



# ドアを介して空間の接続を行う プロジェクションマッピングの検討

A Study on Projection Mapping to Connect Spaces through the Door

稲田優輝, 橋本直己

Yuki INADA and Naoki HASHIMOTO

電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, inada@hashimoto.lab.ucc.ac.jp, hashimoto@ucc.ac.jp)

**概要:** 遠隔コミュニケーション技術の発展により, 遠隔地間での対話が可能になった. 臨場感の向上を目指し, 遠隔地を空間ごと表示するシステムも開発されている. 一方で, 空間の接続前後の映像切り替えがユーザに提示されると, 臨場感に悪影響を及ぼしてしまう. 本研究では, ドアを介して遠隔地間を接続する表現を行うプロジェクションマッピングを提案し, ドアの開閉による自然な映像切り替えで臨場感の向上, 及び娯楽性の向上を目指す.

**キーワード:** テレプレゼンス, マルチプロジェクション, 広域投影

## 1. はじめに

近年, 遠隔コミュニケーションに関連する技術が発展し, 広く利用されるようになってきた. 遠隔コミュニケーション技術を利用すれば, 対面でのコミュニケーションに対し, 遠隔地にいる人を招集するために掛かる時間的・金銭的コストや労力を抑えられるほか, 多人数を一箇所に集めるのが物理的に不可能な場合にも対応することが可能となる. これらの利点から, 遠隔コミュニケーションはますます重要視され, 対面でのコミュニケーションと遜色ないコミュニケーションを目指した研究が行われている.

しかし, 既存の遠隔コミュニケーションでは, 映像の提示方法や空間の接続方法について着目したものが多く, 接続に至るまでのプロセス, 即ちシステムの実際の利用における接続の手順に着目したものは少ない. 一方, 空間の接続前後の映像切り替えをユーザに提示してしまうと, 投影されている映像への没入感に悪影響をおよぼす可能性がある. そのため, 映像として提示されている仮想空間への完全な没入には, 仮想空間と現実空間との物理的な境界だけでなく, 映像の切り替えといった時間的な遷移もまた, シームレスに行う必要があると考えられる.

そこで本研究では, 裸眼で映像中に没入可能な, 室内での広域映像投影技術である分散型マルチプロジェクション環境を利用し, ドアを介して空間と空間を繋ぎ合わせるような映像表現を提案する. これより, ドアの開閉による自然な映像切り替えによる没入感の向上, 及び娯楽性の向上を目指す. 本稿では, システムを試作し, その動作確認を行った結果を報告する.

## 2. 関連研究

漫画「ドラえもん」に登場する「どこでもドア」[1] のような, 遠隔地間にある空間をドアのようなインタフェースで接続することを提案した研究がなされてきた.

Kevin ら[2] は, HMD (Head-Mounted Display) により提示する遠隔地空間へのさらなる没入を目指し, 物理的なドアの開閉により, 現実空間から代替現実への移行をシームレスに行う”Dokodemo Door”を開発した. HMD で提示する遠隔地空間をパノラマカメラで事前に撮影し, 撮影されたパノラマ画像と, 現実のドアと開閉角度が同期している仮想のドアを組み合わせることで, ドア以外の周囲の環境を代替している. しかし, ドアを開けると周囲の環境全体が変化してしまい, 二つの空間が空間的に接続されているような表現は実現できていない.

濱上ら[3] は, HoloLens を使用し, ドアをメタファとしたポータルを AR 上で提示するドアコム AR を開発し, 遠隔地空間と現実空間が, ポータルを通じて接続されているような表現を行った. ここで, 空間を繋いでいる枠は侵入可能であり, HoloLens を装着しているユーザは, 遠隔地空間にいる対話相手が枠をくぐって現実空間に侵入してくる様子を観察可能になる. しかし, 空間を接続している枠は実体ではなく, 実際に手で開閉することはできない.

これらの研究はいずれも HMD をはじめとした映像提示デバイスの装着が必要であり, ユーザにとって負担となってしまう. これに対し, HMD の装着を必要とせず, ドアの開閉が可能であり, ドアを介して空間が接続されているような映像表現を行うシステムを提案する.

