

# MR 空間を用いたサイバーフィジカルシステム

—空間接続表現の提案—

## Cyber physical system using MR space

-Proposal of spatial connection representation-

○東田陽樹<sup>\*1</sup>, 山田悟史<sup>\*2</sup>

Haruki HIGASHIDA<sup>\*1</sup>, Satoshi YAMADA<sup>\*2</sup>

\*1 立命館大学 大学院 理工学研究科 博士課程前期課程

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

\*2 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 准教授・博士 (工学)

Associate Professor, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan Univ., Dr.Eng.

キーワード：MR；空間；接続；表現；

Keywords: MR; Space; Connect; Representation.

### 1. はじめに

近年ではXR(表1)など様々なデジタル技術が発達してきている。そのため、日常生活をはじめ様々なモノに近未来的なデジタル技術が用いられるようになる可能性がある。

Mixed Reality(以下、MR。図1。)も近未来的な技術の一つである。MRは現実世界の景色とサイバー空間の映像を混在させることができる技術である。MRを用いた例の一つに、「Holoportation」というシステムがある。このシステムは、遠隔地にいる対話相手の全身をバーチャル映像として現実空間に表示するというものである。このシステムによってまるで遠隔地にいる人が自分のいる場所に来たかのような感覚を得ることが可能である。

「Holoportation」のように、MRの使い方の一つとして遠隔地のものを表示させるというものがある。そこで、遠隔地の場所そのものをMRによって表示させることで、一つの場所に二つの空間が存在し、空間同士が接続されているかのような表現が可能なのではないかと考えた。参考になる文献として、バーチャル/フィジカル空間が与える心的影響を測る研究<sup>2)</sup>や、MRで設計情報を表示した時の情報の認知についての研究<sup>3)</sup>などがある。また空間同士を接続する表現については、VR空間で空間接続表現を試みた研究<sup>4)</sup>がある。VR空間で空間接続表現を試みた研究では、「2次元の映像投影型ビデオチャットよりも対話相手との同室感や空間連結感を高め、より対面環境に近づけた」というような結果が出ている。本研究でも類似した結果が期待される。期待される結果によって、実物体を遠隔で共有する研究<sup>1)</sup>のようなコンテンツを用いることで人の生活の在り方にも強く影響すると考えられる。このようにMRで空間の接続感があることについての有用性が存在している。

ただし、MRでの空間接続表現について研究を行う上で留意すべき点がある。1点目は、遠隔地といってもユー

Table 1. XR comparison

	AR	MR	VR
概要	現実+CG 簡易的な現実拡張	現実の情報を CGに反映し融合	現実とは異なる 仮想空間に没入
主体	現実空間	比較的仮想空間 の方が主体	仮想空間
仮想物の状況	現実の手前に 仮想物を表示	半透明に見える	仮想物のみ



本研究で用いる  
MRデバイス「magic leap」

Figure 1. Device to use

ザーが知らない空間であれば想像の空間でも良くなってしまふ。そのような状態と差別化するため、ユーザーにとって既知の現実の空間を表示し認知させる必要がある。2点目は、ユーザーの視点が動かなければ3D空間(MR空間)として認知せず、2次元の画面のように認識されてしまう可能性がある。そのためユーザーが視点の位置や角度をある程度の頻度で変える工夫が必要である。

そこで本研究の目的は、「現実の既知の空間と類似したMR空間を被験者が歩き回ること、その遠隔地と被験者のいる空間が接続された感覚が強まる」という仮説を検証することとした。

### 2. 研究概要

#### 2.1. 研究の流れ、作成したコンテンツについて

大まかな研究の流れは、コンテンツ作成、実験、結果の抽出、分析である。コンテンツは主にunityを用いて作成した。

コンテンツ作成では2種類のコンテンツを作成した。この2種類のコンテンツは両方とも講義コンテンツとした。両者の違いを説明する。一方は動画の講義コンテン

ツ（以後「動画講義」と呼ぶ。図2。）であり、もう一方はMRを使用した講義コンテンツ（以後「MR講義」と呼ぶ。図3、4。）である。両方とも3分ほどで視聴可能なコンテンツである。これらを使用し実験を行った。両コンテンツを用いて実験を行った理由を説明する。従来の手法である「動画講義」と近未来的な手法である「MR講義」の空間接続感等がどれほど違うのか比較するためである。

