

複合現実空間との対話操作のための道具型デバイス

上坂 晃雅[†], 木村 朝子[‡], 柴田 史久[†], 田村 秀行[†]

[†] 立命館大学大学院 理工学研究科 〒575-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

[‡] 科学技術振興機構 さきがけ 〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8

E-mail: {uesaka}@rm.is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 本研究では、複合現実空間との対話操作において、実世界での作業同様、目的に応じて異なった道具に持ち替えて利用できる「道具型デバイス」を提案する。道具型デバイスには、日頃慣れ親しんでいる既存の道具に近い形状と操作時の触感や操作音などを活用することで、ユーザがその用途や利用方法を直観的に把握することができるという特徴がある。本研究では、1つ目の道具型デバイスとして、複合現実空間における選択・移動操作を容易にするピンセット型デバイスを開発した。本稿では、その詳細とデバイスを用いた開発事例を報告する。

キーワード 対話操作, 道具型デバイス, ツールセット, 選択・移動操作, ピンセット

Tool Device for Interactive Manipulation in Mixed Reality Space

Akimasa Uesaka[†], Asako Kimura[‡], Fumihisa Shibata[†], and Hideyuki Tamura[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

[‡] PRESTO, Japan Science and Technology Agency,

4-1-8, Honcho, Kawaguchi, Saitama, 332-0012, Japan

E-mail: {uesaka}@rm.is.ritsumeai.ac.jp

Abstract In this paper, we propose the tool devices for the interactive manipulation in mixed reality (MR) space. The user can switch the tools depending on the purposes as well as in real world. The tool devices are integrated the shapes of the daily tools, such as tweezers, and have tactile and sound feedbacks. Thus, the user easily figures out how to use the tools. As the first tool device, we developed the tweezers device which facilitates pick and move manipulations in the MR space. This paper describes its details and case study.

Keyword Interactive Manipulation, Tool Device, Tool Set, Pick and Move, Tweezers

1. はじめに

現実世界と仮想世界を実時間で融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) は急速な発展を遂げ、人工現実感 (Virtual Reality; VR) 研究の中でも活発な分野の1つとなっている。人工的に生成した仮想環境だけを扱う従来の VR に対して、MR では、体験者の目の前にある現実世界が操作対象となり、自らの手足や共同体験者の姿も視認できる。このため、情報やデータを実世界で実物に触れる感覚で操作する「実世界指向インタフェース[1]」「タンジブルインタフェース[2]」を導入して、より効果的に、より直観的に MR 空間を操作できる方法が期待されている。

実際、このような考えに基づき、これまでに多くの

魅力的な対話デバイスが開発されてきた[3-7]。例えば、Underkoffler ら[3]は、レンズや建物を模した実物体を手で動かすことで、光の屈折や影のシミュレーションを行なう対話デバイスを提案している。また、加藤ら[4][5]は、実物のパドルやコップを部屋のレイアウトや都市設計用の対話デバイスとして利用している。しかし、こうした対話デバイスの大半は、その用途ごとに検討・提案されたものであり、様々な作業を支援するだけの汎用性は有していない。

我々は、誰もが直観的に利用できるという特長は有しながら、MR 空間での作業に幅広く用いることができる対話デバイスを目指している。そのためには、既存の道具のメタファを積極的に利用する方針を採用

し、その概念に「道具型デバイス」を各種提案・実現していくことにした。本稿では、まず道具型デバイスの基本概念を述べ、次いで、その最初の実現例として、選択・移動操作に適した「ピンセット型デバイス」の設計方針と実現結果を報告する。

2. 基本概念と研究課題

2.1 道具型デバイスの概念

ある道具が、特別な学習負担なしに利用できる場合は、その道具自体のデザインに、どう使えば良いかが備わっていることが多い。このような特性は「アフォードダンス」と呼ばれている[8]。例えば、ピンセットでは、「掴む」「放す」動作を二股の形状からアフォードしている。長い歴史をもつ既存の道具は、良いアフォードダンスを有していると同時に、子供の頃からの利用経験で、我々の中に操作に関するメンタルモデルが形成されていると考えられる。

我々が提案する「道具型デバイス」は、慣れ親しんできた既存の道具の形状とその道具ならではの触感や操作音を活用することで、ユーザに正しい操作イメージを与えるだけでなく、その用途や利用方法を直観的に把握させようとするものである。

