

簡易 VR ゴーグルを用いた空間疑似体験における 模型と CG の特徴に関する基礎的研究 エントランス空間を事例として

○石山 希^{*1} 松本 裕司^{*2}

キーワード：VR スマートフォン 縮尺模型 CG

1. はじめに

近年普及段階にあるスマートフォンを用いた VR（以下簡易 VR）において、建築表現に古くから親しまれてきた縮尺模型を活用できないか。これが本研究の動機であり主題である。建築分野での VR 技術活用の重要な課題である空間再現性¹⁾を検証するために高性能な VR ツールを用いた研究は数多くなされているが、簡易 VR の研究は未だ途上の段階である。

さらに空間再現性のみが建築分野における VR 技術の課題であるとは言えない。空間疑似体験において実空間と同等の体験が可能であっても、そこから感じられる感性的印象が異なっている可能性が示唆されている²⁾。一方、空間の表現方法もまた技術の向上によって多様な選択がなされており、模型や手書きスケッチ、CG パースなど実空間を効果的に表現するために目的に沿ってさまざまな手法を使うことが妥当であるとされている³⁾。しかし VR 空間の表現には CG を用いることが一般的である。VR 技術を用いた場合であっても、CG と模型それぞれの特徴を把握し、目的によって空間表現方法を使い分ける必要があるといえる。VR 技術を用いる場合において、感性的側面から空間表現方法を比較し、特徴や有用性の検討を行っている研究は少ない。

そこで今回は、装飾が少なくある程度ニュートラルであること、エントランス空間の印象が建物全体の印象に大きく関わると思われることから、今回はエントランス空間を事例に取り上げて実験を行った。エントランス空間に注目し簡易 VR と液晶ディスプレイ(以下液晶 DP)との比較を行い、空間再現性を確認する。それを踏まえて、簡易 VR の表現媒体である CG と模型との比較を通して、それぞれの詳しい特徴と可能性を明らかにする。

2. 実験①の概要

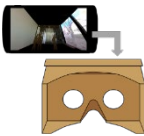
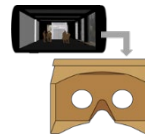
簡易 VR と液晶 DP での空間印象と空間再現性の違いを確認するために、京都工芸繊維大学 60 周年記念館を題材に、主に大学生の 20 代の男女 30 名を対象に比較実験を 10 日間行った(表 1)。1/10 縮尺模型を 360° カメラ^{注 1)}で撮影した映像と CG を表示させたスマートフォン^{注 2)}を挿入した簡易 VR^{注 3)}を用意し、合計 4 種のサンプルを用意した。今回作成した模型と CG の両者は、ある程度同じ時間をかけてクオリティに差が出ないよう配慮

した上で作成した。評価項目は先行研究より相応しいと考えられる VR 空間を評定する項目および感情形容詞対の合計 13 項目とした(表 3)。-3～3 の 7 段階尺度の SD 法を用いて実験を行った。被験者に対する負担を考慮して、実験者が口頭で質問を行い、被験者が口頭で答えた回答を実験者が評価シートに記入する形で実験を行った。空間再現性については、実空間を訪れたことのある被験者を対象に「再現されている/されていない」の項目で確認することとし、7 つの VR 空間評定項目も間接的に再現性の評価に関係するとした。また被験者には空間の印象を評価する旨の指示をし、空間の印象とデバイス・表現媒体の印象は相互干渉し合うものとして、同一の空間に対する印象の違いから、デバイスと表現媒体の差を読み取ることにした。

表 1 実験①概要

対象	20 代の男女 30 名（有効回答 30）
期間	2017 年 12 月 20 日～2017 年 12 月 30 日の計 10 日間
サンプル	京都工芸繊維大学 60 周年記念館エントランス部分を題材にした(表 2)に示す 4 種類

表 2 実験①サンプル一覧

		空間表現媒体	
		模型	CG
デバイス	簡易 VR		
	液晶 DP		

3. 実験①の結果

デバイスである簡易 VR と液晶 DP、表現媒体である模型と CG の合計 4 つの評価尺度得点平均はおおむね似通った結果になった(図 1)。これより、デバイスの違いと表現方法の違いの 2 つの軸に着目して考察を行うこととする。また「広々した/狭苦しい」の項目の結果から、サンプルに用いた空間である京都工芸繊維大学 60 周年記念

