

## 複合現実型コンテンツの演出効果としての自然落下物表現法

一刈 良介<sup>†</sup> 木村 朝子<sup>‡</sup> 柴田 史久<sup>‡</sup> 田村 秀行<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> <sup>‡</sup> 立命館大学情報理工学部 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: <sup>†</sup> ichikari@rm.is.ritsumei.ac.jp, <sup>‡</sup> {asa, fshibata, hideytam}@is.ritsumei.ac.jp

**あらまし:** 現実世界の光景に CG 映像を重畳表示する複合現実型コンテンツの制作には、映画の視覚効果やフル CG アニメーションに比べて、実時間描画や現実環境との整合性で厳しい条件が課せられる。本研究では、正確な物理的モデリングが困難な自然現象を比較的少ない計算量でリアルなアニメーションを表現する手法を提案する。まず、演出効果としての「桜吹雪」を表現するのに、花びらの落下の様子を正規乱数によるランダムウォークによって近似した。この方法を発展させて、風の変化や他のオブジェクトの描画負荷の違いにも適応でき、かつ紅葉や雪などの自然落下物の表現にも有効であることを確認した。

**キーワード** 複合現実感, 実時間描画, 確率過程, ランダムウォーク, インタラクシオン

### Modeling and Representation of Falling Natural Objects in Mixed Reality Attraction

Ryosuke ICHIKARI<sup>†</sup>, Asako KIMURA<sup>‡</sup>, Fumihisa SHIBATA<sup>‡</sup>, and Hideyuki TAMURA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> <sup>‡</sup> College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: <sup>†</sup> ichikari@rm.is.ritsumei.ac.jp, <sup>‡</sup> {asa, fshibata, hideytam}@is.ritsumei.ac.jp

**Abstract** Compared with visual effects in movies or full CG animations, Mixed-Reality based content production, a technique to overlap CG image with real world scene, demands more strict real-time representation and consistency with real environment. Natural phenomena are sometimes too complicated to describe in MR environment by physical modeling. We pick up “Falling Natural Objects” such as cherry blossoms, autumn leaves and snow to represent for stage effects. We proposed an effective method to approximate movements of fluttering natural objects by normal random walk. A simulation confirmed that the proposed method was also adaptable to wind change and different CPU load to represent various polygon size objects.

**Keyword** Mixed Reality, Physics-based Modeling, Real-time Rendering, Random Walk, Interaction

#### 1. はじめに

現実空間と仮想世界を違和感なく融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) [1] [2]は、医療・福祉、建築・都市設計、工業製品の設計・組立の分野で実用化が進む一方、アート&エンターテインメント分野からも大きな期待が寄せられている。MR 空間を活用した先駆的なゲームやインタラクティブアート [3][4] が引き金となり、既に高級ショールームや愛知万博の体験型アトラクションとして採用されるに至っている[5]。今後様々な複合現実型コンテンツが開発されて行くと予想される。

となると、コンテンツのレベルアップのためには、単に目の前の光景に CG オブジェクトを発生させる面白さだけでなく、他の映像コンテンツで利用される演出効果も取り揃えておくことが望ましい。例えば、背景に花吹雪や落葉の様子など、季節感を出すのに自然落下物を加えることなどが考えられる。しかるに、映画や CF の VFX としての「実写映像と CG 映像の合成」に比べると、MR コンテンツでは実時間対話体験で用いるという制約が表

現上の大きな障害となる。いかにコンピュータが速くなったとはいえ、花びらや葉の1つ1つの落下運動を、空気抵抗を考慮した正確な物理的計算で実時間描画するのは不可能である。

季節感に与える CG 映像としては、積雪場面のシミュレーションが既に試みられている [6][7]。数は少ないが雪が降る様を描いた研究もある。Wang ら[8]は雪のパターンのテクスチャを円錐の内側にはり、カメラを動かすことにより降雪過程を表現したが、雪の結晶1つ1つの動きはあまりリアルとは言えない。また、パーティクル法によってマクロな視点から自然現象を描くことも盛んだが、落下物を受け止めたり、体験者の動作が落下物に影響を及ぼすといったインタラクシオンを演出したい MR アトラクションには不向きである。

以上のような観点から、本研究では正確な物理モデリングには頼らず、確率過程を用いた近似的な手法で自然落下物を描写し、かつインタラクシオン可能な方法を開発した。まず、演出効果として最も要望の多い、桜花の

