

# 点群ストリームを表示する複合現実感システムの開発と 建築・都市分野での可能性 - テレプレゼンスの向上を目指して -

○福田 知弘\*1 ZHU Yuehan\*2

キーワード：遠隔会議 複合現実感 (MR) テレプレゼンス 点群ストリーム リアルタイム

## 1. 研究の背景と目的

近年では、インターネットを介した、電子メール等による遠隔非同期型（異なる場所・異なる時間）でのコミュニケーションに加えて、ブロードバンド環境やクラウドコンピューティング技術の発展に伴うテレビ会議システム等による遠隔同期型（異なる場所・同じ時間）での遠隔会議やコミュニケーションが散見されるようになった。しかし、会議の参加者やコミュニケーション主体が遠隔地にいて、時間、コスト、CO<sub>2</sub>排出量を犠牲にしたとしても、直接会って行う同室同期型（同じ場所・同じ時間）の会議は、実施されている。現状の遠隔同期型コミュニケーションは、同室同期型コミュニケーションにまだ敵わないことが理由のひとつであろう。テレビ会議システムを使用した遠隔会議では、画面を通して会議をしているという感覚がどうしても残り、同室同期型の会議と比べて違和感が残る。この課題を解決する概念および技術として、テレプレゼンスが挙げられる<sup>1)</sup>。これは、遠隔地のメンバーとその場で対面しているかのような臨場感を提供する技術を指す。

遠隔会議で建築・都市を検討する場合には、関係者の姿や音声の共有に加えて、建築物や都市や家具など検討対象の3次元仮想モデルの共有を必要とする場合がある。そのため、3次元仮想モデルをインターネット経由でリアルタイムに共有するシステム開発と実験が進められてきた。テレビ会議やチャット機能を併用して、3次元仮想空間をリアルタイムに共有しながら関係者同士のビデオ通話やチャットにより遠隔会議を行う報告<sup>2)</sup>、さらに、議論の内容に応じて、3次元仮想空間に描いたスケッチをリアルタイム共有できるシステムの報告がなされている<sup>3)</sup>。

ここで、共有する3次元仮想モデルは、3次元CAD (Computer-aided Design) /BIM (Building Information Modeling) ソフトウェアで作成されたものだけでなく、実在する空間やオブジェクトを点群化、メッシュ化した研究も報告されている<sup>4)</sup>。一方で、上述した既往研究は、3次元仮想世界の全てを3次元仮想モデルで定義する人工現実感 (VR: Virtual Reality) で実現している。建築・都市分野におけるVRの課題として、検討対象の周辺環境オブジェクト等の作成に伴う工数増の課題がある。また、VRは、3次元仮想オブジェクトにより現実世界のように作成する

ことが可能であるが、現実世界とは切り離された仮想世界で全て構成されており、現実世界と何らかのつながりを維持したい場合には適していない<sup>5)</sup>。

複合現実感 (MR: Mixed Reality) は、現実世界に仮想オブジェクトをシームレスに重畳することにより視覚機能を拡張する拡張現実 (AR: Augmented Reality) と、仮想世界に実写画像から生成した視覚情報を埋め込むことにより臨場感を高める拡張仮想 (AV: Augmented Virtuality) を合わせた概念である<sup>6)</sup>。MRは、VRの課題であった、周辺環境オブジェクトを作成する代わりに、現実世界 (の映像) を周辺環境として利用することが可能になる。現実世界とのつながりを維持できることは言うまでもない。

3次元仮想モデルの作成手法として、本研究は、実在する空間やオブジェクトから生成される点群を利用することを検討する。点群は、一般に、3次元座標と各座標のRGB値が定義されている。このデータを用いることで、実在する空間やオブジェクトを現状のまま (as-is) で3次元モデル化することが可能である。生成された点群を用いて、現状の保存や観察、新たなリノベーション設計への応用が可能となる。生成した点群からメッシュ化すればCAD/BIM等で設計モデルとしての再利用性は高まるため、対象に応じたポリゴン最適化の研究が進められている<sup>7)</sup>。点群の作成方法として、レーザースキャナーによる方法<sup>8)</sup>、SfM (Structure from Motion) による方法がある<sup>9)</sup>。後者は、身近なデジタルカメラや安価なソフトウェアで3次元点群を生成することが可能であり、建築・都市分野で普及が進む<sup>10)</sup>。しかしながら、写真の撮影と、撮影写真群を用いた3次元点群化処理に一定の時間を要してしまう。