## 2.2. 作成したコンテンツの詳細

両コンテンツは、立命館大学のトリシアの個研前（以下、個研前とする。読み方は“こけんまえ”。図2。）を模してつくられた空間にいる講師アバターが講義を行うというものである。両コンテンツそれぞれにアバターと個研前を模して作られた空間の表示方法が異なる。このことについては後に詳しく説明する。両コンテンツの流れは、①講義の目次、②3面図の概要説明、③正面図/側面図/平面図の説明、④正面図/側面図を実際に描く演習、⑤まとめ、という順で行われる。

「動画講義」はzoomを模した動画である。アバターと個研前を模して作られた空間の表示方法はzoomを模しており、図5の左側のように画面上部に映る。講義は図5の左部のような流れとなる。

「MR講義」はmagic leapを被り体験するMRコンテンツである。アバターと個研前を模して作られた空間の表示方法は図3～5のように目の前の空間に映し出されるようになっている。講義は図5右部のような流れとなる。

両コンテンツ内の空間について補足説明を行う。図3、4のようにで映し出される空間に天井が表示されていないのは仕様である。天井を表示しない方が空間の接続感が増加するという考えに至ったためこのような形となった。次に作成した空間そのものについて説明する。映し出される個研前の空間には、特徴的な照明、床、ドアの配置などにより被験者ができるだけ既知の空間と認識できるように空間を表示した。研究目的に沿い、個研前を被験者にとって認知の空間としてできるだけ近づけるためである。最後に③、④で3Dモデルを使用している理由について説明する。これは3Dモデルによって被験者のMR空間における視線の位置や角度の変更を促し、三次元空間だとより強く認識してもらうためである。

## 2.3. 実験の流れ

大まかな実験の流れは、実験の説明、実験1回目、実験1回目の評価、実験2回目、実験2回目評価である。

実験の説明は個研前（図2）で行った。伝える内容は3分ほどの講義を視聴してもらうこと、個研前をよく見渡すこと、講義中に図を描く操作があるということである。個研前を見渡してもらうこと理由を説明する。研究目的に沿い、個研前を被験者にとって認知の空間としてできるだけ近づけるためである。

次に実験について説明する。実験1回目、2回目につ



Figure 2. The left photograph is “Kokenmae”  
The right photograph is an image of the “video lecture” experiment.



Figure 3. Image of the space projected the “MR lecture”



Figure 4. Image of the “MR Lecture” experiment

いては「動画講義」「MR講義」をランダムに入れ替え行った。この入れ替える理由は順序効果を考慮した結果である。

「動画講義」「MR講義」について、それぞれどのように実験を行ったか説明する。

「動画講義」の実験実施場所は立命館大学のトリシアという建物の個研前と言う場所である。実際の実験の様子のイメージが図2である。「動画講義」の実験の流れは「動画講義」の実験の説明、実験、評価の順で行う。「動画講義」の実験の説明では実験中は座っていること、動画を一時停止してはいけないこと、動画内で図の描画を行う指示がある時にMicrosoft Paintで描画することを伝えた。実験を行った後、評価を聞くためアンケートを行った。

「MR講義」の実験実施場所は立命館大学トリシアの個研前ではなく、別の教室である。実験の様子のイメージが図4である。「MR講義」の実験は「MR講義」の実験の説明、実験、評価の順で行う。「MR講義」の実験の説明では自由に動き回って良いこと、図の描画を行う指示がある時に