2.2 対話デバイスの汎用度・専用度

コンピュータや電子機器の対話デバイスを、「汎用」か「専用」という観点から捉え、一つの軸上にプロットすると図1のようになる。キーボードやマウスは、言うまでもなく汎用度が高く、最も左寄りに位置する。トラックボールやジョイスティックは、用途がある程度限定されるので、もう少し右寄りになる。一方、パイロット養成用の本格的なフライトシミュレータでは、実機と同等の材質と機能を持つコクピットを備えている。これは明らかに右端の完全な専用目的機器である。それが、PC ゲーム、TV ゲームレベルのフライトシミュレータとなると、機能を単純化・抽象化した操縦桿やラダーペダルを用いるので、専用度はやや低くなる。ビデオゲーム「電車でGO!」で用いる運転



図1 デバイスの汎用と専用

手用ハンドルを模したコントローラも、同じレベルであると考えられる。

本研究が目指すのは、この軸上で中間に位置する「準汎用デバイス」である。その意味するところは、見た目や手触りから用途が分かり、かつ特定用途に限定していない「汎用性」もあるデバイスである。1つのデバイスに多種多様な機能をもたせた万能型デバイスでも、機能を特化した専用デバイスでもなく、本研究では、目的に応じて異なった道具に持ち替えて利用できるツールセットを指向している。即ち、いわゆる「アーミーナイフ型」ではなく「弁慶の7つ道具型(図2)」のイメージである。研究方針としては、考え得る道具の全てを実現するのではなく、MR空間での作業で重要と考えられる操作を分類・抽象化し、それに適した道具のみを実現して、その有用性を確かめる。

2.3 想定する操作内容

MR空間に適した作業として、設計、レイアウト、立体造形などを想定し、それらを実現する操作を、「選択・移動」「加工」「描画」の3つに絞り込んだ。これらは、マウスが最も苦手とする操作でもある。

(1) 選択・移動：実世界で手やピンセットを使ってモノを把持・移動するのと同様の感覚で、3次元CGの選択・移動を可能にする(図3(a))。

(2) 加工：実世界でヘラやナイフなどを使って造形を行うのと同様の感覚で、3次元CGに対する造形を可能にする(図3(b))。

(3) 描画：同じく実世界で筆やペンを用いて描画を行うのと同様の感覚で、作業空間全体をキャンバスとした描画を可能にする(図3(c))。

2.4 解決すべき課題

我々の意図する道具型デバイスを実現するためには、以下の課題を解決する必要がある。

(1) 操作と道具のマッピング

作業を抽象化した後、その作業に適した道具を選択する。道具の形状からその操作をすぐに思いつくというだけではなく、他の用途に利用されない道具を選択する必要がある。このようにすることで、ユーザはデ

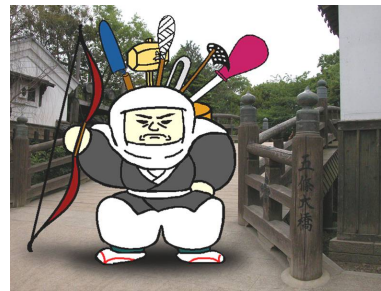
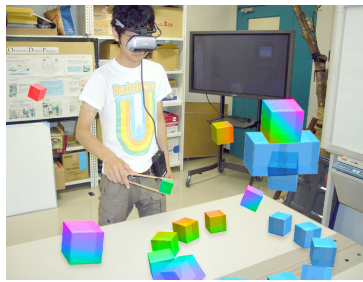
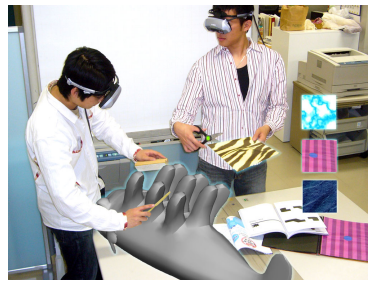


図2 目的に応じて道具を持ち替える



(a) 選択・移動



(b) 加工



(c) 描画

図3 想定する3つの操作（イメージ図）

バイスの形状からその操作を一意にイメージすることが可能となる。

但し、加工用の道具型デバイスに関しては、「切る」「叩く」「穴をあける」などの機能を、1つの道具にマッピングすることは難しい。このような、詳細な用途に応じて機能を切り替える必要があるデバイスについては、掃除機のアタッチメントのように先端が取替可能なデバイスを検討する。