散る様子を表現するのにランダムウォークを元にした方法（カーリー法）を考案した．これを拡張発展させることで，紅葉や雪の落下現象を表現するのにも対応できることを確認し，本手法の表現能力の高さを実証した．

## 2. ランダムウォークを用いた落下現象の表現

### 2.1 MR 環境下でのモデル化の検討

演出効果として採用するに足る自然物の落下現象は，舞散る花びらや落葉のように，空気抵抗や風の影響を受けやすい物体であって，重力に従って一気落下する物体ではない．花びらなどは，無風もしくは微風状態では，横方向つまり水平方向にぶれながら不規則に動く．こうした落下物体の動きを表現するのに，重力や落下物体の各箇所にかかる力を物体毎に正確に計算するには膨大な計算量が必要な上に，時々刻々変化する風の影響は正確にモデル化することすら難しい．

本研究では，実時間描画という制約条件下での実現のために，落下物体の各粒子の位置を把握しながら，その粒子の動きを確率変数を用いて近似する方法を採用する．

### 2.2 確率変数とランダムウォーク

#### 2.2.1 ランダムウォーク

確率変数による時系列の数値の変動を扱うものは確率過程と呼ばれる．確率過程の中で，株価の値動きなど不規則に揺らぎながら変動するものを扱うには，「ランダムウォーク」という確率過程を用いるのが一般的である．日本語では「酔歩」と訳されるように，ふらつく酔っ払いの千鳥足ような軌跡を示す．我々は確率過程が花吹雪のような現象の近似的表現に適していると考えた．

「ランダムウォーク」とは，現在時刻からの移動量を確率変数により決定する確率過程で，離散的な数列を生成できるモデルは次式で表現される．

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim \text{iid}(0, \sigma^2) \quad (1)$$

ここでiidとは，確率変数 $\varepsilon_t$ が同一の分布に従い，独立であることを意味し，(1)式では標準偏差 $\sigma$ ，平均値0の分布をもつことも示している．

この種の確率過程でよく用いる乱数の種類には，一様乱数と正規乱数がある．一様分布では定義した値域のどの値も発生確率は同確率であるが，ランダムウォークへの適応を考えると，次にどこに移動するのも同確率というのは不自然である．一様乱数と比べての正規乱数は，期待値に近いほど高い確率で発生する乱数である．本手法ではさまざま要因により揺れ動く落下物をシミュレーション対象にしているが，このような落下物の揺れの移動量は正規分布に従っていると考えられ，本手法のモデルでは正規乱数を採用する．

### 2.3 桜の花びらの落下のモデル化

#### 2.3.1 桜の花びらの落下の特徴

まず，演出効果として最も要望の多い桜吹雪を実現するのには，図1のようなCGモデルを落下現象の粒子とした．



図1: 桜の花びらのCGモデル

実際に桜の花びらが散り，風に舞う様を観察すると，酔歩的な移動と激しい回転運動を伴っている．人間には無風と感じる状態では，大きな空気抵抗を受けて落下するため，重力による等加速度運動はせず，ほぼ等速度で落下する．酔歩平行移動と回転運動は独立ではなく，回転がない時，ランダムに平行移動を起こしているように見える．一方，風の影響は独立で，上記の落下現象に風のベクトルを加えることで表現できると考えられる．

#### 2.3.2 桜の花びらの平行移動のモデル

平行移動のモデルとして，式(1)を拡張した次式(2)(3)(4)を用いる．花びらは， $x$ ， $y$ 方向の水平面内でゆらいで酔歩移動をし， $z$ 軸方向に一定速度で落下するものとし，ここに風の影響が加わる． $t$ は時間， $X_t$ ， $Y_t$ ， $Z_t$ はそれぞれ花びらの $x$ 座標， $y$ 座標， $z$ 座標とする．

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t + w_x, \quad \varepsilon_t \sim \text{NID}(0, \sigma^2) \quad (2)$$

$$Y_t = Y_{t-1} + \varepsilon_t + w_y, \quad \varepsilon_t \sim \text{NID}(0, \sigma^2) \quad (3)$$

$$Z_t = Z_{t-1} - b + w_z \quad (4)$$

ここで，NIDとは，確率変数がiidであり，かつ正規分布に従うことを表す．また， $\sigma$ とは正規乱数の任意の標準偏差， $b$ はフレームあたりの落下量， $w_x$ ， $w_y$ ， $w_z$ はそれぞれ風の影響の $X$ ， $Y$ ， $Z$ 方向成分を示す．ただし， $b$ は各花びらでは固定値だが，多数の花びらでは乱数により変化させる．