館エントランス部分に対して、概ね「広々した」という印象が示されたと考えられる。

表3 実験①形容詞対

調査項目 (-3~3の 7段階尺度 /SD法)	合計13項目
	VR空間評価項目 7項目
	明るい/暗い、馴染んだ/違和感のある、広々した/狭苦しい、開放感のある/圧迫感のある、動的な/静的な、迫力のある/控えめな、リアリティのある/ない
	感情形容詞対 5項目
	調和した/ちぐはぐな、快適な/不快な、好きな/嫌いな、印象に残る/残らない、興味深い/つまらない
	再現性の検証 1項目
	再現されている/されていない

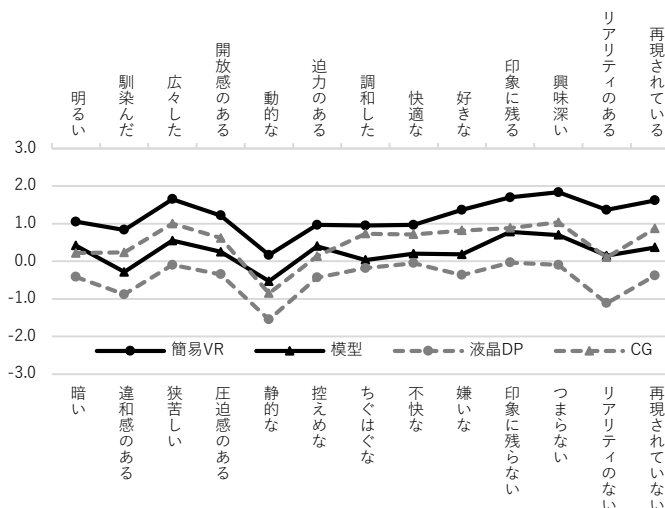


図1 デバイス・表現媒体の尺度得点平均 (n=30)

3-1. 評価に使用する形容詞対について

まず、評価項目の中で、「再現されている/いない(以下再現度)」についての形容詞対は、空間そのものの印象だけではなく、デバイスや表現方法の印象評価に関わっていると、「再現度」について詳しく分析と考察を行う。

実験①で得られたすべてのサンプルを用いて重回帰分析を行った。決定係数は 0.61 で基準の 0.5 を上回り、モデルの説明力は高いと言える。重回帰分析より「再現度」の評価項目に大きな影響を与える要因となる傾向が示された形容詞対のうち、相関係数が 0.64 で最も高い「リアリティ」によっても、同様に空間の再現性を検証することが可能であると言える。今回は実空間を対象にモデルと CG を用いて評価を行ったため、「再現されている/されていない」の項目で再現度の確認が可能であったが、評価対象が実空間でなく、被験者が未経験の空間を対象に実験を行う場合、これらの評価項目に回答しづらさが

懸念される。そのため次の実験では「リアリティのある/ない」の項目によって再現性を確認するとした。

また、重回帰分析の結果から「好きな/嫌いな」「印象に残る/残らない」の間に共線性がある可能性が示されたため、対応のある 2 群の t-検定を行い 5%水準で有意であることを確認した上で上記 2 項目の相関を求めた結果、相関係数 0.77 の強い正の相関が認められた。被験者の回答しやすさから「好きな/嫌いな」を次の実験で用いることとした。

3-2. デバイスの違いに着目した結果

模型と CG を合算し、デバイスについて評価項目の単純集計を行った(図 2)。デバイス間で対応のある 2 群の t-検定を行い、全評価項目に 5%水準で有意差があった。簡易 VR と液晶 DP の相関を求めたところ、相関係数 0.66 の強い正の相関関係にあった。また全評価項目において簡易 VR と液晶 DP の尺度得点差が正であり、「リアリティのある/ない」「再現されている/いない」の項目で 2 点以上の差があったことから、簡易 VR は DP に比べてより再現されていることが確認された。この結果より、簡易 VR は液晶 DP の上位互換的なデバイスであると考えられる。簡易 VR では「興味深い/つまらない」、液晶 DP では「印象に残る/残らない」の尺度得点が最も高く、「動的な/静的な」が簡易 VR と液晶 DP の両方で尺度得点が最も低い値となった。

