

仮想空間の視覚的提示法とその効果

森本一成, 村田浩之, 緒方誠人, 黒川隆夫
京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科

要旨: 仮想空間における提示対象の操作を自然に行えるようにするために, 視覚的手がかりとしての仮想の手, 床および影の提示効果について検討する. 視点移動と手による仮想対象の操作が可能な仮想空間を構築し, その空間内で仮想対象を操作する実験を行った. 視覚ディスプレイとしてHMD(Head Mounted Display)を, 視覚対象の操作にはグローブを用いた. 測定パラメータは対象的当てタスクの成功率と精度である. また, 操作に対する仮想空間に対する印象や視覚の手がかりの必要性などについて主観評価を行った. 被験者は立体視が比較的容易に出来る9名の男性であった. 実験の結果, 投げ動作や掴み動作を行う時に対象の影の表示は比較的重要ではないこと, 3つの視覚の手がかりが全て欠けても比較的容易に操作できることなどが分かった.

A method of visual representation of virtual spaces and it's effects

Kazunari Morimoto, Hiroyuki Murata, Masahito Ogata and Takao Kurokawa
Graduate School, Kyoto Institute of Technology

abstract: The effects on the visual cues as a virtual hand, a floor and a shadow of object presented in a virtual space were examined. A HMD was used as the visual display for the operation of virtual objects. The success rate and the accuracy of throwing performance were measured. Subjective evaluation was done about the need of the visual clues and the impressions of the operation in the virtual space. When the virtual objects were taken and thrown, it was found out that the shadow of the object wasn't comparatively important. Furthermore even if all those three visual cues were missing, it was found out that it could be operated comparatively easily.

1. はじめに

仮想空間での現実感を生成するための要素としてPresence, Interaction, Autonomyの3つがある(Zeltzer 1992). 感覚を介して周囲の空間を感じ, 自分がその空間の中に存在していることをPresence, 自分の周囲の空間と自分とが互いに作用し合うことをInteractionと言う. Autonomyとは観察者がいなくても世界は自律的に存在し続けるということである. 人間が仮想世界の中で現実空間でのそれと同じ感覚で操作を行うには, これら3要素を現実世界のそれらに十分に近づける必要がある.

また, 仮想空間の質の低さが重大な操作ミスや誤った知覚を生じさせることのないように, 仮想空間でのインタラクションを人間にとって自然なものにすることが重要である. しかし, 仮想空間の質を定量的に判断する方法は確立されておら

ず, 試行錯誤的に仮想空間の質を上げる方法が取られている.

一方, HMD(Head Mounted Display)を用いた仮想空間を体験することによる動揺病が指摘されているが(今井1994, 三宅ら1995), これは人間の視覚情報と身体の動きの不一致から来る感覚の矛盾(井須1990, Dizio et al. 1992)や自己運動感覚(Hettinger et al. 1992)が原因であると言われている. このような感覚の矛盾を無くして, 仮想世界とのインタラクションが人間にとって自然であるようにするには, 様々な感覚チャネルの情報をフィードバックさせ, 複数の感覚を結びつけることにより相乗的に仮想世界の自然さを高める必要があると考えられる.

人間は周囲の空間の状態を把握する時, 様々な視覚的手がかりを利用している. McKeenaら(1992)は視覚的手がかりとして両眼視差, 運動視

差、像のサイズ、線形遠近法、空気遠近法、陰影、遮蔽、肌理の勾配、調節並びに輻輳を挙げている。

本研究では仮想空間の視覚的提示法とその効果を検討するために、仮想空間におけるインタラクションに対して対象の影や床の肌理などの視覚的手がかりが有効であるかを、空間に提示した対象の操作に対する成功率と主観評価から考察する。

2. 実験方法と条件

2.1 実験方法

被験者に与えたタスクは、音による合図と同時に眼前約40cmのところ提示したボール(赤色の球、半径5.0cm)を掴み、掴んだ直後に提示されるターゲット(黄色の球、半径10.0cm)に投げ当てるというものである。これを的当てタスクと呼ぶ。図1に提示画像の1例を示す。

被験者がボールを投げてから床に落ちるまでに、ボールがターゲットに最も接近した距離をエラー距離とする。また、ボールが床に落ちる前にターゲットに接触したことをヒットと呼び、ボールがターゲットにヒットした割合をヒット率とする。

実験では以下の2つの操作が可能である。

1) 掴む：仮想の手を仮想対象に十分に近づけ、手を握る動作をすることで、対象を掴むことができる。厳密には、仮想の手のひらの中心から手のひらの法線方向に操作対象の半径分移動した点が操作対象の内部に含まれている時に、指の曲げ角度の総和がある閾値以上であれば操作対象の中心をその点に固定するようにプログラムされている。従って、指先で掴むといった細かい操作は出来ない。

