

## Collective Body

### 3次元形状測定技術を用いたインタラクティブアート

尼岡 利崇\*† Hamid Laga‡ 齋藤 豪† 中嶋 正之†

\* 明星大学 情報学部情報学科 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1

† 東京工業大学大学院 情報理工学研究科 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

‡ 東京工業大学 グローバルエッジ研究院 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail: amaoka@is.meisei-u.ac.jp, {hamid, suguru, nakajima}@img.cs.titech.ac.jp

3次元形状測定により観客の身体形状、動作を実時間で測定しインタラクティブアートのコンテンツとする Collective Body を提案する。本作品は、観客の身体形状から生成した3次元モデルに観客の身体動作によって実時間で特殊視覚効果を与える作品である。本作品では、グラフィックスと特殊視覚効果をそれぞれ2種類ずつ実装した。3次元モデルは、パーティクルの集合体で表現し、特殊視覚効果は生命活動をモチーフとしパーティクルそれぞれに運動方程式を与え独自に挙動させることで表現した。ユーザーは、自分自身の身体形状、動作から生成された3次元モデルを自由視点で鑑賞することにより、本作品を通し新しいインタラクティブ体験が出来ると共に新しい視点で自身の身体を捉えることが可能となる。

キーワード：3次元復元、動作検出、特殊視覚効果、インタラクティブアート、オンライン処理

## Collective Body

### Interactive art using 3D Scanner Technology

Toshitaka Amaoka\* † Hamid Laga ‡ Suguru Saito † Masayuki Nakajima †

\* Faculty of Information Science Meisei University

2-1-1 Hodokubo Hino Tokyo 191-8506 Japan

† Graduate School of Information Science and Engineering Tokyo Institute of Technology

Ookayama Meguro-ku Tokyo 152-8552 Japan

‡ Global Edge Institute Tokyo Institute of Technology

Ookayama Meguro-ku Tokyo 152-8552 Japan

E-mail: amaoka@is.meisei-u.ac.jp, {hamid, suguru, nakajima}@img.cs.titech.ac.jp

**Abstract – In this paper we introduce a new system called “Collective Body” which combines the scanned human body with action detection to generate real-time special effects. The system is equipped with an automated human body scanner. As a person moves inside the monitored area, multiple cameras are used to scan the human body in real-time to obtain the 3D visual hull. The visual hull of the user is then visualized with point-based rendering and a particle system. We also apply special visual effects to the 3D model of the user in response to his motion. We implemented two types of point-based visualization modes and two types of special effects inspired from biological activities, namely respiration and metabolism. This system allows users to visualize, from any viewpoint, 3D models generated from their own body and actions, providing them with a new experience of interaction and immersion.**

**Keywords : 3D reconstruction, action detection, special visual effects, interactive art, online processing.**

## 1. 背景

著者は過去、複数カメラからの実時間映像を3次元コンピュータグラフィックス(以後 3DCG とする)で提示する「NeoCubism」というメディアアート作品を制作し SIGGRAPH Emerging Technologies[8]で発表した。その作品に於ける評価実験より、実時間映像を用いることでユーザーを作品のコンテンツとして取り込むことが可能になり、高いインタラクティブ性が得られることが明らかになった。更に自由視点によって自分自身が取り込まれている作品を鑑賞することで、日常では得られない視覚体験を提供出来るという結果が得られた。そこで著者は、これらの結果を踏まえ表現手法やコンセプトを発展させ、ユーザーの3次元身体形状を測定し仮想空間内で再構築し、身体動作に連動した特殊視覚効果を与え、それら視覚表現を自由視点により鑑賞することで、高いインタラクティブ性と新しい表現を有したインタラクティブアート作品が制作可能であるとの着想を得た。これは、金出らが提案した実世界に密接に繋がった仮想空間、Virtualized Reality[2][11]の概念を踏襲しつつも実時間で観客の身体動作に連動した特殊視覚効果を付与する事で、美的表現を高めると共に、ユーザー自身の身体特徴及び動作を生かすことによりインタラクティブ性を高めたインタラクティブアートである。

本論文では、4章において3次元形状測定システムの構成について、5、6章ではインタラクティブアート「Collective Body」の構成について、そして7章で考察および今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究 / 関連作品

### 2.1 実時間特殊視覚効果システムについて

コンピュータ処理能力の向上に伴い、多くの3次元形状測定技術が研究されているが、多くの研究は技術者や研究者以外のアーティスト、デザイナーをはじめとする一般利用者にとって未だ利用が難しい技術といえる。これは、特殊な計測装置を必要としたり[1][2]、多数のカメラを使用するためカメラ間補正が複雑であるなどの原因が挙げられる。簡便でしかも安価な技術を提案している研究もあるが[3]、それらは実時間3次元形状測定および、実時間での3DCG生成を目的としていない。さらに、いくつかの3次元形状測定装置は3次元形状編集機能を持った方式も存在する。Point Paint[4]はポイントベースドレンダリング[5][6]を用いた3次元形状編集アプリケーションである。これは、インタラクティブな操作によって3次元形状を編集するシステムであるが、3次元形状計測から形状編集までの一連の処理を実時間で行うシ

