

Iamascope (インタラクティブ万華鏡) : グラフィックな楽器の提案

Interactive Kaleidoscope

- A Proposal of Graphical and Interactive Dance Instrument -

間瀬 健二 シドニー・フェルス ダーク・ライナーズ
Kenji Mase Sidney Fels Dirk Reiners

ATR 知能映像通信研究所

〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台

phone: 0774-95-1440, fax: 0774-95-1408, {fels,mase}@mic.atr.co.jp

ATR Media Integration & Communications Research Laboratories, Kyoto, JAPAN

あらまし Iamascope はインタラクティブで電子的な万華鏡によるグラフィックな楽器である。それは、ビデオ、グラフィックス、画像、音楽などのコンピュータ処理技術を使い、演奏者が印象的な映像と音楽を生み出し芸術的な高揚感を得られるように設計されたインタラクティブ装置である。

本稿では、システムの構成を示すとともに、インタラクティブシステムとしての位置づけを議論して、新しいグラフィックなインタフェースをもつ楽器を提案する。グラフィックワークステーションのビデオテキストチャマッピングハードウェアを活用し、鏡の相互反射の疑似シミュレーションをリアルタイムで行なうことにより、万華鏡と全く同じ効果を得ることが可能となった。テキストを貼付けるポリゴンのモデリングにより多様な鏡の配置の選択が可能であり、円形、平面展開、3次元球面展開、など対称パターンのデザインツールとしても利用可能である。音楽サブシステムは万華鏡像に反映される映像の輝度変化を捉えて、MIDI シンセサイザを演奏するコマンドへと変換する。音楽の制御と万華鏡模様のパターンの制御が完全に一致し、リアルタイムのフィードバックがかかるため、非常に使いやすいインタフェースを提供している。

1 はじめに

万華鏡は1816年にD. Brewster氏によって発明されて以来、世界中の人を魅了している。Iamascope¹は電子的なインタラクティブ万華鏡で、画像処理とコンピュータ・グラフィックス技術を利用した新しい万華鏡である。それは、インタラクティブアート作品であると同時に、新しいタイプの、グラフィックスを統合した楽器であり、あるいはダンスインストゥルメントである。本システムは、絵を書いたり楽器を演奏する技術がなくても、自分も観客も綺麗で楽しいマルチメディア創作ができる空間を提供することを目的としている。

Iamascopeが従来の万華鏡と大きく異なる特徴は、演奏者であるユーザが万華鏡の中の素材として入り込みながら、その万華鏡の映像を見て楽しむことができるということである。そこにさらに、音楽が加わって、ユーザと観客に豊かで審美的な体験の場を提供することができる。

システムは大型スクリーンとスクリーン下に設置したビデオカメラをインタフェースとし、ビデオカメラでユーザをとらえ、その映像を原素材として万華鏡模

様を生成しスクリーンに表示する。鏡をビデオカメラの前に設置して万華鏡画像を表示するというアナログ処理では得られない効果を、コンピュータ処理を取り入れることによって得ることができる。例えば、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することによって映像と音楽が一体となった空間を作り出している。全体として、映像のフィードバック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。特に、音楽生成のために画像処理を利用することにより体験の効果を高めることができている。その空間に入るだけで、システムがすぐに応答して、きれいな画像を伴った音が流れてくる。ユーザははじめから使い方に煩わされないまま、それに引き込まれ親しみさえ感じることができる。

これまで、コンピュータを利用した万華鏡画像生成には軸対称図形を描くプログラムが提案されているが、実時間生成することに注意が払われていなかった[1]。本システムでは、グラフィックワークステーションのビデオテキストチャマッピング機能を最大限利用して、鏡の相互反射の疑似シミュレーションを実時間で行なっている。我々は、まず、万華鏡映像生成システ