2) 投げる：掴んでいる状態から対象を離れた瞬間に操作対象に手の速度が伝わるようにした。この時、手首のスナップがある程度効くように、手のひらの中心から指先方向へ約3.0cm移動したところの点の変位量とその間にかかった時間から速度を求めた。

2.2 実験装置

実験では図2に示すように仮想空間の提示にHMDを用いた。HMD内のディスプレイ(ハーフミラー)上に投影される画像の見え方(提示位置)は、スキャンコンバータの画像切り出し位置、ハーフミラーの水平位置調整および被験者のHMD装着状態に左右される。従って、仮想対象を設定通りの位置に提示するようにキャリブレーションするのは困難であるので、被験者の瞳孔間距離に応じた対象提示位置の設定変更はしなかった。

立体視用の画像生成とセンサの入出力処理はIndigo2 IMPACT(SGI)で行った。画像生成のパフォーマンスを考慮して、片目用の画像表示領域の横幅を320pixelとした。

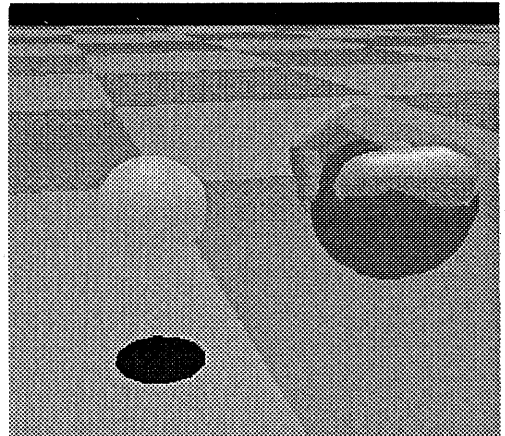


図1 提示画像

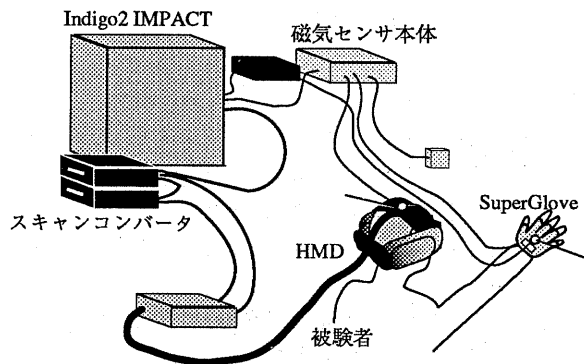


図2 実験装置

被験者の手と頭の位置と傾きの検出には磁気センサ(Polhemus社)を使用した。サンプリングレートは1チャンネルにつき60~70Hz程度である。物理計算と描画ルーチンを独立したプロセスで実行することによって単位サイクル当たりの物理計算処理の短時間化を図ったが、プロセスが分かれることにより逆に負荷が増大することが確認できたのでこの処理方法は用いなかった。従って、処理はセンサ入力、物理計算、画像表示の順に行われるので、センサからの値を使用する頻度は16~17Hzであった。

手の形状入力にはSuperGlove(日商エレクトロニクス社)を使用した。被験者ごとにキャリブレーション処理を行い、被験者間の手の形状の違いの影響を可能な限り少なくした。

2.3 実験条件

図3に示すようにターゲットを18個の位置にランダムな順序で提示し、以下の6つの実験条件での的当てタスクを繰り返した。

- 1) 影、床、仮想の手が全て表示されている。
- 2) 床と仮想の手が表示されている。
- 3) 仮想の手だけが表示されている。
- 4) 影と床が表示されている。
- 5) 床だけが表示されている。
- 6) 影、床、仮想の手の全てが表示されていない。

なお、影とはボールとターゲットが床に落とす影のことである。

実験では被験者の頭部運動を許しているために、投げる動作などによって実験中に視点が著しく変化することが考えられる。また、被験者によって座高や姿勢が異なるため、被験者間で提示位置などの実験条件が異なる恐れがある。これを防ぐために、被験者にHMDを装着させた後、リラックスした状態で椅子に座らせた時の頭の位置を測定し、その位置が仮想空間における原点の上空で仮想の床面から75cmの位置が原点となるようにセンサの値を調整した。

被験者を仮想空間での掴む動作と投げる動作に慣れさせるために、実験と同じタスクで練習させた。ただし、練習用のターゲットは図3に示した18個の提示位置以外の所に提示した。また、練習セッションは実験条件1)と同じ条件で行った。練習セッションの試行回数は特に制限せず、眼前50cmの所に提示した練習用ターゲットにはほぼ確実にボールを当てられるようになるまでとした。

