

# コンピュータ・グラフィックスによる空間情報の提示に関する研究

環境図形科学研究室 成瀬浩二

## 1. はじめに

近年、パーソナルコンピュータの普及により、建築空間の評価にコンピュータ・グラフィックス（以下CG）が多く用いられている。CGは低コスト（人的・物理的要素、建築物理的要素の容易な再現）の条件下で情報提示を行うことができる利点をもつが、空間情報の提示手法において、現実空間におけるリアリティには追いつくことができないケースが多いという点が重要な問題として挙げられる。最近の研究では、物理的な再現性や現実感の高いCGの作成に着目するものが多い。そこで本研究では、CGの再現性や現実感ではなく、実空間とCGの印象の差異に着目し、印象に大きな影響を与えられ「光環境」を実験対象として取り上げ、CGによる実空間の代替可能性について検討を行った。

手順としては、まず代表的な光環境予測シミュレーションソフトを用い、実空間と同一の照明条件を与えて光環境予測を行い、その結果得られたCG画像を複数の提示手法を用いて印象評価実験を行った。次に、実空間での印象評価実験結果とCG画像での結果を比較し、評価項目、照明パターンによる評価の差異を明らかにすることで、光環境評価におけるCGの代替可能性を検討した。なお、実空間の評価結果は後藤ら<sup>1)</sup>、ノートPCによる評価結果は坂田ら<sup>2)</sup>の実験結果を用いている。

## 2. 実験概要

### 2-1. CGによる実験の概要

図1に示す空間をモデリングソフトウェア「form・Z（（株）ImageONE社製）」を用いて構築した。次に表1に示す7つの照明パターンで光源を配置、光環境予測シミュレーションを行い、そこで得られたCG画像（図2）を被験者に提示し、印象評価実験を行った。矢印の始点は視点、その方向は視線方向を表す。水平画角及び仰角、視点高さに関しては、被験者が空間全体を把握できるように100度、0度、1250mmとした。灰色で覆われた範囲はCG画像で提示した範囲を表す。相互反射計算は光束伝達法を採用した。

