

# 全天周型視聴覚複合現実体験空間とその基幹ソフトウェア

鈴木 翔伍 杉山 孝之 宮井 貴史 木村 朝子 柴田 史久 田村 秀行

立命館大学 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: s\_suzuki@rm.is.ritsumei.ac.jp

あらまし 複合現実感 (MR) の分野において、視覚面の MR が一般的であるが、我々は視覚・聴覚両面における MR システムの開発を行っている。現在は、超音波スピーカを複数台用いた「音像プラネタリウム方式」を採用した視聴覚併用 MR システムを X-Media Galaxy と命名し、研究を行っている。本稿では、X-Media Galaxy を全天周型に拡張した X-Media Galaxy/Dome Type について述べるとともに、そのアプリケーション構築を効率的にするために設計した基幹ソフトウェアについて説明する。

キーワード 複合現実感, 視聴覚併用, 全天周化, ソフトウェア設計

## Dome Type Audio Visual MR Environment and Its Core Software Library

Shogo SUZUKI, Takayuki SUGIYAMA, Takafumi Miyai

Asako KIMURA, Fumihisa SHIBATA, and Hedeyuki TAMURA

Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Kusatu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: s\_suzuki@rm.is.ritsumei.ac.jp

**Abstract** In the field of Mixed Reality (MR), MR of visual sense is typical. We develop an MR system that merged the real and virtual worlds in both the audio and visual sense. In addition, we named MR system which use “Acoustic Planetarium” with several parametric loudspeakers “X-Media Galaxy.” And now, we are studying “X-Media Galaxy/Dome Type,” which we extend the experience space of X-Media Galaxy by using a dome. In this paper, we describe about X-Media Galaxy/Dome Type and the basic software which designed for effective construction of its application.

**Keyword** Mixed Reality, Audio and Visual Senses, Dome Type, Software design

### 1. はじめに

現実空間と仮想空間を実時間で融合させる複合現実感 (Mixed Reality; MR) の技術は、人工現実感 (Virtual Reality; VR) を発展させたものであり、目の前の現実世界に電子的なデータを融合させて提示できることから、新しい情報提示技術としての期待が大きい。しかし、VR 分野では既に、3D-CG による視覚提示と 3次元音場による聴覚提示を同時に行う研究が多数存在する[1]-[3]のに対して、現存する MR システムの大半は視覚的な融合に主眼が置かれており、音や触覚は付加的な演出効果として利用されているだけであった[4][5]。そこで、我々は視覚的 MR だけでなく聴覚的 MR も実現し、視覚と聴覚の両面で現実空間と仮想空間を融合する視聴覚併用 MR の実現を目指している。

我々がこれまでに提案・開発した「2×2 方式視聴覚併用 MR システム[6]」では、聴覚的 MR の実現方法として、開放型ヘッドホンを用いたバイノーラル方式や、開放型ヘッドホンと複数の通常スピーカを併用し音の定位感を向上させる手法などを採用してきた[7][8]。

これに対して、我々はより表現力・臨場感の高い視聴覚併用 MR システムを実現するために、ヘッドホンを装着せずに聴覚的 MR を体験できる「音像プラネタリウム方式[9]」を新たに導入し、同方式を利用した視聴覚併用 MR システム「X-Media Galaxy (図 1)」の開発を行った[10]。音像プラネタリウム方式は、多数の超音波スピーカを用いる手法で、空間中の任意の位置に音像を定位させることができる。ヘッドホンを利用することによる圧迫感がなく、全ての体験者に良好な定位感を期待できる。X-Media Galaxy では、同方式を利用することで、Head Mounted Display (HMD) を装着した体験者が、目前の実物体や仮想物体の位置に音像を知覚できるようにする。

我々は、次なるステップとしてこの X-Media Galaxy の表現力や臨場感を視覚面から拡充することを目指し、全天周ドームを導入した X-Media Galaxy/Dome Type (以下、X-Dome と略す) を提案する。X-Dome では、ドーム内壁に背景映像を投影することで、視覚的にはプラネタリウム・ユニットを消し去り、聴覚的にはドーム壁面の存在を感じさせない広大な映



