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

被験者実験による明るさ感, 空間の大きさ感, 寸法感, 現実感の検証

A STUDY ON THE REPRODUCTION OF THE ACTUAL SPACE ON THE VIRTUAL SIMULATION SYSTEM FOR THE RESIDENTIAL ENVIRONMENT

The evaluation on brightness, space and length perception and a sense of reality

吉沢 望*, 稲本 淳平**, 平手 小太郎***, 大山 能永****, 小野 浩史****

Nozomu YOSHIZAWA, Junpei INAMOTO, Kotaroh HIRATE,

Yoshie OYAMA and Koji ONO

This paper focused on the reliability of the virtual simulation system for the residential environment evaluation. Through the comparative experiments between virtual and actual space, brightness perception, space perception, length perception and a sense of reality were examined.

In the virtual space the height and the width were well reproduced, while the depth could not be perceived so precisely. A sense of reality was influenced by the level of modeling and the way of texture mapping, and it was found out that the level of modeling does not need to be unlimitedly raised up to get a high degree of reality.

keywords : *Virtual reality, Stereo-scope, Residential environment, Brightness perception, Space perception, A sense of reality*

バーチャルリアリティ、立体視、住環境、明るさ感、大きさ感、現実感

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

近年建築分野においても、バーチャルリアリティ（以下 VR）が新たな空間呈示手法として注目を集めつつある。従来の 2 次元媒体（印刷物、平面映像）による呈示と較べてより現実に近い体験ができること、CAD で作成したデータを利用することにより比較的安価かつ迅速に様々な空間が体験可能になることなどから、特に設計プロセス・施主へのプレゼンテーション・研究開発段階などにおいてその価値が認められつつあるといえよう。ただ現在は以下の点が実際の運用上大きな足枷となっている。一つは VR システムの実空間再現性の程度（実空間と本質的に同様な効果をどの程度与えるか）が分からないため、VR 空間上で得られた評定値を実空間上で問題なく利用できるのか判断がつかないこと、二つ目は目的に合った再現性が得られるならばコストや時間との兼ね合いから VR 画像の精度つまりデータ容量は落とす必要があるが、そのための VR 空間作成時のパラメータと実空間再現性との関係が明らかではないことである。本研究では以上の問題を解決するための第一歩として、立体視映像を利用した呈示システムを用い、その実空間の再現性を被験者実験によって検討し基礎的データの収集を行った。

1.2 既往研究に関して

館ら¹⁾によればバーチャルリアリティとは、実体そのものではないが本質的あるいは効果として実体であるものと定義され、現在は 3 次元の空間性、実時間の相互作用、自己投射性^{注 1)}の 3 要素が特に重要とされる。またバーチャルさを意味する評価語としては現実感・臨場感・存在感が挙げられている。本研究のシステムはそのうち 3 次元の空間性のみを再現したものであり、実空間再現性を評価するにあたっては、「現実感」を尺度として利用した。

実空間再現性を検討した研究としては、近江ら²⁾が「臨場感」を平面映像と広視野立体映像間で SD 法を用いて比較した例があり、立体映像の方が臨場感が高くなることが示され、さらに続く研究では自己運動感覚を臨場感の客観的指標とすることを提案している。立体映像における奥行き感に関する研究は、石樽ら³⁾が所謂「画枠ひずみ」^{注 2)}の解消を検討したものなどがある。いずれにせよ奥行き感視覚特性の中でも特に複雑な仕組みをもち、決定的な知見は得られていない。

以上の研究はいずれも心理学・情報工学分野からのアプローチであり、実際に建築分野で VR による空間評価結果を活用するために、

* イメージ情報科学研究所 研究員・博士(工学)

** 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
博士 1 年・修士(工学)

*** 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 助教授・工博

**** 大成建設技術センター建築技術研究所 研究員・工修

Researcher, Laboratories of Image Information Science and Technology, Dr. Eng.
Dept. of Architecture, Grad. Sch. of Engineering, the Univ. of Tokyo, M. Eng.Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Grad. Sch. of Engineering, the Univ. of Tokyo,
Dr. Eng.

