

## インタラクションデバイスの触知化

木村朝子 \*1 池田洋一 \*2 福中謙一 \*3  
川崎健也 \*2 原田久美 \*2 佐藤宏介 \*2

概要：本稿では、できるだけ少ない学習で、感覚的、直感的に機器の操作方法を取得することができるインタラクションデバイスを実現するために、ユーザの経験を有効に利用する3種類のデバイスを提案する。一つ目のデバイスは、マウスに対して力覚提示を行うパッシブ型力覚フィードバックマウス、2つ目はPDAの向きを利用した家電リモコン、3つ目はピンセットやスポイトの形状・触覚を利用したToolDeviceである。これらのデバイスでは、多くのユーザが経験したことがある行為や、使ったことのある道具のメタファを入力方法として利用し、さらにフィードバックとして実世界に即した触力覚を利用することで、ユーザが操作対象を直感的に知覚することが可能となる。

## Tangible Interaction Device

Asako Kimura\*1, Yoichi Ikeda\*2, Kenichi Fukunaka\*3  
Kumi Harada\*2, Kenya Kawasaki\*2, Kosuke Sato\*2

Abstract : In this paper, we propose three types of tangible interaction device, which allow users to feel digital data and their handling environment. First interface is passive force feedback mouse that providing the reaction force over mouse movement and mouse wheel rotation. Second interface is multi appliance remote control interface that displays each appliance' GUI on the controller when users direct it to the appliance. This interface also helps users to direct appliance properly by haptic feedback. Theird interface is Tool Devices that copy and paste digital data from and to both appliances and real objects. Tool Devices imitate physical tools shape and haptic feedback such as scissors, tweezers, and syringe, which users have experience to use.

### 1. はじめに

近年、様々な機器にコンピュータが埋め込まれ、安価で多機能な機器が流通している。しかし、そのユーザインタフェースは初心者にとってまだまだ難しいものであり、できるだけ少ない学習で、自然に機器を操作することができるインタラクションデバイスが求められている。新しいインタフェースを使うとき、ユーザは経験、練習、学習からそのインタフェースに対するメンタルモデルを形

成すると言われている<sup>[1]</sup>。インタフェースを感覚的に、直感的に利用できるようにするためには、練習、学習の負荷が少なく、ユーザがこれまでの経験を有効に利用できる必要がある。そこで本研究では、人間が日頃行っているポインティング動作や日常的に利用している道具をインタフェースの入力とし、出力フィードバックとして実世界に即した触力覚を提示することで、初心者ユーザでも自身の経験を有効に利用してメンタルモデルを形成することができると考えている。本稿では、本研究で提案する3種類の触知化デバイスを説明し、その有効性を調査するために行った評価実験の結果を報告する。

本稿では、まず1つ目のインタラクションデバイスとして、実世界で書斎の上の本や書類を扱うときの感覚と同様の触力覚をマウスに付加するパッシブ型力覚マウスに

---

\*1: 立命館大学大学院 理工学研究科  
\*1: Graduate School of Science and Engineering,  
Ritsumeikan University  
\*2: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科  
\*2: Graduate School of Information Science,  
Nara Institute of Science and Technology  
\*3: 大阪大学大学院 基礎工学研究科  
\*3: Graduate School of Engineering Science,  
Osaka University

ついて述べる。次に、ユーザがものをポインティングするという行為を利用した、PDA(携帯端末)の向きを利用する機器選択操作リモコンインターフェースについて述べる。最後に、はさみ、ピンセット、スポイトなど日常利用している道具のメタファーを視覚・触覚の両面からインターフェースに応用した ToolDevice について述べる。

## 2. パッシブ型力覚マウス

マウスは、コンピュータを利用する上でもっとも一般的な対話デバイスのひとつである。これを、単なるポインティングデバイスとして利用するだけでなく、フィードバック機能を持つ触力覚ディスプレイ・デバイスとしても利用できれば、ユーザが仮想環境を直感的に知覚する上で大いに有用であると考えられる。

