

平成19年度

卒業研究論文

VR ネットショッピングシステムのための
触力覚フィードバック方法の検討

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

平成16年度入学 16115060番

黒田 雄大

目次

1	はじめに	1
2	VR技術を用いた通信販売システム	4
2.1	VR技術を導入する通信販売方式	4
2.2	目的とするシステム	4
2.3	今後の展望	7
3	仮想手モデルと仮想物体の干渉判定	8
3.1	仮想手モデル	8
3.2	仮想物体モデル	10
3.3	干渉判定	11
4	人間の触力覚と視覚効果	14
4.1	人間の生理	14
4.2	触覚における錯覚	15
5	実験及び結果	17
5.1	システム構成	17
5.2	実験1:振動パターンによる大きさ識別の有効性	18
5.2.1	実験方法	18
5.2.2	結果及び考察	19
5.3	実験2:視覚効果による大きさ識別の有効性	21
5.3.1	実験方法	21
5.3.2	結果及び考察	21
5.4	実験3:振動による大きさ識別	23
5.4.1	実験方法	23
5.4.2	結果及び考察	24
6	むすび	26
	謝辞	28
	参考文献	29

第一章

はじめに

近年、電話やインターネットを通じて通信販売を行う企業、および利用する消費者が増えている。これは一般家庭へのテレビやパーソナルコンピュータを介したインターネット等を中心としたメディアの急速な普及が背景にある。これらの普及により実際に店頭で商品を手にとらず、テレビコマーシャルやインターネットのウェブサイトから商品情報を得ることができるようになり、購買活動を行っている。通信販売の形態をとるメリットとして、販売業者は店頭で多くの在庫を用意する必要がなく、在庫を一ヶ所に集め注文された量だけ配送すればよいという点が挙げられる。また受け取る消費者も店舗に向かう必要がなく、自宅にいながら商品を手にとることができる等という多くのメリットがあり急速に普及してきた。

しかし通信販売を利用して商品を購入した際、実際に手に取った時に色や形が思っていた商品と違う、サイズが合わない、といったような問題が発生することが少なくない。これらの問題は商品を実際に手に取ってまたは試着等を行って購入するのではなく、多くの場合高さ×幅×奥行きが何センチか、といった一見しただけでは大きさがわかり兼ねるような、何らかのメディアを介しての限られた情報のみで商品の購入を決定してしまうことに起因している。解決策として、家に居ながらにして店舗に買いものに行っているかのような感覚を味わえる環境を作ることが望まれる。

そこで、通信販売の商品の情報提供にバーチャルリアリティ(Virtual Reality:VR)技術を応用することを考える。VR技術を応用することで消費者が商品の情報をより多く得ることができ、より店舗で買いものをする感覚に近い感覚で買いものができる。VR技術とはコンピュータ上にデータとして定義された仮想空間内で、ユーザの感覚を刺激することにより実際には存在しない物体を知覚させる技術である[1]。この技術を用いることで実際には行うことのできない、または行うことが困難であることを疑似体験させることが可能である。現状、通信販売の形態では商品を手にとることができず、値段や機能以外の部分に関しては多くの場合メディアを通じて外観を知ったり、数値で記述された大きさの情報等の視覚情報を元にして購入を決定する。そこでVR技術を導入することによって、視覚情報だけでなく触覚・

力覚等の感覚を含めた総合的な情報で商品を選択すること可能になると期待できる。

VR技術では現実世界をより精密に再現するため、視覚・聴覚・嗅覚に代表される五感を始め、様々な分野の研究がなされている。触力覚の分野についても多くの研究がなされており、触力覚フィードバックに関するデバイスは、医療やその他危険な業務の遠隔操作等の様々な目的で研究、開発されている[2][3]。ただし触力覚を精密に再現するためには加えた力に相当する反力が必要であり、装置にはそれに耐えうる土台が必要となり必然的にデバイスは大型で、また高額なものになっている[4][5]。

しかし通信販売になんらかのデバイスを用いる場合、通信販売の特徴から一般家庭に普及しているもの、もしくは普及しうるものでなくてはならない。したがってあまりに大型もしくは高額な物は一般家庭レベルにまでは普及しえない。そこで、触力覚の精密な再現ができなくとも、安価に実現できるなんらかの触力覚を返すことによって、視覚や聴覚だけでなく触力覚に訴える通信販売システムを構築することを考える。

現在、触力覚に訴えるフィードバックとして最も普及しているものは振動フィードバックであるといえる。フィードバックに用いる振動子は十分小型化され安価になっており、携帯電話や小さなマッサージ器具などに用いられている。フィードバックとしての振動はゲームのコントローラによく用いられ、本来は振動という刺激ではない爆発や衝突シーンの衝撃の演出等に多く使われている。このことから振動を用いることによって安価にかつ十分効果的に、触力覚フィードバックが得られであろうとして、様々な研究がなされ効果も報告されている[6][7]。文献[6]ではグローブ型のデバイスを用いることによって、仮想空間内で右手による仮想物体の接触の臨場感を出し得る事が報告されている。また同様に、物体を握るということに対しても有効性があるとされている。

そこで本研究では、一般家庭への普及を考慮し、振動のみという希薄な触力覚フィードバックの環境下でのネットショッピングシステムの検討を行う。通信販売における購買対象商品は多岐に及ぶが、本研究では片手で扱えるような商品を対象とする。具体的には、携帯電話やデジタルカメラを最初の実験対象として選択した。これらの商品を購入するときに重要視する要因は、性能の他に大きさやデザインが非常に重要な要素となる。ところで、携帯電話やデジタルカメラの多くは単純な直方体に近い形であることが多く、精密な触力覚表現ができなくとも比較的容易に大きさの識別ができると考えている。本システムが実際に利用

されるようになれば、インターネットショッピングにおいて直感的に大きさが認知でき、商品の選択に大きく寄与できると考える。またグローブ型のデバイスを用いることとし、片手で扱える範囲の商品であれば、各種データを用意するだけで様々な商品に対応することを可能とする。本論文では、ネットショッピングシステムを想定した実験システムにより、振動子による希薄な触力覚フィードバック環境下においてどの程度の大きさの識別が可能か検討する。実験システムでは、手の位置及び関節の曲げ角を測定可能なデータグローブを用い、仮想空間に配置された仮想の手と物体(携帯電話など)との干渉を判定する。本稿2章では、本研究で目指す通信販売の形を示す。その実現に対して具体的にとるべき手法を3章、4章で述べる。またこれらの手法を用いて作成した、ネットショッピングシステムを想定した実験システムについて5章で述べる。合わせてその有効性、すなわち、どの程度の大きさの識別が可能かを実験により検討する。

