

道具の持つアフォーダンスを利用した触覚フィードバックデバイス

池田洋一^{*1} 木村朝子^{*1} 佐藤宏介^{*1}

Handy Haptic Feedback Devices Simulating Tools' Affordance

Youichi Ikeda^{*1}, Asako Kimura^{*1} and Kosuke Sato^{*1}

Abstract - In this paper, we propose handy haptic devices which allow users seem-less manipulating multimedia data in an extended information environment. They are designed with the shape of every day tools, such as scissors, tweezers and syringe, which shapes denote their functional uses as proper affordances. In addition, the devices have haptic and thermo- feedback functions which display the quantity and freshness of information. We develop two types of handy haptic devices; a syringe device and tweezers device. Also, we realize extended information environments where users are able to access computer data by those haptic devices without any conventional input devices; text editor among networked computers and sound control with a metaphor of liquid. The results of subject evaluations show that the proposed handy devices were easy to understand how to use and the notations of their haptic and thermo- feedbacks without any explanations in advance.

Keywords : haptic device, handy interface, force feedback, affordance

1. はじめに

計算機のマルチメディア化により、音声・映像等のさまざまな情報が同時に扱われるようになってきている。このような情報の取り扱いをユーザにとって分かりやすいものにするためには、その操作過程をどのようにしてユーザに理解させるか、またその理解に要するユーザ負担の軽減が重要である。

そこで本論文では、理解・学習段階を要しない、親しみやすい操作を可能とする入出力デバイスとして手で把持する道具型の操作デバイスを提案する。操作デバイスの形状を日頃使い慣れた道具の形にすることで、ユーザはその道具の持つアフォーダンスや過去の使用経験を利用し、操作デバイスの使い方をよりスムーズに把握することが可能になると考えられる。また、道具はそれ自体で完結した入出力の双方向性をもっており、その使用方法が「手指」の感覚と共に身に付いているものであることから、操作デバイスに触覚フィードバックを付加することで、実体を把握しにくいデジタル情報を可触化することができるとともに、入力操作と出力確認を併せ持った把持型のデバイスとなる。

以降、2章で道具型触覚フィードバックデバイスの考え方について、3、4章では本研究で構築したスポイト型デバイスとピンセット型デバイスおよびそのアプリケーションについて述べる。また、情報操作感覚を正しくユーザに与えるためには、どのような情報操作に対してどのような触覚を提示すべきかが問題となる。そこで、提案

するデバイスがユーザにとって親しみやすいものであるかどうか、操作方法が自然に理解されるか、触覚フィードバックが適切なものであったかどうかユーザテストを通して検討も行った。

2. アフォーダンスと入出力デバイス

ある道具を学習負担なしに利用するためには、その道具そのものがどう使われればよいのかという情報を強く発していなければならない。このような特性はアフォーダンスと呼ばれ、例えばハサミやピンセットでは、二股の先端を持つという形状が物体を挟むことをアフォードしている [1]。多くの人々に利用されている既存の道具は、よいアフォーダンスを持っていると同時に、操作に関するメンタルモデルが幼少の頃からユーザの中に形成されている。加えて、このような道具を使用する際、微妙な操作の状態がユーザの手指に反発力や触覚としてフィードバックされており、この反発力・触覚が対象物体の性質を知る上で非常に重要な手助けとなっている。

汎用の入出力デバイスを用いて仮想世界の情報を取り扱う場合には、どの情報をどのデバイスで扱うことができるかという組み合わせに加えて、デバイス自体の使い方を学習する必要がある。そこで、ユーザがこれまでに利用したことのある道具の形状および道具を操作するときの触覚感覚を入出力デバイスとして再現し、この道具型デバイスを用いて実体に触れることのできない情報を仮想的に操作する。道具型デバイスを使う場合にも、どのような種類の情報が操作できるのかを学習する必要は残るが、道具の使い方に関する既存のメンタルモデルの上に計算機上の情報を取り扱う概念モデルを拡張するこ