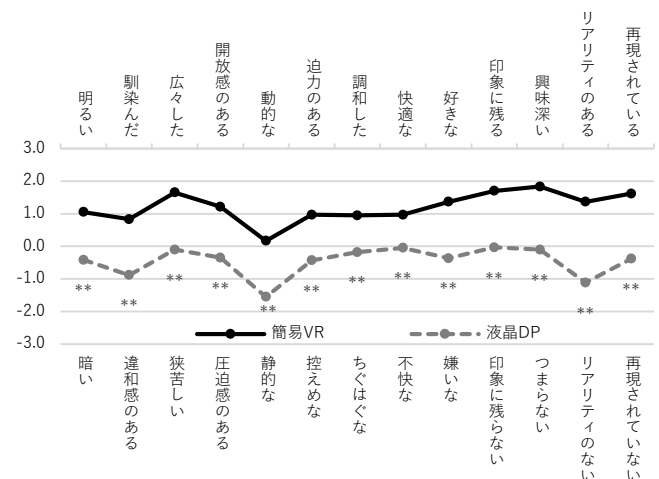


図2 デバイスの尺度得点平均^{注4)} (n=60)

3-3. 空間表現媒体の違いに着目した結果

簡易 VR と液晶 DP を合算し、空間表現媒体について評価項目の単純集計を行った(図 3)。デバイス間で対応のある 2 群の t-検定を行い、有意傾向にあった項目においては CG がモデルの尺度得点を上回っているものの、先述したデバイス間ほどの差はなく、「迫力のある/控えめな」など、CG よりモデルの尺度得点が高い項目も見受けられた。モデルでは「印象に残る/残らない」、CG では「広々した/狭苦しい」の尺度得点が最も高く、「動的な/静的な」がモデルと CG の両方で尺度得点が最も低い値となった。

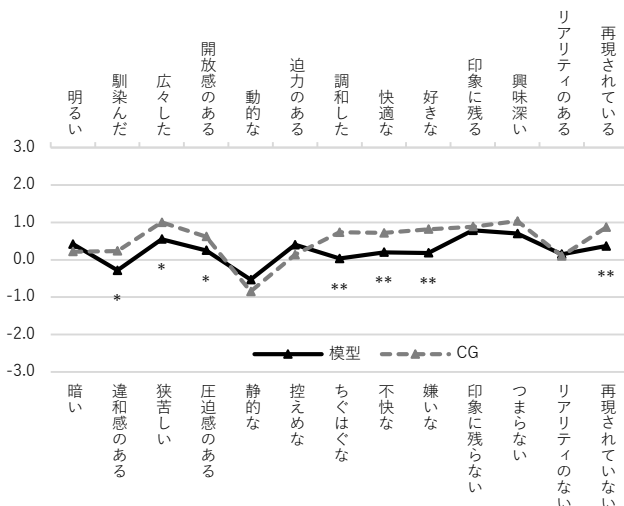


図3 表現媒体の尺度得点平均^{注4)} (n=60)

4. 実験①のまとめ

実験①から得られた結果をまとめ、次の実験②に向けて評価項目やサンプルを再選択する。

評価に使用する形容詞について

再現度と相関係数が最も高い「リアリティのある/ない」の評価項目によっても再現性を確認することができるとし、実験②ではこの形容詞対のみを採用した。

また「好きな/嫌いな」と「印象に残る/残らない」には相関係数 0.77 の強い正の相関が認められ、被験者の回答しやすさから「好きな/嫌いな」を次の実験で用いることとした。

「馴染んだ/違和感のある」、「動的な/静的な」の2項目は、回答しづらいとの声があり、また「動的な/静的な」については、今回の空間疑似体験がその場に立って見回すという空間体験に限られているため、次の実験では除外することとした。「明るい/暗い」という項目は、簡易VRの設定により変動すると推測されたので除外した。