Researcher, Taisei Corporation/Taisei Research Institute, M. Eng.

3.1 実験方法

CGの精度に影響を与える4因子は、それぞれ最高水準に設定し(表1参照)^{注5)}、VR空間の明るさは、CG作成ソフト上でのシーリングライトの光束値の設定により「暗」(750lm)－「中」(1500lm)－「明」(3000lm)の3水準を用意した。なおCG作成ソフト上での照明計算結果によるセンターテーブル上水平面照度の値は表2のようになった。

表2. 照明計算結果によるセンターテーブル上の水平面照度

明るさパターン	暗	中	明
照度値	125 [lx]	250 [lx]	500 [lx]

実験は標準刺激をVR空間、比較刺激を実空間とした調整法を用いた^{注6)}。各明るさパターンのVR空間に対して、「同じだと感じられる明るさ」になるよう実空間の照明を手元の調光器で調整させた。各被験者の実験回数は、明るさ3パターンごとに上昇・下降系列を各2回ずつ計12回とした。上昇系列においてはセンターテーブル上水平面照度1.0 [lx]の状態、下降系列においては260 [lx]の状態から調整を開始させた。被験者は健康な視機能を有する建築系学生10名である。なお被験者には実験開始前にスクリーンに何も表示していない状態の薄暗いVR実験室内に10分間静座させ暗順応させた^{注7)}。

調整後の実空間の明るさは、センターテーブル上の照度を測定することにより記録した。また実験終了後被験者にはどこに着目して明るさを調整したのかを記述させた。

3.2 実験結果

3.2.1 照度値の測定結果

各明るさパターンにおける上昇・下降系列の調整後の実空間内のセンターテーブル上の水平面照度値を被験者ごとに測定した。以下、下降系列における測定値を「上限値」、上昇系列における測定値を「下限値」、上限値と下限値の平均値を「判断値」と呼ぶ。全被験者の結果を平均した値を図3に示す。

図3. 実空間のセンターテーブル上の水平面照度

実空間の照度は、対応する照明計算結果(表2)に比べ小さい値であるが、照明計算結果通りにパターン「暗」「中」「明」の順に2倍になっている。

3.2.2 輝度値の測定結果^{注8)}

VR空間では表示可能な輝度レンジが狭く輝度分布が実空間と異なって示される。特に画面周辺部の輝度が落ち、かつ照明(蛍光灯)部の輝度が十分に得られない^{注9)}。実験後の被験者の記述によるとその大多数は画面中央スクリーン及び壁を基準に調整を行ったことが

明らかになったため、正面壁の輝度値(計8カ所の平均値)での比較検討を行った^{注10)}。結果を図4に示す。

実空間の方がVR空間よりも高輝度に設定されたこと、VR空間上の輝度が照明計算結果通りにパターン「暗」「中」「明」の順に2倍になってはいないにも関わらず、実空間においては2倍になっているように調整されたことが読みとれる。

図4. 明るさパターン「暗」「中」「明」の正面壁平均輝度

3.3 考察

実空間における照度値(センターテーブル上水平面照度の実測値)と輝度値(正面壁平均輝度の実測値)は、明るさパターン「暗」「中」「明」の順にほぼ2倍になった。これはCG作成時にセンターテーブル上の水平面照度の計算値が、明るさパターン「暗」「中」「明」の順に2倍になっていたのと同様の結果である。しかしながらVR空間における輝度値(正面壁平均輝度の実測値)は、実空間における輝度値に較べると低く、また明るさパターン「暗」「中」「明」の順に2倍になっていなかった。VR空間の方が輝度値が低かった理由としては、正面壁を見た場合の明るさ感が周辺視野部分とのコントラストに左右され、VR空間の周辺視野部分(表示画像周辺のVR実験室)が極端に暗かったため、VR空間の正面壁輝度値が実空間より低くても両空間が同じ明るさを感じられた可能性などが考えられる。しかしながら明るさ感と輝度値の関係に関しては今後さらなる検討が必要と思われる。なお以降の実験においては、VR空間の明るさ設定は明るさパターン「明」とし、実空間ではセンターテーブルが置かれていた地点の水平面照度値を45.3 [lx]に設定した^{注11)}。