本研究では、ブレーキに代表されるパッシブ型の力覚提示を行い、マウス自体の移動、およびマウスホイールの回転に対して力覚フィードバックを提示するパッシブ型力覚マウスを構築した。これにより、デスクトップ上でポインタが何かに「ぶつかる」「触れる」感覚や、物を持った際の「重たい」感覚を、デスクトップメタファーとしてユーザに提示することが可能となり、自然で、直感的なマウス操作が可能となると考えられる。

### 2.1 システム構成

図1に試作したパッシブ型力覚マウスの外観を示す。マウス本体の移動に対する抵抗力は、電磁石をマウスの左右に2つ装着し机に固定した磁性版のマウスパッドを用いることで実現している(図2)。電磁石に電圧をかけると電磁石が磁性板に吸着し、電磁石に励磁する電圧が大きいとマウスを移動するのに必要力が大きくなり(抵抗力大)、逆に電圧が小さいと少ない力でマウスを移動することが可能になる(抵抗力小)。

図3にマウスホイールの力覚提示機構を示す。マウスホイールの回転操作に対する抵抗力は磁場の変化によって粘性の変化するMR(Magneto-Rheological)流体(シグマハイケミカル社製)を用いることで実現している。マウスホイールの回転軸として鉄



図1 パッシブ型力覚マウス

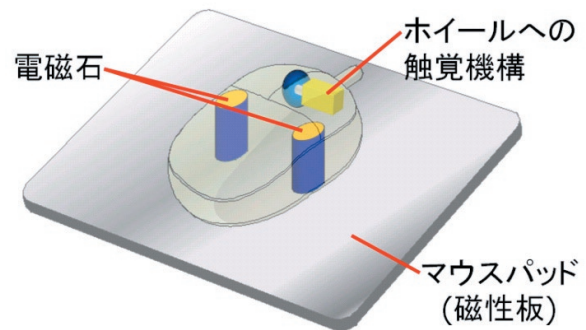


図2 パッシブ型力覚マウスの構造

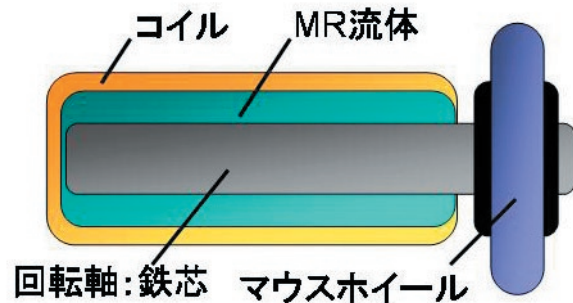


図3 マウスホイールへの力覚提示機構

芯を用いこれをMR流体の入った筒の中に入れる。この筒にコイルを巻くことでMR流体に自在に磁場をかける。以上の機構により、コイルへ励磁する電流が大きいとホイールの回転に大きな力が必要となり(抵抗力大)、逆に電流が小さいと、少ない力で回転することが可能となる(抵抗力小)。