デバイスについて

同一のサンプルを用いた再現度を比較して分析したときに、簡易VRでの評価は液晶DPでの評価と強い正の相関関係にあることが示された。また、簡易VRは液晶DPに比べてより再現されていることが確認された。そのため、次の実験では液晶DPを用いた評価を除外し、簡易VRでのみ空間評価実験をすることとした。

空間表現媒体について

模型とCGで同一のサンプルを用いた評価を比較して分析したとき、模型とCGの間にデバイス間ほどの大きな差は確認されなかった。そのため、実験②でも継続してサンプルの表現方法に模型とCGの両方を使用し、特徴と可能性を明らかにすることとした。

5. 実験②の概要

続いて、空間の表現媒体の違いによる空間印象の違いを分析するための実験を行う。CGと模型のどちらかの

良さのみではなく、両者の特徴を期待した指標として捉え、比較と考察を行う。

実験①の結果より再選択した評価項目の形容詞対に加えて、評価空間のパターンを変化させることで、簡易VRで用いる表現媒体である模型とCGの比較を通して、それぞれのより詳しい特徴と可能性を明らかにする。

そこで、近年エントランス空間など、天井の高い空間において頭上空間を彩る効果的な手法として、単純な形状のオーナメント型のオブジェを多数吊り下げている事例が多くみられる。本研究ではそれらを「吊り下げ群オブジェ」と定義し、それを含む空間全体の印象評価を行うこととした。

表4 模型とCG比較実験サンプル一覧

	模型・並	模型・凸	模型・流
5 × 5			
7 × 7			
	CG・並	CG・凸	CG・流
5 × 5			
7 × 7			

本実験ではエントランス空間として吊り下げオブジェを設置した京都工芸繊維大学60周年記念館を題材に、実験①と同様に作成した1/10縮尺模型を360°カメラで撮影した映像と3次元CGを用意した。サンプルは吊り下げ群オブジェの密度と高さを变化させた合計12種類とした(表4)。密度は1600mm四方の空間に等間隔に5×5で25個配置したものと、と、7×7で49個配置したものの2パターン用意した。高さは、垂直方向の高さが等しい「並」、中央部分に向かって低くなる「凸」、行列ともに流線形に高さが変化していく「流」の3パターン用意した。

評価項目は実験①の結果を踏まえて、先行研究より空間印象評価に相応しい項目を追加した全 16 項目を用いた。今回取り扱うエントランス空間では、一般的に良い印象を与えることを目的に作られていると仮定して、評価項目に用いる形容詞対はポジティブな印象を与える形容詞が正の得点になるよう配慮した。主に大学生の 20 代男女 30 名を対象に 22 日間で比較実験を行った(表 5)。

表 5 実験②概要

対象	20 代の男女 30 名 (有効回答 30)
期間	2017 年 12 月 30 日～2018 年 1 月 20 日の計 22 日間
サンプル	京都工芸繊維大学 60 周年記念館エントランス部分を題材に、6 パターンの吊り下げ群オブジェを設置した模型と CG の合計 12 種類 (表 3)
調査項目 (-3～3 の 7 段階尺度 /SD 法)	①リアリティのある/リアリティのない②広々した/狭苦しい③開放感のある/圧迫感のある④迫力のある/控えめな⑤好きな/嫌いな⑥興味深い/つまらない⑦変化に富んだ/単調な⑧親しみやすい/よそよそしい⑨高級な/庶民的な⑩上品な/下品な⑪一体感のある/孤立感のある⑫くつろいだ/緊張した⑬有機的な/無機的な⑭いきいきとした/生気のない⑮遊び心のある/遊び心のない⑯ふさわしい/ふさわしくない

6. 実験②の結果—模型と CG の特徴

形容詞対と吊り下げ群オブジェのパターンのそれぞれで二元配置の分散分析を行い、多重比較から模型と CG の特徴を明らかにする。多重比較にパラメトリック検定である Bonferroni の方法を用いた。