図 1 X-Media Galaxy イメージ図

像・音像空間を作り上げる。

本稿では、この X-Media Galaxy を全天周型に拡張した X-Media Galaxy/Dome Type について述べるとともに、そのプログラム構築を効率化するために設計した基幹ソフトウェアについて説明する。最後に、基幹ソフトウェアを用いて試作した視聴覚併用 MR コンテンツについて述べる。

## 2. 全天周型視聴覚複合現実体験空間の実現

### 2.1. X-Media Galaxy

音像プラネタリウム方式とは、部屋の中央に配置した筐体に複数の超音波スピーカを設置することで、文字通りプラネタリウム投影機のように音を放射し、自由な位置で聴覚的 MR を体験することができる方式である。部屋の壁面や天井、部屋に設置した反射板などに出力信号を反射させて音像を定位させるので、音源がない方向からも音が聞こえるという特長がある[9]。この方式は、ヘッドホンを装着する必要がなく、頭部伝達関数のような個人性による問題が生じない。また、筐体は移動可能であり、壁面にスピーカを固定配置する他方式と比べて自由度が大きい。反射面の工夫や筐体に設置された複数の超音波スピーカの出力制御により、複数人体験や移動音源の再現も可能となる。このような特徴から音像プラネタリウム方式は MR との親和性が極めて高い。

我々はこれまでにこの音像プラネタリウム方式を用いた視聴覚併用 MR システム及びその空間を X-Media Galaxy と名付け、研究開発を進めてきた[10][11]。X-Media Galaxy は表現力や臨場感を高めた視聴覚併用 MR 空間であり、システム体験者は実音と人工音を同時に自然に合成して聞くことができ、音像プラネタリウム方式で音像を定位させた位置に仮想物体の CG を重畳描画することで、あたかも仮想物体が音を発しているように知覚することができる。

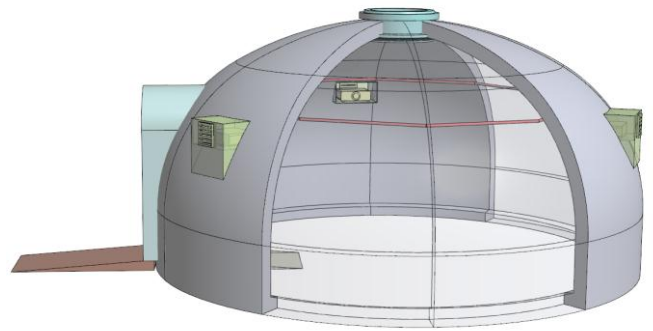


図 2 X-Dome の外観

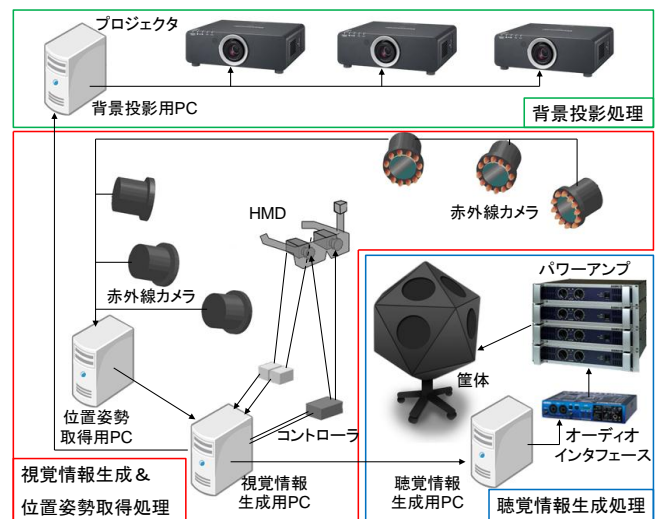


図 3 X-Dome のシステム構成

### 2.2. X-Media Galaxy/Dome Type

本稿では、X-Media Galaxy の次のステップとして、視覚面から表現力や臨場感を拡充することを目指し、X-Media Galaxy に全天周ドームを導入する。本研究では、同システム及びその空間を総称して X-Media Galaxy/Dome Type (X-Dome) と呼ぶ。

