, S., Nishimoto, K. and Mase, K. “Musikalscope: A Graphical Musical Instrument”, IEEE International Conf. on Multimedia Communications and Systems, pp. 55-62, Ottawa, 1997.
- [7] Nishimoto, K. and Mase, K. “A Proposal for a Framework for General Multimedia Art Creation Instruments”, Proceedings of the third Creativity & Cognition Conference, ACM SIGCHI, pp. 108-115, Loughborough, 1999.
- [8] 岩館祐一, 井上正之, 鈴木木太郎, “身体動作からの感性特徴量の抽出に関する検討”, 映像情報メディア学会マルチメディア研究会, Vol. 24, No. 29, pp. 7-12, 2000.
- [9] ティモシー・チェン, 西本一志, 間瀬健二, “汎用的マルチメディアアート演奏装置のインタフェースデザインに関する一検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 99, No. 723, MVE99-90, pp. 87-92, 2000.
- [10] 米澤朋子, 間瀬健二, “流体による楽器インタラクション”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 1, pp. 755-762, 2000.
- [11] 米澤朋子, 間瀬健二, “流体楽器における音楽要素生成手法とその応用”, 情報処理学会第60回全国大会, 講演論文集2, pp. 61-62, 2000.
- [12] 前田篤彦, 杉山公造, 間瀬健二, “物理系インタラクティブアートの感性工学からの考察”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 99, No. 723, MVE99-88, pp. 75-80, 2000.
- [13] 北川祐, “音楽理論ハンドブック”, リットーミュージック, 1988.
- [14] リタ・アイエロ, “音楽の認知心理学”, 誠心書房, 1998.