(2) 操作の自由度

作業空間を2次元（空間内に設定した平面上）とするか、3次元（空間全体）とするのかで、デバイスの実装形態がかなり異なる。前者の場合、拘束平面の設定方法を別途設計する必要がある。後者の場合、多自由度の動きを実時間で取得できる方法が必要である。

(3) 道具らしい触力覚感の実現

実物の道具により近づけるため、開発するデバイスに道具の触力覚感を提示する機構を内蔵する。各デバイスについて、組み込み可能なサイズであり、かつユーザの操作を妨げない提示手法について検討する必要がある。また、あえて力覚提示装置は組み込まずに振動と視聴覚フィードバックの組み合わせのみで擬似的な反力提示を行う方法も考えられる。

(4) 入力の高弱

より実世界の道具に近い感覚で、デバイスを操作できるようにするためには、その位置姿勢に加え、入力の高弱を取得する必要がある。例えば実世界で筆を用いて描画する場合、筆を強く押し付ければ描画される線は太くなる。しかし仮想物体や、空間を対象としたときは押し付けるべき対象が存在しないため、デバイスの動きや指でデバイスを持つ圧力など、入力された他の要素を高弱へ写像する必要がある。

2.5 関連研究

既存の道具の特徴を利用した対話デバイスとして、加藤ら[4][5]は、実物のパドルやコップを仮想のミニチュア家具や都市のレイアウトに利用している。MR 以外では、日下志ら[9]は道具を利用した物体操作を VR

環境下で実現するため、日常的な道具の一つである箸をとりあげ、詳細なインタラクションを考慮した物体操作方法を提案した。池田ら[10]は「道具のメタファ」を入出力デバイスに取り入れることで、機器間でのデータ移動という特定のタスクを、直観的な対話デバイスで操作をする ToolDevice を開発した。また、壁面や机上ディスプレイに対する描画用デバイスとして、MIT メディアラボの石井ら[11]の I/O Brush がある。

本研究で提案する道具型デバイスは、これらのデバイスのように、特定のタスクに特化したものではなく、2.3のように各操作に応じてデバイスを持ち替え、MR 空間での作業を支援することを目的としている。

3. ピンセット型デバイスの設計・試作

3.1 選択・移動のための道具

本研究では、まず選択・移動を行う道具型デバイスの実現から着手した。コンピュータのユーザインタフェースではマウスによるドラッグ&ドロップで実現されるこの操作を、本研究では実世界でモノを移動するための道具であるピンセットに関連付けた。

ピンセットはその先端でモノを挟む道具で、側面を指で押すことにより、そ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大きさを把持に必要な力から推測することができるという特徴がある。

実世界でモノを選択・移動する道具には、ピンセットの他にも、箸、スプーン、フォークなどが存在する。しかし、これらの道具は、選択・移動以外にもモノ（食べ物）を切る、潰すなどの用途が考えられる。

これに対して、ピンセットは選択・移動に特化した道具であり、その形状から選択・移動以外の用途を想像する余地がほとんどない。すなわち、ユーザはピンセットの外観から、移動・選択という用途と、その使い方を容易に想像することができると考えられる。

3.2 ピンセット型デバイスの外観

図4に本研究で試作したピンセット型デバイスの外

観を示す。ピンセット型デバイスは、まずその外観から一般的なピンセットを容易にイメージできるデザインである必要がある。

ピンセット型デバイスの大きさは、平均的な手の大きさと、操作対象の大きさからおのずと決まってくる。ピンセットは片手で操作する道具なので、ピンセット型デバイスの持ち手部分は、親指と人差し指で余裕を持って把持できる必要がある。また、ピンセットはもともと小さなモノを掴んで移動する道具である。しかし MR 環境では操作対象となる仮想物体があまり小さいと視認することが難しい。

以上のことから、本研究では仮想物体の大きさを視認しやすい2-6 cm と想定し、ピンセット型デバイスの大きさを長さ 25 cm 程度、ピンセットが開いた状態での持ち手部分の幅を 8 cm 以下、物体把持部分の幅は 6cm 以上となるよう設計した。

3.3 ピンセット型デバイスの内部機構

ピンセット型デバイスを使って MR 空間に配置された仮想物体を選択・移動するためには以下の2つの機能が必要である。

【位置姿勢検出】仮想物体がピンセット型デバイスで挟める（選択できる）位置にあるかどうかを判定したり、ピンセット型デバイスで選択中の仮想物体をデバイスに追従して表示するために利用する。試作デバイスでは、磁気センサを採用している。