第二章

VR技術を用いた通信販売システム

本章ではVR技術を用いた通信販売システムについて、本研究が目指す通信販売システム及び今後の展望について述べる。

2.1 VR技術を導入する通信販売方式

現在の通信販売において多くとられている方式は、テレビを通じたテレビショッピング、家庭用のパーソナルコンピュータを用いたネットショッピング、家庭にカタログを送りそのカタログを元に注文をするカタログ通信販売といった方式が多く用いられている。これらにおいて、触力覚フィードバックを用いたVR技術は一般には用いられていない。一般にVR技術を用いるためには、操作物の対象商品に対してインタラクティブ性が求められる。また、触力覚フィードバックを得るためには、専用のデバイスと接続することが必要である。これらの条件に対して、消費者と企業、2者間の情報交換の即時性、触力覚フィードバックデバイスとの親和性において計算機を用いるのが妥当である。そのことからこれらの要件を満たす方式として、ネットショッピングが最も適切と考える。よって本研究ではネットショッピングを対象とし、家庭用の計算機で動作するシステムの構築を目的とする。

2.2 目的とするシステム

本研究では一般家庭へ普及し得るデバイスを用いるため、安価に表現できる触力覚フィードバックでのシステム作りを前提としている。現在安価に提供される触力覚フィードバックとして代表的なものは振動である。振動をフィードバックとして用いた場合、仮想空間内で現実世界の店頭販売と同じような陳列方式をとるのは好ましくない。なぜなら棚やしきり、隣接

した他の商品などの多くの物体を仮想空間に配置すると、それぞれに対して干渉判定を行わなければならない。このとき振動という接触の状態や方向を限定できないようなフィードバックでは、どの物体とどのように接触しているかの判断が難しくなる。そこで商品を選択する過程までは通常のネットショッピングのようにマウスで、もしくはグローブ型デバイスによるジェスチャーなどによって商品を選択し、選択した商品のみを干渉の対象としピックアップすることで快適に商品の選択ができると考える。

ここでネットショッピングシステムの現状について考える。現状では商品の名前もしくは小さな写真などが並べられたトップページから、気に入った商品を選択することで商品の詳細が記述されたページに移動するといったものがほとんどである。インタラクティブ性が高いシステムでも、図1のようなAdobeFlashPlayerを利用しマウスでカーソル移動を行うことで、選択した商品が随時表示されるようなシステムである[8](図1)。



図 1:現状のネットショッピング例 (写真: ソフトバンクモバイル株式会社)

触力覚フィードバック導入の一手法として、このシステムに触力覚フィードバックを与えるグローブ型のデバイスを利用することを考える。手と一体となるグローブ型のデバイスを用いることによって、手に取るような動作で商品を手に取ることができる。そのことによって、より感覚的に商品の選択が行うことができる。そして商品を選択した後、より前面に表示された商品を握ったり操作することで触力覚的な部分での商品の体感が行え、自分の気に入った大きさの商品を容易に探すことができる。このシステムが実現された場合のイメージを図2に示す。



図 2: ネットショッピングシステムのイメージ図

2.3 今後の展望

本章で述べたシステムを実現するためには幾つかの課題がある。まず、実際に振動のみという触力覚フィードバック環境においてどの程度の大きさや形状の違いが認識できるか、という問題がある。この問題について本稿5章の実験で検討する。

次に、他の問題として手の動きを感知し振動フィードバックを返すデバイスの一般家庭への普及が挙げられる。精密な触力覚フィードバックを与えるデバイスよりは小型で安価とはいえ、触力覚フィードバックを返すグローブ型デバイスは現状では一般家庭には普及していない。ただしフィードバックに用いる振動子については現在十分広く普及してきており、さらにデバイスに取り付けるのに十分な小型化がなされている。また触力覚フィードバック機能は付与されていないが、グローブ型のデバイスについては古くから注目され開発されている。古くは1990年に位置センサーと指の曲がりを知るベンドセンサーを用いた家庭ゲーム機用のデバイスが発売されている[9]。他に家庭用計算器用のグローブ型デバイスが1万円程度で市販されたこともあり[10]、普及するのにこれらは十分小型で安価であるといえる。このことから本研究が目指すシステムや、他の触力覚を用いたコンテンツの開発がなされれば、一般に十分な需要が起き、デバイスは安価に大量生産し得るであろう。

その他今後の展望として、本研究ではネットショッピングを対象に考察を行うが、他分野への応用も考えられる。例えばテレビ放送は、放送局が作成した1つの番組に対して大衆が受け取るマスメディアであり、情報の提供形態が多対一となるテレビにおける通信販売に今回提案したシステムは使用し難い。しかし、現在テレビ放送においてデータ放送が行われ双方向放送が行われつつある。この放送形態を利用し、かつ触力覚フィードバックを用いるデバイスが普及すればテレビショッピングへの応用など広い分野への発展が考えられる。

第三章

仮想手モデルと仮想物体の干渉判定

本研究ではユーザが仮想空間内の仮想手を操作し、仮想物体を握ることで大きさや形状を把握することを目的としている。ユーザが違和感なく仮想手を操作し、仮想物体との干渉を行うためにはリアルタイムに視覚的、触力覚的なフィードバックが得られる必要がある。本章では仮想空間における仮想手のモデルと仮想物体との干渉判定について述べる。

3.1 仮想手モデル

本研究では相互作用を起こす対象物体が片手で扱える物としているので、本節では右手に関してのみ述べる。ただし、反転すれば同様のモデルで左手を作成することが可能である。仮想手の基本設計は文献[11]のモデルを使用している。

仮想手は物体との干渉を判定するために図3のように、それぞれの指の指先及び各関節に判定点が設定されている。関節部分の判定点を以下便宜的に関節点と呼ぶ。さらに仮想手の手首に基準点を設定し、これを空間内の仮想手の位置とする。この点におけるベクトルの方向およびそれを軸とする回転を手の方向、そして位置及び方向の変化を手の動きとして扱う。