*1：大阪大学大学院基礎工学研究科

*1：Graduate School of Engineering Science, Osaka University

とができるので、全体としてユーザの学習負担を最小限におさえることができると考えられる。

既存の道具の特徴を利用した入出力デバイスとしては、ゲームなどに用いられる自動車のハンドルや拳銃の形をしたデバイスなどがあげられる。これらは、実世界の道具が実世界で行うことを仮想世界の中でできるだけ忠実にシミュレートすることが目的である。これに対し、本論文で提案する道具型デバイスは実世界では不可触な情報に、実世界の道具で仮想的にアクセスすることで、単なる実世界のシミュレーションに留まらない情報環境の構築を目指している。

また実世界指向インタフェースの研究では、実世界の事物に仮想世界が持つメリットを組み込むことで実環境を拡張している。たとえば、暦本らによる Pick&Drop[2] は、ネットワーク接続されたコンピュータ間で情報を移動させる上での自然なモデルを提供しており、石井らによる情報の可触化を実現する TangibleBits[3]、暦本らによる入力デバイス自体をひっくり返したり傾けるといった動作を入力として利用した ToolStone[4] は、マウスやキーボードとは異なった、新しいコンセプトの入力デバイスである。提案する道具型デバイスは、実世界のデバイスと仮想世界の情報を組み合わせるという点では、これらの研究と類似している。しかし、実世界の道具そのものが持つアフォーダンスやフィードバックを仮想世界の操作に利用する、すなわちユーザがすでに学習している道具に対するメンタルモデルを再利用する点が異なる。

仮想現実感 (Virtual Reality) や、複合現実感 (Mixed Reality) の分野においては、視覚を補助する感覚提示として触覚力覚フィードバックの重要性がますます注目されている [5]。触覚力覚提示デバイスは接地型・携帯型、エグゾスケルトン・道具把持型の2軸で分類され [6]、その中の携帯型・道具把持型に提案するデバイスは属する。しかし、道具型といえど、その道具全体が仮想物体に接触する際の反発力を提示するだけのものが多い。例えば、Haptic GEAR[7] はワイヤ駆動で指先と物体との接触を、GyroCube[8] はモータの角運動量変化を利用し拳と物体との接触を、田中らは PHANTOM をナイフと見なして仮想物体の切断や切削に対する反発力を力覚表現している [9]。しかし、道具内部の力覚表現を提示するものは少なく、手術シミュレーションに利用される Immersion 社の Laparoscopic Impulse Engine[10] が鉗子の力覚を提示できる他、極めて少数である。これは手術道具という特殊な道具が持つ生体組織を操作する際の力覚を正確にシミュレートすることを目的としており、情報環境を操作するデバイスではない。