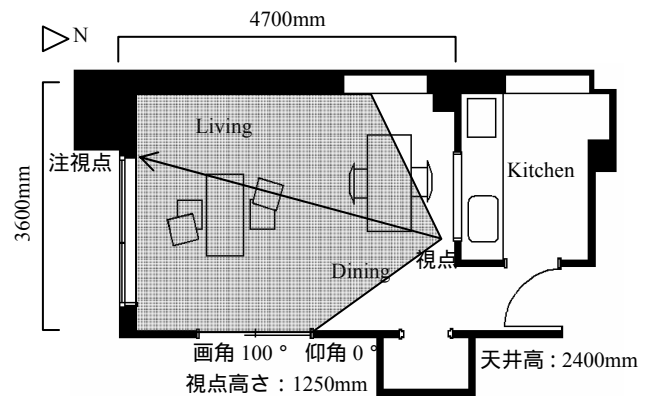


図1 視点位置及び光源位置

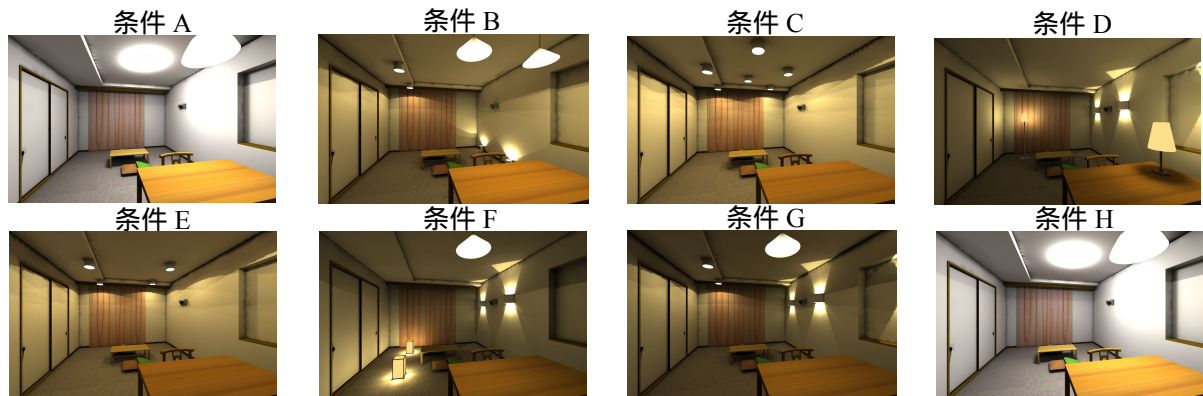


図2 提示画像（条件Hは評価への再現性を確認するために、条件Aと同一のパターンを加えたもの）

表1 実験条件（参考文献<sup>1)</sup>より ただし、配置の記号は図1参照）

|       | リビング             | 高さ(m)   | 配置 | L合計(W) | ダイニング             | 高さ(m)   | 配置 | D合計(W) | L D合計(W) | 概要           |
|-------|------------------|---------|----|--------|-------------------|---------|----|--------|----------|--------------|
| 条件A,H | シーリングライト         | 2.4     |    | 72     | ペンダントライト          | 1.8     |    | 100    | 172      | 一室一灯型        |
| 条件B   | ダウンライト アッパーライト   | 2.4 0.1 |    | 52     | ペンダントライト          | 1.8     |    | 26     | 78       | 壁を下から照明      |
| 条件C   | ダウンライト           | 2.4     |    | 65     | ダウンライト            | 2.4     |    | 39     | 104      | 主に床面を照明（明るめ） |
| 条件D   | フロアーライト ブラケットライト | 1.4 1.5 |    | 39     | テーブルライト ブラケットライト  | 1.1 1.5 |    | 26     | 65       | 天井照明なし       |
| 条件E   | ダウンライト           | 2.4     |    | 52     | ダウンライト            | 2.4     |    | 26     | 78       | 主に床面を照明（暗め）  |
| 条件F   | フロアーライト ブラケットライト | 0.1 1.5 |    | 52     | ペンダントライト          | 1.7     |    | 13     | 65       | 高さの異なる照明の配置  |
| 条件G   | ダウンライト ブラケットライト  | 2.4 1.5 |    | 52     | ペンダントライト ブラケットライト | 1.8 1.5 |    | 26     | 78       | 壁を中央部から上下に照明 |

## 2-2. 実験手順とその背景

実験は表 3 に示すようにそれぞれ実験 ~ に分けて行い、実験 に関してはノート PC (W:230 H:300mm)、実験 ~ に関してはスクリーン (W:1400 H:2000mm) を用い、表 1 の条件 A~H まで、照明パターンによる CG 画像を計 85 名の被験者に提示した。

ここで異なる大きさの提示画像を用いたのは稲本ら<sup>3)</sup>の、大きさや寸法が重要であるようなシミュレーションでは、あらかじめ提示メディアの検討が必要であるという研究結果にもあるように、「実空間での被験者実験」という想定をした場合、提示画像が大きいものであればそれだけ被験者の空間認識度も高まるものと推測したことによる。アニメーションに関しては、実空間における光環境評価実験で、被験者は各照明パターンを配置した実験空間を自由に過ごしてから光環境評価を行ったという点、また立体視に関しては、光、色等を立体的に捉えることが、光環境評価にどのような有用性をもたらすかを検討する目的で行った。

被験者には提示画像からの出力光以外の光が影響しないよう考慮し、暗室で実験を行った (図 4)。また提示画像の空間に自分がいると想定し、ダイニングテーブルの椅子に着席し、様々な作業をすると仮定して評価項目に回答するよう教示を与えた。

表 3 実験パターン

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 実験 | ノートPC提示：NS (Narrow Still)             |
| 実験 | スクリーン提示：WS (Wide Still)               |
| 実験 | スクリーン提示 (提示順序変更)：WS提示順序変更             |
| 実験 | スクリーン提示 (アニメーション)：WA (Wide Animation) |
| 実験 | スクリーン提示 (立体視)：WS立体視                   |

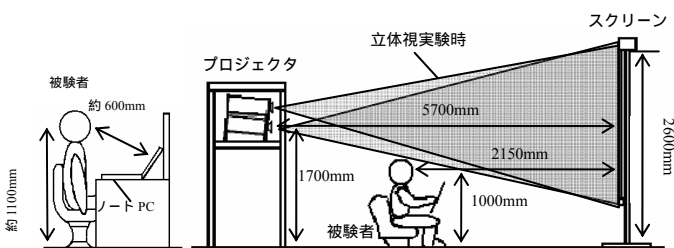


図 3 実験空間 (左：実験、右：実験 ~)