X-Dome では、プロジェクタからドーム内壁へと背景映像を投影することで、遠近感が曖昧な背景をプロジェクタで提示し、立体視が必要な体験者近くに存在する仮想物体の CG は HMD で提示する。さらに、音像プラネタリウム方式を用いて空間中に音像を定位させることで、システム体験者を映像と音で包み、高い臨場感を与えることを目指す。ドーム内壁の背景映像は、複数台のプロジェクタから投影された映像に内壁の形状に応じた歪み補正と映像の重なりを考慮したブレンド補正を施す。

### 2.3. システム構成

本研究で実装した X-Dome の外観を図 2 に示す。ドーム（ジャパンドームハウス株式会社製ドームハウス 7000 型）の形状は、直径 7.0m、高さ 3.8m で、高さ 2.15m の位置にプロジェクタ（Panasonic 社製

PT-DW6300LK)を3か所設置している。ドーム内部には、音像プラネタリウム筐体に加え、光学式モーションキャプチャシステム(VICON社製BONITA)を設置し、体験者や実物体の位置姿勢を取得する。

X-Domeのシステム構成を図3に示す。同システムは、大きく視覚情報生成兼位置姿勢取得処理部、背景投影処理部、聴覚情報生成処理部の3つに分けられる。視覚情報生成兼位置姿勢取得処理部では、視覚情報生成用PCがHMDに内蔵されたカメラの映像を取り込み、仮想物体のCGを重畳描画する。この際、位置姿勢取得用PCでは、BONITAを使用してHMDに取り付けられたマーカから体験者の位置姿勢を取得し、視覚情報生成用PCへその情報を送信し、視覚情報生成用PCではその情報に基づいて現実空間のカメラ画像にCGを重畳描画する。

背景投影処理部では、内壁の形状と映像の重なりを考慮し歪み補正、ブレディング補正を施した背景映像を3台のプロジェクタからドーム内壁に投影する。

聴覚情報生成処理部では、聴覚情報生成用PCが視覚情報生成用PCから送られる音の制御命令にもとづき、筐体に搭載された各超音波スピーカへ提示する音の出力処理を行っている。超音波スピーカから放射する音の生成や、移動音源を提示する際の各スピーカから放射する音圧の制御は聴覚情報生成用PCで行う。聴覚情報生成用PCで生成された音は、オーディオインターフェース、パワーアンプを介して出力される。

### 3. 基幹ソフトウェアの設計

#### 3.1. 設計方針

2.3で述べたように、X-Domeのシステム構成は3つの処理部から構成されている。これらは独立に存在するわけではなく、例えば、CGによる仮想の鳥を表現する場合、視覚情報生成兼位置姿勢取得処理部において3次元空間中にCGをレンダリングすると同時に、CGと同じ位置から鳥の鳴き声が聞こえてくるように聴覚情報処理部を制御する必要がある。したがって、X-Domeを用いて視覚と聴覚を融合したMRアプリケーションを作成するためには、これらの処理部を有機的に結び付けて制御する機構が必要となる。本章では、このような機構を実現するための基幹ソフトウェアの設計及び実装について述べる。

基幹ソフトウェアのアーキテクチャを図4に示す。基幹ソフトウェアは4つのプログラムから構成されており、視覚情報生成用PCの上で実行するシステム制御用プログラムがシステム全体の制御を担う。各プログラムの概要は以下の通りである。