1回の実験セッションは3つの実験条件で構成され、計54回の的当てタスクを行うものとした。実験条件の順序が実験結果に影響しないように被験者を3グループに分け、

グループ1: 練習セッション, 1), 2), 3), 練習セッション, 4), 5), 6)。

グループ2: 練習セッション, 2), 3), 1), 練習セッション, 5), 6), 4)。

グループ3: 練習セッション, 3), 1), 2), 練習セッション, 6), 4), 5)。

という枠組みで実験を行い、実験条件の順序のバランスをとった。練習セッションは全て同じ条件で行った。

実験条件ごとに掴む動作や的の当て動作の難しさなど関する5段階評価アンケートを行った。また、実験全体を通してどのような視覚的手がかりを意識して(印象度)、それをどの程度必要としたか(必要度)を5段階評価させた。

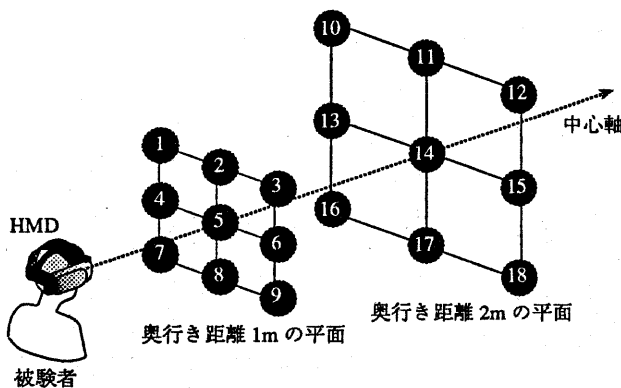


図3 ターゲットの提示位置

2.4 被験者

被験者は21～33歳の男性9名であった。全員正常視力を有しており、HMDでの立体視を困難とする者はいなかった。被験者は全員右利きであった。

3. 実験結果と考察

3.1 平均ヒット率

図4に全提示位置における平均ヒット率を示した。影と床の有無に関わらず、平均ヒット率は手の有無に関係なくほぼ同じであった。「手あり」よりも「手無し」の場合の平均ヒット率の方が若干高かったが、これは、全ての実験を「手あり」から「手無し」への順序で行ったことによるものであると思われる。また、繰り返し実験を行う時のタスクに対する慣れは無視できない。従って、今回の実験データでは、仮想の手の表示の効果が的当てタスクや投げ動作に対する慣れの効果に埋もれて、仮想の手の表示の効果を正確に計り知ることが出来ないが、仮想の手の表示が投げ動作にとって不必要な要素ではないことがわかった。確かに、実空間でもボールを投げるときに手をじっと見てるわけではないが、実空間の場合にはボールの重さや触感があり、手を見なくともボールの状態がある程度わかるはずである。本実験で用いた仮想空間が提示できる感覚は聴覚と視覚だけであり、ボールの重さやボールを握っている感覚まではフィードバックできていない。

実験セッション後のアンケートを集計した。9

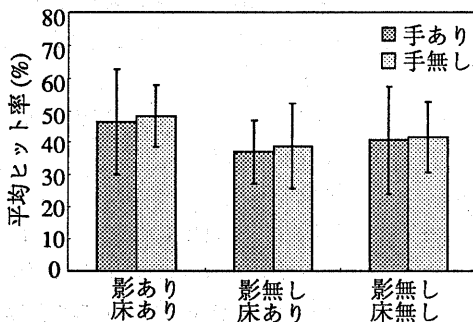


図4 平均ヒット率

人中8人の被験者が投げ動作の不自然さを訴えており、実空間の投げ動作と感じが異なると答えた。これは手とボールの接触時の力学モデルをコンピュータ・プログラム上で簡単化したためと、ボールの重さのフィードバックを補う表現が無かったためと考えられる。アンケートでは的当てタスクの妨げになる要素として、仮想の手の表示が無いことを挙げた被験者は3人しかいなかった。従って、手が見えないという視覚的な不自然さよりも手の動作によって生じる結果の不自然さの方が重要であり、投げ動作に仮想の手の表示がそれほど重要でなかったことを示唆していると思われる。

なお、提示位置ごとの平均ヒット率を実験条件ごとに分析したところ、奥行き1.0mの位置にあるターゲット(1～9)に比べて、奥行き2.0mの位置にあるターゲットのヒット率が半分以下であった。初めてこの仮想空間を体験する者が練習セッションで確実に2.0m以上投げられるようになるまでに、約10～20分かかることから、2.0m以上遠い提示位置の実験をするのであれば、かなり長い時間をかけて被験者を熟練させる必要がある。