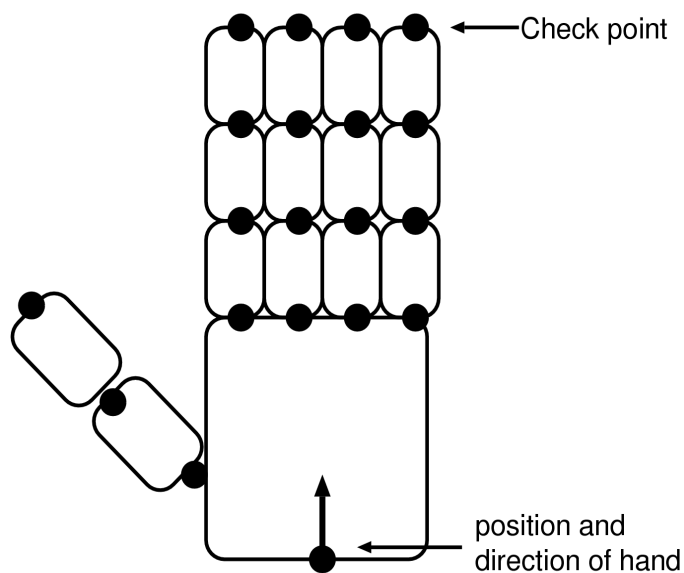


図 3:仮想手のモデル

この図3のモデルに、手首の基準点に図4のあらかじめ用意された手の平のモデリングデータを配置し、各関節点に図5のような、指先、第1関節～第2関節、第2関節～第3関節に分割したモデリングデータをそれぞれ配置することで仮想手を実現した。今回手のモデリングデータはフリーのソフトウェアを利用した、

指の動作は、人差指～小指は関節点ごとの曲げ、及び第3関節における指の開閉の2つ自由度を持つ。親指のみ曲げ、開閉に回転を加えた3自由度を持つ。



図 4:手の平のモデル



図 5:指のモデル

3.2 仮想物体モデル

一般的に現実空間では物体は様々な形状をとる。それらをすべて仮想空間で見た目や、さらには内部的なしくみや挙動まで忠実に再現することは困難である。そのため物体自体や物体の干渉範囲を、球や多面体で表現するといった手法は多く行われている。加えて本研究では扱う物体を、携帯電話やデジタルカメラといった片手に収まる程度の大きさで単純な形状をした物体に限定している。そこで、今回扱う仮想物体は大きさを任意に設定できる多面体とする。

また、握るという行為を行いやすいように物体は任意の位置、任意の角度で仮想空間に浮かぶようにして固定して表示され、重力や仮想手の干渉等によって初期状態から移動しない物とする。

ここで考えるべき問題として、通信販売形態に必要な条件として、様々な種類の商品のモデルを容易に定義できなければならない。そこで本モデルでは各面を配置するデータと、それぞれの面のテクスチャ画像を納めたファイルを用意することで、容易に商品を定義できるようにした(図6)。

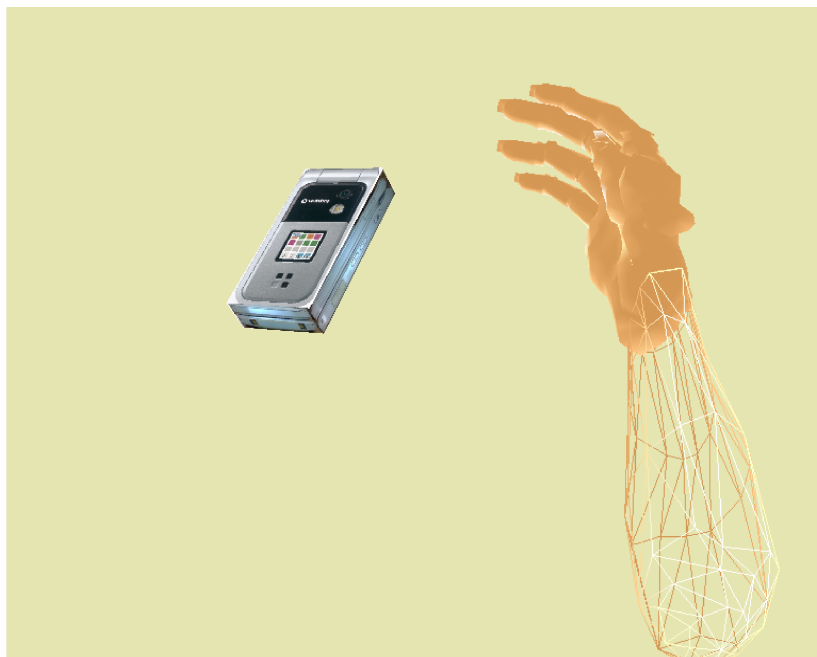


図 6: テクスチャを用いた仮想物体例

3.3 干渉判定

一般的に物体は重力や磁力, 移動時には慣性が起こる等の自然現象による物理的な影響を常に受けている. また手などによる外力を受けるとき, 把持や移動, 回転といった挙動を示す. しかし3.2で述べたように, 本研究では仮想物体は多面体に限定し, 重力や仮想手における外部からの力による移動等の相互作用は考慮しない. したがって仮想手が仮想物体に触れた位置や方向に関わらず, 干渉の判定は手及び指が仮想物体の各面に触れたかどうか, の干渉判定のみ行うこととする.

3.1で述べたように仮想手には指先と各関節及び手首に判定点が設けられている. 各指の指先と第一関節, 第一関節と第二関節, 第二関節と第三関節, 第三関節と手首の判定点を対として, 対の点を結ぶ線分(以下判定線分と呼ぶ)が物体の面と交わっていないかを判定することで, 接触判定を行う. ただし判定点は指のモデルの中央部に設定されている. そのため仮想物体の面とこの判定点及び判定線分で接触判定を行った場合, 指の厚みが考慮されない. そこで本モデルでは仮想物体を接触判定上においては, 指の厚さ分ずらした平面(以後判定面と呼ぶ)で接触判定を行うことで近似的に指の厚みを考慮した.(図7)