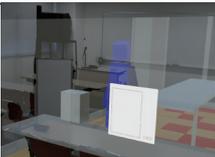
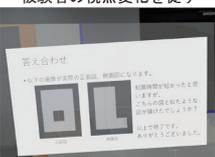
	動画講義	MR 講義
①講義の目次	 <p>本講義の流れ</p> <p>①三面図の概要説明 ②正面図、側面図、平面図を説明 ③実際に正面図、側面図を描いてみる ④答え合わせして終了</p> <p>講義の流れを確認する</p>	 <p>講義の流れを確認する</p>
②3面図の概要説明	 <p>①三面図とは？ ・3面図とは、正面図、側面図、平面図で表される図です。</p> <p>図を用いて説明</p>	 <p>図を用いて説明</p>
③正面図/側面図/平面図の説明	 <p>②側面図 ・建物を側面から水平に見た図のこと。</p> <p>図を用いて説明</p>	 <p>図と 3D モデルを用いて説明 被験者の視点変化を促す</p>
④正面図/側面図を実際に描く演習	 <p>③実際に描いてみよう！ 幾何的な 3D モデルを表示します。それを参考に正面図と側面図を描いてみましょう。(平面図は描かなくてOKです。) 制限時間は60秒となります。 制限時間が少ないので非常に簡易的な図を描いてください。</p> <p>60 秒以内に正面図、側面図を描画</p>	 <p>3D モデルを用いて描画 被験者の視点変化を促す</p>
⑤まとめ	 <p>④答え合わせ 以下の画像が実際の正面図、側面図になります。 描画結果が良かったと思いますが、こちらの図と似たような図が描けましたでしょうか？ 以上で終了です。ありがとうございました。</p> <p>被験者に回答例を提示</p>	 <p>答え合わせ 以下の画像が実際の正面図、側面図になります。 描画結果が良かったと思いますが、こちらの図と似たような図が描けましたでしょうか？ 以上で終了です。ありがとうございました。</p> <p>被験者に回答例を提示</p>

Figure 5. Details and progress of the content seen from the subject

前方にある指定した現実のホワイトボードで描画するよう伝えた。実験を行った後、評価を聞くためアンケートを行った。実験に協力して頂いた被験者は10名である。

実験で答えてもらう質問内容は表2、3である。後の3章で詳しく説明する。

### 3. 結果

実験で得られた結果が表4、図6～9である。

#### 3.1. 空間の接続感そのものの結果について

図6は「動画講義」「MR 講義」両方において空間の接続感について回答してもらった項目である。質問1、6は尺度に基づいていない。灰色で塗られている質問2～5は類似研究<sup>5)</sup>を参考にした同室感尺度に基づいている。点数の範囲は0～100点である。表4は図6の結果の平均値と標準偏差であり、図7は図6の平均値のを表した図である。また、質問1～6それぞれについて「動画講義」「MR 講義」間の効果量を求めた。質問1～6の順に効果量

Table 2. Contents of the questionnaire common to "video lecture" and "MR lecture"

質問1: 「空間の接続感」はどの程度ありましたか？(点数が高いほどある)
質問2: 相手を身近に感じることはできましたか？(点数が高いほど身近に感じる)
質問3: 相手と同じ部屋にいるような感じがありましたか？(点数が高いほど同じ部屋にいると感じる)
質問4: ストレスを感じましたか？(点数が高いほどストレスがない)
質問5: 相手との距離を感じましたか？(点数が高いほど相手との距離を感じない)
質問6: 「講義のわかりやすさ」はどの程度ありましたか？(点数が高いほどわかりやすい)

Table 3. Contents of questionnaire for "MR lecture"

影響を与えた要素	
i 映し出された空間そのもの(床、照明、ドア、机など)	iv 講師アバターの存在そのもの
ii 映し出された空間の方に入った時	v 講師アバターの周辺を動いた時
iii 映し出された空間の方から出た時	vi 講師アバターに指示を受けた時

は1.95、1.96、2.31、0.34、1.21、1.69であった。効果量は質問4が小、そのほか全ての質問が大であった。

#### 3.2. 空間の接続感に影響を与えた要素の結果について

「MR 講義」において、被験者にはi～viの要素について、空間の接続感に影響があった要素に順位付けをもらった。最も影響が強いものには6点、最も影響が低いものには1点と1～6点まで点数をつけた。その結果が図8である。図8の縦軸は被験者の人数を表している。図9は図8の点数を合計したものである。

