



# ドーム型スクリーンと小型サラウンドスピーカーシステム を用いたドーム型スクリーン視聴覚 VR システムの提案

Proposal for a dome screen audiovisual VR system  
using a dome screen and a small surround speaker system

柳澤 翔士, 松井 和哉, 前川 督雄  
Shoji YANAGISAWA, Kazuya MATSUI, Tadao MAEKAWA

四日市大学 環境情報学部 (〒512-8512 三重県四日市市萱生町 1200, yanagisawa@yokkaichi-u.ac.jp)

**概要**: 本研究では、市販のドーム型スクリーン PaperDomeHD150 を利用し、ドーム型スクリーンの角度と高さを容易に変更できる独自のフレームシステムを構築した。これにどの方向を向いても左右の音に向き合うダブルヘリカルマトリックス方式のサラウンドへ改造を施した独自の小型サラウンドスピーカーシステムを組み合わせることで、ヘッドマウントディスプレイを用いずに、視聴覚 VR 体験を提供するドーム型スクリーン視聴覚 VR システムの製作を行った。

**キーワード**: ドーム型スクリーン、サラウンド、VR システム、視聴覚

## 1. はじめに

### 1.1 研究動機

VR 体験は、Pico4 や MetaQuest3 に代表されるヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD と呼称) を使用して行う事が多いが、Pico4 は 13 歳以上[1]、MetaQuest3 は 10 歳以上[2]という推奨年齢が設けられている。また、HMD を使用すると乗り物酔いのような症状になる人等も存在しており、HMD は万人が快適に体験できるものとは限らない。本研究では、HMD を使えない人でも高い没入感の VR 体験ができることを目指して、ドーム型スクリーンを活用した視聴覚 VR システムの構築を試行した。

### 1.2 アプローチ

本研究では、VR 体験での没入感に視聴覚の 2 面からアプローチした。まず視覚からのアプローチに、スープスタジオ一級建築士事務所が開発・販売しているペーパードーム[3][写真 1]というドーム型スクリーン (以下 DS と呼称) 製品を採用し、これをマウントできる独自の固定フレームを構築して、HMD を使用せずとも没入感のある視聴覚 VR 体験が可能な VR システムの構築を目指した。

聴覚からのアプローチにはサラウンドによる没入感の向上を目指して、大橋らによるダブルヘリカルマトリッ

クス方式[4]に基づき、これに改造を加えた方式を、独自の小型サラウンドスピーカーシステムを用いて構築し、前述のドーム型スクリーンを用いた VR システムに組み込むことでドーム型スクリーン視聴覚 VR システムを構築した。

## 2. DS 固定フレームシステム構築

### 2.1 DS と DS 固定フレームシステムについて

HMD を使用せずに VR 体験を提供する時、平面スクリーンでは映像による没入感の提供が難しい。本研究では、DS を使用する事で、映像に包み込まれる様な VR 体験の提供を目指した。DS には様々あるが、ELSA の Evis という製品では、重さが 70kg[5]あり運搬や設置は容易ではないが、今回採用したペーパードームは、DS でありながら、段ボールを素材としており、5kg[3]という軽量性を活かして運搬と自由な設置が容易な没入型映像装置となる事を期待して採用した[写真 1]。



写真 1: ペーパードーム

## 2.2 再現実験

まず、ペーパードーム開発者の田中による DS システム [6]における固定フレームシステムを基に、アルミサッシ材をフレーム材に用いた再現製作を行った[7]。そこから得られた課題を基に改良する事で、調整機構や装置の組み込みが可能な固定フレームシステムの実現を目指して設計・製作を行った。

再現実験として、田中による DS 固定フレームシステムを基に改造を加えて製作したものを写真群 1 に示す。製作したシステムは、DS の角度や高さは固定で、スピーカーは足元に設置した。映像投影するためのプロジェクターは、BENQ TK700 を使用し、DS 全体へ投影する為の変換レンズは Opteka 0.20X HD をレンズ三脚座に固定して、マウント金具を製作して使用した。以後の製作においても同様のプロジェクター及び変換レンズシステムを使用した。



