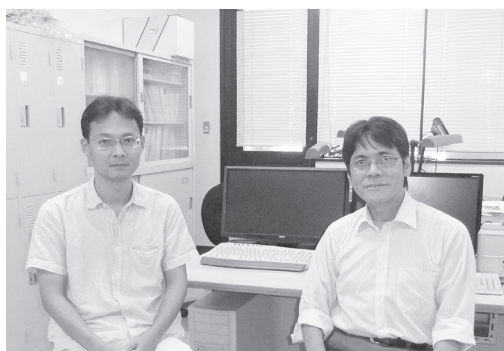




## 人間の能力を活かすVR

### 高橋 秀智 研究室～機械物理工学専攻



田中 真二 助教

高橋 秀智 准教授

コンピュータ技術が発達した現代においても、人間の高度な判断力や発想力はコンピュータに真似できるようなものではない。そこで、人間の代わりとしてコンピュータに仕事をさせる技術ばかりでなく、人間の能力を引き出す環境をコンピュータで作るような技術も重要になってくる。

高橋研究室では、人間の能力を活用した製品開発の効率化を目的として、バーチャルリアリティと呼ばれる技術について高橋先生と田中先生の二人で研究を行っている。それでは、先生らが現在行っている研究について紹介していこう。



## バーチャルリアリティがもたらすもの

高橋先生が所属していた研究室では、形状モデリングという技術について研究をしていた。この研究は、複雑なものの形をコンピュータ上で正確に表すにはどうすればよいか、モデル化したデータをどのように活用するか、といったものだ。

その後、バーチャルリアリティ(VR)の研究が盛んになり始めたことをきっかけに、高橋先生は形状モデリングとVRを組み合わせれば、製品開発の効率化ができるのではないかという発想に至った。そして現在では、製品開発の効率化の観点からVRについての研究を行っている。

VRとは、コンピュータ上に作られた仮想的な環境や物体を、まるで現実存在するかのように感じさせる技術だ。VRではまず、コンピュータ上の物体がもし現実にあったなら、人にどう見えるのか、ぶつかればどんな反発力を受けるのか、といった人間に与える刺激を計算する。そして、被験者に計算した刺激を与えれば、物体が実在するかのように疑似体験できる。

初期のVRの代表的な活用例としては、宇宙船操縦の疑似体験システムがある。このシステムは、コンピュータ上の操縦席をまるで現実のように体

験させるものだ。まず被験者は、ゴーグル状のディスプレイを装着する。すると、そのディスプレイには操縦席の映像が映し出される。頭や手の動きを感知するセンサを利用して、被験者の視界に合わせて映像が動き、映像の中の宇宙船のパネルを手で操作できるようにもなっている。こうして、実際には何もない空間で、あたかも宇宙船を操縦しているかのような体験ができるのだ。

では、VRを用いるとどのように製品開発ができるのかを紹介しよう。例えば、立体的な製品をデザインするとき、従来の紙とペンのような平面上での操作ではなく、三次元の空間内にヘラを走らせて仮想の粘土をじかに削り立体を造形することができる。他には、今まで想像するしかなかった開発途中の製品の操作を、疑似体験して修正していくこともできる。より直感的な開発が行えるようになり、人間のもつ高い判断力や発想力といった能力を最大限に活用できるのだ。

高橋研究室の研究のうち、本稿では、携帯情報機器の操作を疑似体験することで製品開発をサポートする研究と、VR分野に深く関わる触覚を表現するデバイスの研究について紹介する。



## 開発現場を変える拡張現実システム

近年、携帯電話やデジタルカメラといった携帯情報機器が急速に普及している。小型かつ多機能である携帯情報機器では、ユーザーは手先で複雑かつ多様な操作をしなくてはならない。このため、使いやすさが製品の善し悪しを決める重要な点になっている。ゆえに、使いやすさを重視して開発を行うのだが、現状の製品開発現場は、使いやすさの評価が開発に反映しづらい状況にある。