### 3. 提案手法

本研究では、プロジェクタ投影領域内に周囲壁面から独立して設置された実物体ドアに対して、ドア枠内を通して見える領域にのみプロジェクションマッピングによる映像を提示し、ドアの向こう側を覗き込んだ場合には周囲全体に映像を提示することで、仮想空間と現実空間がドアを介して接続され、ドアの向こう側に現実とは異なる空間が広がっているかのようなプロジェクションマッピングを提案する(図1)。ここで、プロジェクタとGPU搭載マイコン(NVIDIA製 Jetson Nano)の対をひとつのユニットとする分散描画型マルチプロジェクション環境[4]を利用し、ドアの周囲を取り囲む壁への投影を行うことで、HMDの不要な没入環境を作成する。これにより、HMDの装着なしに、ドアの向こう側に仮想空間があるかのような映像提示を実現するとともに、ドアの開閉に応じて空間の接続を切り替えることで、自然な空間の接続切り替えを可能にし、没入感の向上と娯楽性の向上を実現する。



図1: コンセプト図

(独立して設置したドアの向こうに別空間が繋がる)

#### 3.1 ドア枠内に限定したプロジェクションマッピング

本稿で提案するシステムでは、ドアを介して空間の接続を行う。そのためユーザには、ドア枠内にもみ、別空間の映像が提示されているように見せる必要がある。一方、ドアの位置とプロジェクタ投影がされるスクリーンの位置との間に距離があるため、ユーザから見てドア枠内にもみ映像が投影されているように見せるには、ユーザの視点位置に合わせて投影範囲を動的に変える必要がある(図2)。

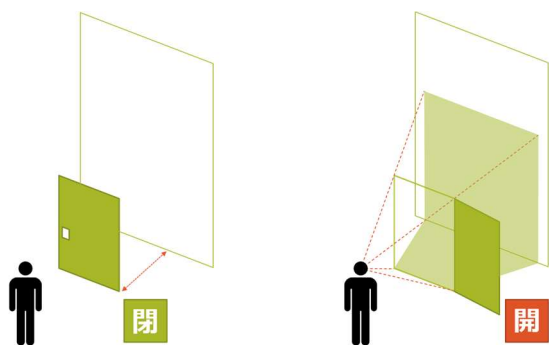


図2: ドア枠内にもみ映像を投影

そこで本研究では、視点映像生成レンダリングの内部において、ドア枠内にもみ映像が提示されるような処理を入れることで、これを実現する。まず、トラッカ(VIVE Tracker3.0)を使用し、投影を行うスクリーン位置・角度とドアの位置・角度を取得する。ここで、スクリーン形状は既知であるとする。これより、仮想空間上に仮想スクリーンと仮想ドアを置くことができる。これに加え、ユーザの視点位置を随時取得することで、ユーザ視点から見たときのドア枠内外の境界を、仮想スクリーン表面に投射することができる。この、仮想スクリーンに投射されたドア枠内外の境界の、境界内部にあたる映像のみを仮想スクリーンに投影テクスチャマッピングすることで、現実にもみする映像を取得する。これより、視点位置から見て、ドア枠内にもみ映像が提示されるようなプロジェクションマッピングを実現する。

#### 3.2 ドア的设计

視点位置に対してドア枠内にもみ映像を提示する手法を述べたが、ここで考慮しているのは単眼視点であり、両眼について考慮はしていない。そのため、右目に対して適切な映像を提示できたとしても、左目で見るときに、映像がドア枠外部にはみ出る、もしくはドア枠内部で映像と枠の間に隙間があるように見えてしまう可能性がある。

そこで本研究では、視点位置から見たドア枠の見かけの太さを一定以上の大きさにすることで、これらの映像のはみ出しや隙間を、ドア枠により隠れる領域で吸収する方法を検討する。ドア枠周辺の映像はみ出しや隙間は、両眼位置の違いと、ドア枠の見かけの太さ、ドアとスクリーンとの距離に起因する。例えば、図3では、両眼各位置からドア枠内外の境界に対し直線を引いたときに、両直線が交差する。このとき、両直線とスクリーンとの交点の間の領域、図3における青色の領域は、「右目にとってドア枠外」かつ「左目にとってドア枠内」の領域となる。すなわち、この領域に映像を提示すると右目にとって映像がはみ出しているように見え、映像を提示しなければ、左目にとって