ステムではない。本作品では、実時間で3次元形状の測定し、さらに取得した3次元形状にほぼ実時間で特殊視覚効果を与え可視化することでインタラクティブアートを制作した点が独自性といえる。

### 2.2 コンピュータビジョンを用いたインタラクティブアート

現在多くの実時間映像を用いたインタラクティブアート作品が発表されているが、それらは2次元情報として映像を処理している[7]。3DCGと組み合わせた映像表現作品も存在はするが[9][13]、その多くは映像情報を2次元情報として処理、表現する作品である。また、HoloWall[12]とそれを応用したアプリケーションがコンピュータビジョン技術を用いたインタラクティブ作品として有名である。この研究は、赤外線投影、反射を利用し、カメラを用いユーザーの2次元身体形状、身体動作を取得し、それらを基にインタラクティブな生成する。この研究では、壁面型のインタフェースという2次元インタフェースとユーザーの2次元形状、そしてユーザーの壁面インタフェースとの距離のデータによって操作する空間性を有する作品であるが、ユーザーの身体形状並びに動作を3次元で取得するまでには至っていない。

### 2.3 Collective Bodyにおけるシステムの新規性

本作品に於けるシステムの新規性は、実時間3次元形状測定技術で取得した3次元形状データから3次元モデルを生成し、さらにそのモデルにユーザーの身体動作により特殊視覚効果を与え、ほぼ実時間で可視化するインタラクティブアートを制作した点にある。過去このようなインタラクティブアートは存在しない。さらに、3次元測定技術を活用し、3次元空間をインタフェースとして利用し、かつ計測データを作品コンテンツとして利用している点が本作品の新規性である。

### 2.4 Collective Bodyにおける芸術表現の新規性

本作品に於ける芸術表現の新規性は、3次元測定データから生成した3次元モデルと特殊視覚効果の3次元的な芸術表現を観客自身の身体性を通して体験し、鑑賞出来る点にある。さらにミクロの視点からの我々の身体組成に着目し、3次元モデルをポイントの集合によって芸術的に表現した点、そのポイントの集合が、マクロな視点から見ると観客の3次元身体形状を反映し、ミクロな視点から見るとそれぞれ独自の挙動をとることで分子運動を表現している点、さらに観客の身体動作によってこれらポイントそれぞれが、独立して独自に動作し特殊視覚効果を3DCGによって生成する点が芸術表現としての新規性である。

### 3. 本システムの構成

3次元形状測定技術を用いた実時間特殊視覚効果システム「Collective Body」は第2章で述べたように、次の2つの技術を活用している。1つは、実時間3次元形状測定技術で、もう1つはポイントベースドレンダリングとパーティクルシステムを組み合わせた特殊視覚効果システムである。本章ではそのうち実時間3次元形状測定技術について述べ、第4章で特殊視覚効果について述べる。

#### 3.1 3次元形状測定システム

複数台カメラを用いた3次元形状測定に関する研究は多数存在する[10][11]。これらは、5台以上のカメラと複数台のコンピュータを使用した3次元形状測定法を提案している。本論文では、3次元形状測定システムをインタラクティブアートに使用することを目的とし、計測結果のデータに特殊視覚効果を与え可視化することから高精度な測定を必要としない。そこで、弱キャリブレーションで測定可能なユークリッド・グリッド・スペースを用い、3次元形状測定システムを3台のカメラを用い制作し、本アート作品に使用することとした。高精度な3次元形状測定には向かないが、ユーザーが自身の身体形状から復元された3DCGであると認識するには十分な結果が得られ、さらに使用カメラ台数を減らしシステムを制作することで、設置、キャリブレーションの簡便化を図り、低コスト化が実現可能という特徴を持ったシステムである。以下のような設置により作品を制作した。

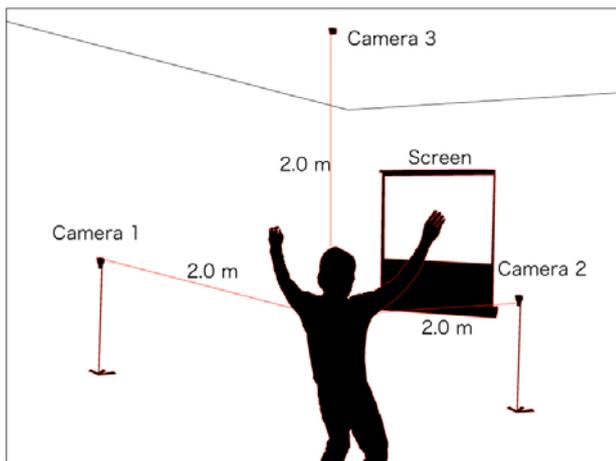


図1 設置図

Fig.1 System Layout

本作品で制作した3次元形状測定システムは3台のIEEE1394ウェブカメラ(Unibrain社製Fire-i 解像度 640x480、取込み速度 30FPS)とApple社製PowerMac G5(CPU: Dual PowerPC G5 2.7GHz、SDRAM 2GB、