**システム制御用プログラム:**システム全体を制御する。

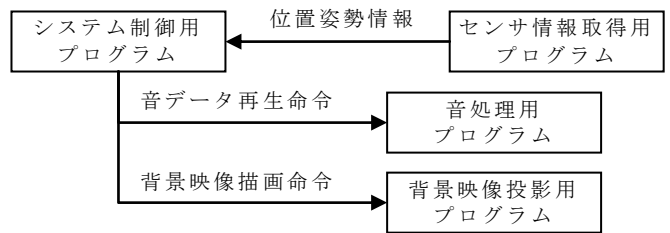


図4 基幹ソフトウェアのアーキテクチャ

HMDの位置姿勢に応じてカメラ映像とCGを実時間合成するとともに、CGの位置に合わせた音データを再生するための命令を音処理用プログラムに送る。

**センサ情報取得用プログラム:**HMDやユーザが使用するデバイスの位置情報をBONITAから取得し、それをシステム制御用プログラムに送信する。これにはBONITA用の既存のプログラム(VICON社製ViconTracker)を利用する。

**音処理用プログラム:**システム制御用プログラムから送信される命令に従って、音データを再生する。

**背景映像投影用プログラム:**システム制御用プログラムから送信される命令に従って、背景映像を投影する。

これらのプログラムは、X-Domeの上でMRアプリケーションを構築する際に、繰り返し利用することが想定されることから、再利用性を考慮した設計が必要となる。そこで各プログラムでは、オブジェクト指向における抽象クラスと具象クラス概念を導入して、再利用性を高めるとともに、初期設定などに用いるパラメータを外部ファイルから与える仕組みを採用することでプログラム開発の効率性を高める工夫を行った。各プログラムのクラス図を図5~7に示す。以降ではこれらのプログラムの詳細について説明する。

#### 3.2. 各プログラムの詳細

##### 3.2.1. システム制御用プログラム

システム制御用プログラムは、視覚情報生成用PCで用いるプログラムを実装するためのベースとなる。本プログラムでは、システム全体を制御するための機能、HMDによる視覚情報提示のための映像生成機能、外部ファイルからの値の読み込み機能を提供している。これらの機能は抽象クラスとして提供しており、MRアプリケーションを開発する際は、抽象クラスを継承した具象クラスの上で必要な機能を実装し、プログラムとして完成させる。

基幹ソフトウェア全体の統括はmain部で行う。Communicationクラスは、センサ情報取得用プログラムから位置姿勢の取得や、背景映像用プログラム及び音処理用プログラムへそれぞれ映像や音を切り替える命令を送信のために使用する。詳しくは各プログラ