携帯情報機器の使いやすさは、製品の形状やボタン配置、さらに画面表示や入力など、さまざまな要素によって決まってくる。そのため、実際に触って検証できる試作機を用いて評価するのが理想的だ。しかし、実際の製品開発では、形状を決定する段階、内部回路を実装する段階、といったいくつかの段階に分かれており、開発途中の段階では試作機を作ることができない。全ての段階を終えて試作機を作れるようになる頃には、すでに設計や生産計画は終了しており、もう修正を加えることは難しくなっている。このため、現状では使いやすさの評価をしたとしても、開発には反映しづらいのだ。

こうした現在の開発環境を踏まえて、開発途中でも体感的な評価ができるようなVRによる開発補助システムを作る研究が各所で行われている。VRを用いれば、開発途中でも携帯情報機器の操作を疑似体験でき、使いやすさを評価できるのだ。

過去に研究されてきた開発補助システムの一例としては、クレイモデルを利用したものがある。クレイモデルとは、石膏で作られた製品の模型だ。この開発補助システムでは、製品と同じ配置でボタンを埋め込んだクレイモデルを使う。ボタンの操作情報を外部に出力し、携帯情報機器の画面の様子をプロジェクタで投影する。こうして、内部回路の設計前から評価ができるのだ。

しかし、この手法では、ボタン配置を変更するたびにクレイモデルにボタンを埋め込み直さなくてはならず、さまざまなバリエーションの製品案を検証するには時間とコストがかさんでしまう欠点がある。高橋研究室ではこの欠点を踏まえ、ボタンを埋め込まない、簡単な模型を使ったVRのシステムを構築している。

高橋研究室のシステムでは、次のような環境を作り出せる。被験者はまず、携帯情報機器の大きな形状の模型を持つ。被験者の手元への視線上にはディスプレイを設けており、手元を移すカメラの映像が画像処理されて映し出される(図1)。模型自体は着色もボタンも無い簡単なものだが、ディスプレイ上には完成品の携帯情報機器を持っているかのように映るのだ。さらに、そのままボタン操作もでき、製品の操作を疑似体験できる。このようなVRシステムは特に拡張現実と呼ばれており、最近ではさまざまな応用がなされている。

ではその仕組みを順を追って説明しよう。模型の表面には、位置・姿勢マーカと呼ばれる色の付いた目印がいくつかセットされている。カメラの画像からこれらの目印の位置を読み取って、目印同士の位置関係から、空間上での模型の位置や姿勢を算出する。得られた位置と姿勢に合わせて携帯情報機器のCGを配置し、CG上にカメラ画像から切り取ってきた手の部分の画像を重ねると、あたかも完成品を持っているかのような画像をディスプレイに映し出すことができるのだ。

ボタンの操作情報を知るため、被験者の指先にも別の目印と圧力センサが取り付けられている。模型と同じ様に目印から指先の位置を算出して、指がどのボタン上にあるかを判別する。あとは、ボタン上の指がボタンを押しているのか、それとも指を乗せているだけなのかの判別を圧力センサ

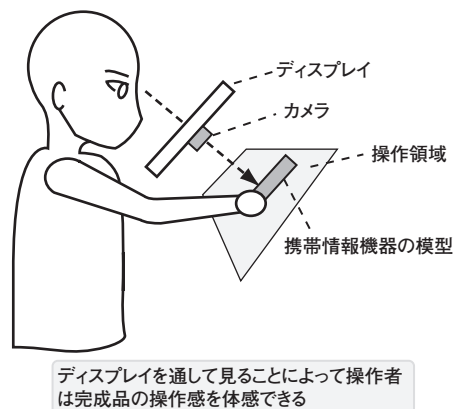


図1 携帯情報機器の開発補助システム

で行えば、各ボタンの操作情報がわかる仕組みだ。

ボタンの操作情報を製品に搭載予定のプログラムに入力すれば、製品の画面に何が表示されるかわかり、ディスプレイ上に描かれるCGにもそれを反映できる。こうして、実際の製品に近い環境での製品評価が可能なシステムになっている。

このシステムには、ボタン配置などの製品の情報が全てCG上に描かれている特長がある。被験者が目にする部分をCGにしたことで、使用する模型はボタンを埋め込まない簡単なもので済み、ボタン配置の変更もCGを書き換えるだけなので手間がかからない。この特長から、さまざまなボタン配置のパターンを簡単に試すことができる。