GPU: NVIDIA GeForce 6800 Ultra)1台を用いて構築した。図1,2で示すように、3台のカメラでユーザーを囲むように、正面、側面、頭上に設置した。これら3台のカメラから得られた2次元画像データをIEEE1394ケーブルを通しコンピュータに取り込む。3台のカメラはディジーチェーン(カメラ同士を直列に接続)によって、コンピュータ側のIEEE1394インタフェースの1入力から3画面分のデータを取り込む。本システムにおいて、3次元形状測定システムの被写体はユーザーであるため、カメラが被写体の全身を撮影できるよう、それぞれ2.0m離れた位置に設置した。



図2 設置例

Fig.2 The Installation of prototype system

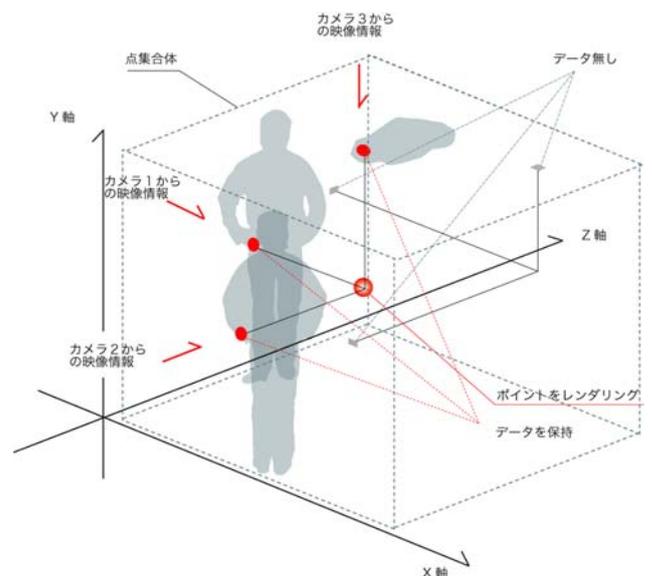


図3 3次元形状復元処理図

Fig.3 Process of 3D Reconstruction

3次元形状測定システムには、シルエットモデリング法を使用した。ここで被写体の形状を検出するため、3台のCCDカメラから得られた3画像全てから、差分

処理によって背景データを除去した。

図3に、本研究の3次元形状復元方法を示す。図3が示すように、ポイントが整列した120x120x120の3次元点集合体であるユークリッド・グリッド・スペースを仮想空間内に想定した。この集合体が内包する1ポイントごとに、上部（頭上カメラ）、側面（側面カメラ）、前方（正面カメラ）それぞれの背景除去処理後の画像データがその投影位置に被写体のピクセルデータを保持するか確認する。もし、3画像すべてピクセル情報を保持していた場合、そのポイントは被写体の3次元データの一部としてポイントをレンダリングする。この処理を想定した点集合内の全ポイントに対し行うことで、被写体の3次元形状を復元することが出来る。また、背景除去処理で発生したノイズは、3画像全て同一箇所に発生する可能性は低いため3次元データ復元処理の際、除去される結果となった。しかしながら、暗所や背景色が暗い設置場所では、カメラのゲイン値を上げる等の必要がある為、電気的ノイズが発生しやすい状況となる。そのような環境に設置する際には、前述のようなノイズ除去では十分でない。そこで、ノイズが離散的に発生することから、背景除去処理後の画像データの各ピクセルに於ける周辺ピクセルをチェックし、周辺データが存在しない孤立したデータはノイズと見なし除去した。

### 3.2 カメラの設置および設定

本作品では3台のカメラを用いユーザーの3次元形状を測定し、3DCGにより再構築した。ここでは、3台のカメラの設置法、および設定について述べる。3台のカメラを設置するに当たり、それぞれのカメラを直交座標軸上に設置し、かつそれぞれの画像の中心が、座標中心点に一致する必要がある。そこで、本システムの設置図（図1）より、床からの高さ90cm、それぞれのカメラから2.0mの位置（座標中心点）にリファレンスとして赤い目印（直径5cmの球体を使用）を設置した。各カメラが、このリファレンスに対し直交するよう設置し、それぞれの画像の中央にリファレンスが撮影できるようカメラの向きを調整した。更に、背景差分を用い3次元形状を復元するため、ホワイトバランス、明度、ゲイン値、露出は、本作品の設置場所により適宜画像を参照しながら、背景と身体が明確に分離出来る設定を選択する必要がある。任意に一台のカメラを選び、得られる画像を目視により、身体の形状が最も明確になるよう各項目の設定値を設定する。各カメラの撮影条件を統一するため、先ほど決定した設定値で全てのカメラに同様の設定を行う。カメラ設定の明度値、ゲイン値を上げるとノイズが増加するため、設置環境の明るさはライティング等を用い最適な環境が得られるよう調整した。

## 4. グラフィックス及び特殊視覚効果

本作品では、グラフィックスと特殊視覚効果をそれぞれ2種類ずつ制作した。本作品はユーザーの身体形状を測定し、その測定データを3DCGにより再現した3次元モデルがコンテンツである事から、生命体を連想できるグラフィックスと特殊視覚効果を用いる着想を得た。そこで以下の生命体、生命活動という2つの要素に基づきグラフィックス、特殊視覚効果を制作した。