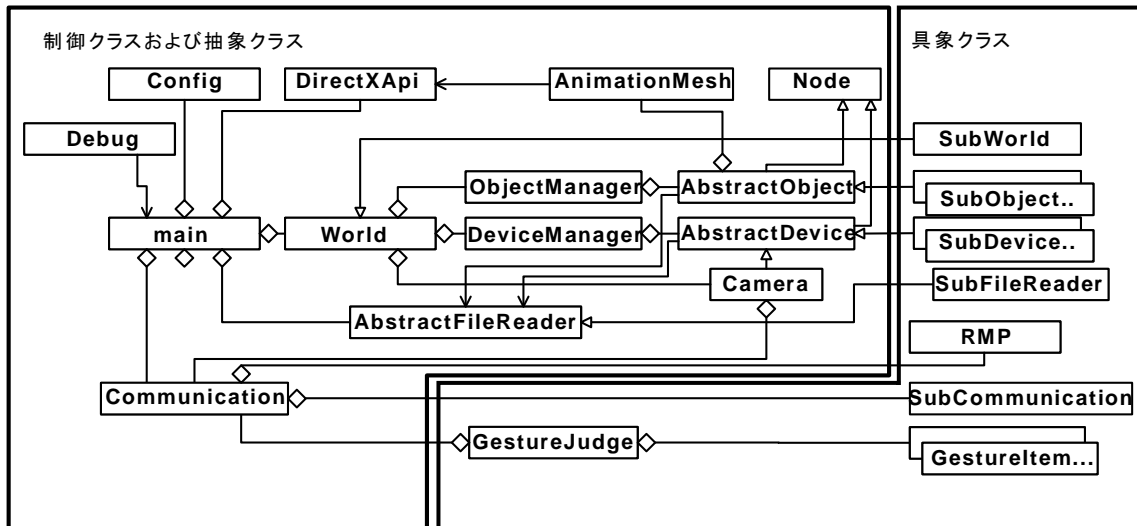


図 5 システム制御用プログラムのクラス図

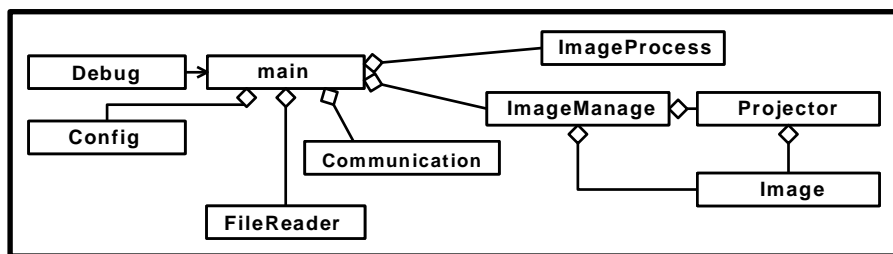


図 6 背景投影用プログラムのクラス図

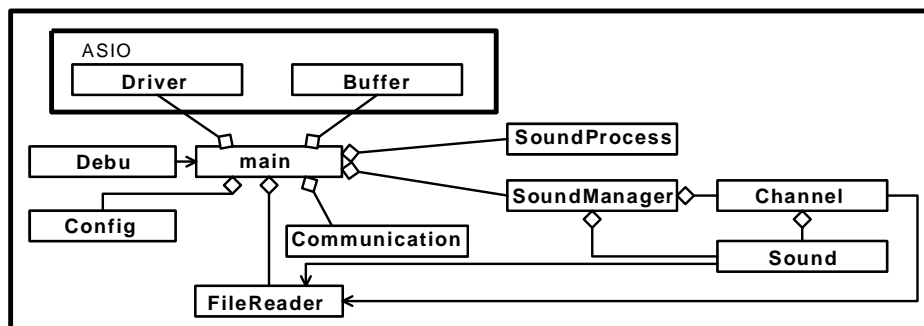


図 7 音処理用プログラムのクラス図

ムの説明にて記述する。World クラスでは、MR 空間の管理を行い、CG としてレンダリングする各オブジェクトはこの中でデータとして保持される。AbstractObject クラス及び AbstractDevice クラスは、それぞれ HMD で描画する CG オブジェクトのデータや体験で使用するデバイスのデータを保持するための抽象クラスである。HMD に内蔵されているカメラもデバイスの 1 つであり、カメラの位置姿勢データは AbstractDevice クラスを継承した Camera クラスで保持される。Node クラスは、位置姿勢の保持のようにこれらのクラス共通で使用するデータ及び機能を有する抽象クラスである。CG オブジェクトのモデルは AnimationMesh クラスによって保持されており、DirectXApi クラスによってレンダリングされ、カメラ

映像の上に重畳描画される。ObjectManager クラス及び AbstractManager クラスは、それぞれ使用するすべての AbstractObject クラスの具象クラスと AbstractDevice クラスの具象クラスを管理するクラスである。外部ファイルからの値の読み込みには AbstractFileReader クラスを使用し、読み込んだ値は Config クラスに格納される。また、プログラムがどのように動作しているのかデータの確認を行うために使用することが出来るデバック用の Debug クラスを用意している。

### 3.2.2. 背景映像投影用プログラム

背景映像投影用プログラムは、背景映像投影用 PC 上で実行され、プロジェクトで投影する映像を切り替える機能を提供している。システム制御用プログラム



とは異なり、背景映像の設定などはすべて外部ファイルを用いて実現し、新たなコーディングは不要な仕組みとなっている。

本プログラムは待機型のプログラムであり、main 部では **Communication** クラスを使用してシステム制御用プログラムから受信した命令を基に動作する。受信する命令は切り替える映像の ID であり、システム制御プログラムから指定された ID の映像を投影する。映像の ID と画像ファイルの対応付けは予め外部ファイルによって設定する。**Projector** クラスはプロジェクタから映像を投影するために使用する。投影する映像は、**FileReader** クラスによって外部ファイルから読み込み **Image** クラスで保持する。

**ImageProcess** クラスは、ドーム内壁へ投影するため映像の歪み補正処理やブレンディング処理を行う際に、使用する。**ImageManager** クラスは、**Projector** クラス及び **Image** クラスを保持しており、main 部が投影する背景映像を切り替えるために使用する。**Config** クラス及び **Debug** クラスはシステム制御用プログラムと同様である。