6-1. 形容詞対に着目した比較

まず、すべてのパターンの評価尺度得点を平均し、形容詞対のみに着目して比較を行う(図 4)。^⑬有機・^⑤好み・^⑭生気・^③開放感において、尺度得点平均に有意な差が見られた。模型は CG よりも「有機的な」「好きな」「いきいきした」と評価された。これらは模型が手業で製作されるものであり、模型制作の経験がない人でもある程度制作方法が推定できるためと考えられる。加えて模型は「開放感のある」、CG は「圧迫感のある」印象を与えやすいことが示された。また 10%水準で有意であった^⑧親近感において CG は専門のソフトを用いて製作するとつきにくさから「よそよそしい」と評価される傾向にある。また有意差はなかったが^⑨高級感においてもデジタルで作られた精緻さから、ある程度 CG は「高級な」と評価される可能性がある。^⑥興味深さは、模型と CG の両方で高い評価が得られた。^⑦変化・^⑩品性・^⑪一体感・^⑫くつろぎ・^⑮遊び心・^⑯相応しさは、模型と CG の

違いが空間の印象にあまり影響を及ぼさない。

6-2. 吊り下げ群オブジェパターンに着目した比較

次にすべての形容詞対の評価尺度得点を平均し、パターンのみに着目し比較する(図 5)。^{5 並・7 並・7 凸}で、模型と CG の間に有意な差が見られた。「並」は、模型が高く評価される傾向にある。また、模型を用いると平均的にどのパターンも全体的に良い印象を与えるが、単純主効果の検定によると、全パターン間の評価尺度得点に有意な差は示されなかった。模型はパターンの違いが印象に影響しにくく、全体的に平坦な印象となるため、模型を用いて印象の比較を行う場合は配慮が必要である。CG においては比較的パターンによる印象の差が明らかとなり、その中でも特に「流」が評価される傾向にあった。

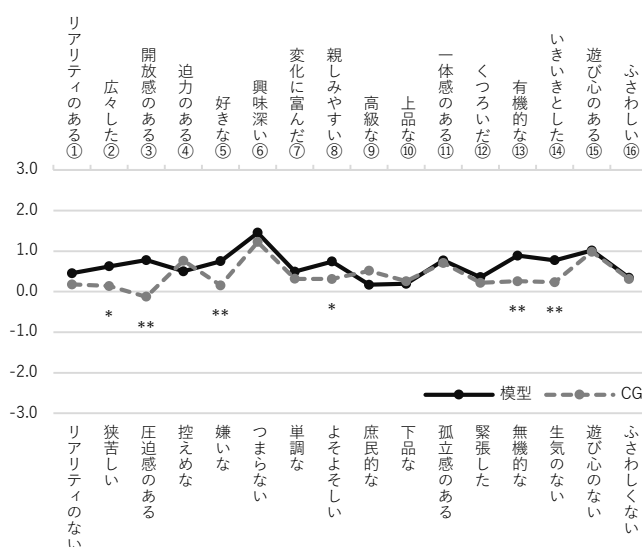


図 4 形容詞対ごとの推定周辺平均^{注 4)} (n=126)

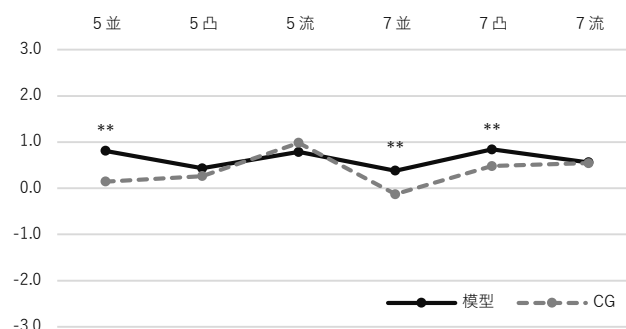


図 5 パターンごとの推定周辺平均^{注 4)} (n=90)

6-3. 因子分析の結果

また、実験②の調査から得られた模型と CG の空間印象傾向を、因子分析を用いて比較を行った。因子の抽出には重みづけのない最小二乗法を用いて、共通性が 0.3 以下である^④迫力・^⑩品性・^⑪一体感を削除しプロマックス回転を行った。空間印象の潜在項目として活発因子・ダイナミック因子・自然因子・ゴージャス因子の 4 因子が抽出された。

以下の図 6,図 7 では模型と CG の因子得点をマッピングした。模型は自然因子・ダイナミック因子が高く、CG はゴージャス因子が高い傾向にあった。模型は「親しみやすい」「広々した」「開放感のある」、CG は「高級感のある」と評価される傾向がある。