### 4.1 生命体

グラフィックス制作にあたり、現実世界での物質の存在に注目した。現実世界に於いて全ての物質は、固体、液体、気体の三態で存在している。我々の肉体も固体、液体の混合物質である。しかしながら肉眼では見ることが出来ないミクロな視点から世界を捉えてみると、我々を含め全ての物質は原子から構成される分子の集合によって形成されている。これら分子は固体物質であっても、常にそれぞれの分子が運動（分子運動）し、それら分子が集合体として固体を形成している。更に個々の分子に注目すると、そのそれぞれが独自に分子運動しているにもかかわらず、全体として捉えると、鋼鉄のような硬質な物質や、生物であれば全体としての機能や特徴を持った一個体、一組織として存在する。我々は、この点に着目し、本作品の3DCGに実装しようと考えた。そこで、前述した分子集合体に近い状態で3次元モデルを生成するため、ポリゴンではなく、ポイントの集合体を用いた。更に、ポイントそれぞれが独立且つ独自に挙動出来るよう、パーティクルシステムを実装した。3次元モデルを生成する最小単位であるポイント一つ一つは独立且つ独自の動きをするのだが、全体として見ると3次元モデルの形状を形成する仕組みになっている。

### 4.2 生命活動

本作品では、3次元モデルを上記のようなミクロの視点から表現し、さらに特殊視覚効果では生命活動において必要不可欠である、呼吸と新陳代謝を表現しようと考えた。生物は、その生命活動に於いて呼吸により酸素を体内に取り込み二酸化炭素と水蒸気を排出することで生命を維持している。更に、新陳代謝により常に不要となった細胞を体外へと排出し、新しい細胞を生成している。これら呼吸と新陳代謝という2つの生命活動を連想させる特殊視覚効果を実装した。

### 4.3 グラフィックス

図6,7で示すように、本システムのグラフィックスは、ポイントベースドレンダリングとパーティクルシ

システムを組み合わせ、さらに2種類の特視覚効果を実装することでコンセプトに沿った表現をより効果的に実現している。

ここでは、図4に示す2種類のテクスチャを使用した。これら2種類のテクスチャを後述するパーティクルのアニメーションモード、GravityかVaporかによって使い分けた。Gravityアニメーションモードの時は、円形テクスチャ(図4左)を、またVaporアニメーションモードの時は、グラデーションテクスチャ(図4右)をマッピングした。

Gravityアニメーションモードでは、新陳代謝による、細胞等の身体構成要素の生成と排出を表現した。このため、細胞、分子などの連想が容易なテクスチャを選択した。実際には目に見ることは出来ないが、観客が細胞や分子などを連想しやすく且つ抽象的、しかも可視性の高い円形テクスチャを選択した。

Vaporアニメーションモードのグラデーションテクスチャは、呼吸を表現しているため、水蒸気等気体を表現するのに適したテクスチャを選択した。

上記で述べた通り、特殊視覚効果はテクスチャマッピングと、パーティクルアニメーションの両方を組み合わせることで効果的な演出を行った。

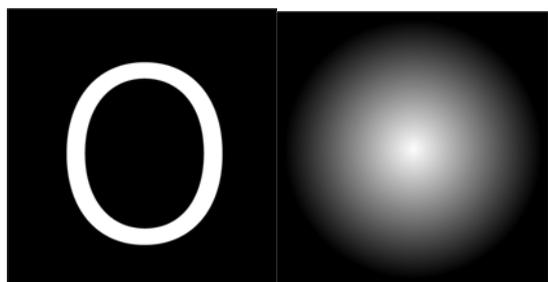


図4 円形テクスチャ(左)  
グラデーションテクスチャ(右)  
Fig.4 Circle Texture(left)  
Gradation Texture(right)

#### 4.4 特殊視覚効果

特殊視覚効果システムは、ポイントベースドレンダリングとパーティクルシステムの組み合わせによって制作した。3次元モデル最小単位であるポイントにパーティクルシステムを用い特殊視覚効果を与えることで、分子運動等ミクロの視点からの物質世界と生命活動である呼吸及び新陳代謝をインタラクティブ性をもって表現した。Gravityでは新陳代謝を、Vaporでは呼吸をそれぞれ表現した。

特殊視覚効果は、ユーザーの動作によってほぼ実時間で処理、レンダリングされる。図4に特殊視覚効果の処理手続きを示した。システムではユーザーの身体動作を検出し、古いポイント、即ち過去においてユー

ザーの身体モデルの一部であったが、ユーザーの動きによって必要ではなくなったポイントは、アニメーションモードと呼ばれる状態に入る(以後パーティクルとする)。本来これらのポイントはすぐに消滅すればよいが、本作品では、アニメーションモードで、パーティクルを独立かつ動的に動作させることにより、特殊視覚効果を実装した。アニメーションモードには、以下に述べる、Gravity(重力)とVapor(蒸発)がある。パーティクルは図5にあるLifetimeという変数の値が0以下になるまで、ある一定時間アニメーションモードで挙動した後、徐々に消えていくという演出をしている。