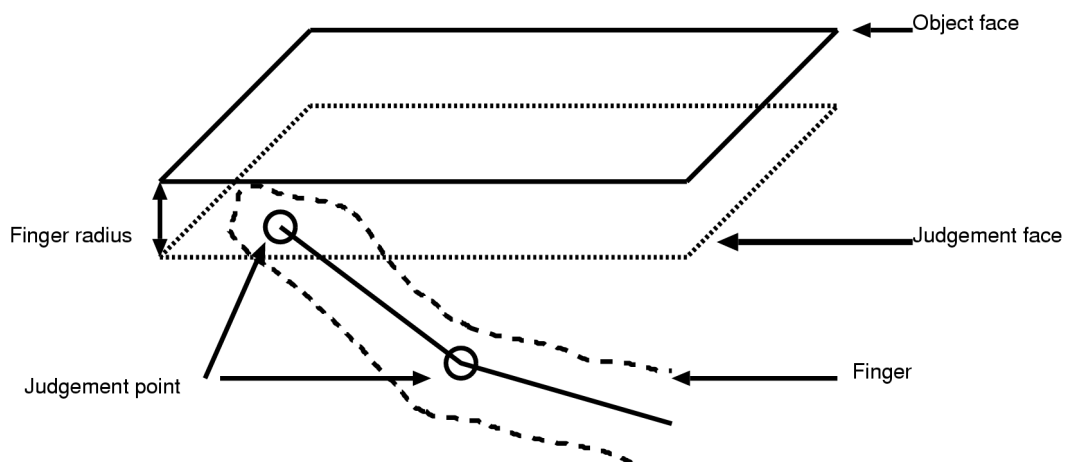


図7:接触判定

各面と判定線分の接触の判定は、まず判定線分が各面を含む平面と接触しているかを判定し、平面と交差していた場合接触点が物体の面に含まれるかを判定することで接触判定を行っている。各面を含む平面と判定線分の接触判定を式(3.1)に示す。ただし、実際の処理に用いる物体の面は判定面である。式中の記号 n は判定面仮想物体外側への法線ベクトルであり、 $v1$, $v2$ は平面の1頂点 $P0$ から線分の両端の判定点 $P1$, $P2$ へのベクトルである。

$$(v1 \cdot n)(v2 \cdot n) \leq 0 \quad (3.1)$$

これは $P1$ 及び $P2$ のどちらかもしくは双方とも判定面の仮想物体内側へ侵入しているとき、 n と $v1$, 及び n と $v2$ とのなす角が90度以上になることより判定している。なす角が90度以上の場合内積は必ず0以下となる。そこで n と $v1$, 及び n と $v2$ の内積の積を計算する。どちらか片方が負または0のときのみこの積が0以下となる。よって積が0以下のとき判定線分は判定面を含む平面と交差している、つまり接触していると判定できる。

判定線分が判定面を含む平面と接触しているとき、次に接触している点を求める。線分と判定面の交点を $P3$ とし、 $P1$ と判定面の距離を $d1$, $P2$ と判定面の距離を $d2$ とする。(図8)ここで、 $P1$ から $P3$ までの距離を 1 とおいたとき、 $P1$ から $P3$ の距離を a とすると $P2$ から $P3$ の距離を $1-a$ とおくことができる。

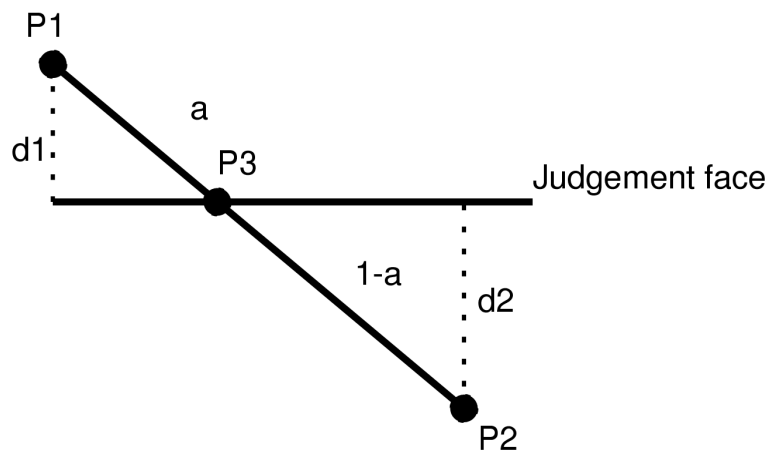


図 8: 接触点の算出

a と $1-a$ の比は内分比より $d1$ と $d2$ の比に等しい。そのことより a は式(3.2)の様に表現できる。

$$a : 1-a = d1 : d2 \quad (3.2)$$

$$a = d1 / (d1 + d2)$$

d_1 と d_2 は各頂点及び法線ベクトルが求まっていることより容易に算出できる。これにより a が求まる。 a と v_1 と v_2 を用い P_0 から P_3 へのベクトル v_3 は式(3.3)のように求めることができる。

$$v_3 = (1 - a)v_1 + av_2 \quad \text{式3.3}$$

式3.3で求めた v_3 から P_3 を求めることができる。この P_3 に対して図9のように各頂点から左回りに頂点同士のベクトルと頂点から P_3 へのベクトルの外積を求める。

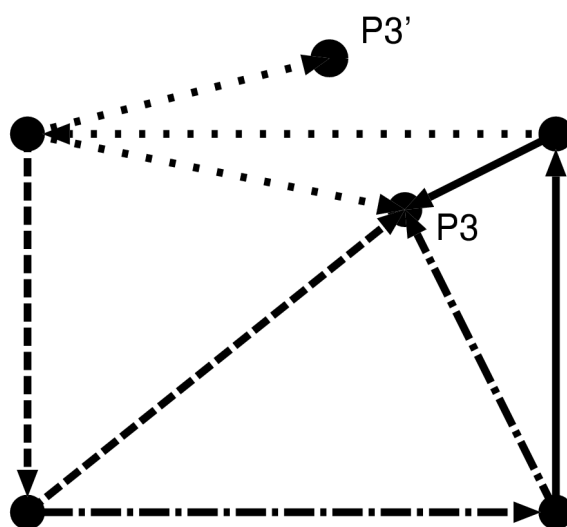


図9: 判定面内に含まれているかの判定

図9の P_3 が判定面内に含まれるときそれぞれ外積を行うベクトル同士が左回りとなり、外積は全て同一方向となる。しかし図9の P_3' のときのように判定面内に含まれていないとき、右回りのベクトルが発生する。このとき他のベクトルの外積とは逆向きの外積となるため、ベクトルの外積が同一方向を向くかどうかで判定面に対しての接触点の内外判定が行える。

