

多様な空間にリアルスケールで映像投影可能なVR映像投影システムの開発

Development of a VR Image Projection System capable of Projecting Images at Various Spaces in Real Scale

高 島 深 志*

Fukashi Takashima

多様な空間に複数人同時体験型のリアルスケールVR（Virtual Reality）映像投影空間を設けることができるVR映像投影システムを開発することで、VR技術を活用した空間演出への応用や、3次元形状で構成される建築物の評価検証時の関係者間での合意形成と意思決定の促進に応用する。

By developing a Virtual Reality (VR) image projection system that can provide a real-scale VR image projection space with multi-person simultaneous experiences in various spaces, we aim to apply it to space rendering utilizing VR technology or the formation of consensus among stakeholders and promotion of decision-making at the time of evaluation of the building configured with three-dimensional shape.

1. VR映像投影システムの概要

近年、建築設計において3D-CAD(Computer Aided Design)やBIM (Building Information Modeling) が普及し、設計段階で開発した3次元モデルの建築データを、VR (Virtual Reality: 仮想現実) 技術を活用し、さまざまな関係者が検討し合意形成する事例が増えている。例えばマンション販売センターではVRゴーグルを活用し、購入希望者が共用部や専有部の空間を事前確認する事例が増えている。VRゴーグルのメリットは建築物を等身大のリアルスケールで確認できる一方で、デメリットは1人の体験となりやすく、建築物のイメージを来場した家族全員で共有しにくい。

リアルスケールで建築物を確認できるソリューションとして、当社東京汐留ビルに設置しているサイバードーム[1]がある。

サイバードームは18台のプロジェクターを使い、内径8.5mの球面スクリーンに3次元建築モデルをリアルスケールで映し出す機能を有しており、約30人が同時に将来の街並みや建築物を体験することができる。しかしながら、内径8.5mの大型スクリーンであるため、一般的な施設空間に収めるのは難しい。

これらの問題を解決するために、多様な空間に投影可能なVR映像投影システムを開発した。これはサイバードーム同様に3次元モデルで構築された建築物を視聴者の視点からリアルスケールで見えるようにVR映像化しながら、任意のスクリーン形状に投影可能にするものである。

この技術を活用することで、お客様の環境に合わせて複数人同時体験型のリアルスケールVR映像投影空間を設けることができる。

2. VR映像投影システムの開発内容

VR映像投影システムの開発には、「多様な空間に投影可能なシステムの構築」とともに、「コンテンツ拡張性の確保」、「VR体験の向上」を目標とした。

2.1 多様な空間に投影可能なシステムの構築

投影する空間はお客様ごとに異なり、それぞれの空間に対して適切な投影設計を行う必要があるが、この投影設計において以下のような課題があげられる。

- 投影領域の計算は複雑で工数負荷が高く、限られた期間内では少数パターンしか試行できず最適解に追い込みにくい。
- 投影面が湾曲していると、投影領域は複雑に変形し、投影領域やプロジェクター間の投影領域の重なり領域の算出は困難となり設計精度は低下する。
- 数値計算だけでなく実際にどのように投影されるかのイメージをつかむ必要がある。

これらの課題を解決するため、投影領域計算を自動化し、可視化する投影シミュレータを開発した。

〔1〕 投影シミュレータの開発

開発した投影シミュレータは、投影面を模擬した3次元のスクリーン形状と、プロジェクターの台数と設置位置、レンズ仕様を入力するだけで、スクリーンへの投影状態を人の影を含めて自動計算し可視化する。これにより投影する空間に最適なスクリーン形状やプロジェクター台数、レンズの仕様をシミュレータ上で容易に変更し決定できるため、設計作業の迅速化が図れる。

第1図に投影シミュレータ上で、2.3節で述べるVRドームの投影設計の様子を示す。ドーム型のスクリーン形状に左右2台のプロジェクターから投影した場合のシミュレーション結果である。

* ライフソリューションズ社 ライティング事業部
Lighting Business Div., Life Solutions Company



第1図 投影シミュレータ
Fig. 1 Projection simulator

〔2〕リアルタイムシミュレーション

投影設計を行ううえで重要なのはリアルタイム性（応答性）である。最適な投影をするためシミュレータ上で頻繁にレンズ変更やプロジェクターの設置位置を変更するが、シミュレーションを迅速化することで、効率的に設計を進めることができる。シミュレーションに必要な各プロジェクターの投影領域の算出、プロジェクター間の重なりによるエッジブレンディング処理といった計算は全てGPU（Graphics Processing Unit）プログラミング（並列演算処理）により高速化した。パラメータ変更による投影領域の再計算は20ms以下で行うため、スクリーンやプロジェクター台数を変更した場合の影響をリアルタイムで確認でき、投影設計を迅速化することができる。

2.2 コンテンツ拡張性の確保

多様なコンテンツに対応し、コンテンツを入力するだけでリアルスケールの映像生成とプロジェクターへの映像出力ができる。

〔1〕多様なコンテンツに対応

多様な3D-CADデータフォーマットを読み込み可能にすることでほとんどの3D-CADとのデータ交換に対応し、静止画、動画は全天球映像（エクレクタングラ形式）に対応する。したがって、3D-CADや全天球カメラで作成されたコンテンツを迅速に投影できる。