3次元モデルは、仮想空間内をゆっくりと回転しており、2種類の特視覚効果、Gravity, Vaporは、360度の回転ごとに特殊視覚効果を自動的に切り替わるシステムになっている。

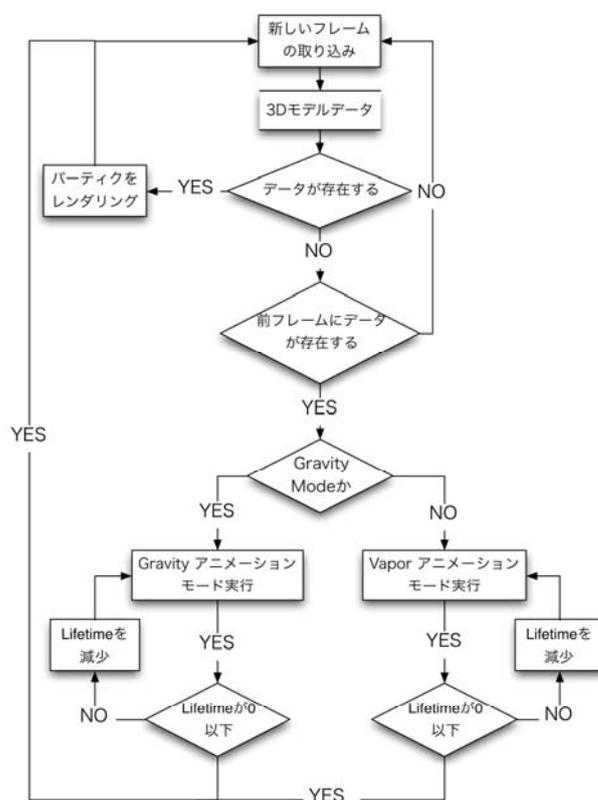


図5 特殊視覚効果の処理手続き

Fig.5 Flow chart of the process of visual special effects

#### • Gravity(重力)

生命活動の一つである新陳代謝を表現した。各のパーティクルを細胞のメタファーとし、ユーザーの動作により必要なくなったパーティクルを3次元モデル外へ排出し、新たにポイントを生成する。

Gravityは図6,8で示すように、仮想世界に重力概念を与えることで制作した。パーティクルがGravityモードに入ると、パーティクルは3次元モデルの足下、

つまり仮想空間の地面に相当する平面上へ落下し、ボールのように数回バウンドを繰り返し、最終的には停止しゆっくりと消えていく。このモードでは、パーティクルは弾むボールのように見える効果を付与した。また、Gravity アニメーション表現を実現するため、重力計算を用い実装した。計算式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{[速度]} &= \text{[初速度]} + \text{[重力加速度]} \times \text{[時間]} \\ \text{[位置]} &= \text{[速度]} \times \text{[時間]} \end{aligned}$$

重力加速度、および3次元モデルに対し水平面方向（以後X、Z軸とする）の初速度は、それぞれのパーティクルを生成する際にランダムな値を与える仕組みになっており、視覚効果を高めている。また、床面での跳ね返りには、以下の計算を行った。

$$\begin{aligned} \text{[跳ね返り後の速度]} &= \\ & - \text{[跳ね返り係数]} \times \text{[落下速度]} \end{aligned}$$

この特殊視覚効果により、実際には見えない床面が、パーティクルによって覆われることで出現するという芸術的空間を演出した。

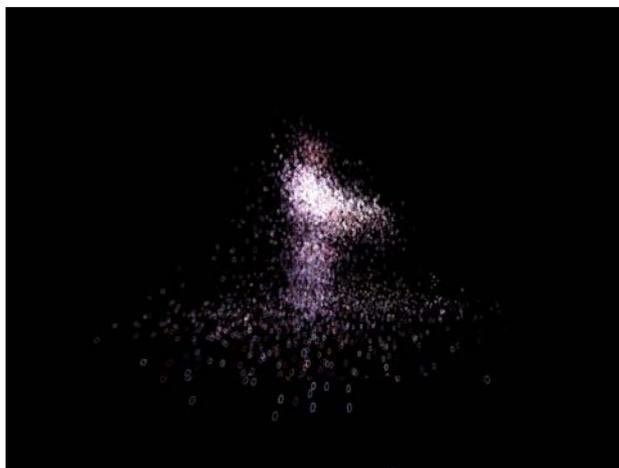


図6 Gravity スクリーンショット  
Fig.6 Screenshot of "Gravity" Mode

#### ・Vapor (蒸発)

Vapor では、第4章で述べた生命活動の一つである呼吸を表現した。我々は、人間の呼吸により体外に排出される二酸化炭素や水蒸気等を3次元モデル外に排出され仮想空間内を上昇、拡散していくパーティクルによって表現した。

Vapor では、図7, 9で示すように水蒸気、気体拡散の動きを表現した。パーティクルの動きは、揺らめきながら空間に気体拡散していく様子を表現するため、パーティクルが生成される際、乱数によってX、Zの初速度を取得し、常に新しい乱数を取得し、X、Zの