本論文で提案する道具型デバイスは、道具内部の力覚を表現できるフィードバック機構を備えると同時に、特殊な業務用途としてではなく日常生活の中に溶け込んだ



図1 スポイト型触覚フィードバックデバイス

Fig.1 Syringe Haptic Feedback Devices

情報環境に対する利用を考えているため、手で持つことができるほど小型でなければならない。

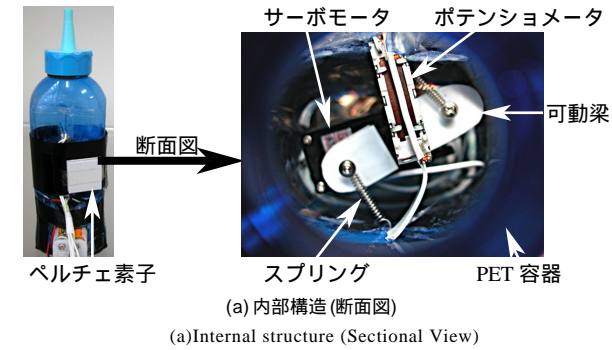
3. 道具型触覚フィードバックデバイス

3.1 スポイト型デバイス

スポイトは押し込んだ量に応じた液体を吸い取る、もしくは押し出すことができる道具である。スポイトはその形状から尖った先端部分でどの液体を吸い取るのかを選択し、胴体の軟らかい部分を指で押すことで、吸い取りと押し出しの作業が行えることがわかる。また、スポイト内に液体が入っていない場合は、胴体部分を押し込むとき指先にかかる抵抗力はほとんどないが、入っている場合にはユーザは抵抗を感じる。そこで、このようなスポイトの特性を利用して、スポイトの形状、フィードバック特性を持った道具型デバイスを構築した。

スポイト型デバイスの形状を図1に示す。スポイト型デバイスではスポイトの先端部分がタッチパネル付ディスプレイに触れることで、操作対象を選択することができる。次にユーザの指がデバイスの胴体部分を押し込んだ量をポテンショメータで計測し、その押し込み量に応じて操作対象となる情報の吸い取り、押し出し量を決定する (図5a)。

デバイス内にどのくらいの情報が吸い取られているかをユーザが知覚できるようにするために、図2(a)のような機構を用いてユーザが胴体を押し込むことができる太さを変化させている。さらに胴体を押し込むときの抵抗感を変化させるために、胴体部分には、サーボモータ、可動梁、スプリングが取り付けられており、サーボモータが回転することで梁の向きとスプリングの伸びが変化する。例えば図2(b)のように梁がスポイト型デバイスの内壁に接触している場合、指は内壁をはさんで梁に当たるのでユーザには胴体が硬く膨張している印象を与える。また図2(c)のように梁がスポイトの内壁から離れている場合、ユーザは指が梁に触れるまで胴体を押し込むことができる。またこのとき、梁と胴体の内壁に固定されているスプリングが伸びるとその張力も増すため、押し込む際に必要な力が小さくなっている。したがって胴体が軟らかく、内部に何も入っていない印象を与える。また、梁は完全に固定されているわけではなく、ユーザがスポイト胴体を中の梁ごと強く押し込むことでスポイト内に



吸い取られた情報が押し出される感覚をユーザにフィードバックする。

加えて、スポイト型デバイスでは操作する情報の新旧をユーザにフィードバックするために、ペルチェ素子による30～40℃の発熱作用を利用した。ここで言う情報の新旧とは、ニュースの作成日や音楽データの配信日など情報が持つメタデータを指す。新しい情報を扱う場合に発熱させ、言葉通りの“ホットな”感覚を与え、逆に古い場合は常温のままとし“冷めた”印象を与えることになる。温度変化はペルチェ素子に電流を流す時間を変化させることで制御している。本デバイスでは、中指および人差し指が触れる部分にペルチェ素子を取り付けている(図2a)。

3.2 ピンセット型デバイス

ピンセットはその先端で物体を挟む道具である。ピンセットの二股を指で押すことにより、二股の間にある物体を挟むことができる。また、挟んだ物体の硬さや重さは指先に必要な把持力から推測することができ、重量の大きい物体をピンセットでつかむには指先に大きな把持力が必要となる。そこで、このようなピンセットの特性を持つピンセット型デバイスを構築した。

ピンセット型デバイスの形状を図3に示す。ピンセット型デバイスでは、ピンセットの二股先端部分がそれぞれディスプレイ上に触れることで操作対象と操作範囲を決定する。ピンセット型デバイスがどれくらいの量の情報を挟んでいるのかをユーザが知覚できるようにするために、ギヤードサーボモータを利用しユーザの指に反発力をフィードバックする。つまり、扱う情報の量が多いほどピンセットの反発力が増し、ユーザが手でデバイスを把持するのに必要な力も増加するのである。本研究で

