

# Rhythm of the Rain in 3D

## —視聴覚 3D-MR 空間の表現力を体験できる複合現実型アトラクション—

### Rhythm of the Rain in 3D

#### ---A Mixed-Reality Attraction Featuring the Expressive Power of Audio-Visual 3D-MR System---

村井嘉彦<sup>1)</sup>, 深川亜美<sup>1)</sup>, 木村朝子<sup>2)</sup>, 柴田史久<sup>1)</sup>, 田村秀行<sup>1)</sup>

Yoshihiko Murai, Ami Fukagawa, Asako Kimura, Fumihisa Shibata, and Hideyuki Tamura

1) 立命館大学 情報理工学部

(〒525-8577 滋賀県草津市野路 1-1-1)

2) 科学技術振興機構 さきがけ

(〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8)

**Abstract:** “Rhythm of the Rain in 3D” is a Mixed Reality (MR) attraction featuring the expressive power of Audio-Visual 3D-MR system. The user puts on an HMD and an open-air headphone to experience the Audio-Visual MR space. We place eight speakers on the attraction space to realize the system which enables both the user and the audience to perceive the 3D sound field. This attraction presents not only an artificial sound of a music box, rain and thunder by a 3D sound field system but also the reflection and insulation of the artificial sound in a cabin. This system switches the output device from the speakers to the headphone by adjusting to the feature of the sound and the distance between the user and the sound. When the user puts up the umbrella device, he/she perceives a light or heavy rain by vibrations.

**Key Words:** *Mixed Reality, Audio-Visual 3D-MR, Three-Dimensional Sound Field, Reflection, Insulation.*

## 1. はじめに

現実世界と仮想世界を融合・表示する複合現実感 (Mixed Reality ; MR) 技術は, 人工現実感 (Virtual Reality; VR) の発展形であるが, 日常の業務・生活空間をも情報を伝達・提示する媒体・対象にできることから, VR にはない大きな潜在能力をもつものとして期待されている。また, 現実世界と仮想物体の配分には自由度があり, それがアート&エンターテインメント分野や展示業界で, MR 技術が新しい情報提示方法として注目を集める大きな要因となっている。実際, SIGGRAPH Emerging Technology, Ars Electronia Festival 等にはMR型作品がしばしば登場し,

文化庁メディア芸術祭の受賞作品も生まれている[1]。また, 2005 年開催の愛知万博・日立グループ館のメイン・アトラクションとして人気を博したことも記憶に新しい。

であれば, 情報提示手段としてのMR技術が, ますますその表現力を強化して行くことが望ましい。それも, 現実と仮想を融合するMR独自の表現パワーであればあるほど好ましい。そうした考えから, 我々は視覚的MRと聴覚的MRを共存させた「2×2方式視聴覚併用MRシステム」を研究開発した[2]。また, 同システムをベースにした三感融合MRアトラクション「Watch the Birdie!」[3]を開発し, 2年前の本大会で技術展示して高い評価を得た。汎用性のある新しいMR技術をMRアトラクションの形で具現化するのは, 実時間対話型体験が可能な1つのトータルシステムとしてまとめ上げる過程で, 新技術の長所・短所が浮き彫りになるからである。また, 開発当時以外の一般体験者が楽しめる作品を目指すことで, 真に豊かな表現力を有しているかを測ることができるからである。

同じ考えから, 「視聴覚併用MRシステム」を発展させ, 現実世界と仮想物体間での音の反射と遮断を表現できる技術を開発した[4]。その効果を実証すべく開発し, 技術展示するMRアトラクションが「Rhythm of the Rain in 3D」である(図1)。以下, 2章では, 本MRアトラクションで用いる新技術の概要を, 3章でデザインコンセプト, 4章でシステム構成, 5章で体験の流れについて述べる。



図1 体験風景 (イメージ図)

## 2. 視聴覚併用 MR システムの表現機能向上

### 2.1 MR 空間での音の反射と遮断

我々が先に開発した「2x2 方式視聴覚併用 MR システム」は視覚的 MR と聴覚的 MR が共存し、同時にその融合を体験できる世界初のシステムであるが、そのテストベッドである「Watch the Birdie!」で実装した聴覚的 MR はその第 1 段階のものであった。即ち、現実世界で発した実音と仮想世界から聞こえて来る人工音が開放型ヘッドホンを通して混ざり合い、高い定位感を提示することができたが、実音が仮想物体によって受ける影響、生成した人工音が現実物体から受ける影響までは表現していなかった。

