

# VR空間における作業変更指示のための感覚情報提示の検討

Study on the sensory information display for directing the change of work in virtual workspace

赤羽 歩<sup>1)</sup>, 原田 哲也<sup>1)</sup>

Ayumu AKABANE and Tetsuya HARADA

1) 東京理科大学大学院基礎工学研究科電子応用工学専攻

(〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641, akabane@hrlb.te.noda.sut.ac.jp)

**Abstract :** We investigated what kind of sensory cues are useful for those who works in virtual workspace. In our research so far, the auditory cue is the modality which is easy to notice. Therefore, it is thought that the auditory cue should be used the information which give attention during work. As the result of our experiment, the auditory cue causes our good response to the direction compared with visual cue. Moreover, the influence of the environment or the practice is small.

**Key Words:** *Work efficiency in virtual workspace, Influence of environment, Role of sensory cues*

## 1. はじめに

VR 技術では、体験者に VirtualWorld の様子を臨場感高く伝え、その存在を錯覚させることが重要である。ある程度まではより多くの情報を提供することにより高い臨場感を与えることができる。しかし、提供する情報があまり多くなると、中には体験者が臨場感を得るためには必要としない余分な情報も含まれるようになる。その大半は使われずに無駄な情報となるが、無駄になるところか、必要な情報の入手の妨げとなったり誤判断の元になることさえある。そのため、むやみに情報を与えるのではなく、適切な情報を効果的に提供することが求められる。

適切な情報により VR 空間を構築するためには、「適切な情報」とはどのような情報であるのかを知ることが必要であるが、まだまだわかっていないあるいは誤解をされていることも多い。そこで我々は、ある作業を行う際に作業者が必要としている情報を VR 空間を構築している情報と作業効率との関係から調べることを通じ、人間が必要としている情報を探り、快適な VR 作業空間の構築を目指している。

今までの研究から、物と物の接触の際に、力覚情報(反力)の提示に加え、接触音を提示することにより接触発生の把握がし易くなることがわかっている [1]。また、複数ある作業対象の中から一つを選ぶ際、視覚情報による対象の表示に加え、その対象を音源とする 3次元聴覚情報を提供することにより作業時間を安定させる効果があることがわかった [2]。さらに、3次元聴覚情報とその定位方向に被験者の注意をひく効果があり、視覚情報を入手し易くする働きがある一方で、その音像定位の誤りが、指示と異なる対象を選択するという、作業の失敗を招くこともあることがわかった [3]。なお、この誤りについては後の実験で音像定位をし

易くすることで解消を図れることがわかっている。

一般に視覚情報が優位とされている空間把握において 3次元聴覚情報がこのような効果をもたらしている要因として、下條らの研究で明らかにされた聴覚情報の時間領域での優位性 [4] が挙げられる。我々の実験の結果 [1]~[3] 及びこの聴覚の時間領域での優位性から、聴覚情報は「その存在に気が付き易いモダリティ」であることが考えられる。従って、注意をひかせたいような内容の情報を提示する際にこのモダリティを用いることが有効であると考えられる。そこで、本稿ではある作業をしている際にその作業内容の変更を視覚情報あるいは聴覚情報により指示、その時の作業結果を調べることを通じ、これを検証する。

ところで、現実世界においても余分な情報というのは存在しており、様々な影響を及ぼしている。VR では必ずしも現実を忠実に再現する必要はないから、VR 空間を構築する際にはこの余分な情報は提示せずに必要な情報のみにより僅かな情報で快適な作業空間を構築することも可能である。しかし、逆に、何等かの事情により「止むを得ず」僅かな情報しか提供できず、本来必要と思われるような情報までもが欠けてしまうことも少なくない。例えば、物を掴む作業では指先への力覚情報提示が非常に重要であることがわかっている [5] が、その力覚を提供する装置には解決すべき問題も多く、普及もまだこれからである。そのため、力覚情報が必要と思われるような作業においても力覚無しで行っていることも多い。

このように、本来必要な情報が何等かの制約により用いることができないような場合にはそれが使える場合に比べ作業の難易度は上がると考えられる。作業が容易であれば周囲へ気を配る余裕もあるが、難易度の高い作業ではその