### 4. 考察

#### 4.1. 空間の接続感そのものについての考察

質問1について考察する。「動画講義」の方については画面上部の講師アバターとそれが居る空間が映っていることを気にしてなかったという回答が6件見られ、空間をあまり認知していなかったため点数が低くなったことが伺える。「MR 講義」の方が点数が高かった理由については「動画講義」に比べ講師アバターとそれが居る空間が目前に大きく映っているためだと思われる。

質問2、3、5について考察する。こちらは質問1と同様で、「動画講義」の画面上部の講師アバターとそれが居る空間が映っていることを気にしてなかったため「MR 講義」と差が付いたのだと思われる。特に質問3、5については講師アバターとそれが居る空間が目前に大きく映っており、被験者が比較的自然的な形で講義を受けることができたため「MR 講義」の方が点数が高くなったのだと考えられる。

質問4について考察する。質問4については空間の繋がりの有無もあるが、デバイスに慣れているかどうかでも理由の一つとなった。「動画講義」で被験者は画面上での講義となることにストレスを感じた。しかし近年の情勢により被験者はそのような状況に慣れており、そのような側面ではストレスを感じることはなかった。「MR 講義」では比較的自然的な形で講義を受けることができたためストレスを感じないが、慣れないMR空間内にいるという状況やHMDの装着によるストレスはあったと考えられる。また、質問6については3Dモデルにより理解しやすいという意見が多くあった。

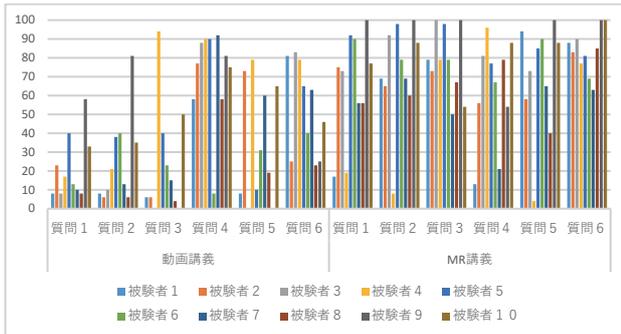


Figure 6. Raw data of Table 2

Table 4. Average and standard deviation in Figure 6

		質問 1	質問 2	質問 3	質問 4	質問 5	質問 6
動画講義	平均値	21.8	25.8	23.8	71.7	34.5	53
	標準偏差	16.06	22.4	28.48	24.3	29.96	23
MR講義	平均値	65.5	72.8	77.9	63.2	69.7	83.6
	標準偏差	27.32	25.43	16.96	26.27	28.03	11.35

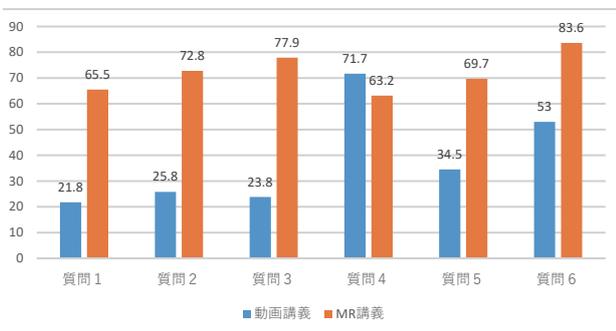


Figure 7. Parallel plots of the mean values of the results in Table 4 results in Figure 6