写真群 1: 再現製作したフレームシステム [7]

完成したシステムは、DS でコンテンツ視聴可能な状態を再現できた。しかし、前述の様に、DS の角度や高さを変更できないという限界があり、DS の姿勢可変構造を実装することで、様々なコンテンツに対応しようと考えられる。また、スピーカーを自由な場所へ配置して、音に包み込まれるような音場提示ができればより高い没入感演出に繋がるのではないかと推測された。

## 2.3 新たな DS 固定フレームシステムの設計・構築

ペーパードーム開発者の田中による DS システム [6]では、パイプ状のフレーム材を使用して DS の固定を行っていた。パイプ状のフレーム材は加工性や、軽量性に優れるが、調整機構や機器の設置性において柔軟とは言えない場合がある。本研究では、四角柱型で四面にスリットを備えた SUS 社の SF フレーム [写真 2] を使用し、専用金具や独自製作の金具類を用いて DS 固定フレームシステムを構築することで田中によるパイプ状のフレーム材を使ったものよりも、様々な調整機構や機器の設置性が高い

DS 固定フレームシステムの構築を試みた。

田中による製作の再現実験から得た課題を基に、これらのフレームに対する改善点として新たなフレームシステムの設計において条件として設定したものを表 1 に示す。

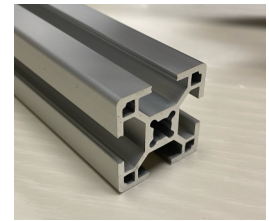


写真 2: SF フレーム

表 1: フレームシステム設計の設定条件

条件 1	ドームの設置角度や高さを変更可能
条件 2	複数のスピーカーを設置可能
条件 3	プロジェクターを柔軟に設置可能

条件 1 は、様々なコンテンツの視聴を考えた時、DS の姿勢可変構造が実装された方が没入感に繋がるのではという改善案を基に設定した。条件 2 は、サラウンドによる音からの没入感演出を行うために、複数のスピーカーを設置できるように設定した条件である。条件 3 は、条件 1 において DS 姿勢変更時に、コンテンツの視聴を妨げないよう柔軟なプロジェクターの設置が可能であることを条件 3 として設定した。

以上の条件をもとにフレームシステムの設計と構築したフレームシステムの完成像を示す。[写真群 2]



写真群 2: 新たに構築したフレームシステムの全体像

フレーム材は、DS を固定した内フレームを製作し、回転軸となる金具を独自に製作して取り付けした。これを店舗什器用の金具を用い、外フレームへ取り付ける事で角度と高さの可変構造を実現した。

SF フレームの特徴である四面のスリット構造を使う事で、様々なものを取り付けられるフレームを構築できた。

プロジェクターマウントは、市販の汎用プロジェクターマウントで可変構造をもつものを使用する事で、位置調整可能な構造を実現した。

### 3. サラウンドスピーカーシステム構築

#### 3.1 サラウンドシステムについて

現在、サラウンドとして広く知られているものは ITU-R BS775-1 の 5.1ch[8]や 7.1ch[8]をはじめ、よりスピーカーの数を増やした DolbyAtmos[9]や、NHK による 22.2[10]に代表されるイマージブサウンドがある。これらの方式は、最適な聴取位置と聴取方向が決められているが、大橋らによるダブルヘリカルマトリックス方式(以下 DHM 方式と呼称)では複数のスピーカー[図 1]を使用し、「どの 4 辺方向を向いても、左側の音と右側の音に向き合うことになる[4]」という従来のサラウンドとは異なった音場の演出に成功している。