【挟み幅検出】仮想物体を挟んだかどうかの判定に利用する。実物のピンセットでは、挟むモノの大きさに

応じて、必要な挟み幅が変わるが、我々のピンセット型デバイスでも、仮想物体が大きい場合はピンセットを少し閉じるだけで選択でき、小さい場合は挟み幅がその仮想物体の大きさと同じになるまで選択されない。試作デバイスでは、回転式のポテンシオメータを内蔵し、挟み幅は 64 段階で取得される。

次に、操作結果の応答、確認を視・聴・触力覚に対して提示するために、以下の4つの機能を内蔵した。

【視覚提示】操作内容・結果に応じて、ピンセット型デバイスの先端部分に内蔵された RGB 3 色の LED が点灯する。

【聴覚提示】あたかもピンセット型デバイスが仮想物体と接触したことで音が発生したように印象付けるため、デバイス内部に小型スピーカを内蔵し、PC 上で再生した任意の音を、デバイスから提示可能とした。

【反力提示】ピンセットでモノを挟もうとすると、ピンセットの両先端の内側の面がそのモノに触れると、ピンセットの側面をそれ以上押し込んでも挟み幅が小さくならない。このとき、ユーザは指に反力を感じる。ただし、挟んでいるモノの硬さ・軟らかさに応じてこの反力は異なる。硬いモノを挟んでいる場合は、側面をどんなに強く押し込んでも挟み幅は変わらないが、軟らかいものを挟んでいる場合は、側面を押し強さに応じて挟み幅がもう少しせばまり、挟んでいるモノも少し変形する。

ピンセットを使うときに感じるこのような反力を、



図4 ピンセット型デバイスの外観

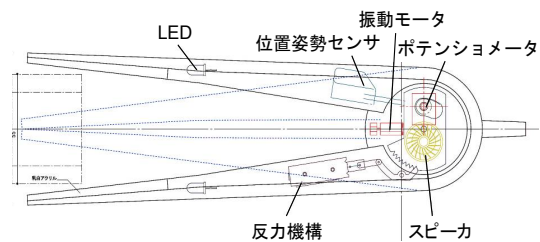


図6 内部機構

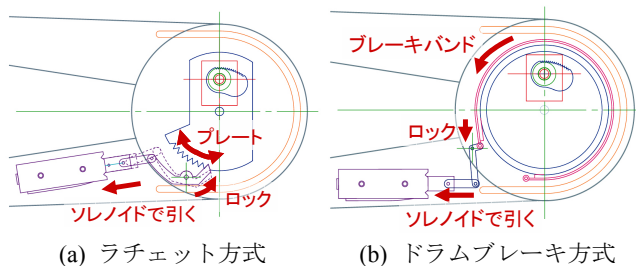


図5 反力提示機構

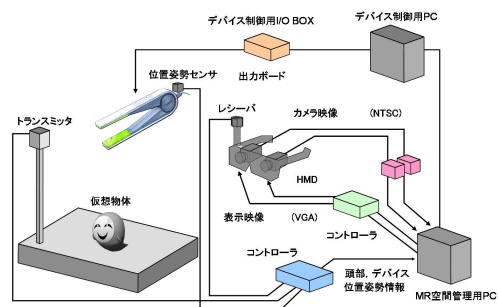


図7 システム構成

ピンセット型デバイスでも実現するため、以下のような機構を内蔵する。まず、何も掴んでいないピンセットのバネの触感を再現するために、ピンセット型デバイスの支点にバネを内蔵する。また、仮想物体の大きさ・硬さに応じて反力を提示する機構として、本研究では、ラチェット方式とドラムブレーキ方式の2種類の反力提示機構を考案・試作した(図5)。

ラチェット方式は、ソレノイドでロックツメを上下させ、プレートの溝に咬ませることで、一定角度ごとにピンセットの開口角度をロックする。この方式では、仮想物体の大きさに応じて、先端の挟み幅をロックすることができるが、仮想物体の硬さに応じた反力提示はできない。