作業で手一杯となり、周囲へ気を配ることができなくなってしまうことが予想される。つまり、今行っている作業以外の情報に対する“気づき易さ”も作業環境から影響を受けることが考えられる。そのため、ここで述べたような、「諸般の事情により止むを得ず所用の環境が得られていない」ような VR 空間における作業では「気づき易いモード」も正規のものとは異なってくるかもしれない。そこで、本稿では併せて力覚情報が提示されている場合とされない場合との比較も行った。さらに、一般に作業の難易度はその作業への慣れの影響が大きい、特に力覚情報の無い作業では作業のし易さへの慣れの影響が大きい [6] ことから、作業回数との検討も行った。

## 2. 実験

### 2.1 設定

#### 2.1.1 実験装置

図 1 に本実験で用いた装置構成を示す。

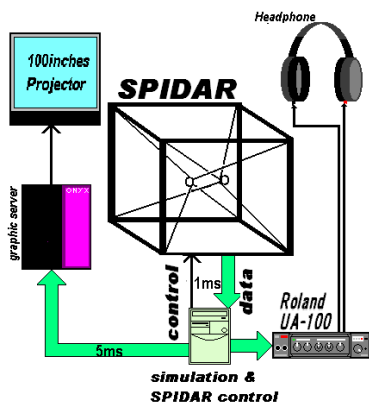


図 1: 実験装置の構成

本装置では、SPIDAR[7] により被験者の指の位置を検出、被験者は指の動きを介して VR 空間へ働きかけることができるようになっている。さらに、ポインタの動きを拘束することで指先に力覚を与え、VR 空間内の構成物に触れることができる。また、VR 空間の様子は 100 インチプロジェクタと液晶シャッター眼鏡により立体映像として、またヘッドホンにより音としても提供されている。

SPIDAR では、力覚発生点となるポインタから糸を介して離れた位置にあるロータリエンコーダ付きモータによりポインタの位置計測及び力の発生を行っている。そのため、構築される VR 空間内に存在するものは小さなポインタと糸のみとなり、視覚や聴覚の妨げとなることなく力覚を提供できる。また、複数点の位置検出及び力覚提供も可能である上、比較的大きな VR 空間の構築が可能であるため本実験で行う、仮想構築物を指で摘んで動かすような作業には最適の力覚提示デバイスといえる。

#### 2.1.2 設定環境及び作業内容

図 2,3 に作業空間の様子を示す。作業台は被験者の目線高さから 160mm 下方にあり、その上に半径 80mm、高さ 40mm の円筒形の台 A が奥に 100mm 左に 100mm のとこ

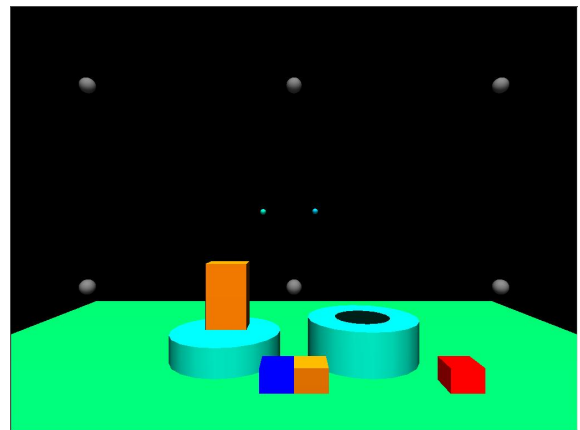


図 2: 作業空間の様子 (Front View)

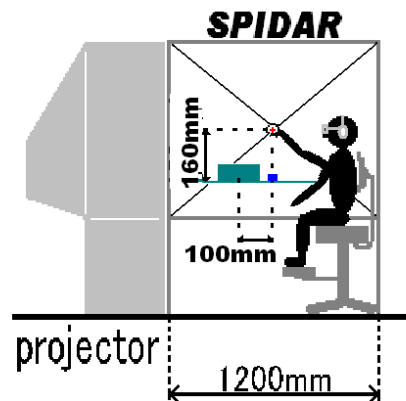


図 3: 作業空間の様子 (Side View)

ろに、中心部に半径 40mm の穴のあいた半径 80mm、高さ 60mm の円筒形の台 B が台 A の右 200mm のところにある。

行う作業は、台 A 上にあるオブジェクトを指で摘み上げ、台 B にある穴へ運び入れるというものである。その作業中に作業変更指示が提示されることがあり、被験者はそれに気がいたら今作業していたものとは別のオブジェクトに作業対象を変更して作業を続ける。