図3 ピンセット型触覚フィードバックデバイス
Fig.3 Tweezers Haptic Feedback Devices

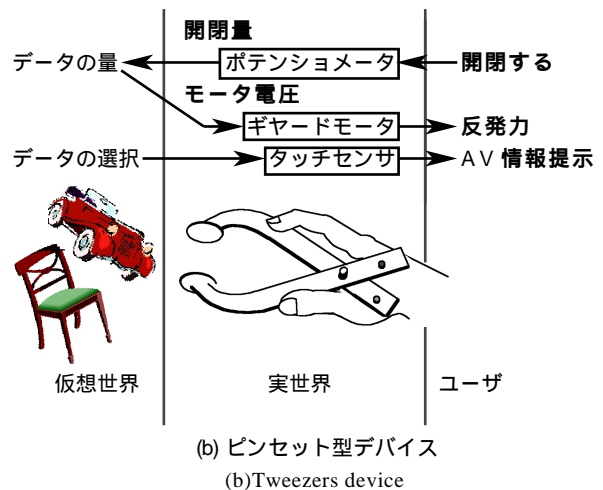
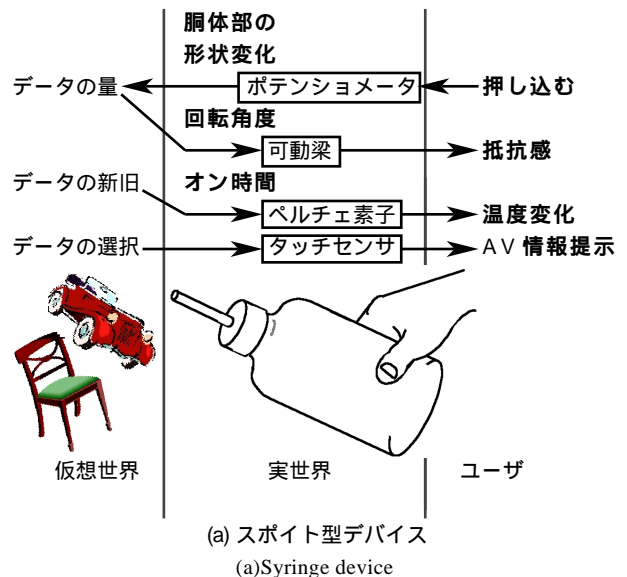
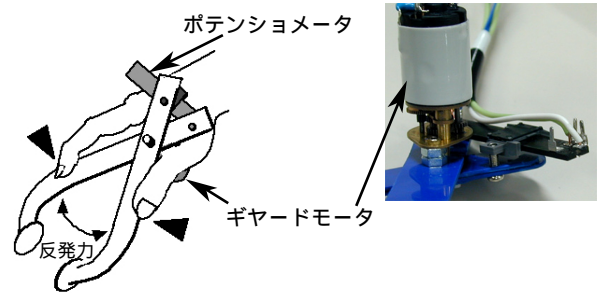


図5 触覚フィードバックシステム
Fig.5 Haptic feedback architecture

は図4に示すようにピンセットの支点部分にモータを取り付け、ユーザが指先でピンセットを開いた後に、反対方向(ピンセットを開く方向)にモータを励磁させることで反発力を、ピンセットを開いたときに励磁を止めることで物体を離れた感覚を作り出している。この反発力の強弱は、モータの両端電圧を変えることにより制御している(図5b)。

3.3 システム構成

以上二つの道具型触覚フィードバックデバイスを実装するために、タッチパネル搭載ノートPCからRS232C経由で、サーボコントローラ(S.E.E製 miniSSC)とモータコントローラ(Solutions3製 MotorMindBと東芝製 TA7291)、ADコンバータ(Microchip製 PIC16C715)、リレーボード(KEISEEDS製 RBIO-1)を制御している。プログラムの作成は、Windows2000上でBorlandC++ Builder4を使用して行った。