ドラムブレーキ方式は、ソレノイドがブレーキバンドを引き、ドラムを締め込むことでブレーキがかかり、ピンセットがそれ以上閉じないようにする。この方式では、仮想物体の大きさに応じて挟み幅を固定するだけでなく、仮想物体が軟らかい場合ブレーキを緩めることで、デバイスの側面を強く押すとブレーキバンドが滑り、仮想物体の軟らかさを提示することができる。

【触覚提示】上記のような反力ではなく、機構の単純な振動を操作結果の応答・確認のために提示することで、どの程度操作感が得られるのかを検証するために、振動モータを内蔵した。

以上6つの機能を組み込んだピンセット型デバイスの内部機構を図6に示す。

4. MR空間での利用

4.1 利用環境

試作したピンセット型デバイスで、MR空間に配置された仮想物体を挟む(選択)、移動する、放すことが可能なMRシステムを実現した(図7)。

ピンセット型デバイスに内蔵された磁気センサとポテンショメータの情報をもとに、デバイスが仮想物体を選択可能な位置に存在するか、また仮想物体を選

択しているかどうかを判別する。ピンセット型デバイスが仮想物体を選択すると、選択した物体に応じた色のLEDの点灯、効果音の再生、振動モータの稼働が、また物体の大きさに応じた開口角度での反力提示が行われる。

デバイス制御用PCにはPanasonic製Let'sNoteR5を使用している。MR空間の提示は、キヤノン製のMRプラットフォーム・システムを用い、ユーザはビデオシースルー型HMD(Canon VH-2002)を装着することで、現実世界の光景とCGで描いたオブジェクトの実時間合成結果を見ることが出来る。頭部、ピンセット型デバイスの位置姿勢検出にはPolhemus社製の磁気センサ3SPACE FASTRAKを使用している。

4.2 操作実験

ピンセット型デバイスで仮想物体を選択・移動する操作対象を複数用意して、有効性と問題点を検討した。

1つ目の操作実験は、試作したピンセット型デバイスの基本性能を確認するためのもので、大きさの異なるCGの球を選択・移動する(図8)。CGの球を選択すると、LEDがその球の色に点灯し、効果音とともに振動が提示される。また、球の大きさに応じた反力が提示される。

2つ目の実験対象として、複合現実空間に浮遊している3種類の仮想物体(お化け)をピンセット型デバイスで選択し、3つのケージに分類する「GhostHunt」

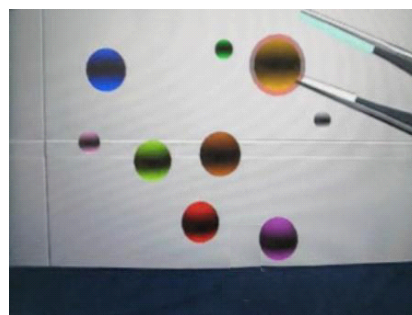
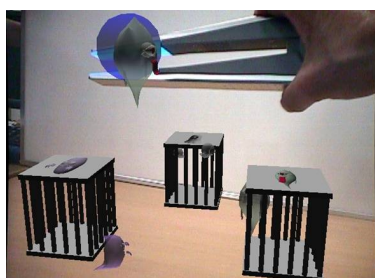


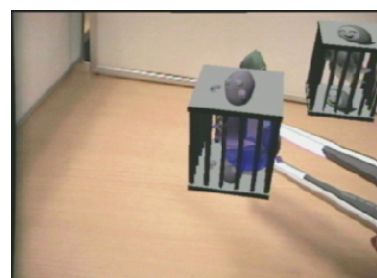
図8 ピンセット型デバイスで様々な大きさの球(CG)を選択・移動する様子



(a) 浮遊しているお化けを捕まえる



(b) 捕まえたお化けを眺める



(c) ケージに閉じ込める

図9 GhostHunt

を製作した (図 9)。3 種類のお化けを分類し終わると体験終了となる。この事例は、ゲーム感覚でピンセット型デバイスを体験できるように設計している。捕まえたお化けは、近くで眺めることも可能である。

4.3 考察

試作したピンセット型デバイスを運用した結果、これまでに以下のような知見を得た。

- ・ほとんどの体験者は、操作している様子を一度見せただけで操作方法を学習し、自身で実際に操作することができた。

- ・操作結果の応答・確認用に内蔵しているカラー LED による視覚提示、スピーカによる聴覚提示、振動による触覚提示を組み合わせることで、体験者は仮想物体を選択したということを十分認識できた。