### 3.2.3. 音処理用プログラム

音処理用プログラムは、聴覚情報生成用 PC 上で実行される。本プログラムは、音像定位や移動音源を実現するための機能を提供している。

本プログラムも背景投影用プログラムと同様に待機型のプログラムであり、main 部では、**Communication** クラスを使用して受信した命令を基に動作する。受信する命令は切り替える音の ID 及び音を定位させる位置であり、システム制御プログラムから指定された音を、オーディオインタフェースを介して超音波スピーカへと出力する。出力する音は、**FileReader** クラスによって外部ファイルから読み込み **Sound** クラスで保持する。**Channel** クラスは、音像プラネタリウムに搭載された超音波スピーカのチャンネルを表し、**Sound** クラスで保持された音データを定位させる位置の情報にしたがって出力する。**SoundProcess** クラスは、移動音源の補間処理を行うために使用する。**ASIO** はオーディオデバイス用入出力 API であり、**Driver** クラス及び **Buffer** クラスは通

常の音源を超音波スピーカで放射する音へ変換とオーディオインタフェースへ音を出力する際に使用する。**Config** クラス及び **Debug** クラスはシステム制御用プログラムと同様である。

### 3.2.4. センサ情報取得用プログラム

センサ情報取得用プログラムは、位置姿勢取得用 PC 上で実行されるプログラムであり、VICON 社製 **Vicon Tracker** を利用している。HMD や体験者が身に付けるデバイスから位置姿勢を取得し、その情報をシステム制御用プログラムへ随時送信している。

## 4. 視聴覚併用 MR アプリケーションの試作

**コンセプト**：X-Dome を用いた試作アプリケーションとして、「魔法使いの弟子」を製作した。この視聴覚併用 MR アプリケーションは、体験者が様々なモノに魔法をかけると、それらが音を発しながら移動したり、動いたりするという内容で、体験者は一人、移動しない（但し、頭部の回転は可）、複数の音像と仮想物体が登場し、それらは移動する、という条件のもと設計した。また本 MR アプリケーションの実装には、3 章で述べた基幹ソフトウェアを利用した。

**概要**：体験者は HMD を被り、両手に赤外線反射材マーカ付きのリストバンドを装着する。ドーム中央には音像プラネタリウム筐体が配置されており、体験者はその少し手前に立って体験する。ドーム内壁の背景映像には丸太小屋の内観が投影され（図 8）、体験者の目前には、HMD を通して魔法をかける仮想物体（箒、はたき、時計、棚）が提示される。図 9 にドーム、筐体、体験者、反射板の配置、および提示される仮想物体の位置、移動経路を示す。なお、音場制御の簡便化のため、今回は超音波スピーカから放射される音を、ドーム内壁ではなく、ドーム内に設置した反射板を利用して定位させた。移動音源の実現方法は、参考文献 [11] に示す方法を採用している。

**インタラクション**：体験者はジェスチャ操作により仮想物体を操作することができる。まず、右手を操作対象に向け、振り下ろすことで、その仮想物体が音を発しながら動いたり移動したりし始める。また、操作対象に両手を向け、振り上げることで仮想物体の動きが