#### 2.3.3 桜の花びらの回転のモデル

花びらの回転運動は，酔歩平行移動が起こっていない時に生じると考え，次式(5)で時刻 $t$ における回転量と $R_t$ を定義した．

$$R_t = S_{\max} - \|Mr_t - Mr_{t-1}\| \quad (5)$$

ここで， $Mr_t$ は時刻 $t$ における移動のベクトル， $S_{\max}$ は最大の回転量である．即ち，乱数による平行移動量が少

ない時に回転が激しく回転する。

花びらの回転運動は慣性が大きく、同じ方向に連続して回転しているように見えるので、中心軸は各花びらで固定し、落下開始時の花びらの向きは一様乱数でランダムに分布させた。

## 2.4 更新時間の差の調整

以上のモデル化でパラメータを調整すれば、桜花の散る様子は近似的に表現できるが、桜花単独でなく他のCGオブジェクトが存在してCPU負荷が増す場合には、花びらの動きは不自然になる。これはアニメーションの設定を単位時間当たりの変化ではなく、フレーム毎の変化として設定しているからである。

この問題を解決するには、描画更新時間(フレームレート)に対応した移動量を各フレームで移動させれば、以下のように調整することで単位時間当たりの移動量が一定にできる。

現在のフレームレートを  $f$  とし、基準フレームレートを  $f_0$ 、基準の移動量を  $M_0$ 、基準の回転量を  $R_0$  とすると、次式によって時間調整済みの落下移動量  $Mv$ 、回転量  $R$  が求められる。

$$Mv = Mv_0(f_0 / f) \quad (6)$$

$$R = R_0(f_0 / f) \quad (7)$$

ただし、水平方向の移動量の調整に関して、この方式を用いると、移動後の座標値の分散が小さくなってしまいうので、次のように分散を調整する。 $f_0 / f$  を  $a$  とおき、 $X_t$  を基準移動量でのランダムウォーク、 $X'_t$  を調整した移動量でのランダムウォークとすると、次の式(8)の結果が得られる。

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_t^2) &= \sigma^2, E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0 \text{ より} \\ \text{Var}(X'_{t/a}) &= E(X'_{t/a} - X_0)^2 \\ &= E(\sqrt{a}\varepsilon_1 + \sqrt{a}\varepsilon_2 + \dots + \sqrt{a}\varepsilon_{t/a})^2 \\ &= aE(\varepsilon_1^2) + aE(\varepsilon_2^2) + \dots + aE(\varepsilon_{t/a}^2) \\ &\quad + \sum_{i=1}^{t/a} \sum_{\substack{j=1, \\ i \neq j}}^{t/a} E(a\varepsilon_i \varepsilon_j) \\ &= \sigma^2 a t / a = \text{Var}(X_t) \end{aligned} \quad (8)$$

これは、移動量  $\varepsilon_i$  にフレームレートの比率  $a$  ( $= f_0 / f$ ) の平方根を乗じて、そのランダムウォークの期間を  $t/a$  とした時の末期での分散は、基準の末期の分散と一致させることができることを意味している。

以上まとめると、水平方向の調整した移動量は次式で表わせる。

$$Mh = Mh_0 \sqrt{(f_0 / f)} \quad (9)$$

## 3. MR アトラクションへの実装と評価

### 3.1 Cherry Blossom Cyberview とそのシステム構成

前節で述べた桜花の落下現象を表現する方法を「カーリー(Karlie)法」と名付け、MR アトラクション Cherry Blossom Cyberview [9] に実装して、モデルも妥当性を評価した。このアトラクションでは、室内に置いた実物の木の幹をビデオスルーHMDを通して眺めると、CGで描いた枝と満開の桜が重畳描画されて見える。さらに、MR空間全体に吹く一定の風と強さと方向を与えて、その効果を花吹雪に反映させることができる(図2)。また、後述する扇子を用いて花びらに影響を及ぼすMRインタラクションも体験できる。



図 2: Cherry Blossom Cyberview の客観視点

このMRコンテンツは、キャノン製MRプラットフォーム・システム(MRPS)の複数人同時体験可能なマルチユーザ・タイプ上に構築されている。MRPSの特長は、小型ビデオカメラを内蔵したビデオスルーHMD(Canon VH-2002)を利用し、幾何学的位置合わせに物理的な位置姿勢センサとマーカ識別のハイブリッド方式を採用していることである。ここでは、体験者のHMDと手にする扇子デバイスの位置姿勢検出にPolhemus社の磁気センサ3SPACE FASTRAKを使用した。マーカは、実物の木の幹と支柱部に、比較的簡単な円形の色マーカを配置した。