もう一つの特長として、操作する指の動きを位置情報として記録できることが挙げられる。使いやすさの評価を行う際、この位置情報の記録が非

常に役立つのだ。例えば、開発中にある操作がやりづらく、その原因を探す場合を考えよう。従来の手法で原因を探すには、操作の様子をじっくり観察したり、カメラで撮影した映像を解析したりして原因を探さなければならず、大変な労力を要していた。一方、位置情報のデータとして操作の正確な記録があれば、どの部分で指を大きく動かす操作をしたかといったことを容易に見つけ出すことができる。このような特徴から、操作の障害や利点をより容易に評価できるのだ。

高橋研究室のシステムには、まだ目印の認識精度に難があり、ごく簡単な操作やボタン配置しか再現できないといったような、実用化面での問題がある。そのため、高橋研究室では現在、認識精度を高めるなど、より実用的なシステムの構築に向けて研究を進めている。



## 機械で触覚を表現する

VRの発展において、人間の五感を刺激するシステムの開発は重要である。既に広く使われている視覚と聴覚だけでなく、他の感覚も刺激することができれば、VRで再現できるものの幅が格段に広がるからだ。高橋研究室では特に、触感を表現する触覚ディスプレイの研究を行っている。

触覚ディスプレイを用いれば、仮想の物体に触った感覚を表現し、VRの疑似体験をより現実近づけることができる。身近な利用法としては、オンラインショッピングで商品の質感を疑似体験したり、エンターテインメント分野に応用したりすることが考えられている。

触覚ディスプレイの研究はさまざまなものが行われており、複数の小さな短冊状の突起が動いて指先をなぞるものや、いくつも並んだピンが上下して指をつつくものなどがある。しかし、前者は構造が複雑で制御が難しく、後者には質感ではなく単純な刺激のパターンしか表せないという欠点がある。

そこで、高橋研究室では、制御が比較的簡単で現実の手の動きを観察しやすい、ホイール型触覚ディスプレイについて研究を行っている。ホイール型触覚ディスプレイとは、回転するホイールに触ることで、触覚を体験させるデバイスだ。

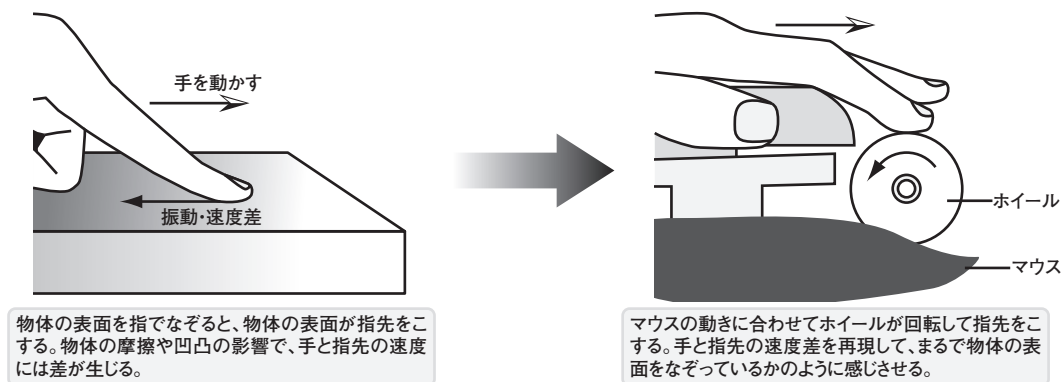


図2 なぞり感提示ディスプレイ

高橋先生らが研究しているホイール型触覚ディスプレイは、マウスの指先が当たる部分に滑らかなホイールを設置したものを使っている(図2)。この状態でマウスを動かすと、手の動きに合わせてホイールが回転して指先をこすり、まるで物体の表面をなぞっているかのように感じるのだ。

このとき、マウスの移動速度とホイールの回転速度が同じであれば、抵抗の無い平面をなぞったときの、手と指先の速度が同じ状態が表現される。この回転速度を基本として、回転に細かな加減速を与えると、指先が物体の凹凸の影響で速度を変動させる様子を再現することができる。この加減速の与え方を回転変調と呼ぶ。回転変調を変えることでさまざまなざり感を表現できるのだ。