図 8 ドーム内壁に投影する丸太小屋の内観

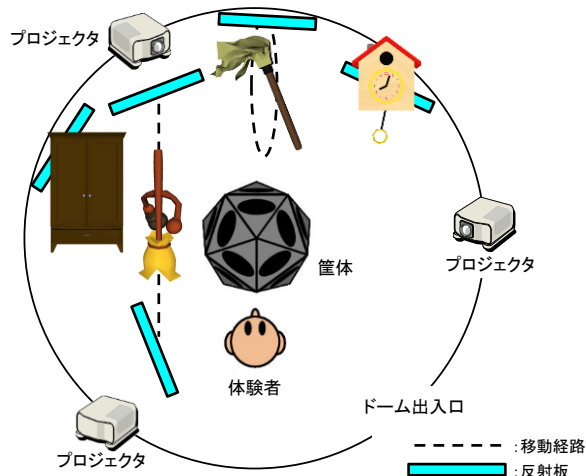


図 9 体験空間のレイアウト



図 10 「魔法使いの弟子」の体験風景

激しく、振り下ろすことで動きが緩やかになる。

**実装と結果**：3章で述べた基幹ソフトウェアを利用して、「魔法使いの弟子」を実装した。体験風景を図10に示す。まず、基幹ソフトウェアを利用して実際に視聴覚併用MRアプリケーションを構築できることを確認した。初期設定などに用いるパラメータを処理システム毎に外部ファイルから与えることができるため、アプリケーションの構成要素が一覧でき、その修正が容易であった。また、同アプリケーションを10名程度に体験させたところ、概ね好評であったが、現状の問題点として、背景映像とHMDに提示される仮想物体の光学的不整合などが挙げられた。これは、背景映像と仮想物体の提示方法が異なるため、解像度、明るさなどに差異が生じることが原因として考えられる。

## 5. むすび

X-Media Galaxyを全天周型に拡張したX-Domeを提案し、これを実現した。また、同プログラム開発の効率性を高めるために、X-Domeに必要な視覚情報生成、位置姿勢取得、背景投影処理、聴覚情報処理といった多数の処理を有機的に結び付けて制御する機構を実現する、基幹ソフトウェアの設計及び実装を行った。最後に基幹ソフトウェアを利用してMRアプリケーション「魔法使いの弟子」を試作し、運用を行った。

今後は、運用で指摘された問題点の解決に取り組むとともに、複数人体験、体験者の移動を可能にする。X-Media Galaxyのアプリケーション開発を支援するオーサリングツールの開発にも取り組む予定である。

**謝辞** 本研究の一部は、科研費・基盤研究A「視聴覚併用複合現実空間の表現力向上に関する研究」による。

## 文 献

[1] 大久保洋幸, 大谷眞道, 小野一穂, 正岡顕一郎, 池沢

龍, 小宮山撰, 浅山宏, 湯山一郎: “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”, 同上, Vol. 5, No. 3, pp. 965 - 974, 2000.

- [2] W. W. Gaver, R. B. Smith, and T. O'Sheak: “Effective sounds in complex systems: The ARKola simulation,” Proc. CHI'91, pp. 85 - 90, 1991.
- [3] P. Flanagan, K. I. McAnally, R. L. Martin, J. W. Meehan, and S. R. Oldfield: “Aurally and visually guided visual search in a virtual environment,” Hum. Factors, Vol. 40, pp. 461 - 468, 1998.
- [4] 大島登志一, 佐藤清秀, 山本裕之, 田村秀行: “AR2 ホッケー: 協調型複合現実感システムの実現”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 2, pp. 55 - 60, 1998.
- [5] C. E. Hughes, C. B. Stapleton, D. E. Hughes, and E. M. Smith: “Mixed reality in education, entertainment, and training,” IEEE Compt. Graph. & App, Vol. 25, No. 6, pp. 24 - 30, 2005.
- [6] 比嘉恭太, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “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”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 247 - 255, 2008.
- [7] 石黒祥生, 大槻麻衣, 比嘉恭太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “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.
- [8] 村井嘉彦, 深川亜美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “Rhythm of the Rain in 3D - 視聴覚3D-MR空間の表現力を体感できる複合現実型アトラクション -”, 第13回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 560 - 563, 2008.
- [9] 森勢将雅, 杉林裕太郎, 栗元総太, 西浦敬信: “音像プラネタリウム: 超音波スピーカを利用した3次元音場再生方式”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 687 - 693, 2011.
- [10] T. Yoshimochi, T. Sugiyama, T. Miyai, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: “X-Media Galaxy: An advanced mixed reality system featuring Acoustic Planetarium,” CD-ROM Proc. the 4th Korea-Japan Workshop on Mixed Reality, 2011.
- [11] 伊藤仁一, 森勢将雅, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “超音波スピーカによる移動音源の実現と視覚補助による定位性能の向上 (2) -音像の移動範囲の拡張-”, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 151 - 154, 2011.