### 3.2 MR空間におけるインタラクション

#### 3.2.1 デバイスの仕組み

MRアトラクションの大きな特長の1つは、体験者と複合現実空間との実時間インタラクションが可能なことである。また、体験者の起こす行動が、複合現実空間にその場で影響を及ぼすことは、MRコンテンツの臨場感を増す効果にも繋がる。特に、実物体に触れるという行為とそれを視認・体感できることが、受身的な映像エンターテインメントにはない大きな魅力を生むことに繋がっている。

MRアトラクションでのインタラクションには、なるべく直観的に対話デバイス进行操作できることが望ましい。

本手法では、自然現象と物理法則を再現し、以下のようなインタラクションを考案し、これを実現した。

- ・落下物に扇子をかざすと花びらを拾うことができる。
- ・扇子に物を乗せている時に、手を傾けると乗せていた花びらが再び落ちる。
- ・扇子を仰ぐと風が発生して、風に吹かれた花びらは風の方に飛ばされる。

### 3.2.2 扇子型対話デバイス

対話デバイスとして位置姿勢センサをつけた扇子を利用した。この扇子の外観と座標系を図3に示す。この画像から分かるように、扇子のセンサ座標系では、扇子の要から扇の弧の中点に向かう方向をX軸、扇に表面から垂直方向をZ軸としセンサがついていない側を正とする。またX軸、Z軸のどちらに対しても垂直な方向をY軸とする。

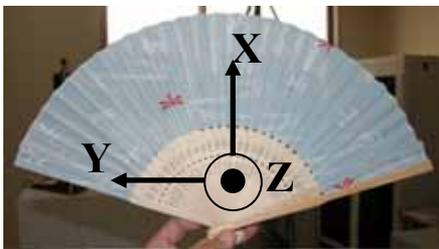


図3: 扇子とセンサ座標系

### 3.2.3 キャッチ&リリース

実世界の重力による影響を再現して、落下物（ここでは花びら）を扇子デバイスでキャッチし、傾けることで再び落下させるインタラクションを実現した（図4）。このインタラクションでは、CG物体の3次元位置と扇子の位置姿勢を用いて、扇子が上を向いている時にCG物体が降って来れば扇子上に花びらが堆積し、扇子の傾きが一定値以上になるとこれを解放する。



図4: 扇子デバイスによるインタラクション  
(上: キャッチ, 下: リリース)

### 3.2.3 扇子で風を起こす

扇子を仰ぐことにより風が起こり、CG物体を風の方に飛ばすインタラクションを実現した。まず、扇子のスピードが閾値を超えたことを検知することにより、風の発生とする。この時、風が吹く範囲にあるCG物体は飛ばされることとする。その範囲は距離と角度で決定する。影響範囲を図5に示す。

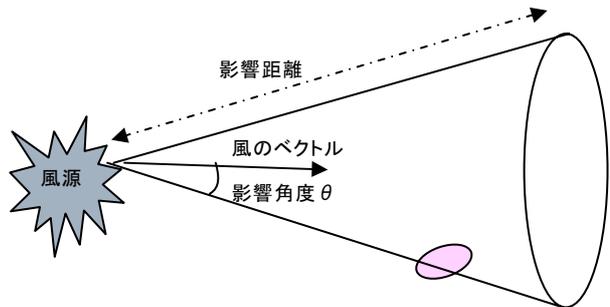


図5: 風とその影響範囲

### 3.3 カーリー法の妥当性の評価

Cherry Blossom Cyberview では、パラメータ設定は試行錯誤的に行なった。花びらの長径 1.5cm, ランダムウォークの標準偏差  $\sigma = 8$ , 落下速度の平均値  $b = 12\text{mm/フレーム}$  で、かなり自然な振る舞いの落下現象が表現できた。

本研究で開発したカーリー法では、負荷に応じてフレーム間の落下量や水平移動量、回転量を変化させている。その調整結果を、以下表を用いて説明する。表1では、落下量の標準偏差と平均を負荷と調整の有無ごとに示している。また、フレームレートの違いによる  $x, y$  座標値の時刻における標準偏差の調整結果を表2に示す。高負荷のフレームレートは約 10, 低負荷のフレームレートは約 25 である。表では調整をするとが変化しても移動量・回転量は調整されていることがわかる。表2から同じ位置であると考えられる 100 期と 250 期の標準偏差がほぼ同じであることがわかるので、フレームレートが違っても散らばり具合が同じであることが分かる。