第四章

人間の触力覚と視覚効果

本章では触力覚を補助することを目的とした視覚効果について述べる。本研究では、2次元ディスプレイでの表示と振動のフィードバックによる物体の大きさの識別を目的としている。ここで現実世界においての物体の大きさ識別の行動を考える。現実世界において実際に物体の大きさを測るという行為の際、大きさを認知するのに働いている感覚は、大きく分けて3つであるといえる。目で見たと感じる視覚、物体に触れたかどうかを感じる触覚、物体を握った時にどこまで指が曲がっているかを感じる運動感覚の三つである。この3つの感覚を使って大きさを判別している。

本研究の環境下において視覚に関しては、2次元表示となっているものの画面上に表示することによって、ある程度大きさの推測をすることができると考えられる。しかし触力覚フィードバックに関しては、振動という実際とは大きくことなるフィードバックしか与えられない。

そこで人間の生理をふまえ、視覚と振動のみで実際の感覚に近づける方法を考察する。

4.1 人間の生理

人間の体は外部、もしくは内部からの化学的刺激や物理的な刺激を受容器と呼ばれる器官で受けとることによって、何らかの反応を起こす。このそれぞれの刺激に対する反応が感覚である。感覚を分類すると大きくわけて体性感覚、内臓感覚、特殊感覚の3つに分けることができる[12]。

体性感覚とは皮膚表面で感じる表面感覚と、筋肉や腱の動きや痛みを感じる深部感覚からなる。内臓感覚とは臓器から受け取る痛みや吐き気等の感覚である。特殊感覚とは視覚、聴覚、味覚、嗅覚、平衡感覚からなる、体の一部にしか含まれない受容器で刺激を受け取る感覚である。物に触れたと感じる触覚は表面感覚に含まれる。触覚は外部物体との接触等

により皮膚の歪みが受容器を刺激し発生する感覚である。また、触れた際に押されたと感じる圧覚も表面感覚に含まれ、触覚と同じ受容器で感じる刺激なため厳密に区別することは困難であり、あまり区別されない。一方、振動を受け取る受容器は皮下、筋、腱、筋膜、骨膜、間接、胸膜、腹膜などであり、深部感覚に含まれる。

4.2 触覚における錯覚

3.1で述べたように物に触れたと感じる触覚や圧覚と、本研究で提示するフィードバックである振動は接触とは違う刺激である。さらに受け取る受容器も違い、根本的に違う感覚であるといえる。しかし、振動で触覚や圧覚に相当する衝突感等を感知させる研究は行われており、実際に効果が実証されている[6][7]。

根本的に違う感覚である振動感覚で触覚や圧覚を代用することができるのは触覚が錯覚を起こしているからである。錯覚とは刺激としては正しくとも、情報を正しく処理できない時に起こる現象のことである。広く知られているのは視覚情報の錯覚である。例として、図10のような図がある。図中の横線はいずれも同じ長さであるが、多くの人の場合下の横線の方が長く見える。このことからわかるように、錯覚が起きるメカニズムは多くの人に共通のものである。このことを利用し、多くの人が同様に接触感を強く持つような触力覚以外の錯覚効果について考察する。

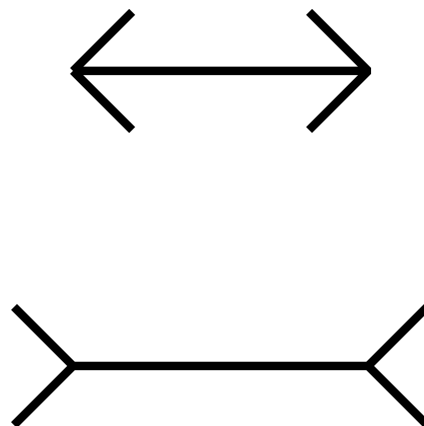


図 10: 視覚の錯覚例

錯覚は前述のように触覚と振動感覚のように全く違う感覚のものでも起きることから、視覚と触覚の間にも同様の錯覚が起り得ると考える。実際に全く触力覚フィードバック環境がないマウス操作の仮想空間において衝突感を出すという実験が行われている。この実験では操作物が対象物体に接触した時、意図的に表示を改編することで、視覚効果の有用性を検討し、効果があったことが報告されている[13]。また握ったときに指がどの程度曲がっているかを感知する運動感覚についても視覚効果が検討されている。運動感覚による硬さ判別において視覚情報を改編することで、多少の違和感はあるものの判別率が向上するとの報告がある[14]。これらの現象を利用し、視覚効果による接触感の向上を実験によって考察する。本研究では文献[13]で用いられている背景画像変化による主観的な衝突感の発生について検討する。以下、簡単に文献[13]の実験を述べる。

実験では触力覚フィードバックの全く備わっていないマウスを用いている。まず、格子模様の正方形が一定速度で流れているウィンドウ内に操作カーソルを固定させる。被験者はマウスを動かさず、操作はマウスの左クリックのみとする。左クリックした状態で操作カーソルが正方形の領域内に入っているとき、一定速度で流れている正方形の速度が大きく変化する。移動速度が大きく変化するとき、マウスには触力覚フィードバックは含まれていないが被験者は強い衝突感を感じるという結果となった。この結果より視覚効果による衝突感を出すことは十分可能であると考えられる。またユーザの操作物体そのものではなく背景画像を変化させることによって、大きく操作感を損なうことなく衝突感を出せているのではないかと考える。

この効果を本研究に採り入れる方法を考える。文献実験[13]の実験では背景が絶えず動いていた。これに対し本研究では対象物体は静止物であり、操作する仮想手もあまり激しい動きは行わない。これより背景画像は常に流動的に動いていると明らかな違和感がある。そこで操作する仮想手と対象の仮想物体以外の背景画像を用意し、その画像を衝突時に変化させることによって振動による衝突感を強めることができないかを検討する。本研究の視覚効果としての背景画像の変化は、衝突時の背景の微量移動による接触感の増加を検討する。

第五章

実験及び結果

5. 1システム構成

第3章で述べた仮想手及び物体モデル, 相互作用モデルに基づいた実験システムをx86系IBM PC-AT 互換機(Pentium4 2.80GHz, 1GB memory)上で, C言語により実装した。

操作者の手の位置, および方向は, Polhemus社3SPACE FASTRAKの低周波の磁界を利用したモーションセンサによって入力される。センサは次に述べるグローブの手首の部分に装着されている。各指の関節の角度, 手首の角度等は, グローブタイプの入力装置であるImmersion社CyberTouchを使用した。各指と手の平には振動子が装着されており, 操作者の手に振動を伝えることが可能である。