一方、RGBカメラとデプスセンサ (以下、RGB-Dカメラ) を用いた手法は、3次元点群をリアルタイムに取得することができる (以下、点群ストリーム)。既往研究<sup>11)</sup>は、RGB-Dカメラを用いて取得した等身大の3次元参加者アバタを点群ストリームとしたMRシステムを構築し、2つのグループによる遠隔会議を試行している。また、既往研究<sup>12)</sup>は、人物や家具などを対象とした点群ストリームを生成して遠隔共有するシステムが提案されている。いずれも、テレプレゼンスを実現するためのMRシステムとして

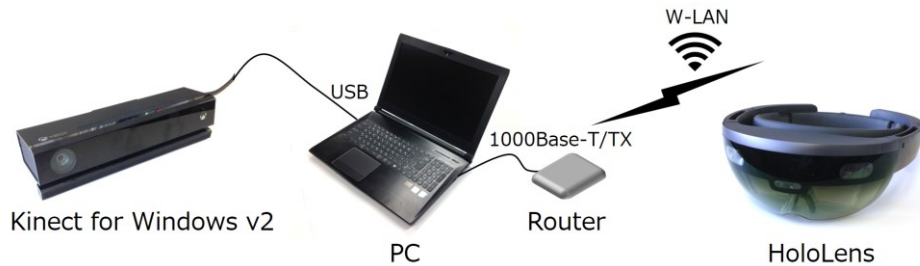


図 1. PcsMR システム構成図

本研究の参考になる。建築・都市分野における応用可能性の収集が待たれる。

そこで本研究は、点群ストリームを表示する MR システムの建築・都市分野における応用可能性を探ることを目的とした。方法として、まず、点群ストリームを表示する簡易な MR システムを開発した。次に、MR コンテンツの利用と観察を通じて、応用可能性を考察した。

## 2. PcsMR: 点群ストリームを表示可能な MR システム

開発するシステムは、簡易・安価なシステム構成により点群ストリームを表示可能な MR システム (PcsMR: Point Cloud Stream on Mixed Reality) を目指す (図 1)。

点群ストリームは、Kinect for Windows v2 (Microsoft 社。以下、Kinect) によりリアルタイムに取得され、光学シースルーにより MR を実現する HoloLens (Microsoft 社) に転送する手法とした。Kinect は、装備された RGB-D カメラを用いて、本体から 0.5~8.0m (人物スケルトンの検出は 0.5~4.5m) の距離範囲内、水平 70°、垂直 60°の角度範囲内で、点群ストリームを生成可能である。以下、2.1 節に使用した装置を、2.2-2.4 にシステムフローを示す。

### 2.1. 装置

システムを構成する装置を以下に示す。

- PC (Windows10)
- HoloLens
- Kinect
- ルータ (PC と HoloLens の WiFi 通信に必要。IEEE802.11ac 最大 867Mbps; IEEE802.11n 最大 300Mbps)

### 2.2. 点群ストリームの生成

Kinect の RGB-D カメラを用いて、現実世界の対象をスキャニングし (30fps: frames per second)、点群ストリームを生成する。生成された点群ストリームは、接続された PC に随時転送される。

### 2.3. 点群ストリームの転送

構築した MR システムは、PC を転送ステーションとして使用する。Kinect から PC へ点群ストリームを取得するために、Kinect for Windows SDK 2.0 (以下、Kinect SDK) の関数を使用した (表 1)。

表 1. PcsMR で使用した Kinect SDK の関数

関数	機能
GetDefaultKinectSensor(IKinectSensor)	現在の Kinect デバイスの取得
IKinectSensor::open() Kinect	デバイスの操作
IKinectSensor::get_CoordinateMapper	座標コンバータの取得
IKinectSensor::get_*FrameSource	フレーム毎の 3 次元点群データの取得
I*FrameSource::OpenReader(I*FrameReader *)	現在の Kinect デバイスの取得
I*FrameReader::AcquireLatestFrame(I*Frame *)	メインループ内で新たなデータフレームのリクエスト

\*: ワイルドカード文字。Depth, Color, BodyIndex などを目指す。

PC に転送された点群ストリームは、TCP/IP プロトコルを用いて、HoloLens に転送される。TCP/IP プロトコルは、データ・ストリームを提供する信頼性の高いプロトコルであり、サーバとクライアントの IP 番号とポート番号を必要とする。