では、具体的には回転変調をどのように決めればよいのだろうか。高橋先生らは、まず適当な回転変調として、サインカーブによる周期的な加減速を与えることにした。サインカーブによる回転変調は、与える最大の速度を表す振幅項と、周期を表す波長項の二つのパラメータで表現できる。高橋研究室の以前の研究で、サインカーブの回転変調で物体の粗さが表現でき、振幅項を変化させて粗さの強弱を制御できることがわかっている。

さらに高橋研究室では、粗さに加えて柔らかさも表現しようと、時間遅れ項というパラメータを回転変調の制御式に加えた。例えば、シリコンゴムのような柔らかい材質を指でなぞる場面を想像してほしい。指を動かし始めるとき、周囲のシリコンが指に引っ張られて変形し、指がなめらかに滑り出すまでに少し時間がかかる。この時間差を再現するため、ホイールがマウスの速度に反応して回転し始めるのを、意図的に遅らせるようにした。この、反応をどれだけ遅らせるかを決めるパラメータが時間遅れ項だ。

こうして、高橋先生らはいくつかのパラメータを変数として持つ回転変調の式を立てた。次に、望みの触感を出すにはどうすればよいかを求めるために、パラメータの変化がどのように触感を変えるのかを評価しなくてはならない。触感という曖昧な概念を評価するには、触感そのものを数値化して表す必要があるのだ。

そこで、高橋先生らは最初に、触覚ディスプレイにより提示される触感を「粗い⇔粗くない」といった形容詞対について数値で評価する実験を

行った。実験では、粗さと硬さの異なる12種類の現実の物質サンプルと、11種類の触覚ディスプレイによる刺激を提示する。このとき、物体表面の触感と触覚ディスプレイによる触感が直接比較できるようにするため、これら23種類の刺激をランダムに提示し、触覚ディスプレイの適当な刺激を基準として、さわり比べてもらう。基準刺激に対する提示した刺激について、14種の形容詞対の強弱を5段階で評価するアンケートを行い回答を集めた。

得られた回答に因子分析と呼ばれる統計的処理を行うと、形容詞対は二つのグループに分けられ、各形容詞対の強弱を決める要因、すなわち因子が二つ存在することがわかった(図3)。図3の上のグループの形容詞対は、左側の因子と深く関連しており、「粗い」「凹凸」など物体の形状に関わる言葉という点で共通している。一方、下のグループの形容詞対は右側の因子と深く関連しており、「弾力ある」「粘る」など材質の性質に関わる言葉という点で共通する。これらのことから、高橋先生らは左側の因子を形状感因子、右側の因子を材質感因子と呼んでいる。因子の正体は正確にはわかっていないが、因子と実サンプルの物理特性との相関関係から、形状感因子は物体の硬さや凹凸の密度に、材質感因子は物体の凹凸の大きさに、それぞれ強く関係していることがわかっている。また、回転変調のパラメータとの相関関係からは、形状感因子は振幅項と波長項に、材質感因子は時間遅れ項に、それぞれ強く関係していることが明

評価項目	形状感因子	材質感因子
粗い⇔粗くない	0.87	-0.07
凹凸⇔凹凸でない	0.86	0.00
平ら⇔平でない	-0.83	-0.04
滑らか⇔滑らかでない	-0.82	-0.10
山がとがった⇔山がとがっていない	0.81	-0.08
山が丸い⇔山が丸くない	-0.78	-0.06
密集⇔密集がない	0.73	0.02
弾力ある⇔弾力ない	-0.03	0.85
ひずむ⇔ひずまない	0.05	0.80
粘る⇔粘らない	0.02	0.78
柔らかい⇔柔らかくない	-0.21	0.77
硬い⇔硬くない	0.20	-0.75
滑る⇔滑らない	-0.31	-0.55
引っかかる⇔引っかからない	0.34	0.52