仮想空間における手の操作は, グラフィックライブラリであるMesaGLを利用することで, コンピュータグラフィックスとしてLCD上に出力している。

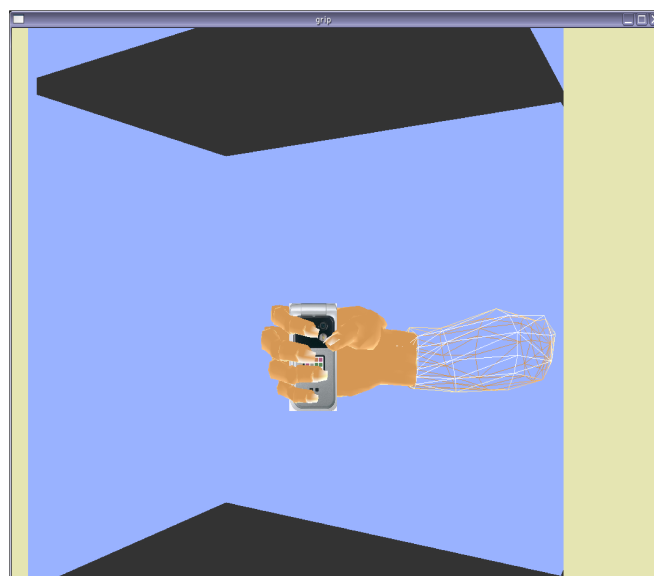


図 11: 実験の様子

5.2 実験1:振動パターンによる大きさ識別の有効性

本研究では振動を用いることで、仮想物体の大きさの識別ができるかを目的のひとつとしている。大きさの認知では無いが、過去の研究において仮想空間においての物体の接触認知に振動が有効であることが示されている[6]。

この事象を元に物体の大きさ識別にも振動が有効性を持つと推測し、どのような振動パターンが大きさ識別に有効かを検討する。

5.2.1 実験方法

実験に用いるグローブは5指及び手の平に振動子が取り付けられており、それぞれ255段階の強さが設定できるようになっている。同様の実験装置を使い振動による触力覚についての実験を行った文献[6]によると、経験的に65の強さが十分知覚する振動の大きさであり、接触感を感じるのに最も効果的な強さであるとしている。

このことより、今回の実験では各指及び手の平にかける振動の強さは全て65とし、いくつかの振動パターンを用意した。実験システムでは立体視を導入しておらず、また画角や視点位置等のキャリブレーションも行っていないため、仮想空間内での操作を容易とするために仮想手の動きに次の制限を行った(図12)。制限は手首の基準点をもとに判定しており、手首が図中の円錐状のエリアから左にはでないように制限される。さらに仮想物体に手の平が接触した時は手首の角度を固定し、指の開閉で大きさを認知するように制限を設けた。

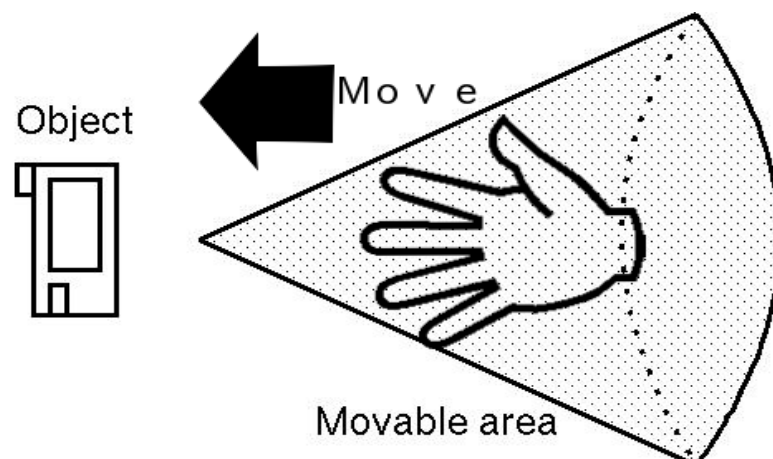


図 12: 仮想手の動きの制限

握る対象となる仮想物体は直方体とし、それぞれ実験において同じ大きさ・位置・角度とした。振動させるタイミングは指先が物体に触れたと判定されたところで振動させた。

実験は被験者4人に対して、後述の3つの振動パターンをランダムに各5回ずつ、計15回の試行を行い、それぞれの試行において実際に何らかの大きさを確認する行為に近い臨場感であるかを、7を最高値とする7段階の評価を行った。振動パターンは以下の3通りである。

1. いずれかの指が物体に触れた時、触れた指のみを振動させる
2. いずれかの指が物体に触れた時、手の平を振動させる
3. いずれかの指が物体に触れた時、触れた指と手の平を振動させる

なお、どの振動パターンで試行しているかは被験者には伝えずに試行を行った。

5.2.2 結果及び考察

振動パターンごとの評価値の平均値、最頻値、及び分散を表1に表す。

表 1:振動パターンごとの評価

	平均値	最頻値	分散
パターン1	4.8	5	0.66
パターン2	2.95	3	0.75
パターン3	5.15	6	0.93

評価値の平均値及び最頻値がいずれもパターン3が最も高い評価を得た。評価の高かったパターン3について検定を行った。パターン3とパターン1及びパターン3とパターン2の結果に対してt検定を行った。パターン2とパターン3の母平均に対しては危険率1%で有意な差が見られた。しかし、パターン1とパターン3では危険率5%でも有意な差は見出せなかった。ただし平均値及び最頻値ではパターン3が高いため、パターン3が最も有効であると考えられる。

パターン3は指が二箇所以上物体に触れている場合、振動する部位が最も多いパターン

である。これは手の平及び各指の振動の大きさの和が最大となるパターンであるといえる。対して文献[6]の実験では、接触の臨場感は振動の大きさの和が小さいほど臨場感が増すという相関がみられていた。これは文献[6]の実験では単に接触したかどうか、という臨場感だけで判断していたのに対し、本実験では大きさがわかり得るか、という違う観点からの評価を行ったことに起因していると考えられる。大きさ識別の際にはどの指が触れているのか、どのタイミングで触れているのかがよりはっきりわかることが重要となる。そのため単純な接触感の補助の場合よりも細分化された強めの刺激がよいと考えられる。

評価値以外に振動と接触感の聞き取りを行った所、各指同じ強さの振動であったが小指が強く振動している感じがする、といった意見や、逆に人差指、中指の接触感が乏しい、と言った評価があった。これは指の太さによる指とグローブの密着度の違いによるものと考えられる。細い指ほど密着していない状態で振動し、違和感を感じやすいとみられる。加えて指自体が細いため振動の影響を受けやすいことも影響しているといえる。そのため接触した指をそれぞれ振動させる場合も、各指ごとに振動の大きさの調整が求められる。

5.3 実験2:視覚効果による大きさ識別の有効性

3章の仮定の元, 視覚効果の有効性について検討する. ここで用いた視覚効果は, 手の平が物体と衝突した時背景画像を衝突方向に画面上の実寸で1mm程度ずらすという効果である. 同様に握る動作を行う際, いずれかの指が物体に触れた時に背景画像を下方向に画面上の実寸で約1mm程度ずらすという効果も同時に行った. この効果は経験的に設定したものである.