### 2.4. レンダリング

HoloLens に転送された点群ストリームをそのまま表示すると、表示対象である点群ストリームの周囲に不要な点群 (ノイズ) が表示されてしまう。これらの不要なノイズを削除するために、既往研究<sup>13)</sup>に基づくフィルターを実装した。このアルゴリズムは、点群中の各々の点 (注目点とする) に対して、 $n$  個の近傍点を発見する。もし、注目点から近傍点までの距離が閾値  $t$  よりも大きければ、その近傍点は外側の点 (ノイズ) とみなす。 $n$  と  $t$  の値は、シーンに応じてマニュアル設定する。この計算により、システムはノイズを軽減した状態で表示され、そして、よりスムーズにレンダリングすることができる。

## 3. プロトタイプシステムを用いた実験

PcsMR に目的に応じたモデルを入力して、プロトタイプシステムを作成して動作させた。共通の状況を示す。

- Kinect, HoloLens は、それぞれ 1 台ずつ用いた。音声機能 (マイク, スピーカ) は技術上可能であるが実装していない。
- 使用したルータの WiFi 規格は、IEEE802.11n であった。ルータ-HoloLens 間の点群ストリームの通信量は、約 4MB/sec であった。

### 3.1 人物と模型の点群ストリームによる MR

参加者 A と模型を点群ストリームとして生成し、離れた

場所にいる参加者 B の HoloLens に転送するプロトタイプ (PcsMR-1) を構築した。使用したデスクトップ PC は、CPU Intel i5-7500, RAM 16G である。PC とルータを結ぶ通信ケーブルは、1000Base-TX を使用した。

このプロトタイプは、模型等の 3 次元資料を参加者 A が操作しながら検討している様子を、離れた場所にいる参加者 B が HoloLens を着用して観察する行為を想定したものである。模型は机の上に置かれているため、参加者 B の近傍にも机を配置して、この机の上に模型が置かれているように位置合わせした。参加者 B は、室内を自由に動き回り、参加者 A と模型の様子を、3 次元で確認することができる (図 2)。点群ストリームを配置する位置とスケールの調節は、PC 上にインストールされたゲームエンジン Unity 上で実施した。Kinect が取得した RGB-D 画像と HoloLens の画面キャプチャを図 3 に示す。

### 3.2 人物の点群ストリームと BIM による MR

着座した人物を点群ストリームとして生成し、別途 BIM で作成した筆者らの研究室 (大阪大学 吹田キャンパス M3-411 室。約 150 m<sup>2</sup>) の 3 次元モデルに合成して、離れた場所にいる参加者 B の HoloLens に転送するプロトタイプ (PcsMR-2) を構築した。使用したノート PC は、CPU

Intel Core i7-7700HQ, RAM 8G, GPU NVIDIA GeForce GTX1060 6GB である。PC とルータを結ぶ通信ケーブルは、1000Base-T を使用した。

このプロトタイプは、大学受験を目指す中学生・高校生を対象とした学内イベント (2017 年 6 月実施) に適用した。イベントは大阪大学豊中キャンパスで開催されており、研究室が位置する吹田キャンパスとは異なるため、研究室の訪問経験のない参加者が、研究室の様子を 3 次元バーチャル体験できることを目指したものである。

イベントでは、参加者 A は Kinect の前に着座する。動作してもよい。参加者 A の姿勢・動作は点群ストリームとして、研究室仮想モデルの椅子に着席しているように合成される。参加者 B は、HoloLens を着用して、会場内を自由に動き回り、参加者 A が着座して研究する (適宜、頭や手を動かす、振るなどの動作をする) 様子が 3 次元表現された研究室を MR 体験できる (図 4)。BIM モデルと点群ストリームとの位置とスケールの調節は、PC 上にインストールされたゲームエンジン Unity 上で実施した。HoloLens の画面キャプチャを図 5 に示す。



図 2. PcsMR-1: 体験状況 (参加者 B は別スペース)



図 3. PcsMR-1: 画面キャプチャ (上: Kinect が取得した RGB-D 画像 [反転状態]; 下: HoloLens 画面)



図 4. PcsMR-2: 体験状況



図 5. PcsMR-2: HoloLens 画面



参加者が体験する様子を観察すると、参加者 A は、参加者 B の体験状況に応じて、適宜、手を振るなどの動作を行っていた。参加者 B は未経験の研究室に顔見知りの参加者 A が動きを伴って居ることで、研究室のスケール感を理解すること、そして、参加者 A とのコミュニケーションを通じて、より臨場感を感じることができたと推察される。

本プロトタイプを基に想起できるシーンとして、BIM 等 3 次元モデルで作成された過去・現在・未来の建物・都市や、参加者 B が居る建物・都市で、離れた場所にいる参加者 A の動作・体験の様子を参加者 B が任意の角度から実寸で観察できることが考えられる。