図 4 使用器具 (ノート PC、スクリーン、立体視用眼鏡)

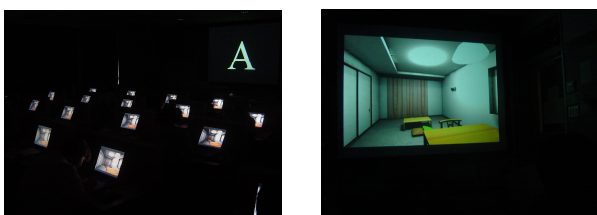


図 5 実験風景 (左：実験、右：実験 ~)

提示する順番に空間の明るさが単調増加減少しないよう考慮し、光源の総ワット数がばらつくよう条件 A~H の順で画像を提示した。なお、WS 提示順序変更実験は極端な照明環境の変化が光環境評価にどのような影響を及ぼすか検討する目的で行ったものである。

## 2-3. 実空間における実験の概要

茨城県つくば市の建築研究所内にある実験用集合住宅のリビング、ダイニング空間を用い、一室多灯照明と一室一灯照明の環境に被験者 (計 13 名) を暴露し、光環境評価を行った。一室一灯型の部屋を基準住戸、一室多灯型の部屋を実験用住戸とし、基準住戸は図 1 を反転した形状で、実験用住戸は図 1 と同様の形状である。実験の最初に条件 A と同様の実験条件 (表 1) の基準住戸

表 4 アニメーション (上)・立体視 (下) 設定詳細

|         |                             |  |  |
|---------|-----------------------------|--|--|
| 圧縮プログラム | IndeoR video 5.10           |  |  |
| 画像大きさ   | フルスクリーン (幅640×高さ480)        |  |  |
| 画角      | 100°                        |  |  |
| 時間      | 1分30秒 (フレーム数2700、1秒間30フレーム) |  |  |

|   | 視点 (左目) | 視点 (右目) | 注視点     | 画角   |
|---|---------|---------|---------|------|
| x | 4195mm  | 4200mm  | 2650mm  | 100° |
| y | 2307mm  | -2300mm | -1856mm |      |
| z | 1250mm  | 1250mm  | 1250mm  |      |

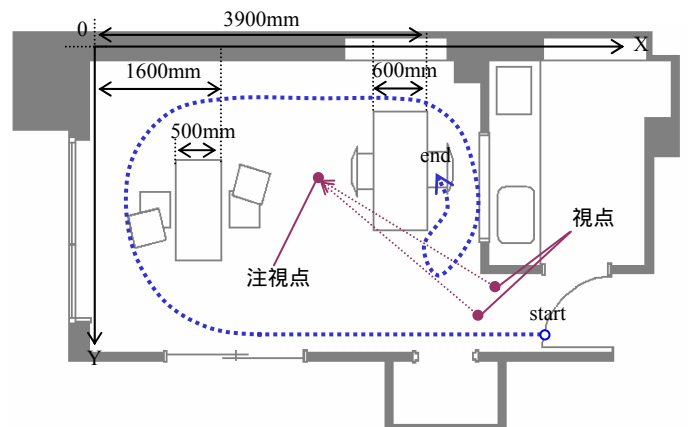


図 6 アニメーション軌跡 (.....)、立体視視点・注視点



図 7 アニメーションの流れ (例：条件 A)



図 8 WS 提示順序変更実験 (変更対象：条件 B、G)

で評価を行い、その後、実験用住戸で条件 B から条件 G の 6 つの実験条件をランダムに提示した。被験者は入室後 3 分間、室内を自由に過ごしてから、まずダイニングテーブルに着席して評価を行い、次にリビングのセンターテーブルに向かって座位で評価を行った。

#### 2-4 . 光環境評価項目

被験者に回答させた評価項目を表 5 に示す。評価結果は、評価項目の段階数を得点に換算し、評価の良いほうから順に評価を 7 点から 1 点 (3 点から 1 点) とし、条件、質問毎の評価結果として被験者平均値を用いた。

### 3 . CG と実空間の印象評価実験結果の比較検討

実空間での印象評価の結果と比較するに当たり、本実験では被験者に実験前にダイニングテーブルに座り、キッチン方向を向いたと仮定してアンケートに回答するよう教示を与えているので、まず実空間の比較する結果も同条件のものを用いた。また、13 人すべての結果をまとめたものとも比較を行った。実空間での実験結果において、ダイニングテーブルに座りキッチン方向を向いた場合を結果 (DK 向き) 13 人すべての場合を結果 (全体) とする。