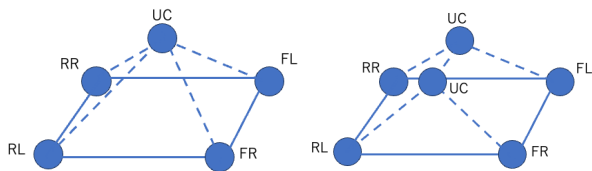


図 1:DHM 方式のスピーカー配置の例<sup>1</sup>

DHM 方式は、主にオフィス空間や商店街等の広い空間で環境音をサラウンド再生できることを想定して発明されており[12]、本研究では、これを DS システム前の小空間に援用して独自の改造を施した。

#### 3.2 サラウンドスピーカーシステムの概要

本研究では、映像視聴対象は小さな DS であり、音像定位よりもその音空間内にいるように感じさせることが優先課題となる。この課題に対して、DS 視野の上下左右に計 4 つのスピーカーを置き、リアに 2 つと、サブウーファー(以下 SW と呼称)を設置[図 2]した。これにより、DHM 方式の特徴である、「どの 4 辺方向を向いても、左側の音と右側の音に向き合うことになる[4]」という効果を小規模な空間で実現することを試みた。この方式を DHM 方式改と以降、呼称する。

#### 3.3 サラウンドスピーカーシステムの設計・製作

サラウンドスピーカーシステム設計時に設定した条件を表 2 に示す。

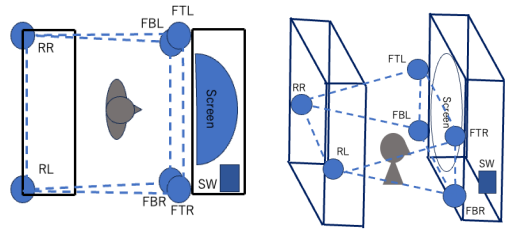


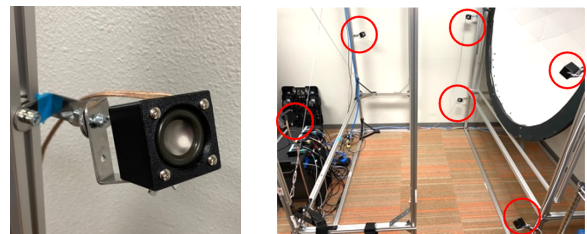
図 2:DHM 改スピーカー配置 左:上面図 右:右上俯瞰図

表 2:サラウンドスピーカーシステムの設定条件

条件 1	DHM 方式改を実現可能
条件 2	スピーカーは目立たない大きさである
条件 3	角度や高さ変更可能なマウント金具
条件 4	音量をセクションごとに調整可能
条件 5	SW を設置可能

条件 1 は、今回採用するサラウンドの方式を実現できることを条件とするために設定した。条件 2 は、機材として目立って没入感に影響しない様に設定した。条件 3 は、スピーカーの角度及び高さ調整機構が音場調整上必要なため設定した。条件 4 は、サラウンド効果の調整をするために設定した。条件 5 は、小さなスピーカーでは低音が不足するため SW で低音補完を行うために設定した。

以上の条件をもとに、設計・構築したサラウンドスピーカーシステムを示す。[写真群 3(赤丸はスピーカー)]



写真群 3:構築したサラウンドスピーカーシステム

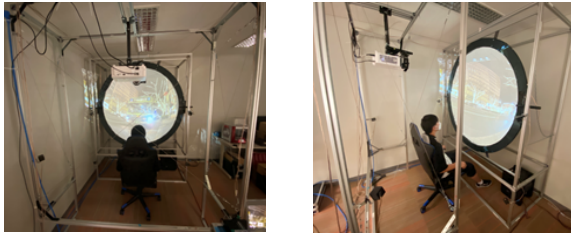
スピーカーシステムは、1 インチフルレンジユニットの Aurasound NSW1-205-8 を使用して約 40mm 立方のスピーカーボックスを自作したものへ組み込んだ。この小型スピーカーシステムに、複数の金具を組み合わせることで製作した柔軟な設置性のマウントを装着した。