¹ [I am a scope. (私が万華鏡)] の意味の造語である

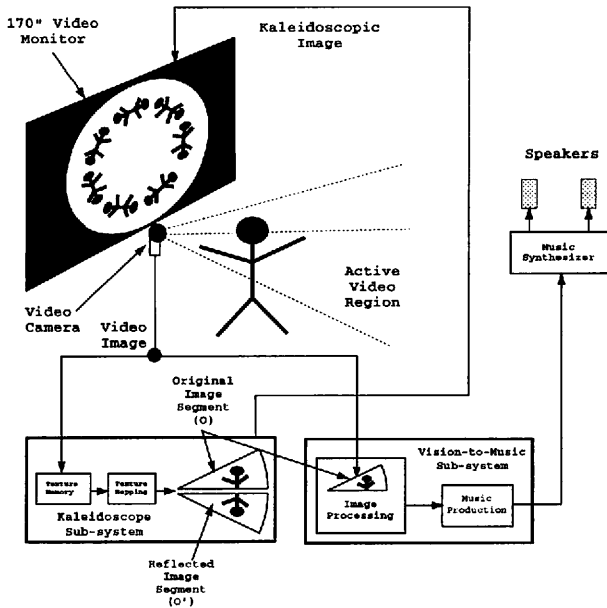


図 1: Iamascope のシステムブロック図

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た映像と音の楽器を制作した。MusiKalScope（楽画器、らくがき）と命名したこのシステムは、映像と音楽生成に関する独立なシステムを粗結合しながらも、映像と音楽を気軽に描画演奏でき、高揚感を与えることができた[2]が、位置センサの時間的検出精度が音楽演奏には不十分な点があった。Iamascopeは音楽サブシステムに画像処理を導入することにより映像と音楽の一体感のある演奏を楽しむことができるようになっていく。

また、画像と音楽を結合したインタラクティブなシステムは、2つの観点から関連する研究をながめることができる。第1は画像処理により音楽とグラフィックスを制御する方法、そして第2は演奏における認知負荷を低減するためのいろいろな取り組みである。前者にはDanceSpace [3]、VividグループによるMandalaシステム、David RokebyによるVery Nervous System、Ed TannenbaumによるRecollectionがある。例えばDanceSpaceはインタラクティブ性は良好であるが音楽性に欠けるという問題があるし、Mandalaは楽器を叩くためのボタンが仮想空間中に明示的に表現されているに過ぎない。後者の例はBrush de Samba [4]、MusiKalScopeで音楽部を支援するRhyMe[2]などがある。Iamascopeは新しいインタフェースを提供しながら、音楽のもつ楽しさを満喫できるシステムを目指している。

本文では、Iamascopeのシステム構成を万華鏡サブシステムと音楽サブシステムそれぞれについて説明する。また、SIGGRAPH97の技術展示(Electric Garden)[5]や研究所公開における展示などを通じての利用者の反応をもとに考察をする。

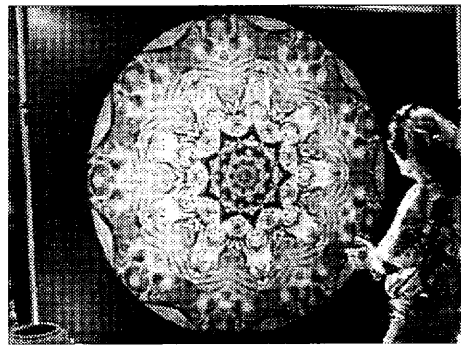
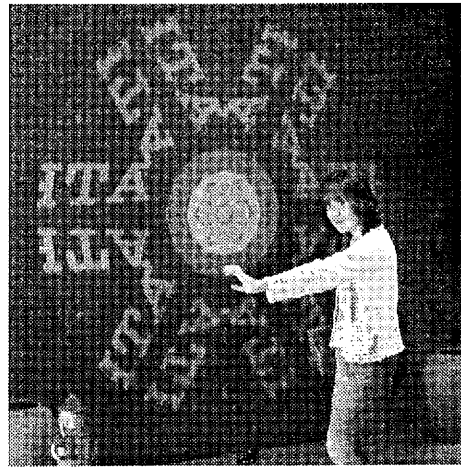


図 2: Iamascope を利用している様子

2 Iamascope の概要

Iamascopeのブロック図を図1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使い、その下に1台のビデオカメラを設置する。カメラの出力は万華鏡生成と音楽生成をそれぞれ担当する2台のグラフィックワークステーション(GWS)に分配される。万華鏡生成GWSのビデオ出力がプロジェクタを通してユーザの眼前に表示され、音楽生成GWSのシリアル出力がMIDI音源(シンセサイザー)と接続し、音源からラウドスピーカーを通して音楽を聞くシステムである。