#### 3-1 . 総合比較 (図 9、10 参照)

全ての実験に共通している点は、結果 (全体) の方が、結果 (DK 向き) より相関の絶対値が高く、被験者に空間全体を把握できるような CG 画像を呈示すると、被験者はその CG の空間全体を評価するということ、質問 5-5、5-7、7、8 のように、評価結果に大きな個人差が出るようなものや空間の雰囲気といった光の質的なものを評価する場合、実空間とで差が見られることの 2 点であった。また総合的に見て、WS (提示順序変更含む) WA、WS 立体視提示手法を用いた場合、質問別・条件別どちらの相関も NS を上回った。特に条件別分析における条件 C の相関は高いものが得られた。これは NS 実験における自由

表 5 評価項目

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 質問1   | 室内の光環境の快適さ               | 7段階 |
| 質問2   | 室内の明るさ                   | 7段階 |
| 質問3   | 室内の明るさの不均一さ              | 7段階 |
| 質問4   | 室内の照明の色の適当さ              | 3段階 |
| 質問5-1 | 行為の適当さ (新聞、本を読む)         | 3段階 |
| 質問5-2 | 行為の適当さ (カタログ、マンガを読む)     | 3段階 |
| 質問5-3 | 行為の適当さ (パソコンやインターネットを見る) | 3段階 |
| 質問5-4 | 行為の適当さ (くつろぐ)            | 3段階 |
| 質問5-5 | 行為の適当さ (家族や友人と会話をする)     | 3段階 |
| 質問5-6 | 行為の適当さ (テレビやビデオなどを見る)    | 3段階 |
| 質問5-7 | 行為の適当さ (食事をする)           | 3段階 |
| 質問5-8 | 行為の適当さ (掃除機をかける)         | 3段階 |
| 質問5-9 | 行為の適当さ (棚のものを探す)         | 3段階 |
| 質問6   | 室内の広さ                    | 7段階 |
| 質問7   | 室内の光環境の好ましき              | 7段階 |
| 質問8   | 自宅の照明方法として採用したいか         | 3段階 |

記述「天井からの圧迫感」等多数の指摘が、提示画像拡大により解消されたものと思われる。このことから被験者の情報理解度はその画像サイズに比例して増加することが明らかになった。

#### 3-2 . 実験ごとの比較

全ての実験を総合的に見た場合、WS の相関が最も高かった。これは、WA においてはその提示画像サイズが同じであっても、質問内容によって空間全体の明暗・色等全ての情報が得られるアニメーション固有の有効性が逆に評価の低減を招いてしまった可能性があり、結果的に WA の総合的な評価を下げてしまったことが大きな要因になったと考えられる。WS 立体視に関しては、NS、WS、WA で低かった質問 6 の相関が 0.7 付近に上昇したものの、質問 2、3、4 等に対して WS の相関の高さには及んではおらず、立体視用眼鏡を通した視界の暗さが (着用時: 照度 約 72% 減、輝度 約 65% 減) 色・明るさ等に対する認識度を下げたことが伺える (図 9)。

提示順序を変更した実験に関しては、条件別分析における NS、WS、WA、WS 立体視で唯一相関が低かった条件 B の相関が高くなり、提示順序を入れ替えた条件 G の相関が若干下がった。このことから、最初に提示する情報に対し

