提示装置の違いによる現実感・没入感・設計ツールとしての有効性の検証

バーチャルリアリティを用いた住環境提示システムにおける実空間再現性の検討 その2

VERIFYING THE REALITY, THE IMMERSION AND THE EFFICIENCY OF A DESIGNING TOOL ACCORDING TO DIFFERENT PRESENTATION EQUIPMENT

A study on the reproduction of the actual space on the virtual simulation system
for the residential environment design Part 2

小野 浩史*, 青島 智恵**, 森川 泰成***, 吉澤 望****, 平手 小太郎*****

Koji ONO, Chie AOSHIMA, Yasushige MORIKAWA,
Nozomu YOSHIZAWA and Kotaroh HIRATE

This paper reports an experiment by subjects who evaluated the reality, the immersion and the efficiency of a designing tool of VR (virtual reality), using a large projector, an LCD television and a notebook computer with different horizontal viewing angles.

The analysis findings revealed that the large projector received the highest evaluation and the notebook computer the lowest. However, some subjects gave the notebook computer a higher evaluation than the large projector. In general, the evaluation was polarized. Those who evaluated the presentation equipment as a highly effective design tool also rated reality and immersion highly. Those who did not also rated reality and immersion low.

Keywords: VR, evaluation, presentation equipment, a sense of reality, a sense of immersion, the efficiency of a designing tool

VR、被験者実験、提示装置、現実感、没入感、設計ツールとしての有効性

1. 序

筆者らは近年注目されているバーチャルリアリティ（以降VR）技術^{注1)}を用いて、設計段階の住環境を提示するシステムを開発してきた¹⁾。このシステムでは、環境シミュレーション結果を仮想空間内に表示することで、設計者の住環境に関する設計意図を建物発注者にわかりやすく伝えることを目標としている²⁾。本研究では、既報³⁾にて大型プロジェクタを採用したシステムの明るさ感・空間の大きさ感・寸法感・現実感に関する評定実験をおこない、空間が小さく感じられる傾向、奥行き感再現性の限界、現実感向上のために必要なモデリング精度等の知見をまとめた。

VRを用いた建築空間再現に関する既往研究として、鄭らの街路景観評価に関する研究⁴⁾や大野らの無重力環境における空間識に関する研究⁵⁾がある。これらの評価実験では、パソコンモニタ・大型プロジェクタ・HMD (Head Mounted Display) 等を使い分けているが、それらの提示装置に関して被験者が受ける感覚的特徴については言及されていない。さらに大野らは、より高輝度・高解像度のマルチプロジェクタによる都市景観の評価⁶⁾も始めている。また、廣瀬らは将来のVR環境を想定し、異種VRシステムの統合に関する研究の過程で、各装置毎に奥行き整合性を維持する手法を提案⁷⁾している。このようにVR提示装置の多

様化が進む中、提示装置の違いが体験者に及ぼす影響を検証する必要が生じつつある。さらにシステム開発上有効な研究として、田辺らによるVR・模型・実空間の比較に関する研究⁸⁾がある。しかし、本研究も視点固定による明るさ感や奥行き感の評価であり、今後普及することが予想される室内外を自由に歩き回ることが可能なシステムでの評価は皆無に等しい。岩田らの水平視野角の違いによる空間知覚能力の検討をおこなった研究⁹⁾では、没入型球面ディスプレイを使用し画角調整をおこない、視野角が広いほど空間認知能力が向上するといった知見が得られている。しかし、現実感や没入感は体験者の映像への集中度合いにもよるが、水平視野角が広くなくても得られる可能性がある^{注2)}。

そこで本報では、提示装置の違いを検討するために、大型プロジェクタ（以下：大型）・液晶テレビ（以下：液晶）・ノートパソコン（以下：ノート）と水平視野角の異なる提示装置^{注3)}を使用して、立体視された動画VR映像の現実感・没入感・設計ツールとしての有効性等を評定した被験者実験に関して報告する。

2. 実験概要

2.1 実験構成と実験手順

実空間再現性を検討するために、既報³⁾と同様にVRの体感後

* 大成建設㈱技術センター 工修
 ** 大成建設㈱住宅事業本部
 *** 大成建設㈱技術センター 工博
 **** 東京理科大学工学部建築学科 助手・博士(工学)
 ***** 東京大学大学院工学系研究科 助教授・工博

Taisei Technology Center, M. Eng.
 Housing Division, Taisei Corporation
 Taisei Technology Center, Dr. Eng.
 Research Assoc., Tokyo University of Science, Dr. Eng.
 Assoc. Prof., Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

図-1 実験構成

図-2 実験手順

図-3 各提示装置でのVRの体感状況

図-4 対象空間 (ウォークスルーの経路、提示映像の視点位置)

に現実感等の評価をおこなう被験者実験を実施した。実験構成を図-1に示す。3種類の提示装置の違いによって各評価項目で有意な差が得られるか、また、実空間体験後の評価が可能であるか確認する目的で予備実験(実験1)を実施し、そこでの知見を基に本実験(実験2、実験3)を実施した。