音楽生成万華鏡生成のサブシステムでは、ビデオ画像がテクスチャメモリに転送され、その中から適当な領域(現在はパイ形状、以下画像素片と呼ぶ)を使い、万華鏡画像を生成する。例えば原画像素片Oをあるエッジにそって反転させると鏡による反射像O'を得ることができるので、そのパターンをくりかえし使って、多角形近似円を作ると2面鏡の万華鏡模様ができあがる。この処理はハードウェアによるビデオテクスチャマッピングの技術を使うとほぼビデオレートで可能である。

さらに同じ画像素片の領域の動きを音楽生成のための音楽サブシステムでも用いる。音楽サブシステムは、入力された画像素片から各画素における輝度の時

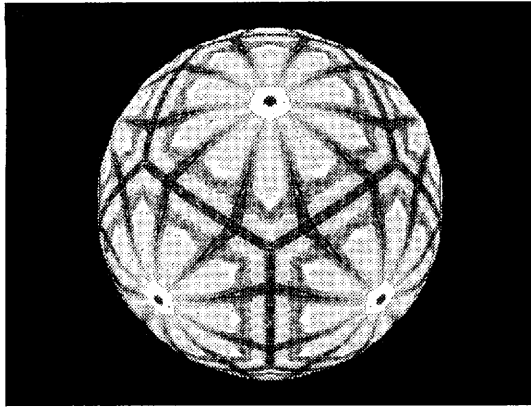


図 3: 三枚の鏡による球面万華鏡像の一例

間変化をとらえ、変化に応じて MIDI 音源を鳴すコマンドを生成する。したがって、カメラの前で体の動作などで生じる輝度変化によって、音楽を演奏することができる。

万華鏡の表示と音楽生成の制御のための入力を、同じ画像素片にすることにより、これらが基本的に同じ系で行なわれることになる。ユーザまたは演奏者は、万華鏡の変化と音楽の演奏の対応づけが可能となり、視覚と聴覚によるフィードバックがかかった制御系の一部となる。Iamascope を利用している様子を図 2 に示す。

全システムは 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 [6] で用意している。万華鏡サブシステムは SGI 社 ONYX+Sirius Video の場合 30 フレーム / 秒で実行する。現在は、O2(R5000, 64MB) を用いても、テキストメモリの使い方を工夫して 28 フレーム / 秒で実行できることを確認している。音楽生成サブシステムは SGI Indy(または O2) で 18 フレーム / 秒で処理している。

2.1 万華鏡サブシステム

Iamascope における万華鏡パターンは、2 枚以上の仮想鏡の相互反射の疑似シミュレーションで生成する。2 枚鏡の場合はパイ形状が全周 360 度の偶数分割の一つとなるように中心角を選ぶと全ての素片の辺位置では連続になっているような万華鏡画像を生成できる。例えば中心角 30 度のパイ形状を選べば、12 個の素片（半分は半径にそって反転されている）で円を埋めることができる。その連続性と対称性はきれいな画像を作り出し、中心の特異点がユーザが自らの位置を認識するのに役立ち、パイ形状による半径方向の不均一性によって、画像中での抽象化のレベルをユーザがコントロールできるという、利点が生ずる。

2 枚以上の鏡については多様な構成が可能である。現在以下のような反射パターンを実現している。なお、これらの模様が、鏡の相互反射による形成過程で

あると考えると、視点の位置、視線の中心方向およびビュー面の考慮抜きで、生成されるパターンの議論には曖昧さが残る。鏡の配置が作る底面の重心位置の垂直線上に視点があると考えればほぼ説明がつくが、この議論は本システムの主目的ではないので、他報告にゆずる。

1. 3 枚鏡による平面万華鏡：画像は無限までパターンを作り、スクリーンを埋め尽くす。3 枚の鏡は三角形に配置され、その角度は変更可能である。
2. 3 枚鏡による球面万華鏡：3 枚鏡の場合に反射パターンを球面に貼付けることによって、手毬の効果を出す。等方で球面を埋め尽くすために反射パターンの形状は一様ではない。その上にテクスチャマッピングを行なうので、パターンがゆがむ場所がある。その例を図 3 に示す。反射のさせ方や、球そのものが動く（例：回転）ようなバリエーションが可能である。
3. 3 枚鏡による球面万華鏡の内部：上記のように作った球体の内部に視点を移動することができる。鏡を垂直ではなく斜めに広げて立てて作る万華鏡効果を得ることができる。
4. 4 枚鏡による平面万華鏡：モザイクタイルのようなパターンができる。