マウス本体、マウスホイールに対する「抵抗力の大きさ」と「力の提示時間」の組み合わせを調整することで、図4に示すような力覚感を提示することが可能である、

### 2.2 アプリケーション

パッシブ型力覚マウスを用いた、以下のようなGUIアプリケーションを構築した。

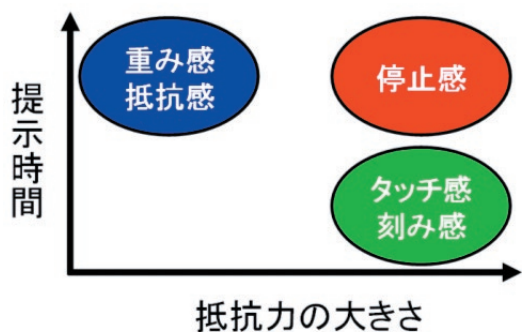


図4 抵抗力の大きさ・提示時間の関係と提示する力覚感の関係

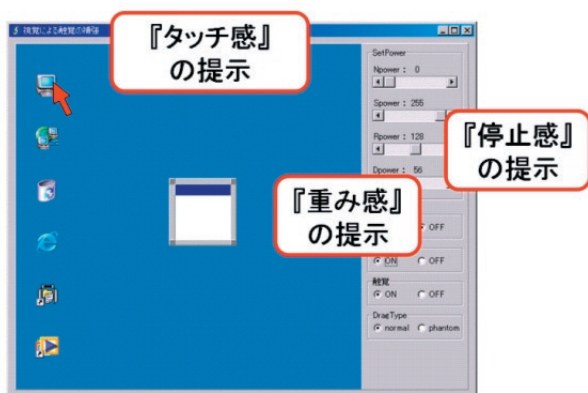


図5 パッシブ型力覚マウスの GUI 環境への利用

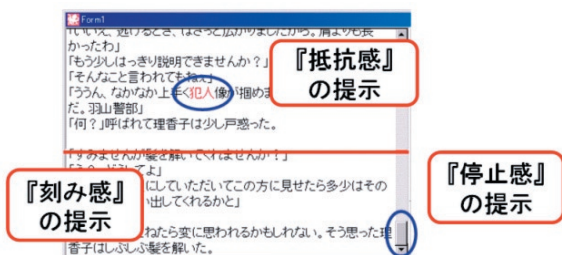


図6 パッシブ型力覚マウスのテキスト閲覧への利用

#### ＜マウス本体への力覚（図5）＞

- ・操作対象のウィンドウの輪郭がアプリケーションの表示部の境界に重なるとき「停止感」を提示する
- ・アイコンをポインティングしたときに「タッチ感」を提示する
- ・ウィンドウを移動・拡大縮小するときやファイルを移動するときに、ウィンドウの大きさ、ファイルの容量などに応じて「重み感」を提示する

#### ＜マウスホイールへの力覚（図6）＞

- ・ウィンドウスクロールの終了時に「停止感」を提示し、視覚的にスクロールバー

が止まるのと同時に、マウスホイールの回転を止めそれ以上文章が存在しないことを示す

- ・注目すべき検索語、段落の区切り、ページの切り替わりといったポイントを「刻み感」を利用して提示する
- ・注目すべき段落や図といった領域を「抵抗感」を利用して提示する。また、検索語が密集して存在している場合、「刻み感」を頻繁に発生させるのではなく、検索語が密集している領域であるという情報を「抵抗感」で提示する

### 2.3 評価実験

力覚フィードバックをデスクトップメタファとして利用することの有効性を調査するために、評価実験を行った。評価実験は、2.2のアプリケーションを用いて行った。

評価実験では、10名の被験者に図5.6のアプリケーションを使ってもらい、力覚の提示があることで操作がやりやすくなったかどうかを5段階評価してもらった。

その結果、提示が短時間で、操作時に大きな負担とならない「停止感」や「タッチ感」「刻み感」は、視覚的に明らかな対象に対して力覚を付加する場合でも高い評価を得た。特に「停止感」については、マウス本体、マウスホイールともに「とても自然であった」というコメントが多く得られた。しかし、比較的大きな負荷を一定時間提示する「重み感」や「抵抗感」を視覚的に明らかな対象に対して利用する場合については、「操作に負担がかかる」「力覚の必要性はない」といった意見が得られた。

これらの結果から、デスクトップメタファとして、パッシブ型力覚マウスによる力覚提示を行うことで、自然な操作感を実現できることが分かった。

### 3. PDAの向きを利用した家電リモコン

複数の機器を1つの操作インターフェースから操作したり、複数の機器間でデータのやり取りをシームレスに行う環境では、家だけでなく、駅や学校、博物館、お店などあらゆるところにある機器に、様々なユーザがアクセスすると考えられる。複数人が共同で利用する機器のユーザインターフェースとしては、現在マウスやキーボード、タッ