実験手順を図-2に示す。3種類の提示装置の比較検討のため被験者を3群に分けてそれぞれの実験を構成している。実験1ではまず、各提示装置で基準刺激をビデオ映像とすることで評価をおこない、同じ提示装置でのVRの体感・評価後、実空間の体験・評価をおこなった。ただし、実験1では実験スケジュールの関係から提示装置は1種類のみの体感とした^{注4)}。実験2では各提示装置のVRの体感・評価後に実空間の体験・評価をおこない、実験3では実空間の体験後にVRの体感・評価をおこなった。

実空間再現性の検討において、実空間を実際に体験する手続きは重要な方法と言える。しかし、本システムは設計段階での映像

図-5 提示映像の比較

表－１ 評価項目と評価方法

No.	評価項目	評価方法	基準/評価の段階	実験種類		実験１		実験２		実験３	
				実空間体験前後		前	後	前	後	前	後
						評価１	評価２	評価３	評価４	評価５	
1	現実感	ME法	基準刺激の現実感を100 (実験１:ビデオ, 実験２:最初の刺激, 実験３:実空間)			○	○	○	○	○	
2	違和感	SD法 (7段階)	非常に違和感がなかった ⇄ 非常に違和感があった (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)			○		○		○	
3	没入感	SD法 (7段階)	非常に没入感がなかった ⇄ 非常に没入感があった (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)			○		○		○	
4	没入感	ME法	実空間を基準刺激 (100) として、VR映像を評価				○		○		
5	没入感	ME法	実空間を基準刺激 (100) として、ビデオ映像を評価				○				
6	楽しさ	SD法 (7段階)	非常に楽しなかった ⇄ 非常に楽しかった (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)			○		○		○	
7	設計ツールとしての有効性	SD法 (7段階)	非常に有効でない ⇄ 非常に有効 (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)			○		○		○	
8	満足感	ME法	基準刺激なし					○		○	
9	広さ	SD法 (7段階)	非常に狭かった ⇄ 非常に広かった (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)				○		○	○	

提示が主目的であり、実空間を体験できない状況での評価も必要である。したがって、本実験では実空間体験をVR体感の前後に分ける2種類の実験をおこなった。ここで、実験3では実空間体験後の評価であるため、基準刺激を実空間とすることで実験が成立するが、実験2では何らかの基準刺激を準備する必要がある。そこで、最初に体感するVR映像を基準刺激とすることで対応^{注5)}を図った。なお、各提示装置によるVR体感をおこなった場所と実空間の体験できる場所は離れており、移動時間は徒歩と電車を利用して約30分である。

被験者は建築系女子学生 (19歳~21歳) とし、実験1では18名、実験2では12名、実験3では14名とし、合計44名の被験者により実験をおこなった^{注6)}。

2.2 提示方法と提示刺激

各提示装置でのVRの体感状況を図-3に示す。水平視野角は大型プロジェクタ^{注7)}では70度、液晶テレビ^{注8)}では38度、ノートパソコン^{注9)}では28度となる。また角度解像度^{注10)}は大型が14.6ピクセル/度、液晶が26.9ピクセル/度、ノートが57.1ピクセル/度となる。被験者は立体視用の偏光メガネを装着しVRを体感する^{注11)}。

対象空間は一般的な住宅 (モデルハウス^{注12)}) の居間^{注13)}とし、「体感者自身が、これから建築しようとしている住宅」として仮想体感させた。図-4に対象空間の平面図を示す。ここで、ウォークスルー^{注14)}の経路と提示映像の視点位置を示す。各視点位置でのビデオ映像^{注15)}とVR映像^{注16)}を図-5に示す。ウォークスルーはビデオ映像・VR映像ともに約2分間である。

2.3 評価項目と評価方法

表-1に評価項目と評価方法を整理した。評価項目は現実感、設計ツールとしての有効性 (以下: 有効性)、満足感^{注17)} など9つで、各実験毎の評価内容 (評価1~5) を右側に整理した。実空間では室内外を自由に体験し各項目の評価をおこなった。実験1、実験2で実空間の体験後は現実感、没入感^{注18)}、広さの評価をおこない、特に没入感に関してはME法 (Magnitude Estimation Method) で評価させた。本報ではME法の評価結果はすべて常用対数をとった。実験1では、実空間体験後に基準刺激としたビデオ映像の没入感に関する評価もおこなわせた。実験2、実験3の評価項目は実験1の評価項目に加え、満足感に関

表－２ 実空間体験後の評価結果 (実験1)

	提示装置	現実感 (ME法)	没入感 (ME法)	広さ (SD法)	ビデオ 没入感 (ME法)	実空間体験前後の比較 (現実感)	
						差	評価向上人数
平均	大型	1.83	1.76	3.00	1.80	-0.03	2 (40%)
	液晶	1.74	1.73	2.88	1.69	-0.16	0 (0%)
	ノート	1.74	1.76	3.00	1.67	-0.19	0 (0%)
	全体	1.77	1.75	2.96	1.72	-0.13	
標準偏差	大型	0.14	0.26	1.22	0.10		
	液晶	0.10	0.12	1.36	0.12		
	ノート	0.11	0.16	0.71	0.10		
	全体	0.11	0.17	1.11	0.12		