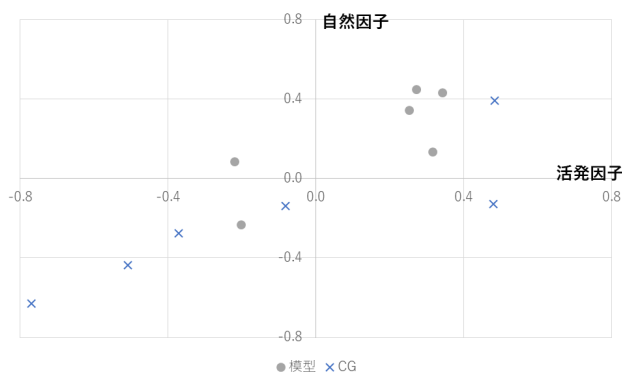


図 6 自然因子×活発因子のマッピング (n=42)

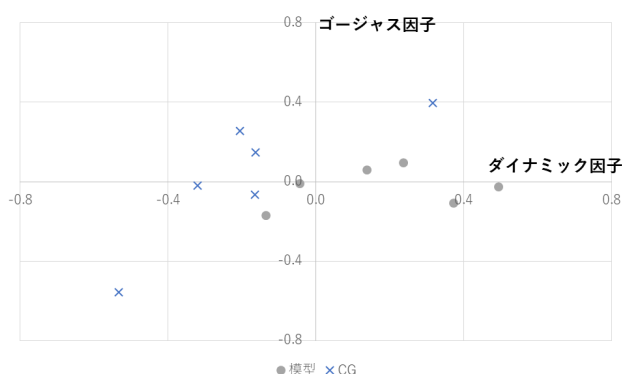


図 7 ゴージャス因子×ダイナミック因子のマッピング (n=42)

7. 研究の成果と今後の課題

本研究では、2つの実験を通して、簡易 VR を用いた空間疑似体験の調査を行いながら、簡易 VR の表現媒体である CG と模型との比較を通して、それぞれの詳しい特徴と可能性を明らかにした。

簡易 VR における空間再現性は検証され、液晶 DP を用いた場合より実空間を再現していることが確認された。これによって、建築分野における VR 技術の普及の足掛かりになる可能性がある。また簡易 VR においても、表現媒体の違いから感じられる印象が異なっている可能性があることが示された。

今回取り扱った VR 技術による空間表現媒体は、本研究で明らかになった特徴に加えて作成にかかる手間や物理的条件などを勘案すると、複数のパターンを比較するシミュレーションに用いるには CG が手軽であるだろう。プレゼンテーションを行う場合など、空間により良い印象を与えることを期待する場合には、模型を用いると効果的である。

今後の簡易 VR を用いた空間疑似体験において、目的

に沿って VR 空間表現媒体の選択を行い、表現媒体による印象への配慮の必要性が示唆された。以下の表 6 に本研究で明らかにした模型と CG の特徴をまとめた。

今後の課題は、今回エントランス空間に限定して印象評価を行ったが、他の要素を含む空間についての実験が必要である。また実際にプレゼンテーションの場で見せる模型として使うような 1/50～1/100 の縮尺模型を用いての実験や、また今回は空間のパターンに吊り下げ群オブジェを用いたが、空間の機能に直接影響する家具等、印象評価に用いるテーマの再選択などが挙げられる。

表 6 模型と CG の特徴まとめ

	模型	CG
印象	「好きな」 「開放感のある」 「広々した」	「圧迫感のある」 (「高級な」)
パターン	「並」 影響されにくい	「流」
因子	自然因子 ダイナミック因子	ゴージャス因子
利用	よりよく見せる プレゼンテーション向き	それぞれ比較する シミュレーション向き

補注

- 注 1) 頭上空間を継ぎ目なく撮影するために、レンズが 1 つある 360fly を用いた。
- 注 2) 簡易 VR に挿入するスマートフォンは、ジャイロセンサの有無と、使用 App が正常に動作することを確認して、nexus5 を用いた。
- 注 3) 装着する簡易 VR には、ダンボール製であり安価である点、仕様書がオープンソースで開放されている点を考慮して Google Cardboard を選択した。
- 注 4) 有意傾向にあった項目について、 $p < 0.05$ を **, $0.05 < p < 0.10$ を * と記載した。