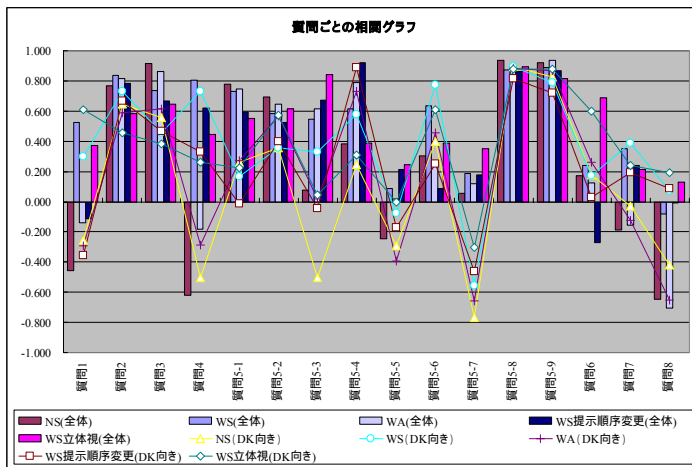


図 9 質問ごとの相関グラフ

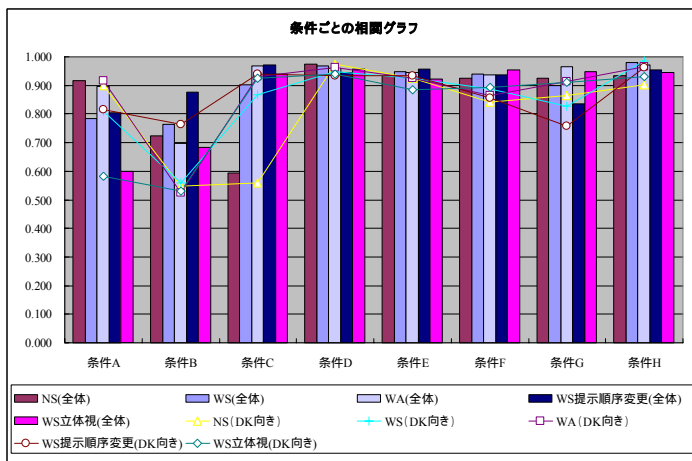


図 10 条件ごとの相関グラフ



て極端な環境変化（照明色・明度・輝度等）がある情報提示を行うことは、被験者の明るさに対する順応度に悪影響を与えてしまい、結果的に提示情報に対する評価基準を下げてしまうという事が明らかになった（図10）。

#### 4. CGによる物理量と心理量の比較検討

各提示メディアによるCG画像の物理量と光環境評価の心理量との関係を検証するため、被験者の眼の位置で、各条件での照度値を測定した（表6）。次に、CG画像内の照度値とCGによる印象評価実験結果の被験者平均値の相関及び実空間照度値と実空間印象評価実験結果の被験者平均値の相関を出し、CGと実空間の印象評価実験結果との相関を照らし合わせて分析を行った（図12）。なお、WS立体視における測定値は、立体視用眼鏡を通した右目と左目の平均値を用いている。

##### 4.1. 結果・考察（図11参照）

実空間における印象評価実験で照度に影響を受けている質問2、5-1、5-8、5-9においては、各CG実験とも比較的高い照度値相関が得られており、この場合の印象評価実験結果との相関は高いものとなっているが、質問1、4、7、8においてはそのような傾向は見られていない。また、実空間における印象評価実験で照度に影響を受けている質問5-5、受けていない質問5-7に対しては、実空間における照度値相関と各CG実験における照度値相関との差には大きな開きがあり、この場合の印象評価実験結果との相関は非常に低いものとなっている。

この結果から、光の量、光を必要とする行為の評価に対しては、実空間における照度値相関に近いほど、その代替可能性は高くなることが分かった。また会話や食事をするといった、空間の雰囲気重要なものに対してもそのような傾向があると考えられ、このような評価項目に対しては、実空間における照度値との相関結果も参考にしながら提示情報空間をつくる必要性があるといえる。一方で、照明の色の適当さ、光環境の最適さ、好ま

表6 各提示メディアにおける照度値 (lx)

|       | 条件A  | 条件B  | 条件C  | 条件D | 条件E  | 条件F | 条件G |
|-------|------|------|------|-----|------|-----|-----|
| NS    | 23.8 | 12.5 | 12.9 | 8.8 | 10.9 | 8.9 | 9.0 |
| WS    | 4.9  | 2.0  | 2.5  | 1.2 | 1.8  | 1.5 | 1.0 |
| WS立体視 | 2.1  | 0.9  | 1.6  | 0.7 | 1.3  | 0.8 | 0.9 |

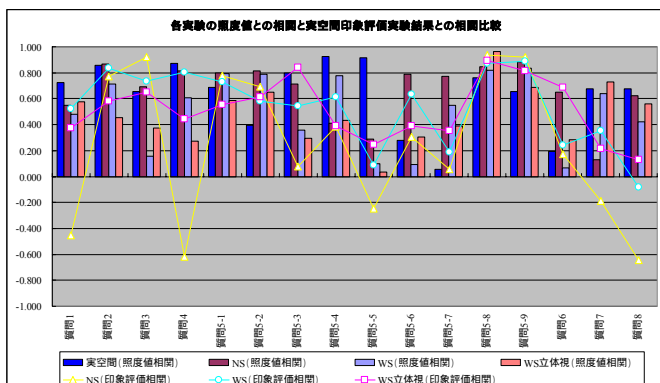


図11 各実験の照度値相関と印象評価結果との相関比較

しさとといった、その評価結果に大きな個人差が出るようなものに関しては、実空間における照度との関係性を見る必要性はなく、その評価結果が良くない際には、単純に提示メディアの問題であると捉えるべきであることが分かった。