差は実空間体験後-実空間体験前・評価向上人数の括弧内は被験者数全体に占める割合

する評価を追加した。実験3では実験2の実空間体験前の評価項目に広さに関する評価項目^{注19)}を追加した。表-1のSD法 (Semantic Differential Method) の項目の評価の段階で下線を引いた部分は、それぞれの項目を二値化した時に「違和感なし」「没入感あり」「楽しい」「有効」「広い」と区分け (以上を本研究では好評価とみなす。表-10参照) した評価段階群である。なお、各評価後に評価をおこなった際の注意点等を自由記述させた。

3. 予備実験 (実験1) の結果

各提示装置と評価項目毎の平均値及び標準偏差に関して、実空間体験後の結果を表-2に示す。実空間体験前の全体的傾向として、提示装置がノートの場合、好評価となる傾向があった。被験者はノートの体感が初めて^{注4)}であり、好評価につながったものと予想される。実空間体験前後の現実感に関する比較を右欄に表示した。実空間の体験前後で現実感の評価が低くなる傾向にあり、特にノート、液晶、大型の順番で評価が低くなる割合が高くなる。全体の傾向として実空間体験後の評価は低いが、現実感の大型に関しては、2人が評価の向上を申告した。没入感に関して、ビデオとVRを比較すると大型のみVRの没入感が低い。また、ビデオの標準偏差は全装置ではほぼ同様となった。広さに関しては既報で得られた知見³⁾と同様、多少狭く感じる傾向にあることがわかった。

予備実験の結果、初めてのVR体感が好評価につながることから、VR映像を提示する装置の提示順序に配慮することの重要性が確認された。また、実空間体験後は全体的に評価が低くなる傾向にあるが、実空間体験前後で標準偏差の傾向に違いが少なく、安定した評価がおこなわれていることから、実空間体験後に実空

間体験前のVR映像を評価することが可能であると判断した。ビデオ映像の没入感に関して、提示装置により評価が異なることから、基準刺激とする場合には注意が必要であることも確認された。

4. 本実験の結果

4.1 実験2

実空間体験前の現実感の評価結果は、最初の刺激を基準刺激（100点相当）としているため、各提示装置毎に基準化係数を求め、その基準化係数にて、その後の申告値を補正した^{注20)}。

4.1.1 実空間体験前の評価

各提示装置と評価項目毎の平均値及び標準偏差に関して、実空間体験前の評価結果を表-3に示す。全体の傾向として、大型、液晶、ノートの順番で好評価である。特に大型と液晶は平均値が近く、ノートのみ評価の値が低い傾向にあることがわかる。標準偏差に関してもノートのばらつきが目立つ。違和感に関しては大型、液晶で非常に違和感がなく、ノートのみどちらとも言えない状況に近かった。没入感に関しても同様の傾向で、大型、液晶が非常に没入感があり、ノートのみどちらとも言えない状況であった。楽しさ・有効性・満足感に関しても同様の傾向が伺える。

4.1.2 実空間体験後の評価

表-4に実空間体験後の評価結果を示す。表の構成は表-2と同様であり、ビデオ没入感に関する評価が存在しない点が異なる。予備実験と同様、現実感に関して、実空間体験後の評価は低くなる傾向にある。没入感に関して、実空間体験前後で評価方法が異なるため、平均値の比較はできないが、標準偏差はほぼ同様の傾向となった。広さに関して、提示装置の違いによって、評価結果が4以上と4未満に分かれた。つまり、大型・液晶は広く、ノートのみ狭く評価する傾向となった。予備実験と比較すると、現実感、没入感は好評価となり、広さに関しては広く感じるという申告が増え、予備実験や従来の知見³⁾と異なる結果となった。

4.2 実験3

表-5に実験3の評価結果を示す。表の構成は表-3と同様である。全体的傾向は実験2（表-3）と同様であるが、値自体は低い。これは実空間体験後の評価であるということから理解することができる。ノートに関して、特に違和感、没入感で境界値（4.0）を超える結果となった。つまり、僅かではあるがノートは違和感があり、没入感もないと申告したこととなる。標準偏差に関して、大型、液晶で違和感・没入感・楽しさ・有効性が実験2よりも大きく、ばらつく結果となった。そして広さに関する申告は表-4と比較して全装置で狭く感じるという申告となり、従来の知見³⁾と同様の結果となった。

4.3 考察

表-6に提示装置の比較をするために、実験2、実験3をまとめて、平均値・標準偏差を整理したものを示す^{注21)}。平均値に関して、広さ以外は実験2、実験3で同様の傾向となった。広さについては、液晶のみ境界値（4.0）を超える結果となり、大型、ノートは狭く感じられる傾向にあることがわかる。次に、表-6に示す評価結果に関して、各被験者の申告の特徴を見るため