4. 実験2：空間の大きさ感の検証

本VRシステムでは見かけの視野角が実空間と同じになることが保証されているが、実際のVR空間の奥を見る場合などは、輻輳などの影響から大きさ感が若干ずれる可能性が考えられる。従って高さ・幅・奥行き3因子を取り上げ、大きさの再現性を検証するVR空間と実空間の比較実験を行った。

4.1 実験空間

空間の大きさ感を判断する際に余計な手がかりを与えないようにするため、ソファ・ローテーブルなどのオブジェクトは省いた。

4.2 実験方法

標準刺激を実空間、比較刺激をVR空間とする極限法を用いた。VR空間の高さ及び幅は実際の長さから最大±15cm、5cm刻みで計7段階変化させ^{注12)}、奥行きは被験者から正面壁までの距離を実際の長さから最大±30cm、10cm刻みで計7段階変化させたものを用意した。各被験者は高さ・幅・奥行き別に上昇・下降系列各2回ずつ、合計12回の実験を繰り返した。被験者にはまず実空間を呈示し、その

後に VR 実験室に移らせ、上昇・下降系列で示される VR 空間に対して「低い/同じ/高い」「狭い/同じ/広い」「近い/同じ/遠い」で各大きさを判断させた。実験終了後は判断の根拠としたことを記述させている。被験者は健康な視機能を有する建築系学生 10 名である。

4.3 実験結果

被験者の判断が変化した前後の 2 つの刺激の平均値をその系列の測定値とし、以下、下降系列における測定値を「上限値」、上昇系列における測定値を「下限値」、被験者ごとの上限値と下限値の平均値を「判断値」とした。なお判断値は実際の長さからの増減値で示される。高さ、幅、奥行きそれぞれの、全被験者の判断値の平均、及び上下限値の各平均値を図 5 に示す。

図 5. 判断値及び上下限値の平均

4.3.1 高さ

判断値の被験者全体の平均値は、-0.25cm、上下限値の平均値の差は 13cm であった。込山らの研究において実空間における高さ判断の精度は $\pm 2\%$ 程度、つまり実空間においても高さ判断のずれは $\pm 2\%$ 程度は認められるという結果が得られているが、上下限値の差が判断の精度を表していると捉えると、その値は全体の高さに対しては 4.6% (仮に判断値は「0」になると仮定した場合でも、実際の高さに対して約 $\pm 2.3\%$) 程度であり、ほぼ実空間と同様な高さ感が VR 空間上でも再現されているといえよう。

4.3.2 幅

判断値の平均は 2.3cm、上下限値の平均値の差は 19cm であった。判断値の平均を見ると、VR 空間上ではやや部屋が狭く感じられている傾向が示されたといえる。ただ上下限値の差は全体の横幅に対しては 6.1% (仮に判断値は「0」になると仮定した場合は、実際の幅に対して -2.3% ~ 3.8%) 程度の値であり、小林の研究の実空間における幅判断の精度 (1 辺の 1/10 ~ 1/20 程度) と比較しても、ほぼ実空間と同様な幅感覚が VR 空間上で再現されているといえよう。

4.3.3 奥行き

判断値の平均は 4.8cm で、VR 空間上では部屋が狭く感じられている傾向を示す。ただし上下限値の平均値の差は 38cm (視点位置からの正面壁までの奥行きの長さに対しては 8% 程度の値) であり、判断の精度は「高さ」「幅」に較べると落ちる。被験者の自由記述からも奥行きは分かりにくいという指摘が多く、奥行きの判断が難しいことを示している。