なお, 背景とは図11で示した携帯電話を展示する棚状の背景である.

5.3.1 実験方法

実験2では実験1で最も効果の高かった振動パターンを使用した. その振動パターンに上記の視覚効果を加えたものと視覚効果を加えなかったものを被験者9人に二つの試行を5回ずつランダムに試行し, 7を最高値とする臨場感の7段階の評価値で評価を行った.

大きさの識別を行う対象の仮想物体は実験1と同様の直方体で, それぞれの試行においておなじ大きさ, 位置, 角度で試行を行った.

被験者には視覚効果については伝えず, 2つのパターンの違う試行をランダムに行うことのみ伝えた.

5.3.2 結果及び考察

視覚効果がある場合と, ない場合の評価の平均値, 最頻値及び分散を表2に表す.

表 2:視覚効果の評価

	平均値	最頻値	分散
視覚効果有り	4.27	4	1.27
視覚効果無し	4.64	5	1.58

分散がかなり大きく、大きく個人差があるといえる。標本をt検定したところ危険率5%で有意な差は見出せなかった。しかし視覚効果無しのパターンが平均値、最頻値のいずれの値でも高く評価された。

実験後、操作感の聞き取り調査を行った所、視覚効果に気づいた者はいなかった。しかし母平均に有意差はないものの、評価にある程度差がついていることから無意識化でなんらかの作用が働いたことは考えられる。今回視覚効果を取り入れた場合の評価値が低くなったことから、無意識下で背景のずれを衝突感として錯覚するのではなく、単に、現実世界とは違う反応が起きる違和感、として感知したのではないか、と考えられる。

同様の視覚効果でも背景の変化を背景のずれが認知しやすいように、目につきやすい細かい模様をいれた場合や、背景をずらす距離を違和感のない程度に増減することで視覚効果を有効に働かすことができる可能性もある。

5.4 実験3:振動による大きさ識別

実験1及び実験2では握った際の臨場感の評価を行ってきたが、ここでは実際にディスプレイによる画像提示や振動がどの程度大きさ識別に対して有効であるかを検討する。また、どの程度の精度で識別できるかの検討も行う。

5.4.1 実験方法

6人の被験者に、5種類の大きさの仮想物体からランダムに2つの物体を順に触らせ、どちらの物体の方が大きいかの識別を行わせた。希望があれば一度触った物体を複数回触らせることも許可した。また、識別不能の場合は「識別不能」と回答させた。

実験に用いた仮想物体の大きさは表3の通りである。ここでいうcmとは操作する仮想手の手首から指先までを18cmとしたときの相対的な大きさである。がこれらの各辺の比は図13の通りである。ただし、図12は正射影で描かれている。

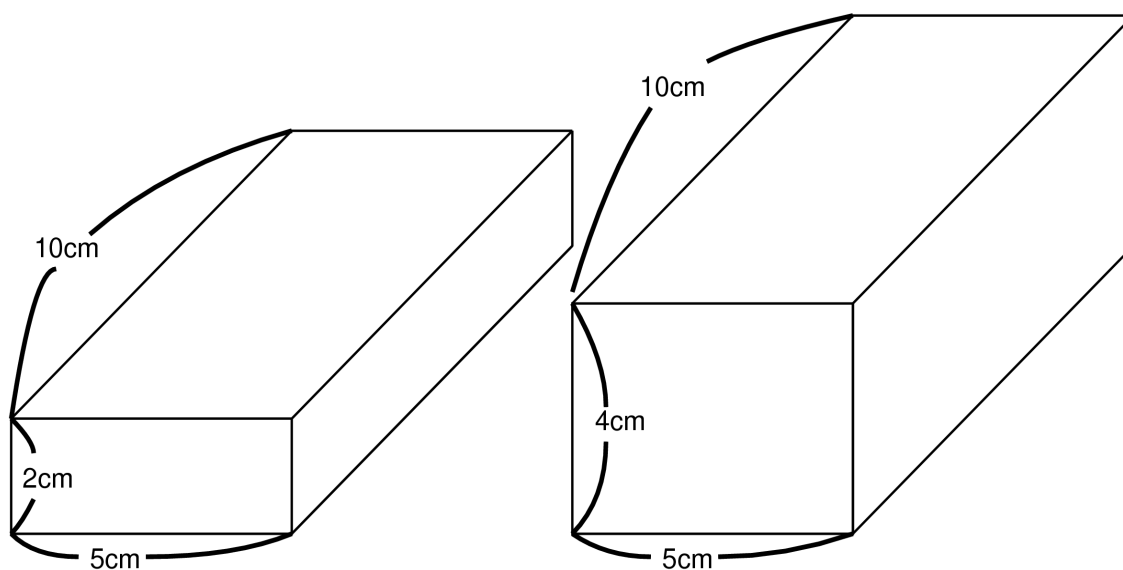


図 13:仮想物体イメージ

表 3:実験に用いた仮想物体の大きさ

	物体1	物体2	物体3	物体4	物体5
サイズ (cm)	5×2×10	5×2.5×10	5×3×10	5×3.5×10	5×4×10

これらの物体を0.5cmの大きさの差, 1cmの大きさの差, 2cmの大きさの差の3パターンになるように2つの物体を選び触らせることによって, 大きさの判別がどの精度で行えるのかを調査した. 試行回数は大きさの差を各パターン2回ずつ, 計6回の試行を行った.

なお, 実験に用いた振動パターンは実験2と同様に設定し試行を行った.

5. 4. 2 結果及び考察

試行総数と正答数を表4に示す.