【参考文献】

- 1) 舘暲、佐藤誠、廣瀬通孝：バーチャルリアリティ学；日本バーチャルリアリティ学会編，2011
- 2) 繁柊博昭、石井雅博、北崎充晃：「VR 心理学 6」特集号刊行にあたって；VR 心理学 6，Vol. 21 No. 1，2016
- 3) 押田光雄：複数の表現手法による心理イメージの比較に関する調査報告；日本建築学会技術報告集，第 17 巻 第 36 号，2011
- 4) 大倉典子、小松由枝、嶋田裕希、柴田卓巳、中山慎一郎、青砥哲朗、渡辺洋子：傾斜型投影ディスプレイにおける空間の印象の比較 実空間とバーチャル環境との実験空間の差異；感性工学研究論文集，Vol. 6，No. 2，2006
- 5) 横井梓、斎藤美穂：VR 空間における心理的影響の評価に関する検討 大型スクリーンを用いた居住空間シミュレーションにおける VR 空間の感性評価；日本建築学会環境系論文集 第 78 巻 第 683 号，2013

*1 京都工芸繊維大学 デザイン学専攻

*2 京都工芸繊維大学 デザイン・建築学系 助教 博士(学術)

Comparison of Characteristics between Scale Model and CG for the Experience by Simple VR Headset with the Smartphone

○Nozomi ISHIYAMA*¹ Yuji MATSUMOTO*²

Keywords : VR, Smartphone, Scale model, CG

The purpose of this study is to use a scale model that has long been popular in the expression of architecture, for the simple VR headset using the smartphone (S-VR) which is popular nowadays. While investigating spatial reproducibility of the simulation using S-VR, which is one of the important tasks of utilizing VR technology in architecture field, we clarified the characteristics of the spatial impression which is felt by the difference between the scale model and CG expressing VR space. We considered not only the merit of those, but also the characteristics. First of all, we compared S-VR and Liquid Crystal Display (LCD). We conducted an experiment by the Semantic Differential scale method (SD method), and subjects evaluated seven levels by the 13 selected adjective-pairs. Correlation between S-VR and LCD was determined, and it was strong positive correlation. In addition, in all the evaluation items, the scale score difference obtained by subtracting the LCD from the S-VR is positive, and there was a difference of two points or more in the items of "Reality" and "Reproduced". From these results, S-VR gained a higher evaluation on the spatial reproducibility than LCD. Therefore, we continued the experiment focusing on S-VR and subjects evaluated seven levels by the 16 reselected adjective-pairs. Second, we compared the impression of the space due to the difference in expression medium used in S-VR, that is, CG and scale model, and clarify their characteristics using analysis of variance. The difference in space was expressed by changing the pattern of objects hanging from the ceiling. Scale model tends to be evaluated as "Open", "Like", "Emotional", or "Friendly", on the other hand CG did as "Unfriendly", "Luxury" or "Oppressed". In CG, the difference in patterns of space gave different impressions. In the other hand, in scale model, it was less likely to influence the impression. Every pattern gave a good impression, alternatively, according to the simple main effect test, significant difference was not shown in the evaluation scale scores between all patterns. In other words, whichever pattern was similar impression in scale model. As the result, when comparing impressions by scale model, it is necessary to pay attention to those characteristics. We conclude that spatial reproducibility in S-VR was verified. Furthermore this result suggest that it is necessary to select the S-VR space expression medium suitable for the purpose and to give consideration to the impression in spatial simulation experiences using VR technology. In addition to characteristics clarified in this research, to take physical conditions and the time to create scale model into consideration, for simulation comparing multiple patterns, it is best to use CG as a space expression medium. While, for instance presentation, in the case of expecting to give a better impression to the space, it is effective to use scale model.

*1 Dept. of Design, Graduate school of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

*2 Assistant Prof., Faculty of Design and Architecture, Kyoto Institute of Technology, Ph.D.