4. ソフトウェア実装

4.1 文書編集

試作デバイスの評価のため、キーボードやマウスの代わりに、スポイト型デバイスを使用し文書テキストを流体になぞらえて編集を行うアプリケーションを作成した。このアプリケーションでは、デバイス胴部を押し込んで離すという操作でテキストのコピー・ペーストを行うとともに、その押し込み量で選択するテキスト量を調節する。また、梁の回転によるスポイト型デバイスの押し込み感覚(抵抗感)の変化を、スポイト内にコピーされたテキスト量と対応させてユーザに提示する。このデバイスはネットワーク接続されている端末間で利用することも可能である。以下にスポイト型デバイスを使ったコピー・ペーストの手順を示す。

- (1) 液晶タッチパネルディスプレイ上に表示されたテキストに対し、選択したい部分の先頭をスポイト先端でポインティングすることにより、選択範囲の先頭が決定される。
- (2) デバイスの胴部を押し込むことで選択するテキストの範囲(最後尾)を指定する(図6)。選択したテキストは一般的なテキストエディタのように反転表示される。
- (3) 押し込んだデバイスを離すと、選択したテキストがスポイト内にコピーされ反転表示が消える。
- (4) 続けて(1)~(3)のコピー操作を繰り返すと、デバイス内部の梁は図2(c)の状態から図2(b)の状態に4段階で回転してゆき、デバイス胴部を押し込む際の抵抗感覚がフィードバックされる。
- (5) コピーしたテキストのペーストする場合は、スポイト型デバイスを(2)のときよりも強く、梁ごと最深部まで押し込むことで実現される。この操作で



図6 文書編集アプリケーション

Fig.6 Text editing with syringe device

は、それまでにコピーしたテキストをコピーした順に結合したものがペーストされる。

同時に、本デバイスで選択した情報に付随する新旧を、ペルチェ素子による温度変化で提示した。テキスト毎の日付情報を基に、1週間以内・1~2週間以内・2~3週間以内・3週間以上前の4段階に分け、それぞれ順に、+15 ・ +10 ・ +5 ・ 温度変化なしと設定した。

4.2 音楽再生

次に、スポイト型、ピンセット型の二つの触覚フィードバックデバイスを共に利用するアプリケーションとして、楽曲の選択・再生を行うアプリケーションを作成した。このアプリケーションでもタッチパネル画面上に、曲名、演奏者、リスト追加日が一覧表示されており、スポイト型デバイスおよびピンセット型デバイスを用いることで、楽曲の選択・再生を行う。

スポイト型デバイスによる操作

- (1) 液晶タッチパネルディスプレイに表示された楽曲リストにスポイトの先端部を当て、選択する楽曲範囲の先頭を決める。
- (2) スポイトの胴部を押し込むと、押し込み量に応じて楽曲の選択範囲が下方方向に増える(図7)。
- (3) 押し込んだデバイスを離すと選択した楽曲がスポイト内にコピーされ、選択楽曲の反転表示が消える。
- (4) 続けて(1)~(3)のコピー操作を繰り返すと、デバイス内部の梁は図2(c)の状態から図2(b)の状態に4段階で回転してゆき、デバイス胴部を押し込む際の抵抗感覚がフィードバックされる。また、楽曲の古さによって4段階の温度変化を提示する。複数の楽曲を一度に選択した場合は、選択中の最上段にある楽曲の古さにより温度提示する。
- (5) 楽曲がスポイトに取り込まれている状態で、デバイスをスピーカーに取り付けられた楽曲取り込み口に入れる(図8)。これはスポイトおよびピンセット型デバイスの先端部分が入るサイズのろうと型タッチセンサである。デバイスとの接触により、選択した情報を流し込む。