我々は MR 表現力の向上の挑戦課題として、現実世界と仮想物体間での音の反射と遮断を選んだ[4]。少し誇張した演出でその効果を確認するのが、本アトラクション開発の目的の 1 つである。例えば、洞窟など残響の多い（反射の影響が強い）現実空間中で、人工音もその空間に応じた残響を付加することなどを試みる。

### 2.2 スピーカシステムの導入

「Watch the Birdie!」では、3D 視聴覚 MR 空間の実現に成功したが、定位感の高い聴覚情報の提示にのみ留意していたので、アトラクションとしての演出効果は限られていた。即ち、CG 製の鳥が鳴きながら 3D 空間内を飛んで行く様は表現できたが、大きな音響で臨場感の高い 3 次元音場を表現する演出は避けていた。また、体験者のみがシースルー HMD と開放型ヘッドホンを装着して MR 体験できたが、ヘッドホンを装着していない周りの観客は、聴覚的には何が起きているか全く分からない状況であった（視覚的には、客観視点 MR 光景を大型モニタ表示していた）。

この 2 つの問題を解決するため、複数のスピーカで空間を囲み、音源位置に応じて音を出力するスピーカとその出力を変化させる方法[5]を採用する。この手法は、定位感は低い、処理負荷が軽く、さらに定位感の必要ない環境音なども実際に囲んだスピーカから提示することができる。また、体験者も引き続き開放型ヘッドホンを装着するため、高い定位感のある 3 次元音場と、実際に囲んだ状態で提示される、より高臨場感のある環境音を遅延なく同時に聴取することができる。

## 3. デザインコンセプト

前章で述べた新技術のテストベッドである MR アトラクションでは、その音響効果を演出しやすい題材として、雷鳴、降雨体験を選択した。雨の音などの環境音、雷などの空間的スケールの大きな音、移動音源として雨が傘に当たる音など、様々な種類の音を視覚的 MR 表現と矛盾なく表現するものとし、「Rhythm of the Rain in 3D」と名付けた。

また、この体験型アトラクションでは、以下の 3 つのインタラクションを実現するものとした。

- (1) 広い空間と狭い空間を行き来する
- (2) 仮想音源を遮るように実物体を移動させる
- (3) 雷鳴などの空間的スケールの大きな音を聴取する

(1) では狭く残響の多い空間での反射の効果を、(2) では仮想物体による音の遮断の効果を体感し、(3) では空間的スケールの大きな雷などの音と、雨などの環境音を提示することで、ヘッドホンによる 3 次元音場とスピーカシステム併用の有用性を検討できる。

さらに、降雨を触覚的にも表現するために、実際に位置姿勢センサを搭載した傘を持ち、仮想物体の雨が当たること、その触覚を体験者に提示する傘デバイスを作成する。

## 4. システム構成

システム構成を図 2、表 1 に示す。本システムは、3 次元映像生成兼 MR 空間管理処理、3 次元音場生成処理、デバイス制御処理の 3 つに大別できる。

### 4.1 視聴覚併用型 MR システム

3 次元映像生成兼 MR 空間管理 PC ではビデオシースルー型 HMD を用いて、カメラでキャプチャした現実世界の映像にコンピュータで生成した仮想物体を重畳描画し、眼前のディスプレイに表示する。体験者の頭部の位置姿勢検出は HMD に取り付けられた磁気センサを使用している。

3 次元音場生成用 PC では MR 空間管理 PC から送られた仮想物体の 3 次元位置と、体験者の頭部位置姿勢を元に 3 次元音場を生成し、DA 変換器、エフェクタを通じて、ヘッドホンアンプで増幅し体験者の装着する開放型ヘッドホンから提示される。開放型ヘッドホンは、装着時にヘッドホンと耳の間に隙間ができるため、体験者は人工音と実音を同時に聴取できる。スピーカは 8 本利用し、提示さ