表 4:試行回数と正答数

	試行総数	正答数
0.5 cm 差	12	9
1 cm 差	12	10
2 cm 差	12	12

正答率は0.5cm差で75%, 1cm差で83.3%, 2cm差で100%となった. ただし, どちらが大きいかの二者択一なので, 正答率はなんの根拠によらずとも確率的には50%前後となる. しかし, 12回試行して無作為に解答したとき全て正答である確率は2の12乗分の1となり, 2分の1と比べて高い確率とはいえない. さらに被験者の聞き取りを行ったところ, 2cm差に関してはかなりはっきり差がわかるとの意見であり, 2cm感覚の物体の大きさの違いは明確にわかるといえる. 1cm差のときでは比較的是っきりわかるという意見が多かったが, 被験者によって感覚にばらつきがあった. 0.5cm差も同様な意見であるが, 1cm差のときよりもさらに識別率は悪くなった. これらのとき識別不能でなく誤答が複数見受けられた. これは振動

するタイミングが指先が接触したときのみであったため、指の第二関節や第三関節と物体との密着度合に差がある場合、指先が触れる時の指の角度が異なってしまうために誤答が起きていると考えられる。そのため、握る際の指先以外の状態を固定させる、もしくは指先以外の部分が物体に振れたときにも指のどの部分が接触しているかがわかるような工夫を採り入れることで、誤答を減らし精度が上げられると考える。また実験を通した意見として仮想空間での馴れが必要である、との意見も聞かれた。そのため、大きさを識別する前に簡単なキャリブレーションや、システム使用の練習等を行うことによって大きさを識別の精度があがることも考えられる。

第六章

むすび

本研究は家庭に普及し得る触力覚フィードバックを導入したネットショッピングシステムの構築を目的としている。この目的を達成するための課題として、大きさの識別がある。本研究の実験において振動フィードバックが大きさを把握し、識別することを補助する効果があることが実証された。精度については2cm程度の大きさの差は確実に識別することができた。また、0.5cm~1cm程度の差でも、馴れや個人差による識別率の差は見られるものの、識別に一定の効果がみられた。しかし、これらの効果を強める効果として視覚効果の導入を検討したが、今回の実験では視覚効果による大きさ識別における有効性は見出せなかった。ただし、視覚効果が被験者に対して何らかの影響を与えている可能性は考えられる結果となったので、今後改良を行っていくことで有効な影響を与え得ることも考えられる。

実験による考察から今後の課題として、手のどの部分が物体に触れているかについての表現を工夫していきたい。今回の実験では握った際に指先が触れたとき振動させる方式をとったが、この方法では指の第二関節や第三関節と物体とのすき間があるか否かの判定がフィードバックとして返ってこない。この問題に対して、指先以外が触れたときも弱めに振動させる等の何らかのフィードバックを返す、すき間を視覚的に確認できるようにするといった解決策が考えられる。さらに他分野からのアプローチとして、指先以外から振動フィードバックを返すデバイスがあればどの位置が触れたかの表現が容易になる。

また新規な検討としてデバイスのユーザの手の大きさに合わせて仮想手の大きさを変えることによる効果があるのではないかと考える。なぜなら、物の大きさを測るには対象物体の大きさと自分の手の相対的な差が大きな判断基準のひとつとなるからである。今回の実験では手の大きな男性でも、手の小さな女性でも同一の仮想手モデルを使用した。これは実際では手首から指先までの距離で見ると、3cm程度の大きさの違いを無視していることとなる。この違いをユーザごとに自分の手に近いようなモデルに補正することで、操作感や識別率が向上するのではないかと考える。他の課題として、振動の大きさや振動する部位を調整す

ることで重さや弾力の違いを表現できるのではないかと考える。さらに視覚効果を加えることでこれらの表現力を強める効果ができるか、といったことも今後の検討課題としたい。上記した課題の検討や、触力覚フィードバックを用いたデバイスの研究を今後も行っていくことで、VR技術を活用したネットショッピングシステムが一般家庭向けに実現していく。

謝辞

本研究をすすめるにあたって、日頃から多大な御尽力をいただき、御指導を賜りました名古屋工業大学 舟橋健司 准教授、伊藤宏隆助教に心から感謝致します。

また、本研究に対して御討論、御協力いただきました伊藤研究室の皆様ならびに中部大学 岩堀研究室の皆様に深く感謝致します。

さらに実験にご協力いただきました友人の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 野村淳二,澤田一哉: ソフトコンピューティングシリーズ10 バーチャルリアリティ, 朝倉書店,1997.
- [2] 日本VR医学会: <http://www.jsmvr.umin.ne.jp/>
- [3] アルティオン・シモ, 木島竜吾, マーク・カワザ: 病態生理学的シミュレーションに基づく仮想患者を用いた臨床医療訓練システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.8, No.4, pp.413-420, 2003.
- [4] SensAble Technorogies社: PHANTOM Premium3.0
http://sensable.jp/hapticdevice_toolkit/haptic_device_toolkit.html
- [5] Immersion社: Cyber Force
http://www.aec.co.jp/mm/products/leaflet/cyberforce_datasheet.pdf
- [6] 森万純: VR環境における振動子による擬似的な触力覚表現に関する検討, 平成18年度 名古屋工業大学卒業研究論文, 2007.
- [7] 久保谷太亮: 希薄な触力覚フィードバック環境における仮想はさみシステムの検討, 平成17年度 名古屋工業大学大学院修士学位論文, 2005.
- [8] ソフトバンクモバイル株式会社: 2008年春の新作モデル,
http://mb.softbank.jp/mb/special/08spring/?cc_1082=
- [9] 株式会社パックス・コーポレーション: ファミリーコンピューター用コントローラー PAX パワーグローブ
- [10] Essential Reality社: グローブ型デバイスP5,
<http://essentialreality.com/>
- [11] 舟橋健司, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 3次元仮想空間における仮想手による物体操作モデルと一実現法, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J81-D-II, No. 5, pp. 822-831, 1998.
- [12] 山本敏行,鈴木泰三,田崎京二: 新しい解剖生理学, 株式会社南江堂,1999.
- [13] 渡邊 淳司, 草地映介: 背景画像変化によるPseudo-Hapticsの提示,

日本バーチャルリアリティ学会第12回大会講演論文集(CD-ROM) 2007.

- [14] 佐々木博, 藤田欣也: 力覚提示装置を用いた硬さ提示における視覚情報の寄与と
改変効果に関する実験的検討,

日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, pp.795-802, No. 1, 2000.