数値の絶対値が1に近いほど、評価項目と因子との相関が深い

図3 集計結果

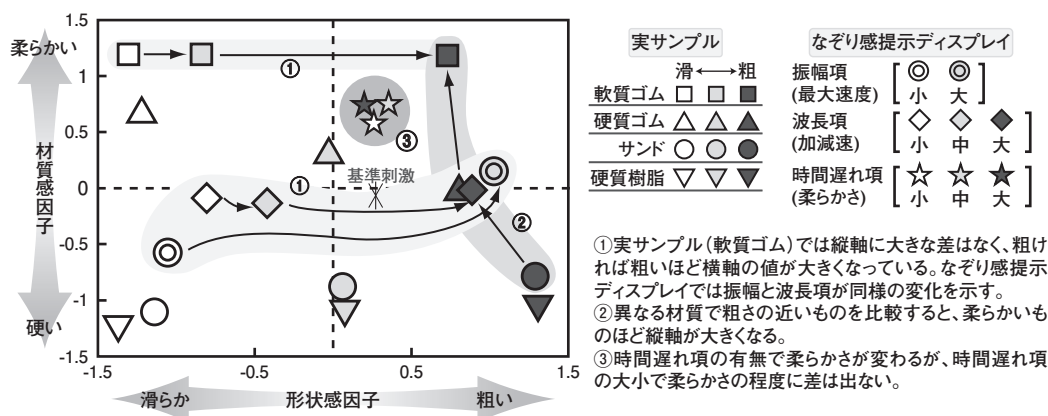


らかになった。

それぞれの触感は各形容詞対の強弱の組み合わせで表される。各形容詞対の強弱を決めているのは二つの因子であるから、触感は二つの因子の組み合わせで表すことができる。さらに、ある物体がもつ二つの因子の強さは、先のような実験を行えば数値で求められる。よって、任意の物体の触感が二つの因子の値で表すことができ、触感を数値化したといえるのだ。

触感は二つの因子の値の組み合わせによって表されるので、それぞれの因子の値を縦軸・横軸としたマップ上にプロットできる。そこで、実サンプルとホイール型触覚ディスプレイの二つの実験結果を一つのマップ上に表したのが図4だ。図4によって実験結果を比較することができ、人の触感が縦軸・横軸の値で数値化されていることも視覚的に確認できる。触覚ディスプレイの刺激は、適当な回転変調を基準刺激とし、各パラメータを変化させたものをプロットした。

では、グラフ上の点同士の関係を見てみよう。はじめに、同じ材質で粗さの違う実サンプルについてグラフを見てみる。例えば3種類の□について見ると、どれも縦軸の値にはあまり差がないが、粗ければ粗いほど横軸の値が大きくなっている。



今回の取材では、丁寧でわかりやすい説明をしていただき、ありがとうございました。VRについてのお話はどれも興味深いものばかりで、とても面白く聞きすることができました。

ホイール型触覚ディスプレイの刺激では、振幅項と波長項の変化、つまり◎と◇が同じような動きをしており、これらを制御することで粗さを表現ができることがわかる。また、異なる材質で粗さの近いもの、たとえば色の濃い□・△・○・▽を比べると、柔らかいもののほど縦軸の値が大きくなる傾向が見られる。ホイール型触覚ディスプレイの刺激では、時間遅れ項が0の基準刺激と比べて時間遅れ項のある3種類の☆では縦軸の値が大きくなっており、柔らかさが表現できている。

高橋研究室の研究は、時間遅れ項の大小では柔らかさに差が出ていないように、まだ任意の触感を狙って回転変調を与えられるまでには至っておらず発展途上である。加えて、材質の湿り気や温度など、表現できていない触感の重要な要素も残っている。こういった課題に対し、高橋研究室ではより広範囲の触感の表現を行うため、新たな回転変調の要素の追加や、ホイール型以外のデバイスの試み、人が触感を感じる神経の仕組みからのアプローチを進めている。コストパフォーマンスの問題など、実用化・製品化にあたってのVRを取り巻く環境は厳しいが、これら高橋研究室の研究をもとに、VRの分野が発展していくことに期待したい。

最後になりましたが、お忙しい中、たび重なる取材やメールに快く応じて下さったことに、この場を借りてお礼申し上げます。高橋先生のますますのご活躍をお祈りいたします。(山本 英幸)