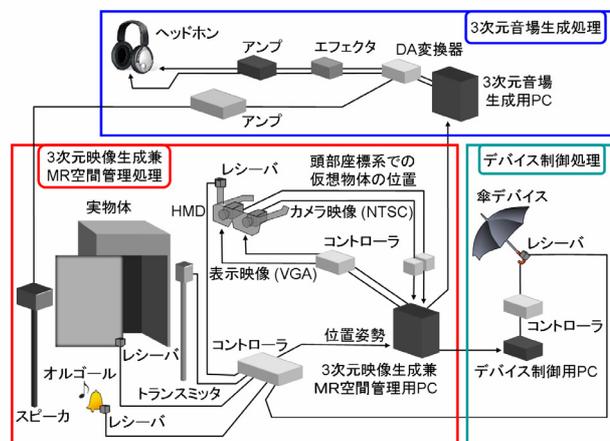


図 2 システム構成

表 1 構成機器

機器名	モデル名
3次元音場生成兼MR空間管理用PC	Canon MR Platform System
3次元音場生成用PC	Dell Precision 670
HMD	Canon VH-2002
位置姿勢センサ	Polhemus 3SPACE FASTRAK
DA変換器	Thinknet DF-2032D
エフェクタ	ZOOM RFX-2200
開放型ヘッドホン	SONY MDR-F1
スピーカ	BOSE 101VM

れる音は3次元音場生成用PCで仮想物体の音源位置を元に生成し体験者に提示される。

#### 4.2 体験環境

体験スペースのレイアウトを図3に示す。3章で述べた(1)と(2)を表現するために実物体として小屋を配置する。小屋の内側は狭い空間であり、反射の影響が大きく、小屋の外側は広く反射の影響が小さい空間である。また、小屋には引き戸がついており、磁気センサを用いて戸の位置検出を行うことで戸の位置に応じて音が適切に遮断される様子を提示する。仮想音源として磁気センサを取り付けた実物のオルゴールを用意する。オルゴールからは実際の音は鳴らないが、その位置から人工音として音を提示する。体験者は、磁気センサの計測範囲内(トランスミッタを中心に半径1.06m)を自由に移動する。

また、3章(3)で述べたように、本アトラクションでは、ヘッドホンとスピーカを併用し、臨場感の高い聴覚MRを実現する。そのため、8本のスピーカを体験スペース全体を囲うように配置する。スピーカは高さ1.5mのスタンドで固定し、体験スペースの中心から半径2.0mの円上に45度間隔で中心向きに配置する。

#### 4.3 触覚提示デバイス

本アトラクションでは雨の表現として、CG物体による視覚提示、降雨音の聴覚提示に加え、さらに表現力を向上させるために雨と傘の衝突を触覚提示する傘デバイス(図4)を作成した。傘デバイスには振動モータ(Linkman 7AL09WA)を8箇所に取り付けた(図4)。モータの回転時間、同時に回転させるモータの個数を変化させることで、雨の強さの変化を触覚として提示する。また同時に回転させるモータの組合せはランダムに変化させる。モータの回転時間、回転させる個数と雨の強さの関係を表2に示す。各モータの回転時間は、3次元音場生成兼MR空間管理用PCからデバイス制御用PCに制御信号が送られ、デバイス

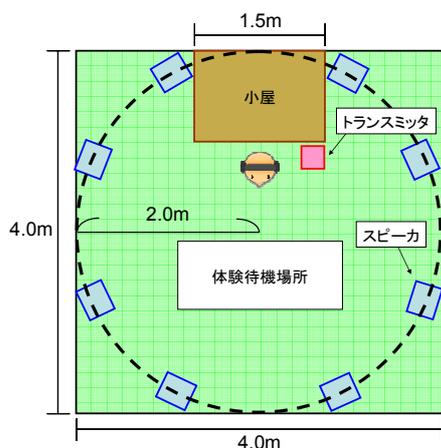


図3 体験スペースのレイアウト

表2 モータ制御

雨の強さ	回転時間 [ms]	個数
弱	43	1
中	53	3
強	85	6

制御用PCが信号に応じて制御する。傘デバイスには開閉検出スイッチと磁気センサが備わっており、開閉の状態によって異なる動作ができ、位置姿勢を取得できる。

### 5. 本アトラクションの体験順序

体験者は5.1節から5.3節の順序で体験することで、2章で述べた音の反射・遮断、スピーカとヘッドホンの併用を導入した視聴覚併用MRシステムの表現力を体験する。

#### 5.1 小屋を用いた音の反射・遮断の体験

3次元音場と音の反射・遮断を体験するために、3章(1)で述べた、広い空間として体験空間全体を、狭い空間として小屋を配置した。想定した下記のストーリーの(ii)から(iii)(iv)の出入りにより、反射の効果を体感する。