上記アトラクションを多数の体験者に試してもらったところ、違和感のない動きであるという意見が多く好評であった。またインタラクションに関しても、仮想の重力や風の存在を体感することができた。

表1: 負荷に依存しない落下スピードの調整結果

単位 mm/s	低負荷調整 有り	低負荷調整 無し	高負荷調整 有り	高負荷調整 無し
標準偏差	0.00094148	1.81296595	0.00059518	0.74957435
平均	120.000106	300.644322	120.000088	119.7075

表 2: 標準偏差の調整(単位:mm)

	10fps	25fps
100 期	78.8867	51.62375
150 期	-	58.21557
200 期	125.0103	66.91784
250 期	-	78.17054
300 期	155.6313	88.19373

## 4. 他の季節感を与える落下現象への適用

### 4.1 紅葉の舞い落ちる現象の演出

#### 4.1.1 紅葉の落下の特徴

桜の花の舞を描くのに威力を発揮したカーリー法を、他の季節感を表わす自然物落下現象に適用することを試みた。桜花に続いて要望が多いのは、秋を彩る楓の葉の紅葉とそれが落葉する様である。

実際にこの落葉の様子を熟視して観察したところ無風もしくは微風状態で、桜花と同様にゆらゆらと舞い、ランダムウォークと考えられる平行移動を呈しながら落下していた。ただし、回転運動に関してはかなり様子が異なり、表裏面が逆転するような前後回転(pitching)することはなく、ほぼ同一面を上方に向け、水平面での回転(yawing)と回転軸を若干傾ける運動(rolling)が観察された。これは、桜の花びらに比べて、楓の葉は表面積も質量も大きく、また柄の部分が対称軸となり前後回転が起きにくいと考えられる。

#### 4.1.2 平行移動と回転のモデル

桜の花びらと紅葉の葉の落下の特徴は似ているので、平行移動のモデルに桜の花びらと同様に式(2)(3)(4)を用いる。ぶれ量を示すパラメータ $\sigma$ の値だけの変更を行うだけで、紅葉の落下時の移動をうまく表現することができた。また、経験値として得たパラメータ $\sigma$ は花びらと楓の葉の長径にほぼ比例することも判明した。

平行移動量と回転量の関係を考えるモデルとしては、桜花で考えた式(5)を用いる。ただし、桜花の落下の際の回転軸は花びらごとにランダムに与え、落下中は変化しないものとした、楓の葉の場合は回転軸が時間的に変化するモデルを採用する。

観察で得た楓の葉の回転特徴を反映させるには、回転軸を示す3次元ベクトルの $z$ 値を $x, y$ に比べて相対的に大きくすることにより、 $z$ 軸方向に偏った回転軸が実現できる。回転軸 $V_r$ は、一様分布に従う確率変数を $Rn_x, Rn_y, Rn_z$ とし、式(10)のように表現した。

$$V_r = (Rn_x / 10, Rn_y / 10, Rn_z) \quad (10)$$

#### 4.1.3 紅葉の CG モデルと落下の様子

楓の紅葉には、図 6 の CG モデルを用いて表現した。

桜の花びらは大きさ一定のものが多数咲いていても違和感を感じなかったが、紅葉の場合には、柄の部分を除く長径 4.5cm のものを基準に、0.8~1.2 倍の範囲で正規乱数によって大きさを変化させたものを用いて、見た目の均一さを避けた。



図 6: 楓の紅葉 CG モデル

Cherry Blossom Cyberview をベースとして、枝と葉を楓に変え、上述の落下モデルを適用した結果を図 7 に示す。この場合も、かなり体験者満足度の高い MR コンテンツを表現することができた。



図 7: 紅葉へ応用した様子

### 4.2 雪の落下現象の演出

#### 4.2.1 雪の落下の特徴

雪の降り方は、含まれる水分の量や、風の吹き方で大きく異なる。木枯らしが吹く寒い夜の「吹雪」の舞う様は、「桜吹雪」の場合より著しく激しく、乾燥した雪ほど風の影響を受けやすい。一方、風の余りない日に水分を多く含んだ雪の降る様は、かなり桜花の舞いに似ている。ただし、水平方向の動きは桜の花びらより雪は小さく、落下スピードは速いと観察される。