- ・これに反力提示を導入することで、より実物のピンセットに近い触力覚感となり、デバイスの操作性が向上するという意見が得られた。

- ・ラチェット方式の場合、仮想物体を選択すると選択時の挟み幅でロックされ、いくら強く押ししてもそれ以上押し込むことができない。体験者からは、この実物のピンセットとは異なる挙動に、少し違和感があるという感想があった。

- ・ドラムブレーキ方式の場合も、仮想物体を選択した瞬間に挟み幅が固定されるようブレーキがかかるが、強く押すとブレーキバンドが滑り、バネのような押し込み感として知覚される。体験者からは、実物のピンセットに近い触感で、本当に何かを挟んでいるようだと言っていた。

- ・今回構築した MR システムでは、現実世界の映像に仮想物体の CG を単純に重畳描画しているため、仮想物体が常にピンセット型デバイスよりも前に描画されるオクルージョン問題が発生する。このため、仮想物体とピンセットの前後関係を正確に把握できず、操作に戸惑う体験者もいた。

- ・体験者は、ピンセット型デバイスを利用して、3 次元空間内での移動操作はもとより、回転操作も容易に行っていた。

5. むすび

複合現実空間との対話操作に適したデバイスとして、使い慣れた道具のメタファを利用する「道具型デバイス」を提案し、その最初の実現例として、選択・移動操作を行うためのピンセット型デバイスを選び、その設計指針や内部機構について述べた。そして、試作したピンセット型デバイスで MR 空間内の仮想物

体を選択・移動する運用実験を行なった。

試作運用した結果、操作している様子を一度見せただけで操作方法を容易に学習可能であること、仮想物体を容易に選択・移動できることがわかった。また、今回デバイスに導入した機構に関しては、視覚・聴覚・触覚ともに有用であったが、特に反力提示は、操作感が向上すると好評価であった。

今後は、ピンセット型デバイスのもっと詳細な評価を行うとともに、加工、描画用の道具型デバイスを順次設計・開発していく予定である。

参考文献

- [1] 暦本純一：“実世界指向インタフェース：実世界に拡張された直接操作環境”，情報処理，Vol. 43, No. 3, pp. 217 - 221, 2002.
- [2] 石井裕：“Tangible Bits：情報の感触／情報の気配”，同上，Vol. 39, No. 8, pp. 745 - 751, 1998.
- [3] J. Underkoffler, B. Ullmer, and H. Ishii: “Emancipated pixels: Real-World graphics in the luminous room,” Proc. SIGGRAPH 99, pp. 385 - 392, 1999.
- [4] 加藤博一, M. Billingham, I. Poupyrev, 鉄谷信二, 橋啓八郎：“拡張現実感技術を用いたタンジブルインタフェース”，芸術科学会論文誌，Vol. 1, No. 2, pp. 97 - 104, 2002.
- [5] H. Kato, K. Tachibana, M. Tanabe, T. Nakajima and Y. Fukuda: “MagicCup: A tangible interface for virtual objects manipulation in Table-Top augmented reality,” Proc. ART03, pp. 85 - 86, 2003.
- [6] 木村朝子, 小川直昭, 秋友恵, 大槻麻衣, 川野圭祐, 比嘉恭太, 柴田史久, 田村秀行：“MR テーブル花火 The Desktop Mixed Reality Fireworks”，日本バーチャルリアリティ学会第 10 回大会論文集，pp. 516 - 517, 2005.
- [7] 木村朝子, 橋本崇, 一刈良介, 種子田慶介, 鬼柳牧子, 柴田史久, 田村秀行：“Cherry Blossom Cyberview -サイバー観桜会-”，日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集，pp. 609 - 610 2004.
- [8] D. A. Norman 著, 野島久雄 訳：“誰のためのデザイン？”，新曜社 1990.
- [9] 日下志友彦, 北村喜文, 正城敏博, 岸野文郎：“手—道具—物体間のインタラクションを考慮した仮想箸による物体操作”，電子情報通信学会論文誌，Vol. J84-D-II, No. 3, pp. 519 - 528, 2001.
- [10] 池田洋一, 木村朝子, 佐藤宏介：“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”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 7, No. 3, pp. 339 - 345, 2002.
- [11] K. Ryokai, S. Marti, and H. Ishii: “I/O Brush: Drawing with everyday objects as ink,” Proc. CHI 2004, pp. 303 - 310, 2004.