表-3 実空間体験前の評価結果（実験2）

提示装置	現実感 (ME法)	違和感 (SD法)	没入感 (SD法)	楽しさ (SD法)	有効性 (SD法)	満足感 (ME法)
平均						
大型	1.96	1.54	6.63	6.50	6.50	1.96
液晶	1.89	1.75	6.17	6.00	6.33	1.92
ノート	1.84	3.17	4.67	5.42	5.58	1.77
全体	1.90	2.15	5.82	5.97	6.14	1.89
標準偏差						
大型	0.13	0.66	0.64	0.67	0.67	0.05
液晶	0.13	0.75	0.58	0.74	0.78	0.04
ノート	0.07	1.70	1.50	1.00	1.24	0.15
全体	0.12	1.32	1.29	0.91	0.99	0.13

表-4 実空間体験後の評価結果（実験2）

提示装置	現実感 (ME法)	没入感 (ME法)	広さ (SD法)	実空間体験前後の比較(現実感)	
				差	評価向上人数
平均					
大型	1.91	1.92	4.67	-0.06	3(25%)
液晶	1.85	1.86	4.33	-0.04	3(25%)
ノート	1.73	1.71	3.67	-0.11	3(25%)
全体	1.83	1.83	4.22	-0.07	
標準偏差					
大型	0.06	0.05	1.07		
液晶	0.07	0.09	0.89		
ノート	0.14	0.17	0.98		
全体	0.12	0.14	1.05		

差は実空間体験後-実空間体験前
評価向上人数の括弧内は被験者数
全体に占める割合

表-5 実空間体験後の評価結果（実験3）

提示装置	現実感 (ME法)	違和感 (SD法)	没入感 (SD法)	楽しさ (SD法)	有効性 (SD法)	満足感 (ME法)	広さ (SD法)
平均							
大型	1.91	3.64	4.93	5.07	5.36	1.89	3.00
液晶	1.89	3.14	4.36	5.21	5.64	1.89	3.89
ノート	1.84	4.43	3.79	4.71	5.21	1.82	3.00
全体	1.88	3.74	4.36	5.00	5.40	1.87	3.30
標準偏差							
大型	0.10	1.65	1.64	1.49	1.55	0.08	1.15
液晶	0.06	1.29	1.28	1.12	1.08	0.06	0.78
ノート	0.08	1.60	1.37	1.49	0.97	0.11	0.87
全体	0.09	1.58	1.48	1.36	1.21	0.09	1.01

表-6 実空間体験前後をまとめた評価結果（実験2・3）

提示装置	現実感 (ME法)	違和感 (SD法)	没入感 (SD法)	楽しさ (SD法)	有効性 (SD法)	満足感 (ME法)	広さ (SD法)
平均							
大型	1.94	2.67	5.71	5.73	5.88	1.92	3.91
液晶	1.89	2.50	5.19	5.58	5.96	1.90	4.14
ノート	1.84	3.85	4.19	5.04	5.38	1.80	3.38
全体	1.89	3.01	5.03	5.45	5.74	1.87	3.81
標準偏差							
大型	0.12	1.65	1.52	1.37	1.34	0.08	1.38
液晶	0.10	1.27	1.36	1.03	1.00	0.05	0.85
ノート	0.08	1.74	1.47	1.31	1.10	0.13	0.97
全体	0.11	1.66	1.57	1.27	1.17	0.11	1.13

表-7 最も高く評価した提示装置の累計（評価項目毎）

評価項目	提示装置		
	大型	液晶	ノート
現実感	16	9	6
違和感	19	17	9
没入感	21	8	4
楽しさ	19	12	7
有効性	18	16	9
満足感	20	10	1
広さ	16	17	8

に、評価項目毎に各被験者が最も高く評価^{注22)}した提示装置の累計を表-7に整理した。この結果もほぼ大型、液晶、ノートの順番となったが、広さに関しては大型よりも液晶を申告した人数が多かった。ただ、満足感・没入感を除き、ノートを最も高く評価する被験者が全体の20%以上おり、自由記述の結果からも同様の傾向が見られた。この理由として、ノートの角度解像度が最も高いことが挙げられる。さらに、没入感についても高く評価する被験者が10%以上おり、広視野効果が少ない中心視野付近だけでも没入感が得られる被験者が存在する可能性が示唆された。

次に表-8に提示装置と実空間体験前後を要因とした分散分析結果を示す^{注23)}。すべての評価項目に関して交互作用はなかつ

表－8 各評価項目毎の分散分析結果
(提示装置と実空間体験前後の比較)
** 1%有意 * 5%有意

要因	現実感	違和感	没入感	楽しさ	有効性	満足感	広さ
提示装置	**	**	**			**	
実空間体験前/後		**	**	**	**		**

表－9 提示装置毎の多重比較結果
** 1%有意 * 5%有意

比較する水準	現実感	違和感	没入感	楽しさ	有効性	満足感	広さ
大型/液晶							
大型/ノート	**	**	**	*		**	
液晶/ノート		**	**			**	*