3.2 平均エラー距離

図5に全被験者の全提示位置の平均エラー距離を示した。影と床の有無に関わらず「手無し」が「手あり」の場合に比べて、エラー距離は短く、手を表示しないことが不利でないことが示された。このことは図4の平均ヒット率の結果からも言えたことである。

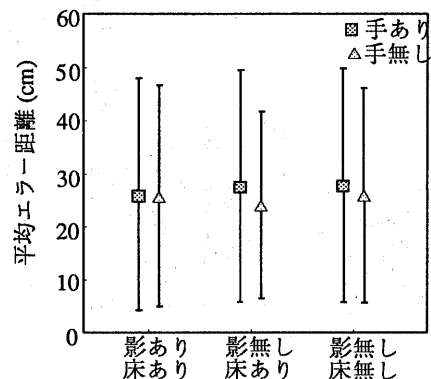


図5 平均エラー距離

「手あり，影無し，床あり」条件と「手無し，影無し，床あり」条件間で有意差が認められたが($t(161)=1.83, p<0.05$)，「手あり」条件と「手無し」条件にわけて「影あり，床あり」「影無し，床あり」「影無し，床無し」の3組の間に有意差は認められなかった。

提示位置ごとの平均エラー距離を実験条件ごとに見る。「手あり，影無し，床あり」条件と「手無し，影無し，床あり」条件を比較すると，「手あり」条件の位置11(眼前2.0m，仰角15°の方向)で平均エラー距離とその分散が著しく大きくなっていることがわかる。従って，被験者数を増やしても「影無し，床あり」条件の手の有無によって有意差が見られる可能性が高く，手がかりが多いほど操作しやすくなるとは限らない可能性が高いと言える。

実験セッションごとのアンケートの中には，床

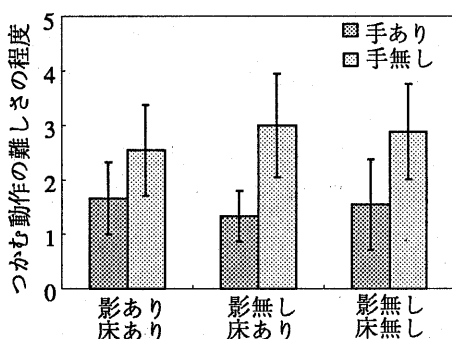


図6 掴む動作の難しさの程度

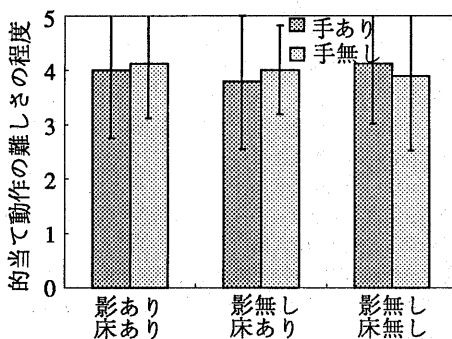


図7 的当て動作の難しさの程度

面に近い(低い)提示位置の対象の高さが分かりにくいという意見があった。しかし，床面に近い位置(7~9, 16~18)の成績が悪くなっている傾向は見られなかった。ある対象ともう1つの対象が近い位置にある時，それらの両眼視差はよく似た量になり，影や遮蔽などの情報が重要になってくると思われるが，影の有無による違いがほとんど見られないことから，別の要素が位置を把握しにくくしていると考えられる。

3.3 実験条件ごとのアンケート

1つの実験条件に対して図3に示した提示位置18個分の試行を行うが，その18試行を1区切りとして，次の実験条件の18試行との間に5段階評価のアンケートを行った。これによって，実験条件のパラメータとなっている視覚の手がかり(床，影，仮想の手)の有無が被験者の仮想空間に対する印象にどの程度影響を与えているかを見た。図6に示すように，影の有無にかかわらず掴む動作は仮想の手がある方が易しい。また，図7に見られるように，的当て動作は手の有無に関係なく難しいと感じた。これらの他に明らかになったことを以下に列挙する。2回目の実験(「手無し」条件)の方がやや投げ動作を易しく，タスクに慣れた感じがした。ボールは全体的にやや軽い印象であるが，条件による差はほとんど見られなかった。ただし，「手あり，影あり，床あり」「手あり，影無し，床無し」の時にのみ，被験者の意見にばらつきが出た。仮想の手の位置が大きすぎて感じることは無かったが，「手あり」条件よりも「手無し」条件の方が手の位置のずれを大きく感じた。「手無し，影無し，床無し」条件では，それ以外の条件よりもやや画面を見にくく感じた。手の有無は立体感に関係ないが，「床無し」条件ではやや立体感が落ちる感じがした。