チパネルなどが利用されているが、これらのインタフェースはひとつの対象を操作することを目的に設計されているため、ばらばらに存在する対象を直感的に、シームレスに操作することは難しい。そこで、複数の機器をシームレスに操作することができ、また初心者ユーザでも簡単に、直感的に操作することのできる入力インタフェースが必要になると考えられる。

そこで、本研究では家電を対象して、機器を指差す行為を入力とした操作用インタラクションデバイス（家電リモコンシステム）を構築した。ユーザがものを指差す動作を利用した操作インタフェースとしては、Boltが"Put-that-there"というシステムを提案している<sup>[2]</sup>。本研究で構築した家電リモコンシステムは、指のかわりに端末を利用し、端末を機器の方向に向けることでその機器のGUIが端末のディスプレイ上に表示される。

### 3.1 システム構成

本研究で構築した家電リモコンシステムの構成を説明する（図7）。まずPDAの向

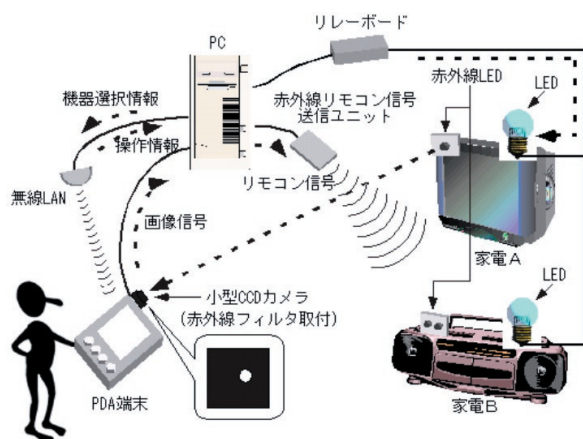


図7 システム構成

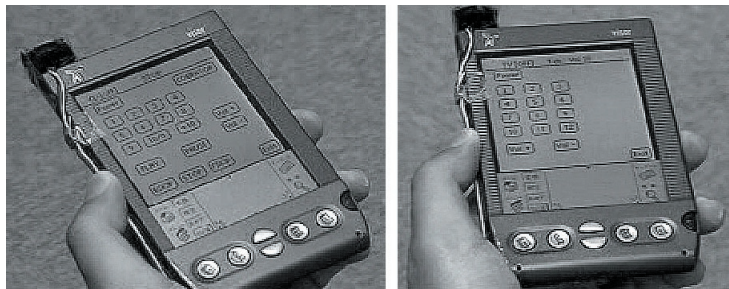


図8 ポインティングしている家電製品の操作用GUIをPDA上に表示

きを認識するために、PDAに赤外線フィルタ付小型CCDカメラを、操作対象となる家電には赤外線LEDで構成されるIDマーカを取り付ける。小型カメラから入力された赤外線LEDの画像を2値化、ラベリングし赤外線LED領域を抽出することで機器のIDを識別し、そのIDに応じた操作画面をPDA上に表示する。これによりPDAがどの家電の方向を向いているかを識別することができる。

PDAに表示された操作画面から家電を制御する部分については、サーバとなる計算機に無線で制御用IDを送り、計算機に接続された赤外線リモコン信号発信器から家電にリモコン制御信号を送信することで実現している。実装結果を図8に示す。

しかし、実際にはユーザが端末を向ける方向と家電の位置にずれが存在する。そこで、本システムでは家電領域のエッジ部分において強い触覚フィードバックを提示することにより、家電と家電の間で刻み感を提示し、端末を家電の方向に向ける動作をサポートする。触覚フィードバックの機構を図9に示す。

### 3.2 評価実験

提案するユーザインタフェースの評価実験を行った。5人の被験者について本システムを利用して複数機器を操作してもらった。端末画面上で機器を選択する場合と比較したところ、操作時間に関しては違いはなかったが、主観評価ではポインティングを利用したときの方が迅速に操作していると感じるという意見が得られた。