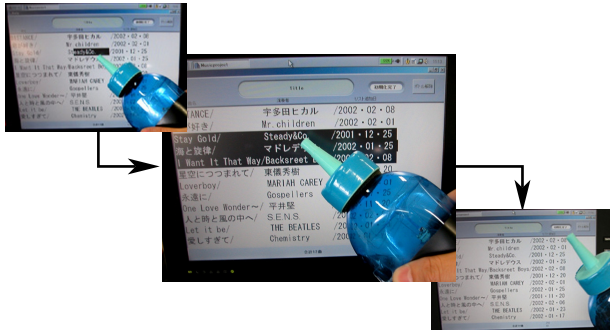


図7 音楽再生アプリケーション (スポイト型デバイス使用時)

Fig.7 Audio control with syringe device

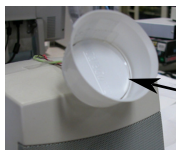


図8 スピーカー上の楽曲取り込み口
Fig.8 Music loading cup on speaker

- (6) この取り込み口にスポイトの先端部を入れ、スポイトの胴部を(2)のときよりも強く、梁ごと最深部まで押し込むとスポイトの中にコピーされた楽曲がコピーされた順に再生される。

ピンセット型デバイスによる操作

ピンセット型デバイスでは、楽曲をピンセットの両先端部で挟むことで楽曲の選択を行う。

- (1) タッチパネルディスプレイに表示された楽曲リスト上で、ピンセットの二股の先端をそれぞれ選択したい楽曲の最初と最後にあてる。その両先端部に挟まれた部分が選択範囲となる(図9)。
- (2) 楽曲が選択された状態から指でピンセットを閉じると、ピンセット支点部に取り付けられたサーボモータによって、閉じたピンセットが開こうとする反発力が発生する。この反発力は、選択曲なし、1曲~3曲、4曲以上の3段階で変化し、楽曲数が多くなると反発力も増大する。
- (3) 楽曲選択後、ピンセット型デバイスをスピーカーに持っていき、図8の楽曲取り込み口でピンセットを開くと、選択された楽曲が再生される。これと同時にピンセットの反発力も選択曲なしの状態に戻る。

以上のように、(2),(3)のフィードバックによりユーザは楽曲を選択して“つかむ”際に指先に力を込める感覚が、スピーカー上で再生する際には反発力が消えて楽曲を“離れた”感覚が得られる。



図9 音楽再生アプリケーション (ピンセット型デバイス使用時)

Fig.9 Audio control with tweezers device

5. 実験

5.1 実験目的

本デバイスの親しみやすさ、分かりやすさを調べるためにユーザテストを行い、その使用感を調査した。使用するアプリケーションは4.2で述べた音楽再生アプリケーションである。実験では、それぞれのデバイスが提示するアフォーダンスと触覚が何を表すかについて考えてもらい、情報を表現している感覚が適切なものであるかを調査する。

実験の評価は被験者のコメントおよびアンケートによる主観評価で行った。被験者は、20歳~50歳までの女性3名、男性5名である。被験者には使用するデバイス毎に、楽曲が再生されるよう各デバイス进行操作してもらった。

5.2 実験結果

スポイト型デバイスでは、

- ・「操作方法が易しい」
- ・「曲を吸収して送り出す動作は理解しやすいし、おもしろい」

といったコメントが得られた。

ピンセット型デバイスにも同様に、

- ・「理屈は分かりやすい」
 - ・「ピンセット自体が意味するものを考えて操作できた」
- などの意見があった。

情報取得後の押し込み感が何をフィードバックしているか考察してもらったところ、被験者の75%が選択する曲が増えるにつれて押し込める量が減少するという正しい感覚を受け取っていた。また、63%の被験者が温度変化は楽曲の古さを表しているという回答をした。ピンセット型デバイスの反発力フィードバックについては、被験者全員が、選択曲が増えると反発力も増すという感覚を得ていた。これらの結果から、情報の量を押し込み感覚または反発力で提示し、情報の新旧を温度で提示するといった、仮想世界のデータとそれを表現する触覚の対応関係が事前説明なしで自然に修得されることがわかった。