本研究では、こうした雪の降る様子をほぼすべてカバーすることは試みない。本研究の目的は、自然現象の正確なシミュレーションではなく、アトラクションの演出効果としての自然落下物の表現であるから、とにかく冬という季節感を与える降雪現象を描写できればいいからである。換言すれば、本稿で述べたカーリー法の変形の範囲内で、雪が降っているように見える描写が作れるかどうかである。

#### 4.2.2 平行移動と回転のモデル

平行移動のモデルは、桜花の場合と同じ式(2)(3)(4)と同じだが、落下速度が速く、ぶれがあまり多くないので、パラメータ  $\sigma$  を相対的に小さい値にする。

雪の回転のモデルでも、桜の花びらの場合と同様に式(5)を用いる。紅葉の場合のような特別な改良は加えず、雪に見せることができるかが争点である。

#### 4.2.3 雪の CG モデルと落下の様子

雪の結晶の形状は実に様々であり、これを多数のポリゴンで描いていたのでは、実時間処理の制限内では描画できない。ここでは、図 8 のモデルを基本としてこれを描画実行時に変形を加えた。変形は、基本モデルの  $x, y$  方向のスケールを  $0.5 \sim 1.5$ 、 $z$  方向のスケールを  $0 \sim 1$  倍になるように拡大倍率を一様乱数で決めることにより実現した。

この処理を行うことで、より自然な雪に見えることが期待できる。描画例を図 9 に示す。



図 8: 雪の結晶の基本モデル



図 9: 雪の降る様子

#### 4.3 異なる現象間でのパラメータ設定

実際に MR 空間で表現してみた際に、経験的に適切であると思われた水平方向の標準偏差の設定値は次の表 3 のようになった。この表からわかるように、長さと同程度の標準偏差の設定値は比例関係にあることがわかった。モデルの長さを  $l$  として適切な標準偏差値を  $\sigma$  とすると、その関係は式 (11) で表わせる。この関係を利用すると、新しい落下物への応用時や落下物の大きさを変更する場合に、パラメータ設定の目安にすることが期待できる。

表 3: 落下物体ごとのパラメータ設定例

	桜花	紅葉	雪
長さ ( $l$ )	1.5cm	4.5cm	0.75cm
水平方向標準偏差 ( $\sigma$ )	8	24	4

$$\sigma = 5.3 \times l \quad (11)$$

## 5. むすび

実時間描画の制約がある複合現実型アトラクションにおいて、自然落下物を表現する上で効果的な方法(カーリー法)を考案した。アニメーションの品質を落とさずに計算量を削減するために、正規乱数のランダムウォークを利用した方法である。また、実時間描画において有効な、他の負荷に依存しないアニメーション設定を実現することができた。

桜花の落下現象用に考案した「カーリー法」は、若干の変更を行うだけで、紅葉、雪の落下を描くことに適応できることを確認した。MR アトラクションの実時間制約とインタラクション機能の両面を満足させるこの種の演出効果手法が多数用意されることで、MR コンテンツのクオリティも向上して行くことが期待できる。

#### 参考文献

- [1] 田村, 大田: “複合現実感”, 映像情報メディア誌, Vol.52, No.3, pp. 266 - 272, 1997.
- [2] S. K. Feiner (田村訳): 複合現実感がひらく第3の視界, 日経サイエンス, 2002年7月号, pp.40-49.
- [3] <http://www.expo2005.or.jp/jp/N0/N1/N1.1/N1.1.27/index.html>
- [4] 大島, 佐藤, 山本, 田村: “RV-Border Guards: 複数人参加型複合現実感ゲーム”, 日本 VR 学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.699-705, 1999
- [5] Y. Okuno, H. Kakuta, and T. Takayama: “Jellyfish Party: Blowing soap bubbles in mixed reality space”, Proc. ISMAR03, pp. 358 - 359, 2003.
- [6] P. Fearing: “Computer modeling of fallen snow,” Proc. SIGGRAPH 2000, pp. 37 - 46, 2000.
- [7] T. Nishita, H. Iwasaki, Y. Dobashi, and E. Nakamae, “A modeling and rendering method for snow by using metaballs,” Computer Graphics Forum, Vol.16, No.3, pp.357-364, 1979.
- [8] N.Wang and B.Wade: “Rendering falling rain and snow,” SIGGRAPH 2004 Sketches, 014-wang.pdf, 2004.
- [9] 木村, 橋本, 一刈, 種子田, 鬼柳, 柴田, 田村: “Cherry Blossom Cyberview - サイバー観桜会 - ”, 日本 VR 学会第9回大会論文集, pp.609-610, 2004