## 4. ToolDevice

最後に、多くのユーザが日頃利用してい

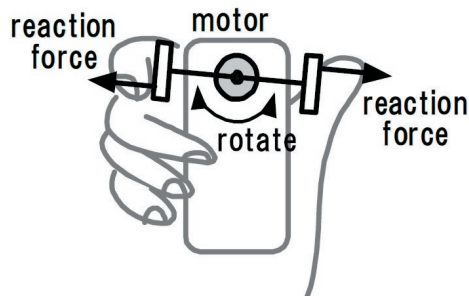


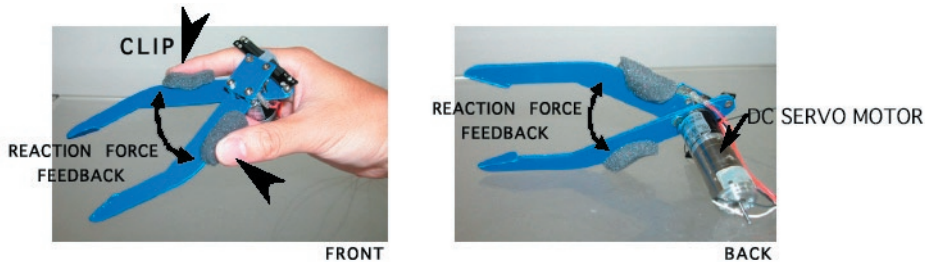
図9 ポインティング操作を補助するための触覚提示

る、はさみやピンセット、スポイトなどの道具のメタファーを、インタフェースの概観および操作したときの触覚感として取り入れることで、直感的な操作方法を実現することを目的として、ToolDeviceを構築した。複数の機器をシームレスに操作するインタフェースの研究としては、Khotake等が、機器に取り付けられた2次元バーコードとハンドヘルド型コントローラを利用し、物理世界上でディスプレイ上のアイコンをプリンターへDrag & Dropすることで書類が印刷されるといった情報のやり取りを行うことができるInfoPointを提案している<sup>[3]</sup>。ToolDeviceは、このような物理世界上での情報のやり取りと同時に、日常利用している道具のメタファーをインタフェースに応用することで、新たな理解・学習段階を最小限とし、親しみやすい操作を可能とする入出力インタフェースである。また、データの新鮮さや古さ、利用頻度、サイズなどに応じて、指が触れている部分の温度や指への反力などの触覚フィードバックを変化することで、感覚的な情報の伝達を可能とする。

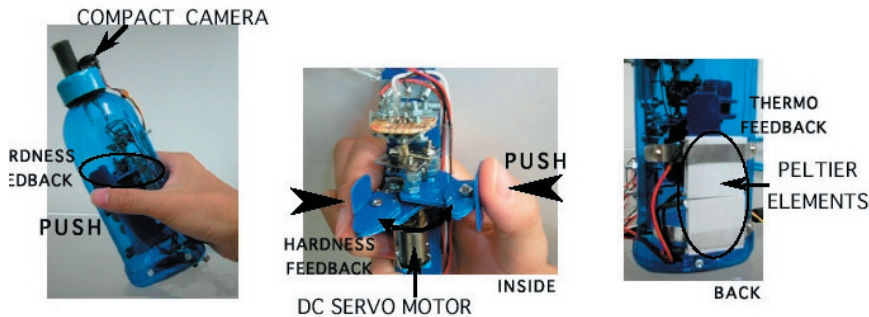
#### 4.1 システム構成

本研究では、ToolDeviceとして、ピンセット型インタフェースとスポイト型イン

タフェースを構築した(図10)。ピンセットはその先端で物体を挟む道具であり、ピンセットの間に挟んだ物体の硬さや重さを指先に必要な把持力から推測することができる。これに対してピンセット型デバイスでは、ピンセットの二股先端部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。また、ハーモニックモータを利用しユーザの指に反発力を制御することで、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。スポイトは押し込んだ量に応じて液体を吸い取り、押し出すことができる道具である。内部に液体が入っていない場合は、胴体部分を押し込むときに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抵抗を感じる。これに対してスポイト型デバイスでは、スポイトの先端部分で操作対象を選択する。またユーザの指がデバイスの胴体分を押し込んだ量をポテンシオメータで計測し、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。また、図10(b)のような機構を用いてユーザが胴体を押し込むときの抵抗感を変化させることで、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することができる。