しかし、「スポイトに曲を吸い取った感覚があるか?」、「スポイトから曲を押し出す感覚があるか?」という質問に対しては、このような感覚があると答えたのは半数にとどまった。これは、曲を再生する際に強い力で押し込んでしまい、スポイト内壁と可動梁の接触到に気付かなかったことが原因であると考えられる。したがって、多

少強い力で押し込んだ際にも押し込み感の変化を明確に提示するために、十分なトルクを発生できる機構に改善する必要がある。

次に、「ピンセットで曲をつかんだ感覚がある」と答えた被験者は半数、「ピンセットで曲を離れた感覚がある」と答えたのは被験者の75%であった。本研究のピンセット型デバイスでは、物体をつかむ際の触覚は反発力で疑似的に提示しているが、被験者からつかんでいるはずの物体が見えないことで視覚上の違和感が感じられるとのコメントがあった。したがって、曲を選択する際にディスプレイ上だけの視覚フィードバック(選択曲の反転表示)では不十分であり、デバイス本体にも視覚的变化が必要であることがわかった。また、つかんでいた曲を離す感覚があったと答えた被験者が多かったことから、離すという操作に関しては実際のピンセットに近い感覚が得られていると言える。ピンセットを開く状態が見えると同時に反発力が減少することで、疑似的に“情報を離す”という感覚を表現できていることがわかった。

6. 考察

実験結果より、情報の量を押し込み感覚または反発力のフィードバックで、情報の新旧を温度感覚のフィードバックで伝達する妥当性を示すことができた。得られた被験者のコメントからは、操作デバイスの形状を道具型にすることで、実世界に近い感覚で情報を操作できていることがわかった。さらに実験の被験者全員がスポイト型およびピンセット型デバイスの「操作が楽しかった」という感想を残しており、道具型触覚フィードバックデバイスは他のデバイスにはない親しみやすさを与えていたと思われる。今回実装した触覚フィードバックの機構では、ピンセット型デバイスの反発力が減少することで“曲をピンセットから離す”感覚は提示できたが、その他の触覚提示は改善の余地があることがわかった。

まず、スポイト型デバイスが、情報をスポイトの中に保持しているという感覚をユーザに与えられていないことについて考察する。これは、操作対象となる情報に関する視覚フィードバックや、触覚フィードバックのタイミング制御・分解能が不十分であることが理由であると考えられる。視覚フィードバックを強化するには、デバイス側にLEDや小型ディスプレイを組み込むなどが考えられる。また、スポイトの押し込み量に合わせて、操作後ではなく操作中に可動梁を回転させることで、触覚フィードバックを知覚しやすくできる。さらに、スポイト内に液体が入っていると想定し、スポイトを傾けて吐出する、振って中身を確認するなどのよりアフォードされやすい行為を利用することを検討したい。これらの行為は実験で被験者が実際に行っていることが確認され、胴部を押し込むという動作よりアフォードされやすい動作であることがわかる。同様に、ピンセット型デバイスでも情報をつかむ感覚をうまく提示できていないので、

力学シミュレーションに基づいた反発力を提示する、視覚フィードバックを補うためにデバイスに小型ディスプレイを付けるなどの改善策が考えられる。

また、可動梁の回転角度およびペルチェ素子による温度変化はそれぞれ4段階で、ギヤードモータによる反発力は3段階で提示したが、これらの提示段階を完全に判別できない被験者が見られた。したがって、上記のような触覚フィードバック機構の改善とともに、提示段階を定量的に調べる必要がある。

7. まとめ

本論文では、現実世界での道具の使い方を、仮想的に再現するだけでなく、仮想世界の情報操作に拡張することを提案した。そして、これを実現するために道具型触覚フィードバックデバイスでは、使い慣れた道具の形状を模することでデバイスに十分なアフォードンスを与え、道具を扱う際に利用される手指の感覚を触覚フィードバックで再現・拡張している。また、仮想世界における道具型触覚フィードバックデバイスの利用の一例として、文書編集や音楽再生アプリケーションを作成し、これらを用いてシステムの評価を行った。