4.4 考察

空間の大きさ感の判断には何らかの基準を使っていたことが被験者の自由記述から示された。高さに関しては、天井とロールスクリーンの間隔、幅に関しては横壁とロールスクリーンの間隔を判断基準に挙げていた被験者が多く、幅の場合の方が判断基準となる間隔(横

壁とロールスクリーン間)が 1m 以上と長かったため、高さの場合に較べるとより判断がばらついたものと思われる。

奥行き感に関しては、VR 空間では実際の目の焦点はスクリーン上に合っているため、空間の奥を見ている場合でも輻輳や水晶体調節の影響で近くのものを見ている感覚が生じ、実空間に較べると狭く感じられる傾向が見られたと考えられよう。

5. 実験 3 : 寸法感の検証

廊下やドアの幅、物と物の間の距離の判断などは実際の住環境を評価する上で重要な項目である。空間の大きさ感の実験では被験者は正面壁で判断を行っていたが、実験 3 では空間内の様々な場所に判断対象となる棒を設置し、それぞれの場所で長さが正しく再現されているかどうか検証を行った。

5.1 実験空間

実験 3 と同じくオブジェクトを省いた空間を用意し長さ 90cm の棒を床上高さ 110cm (被験者視点高さ) に天井から吊り下げた^{注 13)}。棒の設置位置及び実空間の平面図を図 6 に示す。実空間及び VR 空間の視点を基準にそこから奥側 150cm (視点からスクリーン上までの距離) ポイントを中心にして、手前に 25cm 刻み、奥に 100cm 刻みとなっている。

図 6. 寸法感実験平面図及び棒位置

5.2 実験方法

標準刺激を実空間、比較刺激を VR 空間とする極限法を用いた。VR 空間では各棒位置ごとに、棒の長さを最大 ± 20 cm、5cm ごと 11 段階に順に変化させて呈示した。被験者にはまず実空間で棒を呈示し、その後に VR 実験室に移らせ、上昇及び下降系列で示される VR 空間に対して「短い - 同じ - 長い」で棒の長さを判断させた。実験終了後は長さ判断の際に基準としたことを記述させた。被験者は 20 ~ 30 歳の健康な視機能を有する建築系一般人 10 名である。

5.3 実験結果

4.3 の手順と同じく、「上限値」、「下限値」、「判断値」を求めた。なお判断値は棒長さ 90cm からの増減値で示す。

図 7 に棒位置ごとの判断値の要約値を示す^{注 14)}。

図7. 棒位置ごとの判断値

棒位置2C,3C,4C及び3R,4R,5Rにおいては判断値の中央値が実寸法0cmに近い。特に棒位置4C,4R,5Rに関しては4分位差も5cm程度と小さく、視点からの距離150cmにおいては画面左右に関わらず、寸法の再現はかなり正確にされていると結論づけられよう。一方棒位置1C,5C,6C,6Rといった手前あるいは奥位置に関しては寸法再現の正確さに関してさらなる検討が必要と言えよう。

次に4分位差に関しては、被験者からの距離150cmよりも奥において値が小さく、逆に距離150cmよりも手前になるほどその差が大きくなっている。被験者の実験後の記述には手前の棒の長さ判断に迷ったという指摘があり、被験者に近い位置の寸法判断が困難であったことが窺える。

寸法判断がほぼ正確になされていた棒位置2C,3C,4C及び3R,4R,5R地点における棒の寸法の区間推定を行った結果を図8に示す。判断値の平均値は1.0cmであった。判断値の母平均を0cmとする帰無仮説は危険率5%でも棄却されなかった。

図8. 棒の寸法の区間推定 (棒位置 2C,3C,4C,3R,4R,5R)

5.4 考察

空間中央においては、VR空間においてもほぼ実空間と同じ寸法判断がなされていたが、空間奥及び手前においては寸法判断のぶれが大きくなった。また全体の傾向としてはVR空間においては寸法がやや短めに認識されることが明らかとなった。