(a) ピンセット型 ToolDevice



(b) スポイト型 ToolDevice

図10 Tool Devices

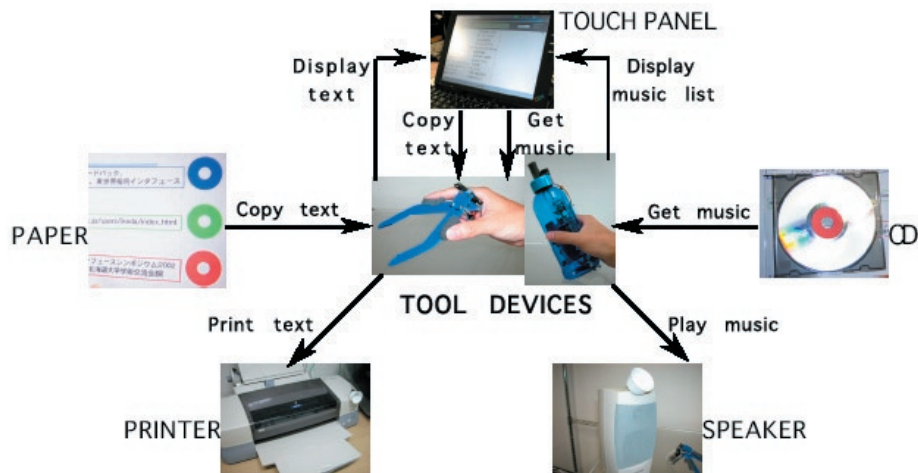


図 11 ToolDevice を用いた複数機器間での情報入出力

#### 4.2 アプリケーション

ToolDevice を用いた、楽曲再生および文書編集のアプリケーションを構築した (図 11)。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、コンピュータや CD、紙などからネットワークに接続された他のコンピュータやスピーカ、プリンタへ楽曲を出力することができる。CD などの実物体認識は、ToolDevice に付いているカメラからカラーコードを識別することで行っている。

#### 4.3 評価実験

ToolDevice に対して評価実験を行った、8 人の被験者に楽曲をスピーカで再生するタスクを行ってもらった。マウスによる操作と比較したところ、操作時間、エラー数等ではマウスの方がよい結果が得られたが、主観評価では提案システムでは操作方法を簡単に理解することができ、使っていて楽しいという結果が得られた。また、8 人の被験者中 1 人は初めてコンピュータを使うユーザであったが、マウスではタスクを終了できなかつたのに対して、ToolDevice を用いた場合にはタスクを終了することができた。

### 5. まとめ

多くのユーザが経験したことのある行為や使ったことのある道具のメタファを入力とし、フィードバックに触力覚を利用する 3 種類のインタラクションデバイスを提案した。評価実験では、どのデバイスについ

ても操作時間やエラー率など客観評価は従来のインタフェースとあまり変わらないにもかかわらず、主観評価では迅速に操作できた、操作が楽しかったなどのコメントが多く得られた。またこれまでに経験のある入力方法を利用することで、初心者ユーザでも自身の経験を有効に利用してメンタルモデルを形成することができた。さらに仮想環境や仮想データの操作時に出力フィードバックとして実世界に即した触力覚を提示することで、ユーザが操作対象を直感的に知覚することが可能となることがわかり、インタラクションデバイスにおける触知化の有効性を示唆する結果となった。

#### 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-RFTF99P01404) 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] Bolt, R. A., "Put-that-there, "Voice and gesture at the graphics interface," ACM Computer Graphics, Vol. 14, No. 3, pp. 262-270, 1980
- [3] Naohiko Khotake, Jun Rekimoto and Yuichiro Anzai, "InfoStick: an interaction device for Inter-Appliance Computing," Workshop on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99), pp.246-258, 1999