図－6 現実感の評価結果

図－7 没入感の評価結果

図－8 有効性の評価結果

表－10 t検定による分析結果(実験2・実験3)
人数の()内は広さに関する欠損を考慮した人数 ** 1%有意 * 5%有意

		違和感(SD法)			没入感(SD法)			楽しさ(SD法)			有効性(SD法)			広さ(SD法)		
		ある	なし	判定	ある	なし	判定	楽しい	楽しくない	判定	有効	有効でない	判定	広い	広くない	判定
全体	人数	21(17)	57(47)		53(44)	25(20)		63(51)	15(13)		68(54)	10(10)		(23)	(41)	
	現実感(ME法)	1.82	1.91	**	1.91	1.84	**	1.90	1.83	**	1.89	1.85		1.93	1.85	**
	違和感(SD法)				2.24	4.64	**	2.56	4.87	**	2.79	4.50	**	2.41	3.22	*
	没入感(SD法)	3.48	5.61	**				5.48	3.13	**	5.23	3.70	**	5.76	4.71	**
	楽しさ(SD法)	4.19	5.91	**	5.96	4.32	**				5.72	3.60	**	5.74	5.22	
	有効性(SD法)	4.81	6.09	**	6.11	4.96	**	6.13	4.13	**				6.00	5.51	
	満足感(ME法)	1.76	1.92	**	1.91	1.79	**	1.90	1.77	**	1.89	1.78	**	1.89	1.85	
	広さ(SD法)	3.12	4.06	**	4.00	3.40	*	3.96	3.23	*	3.89	3.40				
大型	人数	6(6)	20(16)		21(17)	5(5)		21(17)	5(5)		22(18)	4(4)		(9)	(13)	
	現実感(ME法)	1.84	1.96	**	1.96	1.82	*	1.95	1.83	*	1.95	1.83	*	1.99	1.90	
	違和感(SD法)				2.02	5.40	*	2.07	5.20	**	2.30	4.75	**	1.72	3.46	**
	没入感(SD法)	3.50	6.38	**				6.21	3.60	**	6.07	3.75	**	6.39	5.08	*
	楽しさ(SD法)	3.67	6.35	**	6.24	3.60	*				6.09	3.75	**	6.22	5.08	*
	有効性(SD法)	4.33	6.35	**	6.33	4.00	*	6.33	4.00	**				6.44	5.38	*
	満足感(ME法)	1.82	1.96	**	1.95	1.80	*	1.95	1.82	**	1.94	1.83	**	1.95	1.89	*
	広さ(SD法)	2.67	4.35	**	4.20	2.60	*	4.29	2.60	**	4.17	2.75	*			
液晶	人数	3(2)	23(19)		19(17)	7(4)		23(18)	3(3)		24(19)	2(2)		(9)	(12)	
	現実感(ME法)	1.86	1.89		1.89	1.88		1.89	1.86		1.89	1.80		1.93	1.85	*
	違和感(SD法)				2.00	3.86	**	2.39	3.33		2.38	4.00	*	2.56	2.08	
	没入感(SD法)	3.33	5.43	**				5.43	3.33	**	5.33	3.50	*	5.56	5.33	
	楽しさ(SD法)	4.67	5.70		5.89	4.71	**				5.79	3.00	**	5.56	5.58	
	有効性(SD法)	5.00	6.09	*	6.16	5.43	*	6.22	4.00	**				6.11	5.75	
	満足感(ME法)	1.87	1.91		1.91	1.88		1.91	1.83	**	1.91	1.86		1.91	1.90	
	広さ(SD法)	4.50	4.11		4.06	4.50		4.11	4.53		4.11	4.50				
ノート	人数	12(9)	14(12)		13(10)	13(11)		19(16)	7(5)		22(17)	4(4)		(5)	(16)	
	現実感(ME法)	1.79	1.88	**	1.84	1.83		1.85	1.81		1.84	1.84		1.84	1.83	
	違和感(SD法)				2.92	4.77	**	3.32	5.29	**	3.73	4.50		3.40	3.88	
	没入感(SD法)	3.50	4.79	*				4.74	2.71	**	4.27	3.75		5.00	3.94	
	楽しさ(SD法)	4.33	5.64	**	5.89	4.38	**				5.27	3.75	*	5.20	5.06	
	有効性(SD法)	5.00	5.71	*	5.89	5.08		5.79	4.29	**				5.00	5.44	
	満足感(ME法)	1.71	1.87	**	1.85	1.74	*	1.83	1.70	*	1.81	1.70		1.76	1.78	
	広さ(SD法)	3.11	3.58		3.40	3.36		3.44	3.20		3.35	3.50				

た。表-8の提示装置に関しては楽しさ、有効性のみ有意差がなかった。つまり、VR体感そのものの楽しさや有効性は装置に依存しないこととなる。提示装置毎の多重比較結果(表-9)によると、すべての評定項目で大型と液晶の有意差はなく、総じて、大型と液晶は提示装置としてはほぼ同類のものであり、ノートのみ特殊な提示装置であると判断できる。また、実空間体験前後では現実感と満足感を除き、すべての評定項目で有意差があらわれた(表-8)。違和感・没入感・楽しさ・有効性に関しては実空間体験前に好評価であり、VR体感そのものを事前におこなうことに意義があることを示唆するものである。