初速度に加算、減算しアニメーション表現することで、気体、粒子の揺らめきを表現した。

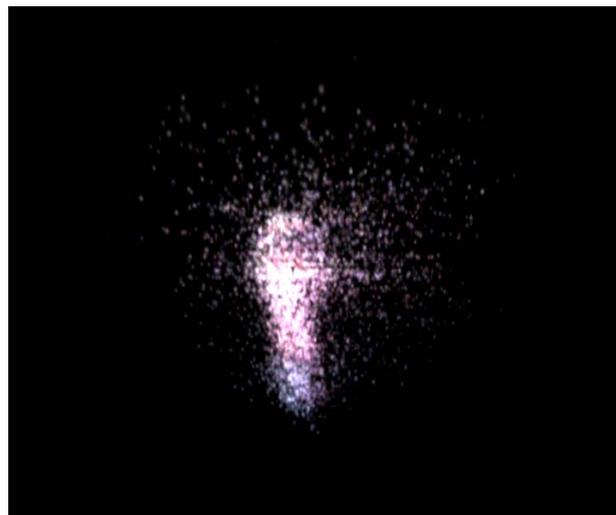


図7 Vapor スクリーンショット  
Fig.7 Screenshot of "Vapor" Mode

#### 5. インタラクションの構成

本作品では、ユーザーの身体動作によって実時間で特殊視覚効果を3次元モデルに与えることにより、身体動作に密接に繋がったインタラクティブ性と作品コンセプトであるミクロの視点からの世界と生命活動を美的に視覚表現した。

本作品には、2つのインタフェースが存在する。一つは3台のカメラである。言い換えると、3台のカメラで撮影されている空間がインタフェースと言える。ユーザーは3次元形状測定システムによって測定されたデータを基にした3次元モデルを鑑賞し、さらに3次元モデルの動き、特殊視覚効果と相互作用する。もう一つはワイヤレスマウス（Gyratation社製 G0 2.4GHz Optical Air Mouse）である。観客が本作品内に入る際、作品の側に置いてあるワイヤレスマウスを持ち作品を体験する。ユーザーは3次元空間内の視点をこのマウスによって自由に変更することができる。このマウスによりパン、3次元モデルからの距離を変更できる。ユーザーがマウスボタンを押しながら腕を上げ下げすることで視点のパンが変更となる。例えば、腕を上げると3次元モデルを俯瞰する位置に視点が移動する。下げると逆に徐々に視点が垂直方向に下がり、3次元モデルを見上げる視点となる。左右の動きでは、3次元モデルから視点までの距離を変更する機能を与えてある。これによりユーザーは、自身の身体並びに身体動作によって発生する様々な3DCGの変化を、自由視点による鑑賞が可能となる。

## 6. 考察と今後の課題

## 参考文献

本論文では、3次元形状測定装置と実時間特殊視覚効果システムを組み合わせたインタラクティブアートを制作した。その結果、今までの2次元CGでは難しかった身体の捻り動作等を3次元形状測定により検出し作品の表現に取り入れる事が可能となった。さらに、3DCGを表現として用いた事で仮想空間内の自身の身体形状並びに動作、そして動作によって生成される特殊視覚効果を三人称自由視点により鑑賞することが可能となった。普段の生活に於いて、自分自身もしくは、自身の身体性に直結した視覚情報を自由視点により鑑賞する機会は皆無な為、本作品を通して観客に新しい視覚体験を提供出来ると考えられる。さらに「NeoCubism」と比較すると、本作品では環境情報を排除し、ユーザーの身体形状とその動作のみの視覚情報からインタラクション並びに芸術表現を行っている点から、3次元身体形状並びに身体動作に直結したインタラクションが実装できたと考える。

今後の課題として、本システムを更に様々な分野へ応用するためには、同時に複数人の使用を可能にすることが必要であると考えられる。本システム性能上、現在1人のユーザーしか一度に使用出来ない。これを同時に複数人が本作品を体験出来るようにすることで、複数人の身体動作と空間的位置等の関係性を特殊視覚効果により表現可能となり、本作品をコンセプトと表現において発展させた作品制作が可能であると考えている。さらに、複数の3次元モデルを同時に表示させることで、公共空間での協力型インタフェースとして使用することも可能となる。この点を改良することで、インタラクティブアートのインスタレーションという作品形態の枠を超え、舞踊やパフォーマンス等、他分野とのコラボレーションや公共空間でのユーザーインタフェースとしての使用が可能となり、本研究の可能性が広がると考えられる。

また本作品を通し、2次元のコンピュータビジョン技術が主流のメディアアート・インタラクティブアート分野において、今後3次元コンピュータビジョンを用いた多くの作品が発表されることを期待する。