#### 5. 総括

本研究における実験、分析を通して、様々な提示手法を用いたCG光環境情報代替提示の有効性・問題点の把握、また各光環境評価項目に対して最も有効な提示手法のグルーピングができたことで、今後のCGによる実空間情報提示代替可能性を高めるための、最適な情報提示手法を構築する指標ができたといえる。

#### 謝辞

本研究の一部は、国土交通省総合技術開発プロジェクト「エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発」及び、独立行政法人建築研究所研究課題「エネルギーと資源の自立循環型住宅に係わる普及支援システムの開発」の研究成果による。また今回の研究に際し、坂田晴洋氏および工学部在任の皆様の多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 後藤浩一 他5名:多灯照明の実空間における光環境評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、p.331-332、2003.9
- 2) 坂田晴洋・鈴木広隆:コンピュータグラフィックスによる光・視環境評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、p.399-400、2004.9
- 3) 稲本淳平 他3名:室内視環境シミュレーション手法としてのコンピュータグラフィックス、日本建築学会環境系論文集、第569、p.41-47、2003.7

表7 有効提示手法（上：質問別、下：条件別）

| 質問項目                          | 有効提示手法         | 考察   |
|-------------------------------|----------------|--|
| 質問2 室内の明るさ                    | NS、WS、WA、WS立体視 | 光の量、光の均一さ、光を必要とする行為の評価に対しては、どの提示手法を用いた場合でも有効性があるといえる |
| 質問3 室内の明るさの不均一さ               |                |  |
| 質問5-1 行為の適当さ(新聞、本を読む)         |                |  |
| 質問5-2 行為の適当さ(カタログ、マンガを読む)     |                |  |
| 質問5-8 行為の適当さ(掃除機をかける)         |                |  |
| 質問5-9 行為の適当さ(靴のものを探す)         |                |  |
| 質問5-3 行為の適当さ(パソコンやインターネットを見る) | WS、WA、WS立体視    | 提示画像拡大による空間情報認識度の増加                                  |
| 質問1 室内の光環境の快適さ                | WS             | 提示画像の拡大、静止画という一方向からの断片的な情報を与えた際の有効性                  |
| 質問4 室内の照明の色の適当さ               |                |  |
| 質問5-6 行為の適当さ(テレビやビデオなどを見る)    |                |  |
| 質問5-4 行為の適当さ(くつろぐ)            | WA             | 空間全体(輝度・照度等)が把握可能な情報提示の有効性                           |
| 質問8 自宅の照明方法として採用したいか          | WS立体視          | 立体提示情報空間による奥行き感認知増加                                  |
| 質問6 室内の広さ                     | 有効提示手法なし       | 実空間とのリアリティの差、実空間における照度からの影響の有無                       |
| 質問5-5 行為の適当さ(家族や友人と会話をする)     |                |  |
| 質問5-7 行為の適当さ(食事をする)           |                |  |
| 質問7 室内の光環境の好ましさ               |                |  |

| 照明方式             | 有効提示手法               | 考察   |
|------------------|----------------------|--|
| 条件A、H 一室一灯型      | NS、WS、WA、WS立体視       | 被験者の明るさに対する順応度にあまり影響がない提示順序に位置する照明空間に対しては、どの提示手法を用いた場合でも有効性があるといえる |
| 条件D 天井照明なし       |                      |  |
| 条件E 主に床面に照明(暗め)  |                      |  |
| 条件F 高さの異なる照明の配置  |                      |  |
| 条件G 壁を中央部から上下に照明 |                      |  |
| 条件B 壁を下から照明      | 提示順序変更(条件BとG)の場合のみ有効 | 被験者の明るさに対する順応度が評価結果に良くない影響   |
| 条件C 主に床面に照明(明るめ) | WS、WA、WS立体視          | 提示画像拡大による空間情報認識度の増加  |