(1) の 3 枚鏡による平面万華鏡の場合、正三角形に配置したものが作る模様は我々がよく接するおもちゃとしての万華鏡と同じである。正三角配置の 3 枚鏡の場合の、反射パターンの様子を図式化したものを図 4 に示す。仮想鏡の疑似相互反射シミュレーションでは、対称軸にそってパターンの反転をしているが、物理世界では、少し異なる現象が起きている。すなわち、1 つの反射パターンでも、別の鏡の反射経路を通ってきた部分パターンの合成でできている場所がある。また、この配置を非等角三角形にするといろいろなパターンを作ることができるが、対称の美からは離れていく。

2.2 音楽サブシステム

音楽サブシステムは、画像処理部と音楽生成部から成る。画像処理部は万華鏡部に対応する位置での輝度変化を抽出し、音楽生成部は輝度変化をもとに MIDI シンセサイザーに送る制御コードを生成する。

画像処理部の処理は図 5 のようになっている。すなわち、万華鏡サブシステム部が使うのと同じ領域の画像素片を半径方向に N 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次式で計算する：

$$I_{bin_n} = \frac{\sum_{p \in bin_n} \sqrt{(g_p(t) - g_p(t-1))^2}}{\text{number of pixels}} \quad (1)$$

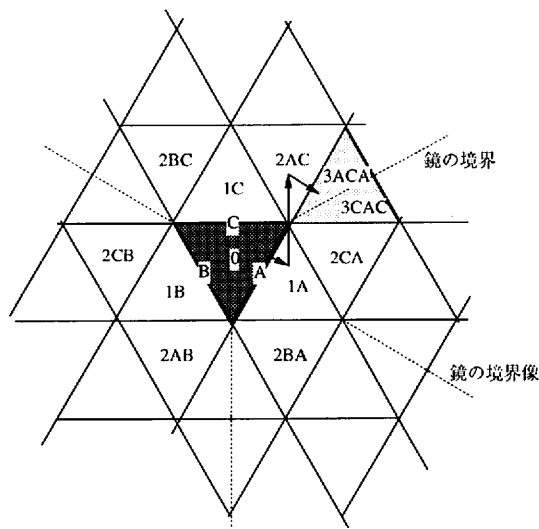


図 4: 3枚鏡における相互反射の様子：原パターン“0”から3枚の鏡A,B,Cによる相互反射によるパターンの生成。2ABはA→Bの順に鏡に2回反射されてできた像の意味。右上の3角領域は、3ACAと3CACという別の反射経路を通してできる部分パターンの合成になっている。これには鏡の境界とその鏡像が影響している)

ここで、 $g_p(t)$ は時刻 t の画素 p における輝度値である。また、 $bin_n (0 \leq n \leq N-1)$ は n 番目の領域をあらわす。各小領域における輝度差分値を要素とする演奏ベクトル $(Ibin_0, Ibin_1, \dots, Ibin_{N-1})$ を音楽生成部に送る。

2.2.1 和音の構成と進行

音楽生成部はこの画像処理部から送られる演奏ベクトルデータで動作する。すなわち小領域の出力 $Ibin_n$ の値があるしきい値を越えると、和音を構成する音階のひとつを鳴らすコマンドを生成する。 n は和音における昇順に構成する音階に対応しているため、例えばハ長調のI度の3和音(すなわちコードC)の場合では演奏ベクトルの第1要素は根音(ドの音)、第2要素は第3度の音(ミ)、第3要素は第5度の音(ソ)、そして、第4要素以上はオクターブを上げて同じ順で並ぶ。したがって、 N の大きさがTamascopeの音域を決めている。現在のシステムではおよそ制御可能な分解能として、経験的に $N = 10$ としているが、メロディを弾くには少ない音数である反面、空間分解能としては精密な制御ができる限界であり、さらに検討の余地がある。

和音(コード)の進行は、あらかじめ音楽生成部のグラフィカルユーザインタフェースにおいて定義しておく。その進行のタイミングは、演奏ベクトルデータ入力カウント数を基準とするか、コンピュータの