近年ではVRやMRの研究が進み、HMDやプロジェクターを用いて、仮想空間と実世界とがシームレスに接続された新たな情報環境が提案されている[11-13]。本論文の中ではコンピュータディスプレイ上で使用するアプリケーションを作成したが、机上のパソコン環境上での応用に限定されるものではなく、VR・MR環境下においても手で把持する道具型の触覚フィードバックデバイスを利用することで、より実世界に近い自然なインタラクションが可能になると考えられる。今後はより多くの手で把持する道具を操作デバイスのモデルとして加えるとともに、仮想環境とのシームレスな情報環境を構築したい。

謝辞

本研究(の一部)は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業(JSPS-RFT99P01404)の補助を受けた。

参考文献

- [1] D.A.Norman, 野島久雄訳: 誰のためのデザイン, 新曜社(1990)
- [2] 暦本純一: Pick&Drop: 複数コンピュータ環境向けの直接操作技法, インタラクティブシステムとソフトウェアV, 近代科学社(1996)
- [3] Tangible Bits Project :
http://tangible.media.mit.edu/projects/Tangible_Bits/projects.htm
- [4] Jun Rekimoto and Eduardo Sciammarella : ToolStone: Effective Use of the Physical Manipulation Vocabularies of Input Devices, Proc.of UIST2000 (2000)
- [5] 岩田洋夫: フォースディスプレイ, 計測と制御, Vol.30, No.6, pp.472-477 (1991)

- [6] 平山雅樹, 広田光一, 金子豊久: 力学的接触計算に基づく仮想物体操作, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.121-128 (2001)
- [7] 筧直之, 矢野博明, 齋藤允, 小木哲朗, 廣瀬通孝: 没入型仮想空間における力覚提示デバイス HapticGEAR の開発とその評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.5, No.4, pp.1113-1120 (2000)
- [8] 仲田謙太郎, 中村則雄, 山下樹里, 西原清一, 福井幸男: 角運動量変化を利用した力覚提示デバイス, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.115-120 (2001)
- [9] 田中厚子, 広田光一, 金子豊久: 力覚をともなう変形・切断操作による造形作業, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.573-584 (1999)
- [10] Laparoscopic Impulse Engine :
<http://www.immersion.com/products/custom/laproimpulse.shtml>
- [11] 小池英樹, 小林貴訓, 佐藤洋一: 机型実世界指向システムにおける紙と電子情報の統合および手指による実時間インタラクション, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.3, pp.577-585 (2001)
- [12] 坂根 裕, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 拡張デスクトップ環境における実空間アイコンの記述方法について, 第2回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ SPA'99 (1999)
- [13] 大隈隆史, 竹村治雄, 岩佐英彦, 横矢直和: 重畳表示による作業領域拡大の実験評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IE96-109 (1997)

(2002 年 5 月 4 日受付)

[著者紹介]

池田 洋一



平成 14 年大阪大学基礎工学部システム科学科卒業。現在, 同大学院修士課程在学中。ハプティクインタフェースに興味を持つ。ヒューマンインタフェース学会学生会員。

木村 朝子



平成 10 年大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。現在, 同大学基礎工学研究科助手。ヒューマンインタフェース, ハプティックインタフェース, 適応型インタフェースの研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE 各会員。

佐藤 宏介 (正会員)



昭和 60 年大阪大学基礎工学部修士課程修了。同大学の助手, 講師, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授を経て, 現在, 大阪大学大学院基礎工学研究科助教授。仮想現実感, 三次元画像計測, イメージ情報処理の研究に従事。昭和 63 年 平成 2 年カーネギーメロン大学ロボット工学研究所客員研究員。昭 64 篠原記念学術奨励賞受賞。電子情報通信学会, IEEE 他各会員。工学博士。