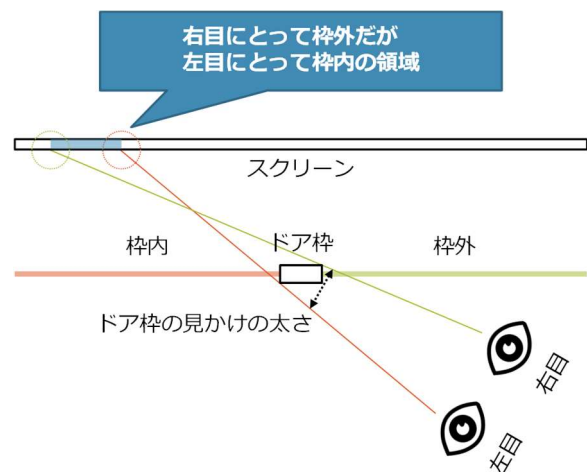


図3: 両眼の位置と枠の見かけの太さの関係

隙間になっているように見えてしまう。これより、こういった領域を発生させない方法を検討する必要があることが分かる。

これを解決するには、両眼各位置からドア枠内外の境界に対して引いた二直線が、交差しなければよいと考えられる。そこで、ドアを壁に近づける方法と、ドア枠の見かけの太さを両眼距離以上にする方法の二つの解決方法が考えられるが、ドアを壁に近づけてしまうと、ドア枠による影ができてしまい投影が困難になるほか、ドアをくぐり抜けた先の空間を確保できなくなってしまう。これより、ドア枠の見かけの太さを両眼間の距離以上にすることでこれを回避する。

#### 4. 試作システムの実装と投影結果

本稿では、プロジェクタ 4 台を使用し、正面スクリーンと床面の計二面にマルチプロジェクションを行う試作システムを実装した。試作システムでは、床に設置したプロジェクタ 2 台とアルミフレーム上に設置したプロジェクタ 2 台の計 4 台（acer DWX1842, 解像度 1280x800）と、それぞれのプロジェクタに接続される Jetson Nano 計 4 台、VIVE トラッキングシステム（VIVE Basestation1.0, VIVE Tracker3.0）を使用した。動作確認を行った投影環境は、横幅 1.2m, 高さ 1.7m の正面スクリーンと、横幅 1.2m, 奥行き 1.0m の床面の白色投影面 2 面（正面スチレンボード、床面クッションマット）から構成される。図 4 に、実際の投影環境と各プロジェクタの投影領域を示す。動作確認のために投影を行った結果を図 5 に示す。

結果から、ドア枠内のみプロジェクションマッピングによる映像提示がされていることが確認できた。さらに、視点位置に対して投影範囲が動的に変化することを確認するため、トラックを自由に動かしながら投影範囲を確認したところ、トラック位置に合わせて、投影範囲がドア枠内のみになるよう動的に変化していることが確認できた。

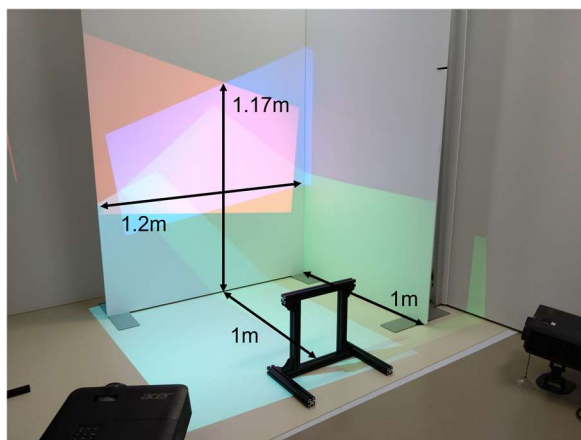


図 4: 投影環境



図 5: ドア枠内に映像が投影される様子（視点位置変化に応じ投影範囲や映像が動的に変わっている）

#### 5. まとめ

本研究では、ドア枠内のみプロジェクションマッピングによる映像提示をすることで、仮想空間と現実空間がドアを介して接続され、ドアの向こう側に現実とは異なる空間が広がっているかのような映像提示手法を提案した。

今後は、ドアの開閉機能の追加、くぐることができるサイズのドアの作成、投影コンテンツの充実といった課題を解決した上で、人を対象にした主観評価実験を実施し、本提案の有効性を検証したい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21K19789 の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] 藤子・F・不二夫, ドラえもん, 小学館.
- [2] Fan Kevin, 杉浦裕太, 神山洋一, 南澤孝太, 稲見昌彦, Dokodemo Door: a Doorway to Alternate Realities, エンタテインメントコンピューティング 2014, 2014.
- [3] 濱上宏樹, 吉野孝, ドアコム AR: ポータルを用いた空間接続表現手法による対話相手の存在感の強化, IPSJ Interaction 2018, 2018.
- [4] 稲田優輝, 橋本直己, 部屋と部屋を繋ぎ合わせるプロジェクションマッピングの検討, ITEME2023, 2023.