6. 実験4：現実感の検証

実験4では評定尺度として現実感と類似度^{注15)}を取り上げて、VRシステムの実空間再現性の検討を行った。CG作成上の設定項目(4因子)の精度が現実感に与える影響を検討し、運用上の設定値を求めることを目的とし、実空間とVR空間の比較実験を行った。

6.1 実験空間

マッピング手法などによる見た目の違いを際立たせるためソファーには緑地白色花柄のカバーを掛け、メッシュ分割などによる陰影の差を明確にするためフロアスタンドも点灯した。図9に実空間の写真を示す。

6.2 実験方法

4因子3水準から実験計画法に基づき27パターンのVR空間を作成し被験者に提示した^{注16)}。図10が各因子最低水準、図11が各因子最高水準のCG画像である。

標準刺激を実空間、比較刺激をVR空間とするマグニチュード推定法を用いた。「実空間の現実感を100とした時のVR空間の現実感」「実空間を100とした時のVR空間の類似度」をそれぞれ正の数字で評定させた。被験者にはまず実空間を提示し、続いてVR実験室でVR空間の評定を行わせた。これをパターン毎に繰り返した。実験終了後は判断の理由を記述させている。被験者は健常な視機能を有する建築系学生10名である。

6.3 実験結果^{注17)}

現実感・類似度の常用対数を取り分散分析を行った。

6.3.1 現実感

表3から、現実感においては、[モデリング精度]因子が主効果として現れ、各因子間の交互作用は見られない。図12に[モデリング精度]因子の水準ごとの現実感の変化を示す。

6.3.2 類似度

類似度では、[マッピング手法]因子と、[モデリング精度]因子が主効果として現れた(表4)。図13に[マッピング手法]因子の水準ごとの類似度の変化を示す。

6.4 考察

各因子の現実感と類似度への影響は、類似度の場合のみ[マッピング手法]因子において有意差が検出されたが、現実感においても[マッピング手法]因子のF値が大きめであることを考慮に入れば、ほぼ似た傾向を示したと言える。従って今回被験者は、実空間との

図9 実験4:実空間写真

図10 実験4:CG画像 最低水準

図11 実験4:CG画像 最高水準

表 3. 現実感：分散分析結果

要因	平方和	自由度	V	F 値	判定
A: テクスチャ画像容量	1.2×10^{-3}	2	6.2×10^{-4}	0.98	
B: マッピング手法	3.9×10^{-3}	2	2.0×10^{-3}	3.1	
C: モデリング精度	3.2×10^{-2}	2	1.6×10^{-2}	25	*
D: メッシュ分割精度	1.5×10^{-3}	2	7.4×10^{-4}	1.2	
A × C	5.2×10^{-3}	4	1.3×10^{-3}	2.0	
B × C	4.4×10^{-3}	4	1.1×10^{-3}	1.7	
D × C	2.1×10^{-3}	4	5.2×10^{-4}	0.81	
e	3.8×10^{-3}	6	6.4×10^{-4}	1.0	

**1% 有意 *5% 有意

図 12. 現実感：[モデリング精度] 因子の影響

類似関係との中で現実感を判断したものと想定して、分析を行っても構わないであろう。

現実感（及び類似度）では形状のモデリング精度が強く影響していた。モデリング精度が水準 1 から水準 2 に上がるにつれ現実感の評価値も上がったが、水準 2 と水準 3 の間には有意差がない。従って形状のデータを水準 2 以上に上げても効果は薄く、必要以上にポリゴン数を上げて実空間の再現レベルが上がるわけではないことが示されたと言えよう。

マッピング手法に関してはその水準が高いほど現実感・類似度ともに良くなっていると判断できる。

[テクスチャ画像容量] 因子、[メッシュ分割精度] 因子の効果は全く現れていない。テクスチャ画像容量に関しては画面の見た目の鮮明さを左右すると思われるが、スクリーンの材質の荒さなども相まってあまり影響が出なかったものと推定されよう。