なお，全体的に見て仮想の手だけが表示されていれば，実空間の視知覚特性と仮想空間の視知覚特性の差をあまり感じることなく操作出来ることが分かった。

3.4 視覚の手がかりの印象度と必要度

全ての実験，被験者に視覚の手がかりの印象度

と必要度を求めた。印象度と必要度の定義が曖昧であるため、被験者には次のようなイメージで答えるように教示をした。ある視覚の手がかりがかなり気になっていたが、全く必要と感じなかった場合は印象度5・必要度1とし、全く気づかなかったし、必要であるかないかどちらとも言えなかったという場合は印象度1・必要度3とする。

集計結果を図8に示す。ボールの影やターゲットの影が必ずしも必要であるとは限らないことが分かった。ただし、これは今回のタスクとした投げ動作や掴み動作には特に必要なかったということであって、例えば、上空から落ちてくるボールを仮想の手で受ける実験をしたとすると、ボールの影が仮想の手に映ればボールの影と手の位置を合わせるといった比較的容易な位置合わせ運動になるために、被験者は大いに影の手がかりを意識して利用することが考えられる。

実験セッションごとのアンケート項目以外にその実験セッションで行った3つの実験条件の違いを被験者に答えさせた。その結果、床の有無の条件に気付かなかった被験者は居なかったが、初めの実験(「手あり」条件)から影に気付いていた被験者は2人、2回目の実験(「手無し」条件)で気付いた被験者は1人、影の条件に全く気付かなか

った被験者が6人いた。影の条件を答えられなかった被験者も無意識のうちに影を利用していたとも考えられるが、影の有無に関して検定による有意差が見られなかったことからその可能性は薄い。

4. まとめ

仮想空間に提示されたボールを掴みターゲットに投げ当てるというタスクを、仮想の手、影および床の表示の有無に関して実験を行い、仮想空間を構成する視覚の手がかりが異なる場合のタスクの成績と空間での操作に対する印象を検討した。その結果、仮想空間において投げ動作や掴み動作を行うときに影の表示は比較的重要ではないこと、肌理のある床は被験者の立体感を増す効果があること、仮想の手も含めてそれら3つの視覚的手がかりが全て欠けても比較的容易にインタラクションが可能であることなどが分かった。

今後は別のタスクを用いた場合や肌理の勾配の変化に対して、視覚的表示の効果を検討する必要がある。

謝辞 本研究は科学研究費補助金(重点領域研究「人工現実感に関する基礎的研究」)の援助を受けた。

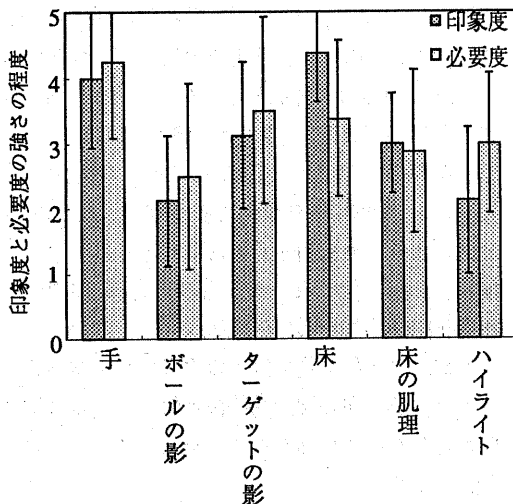


図8 印象度と必要度の強さの程度

参考文献

- Dizio, P. & Lackner, J. R. (1992) Spatial Orientation, Adaptation and Motion Sickness in Real and Virtual Environments, *Presence*, 3-1, 319-328
- Hettinge, L. J. & Riccio, G. E. (1992) Visually Induced Motion Sickness in Virtual Environments, *Presence*, 1-3, 306-310
- 今井 (1994) 家庭用ヘッド・マウント・ディスプレイ懸念される人体への影響, *日経エレクトロニクス*, 618, 67-83
- 井須 (1990) 平衡感覚 人間の許容限界ハンドブック, 朝倉書店, 178-188
- McKeena, M. & Zeltzer, D. (1992) Three Dimensional Visual Display Systems for Virtual Environments, *Presence*, 1, 4, 421-458
- 三宅, 赤津, 神代 (1995) Virtual Reality体験下における動揺病について, *Human Interface N&R*, 10, 4, 455-458
- Zeltzer, D. (1992) Autonomy, Interaction and Presence, *Presence*, 1, 1, 127-132