表-8、表-9の分析結果を補足するために図-6に現実感の評定結果をチャートにまとめた。左側が提示装置、右側が実空間体験前後の値である。これらの値は表-3、表-5、表-6から読み取れる。同様に図-7に没入感、図-8に有効性のチャートをしめす。現実感(図-6)に関して、大型、液晶、ノートの順番で評価は下がり、特に大型とノートの差が顕著であった(表-9参照)。実空間体験前後の差は見られなかった(表-8参照)。没入感(図-7)に関しては大型と液晶の有意差がない状況が確認できる(表-9参照)。有効性(図-8)に関しては提示装置の有意差はなく、実空間体験前後の有意差があらわれた(表-8参照)。図-7、図-8では境界値(4.0)以上が好評価であり、平均値に関しては、ここにしめた全提示装置、実空間体験前後ともに好評価に分類できる。本報で採用した評定項目は、図-6～図-8に現われた3種類のチャートのパターンにすべて分類される^{注24)}。現実感・満足感が図-6のパターン、没入感・違和感が図-7のパターン、楽しさ・有効性・広さが図-8のパターンである。つまり、現実感・満足感は提示装置の違いの影響を受け、実空間体験前後の影響を受けない。没入感・違和感は提示装置の違いの影響を受け、実空間体験前後の影響も受ける。楽しさ・有効性・広さは提示装置の違いの影響を受けず、実空間体験前後の影響を受けることがわかる。現実感、没入感に関して、実空間体験前後で有意差がなくなることが、理想的なVR装置であると筆者らは考えており、現状のシステムでは没入感のさらなる改善の余地があることをしめす結果と言える。

次に違和感・没入感・楽しさ・有効性・広さの観点から被験者を好評価群・非好評価群にグループ化し、各提示装置に対する各評定項目の平均値とt検定の結果を表-10にしめす。表内の数値は各グループの人数とグループ毎の評定項目の平均値をしめす。また、陰影でその平均値が好評価に対応するものを区別する。全体傾向として、評価が二極化する傾向にある。つまり、有効性を例に大型に関して検討すると、有効であると申告した被験者は現実感・没入感・楽しさ・満足感・広さの評価が高く、逆に有効でないと申告した被験者は評価が低い傾向となる。そして大型に比較して、液晶では有意差のあらわれる評定項目が少ないことから、液晶は評価がばらつかない提示装置であることがわかった。ノートに関しては、違和感、没入感で人数がほぼ均衡することから、提示装置としての評価が二分するものであるといえる。また、陰影で区別された好評価の項目が、グループ化に使用した評定項目の好評価側に位置する^{注25)}ことから、二極化の傾向が伺える。

5. 結

大型プロジェクタ・液晶テレビ・ノートパソコンと水平視野角の異なる提示装置を使用して、現実感・没入感・設計ツールとしての有効性等を評定した被験者実験に関して報告した。各評定項目毎に検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) すべての評定項目で大型プロジェクタの評価が高い。
- (2) 実空間体験後、全装置で評価が低下する傾向にあるが、好評価から非好評価へと逆転するものではなかった。また、大型プロジェクタの評価の低下割合が最も小さく、ノートパソコンの評価の低下割合が最も大きかった。
- (3) 被験者個別に評価を確認すると、水平視野角の小さいノートパソコンであっても没入感があると評価する被験者も存在することから、中心視野付近への映像提示で没入感を得られる可能性が指摘された。
- (4) 全体傾向として、評価が二極化する傾向にあり、例えば設計ツールとして有効と評定する被験者は、現実感・没入感の評価が高く、逆に設計ツールとして有効でないと評定する被験者は、現実感・没入感の評価が低い傾向にあることがわかった。

本報では水平視野角に着目し、3種類の提示装置を採用したが、水平視野角が100度を超える提示装置では、さらに没入感等が向上する可能性があり⁹⁾、これは本報では取り上げなかった、被験者自身の能動的な動き(首振りや映像操作等)により、さらなる没入感を生むためと考えられ、今後の検討課題である。

謝辞

実験に際しまして、文化女子大学 造形学部長 沢田知子教授、住環境学科建築デザイン研究室並びに学部学生の方々の御協力を得ました。記して深く謝意を表します。

注記

- 1) 本報で取り扱うVR技術とは、立体視による3次元CGで空間が構築され、その仮想空間内を体験者が自由に歩き回ることを可能にするものである。設計段階での活用を想定しているが、実写映像では3次元空間を構築することができないため、CGの活用が不可欠となる。また、本システムでは実空間のイメージに近づけるために、ウォークスルー機能は必要不可欠と考えている。
- 2) TV画面やパソコン画面で長時間の映像体感をおこなう際に、明らかに水平視野角の乏しい状況でも、没入感を得られるといった体感がある。これは、中心視野を中心とした狭領域に視点を長時間集中すれば、周辺視野の影響が排除され、その結果、水平視野角が狭くても没入感が得られる現象と考えられる。
- 3) 筆者らが開発したシステムは同じ映像を、異なった提示装置で仮想体感可能である。本論文では提示装置として既報3)にて使用した大型プロジェクタに対し、急速に普及し始めている液晶テレビと高性能化が進むノートパソコンを採用した。また、物を見る際の中心視野が約30度、広視野効果が約60度から80度付近¹⁰⁾であると言われていることから、CABINやHMDのような水平視野角100度以上の没入型システムは、今回の実験では対象外とした。
- 4) 予備実験は別途住環境再現に関する評定実験の被験者を転用したため、VR映像体感時間が長時間に及ぶこともあり提示装置を1種類に限定した。なお、環境再現評価実験は予備実験の被験者全員が同様の体感をおこなっており、本報告での評価への影響は実験1の範囲内では均等であると判断した。ただし、環境再現評価実験では大型プロジェクタと液晶テレビを使用しており、ノートパソコンでの体感は初めてとなる被験者が存在し、これが評定結果に及ぼす影響があり、実空間体験前の評定結果の詳細検討は割愛した。