表 4. 類似度：分散分析結果

要因	平方和	自由度	V	F 値	判定
A: テクスチャ画像容量	1.4×10^{-3}	2	7.4×10^{-4}	0.73	
B: マッピング手法	1.8×10^{-2}	2	8.9×10^{-3}	8.7	*
C: モデリング精度	3.6×10^{-2}	2	1.8×10^{-2}	18	**
D: メッシュ分割精度	1.0×10^{-3}	2	5.0×10^{-4}	0.49	
A × C	3.8×10^{-3}	4	9.4×10^{-4}	0.92	
B × C	7.9×10^{-3}	4	2.0×10^{-3}	1.9	
D × C	6.8×10^{-3}	4	1.7×10^{-3}	1.7	
e	6.1×10^{-3}	6	1.0×10^{-3}	1.0	

**1% 有意 *5% 有意

図 13. 類似度：[マッピング手法] 因子の影響

7. まとめ

1) 立体視映像による VR 空間での高さ・幅の判断値の精度は、実空間での大きさ感把握の精度範囲内に収まっており、若干 VR 空間は小さめに捉えられる傾向は見られるとはいえ、再現性はあると言える。

2) 寸法感も対象空間中央部ではその再現性に問題はないが、VR 空間の奥及び手前ではぶれるので注意が必要である。立体視映像では画枠ずれや奥行き感と絡み避けがたい問題であり、よって被呈示者に寸法を判断させる場合は空間中央に対象物を設置するなどの注意が実際の運用上は必要となろう。

3) 両眼視差によるシステムの奥行き感に関しては若干の留意が必要である。今回の結果からはやや奥行きが狭く感じられる傾向が見られた。

4) 現実感を左右する CG 画像作成上の設定要因に関して、現実感に影響を及ぼしたのは、モデリング精度（及びマッピング手法）であった。特にモデリング精度を上げていくとある点においてそれ以上現実感の増さない飽和点が存在することが明らかになった。テクスチャ画像容量は画面の精細度に影響を与えるが、現在の呈示画像の画面品質レベルでは、今回の水準設定の違いを十全に表現しきれなかったのではないかと予想される。

以上から現在の立体視映像による VR システムを住環境スケールの空間呈示に用いる上では、モデリング精度及びマッピング手法に気をつければ現状で望みうる中では最もレベルの高い実空間再現性を確保することができるという知見が得られた。

今後はさらに動画の呈示など、静止画立体視映像から一步踏み込んだ呈示手法を検討していく予定である。それに伴い特に奥行き感の改善を図る必要があろう。

8. 謝辞

実験に際しまして大成建設（株）住宅事業本部のご協力を得たことをここに記し感謝の意を表します。

注記

- 「3次元の空間性」：立体的な視空間のこと、「実時間の相互作用」：実時間にコンピュータの生成した空間が人間の動きにより改変されること、「自己投射性」：コンピュータの生成した空間内に自己の身体を有すること
- 立体画像の画面手前に表示された物体が画枠付近で画枠に引きこまれるように奥行き方向にひずんで知覚される現象
- 対象物の見かけ上の視野角が実空間と VR 空間で等しくなるようにシステムが調整されており、この点で実寸表示を謳っている。
- [テクスチャ画像容量]
テクスチャマッピング用画像は、実空間のテクスチャを写真撮影したものを利用。画像の情報量が多いほど、テクスチャはきめ細かく表示され、データ容量は増加する。ピクセル（=画素）は、ディスプレイ上で独立処理が可能な画像の最小要素のこと。

[マッピング手法]

水準1及び2はLightScape上で、水準3はFormZ上でマッピングしたものである。水準1は、水準2と比べるとテクスチャの貼付密度が4分の1で、画像の壁紙や床のフローリング材の幅などの模様が大きく見える。水準3は3次元マッピング手法をとっており、形状の複雑な物体にマッピングする際に、面の方向性までを考慮して張り付ける手法を利用している。この場合模様の向きがより自然な感じで表示される。