- [1] I. Cohen, G. Medioni and H. Gu, "Inference of 3D Human Body Posture from Multiple Cameras for Vision-Based User Interface", IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures, in conjunction with ICCV'03 (2003.)
- [2] T. Kanade, P. Rander and P. J. Narayanan, "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes", IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, p.34-47, January (1997)
- [3] U. Yilmaz, A. Y. Mülayim and V. Atalay, "An Image-Based Inexpensive 3D Scanner", International Journal of Image and Graphics 03, No. 02, 235-263 (2003)
- [4] M. Zwicker, M. Pauly, O. Knoll and M. Gross, "Pointshop 3D: An Interactive System for Point-Based Surface Editing", ACM SIGGRAPH 2002 (2002)
- [5] B. Adams, M. Wicke, P. Dutré, M. Gross, M. Pauly and M. Teschner, "Interactive 3D Painting on Point-Sampled Objects", Eurographics Symposium on Point-Based Graphics 2004, Zurich, Switzerland, June 2-4 (2004)
- [6] M. Alexa, J. Behr, D. Cohen-Or, S. Fleishman, D. Levin and C. T. Silva, "Point Set Surfaces", Proceedings of the conference on Visualization '01, 21 - 28 (2001)
- [7] C. Utterback and R. Achituv, "Text Rain" (1999)  
<http://www.camilleutterback.com/textrain.html>
- [8] T. Amaoka, "+1D and NeoCubism", ACM SIGGRAPH2003 Emerging Technologies (Conference DVDに収録) (2003)
- [9] D. Shiffman, "Reactive", ACM SIGGRAPH2004 Emerging Technologies (Conference DVDに収録) (2004)
- [10] J. Starck and A. Hilton, "Model-based multiple view reconstruction of people", IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) (2003)
- [11] P. Rander, P. J. Narayanan and T. Kanade, "Virtualized Reality: Constructing Time-Varying Virtual Worlds From Real World Events", Proc. Of IEEE Visualization '97, Phoenix, Arizona, Oct. 19-24, 1997, pp. 277-283, 552 (1997)
- [12] 松下伸行、暦本純一、安西祐一郎、"HoloWall: 壁面型インタフェースの新しい構成手法"、コンピュータソフトウェア、15(6), 535-541(1998)
- [13] T. Amaoka, S. Saito and M. Nakajima, "+1D / NeoCubism : Multiviewpoint video sequences representation using 3D computer graphics", The Journal of the Society for Art and Science, Vol. 8, No. 2, 90-99 (2009)