実際の作業手順は以下のようにになっている。

1. 被験者は図 3 のように、ヘッドホン及び立体視を行うための液晶シャッター眼鏡を装着、作業空間内に表示された基準点となる赤い点の高さに目線が合うように椅子の高さを調整して座る。親指と中指に SPIDAR の 2 つのポインタをそれぞれ装着する。
2. 台の間にある 2 つのボタンのいずれか一方を押す。
3. 押したボタンの色に対応するオブジェクトが台 A の上に出現する。このオブジェクトを指で摘んで持ち上げる。この際、指先への力覚情報が提示される場合とされない場合がある。
4. オブジェクトを台 B にある穴まで運び入れる。
5. この作業中に、指示が出されていたのならば今作業したオブジェクトとは異なる色のボタンを、出されていないければ同じ色のボタンを押す。

3~5 の作業を 30 回 1 セットとして、合計 40 セット行った。

オブジェクトは、半径 30mm 高さ 100mm の青色の円柱または底面 60mm×60mm 高さ 100mm の橙色の四角柱となっている。青のボタンを押せば円柱が、橙のボタンを押せば四角柱が台 A の上に現れる。ここで、力覚が提示されない場合には、オブジェクトを把持している状態（オブジェクト表面に相当する位置に両指がある）になるとオブジェクトの色が明るい色に変化、被験者はこの色変化により力覚がない場合にも把持状態を知ることができる。なお、力覚の有無に関わらず把持状態になっていなければオブジェクトを動かすことはできない。オブジェクトの穴への投入完了は穴の底に当たる際に提示される接触音により力覚がなくても確認できるようになっている。また、いずれも重さは 20g 重となっており、力覚が提示されている場合には現実同様、重さを感じられるようになっている。

作業中、平均 3 回に一度程度の割合で作業変更の指示が光の点灯あるいはホイッスル音により示される。この指示は、最初に把持状態になってから穴に入れるまでの間に一度だけ提示される。光の点灯は図 2 に見られる 6 つの灰色 (R:G:B=0.2:0.2:0.2) の点のいずれか一つが白く (1.0:1.0:1.0) なるというものとなっている。また、ホイッスル音は MediaVision 社素材畑 SoundCollectionVol.2(MVIM-058-A-1-A002) に収録されているものである。なお、点灯時間は音の長さと同じ長さ (0.22 秒) に設定した。

### 2.1.3 被験者及び測定項目

被験者は学生 6 名とした。いずれも本作業環境は初めてであり、全く慣れていない状態で実験を開始している。

なお、被験者には本実験の真の目的は伝えず、「オブジェクトをなるべく速く正確に運んで穴に入れる」ように指示、「持って運ぶ」こと自体が目的の作業と伝えてある。本実験の真の目的は「気が付きやすい情報はどのような情報であるか」であるが、これが被験者に伝わってしまえば、指示情報を検知することに被験者の注意が向いてしまう可能性がある。本実験における指示情報はあくまでも作業への割り込み情報であり、作業中にそれを検知できるか否かが知りたいのであるから、指示情報の検知自体が被験者の作業目的にならないよう留意した。

各作業毎に、作業所要時間（最初にオブジェクトが把持状態になってから穴に入るまでの時間）と作業中にオブジェクトを落とした回数、指示提示の有無及び応答を結果として記録している。また、各作業におけるオブジェクト形状及び力覚提示の有無も記録している。

## 2.2 結果と考察

### 2.2.1 視覚情報と聴覚情報の比較

図 4 に、光あるいは音で作業変更指示が出された際に、オブジェクトの変更を行わなかった率を作業失敗率として被験者毎に示す。

全ての被験者で音の方が光に比べ失敗率は大幅に小さくなっている。特に、一般的に失敗の多い被験者 C を除く 5 名ではほぼ誤りなく指示に応じることができている。また、被験者 C を除き、音はいずれも 1%前後でそれほど被験者