### 4. ドームスクリーン視聴覚 VR システムの構築

上記のように構築した DS 固定フレームシステムとサラウンドスピーカーシステムを組み合わせることで、HMD を用いずに視聴覚 VR 体験可能な、ドーム型スクリーン視聴覚 VR シ

<sup>1</sup> 文献 11 を基に改図

システムを構築[写真群 4]した。



写真群 4: ドーム型スクリーン視聴覚 VR システム

構築したドーム型スクリーン視聴覚 VR システムの試体験を行った際の感想を表 3 に示す。

表 3: 体験者の感想

VR ゴーグルがなくても、のめり込むことができた。
近づいてくるバスの映像に驚いた。
不思議な音の空間性に驚いた。
ドームに顔を入れられるような仕組みが欲しい。
音に包み込まれる気がした。
音がシャカシャカしているのが気になった。

## 5. 考察

本研究では、ドーム型スクリーンを様々な角度や高さに設置することができ、様々な機器を容易かつ柔軟に組み込み可能なドーム型スクリーン固定フレームシステムを構築できた。

また、これにダブルヘリカルマトリックス方式改を採用したサラウンドスピーカーシステムを実装したことで、どの方向を向いても左右の音に包み込まれるという音からの没入感を実現し、ヘッドマウントディスプレイを用いずに没入感の高い、VR 体験をすることのできるドーム型スクリーン視聴覚 VR システムを構築できた。

さらに、ダブルヘリカルマトリックス方式改による小規模サラウンドサウンドシステムによって、これまでの音の定位を重視したサラウンドとは異なる方向性をもつ、音による没入感演出の可能性を見出せた。

## 6. むすび

本研究では、独自の DS 固定フレームシステムと、ダブルヘリカルマトリックス方式改のサラウンドを組み合わせる事で、万人が快適に利用できるヘッドマウントディスプレイを必要としない、ドーム型スクリーン視聴覚 VR システムの製作に成功した。一方で、体験者の感想からは、

コンテンツの視聴法や、スピーカーの音質の面で課題がみられた。これらの改善と、より応用性が高く、手軽な運搬と展開ができるフレームシステムの改良に今後取り組んでいきたい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、三重県菰野町の小崎民男様、小崎達也様、四日市大学環境情報学部 3 年の宮崎大輔さん、四日市大学 e-Sports 研究会の学生の皆様にご協力いただいた事へ、御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Pico4 ユーザーガイド, p. 92
- [2] MetaQuest 安全及び保障ガイド, p. 5
- [3] ペーパードーム Web サイト, <https://paper-dome.com/>, 2023 年 11 月閲覧
- [4] 大橋力 他: 特許第 4101220 号, 特許公報 p81, 2004 出願
- [5] ELSA Evis 製品カタログ, p. 2
- [6] ドーム de Scratch!! の投影のしくみ, <https://makedojo.com/workshop/2023/10/18/dome-projection-with-scratch/#more-3592>, 2024 年 6 月閲覧
- [7] 柳澤翔士, 松井和哉, 前川督雄: 「ドーム型スクリーンによる VR システムにおける変換レンズマウント及びプロジェクターマウントの検討」, 四日市大学論集 第 37 巻 1 号, 2024 年発行待ち
- [8] ITU: ITU-R BS775-1 Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture (1992-1994)
- [9] Dolby Atmos Speaker Setup Guides <https://www.dolby.com/ja/about/support/guide/setup-guides/>, 2024 年 6 月閲覧
- [10] 濱崎公男: 22.2 マルチチャンネル音響方式の標準化動向 <https://www.nhk.or.jp/str1/publica/rd/126/2.html>, 2024 年 6 月閲覧
- [11] 大橋力 他: 特許第 4101220 号, 特許公報 p. 108, 2004 出願
- [12] 大橋力 他: 特許第 4101220 号, 特許公報 p. 82, 2004 出願