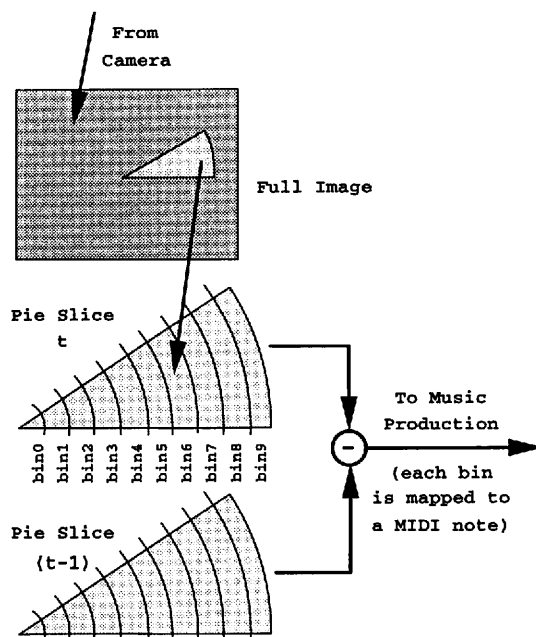


図 5: 音楽サブシステムにおける画像処理

クロックのどちらかのモードである。すなわち、前者は、画像処理部が演奏ベクトルを生成する周波数の関数で基本テンポを構成しているのに対し、後者は画像処理のフレームレートに独立にテンポ制御をする。したがって、前者の利点は、画像処理部と音楽生成部の処理速度が必ずしも一定ではないため、偶発的にはあるが基本テンポにゆらぎを与えることができる。一方、対象の様態で大きく変動するような画像処理を導入する場合には、画像処理フレームレートに独立な後者が有利で、コンピュータのクロックに合わせて、MIDIの“note on/off”のコマンドを発生することで可能である。両者を比べてみると、画像処理部の負荷が軽い現システムでは、ゆらぎのある前者のほうがわずかに心地好いという主観的印象がある。これは今後の評価すべき項目である。こうして、和音の進行により変化があり、テンポを感じるシステムを構成できる。

和音の進行は、ユーザの好みで定義できるので、工夫をこらすことによりイントロからエンディングまでの構成をもった曲をつくったり、単純な循環和音進行により終りのない演奏をすることもできる。例えば、現在は“C-F-G-Csus4 (I-IV-V-Isus4)”のそれぞれを2.5秒で循環していく進行を展示において多用している。この進行は演奏者が好みによりあらかじめ自由に設定することができる。そしてその進行に従い、万華鏡の画像素片内の小領域に対応してどの音を鳴らすかが前述のように決定される。前述のとおり、現在は $N = 10$ 個の小領域に分けており、2枚鏡の場合、中心が原音(ベース)、周辺が高音域に対応している。全領域が反応するように大きく体を動かすと、3オクターブ以上にわたる10個の音階からなる和音をジャンと引

いたような効果ができる。これは即興演奏のための機能固定楽器 RhyMe システム [7, 8] の最も単純な実現法と考えることができる。

2.2.2 MIDI コマンドの生成

実際に音を鳴らす仕組みは以下のようにになっている。

まず、演奏ベクトルの各要素がしきい値を越えたときに、対応する音階を演奏する MIDI コマンド (“note ON”) を生成して、MIDI シンセサイザーに送る。MIDI のペロシティのパラメータは輝度差分の大きさの関数 $f(Ibin_n)$ になっている。

演奏のコードを生成してから、あらかじめ設定したタイムアウトの時間が過ぎると “note OFF” の MIDI コマンドを出力して音を止める。この時間長は選択した楽器にあわせて経験的にマニュアルで調整される。たとえば、ピアノの場合には 250msec で “note OFF” が出力される。ある種の楽器、たとえば Goblin ではさらに長い時間 (2000msec) を設定すると余韻のある音を発生させることができる。このように、楽器にあわせた音楽演奏が容易になる。これらのパラメータは MIDI 音源の設計パラメータとの関係があり、音源ごとに調整する必要がある。

なお、音楽演奏サブシステムは、対象の画像素片内で、一定時間変化がない (演奏ベクトルの値が全てしきい値以下の) とき、万華鏡サブシステムに “動きなし” のコマンドを送り、演奏ベクトルがアクティブになったとき、“動きあり” のコマンドを送る。このコマンドはいろいろな利用方法が考えられるが、例えば、動きがない状態では、鏡の配置パターンをかえるなど、自動的に万華鏡模様に変化を持たせたりして、観客の興味を引く工夫などに用いることができる。