5) 実験2、実験3の評定結果をまとめるために、基準刺激の取り扱いに関して配慮した。実験1ではビデオ映像を基準刺激としたが、予備実験における没入感の評定結果よりビデオ映像は提示装置が異なる場合に使用が難しいと判断できる。また、別途提示装置を準備し、そこでのVR映像を基準とした場合でも、その装置の特性を把握するための予備実験が必要となることから、煩雑さを避けるために、実験2ではビデオ映像ではなく最初に体感した刺激を基準刺激とした。

6) 実験1で提示装置毎に体感した被験者数は、大型プロジェクタが5名、液晶テレビが8名、ノートパソコンが5名である。実験2、実験3に関して装置の提示順序を表1に整理した。ここで、ID-6の被験者が当日体調不良のため不参加であったため、分析データのバランスを確保する目的でID-25~27の被験者を追加した。

7) システムの概要は既報1)による。スクリーンサイズは幅2.4m×高さ1.8m(実際にはスクリーンを傾斜させているため有効高さ約1.6m)で画面中心から約1.7m離れた位置で体感をおこなった。また、表示解像度は横1024×縦768ピクセルである。立体視は、右目、左目映像を交互に表示(48回/秒)する際に偏光し、偏光メガネを着用した体験者が時間的な遅れを伴った右目、左目映像として観察することで実現される。偏光メガネの透過率は約34%である。

8) システムの概要は既報2)による。テレビ画面サイズは幅0.62m×高さ0.37mで画面中心から約0.9m離れた位置で体感をおこなった。また、表示解像度は大型プロジェクタと同様の横1024×縦768ピクセルである。立体視は、右目、左目映像を垂直方向に1ピクセル毎に表示し、特殊なフィルムで右目、左目映像を偏光し、偏光メガネを着用した体験者が右目、左目映像を観察することで実現される。

9) システムの概要は液晶テレビと同様のものであり、モニタ画面サイズのみ15インチと小さくなっている。モニタ画面サイズは幅0.3m×高さ0.22mで画面中心から約0.6m離れた位置で体感をおこなった。また、表示解像度は他の提示装置とは異なり横1600×縦1200ピクセルである。

10) 角度解像度は平面スクリーンの場合、中心から離れた際の誤差が大きくなるが、中心視野付近では適用できるものと判断した。因みにノートの水平視野角である28度で各装置が表示できるピクセル数は、大型409、液晶753、ノート1600となる。

11) 各提示装置毎に多少更新レートが異なる。大型プロジェクタが30Hz、液晶テレビ、ノートパソコンが25~30Hzである。また白画像を用いた場合の画面中心の輝度値は、偏光メガネを介さずに、大型プロジェクタが80cd/m²(四周平均0.2cd/m²)、液晶テレビが152cd/m²(四周平均148cd/m²)、ノートパソコンが49cd/m²(四周平均38cd/m²)である。このように表示解像度も含め、提示装置毎に性能が異なる状況ではあるが、性能を統一することは現実的ではなく、提示装置が保有する性質として本研究では取り扱った。

12) 桜上水駅前住宅展示場内の大成建設(株)モデルハウス。

13) 居間を対象空間とした理由は、ひとつの室内ではあるが、キッチン、畳コーナー、階段と住宅特有の空間構成となっており、短い時間のウォークスルーで住宅の代表的な体感が可能と考えたからである。また、吹き抜けや勾配天井といった建物の構造に特徴があるため、室内のウォークスルーによって空間容積や遠近感が常に変化することで、被験者が興味を維持できると判断した点も採用理由のひとつである。

14) 本実験でのウォークスルーは、経路を固定し被験者に提示する映像も実験者が設定し、被験者は自由に操作することはできない。このウォークスルーを採用した理由は、システムの運用段階で操作を体験者自身がおこなうことが少なく、また操作自体が評定に及ぼす影響を排除するためである。