- (i) 実物体のオルゴールを手にした体験者は3次元音場によるオルゴール音(人工音)を愉しんでいる。
- (ii) 突如雷鳴が響き大粒の雨が降ってくる。ここで、スピーカから環境音としての雷鳴や雨音を聞く。
- (iii) 雨宿りのために、近くにある小屋に入る。ここで、遮音や音の残響の体験をする。小屋の中に傘がある。
- (iv) 雨も少し小降りになったようなので、オルゴールをおき、傘をさして小屋から出る。
- (v) 小屋の外では、傘に当たる雨音の変化や、引き続き、その他の演出効果を愉しむ……。

(i)では、体験者は手にオルゴールを動かすことで、その位置に対応したオルゴール音を聞くことができる。小屋外では仮想音源であるオルゴール音に実物体によって生じる反射音を付加していないが、(iii)で小屋内に入ると、小屋の形状、オルゴールと受聴位置に応じた反射音を生成し、体験者に提示する(図5(a))。ここでは、反射音を実際よりも強調・抑制することで、どの程度3D-MR空間を表現できるかを体験する。(iv)では小屋に取り付けた引き戸を閉めることで、ヘッドホンから提示されていた人工音であるオルゴール音が実物体である戸によって遮断される。これにより3章(2)で述べた実物体による人工音の遮断を体験できる(図5(b))。閉め具合により、漏れ聞くことも可能である。

#### 5.2 降雨の体験

降雨によってMR空間の表現力を体験する。雨のCG物体が視覚的に降雨を表現し、聴覚情報として全スピーカからの雨音が提示されている。そこで体験者に傘デバイスを

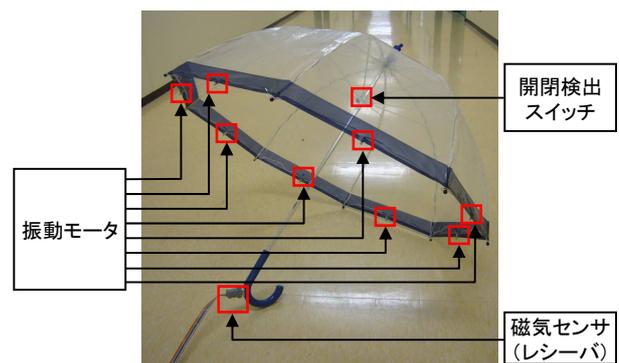


図4 傘デバイス

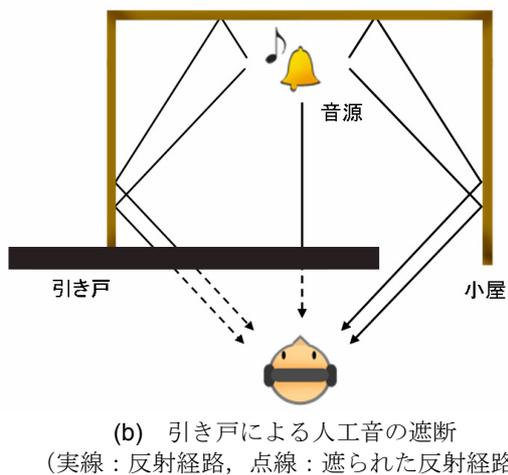
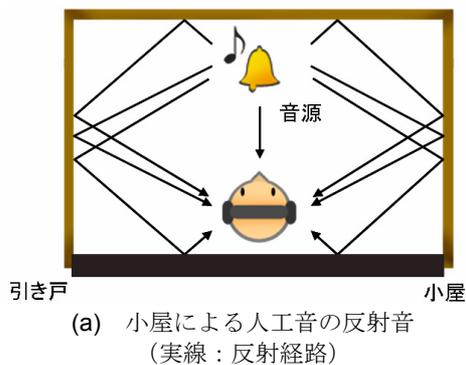


図5 小屋による人工音の反射・遮断

開かせる。傘を開くことで発生する傘と雨の衝突音（人工音）を傘の位置検出により、傘の位置から違和感なく知覚できる。さらにモータから振動が手に伝わり、視覚・聴覚に加え雨を触覚としても知覚できる。傘を閉じるとモータの振動、傘と雨の衝突音が止まる。視聴覚MR技術と傘デバイスを用いることで視覚や聴覚、傘に雨粒が当たる触覚により雨の情緒や美しい面を自由に体験できる。