3 展示における考察

Iamascope システムは SIGGRAPH97 の Electric Garden で展示し [5]、会議参加者の 1000 名以上の人々が利用し好評を博した。ビーチボールなどカラフルな小道具を渡すことによって、体をうごかすことが苦手な人でも、小道具で簡単に演じることができるようにした。利用者の中にはわずかではあるが、車椅子の人、子供などもいて、何の困難もなく Iamascope を楽しんでいた。たとえば、車椅子のまま動き回ればいいのである。また、リピータが多くあり、彼らが使い方を説明していくという状況があった。映像を楽しむ人、音楽を楽しむ人、ダンスを楽しむ人、など様々であった。

Iamascope を利用するユーザを観察すると次のようなくつかのタイプがある。

- 模様デザイン派：万華鏡模様のデザインを楽しむ。音楽にはほとんど興味がない。
- ダンス派：ダンスを踊り出す。音楽と映像のマッチングを楽しむ風。

- ミュージシャン派：もっぱら音楽を楽しむ。万華鏡模様の映像は制御の視覚フィードバックとしての位置づけ。
- チームプレー派：2,3 人で一緒に楽しむ。絵のパートなどを分担して楽しむ。
- 小道具派：もっぱら小道具を振り回したり動かして遊ぶ。
- ボディ派：自分の体や衣装による模様や動きを楽しむ。これには個人によって、使う体の部分が異なり特徴的である。
- 探求派：仕組みを調べるのに興味がある。動きと音の対応づけを調べている。
- 無自覚派：他人のやっているのを見てとにかく同じようにやって絵と音を楽しんでいるが、それが自分と対応していることに全く気が付かない。万華鏡の全体をみて、部分に気が付かない。構成を説明して、自分の部分が写っているのを知ると驚きながら、はじめて理解する。
- 観客派：次々と変化する模様をただ眺めて、リラックスしている。

模様を楽しむタイプでは、万華鏡に映すモノがその人によって決まってしまう傾向が強いことが観察できた。理由はわからないが、非常に興味深い現象である。一つの仮説として、自分の好きなパーツ (手、顔、足、ドレスなど) を中心に模様作りを楽しんでいるのではないかということが考えられる。これまでは、短時間の提供をしているが、長時間に渡っての使用でどのように変化するか、興味深い。

なお、音を聞くだけで循環コード進行だとわかってしまう音楽の専門家からは、少なからず、音楽性についての未熟さを指摘された。もっともな意見であり、今後の改善課題である。Iamascope を強い制約条件下での楽器と捉えるにしても、コード進行の制御の単調さは、物足りなさを与えるかもしれない。

前述のように万華鏡模様は多様な鏡の組み合わせを提供しているが、もっぱらインタラクティブ展示では 2 枚鏡を使っている。これは、回転する 3 次元球模様では、注視する焦点が定まらないという困難が想定されるからである。多様な模様の使い勝手の評価も興味深い。

前述したように和音の進行のタイミングは、画像処理の周波数が基本となっていて、システムに任せている。これは演奏者がすべてを制御できる従来の楽器と比べると、制約があることになる。そもそも、楽器主導のテンポでユーザが演奏できるのかという懸念もあるだろうが、数小節の進行を聞けば通常のユーザはそのテンポを体で掴むことが可能であることが観察できる。これは、我々がカラオケやリズムセクションにあわせて、簡単に自分のボイスや楽器のリズムをあわせられることから、自然なことである。

4 まとめ

単純な万華鏡相互反射と画像処理による音楽生成は、ユーザが Iamascope の可能性を測りながら、楽しみ、自らを表現するという状況を作り出した。その成功をもたらした点は、以下に列挙されると考える。

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

ビデオ画像のテクスチャマッピングを利用したことで、自由度の高い、インタラクティブな万華鏡実現が可能となった。単純なメカニズムによって、だれでも楽しめるインタラクティブなアート作品 [9] あるいはダンス楽器を作成できていると考える。絵を書いたり楽器を演奏する技術がなくても、自分も観客も綺麗で楽しいマルチメディア創作ができる空間を提供し、エンターテインメントや芸術への親しみを高めることが可能な新しいインストゥルメントになっている。