[モデリング精度]

複雑な形状をもつ対象をどの程度正確に再現するので、モデリング精度に差が出る。水準1は単純図形の簡易な組み合わせでモデリングし、水準3は一般に提供されている複雑なモデリングデータを読み込んでいる。このモデリング精度が高くなるほど、ポリゴン（立体物をデータ化するために表面を分解して描く時に用いる多角形）数が増し、計算に多大な時間が掛かる。

[メッシュ分割精度]

ラジオシティ法による照明計算の際どこまで細かく面を分割して光の道筋を計算するのに関わる因子。水準の高いものほどメッシュ分割が細かく設定され、室内の影の付き方が自然になる。ここではLightScapeでの最小メッシュ単位表示をもとに分割精度を表している。

- 各4因子の水準が明るさ感に及ぼす影響は明らかにはなっていないが、輝度に比べればその影響の程度は小さいと想定されること、また実空間により近いと想定されるVR空間を実験対象とした方が、被験者にとっては明るさ感の比較が容易となり、実験結果に対する誤差要因を小さくすることができると想定されることから、各4因子を最高水準に設定した。
- 本来は標準刺激を実空間とする方が研究の目的からして望ましいが、VR空間の方は明るさを自由に变化させていくことが計算時間の点から困難だったため、このような設定（標準刺激=VR空間）とした。
- 暗順応をさせている間の被験者の静座位置の明るさは、実験用コンピュータのモニタ画面からの漏れ光などにより、歩行には支障がない程度（1.0lx以下）であった。また標準刺激（VR空間）呈示後、「比較刺激（実空間）呈示及び被験者による実空間の明るさ調整」に要した時間は、1～2分程度であった。
- VR空間の輝度測定はメガネを通さずに行ったが、以下の分析結果ではメガネレンズの透過率34%を考慮に入れた結果を示した。また立体映像のため同じ画像が2枚若干ずれてスクリーン上に表示されているが、微少なずれであるため、輝度測定においては、2枚の画像それぞれにおける対象点の中間地点を狙って輝度の測定を行った。また各明るさパターンにおける実空間の輝度は、センターテーブル上水平面照度を、3.2.1における判断値の全被験者平均値に設定した後、測定を行った。
- VR空間において輝度分布が実空間と異なる理由には、CG画像作成段階、及びVR空間呈示段階、双方における影響がある。CG上での明暗表現は画素ごとの階調値で表されるが、表現可能な明るさのレンジが狭く、光源などの高輝度な部分に関してはすべて同じ階調値で表現されるなど、画像全体の各画素間の明るさの関係は実空間と同じものにはならない。また明るさ設定値（光束値）が2倍になっても、センターテーブル上の階調値は2倍までには高くなっていない。さらにそのCG画像を元にVR空間を作成し呈示する段階において、プロジェクタなどの特性から周辺部の輝度の低下などの現象が起きる。スクリーンに全画素が同一階調値である画像を呈示した場合の、中央部輝度を100としたときの周辺部の輝度を以下に示す。なお実験終了後の測定のため、VR呈示システムが若干更新されているが、輝度分布に大きな変化はないと思われる。

輝度分布図

- なお画面全体の輝度値（計55箇所）の平均値と比較した結果も、正面輝度値のみで検討した以下の結果とあまり違いはなかった。
- 以降の実験においては、対象となる空間の壁、床、天井及びオブジェクト（ソファなど）などの形状やテクスチャの違いが、現実感などに及ぼす影響を明らかにするために、それら視対象物の細部がよく見える明るい室内環境を想定し、VR空間の明るさ設定パターンを「明」とした。
- 高さ、幅の変化の際には、ドア、ロールスクリーンの大きさは変えていない。高さに関しては、床面からのロールスクリーンやドアまでの位置（高さ）関係は変化させず、天井高のみを変化させた。幅に関しては、正面壁のロールスクリーンは壁中央に位置させたまま、両側壁を左右に均等に動かし、中央部を黒としたが、これは部屋のどの位置に設置しても、光の反射の影響を実空間及びVR空間共に受けてくく、見えが変化しにくいのである。なお実空間では白いひもで棒を吊ったが、VR空間ではひもは再現していない。
- 要約値：中央値・四分位値などの統計量の総称。平均・標準偏差によるデータ解析に比べると、外れ値の影響を免れやすい利点がある。実験3に関しては被験者数が少なく、また標準偏差に持ち込むための正規分布の仮定が問題であったため、要約値を用いて解析を行った。因みに平均・標準偏差をとった場合、棒位置2の平均値が一つの外れ値のためにマイナス側にずれるが、全体的な分析の傾向に変化はないといえる。