15) ビデオ映像は水平視野角を確保する目的でセミフィッシュアイレンズを使用し、撮影時には動揺の少ないように配慮した。また、体感時には偏光メガネは未着用とした。

付表-1

ID	提示する装置の順番			実空間体験
	1	2	3	
1	大型	ノート	液晶	前
2	液晶	大型	ノート	
3	ノート	液晶	大型	
4	大型	液晶	ノート	後
5	ノート	大型	液晶	
6	液晶	ノート	大型	
7	液晶	大型	ノート	前
8	ノート	液晶	大型	
9	大型	ノート	液晶	
10	液晶	ノート	大型	後
11	大型	液晶	ノート	
12	ノート	大型	液晶	
13	ノート	液晶	大型	前
14	大型	ノート	液晶	
15	液晶	大型	ノート	
16	ノート	大型	液晶	後
17	液晶	ノート	大型	
18	大型	液晶	ノート	
19	ノート	大型	液晶	前
20	液晶	ノート	大型	
21	大型	液晶	ノート	
22	ノート	液晶	大型	後
23	大型	ノート	液晶	
24	液晶	大型	ノート	
25	大型	液晶	ノート	後
26	ノート	大型	液晶	
27	液晶	ノート	大型	

16) 本システムでは照明計算にはラジオシティ法を採用したLightscape3.1を使用している。人工照明に関しては配光曲線を定義し、直達光・天空光に関してはLightscapeの設定を使用した。また、光の反射に関しては、部材毎の反射率を定義し、拡散反射のみを考慮した。ただ、現状のラジオシティ法では解析精度とデータ量はトレードオフの関係にあり、特に昼光計算ではデータ量圧縮の観点から精度を低くする必要があるため、昼光の再現性も十分とは言えず、レイトレーシング法の導入も含めて今後の課題と言える。

17) 満足感は「VR映像自体の満足感」と教示した。

18) 没入感は「映像の中に入り込み、映像と一体化する感覚」と教示した。

19) 広さに関するデータは被験者の記入漏れによる欠損があった。欠損は実験3で各装置毎に4ヶ、合計12データである。

20) 最初に体感した各提示装置毎の平均値を求め、大型の平均値を1とした時の液晶、ノートの値の比率を基準化係数とした。各被験者の申告値(生データ)と最初に体感した提示装置の基準化係数の積を最終的な申告値(換算値)として分析に使用した。因みに、大型の基準化係数は1.0、液晶は0.818、ノートは0.727である。計算手順の例を表2に示す。

付表-2

ID	提示する装置の順番 (基準刺激)			補正対象 とした装置	申告値	計算	結果
2	液晶	大型	ノート	大型	200	200.0×0.818	163.60
2	液晶	大型	ノート	ノート	80	80.0×0.818	65.44
3	ノート	液晶	大型	液晶	70	70.0×0.727	50.89

21) 表3と表5を平均化したものに相当する。この操作により、各提示装置毎

のデータ数を増やし、以降の分析の精度向上を図った。実験2に関しては現実感のみ基準刺激の問題があり、実験3に関しては実空間体験後ということで、評価結果が低くなる傾向にある。しかし、最終的に本システムを運用する場合は実空間を体験しないことから、評価が低くなることを前提にこの操作をおこなった。

22) 平均値では判断できない個人的な評価の傾向を把握する目的で集計した。集計に当たり、装置間で同じ値の場合は両方集計に加えた。

23) 広さに関しては、実験2では実空間体験後に実空間体験前のVR体感を評価させた(実験3では実空間体験後のVR体感の評価になっている)。

24) 広さに関してのみ液晶とノートの有意差があらわれるというチャートのパターンとなるが、提示装置で有意差がある傾向は有効性と楽しさに近いものと判断する。

25) 液晶における広さの評定項目において多少の逆転現象はみられるが、その差は僅かであることから、本文中の表現とした。

参考文献

- 1) 小野浩史他:「仮想住環境シミュレーションシステムの開発」日本建築学会技術報告集, 第14号, pp. 171-176, 2001
- 2) 小野浩史他:「集合住宅仮想体感システムの開発」日本建築学会技術報告集, 第18号, pp. 393-398, 2003
- 3) 吉澤望他:「バーチャルリアリティを用いた住環境呈示システムにおける実空間再現性の検討」日本建築学会計画系論文集, No. 550, pp. 87-93, 2001
- 4) 鄭在熙他:「バーチャルリアリティを用いた街路景観の移行変化と評価に関する研究」日本建築学会計画系論文集, No. 503, pp. 163-169, 1998
- 5) 大野隆造他:「バーチャルリアリティによる無重力環境における空間認識に関する研究」日本建築学会計画系論文集, No. 558, pp. 71-78, 2002
- 6) 大野隆造他:「没入型ディスプレイを用いた視環境シミュレーションによる街路空間の圧迫感軽減手法の検討」日本バーチャルリアリティ学会第8次大会論文集, pp. 61-64, 2003
- 7) 廣瀬通孝他:「異種VRシステムの統合によるスケーラブルVRに関する研究」日本バーチャルリアリティ学会第7次大会論文集, pp. 417-420, 2002
- 8) 田辺新一他:「光環境設計・評価システムの開発 その3ヘッドマウントディスプレイ(HMD)と模型・実空間との比較」日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1分冊, pp. 481-482, 2001
- 9) 岩田洋夫他:「広視野映像の空間知覚への影響」日本バーチャルリアリティ学会第7次大会論文集, pp. 303-306, 2001
- 10) 畑田豊彦:「視野効果による人工現実感」精密工学会誌, Vol. 57, No. 8, pp. 22-26, 1991

(2003年11月10日原稿受理, 2004年5月26日採用決定)