### 3.3 発見した課題

上述した通り、取得した点群ストリームを MR 空間に表示させることができた。一方、実験を通して発見した課題を以下に述べる。

まず、WAN 環境への対応が挙げられる。2 つの実験は LAN 環境で実施した。例えば、PcsMR-2 の当初計画では、WAN 環境で構築し、研究室モデルは BIM だけではなく、点群ストリームで作成することを検討していた。Kinect の取得範囲は本体から 0.5~8.0m (人物動作は 0.5~4.5m) であり、1 台の Kinect では研究室全体の点群ストリームを生成することはできないが、学生の行動や机上に置かれた文房具など BIM モデルでは表現が難しい臨場感・生活感を加えた実在研究室の様子が点群ストリームにより表現できると考えたからである。しかし、WAN 環境では点群ストリームの転送に大きな遅延が生じてしまったため、研究室モデルは BIM のみで構築した。

次に、生成点群ストリームの粒度の向上 (現状:512×424)、生成範囲の拡大 (現状:Kinect から 0.5~8.0m 以内、水平 70°、垂直 60°以内) が挙げられる。また、PC1 台につき使用可能な Kinect は 1 台であるため、多方向からの点群ストリームを取得する場合には、複数の Kinect と PC を同期させる必要がある。

## 4. 結論と今後の課題

本研究の成果を以下に述べる。

- ・点群ストリームを表示する簡易な MR 「PcsMR」を開発した。Kinect, PC, ルータ, HoloLens で構成され、点群ストリームのノイズ除去機能を実装済みである。
- ・PcsMR を用いて 2 つのプロトタイプを構築した。建築・都市分野への応用可能性として、遠隔にいる参加者同士の動作を含む 3 次元リアルタイム共有を伴う検討会議やコミュニケーションが挙げられる。

今後の課題として、PcsMR の WAN/インターネット環境への適用、点群ストリームの取得粒度・範囲の向上が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、(公財) 能村膜構造技術振興財団の助成を受けたものである。謹んで感謝の意を表する。

### 【参考文献】

- 1) Buxton, W. (1992). Telepresence: integrating shared task and person spaces. *Proceedings of Graphics Interface'92*, 123-129.
- 2) Shen, Z. and Kawakami, M. (2010). An online visualization tool for Internet-based local townscape design, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(2), 104-116.
- 3) Sun, L., Fukuda, T. and Resch, B. (2014). A synchronous distributed cloud-based virtual reality meeting system for architectural and urban design, *Frontiers of Architectural Research*, 3(4), 348-357.
- 4) Marchand, E. B., Han, X. and Dorta, T. (2017). Immersive retrospection by video-photogrammetry, *Proceedings of the 35th eCAADe Conference, Volume 2*, 729-738.
- 5) Fukuda, T., Zhang, T. and Yabuki, N. (2012). Availability of Mobile Augmented Reality System for Urban Landscape Simulation, 9th International Conference, CDVE 2012, 231-238.
- 6) Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. and Kishino, F. (1994). Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum, *Proc. SPIE*, Vol.2351, 282-292.
- 7) 日高菜緒, 道川隆士, 矢吹信喜, 福田知弘, Ali MOTAMED I (2017). スケルトンと断面を利用したモノレールのレール部点群のポリゴンモデル化手法の開発, *土木学会論文集 F3 (土木情報学)*, 72(2), I\_156-I\_166.
- 8) Datta, S. and Beynon, D. (2005). A Computational Approach to the Reconstruction of Surface Geometry from Early Temple Superstructures, *International Journal of Architectural Computing*, 3(4), 471-486.
- 9) Agarwal, S., Snavely, N., Simon, I., Seitz, S.M. and Szeliski, R. (2009). Building Rome in a Day, *IEEE 12th International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 72-79.
- 10) Nagakura, T., Tsai, D. and Choi, J. (2015). Capturing history bit by bit - Architectural database of Photogrammetric Model and Panoramic Video, *Proceedings of the 33rd eCAADe Conference - Volume 1*, 685-694.
- 11) Beck, S., Kunert, A., Kulik, A., and Froehlich, B. (2013). Immersive group-to-group telepresence, *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions*, 19(4), 616-625.
- 12) Orts-Escolano, S., et al. (2016). Holoportation: Virtual 3D Teleportation in Real-time, *Proc. of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, 741-754.
- 13) Kowalski, M., Naruniec, J. and Daniluk, M. (2015). LiveScan3D: A Fast and Inexpensive 3D Data Acquisition System for Multiple Kinect v2 Sensors, *In 3D Vision, 2015 International Conference on*, Lyon, France.

- 
- \*1 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 准教授 博士(工学)
  - \*2 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程