- 現実感を主要な評価項目としているが、「超現実」のような、「実空間と類似はしていないが何か現実感を感じる」といった評価がされた場合、他の評価とは区別するために、類似度という評価項目を設けた。また被験者には「現実感」「類似度」の言葉の概念に関する説明は行わなかった。
- 4因子のうちA×C、B×C、D×Cに交互作用が存在することを想定して各因子をL₂₇直交表に割り付け、全81パターンのうち、27パターンのみを取り出して実験を行う一部実施法を採用した。なお実際の実験では、運用上必要とされる各因子最高水準、最低水準など計5パターンも加え被験者には計32パターンのVR空間の評価を行わせた。

27パターン（+5パターン）の組み合わせ表を以下に記載する。各因子の「水準1（低）」を「1」、「水準2（中）」を「2」、「水準3（高）」を「3」としている。

No.	因子C (モデリング)	因子A (容積)	因子B (マッピング)	因子D (メッシュ)
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	2
5	1	2	2	3
6	1	2	3	1
7	1	3	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2
10	2	1	1	1
11	2	1	2	2
12	2	1	3	3
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2
19	3	1	1	1
20	3	1	2	2
21	3	1	3	3
22	3	2	1	2
23	3	2	2	3
24	3	2	3	1
25	3	3	1	3
26	3	3	2	1
27	3	3	3	2
28	3	3	3	3
29	2	2	2	2
30	1	1	0	1
31	2	2	0	2
32	3	3	0	3

- 参考までに示すと、現実感評価の値が最も高かったVR空間の被験者評価平均値は（実空間を100として）69、反対に最も現実感評価の値が低かったVR空間の被験者評価平均値は42であった。

参考文献

- 斎藤 監修：人工現実感の基礎 臨場感・現実感・存在感の本質を探る、培風館、2000年
- M. Ohmi: "Psychological assessments of large-field stereoscopic display system". Proceedings of WWDU'97 Tokyo, pp.59-60, 1997.
- 石博康雄 他4名：立体画像の画枠が輻輳眼球運動に与える影響、映像情報メディア学会誌、vol53, No.9, pp.1292-1299, 1999.
- 小林重順：建築デザイン心理学—発想のトレーニング—、彰国社、p244-254、1977年
- 込山敦司、初見学：建築内部空間における天井高の認知構造、日本建築学会計画系論文集、第490号、pp.111-118、1996年12月
- 橋本雅好 他6名：室空間の天井高・奥行き・知覚と容積の知覚との関係、日本建築学会学術講演梗概集、E-1分冊、pp.785、1996年
- 川人光男 他：視覚と聴覚 岩波講座 認知科学3、岩波書店、1994年
- 市川伸一 編：心理測定法への招待 測定からみた心理学入門 新心理学ライブラリ13、サイエンス社、1991年
- 吉澤正：統計処理 情報処理入門コース8、岩波書店、1992年
- 小野浩史 他4名：仮想住環境シミュレーションシステムの開発に関する研究 その1 システム概要、日本建築学会学術講演梗概集、2000年
- 平手小太郎 他4名：仮想住環境シミュレーションシステムの開発に関する研究 その2～その4、日本建築学会学術講演梗概集、2000年

(2001年3月9日原稿受理、2001年7月30日採用決定)