### 5.3 ヘッドホンとスピーカを併用したMR空間の体験

3章(3)を実現するために、ヘッドホンとスピーカを併用し、臨場感の高いMR空間を構築する。CG物体の飛行船、雷（以下、移動音源）が出現するが、それらは空間を大きく移動しながら音を発している。移動音源はランダムに移動し、移動音源と体験者の距離が遠い場合にはスピーカから音を提示する（図6(a)）。近い場合にはスピーカに加えてヘッドホンから音を提示する（図6(b)）。ヘッドホンから提示される音は、3次元音場により飛行船などの音源位置から違和感なく聞こえる。またスピーカから提示される音は2.2節で述べた手法を利用し、8本のスピーカ全てから同時に音を提示するのではなく、移動音源に近いスピーカから音を提示する。提示する音は表3に示す。体験を通してこれらを聴取することにより、従来通り体験者は高い定位感を得られ、さらにこれまで対象にしていなかった待機場所にいる複数の人もスピーカにより、簡易的に音源方向を知覚でき、臨場感の高いMR空間を体験することが可能になる。

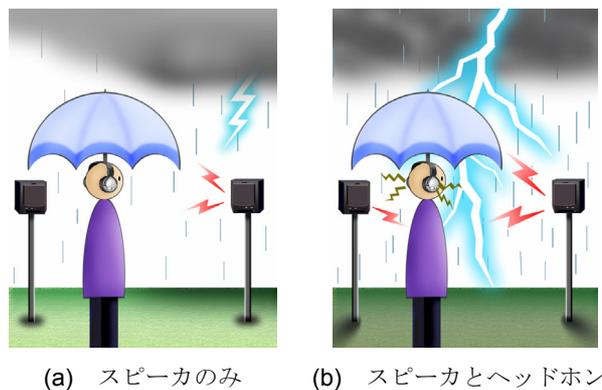


図6 移動音源の位置による提示装置の併用

表3 提示音

ヘッドホン	スピーカ
雷の音 (体験者に対し近距離)	雷の音 (体験者に対し遠距離)
飛行船の音 (体験者に対し近距離)	飛行船の音 (体験者に対し遠距離)
オルゴール音	降雨音
傘と雨の衝突音	

## 6. むすび

向上した視聴覚3D-MR空間の表現力を体験できるMRアトラクション「Rhythm of the Rain in 3D」を制作した。人工音を3次元音場として提示するだけでなく実物体による反射・遮断の体験、スピーカとヘッドホンの併用、視聴覚提示に加え傘デバイスによる触覚提示を用いた降雨体験というインタラクションを実現した。MR空間での音の反射・遮断の技術を導入することで演出効果が高まり、臨場感を増すことにも成功している。さらに音源の位置に応じて8本のスピーカの出力を変化させることにより体験者以外の人間も音源位置を知覚できた。

今後の課題として、スケールが大きく高速に移動するような物体が音を発する場合を表現するためにドップラ効果を導入するなど、反射や遮音以外の聴覚効果を導入することで更なる臨場感の向上が考えられる。

謝辞 本アトラクションの開発では溝口晃太氏の、本稿執筆には大槻麻衣、石黒祥生両氏の協力を得た。ここに深謝する。本研究の一部は、科研費・基盤研究A「三感融合型複合現実空間の構成法に関する研究」による。

### 参考文献

- [1] <http://plaza.bunka.go.jp/festival/2001/degital/000039/>
- [2] 比嘉, 西浦, 木村, 柴田, 田村: “視覚・聴覚の現実と仮想を融合する 2x2 方式複合現実感システムの実現”, 日本VR学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 227 - 237, 2008.
- [3] 石黒, 他: “Watch the Birdie!—三感融合型複合現実感アトラクション”, 同上, Vol. 12, No. 3, pp. 259 - 268, 2007.
- [4] 吉野, 西浦, 木村, 柴田, 田村: “視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (4) —複合現実空間での音の反射・遮断の実現—”, 本大会, 2008.
- [5] 大久保, 他: “CG画像と同期したインタラクティブ音場再生システムについて”, 日本VR学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp. 965 - 974, 2000.