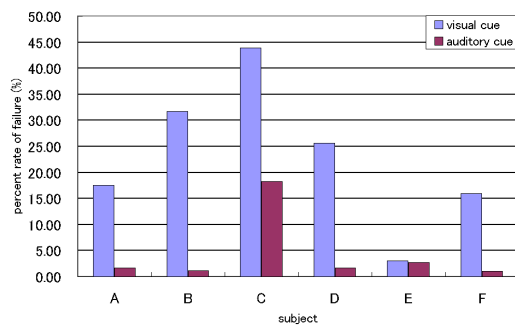


図 4: 作業失敗率の視覚と聴覚での比較

間の差が見られないのに対し、光は被験者 E の 3%を例外としても 15%~30%と被験者間の差が大きい。

本実験の場合、指示に気づいたら今までとは異なるオブジェクトを呼び出し、指示がないあるいは気づかなければ同じオブジェクトを呼び出す、という設定になっている。従って、ここでの失敗というのは、

- 指示の提示に気が付かなかった
- 指示が出されていたことを忘れてしまった
- 気づいてはいたが押すボタンを間違えた

のいずれかということになる。ここではこのうちどの原因によるものかは不明であるが、音の方が指示を確実に認識、それを実行できることはうかがえる。また、被験者間の差も小さいため、本実験では聴覚情報の方が気が付き易く、作業内容変更指示情報として適していた、ということがわかる。

### 2.2.2 力覚提示有無による影響

次に、オブジェクトを持つ際に力覚がある場合とない場合での失敗率を図 5 に示す。

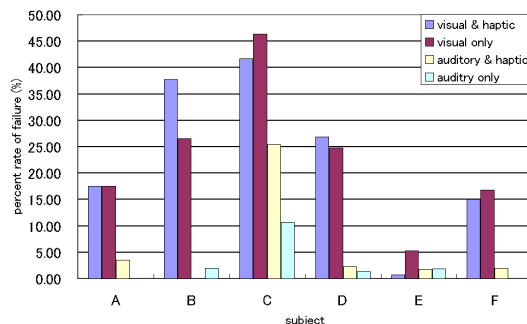


図 5: 作業失敗率の力覚有無の影響

被験者間に共通した傾向は見られなかった。特に光では、ほとんど変わらない被験者 (A,D,F) がいる一方で、被験者 B は力覚がある方が、逆に被験者 E は力覚がない方が失敗し易いなど、被験者毎に異なる傾向となった。

従って力覚情報提示有無による指示情報検知のし易さへの影響の大きさは被験者毎に大きく異なる、個人差が大きいことがわかった。但し、全般にわたって音の方が失敗率そのものが低くだけでなく、力覚有無による差も小さいため、やはり光よりも音の方が気づき易い情報である、ということがわかる。

当初、力覚がある場合にはオブジェクトの把持を指への力で把握できるため視覚はフリーとなり周囲へ気を配るこ

とができる一方、力覚がない場合には把持を目で確認しながら作業を進めなければならないため、周囲を見回す余裕はなくなるのではないかと、従って力覚がある場合とない場合とで光の結果には大きな差が生じるのではないかと考えていたが、必ずしもそのような結果にはならなかった。

### 2.2.3 作業慣れによる影響

全 40 セットを開始から 10 セット (300 作業) 毎に区切ったときの各区分における失敗率を光について図 6 に、音について図 7 に示す。

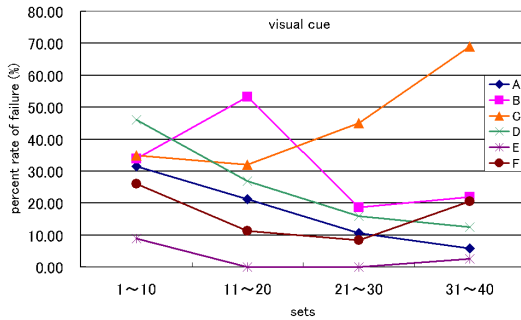


図 6: 作業失敗率の作業慣れの影響 (光)

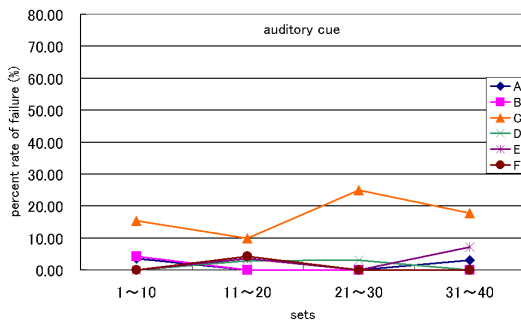


図 7: 作業失敗率の作業慣れの影響 (音)