対称形を多用する万華鏡風の模様デザインツールとしての発展性も考えられる。図 6 は、Iamascope のスクリーンのスナップショットをコラージュして作ったポスターである。

今後は音楽サブシステムを改良し、さらに音楽性の高い演奏の可能性を開くことが考えられる。また、多数のユーザによるセッションを可能にするには、テンポの同期とコード進行の同期などの問題がある。映像部の美しさは万華鏡模様が本質的にもつ美しさ（サブジェクトの意志を越えて発生する不規則パターン of 規則的かつ不安定な結像）によるところが大きい。それを活かしながら新しいプレゼンテーションの方法を考えたと面白いであろう。

謝辞

本研究は ATR にて行なわれたものである。Fels は現在 University of British Columbia の Assistant Professor を兼務、Reiners の現所属は Fraunhofer Institute である。Iamascope の主たる開発者は Fels である。システムの制作にご協力をいただいた (株) CSK、宅見 正氏に感謝します。日頃ご指導いただく酒井保良会長、中津良平社長ならびに、音楽サブシステムについてアドバイスいただいた西本一志研究員ほか、ディスカッションして頂く第 2 研究室の皆様へ感謝します。ポスターの制作に協力していただいた中尾恵子、本庄由美子の両氏に感謝します。

参考文献

[1] Pickover, C. A.: *Mazes for the Mind*, Brockman Inc., New York (1992).

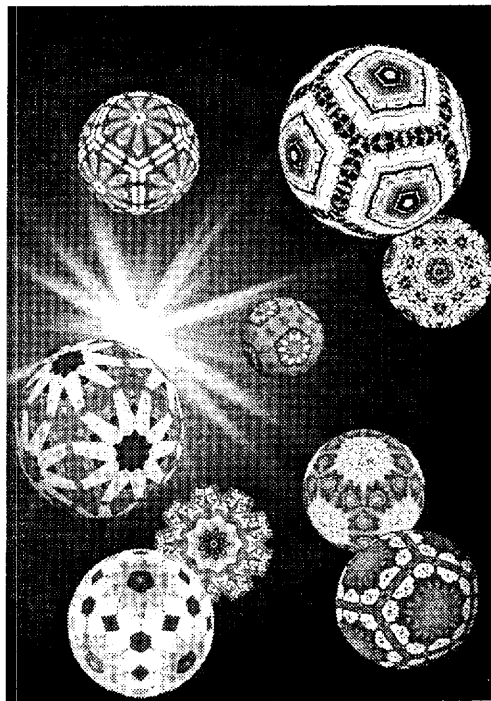


図 6: Iamascope を使って作ったポスターの例：一つ一つの模様を作ってから Photoshop でコラージュした

- [2] Fels, S., Nishimoto, K. and Mase, K.: MusiKalscope: A Graphical Musical Instrument, in *IEEE International Conf. on Multimedia Communications and Systems*, pp. 55-62, Ottawa (1997).
- [3] Flavia, S.: Choreographing media for interactive virtual environments, Master's thesis, Media Arts and Sciences, M.I.T. (1996).
- [4] Kotani, A. and Maes, P.: An environment for musical collaboration between agents and users, in *Lifelike Computer Characters*, p. 54 (95).
- [5] Fels, S., Reiners, D. and Mase, K.: Iamascope: An Interactive Kaleidoscope(Exhibit), in *Visual Proceedings of SIGGRAPH97 (Electric Garden)*, pp. 76-77, Los Angeles (1997).
- [6] Ousterhout, J. K.: *Tcl and the Tk Toolkit*, Addison-Wesley, New York (1994).
- [7] 西本一志, 渡辺洋, 馬田一郎, 間瀬健二: 旋律を奏でられる即興演奏用リズム楽器の提案, 情処研報 MUS-18, pp. 27-32 情処学会 (1996).
- [8] 西本一志, 渡辺洋, 馬田一郎, 間瀬健二: 創造的音楽表現を可能とする音楽演奏支援手法の検討 — 音機能固定マッピング楽器の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5 (1998).
- [9] Iamascope の模様デザイン例、アート作品としての解説: [http://www.mic.atr.co.jp/organization/dept2/Iamascope/\(1997\)](http://www.mic.atr.co.jp/organization/dept2/Iamascope/(1997)).