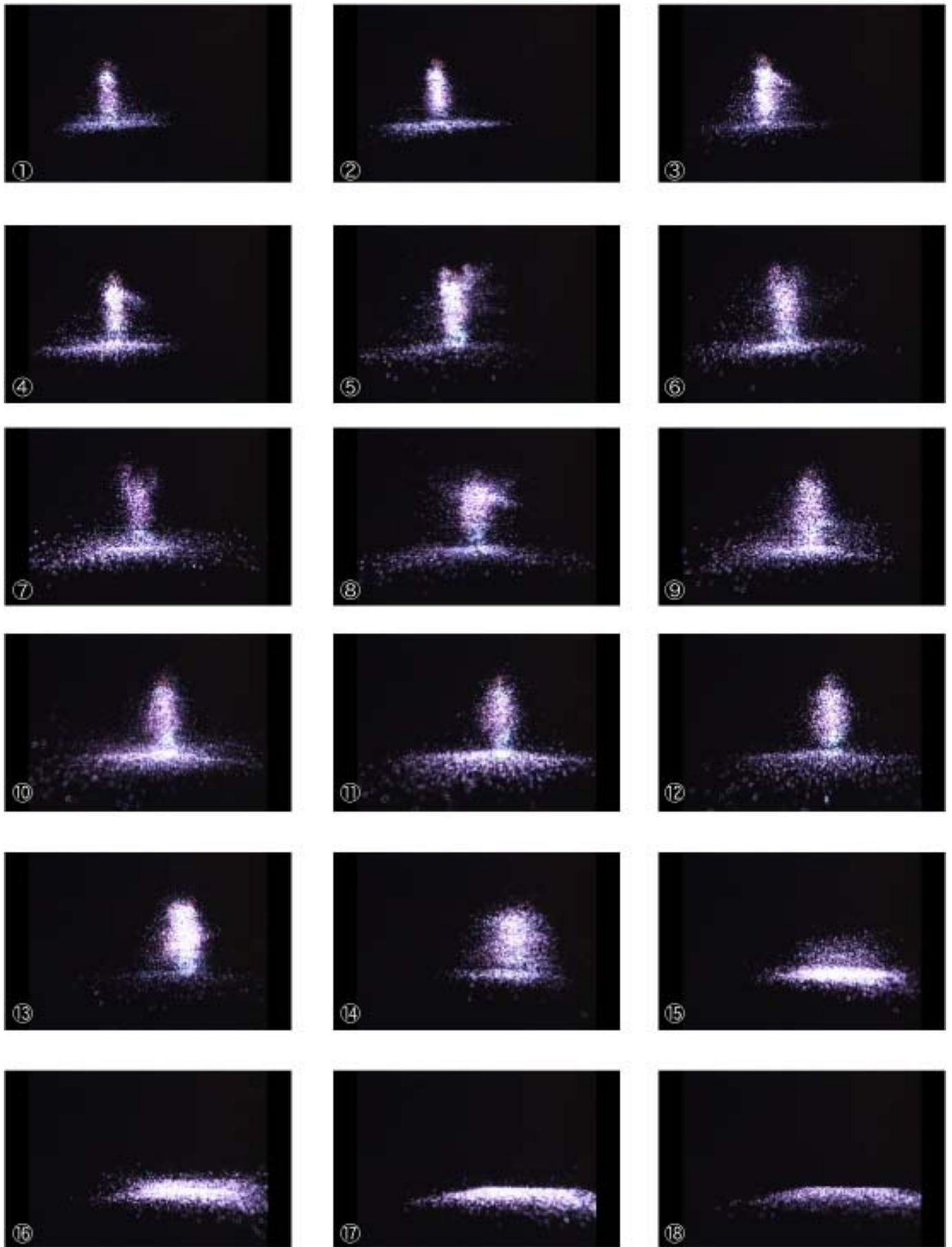


図 8 Gravityモード連続図

Fig. 8 Gravity mode animation, occurs when the user exits the installation

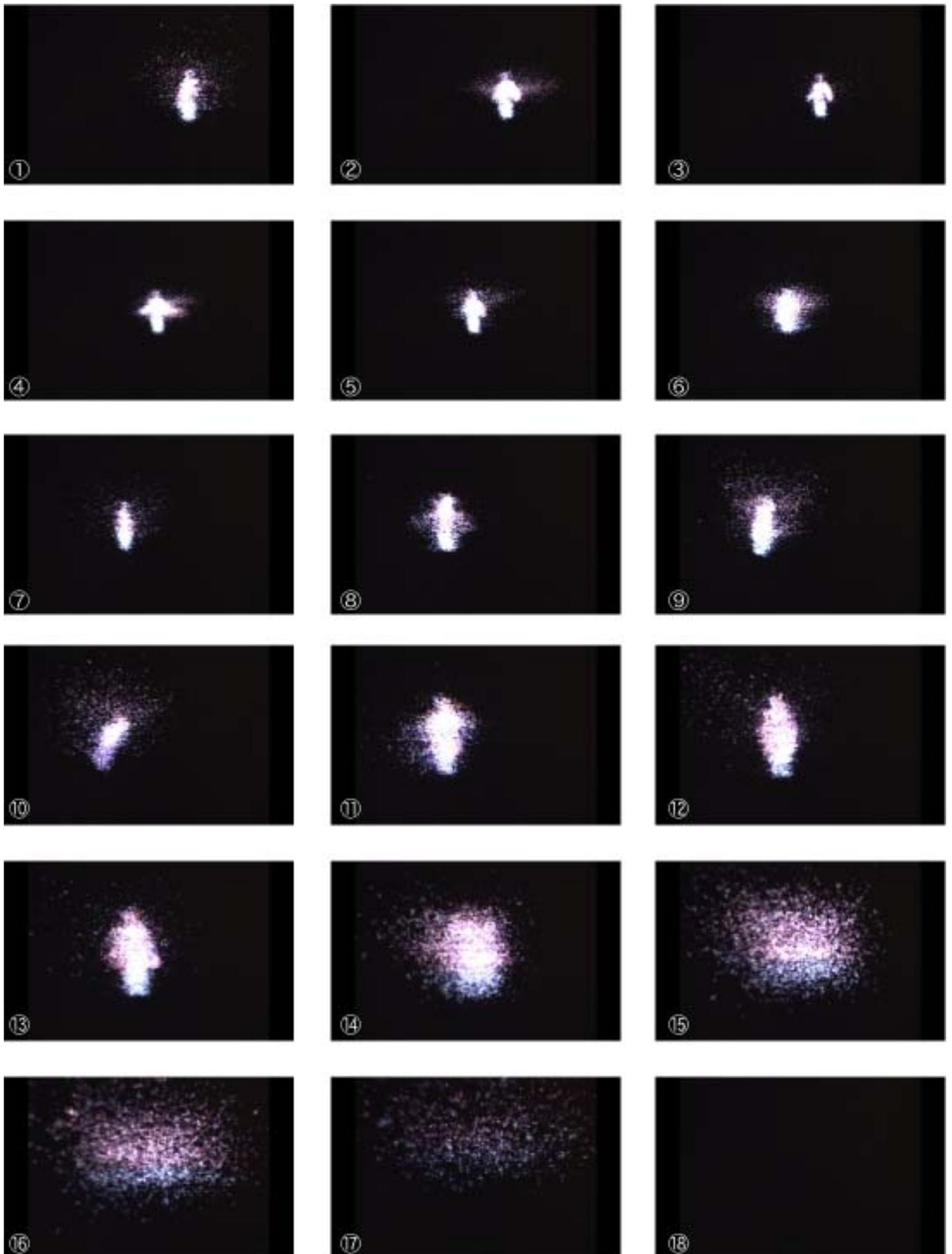


図 9 Vaporモード連続図

Fig.9 Vapor mode animation, occurs when the user exits the installation