音では被験者間に共通した傾向は見られない。従って、作業の慣れ具合は、音の気づき易さには関係なく、作業開始当初から安定して気づけることがわかる。

一方、光では A,D が回を重ねるごとに失敗率が減少しているのに加え、E,F もそれに準じた傾向となっている。すなわち、多くの被験者で、作業回数を重ねるうちに光を見落すことが少なくなっているとわかる。従って、作業に慣れてくると当初は見逃しがちだった光による指示も受け取り易くなる、光の気づき易さは作業の慣れに大きく影響されていることがわかる。

但し、B,C のように回を重ねてもあまり検知率が向上しない被験者もあり、一概には言えない。その原因が作業への慣れ具合そのものが被験者間の差が大きいためなのか、光の検知のし易さそのものの被験者間の差が大きいためなのかは現時点では不明である。

### 3. まとめと今後の課題

ある作業を行っている際、その作業へ割り込むように作業変更を指示、それに応じられるか否かを調べた。

その結果、このような状況では音の方が光よりも指示に対して確実に応答でき、また応答率の個人差や作業環境に

よる影響、作業慣れによる影響も小さく、適当であることがわかった。

但し、本実験では作業変更指示といっても二者択一の単純なものであり、注意喚起といっても差し支えない程度の情報である。複雑な内容を聴覚情報により伝えることは視覚情報に比べ難しいと思われ、変更候補が多数あるような場合にも今回の結果が適用できるとは限らない。従って、“気づき易さ”に関しては本実験により聴覚情報の優位性が示されたが、「作業変更指示情報」としても有用であるとは決められず、今後の実験結果を待つ必要がある。

なお、今回の実験では視覚情報は“気づき難い”という結果になっているが、本実験における光の提示位置は、作業領域付近及び視野上端付近 (基準点を見ている状態で液晶シャッタのフレームにかかる程度の位置) となっている。そのため、場所により見易さに差が生じている可能性がある。実験後の被験者の内省報告からもその様子が見え、位置と気づき易さの関係も調べる必要がある。提示位置次第では光でも十分“気づき易い”可能性は残されている。が、その位置を考慮しなければならない分、それが不要である聴覚情報よりも“気づき難い”情報とも言えよう。

また、オブジェクトを落としてしまうなど作業に手間取った場合に、指示が出されていたかどうかの判断に迷うことがあったという意見が実験後の被験者の内省報告で挙げられていたことから、今後作業状態との関係も調べていきたい。

### 参考文献

- [1] 原田哲也, 菅原康雄, 佐藤誠, 深尾毅: 仮想作業空間におけるマルチモーダルインターフェースの効果-視覚, 力覚及び聴覚情報の役割-, 電気学会論文誌 Vol.C-115, No.2, pp.261-266, 1995.
- [2] 赤羽歩, 波多野哲朗, 原田哲也: 仮想空間内での対象物選択作業における 3 次元聴覚情報提示の効果, 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, pp.501-504, 2000.
- [3] 赤羽歩, 原田哲也: 対象物選択作業における聴覚情報と視覚情報の役割, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp.103-106, 2001.
- [4] S.Shimojo, C.Scheier, R.Nijhawan, L.Shams, Y.Kamitani and K.Watanabe (全訳) 岡田美苗, 柏野牧夫: Beyond perceptual modality: Auditory effects on visual perception, 日本音響学会誌 Vol.57, No.3, pp.219-225, 2001.
- [5] 京屋知行, 山本泰秀, 石井雅博, 佐藤誠: 力覚生成機能を持つ仮想環境における立体ゲームの構築-仮想ハノイの塔-, テレビジョン学会誌 Vol.49, No.10, pp.1347-1352, 1995.
- [6] 崔正烈, 松永勝也, 志堂寺和則: 人工現実感環境下の作業に及ぼす力覚、振動覚、聴覚による接触情報のフィードバックの影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.7, No.1, pp.23-32, 2002.
- [7] 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘: 空間インターフェース装置 SPIDAR の提案, 電子情報通信学会論文誌 Vo 1 .J74-D-, No.7, pp.887-894, 1991.