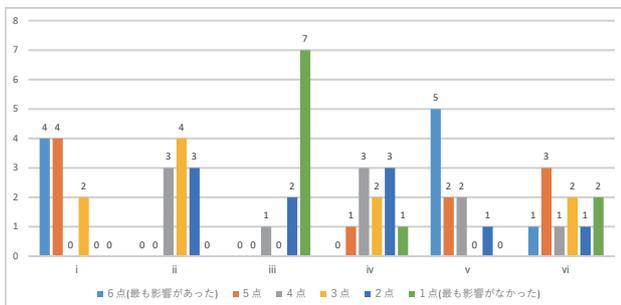


Figure 8. Raw data in Table 3

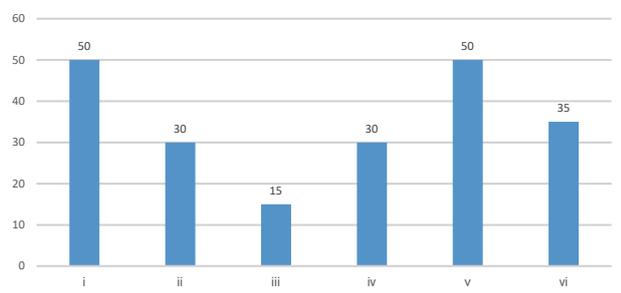


Figure 9. Parallel plot diagram for each total value of the factors in the results of Figure 8

#### 4.2. 空間の接続感に影響を与えた要素についての考察

図9から、iとvの要素が空間接続感に特に影響を与えたと考えられる。まずiについてだが、既知の空間だったため慣れ親しんでいるという趣旨の回答と、画面ではなく3D空間だと認識したためだという回答が多かった。

既知の空間だと認識した原因は特徴的な照明のようなものがあったからという回答多く、次いで床、ドアの配置によって認識したという回答を得た。特徴的な照明など部屋のシンボルのようなものを映し出すことでこの部屋を模しているのか強く認識し、空間の接続感に影響するようだ。次にvについてだが、講師アバターが原因というよりはMR空間を動き回り目の前に映し出されていたものが3D空間だと認識できたためだと思われる。

次に影響があまりなかった要素ii、iiiについて考察する。要素ii、iiiに影響がなかった理由は「MR空間を跨ぐ」といったことを認知していないことが理由と考えられる。被験者からの回答では「あまり空間に出たり入ったりすることを気にしなかった」といった趣旨の回答が多かった。本研究で使用したmagic Leapは視野角が狭く、現実空間とMR空間の境界を認知することは難しい。そのため被験者たちはこのような回答をしたのだと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、「現実の既知の空間と類似したMR空間を被験者が歩き回ることによって、その遠隔地と被験者のいる空間が接続された感覚が強まる」という仮説を検証した。

本研究では「動画講義」「MR講義」2つの環境で空間接続感等を比較する実験を行った。明確な空間接続感等の差が出ており、MR空間の空間接続表現の強さが伺える。また、MR環境で空間接続感に特に影響を与えた要素は「映し出された空間」「講師アバターの周辺を動いた時」であった。これより映し出されていたMR空間が3D空間だと被験者が認識できた時に空間接続感への影響が強くなるのだと考えられる。また、既知の空間であることも空間接続感に影響を与えるとも考えられる。

今回は部屋の空間同士の接続感について検証した。今後は屋外の建築物や仮設物の接続感などについて検証していきたいと考えている。

#### [参考文献]

- 1) 松原優磨, 山口隆: フィジカル空間とデジタル空間が与える人間の心的状態の変化, 日本建築学会技術報告集 第27巻 第67号, 1542-1546, 2021年10月
- 2) 石田康平, 野城智也: MRを用いた体験を通じた設計情報の提示がもたらす段階的な認知の誘導 Select Your Lifestyle 展プロジェクトを対象として, 日本建築学会計画系論文集 第87巻 第798号, 1452-1462, 2022年8月
- 3) 本信 敏学, 吉野孝: 実空間の点群情報を用いた空間接続表現の提案, 情報処理学会論文誌 Vol.63 No.1 21-28 (Jan. 2022)
- 4) 石川大地, 福田知弘, 矢吹信喜: 高速点群セグメンテーションと受信者のオブジェクト操作を可能とする3次元実物体の複合現実による遠隔共有手法, 日本建築学会環境系論文集 第85巻 第778号, 1017-1026, 2020年12月
- 5) 小刀禰理英, 大崎美徳, 片山滋, 島井正人: 遠隔コミュニケーション環境の評価を目指した話者遷移のモデル化, 平成22年度情報処理学会関西支部 支部大会