〔2〕BIM直結

BIMツール（建物の3次元形状モデル作成や、建物の構成要素管理などに用いる）と直結する機構を開発したことで、BIMツール上に配置したボタンを押すだけで、BIM上で開発した3次元形状モデルをダイレクトに投影する。

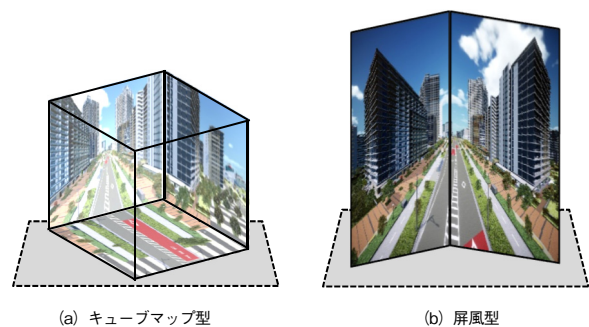
2.3 VR体験の向上

コンテンツを高速描画する技術を開発し、映像投影を円滑に行うことでVR体験の向上を実現した。特に3章で述べるドーム型ではこの技術の適用により全天球映像の生成はフレームレートが1.7倍高速化され、4K解像度で140 fps（frames/s）を達成した。ドーム型は没入感が高く描画性能が低いと、視聴者はVR酔いと呼ばれる乗り物酔いに似た感

覚を覚え不快となるが、高速描画によりこれを低減できる。

〔1〕全天球映像生成の高速化

リアルスケールの映像を生成するには、特定視点からの全方位の映像が必要である。これを環境マッピングという。描画フレームごとに環境マッピングの生成が必要だが、第2図（a）が示す一般的な「キューブマップ」[2]形式を用いると1つの環境マッピングの生成に6回の映像処理が必要になる。しかしながらドーム型では視聴者から前方向の映像領域だけが必要であるため、第2図（b）のように屏風（びょうぶ）型に環境マッピングすることで前方向のみの描画とすることができ、2回の映像処理に抑えることができる。



第2図 環境マッピングの最適化

Fig. 2 Optimization of environment mapping

第3図（a）はキューブマップ型と屏風型の1フレーム当たりのグラフィックカードへの描画命令数を比較しており、屏風型（当社）は描画命令回数が削減され、描画時間の短縮を可能にした。

(a) 環境マッピングの最適化		(b) Shadow mapのキャッシュ化	
キューブマップ型	12700	キャッシュ適用前	7193
	↓	キャッシュ適用後	4965
屏風型（当社）	8456	（当社）	

数値は描画命令数 [回]

第3図 描画命令数の比較

Fig. 3 Comparison of draw calls

〔2〕影計算の高速化

VR映像で太陽や照明器具からの光の影をシミュレートする場合、「シャドウマップ」[3]と呼ぶ技法を用いる。一般的にはフレームを描写するたびに太陽や照明器具ごとのシャドウマップの更新処理が必要だが、太陽などの光源の位置、建物を変更したタイミングでのみ更新し、シャドウマップをキャッシュ化して再利用するようにした。第3図（b）はシャドウマップのキャッシュ適用前後の描画命令数を比較しており、キャッシュ適用後（当社）は描画命令

回数が削減され、描画時間の短縮を可能にした。

参考文献

- [1] 柴野伸之 他, “マルチプロジェクタを用いたスケーラブル大型ドームディスプレイCyberDomeの開発,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 9, no. 3, pp.327-336, 2004.
- [2] Ned Greene, “Environment Mapping and Other Applications of World Projections,” IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 6, no. 11, pp. 21-29, 1986.
- [3] L. Williams, “Casting curved shadows on curved surfaces,” Proc. SIGGRAPH '78, pp. 270-274, 1978.

3. 納入事例紹介

東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会の選手村として活用後、新築住宅として販売されるマンションの販売センター（HARUMI FLAG パピリオン）に納入した。

ここでは2つの空間演出を展開しており、1つ目は第4図(a)に示す眺望体感型である。これは現実のモデルルームと、窓の外の壁面に朝から夜まで刻々と変わる眺望映像を投影し、現実と仮想を組み合わせることで高い臨場感を実現する。

2つ目は第4図(b)に示すVRドーム型である。このスクリーン形状は円柱を切断した形状であり、湾曲し奥行きがある。また、天井面や底面と正面の接合部は湾曲しており、接合部においても映像が滑らかに表示される。このスクリーン形状により、水平視野角と垂直視野角がともに最大180°と高い没入感を有し、街並みや共用スペースなどを、実物大となる1/1サイズのスケール感で多人数同時に体験できる。



(a) 眺望体感型

(b) VRドーム型

第4図 空間演出の事例

Fig. 4 Case of spatial presentation

4. 動向と展望

本稿で紹介した技術は、多人数同時体験型のVR映像投影空間をお客様の環境に合わせて簡単に設けることを可能にした。また、特にBIMを中心としたデータから投影までのワンストップソリューションとしてまとめたことで、運用面での効率化を図ることができた。これにより、建築空間だけでなくアミューズメント施設への応用など、さまざまな用途にVR技術を活用した空間演出を展開することが容易となる。今後はさまざまな解析ソフトや機器、センサなどと連携させることで、建築物の性能評価など、より多くの空間の検証や新たな価値を創造できる場として用途を広げていくことで、空間の性能を向上し人々のよりよい暮らしが実現できると考えている。